

# ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



## DIPLOMOVÁ PRÁCE

Akustika prostorů základních a mateřských škol

Acoustics of Primary Schools and Kindergarten

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

Vedoucí práce: Ing. Jiří Nováček, Ph.D.

PRAHA 2016

Bc. Adéla Žůrková



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Žůrková Jméno: Adéla Osobní číslo: 380582

Zadávací katedra: K124 - katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Akustika prostorů základních a mateřských škol

Název diplomové práce anglicky: Acoustics of Primary Schools and Kindergartens

Pokyny pro vypracování:

Obsahem tematicky zaměřené diplomové práce bude rozbor problematiky, zahrnující zejména přehled aktuálních legislativních požadavků, přístupů k navrhování a stavebně-technických možností řešení akustiky vnitřních prostorů základních a mateřských škol. Na příkladu nejméně jedné základní či mateřské školy bude na základě měření či výpočtů zjištěn stávající stav a dále navrženy akustické úpravy, jejichž cílem bude optimalizace akustických podmínek. Návrh bude podložen akustickými výpočty.

Seznam doporučené literatury:

Stavební fyzika 3 - Akustika pozemních staveb, Kaňka, J., Nováček, J., učební skriptum ČVUT, 2015

Room acoustics - Kuttruff, H., London: Spon Press, 2009

Prostorová akustika, Kolmer, F., Kyncl, J. SNTL-ALFA, 1980

Příslušné právní předpisy a technické normy

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jiří Nováček, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 12.10.2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

*Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku*

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.*

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: ŽŮRKOVÁ ADELA

Název diplomové práce: AKUSTIKA PROSTORŮ ZÁKLADNÍCH A MATEŘSKÝCH ŠKOL

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: ROZBOR PROBLEMATIKY, ZAMĚŘENÝ NA AKTUÁLNÍ POŽADAVKY A PŘÍSTUPY K NAVRHOVÁNÍ Z HLEDISKA PROSTOROVÉ AKUSTIKY. MĚŘENÍ A VÝPOČTY DOBY DOZVUKU VYBRANÝCH PROSTORŮ ZŠ NEBO MŠ. VÝHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ A NÁVRH OPATŘENÍ (AKUSTICKÝCH ÚPRAV), NEJLEPE VE VARIANTÁCH.

Podpis vedoucího DP: ..... Datum: 19. 10. 2016

Případné další části diplomové práce (části a jejich podíl určí vedoucí DP):

2. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

3. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

4. Část: ..... podíl: ..... %

Konzultant (jméno, katedra): .....

Formulace úkolů: .....

Podpis konzultanta: ..... Datum: .....

Poznámka: Zadání včetně vyplněných specifikací je nedílnou součástí diplomové práce a musí být přiloženo k odevzdané práci (vyplněné specifikace není nutné odevzdat na studijní oddělení spolu s 1. stranou zadání již ve 2. týdnu semestru)

## Anotace

Cílem této diplomové práce je zjištění a vyhodnocení akustických vlastností ve vybraných prostorech jedné základní školy ve Středočeském kraji. Pro rozbor jsou vybrány dvě typické třídy, jídelna a tělocvična. U těchto prostor je provedeno akustické měření. Práce se zabývá posouzením akustiky v těchto prostorech a návrhem akustických úprav. Tyto úpravy jsou založeny na výsledcích z modelu místnosti v počítačovém softwaru. Cílem návrhů je úprava doby dozvuku do přípustných mezí.

## Klíčová slova

Základní školy, prostorová akustika, doba dozvuku, činitel zvukové pohltivosti

## Annotation

The aim of this thesis is the identification and assessment of acoustic properties in selected areas of one elementary school in the Central Bohemian region. For the analysis are selected two typical classrooms, dining room and gym. For these premises is carried out acoustic measurements. The work will deal with the assessment of the acoustics in these spaces and the design of acoustic adjustments. These adjustments are based on the results from the model room in the computer software. The purpose of the proposals is the modification of the reverberation time within the permissible limits.

## Key words

Elementary schools, room acoustics, reverberation time, sound absorption coefficient



## Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracovala samostatně a že jsem uvedla veškerá použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o etické přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

V Praze dne: .....

.....

Adéla Žůrková

## Poděkování

Ráda bych tímto poděkovala paní ředitelce základní školy za umožnění akustického měření. Dále vedoucímu své práce Ing. Jiřímu Nováčkovi, Ph.D. za jeho odborné vedení práce, rady a připomínky.

# OBSAH

1. Úvod .....	8
2. Prostorová akustika .....	9
2.1 Doba dozvuku .....	9
2.2 Zvuková pohltivost .....	11
3. Akustika ve školách .....	12
3.1 Učebna .....	14
3.2 Jídelna .....	14
3.3 Tělocvična .....	15
4. Optimální doba dozvuku podle normy .....	16
4.1 Učebna .....	17
4.2 Tělocvična .....	17
4.3 Jídelna .....	18
5. Měření .....	19
5.1 Metoda přerušného šumu .....	19
5.2 Vlastní měření .....	20
6. Výpočtový model .....	22
7. ODEON – room acoustic software .....	24
8. Učebna II.A .....	25
8.1 Popis prostoru .....	25
8.2 Stávající stav .....	26
8.2.1 Výsledky měření .....	27
8.2.2 Model prostoru .....	28
8.2.3 Posouzení modelu, stávající stav .....	30
8.3 Návrh řešení - varianta 1 .....	31
8.3.1 Geometrie .....	31
8.3.2 Posouzení modelu, varianta 1 .....	35
8.4 Návrh řešení - varianta 2 .....	36
8.4.1 Geometrie .....	36
8.4.2 Posouzení modelu, varianta 2 .....	40
9. Učebna III.B .....	41
9.1 Popis prostoru .....	41
9.2 Stávající stav .....	42
9.2.1 Výsledky měření .....	43
9.2.2 Model prostoru .....	44
9.2.3 Posouzení modelu, původní stav .....	46
9.3 Návrh řešení – varianta 1 .....	47
9.3.1 Geometrie .....	47
9.3.2 Posouzení modelu, varianta 1 .....	51

9.4	Návrh řešení – varianta 2 .....	52
9.4.1	Geometrie.....	52
9.4.2	Posouzení modelu, varianta 2 .....	56
10.	Jídelna.....	57
10.1	Popis prostoru .....	57
10.2	Stávající stav .....	58
10.2.1	Výsledky měření .....	59
10.2.2	Model prostoru.....	60
10.2.3	Posouzení modelu, původní stav .....	62
10.3	Návrh řešení – varianta 1 .....	63
10.3.1	Geometrie.....	63
10.3.2	Posouzení modelu, varianta 1 .....	67
10.4	Návrh řešení – varianta 2 .....	68
10.4.1	Geometrie.....	68
10.4.2	Posouzení modelu, varianta 2 .....	72
11.	Tělocvična .....	73
11.1	Popis prostoru .....	73
11.2	Stávající stav .....	74
11.2.1	Výsledky měření .....	75
11.2.2	Model prostoru.....	76
11.2.3	Posouzení modelu, původní stav .....	77
11.3	Návrh řešení – varianta 1 .....	78
11.3.1	Geometrie.....	78
11.3.2	Posouzení modelu, varianta 1 .....	81
11.4	Návrh řešení – varianta 2 .....	82
11.4.1	Geometrie.....	82
11.4.2	Posouzení modelu, varianta 2 .....	85
	Závěr.....	86
	Seznam literatury.....	87
	Seznam obrázků.....	89
	Seznam tabulek.....	92
	Seznam příloh.....	94
A.	Učebna II.A .....	95
B.	Učebna III.B .....	99
C.	Jídelna.....	103
D.	Tělocvična .....	107

# 1. ÚVOD

Úkolem prostorové akustiky je vytvořit v uzavřených prostorech optimální podmínky pro poslech řeči nebo hudby. Do této kategorie patří v neposlední řadě také prostory pro vzdělávání.

Přestože maximální přijatelnou úroveň hluku resp. dobu dozvuku ve školách definuje nařízení vlády, tak se často může stát, že prostory nevyhovují.

Mateřská školka, základní a střední škola, univerzita – žáci (studenti) tráví ve školách spoustu času. Spokojený a úspěšný život vyžaduje schopnost umět poslouchat, soustředit se, pamatovat si a používat poznatky v praxi. Vzdělávání mnohdy probíhá v učebnách, které nejsou danému typu výuky přizpůsobené. Studenti ve špatných akustických podmínkách nemohou zřetelně slyšet učitele, mají problémy s krátkodobou i dlouhodobou pamětí, méně se soustředí a neumějí plynule číst. Naopak je to u studentů v optimálních akustických podmínkách, porozumění toho, co učitel říká, se zvyšuje až o 25%, více si zapamatují a lépe se soustředí na prováděné úkoly [9].

Obsahem této práce je posouzení stávajících akustických podmínek v jedné základní škole a návrh akustického řešení pro vybrané místnosti, tak aby prostor lépe vyhovoval potřebám učitelů a žáků, kteří v tomto prostředí tráví velkou část dne.



## 2. PROSTOROVÁ AKUSTIKA

Prostorová akustika se zabývá studiem jevů uvnitř částečně nebo zcela uzavřených prostorů. Cílem není ochrana proti hluku, ale zajištění dobré slyšitelnosti a srozumitelnosti zvuku. Metodami prostorové akustiky se převážně řeší prostory určené k poslechu zvuku a ke sledování produkcí spojených s poslechem zvuku – kina, divadla, koncertní sály, kostely, přednáškové a soudní síně aj. souhrnně lze tyto prostory označit jako auditoria[6].

V uzavřeném prostoru (v místnosti) dochází k odrazu akustické energie od stěn, stropu a podlahy zpět směrem ke zdroji. To má za následek zvýšení hladiny akustického tlaku v porovnání se stavem, který by vznikl ve volném prostoru. Významnou roli zde hraje pohltivost zvuku povrchů, které ohraničují uzavřený prostor.

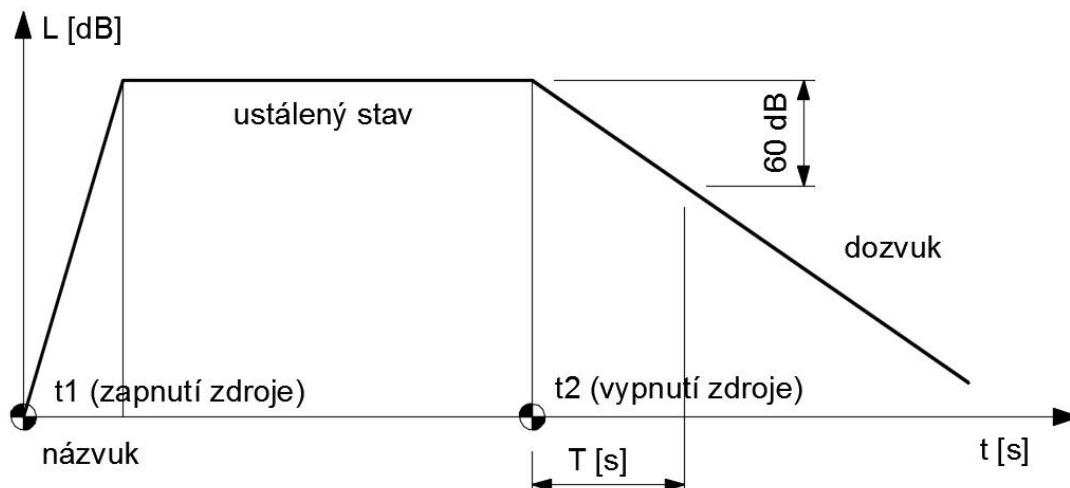
Úkolem prostorové akustiky je vytvořit v uzavřených prostorech, na něž jsou kladeny požadavky z hlediska akustiky, optimální podmínky pro poslech hudby, řeči nebo obou těchto přirozených zvukových signálů.

Rozhodujícím krokem pro vytvoření příznivých akustických poměrů v uzavřeném prostoru je dosažení optimální doby dozvuku, odpovídající danému účelu prostoru[2].

### 2.1 Doba dozvuku

Kritériem akustičnosti uzavřeného prostoru z hlediska statistické akustiky je *doba dozvuku*  $T$  [s].

Po spuštění zdroje zvuku bude hladina v poli odražených vln uzavřeného prostoru postupně zvyšovat svoji hodnotu. Tento jev se nazývá *názevuk*. Po krátké době se hladina akustického tlaku ustálí. Po náhlém ukončení činnosti zdroje zvuku se téměř okamžitě ruší pole přímých vln. Hladina v poli odražených vln se však snižuje postupně, protože jednotlivé zvukové vlny po svých odrazech dorazí do místa sledování s větším či menším zpožděním. Tento jev se nazývá *dozvuk*. Doba, za kterou se od okamžiku ukončení činnosti zdroje zvuku, sníží hladina akustického tlaku v poli odražených vln o 60 dB, se nazývá *doba dozvuku* [6].



Obrázek 1: Definice doby dozvuku [8]

Doba dozvuku závisí na *objemu místnosti*  $V$  [ $\text{m}^3$ ] a její celkové *pohltivosti*  $A$  [ $\text{m}^2$ ], resp. na součtu ploch v místnosti  $\Sigma S$  [ $\text{m}^2$ ] a středním činiteli pohltivosti zvuku  $\alpha_m$  [-].

Relativně jednoduchý vztah pro výpočet doby dozvuku odvodil Sabine:

$$T = 0,163 \cdot V/A$$

Sabinův vztah je dostatečně přesný pro prostory, které nejsou opatřeny obklady pohlcujícími zvuk. Pro výpočet doby dozvuku ve více zatlumených auditoriích, tj. pro  $\alpha_m > 0,2$ , je vhodný vztah Eyringův:

$$T = 0,163 \cdot V / (-\Sigma S \cdot \ln(1 - \alpha_m))$$

V auditoriích o větším objemu než  $2000 \text{ m}^3$  se tento vztah doplňuje o vliv *činitele útlumu zvuku ve vzduchu*  $m$  [ $\text{m}^{-1}$ ]

$$T = 0,163 \cdot V / (-\Sigma S \cdot \ln(1 - \alpha_m) + 4m \cdot V)$$

Doba dozvuku závisí na kmitočtu zvuku, proto se sleduje v oktákových pásmech obvykle v rozsahu od 125 do 4000 Hz. [6]

## 2.2 Zvuková pohltivost

Zvuková pohltivost  $A$  [ $\text{m}^2$ ] je schopnost povrchů pohlcovat dopadající zvuk. Spočte se jako součin *činitele zvukové pohltivosti*  $\alpha$  [-] a *plochy*  $S$  [ $\text{m}^2$ ], na níž zvuk dopadá.

$$A = \alpha \cdot S \text{ [m}^2\text{]}$$

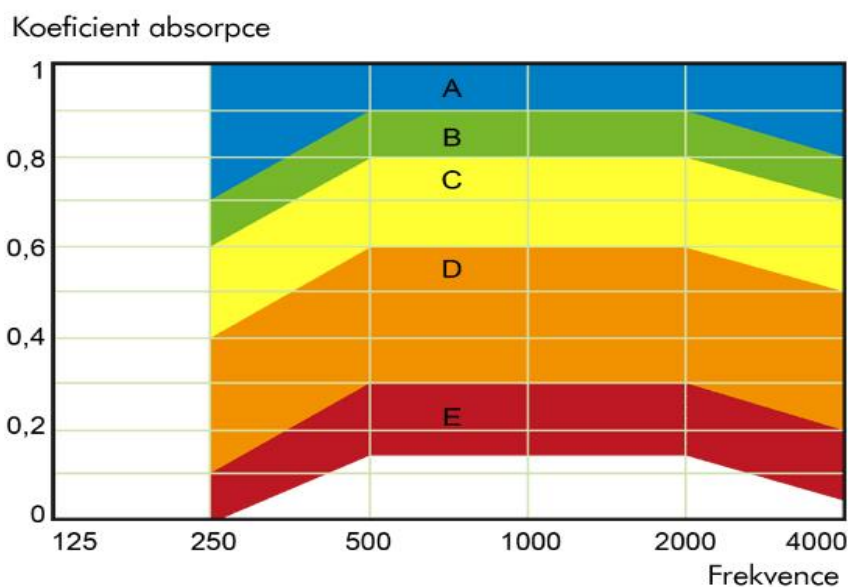
*Činitel zvukové pohltivosti*  $\alpha$  představuje poměr neodražené a dopadající energie zvuku. Při úplném odrazu je  $\alpha = 0$  a při úplném pohlcení platí, že  $\alpha = 1$ .

*Vážený činitel zvukové pohltivosti*  $\alpha_w$  je výsledkem srovnání mezi hodnotami činitele zvukové pohltivosti při standardních frekvencích a referenční křivky v souladu s ISO 11654.

*Třída pohltivosti zvuku* je označení, kdy se podle EN ISO 11654 vypočtená hodnota  $\alpha_w$  může přiřadit do jedné ze šesti popisných tříd podle následující tabulky [11]:

Tabulka 1: Třídy zvukové pohltivosti materiálů [11]

Třída zvukové pohltivosti (podle ČSN EN ISO 11654)	Hodnoty $\alpha_w$	Třída pohltivosti (podle VDI 3755/2000)
A	0,9; 0,95; 1,00	velmi vysoko pohltivý
B	0,80; 0,85	velmi vysoko pohltivý
C	0,6; 0,65; 0,70; 0,75	vysoko pohltivý
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55	pohltivý
E	0,15; 0,20; 0,25	málo pohltivý
Není klasifikováno	0,05; 0,10	odrazivý



Obrázek 2: Třídy zvukové pohltivosti [11]

### 3. AKUSTIKA VE ŠKOLÁCH

Hygienické limity hluku v prostorách pro vzdělávání definuje *Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. §11 ods. 3*

„Hygienický limit maximální hladiny akustického tlaku A se stanoví pro hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu součtem základní maximální hladiny akustického tlaku A  $L_{Amax}$  se rovná 40 dB a korekci přihlížejících ke druhu chráněného vnitřního prostoru a denní a noční době podle přílohy č. 2 k tomuto nařízení.“[5]

Příloha č. 2 k nařízení vlády č. 272/2011 Sb.:

Tabulka 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb [5]

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0 <sup>+) </sup>
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-10 <sup>+) </sup>
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	po dobu používání	+5

Maximální hladina akustického tlaku pro učebny a pobytové místnosti škol a jeslí je tedy 45 dB.

Vyhláška č. 410/2005 Sb. §4b, zezávazuje normou dané hodnoty optimální doby dozvuku pro jednotlivé prostory.

„V zařízeních pro výchovu a vzdělávání a provozovnách pro výchovu a vzdělávání musí být dodrženy normové hodnoty podle příslušné české technické normy upravující optimální doby dozvuku.“ [4](V té době platná ČSN 730527)

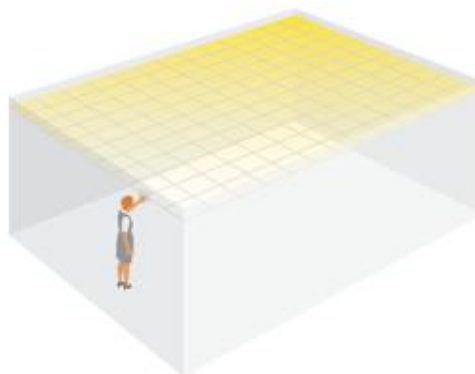
*Pozitivní vlivy optimálního akustického prostředí ve výukových prostorách zahrnují*

- Omezení namáhání hlasivek a poruch hlasu u vyučujících
- Zlepšení soustředění a koncentrace
- Snížení únavy, vyčerpání a stresu
- Snadnější poslech a mluvení díky zlepšení srozumitelnosti řeči
- Optimalizované prostředí pro vícenásobnou komunikaci jako je například skupinová práce
- Zlepšení chování studentů a snížení náročnosti vedení třídy

*Možnosti umístění akustických materiálů pro dosažení optimálních akustických podmínek*

Podhled

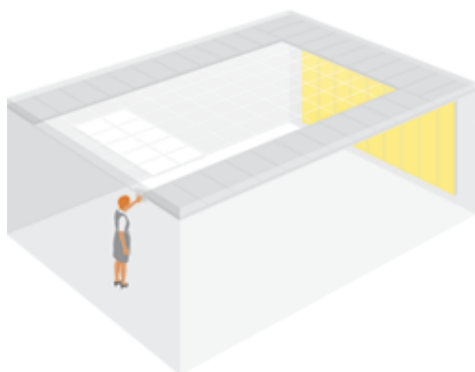
Celoplošný podhled výrazně sníží hladinu hluku v prostoru. V některých případech je výhodné použít podhled pouze na část stropu, aby nedošlo k přetlumení. Doba dozvuku by se snížila až pod požadovanou úroveň.



Obrázek 3: celoplošný podhled [10]

Stěnové absorbéry

Při použití pouze podhledu na strop by se mohlo stát, že se zvuk bude odrážet od stěn. Proto je dobré podhled kombinovat se stěnovými panely.



Obrázek 4: Stěnové absorbéry [10]



### Zvukově odrazivá zóna

Používá se u učeben, kde je daná poloha řečníka. Instaluje se obvykle nad místo, kde vyučující vede výklad. Umožní vyučujícímu slyšet svůj vlastní hlas.



Obrázek 5': Zvukově odrazivá zóna [10]

## *Specifické problémy v jednotlivých prostorách škol*

### 3.1 Učebna

V tradičních učebnách a při klasické výuce učitel přednáší z čela třídy studentům, kteří mají být potichu a poslouchat. Hlavními prioritami v takové situaci je zajištění toho, aby vyučující měl k dispozici komfort pro mluvení, aby řeč byla srozumitelná a doléhala ke všem studentům v učebně.

Učebnu lze alternativně využívat ke skupinové práci, která s sebou však nese daleko interaktivnější komunikaci mezi lidmi. V takovém případě je důležité zkombinovat srozumitelnost řeči a nízkou intenzitu zvuku v rámci skupiny s minimalizací vzájemného vyrušování mezi jednotlivými skupinami [9].

### 3.2 Jídelna

V jídelnách a kantýnách se pohybuje mnoho lidí a je zde vysoká intenzita zvuku následkem mluvení, chování i cinkotu sklenic a talířů. Do tohoto prostředí však lidé přicházejí i kvůli tomu, aby si odpočinuli a promluvili si při jídle s ostatními. Z hygienických důvodů jsou tyto prostory často zařízeny vybavením z tvrdých, zvukově odrazivých materiálů, které přispívají k vysoké intenzitě a šíření zvuku [9].

V jídelnách vzniká jev zvaný „*restaurační efekt*“. Ten vzniká, všude tam kde se v uzavřeném prostoru shromažďuje větší počet lidí, z nichž většina současně hovoří. V důsledku hovoru více osob najednou vzniká v místnosti akustické pole s hladinou akustického tlaku, která narušuje srozumitelnost vzájemné komunikace a nutí hovořící osoby zvyšovat hlas. Tím se však dále zvyšuje hladina akustického tlaku v místnosti a jev se dále opakuje a nabývá na síle. Vzestup hladin se zastaví až po rezignaci části osob na vzájemnou komunikaci, případně je limitován možnostmi akustického výkonu lidského hlasu. Tento nepříjemný jev lze omezit nebo i zcela vyloučit zvýšením celkové pohltivosti prostoru[6].

### 3.3 Tělocvična

Ve sportovních halách probíhají hlučné aktivity jakož to hra samotná, ale i komunikace účastníků ve velkých prostorách, což vede k vysoké úrovni hluku a často i k dlouhé době dozvuku a třepotavým ozvěnám. Tomu lze zabránit instalací akustických panelů s vysokou absorpcí zvuku na stěny a strop. Ve sportovních halách je důležité, aby akustické panely odolávaly mechanickým nárazům[9].

## 4. OPTIMÁLNÍ DOBA DOZVUKU PODLE NORMY

Optimální dobu dozvuku  $T_0$  pro jednotlivé prostory udává technická norma ČSN 73 0527 Akustika – projektování v oboru prostorové akustiky.

Optimální doba dozvuku  $T_0$  obsazeného prostoru daného účelu a objemu je uvedena v tabulce 3.

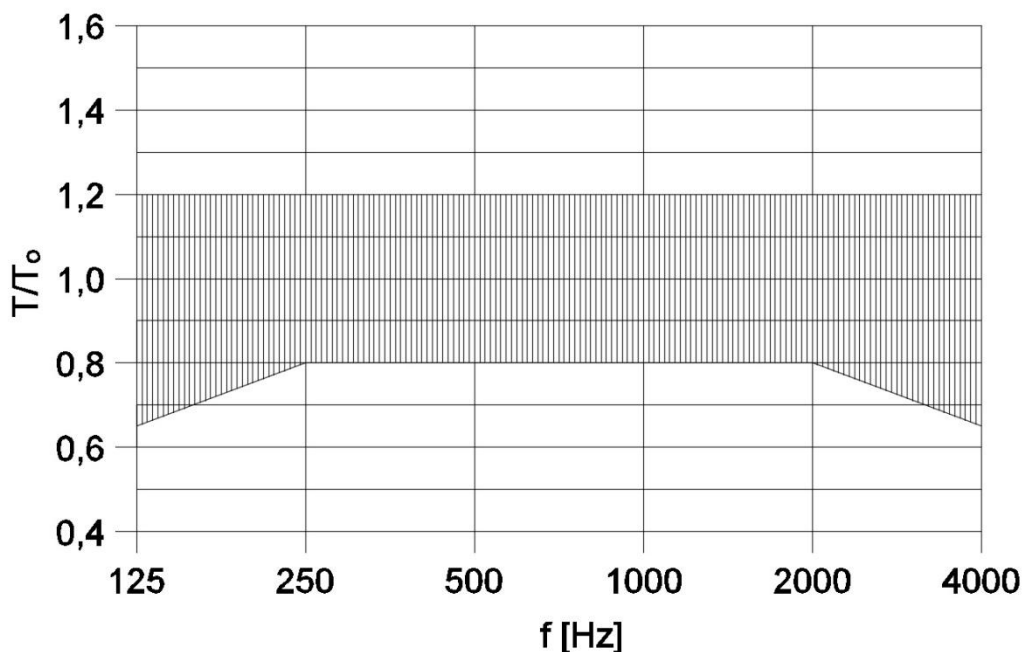
Kmitočtový průběh vypočítané doby dozvuku  $T$  se ve vztahu k optimální době dozvuku  $T_0$  prověřuje pomocí kmitočtové závislosti přípustného rozmezí poměru hodnot  $T/T_0$ . Toto přípustné rozmezí hodnot  $T/T_0$  je dáno obrázky A.1 až A.8 v příloze normy[2].

Tabulka 3: Požadavky na prostory ve školách [2]

Prostor	Objem [m <sup>3</sup> ]	Doba $T_0$ [s]	Obrázek s rozmezím hodnot $T/T_0$
Učebna a posluchárna	do 250	0,7	A.4
Posluchárna	přes 250	závislost 3 - A.1	A.4
Jazyková učebna	130 až 180	0,45	A.4
Audiovizuální učebna	200	0,6	A.4
Učebna hudební výchovy	200	0,9	A.3
Učebna hudební výchovy při reprodukované hudbě	200	0,5	A.3
Učebna hry na individuální nástroje a sólového zpěvu	80 až 120	0,7	A.3
Učebna orchestrální hry hudebních škol	-	závislost 2 - A.1	A.2
Tělocvična a plavecká hala všech typů škol	-	závislost 5 - A.1	A.8
Sborovna nebo konferenční místnost	-	(širokopásmový obklad stropu)	
Učebna pracovní výuky	-	''	
Učebna gymnastiky a tance	-	''	
Místnost pro hry v mateřských školách a školních družinách	130 až 200	''	
Denní místnost jeslí	150	''	
Školní jídelna, menza	-	''	

## 4.1 Učebna

Pro učebny nebo posluchárny s objemem prostoru do  $250 \text{ m}^3$  je požadovaný doba dozvuku  $T_0 = 0,7 \text{ s}$ . Maximální a minimální hodnoty poměru  $T/T_0$  jsou dány obrázkem 6

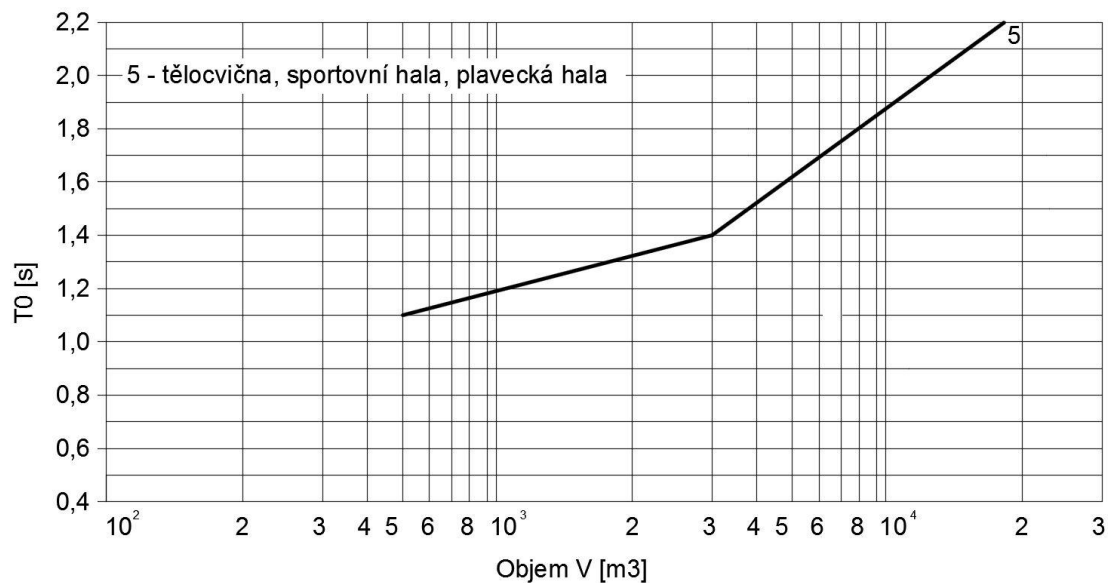


Obrázek 6: Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči (označení obrázku v normě A.4) [2]

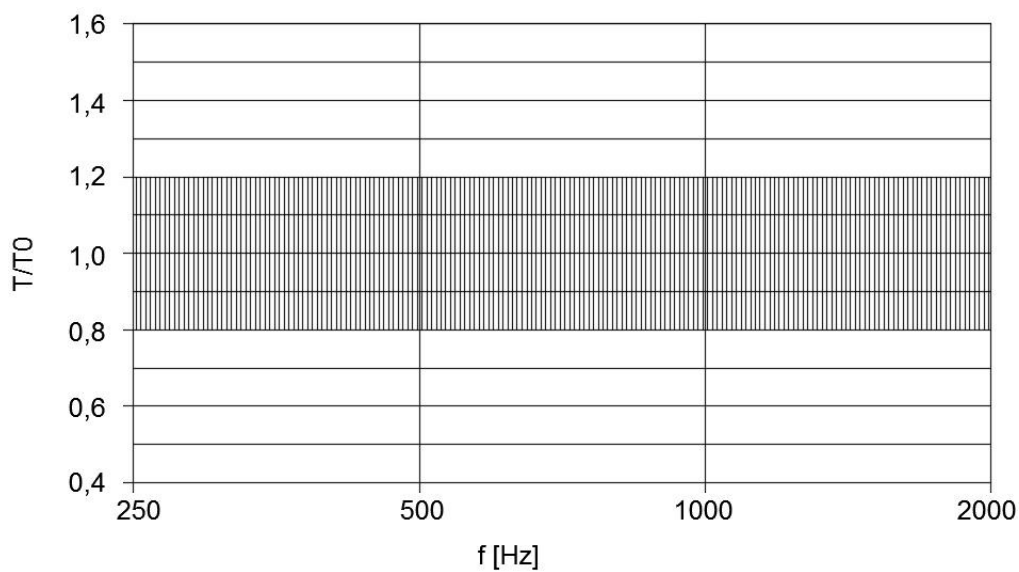
## 4.2 Tělocvična

Hodnoty optimální doby dozvuku pro tělocvičny, sportovní haly a plavecké haly jsou dány grafem (obrázek 7) v závislosti na objemu  $V$  [ $\text{m}^3$ ] prostoru. V grafu pro tyto prostory odpovídá křivka č. 5. U tohoto typu prostor se uvažuje pouze neobsazený stav [2].

Optimální doba dozvuku pro stavby pro sport a tělovýchovu (tělocvičny, sportovní a bazénové haly) se v normě udává od objemu prostoru  $500 \text{ m}^3$  do objemu  $20\,000 \text{ m}^3$ . Pro prostory s objemem v rozmezí od  $500 \text{ m}^3$  do  $3000 \text{ m}^3$  platí závislost  $T_0 = 0,3961 \log V + 0,023$  a pro prostory od  $3000 \text{ m}^3$  do  $20\,000 \text{ m}^3$  platí závislost  $T_0 = 1,0366 \log V - 2,204$ , jak je zobrazeno v grafu lomenou čarou. Doba dozvuku se sleduje ve čtyřech oktávových pásmech od  $250 \text{ Hz}$  do  $2000 \text{ Hz}$  [2].



