ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

DIPLOMOVÁ PRÁCE

AKUSTIKA RESTAURACÍ A JÍDELEN

ACOUSTICS OF RESTAURANTS AND CANTEENS

Bc. Jaroslav Barnáš

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

2018/2019

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
Fakulta stavební
Thákurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Barnáš Jméno: Jaroslav Osobní číslo: 423189

Zadávající 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 restaurací a jídelen

Název diplomové práce anglicky: Acoustics of restaurants and canteens

Pokyny pro vypracování:
Diplomová práce se bude věnovat restauracím a jídelnám (případně jiným vnitřním prostorům s podobným účelem užívání) z hlediska prostorové akustiky a ochrany před hlukem. Součástí práce bude rešerše současného stavu poznání dané problematiky, zaměřená na přístupy k hodnocení, doporučená řešení a příklady z praxe. Dále bude práce obsahovat studii vlivu různých úprav a řešení restaurací na jejich akustiku, která bude založená na simulačních výpočtech s využitím softwaru ODEON. Pokud to bude možné, práce bude doplněna příkladem řešení na konkrétní restauraci nebo jídelně.

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, odborné články

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

Datum zadání diplomové práce: 9. 10. 2018 Termín odevzdání diplomové práce: 6. 1. 2019
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

[redacted]
Podpis vedoucího práce

v. z. [redacted]
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".

9. 10. 2018
Datum převzetí zadání

[redacted]
Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Jaroslav Barnáš

Název diplomové práce: Akustika restaurací a jídelen

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: Vypracování rešerše současného stavu poznání dané problematiky, přehled různých přístupů k hodnocí akustiky restaurací, doporučená řešení a příklady z praxe. Studie vlivu úprav vnitřních prostorů na jejich akustické vlastnosti. Návrh doporučených úprav vybraného skutečného prostoru pro dosažení optimálních akustických podmínek.

Podpis vedoucího DP: [redacted] Datum: 9.10.2018

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)

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně a do seznamu literatury jsem uvedl veškeré zdroje a podklady.

V Praze dne: ..... ……..…….

Bc. Jaroslav Barnáš

Poděkování

Na tomto místě bych rád poděkoval vedoucímu mé diplomové práce panu Ing. Jiřímu Nováčkovi, Ph.D. za cenné rady a pomoc při zhotovování této práce. Dále bych chtěl poděkovat paní Haně Klimešové, za umožnění přístupu do menzy Strahov za účelem měření.

Děkuji také svým rodičům a kamarádům, za podporu a pomoc, které se mi dostávalo po celou dobu mého studia.

