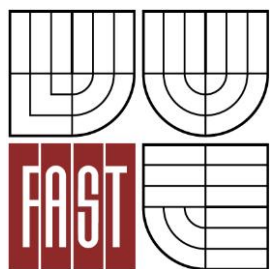




VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STAVEBNÍ
ÚSTAV POZEMNÍHO STAVITELSTVÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
INSTITUTE OF BUILDING STRUCTURES

REKONSTRUKCE KULTURNĚ-VZDĚLÁVACÍHO CENTRA PROSTOROVÁ AKUSTIKA VÍCEÚČELOVÉHO SÁLU

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VOJTĚCH HRŮZA

VEDOUcí PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. DAGMAR DONAŤÁKOVÁ

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá problematikou prostorové akustiky uzavřených prostor. V rámci této práce byl zpracován návrh akustických úprav víceúčelového kulturního sálu v Karviné ve snaze zlepšit poslechovou kvalitu a dobu dozvuku. Prvotní návrh úprav byl proveden ručním výpočtem a dále upravován za pomoci specializovaného software (Odeon Room Acoustics Program).

V rámci specializací byl zpracován návrh nuceného větrání sálu se zpětným získáváním tepla a návrh nového zastřešení části objektu pomocí dřevěných vazníků.

Dále byl zpracován návrh stavebních úprav a menších změn provozních dispozic prostorů pro návštěvníky a zázemí pro účinkující a zaměstnance. V rámci práce bylo také navrženo vnější zateplení objektu a nové skladby střešních pláštů plochých střech. Vzhledem ke změnám byl zpracován nový posudek požárního zabezpečení objektu.

Výsledkem práce je tedy celková rekonstrukce kulturního objektu ve snaze zlepšit provozní, estetické a stavebně-fyzikální parametry objektu.

Klíčová slova

Prostorová akustika, nucené větrání se zpětným získáváním tepla, požární bezpečnost, dřevěné vazníky, rekonstrukce, Karviná

Abstract

This master's thesis deals with matters of interior acoustics. Within the scope of the thesis, a design alteration proposal in terms of enhancing sound quality and reverberation time of an existing multi-purpose cultural hall situated in town of Karvina was carried out. First design draft was made using manual calculation process and processed afterwards using specialized software (Odeon Room Acoustics Program).

Within the thesis's specialization study, a design of forced ventilation combined with heat recovery and new roof support structure using wooden truss girders was made.

A design proposal dealing with building structure alterations and minor changes in operational facility layout was also made. New flat roofs layer assembly and exterior walls insulation was designed.

Taking all proposed changes into consideration, new fire safety design documentation was made.

Final outcome is therefore overall reconstruction of the given building object in pursuit of enhancing operational facility layout, overall interior and exterior esthetics and building physics parameters of the object.

Keywords

Room acoustics, forced ventilation combined with heat recovery, fire safety design, wooden truss girders, reconstruction, Karviná

Bibliografická citace VŠKP

HRŮZA, Vojtěch. *Rekonstrukce kulturně-vzdělávacího centra : diplomová práce*. Brno, 2013. 109 s. , 241 s. příl. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta stavební. Ústav pozemních staveb. Vedoucí diplomové práce Ing. Dagmar Donatřáková.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10.1.2013

.....
podpis autora
Bc. Vojtěch Hrůza

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval vedoucí této diplomové práce Ing. Dagmar Donatákové za odborné vedení, ochotu a cenné rady poskytnuté v průběhu zpracování práce. Dále bych rád poděkoval rodičům za podporu, kterou mi v průběhu celého studia poskytovali.

OBSAH

1	ÚVOD	8
2	PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ PROBLEMATIKY	10
2.1	PROSTOROVÁ AKUSTIKA.....	11
2.1.1	<i>Základní pojmy a veličiny</i>	11
2.1.2	<i>Zvukové pole uzavřených prostorů</i>	13
2.1.3	<i>Používané prvky a materiály</i>	19
2.1.4	<i>Sledované parametry</i>	21
2.1.5	<i>Využití specializovaného software</i>	23
2.2	MĚŘENÍ A HODNOCENÍ V PROSTOROVÉ AKUSTICE.....	24
2.2.1	<i>Metody měření</i>	24
2.2.2	<i>Hodnocení a porovnání s legislativou</i>	25
3	CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	27
3.1	KONCEPCE CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	28
3.2	ZVOLENÉ METODY	28
4	POUŽITÉ METODY ZPRACOVÁNÍ	29
4.1	ZHODNOCENÍ PŮVODNÍHO STAVU.....	30
4.1.1	<i>Víceúčelový sál</i>	30
4.1.2	<i>Přidružené a pomocné prostory, prostory pro veřejnost</i>	31
4.2	DOSTUPNÉ PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ.....	31
4.2.1	<i>Zaměřený objekt a sál</i>	31
4.2.2	<i>Změřená doba dozvuku sálu</i>	31
4.2.3	<i>Fotodokumentace</i>	33
4.3	ZPRACOVÁNÍ A NÁVRH VHODNÝCH OPATŘENÍ.....	33
4.3.1	<i>Zpracování naměřených dat</i>	33
4.3.2	<i>Porovnání s platnou legislativou</i>	35
4.3.3	<i>Návrh vhodných opatření</i>	36

4.4	NÁVRH ÚPRAV ZA POMOCÍ SPECIALIZOVANÉHO SOFTWARE.....	49
4.4.1	<i>Vytvoření počítačového modelu původního stavu.....</i>	49
4.4.2	<i>Import modelu do programu Odeon, testování korektnosti modelu.....</i>	50
4.4.3	<i>Rozmístění vysílacích a přijímacích bodů.....</i>	53
4.4.4	<i>Materiálová specifikace jednotlivých povrchů.....</i>	55
4.4.5	<i>Výpočet a jeho nastavení.....</i>	57
4.4.6	<i>Vytvoření modelu s navrhovanými úpravami.....</i>	58
4.4.7	<i>Výpočet posuzovaných parametrů</i>	62
5	VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE.....	63
5.1	ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU.....	64
5.1.1	<i>Zhodnocení doby dozvuku a porovnání s platnou legislativou</i>	64
5.1.2	<i>Srovnání doby dozvuku naměřené a simulované</i>	65
5.1.3	<i>Zhodnocení simulace srozumitelnosti</i>	66
5.2	ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ÚPRAV	68
5.2.1	<i>Rekapitulace navrhovaných uprav.....</i>	68
5.2.2	<i>Doba dozvuku získaná z ručních výpočtů a počítačové simulace</i>	69
5.2.3	<i>Porovnání s platnou legislativou</i>	69
5.2.4	<i>Ostatní sledované parametry při počítačové simulaci.....</i>	75
6	ZÁVĚR.....	83
7	SEZNAM PŘÍLOH.....	85
8	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	105
9	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	107

1 ÚVOD

Akustika je velmi rozsáhlý vědní obor, který se zabývá zvukem od jeho vzniku, šíření a přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly a reakce lidského organismu na tyto vjemy. Dělí se na celou řadu disciplín jako například urbanistická akustika, stavební akustika, prostorová akustika, hudební akustika, fyziologická akustika nebo například psycho-akustika.

Prostorová akustika, kterou se zabývá tato práce, je akustická disciplína zabývající se studiem akustických jevů uvnitř částečně nebo zcela uzavřených prostorů, jejíž cílem není ochrana proti hluku, ale zajištění akusticky přívětivého charakteru prostoru, tedy dosažení dobré slyšitelnosti, srozumitelnosti nebo třeba barvy zvuku, což lze charakterizovat jako akustickou pohodu daného prostoru.

Prostorová akustika se řeší nejčastěji u tzv. auditorií, což je souhrnný název pro místnosti určených k poslechu řeči, hudby a sledování produkcí s tím spojených. Jedná se tedy převážně o koncertní sály, divadla, kina, přednáškové místnosti, kostely apod.

Tato práce se zabývá zlepšením akustických vlastností a parametrů víceúčelového kulturního sálu za účelem zlepšení poslechové kvality těchto prostor. Návrh vhodným opatření byl proveden v souladu s platnou legislativou a právními předpisy.

2 PŘEHLED SOUČASNÉHO STAVU ŘEŠENÉ

PROBLEMATIKY

2.1 PROSTOROVÁ AKUSTIKA

2.1.1 Základní pojmy a veličiny

2.1.2 Zvukové pole uzavřených prostorů

2.1.3 Používané prvky a materiály

2.1.4 Sledované parametry

2.1.5 Využití specializovaného software

2.2 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ V PROSTOROVÉ AKUSTICE

2.2.1 Metody měření

2.2.2 Hodnocení a porovnání s legislativou

2.1 PROSTOROVÁ AKUSTIKA

2.1.1 Základní pojmy a veličiny

Prostorová akustika je pod-obor akustiky zabývající se šířením zvuku uvnitř zcela nebo částečně uzavřeném prostoru. [10]

Akustika prostoru je souhrn akustických vlastností a parametrů místnosti určujících poslechovou kvalitu mluveného slova nebo hudby. [10]

Uzavřený prostor je prostor ohraničený plochami, které tvoří „obálku“ místnosti/prostoru a vykazují určité akustické vlastnosti. [1]

Akustiku prostoru jakožto souhrn vlastností daného prostoru lze popsat hned několika různými objektivními akustickými kritérii, z nichž každé je relevantní určitému subjektivnímu atributu poslechové kvality hudby a mluveného slova.

Doba dozvuku T patří mezi základní sledované veličiny. Jedná se o objektivní kritérium definované jako čas v sekundách potřebný pro pokles hladiny akustického tlaku o 60dB po vypnutí zdroje. Získá se lineárním proložením dozvukového poklesu v úseku od -5 dB do -35 dB (T_{30}) nebo od -5 dB do -25 dB (T_{20}). Při návrhu se hodnota počítá z příslušných výpočetních vztahů, více v kapitole 2.1.4. [1]

Optimální doba dozvuku T_o je hodnota v sekundách doporučovaná pro dobu dozvuku T podle účelu místnosti a její velikosti a dosažení podobných hodnot je základním předpokladem pro dosažení požadovaných poslechových kvalit uzavřeného prostoru. [1]

Zvuková pohltivost je definována jako schopnost určité látky nebo materiálu absorbovat část akustické energie dopadající na jeho povrch přeměnou na tepelnou energii. [1]

Činitel zvukové pohltivosti α je bezrozměrný součinitel vyjadřující podíl pohlcené akustické energie k celkové akustické energii dopadající na rozhraní prostředí (povrch materiálu). Pokud nabývá hodnot 1,00, pak se jedná o látku 100% pohltivou a naopak při hodnotách 0,00 se jedná o látku plně odrazivou. [1]

Ekvivalentní pohltivá plocha A je odpovídající plocha v m^2 plně pohltivého materiálu pro posuzovaný materiál o ploše S v m^2 . Jedná se o součin plochy materiálu S a činitele zvukové pohltivosti α . [3]

$$A = \alpha * S \quad (m^2)$$

Zvukový paprsek je reprezentací velmi malé výseče z kulové akustické vlny šířící se od jejího zdroje všemi směry a slouží jako názorná reprezentace šíření zvuku od jeho zdroje podle pravidel geometrické akustiky. [1]

Jasnost je veličina vyjadřující úroveň poslechové kvality hudby v uzavřeném prostoru a reprezentuje rozlišitelnost jednotlivých tónů při rychlých hudebních pasážích. [1]

Zřetelnost je veličina vyjadřující úroveň poslechové kvality mluveného slova v uzavřeném prostoru a charakterizuje rozlišitelnost jazykových prvků plynulé řeči v čase. Jedná se tedy o srozumitelnost lidské řeči. [1]

Srozumitelnost je poměr prvků řeči (části slov-slabiky, celá slova nebo části vět) zaslechnutých správně k celkovému počtu vysílaných prvků řeči. [1]

Křivka poklesu je grafické zobrazení poklesu hladiny akustického tlaku po vypnutí zdroje. [16]

Metoda přerušného šumu slouží k získání křivek poklesu přímým záznamem poklesu hladin akustického tlaku po vybuzení širokopásmovým nebo pásmovým šumem. [17]

Metoda integrované impulsové odezvy slouží k získání křivek poklesu integrací kvádru impulsových odezev pozpátku. [17]

Impulsová odezva vyjadřuje časovou závislost akustického tlaku v místě příjmu po jeho vybuzení Diracovou delta funkcí. [17]

Neobsazený stav je takový stav, kdy se v sálu nevyskytují žádné osoby (účinkující, obecnstvo). U koncertních a operních sálů je tento stav uvažován i včetně židlí pro účinkující, notových pultů, bicích nástrojů apod. [16]

Studiový stav je takový stav, kdy je sál obsazen pouze řečníky ,účinkujícími a nezbytnými osobami jako technici apod. avšak bez diváků. Jedná se o stav, který je běžný například při zkouškách nebo záznamech zvuku. [16]

Obsazený stav je takový stav, kdy je sál obsazen z 80% až 100%. Běžně se při výpočtu uvažuje obsazení ze 2/3. [16]

2.1.2 Zvukové pole uzavřených prostorů

Zvukové pole a jevy mající na toto pole vliv řeší 3 základní metody:

- vlnová teorie
- statistická teorie
- geometrická akustika

- Vlnová teorie:

Vlnová teorie je formulována pomocí tzv. vlnové rovnice a příslušnými okrajovými podmínkami.

Zvukovým zdrojem vybuzené akustické pole v uzavřeném prostoru je souborem vlastních kmitů vytvářející se při shodě kmitočtu budícího a vlastního kmitočtu prostoru (místnosti). Při zabývání se vynucenými kmity soustavy je nutné stanovit její vlastní kmitý řešením vlnové rovnice při daných okrajových podmínkách. Nalezení řešení je ale možné pouze v některých případech jednoduché geometrie (kvádr) malého prostoru.

Řešením vlnové rovnice pro místnost tvaru kvádrů získáme vztah pro vlastní kmitočty [11]:

$$f_N = \frac{c_0}{2} \sqrt{\left(\frac{n_x}{l_x}\right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y}\right)^2 + \left(\frac{n_z}{l_z}\right)^2} \quad (\text{Hz}) \quad (1.1)$$

Přičemž c_0	rychlost šíření zvuku ve vzduchu (340 m/s)
l_x, l_y, l_z	rozměry uvažovaného prostoru (m)
n_x, n_y, n_z	celá nezáporná čísla (0, 1, 2, ...)

Poměr rozměrů stran zejména u malých místností má velký vliv na rozložení spektra vlastních kmitů a tedy nalezení vhodného poměru stran z hlediska maximálního možného počtu vlastních kmitů patří mezi nejzákladnější problematiku vlnové teorie. [11] [10]

Dle ČSN 73 0525 [1] jsou doporučené poměry stran pro uzavřené prostory o objemu do 200 m³ 1:1,05:1,2. U prostorů větších se doporučuje poměr stran 1:1,25:1,6, případně 1:1,7:2,9.

Žádný rozměr nesmí však být celistvým násobkem zbylých rozměrů. [1] [10]

- Statistická teorie:

Běžně je potřeba řešit prostory a místnosti tvarově složité a nepravidelné, přičemž pohltivé/odrazivé vlastnosti jednotlivých povrchů nelze snadno vyjádřit. V těchto prostorech se navíc nachází předměty a prvky geometrie, které způsobují rozptyl akustické energie. V takovýchto případech nelze řešení vlnové rovnice nalézt a je nutné tedy přistoupit k problematice jiným způsobem.

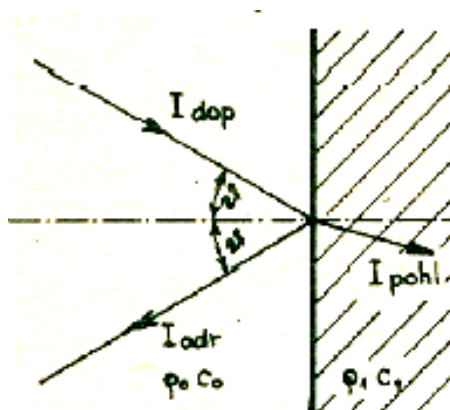
K vytvoření zvukového pole v určitém místě přispívají odrazy akustické energie od jednotlivých ploch a předmětů často nepravidelně uspořádaných v prostoru a vzhledem k vysokému počtu těchto odrazů a jejich nepravidelnosti z důvodu složité geometrie prostoru budou akustické veličiny podléhat zákonitostem statistickým (zákonitosti velkého počtu jevů).

Statistická teorie předpokládá určitá zjednodušení a předpoklady:

- Uvažuje se všesměrový dopad – tedy pravděpodobnost všemožných úhlů, pod kterými dopadá zvuková energie do libovolného bodu je stejně vysoká.
- Zvuková energie v kterémkoliv bodě prostoru a její velikost je dána součtem středních hodnot energie, která do tohoto bodu dorazila na základě odrazů od jednotlivých ploch prostoru.
- Zvuková energie v kterémkoliv bodě prostoru má stejnou hustotu – tedy se předpokládá difuzní zvukové pole.

Jednotlivým plochám tvořícím vnitřní obálku posuzovaného prostoru se přiřazuje materiálová charakteristika v podobě schopnosti daného povrchu pohlcovat dopadající akustickou energii. Tato schopnost se vyjadřuje *činitelem zvukové pohltivosti* α (-).

Činitel zvukové pohltivosti α (-) - vyjadřuje poměr pohlcené akustické energie ku energii dopadající na povrch. Průběh hodnot na jednotlivých kmitočtech je různý pro různé materiály a je závislý i na úhlu dopadu.



Obr. č. 1 – Akustická energie dopadající, odražená a pohlcená při dopadu na rozhraní prostředí. [10]

Při výpočtech se využívá tzv. *ekvivalentní pohltivá plocha* A (m^2), která vyjadřuje schopnost dané plochy/povrchu pohlcovat dopadající akustickou energii. Její hodnota odpovídá ploše v m^2 plně pohltivého materiálu ($\alpha=1$) pro posuzovaný materiál o ploše S (m^2). Jedná se o součin plochy materiálu S (m^2) a činitele zvukové pohltivosti α (-).

Akustická pohltivost je dána vztahem [10] : $A = \alpha * S$ (m^2) (1.2)

Uzavřený prostor se zpravidla skládá z mnoha jednotlivých povrchů o různých plochách S_i (m^2) a různých hodnotách činitele zvukové pohltivosti α_i (-) na jednotlivých kmitočtech.

Celkovou pohltivost takového prostoru pak lze vyjádřit vztahem [10]:

$$A = \sum_{i=1}^n (\alpha_i * S_i) \quad (m^2) \quad (1.3)$$

Jednou z hlavních sledovaných vlastností v prostorové akustice je dozívání hladiny akustického tlaku zvuku po vypnutí zdroje zvuku. Vyjadřuje se veličinou nazvanou *doba dozvuku*.

Doba dozvuku T (s) je tedy základním sledovaným parametrem uzavřeného prostoru a je definována jako čas potřebný pro pokles hladiny akustického tlaku o 60 dB po vypnutí zdroje. Je závislá na kmitočtu, objemu místnosti V (m^3) a celkové pohltivosti prostoru A (m^2). Tato veličina se měří nebo počítá pro oktávová pásma se středními kmitočty v rozsahu od 125 Hz až do 4000Hz.

Pro výpočet *doby dozvuku* je definováno několik základních vztahů [10] :

- Doba dozvuku podle Sabineho T_s :

$$T_s = 0,164 * \frac{V}{A} \quad (s) \quad (1.4)$$

Přičemž V (m^3) objem místnosti
 A (m^2) celková ekvivalentní pohltivá plocha místnosti dle (1.3)

Platí pro místnosti o objemu $V \leq 2000 m^3$ a $\alpha_{stř} \leq 0,2$

- Doba dozvuku podle Eyringa T_E :

$$T_E = 0,164 * \frac{V}{S * \alpha_E} \quad (s) \quad (1.5)$$

Přičemž $\alpha_E = -\ln(1 - \alpha_{stř})$ (-) je Eyringův číselník zvukové pohltivosti
 $\alpha_{stř} = \frac{A}{S}$ (-) střední číselník zvukové pohltivosti pro daný kmitočet
 S (m^2) celková plocha všech povrchů místnosti

Doporučuje se pro místnosti, kde $0,2 < \alpha_{stř} \leq 0,8$.

- Doba dozvuku podle Millingtona T_M :

$$T_M = 0,164 * \frac{V}{S * \alpha_E + 4 * m * V} \quad (s) \quad (1.6)$$

Přičemž $m (m^{-1})$ činitel útlumu zvuku při šíření ve vzduchu, závislý na teplotě a relativní vlhkosti vzduchu (viz. *Tab. č. 1*)

Pro $\alpha_{stř} > 0,8$ a objemu místnosti $V \geq 2000 m^3$, pro kmitočty běžně $f \geq 2000$ Hz.

f (Hz)	Relativní vlhkost (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1000	0,0041	0,0025	0,0013	0,0012	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013
2000	0,0137	0,0095	0,0041	0,0031	0,0027	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0023
4000	0,0297	0,0295	0,0161	0,0118	0,0094	0,0079	0,0069	0,0058	0,0058	0,0055

Tab. č. 1 – Činitel útlumu zvuku $m (m^{-1})$ při šíření ve vzduchu pro oktávová pásma v normálních atmosférických podmínkách (tlak 101,325 kPa, teplota 20 °C) [1]

V praxi se lze také občas setkat s dobou dozvuku vypočítanou pomocí činitele zvukové pohltivosti α_{NRC} (Noise Reduction Coefficient), který se získá aritmetickým průměrem činitelů zvukové pohltivosti α pro frekvence 250 Hz, 500 Hz, 1000Hz a 2000Hz.

$$\alpha_{NRC} = \frac{\alpha_{250 \text{ Hz}} + \alpha_{500 \text{ Hz}} + \alpha_{1000 \text{ Hz}} + \alpha_{2000 \text{ Hz}}}{4} \quad (-) \quad (1.7)$$

Takto vypočítaná doba dozvuku má však spíše informativní charakter a není vhodné takto vypočítanou dobu dozvuku nahradit výše zmíněné výpočty.

V posuzovaném prostoru se často nachází i různé předměty a zařízení nebo třeba osoby, které mají na celkovou pohltivost místnosti také vliv. Pro takovéto objekty, u kterých jsme schopni vypočítat jejich objem $V (m^3)$, lze stanovit pohltivost ze vztahu [10] :

$$A_{obj} = V_{obj}^{2/3} \quad (m^2) \quad (1.8)$$

Takto stanovenou ekvivalentní pohltivou plochu objektu lze připočítat k celkové pohltivosti místnosti tvořenou jednotlivými povrchy pomocí následujícího vztahu [10] :

$$A = \sum_{i=1}^n (\alpha_i * S_i) + \sum_{j=1}^m A_{objj} \quad (m^2) \quad (1.9)$$

Přičemž A_{objj} pohltivost j-tého objektu v příslušném kmitočtovém pásmu
 n počet všech ohraničujících ploch prostoru/místnosti
 m počet všech objektů (zařízení, stroje, osoby) v prostoru

Statistická teorie staví na výše zmíněných předpokladech a zjednodušeních, které ve skutečnosti nemusí vždy platit, ale i tak hraje důležitou roli při posuzování akustických jevů v uzavřených prostorech a její využití při návrhu. [1] [3] [10] [11]

- Geometrická akustika:

Z důvodů některých zjednodušujících předpokladů statistické teorie nemusí návrh auditoria touto metodou zohledňovat některé jevy spojené s geometrií uzavřeného prostoru a způsobu šíření zvukové energie a jejími odrazy.

Při snaze zajistit kvalitní poslechové vlastnosti uzavřeného prostoru je vedle zajištění difúzity akustického pole třeba také zohlednit nerovnoměrný příjem zvukového signálu posluchači z důvodu rozdílné vzdálenosti těchto osob od zdroje zvuku. Zejména u velkých auditorií je nutné zvukový signál směřující do zadních řad hlediště zesílit.

Toho lze dosáhnout například pomocí vhodně umístěných a zvolených reproduktorů nebo také vhodnou volbou a umístěním odrazivých ploch tak, aby směřovaly odraženou zvukovou energii především do vzdálenějších míst v hledišti.

Geometrická akustika sleduje průběh šíření a odrazů jednotlivých zvukových paprsků šířících se od jejich zdroje. Vyšetřuje jejich dráhy a časové zpoždění, se kterým do sledovaného místa dorazí.

Důležité je si uvědomit, že odražený paprsek musí zpravidla urazit mnohem delší dráhu při cestě ke sledovanému bodu, než urazí paprsek šířený od zdroje přímo k tomuto bodu. Takový paprsek pak dorazí do svého cíle s určitým časovým zpožděním ve srovnání s paprskem cestujícím přímo. Na velikosti tohoto zpoždění pak závisí subjektivní vjem přijímaného signálu. Je-li zpoždění dostatečně malé, pak je lidské ucho schopno vnímat oba tyto signály jako jeden zvuk. Pokud je však zpoždění větší, dochází pak ke zhoršování srozumitelnosti od směšování hlásek až po vznik ozvěny.

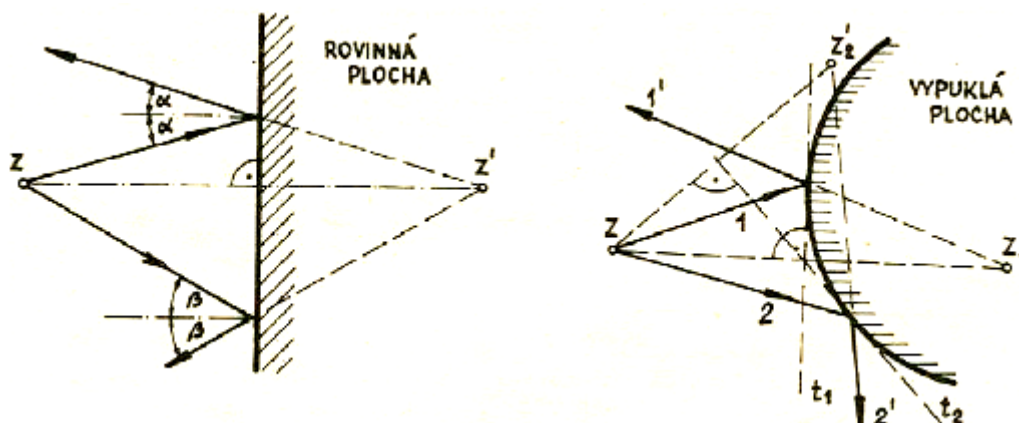
Dráhový rozdíl	Časové zpoždění	Vliv na srozumitelnost
do 10 m	do 0,03 s	Zesílení zvuku (vnímáno jako jeden zvuk)
10 m - 17 m	0,03 s - 0,05 s	Směšování hlásek
17 m - 34 m	0,05 s - 0,1 s	Ozvěna
nad 34 m	nad 0,1 s	Jednoslabičná ozvěna

Tab. č. 2 – Vliv časového zpoždění zvukového paprsku odraženého vzhledem k paprsku šířeným přímo na srozumitelnost [12]

Na druhou stranu, pokud je dráha odraženého paprsku více než třikrát delší, než dráha paprsku přímého, pak již k ovlivňování srozumitelnosti nedochází. S rostoucí vzdáleností, kterou paprsek musí urazit, totiž klesá intenzita zvuku a tedy i hlasitost.

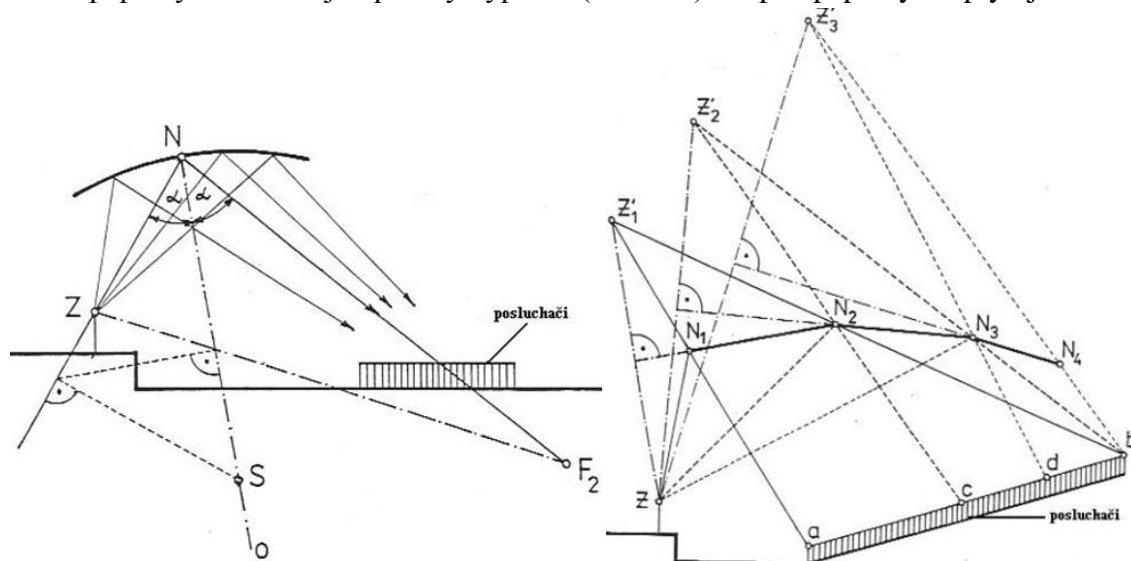
Pokud jsou odrazné plochy větší než vlnová délka zvukového vlnění, lze pro charakterizování šíření zvuku aplikovat zákony geometrické optiky. Šířící se zvukové vlnoplochy pak lze nahradit představou jednotlivých zvukových paprsků šířících se od jejich zdroje kolmo na příslušnou kulovou vlnoplochu. Lze tedy uvažovat, že paprsek dopadající na povrch se odráží stejným způsobem, jako tomu je u paprsků světelných.

Pro zvukový paprsek tedy platí obdobně jako v geometrické optice zákon o rovnosti úhlů dopadu a odrazu. Využíváme zde fiktivní zdroj Z' , což je zrcadlový obraz zdroje zvuku.



Obr. č. 2 – Metoda konstrukce odrazu dopadajícího zvukového paprsku pomocí fiktivního zdroje Z' [10]

Pro posílení zvukového signálu ve vzdálených částech publika lze využít rovinných nebo zakřivených ploch, které se umísťují zejména na strop místnosti. Vyduté (konkávní) plochy zvukové paprsky soustřeďují a plochy vypuklé (konvexní) naopak paprsky rozptylují.



Obr. č. 3 – Naznačení konstrukce odrazné plochy pro posílení zvukového signálu ve vzdálenějších částech publika [12]

Problematika prostorové akustiky je značně obsáhlá a v rámci této práce byly pouze naznačeny některé principy, metody a účely, ke kterým se dá nástrojů této oblasti prostorové akustiky využít. [10] [11] [12]

2.1.3 Používané prvky a materiály

Vhodným výběrem materiálů, jejich konstrukcí a vhodnou aplikací lze dosáhnout potřebné snížení doby dozvuku a celkové poslechové kvality daného prostoru.

Pojem pohlcování zvukové energie spočívá v přeměně zvukové energie na jiný druh energie, zejména energii tepelnou. Schopnost materiálu pohlcovat zvuk vyjadřuje činitel zvukové pohltivosti α (-), který je závislý na kmitočtu a směru dopadu zvukového paprsku.

Při výběru vhodných materiálů a prvků je třeba se řídit nejen požadavky akustickými, ale také je třeba zohlednit požadavky estetické, hygienické nebo třeba požadavky požární bezpečnosti.

Akustické prvky a materiály lze z hlediska mechaniky pohlcování zvuku rozdělit na:

- Porézní a vláknité materiály
 - Obklady na rezonančním principu
 - Zavěšená akustická tělesa
 - Rozptylové prvky – difuzéry
- Porézní a vláknité materiály:

Jedná se o materiály pevného skupenství obsahující velké množství vzduchových dutinek (pórovitost 80% až 90%), které jsou vzájemně propojeny. Pohltivost závisí na pórovitosti, tloušťce materiálu případně i tloušťce vzduchového polštáře. U desek pevně přichycených k podkladu je hodnota činitele zvukové pohltivosti na nízkých kmitočtech poměrně malá a pro výraznější pohlcování na těchto kmitočtech by bylo třeba velkých tloušťek materiálů. Výhodnější je tedy umístit materiál v určité vzdálenosti od stěny (podkladu). Činitel zvukové pohltivosti α (-) dosahuje maximální hodnoty při vzdálenosti od podkladu o hodnotě $\frac{1}{4}$ případně $\frac{3}{4}$ vlnové délky λ (m).

Do této kategorie lze zařadit výrobky ze skelných a minerálních vláken, textilie, stříkaná vlákna atd.

- Obklady na rezonančním principu:

Tyto obklady lze rozdělit na kmitající membrány a desky nebo dutinové rezonátory. Desky po dopadu zvukové vlny kmitají nucenými kmity na uzavřeném vzduchovém polštáři. Maximálních hodnot pohltivosti dosahují na tzv. rezonančním kmitočtu – kmitočet, kterému odpovídá maximální hodnota amplitud nucených kmitů.

Do dutin se běžně vkládá tlumící vložky z porézních materiálů, bez kterých dochází k pohlcování zvuku jen v úzkých pásmech.

Kmitající membrány a desky:

Jedná se o tenké fólie (koženka, PE fólie atd.) nebo desky (pružně uložené dřevovláknité materiály, překližky a plechy) na dřevěném nebo kovovém roštu, kterým je určena tloušťka vzduchového polštáře.

Dutinové rezonátory:

Jedná se o pohlcovače Helmholtzova typu tvořeny dutinou, jejíž hrdlo (tvar válce nebo hranolu) propojuje vzduchovou dutinu s prostorem místnosti. Nejčastěji se jedná o tvárnice rezonátory a děrované desky.

- Zavěšené akustické tělesa:

Jsou to prostorové objekty (hranoly, desky, válce, kužely atd.) vyrobené z porézních materiálů (většinou vyztužené) nejčastěji zavěšené na stropní konstrukci. Vlivem velké pohltivosti těchto těles dochází k ohybu zvukové vlny, takže činitel zvukové pohltivosti vztažený na jednotku plochy tělesa dosahuje i hodnoty větších jak 1. Při zvýšení počtu těles dojde ke zmenšení prostoru pro ohyb zvukových vln a tedy i jejich účinnosti.

- Rozptylové prvky - difuzéry:

Jsou to prvky s vhodnou reliéfní úpravou (jehlany, lomené nebo vypouklé plochy). Účinné jsou tzv. RPG (Reflection Phase Grating – odrazová fázová mřížka) prvky fungující na principu tzv. akustické difrakční mřížky. Účinnost závisí na jeho rozměrech vzhledem k délce dopadajících vln.

Na současném trhu lze pro potřeby prostorové akustiky nalézt velké množství produktů a materiálů a návrh úprav se může poměrně snadno přizpůsobit estetickým požadavkům interiéru.[10] [11]

Při návrhu akustických úprav v rámci této práce byly zvoleny tyto akustické materiály:

Texaa Stereo Panel

Jedná se o akustické zavěšené panely ze zvukově pohltivé pěny v různých velikostech, vyztužené kovovým rámem a s povrchovou úpravou ze zvukově transparentní textilie Texaa Aeria ve 24 barevných variantách.

Panely mohou být použity individuálně nebo v kombinaci vytvářet linie a vzory nebo spojené dohromady vytvářet plovoucí pohled různých velikostí (clouds). Zavěsit je lze pomocí svislých nebo vodorovných ocelových táhel s kotevními prvky, přišroubovány nebo nasazeny (clipped) na stěny a stropy, případně upevněny ke svislým kovovým povrchům pomocí magnetů. V případě potřeby lze panely snadno demontovat. [13]



Texaa Vibrasto 10

Jedná se o měkké ohebné akustické obklady stěn. Vibrasto je vyrobeno ze zvukově pohltivé pěny ve formě pásu tloušťky 10 a 20 mm s povrchovou úpravou ve formě zvukově transparentní textilie Texaa Aeria ve 24 barevných variantách.

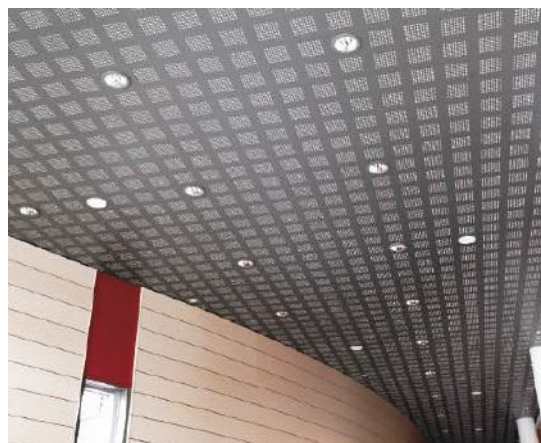
Tyto pásy lze k podkladu kotvit nebo lepit. Díky své ohebnosti je lze aplikovat i na zakřivené nebo lomené plochy. Vibrasto lze také využít jako závěsy prosklených ploch ve formě tenkých pásů nebo opticky oddělovat části interiéru. [13]



Rigips Gyptone BIG Quattro 42

Jedná se o perforované velkoformátové sádkartonové desky určené k vytvoření bezspárého akustického podhledu s vysokou pohltivostí zvuku. Tyto desky lze využít i na stěny, čímž je možno zachovat jednotný design prostoru a dosáhnout tak ještě většího snížení doby dozvuku.

Řada Quattro se vyznačuje čtvercovými otvory uspořádanými tak, že vytvářejí na hotovém podhledu symetrické děrované plochy. Rubová strana desek je opatřena akusticky účinnou netkanou textilií šedé barvy. Lícová strana lze přemalovat válečkem na libovolnou barvu. Barva se však nesmí nanášet stříkáním, aby nedošlo ke znehodnocení textilie a tím i k negativnímu ovlivnění akustických vlastností. Desky se montují na rošt z R-CD profilů, spáry desek se tmelí. [14]



2.1.4 Sledované parametry

Kromě doby dozvuku T se sledují i další akustické veličiny, které často mnohem lépe korelují se subjektivním vnímáním poslechové kvality a vnímáním mluveného slova a hudby.

Podrobněji budou popsána pouze kritéria, která byla sledována v rámci této práce při návrhu akustických úprav víceúčelového kulturního sálu. Čerpáno z literatury [9] [1]

- Časová a frekvenční kritéria:

Doba dozvuku T : více v kapitole 2.1.1 a 2.1.2.

Počáteční doba dozvuku EDT (Early Decay Time):

Lépe koreluje s vnímaným dozvukem místnosti, než doba dozvuku T . Vyjadřuje čas, za který klesne hladina akustického tlaku o počátečních 10 dB. Je určena směrnici b , proloženou ozvukovým poklesem $D(t)$ v úseku mezi hladinami $D = -5$ dB až $D = -15$ dB.