Obrázek 7: Závislost optimální doby dozvuku  $T_0$  [s] pro kmitočet 1000Hz na objemu  $V$  [m<sup>3</sup>] (označení obrázku v normě A.1) [2]



Obrázek 8: Příпустné rozmezí poměru dob dozvuku  $T/T_0$  tělocvičny, sportovní nebo plavecké haly (označení obrázku v normě A.8) [2]

### 4.3 Jídelna

Pro jídelny nejsou normou dány žádné závazné požadavky na dobu dozvuku.

Je doporučeno použít širokopásmový obklad stropu.



## 5. MĚŘENÍ

Pro měření aktuální doby dozvuku a návrh úprav byla vybrána základní škola, která se nachází ve Středočeském kraji. Měření byly dvě třídy, jídelna a tělocvična.

Dobu dozvuku prostoru je možné měřit pomocí impulsové odezvy nebo metody přerušného šumu

Měření doby dozvuku bylo provedeno metodou přerušného šumu podle ČSN EN ISO 3382-1.

### 5.1 Metoda přerušného šumu

Jedná se o metodu získávání křivek dozvukového poklesu přímým záznamem poklesu hladiny akustického tlaku po vybuzení uzavřeného prostoru širokopásmovým šumem.

Jako zdroj zvuku musí být používán reproduktor a signál do něho přiváděný musí být odvozen z širokopásmového náhodného nebo pseudonáhodného elektrického šumu. Zdroj musí být schopný vybudit dostatečnou hladinu akustického tlaku tak, aby křivka poklesu začínala nejméně 35 dB nad hlukem pozadí.

Místa zdroje se volí tam, kde se charakteristicky vyskytují přirozené zdroje zvuku. Musí být užita minimálně dvě místa zdroje. Výška akustického středu zdroje by měla být 1,5 m nad podlahou.

Místa pro mikrofon by měla být situována do typických oblastí sálu, kam by se běžně umisťovali posluchači. Pro měření doby dozvuku je důležité, aby měřicí místa ovzorkovala celý prostor [3].

## 5.2 Vlastní měření

Pro měření doby dozvuku metodou přerušného šumu bylo použito následující vybavení:

- akustický analyzátor CESVA SC310
- všesměrový reproduktor CESVA BP012
- zesilovač CESVA AP601
- všesměrový mikrofon CESVA C130
- kalibrátor zvuku CESVA CB006

Při měření byly v každé z měřených místností umístěny dvě místa zdroje zvuku a tři umístění mikrofonu.

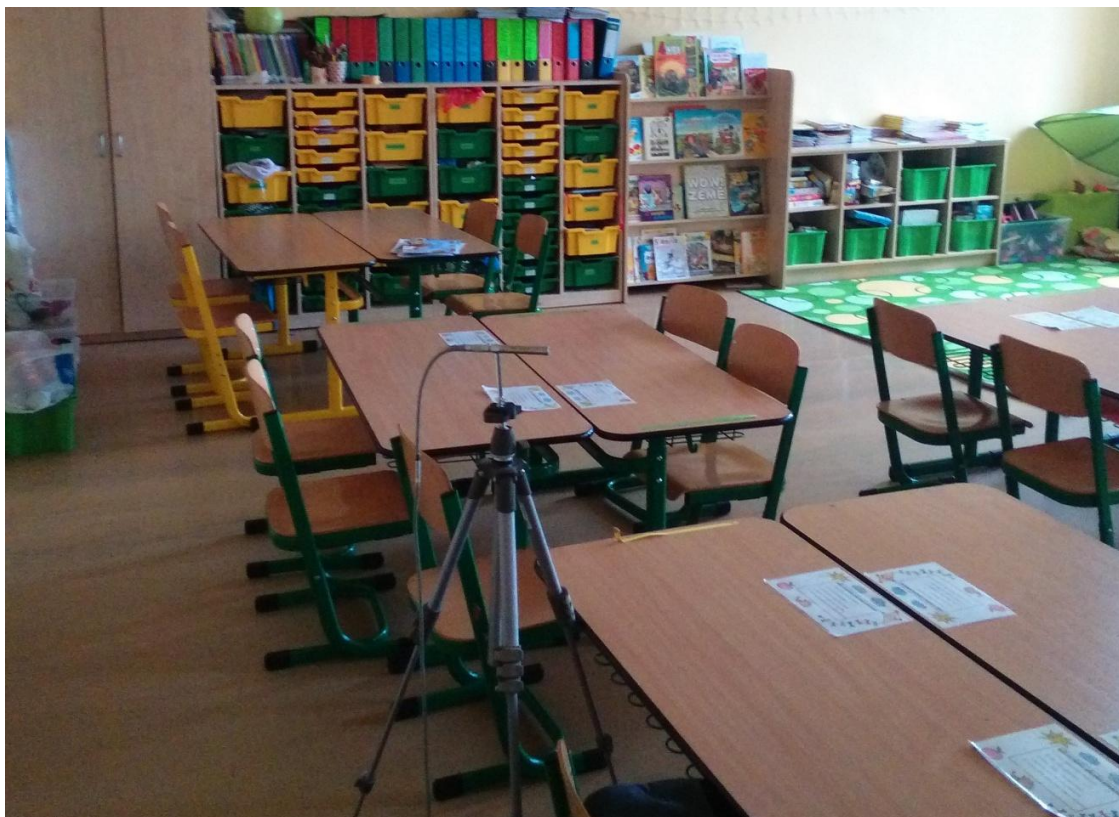
Ve třídách byl zdroj zvuku umístěn na dvou místech u tabule ve výšce 1,5 m nad podlahou, abychom se přiblížili skutečným podmínkám při vyučování. Mikrofony pak byly umístěny na tři zvolená místa v lavicích ve výšce 1,0 m nad podlahou, což přibližně odpovídá výšce ucha žáka na prvním stupni základní školy.

V jídelně a tělocvičně není konkrétně vymezen prostor pro zdroj zvuku ani pro příjemce. V těchto prostorech byly umístění rozloženy náhodně tak aby byl pokryt celý prostor. V těchto prostorech také byla změněna výška mikrofonu na 1,2 m nad podlahou.

Pro všechny prostory proběhlo měření dvakrát pro každou kombinaci zdroje zvuku a mikrofonu. Celkem tedy pro každý prostor bylo provedeno 12 měření v šesti oktávových pásmech od 125 do 4000 Hz. Výsledky pro každé oktávové pásmo byly zprůměrovány, tím byla získána hodnota doby dozvuku pro každý prostor v šesti oktávových pásmech.



Obrázek 9: Měření doby dozvuku v učebně II. A – zapojení reproduktoru a zesilovače



Obrázek 10: Měření doby dozvuku v učebně II. A – umístění mikrofonu

## 6. VÝPOČTOVÝ MODEL

Z měření bylo získáno celkem 12 hodnot doby dozvuku  $T_{20}$  pro každý prostor. Pro další výpočty je použit průměr z těchto hodnot. Protože norma posuzuje učebny v obsazeném stavu, musíme tuto hodnoty doby dozvuku přepočítat na obsazený stav (platí pro učebny a jídelnu). Tělocvična se posuzuje v neobsazeném stavu.

V tabulce výpočtu je pak pro každý prostor uveden zmíněný průměr z naměřených hodnot  $T_{20}$ . Dále je v tabulce nejprve vypočítána pohltivost prostoru bez osob ze změřené doby dozvuku pomocí vztahu pro výpočet doby dozvuku podle Sabina:

$$T = 0,163 \cdot V / A \quad \text{z toho plyne vztah pro pohltivost}$$

$$A = 0,163 \cdot V / T$$

Pohltivost jednoho žáka je známá pro jednotlivá oktávová pásma, tu vynásobíme počtem osob v prostoru. Pohltivost žáků přepočteme k vypočítané pohltivosti prázdného prostoru a tím získáme celkovou pohltivost prostoru v obsazeném stavu.

Pomocí této pohltivosti zpětně vypočítáme dobu dozvuku pro obsazený prostor dosazením do Sabinova vztahu.

Podle normy ČSN 73 0527 je daná optimální doba dozvuku pro daný typ prostoru.

Nakonec porovnáme poměr  $T/T_0$  s přípustným rozmezím, pokud tento poměr nevyhovuje, je potřeba navrhnout úpravy prostoru, které zlepší akustickou pohltivost prostoru.

U tělocvičny je postup obdobný, jenom zkrácený o výpočet obsazeného stavu.

U všech místností, ve kterých probíhalo akustické měření, byly změřeny rozměry a na základě těchto rozměrů byly vytvořeny 3D modely v programu Google SketchUp. Pomocí SketchUp pluginu byly modely převedeny do programu ODEON. Tam byly všem povrchům přiřazeny činitelé pohltivosti  $\alpha$  podle typu povrchu. Dále byly v místnostech rozloženy zdroje zvuku a mikrofony podle skutečného rozložení při měření, tedy dvě polohy zdroje zvuku a tři polohy mikrofону.

Pro každý prostor kromě tělocvičny byly vymodelovány dva stavy. Stav neobsazený a stav obsazený. Při neobsazeném stavu byly v učebnách a jídelně zjednodušeně vymodelovány židle a stoly bez osob. Tento model slouží hlavně k porovnání výsledků s naměřenými hodnotami a tím je možné zkontrolovat přesnost modelu. V programu ODEON tedy byly namodelovány zdroje zvuku i mikrofony podle skutečného měření a jednotlivým povrchům byly přiřazeny hodnoty činitele zvukové pohltivosti.

U tělocvičny byl modelován pouze neobsazený stav, protože podle normy se tělocvičny posuzují pouze při neobsazeném stavu.

U ostatních prostor byl poté vytvořen model pro obsazený stav. Žáci v lavicích byli nahrazeni kvádry o rozměrech 250 mm x 300 mm x 600 mm. Z povrchu tohoto kvádrů byly poté vypočítány hodnoty činitele zvukové pohltivosti pro žáky.

Známe hodnoty pohltivosti pro jednoho žáka (tab. 3) a známe povrch kvádrů, který představuje jednoho žáka. Z toho můžeme vypočítat činitel zvukové pohltivosti.

$$\alpha = A/S$$

Tabulka 4: Výpočet činitele pohltivosti žáků pro program ODEON

	<b>125</b>	<b>250</b>	<b>500</b>	<b>1000</b>	<b>2000</b>	<b>4000</b>
<b>Pohltivost 1 žáka</b>	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
<b><math>\alpha</math> pro program ODEON</b>	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57

Stejný postup vytváření modelů platí i pro jednotlivé varianty akustických úprav v místnostech.

Každé posouzení je doplněno o vypočítanou hodnotu doby dozvuku podle Sabina a Eyringa. Celý výpočet se nachází v přílohách k jednotlivým prostorům.

## 7. ODEON – ROOM ACOUSTIC SOFTWARE

Projekt ODEON Room Acoustic Software (dále jen ODEON) byl vytvořen za spolupráce mezi Technickou univerzitou v Dánsku a skupinou poradenských společností v roce 1984 s účelem poskytnout software pro spolehlivé určení prostorové akustiky. Dnes má program Odeon široké pole aplikací[12].

Výpočetní algoritmus programu ODEON, k výpočtu využívá více početních modelů. V roce 1984 byla navržena Ray tracing method (metoda sledování paprsků). Tato metoda sleduje paprsky, které se odrážejí v místnosti. V pozdější době se ukázala jako vhodná, protože paprsky mohou být považovány za transportéry energetické informace, takže jsou vhodné pro výpočet metodou impulsní odezvy v místnosti.

Později byl vyvinut zlepšený hybridní výpočetní model, který kombinuje *Ray tracing method* a *Image source method* (metoda zdánlivých zdrojů), která využívá počáteční zrcadlové odrazy akustických paprsků. Směr dráhy paprsku lze určit na principu geometrické konstrukce. Výhodou této metody je vysoká přesnost, ale bývá často časově náročná.

Speciální metodou sledování paprsku je *Particle tracing method*, která uvažuje, že po každém odrazu se energie, kterou nese paprsek, sníží v závislosti na absorpčních vlastnostech povrchů, od kterých se odráží. Tato metoda bere v úvahu pozici zdroje i rozložení materiálů v místnosti [12].



## 8. UČEBNA II.A

### 8.1 Popis prostoru

Učebna má obdélníkový půdorys o rozměrech 6,6 x 9 metrů, světlá výška prostoru je 3,8 metrů. Na jedné stěně se nacházejí 4 okna o rozměrech 2,4 x 1,25 metrů. Strop a stěny jsou omítnuté, nášlapnou vrstvu podlahy tvoří linoleum, v zadní části třídy je umístěn koberec. Tabule se nachází na přední stěně a na jedné boční stěně. V zadní části prostoru jsou skříně. V přední části je umístěna katedra a menší skřínky. Ve třídě je rozmístěno 14 stolů s 28 místy pro žáky.

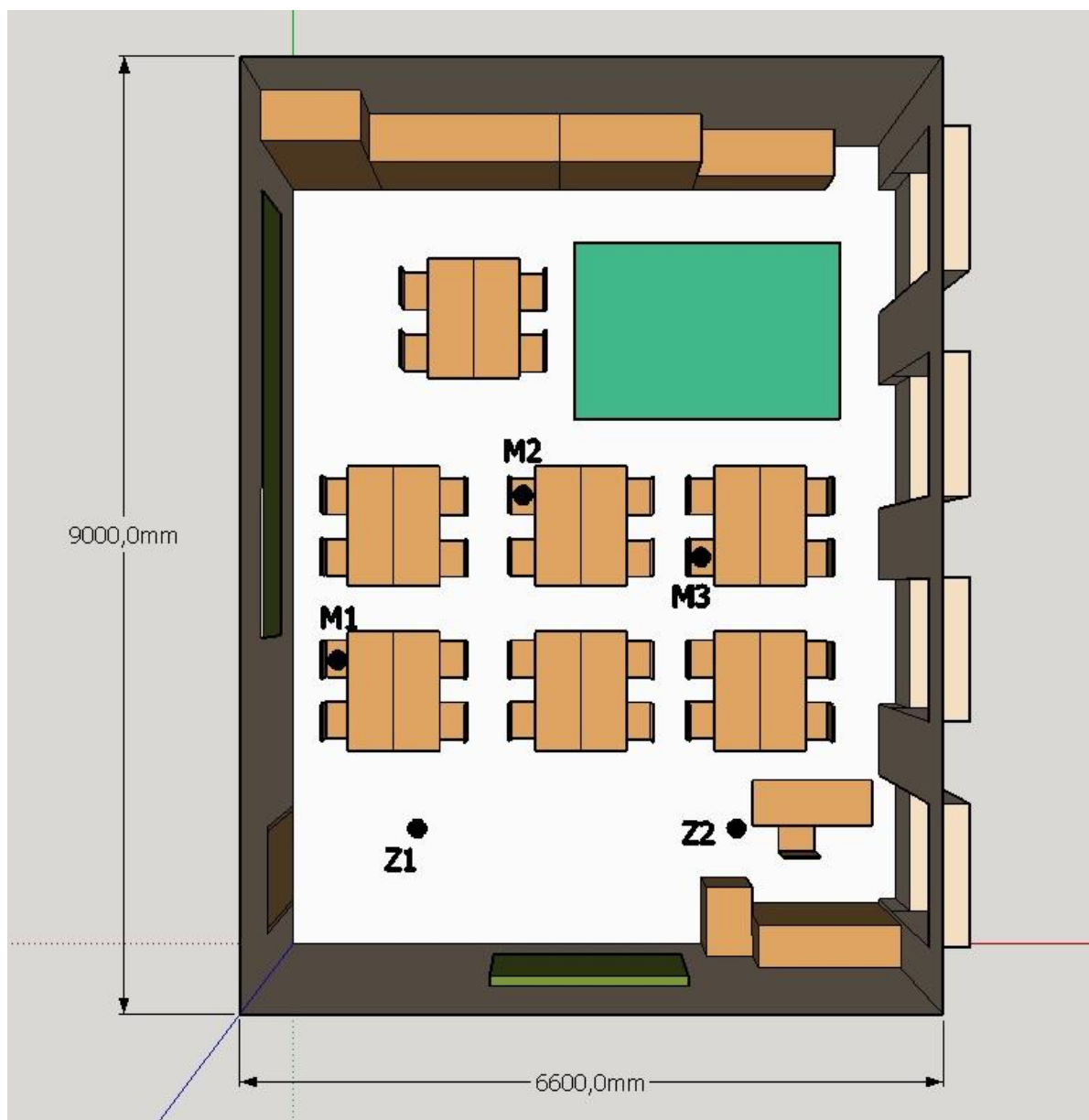


Obrázek 11: Učebna II. A

## 8.2 Stávající stav

V místnosti nejsou umístěny žádné akustické obklady nebo podhledy. Na stěnách se nachází větší množství papírů a jiných dekorací, které mohou ovlivňovat dobu dozvuku místnosti. Tyto prvky ale nejsou zahrnuty v modelu.

V prostoru byla změřena doba dozvuku metodou přerušného šumu. Polohy zdrojů (Z1 a Z2) a mikrofonů (M1, M2 a M3) jsou zakresleny na obr. 12.



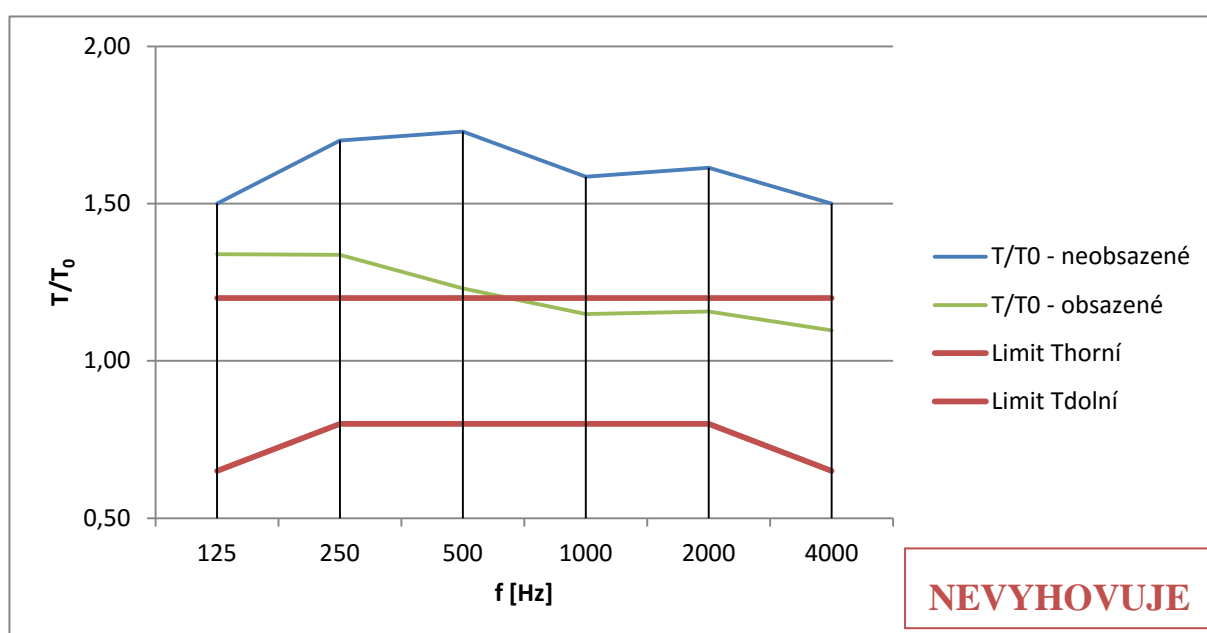
Obrázek 12: Umístění reproduktorů a mikrofonů; učebna II.A



## 8.2.1 Výsledky měření

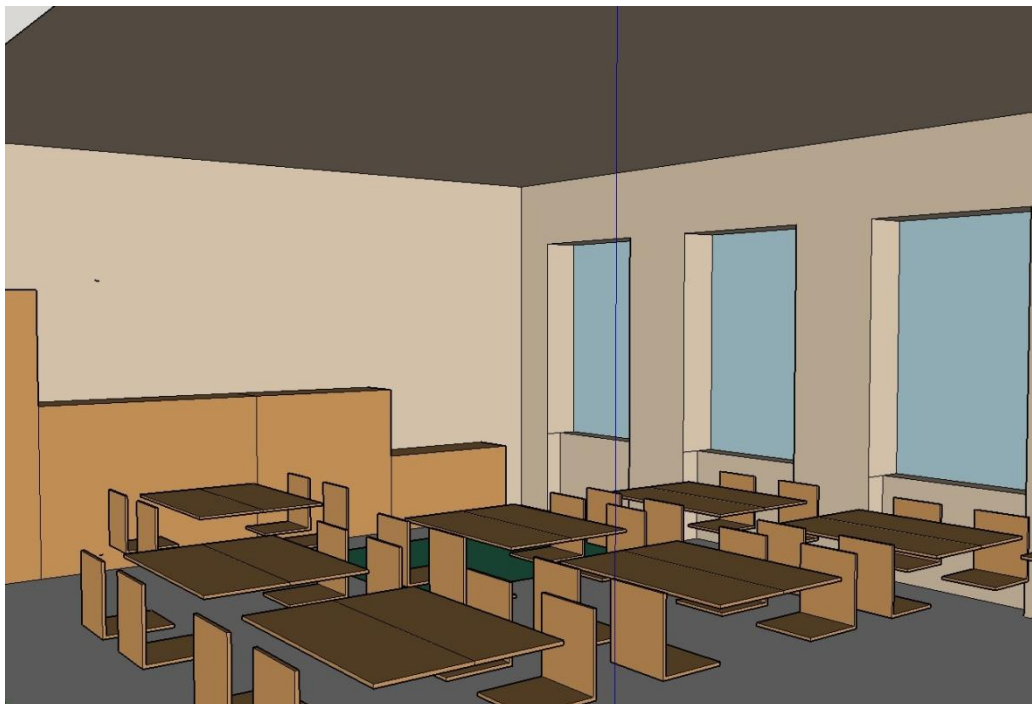
Tabulka 5: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot

	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{20}$ (průměr z naměřených hodnot) viz příloha A	1,05	1,19	1,21	1,11	1,13	1,05
Pohltivost prostoru bez žáků A =	35,04	30,92	30,41	33,15	32,56	35,04
Pohltivost 1 žáka	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
Pohltivost 28 žáků	4,20	8,40	12,32	12,60	12,88	12,88
Pohltivost prostoru se žáky A =	39,24	39,32	42,73	45,75	45,44	47,92
Doba dozvuku obsazeného prostoru T =	0,94	0,94	0,86	0,80	0,81	0,77
požadavek normy $T_0$ =	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
$T/T_0$ - neobsazené	1,50	1,70	1,73	1,59	1,61	1,50
$T/T_0$ - obsazené	1,34	1,34	1,23	1,15	1,16	1,10
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65



## 8.2.2 Model prostoru

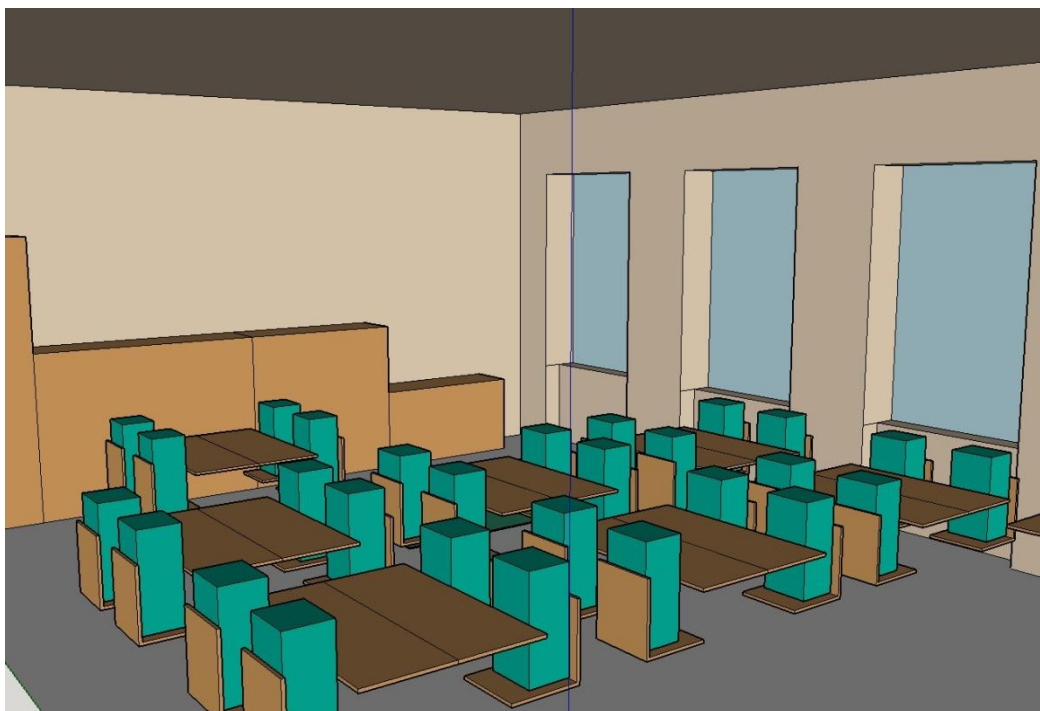
Aby bylo možné navrhnout pro prostor úpravy a ty poté posoudit v programu ODEON, byl první vytvořen model místnosti v programu SketchUp a ten byl převeden do programu ODEON.



Obrázek 13: Model učebny II. A v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 14: Model učebny II. A v programu ODEON, neobsazený stav



Obrázek 15: Model učebny II. A v programu SketchUp, obsazený stav



Obrázek 16: Model učebny II. A v programu ODEON, obsazený stav

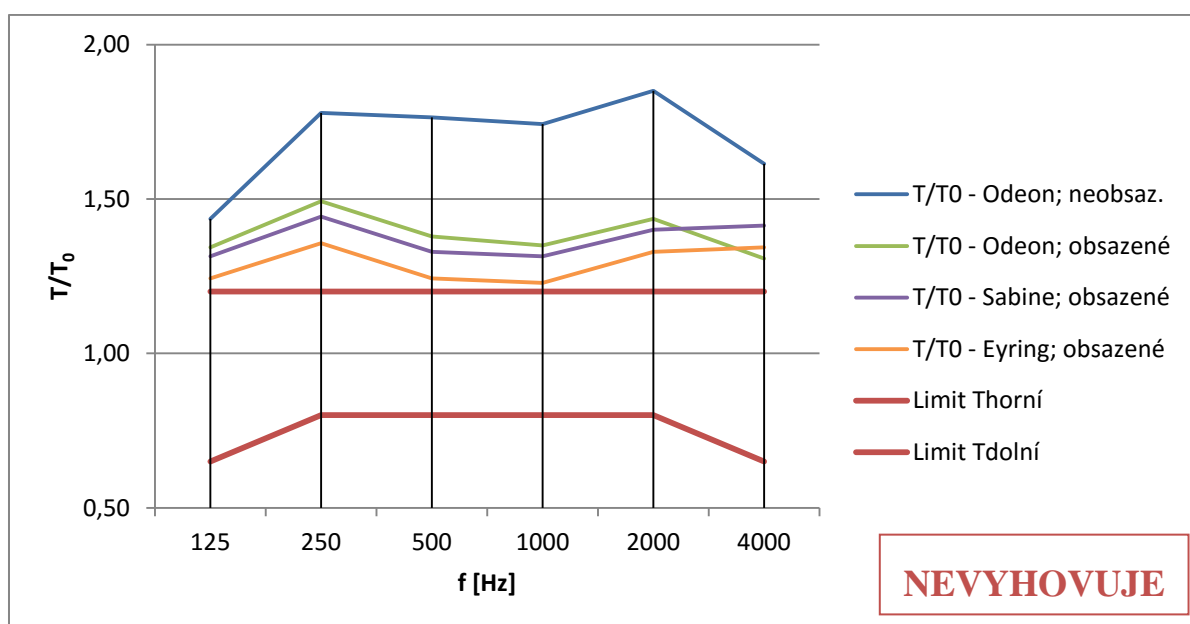
Do modelu byly zadány zdroje a mikrofony stejně jako u skutečného měření, z programu jsme získali dva průběhy doby dozvuku pro jednotlivá pásma, jeden pro zdroj 1 a jeden pro zdroj 2. Průměrem z těchto dvou hodnot dostaneme hledanou dobu dozvuku.

## 8.2.3 Posouzení modelu, stávající stav

Tabulka 6: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	1,01	1,25	1,24	1,22	1,30	1,13
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,94	1,05	0,97	0,95	1,01	0,92
T [s] - Sabine *	0,92	1,01	0,93	0,92	0,98	0,99
T [s] - Eyring *	0,87	0,95	0,87	0,86	0,93	0,94
požadavek normy $T_0 =$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/T <sub>0</sub> - Odeon; neobsaz.	1,44	1,78	1,76	1,74	1,85	1,61
T/T <sub>0</sub> - Odeon; obsazené	1,34	1,49	1,38	1,35	1,44	1,31
T/T <sub>0</sub> - Sabine; obsazené	1,31	1,44	1,33	1,31	1,40	1,41
T/T <sub>0</sub> - Eyring; obsazené	1,24	1,36	1,24	1,23	1,33	1,34
Limit T <sub>horní</sub>	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit T <sub>dolní</sub>	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze A



### 8.3 Návrh řešení - varianta 1

Jelikož posuzovaná učebna nevyhovuje požadavkům normy, jsou navrženy akustické řešení prostoru, tak aby se doba dozvuku zkrátila do požadovaného rozmezí.

V první variantě řešení byly navrženy akusticky pohltivé prvky na zadní stěnu učebny a částečný akustický pohled nad prostorem, ve kterém se nacházejí žáci.

#### 8.3.1 Geometrie

Na stropě je umístěn akustický podhledový systém SONIT SP5, který je vytvořen z desek z akustického materiálu na bázi tvrdých porézních hmot[13]. Tyto desky jsou montovány do viditelného závěsného systému. Podhled je o 300 mm svěšen od stropu. Plocha podhledu je 23 m<sup>2</sup>.

Tabulka 7: Činitel zvukové pohltivosti [13]

	125	250	500	1000	2000	4000
Sonit SP5 300 mm	0,58	0,79	0,70	0,78	0,75	0,68

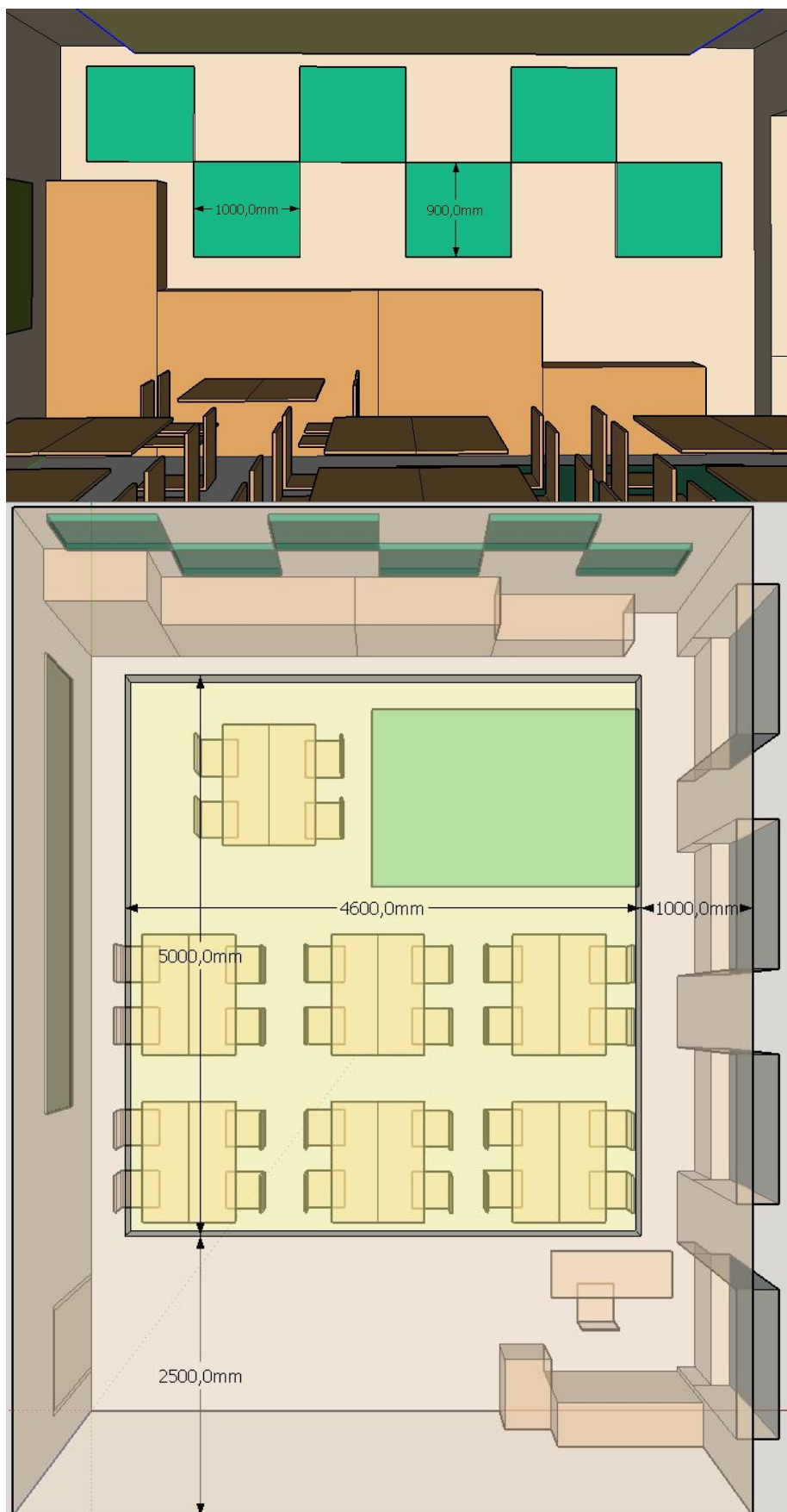
Na zadní stěně učebny jsou umístěny čtverce akustického stěnového obkladu SONIT PP20 doplněný doplňkovým absorbérem, který se vkládá do vzduchové mezery mezi stěnou a deskami [13]. Celková plocha prvků je 5,9 m<sup>2</sup>.