Obsah

Anotace 8

Annotation 9

1. Úvod 10

2. Prostorová akustika 11

2.1 Rozdělení akustiky 11

2.2 Co je prostorová akustika 11

2.3 Základní veličiny v prostorové akustice 12

2.4 Pohltivé prvky 13

2.5 Zkoumání prostorové akustiky 17

3. Prostorová akustika restauračních zařízení 19

3.1 Co jsou restaurační zařízení 19

3.2 Hodnocení z hlediska akustiky 20

3.2.1 Lombardův efekt a akustická simulace v místnosti 20

3.2.2 Index srozumitelnosti 21

3.2.3 Analytický model podle Leccese 23

3.3 Coctail party effect 26

3.4 Příklady řešení akustiky 27

4. Modelové prostory 30

4.1 Modelový prostor I 30

4.1.1 Popis prostoru 30

4.1.2 Místnost bez úprav 32

4.1.3 Místnost s akustickým podhledem 41

4.1.4 Místnost rozdělená příčkami 48

4.1.5 Výsledné zhodnocení variant 55

4.2 Modelový prostor II 57
4.2.1 Popis prostoru 57
4.2.2 Místnost bez úprav 59
4.2.3 Místnost s akustickým podhledem 68
4.2.4 Místnost rozdělená příčkami 75
4.2.5 Výsledné zhodnocení variant 82
4.3 Modelový prostor III 84
4.3.1 Popis prostoru 84
4.3.2 Místnost bez úprav 86
4.3.3 Místnost s akustickým podhledem 95
4.3.4 Místnost rozdělená příčkami 102
4.3.5 Výsledné zhodnocení variant 109
4.4 Celkové zhodnocení variant 111
5. Objekt Menza 113
5.1 Popis restaurace 113
5.2 Prostorový akustický model restaurace 115
5.3 Ruční výpočet doby dozvuku restaurace 117
5.4 Výpočet doby dozvuku pomocí softwaru Odeon 122
5.5 Měření skutečného stavu 125
5.6 Porovnání výsledků výpočtů a měření 128
5.7 Výpočet srozumitelnosti STI 128
5.8 Návrh opatření 131
5.9 Zhodnocení 133
6. Závěr 134
7. Seznam použité literatury 135
8. Seznam obrázků 138
9. Seznam tabulek 142

Anotace

Tématem mé diplomové práce je prostorová akustika restauračních zařízení a jídelen. Práci jsem rozdělil na tři části.

V úvodní části se věnuji přehledu problematiky s důrazem na aktuální přístupy k hodnocení navrhování a řešení akustiky restauračních a stravovacích zařízení a to především s ohledem na srozumitelnost řeči.

V druhé části se zaměřuji na modelovou studii vlivu velikosti, obsazenosti a dalších faktorů na akustickou pohodu v místnosti.

Třetí část jsem pojal jako případovou studii, kdy jsem ve skutečné restauraci provedl akustická měření za účelem vyhodnocení reálných akustických podmínek. Následně jsem prostor vymodeloval a navrhl jsem opatření pro optimalizaci akustických vlastností.

Klíčová slova

Prostorová akustika, restaurace a jídelny, doba dozvuku, cocktail party efekt

Annotation

I chose the spatial acoustics of restaurants and canteens as the topic of my thesis. I dividend it into free parts.

The firs part is targeted to overview of the isme, especially to achal approaches in ratings of designing and solving the acoustics in restaurants and dinning facilities, mainly in the term sof the comprehensibility of speech.

The sekond part is focused on a model study of the influence of size, occupancy and other factors to acoustic komfort in the room.

The third part is concevied as a case study where I made acoustic measurements in real restaurant to evaluace real acoustic conditions. Then, I modeled the space and suggested precautions to optimize acoustic properties.

Keywords

Spatial acoustic, restaurants and canteens, reverberation time, cocktail party effect

1. Úvod

Tématem mé diplomové práce je akustika restaurací a jídelen. Po zadání tohoto tématu jsem se rozhodl navštívit, v rámci mých finančních možností, za účelem vyhotovení této práce i jiná zařízení tohoto typu, než která obvykle navštěvuji.

Rozdíl mezi restaurací a jídelnou vidím v tom, že do restaurací se lidé chodí nejen najíst, ale i se setkat a popovídat si s přáteli nebo obchodními partnery. V restauracích stráví lidé při jedné návštěvě delší čas než v jídelně. Snahou restauratérů je, aby se návštěvníci u nich příjemně cítili a dobře se najedli a aby se k nim vraceli. Značný podíl na dobrých pocitech hostů má správně řešená akustika v daném prostoru. Do jídelen se lidé chodí hlavně najíst a ještě pokud možno rychle, menší akustický komfort příliš neřeší.

V některých jídelnách se obvykle stravují i lidé v pracovních oděvech a to má vliv na vnitřní zařízení a vybavení těchto podniků. Na podlahách bývá většinou dlažba nebo PVC, stoly dřevěné nebo s kovovýma nohama, židle dřevěné většinou bez polstrování. Naproti tomu v restauracích, zvláště těch luxusních, bývají na podlaze koberce a židle bývají polstrované, na stolech ubrusy, což vylepšuje akustické vlastnosti prostoru.

Podle mého názoru jsou majitelé restaurací, ochotni věnovat větší objem finančních prostředků na zlepšení pohody v těchto zařízeních a to i z hlediska akustiky než majitelé jídelen. I tady ale platí, že výjimka potvrzuje pravidlo.

V této práci se budu zabývat popisem toho, co je to akustika restauračních zařízení a co je pro ni důležité. Dále se pak zaměřím na jeden vybraný objekt, který akusticky změřím, posoudím a pokusím se navrhnout nějaké zlepšení jeho akustických vlastností.