Další časová kritéria: *Míra hlubokých tónů BR (Bass Ratio)*, *Míra vysokých tónů HFR (High Frequency Ratio)*. Více v [9]

- Energetická kritéria:

Míra jasnosti C_{80} :

Kritérium pro hudbu (definováno pro 1000Hz) je definováno 10 násobkem dekadického logaritmu poměru zvukové energie do 80ms a po 80ms, $p(t)$ je impulsová odezva.

$$C_{80} = 10 \log \frac{\int_0^{80ms} p^2(t) dt}{\int_{80ms}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \log \frac{E_{80}}{E_{\infty} - E_{80}} \quad (dB)$$

Představuje zatím nejlepší korelát poslechového atributu „jasnost“ pro časové rozlišení tónů v rychlých hudebních pasážích. Optimální hodnoty jsou obecně 1 ± 2 dB. Romantická hudba (-2 dB až $+4$ dB), klasická a moderní hudba (0 dB až $+6$ dB). Maximální rozptyl by se měl pohybovat u hodnoty ± 3 dB.

Doporučené rozsahy hodnot pro jednotlivé hudební žánry:

- 0 ± 2 dB varhanní hudba, dechové nástroje, pomalejší tempo
- 2 ± 2 dB smyčcové nástroje, instrumentální hudba, sborový zpěv, rychlejší tempo
- 4 ± 2 dB drnkací a trsací nástroje, folková a lehká populární hudba, tempo rychlejší
- 6 ± 2 dB nástroje s perkusním průběhem, rock and roll a současná moderní hudba

V žádném místě poslechové zóny by neměla být překročena hodnota 8 dB.

Síla zvuku G (Strength of arriving energy):

Udává míru hlasitosti, nejvíce odpovídá subjektivnímu parametru hlasitost.

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{\infty} p^2(t) dt}{\int_0^{\infty} p_A^2(t) dt} = 10 \log \frac{E_{80}}{\int_0^{\infty} p_A^2(t) dt} \quad (dB)$$

kde $p_A(t)$ je impulsová odezva snímaná ve volném poli (přímý zvuk) v referenční vzdálenosti 10m od všesměrového zdroje zvuku. Jednočíselný údaj je však zcela nedostatečný. Ve světě jsou užívány míry hlasitosti : G_L , G_{EL} , G_M , G_{EM} , G_H , G_{EH} , přičemž indexy vyjadřují:

- L(low) - prostý průměr pro oktávová pásma se středními kmitočty 125 a 250 Hz
- M (mid) - prostý průměr pro oktávová pásma se středními kmitočty 500 a 1000 Hz
- H – prostý průměr pro oktávová pásma se středními kmitočty 500 a 4000 Hz
- E – integrační meze $t_1 = \infty$ a $t_2 = 80$ ms

$$G = 10 \log \frac{\int_0^{t_1} p^2(t) dt}{\int_0^{t_2} p_A^2(t) dt} \quad (dB)$$

Optimální rozmezí pro hodnoty G_{mid} je $+4$ dB až $+5,5$ dB. Pro rychlé zjištění hodnoty míry hlasitosti lze použít zjednodušený vztah : $G_{pred.} = 10 \log (T_{60}/V) + 45$

Míra jasnosti C_{50} :

Kritérium srozumitelnosti pro řeč. Dána poměrem energie přicházející do 50 ms k energii přicházející po 50 ms.

$$C_{50} = 10 \log \frac{\int_0^{50\text{ms}} p^2(t) dt}{\int_{50\text{ms}}^{\infty} p^2(t) dt} = 10 \log \frac{E_{50}}{E_{\infty} - E_{50}} \quad (\text{dB})$$

Její hodnoty by měly být vždy větší než 0 dB.

Zřetelnost D_{50} (Objective clarity): Obdoba kritéria C_{50} . Více v [9]

Čas těžiště impulsové odezvy t_s (Center Time): Obdobné využití jako C_{80} . Více v [9]

Další energetická kritéria: *Míra přímého zvuku C_7 , Míra doznívání H (Reverberation Measure), InterAural Cross correlation Coefficient IACC, Lateral Energy Fraction LF, Initial Time Delay Gap ITDG, Echo Criterion EK, Akustická podpora pódia ST (Stage Support Factor).* Více v [9]

Některé akustické vlastnosti jsou vyjádřeny vícero kritérií, a proto je zbytečné sledovat všechna tato kritéria. Např. kritéria C_{50} a D_{50} , nebo C_{80} a T_s mají obdobné využití a je proto zbytečné určovat obě tato kritéria pro danou akustickou vlastnost místnosti.

Většina veličin se určuje z kvadrátu impulsové odezvy získaného na základě akustického měření nebo počítačové simulace.

Podrobněji o výše vypsaných akustických kritériích se lze dočíst v [9] nebo [1]

2.1.5 Využití specializovaného software

Vzhledem ke komplexnosti chování akustické energie v geometricky složitých prostorech je vhodné využít specializovaný software pro navrhování a posuzování.

Na trhu lze nalézt několik více či méně propracovaných programů zabývajících se prostorovou akustikou. Vzhledem k tomu, že pro vypracování této práce byl využit program Odeon Room Acoustics, bude následující část věnována právě tomuto programu.

ODEON Room Acoustics Program

Jedná se o SW vyvinutý pro simulování akustiky v interiérech budov. Výpočetní algoritmus spočívá ve využití metody zrcadlového (fiktivního) zdroje v kombinaci s tzv. trasováním paprsků (Ray tracing). Jeho využití spočívá především u operních a koncertních sálů, divadel, kostelů, otevřených kanceláří, restaurací, hudebních studií, podzemních železničních stanic, letištních terminálů, ale i průmyslová a venkovní prostředí se složitou geometrií.

Program umožňuje import modelů z jiných 3D programů stejně tak jako umožňuje tvorbu modelů přímo. Odeon obsahuje vlastní rozsáhlou databázi změřených činitelů zvukové pohltivosti různých materiálů a umožňuje uživateli i definovat a přidávat materiály vlastní.

Odeon nabízí široké spektrum nastavení parametrů výpočtu, materiálové charakteristiky, definování parametrů zvukových zdrojů a mnoho uživatelských nástrojů.

Program Odeon dokáže počítat mnoho akustických veličin v definovaných bodech nebo jejich průběh ve zvolené ploše. Uživatel má možnost výběru z mnoha grafických výstupů vypočtených akustických parametrů, na základě kterých je mnohem snazší provádět potřebné úpravy návrhu a prezentace výsledků. Funkce Auralizace umožňuje poslech definovaných zdrojů (například celý orchestr) v libovolném bodě v místnosti a získat tak představu jak bude daný druh zvuku znít v různých místech poslechové zóny.

Za pomoci tohoto programu bylo navrženo mnoho známých koncertních a operních sálů po celém světě prokazující spolehlivost výsledků při správné a zkušené práci s tímto programem. [6] [15]

2.2 MĚŘENÍ A HODNOCENÍ V PROSTOROVÉ AKUSTICE

2.2.1 Metody měření

V prostorové akustice se využívá měření pro zjištění akustických parametrů uzavřených a částečně uzavřených prostor v případech, kdy je současný stav nevyhovující a je potřeba provést návrh akustických úprav, dále se provádí kontrolní měření po provedení navrhovaných úprav nebo k získání hodnot pro posouzení poslechových kvalit hudby a mluveného slova v různých místech poslechové zóny.

Metodikou měření se zabývá norma ČSN EN ISO 3382-2 [17] pro běžné prostory. Měřením v prostorech určených k přednesu hudby a řeči se zabývá norma ČSN EN ISO 3382-1 [16].

- Přístrojové vybavení:

Zdroj zvuku se používá pokud možno co nejvíce všesměrový. Účelem je vybudit takovou hladinu akustického tlaku, ze které lze získat křivky poklesu o požadovaném rozsahu bez vlivu hlukem pozadí. Podle druhů měření a měřené veličiny jsou na zdroj v [16] specifikovány požadavky na minimální hladinu akustického tlaku nad hladinu akustického tlaku pozadí, kterou je zdroj schopen vybudit.

Mikrofony, záznamníky a analyzátory se používají pro záznam sledovaných parametrů. Používají se všesměrové mikrofony jejichž výstup je veden buď do systému pro zobrazení křivek poklesu, do analyzátoru pro odvození impulsových odezev nebo do záznamníku pro pozdější analýzu.

- Místa měření:

Pozice zdroje se má volit tak, aby byly postižena charakteristická místa, kde se vyskytují přirozené zdroje zvuku. Pozice zdroje musí být voleny minimálně dvě. Výška středu zdroje se volí 1,5m nad podlahou.

Mikrofony mají být situovány do míst, kde se budou běžně nacházet posluchači. Vzdálenost mikrofonů od sebe by měla být minimálně polovinu vlnové délky (obvykle asi 2m).

Vzdálenost mikrofonů od nejbližších odrazivých povrchů (stěn, podlah) by měla být minimálně čtvrtina vlnové délky (obvykle 1m). Jejich výška nad podlahou by měla u sálů pro poslech hudby a řeči být 1,2m, což odpovídá výšce ucha běžné sedící osoby.

Rozložení mikrofonů by mělo postihnout všechny možné výraznější rozdíly a jevy v sále.

- Metody měření:

ČSN EN ISO 3382-1 [16] popisuje dvě metody měření:

Metoda přerušného šumu

Jako zdroj se využívá reproduktor s přiváděným signálem odvozeným z širokopásmového náhodného nebo pseudonáhodného elektrického šumu. Zdroj musí být schopný vybudit dostatečnou hladinu akustického tlaku nad hlukem pozadí dle [16]. U inženýrské a přesné metody musí být doba buzení alespoň několik sekund a ne méně než polovina doby dozvuku, aby bylo dosaženo ustáleného stavu před vypnutím zdroje. Více v [16].

Metoda integrované impulsové odezvy

Zdroj impulsu (například výstřel z pistole, šumové pulsy atd.) musí být schopen vybudit dostatečnou špičkovou hladinu akustického tlaku k zajištění začátku poklesové křivky minimálně 35 B nad hlukem pozadí (45 dB v případě měření T_{30}). Poklesová křivka se pro každé oktávové pásmo získá zpětnou integrací kvadrátu impulsové odezvy. Více v [16].

Obě metody dávají stejnou očekávanou hodnotu. Kmitočtový rozsah se volí podle účelu měření, nejméně však od 250 Hz do 2000 Hz u orientační metody a 125 Hz až 4000 Hz u inženýrské a přesné metody. [16] [17]

2.2.2 Hodnocení a porovnání s legislativou

Pro návrh a hodnocení vnitřních uzavřených a částečně otevřených prostor platí skupina legislativních dokumentů, mezi které patří i tyto základní normy využité pro vypracování této práce:

ČSN 73 0525 – Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady [1]

ČSN 73 0527 – Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely [2]

ČSN 73 0525 stanovuje obecné zásady pro projektování v oboru prostorové akustiky a postup výpočtu doby dozvuku. ČSN 73 0527 stanovuje hlavní zásady pro projektování prostorů pro kulturní a veřejné účely včetně stanovení optimální doby dozvuku pro různé účely místnosti.

Výše zmíněné normy stanovují požadavky na tvarové řešení místnosti, její objem nebo optimální doby dozvuku T_0 (s) a přípustné rozmezí poměru naměřené (vypočítané) doby dozvuku T (s) a optimální doby dozvuku T_0 (s) podle účelu místnosti.

Naměřená nebo vypočítaná doba dozvuku T (s) na jednotlivých středních kmitočtech oktávových pásmem se prověřuje ve vztahu k optimální době dozvuku T_0 (s) pomocí příslušného přípustného rozmezí hodnot T/T_0 .

Tento přípustný poměr a hodnota T_0 je pro daný účel místnosti uveden v příloze A normy. Přestože je optimální doba dozvuku významným kritériem poslechové kvality sálu, existují i další objektivní kritéria, která mnohdy lépe korelují se subjektivním atributem kvality poslechu hudby a mluveného slova. Norma [1] uvádí stručný výpis některých z těchto dalších akustických kritérií odvozených z impulsové odezvy a jejich optimální hodnoty. [1] [2]

Podrobněji se některým z těchto kritérií zabývá kapitola 2.1.4 této práce.

3 CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

3.1 KONCEPCE CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

3.2 ZVOLENÉ METODY

3.1 KONCEPCE CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Hlavním cílem této diplomové práce je návrh vhodných akustických úprav a opatření víceúčelového kulturního sálu v Karviné. Především se jedná o snížení doby dozvuku sálu na hodnoty optimální pro poslech hudby a mluveného slova. Kromě doby dozvuku je potřeba se zaměřit i na další akustická kritéria, která jsou neméně důležitá a mnohdy i více relevantní subjektivnímu vnímání poslechových kvalit sálu.

Kromě doby dozvuku se tedy jedná především o srozumitelnost řeči, míru jasnosti u poslechu hudby, počáteční dobu dozvuku nebo míru hlasitosti. Cílem je tedy dosáhnout pokud možno co nejoptimálnějších hodnot těchto kritérií při uvážení požadavků všech uvažovaných stavů (prázdný sál, obsazený sál, obsazení pouze účinkujícími).

Vzhledem k reprezentativní a kulturní povaze sálu nutno do celkového konceptu úprav zahrnout i hledisko estetické. Při návrhu je také nutno dbát požadavků požární bezpečnosti, hygienických požadavků a požadavků snadné údržby.

V rámci práce budou taktéž navrženy stavební úpravy prostor pro návštěvníky a zázemí jeviště a účinkujících. Navrženo bude vnější zateplení objektu a návrh nové skladby střešních pláštů. V neposlední řadě bude taktéž navrženo nucené větrání sálu s rekuperací pomocí vzduchotechnické jednotky a také návrh nové nosné konstrukce jedné ze střeš.

3.2 ZVOLENÉ METODY

Pro návrh akustických úprav byly zvoleny 2 výpočtové metody. Prvotní návrh celkového konceptu úprav bude proveden ručním výpočtem statistickou metodou za pomoci programu Microsoft Excel.

Na základě tohoto návrhu pak bude vytvořen 3D model sálu s navrhovanými úpravami, se kterým pak bude dále pracováno s pomocí specializovaného software pro potřeby prostorové akustiky ODEON Room Acoustics Program.

Po nalezení optimálního konceptu úprav pak následně bude upraven i ruční výpočet, aby bylo možné porovnat výsledky obou metod a taktéž byla zajištěna korektnost návrhu.

Před samotným návrhem za pomoci programu Odeon bude pro potřeby „kalibrace“ výpočtového modelu navrhovaných úprav na základě dostupné dokumentace vytvořen 3D model původního stavu sálu, ze kterého se pak bude vycházet při modelování navrhovaného stavu.

4 POUŽITÉ METODY ZPRACOVÁNÍ

4.1 ZHODNOCENÍ PŮVODNÍHO STAVU

3.2.1 Víceúčelový sál

4.1.1 Přidružené a pomocné prostory, prostory pro veřejnost

4.2 DOSTUPNÉ PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ

4.2.1 Zaměřený objekt a sál

4.2.2 Změřená doba dozvuku sálu

4.2.3 Fotodokumentace

4.3 ZPRACOVÁNÍ A NÁVRH VHODNÝCH OPATŘENÍ

4.3.1 Zpracování naměřených dat

4.3.2 Porovnání s platnou legislativou

4.3.3 Návrh vhodných opatření

4.4 NÁVRH ÚPRAV ZA POMOCÍ SPECIALIZOVANÉHO SOFTWARE

4.4.1 Vytvoření počítačového modelu původního stavu

4.4.2 Import modelu do programu Odeon, testování korektnosti modelu

4.4.3 Rozmístění vysílačích a přijímacích bodů

4.4.4 Materiálová specifikace jednotlivých povrchů

4.4.5 Výpočet a jeho nastavení

4.4.6 Vytvoření modelu s navrhovanými úpravami

4.4.7 Výpočet posuzovaných parametrů

4.1 ZHODNOCENÍ PŮVODNÍHO STAVU

4.1.1 Víceúčelový sál

- Technický stav místnosti:

Sál je využíván pro různorodé kulturní, přednáškové a zábavné akce pro veřejnost. Obsazení sálu bývá různé, podle druhu konané akce. Nejvyšší počet je 300 osob.

Sál má celkem 2 podlaží, přičemž druhé podlaží je tvořeno pouze balkóny po obvodu sálu. Celková světlá výška sálu je 5,936m, v místě balkónů je světlá výška 3,105m v prvním a 2,5m ve druhém podlaží. Půdorysné rozměry sálu jsou 20,96m x 19,78m. Balkóny jsou přístupné z chodby v druhém podlaží, nikoliv však z prvního podlaží v rámci sálu. Sál je spojený s prostorem jeviště a jevištního zázemí. Oddělení je řešeno pomocí opony.

Stěny sálu jsou zděné, balkóny a jejich podpurné sloupy jsou železobetonové, zábradlí balkónů jsou zděné. Strop je tvořen sádrokartonovým podhledem a ve střední části nad galerií je ze sádrokartonových desek vytvořen difuzér, který je zapuštěn do podhledu tak, že lícuje s povrchem okolního podhledu. Jeden segment difuzéru je nahrazen větrací mřížkou. Nad podhledem se nachází dřevěný krov, do kterého je kotvena nosná konstrukce podhledu. V obou podlažích jsou v delších obvodových stěnách okenní otvory. Pódium přiléhající k prostoru jeviště je vysoké 0,95m, obložené dřevotřískovými deskami potaženými tkaninou. Jevištní otvor má rozměry 7m x 3,635m .

Nášlapná vrstva v prvním podlaží je tvořena dřevěnými parketami, v prostoru jeviště a pódia je tvořena kobercem. Nášlapná vrstva balkónů je tvořena také kobercem. Celá čelní stěna včetně prostoru pódia je obložena deskami na bázi dřevotřískového obkladu bez podkladního roštu. Stejným způsobem je obložena i zadní stěna u vstupů na zadní balkónky a vnitřní strana balkónových zábradlí. Pouze čelní stěna v oblasti balkónů (tedy po levé a pravé straně od pódia) je tvořena před-stěnou z těchto dřevotřískových obkladů. V prvním podlaží jsou pod okny umístěné litinové žebrové otopné tělesa. V prvním podlaží jsou umístěné osvětlovací pásy zapuštěné ve spodním líci balkónů a zakryté plastovým krycím sklem. V druhém podlaží jsou tyto pásy umístěné v podhledu nad balkóny.

- Zhodnocení povrchových úprav z hlediska prostorové akustiky:

Nejvýznamnějším prvkem z hlediska akustiky je stropní difuzér umístěný nad galerií mezi balkóny, který je vytvořen ze sádrokartonových desek. Jednotlivé segmenty difuzéru mají rozměr přibližně 1,5m x 1,5m. Dále jsou zde koberce jako nášlapné vrstvy balkónů a pódia. Stěny jsou na některých místech obloženy obkladem na bázi dřevotřískových desek bez podkladního roštu. Nášlapnou vrstvu v prvním podlaží tvoří dřevěné parkety.

Podrobnější rozměry a geometrie sálu lze najít ve výkresech zaměřeného původního stavu viz. přílohy ve *Složce B(přípravné práce a podklady)*. Fotodokumentace sálu viz. *kapitola 4.2.3.a Příloha č.2* .

4.1.2 Přidružené a pomocné prostory, prostory pro veřejnost

Hlavní vstup, vstupní a shromažďovací prostory pro veřejnost jsou situovány do třípodlažní části objektu přístupné z místní komunikace. V této části se nachází vstupní hala (předsálí) v prvním nadzemním podlaží, ze které je přístupný sál. Ve druhém podlaží se nachází předsálí, ze kterého je přístupný sál (balkóny) a také společné WC pro muže a ženy. Ve třetím podlaží se nachází skladovací prostory a je zde přístup do prostoru krovu. V prvním podlaží této části objektu se také nachází vinárna s odděleným vchodem.

Za sálem se nachází dvoupodlažní část objektu, ve které jsou situovány pomocné a skladovací prostory a dále zázemí pro zaměstnance a účinkující. Tato část má samostatný vstup a je propojena se sálem skrze prostory jeviště a také bočními dveřmi.

Podrobnější popis včetně výkresů stávajícího stavu viz. přílohy *Složky B (přípravné práce a podklady)*.

4.2 DOSTUPNÉ PODKLADY PRO ZPRACOVÁNÍ

4.2.1 Zaměřený objekt a sál

Jeden z podkladů pro vypracování této práce byly studie zaměřeného stávajícího stavu objektu. Výkresy stávajícího stavu lze nalézt jako přílohy ve *složce B (práce a podklady)*.

4.2.2 Změřená doba dozvuku sálu

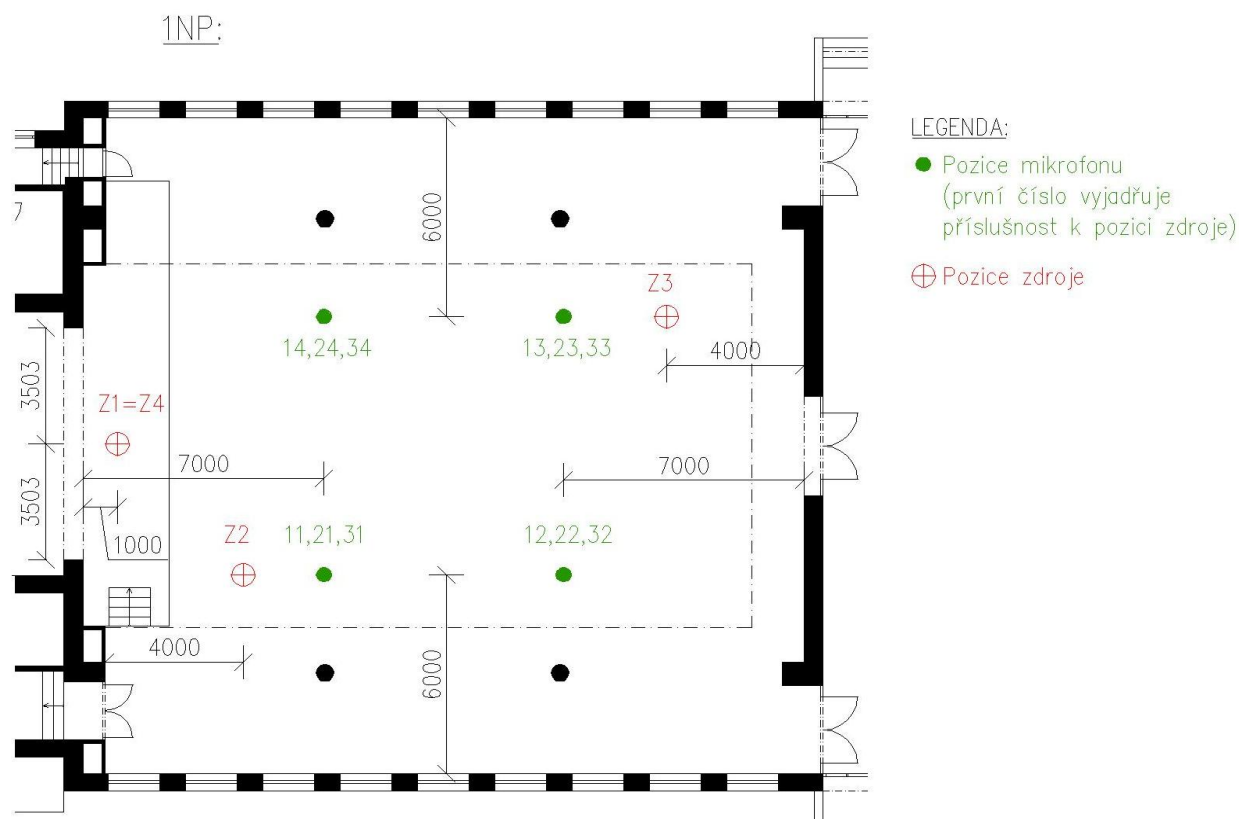
Jako podklad pro zpracování této práce byly poskytnuty vedoucí diplomové práce výsledky měření doby dozvuku v posuzovaném sále. Podrobnosti o průběhu měření viz. příloha *Protokolu o měření*, který lze nalézt ve *složce B (přípravné práce a podklady)*.

- Pozice zdroje a mikrofonu:

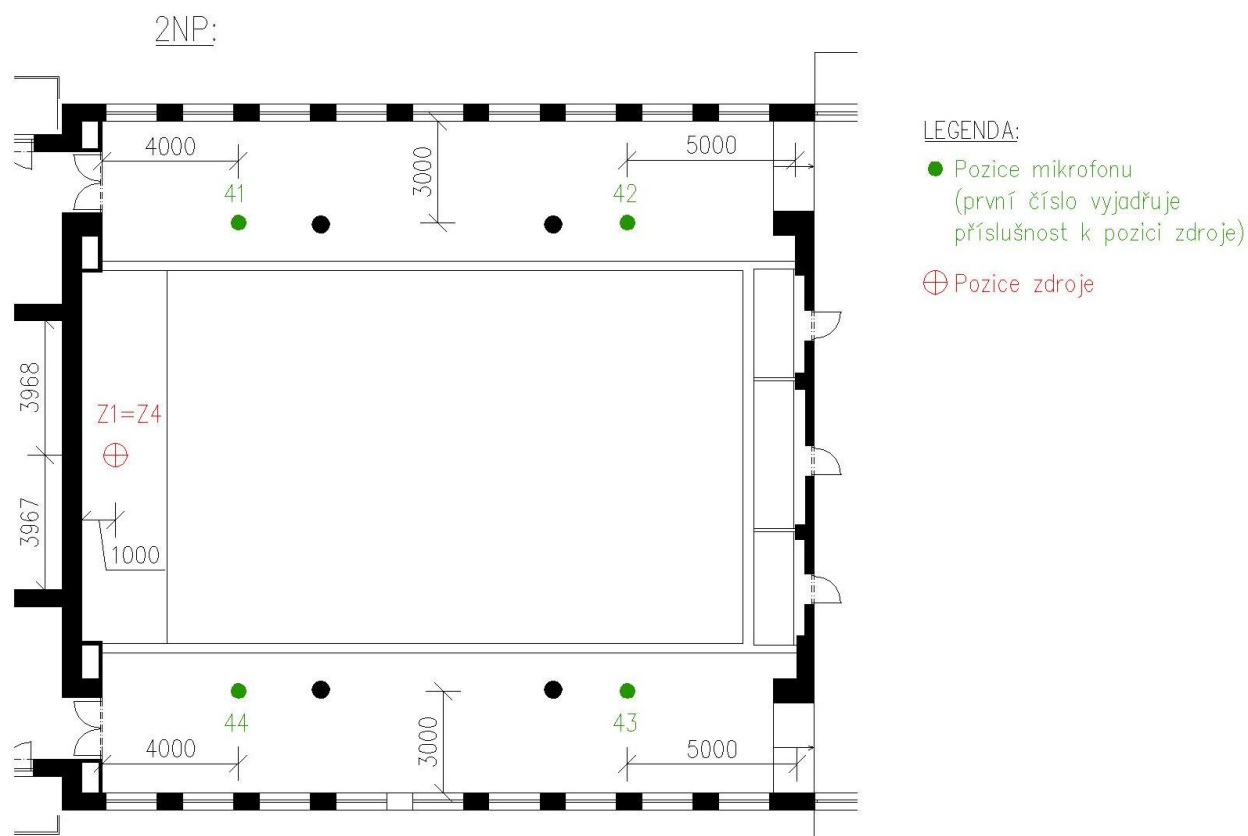
Pozice zdroje zvuku byly celkem 4 (Z1 až Z4) a pro každou pozici zdroje bylo 4-5 pozic mikrofonu.

Níže je uvedeno schéma jednotlivých pozic zdrojů a mikrofonů v 1NP a 2NP. Zdroj byl vždy umístěn ve výšce 1,5 m a mikrofon ve výšce 1,2 m.

Vzhledem ke stejné pozici mikrofonu pro různé pozice zdroje je označení pozic mikrofonu v podobě dvouciferného čísla, kde první číslice vyjadřuje příslušnost k pozici zdroje a druhá číslice vyjadřuje pozici mikrofonu. Celkově bylo provedeno 20 měření.



Obr. č. 4 – Schéma pozic zdroje a mikrofonu v 1NP [autor na základě protokolu o měření]



Obr. č. 5 – Schéma pozic zdroje a mikrofonu v 2NP [autor na základě protokolu o měření]

- Doba dozvuku:

Doba dozvuku T_{20} [s] byla stanovena z měření 20 dB poklesu (-5dB až -25dB) vybuzené hladiny akustického tlaku. Měření bylo provedeno v 1/3 oktávy a hodnoty lze nalézt v *Příloze č.1*.

Průměrná doba dozvuku v celých oktávách je uvedena v následující tabulce.

Frekvence f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
Doba dozvuku T_{20} (s)	2,01	2,09	2,32	2,55	2,28	1,62

Tab. č. 3 – Doba dozvuku T_{20} v celých oktávách [autor na základě protokolu o měření]

4.2.3 Fotodokumentace

Při zpracování této práce bylo využito i fotografií, zejména při zpracovávání počítačového modelu sálu. Zde jsou uvedeny 2 fotografie sálu, zbytek lze nalézt v *Příloze č.2*.



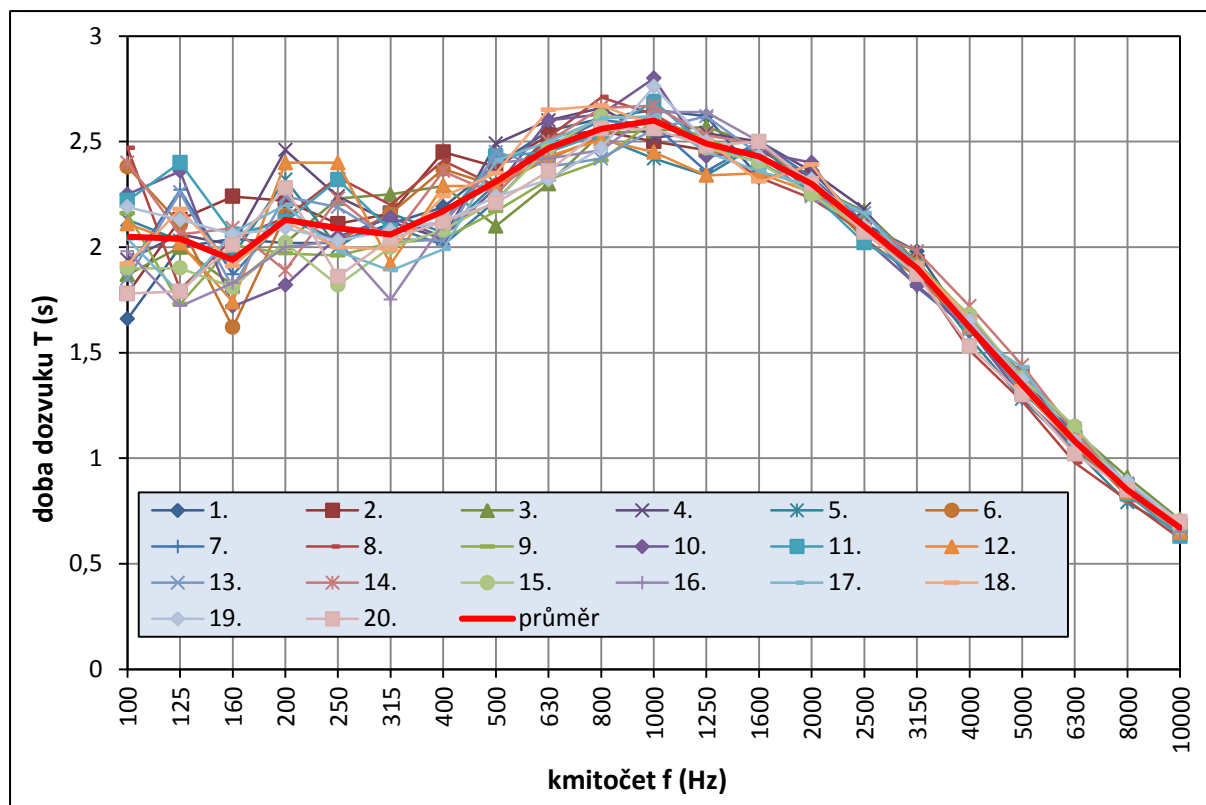
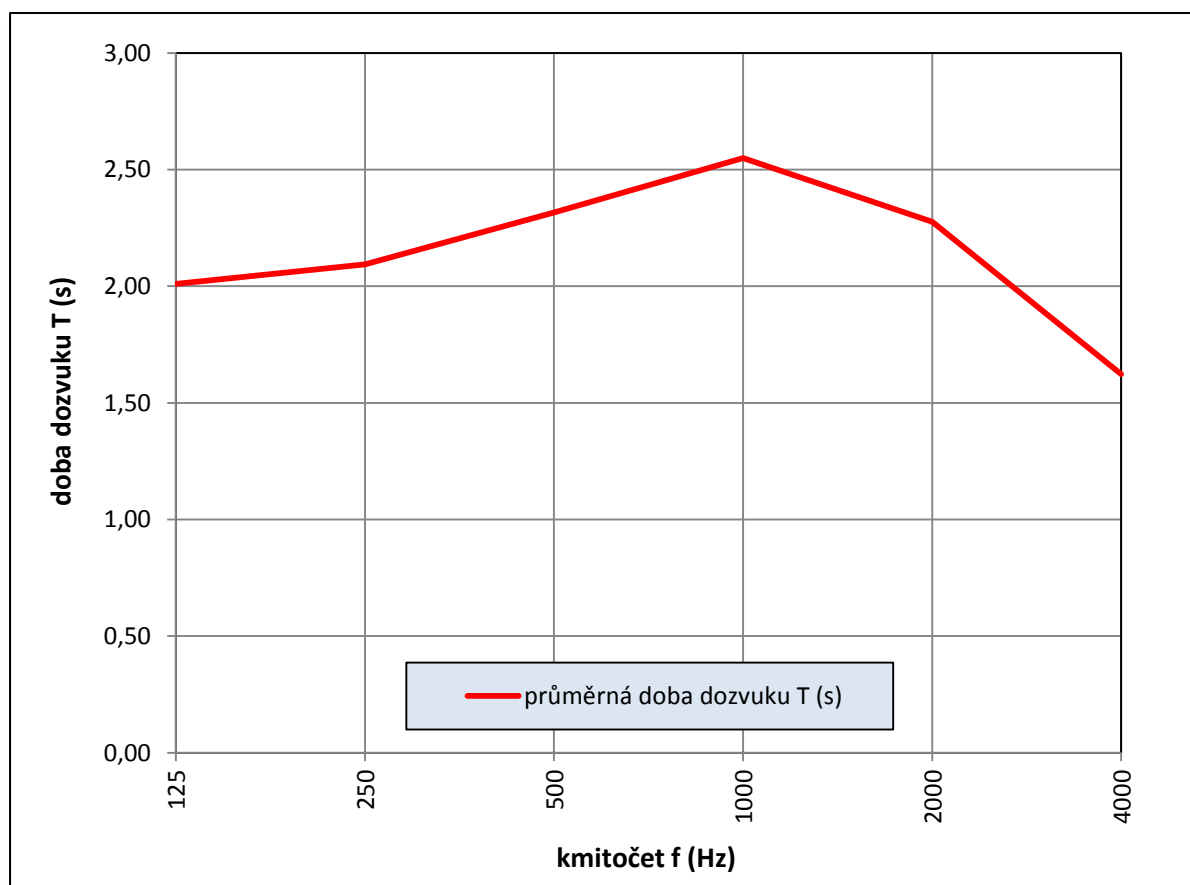
Obr. č. 6 a7 – Fotografie původního stavu sálu [Ing. Dagmar Donatáková]

4.3 ZPRACOVÁNÍ A NÁVRH VHODNÝCH OPATŘENÍ

4.3.1 Zpracování naměřených dat

Už při vizuálním pohledu na sál a jeho povrchové úpravy se dalo odhadovat, že hodnoty doby dozvuku budou poměrně vysoké. V místnosti je mnoho poměrně odrazivých povrchů, zatímco akusticky pohltivých je zde velmi málo. Z naměřených hodnot doby dozvuku (viz. *Tab. č.1*) je zřejmé, že místnost nebude vyhovovat požadavkům příslušné legislativy.

Následující grafy znázorňují hodnoty doby dozvuku pro jednotlivá kmitočtová pásma. V prvním grafu lze vidět naměřené hodnoty doby dozvuku T_{20} [s] získané z jednotlivých měření v 1/3 oktávových pásmech a průměrné hodnoty ze všech měření. Druhý graf zobrazuje průměrné hodnoty doby dozvuku T_{20} [s] v 1/1 oktávových pásmech. Přesné hodnoty průměrné doby dozvuku v celých oktávách jsou uvedené v *Tab. č.3*.

Graf č. 1 - Hodnoty doby dozvuku T_{20} jednotlivých měření v 1/3 oktávových pásmech [autor]Graf č. 2 – Hodnoty průměrné doby dozvuku T_{20} v celých oktávách [autor]

4.3.2 Porovnání s platnou legislativou

- Požadavky příslušné legislativy:

Kmitočtový průběh doby dozvuku T (s) se ve vztahu k optimální době dozvuku T_o (s) prověřuje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí poměru hodnot T/T_o .

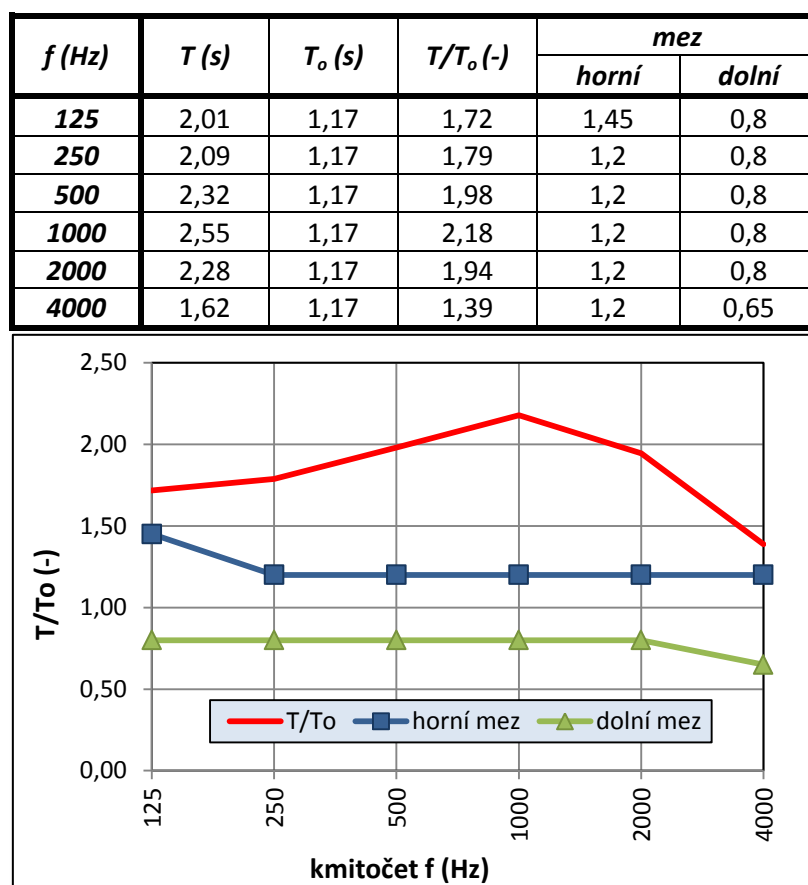
Požadavky na optimální dobu dozvuku stanovují normy ČSN 730525 [1] a ČSN 73 0527 [2]. Norma [2] stanovuje pro víceúčelové sály hodnotu závislosti optimální doby dozvuku T_o (s) na objemu V (m³) místnosti křivkou č. 2 uvedenou v „Obrázek A.1“. Tato závislost je dána následujícím vztahem.

$$[2]: T_o = 0,3582 * \log V - 0,061 \quad [s]$$

Pro objem sálu $V = 2742,94 \text{ m}^3$ je vypočítaná hodnota optimální doby dozvuku $T_o = 1,17 \text{ s}$.

Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_o v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma pro víceúčelový sál stanovuje „obrázek A.3“ [2] a jeho hodnoty lze nalézt i v „Tabulka B.1“ [2] pro hudbu a řeč.

Následující tabulka a graf znázorňují poměr naměřené a optimální doby dozvuku T/T_o ve vztahu k přípustným mezím.



Tab. č. 4 a Graf č. 3 – Poměr naměřené doby dozvuku T a optimální doby dozvuku T_o ve vztahu k přípustnému rozmezí tohoto poměru [autor]

- Zhodnocení doby dozvuku:

Z výše uvedených normových požadavků je zřejmé, že posuzovaný sál tyto požadavky nesplňuje a je nutné provést návrh vhodných akustických opatření ke snížení průběhu doby dozvuku na jednotlivých středních kmitočtech oktávových pásem.

4.3.3 Návrh vhodných opatření

Z důvodu nevyhovujícího stavu sálu bylo nutné provést návrh akustických úprav. Protože se jedná o reprezentativní prostory pro kulturní a vzdělávací účely, tak byl brán zřetel i na estetické hledisko návrhu.

Původní stav sálu se vyznačoval značně výrazným geometrickým a estetickým prvkem, který tvořil difuzér zapuštěný do stropního podhledu nad střední částí sálu-galerií. Při návrhu jsem se snažil tento prvek do jisté míry zachovat, i když za použití jiných materiálů a celkové koncepce.

- Koncepce návrhu a použité materiály a prvky:

V první řadě byly odstraněny veškeré dřevotřískové obklady stěn, parapetu balkónů a také obložení pódia. Se stropním difuzérem se také v novém návrhu nepočítá, nicméně zapuštěný prostor v podhledu byl zachován.

Původní výplně okenních otvorů byly nahrazeny novými okny s dvojsklem tl. 3mm a šířkou distančního rámečku 30mm. Z důvodu snížení hluku do okolí objektu budou tyto výplně instalovány dvě za sebou v jednom otvoru. Čtyři okenní otvory budou zazděny z důvodu přístavby schodiště.

Otvory vedoucí z balkónů na přístupovou chodbu budou zavřeny dřevěnými dveřmi. Veškeré dřevotřískové dveře budou nahrazeny novými dřevěnými. Hlavní vstupní dveře po stranách sálu v 1NP budou zazděné a dva nové dveřní otvory budou vytvořeny uprostřed, místo současných umístěných ve středu stěny. Dveře vedoucí z balkónů do salónek budou provedeny s prosklením. Zárubně budou obložkové.

Přední stěna v oblasti pódia bude obložena dřevěným obkladem ve formě desek tl. 25mm instalovaných na dřevěný rošt. Konstrukce pódia bude opláštěna ze stejných desek. Parapet bude taktéž tvořen dřevěnými deskami tl. 30mm.

Z důvodu vzduchotechnických rozvodů vedených z vnější strany balkónových stěn bude vytvořena předstěna ze sádrokartonových desek tl. 12,5mm s odsazením 360mm. Spodní líc balkónů bude zakryt podhledem ze sádrokartonových desek tl. 12,5mm a velkoformátových děrovaných sádrokartonových desek Rigips Gyptone BIG Quattro 42 (+ minerální izolace tl. 75mm, například Isover Domo) s celkovou hloubkou odsazení 100mm.

Z vnější strany balkónových stěn bude na SDK předstěnu nalepen akusticky pohltivý pěnový pás Texaa Vibrasto tl. 10mm. Tímto pásem o stejné tloušťce budou oplášťeny také sloupy balkónů. SDK předstěna v místech nalepeného Vibrasto pásu bude doplněna minerální izolací tl. 45mm (např Isover Domo).

Akusticky nejvýznamnějším prvkem budou zavěšené akusticky pohltivé panely Texaa Stereo, které budou zároveň tvořit dominantní prvek z hlediska estetického. Budou použity panely dvou rozměrových velikostí, rozmístěny v pravidelném rastru. Samotné panely se budou chovat jako akusticky pohltivé prvky, zatímco jejich rozvržení do pravidelného rastru bude do jisté míry zajišťovat funkci difúze akustické energie.

Opona bude dvojitá, samet (min. 0,65kg/m²), v červeném a černém provedení. Stěny jeviště budou zakryty závěsy ze stejného materiálu v černé barvě, 100mm od stěn.

Původní litinová žebrovaná otopná tělesa budou nahrazena deskovými.

Nášlapné vrstvy podlah zůstanou stejné, pouze dojde k výměně koberce na balkónech. Nášlapná vrstva pódia tvořena kobercem bude nahrazena dřevěnými parketami tmavě hnědé barvy.

Texaa Stereo panely:

Jedná se o pevné akusticky pohltivé panely s kovovou kostrou zaručující pevnost a stálost geometrie prvku. V návrhu byly využity 2 velikosti panelů a to 14 ks 1196x2396x50 mm a 30ks 1196x596x50 mm o celkové ploše 61,5 m². Panely budou dodány potažené akusticky transparentní tkaninou Texaa Aeria v provedení ROGUE TRAFIC MR470 (světle červená). Panely budou zavěšeny pomocí 4 svislých ocelových táhel ukončených kotevním prvkem. Táhla jsou k panelům osazována pomocí háků a umožňují tedy snadnou demontáž panelů. Odsazení panelů od konstrukce podhledu bude 300mm. Podrobné informace lze nalézt v technických listech v Příloze č.3 nebo [13].

Frekvence [Hz]					
125	250	500	1000	2000	4000
0,29	0,70	0,85	1,01	1,05	1,11

Tab. č. 5 – Činitel zvukové pohltivosti α (-) Texaa Stereo panelu při svěšení 300mm [Technické listy výrobce viz. Příloha č. 3]

Texaa Vibrasto 10:

Jedná se o akusticky pohltivý pěnový pás potažený akusticky transparentní tkaninou Texaa Aeria. Dodány budou v tl. 10mm a šířky 850mm, délky 2x 18,3m a 1x 9,71m o celkové ploše 39,36m², v barevném provedení Aeria tkaniny TRAFIC MR470 (světle červená). Pro opláštění sloupů budou pásy o max. dodávané šířce 1,5m o celkové ploše 38,11m². Pásy budou k podkladu lepeny, hrany budou překryty speciálním L profilem se stejnou povrchovou úpravou jako pásy. U opláštění sloupů budou spoje řešeny pomocí „pencil line“ spoje (viz. technický list výrobce). Podrobné informace lze nalézt v technických listech v Příloze č.4 nebo [14].

Frekvence [Hz]					
125	250	500	1000	2000	4000
0,37	0,27	0,28	0,33	0,49	0,69

Tab. č. 6 – Činitel zvukové pohltivosti α (-) Texaa Vibrasto 10mm pásu nalepeného na SDK desku s vloženou minerální izolací tl.45mm [Technické listy výrobce viz. Příloha č. 4]

Frekvence [Hz]					
125	250	500	1000	2000	4000
0,04	0,09	0,16	0,26	0,37	0,49

Tab. č. 7 – Činitel zvukové pohltivosti α (-) Texaa Vibrasto 10mm pásu nalepeného na betonový podklad [Technické listy výrobce viz. Příloha č. 4]

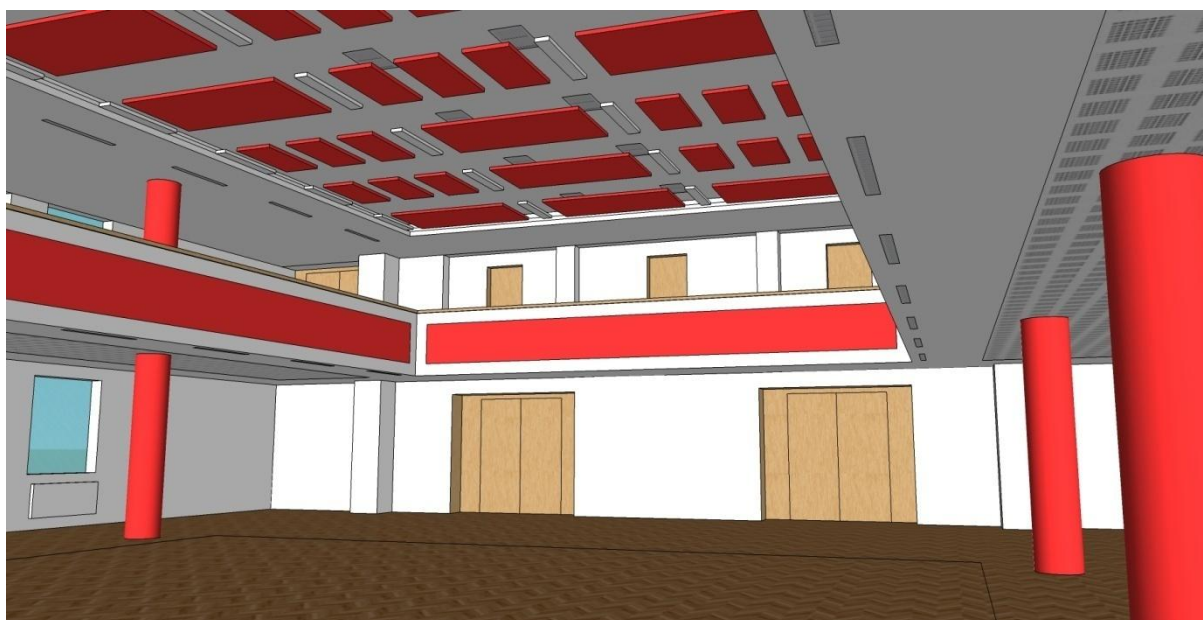
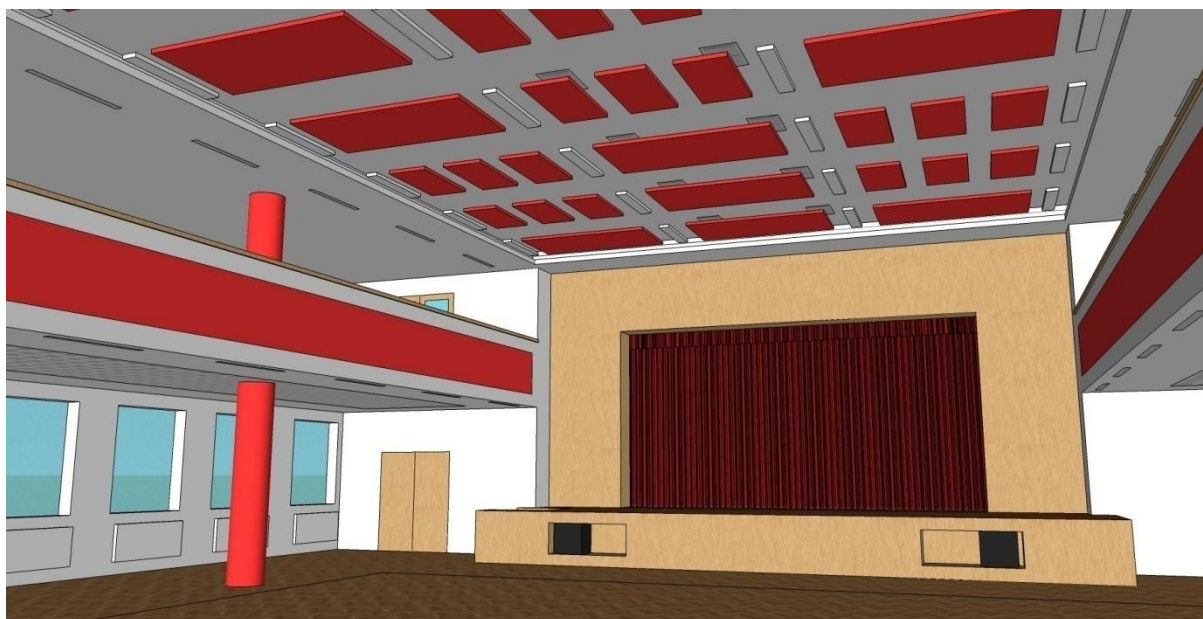
Rigips Gyptone BIG Quattro 42:

Jedná se o velkoformátové perforované sádkartonové desky, z rubové strany opatřeny netkanou textílií šedé barvy. Podíl děrované plochy je 10%. Desky budou tvořit podhled s celkovou hloubkou 100mm o celkové ploše 60,48 m² a vloženou minerální izolací tl.75mm (např. Isover Domo). Podrobné informace lze nalézt v technických listech v Příloze č.5 nebo [14].

Frekvence [Hz]					
125	250	500	1000	2000	4000
0,48	0,75	0,75	0,55	0,45	0,40

Tab. č. 8 – Činitel zvukové pohltivosti α (-) velkoformátových perforovaných SDK desek s odsazením 100mm a vloženou minerál. Izolací tl. 75mm (např. Isover Domo) [Technické listy výrobce viz. Příloha č. 5]

Podrobné informace o navrhovaných úpravách, umístění a způsobech zabudování lze získat z výkresů akustických úprav sálu, které lze nalézt ve Složce C.6.



Obr. č.8 a 9 – Jednoduchá vizualizace navrhovaných změn sálu [autor s pomocí program Google Sketchup]

- Výpočet statistickou metodou:

Jako základ pro počítačovou simulaci byl využit návrh proveden pomocí ručního výpočtu statistickou metodou. Jako vstupní hodnoty byly využity hodnoty naměřené doby dozvuku (více v kapitole 4.2.2).

Hodnoty objemu sálu $V=2742,94 \text{ m}^3$ a plochy všech povrchů $S=2468,20\text{m}^2$ byly získány z modelu původního stavu pomocí programu Odeon Room Acoustics (více v kapitole 4.4.1).

Optimální doba dozvuku je $T_0 = 1,17 \text{ s}$ (více v kapitole 4.3.2). Doporučená relativní vlhkost vnitřního vzduchu $\varphi_{ai} = 60\%$ [8].

Použité vztahy:

Pro kmitočty 125 Hz, 250 Hz a 500 Hz byl použit vztah pro výpočet doby dozvuku podle Eyringa :

$$T = 0,164 * \frac{V}{S * \alpha_E}, \quad \alpha_E = -\ln(1 - \alpha_{stř}), \quad \alpha_{stř} = \frac{A}{S}$$

Z toho vyjádřeno:

$$\alpha_E = \frac{0,164 * V}{T * S}, \quad \alpha_{stř} = -e^{-\alpha_E} + 1, \quad A = \alpha_{stř} * S$$

Pro kmitočty 1000 Hz, 2000 Hz a 4000 Hz byl použit vztah pro výpočet doby dozvuku podle Millingtona:

$$T = 0,164 * \frac{V}{S * \alpha_E + 4 * m * V} \quad \text{z toho vyjádřeno: } \alpha_E = \frac{0,164 * V / T - 4 * m * V}{S}$$

Podrobněji o použitých vztazích a jednotlivých veličinách pojednává kapitola 2.1.4.

f (Hz)	Relativní vlhkost (%)									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1000	0,0041	0,0025	0,0013	0,0012	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013
2000	0,0137	0,0095	0,0041	0,0031	0,0027	0,0024	0,0023	0,0022	0,0022	0,0023
4000	0,0297	0,0295	0,0161	0,0118	0,0094	0,0079	0,0069	0,0058	0,0058	0,0055

Tab. č. 9 – Činitel útlumu zvuku m (m^{-1}) při šíření ve vzduchu [1]

Tab. č. 10 - Ekvivalentní pohltivá plocha místnosti $A_{pův}$ (m^2):

f (Hz)	T (s)	V (m^3)	S (m^2)	α_E (-)	$\alpha_{stř}$ (-)	$A_{pův}$ (m^2)
125	2,01	2742,94	2468,20	0,09067	0,08668	213,96
250	2,09	2742,94	2468,20	0,08706	0,08338	205,80
500	2,32	2742,94	2468,20	0,07867	0,07566	186,73
1000	2,55	2742,94	2468,20	0,06614	0,06400	157,96
2000	2,28	2742,94	2468,20	0,06938	0,06703	165,45
4000	1,62	2742,94	2468,20	0,07715	0,07425	183,27

Tab. č. 11 - Optimální ekvivalentní pohltivá plocha místnosti A_{opt} (m^2):

f (Hz)	T_{opt} (s)	V (m^3)	S (m^2)	α_E (-)	$\alpha_{stř}$ (-)	A_{opt} (m^2)	$A_{pův}$ (m^2)	$A_o - A_p$ (m^2)
125	1,17	2742,94	2468,20	0,15570	0,14418	355,87	213,96	141,92
250	1,17	2742,94	2468,20	0,15570	0,14418	355,87	205,80	150,07
500	1,17	2742,94	2468,20	0,15570	0,14418	355,87	186,73	169,14
1000	1,17	2742,94	2468,20	0,15036	0,13960	344,57	157,96	186,61
2000	1,17	2742,94	2468,20	0,14503	0,13500	333,21	165,45	167,76
4000	1,17	2742,94	2468,20	0,12058	0,11359	280,37	183,27	97,10

Návrh úprav:

Čísla v závorkách () odkazují na použité materiálové charakteristiky (činitel zvukové pohltivosti α) uvedené v Tab. č. 23.

a.1) Tab. č. 12 - Svislé konstrukce – Nově vytvořené plochy:

f (Hz)	Vnější strana balkonu			Obklad ŽB sloupů			Vnější strana balkonu			
	Texaa - Vibrasto 10, podklad SDK (1)			Texaa - Vibrasto 10, podklad beton (2)			SDK deska, tl. 12,5mm, odsaz. 360mm (5)			
	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	
125	0,37	39,36	14,56	0,04	38,11	1,52	0,14	31,18	4,36	
250	0,27	39,36	10,63	0,09	38,11	3,43	0,09	31,18	2,81	
500	0,28	39,36	11,02	0,16	38,11	6,10	0,05	31,18	1,56	
1000	0,33	39,36	12,99	0,26	38,11	9,91	0,03	31,18	0,94	
2000	0,49	39,36	19,29	0,37	38,11	14,10	0,05	31,18	1,56	
4000	0,69	39,36	27,16	0,49	38,11	18,68	0	31,18	0,00	
f (Hz)	Obklad stěny (pódium)			Otopná tělesa desková			Zazděné otvory - dveře, okna			
	dřevěný obklad, tl. 25mm/50mm (16)			600 x 1400/66mm - 16ks (9)			omitnuté cihelné zdivo (11)			
	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	
125	0,19	33,59	6,38	0,01	13,44	0,13	0,03	32,81	0,98	
250	0,14	33,59	4,70	0,01	13,44	0,13	0,03	32,81	0,98	
500	0,09	33,59	3,02	0,02	13,44	0,27	0,03	32,81	0,98	
1000	0,06	33,59	2,02	0,02	13,44	0,27	0,04	32,81	1,31	
2000	0,06	33,59	2,02	0,03	13,44	0,40	0,05	32,81	1,64	
4000	0,05	33,59	1,68	0,03	13,44	0,40	0,08	32,81	2,62	
f (Hz)	Parapet - balkon			Obklad pódia			Nové otvory (výplně)			
	Dřevěný, tl. 30mm (15)			dřevěný obklad tl. 25mm (16)			Dveře – dřevěné (17)			
	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	
125	0,10	31,54	3,15	0,19	13,93	2,65	0,14	28,23	3,95	
250	0,11	31,54	3,47	0,14	13,93	1,95	0,10	28,23	2,82	
500	0,10	31,54	3,15	0,09	13,93	1,25	0,08	28,23	2,26	
1000	0,08	31,54	2,52	0,06	13,93	0,84	0,08	28,23	2,26	
2000	0,08	31,54	2,52	0,06	13,93	0,84	0,08	28,23	2,26	
4000	0,11	31,54	3,47	0,05	13,93	0,70	0,08	28,23	2,26	
f (Hz)	Nové otvory (výplně)			Odkrytá plocha			Nové otvory (výplně)			Nové plochy celkem
	Dveře dřevěné prosklen.(18)			Omitnutá stěna (11)			Výplň okenních otvorů (12)			
	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	α (-)	S (m^2)	A (m^2)	$\Sigma A_{1,u}$ (m^2)
125	0,12	6,72	0,81	0,03	67,45	2,02	0,15	84,39	12,66	53,20
250	0,08	6,72	0,54	0,03	67,45	2,02	0,05	84,39	4,22	37,71
500	0,05	6,72	0,34	0,03	67,45	2,02	0,03	84,39	2,53	34,51
1000	0,04	6,72	0,27	0,04	67,45	2,70	0,03	84,39	2,53	38,55
2000	0,04	6,72	0,27	0,05	67,45	3,37	0,02	84,39	1,69	49,95
4000	0,02	6,72	0,13	0,08	67,45	5,40	0,02	84,39	1,69	64,19

a.2) Tab. č. 13 – Svislé konstrukce - Odečet obkládaných, odstraněných a nahrazených ploch:

<i>f</i> (Hz)	Odečet zadržných otvorů			Odečet zadržných otvorů			Odečet zakryté plochy - sloupy		
	Výplň okenního otvoru (13)			Výplň dveřních otvorů (17)			ŽB sloup – omítnutý (11)		
	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)
125	0,12	10,55	1,27	0,14	22,26	3,12	0,03	38,11	1,14
250	0,08	10,55	0,84	0,10	22,26	2,23	0,03	38,11	1,14
500	0,05	10,55	0,53	0,08	22,26	1,78	0,03	38,11	1,14
1000	0,04	10,55	0,42	0,08	22,26	1,78	0,04	38,11	1,52
2000	0,04	10,55	0,42	0,08	22,26	1,78	0,05	38,11	1,91
4000	0,02	10,55	0,21	0,08	22,26	1,78	0,08	38,11	3,05
<i>f</i> (Hz)	Odečet nahrazené plochy			Odečet odstraněných ploch			Odečet odstraněných ploch		
	Žebrova otopné tělesa (19)			Dřevotřískový obklad stěn, tl.20mm (22)			Dřevotřískový obklad stěn, tl.20mm, mezera 550mm (21)		
	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)
125	0,00	17,20	0,00	0,08	46,41	3,71	0,30	53,30	15,99
250	0,86	17,20	14,79	0,08	46,41	3,71	0,25	53,30	13,33
500	0,59	17,20	10,15	0,09	46,41	4,18	0,10	53,30	5,33
1000	0,56	17,20	9,63	0,10	46,41	4,64	0,08	53,30	4,26
2000	0,62	17,20	10,66	0,10	46,41	4,64	0,05	53,30	2,67
4000	0,51	17,20	8,77	0,10	46,41	4,64	0,04	53,30	2,13
<i>f</i> (Hz)	Odečet odstraněných ploch			Odečet odstraněných ploch			Odečet nahrazených ploch		
	Obložení pódia - dřevotř.tl.20mm (22)			Parapet - dřevotř. tl.20mm (22)			Výplň okenních otvorů (13)		
	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)
125	0,08	18,10	1,45	0,08	14,71	1,18	0,35	84,39	29,54
250	0,08	18,10	1,45	0,08	14,71	1,18	0,25	84,39	21,10
500	0,09	18,10	1,63	0,09	14,71	1,32	0,18	84,39	15,19
1000	0,10	18,10	1,81	0,10	14,71	1,47	0,12	84,39	10,13
2000	0,10	18,10	1,81	0,10	14,71	1,47	0,07	84,39	5,91
4000	0,10	18,10	1,81	0,10	14,71	1,47	0,04	84,39	3,38
<i>f</i> (Hz)	Odečet zakrytých ploch			Odečet ploch celkem					
	Vnější strana zábradlí, omítnuté zdivo (11)								
	α (-)	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\Sigma A_{l,o}$ (m ²)					
125	0,03	59,27	1,78	59,17					
250	0,03	59,27	1,78	61,54					
500	0,03	59,27	1,78	43,03					
1000	0,04	59,27	2,37	38,04					
2000	0,05	59,27	2,96	34,23					
4000	0,08	59,27	4,74	31,98					

a.3) *Tab. č. 14 – Svislé konstrukce - Celkem:*

<i>f</i> (Hz)	Ekvivalentní pohltivá plocha		
	Nové plochy	Odečet odstraněných ploch	Úpravy celkem
	$\Sigma A_{1,u} (m^2)$	$\Sigma A_{1,o} (m^2)$	$\Sigma A_1 (m^2)$
125	53,20	59,17	-5,97
250	37,71	61,54	-23,83
500	34,51	43,03	-8,52
1000	38,55	38,04	0,50
2000	49,95	34,23	15,72
4000	64,19	31,98	32,20

b.1) *Tab. č. 15 – Úpravy podhledů – Nově vytvořené plochy:*

<i>f</i> (Hz)	Podhled-strop			Podhled-balkon (1NP)			Podhled-balkon (1NP)			Nové plochy celkem
	Texaa - Stereo Panel (3)			Gyptone BIG Quattro 42 odsaz. 100mm (4)			SDK deska tl. 12,5 , 100mm odsaz.(6)			
	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\Sigma A_{2,u} (m^2)$
125	0,29	61,50	17,84	0,48	60,48	29,03	0,08	149,35	11,95	58,81
250	0,70	61,50	43,05	0,75	60,48	45,36	0,11	149,35	16,43	104,84
500	0,85	61,50	52,28	0,75	60,48	45,36	0,04	149,35	5,97	103,61
1000	1,01	61,50	62,12	0,55	60,48	33,26	0,03	149,35	4,48	99,86
2000	1,05	61,50	64,58	0,45	60,48	27,22	0,03	149,35	4,48	96,27
4000	1,11	61,50	68,27	0,40	60,48	24,19	0,00	149,35	0,00	92,46

b.2) *Tab. č. 16 – Úpravy podhledů – Odečet obkládaných ploch:*

<i>f</i> (Hz)	Odečet zakryté plochy			Odečet zakryté plochy (balkon)			Odečet ploch celkem
	SDK podhled tl.12,5mm, odsaz. 400mm (5)			omítka (11)			
	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\Sigma A_{2,o} (m^2)$
125	0,14	61,50	8,61	0,03	195,85	5,88	14,49
250	0,09	61,50	5,54	0,03	195,85	5,88	11,41
500	0,05	61,50	3,08	0,03	195,85	5,88	8,95
1000	0,03	61,50	1,85	0,04	195,85	7,83	9,68
2000	0,05	61,50	3,08	0,05	195,85	9,79	12,87
4000	0,00	61,50	0,00	0,08	195,85	15,67	15,67

b.3) Tab. č. 17 – Úpravy pohledů – Celkem:

f (Hz)	Ekvivalentní pohltivá plocha		
	Nové plochy	Odečet odstraněných ploch	Úpravy celkem
	$\Sigma A_{2,u} (m^2)$	$\Sigma A_{2,o} (m^2)$	$\Sigma A_2 (m^2)$
125	58,81	14,49	44,33
250	104,84	11,41	93,43
500	103,61	8,95	94,66
1000	99,86	9,68	90,18
2000	96,27	12,87	83,41
4000	92,46	15,67	76,79

c.1) Tab. č. 18 – Úpravy nášlapných vrstev – Nově vytvořené plochy:

f (Hz)	Tvrdá podlah. krytina - podium dřevěná podlaha/parkety na prknech (7)			Tvrdá podlah. krytina - jeviště parkety na těžké podlaze (8)			Nové plochy celkem
	$\alpha (-)$	S (m ²)	A (m ²)	$\alpha (-)$	S (m ²)	A (m ²)	$\Sigma A_{3,u} (m^2)$
	125	0,12	27,40	3,29	0,02	59,31	1,19
250	0,10	27,40	2,74	0,03	59,31	1,78	4,52
500	0,06	27,40	1,64	0,04	59,31	2,37	4,02
1000	0,05	27,40	1,37	0,05	59,31	2,97	4,34
2000	0,05	27,40	1,37	0,05	59,31	2,97	4,34
4000	0,06	27,40	1,64	0,06	59,31	3,56	5,20

c.2) Tab. č. 19 – Úpravy nášlapných vrstev – Nahrazené plochy:

f (Hz)	Odečet nášlapné vrstvy pódia Koberec na prkenné podlaze (21)			Odečet nášlapné vrstvy pódia Měkká podlah kryt., tl.5mm,těžká podlaha (14)			Odečet ploch celkem
	$\alpha (-)$	S (m ²)	A (m ²)	$\alpha (-)$	S (m ²)	A (m ²)	$\Sigma A_{3,o} (m^2)$
	125	0,30	34,20	10,26	0,05	52,51	2,63
250	0,25	34,20	8,55	0,08	52,51	4,20	12,75
500	0,10	34,20	3,42	0,10	52,51	5,25	8,67
1000	0,08	34,20	2,74	0,09	52,51	4,73	7,46
2000	0,05	34,20	1,71	0,25	52,51	13,13	14,84
4000	0,04	34,20	1,37	0,38	52,51	19,95	21,32

c.3) *Tab. č. 20 – Úpravy nášlapných vrstev – Celkem:*

<i>f</i> (Hz)	Ekvivalentní pohltivá plocha		
	Nové plochy	Odečet nahrazených ploch	Úpravy celkem
	$\Sigma A_{3,u} (m^2)$	$\Sigma A_{3,o} (m^2)$	$\Sigma A_3 (m^2)$
125	4,47	12,89	-8,41
250	-1,66	12,75	-14,41
500	-2,17	8,67	-10,84
1000	-1,85	7,46	-9,31
2000	-3,91	14,84	-18,74
4000	-5,10	21,32	-26,42

d.1) *Tab. č. 21 – Zatažená opona (pro variantu se zataženou oponou):*

<i>f</i> (Hz)	Odečet zakryté plochy			Opona			Úpravy celkem
	omítka-jeviště (11)			Samet 0,65kg/m ² (10)			
	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\Sigma A_4 (m^2)$
125	0,03	206,07	6,18	0,08	25,46	2,04	-4,15
250	0,03	206,07	6,18	0,29	25,46	7,38	1,20
500	0,03	206,07	6,18	0,44	25,46	11,20	5,02
1000	0,04	206,07	8,24	0,50	25,46	12,73	4,49
2000	0,05	206,07	10,30	0,40	25,46	10,18	-0,12
4000	0,08	206,07	16,49	0,35	25,46	8,91	-7,57

d.2) *Tab. č. 22 – Závěsy na stěnách jeviště (pro variantu s nezataženou oponou):*

<i>f</i> (Hz)	Odečet zakryté plochy			Závěsy			Úpravy celkem
	omítka-jeviště (11)			Samet 0,65 kg/m ² (20)			
	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\alpha (-)$	<i>S</i> (m ²)	<i>A</i> (m ²)	$\Sigma A_5 (m^2)$
125	0,03	90,92	2,73	0,06	90,92	5,46	2,73
250	0,03	90,92	2,73	0,27	90,92	24,55	21,82
500	0,03	90,92	2,73	0,44	90,92	40,00	37,28
1000	0,04	90,92	3,64	0,50	90,92	45,46	41,82
2000	0,05	90,92	4,55	0,40	90,92	36,37	31,82
4000	0,08	90,92	7,27	0,35	90,92	31,82	24,55

Označení	Název materiálu [zdroj]	Frekvence [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
1	T. Vibrasto 10, SDK podklad, vložená miner. izol tl.45mm [výr.]	0,37	0,27	0,28	0,33	0,49	0,69
2	T. Vibrasto 10, beton. podkl. [výr.]	0,04	0,09	0,16	0,26	0,37	0,49
3	Texaa Stereo Panel [výrobce]	0,29	0,70	0,85	1,01	1,05	1,11
4.	Rigips Gyptone BIG Quattro 42, odsaz. 100mm,+min.isol.tl.75 [výr.]	0,48	0,75	0,75	0,55	0,45	0,40
5	SDK tl.12,5mm, odsaz. 400mm [4]	0,14	0,09	0,05	0,03	0,05	0,00
6	SDK tl.12,5mm, odsaz. 100mm [4]	0,08	0,11	0,04	0,03	0,03	0,00
7	Tvrdé podlah. krytiny (parkety) na prknech [3]	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
8	Tvrdé podlah. krytiny (parkety) na těžké podlaze [3]	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
9	Mramor [4]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
10	Samet 0,65 kg/m ² , 200 mm od stěny [4]	0,08	0,29	0,44	0,50	0,40	0,35
11	Vápenocementová omítka [4]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
12	Window, Double 3mm glass, 30mm distance – [ODEON]	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
13	Ordinary window glass– [ODEON]	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
14	Koberec jekor [4]	0,05	0,08	0,10	0,09	0,25	0,38
15	Dřevěný obklad tl. 25-30mm [4]	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
16	Walls, wood, 25mm, with air space – [ODEON]	0,19	0,14	0,09	0,06	0,06	0,05
17	Dveře (dřevěné) [3]	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
18	Okna, prosklená fasáda [3]	0,12	0,08	0,05	0,04	0,04	0,02
19	laťový rezonátor [5]	0,00	0,86	0,59	0,56	0,62	0,51
20	Samet 0,65 kg/m ² , 100 mm od stěny [4]	0,06	0,27	0,44	0,50	0,40	0,35
21	Dřevotř. deska, tl.20mm, odsazení 50-150mm, [4]	0,30	0,25	0,10	0,08	0,05	0,04
22	Dřevotř. deska, tl.20mm [4]	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10

Tab. č. 23 – Hodnoty činitele zvukové pohltivosti α (-) použité při výpočtu [autor]

Uvažované varianty:

Při výpočtu byly uvažovány dvě základní varianty, které mohou nastat. Každá varianta má dvě podvarianty.

Uvažuje se situace, kdy bude opona odtazena a nebo naopak zatažena a pro každou z těchto variant se dále uvažuje prázdný sál a sál obsazený ze 2/3 maximální kapacity (200 z max. 300 osob).

Varianta první – zatažená opona:

Hodnota celkové ekvivalentní pohltivé plochy sálu po úpravách se získá následujícím

$$\text{součtem: } A_{\text{upr}} = A_{\text{přiv}} + A_1 + A_2 + A_3 + A_4$$

Objem sálu po úpravách při zatažené oponě je $V = 2479,8 \text{ m}^3$ a plocha všech povrchů $S = 2470,63 \text{ m}^2$. Hodnoty jsou převzány z modelu nového stavu pomocí programu Odeon Room Acoustics.

a) Tab. č. 24 – Doba dozvuku po úpravách (zatažená opona) - bez diváků :

f (Hz)	A_{upr} (m^2)	A_{opt} (m^2)	$V_{\text{nový}}$ (m^3)	$S_{\text{nový}}$ (m^2)	$\alpha_{\text{stř}}$ (-)	α_{E} (-)	T_{upr} (s)	T_{o} (s)	$T_{\text{upr}}/T_{\text{o}}$ (-)	mez	
										horní	dolní
125	239,76	355,87	2479,08	2470,63	0,10	0,10	1,61	1,17	1,38	1,45	0,80
250	262,19	355,87	2479,08	2470,63	0,11	0,11	1,47	1,17	1,25	1,20	0,80
500	267,06	355,87	2479,08	2470,63	0,11	0,11	1,44	1,17	1,23	1,20	0,80
1000	243,83	344,57	2479,08	2470,63	0,10	0,10	1,51	1,17	1,29	1,20	0,80
2000	245,72	333,21	2479,08	2470,63	0,10	0,10	1,44	1,17	1,23	1,20	0,80
4000	258,27	280,37	2479,08	2470,63	0,10	0,11	1,16	1,17	0,99	1,20	0,65

b) Tab. č. 25 – Doba dozvuku po úpravách (zatažená opona) – obsazený sál ze 2/3 :

f (Hz)	A_{upr} (m^2)	α_{osob} (-)	S_{osob} (m^2)	A_{osob} (m^2)	A_{celk} (m^2)	$V_{\text{nový}}$ (m^3)	$S_{\text{nový}}$ (m^2)	$\alpha_{\text{stř}}$ (-)	α_{E} (-)	T_{obsaz} (s)	T_{o} (s)	$T_{\text{obs}}/T_{\text{o}}$ (-)	mez	
													horní	dolní
125	239,76	0,20	118,80	23,76	263,52	2479,08	2470,63	0,11	0,11	1,46	1,17	1,25	1,45	0,80
250	262,19	0,40	118,80	47,52	309,71	2479,08	2470,63	0,13	0,13	1,23	1,17	1,05	1,20	0,80
500	267,06	0,50	118,80	59,40	326,46	2479,08	2470,63	0,13	0,14	1,16	1,17	0,99	1,20	0,80
1000	243,83	0,60	118,80	71,28	315,11	2479,08	2470,63	0,13	0,14	1,16	1,17	1,00	1,20	0,80
2000	245,72	0,70	118,80	83,16	328,88	2479,08	2470,63	0,13	0,14	1,08	1,17	0,92	1,20	0,80
4000	258,27	0,70	118,80	83,16	341,43	2479,08	2470,63	0,14	0,15	0,91	1,17	0,78	1,20	0,65

Pro výpočet pohltivosti publika byla využita následující tabulka, uvažováno bylo s obsazeností ze 2/3, tedy 200 osob z uvažovaného nejvyššího počtu 300 osob. Tomu odpovídá publikum na ploše 12m x 9,9m o hodnotě $S_{\text{osob}}=118,8\text{m}^2$ umístěno uprostřed sálu. Protože zakrytá plocha podlahy má minimální vliv na výsledek, tak její odečet byl zanedbán.

kmitočet f (Hz)					
125	250	500	1000	2000	4000
0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70

Tab. č. 26 – Hodnoty činitele zvukové pohltivosti α (-) pro osoby sedící v řadě po 0,9m až 1,2m (publikum), typické minimum [3]

Grafické znázornění výsledků a posouzení dle příslušné legislativy lze nalézt v kapitole 5.2.2.