Tabulka 8: Činitel zvukové pohltivosti [13]

	125	250	500	1000	2000	4000
Sonit PP20 s doplňkovým absorbérem	0,61	0,60	0,62	0,64	0,76	0,70

Rozložení panelů a podhledu je patrné z obrázku 17.

Dále se postupovalo stejným způsobem jako u posouzení původního stavu. To znamená, že první byl vytvořen model s akustickými prvky, který poté byl posouzen v programu ODEON. Cílem návrhu bylo snížit poměr  $T/T_0$  pro obsazený stav učebny do požadovaného rozmezí.



Obrázek 17: Rozmístění akustických prvků, varianta 1



Obrázek 18: Model varianty 1 v programu Sketch Up, neobsazený stav



Obrázek 19: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav





Obrázek 20: Model varianty 1 v programu Sketch Up, obsazený stav



Obrázek 21: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav

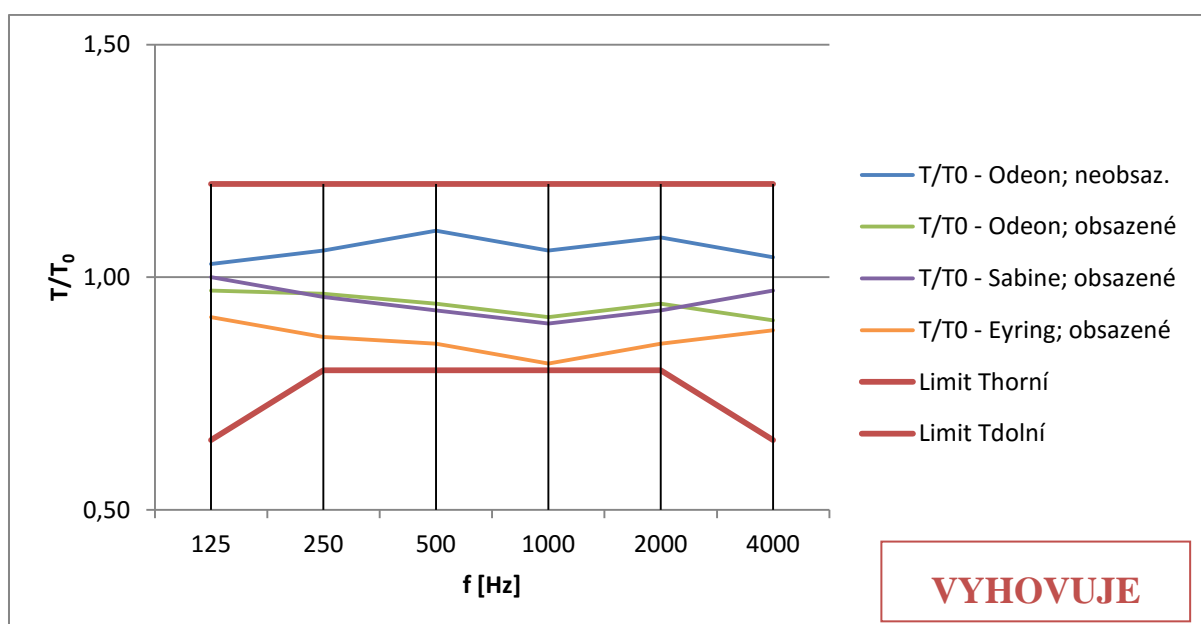


## 8.3.2 Posouzení modelu, varianta 1

Tabulka 9: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 1

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,72	0,74	0,77	0,74	0,76	0,73
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,68	0,68	0,66	0,64	0,66	0,64
T [s] - Sabine *	0,70	0,67	0,65	0,63	0,65	0,68
T [s] - Eyring *	0,64	0,61	0,60	0,57	0,60	0,62
požadavek normy $T_0 =$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.	1,03	1,06	1,10	1,06	1,09	1,04
T/ $T_0$ - Odeon; obsazené	0,97	0,96	0,94	0,91	0,94	0,91
T/ $T_0$ - Sabine; obsazené	1,00	0,96	0,93	0,90	0,93	0,97
T/ $T_0$ - Eyring; obsazené	0,91	0,87	0,86	0,81	0,86	0,89
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze A



## 8.4 Návrh řešení - varianta 2

Ve variantě číslo 2 je použit akustický podhled na celou plochu stropu, který je doplněn akusticky pohltivými prvky kruhového tvaru na zadní a jedné boční stěně.

### 8.4.1 Geometrie

Na celém stropě je umístěn akustický podhled Sonit SP5 s upravenou rubovou stranou. Svěšení podhledu je 100 mm od stropu. I když se jedná o stejný materiál jako ve variantě 1, tak díky úpravě rubové strany desek má podhled výrazně jiný průběh činitele zvukové pohltivosti. Desky podhledu jsou montovány do viditelného závěsného systému [13]. Plocha podhledu je 21,8 m<sup>2</sup>.

Tabulka 10: Činitel zvukové pohltivosti [13]

	125	250	500	1000	2000	4000
Sonit SP5 s upravenou rub. stranou 100 mm	0,50	0,18	0,13	0,11	0,14	0,24

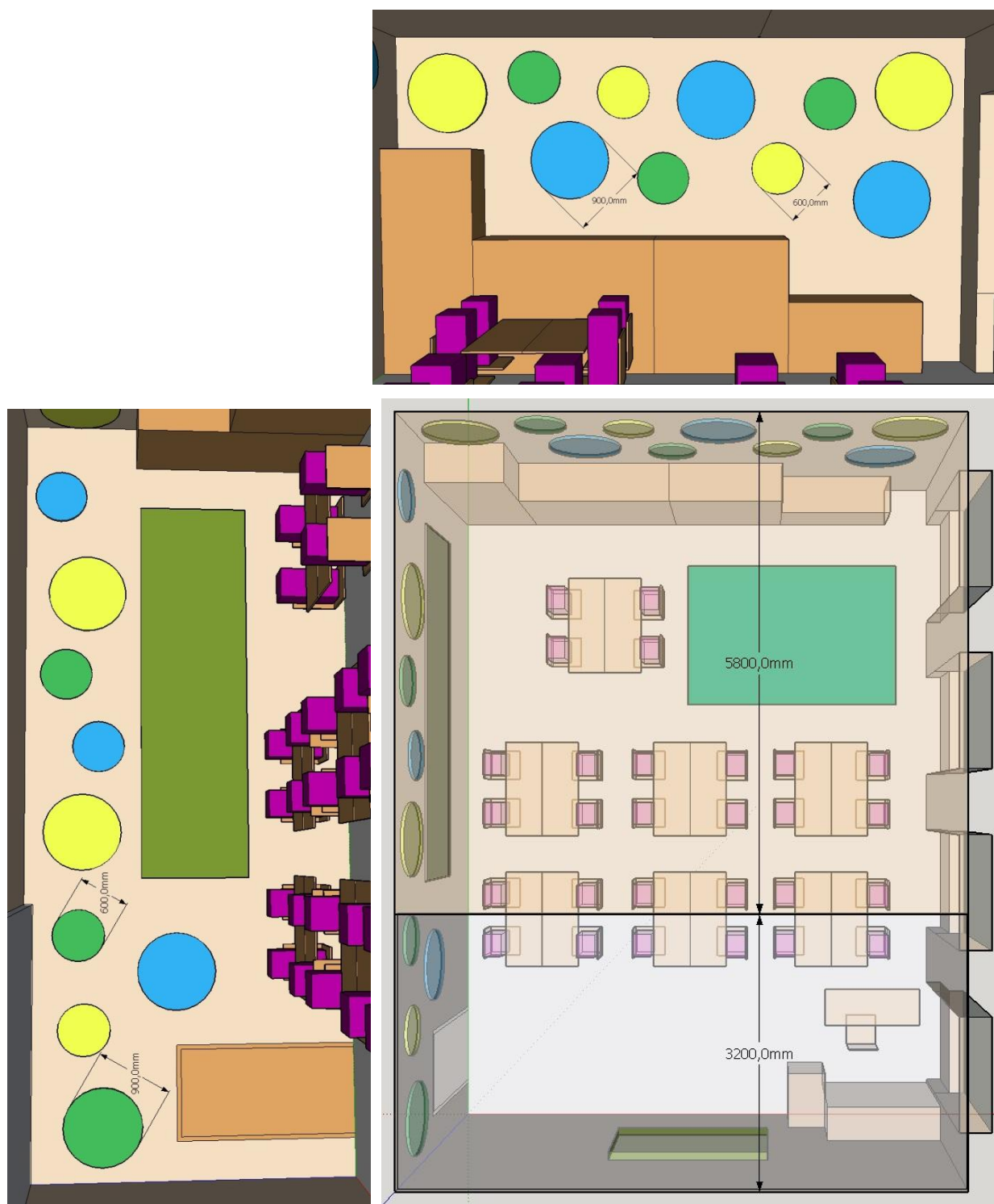
Na zadní a boční stěně učebny jsou umístěny kruhové panely Ecophon Wall Texona. Tyto prvky jsou přímo pomocí speciálních kotev zavěšovány na stěny [14]. Průměr prvků je 600 mm a 900 mm. Celková plocha prvků je 10,2 m<sup>2</sup>.

Tabulka 11: Činitel zvukové pohltivosti [14]

	125	250	500	1000	2000	4000
Ecophon Wall C Texona 50 mm	0,25	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00

Rozložení stěnových panelů je zobrazeno na obrázku 22.

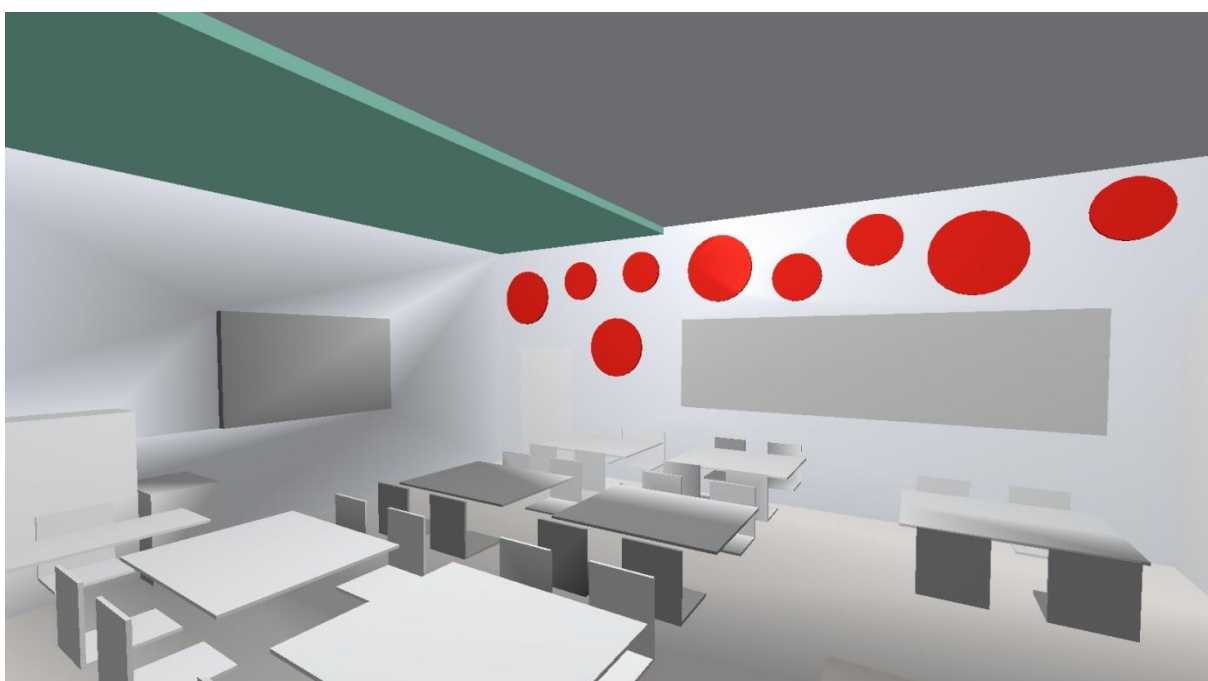
Model s těmito přidanými úpravami byl posouzen v programu ODEON.



Obrázek 22: Rozmístění akustických prvků, varianta 2



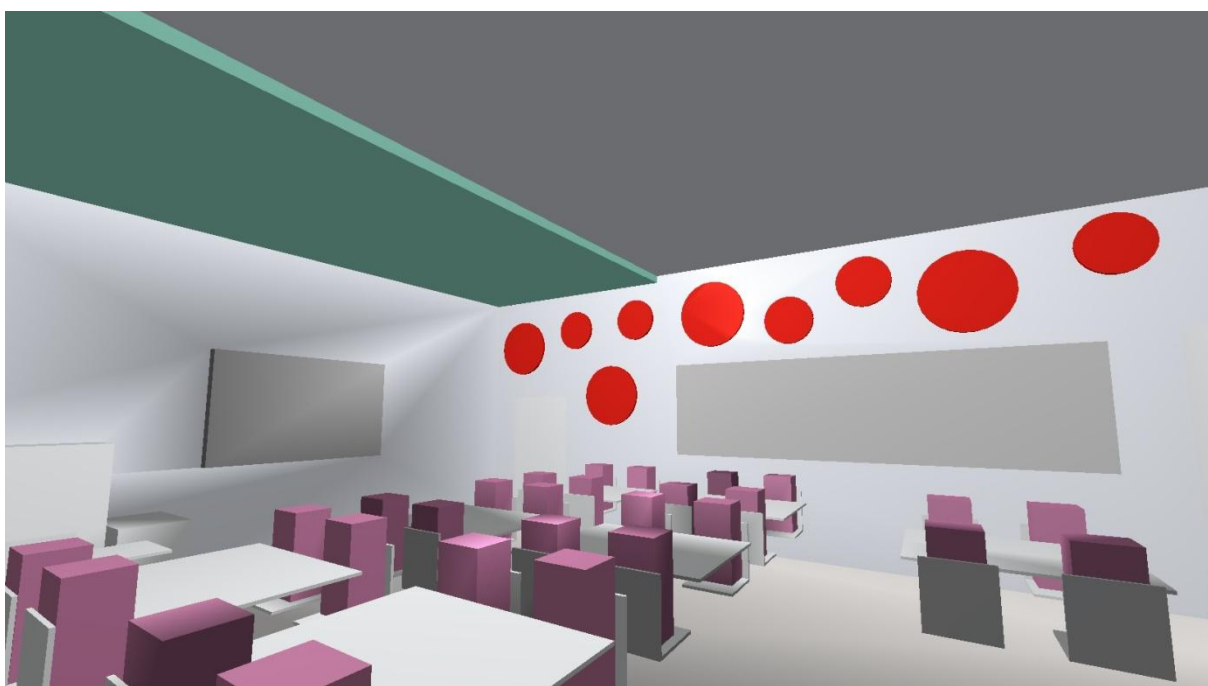
Obrázek 23: Model varianty 2 v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 24: Model varianty 2 v programu ODEON, neobsazený stav



Obrázek 25: Model varianty 2 v programu SketchUp, obsazený stav



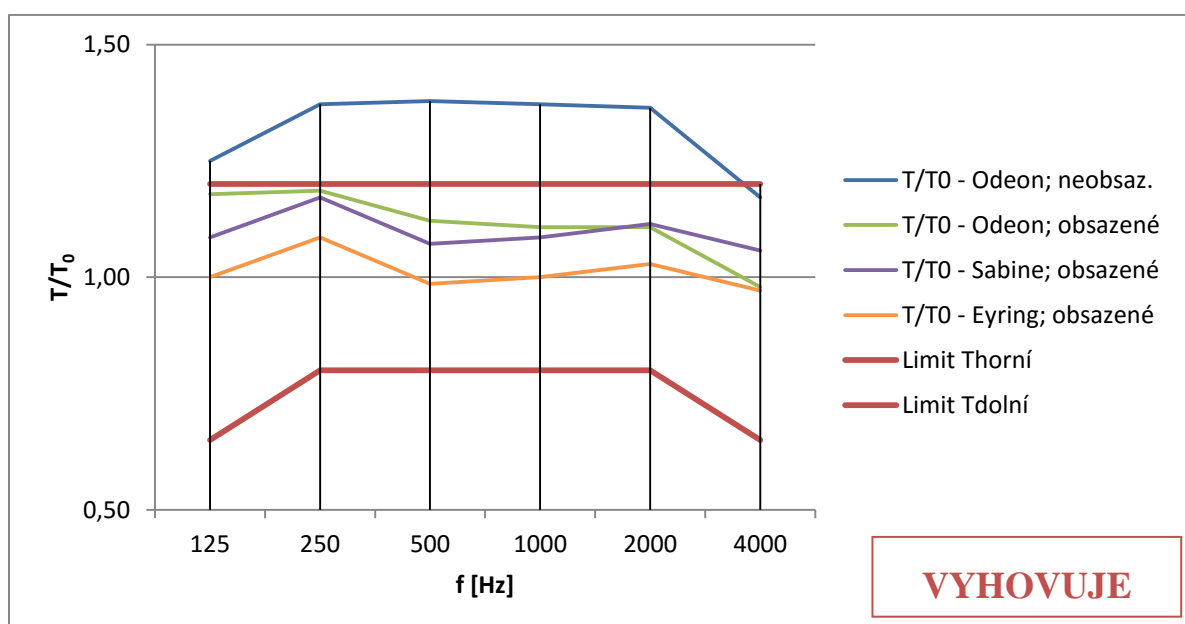
Obrázek 26: Model varianty 2 v programu ODEON, obsazený stav

## 8.4.2 Posouzení modelu, varianta 2

Tabulka 12: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 2

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,88	0,96	0,97	0,96	0,96	0,82
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,83	0,83	0,79	0,78	0,78	0,69
T [s] - Sabine *	0,76	0,82	0,75	0,76	0,78	0,74
T [s] - Eyring *	0,70	0,76	0,69	0,70	0,72	0,68
požadavek normy $T_0 =$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.	1,25	1,37	1,38	1,37	1,36	1,17
T/ $T_0$ - Odeon; obsazené	1,18	1,19	1,12	1,11	1,11	0,98
T/ $T_0$ - Sabine; obsazené	1,09	1,17	1,07	1,09	1,11	1,06
T/ $T_0$ - Eyring; obsazené	1,00	1,09	0,99	1,00	1,03	0,97
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze A





## 9. UČEBNA III.B

### 9.1 Popis prostoru

Učebna má obdélníkový tvar o rozměrech 7 x 9,5 metrů. Světlé výška prostoru je 3,6 metru. Na boční stěně se nacházejí 3 velká okna, která jsou od země do výšky 3,3 metrů. Na protější stěně se nachází sloup o rozměrech 260 x 300 mm, a průvlak 400 x 500 mm. Všechny stěny i strop jsou omítnuty a nášlapná vrstva podlahy je tvořena linoleem. V učebně se nachází celkem 14 stolů s místy pro 28 žáků.

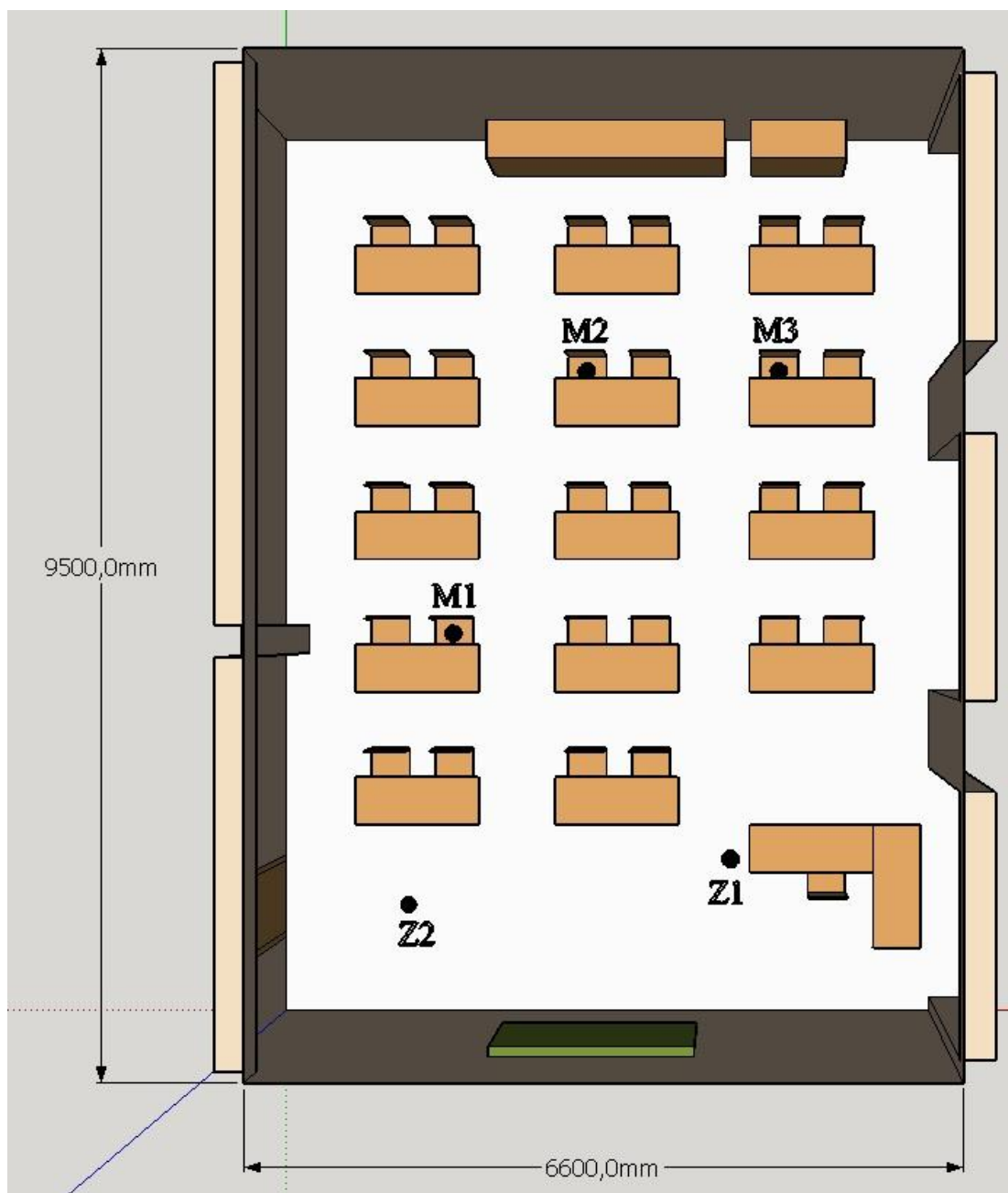


Obrázek 27: Učebna III. B

## 9.2 Stávající stav

V učebně nejsou použity žádné akustické prvky, nebo materiály.

V prostoru byla změřena doba dozvuku metodou přerušného šumu. Polohy zdrojů (Z1 a Z2) a mikrofonů (M1, M2 a M3) jsou zakresleny na obr. 28.



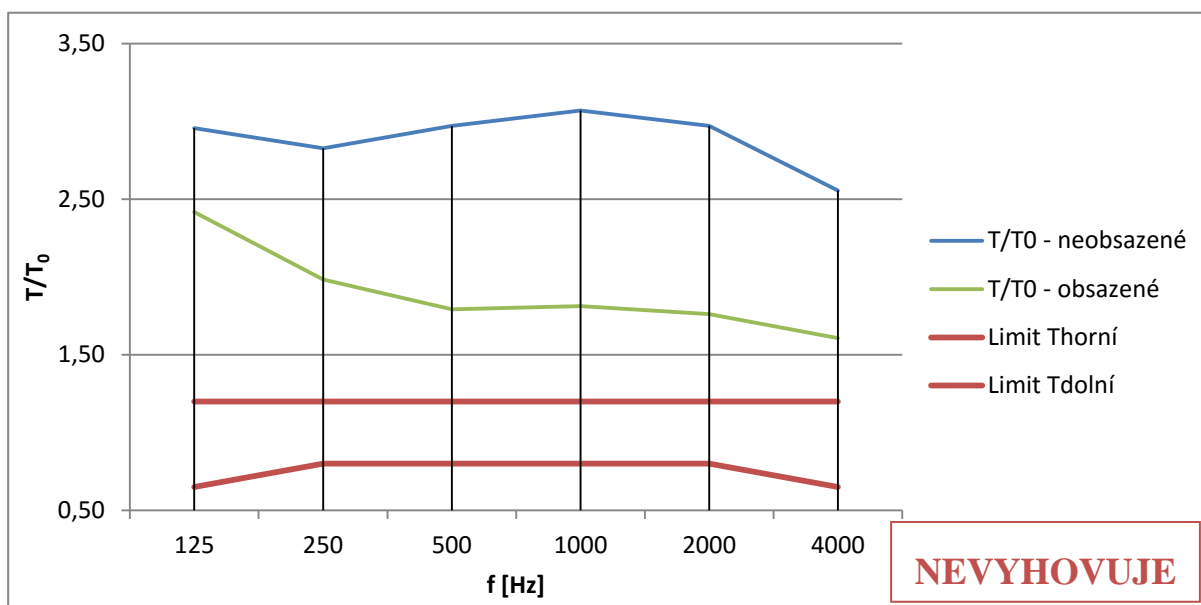
Obrázek 28: Umístění reproduktorů a mikrofonů, učebna III.B



## 9.2.1 Výsledky měření

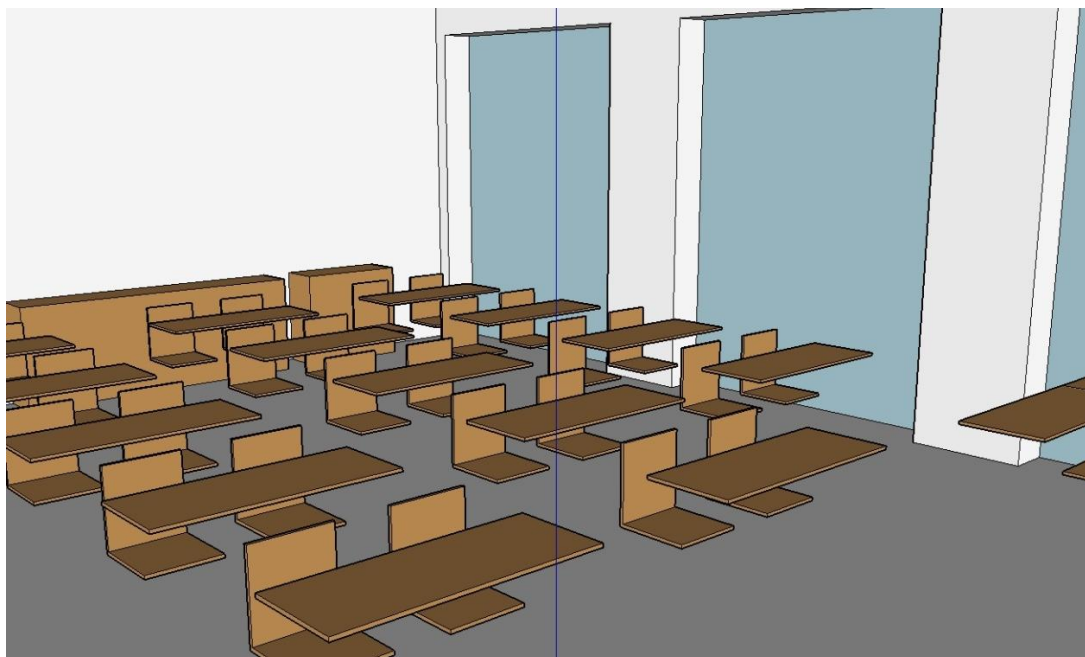
Tabulka 13: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot

	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{20}$ (průměr z naměřených hodnot)	2,07	1,98	2,08	2,15	2,08	1,79
Pohltivost prostoru bez žáků A =	18,85	19,71	18,76	18,15	18,76	21,80
Pohltivost 1 žáka	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
Pohltivost 28 žáků	4,20	8,40	12,32	12,60	12,88	12,88
Pohltivost prostoru se žáky A =	23,05	28,11	31,08	30,75	31,64	34,68
Doba dozvuku obsazeného prostoru T =	1,69	1,39	1,26	1,27	1,23	1,13
požadavek normy $T_0$ =	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
$T/T_0$ - neobsazené	2,96	2,83	2,97	3,07	2,97	2,56
$T/T_0$ - obsazené	2,42	1,98	1,79	1,81	1,76	1,61
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

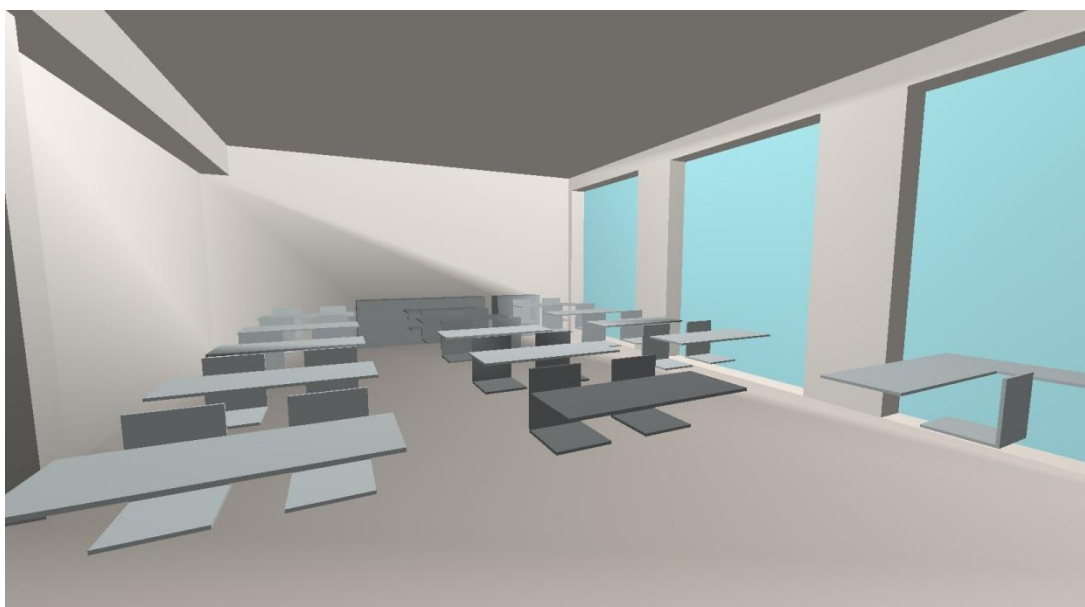


## 9.2.2 Model prostoru

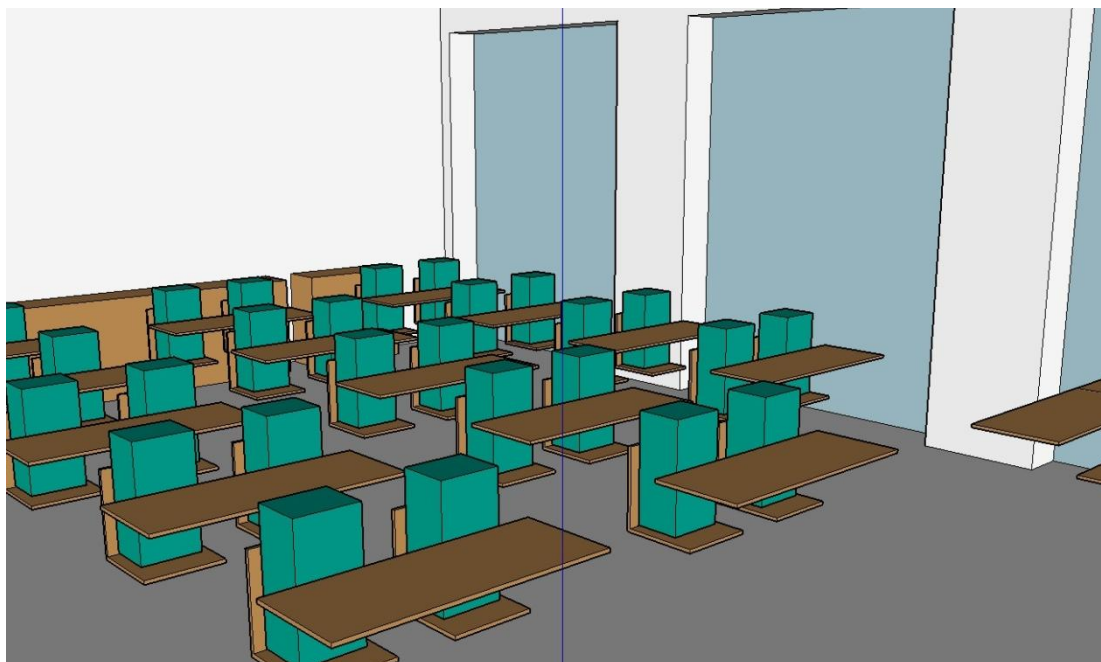
Aby bylo možné navrhnout pro prostor úpravy a ty poté posoudit v programu ODEON, byl první vytvořen model místnosti v programu SketchUp a ten byl převeden do programu ODEON.