2. Prostorová akustika

2.1 Rozdělení akustiky

Akustika je vědní obor, který zkoumá vznik zvukového vlnění a jeho šíření. Můžeme jí rozdělit na následující podskupiny.

Fyzikální akustika (Physical acoustics) – zkoumá vznik zvuku, jeho šíření, odrážení a pohlcování.

Hudební akustika (Musical acoustics) – se zabývá zvuky souvisejícími s hudbou.

Fyziologická akustika (Psychoacoustics) – studuje zvuky, které člověk vnímání sluchem a jeho reakce na ně.

Elektroakustika (Elektroacoustics) – zkoumá reprodukci, šíření a záznam zvuku s pomocí elektroniky.

Stavební akustika (Building acoustics) – Zkoumá vzduchovou neprůzvučnost a zvukovou izolaci stavebních konstrukcí a budov.

Prostorová akustika (Room acoustics) – se zabývá akustickými podmínkami v místnostech a sálech pro poslech hudby, nebo mluveného slova.

[1] [2] [26]

2.2 Co je to prostorová akustika

Prostorová akustika je obor akustiky, který se zabývá šířením zvuku v uzavřených prostorech. Prostorovou akustikou řešíme zejména tam, kde se klade důraz na srozumitelnost mluveného slova, nebo poslech hudby. Mezi tyto prostory patří zejména divadelní sály, kina, nahrávací studia, koncertní síně, školní třídy, přednáškové místnosti. Dalšími důležitými vlastnostmi je například dobrá slyšitelnost různých hlášení, jako třeba požární upozornění nebo hlášení sportovních výsledků a také útlum hluku z pozadí, tento je důležitý zejména proto, aby diváci nerušili sportovce, mezi budovy s těmi to požadavky patří například sportovní haly, plavecké bazény a prostory určené ke shromažďování osob.

Základními prostředky, které ovlivňují prostorovou akustiku, jsou velikost a tvar prostoru, pohltivost jeho povrchů, rozmístění a velikost odrazivých povrchů. [3] [4]

2.3 Základní veličiny v prostorové akustice

Doba dozvuku

Doba dozvuku je veličina, která nám sděluje, za jak dlouho klesne hladina akustického tlaku v naší posuzované místnosti o 60dB. Tato hodnota může být stanovena výpočtem, nebo změřena na místě.

Doba dozvuku se nejčastěji počítá pomocí vztahu, který vytvořil americký fyzik Wallace Clement Sabine. Pro výpočet musíme znát objem místnosti V [m^3], celkovou pohltivost ploch místnosti A [m^2], písmenem T [s] značíme dobu dozvuku, výpočet se provádí v oktávových pásmech. Obvyklé rozmezí výpočtu je 125 Hz – 4000 Hz. Výsledná doba dozvuku je pro řeč vyhovující, jeli nižší než 1s. [4]

$$T = 0{,}163\frac{V}{A}\ [s] \quad (1)$$

Index srozumitelnosti

Index srozumitelnosti je veličina, která udává poměr slov, kterým člověk rozuměl oproti slovům, jež byla řečena. Dnes se testy srozumitelnosti dělí na testy logatomické (logatomická slova jsou vymyšlená slova, která nemají žádný skutečný význam) a slabikové poznatelnosti, slovní a větné srozumitelnosti. Čím více se zkušební výrazy blíží skutečnému jazyku, tím má zkouška blíže k reálnému stavu řeči v místnosti. Metoda, kde se výrazy co nejvíce blíží skutečné řeči, má jednu nevýhodu a to tu, že se její objektivita zmenšuje. Posluchač si slova, která špatně slyšel, domýšlí podle zkušeností a kontextu. Úspěšnost zaslechnutých slov záleží také na složení vzorku osob. Zásadní vliv na porozumění má mimo jiné sociální zázemí posluchačů, jejich vzdělání, povolání, inteligence, věk a další Tato metoda je cenově a časově náročná. [5] [6] [8]

STI – Speech transmission index (Index přenosu řeči)