Varianta druhá – nezatažená opona:

Hodnota celkové ekvivalentní pohltivé plochy sálu po úpravách se získá následujícím

$$\text{součtem: } A_{\text{upr}} = A_{\text{přiv}} + A_1 + A_2 + A_3 + A_5$$

Objem sálu po úpravách při nezatažené oponě je $V = 2734,8 \text{ m}^3$ a plocha všech povrchů $S = 2676,7 \text{ m}^2$. Hodnoty jsou převzány z modelu nového stavu pomocí programu Odeon Room Acoustics.

a) Tab. č. 27 – Doba dozvuku po úpravách (nezatažená opona) - bez diváků :

f (Hz)	A_{upr} (m^2)	A_{opt} (m^2)	$V_{\text{nový}}$ (m^3)	$S_{\text{nový}}$ (m^2)	$\alpha_{\text{stř}}$ (-)	α_E (-)	T_{upr} (s)	T_o (s)	T_{upr}/T_o (-)	mez	
										horní	dolní
125	246,63	355,87	2734,80	2676,70	0,09	0,10	1,73	1,17	1,48	1,45	0,80
250	282,81	355,87	2734,80	2676,70	0,11	0,11	1,50	1,17	1,28	1,20	0,80
500	299,32	355,87	2734,80	2676,70	0,11	0,12	1,41	1,17	1,21	1,20	0,80
1000	281,16	344,57	2734,80	2676,70	0,11	0,11	1,45	1,17	1,24	1,20	0,80
2000	277,66	333,21	2734,80	2676,70	0,10	0,11	1,40	1,17	1,20	1,20	0,80
4000	290,39	280,37	2734,80	2676,70	0,11	0,11	1,14	1,17	0,97	1,20	0,65

b) Tab. č. 28 – Doba dozvuku po úpravách (nezatažená opona) – obsazený sál ze 2/3 :

f (Hz)	A_{upr} (m^2)	α_s (-)	S_{os} (m^2)	A_{osob} (m^2)	A_{celk} (m^2)	$V_{\text{nový}}$ (m^3)	$S_{\text{nový}}$ (m^2)	$\alpha_{\text{stř}}$ (-)	α_E (-)	T_{obsaz} (s)	T_o (s)	T_{obs}/T_o (-)	mez	
													horní	dolní
125	246,63	0,20	118,80	23,76	270,39	2734,80	2676,70	0,10	0,11	1,57	1,17	1,34	1,45	0,80
250	282,81	0,40	118,80	47,52	330,33	2734,80	2676,70	0,12	0,13	1,27	1,17	1,09	1,20	0,80
500	299,32	0,50	118,80	59,40	358,72	2734,80	2676,70	0,13	0,14	1,16	1,17	0,99	1,20	0,80
1000	281,16	0,60	118,80	71,28	352,44	2734,80	2676,70	0,13	0,14	1,15	1,17	0,98	1,20	0,80
2000	277,66	0,70	118,80	83,16	360,82	2734,80	2676,70	0,13	0,14	1,08	1,17	0,93	1,20	0,80
4000	290,39	0,70	118,80	83,16	373,55	2734,80	2676,70	0,14	0,15	0,92	1,17	0,78	1,20	0,65

Výpočet pohltivosti osob bylo provedeno stejnou metodou jako v případě varianty první – zatažená opona.

Grafické znázornění výsledků a posouzení dle příslušné legislativy lze nalézt v kapitole 5.2.2.

4.4 NÁVRH ÚPRAV ZA POMOCÍ SPECIALIZOVANÉHO SOFTWARE

4.4.1 Vytvoření počítačového modelu původního stavu

- Důvody pro tvorbu počítačového modelu původního stavu sálu:

Vzhledem k tomu, že není vždy snadné odhadnout chování jednotlivých povrchů a materiálů v místnosti z hlediska prostorové akustiky a přiřadit tomu správný činitel zvukové pohltivosti α (-), součinitel rozptylu atd., kdy i relativně malé rozdíly mohou v konečném důsledku vést ke značně rozdílným výsledkům, je tedy vhodné si před samotným modelováním navrhovaných úprav vytvořit model původního stavu.

V tomto modelu se snažíme postihnout všechny významné prvky, materiály a geometrii místnosti aniž bychom však nepřekračovali určitou hranici detailnosti a příliš malých ploch, která nemá na další zpřesnění výsledků významný vliv, ale může znatelně prodloužit čas potřebný pro výpočet, nastavení a specifikaci povrchů a v některých případech naopak korektnost výsledků ještě zhoršit. Cílem tedy je nalezení správné kombinace přiřazených charakteristik materiálů a povrchů, geometrie a detailnosti tak, abychom se s vypočítanou dobou dozvuku T co nejvíce přiblížili hodnotám naměřeným.

V podstatě se jedná o jakousi „kalibraci“ modelu, čímž si do značné míry zajistíme korektnost a přesnost výpočtů pro model s navrhovanými úpravami.

- Tvorba modelu:

Model byl vytvořen pomocí programu Google SketchUp na základě zaměřených rozměrů sálu a fotodokumentace. Při tvorbě modelu se využívají pouze plochy, nikoliv 3D objekty, tedy v podstatě se vytvoří vnitřní obálka místnosti.

Jednotlivé povrchy jsou rozděleny do vrstev („layers“) podle druhu materiálu, případně i podle způsobu upevnění k podkladu (např. obklad s nebo bez vzduchové mezery mezi podkladem a obkladem) aby bylo následně možné snadno přiřadit materiálové charakteristiky jednotlivým povrchům.

Při tvorbě modelu došlo k určitým zjednodušením vůči skutečnému stavu ať už z důvodu zanedbatelného vlivu na výsledky výpočtu nebo byly některé skutečnosti simulovány jiným způsobem, než detailním geometrickým modelováním. Například otopná žebrová tělesa nebyla vymodelována po jednotlivých žebrech, což by vedlo k zbytečné složitosti modelu, velkému počtu ploch navíc a značnému prodloužení doby výpočtu, ale naopak byly vytvořeny jako jednoduché kvádry odpovídající velikosti a následně v programu Odeon jim byly přiřazené charakteristiky, které reálný stav do značné míry reprezentují.

Celkem obsahuje model 908 jednotlivých ploch rozdělených do 12 vrstev odlišených barvou pro přehlednost. Počátek souřadné soustavy byl nastaven na horní hranu pódia v ose sálu, kdy „osa X“ směřuje k divákům a „osa Z“ směrem vzhůru, což usnadní zadávání souřadnic zdrojů a mikrofonů v programu Odeon.



Obr. č. 10 a 11 – Model původního stavu vytvořen pomocí programu Google SketchUp [autor]

4.4.2 Import modelu do programu Odeon, testování korektnosti modelu

- Importování modelu do programu Odeon Room Acoustics:

Aby bylo možné importovat model do programu Odeon, bylo nutné v první řadě model exportovat z programu Google SketchUp do CAD formátu typu DXF. Pote už bylo možné model importovat do programu Odeon pomocí funkce „import DXF file“ .

Při importování je nutné nastavit několik parametrů, od mezních rozměrů, spojování ploch, rozměrových jednotek, ve kterých je model zpracován až po ignorování duplicitních ploch nebo „3D entit“, které má program importovat. Důležité jsou zejména rozměrové jednotky a mezní rozměry („Max. point margin“ a „Max. warp“), kdy nevhodné nastavení může vést k nekorektnímu importování modelu.

- Testování korektnosti modelu:

Po importování modelu je důležité zkontrolovat korektnost modelu a to vizuální prohlídkou modelu a také testování tzv. „vodotěsnosti“ modelu. Model totiž může obsahovat miniaturní „trhlinky“ ve spojích mezi jednotlivými plochami nepostřehnutelné pouhou vizuální prohlídkou.

Přítomnost těchto „netěsností“ umožňují únik zvukové energie a nekorektnost následných výsledků výpočtů. Důvody chyb a nekorektnosti modelu mohou spočívat v nevhodném nastavení při importu modelu, chyby při tvorbě modelu nebo práce s nepodporovanými „3D entitami“ nebo 3D programy.

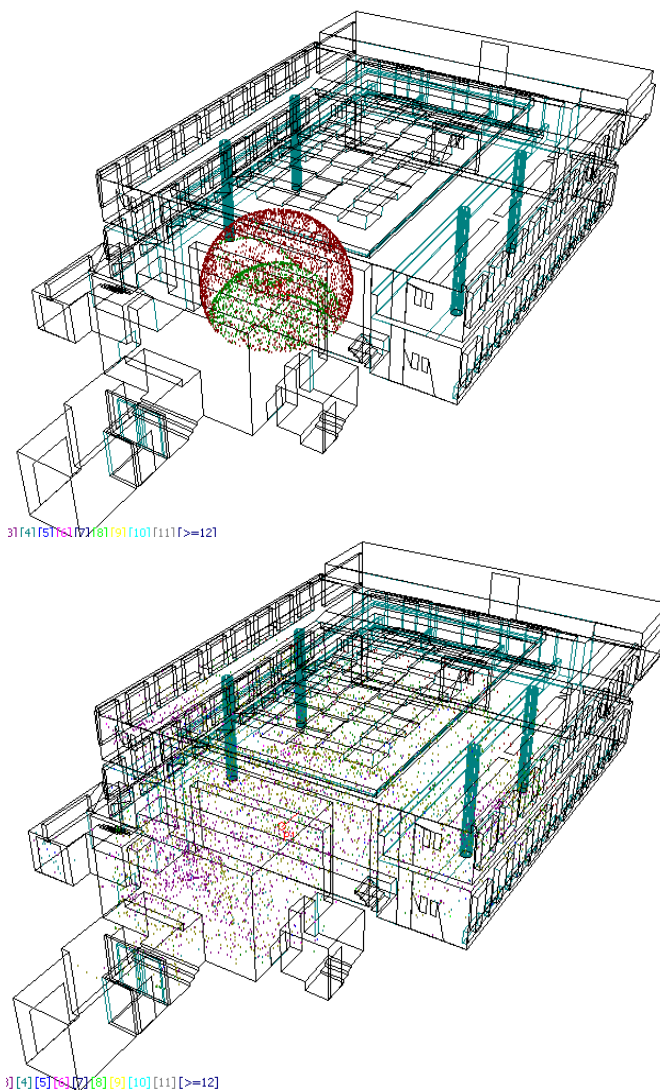
Vedle vizuální kontroly modelu se využívá funkce „3D Investigate Rays“ nebo „3D Billard“ . V první řadě je potřeba přiřadit všem ohraničujícím povrchům jakýkoliv materiál (více viz. kapitola 4.4.4) s výjimkou plně pohlcujících (fully absorptive : Material 1) nebo „plně průsvitné“ (transparent : Material 0) . Také je nutné kamkoliv do prostoru umístit zdroj zvuku (více viz. kapitola 4.4.3), ideálně někam do středu místnosti.

- Funkce „3D Billard“ :

Metoda spočívá ve vysílání kulovitých vlnoploch od zdroje ve formě jednotlivých bodů (kuliček), které se od jednotlivých povrchů odráží a šíří prostorem. Při dopadu na povrch se část pohltí a část odrazí podle pohltivosti materiálu a zvolené / zakázané metody difúze. Tato funkce umožňuje množství nastavení. Lze zvolit rovinu, ve které se vysílá, případně vysílání ve všech směrech „3D Random“. Lze nastavit nebo zakázat způsob difúze („Lambert“, „Full Scatter“) při dopadu na povrch, velikost a počet vysílaných „kuliček“ a vysílání lze také „krokovat“, pozastavit nebo vracet pro přesnější představu namísto volného šíření.

Tato funkce je vhodná i pro získání představy o šíření akustické energie v prostoru, její případné shlukování v určitých místech a tak dále.

Pokud se některé body dostanou mimo vnitřní geometrii modelu, znamená to, že model někde „netěsní“ a model je nutno opravit, případně změnit nastavení parametrů při importování modelu.

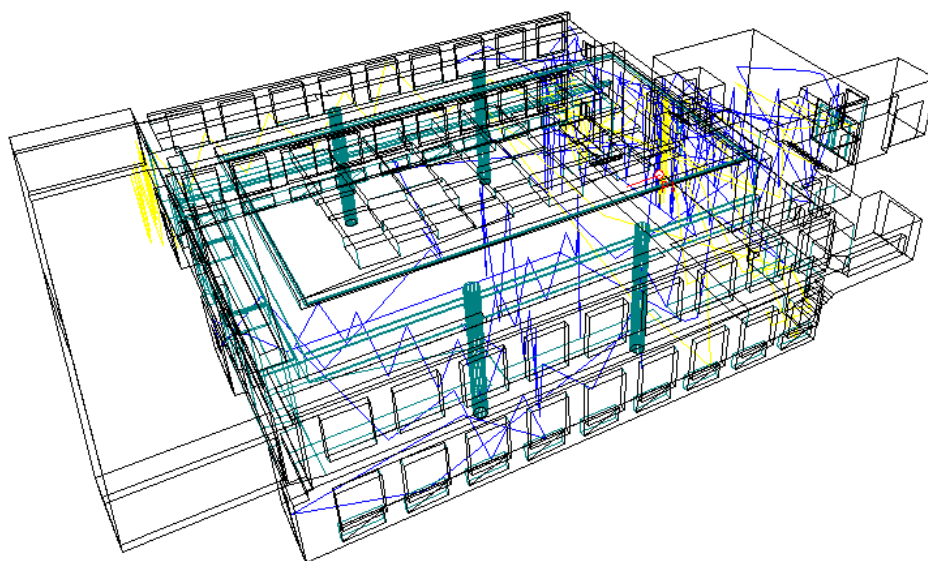


Obr. č. 12 a 13 – Testování „těsnosti“ modelu pomocí funkce „3D Billard“ [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

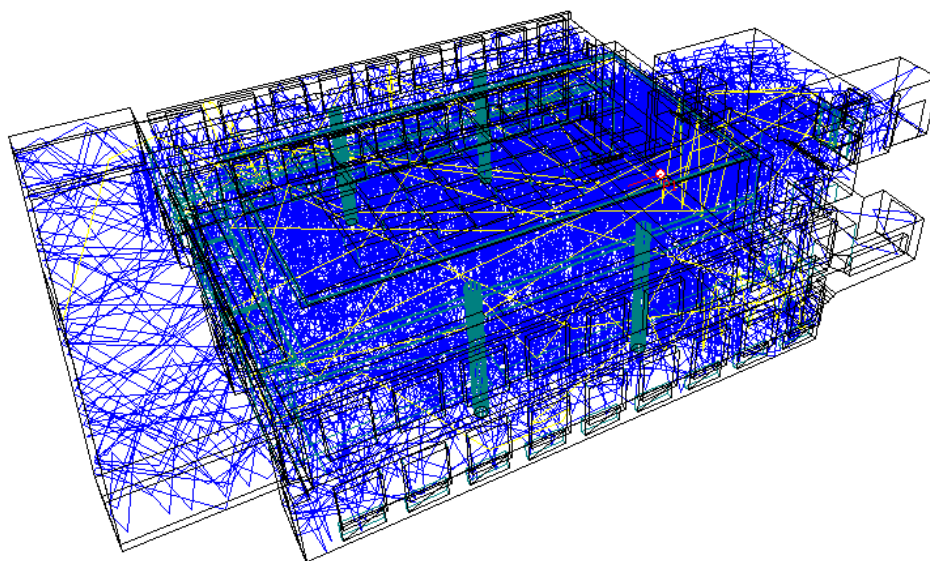
- Funkce „3D Investigate Rays“ :

Tato funkce spočívá ve vysílání paprsků různými směry od zdroje a jejich následný odraz při dopadu na jednotlivé povrchy. Část paprsků se odrazí a část je pohlcena podle pohltivosti zvoleného materiálu. I zde nastavit různé parametry, od počtu paprsků a počtu odrazů jednoho paprsku až po metodu / zákaz difúze při dopadu.

Podobně jako u předchozí metody, pokud některé paprsky opustí geometrii modelu, signalizuje to přítomnost „netěsnosti“ v modelu.



Obr. č. 14 – Testování těsnosti modelu pomocí funkce „3D Investigate Rays“ [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 15 – Testování těsnosti modelu pomocí funkce „3D Investigate Rays“ [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

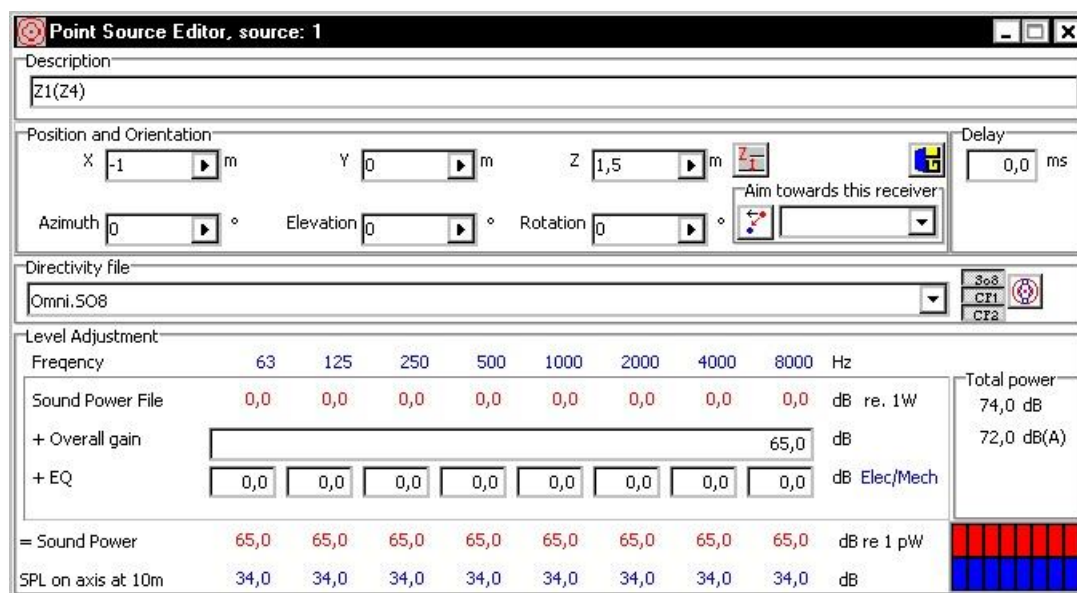
4.4.3 Rozmístění vysílacích a přijímacích bodů

Přijímací a vysílací body byly rozmístěny totožně s rozmístěním zdroje a mikrofonu při měření doby dozvuku (viz. kapitola 4.2.2). Zdroj byl umístěn vždy ve výšce 1,5 m nad podlahou a mikrofony ve výšce 1,2 m nad podlahou.

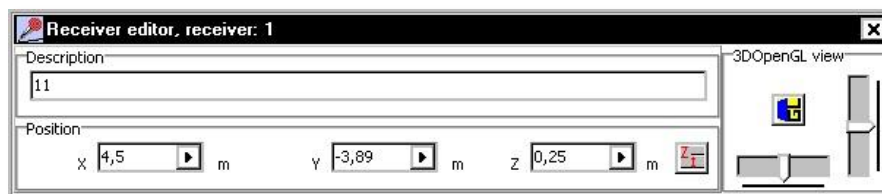
Vzhledem k tomu, že měření proběhlo zvlášť v prvním nadzemním podlaží (poloha zdroje Z1 až Z3) pro stejné pozice mikrofonu a zvlášť ve druhém (poloha zdroje Z4) pro jiné pozice mikrofonu, tak byly vytvořeny 2 varianty rozmístění mikrofonů tak, aby se výsledky vzájemně neovlivňovaly.

- Zadání a nastavení zdrojů a přijímačů:

Zdroj je zadán jako všesměrový bodový zdroj (directivity file : Omni.SO8) s celkovým výkonem (Overall gain) 65 dB. Zdroj lze zadat i různými hodnotami v rámci posuzovaného spektra (EQ), například pro charakterizování lidské řeči (viz. kapitola 4.4.6). Souřadnice se zadávají v souladu se zvoleným počátkem souřadné soustavy při vytváření modelu.



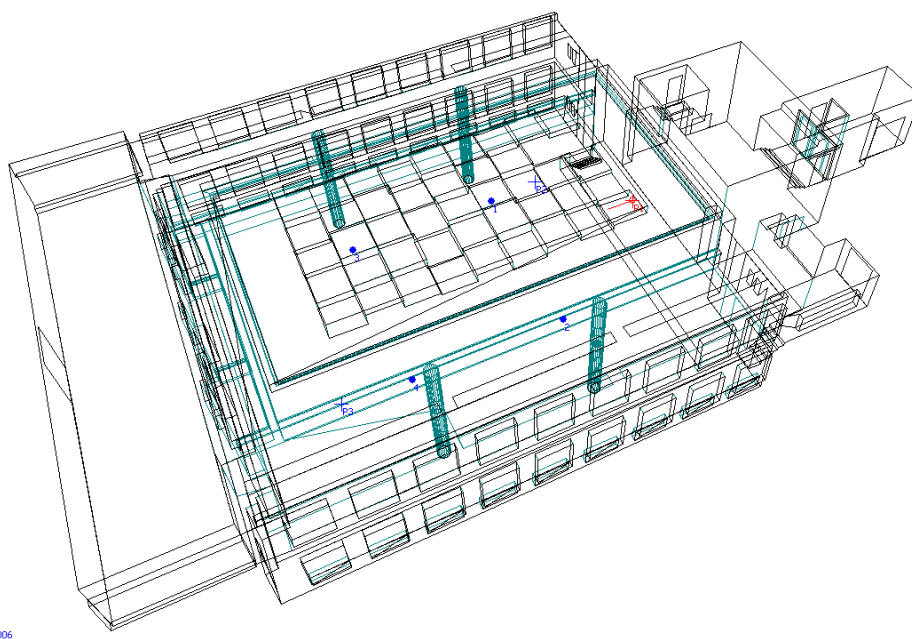
Obr. č. 16 – Zadání zdroje zvuku [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 17 – Zadání mikrofonu [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

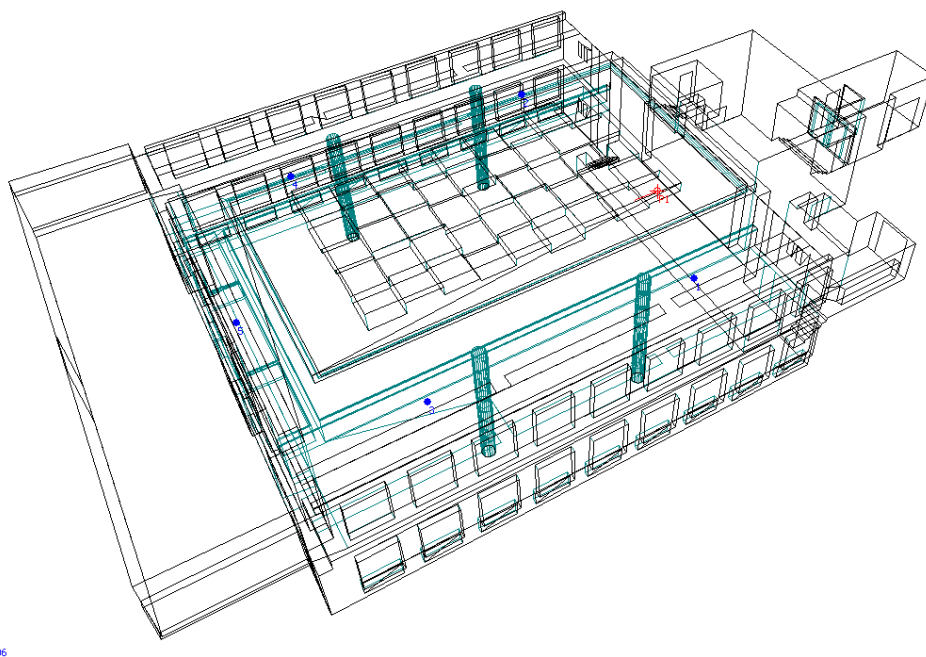
- Rozmístění zdrojů a přijímačů v 1NP:

V prvním podlaží jsou celkem 3 pozice zdroje (v Obr. č.11 označeny jako P1, P2 a P3) a 4 pozice přijímače (označeny jako 1, 2, 3 a 4). Zdroj P1 je umístěn na pódiu a zbylé dva v prostoru sálu. Při výpočtu je aktivní vždy jen jeden zdroj pro dané 4 pozice mikrofonu (podrobněji viz. kapitola 4.4.5).



Obr. č. 18 – Rozmístění zdrojů a mikrofonů v 1NP [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

- Rozmístění zdrojů a přijímačů ve 2NP:



Obr. č. 19 – Rozmístění zdrojů a mikrofonů v 2NP [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

4.4.4 Materiálová specifikace jednotlivých povrchů

- Volba materiálové charakteristiky:

Jednotlivým povrchům byly přiřazeny příslušné materiálové charakteristiky tak, aby co nejdříve odpovídaly skutečnosti. Vzhledem k celkovému počtu ploch v modelu, byly plochy už při tvorbě rozříděny do vrstev (layers) podle materiálu a způsobu upevnění k podkladu.

Program Odeon Room Acoustics má vlastní knihovnu materiálů a umožňuje další materiály přidávat. Při hledání vhodných materiálů a jejich činitelů pohltivosti α (-) pro co nejdřívejší charakteristiku sálu bylo využito jak materiálové databáze programu Odeon, tak různých dalších zdrojů, norem, literatury [3], [4].

Materiál - v modelu	Název materiálu [zdroj]	Frekvence f [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
Dř. parkety na beton. podkladu	Tvrde podlah. krytiny (parkety) na těžké podlaze [3]	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Omítnuté plochy	Omítka vápenocementová [4]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
Koberec	Koberec jekor [4]	0,05	0,08	0,10	0,09	0,25	0,38
SDK desky tl.12,5mm, vzduchová mezera 400+mm	SDK desky tl. 12,5mm, bez izolace, d=400mm [4]	0,14	0,09	0,05	0,03	0,05	0,00
Otopná žebrová tělesa litinová	laťový rezonátor [5]	0,00	0,86	0,59	0,56	0,62	0,51
Keramická dlažba	Ceramic tiles – [ODEON]	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
Dveře (dřevotříška), dřevotř. obklad se vzduch. mez.	Dřevotř. deska, tl.20mm, odsazení 50-150mm, [4]	0,30	0,25	0,10	0,08	0,05	0,04
Dřevotř. obklad bez vzduch. mez.	Dřevotř. deska, tl.20mm [4]	0,08	0,08	0,09	0,10	0,10	0,10
Výplň okeních otvorů	Ordinary window glass–[ODEON]	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
Vetrací mřížka	Mřížka,50% otevř. plochy [3]	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50

Tab. č. 29 – Použité součinitele zvukové pohltivosti α (-) pro model původního stavu [autor, hodnoty převzaty z podkladů uvedených v závorce u každé položky]

- Přiřazování materiálových charakteristik jednotlivým plochám:

V materiálové databázi programu Odeon má každý materiál vlastní pořadové číslo, činitel zvukové pohltivosti α (-) pro jednotlivé frekvence f (Hz) a barevnou reprezentaci podle pohltivosti na jednotlivých kmitočtech. V modelu je pak snadné poznat míru pohltivosti jednotlivých ploch a slouží tak jako rychlá pomůcka pro kontrolu správnosti přiřazených materiálových charakteristik, aniž by bylo nutné projíždět všechny plochy v seznamu ploch.

U jednotlivých ploch pak lze nastavit součinitel rozptylu (Scatter coefficient) a součinitel propustnosti (Transparency coefficient). Pro hladké a rovné plochy (zpravidla většina) se doporučuje součinitel rozptylu v rozmezí 0,03-0,07, standardně 0,05. Pro diváky (publikum) se doporučuje vysoká hodnota 0,7 [6].

Použité materiálové charakteristiky pro model původního stavu jsou uvedeny v Tab. č. 29.

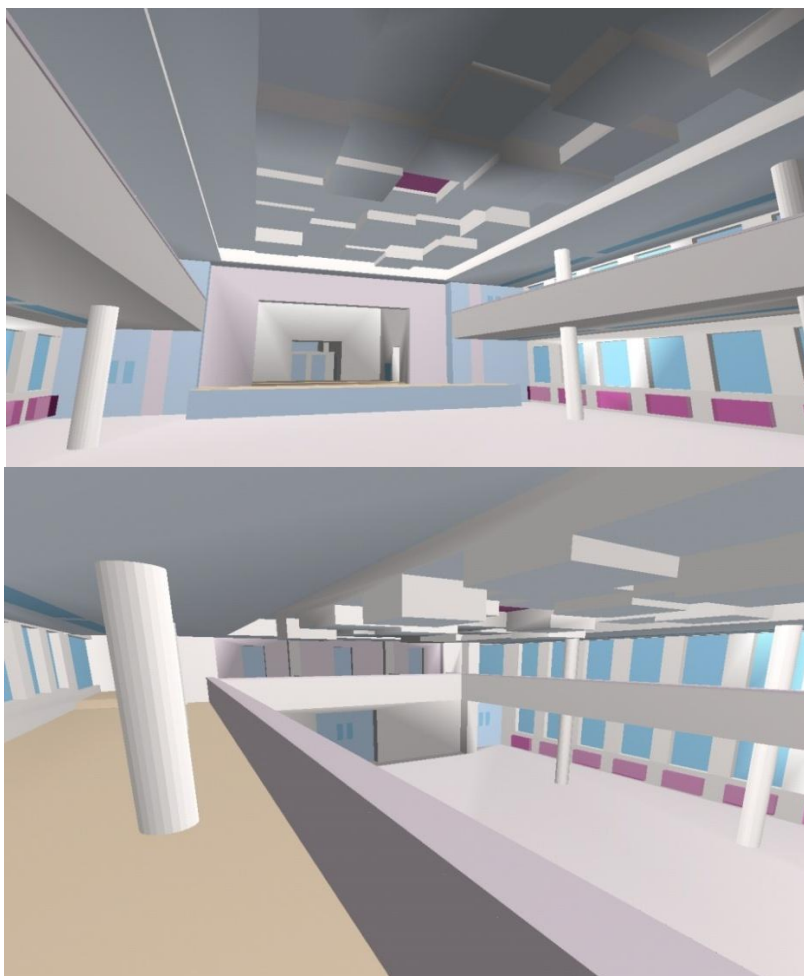
Plochám reprezentujícím žebrová otopná tělesa byla přiřazena hodnota součinitele propustnosti 0,5 a součinitele rozptylu 0,1. Ostatní plochy zůstaly na základních hodnotách 0,05 pro rozptyl a 0,0 pro propustnost.

Material list						Global material library (MATERIAL LIB)
Surface List						Specification
Surface	Material	Scatter	Transp.	Surface Name	Area	
544	3026	0,050	0,00	KOBEREC NA BETON	3,188	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
545	3026	0,050	0,00	KOBEREC NA BETON	91,977	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
546	3026	0,050	0,00	KOBEREC NA BETON	81,763	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
547	3026	0,050	0,00	KOBEREC NA BETON	3,188	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
548	3026	0,050	0,00	KOBEREC NA BETON	69,230	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
549	3005	0,050	0,00	SDK	0,214	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
550	3005	0,050	0,00	SDK	0,214	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
551	3005	0,050	0,00	SDK	0,214	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
552	3005	0,050	0,00	SDK	0,214	nahtlose akustische Endbeschichtung für Decken und qd. Wände auf Cellulosebasis, aufzubringen
553	3005	0,050	0,00	SDK	7,124	"Schallschluckende Tapete, SONAFLEX und SONAFLEX-GLASS schallabsorbierende Wandverkleidung"
554	3005	0,050	0,00	SDK	0,798	Texaa Vibrasto 10mm - na SDK s mineral izol 45mm
555	3005	0,050	0,00	SDK	8,228	Texaa Vibrasto 10mm na beton, podkladu
556	3005	0,050	0,00	SDK	1,142	Texaa Stereo panel
557	3005	0,050	0,00	SDK	0,798	Gvplone BIG Quattro 42 /100mm odsaz. + mineral. izol
558	3005	0,050	0,00	SDK	184,200	SDK tl. 12,5mm /400mm odsaz.
559	3005	0,050	0,00	SDK	2,250	drevene parkety na parketech
560	3005	0,050	0,00	SDK	2,250	drevene parkety - na beton, podkladu
561	3005	0,050	0,00	SDK	2,250	miramor-lesteny
562	3005	0,050	0,00	SDK	2,250	samet 0,65ka/m2, 100mm od steny

Mat. 3005: SDK tl. 12,5mm /400mm odsaz.									
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz		
0,00000	0,14000	0,09000	0,05000	0,03000	0,05000	0,00000	0,00000		

Mat. 3005: SDK tl. 12,5mm /400mm odsaz.									
63 Hz	125 Hz	250 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	4000 Hz	8000 Hz		
0,00000	0,29000	0,70000	0,85000	1,00000	1,00000	1,00000	0,00000		

Obr. č. 20 – Definování materiálových charakteristik [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



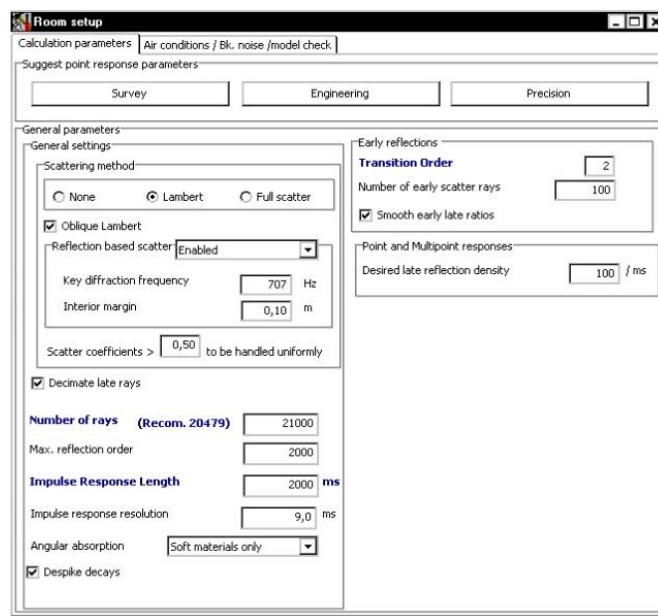
Obr. č. 21 a 22 – Model původního stavu po definování materiálové charakteristiky jednotlivých ploch [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

4.4.5 Výpočet a jeho nastavení

- Nastavení parametrů výpočtu:

Před spuštěním výpočtu je nutné provést nastavení parametrů výpočtu v záložce „Room setup“. Podrobnější popis všech nastavení lze nalézt v uživatelském manuálu [6] nebo v nápovědě programu.

Většinu parametrů program automaticky nastaví na doporučené hodnoty pro daný model s výjimkou délky impulsní odezvy (impulse response length), který musí uživatel nastavit sám podle očekávané doby dozvuku. Doporučeno je nastavit hodnotu v rozmezí 2/3 až 1/1 očekávané doby dozvuku. V případě, že hodnoty vypočítané doby dozvuku na některých kmitočtech budou nulové, je třeba zvýšit počet paprsků (Number of rays) nad doporučovanou hodnotu, případně i hodnotu délky impulsní odezvy [6].



Obr. č. 23 – Nastavení parametrů výpočtu [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

- Rozvržení výpočtu:

V záložce „Job list“ lze rozvrhnout výpočet podle potřeb a záměru. Lze zde vytvářet různé kombinace zdrojů a mikrofónů, které se budou podílet na vypočítaných hodnotách, stejně tak jako využít možnosti počítání odezvy na síti (grid response) o které podrobněji pojednává kapitola 4.4.7.

V jednotlivých položkách (jobs) lze zvolit, které zdroje budou aktivní pro daný výpočet a také zvolit přijímací mikrofón v případě „single point response“ nebo všechny mikrofóny v případě „mutli point response“.

Výpočet jedné nebo všech položek se spustí tlačítkem „Run single job“ nebo „Run all jobs“. Výsledné hodnoty výpočtu pak lze najít pod položkou „View Single point response“ nebo „View Multi point response“ a v případě odezvy na síti pod položkou „View Grid response“.

Job	Job description	Receiver pointing towards source	Grid	Multi	Single point response receiver
1	Z1	1 Z1(Z4) - Point source at: (x,y,z) = (-1,00	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 11 (x,y,z) = (4,50, -3,89, 0,25)
2	Z2	2 Z2 - Point source at: (x,y,z) = (2,15, -3,89	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 11 (x,y,z) = (4,50, -3,89, 0,25)
3	Z3	3 Z3 - Point source at: (x,y,z) = (14,46, 3,89	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	1 11 (x,y,z) = (4,50, -3,89, 0,25)
4	No description	(none)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	(none)

Obr. č. 24 – Rozvržení výpočtu pro jednotlivé polohy zdroje v INP- původní stav [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

4.4.6 Vytvoření modelu s navrhovanými úpravami

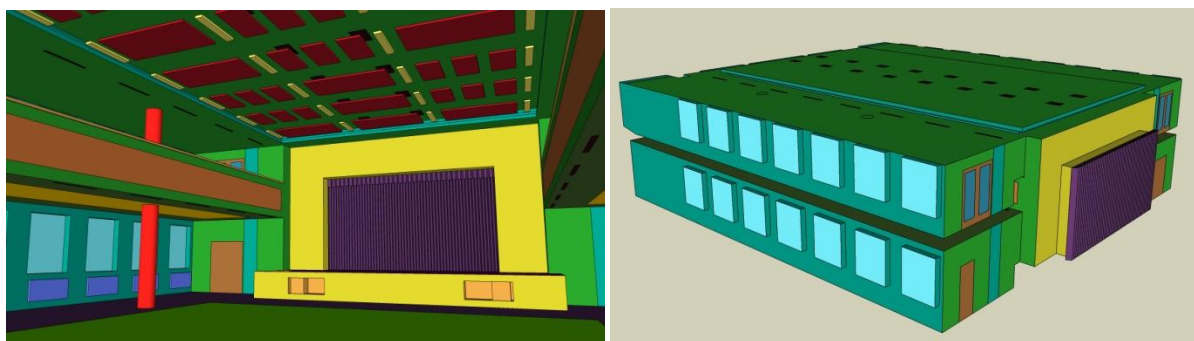
Na základě navrhovaných úprav pomocí ručního výpočtu (více v kapitole 4.3.3) byly zpracovány 2 modely nového stavu a to ve variantě se zataženou oponou a ve variantě s oponou nezataženou.

Modely byly vytvořeny stejně jako model původního stavu v programu Google SketchUp.

- Varianta se zataženou oponou:

Vytvořený model obsahuje 1539 jednotlivých ploch rozdělených do celkem 20 vrstev (layers) podle druhu materiálu a způsobu zabudování/uchycení k podkladu. Jednotlivé vrstvy jsou odlišené barvami pro přehlednost. Tak jako u modelu původního stavu, i zde jsou různá drobná zjednodušení z důvodu zachování rozumné komplexnosti modelu.

Na doporučení [6] bylo publikum vymodelováno jako plocha o rozměrech 12m x 9,9m na povrchu nášlapné vrstvy podlahy.



Obr. č. 25 a 26 – Model navrhovaných změn, varianta se zataženou oponou [autor s pomocí programu Google SketchUp]

Po importu modelu do programu Odeon Room Acoustics byly přiřazeny jednotlivým plochám příslušné materiálové charakteristiky. V Tab. č. 30 jsou uvedeny použité činitele zvukové pohltivosti α (-). Publiku byl přiřazen součinitel difúze o hodnotě 0,7, zbylé povrchy mají standardní hodnotu 0,05.