Obrázek 29: Model učebny III.B v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 30: Model učebny III.B v programu ODEON, neobsazený stav



Obrázek 31: Model učebny III.B v programu SketchUp, obsazený stav



Obrázek 32: Model učebny III.B v programu ODEON, obsazený stav

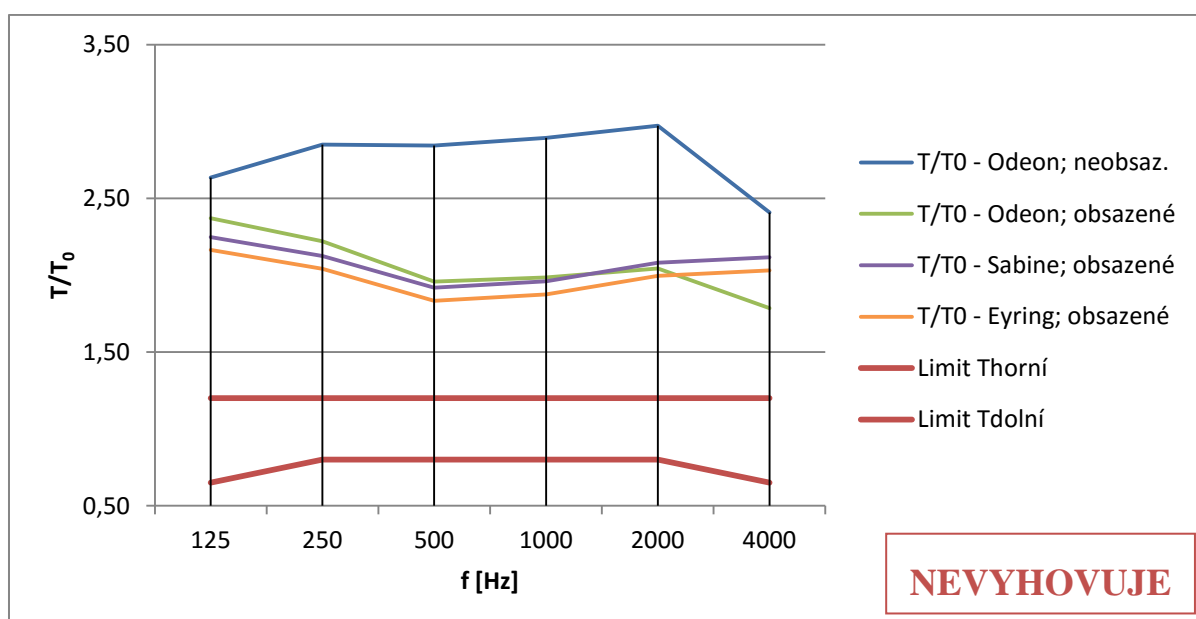
Do modelu byly zadány zdroje a mikrofony stejně jako u skutečného měření, z programu jsme získali dva průběhy doby dozvuku pro jednotlivá pásma, jeden pro zdroj 1 a jeden pro zdroj 2. Průměrem z těchto dvou hodnot dostaneme hledanou dobu dozvuku.

## 9.2.3 Posouzení modelu, původní stav

Tabulka 14: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	1,85	2,00	1,99	2,03	2,08	1,69
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	1,66	1,555	1,37	1,39	1,43	1,25
T [s] - Sabine *	1,57	1,49	1,34	1,37	1,46	1,48
T [s] - Eyring *	1,51	1,43	1,28	1,31	1,40	1,42
požadavek normy $T_0 =$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.	2,64	2,85	2,84	2,89	2,97	2,41
T/ $T_0$ - Odeon; obsazené	2,37	2,22	1,96	1,99	2,04	1,79
T/ $T_0$ - Sabine; obsazené	2,25	2,13	1,92	1,96	2,08	2,12
T/ $T_0$ - Eyring; obsazené	2,16	2,04	1,83	1,87	2,00	2,03
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze B



### 9.3 Návrh řešení – varianta 1

V první variantě řešení pro učebnu III.B je navržen podhled na celý strop, který je doplněn stěnovými panely na zadní stěně.

#### 9.3.1 Geometrie

Na celém stropě je umístěn akustický podhled Rockfon Sonar Bas. Svěšení podhledu je 200 mm od stropu. Jedná se o panely z minerální vlny. Desky jsou montovány do viditelného závěsného systému [15]. Plocha podhledu je 62,7 m<sup>2</sup>.

Tabulka 15: Činitel zvukové pohltivosti [15]

	125	250	500	1000	2000	4000
Rockfon Sonar Bas 200 mm	0,35	0,25	0,15	0,15	0,25	0,20

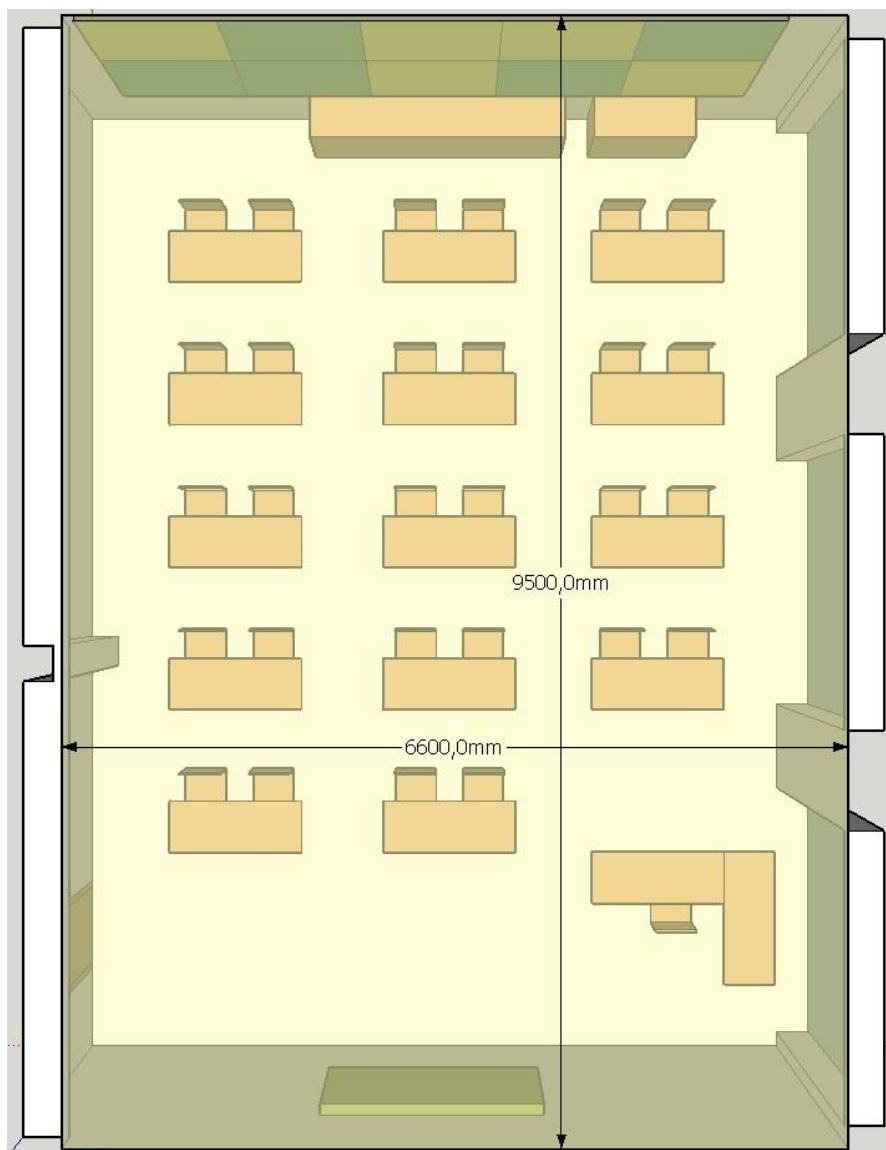
Na zadní stěně učebny jsou umístěny stěnové panely Rockfon VetiQ . Jedná se také o panely z minerální vlny [15]. Celková plocha prvků je 14,9 m<sup>2</sup>.

Tabulka 16: Činitel zvukové pohltivosti [15]

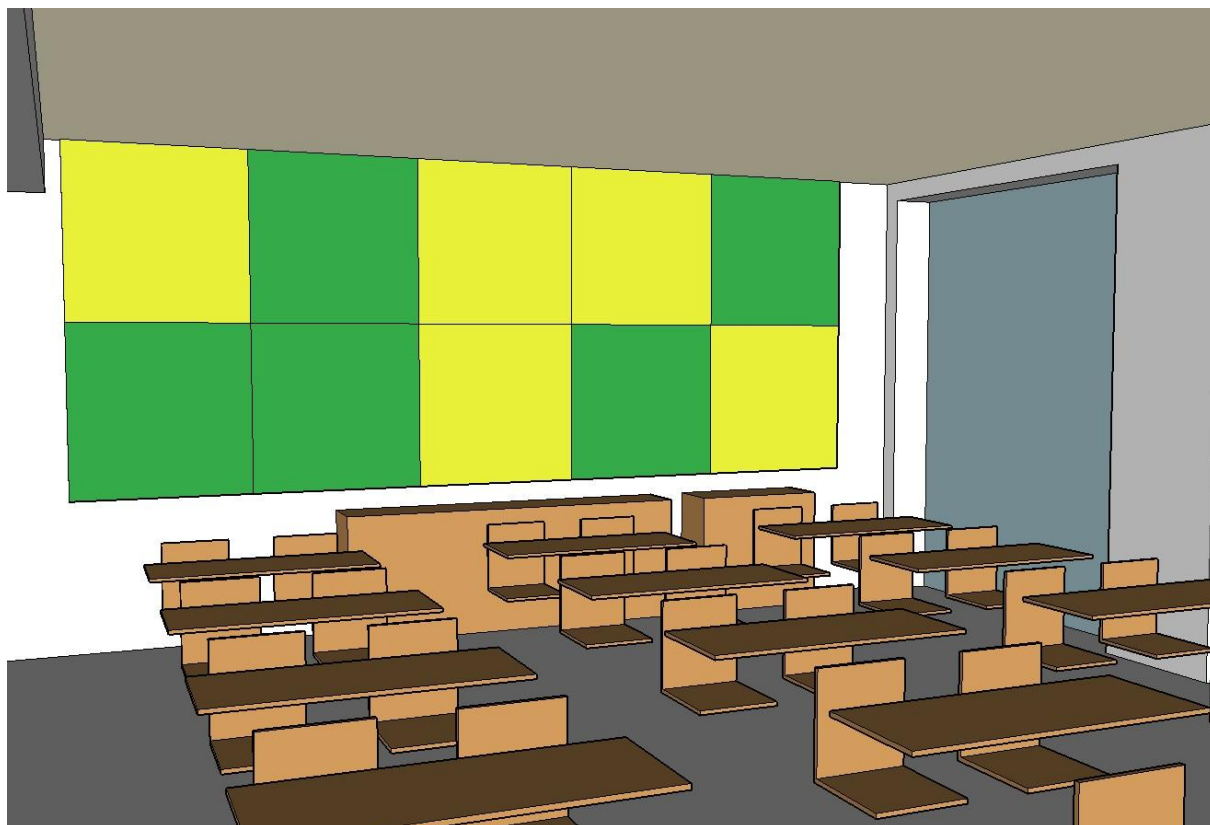
	125	250	500	1000	2000	4000
Rockfon VetiQ 40 mm	0,25	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00

Rozložení stěnových panelů je zobrazeno na obrázku 33.

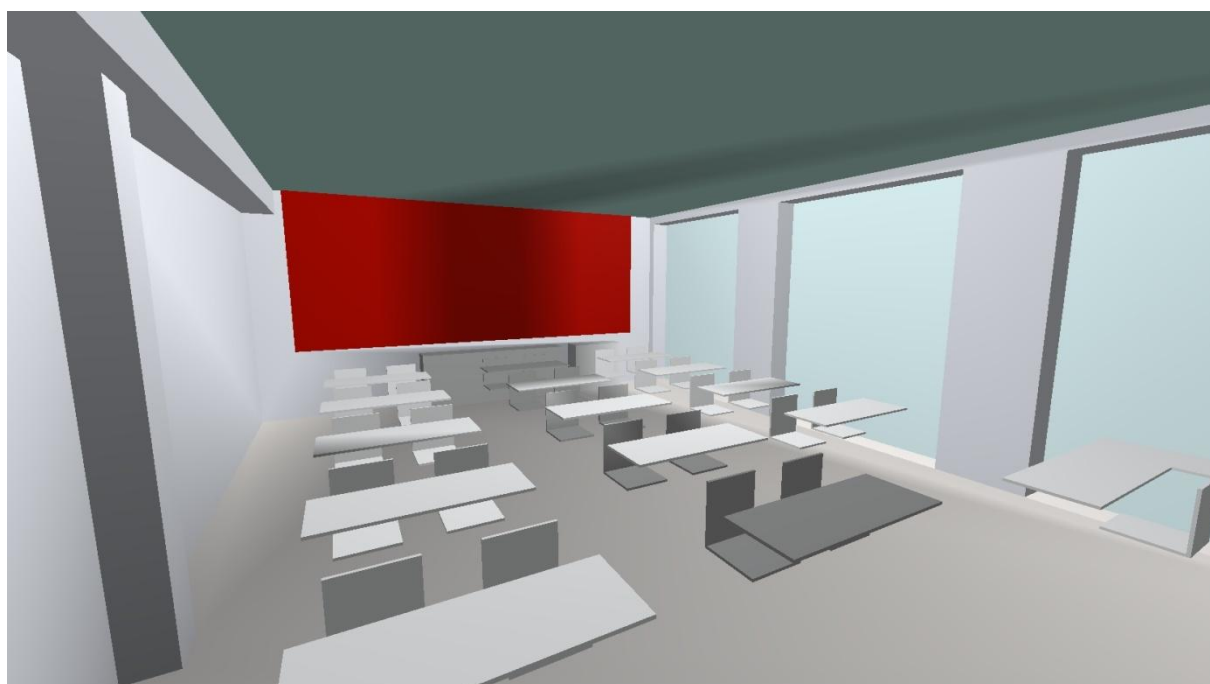
Model s těmito přidanými úpravami byl posouzen v programu ODEON.



Obrázek 33: Rozmístění akustických prvků, varianta 1



Obrázek 34: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav

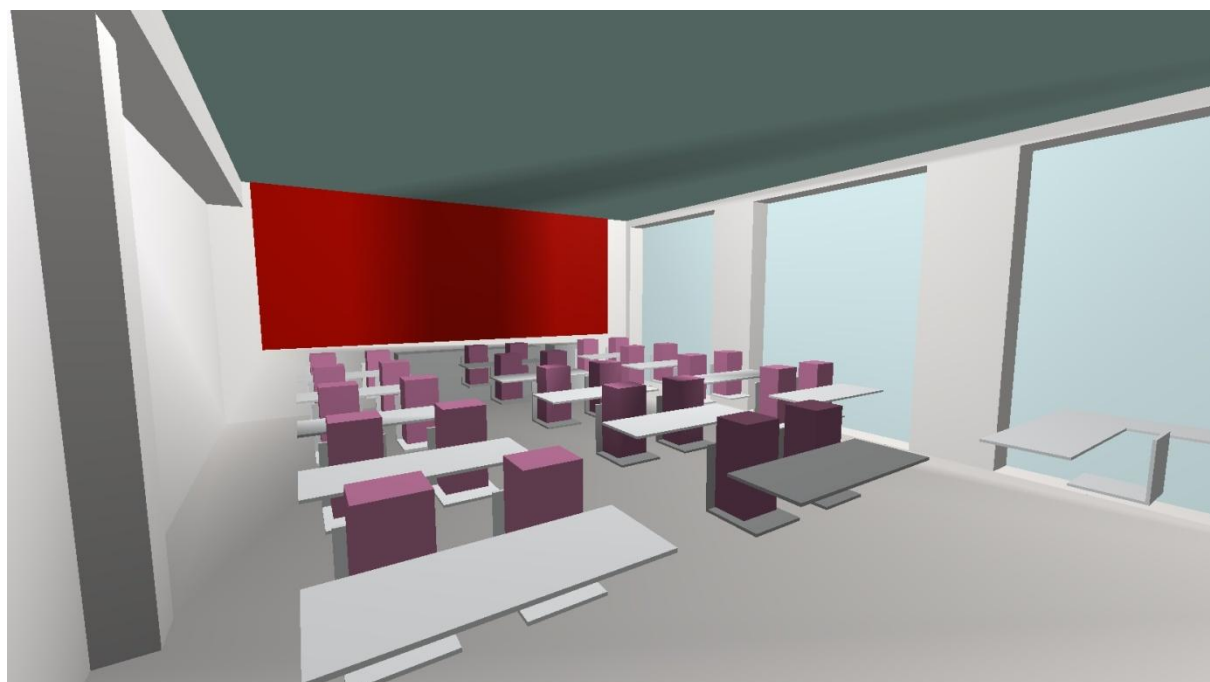


Obrázek 35: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav





Obrázek 36: Model varianty 1 v programu SketchUp, obsazený stav



Obrázek 37: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav

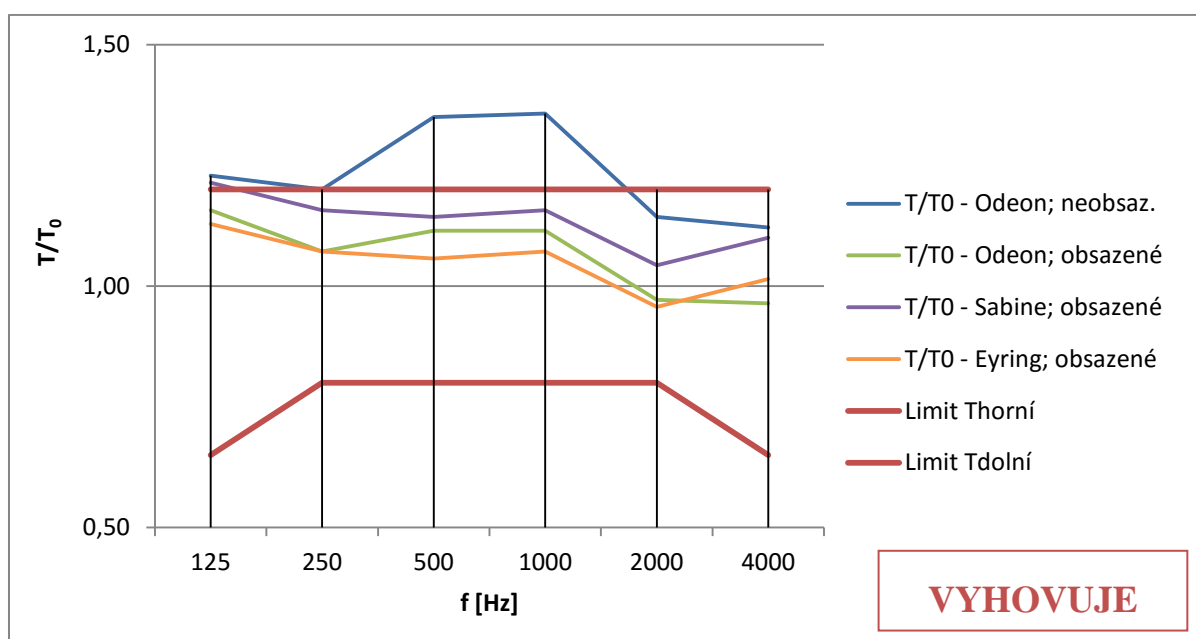


## 9.3.2 Posouzení modelu, varianta 1

Tabulka 17: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 1

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,86	0,84	0,95	0,95	0,80	0,79
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,81	0,75	0,78	0,78	0,68	0,68
T [s] - Sabine *	0,85	0,81	0,80	0,81	0,73	0,77
T [s] - Eyring *	0,79	0,75	0,74	0,75	0,67	0,71
požadavek normy $T_0 =$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/T <sub>0</sub> - Odeon; neobsaz.	1,23	1,20	1,35	1,36	1,14	1,12
T/T <sub>0</sub> - Odeon; obsazené	1,16	1,07	1,11	1,11	0,97	0,96
T/T <sub>0</sub> - Sabine; obsazené	1,21	1,16	1,14	1,16	1,04	1,10
T/T <sub>0</sub> - Eyring; obsazené	1,13	1,07	1,06	1,07	0,96	1,01
Limit T <sub>horní</sub>	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit T <sub>dolní</sub>	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze B



## 9.4 Návrh řešení – varianta 2

Ve druhé variantě byl navržen částečný podhled svěšený o 200 mm od stropu. Podhled je umístěn nad prostorem, kde sedí žáci. Na zadní stěně a části boční stěny je stěnový obklad.

### 9.4.1 Geometrie

Na části stropu nad žáky je umístěn akustický podhled Ecophon Focus. Svěšení podhledu je 200 mm od stropu. Panely mají vnitřní jádro vyrobené ze skelné vlny, viditelný povrch je opatřen vrstvou materiálu Akutex a zadní strana panelu je pokryta sklovláčenou tkaninou. Systém má skrytý rošt [14]. Plocha podhledu je 28,6 m<sup>2</sup>.

Tabulka 18: Činitel zvukové pohltivosti [14]

	125	250	500	1000	2000	4000
Ecophon Focus 200 mm	0,50	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00

Na zadní stěně učebny jsou umístěny stěnové panely Ecophon Wall C gamma. Systém má skrytý nosný rastr. Panely jsou vyrobeny ze skelného vlákna o vysoké hustotě [14]. Celková plocha prvků je 29,16 m<sup>2</sup>.

Tabulka 19: Činitel zvukové pohltivosti [14]

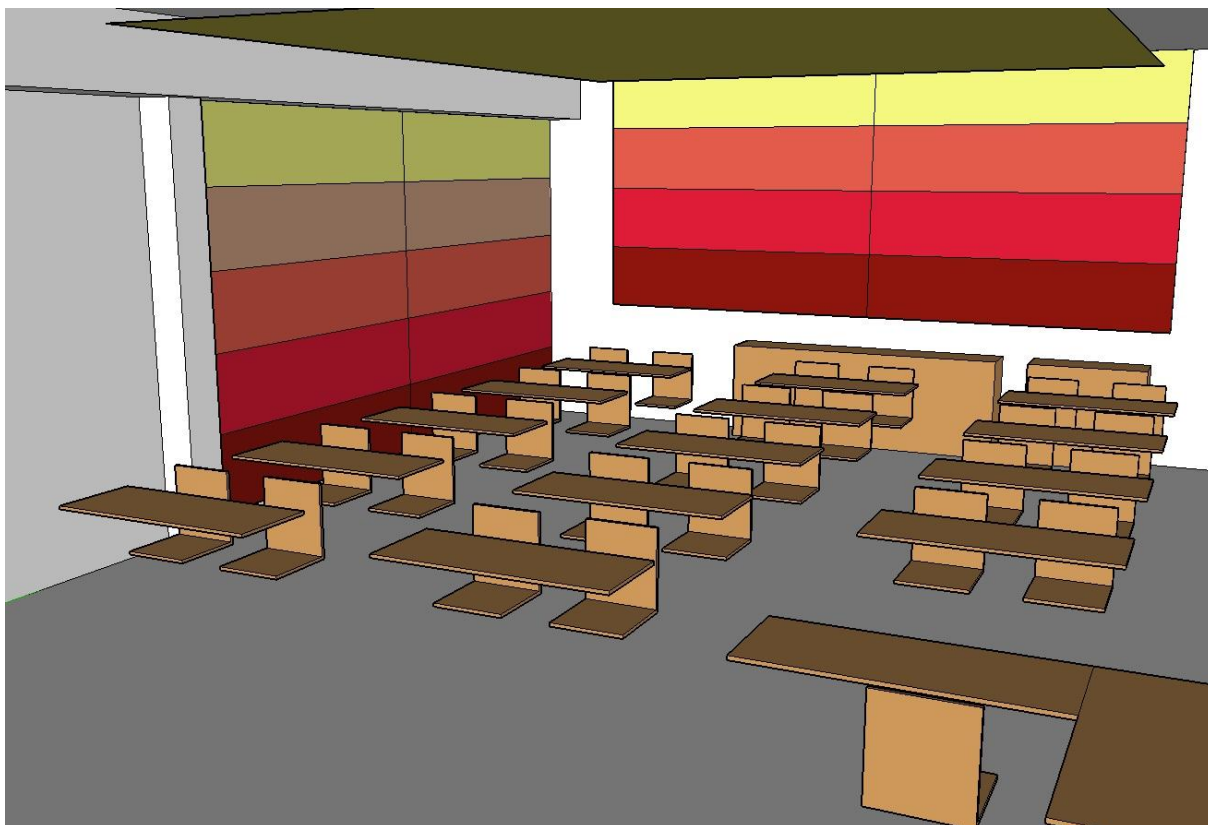
	125	250	500	1000	2000	4000
Ecophon Wall C gamma 40 mm	0,35	0,25	0,35	0,20	0,25	0,15

Rozložení stěnových panelů je zobrazeno na obrázku 38.

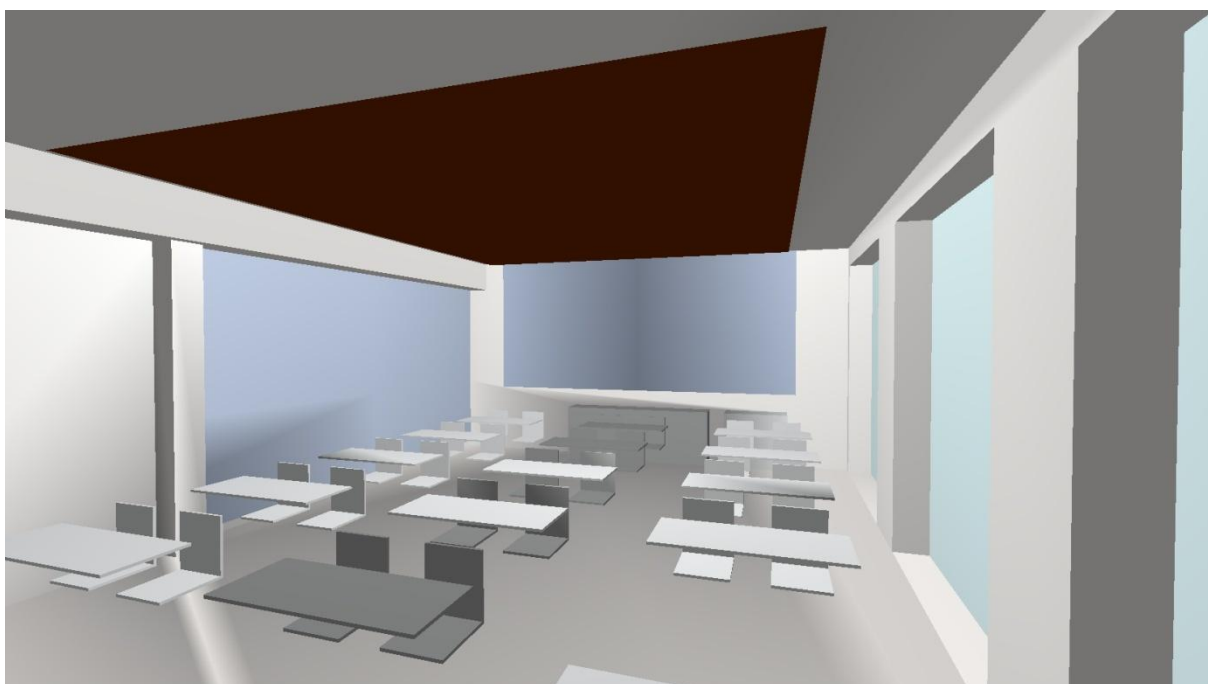
Model s těmito přidávanými úpravami byl posouzen v programu ODEON.



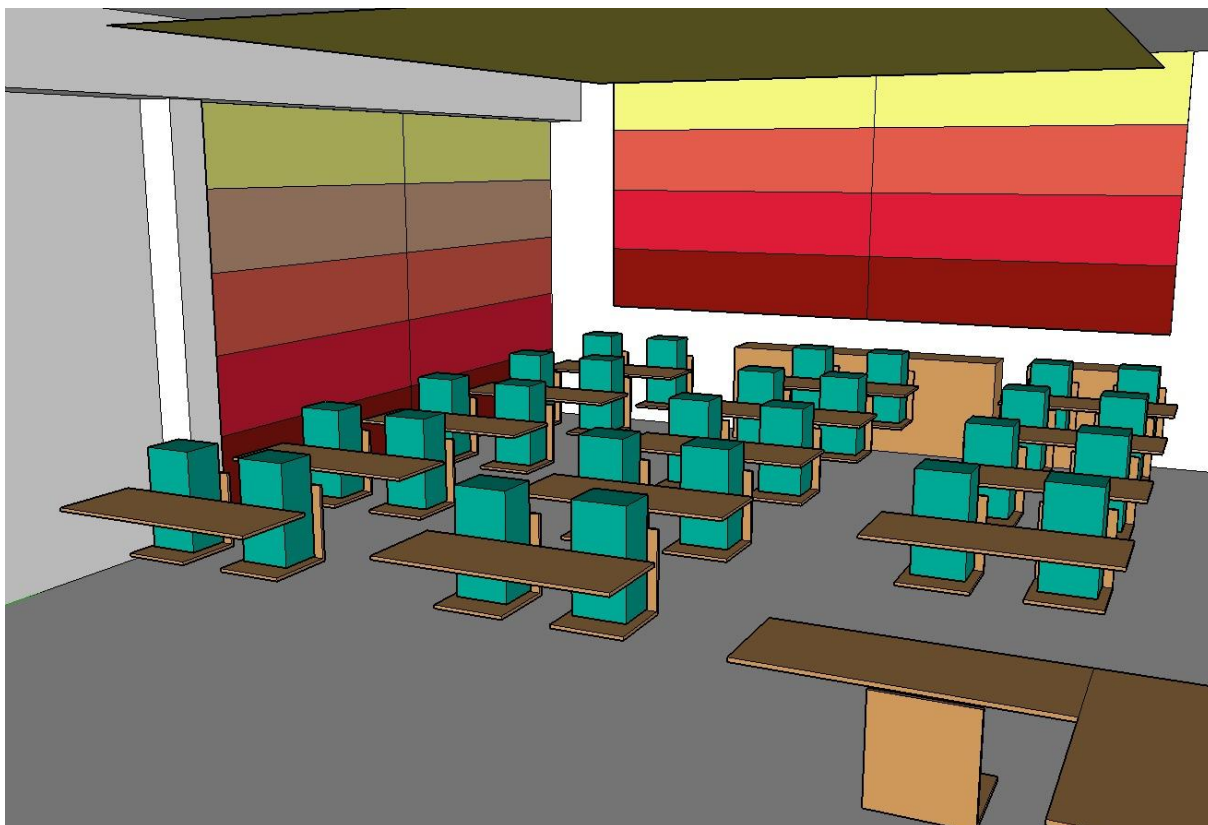
Obrázek 38: Rozmístění akustických prvků, varianta 2



Obrázek 39: Model varianty 2 v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 40: Model varianty 2 v programu ODEON, neobsazený stav



Obrázek 41: Model varianty 2 v programu SketchUp, obsazený stav



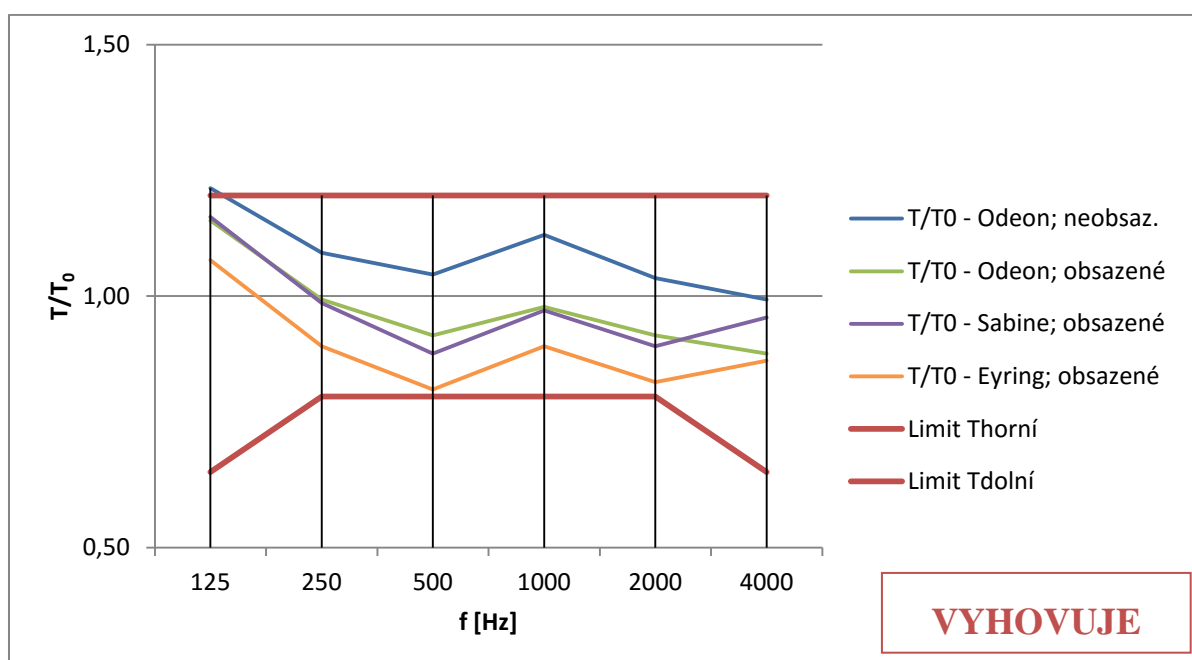
Obrázek 42: Model varianty 2 v programu ODEON, obsazený stav

## 9.4.2 Posouzení modelu, varianta 2

Tabulka 20: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 2

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,85	0,76	0,73	0,79	0,73	0,70
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,81	0,70	0,65	0,69	0,65	0,62
T [s] - Sabine *	0,81	0,69	0,62	0,68	0,63	0,67
T [s] - Eyring *	0,75	0,63	0,57	0,63	0,58	0,61
požadavek normy $T_0 =$	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
<b>Posouzení</b>						
T/T <sub>0</sub> - Odeon; neobsaz.	1,21	1,09	1,04	1,12	1,04	0,99
T/T <sub>0</sub> - Odeon; obsazené	1,15	0,99	0,92	0,98	0,92	0,89
T/T <sub>0</sub> - Sabine; obsazené	1,16	0,99	0,89	0,97	0,90	0,96
T/T <sub>0</sub> - Eyring; obsazené	1,07	0,90	0,81	0,90	0,83	0,87
Limit T <sub>horní</sub>	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit T <sub>dolní</sub>	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze B





## 10. JÍDELNA

### 10.1 Popis prostoru

Jídelna má půdorysný tvar písmene L, její větší rozměry jsou 13 x 11,6 metrů. Světlá výška je 3,3 metru. Na jedné kratší stěně se nachází dvě velká okna od podlahy do výšky 2,5 metru. Na další stěně se nachází dva otvory na výdej jídla a vracení nádobí. V jídelně se nachází celkem 19 stolů, u každého jsou 4 místa. To činí celkem 76 míst. Stěny včetně stropu jsou omítnuté. Nášlapnou vrstvu podlahy tvoří dlažba.