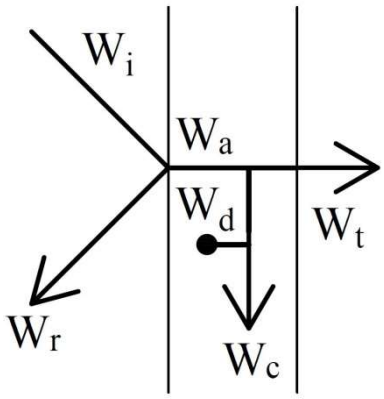
Mezi nejčastěji používané metody pro objektivní určení srozumitelnosti řeči patří metoda Index přenosu řeči. Tato metoda vznikala již během sedmdesátých let minulého století a od té doby je stále zdokonalována a vyvíjena. Přesnost STI za hlučných podmínek je závislá především na škále signálů řeči. Tato metoda měří rozsah, ve kterém se nemění pomalé modulace obálky časové intenzity, ty jsou stěžejní ve zhoršených poslechových

prostředích pro dobrou srozumitelnost řeči. Při testování pomocí STI jsou řečové signály rozděleny přístrojem do jednotlivých oktávových pásem s frekvencí od 125 Hz do 4000 Hz, výjimečně až to 8000 Hz. Signál obálky se vypočítává pro každé oktávové pásmo zvlášť. Výsledná hodnota STI je jedno číslo a to získáme jako vážený součet všech čísel pro jednotlivá oktávová pásma. Poté se porovná s hodnocením dle obr. 1. [6] [7] [14]

Obr. 1 Hodnocení STI [14]

2.4 Pohltivé prvky

Pokud je zkoumaný prostor bez jakýchkoli pohltivých prvků, zvuk se odráží od okolních povrchů a tím se zvětšuje doba dozvuku, což má za následek zhoršení srozumitelnosti při konverzaci či poslechu hudby. Pro snížení doby dozvuku se do řešených prostorů umisťují pohltivé prvky. Jednotlivé izolační prvky mají různou zvukovou pohltivost, která se vyjadřuje činitelem zvukové pohltivosti α [-], ta se pohybuje v hodnotách od 0 (tj. prvek, který veškeré zvukové vlny odrazí zpět do místnosti a nic nepohltí) až do 1 (tj. prvek, který pohltí veškeré zvukové vlny a nic neodrazí zpět do zkoumaného prostoru). Činitel zvukové pohltivosti, vypočteme jako akustický výkon pohlcené části vlny W_a [W] dělený akustickým výkonem dopadající vlny W_i [W]. Jednotlivé izolační materiály mají různé izolační vlastnosti pro různé frekvence zvuku. Pohltivé prvky lze rozdělit do tří skupin, porézní absorbéry, rezonanční absorbéry a samostatné absorbéry. [8] [9]



W_i – akustický výkon dopadající vlny

W_r – akustický výkon odražené části vlny

W_a – akustický výkon pohlcené části vlny

W_t – akustický výkon vlny přenesené do sousedního prostoru

W_c – akustický výkon vlny šířené dále konstrukcemi budovy

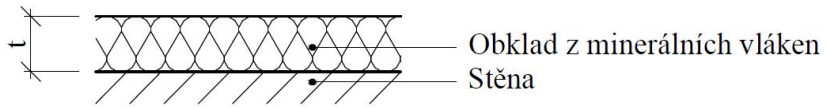
W_d – akustický výkon vlny transformovaného na jiný výkon

$W_a = W_t + W_c + W_d$ [W] $\qquad \alpha = \frac{W_a}{W_i}$ [-] [8]