Materiál - vrstva v modelu	Název materiálu [zdroj]	Frekvence [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
Texaa Vibrasto 10, SDK podkl.	T. Vibrasto 10, SDK podklad, vložená miner. Izol tl.45mm [výr.]	0,37	0,27	0,28	0,33	0,49	0,69
Texaa Vibrasto 10, beton.pod.	T. Vibrasto 10, beton. podkl. [výr.]	0,04	0,09	0,16	0,26	0,37	0,49
Texaa Stereo Panel	Texaa Stereo Panel [výrobce]	0,29	0,70	0,85	1,01	1,05	1,11
SDK podhled-Gyptone BiG Q.	Rigips Gyptone BIG Quattro 42, odsaz. 100mm,+min.izol.tl.75 [výr.]	0,48	0,75	0,75	0,55	0,45	0,40
SDK deska, odsaz. 400+mm	SDK tl.12,5mm, odsaz. 400mm [4]	0,14	0,09	0,05	0,03	0,05	0,00
SDK podhled, odsaz. 100mm	SDK tl.12,5mm, odsaz. 100mm [4]	0,08	0,11	0,04	0,03	0,03	0,00
Dř. parkety-podium	Tvrdé podlah. krytiny (parkety) na prknech [3]	0,12	0,10	0,06	0,05	0,05	0,06
Dř. parkety na bet. podkladu	Tvrdé podlah. krytiny (parkety) na těžké podlaze [3]	0,02	0,03	0,04	0,05	0,05	0,06
Otopná desková tělesa	Mramor [4]	0,01	0,01	0,02	0,02	0,03	0,03
Opona	Samet 0,65 kg/m ² , 200 mm od stěny [4]	0,08	0,29	0,44	0,50	0,40	0,35
Omítnuté plochy	Vápenocementová omítka [4]	0,03	0,03	0,03	0,04	0,05	0,08
Výplň okenních otvorů	Window, Double 3mm glass, 30mm distance – [ODEON]	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
Mřížka VZT	Mřížka, 50% otevřených plochy [3]	0,30	0,50	0,50	0,50	0,50	0,50
Koberec	Koberec jekor [4]	0,05	0,08	0,10	0,09	0,25	0,38
Dř. obklad bez vzduch. mez.	Dřevěný obklad tl. 25-30mm [4]	0,10	0,11	0,10	0,08	0,08	0,11
Dřevěný obklad se vzduchovou mezerou	Walls, wood, 25mm, with air space – [ODEON]	0,19	0,14	0,09	0,06	0,06	0,05
Dřevěné dveře	Dveře (dřevěné) [3]	0,14	0,10	0,08	0,08	0,08	0,08
Skleněná výplň	Single pane of glass,3mm-[ODEON]	0,08	0,04	0,03	0,03	0,02	0,02
Publikum	Osoby sedící v řadě po 0,9m až 1,2m, typické minimum [3]	0,20	0,40	0,50	0,60	0,70	0,70
Závěsy jevištních stěn	Samet 0,65 kg/m ² , 100 mm od stěny [4] (model s nezataženou oponou)	0,06	0,27	0,44	0,50	0,40	0,35
Keramická dlažba	Ceramic tiles – [ODEON] (model s nezataženou oponou)	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02

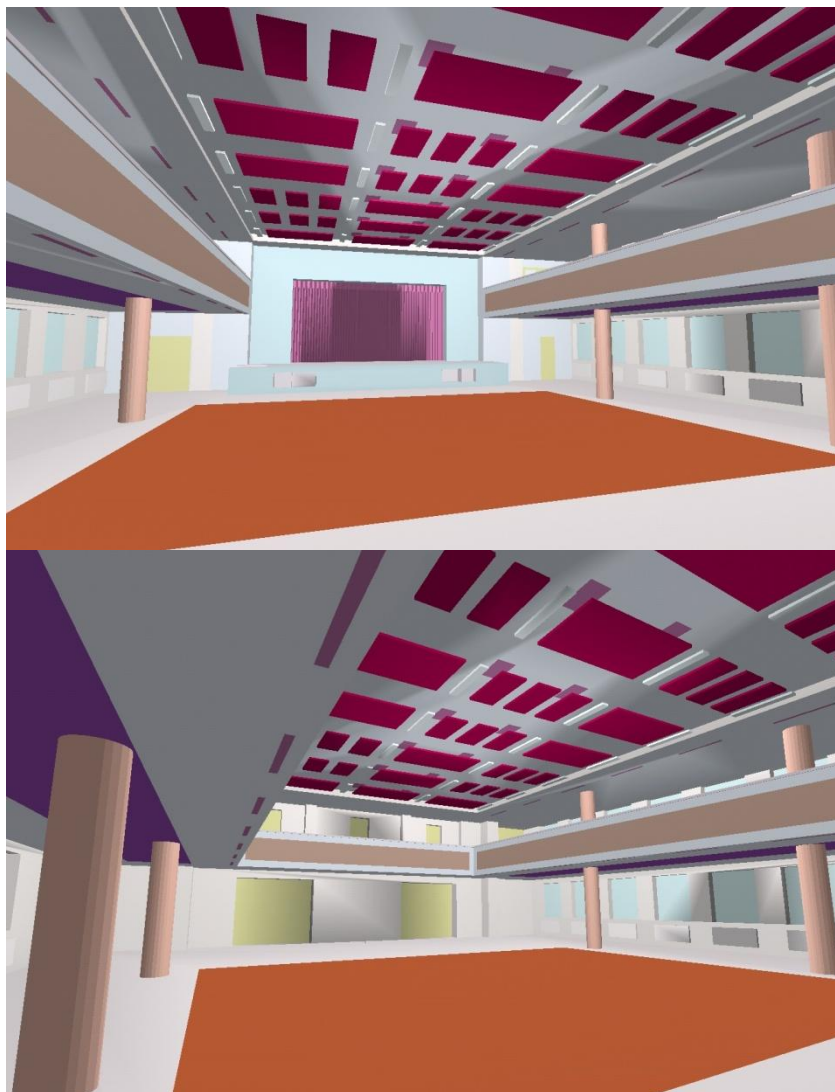
Tab. č. 30 – Použité činitele zvukové pohltivosti α (-) pro model navrhovaných úprav. Podrobnější informace o prvních 4 položkách lze najít v technických listech výrobce uvedených v příloze.

V modelu byla navíc vymodelována osvětlovací tělesa nad galerií, která nebyla zahrnuta do ručního výpočtu vzhledem k podobně nízkému činiteli zvukové pohltivosti použitým pro osvětlovací těleso (viz. položka skleněná výplň v Tab. č. 30) a činitele zvukové pohltivosti pro SDK stropní podhled, který je osvětlením zakryt. Vliv na výsledek by tedy v ručním výpočtu byl zanedbatelný.



Návrh osvětlení není součástí této práce, ale pro zohlednění vlivu na akustiku sálu bylo bez výpočtů vybráno moderní závěsné osvětlovací těleso EKOLUX HALLA série 13 o rozměrech 180x1200x50mm o výkonu 54W v celkovém počtu 32 kusů. Osvětlovací těleso bylo vybráno tak, aby zapadalo do rozvržení zavěšených

akustických těles a nepůsobilo rušivě z estetického hlediska. Zbylé osvětlení v oblasti balkónů bylo zanedbáno. Pro kvalitní osvětlení sálu je nutné provést odborný návrh a posouzení.

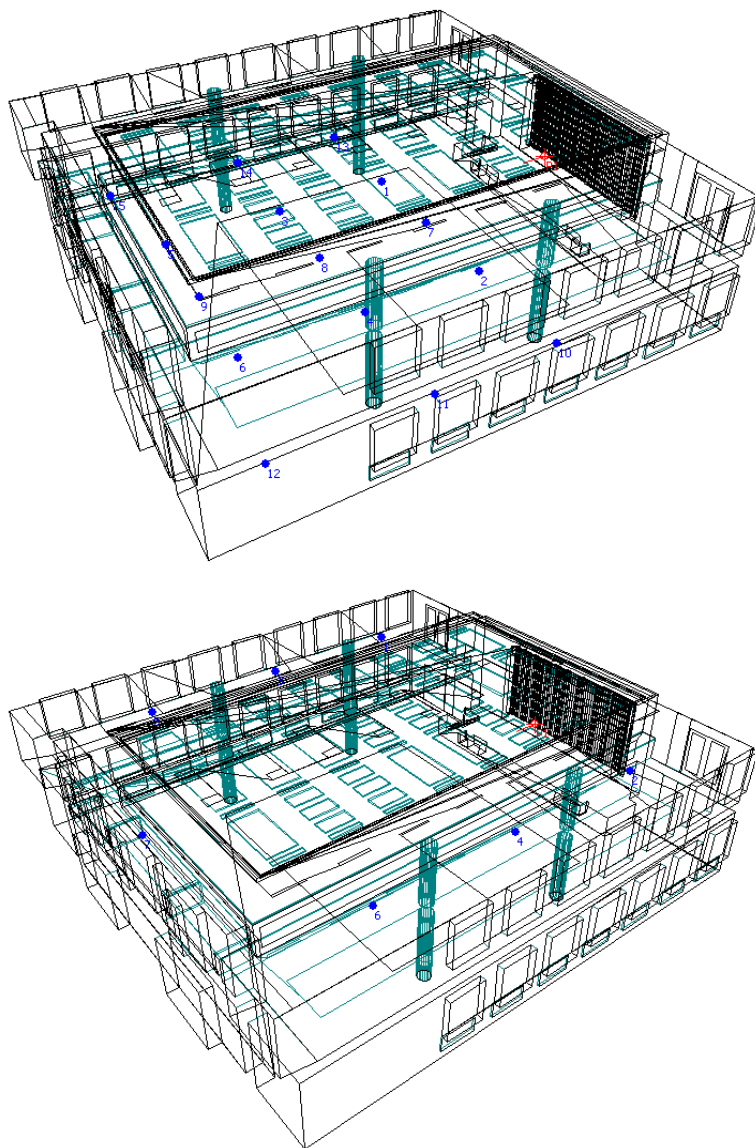


Obr. č. 27 a 28 – Model navrhovaných úprav ve variantě zatažené opony po přiřazení materiálových charakteristik [autor s pomocí program Odeon Room Acoustics]

Pozice zdroje byla zvolena jako v případě modelu původního stavu v ose místnosti ve výšce 1,8m (pro řeč) a 1,2m (pro hudbu) nad pódium a 1m od hrany pódia. Zdroj byl zadán ve 2 variantách, jednak jako simulace lidské řeči viz Tab. č. 31 a také hudby s o celkovém výkonu (overall gain) $L_w = 95\text{dB}$.

f (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
L_w (dB)	62	67	69	68	63	62

Tab. č. 31 – Hodnoty akustického výkonu L_w (dB) lidské řeči [7]

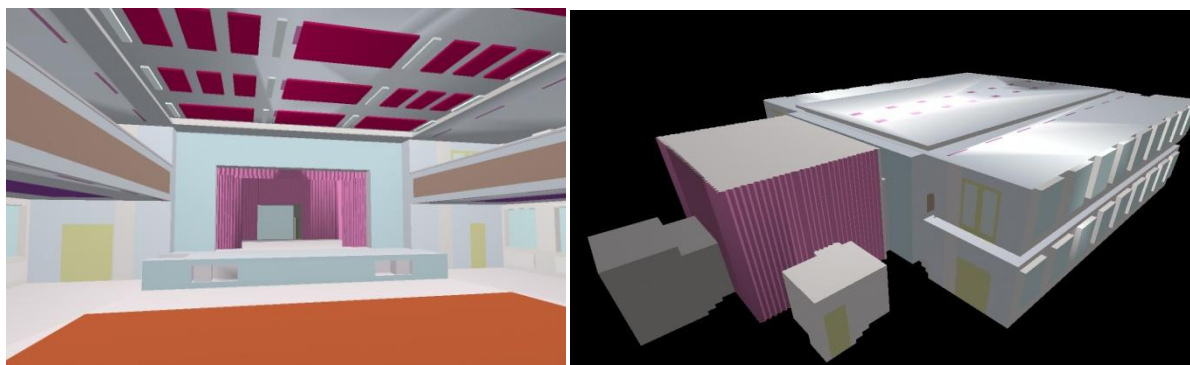


Obr. č. 29 a 30 – Rozmístění zdroje a mikrofonů v 1NP a 2NP [autor s pomocí program Odeon Room Acoustics]

V prvním podlaží byly mikrofony umístěny ve výšce 1,2m (sedící osoby, 15ks) a na balkonech ve výšce 1,8m (stojící osoby, 7ks). Rozmístěny byly rovnoměrně po celé ploše. Výpočet doby dozvuku je počítán zvlášť pro první podlaží a zvlášť pro balkóny.

- Varianta s nezataženou oponou:

Vytvořený model obsahuje celkem 1719 jednotlivých ploch rozdělených do 22 vrstev (layers) podle materiálu a způsobu zabudování/uchycení k podkladu.



Obr. č. 31 a 32 – Model navrhovaných úprav při nezatažené oponě po přiřazení materiálových charakteristik [autor s pomocí program Odeon Room Acoustics]

Použité činitele zvukové pohltivosti lze najít v Tab. č. 30. Veškeré ostatní nastavení stejné jako v první variantě včetně rozmístění a nastavení zdrojů a mikrofonů.

4.4.7 Výpočet posuzovaných parametrů

Program Odeon umožňuje výpočet hned několika akustických kritérií. Pro potřeby této práce a druhu místnosti patří mezi sledovaná kritéria při modelování navrhovaných úprav doba dozvuku T (s), index srozumitelnosti řeči I (-), síla zvuku/míra hlasitosti G (dB), hladina akustického tlaku SPL (dB), počáteční doba dozvuku EDT (s) a míra jasnosti C80 (dB).

Výpočet těchto hodnot byl proveden jak v rozložení po celé poslechové ploše (Grid Response), tak i v definovaných poslechových bodech (Point Response). O rozmístění poslechových bodů (pro obě varianty stejné) pojednává kapitola 4.4.6.

Pro získání výsledků na ploše je nutné zadat hodnocenou plochu pomocí funkce „Define Grid“ a spočívá ve výběru příslušné plochy (v tomto případě plocha podlahy, pódia a podlahy balkónů) a zařazení ji do výběru. Dále pak je nutné nastavit výšku přijímací plochy nad vybranou plochou (podlahou) a jemnost (rozlišení) sítě, respektive velikost jednotlivých ok v metrech.

Pro potřeby sálu byla přijímací plocha v prvním podlaží nastavena do výšky 1,2m (sedící osoby) nad podlahou a 1,8m (stojící osoba) na balkónech. Jemnost sítě byla nastavena na 1m.

Zdroje zvuku byly použity stejné jako pro bodovou odezvu (Point Response) ve variantě Hudba a Řeč (více v kapitole 4.4.6).

Pro výpočet síly zvuku vztažený k všesměrové radiaci zvuku ve volném poli ve vzdálenosti 10m G (dB) je potřeba změnit nastavení zdroje. Pozice zůstane stejná, ale hodnota výkonu musí být nastavena jako 31 dB pro jednotlivé kmitočty. Při takovémto nastavení odpovídá hodnota SPL (Sound Pressure Level) hodnotě G (dB).

5 VÝSLEDKY DIPLOMOVÉ PRÁCE

5.1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

5.1.1 Zhodnocení doby dozvuku a porovnání s platnou legislativou

5.1.2 Srovnání doby dozvuku naměřené a simulované

5.1.3 Zhodnocení simulace srozumitelnosti

5.2 ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ÚPRAV

5.2.1 Rekapitulace navrhovaných uprav

5.2.2 Doba dozvuku získaná z ručních výpočtů a počítačové simulace

5.2.3 Porovnání s platnou legislativou

5.2.4 Ostatní sledované parametry při počítačové simulaci

5.1 ZHODNOCENÍ STÁVAJÍCÍHO STAVU

5.1.1 Zhodnocení doby dozvuku a porovnání s platnou legislativou

Kmitočtový průběh doby dozvuku T (s) se ve vztahu k optimální době dozvuku T_o (s) prověřuje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí poměru hodnot T/T_o .

Norma [2] stanovuje pro víceúčelové sály hodnotu závislosti optimální doby dozvuku T_o (s) na objemu V (m^3) místnosti křivkou č. 2 uvedenou v „Obrázek A.1“. Tato závislost je dána následujícím vztahem.

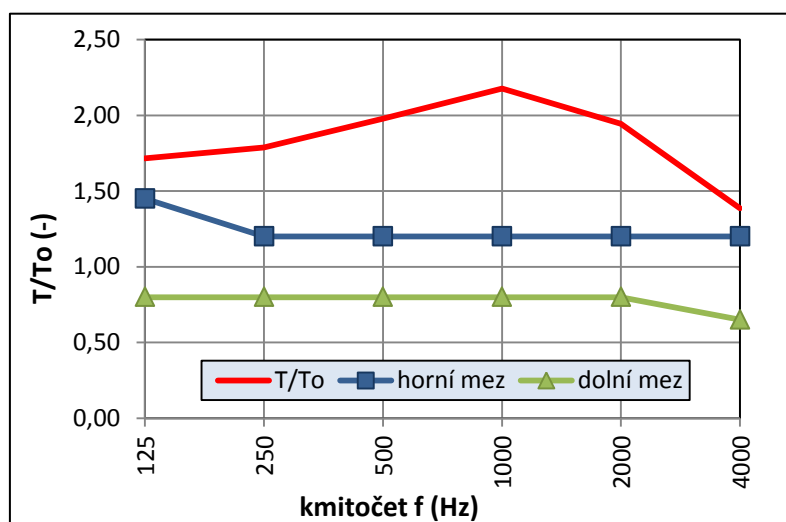
$$[2]: T_o = 0,3582 * \log V - 0,061 \quad [s]$$

Pro objem sálu $V = 2742,94 \text{ m}^3$ je vypočítaná hodnota optimální doby dozvuku $T_o = 1,17 \text{ s}$.

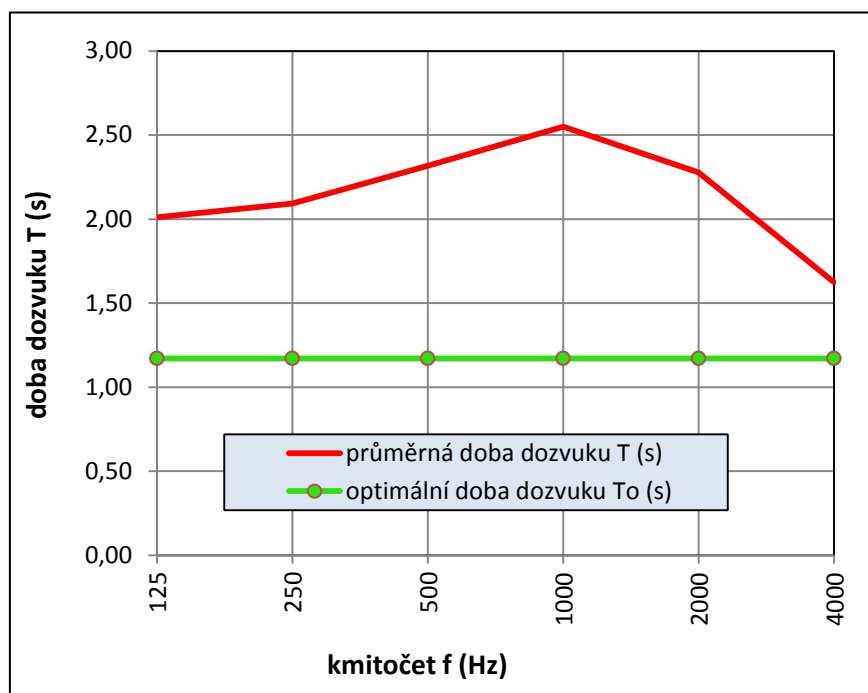
Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_o v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma pro víceúčelový sál stanovuje „obrázek A.3“ [2] a jeho hodnoty lze nalézt i v „Tabulka B.1“ [2] pro hudbu a řeč.

Z následující tabulky a grafu vyplývá, že sál nespĺňuje normové požadavky na dobu dozvuku T (s) a je nutné navrhnout příslušná opatření ke snížení doby dozvuku v sále.

f (Hz)	T (s)	T_o (s)	T/T_o (-)	mez	
				horní	dolní
125	2,01	1,17	1,72	1,45	0,8
250	2,09	1,17	1,79	1,2	0,8
500	2,32	1,17	1,98	1,2	0,8
1000	2,55	1,17	2,18	1,2	0,8
2000	2,28	1,17	1,94	1,2	0,8
4000	1,62	1,17	1,39	1,2	0,65



Tab. č. 32 a Graf č. 4 - Poměr naměřené doby dozvuku T a optimální doby dozvuku T_o ve vztahu k přípustnému rozmezí tohoto poměru [autor]

Graf č. 5 – Naměřená doba dozvuku T a optimální doba dozvuku T_o [autor]

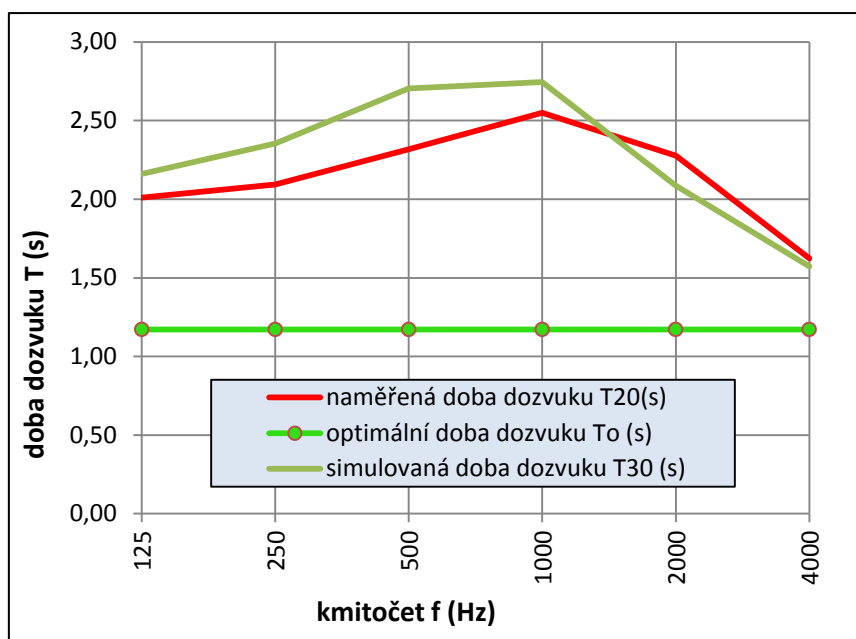
5.1.2 Srovnání doby dozvuku naměřené a simulované

Za účelem zajištění určité míry korektnosti výpočtu modelu navrhovaných úprav byl vytvořen model původního stavu pro „kalibraci“ výpočtového modelu. Podrobněji je tato problematika rozepsána v *odstavci 4.4.1*.

Podrobnosti o modelovaných pozicích zdroje a mikrofonu lze nalézt v *odstavci 4.2.2*.

Doba dozvuku T (s) - původní stav :								
	Zdroj	Mikrofon	Kmitočet f [Hz]					
			125	250	500	1000	2000	4000
Odeon	Z1	11, 12, 13, 14	2,19	2,34	2,71	2,71	2,09	1,61
	Z2	21, 22, 23, 24	2,14	2,38	2,68	2,73	2,07	1,56
	Z3	31, 32, 33, 34	2,19	2,38	2,73	2,79	2,09	1,57
	Z4	41, 42, 43, 44, 45	2,12	2,32	2,70	2,75	2,09	1,55
	T30 – průměr			2,16	2,36	2,71	2,75	2,09
Skutečné	Naměřené hodnoty - T20		2,01	2,09	2,32	2,55	2,28	1,62
Rozdíl			0,15	0,26	0,39	0,20	-0,19	-0,05

Tab. č. 33 – Porovnání naměřené doby dozvuku T20 (s) s dobou dozvuku T30 (s) vypočtenou v modelu původního stavu programem Odeon Room Acoustics [autor]



Graf. č. 6 – Porovnání naměřené doby dozvuku T20 (s) s dobou dozvuku T30 (s) vypočtenou v modelu původního stavu programem Odeon Room Acoustics [autor]

Z Tab. č. 33 a Graf. č. 6 lze vidět do jaké míry se podařilo přiblížit vypočtenými hodnotami těm naměřeným. Pro potřeby kalibrace modelu jsou rozdíly v přijatelných mezích a tedy dostačující pro zajištění korektnosti výpočtů navrhovaných úprav.

Rozdílnost hodnot může být způsobena různými zjednodušeními modelu oproti reálnému stavu, přiřazené činitele pohltivosti α (-) nemusí přesně odpovídat reálnému chování a také samotným programem Odeon, který je navržen na simulování místností s větším počtem pohltivých ploch a u modelů s převahou odrazivých ploch mohou být výsledky méně přesné.

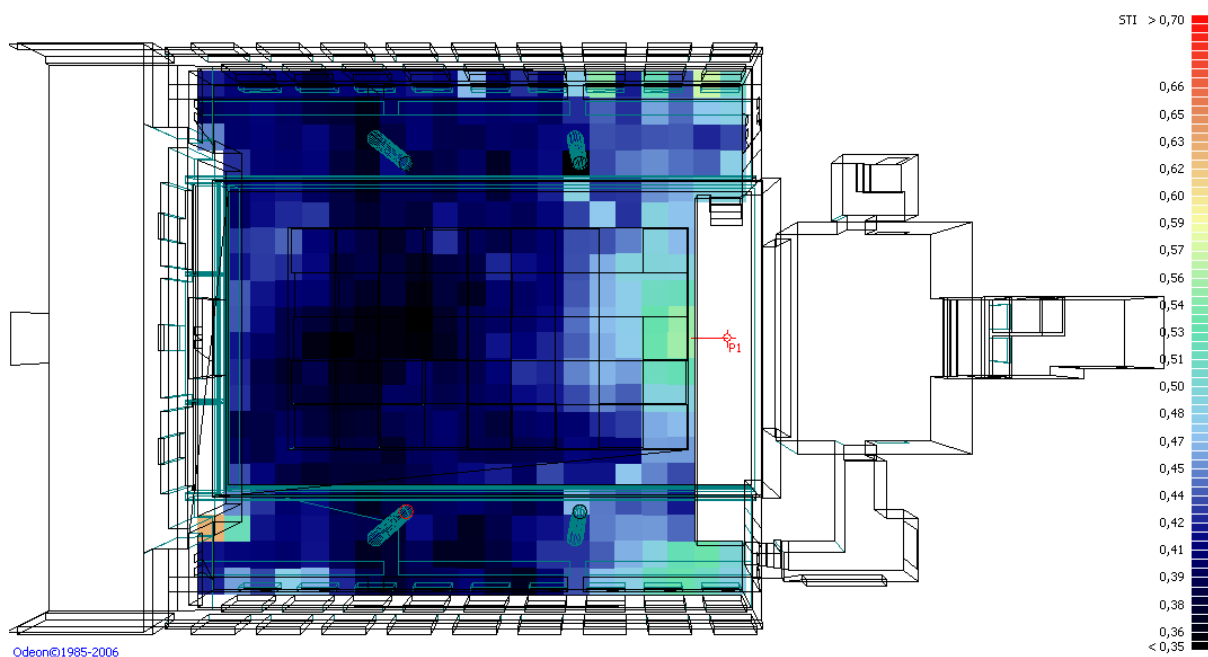
Vinu můžou nést i malé zkušenosti s programem Odeon. S většími zkušenostmi by mohlo být k modelování některých prvků geometrie, materiálové charakteristice a nastavení výpočtu přistoupeno odlišně a dosáhnout tak ještě lepších výsledků.

Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) lze nalézt v Příloze č. 7.

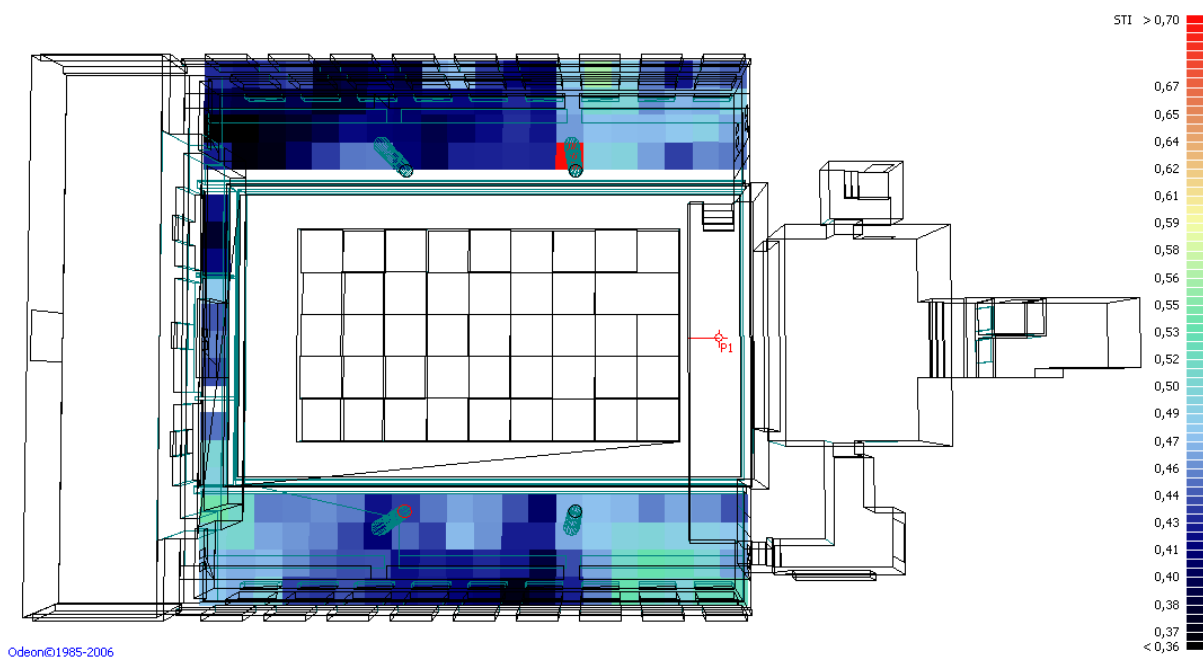
5.1.3 Zhodnocení simulace srozumitelnosti

Pro srovnání původního stavu a navrhovaných úprav byl v modelu původního stavu proveden výpočet srozumitelnosti pomocí síťové odezvy.

Výpočet byl proveden pro pozici zdroje Z1 (na pódiu), tedy v místě kde se očekává postavení řečníka. Zdroj byl definován pro simulování lidské řeči (více v kapitole 4.4.6) ve výšce 1,8m nad povrchem. Výšková úroveň sítě pro výpočet byla zvolena 1,2m nad podlahou (sedící osoby) a výpočet byl proveden v prvním podlaží a v oblasti balkonů v druhém podlaží.



Obr. č. 33 – Simulace srozumitelnosti v 1NP-model původního stavu [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 34 – Simulace srozumitelnosti ve 2NP-model původního stavu [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

Z výše uvedených Obr. č. 33 a 34 je zřejmé, že hodnoty indexu srozumitelnosti řeči I (-) [STI- Speech Transmission Index] se pohybují v rozmezí od cca 0,4 do 0,5 do vzdálenosti cca 4m od pódia. Ve vzdálenějších částech sálu klesají hodnoty indexu srozumitelnosti do rozmezí cca 0,35-0,4.

Hodnoty indexu srozumitelnosti na balkonech se pohybují v rozmezí od cca 0,4 do 0,5 do vzdálenosti cca 4m od čelní stěny a se zvětšující vzdáleností klesá I (-) až na hodnoty cca 0,36. Na balkoncích umístěných u zadní stěny jsou hodnoty I (-) v rozmezí od cca 0,4 do 0,5.

Index srozumitelnosti - I (-)	Srozumitelnost je
0,00	nulová
0,00 až 0,35	nevyhovující
0,35 až 0,45	unavující
0,45 až 0,60	dobrá
0,60 až 1,00	velmi dobrá
1,00	dokonalá

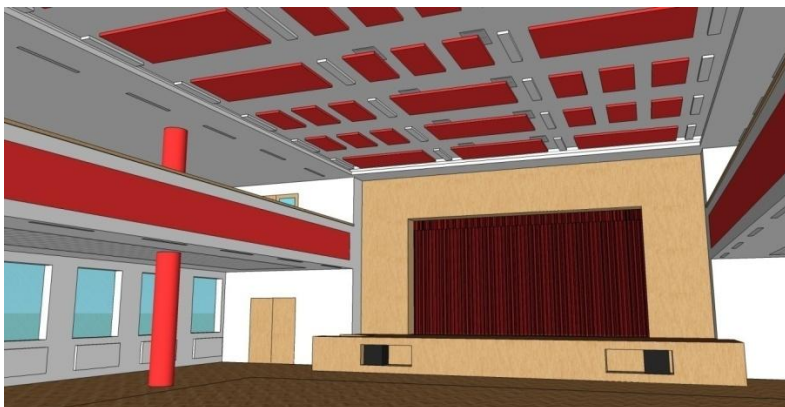
Tab. č.34 – Hodnoty indexu srozumitelnosti a jejich hodnocení [7]

Při pohledu na Tab. č. 34 je zřejmé, že hodnoty indexu srozumitelnosti spadají převážně do kategorie „unavující“ a pouze části balkonů a prostor před pódiem spadá do kategorie „dobrá“ a tudíž tento stav není optimální. Je tedy třeba vhodnými úpravami tento stav zlepšit.

5.2 ZHODNOCENÍ NAVRHOVANÝCH ÚPRAV

5.2.1 Rekapitulace navrhovaných úprav

Hlavní úpravy spočívají v zavěšených akusticky pohltivých panelech Texaa Stereo Panel umístěných v místě původního difuzoru ze sádkartonových desek. Dále podhled balkonů z velkoformátových perforovaných sádkartonových desek Rigips Gyptone BIG Quattro 42 a také pásy z akusticky pohltivé pěny Texaa Vibrasto 10 nalepené na vnější strany balkonového zábradlí a také na železobetonové sloupy balkonů.



Obr. č. 35 – Jednoduchá vizualizace navrhovaných úprav [autor s pomocí programu Google SketchUp]

Podrobněji v kapitole 4.3.3 a také ve výkresech akustických úprav, které lze nalézt ve Složce C.6

5.2.2 Doba dozvuku získaná z ručních výpočtů a počítačové simulace

U ručního výpočtu byla uvažována varianta se zataženou oponou a oponou roztaženou, přičemž větší důraz byl kladen na variantu první (nejběžnější varianta). Obě varianty byly počítány pro prázdný sál a sál obsazený ze 2/3 (200 osob z celkových 300 osob).

V programu Odeon Room Acoustics byly použity dva modely, které odpovídají zmíněným 2ma variantám. Pro každou variantu byly dvě varianty zdroje (lidská řeč, hudba).

Doba dozvuku T (s) - navrhované úpravy, obsazený stav :				kmitočety [Hz]					
				125	250	500	1000	2000	4000
Zatažená opona	Ruční výpočet			1,46	1,23	1,16	1,16	1,08	0,91
	Odeon	1NP	Řeč	1,40	1,12	1,13	1,08	0,94	0,83
			Hudba	1,34	1,10	1,08	1,06	0,91	0,81
		2NP (balkóny)	Řeč	1,35	1,18	1,19	1,18	0,94	0,80
			Hudba	1,32	1,15	1,10	1,12	0,90	0,77
	Nezatažená opona	Ruční výpočet			1,57	1,27	1,16	1,15	1,08
Odeon		1NP	Řeč	1,26	1,18	1,12	1,09	0,92	0,84
			Hudba	1,46	1,19	1,12	1,09	0,88	0,81
		2NP (balkóny)	Řeč	1,38	1,22	1,18	1,15	0,91	0,85
			Hudba	1,36	1,22	1,17	1,13	0,90	0,85

Tab. č. 35 – Doba dozvuku T (s) získaná výpočtem a počítačovou simulací v programu Odeon Room Acoustics [autor]

5.2.3 Porovnání s platnou legislativou

Kmitočtový průběh doby dozvuku T (s) se ve vztahu k optimální době dozvuku T_0 (s) prověřuje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí poměru hodnot T/T_0 .

Norma [2] stanovuje pro víceúčelové sály hodnotu závislosti optimální doby dozvuku T_0 (s) na objemu V (m^3) místnosti křivkou č. 2 uvedenou v „Obrázek A.1“. Tato závislost je dána následujícím vztahem.

$$[2]: T_0 = 0,3582 * \log V - 0,061 \quad [s]$$

Pro objem sálu $V = 2734,8 m^3$ ($2479,08 m^3$ při zatažené oponě) je vypočítaná hodnota optimální doby dozvuku $T_0 = 1,17 s$.

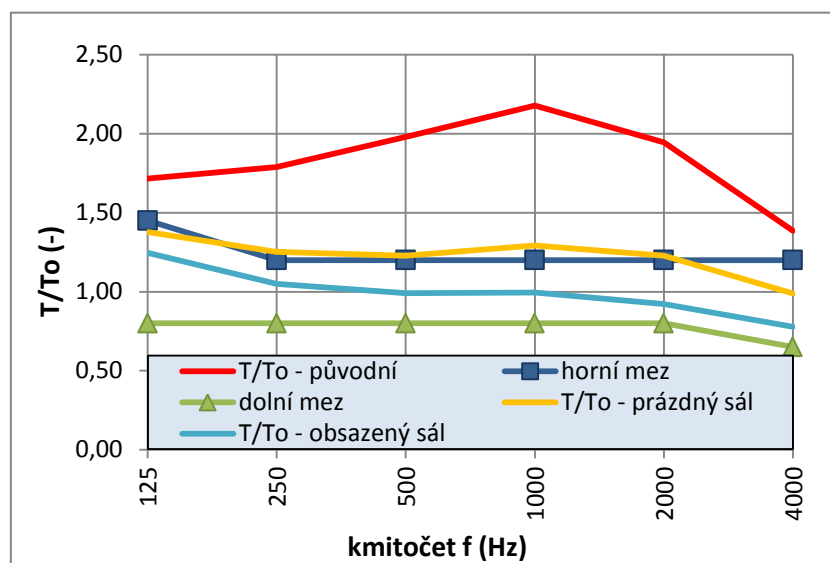
Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku T/T_0 v závislosti na středním kmitočtu oktávového pásma pro víceúčelový sál stanovuje „obrázek A.3“ [2] a jeho hodnoty lze nalézt i v „Tabulka B.1“ [2] pro hudbu a řeč.