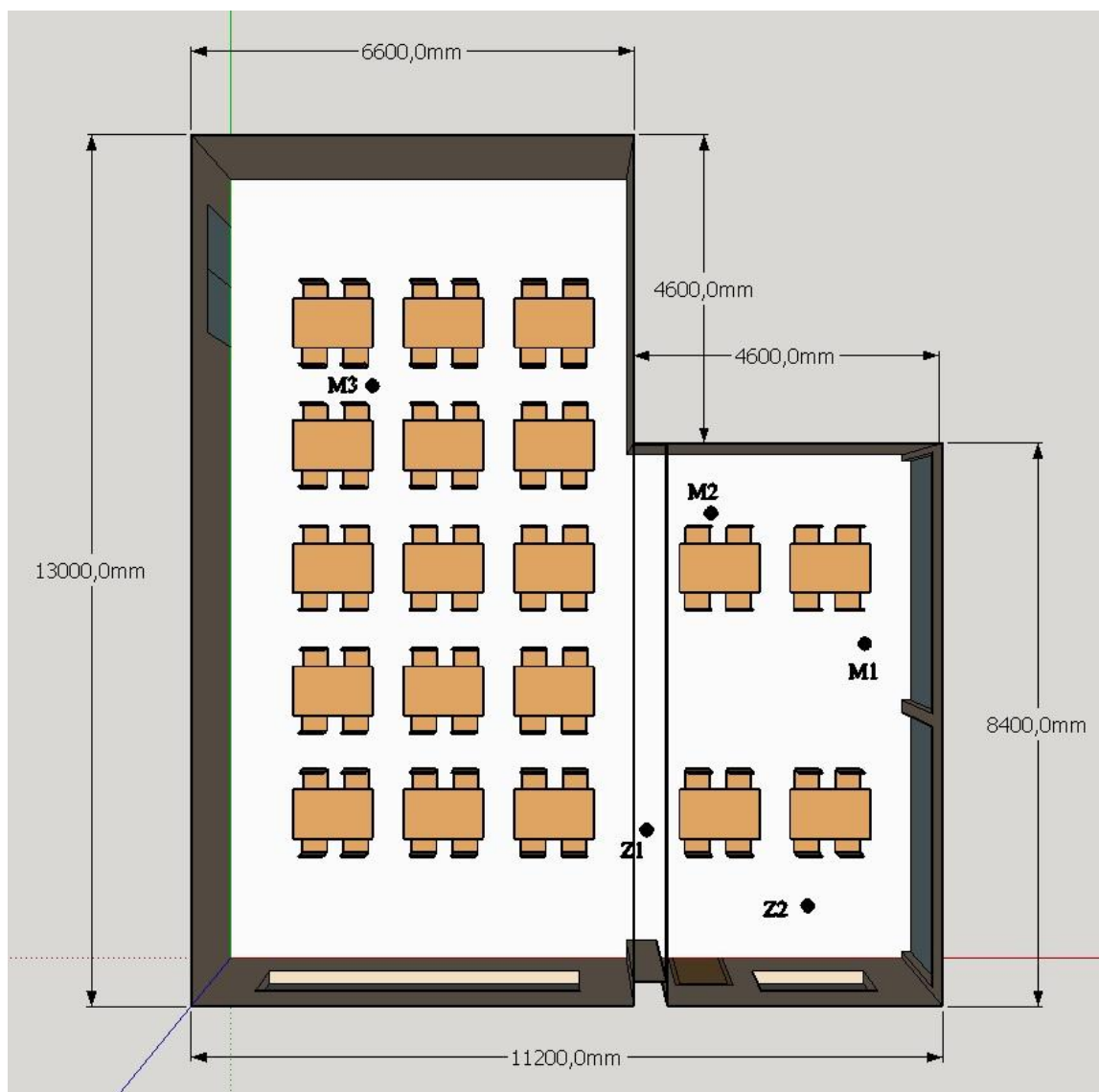


Obrázek 43: Jídelna

## 10.2 Stávající stav

V učebně nejsou použity žádné akustické prvky, nebo materiály.

V prostoru byla změřena doba dozvuku metodou přerušného šumu. Polohy zdrojů (Z1 a Z2) a mikrofonů (M1, M2 a M3) jsou zakresleny na obr. 44.



Obrázek 44: Umístění reproduktoru a mikrofonů, jídelna

Posouzení stávajícího stavu podle výsledků měření má stejný postup jako u předchozích místností.

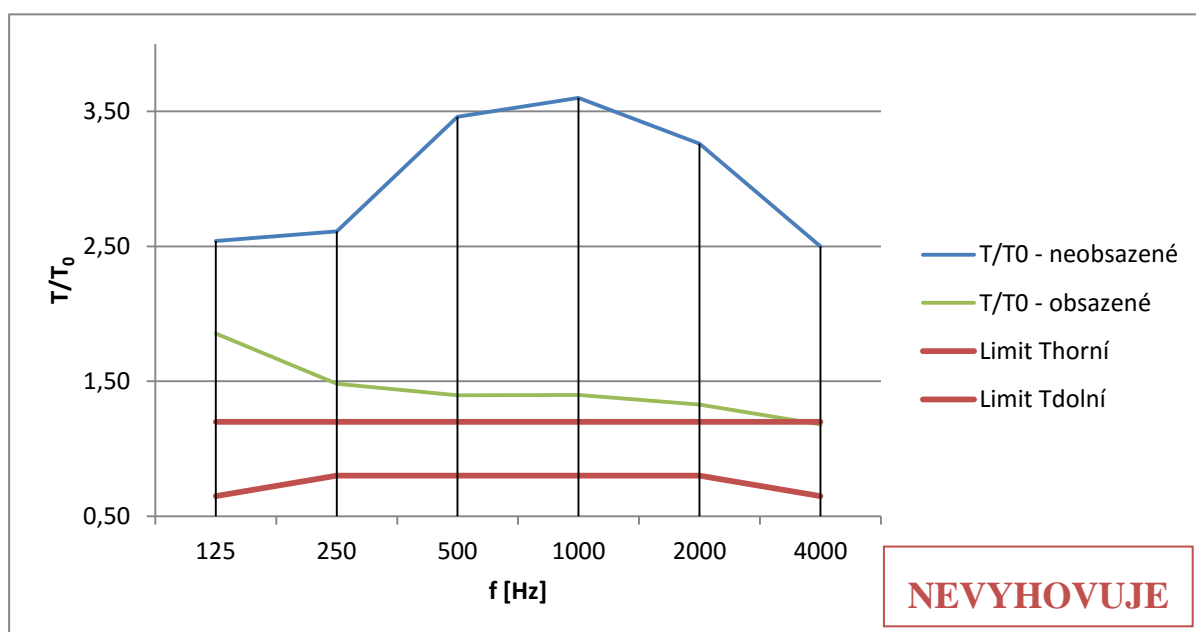
Pro jídelnu není v normě daná doba dozvuku. Pro toto posouzení je zvolena doba dozvuku  $T = 1$  s a rozmezí podílu  $T/T_0$  stejně jako u tříd.



## 10.2.1 Výsledky měření

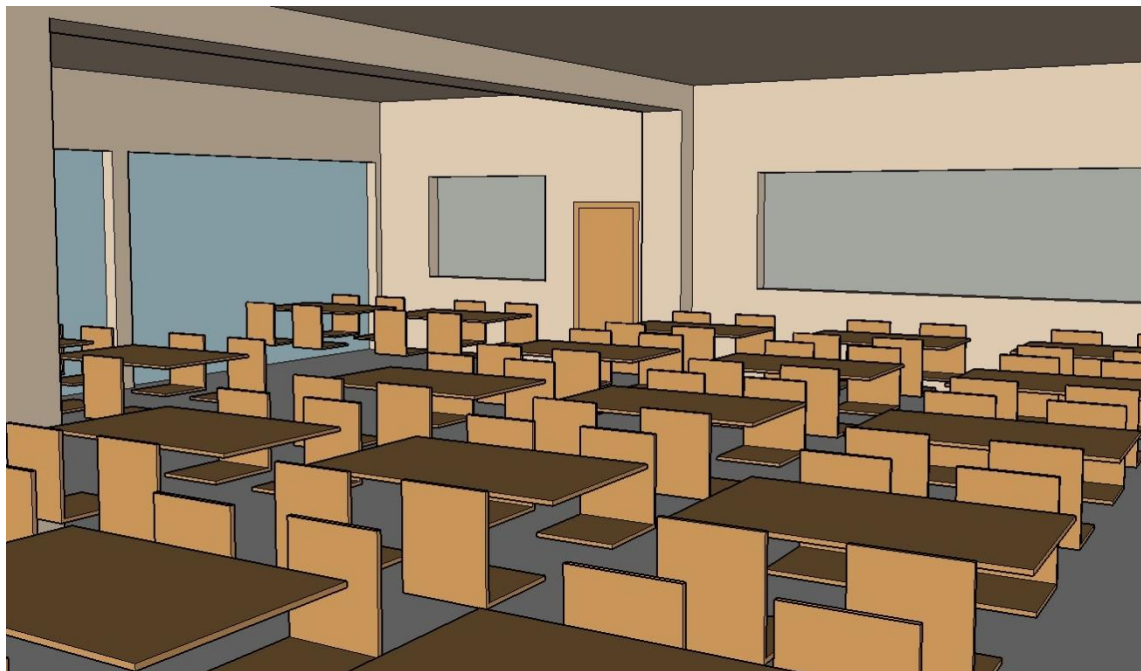
Tabulka 21: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot

	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{20}$ (průměr z naměřených hodnot)	2,54	2,61	3,46	3,60	3,26	2,50
Pohltivost prostoru bez žáků A =	26,35	25,65	19,35	18,59	20,53	26,77
Pohltivost 1 žáka	0,15	0,30	0,44	0,45	0,46	0,46
Pohltivost 65 žáků	9,75	19,50	28,60	29,25	29,90	29,90
Pohltivost prostoru se žáky A =	36,10	45,15	47,95	47,84	50,43	56,67
Doba dozvuku obsazeného prostoru T =	1,85	1,48	1,40	1,40	1,33	1,18
požadavek $T_0$ =	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
$T/T_0$ - neobsazené	2,54	2,61	3,46	3,60	3,26	2,50
$T/T_0$ - obsazené	1,85	1,48	1,40	1,40	1,33	1,18
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65



## 10.2.2 Model prostoru

Aby bylo možné navrhnout pro prostor úpravy a ty poté posoudit v programu ODEON, byl první vytvořen model místnosti v programu SketchUp a ten byl převeden do programu ODEON.



Obrázek 45: Model jídelny v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 46: Model jídelny v programu ODEON, neobsazený stav



Obrázek 47: Model jídelny v programu SketchUp, obsazený stav



Obrázek 48: Model jídelny v programu ODEON, obsazený stav

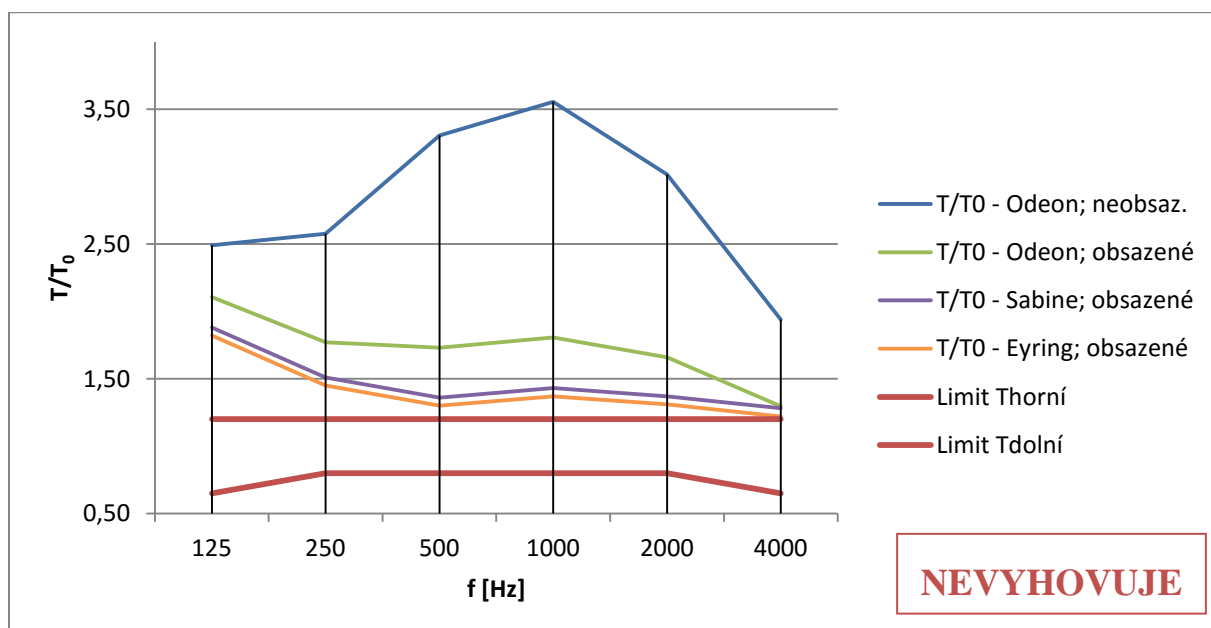
Do modelu byly zadány zdroje a mikrofony stejně jako u skutečného měření, z programu jsme získali dva průběhy doby dozvuku pro jednotlivá pásma, jeden pro zdroj 1 a jeden pro zdroj 2. Průměrem z těchto dvou hodnot dostaneme hledanou dobu dozvuku.

## 10.2.3 Posouzení modelu, původní stav

Tabulka 22: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	2,49	2,58	3,31	3,56	3,02	1,94
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	2,11	1,77	1,73	1,81	1,66	1,30
T [s] - Sabine *	1,88	1,51	1,36	1,43	1,37	1,28
T [s] - Eyring *	1,82	1,45	1,30	1,37	1,31	1,22
požadavek normy $T_0 =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Posouzení</b>						
T/T <sub>0</sub> - Odeon; neobsaz.	2,49	2,58	3,31	3,56	3,02	1,94
T/T <sub>0</sub> - Odeon; obsazené	2,11	1,77	1,73	1,81	1,66	1,30
T/T <sub>0</sub> - Sabine; obsazené	1,88	1,51	1,36	1,43	1,37	1,28
T/T <sub>0</sub> - Eyring; obsazené	1,82	1,45	1,30	1,37	1,31	1,22
Limit T <sub>horní</sub>	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit T <sub>dolní</sub>	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze C



### 10.3 Návrh řešení – varianta 1

V prvním návrh řešení jsou navrženy dva pruhy akustického podhledu každý nad středem jedné části jídelny. K tomu jsou umístěny stěnové panely na stěnu naproti oken.

#### 10.3.1 Geometrie

Na stropě jsou navrženy pásy podhledu Ecophon Focus. Svěšení podhledu je 200 mm od stropu. Panely mají vnitřní jádro vyrobené ze skelné vlny, viditelný povrch je opatřen vrstvou materiálu Akutex a zadní strana panelu je pokryta sklovlákenou tkaninou [14]. Systém má skrytý rošt. Plocha podhledu je 29,2 m<sup>2</sup>.

Tabulka 23: Činitel zvukové pohltivosti [14]

	125	250	500	1000	2000	4000
Ecophon Focus 200 mm	0,50	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00

Na stěně naproti oken jsou umístěny stěnové panely Obersound Life Line 40 mm. Jedná se o dřevěné panely s perforací [16]. Celková plocha prvků je 15,6 m<sup>2</sup>.



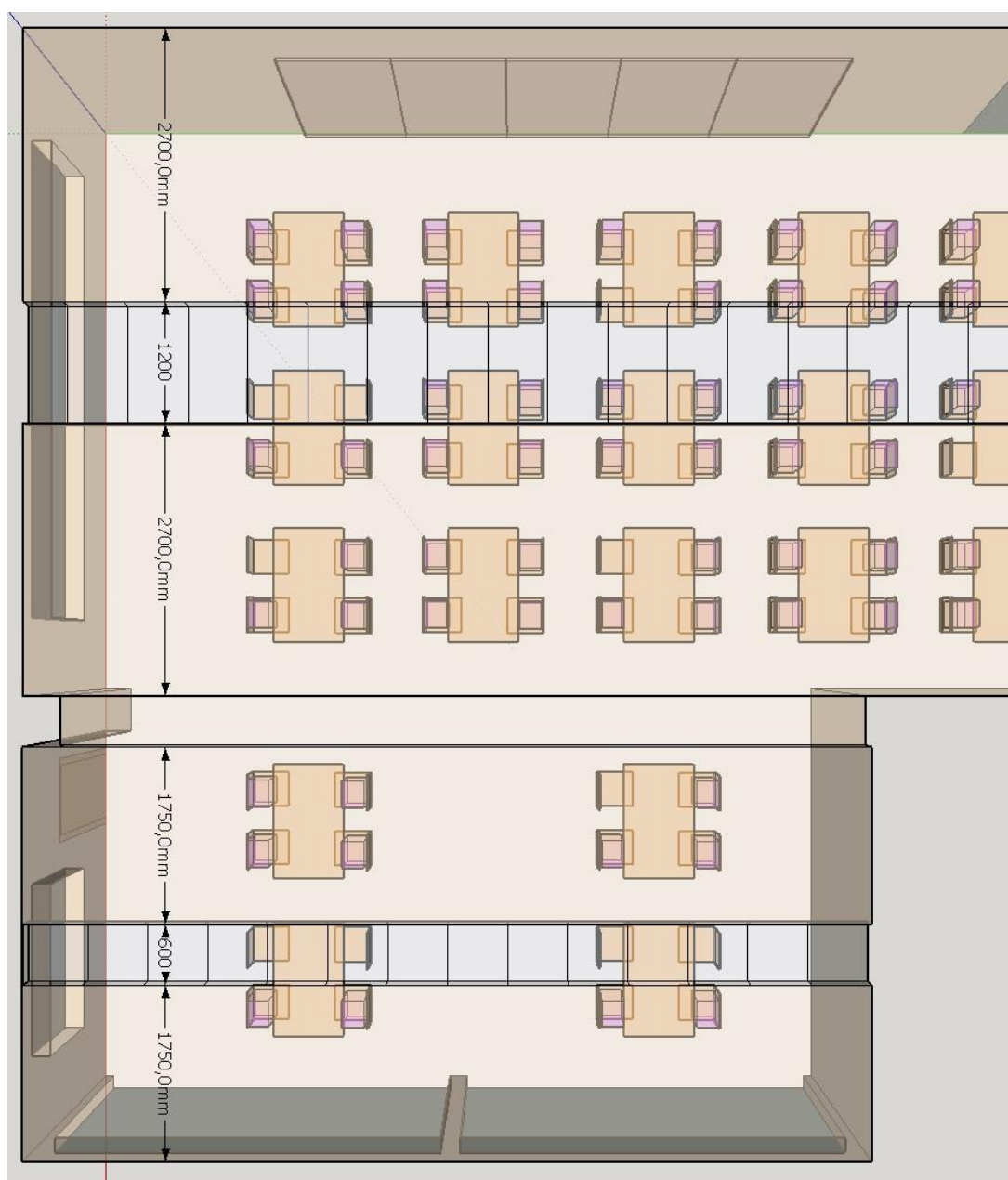
Obr. 1: detail perforace [16]

Tabulka 24: Činitel zvukové pohltivosti [16]

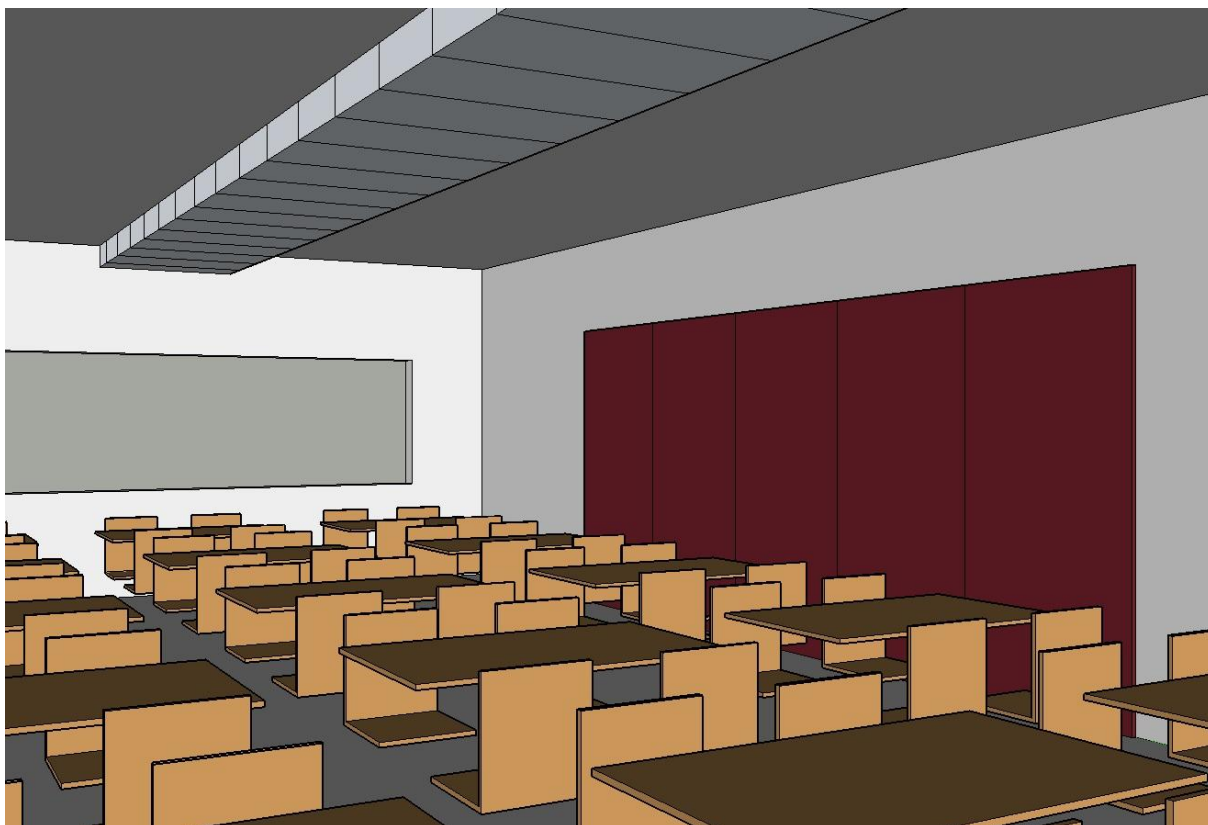
	125	250	500	1000	2000	4000
Obersound Life Line 40 mm	0,55	0,80	0,85	0,75	0,55	0,40

Rozložení stěnových panelů je zobrazeno na obrázku 49.

Model s těmito přidanými úpravami byl posouzen v programu ODEON.



Obrázek 49: Rozmístění akustických prvků, varianta 1



Obrázek 50: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 51: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav





Obrázek 52: Model varianty 1 v programu SketchUp, obsazený stav



Obrázek 53: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav

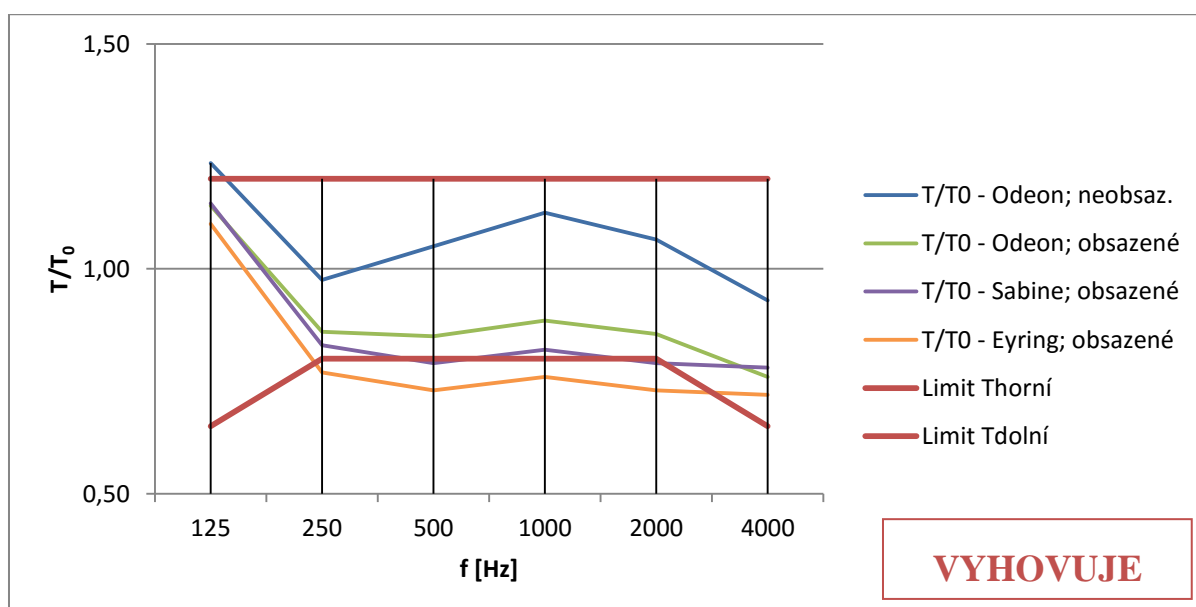


## 10.3.2 Posouzení modelu, varianta 1

Tabulka 25: Posouzení doby dozvuku jídelny v programu ODEON

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	1,24	0,98	1,05	1,13	1,07	0,93
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	1,14	0,86	0,85	0,89	0,86	0,76
T [s] - Sabine *	1,15	0,83	0,79	0,82	0,79	0,78
T [s] - Eyring *	1,10	0,77	0,73	0,76	0,73	0,72
požadavek normy $T_0 =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Posouzení</b>						
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.	1,24	0,98	1,05	1,13	1,07	0,93
T/ $T_0$ - Odeon; obsazené	1,14	0,86	0,85	0,89	0,86	0,76
T/ $T_0$ - Sabine; obsazené	1,15	0,83	0,79	0,82	0,79	0,78
T/ $T_0$ - Eyring; obsazené	1,10	0,77	0,73	0,76	0,73	0,72
Limit $T_{horní}$	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit $T_{dolní}$	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze C



## 10.4 Návrh řešení – varianta 2

Ve druhé variantě byl v jídelně navržen celý pohled, který je doplněnými třemi čtverci stěnových akustických panelů na zadních stěnách.

### 10.4.1 Geometrie

Na stropě je navržen podhled Rockfon Sonar Bas. Svěšení podhledu je 200 mm od stropu. Jedná se o panely z minerální vlny. Desky jsou montovány do viditelného závěsného systému [15]. Plocha podhledu je 120,24 m<sup>2</sup>.

Tabulka 26: Činitel zvukové pohltivosti [15]

	125	250	500	1000	2000	4000
Rockfon Sonar Bas 200 mm	0,35	0,25	0,15	0,15	0,25	0,20

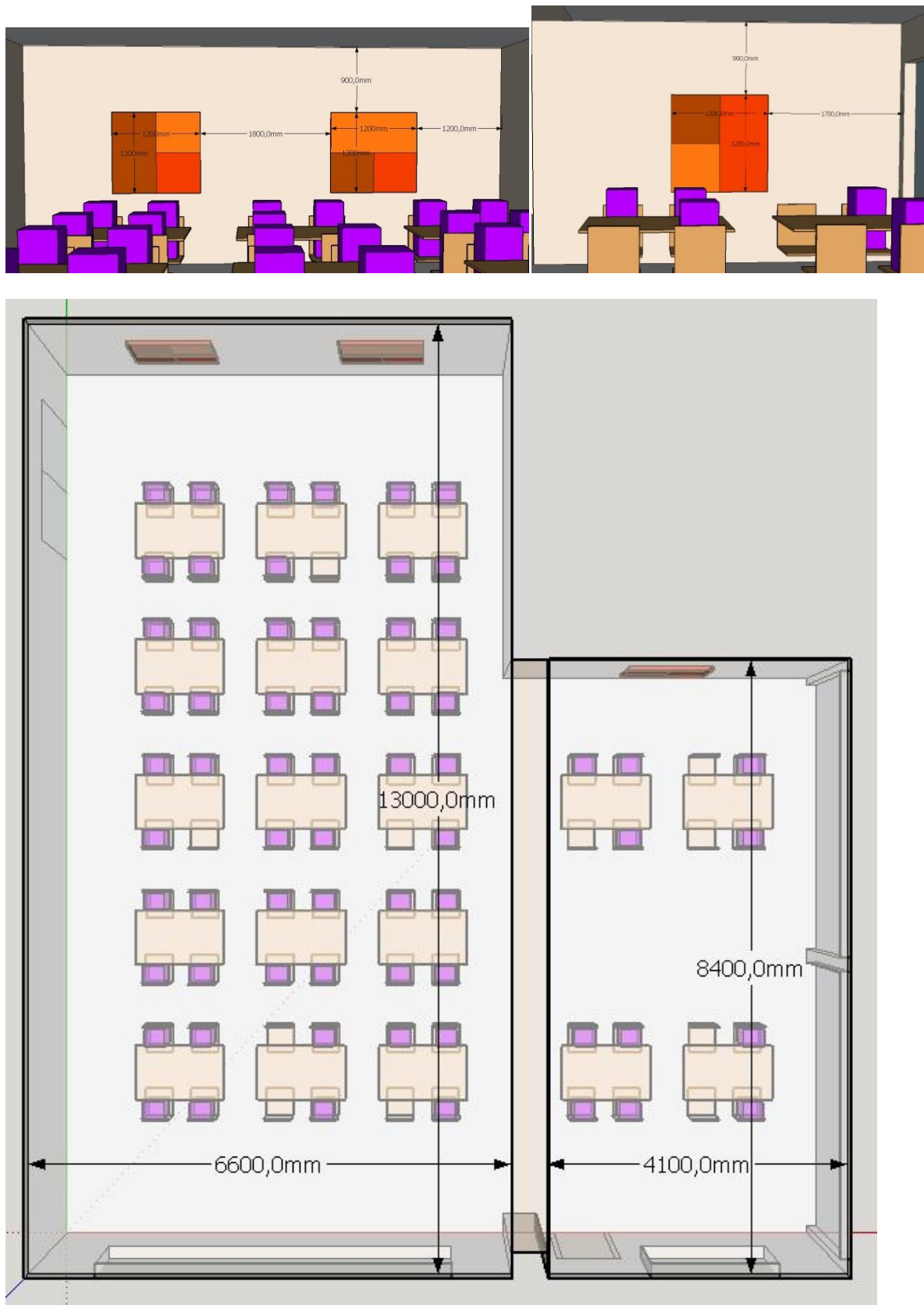
Na obou zadních stěnách jsou umístěny čtverce složené z panelů Sonit PP20 60 mm. Panely jsou z akustického materiálu na bázi tvrdých porézních hmot [13]. Celková plocha prvků je 4,32 m<sup>2</sup>.

Tabulka 27: Činitel zvukové pohltivosti [13]

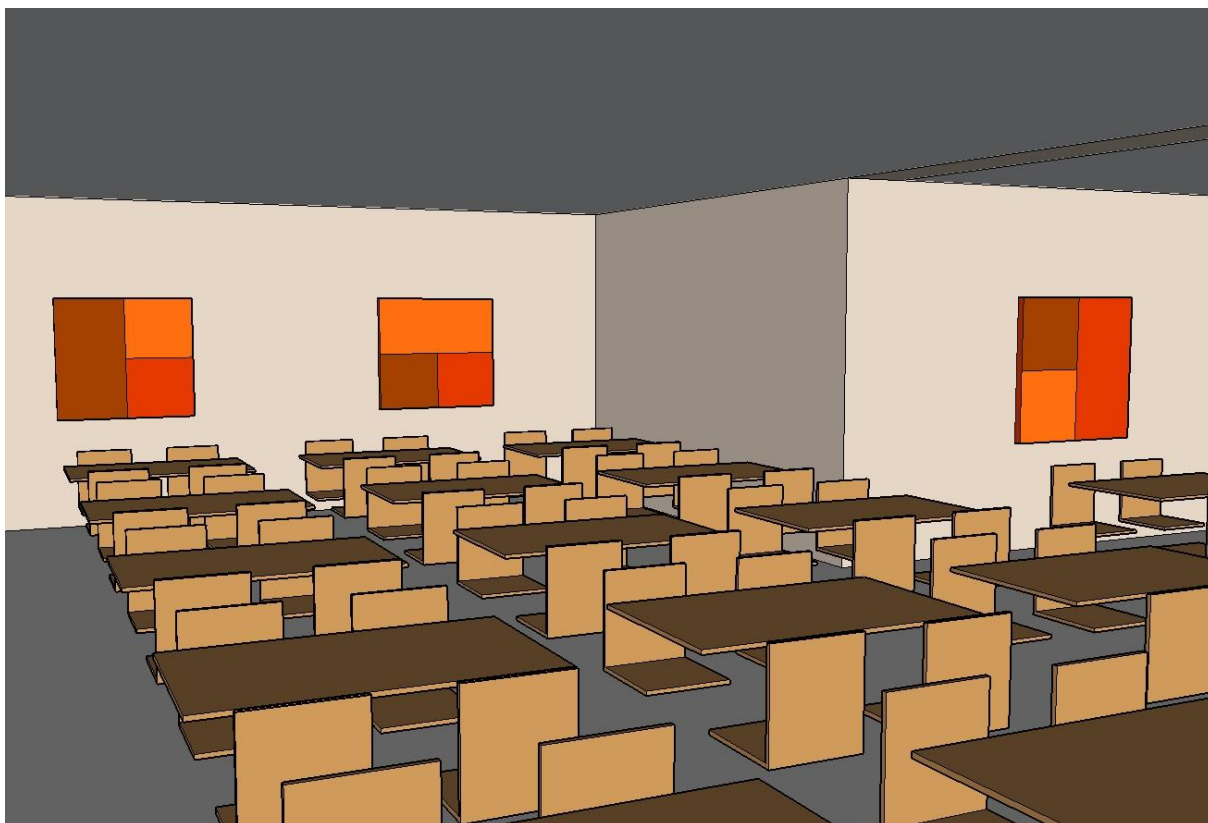
	125	250	500	1000	2000	4000
Sonit PP20 60 mm	0,20	0,38	0,77	0,80	0,58	0,71

Rozložení stěnových panelů je zobrazeno na obrázku 54.

Model s těmito přidanými úpravami byl posouzen v programu ODEON.



Obrázek 54: Rozmístění akustických prvků, varianta 2



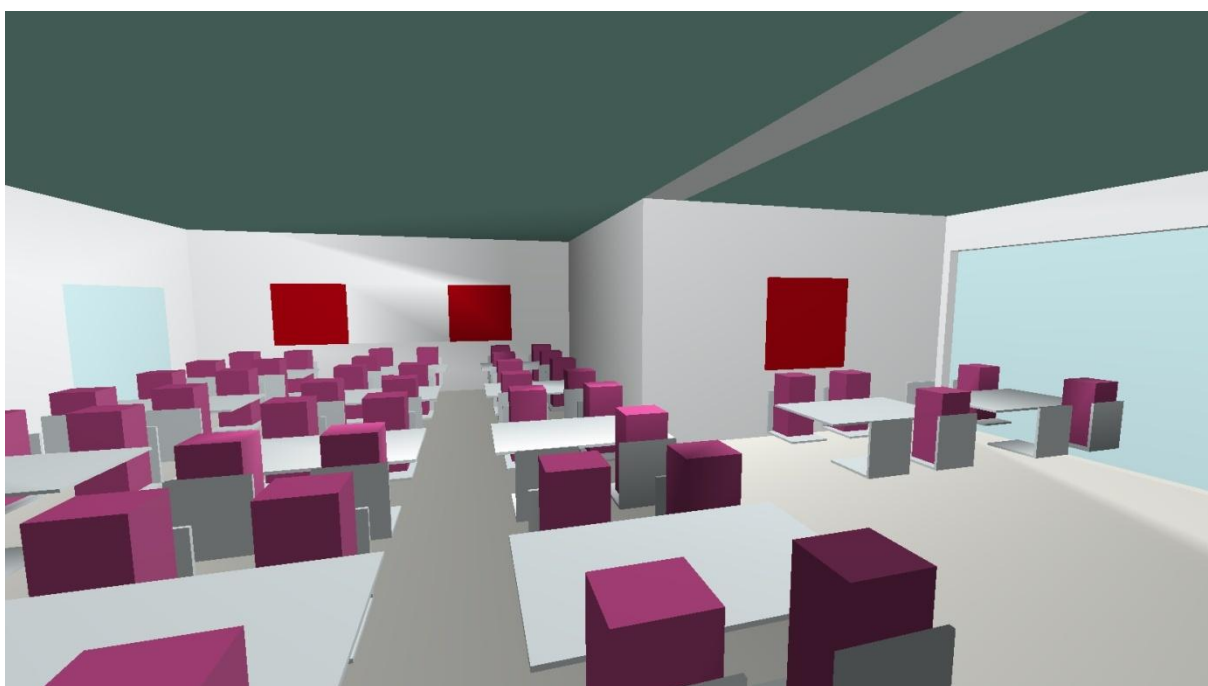
Obrázek 55: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav



Obrázek 56: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav



Obrázek 57: Model varianty 1 v programu SketchUp, obsazený stav



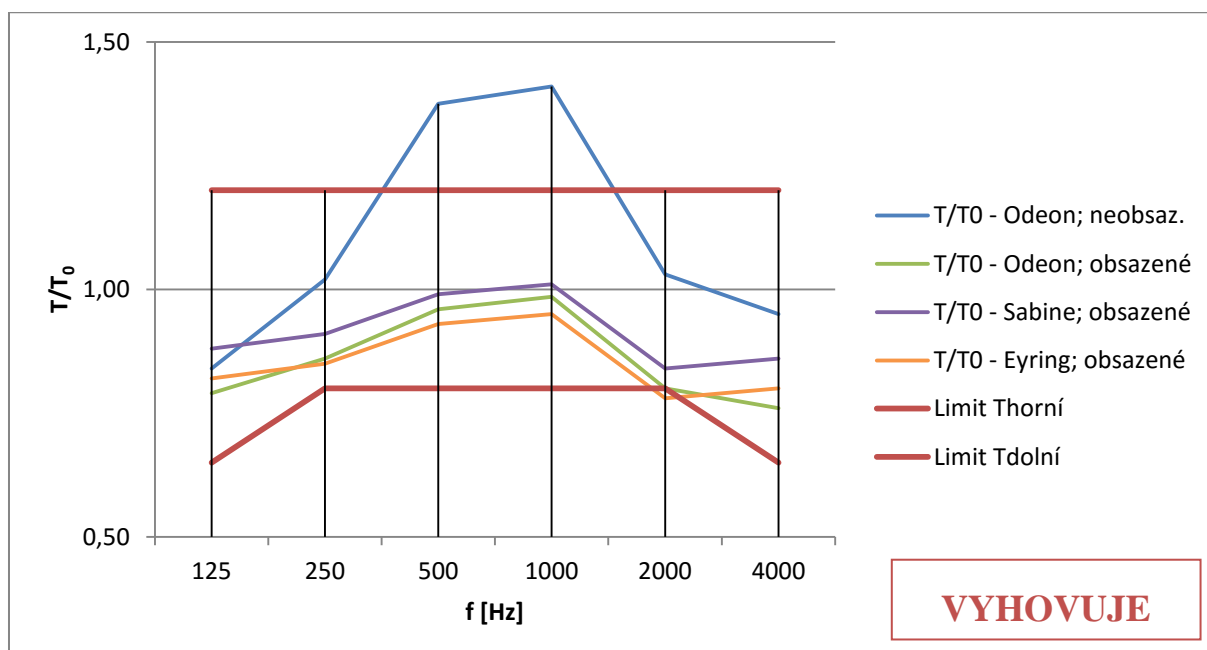
Obrázek 58: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav

## 10.4.2 Posouzení modelu, varianta 2

Tabulka 28: Posouzení doby dozvuku jídelny pro variantu 2

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Neobsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,84	1,02	1,38	1,41	1,03	0,95
<b>Obsazený stav</b>						
T [s] - Odeon	0,79	0,86	0,96	0,99	0,80	0,76
T [s] - Sabine *	0,88	0,91	0,99	1,01	0,84	0,86
T [s] - Eyring *	0,82	0,85	0,93	0,95	0,78	0,80
požadavek normy $T_0 =$	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
<b>Posouzení</b>						
T/T <sub>0</sub> - Odeon; neobsaz.	0,84	1,02	1,38	1,41	1,03	0,95
T/T <sub>0</sub> - Odeon; obsazené	0,79	0,86	0,96	0,99	0,80	0,76
T/T <sub>0</sub> - Sabine; obsazené	0,88	0,91	0,99	1,01	0,84	0,86
T/T <sub>0</sub> - Eyring; obsazené	0,82	0,85	0,93	0,95	0,78	0,80
Limit T <sub>horní</sub>	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20	1,20
Limit T <sub>dolní</sub>	0,65	0,80	0,80	0,80	0,80	0,65

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze C





## 11. TĚLOCVIČNA

### 11.1 Popis prostoru

Prostor tělocvičny má obdélníkový tvar o rozměrech 11 x 27 metrů. A světlou výšku 6,5 metru. Na obou delších stěnách se nachází po šesti oknech o velikosti 2,5 x 2,5 metru. Po celém obvodu tělocvičny je dřevěné obložení do výšky 2,2 metru. Strop je tvořen dřevěnými prkny, skládanými do čtverců. Vedle dveří se nachází otvor za kterým je malá místnost na úschovu náradí.

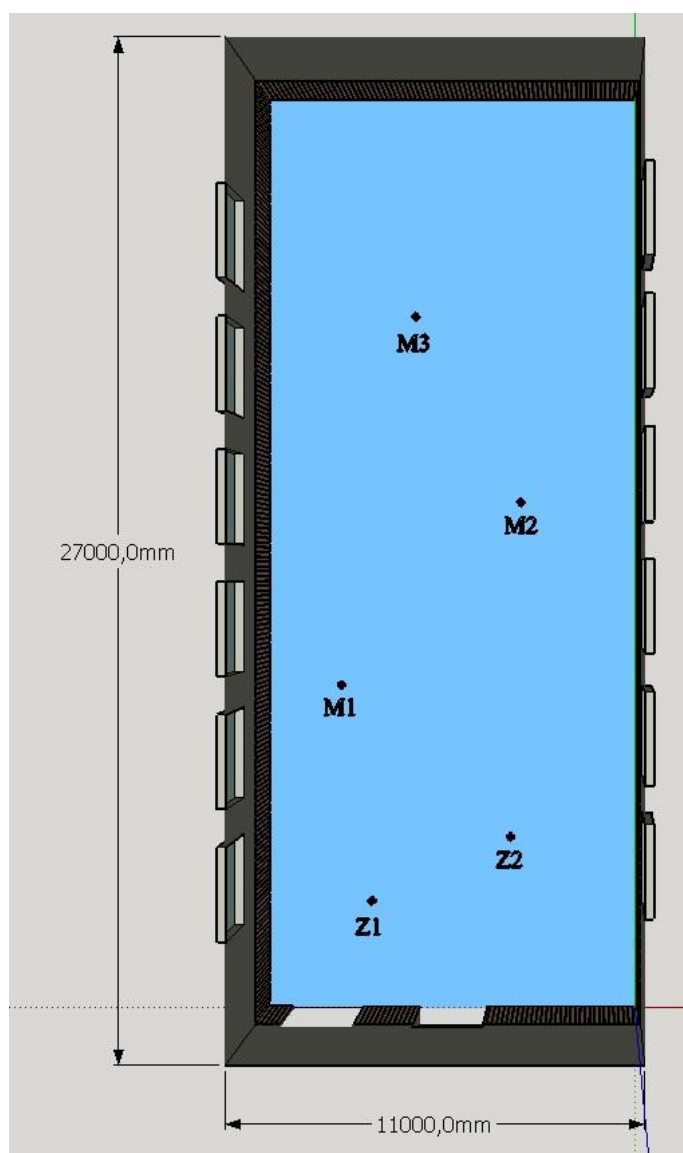


Obrázek 59: Tělocvična

## 11.2 Stávající stav

V tělocvičně jsou dřevěné obklady na stěnách a na stropě

V prostoru byla změřena doba dozvuku metodou přerušného šumu. Polohy zdrojů (Z1 a Z2) a mikrofonů (M1, M2 a M3) jsou zakresleny na obr. 60.



Obrázek 60: Umístění reproduktorů a mikrofonů

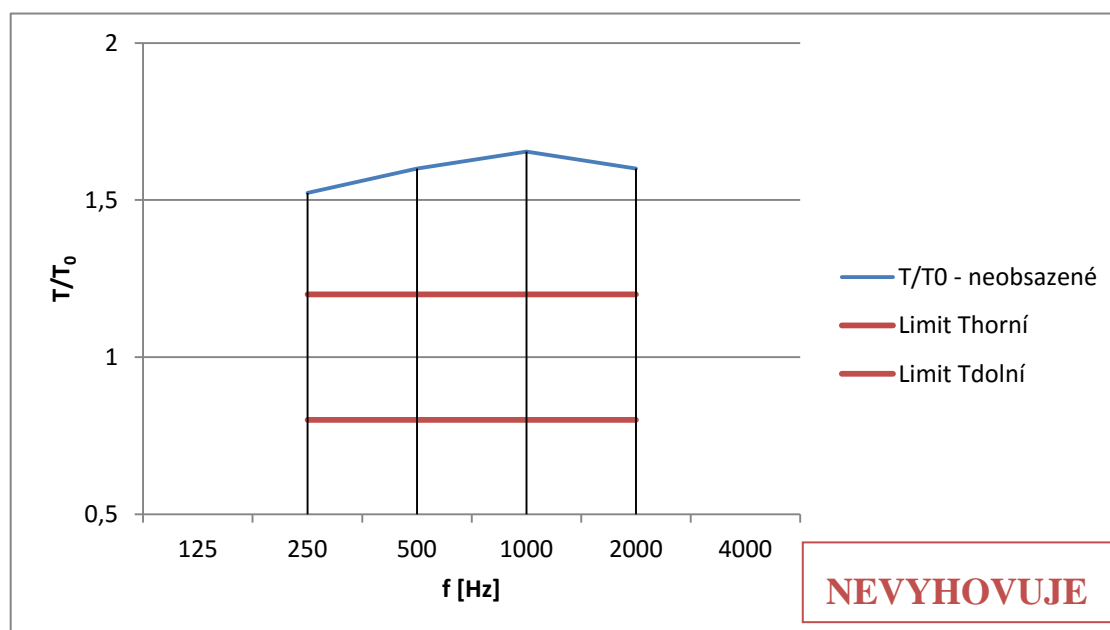
U tělocvičny probíhalo posouzení stejně jako v předchozích případech s jediným rozdílem. Tělocvična se posuzuje v neobsazeném stavu a tedy model a výpočet obsazeného stavu tady proveden nebyl.



## 11.2.1 Výsledky měření

Tabulka 29: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot

	125	250	500	1000	2000	4000
$T_{20}$ (průměr z naměřených hodnot)	2,07	1,98	2,08	2,15	2,08	1,79
Pohltivost prostoru bez žáků A =	152,02	158,93	151,28	146,36	151,28	175,79
požadavek normy $T_0 =$	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
$T/T_0$ - neobsazené		1,52	1,60	1,65	1,60	
Limit $T_{horní}$		1,20	1,20	1,20	1,20	
Limit $T_{dolní}$		0,80	0,80	0,80	0,80	

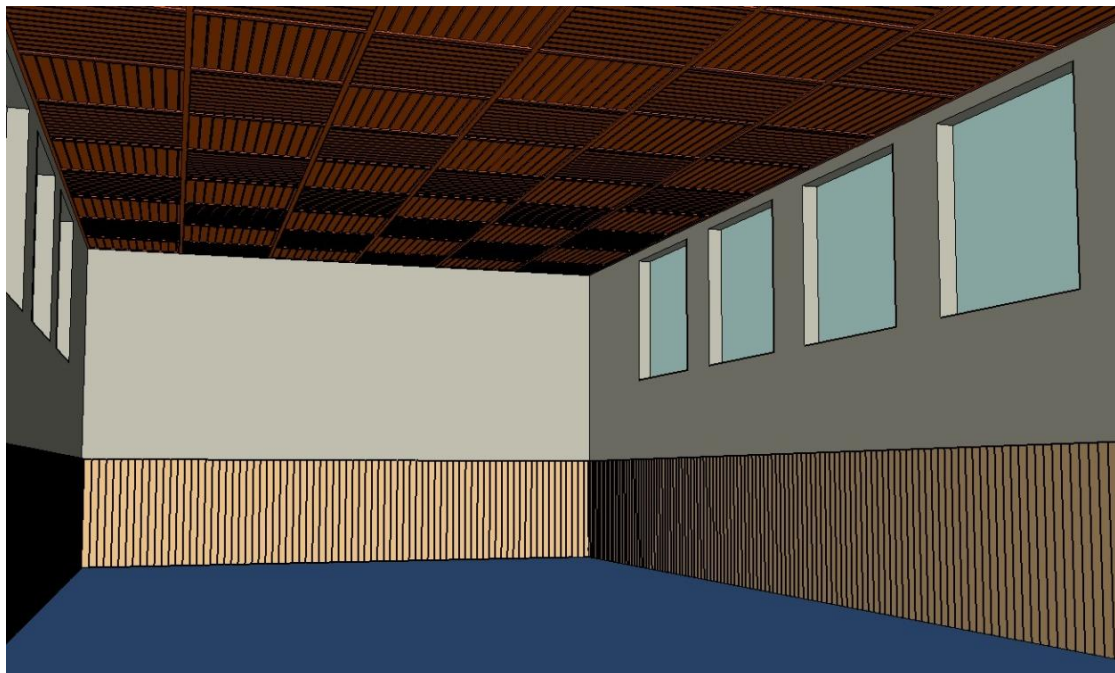


Požadavek doby dozvuku  $T_0$  je vypočítán podle normy pro tělocvičny o objemu prostoru 500 – 3000 m<sup>3</sup>. Objem posuzované tělocvičny je 1930,5 m<sup>3</sup>.

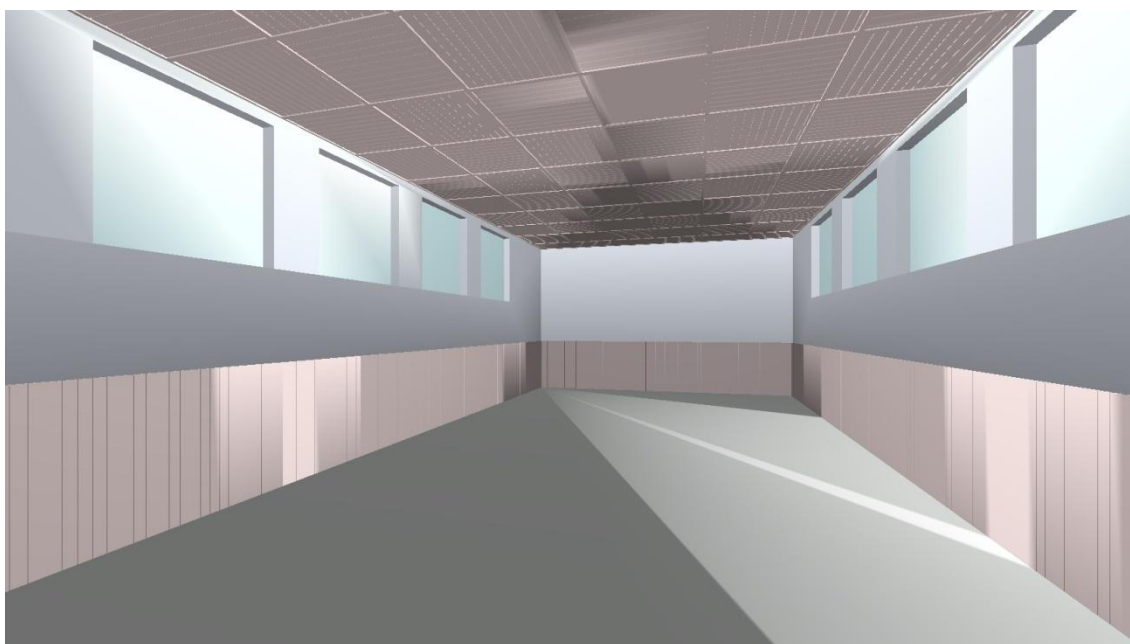
$$T_0 = 0,3961 * \log V + 0,023$$

### 11.2.2 Model prostoru

Aby bylo možné navrhnout pro prostor úpravy a ty poté posoudit v programu ODEON, byl první vytvořen model místnosti v programu SketchUp a ten byl převeden do programu ODEON.



Obrázek 61: Model tělocvičny v programu SketchUp, neobsazený stav



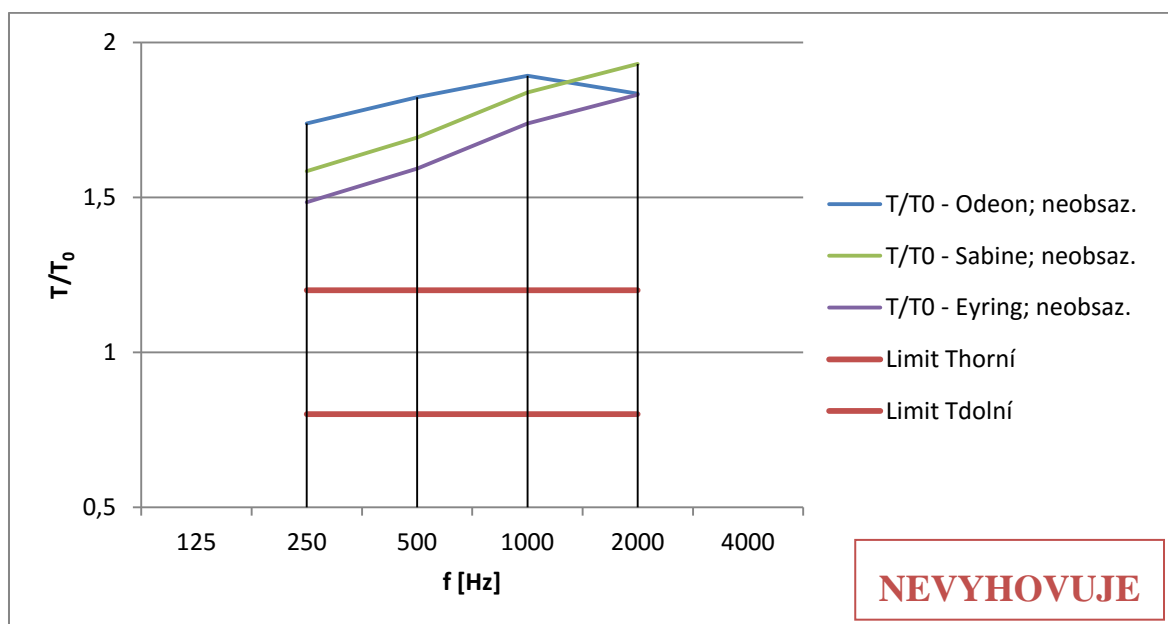
Obrázek 62: Model tělocvičny v programu ODEON, neobsazený stav

## 11.2.3 Posouzení modelu, původní stav

Tabulka 30: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON

	125	250	500	1000	2000	4000
Neobsazený stav						
T [s] - Odeon		2,26	2,37	2,46	2,385	
T [s] - Sabine *		2,06	2,20	2,39	2,51	
T [s] - Eyring *		1,93	2,07	2,26	2,38	
požadavek normy $T_0 =$		1,30	1,30	1,30	1,30	
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.		1,74	1,82	1,89	1,83	
T/ $T_0$ - Sabine; neobsaz.		1,58	1,69	1,84	1,93	
T/ $T_0$ - Eyring; neobsaz.		1,48	1,59	1,74	1,83	
Limit $T_{horní}$		1,20	1,20	1,20	1,20	
Limit $T_{dolní}$		0,80	0,80	0,80	0,80	

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze D



### 11.3 Návrh řešení – varianta 1

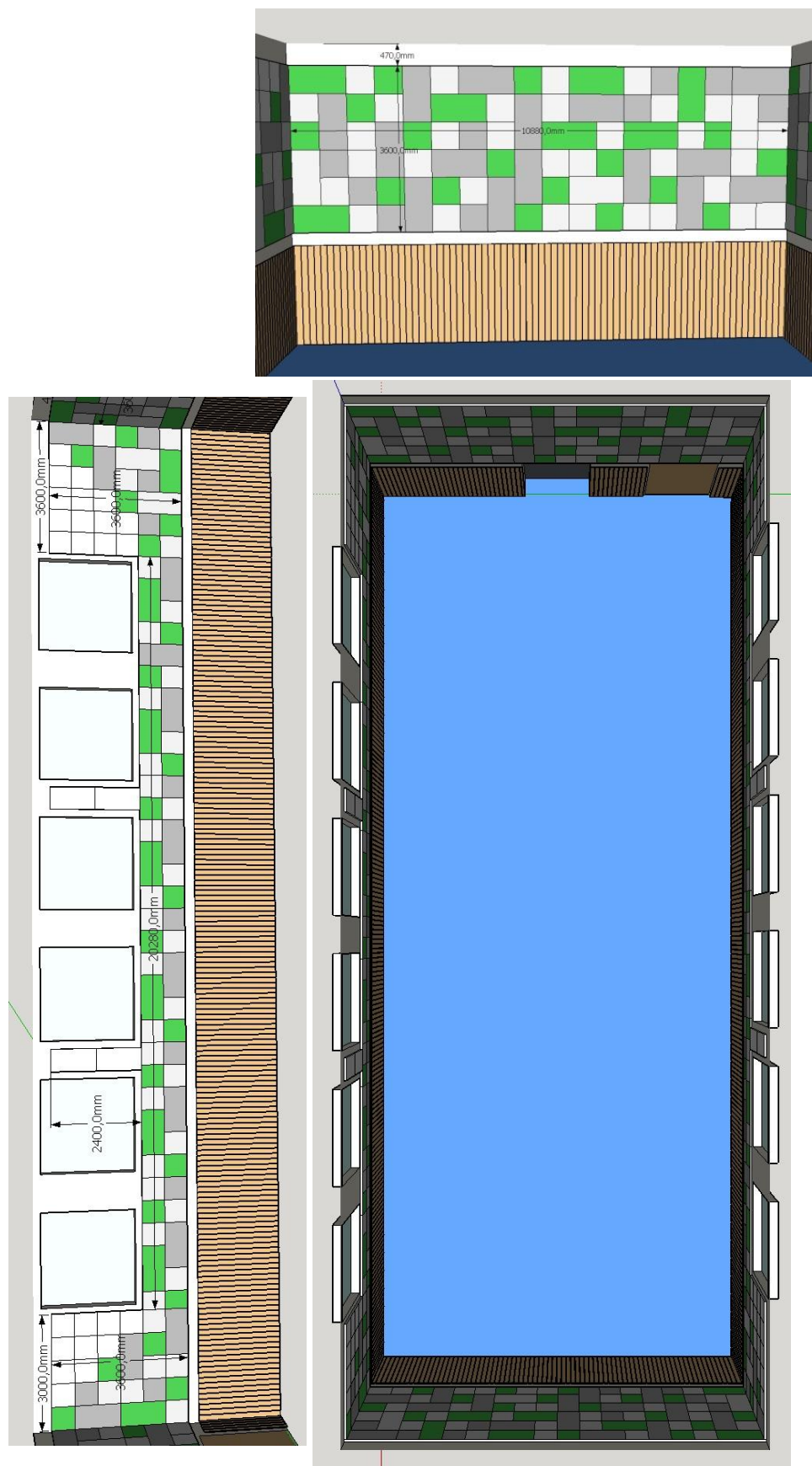
Obě varianty řešení pro tělocvičnu jsou navrženy pouze na stěnách, jelikož na stropě se nachází dřevěný obklad.

#### 11.3.1 Geometrie

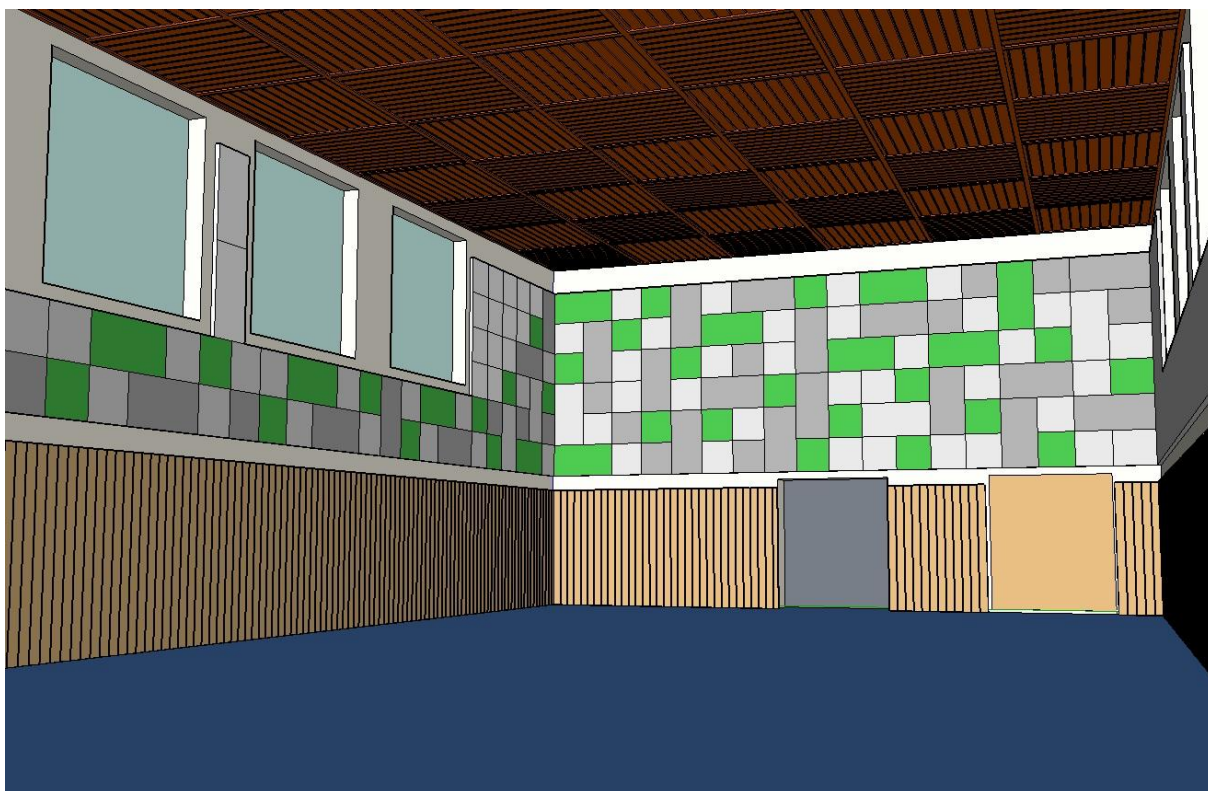
V první variantě je navržen obklad Sonit PP20 60 mm. Panely jsou z akustického materiálu na bázi tvrdých porézních hmot a jsou vhodné i k použití do sportovních hal [13]. Panely pokrývají většinu volných stěn a jejich celková plocha je 191,1 m<sup>2</sup>.