- Zhodnocení ručně vypočítané doby dozvuku T (s) :

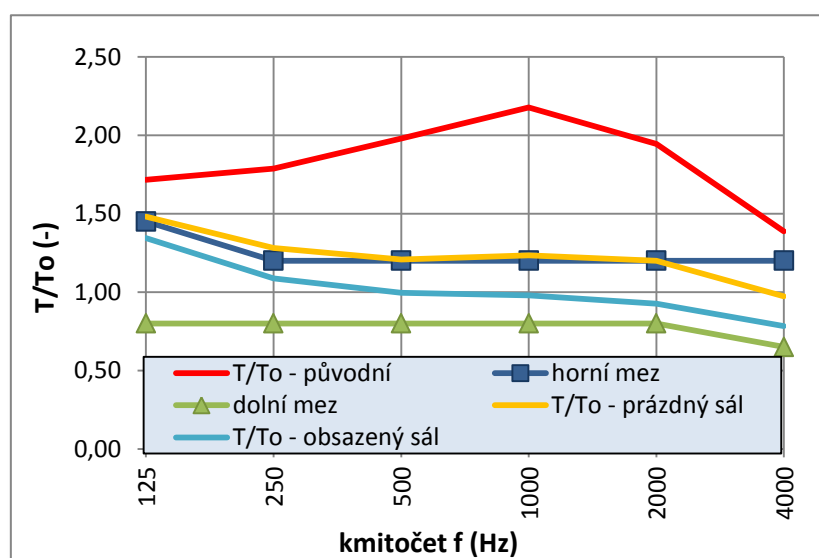
Výpočet byl proveden statistickou metodou pro variantu se zataženou a nezataženou oponou.

f (Hz)	T_o (s)	Zatažená opona				Nezatažená opona				mez	
		$T_{prázdný}$ (s)	$T_{obsazený}$ (s)	$T_{práz}/T_o$ (-)	T_{obsaz}/T_o (-)	$T_{prázdný}$ (s)	$T_{obsazený}$ (s)	$T_{práz}/T_o$ (-)	T_{obsaz}/T_o (-)	horní	dolní
125	1,17	1,61	1,46	1,38	1,25	1,73	1,57	1,48	1,34	1,45	0,80
250	1,17	1,47	1,23	1,25	1,05	1,50	1,27	1,28	1,09	1,20	0,80
500	1,17	1,44	1,16	1,23	0,99	1,41	1,16	1,21	0,99	1,20	0,80
1000	1,17	1,51	1,16	1,29	1,00	1,45	1,15	1,24	0,98	1,20	0,80
2000	1,17	1,44	1,08	1,23	0,92	1,40	1,08	1,20	0,93	1,20	0,80
4000	1,17	1,16	0,91	0,99	0,78	1,14	0,92	0,97	0,78	1,20	0,65

Tab. č. 36 – Poměr vypočítané doby dozvuku T (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) prázdného sálu a sálu obsazeného ze 2/3 pro variantu se zataženou i nezataženou oponou [autor]



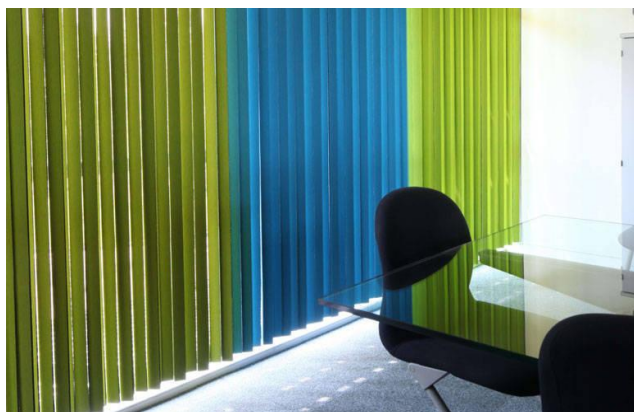
Graf č. 7 – Poměr vypočítané doby dozvuku T (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) prázdného sálu a sálu obsazeného ze 2/3 pro variantu se zataženou oponou [autor]



Graf č. 8 – Poměr vypočítané doby dozvuku T (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) prázdného sálu a sálu obsazeného ze 2/3 pro variantu s nezataženou oponou [autor]

Z výše uvedeného je zřejmé, že sál s navrhovanými úpravami při uvažovaném obsazení ze 2/3 (200 z 300 osob) splňuje normové požadavky [2] na dobu dozvuku T (s) v obou uvažovaných variantách opony (zatažená, nezatažená).

V případě prázdného sálu poměr vypočítané doby dozvuku T (s) a optimální doby dozvuku T_0 (s) na některých kmitočtech překračuje horní mez, ale hodnota překročení není větší než 10% (0,10) a tedy i prázdný sál splňuje normové požadavky.



V případě potřeby snížit dobu dozvuku sálu osazeného pouze účinkujícími/řečníky a dalšími potřebnými osobami (technici atd.) při zkouškách nebo záznamech zvuku, lze využít roztažení akustických závěsů Texaa Acoustics Blinds umístěnými před okenními otvory, které však do výpočtů nebyly zahrnuty.

Navrženy jsou ve variantě volných pásků (free-hanging strips) ve stejné barevné variantě jako akustické panely Stereo a pásy Vibrasto. Více v technických listech výrobce v Příloze č.6 a ve výkresech akustických úprav ve Složce C.6

- Doba dozvuku získaná počítačovou simulací:

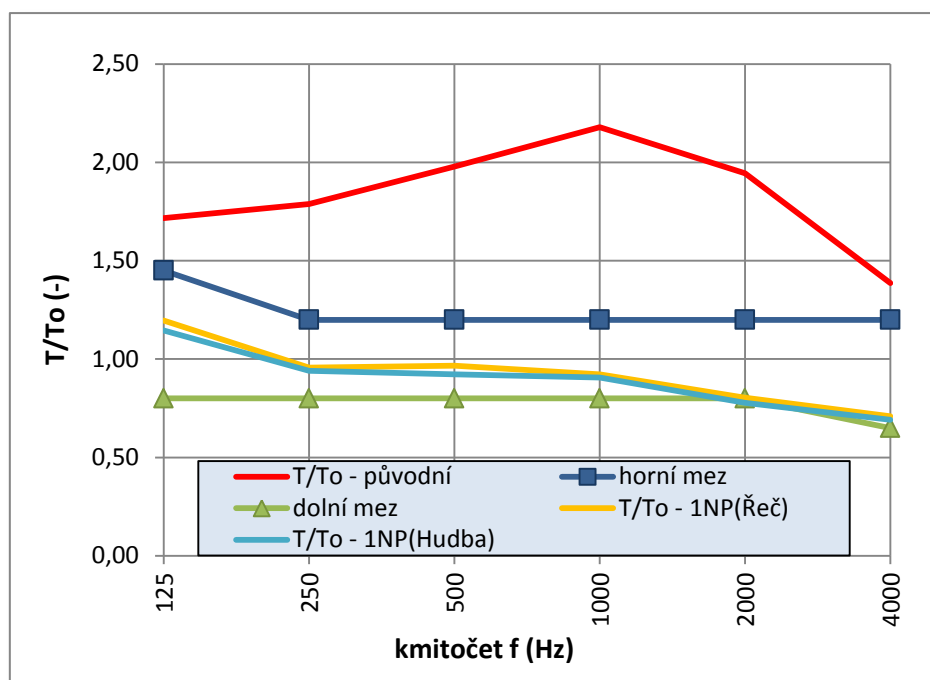
Pomocí programu Odeon Room Acoustics byly získány průběhy doby dozvuku T (s) zvlášť v prvním podlaží (publikum) a zvlášť na balkónech. Výpočet byl proveden pro sál obsazený ze 2/3.

Varianta se zataženou oponou:

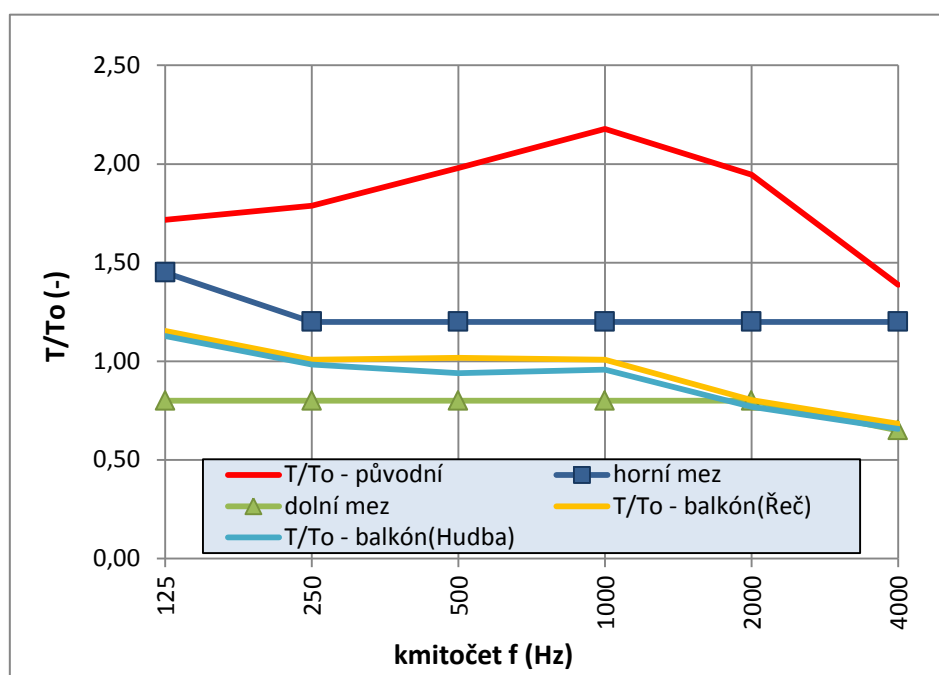
Doba dozvuku T_{30} (s) získaná z nadefinovaných přijímacích bodů (viz. kapitola 4.4.6).

Doba dozvuku T (s), obsazenost ze 2/3		kmitočty [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
1NP	Řeč	1,40	1,12	1,13	1,08	0,94	0,83
	T/T_0 (-)	1,20	0,96	0,97	0,92	0,80	0,71
	Hudba	1,34	1,10	1,08	1,06	0,91	0,81
	T/T_0 (-)	1,15	0,94	0,92	0,91	0,78	0,69
2NP (balkóny)	Řeč	1,35	1,18	1,19	1,18	0,94	0,80
	T/T_0 (-)	1,15	1,01	1,02	1,01	0,80	0,68
	Hudba	1,32	1,15	1,10	1,12	0,90	0,77
	T/T_0 (-)	1,13	0,98	0,94	0,96	0,77	0,66
Horní mez		1,45	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Dolní mez		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

Tab. č. 37 – Doba dozvuku T_{30} (s) získaná z programu Odeon Room Acoustics pro variantu se zataženou oponou [autor]



Graf č. 9 - Poměr získané doby dozvuku T_{30} (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) obsazeného sálu ze 2/3 při zatažené oponě – 1NP, pro řeč a hudbu [autor]



Graf č. 10 - Poměr získané doby dozvuku T_{30} (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) obsazeného sálu ze 2/3 při zatažené oponě – balkóny (2NP), pro řeč a hudbu [autor]

Z výše uvedeného je zřejmé, že sál s navrhovanými úpravami při zatažené oponě a obsazení ze 2/3 maximální uvažované kapacity splňuje normové požadavky na dobu dozvuku T (s).

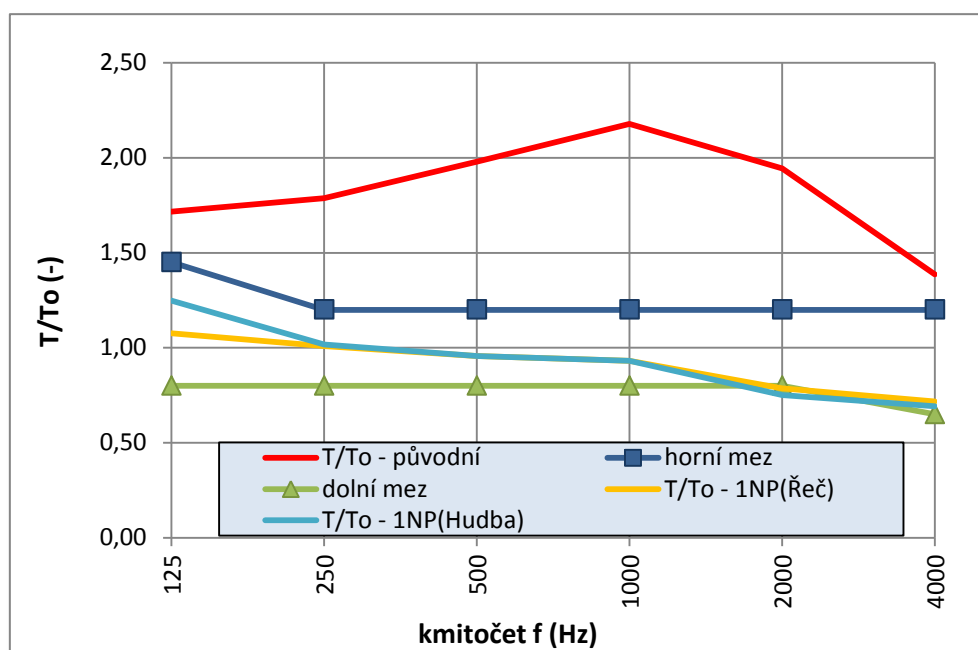
Pouze na kmitočtu 2000 Hz při variantě zdroje nastaveného pro simulaci hudby poměr T/T_o (-) mírně překračuje dolní mez (o 0,02 a 0,03), ale hodnota překročení není větší než 10% (0,10) a tedy požadavky splňuje.

Varianta s nezataženou oponou:

Doba dozvuku T_{30} (s) získaná z nadefinovaných přijímacích bodů (viz. kapitola 4.4.6).

Doba dozvuku T (s), obsazenost ze 2/3		kmitočty [Hz]					
		125	250	500	1000	2000	4000
1NP	Řeč	1,26	1,18	1,12	1,09	0,92	0,84
	T/T _o (-)	1,08	1,01	0,96	0,93	0,79	0,72
	Hudba	1,46	1,19	1,12	1,09	0,88	0,81
	T/T _o (-)	1,25	1,02	0,96	0,93	0,75	0,69
2NP (balkóny)	Řeč	1,38	1,22	1,18	1,15	0,91	0,85
	T/T _o (-)	1,18	1,04	1,01	0,98	0,78	0,73
	Hudba	1,36	1,22	1,17	1,13	0,90	0,85
	T/T _o (-)	1,16	1,04	1,00	0,97	0,77	0,73
Horní mez		1,45	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Dolní mez		0,80	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

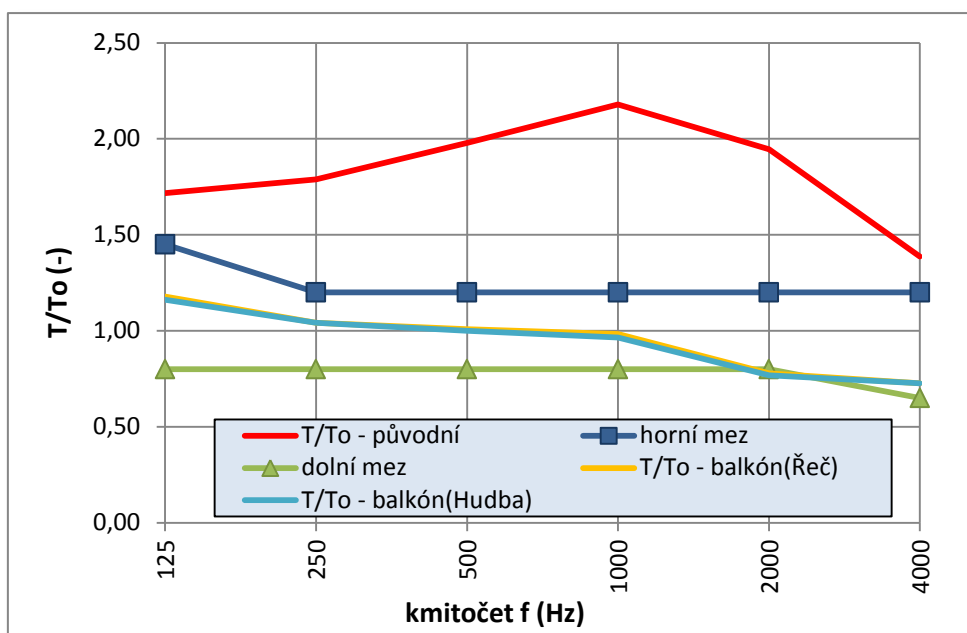
Tab. č. 38 – Doba dozvuku T_{30} (s) získaná z programu Odeon Room Acoustics pro variantu s nezataženou oponou [autor]



Graf č. 11 - Poměr získané doby dozvuku T_{30} (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) obsazeného sálu ze 2/3 při nezatažené oponě - INP, pro řeč a hudbu [autor]

Je zřejmé, že na kmitočtu 2000 Hz poměr T/To (-) mírně překračuje dolní mez (o 0,01 až 0,05), ale hodnota překročení není větší než 10% (0,10) a tedy normové požadavky na dobu dozvuku T (s) splňuje.

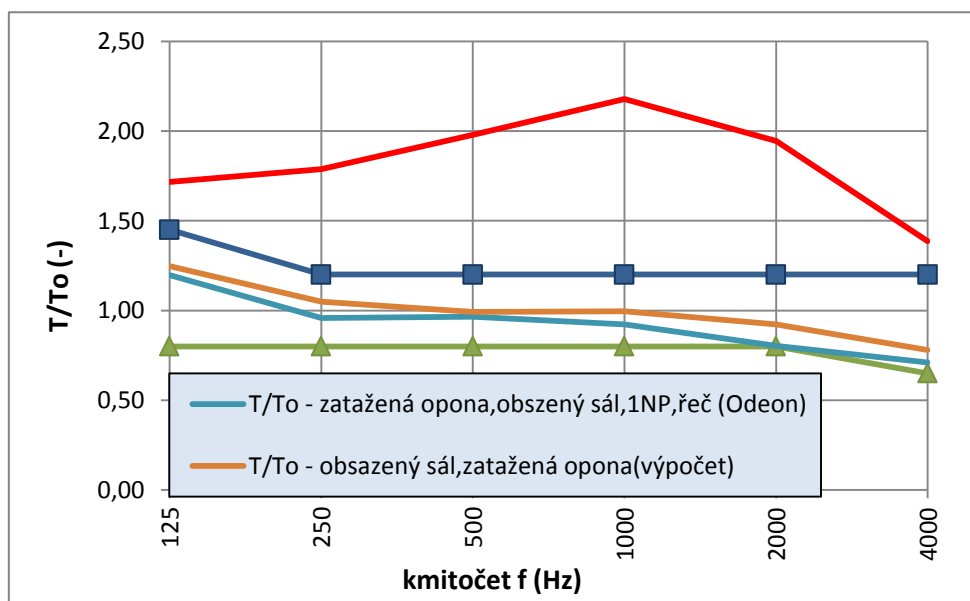
Protokoly výpočtu bodové odezvy (Point Response) lze nalézt v Příloze č. 8 (zatažená opona) a Příloze č. 9 (nezatažená opona).



Graf č. 12 - Poměr získané doby dozvuku T_{30} (s) a optimální doby dozvuku T_o (s) obsazeného sálu ze 2/3 při nezatažené oponě – balkóny(2NP), pro řeč a hudbu [autor]

- Srovnání výsledků počítačové simulace a ručního výpočtu:

Z výsledků je také zřejmé, že hodnoty doby dozvuku T (s) získané počítačovou simulací vychází mírně nižší, než ty získané ručním výpočtem statistickou metodou. Důvodem rozdílných hodnot může být zohlednění geometrické akustiky, drobné zjednodušení geometrie výpočtového modelu a vnesená chyba při hledání materiálových charakteristik stávajících neměnných ploch (viz kapitola 4.4.1). Z praxe také vyplývá, že výsledky z programu Odeon vychází zpravidla mírně nižší, než při ručním výpočtu, přičemž ruční výpočet vychází „na stranu bezpečnou“.



Graf č. 13 – Porovnání doby dozvuku T (s) získané z programu Odeon Room Acoustics a z ručního výpočtu pro variantu se zataženou oponou, obsazený sál [autor]

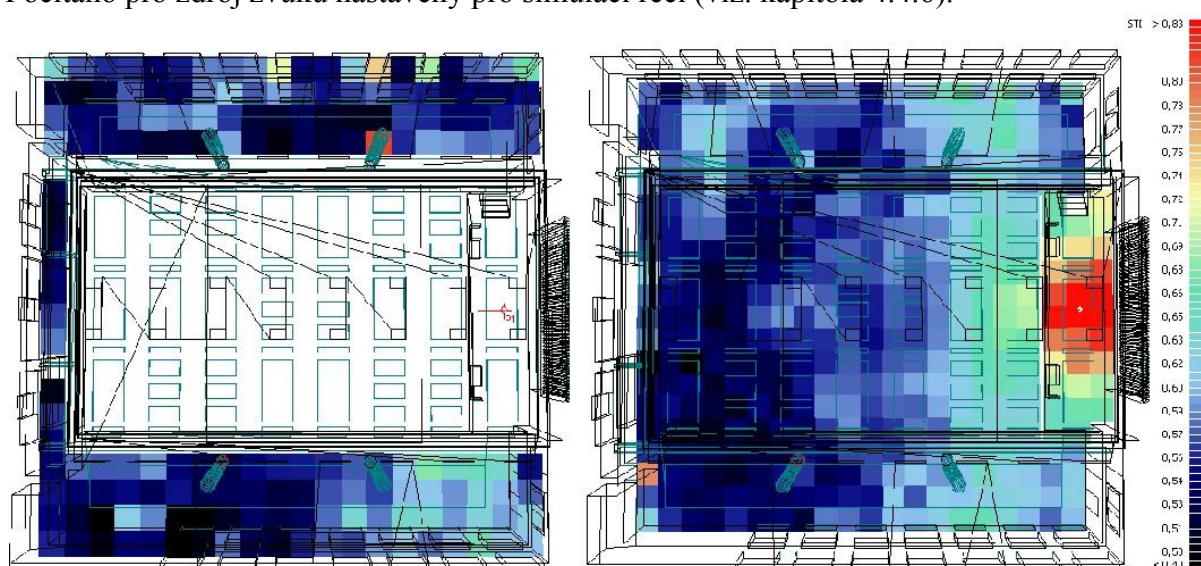
5.2.4 Ostatní sledované parametry při počítačové simulaci

Mezi další sledovaná kritéria získané pomocí programu Odeon Room Acoustics pro potřeby této práce a druhu místnosti patří index srozumitelnosti řeči $I(-)$, hladina akustického tlaku SPL (dB), síla zvuku/míra hlasitosti G (dB), počáteční doba dozvuku EDT (s) a míra jasnosti C80 (dB). Pro výpočet těchto parametrů byla využita metoda síťové odezvy (Grid Response) a odezva v definovaných přijímačích (Point Response). Více se lze dočíst v kapitole 4.4.7.

Vzhledem k podobným výsledkům při zatažené i nezatažené oponě budou prezentovány pouze výsledky pro variantu, na kterou se klade větší důraz – varianta se zataženou oponou a zdrojem zvuku pro simulaci lidské řeči nebo hudby.

- Index srozumitelnosti řeči I (STI – Speech Transmission Index):

Počítáno pro zdroj zvuku nastavený pro simulaci řeči (viz. kapitola 4.4.6).



Obr. č. 36 – Průběh indexu srozumitelnosti řeči $I(-)$ v ploše ve výšce 1,8m nad podlahou (balkóny) a 1,2m (1NP) [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

Index srozumitelnosti - $I(-)$	Srozumitelnost je
0,00	nulová
0,00 až 0,35	nevyhovující
0,35 až 0,45	unavující
0,45 až 0,60	dobrá
0,60 až 1,00	velmi dobrá
1,00	dokonalá

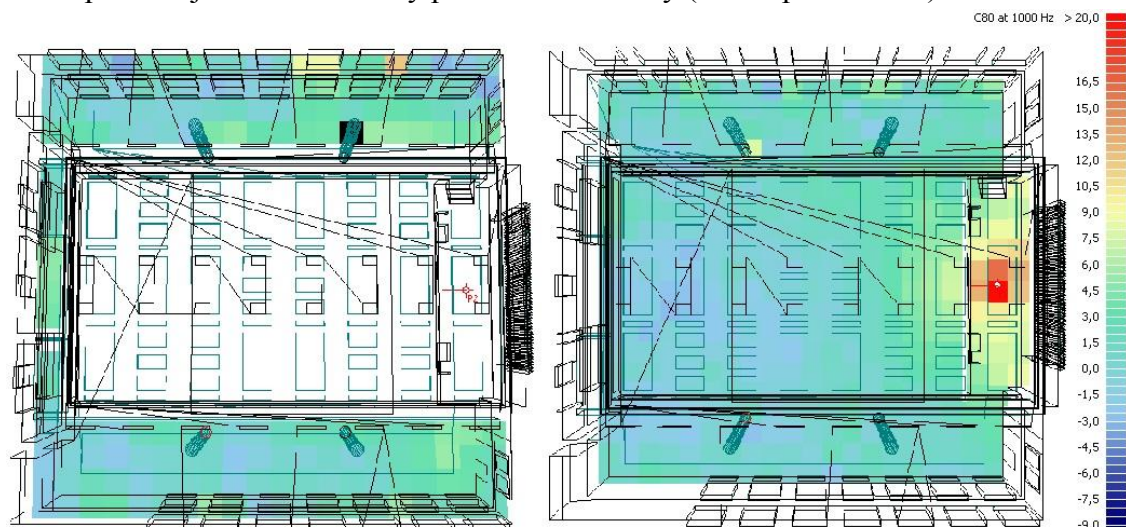
Tab. č. 39 – Hodnoty indexu srozumitelnosti a jejich hodnocení [7]

Hodnoty $I(-)$ se ve vzdálenosti do 4,5m od podla pohybuji přibližně od 0,68 do 0,60, ve vzdálenosti od 4,5m do 11,5m přibližně 0,60 až 0,55 a nad 11,5m se hodnoty pohybuji přibližně od 0,55 do 0,5. Na balkónech se hodnoty pohybuji v rozmezí 0,52 až 0,65.

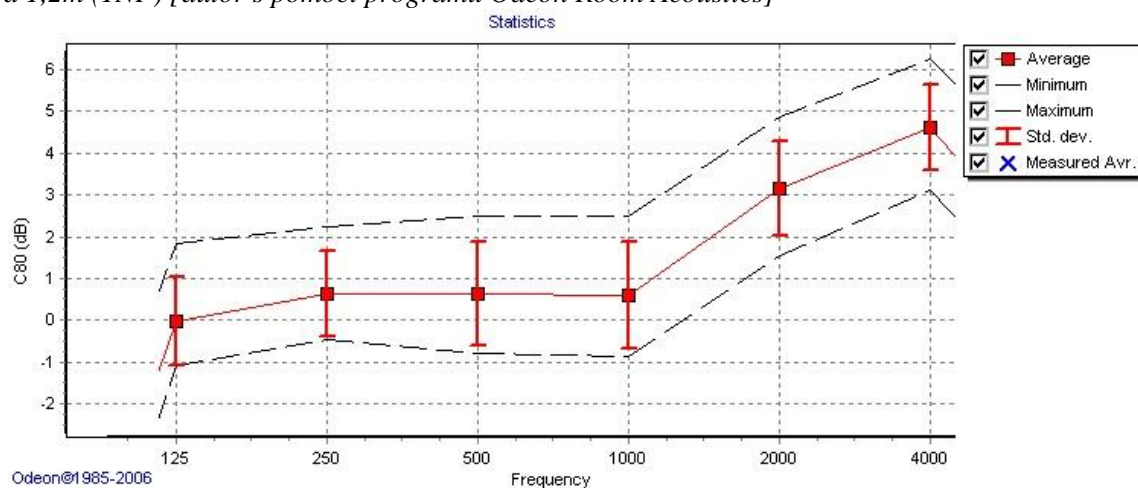
Což odpovídá kategoriím „dobrá“ a „velmi dobrá“. Nejnižší zjištěná hodnota je 0,49.

- Míra jasnosti C80:

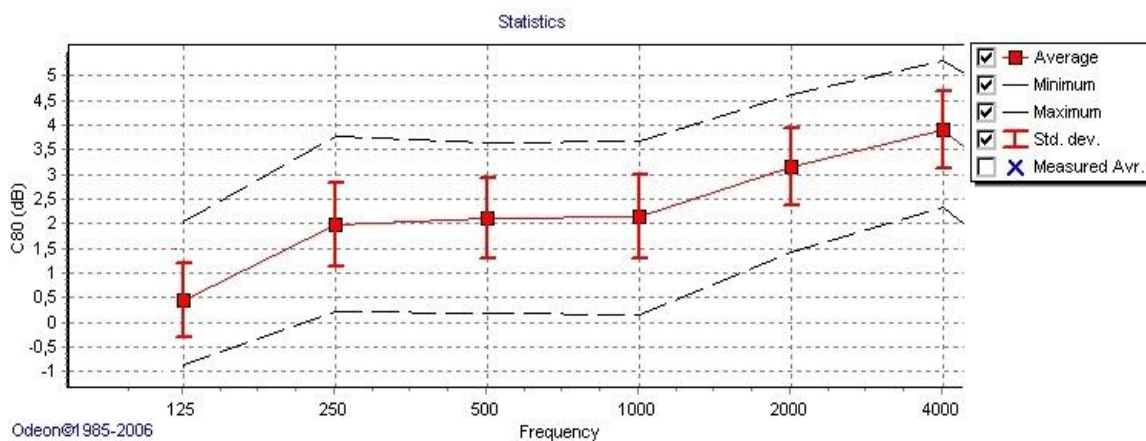
Počítáno pro zdroj zvuku nastavený pro simulaci hudby (viz. kapitola 4.4.6).



Obr. č. 37 – Průběh míry jasnosti C80 (dB) na 1000 Hz v ploše ve výšce 1,8m nad podlahou (balkóny) a 1,2m (INP) [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 38 – Průměrné, minimální, maximální hodnoty a standardní rozptyl míry jasnosti C80 (dB) na jednotlivých kmitočtech na balkónech získaných z bodové odezvy (Point Response) [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 39 – Průměrné, minimální, maximální hodnoty a standardní rozptyl míry jasnosti C80 (dB) na jednotlivých kmitočtech v INP získaných z bodové odezvy (Point Response) [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

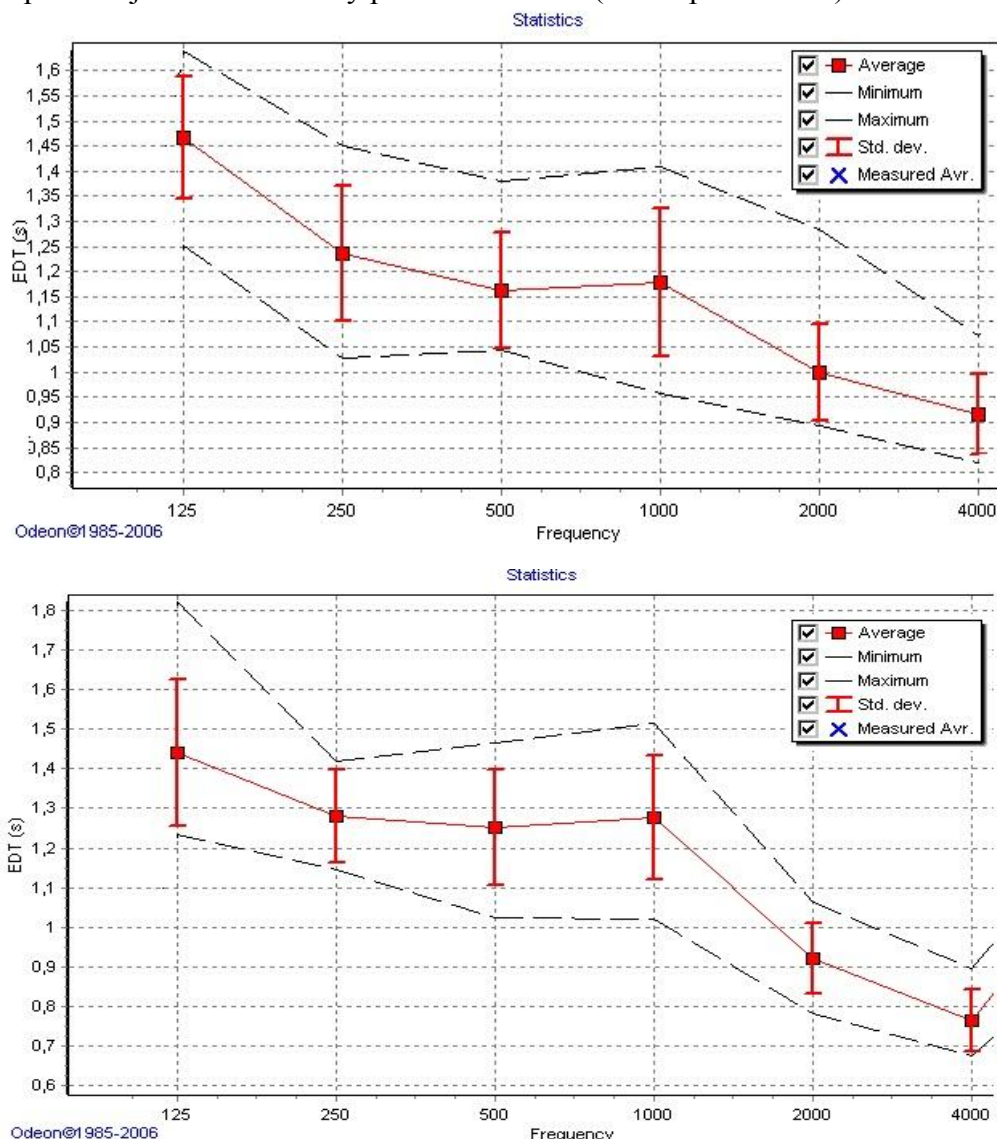
Z výše uvedeného je zřejmé, že hodnoty míry jasnosti jsou poměrně rovnoměrně rozloženy po celé poslechové ploše a nabývá průměrných hodnot přibližně od 0 do 4 dB v prvním podlaží a od 0 do 5 dB na balkónech.

Dle [1] je optimální rozmezí 1 ± 2 dB, dle [9] 0 ± 2 dB pro varhanní hudbu, 2 ± 2 dB pro smyčcové nástroje a sborový zpěv, 4 ± 2 dB pro drnkací a trsací nástroje a lehkou populární hudbu a 6 ± 2 dB pro rock and roll a současnou moderní hudbu. Hodnota 8 dB by neměla být překročena. Více v kapitole 2.1.4.

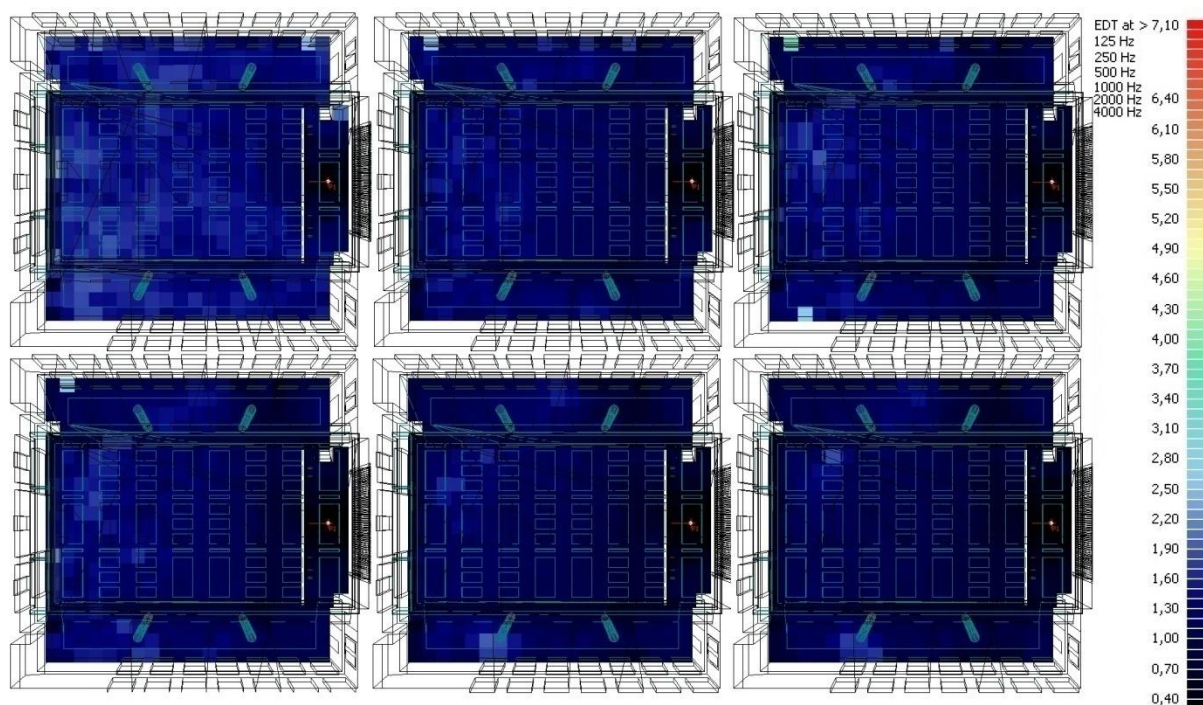
Z výše uvedeného vyplývá, že se hodnoty pohybují přibližně kolem optimálních hodnot dle [1] a stejně tak optimálních hodnot specifikovaných v [9]. Hodnota 8 dB je překročena pouze na pódiu a jeho těsné blízkosti.

- Počáteční doba dozvuku EDT (Early Decay Time):

Počítáno pro zdroj zvuku nastavený pro simulaci řeči (viz. kapitola 4.4.6).



Obr. č. 40 a 41 – Průměrné, minimální, maximální hodnoty a standardní rozptyl počáteční doby dozvuku EDT (dB) na jednotlivých kmitočtech v INP (horní obr.) a na balkónech (dolní obr.) získané z bodové odezvy (Point R.), řeč [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

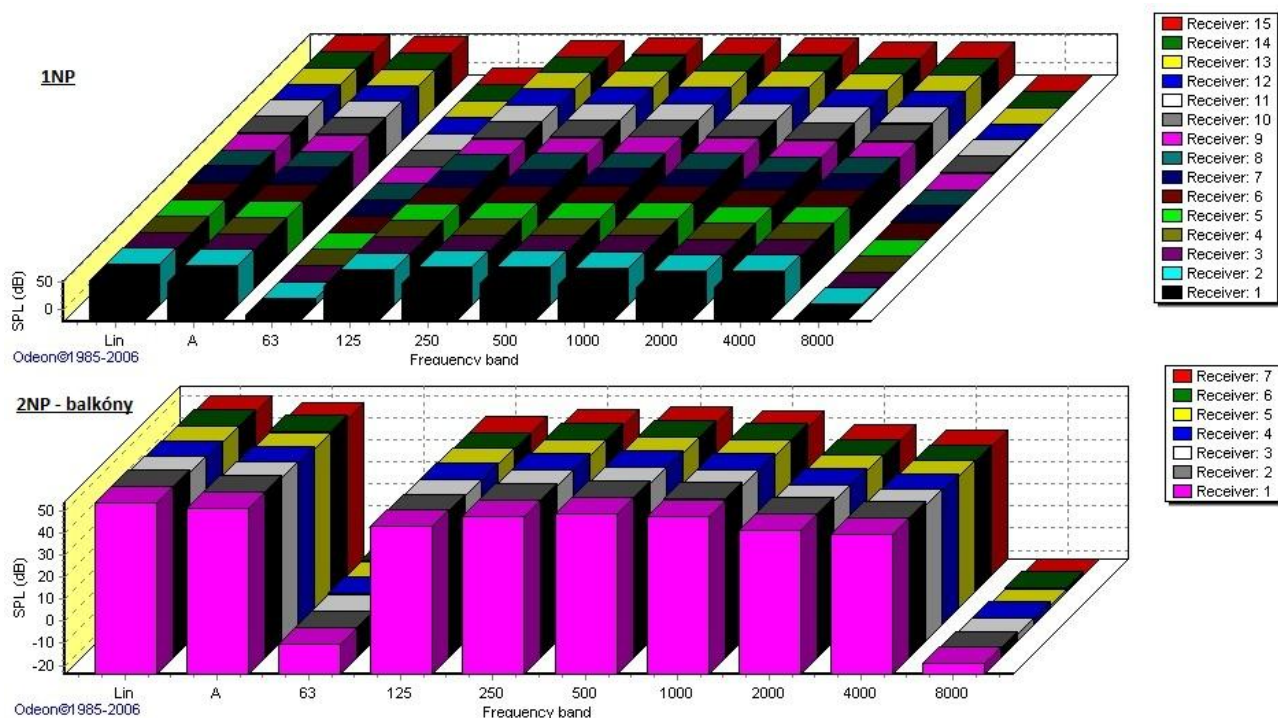


Obr. č. 42 – Rozložení počáteční doby dozvuku EDT (dB) v poslechové ploše na jednotlivých kmitočtech (125 až 4000Hz), 1NP, zdroj-řeč [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

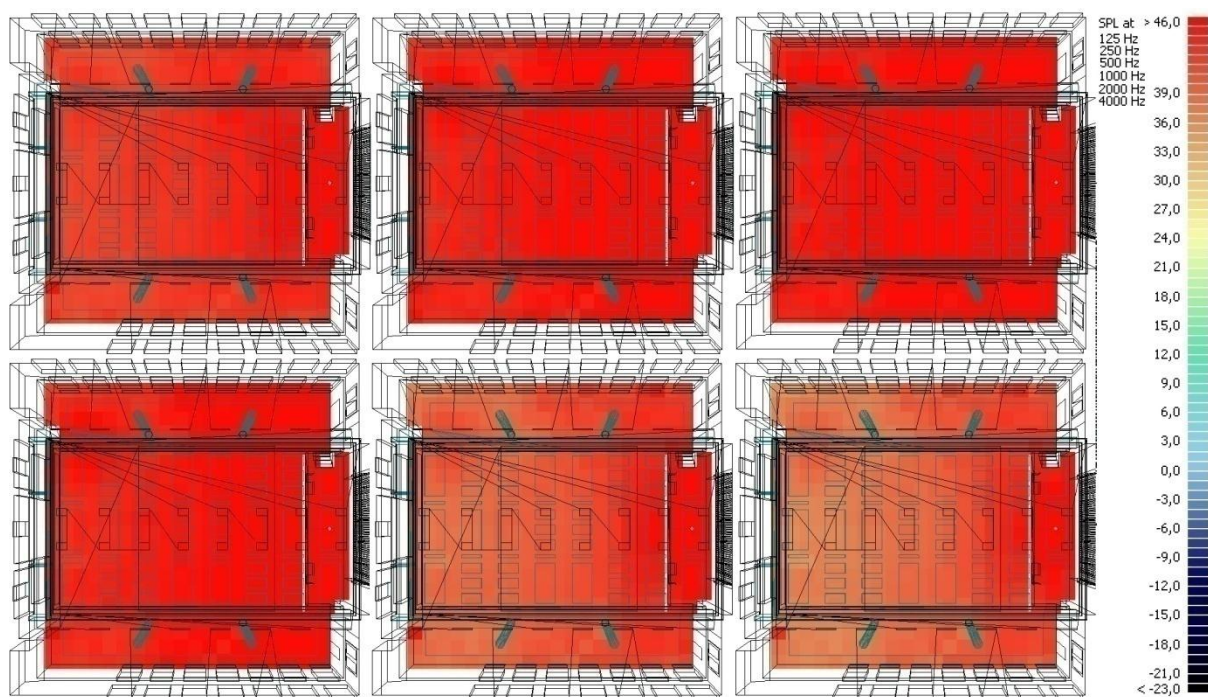
Veličina EDT lépe koreluje s vnímaným „dozvukem“ prostoru, zatímco doba dozvuku T se týká spíše fyzikálních vlastností prostoru.