Tabulka 31: Činitel zvukové pohltivosti [13]

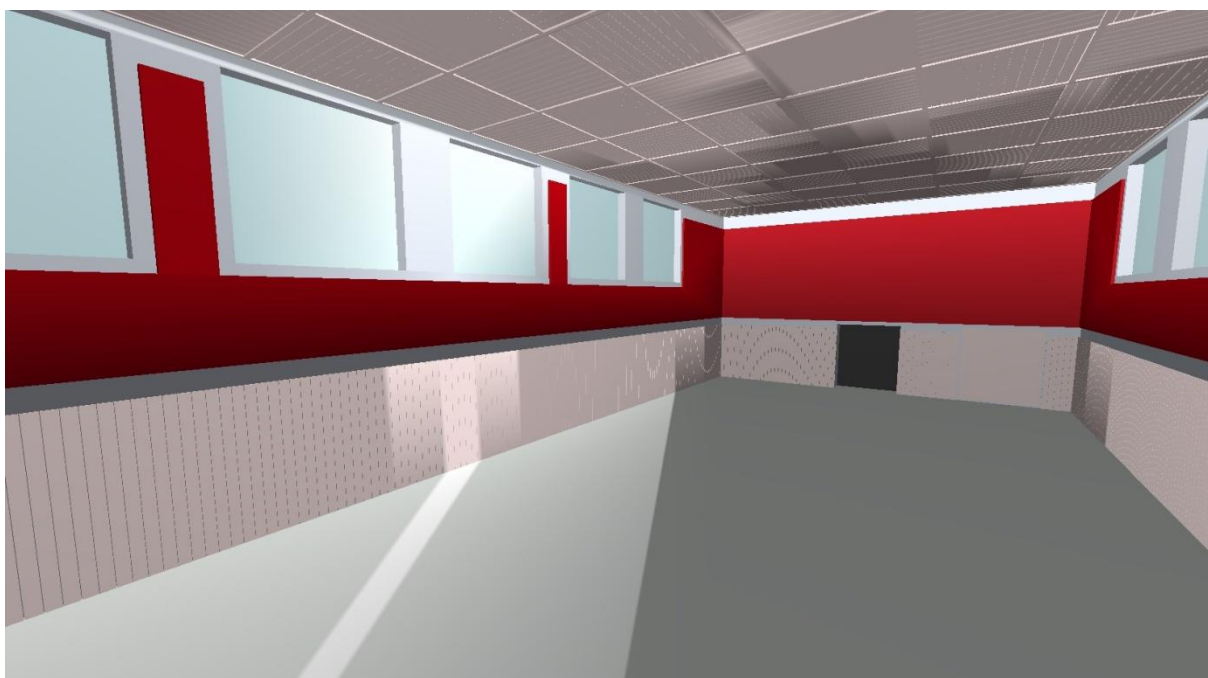
	125	250	500	1000	2000	4000
Sonit PP20 60 mm	0,20	0,38	0,77	0,80	0,58	0,71



Obrázek 63: Rozmístění akustických prvků, varianta 1



Obrázek 64: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav



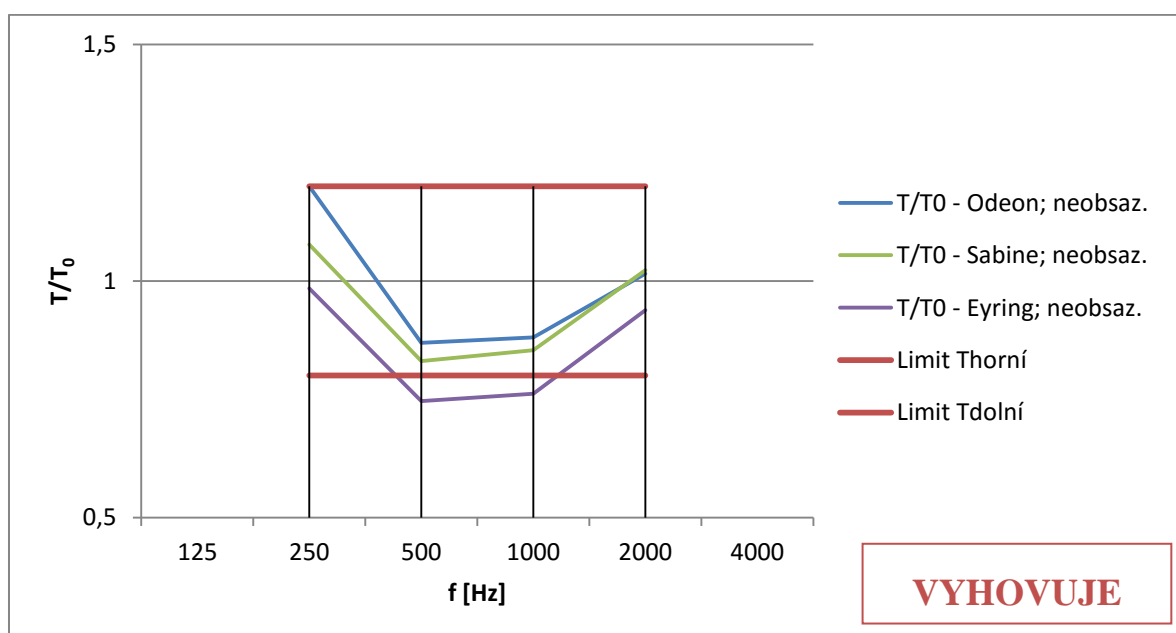
Obrázek 65: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav

## 11.3.2 Posouzení modelu, varianta 1

Tabulka 32: Posouzení doby dozvuku tělocvičny pro variantu 1

	125	250	500	1000	2000	4000
Neobsazený stav						
T [s] - Odeon		1,56	1,13	1,145	1,32	
T [s] - Sabine *		1,40	1,08	1,11	1,33	
T [s] - Eyring *		1,28	0,97	0,99	1,22	
požadavek normy $T_0 =$		1,30	1,30	1,30	1,30	
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.		1,20	0,87	0,88	1,02	
T/ $T_0$ - Sabine; neobsaz.		1,08	0,83	0,85	1,02	
T/ $T_0$ - Eyring; neobsaz.		0,98	0,75	0,76	0,94	
Limit $T_{horní}$		1,20	1,20	1,20	1,20	
Limit $T_{dolní}$		0,80	0,80	0,80	0,80	

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze D





## 11.4 Návrh řešení – varianta 2

Ve druhé variantě byly také navrženy stěnové panely.

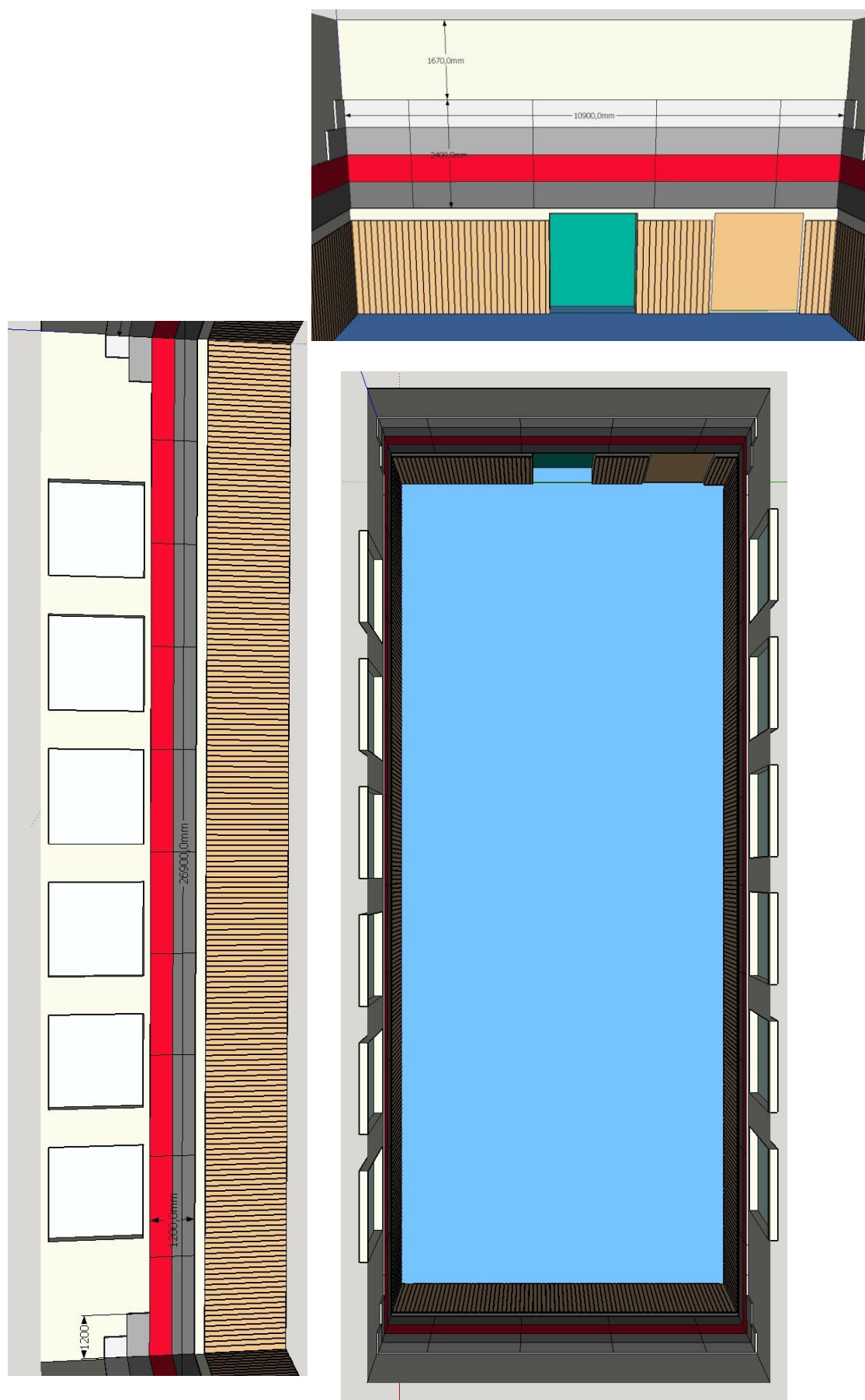
### 11.4.1 Geometrie

Aby mohla být menší plocha panelů na stěnách oproti variantě 1, byl ve druhé variantě na obklad stěn použit materiál Ecophon Super G Plus A, který má vyšší hodnoty činitele zvukové pohltivosti.

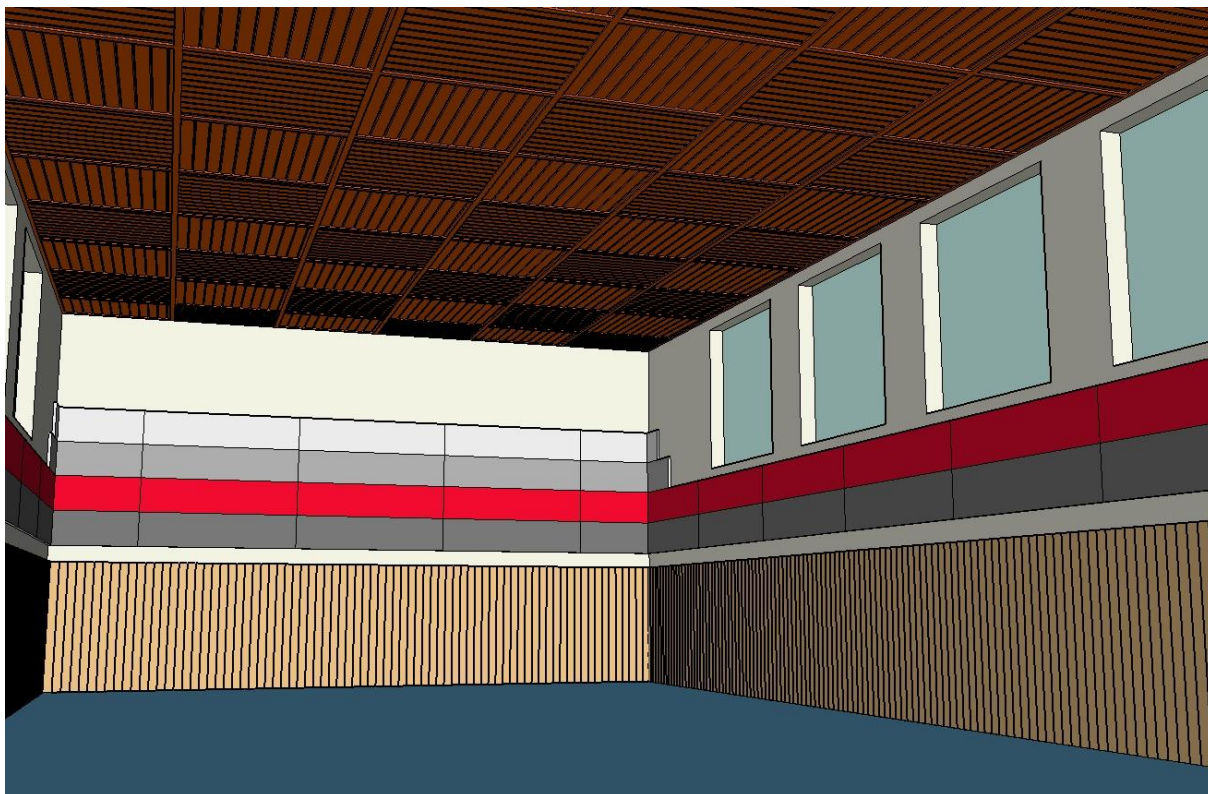
Tabulka 33: Činitel zvukové pohltivosti [14]

	125	250	500	1000	2000	4000
Ecophon SuperG PlusA	0,20	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00

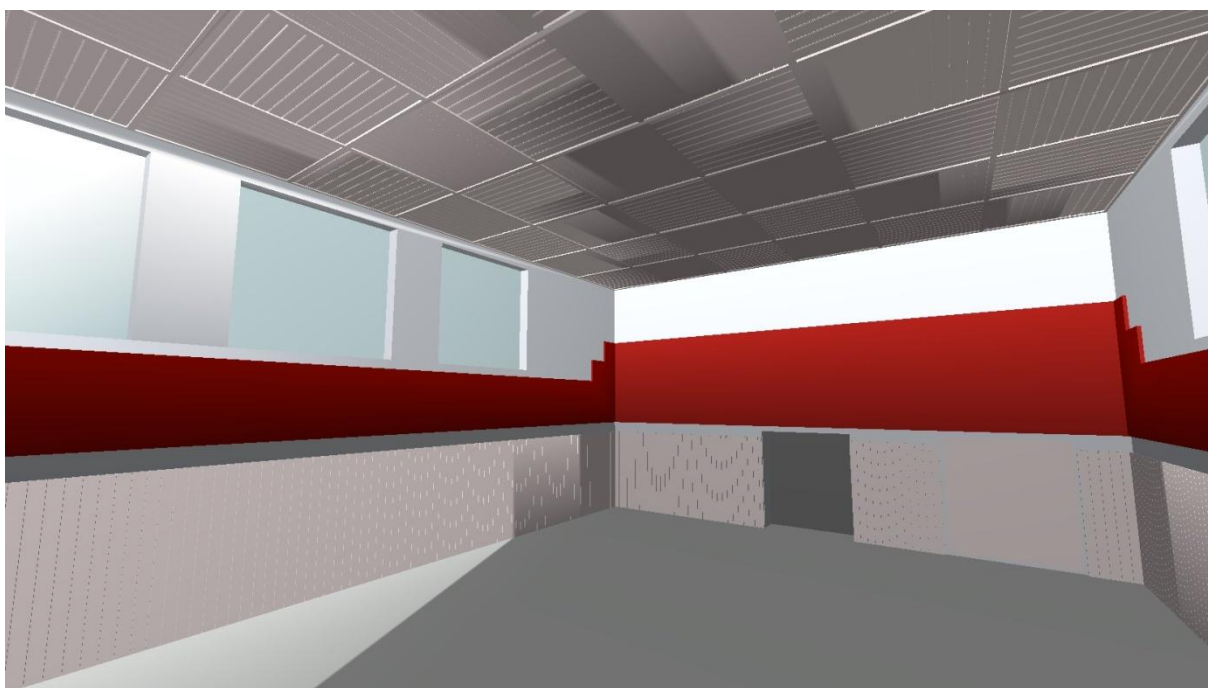




Obrázek 66: Rozmístění akustických prvků, varianta 2



Obrázek 67: Model varianty 2 v programu SketchUp, neobsazený stav



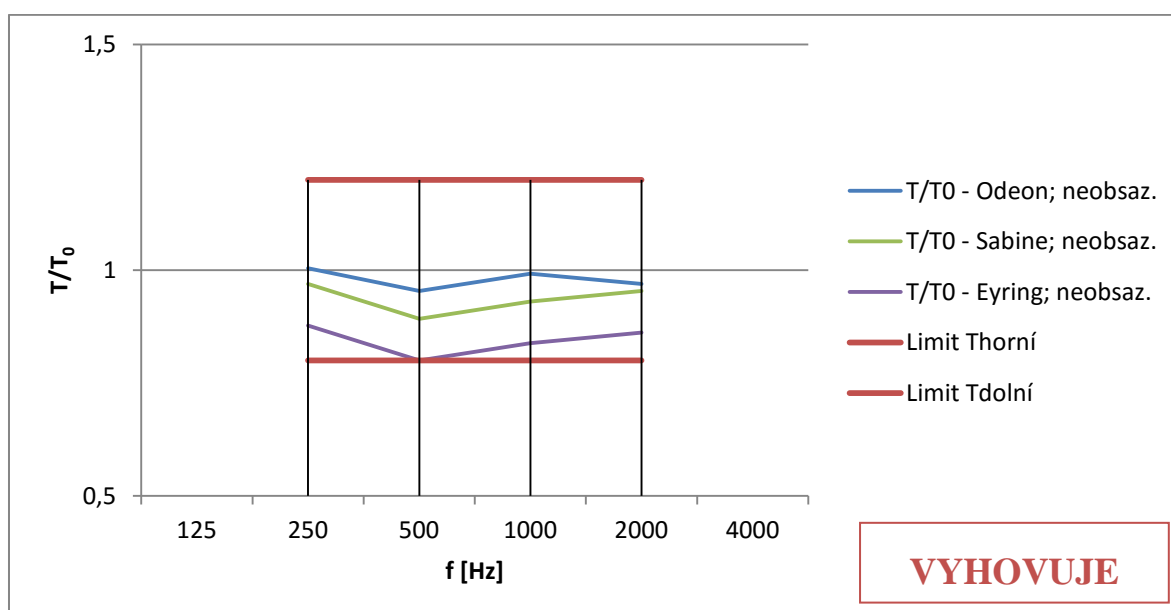
Obrázek 68: Model varianty 2 v programu ODEON, neobsazený stav

## 11.4.2 Posouzení modelu, varianta 2

Tabulka 34: Posouzení doby dozvuku tělocvičny pro variantu 2

	125	250	500	1000	2000	4000
Neobsazený stav						
T [s] - Odeon		1,305	1,24	1,29	1,26	
T [s] - Sabine *		1,26	1,16	1,21	1,24	
T [s] - Eyring *		1,14	1,04	1,09	1,12	
požadavek normy $T_0 =$		1,30	1,30	1,30	1,30	
<b>Posouzení</b>						
	125	250	500	1000	2000	4000
T/ $T_0$ - Odeon; neobsaz.		1,00	0,95	0,99	0,97	
T/ $T_0$ - Sabine; neobsaz.		0,97	0,89	0,93	0,95	
T/ $T_0$ - Eyring; neobsaz.		0,88	0,80	0,84	0,86	
Limit $T_{horní}$		1,20	1,20	1,20	1,20	
Limit $T_{dolní}$		0,80	0,80	0,80	0,80	

\* výpočty doby dozvuku podle Sabina a Eyringa jsou uvedeny v příloze D



## ZÁVĚR

Výsledky výpočtů a měření ukazují, že hodnoty doby dozvuku zjištěné měřením se mohou od těch vypočtených značně lišit. Může to být mimo jiné také způsobeno tím, že je obtížné stanovit zvukovou pohltivost jednotlivých povrchů, tak aby prostor odpovídal skutečnosti.

Doba dozvuku místnosti také závisí na obsazenosti prostoru. Je vidět, že rozdíl v době dozvuku u obsazeného a neobsazeného prostoru může být relativně velký.

Ve správně navrženém prostoru jsou dobré poslechové podmínky. Jednou z podmínek pro jejich dosažení je zajištění optimální doby dozvuku, kromě toho je pro prostory také důležitá srozumitelnost v prostoru. V prostorách základních a mateřských škol je obecně velký hluk, ale zároveň je pro vývoj a výuku dětí důležité, aby byl tento hluk tlumen. Ať už je to ve třídách, kde se děti musí soustředit na učitele, nebo je to na chodbách a v jídelně, kde tráví volný čas a chtějí se mezi sebou bavit.

Cílem této práce bylo zhodnocení stávajících zvukových podmínek v prostorách základní školy. Bylo provedeno měření doby dozvuku metodou přerušného šumu a ze změřených výsledků byly vyhodnoceny podmínky v prostorách. Měření bylo provedeno ve dvou třídách, jídelně a tělocvičně. Z uvedených místností ani jedna nevyhověla podle normy ČSN 73 0527 na dobu dozvuku.

Pro každou místnost byly provedeny dva návrhy akustického řešení, tak aby byly splněny požadavky normy na dobu dozvuku.

Posouzení těchto variant proběhlo pomocí počítačového programu ODEON. Ve všech návrzích byly splněny požadavky.

## SEZNAM LITERATURY

1. ČSN 73 0525. *Akustika – projektování v oboru prostorové akustiky – všeobecné zásady*, Praha: Český normalizační institut 1998.
2. ČSN 73 0527. *Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách – Prostory pro veřejné účely*, Praha: Český normalizační institut 2005.
3. ČSN EN ISO 3382–1. *Akustika – měření parametrů prostorové akustiky - Část 1: prostory pro přednes hudby a řeči*, Praha: Český normalizační institut 2009.
4. Vyhláška č. 410/2005 Sb., *o hygienických požadavcích na prostory a provoz zařízení a provozoven pro výchovu a vzdělávání dětí a mladistvých*, Sbírka zákonů č. 343/2009 25. 9. 2009. ISSN 1211-1244.
5. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*, Sbírka zákonů č. 272/2011 24. 8. 2011. ISSN 1211-1244.
6. KAŇKA, Jan. *Akustika stavebních objektů*. 1. vydání. Brno: ERA Group spol. s r.o. 2009. ISBN 978–80–7366–140–3
7. KAŇKA, Jan. *Stavební fyzika 1: Akustika budov*. 1. vydání. Praha: ČVUT 2007. ISBN 978–80–01–03664–8
8. VAVERKA, Jiří; KOZEL, Václav; LÁDYŠ, Libor; LIBERKO, Miloš; CHYBÍK, Josef. *Stavební fyzika 1: Urbanistická, stavební a prostorová akustika*. 1. vydání. Brno: Nakladatelství VUTIUM, 1998. ISBN 80–214–1283–6
9. Optimální akustické prostředí ve výukových prostorách [online] Ecophon, Saint-Gobain 2016, dostupné z URL: <http://www.ecophon.com/globalassets/media/pdf-and-documents/cz/akustika-kol/optimalni-akusticke-prosted-i-ve-vyukovych-prostorach.pdf>

10. Ideální třída [online] Ecophon, Saint-Gobain 2016, dostupné z URL:  
<http://www.ecophon.com/cz/akusticka-reseni/vzdelavani/ucebny/idealni-trida/>
11. Klasifikace zvuku [online] Paroc Group Oy 2016, dostupné z URL:  
<http://www.paroc.cz/knowhow/zvuk/klasifikace-zvuku>
12. ODEON User's Manual [online] Odeon A/S 2016, dostupné z URL:  
[http://odeon.dk/download/Version14/ODEON\\_Manual.pdf](http://odeon.dk/download/Version14/ODEON_Manual.pdf)
13. SONIT [online] Akciová společnost SONING Praha 2016, dostupné z URL:  
<http://soning.cz/sonit.htm>
14. Výrobky Ecophon [online] Ecophon, Saint-Gobain 2016, dostupné z URL:  
<http://www.ecophon.com/cz#>
15. Produkty Rockfon [online] ROCKWOOL International A/S, ROCKFON 2016,  
dostupné z URL: <http://www.rockfon.cz/>
16. Designové akustické panely od skupiny 5.5 designers [online] Oberflex 2016,  
dostupné z URL: <http://www.oberflex.cz/obklady-5-5-designers>

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Definice doby dozvuku [8] .....	10
Obrázek 2: Třídy zvukové pohltivosti [11] .....	11
Obrázek 3: celoplošný podhled [10] .....	13
Obrázek 4: Stěnový absorbéry [10].....	13
Obrázek 5': Zvukově odrazivá zóna [10].....	14
Obrázek 6: Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku $T/T_0$ obsazeného prostoru určeného k přednesu řeči (označení obrázku v normě A.4) [2] .....	17
Obrázek 7: Závislost optimální doby dozvuku $T_0$ [s] pro kmitočet 1000Hz na objemu $V$ [m <sup>3</sup> ] (označení obrázku v normě A.1) [2] .....	18
Obrázek 8: Přípustné rozmezí poměru dob dozvuku $T/T_0$ tělocvičny, sportovní nebo plavecké haly (označení obrázku v normě A.8) [2] .....	18
Obrázek 9: Měření doby dozvuku v učebně II. A – zapojení reproduktoru a zesilovače .....	21
Obrázek 10: Měření doby dozvuku v učebně II. A – umístění mikrofonu .....	21
Obrázek 11: Učebna II. A .....	25
Obrázek 12: Umístění reproduktorů a mikrofonů; učebna II.A .....	26
Obrázek 13: Model učebny II. A v programu SketchUp, neobsazený stav .....	28
Obrázek 14: Model učebny II. A v programu ODEON, neobsazený stav .....	28
Obrázek 15: Model učebny II. A v programu SketchUp, obsazený stav .....	29
Obrázek 16: Model učebny II. A v programu ODEON, obsazený stav .....	29
Obrázek 17: Rozmístění akustických prvků, varianta 1 .....	32
Obrázek 18: Model varianty 1 v programu Sketch Up, neobsazený stav .....	33
Obrázek 19: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav .....	33
Obrázek 20: Model varianty 1 v programu Sketch Up, obsazený stav .....	34
Obrázek 21: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav .....	34
Obrázek 22: Rozmístění akustických prvků, varianta 2.....	37
Obrázek 23: Model varianty 2 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	38
Obrázek 24: Model varianty 2 v programu ODEON, neobsazený stav .....	38
Obrázek 25: Model varianty 2 v programu SketchUp, obsazený stav .....	39
Obrázek 26: Model varianty 2 v programu ODEON, obsazený stav .....	39

Obrázek 27: Učebna III. B .....	41
Obrázek 28: Umístění reproduktorů a mikrofonů, učebna III.B .....	42
Obrázek 29: Model učebny III.B v programu SketchUp, neobsazený stav .....	44
Obrázek 30: Model učebny III.B v programu ODEON, neobsazený stav .....	44
Obrázek 31: Model učebny III.B v programu SketchUp, obsazený stav .....	45
Obrázek 32: Model učebny III.B v programu ODEON, obsazený stav .....	45
Obrázek 33: Rozmístění akustických prvků, varianta 1 .....	48
Obrázek 34: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	49
Obrázek 35: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav .....	49
Obrázek 36: Model varianty 1 v programu SketchUp, obsazený stav .....	50
Obrázek 37: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav .....	50
Obrázek 38: Rozmístění akustických prvků, varianta 2 .....	53
Obrázek 39: Model varianty 2 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	54
Obrázek 40: Model varianty 2 v programu ODEON, neobsazený stav .....	54
Obrázek 41: Model varianty 2 v programu SketchUp, obsazený stav .....	55
Obrázek 42: Model varianty 2 v programu ODEON, obsazený stav .....	55
Obrázek 43: Jídelna .....	57
Obrázek 44: Umístění reproduktoru a mikrofonů, jídelna .....	58
Obrázek 45: Model jídelny v programu SketchUp, neobsazený stav .....	60
Obrázek 46: Model jídelny v programu ODEON, neobsazený stav .....	60
Obrázek 47: Model jídelny v programu SketchUp, obsazený stav .....	61
Obrázek 48: Model jídelny v programu ODEON, obsazený stav .....	61
Obrázek 49: Rozmístění akustických prvků, varianta 1 .....	64
Obrázek 50: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	65
Obrázek 51: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav .....	65
Obrázek 52: Model varianty 1 v programu SketchUp, obsazený stav .....	66
Obrázek 53: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav .....	66
Obrázek 54: Rozmístění akustických prvků, varianta 2 .....	69
Obrázek 55: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	70
Obrázek 56: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav .....	70
Obrázek 57: Model varianty 1 v programu SketchUp, obsazený stav .....	71



Obrázek 58: Model varianty 1 v programu ODEON, obsazený stav .....	71
Obrázek 59: Tělocvična .....	73
Obrázek 60: Umístění reproduktorů a mikrofonů .....	74
Obrázek 61: Model tělocvičny v programu SketchUp, neobsazený stav .....	76
Obrázek 62: Model tělocvičny v programu ODEON, neobsazený stav .....	76
Obrázek 63: Rozmístění akustických prvků, varianta 1 .....	79
Obrázek 64: Model varianty 1 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	80
Obrázek 65: Model varianty 1 v programu ODEON, neobsazený stav .....	80
Obrázek 66: Rozmístění akustických prvků, varianta 2.....	83
Obrázek 67: Model varianty 2 v programu SketchUp, neobsazený stav .....	84
Obrázek 68: Model varianty 2 v programu ODEON, neobsazený stav .....	84

## SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Třídy zvukové pohltivosti materiálů [11] .....	11
Tabulka 2: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb [5] .....	12
Tabulka 3: Požadavky na prostory ve školách [2] .....	16
Tabulka 4: Výpočet činitele pohltivosti žáků pro program ODEON .....	23
Tabulka 5: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot .....	27
Tabulka 6: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON .....	30
Tabulka 7: Činitel zvukové pohltivosti [13] .....	31
Tabulka 8: Činitel zvukové pohltivosti [13] .....	31
Tabulka 9: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 1 .....	35
Tabulka 10: Činitel zvukové pohltivosti [13] .....	36
Tabulka 11: Činitel zvukové pohltivosti [14] .....	36
Tabulka 12: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 2 .....	40
Tabulka 13: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot .....	43
Tabulka 14: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON .....	46
Tabulka 15: Činitel zvukové pohltivosti [15] .....	47
Tabulka 16: Činitel zvukové pohltivosti [15] .....	47
Tabulka 17: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 1 .....	51
Tabulka 18: Činitel zvukové pohltivosti [14] .....	52
Tabulka 19: Činitel zvukové pohltivosti [14] .....	52
Tabulka 20: Posouzení doby dozvuku učebny pro variantu 2 .....	56
Tabulka 21: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot .....	59
Tabulka 22: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON .....	62
Tabulka 23: Činitel zvukové pohltivosti [14] .....	63
Tabulka 24: Činitel zvukové pohltivosti [16] .....	63
Tabulka 25: Posouzení doby dozvuku jídelny v programu ODEON .....	67
Tabulka 26: Činitel zvukové pohltivosti [15] .....	68
	92

Tabulka 27: Činitel zvukové pohltivosti [13] .....	68
Tabulka 28: Posouzení doby dozvuku jídelny pro variantu 2 .....	72
Tabulka 29: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě naměřených hodnot .....	75
Tabulka 30: Posouzení stávajícího stavu učebny na základě výsledků výpočtu programu ODEON .....	77
Tabulka 31: Činitel zvukové pohltivosti [13] .....	78
Tabulka 32: Posouzení doby dozvuku tělocvičny pro variantu 1 .....	81
Tabulka 33: Činitel zvukové pohltivosti [14] .....	82
Tabulka 34: Posouzení doby dozvuku tělocvičny pro variantu 2 .....	85
Tabulka 35: Výsledky měření v učebně II.A .....	95
Tabulka 36: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav.....	96
Tabulka 37: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1 .....	97
Tabulka 38: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2 .....	98
Tabulka 39: Výsledky měření v učebně III.B .....	99
Tabulka 40: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav.....	100
Tabulka 41: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1 .....	101
Tabulka 42: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2 .....	102
Tabulka 43: Výsledky měření v jídelně .....	103
Tabulka 44: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav.....	104
Tabulka 45: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1 .....	105
Tabulka 46: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2 .....	106
Tabulka 47: Výsledky měření v tělocvičně.....	107
Tabulka 48: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav.....	108
Tabulka 49: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1 .....	109
Tabulka 50: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2 .....	110