- Hladina akustického tlaku SPL (Sound Pressure Level) a síla zvuku/míra hlasitosti G:

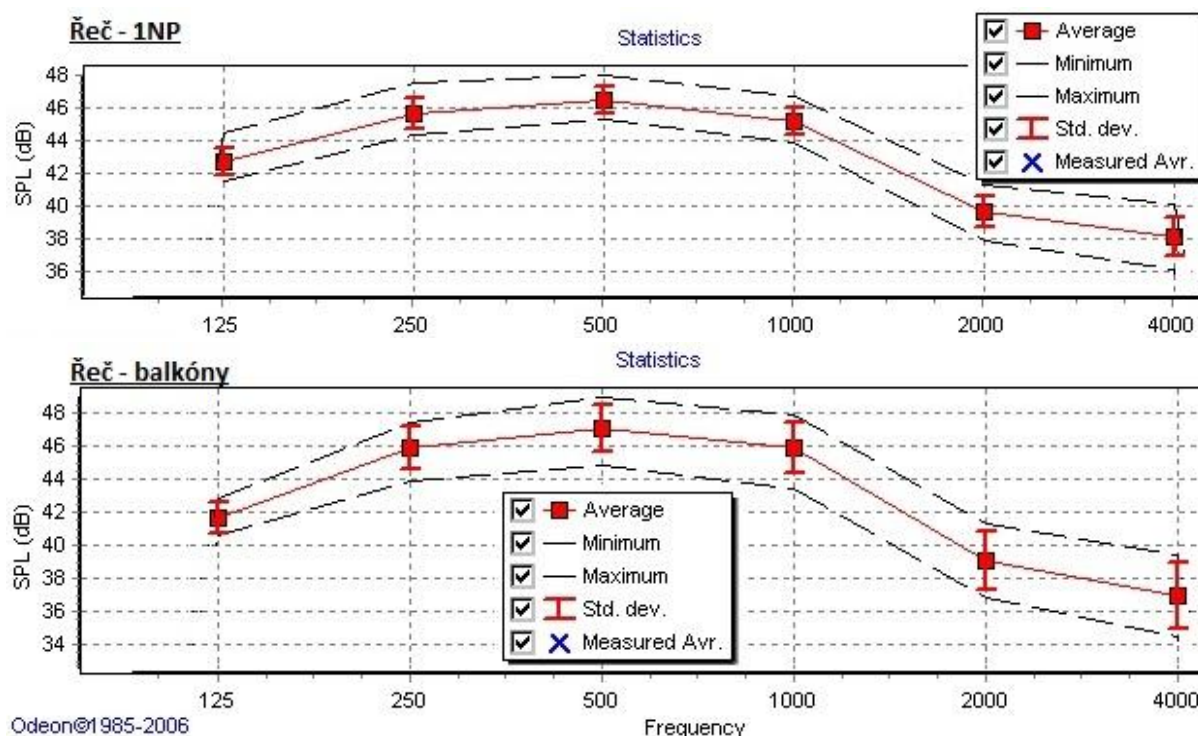
Pro výpočet SPL byl použit zdroj v nastavení pro řeč tak i pro hudbu (viz. kapitola 4.4.6) . Pro výpočet parametru G je dle [6] nutno zadat výkon zdroje zvuku na hodnotu 31 dB na jednotlivých kmitočtech. Pak hodnota parametru SPL (Sound Pressure Level) odpovídá hodnotě G (viz. kapitola 4.4.7).



Obr. č. 43 – Hodnoty hladiny akustického tlaku SPL (dB) na jednotlivých kmitočtech pro 1NP a balkóny získané z bodové odezvy (Point Response) na definovaných přijímačích, zdroj- řeč [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

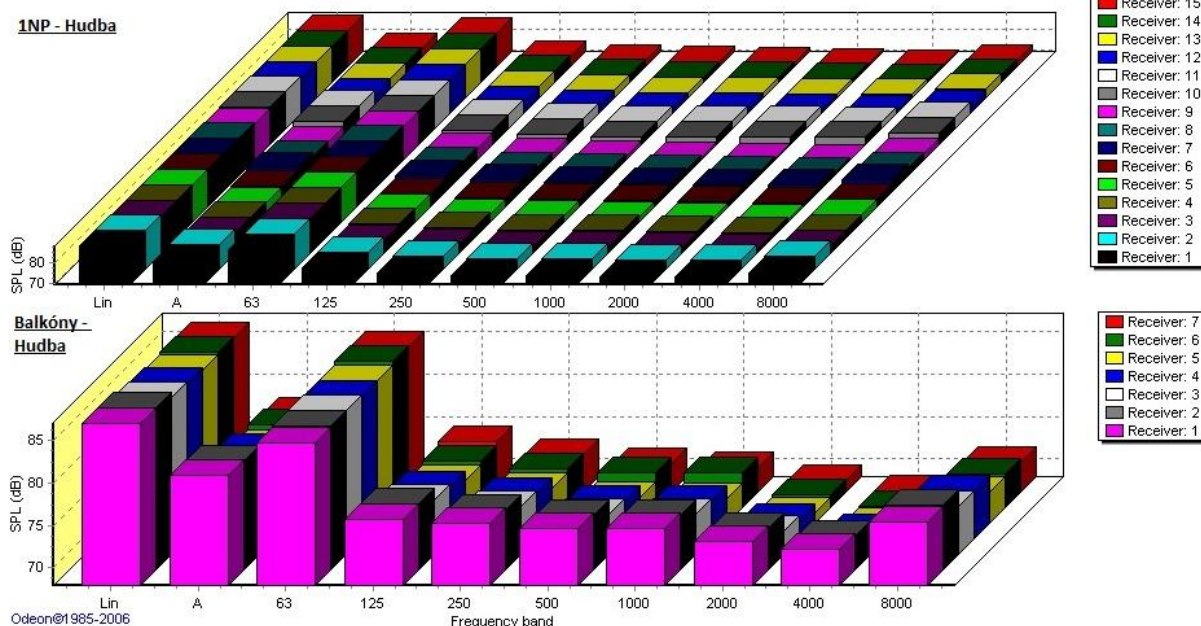


Obr. č. 44 – Hodnoty hladiny akustického tlaku SPL (dB) na jednotlivých kmitočtech (125 až 4000Hz) pro 1NP, zdroj- řeč [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

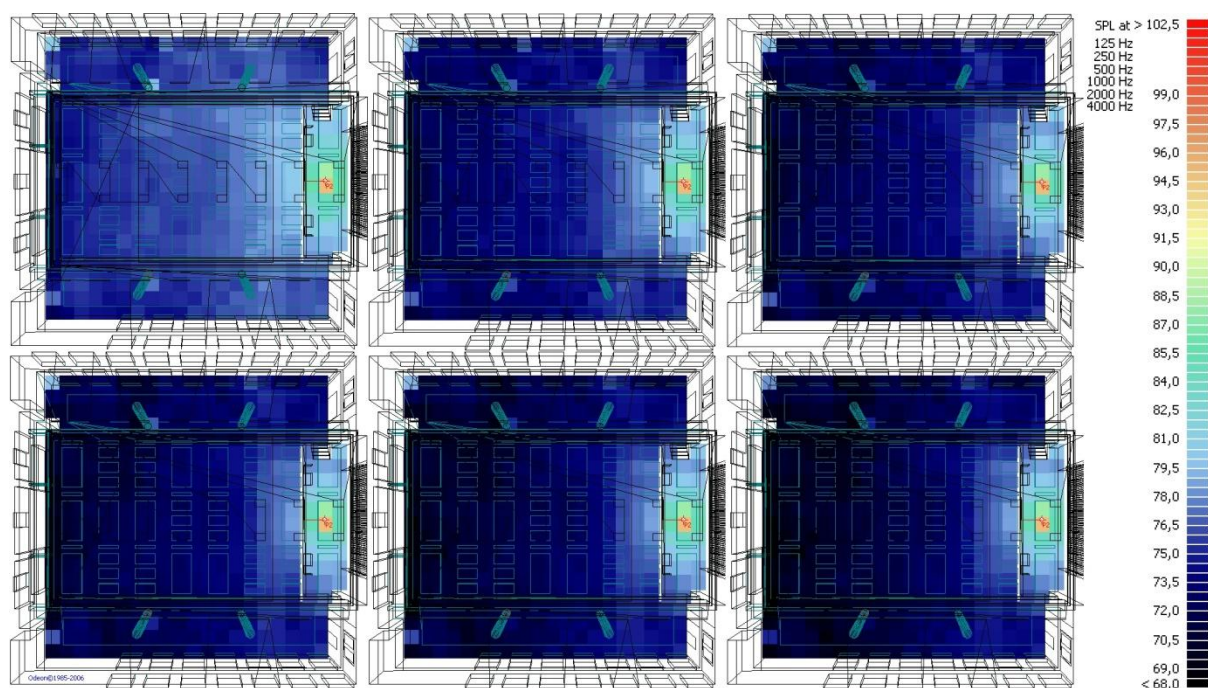


Obr. č. 45 – Průměrné, minimální, maximální hodnoty a standardní rozptyl hladiny akustického tlaku SPL (dB) na jednotlivých kmitočtech získané z bodové odezvy (Point Response) pro 1NP a balkóny, zdroj- řeč [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

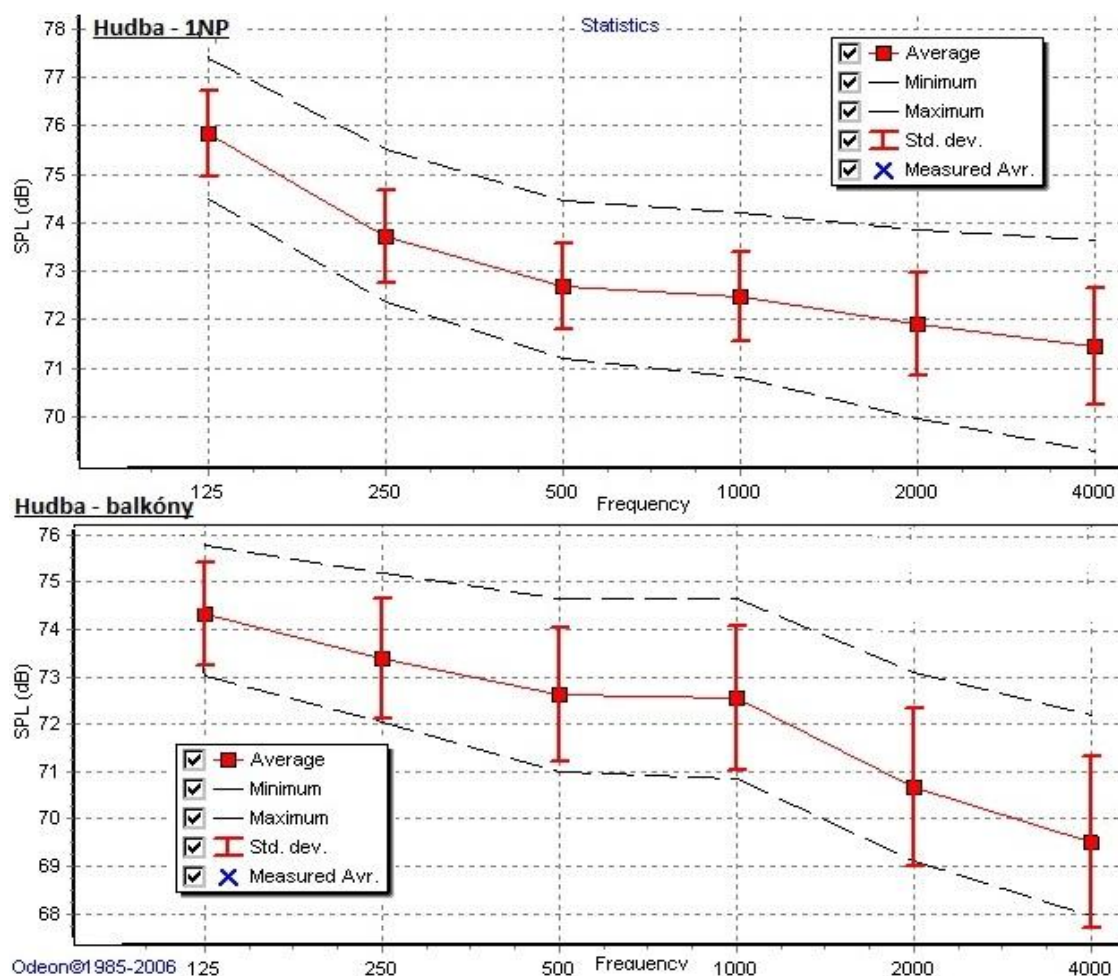
Z výše uvedeného je zřejmé, že na všech sledovaných kmitočtech je rozložení hladiny akustického tlaku SPL (dB) při řeči víceméně rovnoměrné po celé ploše a nabývá průměrných hodnot od přibližně 38 dB do 46 dB v prvním podlaží, přičemž na každém kmitočtu není rozptyl větší než ± 2 dB. Na balkónech se průměrné hodnoty pohybují v rozmezí od přibližně 37 dB do 47 dB, přičemž na každém kmitočtu není rozptyl větší než $\pm 2,5$ dB. Z toho vyplývá, že je v celé poslechové ploše rovnoměrná hlasitost.



Obr. č. 46 – Hodnoty hladiny akustického tlaku SPL (dB) na jednotlivých kmitočtech pro 1NP a balkóny získané z bodové odezvy (Point Response) na definovaných přijímačích, zdroj-hudba [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 47 – Hodnoty hladiny akustického tlaku SPL (dB) na jednotlivých kmitočtech (125 až 4000Hz) pro INP, zdroj-hudba [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]



Obr. č. 48 – Průměrné, minimální, maximální hodnoty a standardní rozptyl hladiny akustického tlaku SPL (dB) na jednotlivých kmitočtech získané z bodové odezvy (Point Response) pro INP a balkóny, zdroj- hudba [autor s pomocí programu Odeon Room Acoustics]

Z výše uvedeného je zřejmé, že na všech sledovaných kmitočtech je rozložení hladiny akustického tlaku SPL (dB) při hudební produkci víceméně rovnoměrné po celé ploše a nabývá průměrných hodnot od přibližně 71 dB do 76 dB v prvním podlaží, přičemž na každém kmitočtu není rozptyl větší než $\pm 2,5$ dB. Na balkónech se průměrné hodnoty pohybují v rozmezí od přibližně 69 dB do 75 dB, přičemž na každém kmitočtu není rozptyl větší než $\pm 2,5$ dB. Z toho vyplývá, že je v celé poslechové ploše rovnoměrná hlasitost.

Hlasitost je tedy přibližně rovnoměrná po celé poslechové ploše jak v prvním podlaží, tak i na balkónech při mluveném slovu i hudební produkci.

6 ZÁVĚR

Cílem této práce bylo navrhnout vhodné akustické opatření pro zlepšení akustických poměrů víceúčelového kulturního sálu. Na základě změřené doby dozvuku sálu a jejím následném vyhodnocení jako nevyhovující byl proveden návrh vhodných akustických úprav ve snaze zlepšit poslechovou kvalitu hudby a mluveného slova.

Návrh byl proveden dvěma metodami. Prvotní návrh byl proveden ručním výpočtem statistickou metodou. Na základě tohoto návrhu byl vytvořen 3D model sálu s navrženými změnami, který byl následně importován do programu ODEON Room Acoustics, kde byl návrh dále upravován.

Návrh byl proveden podle pokynů a požadavků příslušné platné legislativy, tak aby bylo dosaženo optimálních hodnot sledovaných kritérií. Při návrhu byly zohledněny požadavky akustické, požárně bezpečnostní, hygienické a vzhledem k reprezentativnímu charakteru sálu i požadavky estetické a požadavky pro snadnou údržbu.

V rámci návrhu nebyla sledována pouze doba dozvuku jako jediné akustické kritérium, ale vzhledem k účelu sálu bylo těchto kritérií několik. Cílem bylo v rámci možností dosáhnout pokud možno co neoptimálnější hodnoty všech sledovaných akustických parametrů.

Vzhledem k tomu, že byl návrh proveden dvěma samostatnými metodami, jejichž výsledky se lišily jen velmi málo (vnesená chyba, zohlednění geometrie), lze považovat tyto výsledky za korektní.

Při porovnání výsledků s požadavky současné platné legislativy a doporučenými hodnotami v rámci místní i světové odborné literatury lze dojít k závěru, že se podařilo zlepšit akustické poměry a celkovou poslechovou kvalitu posuzovaného sálu pro uvažované účely – poslech mluveného slova a hudby.

Při interpretaci výsledků je však nutné mít na paměti, že cílem bylo provést taková opatření, která by nevyžadovala nákladné, zásadní a komplexní zásahy do konstrukcí a geometrie sálu. Z toho důvodu nelze očekávat hodnoty sledovaných kritérií v naprosto ideálních rozmezích. Přesto se však podařilo na tyto optimální hodnoty dosáhnout, nebo se jim alespoň velmi přiblížit při minimálních zásazích do konstrukcí, geometrie a celkového rázu sálu.

Kulturní sál tedy po navrhovaných úpravách splňuje požadavky příslušné legislativy na hodnoty doby dozvuku. U sledovaných nezávazných kritérií se podařilo dosáhnout doporučených hodnot, nebo se jim alespoň přiblížit.

Výsledkem je tedy celkové zlepšení poslechových kvalit posuzovaného sálu vedoucí k mnohem příjemnějšímu využívání těchto prostor.

7 SEZNAM PŘÍLOH

Přílohy:

Příloha č.1: Naměřené hodnoty doby dozvuku T_{20} v 1/3 oktávy

Příloha č.2: Fotodokumentace původního stavu sálu

Příloha č.3: Technické listy Texaa Stereo Panel

Příloha č.4: Technické listy Texaa Vibrasto 10

Příloha č.5: Technické listy Rigips Gyptone BIG Quattro 42

Příloha č.6: Technické listy Texaa Acoustics Blinds

Příloha č.7: Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) pro model původního stavu

Příloha č.8: Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) pro model navrhovaných úprav ve variantě se zataženou oponou (Řeč, Hudba)

Příloha č.9: Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) pro model navrhovaných úprav ve variantě s nezataženou oponou (Řeč, Hudba)

Příloha č.1: Naměřené hodnoty doby dozvuku T_{20} v 1/3 oktávy [autor na základě protokolu o měření]

frekvence f (Hz)	Naměřená hodnota T_{20} v jednotlivých měřeních										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
100	1,66	1,78	1,87	1,94	2,13	2,38	1,89	2,47	2,16	2,25	2,22
125	2,00	2,13	2,00	2,06	2,03	2,11	2,27	1,80	1,73	2,36	2,40
160	2,04	2,24	1,82	2,01	1,96	1,62	1,87	2,04	2,01	1,72	2,06
200	2,02	2,22	2,02	2,46	2,32	2,15	2,14	2,14	1,97	1,82	2,12
250	2,02	2,11	2,23	2,24	2,00	2,03	2,03	2,33	1,96	2,05	2,32
315	2,11	2,16	2,25	2,12	2,16	2,16	2,10	2,20	2,02	2,14	2,08
400	2,19	2,45	2,29	2,04	2,07	2,37	2,01	2,41	2,04	2,05	2,12
500	2,39	2,38	2,10	2,49	2,30	2,29	2,22	2,29	2,17	2,28	2,43
630	2,55	2,53	2,30	2,60	2,50	2,42	2,48	2,52	2,32	2,60	2,45
800	2,61	2,55	2,54	2,66	2,52	2,52	2,60	2,71	2,41	2,63	2,54
1000	2,65	2,50	2,55	2,52	2,42	2,63	2,58	2,63	2,60	2,80	2,69
1250	2,62	2,46	2,57	2,54	2,34	2,45	2,36	2,49	2,52	2,43	2,48
1600	2,33	2,46	2,48	2,50	2,49	2,44	2,50	2,33	2,41	2,45	2,40
2000	2,36	2,33	2,29	2,36	2,25	2,29	2,33	2,23	2,25	2,40	2,26
2500	2,11	2,11	2,17	2,18	2,09	2,04	2,11	2,07	2,09	2,04	2,02
3150	1,98	1,93	1,93	1,87	1,89	1,86	1,81	1,88	1,93	1,82	1,88
4000	1,61	1,64	1,65	1,62	1,57	1,62	1,61	1,51	1,67	1,61	1,64
5000	1,32	1,40	1,40	1,37	1,28	1,34	1,33	1,27	1,37	1,29	1,31
6300	1,07	1,09	1,13	1,10	1,04	1,07	1,13	0,98	1,04	1,05	1,10
8000	0,83	0,87	0,91	0,86	0,79	0,82	0,86	0,80	0,86	0,84	0,83
10000	0,68	0,68	0,71	0,65	0,65	0,67	0,67	0,62	0,65	0,66	0,63

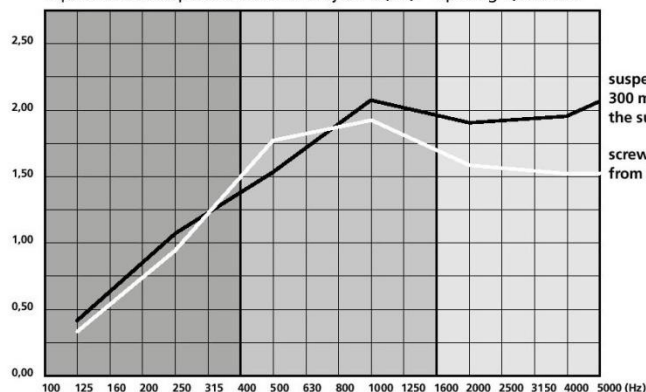
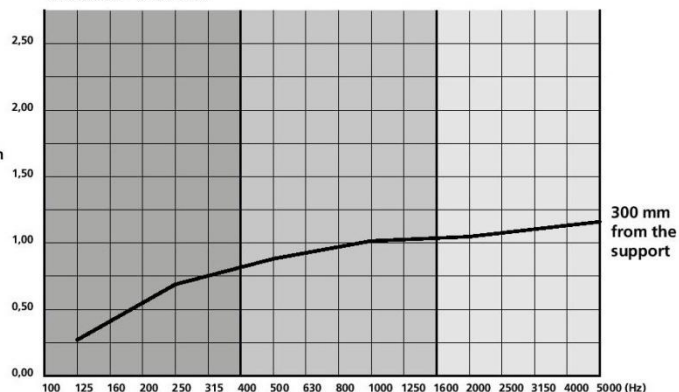
frekvence f (Hz)	Naměřená hodnota T_{20} v jednotlivých měřeních										průměr (s)	chyba (s)
	12	13	14	15	16	17	18	19	20			
100	2,11	1,85	2,40	1,90	1,98	2,04	1,92	2,19	1,78	2,05	0,22	
125	2,02	2,26	2,06	1,90	1,72	1,78	2,18	2,13	1,79	2,04	0,19	
160	1,74	1,81	2,09	1,81	1,83	2,07	1,91	2,06	2,01	1,94	0,15	
200	2,40	2,24	1,89	2,02	2,00	2,20	2,12	2,09	2,28	2,13	0,15	
250	2,40	2,19	2,23	1,82	2,03	1,98	2,00	2,03	1,86	2,09	0,15	
315	1,92	2,04	2,03	2,00	1,75	1,89	1,99	2,08	2,04	2,06	0,11	
400	2,29	2,03	2,36	2,08	2,11	1,99	2,24	2,12	2,12	2,17	0,14	
500	2,29	2,45	2,25	2,22	2,40	2,41	2,35	2,24	2,21	2,31	0,09	
630	2,43	2,38	2,50	2,47	2,42	2,50	2,65	2,32	2,36	2,47	0,09	
800	2,51	2,42	2,66	2,62	2,46	2,61	2,67	2,47	2,56	2,56	0,08	
1000	2,45	2,56	2,67	2,61	2,64	2,62	2,58	2,76	2,56	2,60	0,09	
1250	2,34	2,62	2,53	2,47	2,64	2,45	2,51	2,50	2,48	2,49	0,08	
1600	2,35	2,44	2,49	2,40	2,50	2,36	2,31	2,43	2,50	2,43	0,06	
2000	2,26	2,24	2,30	2,25	2,30	2,29	2,39	2,32	2,30	2,30	0,04	
2500	2,07	2,16	2,09	2,08	2,11	2,16	2,07	2,10	2,07	2,10	0,04	
3150	1,92	1,92	1,98	1,90	1,90	1,89	1,92	1,89	1,87	1,90	0,04	
4000	1,62	1,61	1,72	1,68	1,66	1,60	1,66	1,65	1,53	1,62	0,04	
5000	1,33	1,40	1,44	1,38	1,37	1,43	1,34	1,37	1,30	1,35	0,04	
6300	1,06	1,14	1,12	1,15	1,09	1,07	1,10	1,08	1,02	1,08	0,04	
8000	0,84	0,88	0,87	0,86	0,85	0,89	0,84	0,89	0,85	0,85	0,02	
10000	0,65	0,67	0,67	0,67	0,65	0,67	0,69	0,70	0,70	0,67	0,02	

Příloha č.2: Fotodokumentace původního stavu sálu [Ing. Dagmar Donatřáková]



Příloha č.3: Technické listy Texaa Stereo Panel**ACOUSTICS**

For a panel fabric-covered on one face 1,196 x 1,196 x 50 mm

Equivalent absorption area of an object A(m²) – spacing 1,500 mm α Sabine - clustered

Frequencies (Hz)	125	250	500	1 000	2 000	4 000	5 000
------------------	-----	-----	-----	-------	-------	-------	-------

Panel one face 1,196 x 1,196 x 50 mmEquivalent absorption area of an object A (m²) – spacing 1, 500 mm

– suspended 300 mm from the support 0,47 1,07 1,52 2,04 1,88 1,97 2,05

– screwed 10/20 mm from the support 0,38 0,90 1,78 1,89 1,60 1,51 1,51

 α Sabine – in a cluster (floating cloud)

– à 300 mm from the support 0,29 0,70 0,85 1,01 1,05 1,11 1,14 0,93 class A NRC 0,90

Test report available on request – Standard NF EN 20354/ISO 354

When light fittings are embedded within a panel the acoustic performance may be reduced – contact us for details.

TYPICAL SPECIFICATION SHEET

The acoustic absorption is provided by Texaa® Stereo rigid panels, fabric covered on one face, consisting of :

- a metal frame,
- grey AN cellular foam,
- grey or black microporous cloth,
- a removable Aeria fitted cover on one face.

Dimensions/weight/acoustics (to be specified)

Dimensions	weight	Equivalent absorption area of an object A (m ²) at medium frequencies		α W
		against the support	300 mm from the support	
<input type="checkbox"/> 596 x 1,196 x 50 mm	3,1 kg	0,87	0,98	0,93
<input type="checkbox"/> 1,196 x 1,196 x 50 mm	5,05 kg	1,77	1,72	0,93
<input type="checkbox"/> 1,796 x 1,196 x 50 mm	7,03 kg	2,54	2,36	
<input type="checkbox"/> 2,396 x 1,196 x 50 mm	9,13 kg	3,18	3,30	

Fire rating

- Europe B-s2, d0
- France M1 non dripping

Colours

- Select from the range of 24 round knit colours.

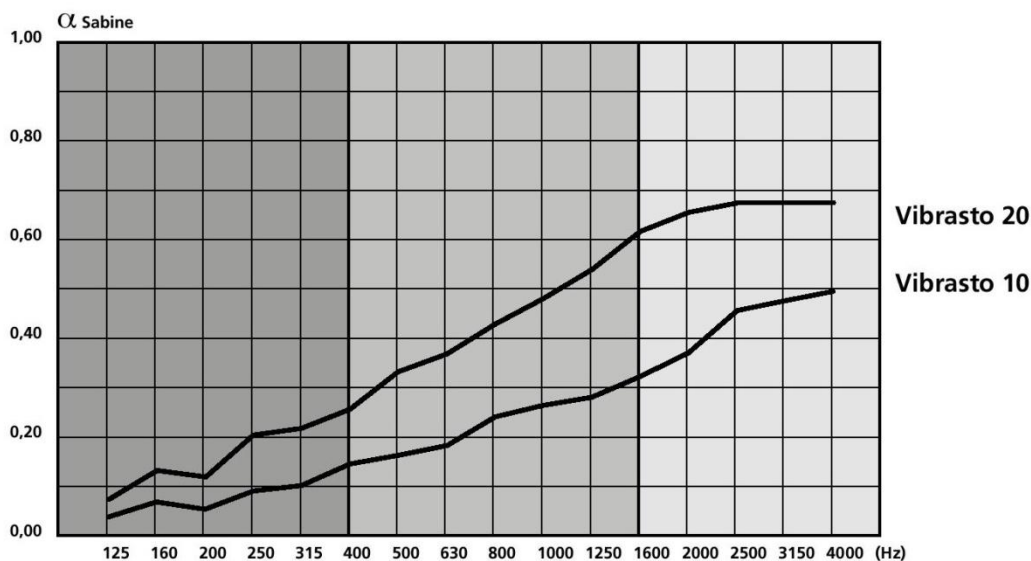
Common options

- Digital printing (image supplied by the customer in accordance with Texaa® requirements)

Poznámka: Kompletní technické listy lze nalézt na [13] nebo ve Složce C

Příloha č.4: Technické listy Texaa Vibrasto 10**ACOUSTICS**

For Vibrasto 10 and 20 glued to concrete

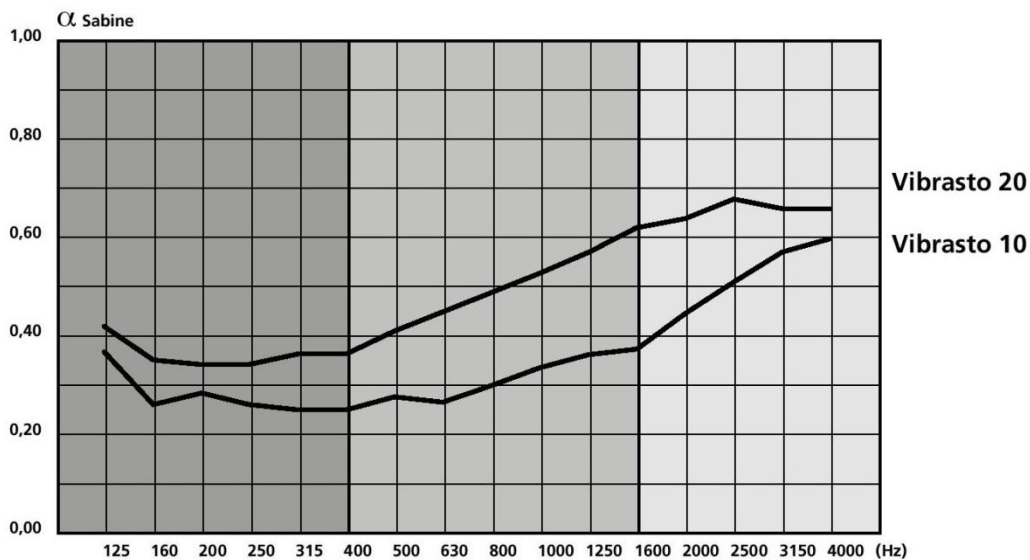


Frequencies (Hz)	α_w	Class	NRC	125	250	500	1 000	2 000	4 000	5000
Vibrasto 20	0,39 (H)	D	0,45	0,07	0,20	0,32	0,48	0,65	0,67	0,66
Vibrasto 10	0,25 (H)	E	0,25	0,04	0,09	0,16	0,26	0,37	0,49	0,56

Test report available on request – Standard NF EN 20354/ISO 354

for Vibrasto 10 and 20

glued to plasterboard, screwed to a frame with a 45-mm base layer of mineral wool



Frequencies (Hz)	α_w	Class	NRC	125	250	500	1 000	2 000	4 000	5000
Vibrasto 20	0.50 (H)	D	0.50	0.42	0.34	0.41	0.53	0.69	0.75	0,74
Vibrasto 10	0.35 (H)	D	0.35	0.37	0.27	0.28	0.33	0.49	0.69	0,81

Test report available on request – Standard NF EN 20354/ISO 354

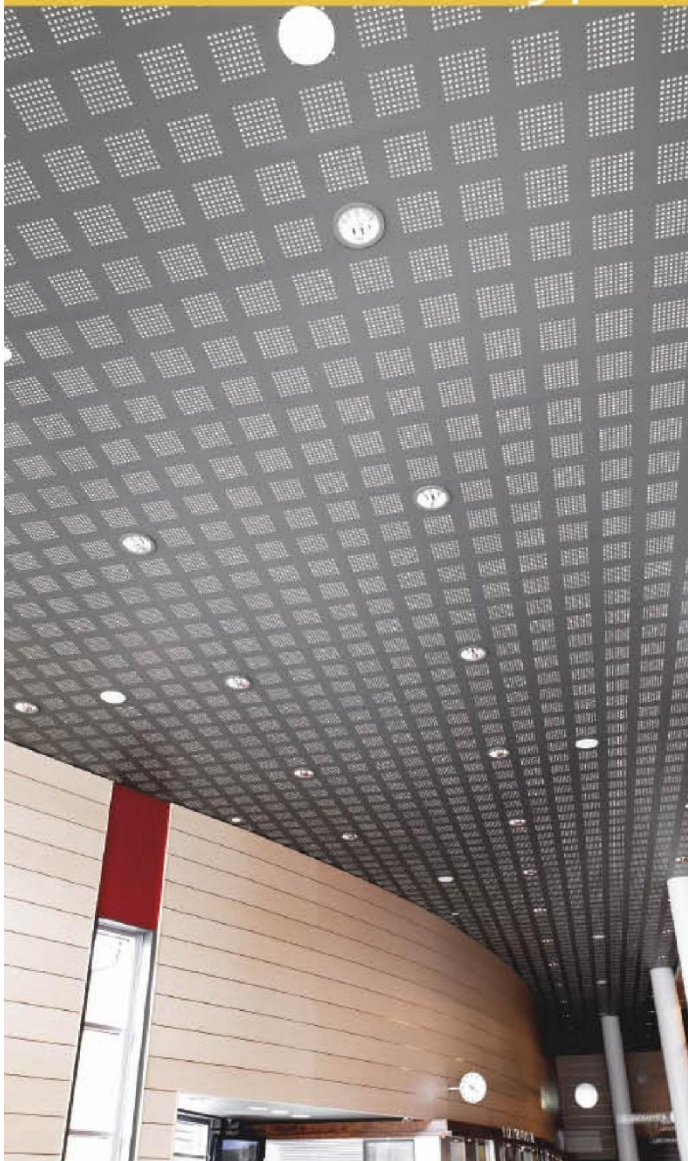
This traditional support provides additional absorption at low frequencies.