## **SEZNAM PŘÍLOH**

- A. Učebna II.A
- B. Učebna III.B
- C. Jídelna
- D. Tělocvična

## A. UČEBNA II.A

Tabulka 35: Výsledky měření v učebně II.A

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Reproduktor 1</b>						
M1 T20/T30	1,13	1,72	1,21	1,21	1,15	1,01
	1,03	1,36	1,23	1,17	1,16	1,04
	0,85	0,96	1,19	1,23	1,09	1,06
	0,91	1,04	1,22	1,26	1,19	1,04
M2	1,20	1,11	1,06	1,07	1,09	1,06
	1,02	1,10	1,18	1,13	1,03	1,07
	1,03	1,36	1,19	1,21	1,11	1,09
	1,09	1,18	1,14	1,21	1,11	1,09
M3	0,70	1,20	1,13	1,17	1,08	1,01
	1,05	1,09	1,19	1,19	1,14	1,06
	1,19	1,06	1,23	1,13	1,15	1,09
	1,14	1,04	1,27	1,17	1,15	1,07
<b>Reproduktor 2</b>						
M1 T20/T30	1,09	0,89	1,14	1,25	1,10	1,08
	0,96	1,16	1,25	1,15	1,13	1,07
	0,98	1,06	1,44	1,32	1,18	1,09
	1,11	1,21	1,35	1,21	1,17	1,10
M2	1,13	1,08	1,13	0,09	1,17	1,04
	1,08	1,10	1,17	1,14	1,14	1,05
	0,97	1,20	1,22	1,18	1,15	1,03
	1,14	1,22	1,23	1,16	1,12	1,04
M3	1,36	1,42	1,22	1,27	1,18	1,00
	1,07	1,17	1,30	1,23	1,13	1,05
	1,02	1,22	1,32	1,21	1,14	1,05
	1,07	1,28	1,30	1,14	1,18	1,05
<b>průměr</b> T20/T30	1,05	1,19	1,21	1,11	1,13	1,05
	1,06	1,16	1,24	1,18	1,14	1,06

Tabulka 36: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav

Objem V [m <sup>3</sup> ]	<b>225,72</b>	(posluchárna do 250 m <sup>3</sup> )					
Povrch	$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Stěny_omítka hrubá</i>	$\alpha_1$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>1</sub> 94,40	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	14,16	10,38	10,38	11,33	9,44	8,50
<i>Strop_omítka hrubá</i>	$\alpha_2$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>2</sub> 59,40	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	8,91	6,53	6,53	7,13	5,94	5,35
<i>Okna_dvojsklo</i>	$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>3</sub> 12,32	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	1,85	0,62	0,37	0,37	0,25	0,25
<i>Podlaha_linoleum</i>	$\alpha_4$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
S <sub>4</sub> 56,50	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,13	1,13	1,70	2,26	2,26	2,83
<i>Koberec</i>	$\alpha_4$	0,08	0,08	0,10	0,09	0,12	0,12
S <sub>5</sub> 12,10	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	0,97	0,97	1,21	1,09	1,45	1,45
<i>Tabule</i>	$\alpha_5$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
S <sub>6</sub> 8,78	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
<i>Lavice, židle, skříně</i>	$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>7</sub> 59,90	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	6,59	7,19	6,59	4,79	4,79	5,39
<i>Žáci</i>	$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57
S <sub>8</sub> 22,68	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	4,08	8,39	12,25	12,47	12,93	12,93
<i>Dveře</i>	$\alpha_8$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>9</sub> 2,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,22	0,24	0,22	0,16	0,16	0,18
CELKEM	A [m <sup>2</sup> ]	40,54	38,09	41,88	42,23	39,85	39,50
S 328,08	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,12	0,12	0,13	0,13	0,12	0,12
	$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,13	0,12	0,14	0,14	0,13	0,13
<b>T [s] podle Sabina</b>		<b>0,91</b>	<b>0,97</b>	<b>0,88</b>	<b>0,87</b>	<b>0,92</b>	<b>0,93</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>		<b>0,85</b>	<b>0,91</b>	<b>0,82</b>	<b>0,81</b>	<b>0,87</b>	<b>0,87</b>
T <sub>0</sub> [s]		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Tabulka 37: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1

Objem V [m <sup>3</sup> ]	<b>225,72</b>		(posluchárna do 250 m <sup>3</sup> )				
Povrch	$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Stěny_omítka hrubá</i>	$\alpha_1$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>1</sub> 88,50	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	13,28	9,74	9,74	10,62	8,85	7,97
<i>Strop_omítka hrubá</i>	$\alpha_2$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>2</sub> 36,40	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	5,46	4,00	4,00	4,37	3,64	3,28
<i>Okna_dvojsklo</i>	$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>3</sub> 12,32	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	1,85	0,62	0,37	0,37	0,25	0,25
<i>Podlaha_linoleum</i>	$\alpha_4$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
S <sub>4</sub> 56,50	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,13	1,13	1,70	2,26	2,26	2,83
<i>Koberec</i>	$\alpha_4$	0,08	0,08	0,10	0,09	0,12	0,12
S <sub>5</sub> 12,10	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	0,97	0,97	1,21	1,09	1,45	1,45
<i>Tabule</i>	$\alpha_5$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
S <sub>6</sub> 8,78	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63
<i>Lavice, židle, skříňe</i>	$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>7</sub> 59,90	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	6,59	7,19	6,59	4,79	4,79	5,39
<i>Žáci</i>	$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57
S <sub>8</sub> 22,68	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	4,08	8,39	12,25	12,47	12,93	12,93
<i>Dveře</i>	$\alpha_8$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>9</sub> 2,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,22	0,24	0,22	0,16	0,16	0,18
<i>Ak. Podhled_Sonit</i>	$\alpha_8$	0,58	0,79	0,70	0,78	0,75	0,68
S <sub>9</sub> 23,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	13,34	18,17	16,10	17,94	17,25	15,64
<i>Ak. Obklad_Sonit</i>	$\alpha_8$	0,61	0,60	0,62	0,64	0,76	0,70
S <sub>9</sub> 5,90	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	3,60	3,54	3,66	3,78	4,48	4,13
CELKEM	A [m <sup>2</sup> ]	53,15	56,62	58,46	60,48	58,70	56,67
S 328,08	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,16	0,17	0,18	0,18	0,18	0,17
	$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,18	0,19	0,20	0,20	0,20	0,19
<b>T [s] podle Sabina</b>		<b>0,69</b>	<b>0,65</b>	<b>0,63</b>	<b>0,61</b>	<b>0,63</b>	<b>0,65</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>		<b>0,63</b>	<b>0,59</b>	<b>0,57</b>	<b>0,55</b>	<b>0,57</b>	<b>0,59</b>
T <sub>0</sub> [s]		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Tabulka 38: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2

Objem V [m <sup>3</sup> ]	<b>225,72</b>		(posluchárna do 250 m <sup>3</sup> )					
Povrch	$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]						
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000	
<i>Stěny_omítka hrubá</i>	$\alpha_1$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09	
S <sub>1</sub> 84,20	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	12,63	9,26	9,26	10,10	8,42	7,58	
<i>Strop_omítka hrubá</i>	$\alpha_2$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09	
S <sub>2</sub> 37,60	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	5,64	4,14	4,14	4,51	3,76	3,38	
<i>Okna_dvojsklo</i>	$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	
S <sub>3</sub> 12,32	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	1,85	0,62	0,37	0,37	0,25	0,25	
<i>Podlaha_linoleum</i>	$\alpha_4$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	
S <sub>4</sub> 56,50	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,13	1,13	1,70	2,26	2,26	2,83	
<i>Koberec</i>	$\alpha_4$	0,08	0,08	0,10	0,09	0,12	0,12	
S <sub>5</sub> 12,10	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	0,97	0,97	1,21	1,09	1,45	1,45	
<i>Tabule</i>	$\alpha_5$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
S <sub>6</sub> 8,78	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	2,63	
<i>Lavice, židle, skříně</i>	$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	
S <sub>7</sub> 59,90	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	6,59	7,19	6,59	4,79	4,79	5,39	
<i>Žáci</i>	$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57	
S <sub>8</sub> 22,68	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	4,08	8,39	12,25	12,47	12,93	12,93	
<i>Dveře</i>	$\alpha_8$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	
S <sub>9</sub> 2,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,22	0,24	0,22	0,16	0,16	0,18	
<i>Ak. Podhled_Sonit</i>	$\alpha_8$	0,50	0,18	0,13	0,11	0,14	0,24	
S <sub>9</sub> 21,80	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	10,90	3,92	2,83	2,40	3,05	5,23	
<i>Ak. Obklad_Ecophon</i>	$\alpha_8$	0,25	0,80	1,00	1,00	1,00	1,00	
S <sub>9</sub> 10,20	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	2,55	8,16	10,20	10,20	10,20	10,20	
CELKEM	A [m <sup>2</sup> ]	49,19	46,65	51,40	50,99	49,90	52,05	
S 328,08	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,15	0,14	0,16	0,16	0,15	0,16	
	$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,16	0,15	0,17	0,17	0,17	0,17	
<b>T [s] podle Sabina</b>		<b>0,75</b>	<b>0,79</b>	<b>0,72</b>	<b>0,72</b>	<b>0,74</b>	<b>0,71</b>	
<b>T [s] podle Eyringa</b>		<b>0,69</b>	<b>0,73</b>	<b>0,66</b>	<b>0,66</b>	<b>0,68</b>	<b>0,65</b>	
T <sub>0</sub> [s]		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	



## B. UČEBNA III.B

Tabulka 39: Výsledky měření v učebně III.B

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Reproduktor 1</b>						
M1	2,39	2,06	2,11	2,17	2,09	1,80
	2,39	2,02	2,15	2,22	2,19	1,85
T20/T30	2,27	1,93	1,64	2,09	2,18	1,75
	2,62	1,86	1,72	2,26	2,16	1,81
M2	2,20	2,14	2,05	2,10	2,07	1,77
	2,62	2,08	2,24	2,13	2,10	1,81
T20/T30	2,44	2,26	2,21	2,12	2,04	1,75
	2,75	1,96	2,07	2,19	2,11	1,83
M3	1,86	1,93	2,03	2,21	2,17	1,84
	2,26	2,13	2,16	2,23	2,15	1,85
T20/T30	1,60	1,51	2,02	2,31	2,10	1,80
	2,20	2,06	2,13	2,17	2,13	1,87
<b>Reproduktor 2</b>						
M1	2,15	2,00	1,97	2,16	2,01	1,77
	2,42	2,15	2,17	2,11	2,05	1,81
T20/T30	2,33	1,96	2,17	2,05	2,07	1,81
	2,31	1,87	2,04	2,20	2,09	1,84
M2	1,93	1,95	2,54	2,18	2,05	1,80
	1,94	2,03	2,20	2,12	2,03	1,81
T20/T30	1,95	2,18	2,20	2,10	2,01	1,83
	2,25	1,98	2,13	2,17	2,06	1,86
M3	2,39	2,09	2,02	2,13	2,11	1,76
	2,11	1,98	2,10	2,18	2,13	1,83
T20/T30	1,35	1,73	2,03	2,19	2,06	1,83
	2,39	2,08	1,97	2,20	2,05	1,79
<b>průměr</b>	2,07	1,98	2,08	2,15	2,08	1,79
	2,36	2,02	2,09	2,18	2,10	1,83

Tabulka 40: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav

Objem V [m <sup>3</sup> ]	<b>239,40</b>		(posluchárna do 250 m <sup>3</sup> )					
Povrch	$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]						
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000	
<i>Stěny_omítka hladká</i>	$\alpha_1$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	
S <sub>1</sub> 100,50	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	6,03	6,03	6,03	6,03	5,03	4,02	
<i>Strop_omítka hladká</i>	$\alpha_2$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	
S <sub>2</sub> 62,70	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	3,76	3,76	3,76	3,76	3,14	2,51	
<i>Okna_dvojsklo</i>	$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	
S <sub>3</sub> 24,80	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	3,72	1,24	0,74	0,74	0,50	0,50	
<i>Podlaha_linoleum</i>	$\alpha_4$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	
S <sub>4</sub> 67,50	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,35	1,35	2,03	2,70	2,70	3,38	
<i>Tabule</i>	$\alpha_5$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
S <sub>6</sub> 3,10	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
<i>Lavice, židle, skříňe</i>	$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	
S <sub>7</sub> 48,90	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	5,38	5,87	5,38	3,91	3,91	4,40	
<i>Žáci</i>	$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57	
S <sub>8</sub> 22,68	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	4,08	8,39	12,25	12,47	12,93	12,93	
<i>Dveře</i>	$\alpha_8$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	
S <sub>9</sub> 2,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,22	0,24	0,22	0,16	0,16	0,18	
CELKEM	A [m <sup>2</sup> ]	25,47	27,81	31,34	30,71	29,29	28,84	
S 332,18	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,08	0,08	0,09	0,09	0,09	0,09	
	$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,08	0,09	0,10	0,10	0,09	0,09	
<b>T [s] podle Sabina</b>		<b>1,53</b>	<b>1,40</b>	<b>1,25</b>	<b>1,27</b>	<b>1,33</b>	<b>1,35</b>	
<b>T [s] podle Eyringa</b>		<b>1,47</b>	<b>1,34</b>	<b>1,19</b>	<b>1,21</b>	<b>1,27</b>	<b>1,29</b>	
T <sub>0</sub> [s]		0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	

Tabulka 41: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1

Objem V [m <sup>3</sup> ]		<b>239,40</b>	(posluchárna do 250 m <sup>3</sup> )					
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny_omítka hladká		$\alpha_1$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04
S <sub>1</sub>	86,10	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	5,17	5,17	5,17	5,17	4,31	3,44
Strop_omítka hladká		$\alpha_2$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04
S <sub>2</sub>	0,00	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Okna_dvojsklo		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>3</sub>	24,80	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	3,72	1,24	0,74	0,74	0,50	0,50
Podlaha_linoleum		$\alpha_4$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05
S <sub>4</sub>	67,50	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,35	1,35	2,03	2,70	2,70	3,38
Tabule		$\alpha_5$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
S <sub>6</sub>	3,10	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93
Lavice, židle, skříně		$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>7</sub>	48,90	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	5,38	5,87	5,38	3,91	3,91	4,40
Žáci		$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57
S <sub>8</sub>	22,68	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	4,08	8,39	12,25	12,47	12,93	12,93
Dveře		$\alpha_8$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>9</sub>	2,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,22	0,24	0,22	0,16	0,16	0,18
Ak. Podhled_Rockfon		$\alpha_8$	0,35	0,25	0,15	0,15	0,25	0,20
S <sub>9</sub>	62,70	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	21,95	15,68	9,41	9,41	15,68	12,54
Ak. Obklad_Rockfon		$\alpha_8$	0,25	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
S <sub>9</sub>	14,90	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	3,73	11,18	14,90	14,90	14,90	14,90
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	46,52	50,04	51,02	50,39	56,01	53,19
S	332,68	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,14	0,15	0,15	0,15	0,17	0,16
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,15	0,16	0,17	0,16	0,18	0,17
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>0,84</b>	<b>0,78</b>	<b>0,76</b>	<b>0,77</b>	<b>0,70</b>	<b>0,73</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>0,78</b>	<b>0,72</b>	<b>0,70</b>	<b>0,71</b>	<b>0,64</b>	<b>0,67</b>
T <sub>0</sub> [s]			0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Tabulka 42: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2

Objem V [m <sup>3</sup> ]	<b>239,40</b>		(posluchárna do 250 m <sup>3</sup> )					
Povrch	$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]						
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]	A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000	
<i>Stěny_omítka hladká</i>	$\alpha_1$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	
S <sub>1</sub> 100,50	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	6,03	6,03	6,03	6,03	5,03	4,02	
<i>Strop_omítka hladká</i>	$\alpha_2$	0,06	0,06	0,06	0,06	0,05	0,04	
S <sub>2</sub> 34,10	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	2,05	2,05	2,05	2,05	1,71	1,36	
<i>Okna_dvojsklo</i>	$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02	
S <sub>3</sub> 24,80	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	3,72	1,24	0,74	0,74	0,50	0,50	
<i>Podlaha_linoleum</i>	$\alpha_4$	0,02	0,02	0,03	0,04	0,04	0,05	
S <sub>4</sub> 67,50	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,35	1,35	2,03	2,70	2,70	3,38	
<i>Tabule</i>	$\alpha_5$	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	0,30	
S <sub>6</sub> 3,10	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	0,93	
<i>Lavice, žídle, skříňe</i>	$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	
S <sub>7</sub> 48,90	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	5,38	5,87	5,38	3,91	3,91	4,40	
<i>Žáci</i>	$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57	
S <sub>8</sub> 22,68	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	4,08	8,39	12,25	12,47	12,93	12,93	
<i>Dveře</i>	$\alpha_8$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09	
S <sub>9</sub> 2,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,22	0,24	0,22	0,16	0,16	0,18	
<i>Ak. Podhled_Ecophon</i>	$\alpha_8$	0,50	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00	
S <sub>9</sub> 28,60	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	14,30	24,31	24,31	24,31	28,60	28,60	
<i>Ak. Obklad_Ecophon</i>	$\alpha_8$	0,35	0,25	0,35	0,20	0,25	0,15	
S <sub>9</sub> 31,30	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	10,96	7,83	10,96	6,26	7,83	4,70	
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	49,01	58,23	64,89	59,57	64,28	60,99
S	363,48	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,13	0,16	0,18	0,16	0,18	0,17
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,14	0,17	0,20	0,18	0,19	0,18
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>0,80</b>	<b>0,67</b>	<b>0,60</b>	<b>0,66</b>	<b>0,61</b>	<b>0,64</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>0,74</b>	<b>0,61</b>	<b>0,55</b>	<b>0,60</b>	<b>0,55</b>	<b>0,58</b>
T <sub>0</sub> [s]			0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

## C. JÍDELNA

Tabulka 43: Výsledky měření v jídelně

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Reproduktor 1</b>						
M1	2,15	2,95	3,66	3,85	3,05	2,50
	2,12	2,52	3,49	3,67	3,11	2,48
T20/T30	2,44	3,31	3,43	3,68	3,17	2,49
	2,43	2,39	3,35	3,57	3,25	2,45
M2	1,90	2,67	3,05	3,56	3,13	2,56
	2,25	2,57	3,44	3,63	3,24	2,54
T20/T30	2,27	2,48	3,08	3,50	3,80	2,55
	2,36	2,65	3,47	3,60	3,21	2,55
M3	2,57	2,00	3,54	3,68	3,34	2,59
	2,42	2,54	3,46	3,70	3,22	2,58
T20/T30	3,24	2,37	3,41	3,55	3,26	2,50
	2,52	2,48	3,44	3,65	3,18	2,54
<b>Reproduktor 2</b>						
M1	2,37	2,79	3,35	3,63	3,11	2,38
	2,62	2,49	3,38	3,63	3,16	2,54
T20/T30	2,44	2,02	3,47	3,57	3,11	2,52
	2,60	2,42	3,52	3,60	3,07	2,51
M2	2,78	2,28	3,54	3,78	3,14	2,46
	2,51	2,42	3,41	3,65	3,07	2,50
T20/T30	2,60	2,97	3,78	3,51	3,36	2,55
	2,49	2,56	3,43	3,55	3,31	2,52
M3	3,09	2,81	3,58	3,48	3,33	2,60
	2,76	2,72	3,44	3,57	3,21	2,60
T20/T30	2,57	2,63	3,63	3,45	3,34	2,35
	2,68	2,66	3,50	3,48	3,18	2,56
<b>průměr</b>	2,54	2,61	3,46	3,60	3,26	2,50
	2,48	2,54	3,44	3,61	3,18	2,53

Tabulka 44: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav

Objem V [m <sup>3</sup> ]		<b>410,65</b>						
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny_omítka omyvatel.		$\alpha_1$	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
S <sub>1</sub>	138,11	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	2,76	2,76	1,38	1,38	1,38	1,38
Strop_omítka omyvatel.		$\alpha_2$	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
S <sub>2</sub>	124,29	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	2,49	2,49	1,24	1,24	1,24	1,24
Okna_dvojsklo		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>3</sub>	20,00	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	3,00	1,00	0,60	0,60	0,40	0,40
Podlaha_dlažba		$\alpha_4$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
S <sub>4</sub>	125,49	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,25	1,25	1,25	1,25	2,51	5,02
Otvor do kuchyně		$\alpha_5$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
S <sub>5</sub>	8,80	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
Stoly		$\alpha_6$	0,11	0,12	0,11	0,08	0,08	0,09
S <sub>6</sub>	98,10	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	10,79	11,77	10,79	7,85	7,85	8,83
Žáci		$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57
S <sub>7</sub>	52,70	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	9,49	19,50	28,46	28,99	30,04	30,04
Dveře		$\alpha_8$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>8</sub>	4,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,60	0,20	0,12	0,12	0,08	0,08
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	35,66	44,25	49,13	46,71	48,78	52,27
S	571,49	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,06	0,08	0,09	0,08	0,09	0,09
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,06	0,08	0,09	0,09	0,09	0,10
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>1,88</b>	<b>1,51</b>	<b>1,36</b>	<b>1,43</b>	<b>1,37</b>	<b>1,28</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>1,82</b>	<b>1,45</b>	<b>1,30</b>	<b>1,37</b>	<b>1,31</b>	<b>1,22</b>
T <sub>0</sub> [s]			0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Tabulka 45: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1

Objem V [m <sup>3</sup> ]		<b>410,65</b>						
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny_omítka omyvatel.		$\alpha_1$	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
S <sub>1</sub>	123,17	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	2,46	2,46	1,23	1,23	1,23	1,23
Strop_omítka omyvatel.		$\alpha_2$	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
S <sub>2</sub>	95,69	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	1,91	1,91	0,96	0,96	0,96	0,96
Okna_dvojsklo		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>3</sub>	20,00	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	3,00	1,00	0,60	0,60	0,40	0,40
Podlaha_dlažba		$\alpha_4$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
S <sub>4</sub>	125,49	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,25	1,25	1,25	1,25	2,51	5,02
Otvor do kuchyně		$\alpha_5$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
S <sub>5</sub>	8,80	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
Stoly		$\alpha_6$	0,11	0,12	0,09	0,07	0,07	0,08
S <sub>6</sub>	98,10	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	10,79	11,77	8,83	6,87	6,87	7,85
Žáci		$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57
S <sub>7</sub>	52,70	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	9,49	19,50	28,46	28,99	30,04	30,04
Dveře		$\alpha_8$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>8</sub>	4,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,60	0,20	0,12	0,12	0,08	0,08
Ak. Podhled_Ecophon		$\alpha_8$	0,50	0,85	0,85	0,85	1,00	1,00
S <sub>9</sub>	29,20	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	14,60	24,82	24,82	24,82	29,20	29,20
Ak. Obklad_Obersound		$\alpha_8$	0,55	0,80	0,85	0,75	0,55	0,40
S <sub>9</sub>	15,60	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	8,58	12,48	13,26	11,70	8,58	6,24
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	57,97	80,68	84,81	81,82	85,14	86,30
S	572,75	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,10	0,14	0,15	0,14	0,15	0,15
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,11	0,15	0,16	0,15	0,16	0,16
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>1,15</b>	<b>0,83</b>	<b>0,79</b>	<b>0,82</b>	<b>0,79</b>	<b>0,78</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>1,10</b>	<b>0,77</b>	<b>0,73</b>	<b>0,76</b>	<b>0,73</b>	<b>0,72</b>
T <sub>0</sub> [s]			0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70

Tabulka 46: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2

Objem V [m <sup>3</sup> ]		<b>410,65</b>						
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
Stěny_omítka omyvatel.		$\alpha_1$	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
S <sub>1</sub>	133,79	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	2,68	2,68	1,34	1,34	1,34	1,34
Strop_omítka omyvatel.		$\alpha_2$	0,02	0,02	0,01	0,01	0,01	0,01
S <sub>2</sub>	4,05	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	0,08	0,08	0,04	0,04	0,04	0,04
Okna_dvojsklo		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>3</sub>	20,00	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	3,00	1,00	0,60	0,60	0,40	0,40
Podlaha_dlažba		$\alpha_4$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,04
S <sub>4</sub>	125,49	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	1,25	1,25	1,25	1,25	2,51	5,02
Otvor do kuchyně		$\alpha_5$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
S <sub>6</sub>	8,80	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28	5,28
Stoly		$\alpha_6$	0,11	0,12	0,09	0,07	0,07	0,08
S <sub>7</sub>	98,10	$A_6 = S_6 \cdot \alpha_6$	10,79	11,77	8,83	6,87	6,87	7,85
Žáci		$\alpha_7$	0,18	0,37	0,54	0,55	0,57	0,57
S <sub>8</sub>	52,70	$A_7 = S_7 \cdot \alpha_7$	9,49	19,50	28,46	28,99	30,04	30,04
Dveře		$\alpha_8$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>9</sub>	4,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,60	0,20	0,12	0,12	0,08	0,08
Ak. Podhled_Rockfon		$\alpha_8$	0,35	0,25	0,15	0,15	0,25	0,20
S <sub>9</sub>	120,24	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	42,08	30,06	18,04	18,04	30,06	24,05
Ak. Obklad_Sonit		$\alpha_8$	0,20	0,38	0,77	0,80	0,58	0,71
S <sub>9</sub>	4,90	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,98	1,86	3,77	3,92	2,84	3,48
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	76,23	73,68	67,73	66,44	79,46	77,57
S	572,07	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,13	0,13	0,12	0,12	0,14	0,14
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,14	0,14	0,13	0,12	0,15	0,15
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>0,88</b>	<b>0,91</b>	<b>0,99</b>	<b>1,01</b>	<b>0,84</b>	<b>0,86</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>0,82</b>	<b>0,85</b>	<b>0,93</b>	<b>0,95</b>	<b>0,78</b>	<b>0,80</b>
T <sub>0</sub> [s]			0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70



## D. TĚLOCVIČNA

Tabulka 47: Výsledky měření v tělocvičně

	125	250	500	1000	2000	4000
<b>Reproduktor 1</b>						
M1	0,85	1,32	2,16	2,99	3,15	2,32
	1,49	1,39	2,28	3,14	3,19	2,43
T20/T30	1,33	1,47	2,04	3,11	3,15	2,21
	1,49	1,41	2,16	3,24	3,20	2,39
M2	1,33	1,11	2,19	3,12	3,21	2,39
	1,29	1,24	2,32	3,14	3,27	2,51
	1,67	1,56	2,25	3,08	3,34	2,43
	1,52	1,32	2,39	3,14	3,29	2,47
M3	1,36	0,95	2,01	3,18	3,37	2,41
	1,42	1,31	2,26	3,15	3,29	2,52
	1,71	1,17	1,81	3,26	3,27	2,34
	1,72	1,31	2,17	3,32	3,28	2,42
<b>Reproduktor 2</b>						
M1	1,11	1,48	2,03	3,25	3,15	2,36
	1,11	1,49	2,26	3,28	3,16	2,47
T20/T30	1,78	1,42	2,35	3,15	3,29	2,32
	1,51	1,46	2,30	3,28	3,28	2,43
M2	1,35	1,67	1,99	3,16	3,34	2,35
	1,36	1,38	2,21	3,16	3,25	2,42
	0,70	1,10	2,07	3,27	3,18	2,52
	1,14	1,20	2,26	3,26	3,20	2,55
M3	1,73	1,10	2,06	3,10	3,19	2,40
	1,60	1,36	2,29	3,14	3,24	2,46
	1,37	1,36	2,29	3,05	3,17	2,45
	1,35	1,43	2,25	3,19	3,18	2,46
<b>průměr</b>	1,36	1,31	2,10	3,14	3,23	2,38
	1,42	1,36	2,26	3,20	3,24	2,46
T20/T30						

Tabulka 48: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, původní stav

Objem V [m <sup>3</sup> ]		1930,50						
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Stěny_omítka hrubá</i>		$\alpha_1$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>1</sub>	326,80	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	49,02	35,95	35,95	39,22	32,68	29,41
<i>Strop_dřevěný obklad</i>		$\alpha_2$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>2</sub>	362,00	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	21,72	50,68	47,06	39,82	39,82	47,06
<i>Dřevěný obklad stěn</i>		$\alpha_3$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>3</sub>	167,20	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	10,03	23,41	21,74	18,39	18,39	21,74
<i>Okna_dvojsklo</i>		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>4</sub>	75,00	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	11,25	3,75	2,25	2,25	1,50	1,50
<i>Podlaha_Gumová</i>		$\alpha_4$	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,12
S <sub>5</sub>	296,30	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	35,56	35,56	32,59	28,74	29,63	35,56
<i>Otvor do nářad'ovny</i>		$\alpha_5$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
S <sub>6</sub>	4,70	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82
<i>Dveře</i>		$\alpha_8$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>7</sub>	4,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,24	0,56	0,52	0,44	0,44	0,52
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	130,64	152,72	142,93	131,68	125,28	138,60
S	1236,00	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,11	0,12	0,12	0,11	0,10	0,11
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,11	0,13	0,12	0,11	0,11	0,12
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>2,41</b>	<b>2,06</b>	<b>2,20</b>	<b>2,39</b>	<b>2,51</b>	<b>2,27</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>2,28</b>	<b>1,93</b>	<b>2,07</b>	<b>2,26</b>	<b>2,38</b>	<b>2,14</b>
T <sub>0</sub> [s]			1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30

Tabulka 49: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 1

Objem V [m <sup>3</sup> ]		<b>1930,50</b>						
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Stěny_omítka hrubá</i>		$\alpha_1$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>1</sub>	326,80	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	49,02	35,95	35,95	39,22	32,68	29,41
<i>Strop_dřevěný obklad</i>		$\alpha_2$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>2</sub>	362,00	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	21,72	50,68	47,06	39,82	39,82	47,06
<i>Dřevěný obklad stěn</i>		$\alpha_3$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>3</sub>	167,20	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	10,03	23,41	21,74	18,39	18,39	21,74
<i>Okna_dvojsklo</i>		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>4</sub>	75,00	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	11,25	3,75	2,25	2,25	1,50	1,50
<i>Podlaha_Gumová</i>		$\alpha_4$	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,12
S <sub>5</sub>	296,30	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	35,56	35,56	32,59	28,74	29,63	35,56
<i>Otvor do nářad'ovny</i>		$\alpha_5$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
S <sub>6</sub>	4,70	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82
<i>Dveře</i>		$\alpha_8$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>7</sub>	4,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,24	0,56	0,52	0,44	0,44	0,52
<i>Ak. Obklad_sonit</i>		$\alpha_8$	0,20	0,38	0,77	0,80	0,58	0,71
S <sub>7</sub>	191,10	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	38,22	72,62	147,15	152,88	110,84	135,68
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	168,86	225,34	290,07	284,56	236,12	274,29
S	1427,10	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,12	0,16	0,20	0,20	0,17	0,19
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,13	0,17	0,23	0,22	0,18	0,21
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>1,86</b>	<b>1,40</b>	<b>1,08</b>	<b>1,11</b>	<b>1,33</b>	<b>1,15</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>1,75</b>	<b>1,28</b>	<b>0,97</b>	<b>0,99</b>	<b>1,22</b>	<b>1,03</b>
T <sub>0</sub> [s]			1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30

Tabulka 50: Výpočet doby dozvuku podle Sabina a Eyringa, varianta 2

Objem V [m <sup>3</sup> ]		1930,50						
Povrch		$\alpha_i$ (-)	Kmitočet f [Hz]					
Plocha S <sub>i</sub> [m <sup>2</sup> ]		A <sub>i</sub> (m <sup>2</sup> )	125	250	500	1000	2000	4000
<i>Stěny_omítka hrubá</i>		$\alpha_1$	0,15	0,11	0,11	0,12	0,10	0,09
S <sub>1</sub>	326,80	$A_1 = S_1 \cdot \alpha_1$	49,02	35,95	35,95	39,22	32,68	29,41
<i>Strop_dřevěný obklad</i>		$\alpha_2$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>2</sub>	362,00	$A_2 = S_2 \cdot \alpha_2$	21,72	50,68	47,06	39,82	39,82	47,06
<i>Dřevěný obklad stěn</i>		$\alpha_3$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>3</sub>	167,20	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	10,03	23,41	21,74	18,39	18,39	21,74
<i>Okna_dvojsklo</i>		$\alpha_3$	0,15	0,05	0,03	0,03	0,02	0,02
S <sub>4</sub>	75,00	$A_3 = S_3 \cdot \alpha_3$	11,25	3,75	2,25	2,25	1,50	1,50
<i>Podlaha_Gumová</i>		$\alpha_4$	0,12	0,12	0,11	0,10	0,10	0,12
S <sub>5</sub>	296,30	$A_4 = S_4 \cdot \alpha_4$	35,56	35,56	32,59	28,74	29,63	35,56
<i>Otvor do nářad'ovny</i>		$\alpha_5$	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60	0,60
S <sub>6</sub>	4,70	$A_5 = S_5 \cdot \alpha_5$	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82	2,82
<i>Dveře</i>		$\alpha_8$	0,06	0,14	0,13	0,11	0,11	0,13
S <sub>7</sub>	4,00	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	0,24	0,56	0,52	0,44	0,44	0,52
<i>Ak. Obklad_ecophon</i>		$\alpha_8$	0,20	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
S <sub>7</sub>	128,80	$A_8 = S_8 \cdot \alpha_8$	25,76	96,60	128,80	128,80	128,80	128,80
CELKEM		A [m <sup>2</sup> ]	156,40	249,32	271,73	260,48	254,08	267,40
S	1364,80	$\alpha_m = A/S$ (-)	0,11	0,18	0,20	0,19	0,19	0,20
		$\alpha_E = -\ln(1-\alpha_m)$ (-)	0,12	0,20	0,22	0,21	0,21	0,22
<b>T [s] podle Sabina</b>			<b>2,01</b>	<b>1,26</b>	<b>1,16</b>	<b>1,21</b>	<b>1,24</b>	<b>1,18</b>
<b>T [s] podle Eyringa</b>			<b>1,89</b>	<b>1,14</b>	<b>1,04</b>	<b>1,09</b>	<b>1,12</b>	<b>1,06</b>
T <sub>0</sub> [s]			1,30	1,30	1,30	1,30	1,30	1,30