Poznámka: Kompletní technické listy lze nalézt na [13] nebo ve Složce C.6

Příloha č.5: Technické listy Gyptone BIG Quattro 42

PERFOROVANÉ DESKY PRO PODHLEDY A OBKLADY STĚN

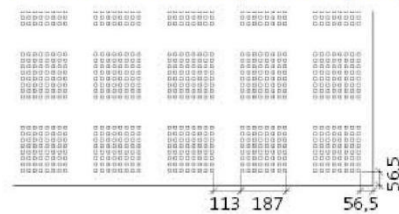
Gyptone BIG Quattro 42



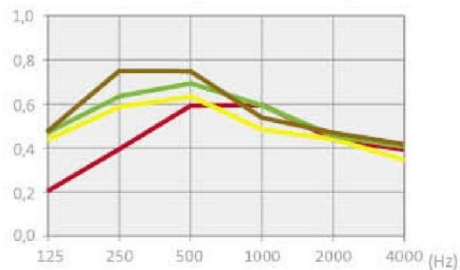
Základní vlastnosti desek Gyptone BIG Quattro 42

Rozměry desky (š x d x tl.)	1200 x 2400 x 12,5 mm
Hrany desky	všechny zploštělé 4T
Děrování	pravidelné
Velikost otvorů	12 x 12 mm
Podíl děrované plochy	10 %
Hmotnost	cca 8 kg/m ²
Třída reakce na oheň	A2-s1,d0
Odolnost proti relativní vzdušné vlhkosti	70 %

Umístění a velikost perforací [mm]



Činitel zvukové pohltivosti α_p



Výška svěšlení [mm]	Minerální izolace [mm]	Činitel zvukové pohltivosti α_p /Hz					α_w	NRC	Třída zvukové pohltivosti ²⁾
		250	500	1000	2000	4000			
50	—	0,40	0,60	0,60	0,45	0,40	0,50	0,50	D
50	50*	0,65	0,70	0,60	0,45	0,40	0,50 (L)	0,60	C
100	75**	0,75	0,75	0,55	0,45	0,40	0,50 (LM)	0,65	C
200	—	0,60	0,65	0,50	0,45	0,35	0,50 (L)	0,55	D

²⁾ dle ČSN EN ISO 11 654; * například Isover Piano; ** například Isover Domo

Zvuková izolace mezi dvěma místnostmi se společným podhledem



Poznámka: Kompletní technické listy lze nalézt na [14] nebo ve Složce C.6

izolace [mm]	125	250	500	1000	2000	4000	$D_{n,cw}$ (C,Ctr)
100*	16,60	31,00	35,90	41,50	44,90	47,00	39 (-2;-8)

* například Isover Rio

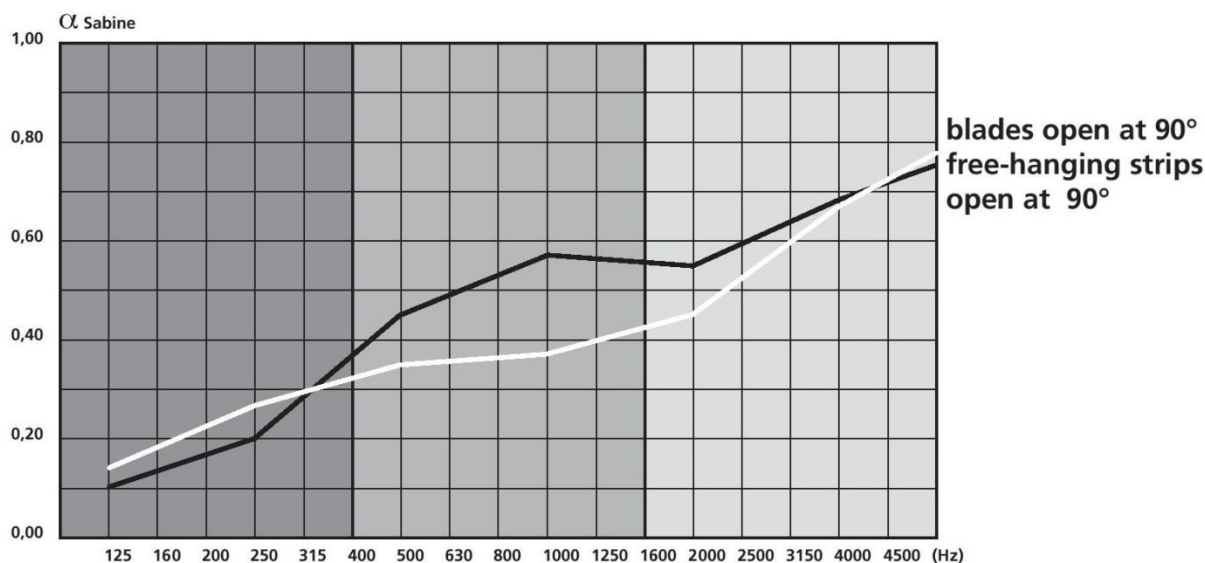
Příloha č.6:Technické listy Texaa Acoustics Blinds**2-3.VIBRASTO ACOUSTIC BLINDS**

When used in front of glazed surfaces, **Vibrasto** blinds absorb sound reflections and filter light. When used in open plan spaces, they enhance the sense of user comfort by creating subtle visual partitions. Their blades consist of a foam core protected on both sides by an acoustic fabric covering and may be adapted to conventional rail systems. They meet with high-level fire safety requirements for a result beyond compare.

- Three finishes
- white with overcast edges,
 - black with free edges,
 - free-hanging strips (24 colours).

ACOUSTICS

For Vibrasto blinds



Frequencies (Hz)	α_w	Class	NRC	125	250	500	1 000	2 000	4 000	5 000
Blades open at 90°	0,40 (H)	D	0,35	0,13	0,27	0,34	0,36	0,44	0,67	0,77
Blades closed at 180°	0,43 (H)	D	0,40	0,07	0,19	0,39	0,53	0,47	0,64	0,70
free-hanging strips open at 90°	0,37 (H)	D	0,35	0,13	0,26	0,33	0,32	0,45	0,71	0,79
free-hanging strips closed at 180°	0,45 (H)	D	0,45	0,10	0,20	0,44	0,57	0,54	0,69	0,75

Test report available on request – Standard NF EN 20354/ISO 354

Poznámka: Kompletní technické listy lze nalézt na [13] nebo ve Složce C.6

Příloha č.7: Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) pro model původního stavu.**Zdroj Z1, INP:****EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	5,72	2,27	2,46	2,80	2,68	2,14	1,66	1,66
Maximum	5,99	2,48	2,66	3,04	3,04	2,34	1,81	1,82
Average	5,87	2,35	2,59	2,94	2,90	2,27	1,75	1,71

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	2,17	2,25	2,66	2,60	2,06	1,54	1,47
Maximum	0,00	2,21	2,44	2,74	2,77	2,14	1,65	1,66
Average	0,00	2,19	2,34	2,71	2,71	2,09	1,61	1,57

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	52,9	47,7	48,2	48,8	48,7	46,9	44,9	44,1
Maximum	53,5	48,9	49,3	49,9	49,8	48,2	46,6	46,3
Average	53,2	48,4	48,8	49,4	49,3	47,7	45,8	45,3

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-8,9	-3,7	-4,2	-5,0	-5,1	-3,4	-1,5	-1,7
Maximum	-6,6	-1,3	-1,8	-2,6	-2,6	-1,0	0,9	1,3
Average	-7,7	-2,5	-3,0	-3,8	-3,8	-2,2	-0,3	-0,3

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,06	0,18	0,16	0,14	0,14	0,19	0,27	0,25
Maximum	0,13	0,31	0,29	0,26	0,25	0,32	0,42	0,43
Average	0,10	0,24	0,23	0,20	0,20	0,26	0,35	0,34

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	403	154	169	196	197	147	105	100
Maximum	437	184	200	229	230	178	133	131
Average	424	168	185	213	214	161	118	115

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,210	0,202	0,206	0,208	0,208	0,206	0,197	0,203
Maximum	0,231	0,236	0,231	0,231	0,232	0,234	0,228	0,232
Average	0,221	0,218	0,215	0,215	0,216	0,215	0,207	0,213

STI, minimum = 0,35

STI, maximum = 0,42

STI, average = 0,39

SPL(A), minimum = 53,92 dB

SPL(A), maximum = 55,23 dB

SPL(A), average = 54,65 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,45	1,15	1,07	0,94	0,96	1,18	1,52	2,05
Corr.	0,89	0,98	0,98	0,97	0,97	0,98	0,98	0,99

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,13 dB (Correlation: 0,98)

(Rmin; Rmax) = (6,85 m; 13,11 m)

Looking towards Source: 1 Z1(Z4) - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,50)

Active sources: 1

Rays used: 20930 (Lost: 9 = 0,0 %)

Total ray flights: 3432856

Mean free path: 4,21 m

Zdroj Z2, INP:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	5,63	2,02	2,24	2,67	2,73	2,02	1,39	1,02
Maximum	5,91	2,35	2,52	2,83	2,94	2,27	1,74	1,65
Average	5,78	2,18	2,39	2,77	2,87	2,13	1,60	1,45

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	0,00	2,11	2,35	2,62	2,67	2,05	1,51	1,46
Maximum	0,00	2,19	2,42	2,72	2,79	2,09	1,58	1,55
Average	0,00	2,14	2,38	2,68	2,73	2,07	1,56	1,51

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	53,0	48,1	48,6	49,4	49,3	48,0	46,4	45,2
Maximum	54,5	51,5	51,9	52,3	52,3	51,6	50,8	50,3
Average	53,4	49,1	49,6	50,2	50,2	49,1	47,7	46,8

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	-7,2	-2,1	-2,8	-3,6	-3,7	-2,3	-0,6	-0,2
Maximum	-2,5	2,8	2,2	1,4	1,4	2,8	4,7	5,6
Average	-6,0	-0,8	-1,4	-2,2	-2,2	-0,8	0,9	1,4

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	0,09	0,23	0,21	0,18	0,18	0,23	0,29	0,30
Maximum	0,31	0,59	0,56	0,52	0,52	0,59	0,68	0,72
Average	0,15	0,34	0,31	0,28	0,28	0,34	0,41	0,43

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	311	92	105	127	128	91	61	52
Maximum	418	164	181	209	211	162	123	117
Average	388	144	160	186	187	142	105	97

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

Minimum	0,116	0,104	0,102	0,106	0,111	0,114	0,109	0,109
Maximum	0,238	0,244	0,243	0,250	0,252	0,258	0,255	0,252
Average	0,191	0,185	0,183	0,186	0,188	0,192	0,186	0,186

STI, minimum = 0,40

STI, maximum = 0,56

STI, average = 0,44

SPL(A), minimum = 54,78 dB

SPL(A), maximum = 58,44 dB

SPL(A), average = 55,89 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
-----------	----	-----	-----	-----	------	------	------	------

DL2 (dB)	0,67	1,52	1,45	1,31	1,32	1,58	1,95	2,24
Corr.	0,97	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,55 dB (Correlation: 0,99)

(Rmin; Rmax) = (2,37 m; 12,14 m)

Looking towards Source: Z2 - Point source at: (x,y,z) = (2,15, -3,89, 0,55)

Active sources: 1

Rays used: 20930 (Lost: 10 = 0,0 %)

Total ray flights: 3417207

Mean free path: 4,23 m

Zdroj Z3, INP:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	5,57	2,06	2,24	2,77	2,73	2,04	1,58	1,34
Maximum	5,74	2,17	2,52	2,95	3,01	2,30	1,69	1,67
Average	5,65	2,11	2,41	2,86	2,85	2,20	1,63	1,56

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	2,13	2,27	2,64	2,75	1,98	1,51	1,45
Maximum	0,00	2,23	2,44	2,79	2,83	2,14	1,65	1,59
Average	0,00	2,19	2,38	2,73	2,79	2,09	1,57	1,54

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	52,8	48,0	48,5	49,3	49,2	47,9	46,3	45,0
Maximum	54,2	51,0	51,3	51,7	51,6	50,8	49,9	49,3
Average	53,4	49,2	49,6	50,2	50,1	49,0	47,6	46,6

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-7,0	-1,9	-2,6	-3,5	-3,5	-2,1	-0,4	-0,1
Maximum	-3,3	1,9	1,4	0,6	0,6	2,0	3,8	4,7
Average	-5,8	-0,7	-1,2	-2,1	-2,1	-0,7	1,0	1,6

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,10	0,26	0,24	0,20	0,20	0,25	0,32	0,33
Maximum	0,27	0,54	0,51	0,47	0,47	0,53	0,62	0,66
Average	0,16	0,35	0,33	0,29	0,29	0,35	0,43	0,45

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	337	106	119	144	145	105	72	62
Maximum	416	161	180	211	213	163	122	115
Average	388	144	160	187	189	144	105	97

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,140	0,136	0,137	0,147	0,152	0,156	0,151	0,149
Maximum	0,259	0,252	0,256	0,261	0,260	0,264	0,263	0,260
Average	0,208	0,202	0,204	0,208	0,209	0,212	0,208	0,206

STI, minimum = 0,41

STI, maximum = 0,53

STI, average = 0,45

SPL(A), minimum = 54,70 dB

SPL(A), maximum = 57,66 dB

SPL(A), average = 55,84 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,62	1,40	1,27	1,11	1,11	1,35	1,69	2,02
Corr.	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00	1,00

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,32 dB (Correlation: 1,00)

(Rmin; Rmax) = (3,01 m; 12,64 m)

Looking towards Source: 3 Z3 - Point source at: (x,y,z) = (14,46, 3,89, 0,55)

Active sources: 1

Rays used: 20930 (Lost: 7 = 0,0 %)

Total ray flights: 3415270

Mean free path: 4,23 m

Zdroj Z4, 2NP:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	5,72	2,14	2,36	2,72	2,72	2,09	1,47	1,51
Maximum	6,19	2,43	2,59	2,92	2,97	2,19	1,68	1,71
Average	5,97	2,29	2,49	2,81	2,90	2,14	1,59	1,61

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	2,01	2,26	2,66	2,67	2,04	1,44	1,47
Maximum	0,00	2,18	2,38	2,75	2,85	2,12	1,63	1,60
Average	0,00	2,12	2,32	2,70	2,75	2,09	1,55	1,55

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	50,2	44,1	45,3	46,2	46,3	43,5	41,1	41,9
Maximum	51,3	45,4	46,6	47,4	47,6	45,0	42,7	44,4
Average	50,7	44,7	45,8	46,7	46,8	44,2	41,9	42,9

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-9,0	-3,7	-4,6	-5,5	-5,6	-3,6	-1,4	-3,0
Maximum	-6,4	-1,4	-2,3	-3,1	-3,3	-1,2	0,8	-0,1
Average	-8,0	-2,6	-3,5	-4,4	-4,6	-2,5	-0,3	-1,5

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,06	0,18	0,15	0,12	0,12	0,19	0,28	0,19
Maximum	0,11	0,27	0,24	0,20	0,20	0,28	0,37	0,32
Average	0,08	0,22	0,19	0,16	0,15	0,22	0,32	0,25

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	400	155	176	206	209	152	109	119
Maximum	456	182	203	233	237	174	129	147
Average	433	171	191	220	223	165	120	133

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,200	0,206	0,209	0,209	0,205	0,214	0,218	0,213
Maximum	0,336	0,353	0,354	0,356	0,362	0,371	0,378	0,373
Average	0,277	0,280	0,284	0,284	0,281	0,285	0,286	0,283

STI, minimum = 0,38

STI, maximum = 0,46

STI, average = 0,41

SPL(A), minimum = 51,00 dB

SPL(A), maximum = 52,48 dB

SPL(A), average = 51,66 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,05	0,79	0,92	0,89	0,97	0,86	0,81	1,70
Corr.	0,07	0,88	0,95	0,97	0,98	0,83	0,68	0,94

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 0,89 dB (Correlation: 0,92)

(Rmin; Rmax) = (7,89 m; 19,14 m)

Looking towards Source: 1 Z1(Z4) - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,50)

Active sources: 1

Rays used: 20930 (Lost: 9 = 0,0 %)

Total ray flights: 3432856

Mean free path: 4,21 m

Kompletní protokol bodové odezvy na jednotlivých přijímačích lze nalézt ve *Složce C.6*

Příloha č.8: Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) pro model navrhovaných úprav ve variantě se zataženou oponou (Řeč, Hudba)

Zatažená opona – zdroj řeč, INP:

EDT (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,25	1,03	1,04	0,96	0,89	0,82	0,98
Maximum	-0,11	1,64	1,45	1,38	1,41	1,28	1,07	1,45
Average	-0,22	1,47	1,24	1,16	1,18	1,00	0,92	1,25

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	1,27	0,98	0,93	0,94	0,75	0,65	1,07
Maximum	0,00	1,49	1,23	1,71	1,51	1,66	1,42	1,29
Average	0,00	1,40	1,12	1,13	1,08	0,94	0,83	1,17

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-8,8	41,6	44,4	45,3	43,9	37,9	36,2	-22,6
Maximum	-7,9	44,5	47,5	48,0	46,7	41,3	40,2	-19,7
Average	-8,3	42,7	45,6	46,5	45,2	39,7	38,2	-21,4

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-11,3	-1,0	-0,1	0,1	0,2	1,5	2,2	-0,4
Maximum	-8,4	1,7	3,1	2,8	3,1	4,2	4,9	3,1
Average	-10,1	0,2	1,7	1,7	1,8	2,8	3,5	1,0

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,04	0,28	0,32	0,33	0,33	0,39	0,43	0,30
Maximum	0,09	0,47	0,54	0,52	0,52	0,58	0,61	0,53
Average	0,05	0,36	0,44	0,44	0,44	0,49	0,52	0,40

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	427	87	69	69	69	58	52	70
Maximum	459	121	104	103	103	85	76	109
Average	446	105	84	83	82	71	64	93

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,208	0,169	0,160	0,163	0,169	0,168	0,169	0,197
Maximum	0,301	0,302	0,310	0,346	0,349	0,347	0,343	0,310
Average	0,269	0,262	0,269	0,281	0,286	0,283	0,278	0,267

STI, minimum = 0,49

STI, maximum = 0,58

STI, average = 0,55

SPL(A), minimum = 47,65 dB

SPL(A), maximum = 50,67 dB

SPL(A), average = 49,08 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,26	1,58	1,64	1,33	1,29	1,50	1,85	1,67
Corr.	0,57	0,95	0,92	0,89	0,82	0,77	0,80	0,81

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,41 dB (Correllation: 0,84)

(Rmin; Rmax) = (6,20 m; 19,07 m)

Looking towards Source: 1 REC - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,80)

Active sources: 1

Rays used: 21929 (Lost: 0 = 0,0 %)

Total ray flights: 1045730

Mean free path: 3,75 m

Zatažená opona – zdroj řeč, 2NP - balkóny:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,23	1,15	1,02	1,02	0,78	0,67	1,03
Maximum	-0,16	1,82	1,42	1,47	1,52	1,06	0,89	1,37
Average	-0,25	1,44	1,28	1,25	1,28	0,92	0,76	1,26

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	1,29	1,08	1,05	1,01	0,77	0,66	1,18
Maximum	0,00	1,44	1,38	1,36	1,44	1,30	0,97	1,27
Average	0,00	1,35	1,18	1,19	1,18	0,94	0,80	1,22

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-9,6	40,6	43,8	44,8	43,4	36,8	34,5	-24,0
Maximum	-8,9	42,9	47,4	48,9	47,8	41,4	39,5	-19,3
Average	-9,3	41,7	45,9	47,1	45,9	39,1	37,0	-21,4

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-11,2	-0,7	-0,1	0,0	-0,1	2,6	3,8	-0,9
Maximum	-8,1	1,9	2,7	3,3	3,4	5,5	7,0	2,3
Average	-10,0	0,4	1,1	1,2	1,2	3,6	5,0	0,8

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,04	0,29	0,33	0,33	0,33	0,47	0,56	0,29
Maximum	0,09	0,46	0,50	0,53	0,53	0,64	0,71	0,46
Average	0,06	0,37	0,41	0,41	0,41	0,53	0,61	0,38

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	431	88	76	70	69	50	42	78
Maximum	461	118	103	102	104	72	58	112
Average	446	105	92	89	90	64	52	96

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,206	0,171	0,171	0,173	0,167	0,144	0,132	0,181
Maximum	0,376	0,360	0,344	0,335	0,324	0,307	0,294	0,351
Average	0,298	0,268	0,266	0,264	0,256	0,233	0,218	0,278

STI, minimum = 0,53

STI, maximum = 0,60

STI, average = 0,55

SPL(A), minimum = 46,99 dB

SPL(A), maximum = 51,31 dB

SPL(A), average = 49,36 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	-0,34	1,87	2,58	2,92	3,12	3,64	4,08	3,43
Corr.	-0,77	0,99	0,97	0,97	0,97	1,00	1,00	0,98

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 3,16 dB (Correlation: 0,98)

(Rmin; Rmax) = (8,49 m; 19,16 m)

Looking towards Source: 1 REC - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,80)

Active sources: 1

Rays used: 21929 (Lost: 0 = 0,0 %)

Total ray flights: 1045730

Mean free path: 3,75 m

Zatažená opona – zdroj hudba, INP:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,26	0,96	0,97	1,00	0,86	0,80	1,06
Maximum	-0,11	1,67	1,40	1,49	1,42	1,20	1,04	1,50
Average	-0,22	1,49	1,20	1,19	1,19	1,02	0,92	1,25

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	1,23	0,99	0,95	0,95	0,76	0,67	1,05
Maximum	0,00	1,52	1,21	1,27	1,23	1,10	1,05	1,31
Average	0,00	1,34	1,10	1,08	1,06	0,91	0,81	1,17

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	86,3	74,5	72,4	71,2	70,8	69,9	69,3	72,6
Maximum	87,1	77,4	75,5	74,4	74,2	73,8	73,6	75,5
Average	86,8	75,8	73,7	72,7	72,5	71,9	71,5	73,8

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-11,1	-0,9	0,2	0,2	0,1	1,4	2,3	-0,2
Maximum	-8,5	2,0	3,8	3,6	3,7	4,6	5,3	3,4
Average	-10,1	0,4	2,0	2,1	2,1	3,2	3,9	1,4

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,04	0,29	0,34	0,35	0,34	0,39	0,43	0,33
Maximum	0,09	0,48	0,56	0,54	0,54	0,59	0,62	0,53
Average	0,06	0,38	0,46	0,46	0,46	0,51	0,54	0,42

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	431	87	65	65	65	55	50	70
Maximum	465	120	100	99	100	85	77	111
Average	451	104	82	81	81	69	63	91

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,191	0,142	0,135	0,144	0,152	0,148	0,149	0,164
Maximum	0,319	0,324	0,344	0,384	0,379	0,365	0,359	0,353
Average	0,272	0,266	0,274	0,286	0,291	0,288	0,283	0,275

STI, minimum = 0,50

STI, maximum = 0,59

STI, average = 0,55

SPL(A), minimum = 77,84 dB

SPL(A), maximum = 81,33 dB

SPL(A), average = 79,47 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,20	1,63	1,70	1,47	1,41	1,63	1,92	1,73
Corr.	0,44	0,95	0,91	0,85	0,81	0,80	0,83	0,86

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,63 dB (Correlation: 0,83)

(Rmin; Rmax) = (6,07 m; 19,03 m)

Looking towards Source: 2 HUDBA - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,20)

Active sources: 1

Rays used: 21929 (Lost: 1 = 0,0 %)

Total ray flights: 1058619

Mean free path: 3,76 m

Zatažená opona – zdroj hudba, 2NP - balkóny:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,32	1,12	1,12	1,14	0,89	0,75	1,13
Maximum	-0,16	1,79	1,47	1,58	1,63	1,24	1,01	1,66
Average	-0,25	1,53	1,33	1,36	1,36	1,00	0,88	1,33

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	1,25	0,98	0,93	1,01	0,83	0,64	1,06
Maximum	0,00	1,40	1,29	1,24	1,27	1,10	1,04	1,28
Average	0,00	1,32	1,15	1,10	1,12	0,90	0,77	1,19

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	85,4	73,0	72,1	71,0	70,9	69,1	67,9	71,4
Maximum	85,9	75,8	75,2	74,6	74,7	73,1	72,2	75,5
Average	85,6	74,3	73,4	72,6	72,5	70,7	69,5	73,3

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-12,1	-1,1	-0,5	-0,8	-0,9	1,6	3,1	-0,8
Maximum	-8,2	1,8	2,2	2,5	2,5	4,9	6,3	2,6
Average	-10,3	0,0	0,6	0,6	0,6	3,2	4,6	0,5

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,03	0,29	0,29	0,29	0,29	0,42	0,50	0,31
Maximum	0,10	0,49	0,50	0,50	0,50	0,61	0,67	0,49
Average	0,06	0,36	0,39	0,39	0,39	0,51	0,59	0,36

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	417	93	85	81	81	58	49	81
Maximum	483	127	111	112	115	86	71	119
Average	450	111	99	99	100	71	59	101

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,248	0,218	0,208	0,203	0,200	0,185	0,171	0,243
Maximum	0,361	0,349	0,330	0,317	0,315	0,311	0,305	0,361
Average	0,305	0,283	0,274	0,270	0,269	0,261	0,250	0,298

STI, minimum = 0,52

STI, maximum = 0,59

STI, average = 0,55

SPL(A), minimum = 77,13 dB

SPL(A), maximum = 80,95 dB

SPL(A), average = 78,73 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	-0,30	2,06	2,58	2,85	3,09	3,39	3,67	3,66
Corr.	-0,72	0,91	0,97	0,95	0,96	0,96	0,96	1,00

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 3,21 dB (Correlation: 0,96)

(Rmin; Rmax) = (8,69 m; 19,25 m)

Looking towards Source: 2 HUDBA - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,20)

Active sources: 1

Rays used: 21929 (Lost: 1 = 0,0 %)

Total ray flights: 1058619

Mean free path: 3,76 m

Kompletní protokol bodové odezvy na jednotlivých přijímačích lze nalézt ve *Složce C.6*

Příloha č.9: Protokol výpočtu bodové odezvy (Point Response) pro model navrhovaných úprav ve variantě s nezataženou oponou (Řeč, Hudba)

Nezatažená opona – zdroj řeč, INP:

EDT (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,48	1,11	1,00	1,05	0,94	0,85	1,17
Maximum	-0,11	1,81	1,39	1,39	1,36	1,07	1,07	1,60
Average	-0,22	1,65	1,27	1,22	1,18	1,02	0,95	1,37

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	0,00	1,08	0,99	1,00	0,82	0,74	1,12
Maximum	0,00	1,72	1,27	1,26	1,21	1,24	1,00	1,39
Average	0,00	1,26	1,18	1,12	1,09	0,92	0,84	1,24

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-9,2	41,1	44,3	45,8	44,4	38,3	36,3	-23,4
Maximum	-8,4	43,9	47,1	48,1	46,7	41,1	39,8	-20,7
Average	-8,6	42,3	45,4	46,7	45,4	39,6	38,0	-22,3

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-11,9	-1,8	-0,4	-0,1	-0,1	1,0	1,8	-0,8
Maximum	-9,1	1,1	3,0	3,1	3,2	4,2	5,0	2,6
Average	-10,8	-0,5	1,4	1,6	1,7	2,7	3,4	0,6

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,03	0,26	0,31	0,32	0,31	0,37	0,40	0,29
Maximum	0,08	0,44	0,53	0,53	0,53	0,57	0,61	0,50
Average	0,05	0,33	0,42	0,43	0,43	0,47	0,51	0,37

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	457	101	72	70	69	59	53	78
Maximum	482	136	107	103	103	88	80	115
Average	473	119	89	85	84	73	66	100

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,180	0,138	0,135	0,154	0,158	0,148	0,146	0,164
Maximum	0,323	0,343	0,364	0,373	0,380	0,391	0,390	0,365
Average	0,267	0,259	0,266	0,278	0,282	0,281	0,277	0,268

STI, minimum = 0,48

STI, maximum = 0,57

STI, average = 0,53

SPL(A), minimum = 48,12 dB

SPL(A), maximum = 50,57 dB

SPL(A), average = 49,13 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,24	1,62	1,63	1,33	1,30	1,52	1,85	1,70
Corr.	0,53	0,97	0,94	0,90	0,84	0,82	0,84	0,85

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,42 dB (Correllation: 0,87)

(Rmin; Rmax) = (6,20 m; 19,07 m)

Looking towards Source: 1 REC - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,80)

Active sources: 1

Rays used: 29901 (Lost: 9 = 0,0 %)

Total ray flights: 2836668

Mean free path: 3,72 m

Nezatažená opona – zdroj řeč, 2NP - balkóny:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,53	1,21	1,05	1,06	0,81	0,68	1,05
Maximum	-0,16	1,78	1,43	1,59	1,54	1,03	0,93	1,60
Average	-0,25	1,67	1,32	1,34	1,30	0,94	0,81	1,36

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	0,00	1,10	1,07	1,02	0,76	0,79	1,13
Maximum	0,00	1,68	1,38	1,30	1,28	0,98	0,93	1,39
Average	0,00	1,38	1,22	1,18	1,15	0,91	0,85	1,22

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-9,8	40,4	44,2	45,4	44,0	37,3	35,1	-24,2
Maximum	-9,3	42,8	47,3	49,0	47,9	41,4	39,4	-19,8
Average	-9,5	41,4	45,7	47,3	46,1	39,1	36,9	-21,9

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-11,6	-1,1	0,1	0,4	0,3	2,4	3,7	-0,7
Maximum	-8,3	1,6	2,5	2,6	2,7	5,1	6,7	2,4
Average	-10,4	-0,2	0,9	1,2	1,2	3,6	5,2	0,6

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,04	0,30	0,35	0,37	0,37	0,48	0,54	0,31
Maximum	0,09	0,45	0,49	0,49	0,49	0,61	0,68	0,48
Average	0,05	0,34	0,40	0,41	0,41	0,53	0,60	0,37

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	442	97	80	78	77	54	43	81
Maximum	481	128	105	102	102	74	62	112
Average	466	118	96	93	93	66	53	100

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,230	0,194	0,195	0,198	0,192	0,166	0,152	0,200
Maximum	0,344	0,319	0,324	0,322	0,314	0,296	0,273	0,314
Average	0,295	0,264	0,268	0,267	0,260	0,235	0,216	0,269

STI, minimum = 0,52

STI, maximum = 0,58

STI, average = 0,54

SPL(A), minimum = 47,54 dB

SPL(A), maximum = 51,36 dB

SPL(A), average = 49,46 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	-0,22	2,05	2,61	2,83	3,01	3,47	3,85	3,58
Corr.	-0,62	0,98	1,00	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 3,04 dB (Correlation: 1,00)

(Rmin; Rmax) = (8,49 m; 19,16 m)

Looking towards Source: 1 REC - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,80)

Active sources: 1

Rays used: 29901 (Lost: 8 = 0,0 %)

Total ray flights: 2842813

Mean free path: 3,72 m

Nezatažená opona – zdroj hudba, INP:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,48	1,10	1,03	1,01	0,90	0,82	1,12
Maximum	-0,11	1,82	1,47	1,48	1,36	1,21	1,05	1,57
Average	-0,22	1,64	1,24	1,18	1,20	1,03	0,93	1,35

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	0,00	1,08	0,98	0,99	0,77	0,69	1,14
Maximum	0,00	1,66	1,31	1,25	1,22	1,01	0,92	1,29
Average	0,00	1,46	1,19	1,12	1,09	0,88	0,81	1,20

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	85,9	74,1	72,3	71,8	71,4	70,3	69,4	71,6
Maximum	86,7	77,0	75,2	74,5	74,2	73,6	73,2	74,5
Average	86,4	75,4	73,5	72,8	72,6	71,9	71,2	72,9

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-11,7	-1,6	-0,5	-0,2	-0,3	0,9	1,7	-0,4
Maximum	-9,0	1,1	3,2	3,6	3,7	4,6	5,3	2,7
Average	-10,7	-0,3	1,6	1,9	1,9	2,8	3,5	0,8

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,04	0,28	0,32	0,33	0,33	0,38	0,42	0,32
Maximum	0,08	0,43	0,54	0,56	0,56	0,60	0,63	0,50
Average	0,05	0,34	0,43	0,45	0,45	0,49	0,52	0,39

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	454	101	71	66	65	56	51	75
Maximum	482	133	108	104	103	87	79	110
Average	472	118	87	83	82	71	65	97

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,157	0,117	0,120	0,143	0,150	0,140	0,138	0,139
Maximum	0,327	0,349	0,368	0,376	0,382	0,392	0,391	0,366
Average	0,266	0,260	0,269	0,282	0,288	0,287	0,282	0,267

STI, minimum = 0,49

STI, maximum = 0,58

STI, average = 0,54

SPL(A), minimum = 78,00 dB

SPL(A), maximum = 80,97 dB

SPL(A), average = 79,27 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	0,24	1,67	1,65	1,35	1,29	1,50	1,82	1,79
Corr.	0,55	0,96	0,93	0,89	0,85	0,85	0,87	0,91

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 1,51 dB (Correlation: 0,87)

(Rmin; Rmax) = (6,07 m; 19,03 m)

Looking towards Source: 2 HUDBA - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,20)

Active sources: 1

Rays used: 29901 (Lost: 9 = 0,0 %)

Total ray flights: 2824413

Mean free path: 3,73 m

Nezatažená opona – zdroj hudba, 2NP - balkóny:**EDT (s)**

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-0,32	1,44	1,25	1,05	1,14	0,85	0,70	1,12
Maximum	-0,16	1,77	1,51	1,62	1,51	1,30	0,94	1,62
Average	-0,25	1,64	1,37	1,37	1,30	1,00	0,85	1,38

T30 (s)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,00	0,00	1,16	1,06	1,04	0,81	0,80	1,18
Maximum	0,00	1,70	1,33	1,28	1,18	1,01	0,93	1,27
Average	0,00	1,36	1,22	1,17	1,13	0,90	0,85	1,23

SPL (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	85,1	73,0	71,9	71,5	71,2	68,9	67,5	71,1
Maximum	85,7	75,4	74,8	74,5	74,4	72,8	71,8	74,9
Average	85,4	74,1	73,2	72,7	72,6	70,6	69,4	72,7

C80 (dB)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	-12,6	-2,1	-1,1	-0,8	-0,8	1,7	3,6	-1,4
Maximum	-8,6	1,2	2,3	2,4	2,6	5,0	6,6	2,1
Average	-10,9	-0,8	0,4	0,7	0,8	3,1	4,6	0,1

D50

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,03	0,25	0,29	0,31	0,31	0,43	0,51	0,27
Maximum	0,08	0,44	0,49	0,51	0,51	0,62	0,69	0,45
Average	0,05	0,32	0,37	0,39	0,39	0,50	0,58	0,35

Ts (ms)

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	448	102	83	81	80	57	47	86
Maximum	485	141	116	112	112	83	67	122
Average	471	125	101	97	97	72	59	105

LF80

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Minimum	0,233	0,203	0,202	0,212	0,209	0,192	0,178	0,224
Maximum	0,335	0,317	0,309	0,306	0,306	0,302	0,297	0,319
Average	0,291	0,271	0,268	0,268	0,267	0,256	0,244	0,281

STI, minimum = 0,51

STI, maximum = 0,58

STI, average = 0,54

SPL(A), minimum = 77,07 dB

SPL(A), maximum = 80,60 dB

SPL(A), average = 78,58 dB

DL2 parameters

Band (Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
DL2 (dB)	-0,25	1,90	2,46	2,61	2,85	3,24	3,54	3,46
Corr.	-0,64	0,91	0,97	0,98	0,99	0,95	0,93	0,99

DL2,Co (125 - 4000 Hz) = 3,02 dB (Correlation: 0,96)

(Rmin; Rmax) = (8,69 m; 19,25 m)

Looking towards Source: 2 HUDBA - Point source at: (x,y,z) = (-1,00, 0,00, 1,20)

Active sources: 1

Rays used: 29901 (Lost: 9 = 0,0 %)

Total ray flights: 2824413

Mean free path: 3,73 m

Kompletní protokol bodové odezvy na jednotlivých přijímačích lze nalézt ve *Složce C.6*

8 SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Seznam použitých symbolů:

Symbol	Název	Jednotka
T	Doba dozvuku	(s)
T _o	Optimální doba dozvuku	(s)
T ₂₀	Doba dozvuku určena z 20 dB poklesu	(s)
T ₃₀	Doba dozvuku určena z 30 dB poklesu	(s)
f	Frekvence, kmitočet	(Hz)
V	Objem místnosti	(m ³)
S	Plocha povrchů	(m ²)
S _i	Plocha i-tého povrchu	(m ²)
α	Činitel zvukové pohltivosti	(-)
α _i	Činitel zvukové pohltivosti i-tého povrchu	(-)
α _E	Eyringův činitel zvukové pohltivosti	(-)
α _{stř}	Střední činitel zvukové pohltivosti	(-)
m	Činitel útlumu zvuku ve vzduchu	(m ⁻¹)
A	Ekvivalentní pohltivá plocha	(m ²)
A _{obj}	Ekvivalentní pohltivá plocha objektu	(m ²)
φ _{ai}	Výpočtová relativní vlhkost vnitřního vzduchu	(%)
c ₀	Rychlost šíření zvuku ve vzduchu	(m/s)
EDT	Počáteční doba dozvuku (Early Decay Time)	(s)
BR	Míra hlubokých tónů (Bass ratio)	(-)
HFR	Míra vysokých tónů (High Frequency Ratio)	(-)
C ₅₀	Míra zřetelnosti	(dB)
C ₈₀	Míra jasnosti	(dB)
G	Síla zvuku (Strenght of arriving energy)	(dB)
D ₅₀	Zřetelnost (Objective clarity)	(%)
t _s	Čas těžiště (Center Time)	(ms)
STI, I	Index srozumitelnosti řeči (Speech Transmission Index)	(-)
SPL	Hladina akustického tlaku (Sound Pressure Level)	(dB)
I _{dop}	Intenzita dopadajícího paprsku	(w/m ²)
I _{odr}	Intenzita odraženého paprsku	(w/m ²)
I _{pohl}	Intenzita pohlceného paprsku	(w/m ²)
p(t)	Impulsová odezva	

9 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

Použité zdroje:

- [1] ČSN 73 0525, Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady, 1998
- [2] ČSN 73 0527, Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely – Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely, 2005
- [3] ČSN EN 12354-6, Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 6 : Zvuková pohltivost v uzavřených prostorech, 2004
- [4] VAVERKA, Jiří a CHYBÍK, Josef. Akustika staveb : Souhrn materiálů a jejich fyzikálních vlastností pro aplikace v prostorové akustice, FA VUT v Brně, 1996
- [5] NĚMEC, Jan. Budovy tělocvičen školního zařízení v Bzenci : Akustika, osvětlení, diplomová práce, rok 2011/2012, FAST VUT v Brně
- [6] ODEON Room Acoustics Program: Version 8.0, User manual
- [7] KAŇKA, Jan. Akustika stavebních objektů, ERA group spol. s.r.o., Brno 2009
- [8] TZB-Info [on-line]. Praha: Topinfo s.r.o., © 2001-2012 (vid. 28.12.2012). Dostupné z : www.tzb-info.cz
- [9] VONDRÁŠEK, Martin a ANTEK, Michael. Porovnání objektivních kritérií kvality koncertních sálů. Akustické listy [on-line]. Září 2005, ročník 11, číslo 3, s. 9-18, (vid. 27.12.2012). Česká akustická společnost, Dostupné z : www.czakustika.cz
- [10] DONAŤÁKOVÁ, Dagmar. STAVEBNÍ AKUSTIKA A DENNÍ OSVĚTLENÍ : Modul 01 Stavební akustika, FAST VUT v Brně, 2010
- [11] VAVERKA, Jiří a kol. STAVEBNÍ FYZIKA 1 :Urbanistická, stavební a prostorová akustika, VUT v Brně, 1998
- [12] REICHL, Jaroslav a VŠETIČKA, Martin. Geometrická akustika [on-line]. Encyklopedie fyziky. 8.11.2009, (vid. 3.1.2013) . Dostupné z : <http://fyzika.jreichl.com>

- [13] Texaa textilex, acoustics, architecture [on-line]. Paris: Texaa®, (vid. 17.9.2012).
Dostupné z : www.texaa.com
- [14] Rigips SAINT-GOBAIN [on-line]. Praha: Saint-Gobain Construction Products
CZ a.s., Divize Rigips, (vid. 17.9.2012). Dostupné z : www.rigips.cz
- [15] Odeon A/S [on-line]. Lyngby: Scion DTU, (vid. 2.1.2013). Dostupné z :
www.odeon.dk
- [16] ČSN EN ISO 3382-1, Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část
1: Prostory pro přednes hudby a řeči, 2009
- [17] ČSN EN ISO 3382-2, Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část
2: Doba dozvuku v běžných prostorech, 2009