Obr. 2 Rozdělení akustického výkonu

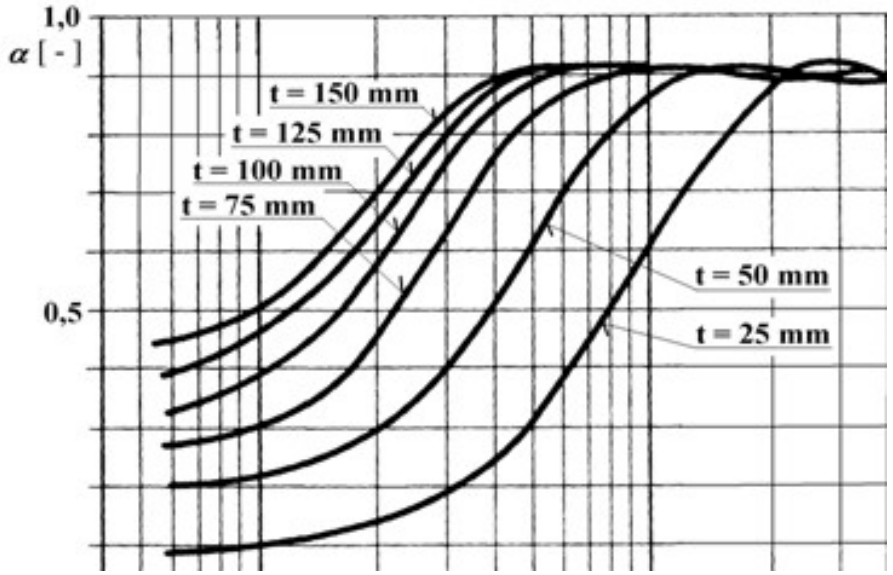
Porézní absorbéry

Jsou to materiály o velké pórovitosti, ta může dosahovat až 99%. Patří sem například minerální vlna, ztuhlá pěna. Díky vysoké pórovitosti jsou póry mezi sebou propojeny a zároveň otevřeny do místnosti. Princip fungování těchto prvků je takový, že zvukové vlny, se v absorbéru přemění třením v tepelnou energii. Pohlcovač může být umístěný přímo na stěně, nebo se mezi ním a stěnou nechá vzduchová mezera. U porézních absorbérů s rostoucí tloušťkou roste i jejich pohltivost, izolační vlastnosti jsou lepší především ve vyšších frekvencích zvuků. Nejvyšší účinnosti pro kolmý dopad zvukových vln dosahuje pohlcovač, když je umístěn v jedné čtvrtině vlnové délky zvukového signálu od pevné konstrukce. [8] [9]



Obr. 3 Schéma stěny s obkladem z minerálních vláken

Na obrázku 4 je znázorněný graf, na kterém je příklad křivky činitele zvukové pohltivosti α [-], pro obvyklé spektrum frekvencí. Konstrukce je tvořena obkladem z minerálních vláken, ta je umístěna přímo na stěně bez vzduchové mezery. Graf znázorňuje kolmý dopad zvukové vlny na stěnu. Je zde 6 křivek, každá pro jinou tloušťku absorbéru t [mm]. Z grafu je zřejmé, že s rostoucí tloušťkou minerální vlny, se činitel zvukové pohltivosti α [-] zvyšuje převážně v nižších frekvencích. [5] [8] [9] [10] [12]



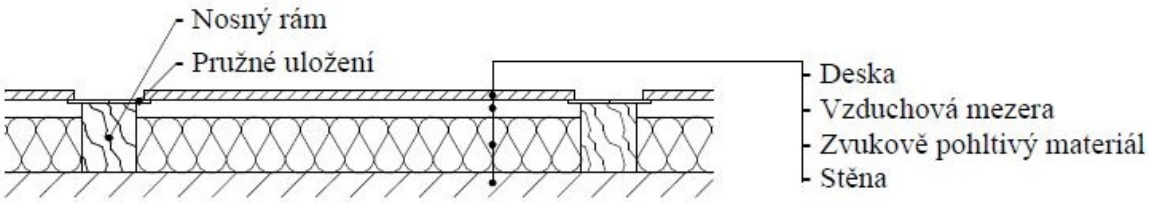
Obr. 4 Graf činitele pohltivosti α [-] obkladu z min. vláken [10]

Tyto materiály jsou velmi měkké a křehké, proto jsou velmi náchylné k poškození. Pro jejich otevřenou pórovitost je zde nebezpečí zanášení pórů prachem a bakteriemi, které by mohlo způsobit vážné hygienické problémy. Z tohoto důvodu není vhodné jejich použití bez jejich dalších úprav. Nejběžnější úpravou je zatavení desek do tenké fólie např. z polyethylenu, ta bývá obvykle tloušťky jen okolo 40 µm a je doplněna tkaninou nebo pletivem. [5] [8] [9] [10] [12] [15]

Obr. 5 Příklad porézních absorbérů umístěných na stropě [15]

Rezonanční absorbéry

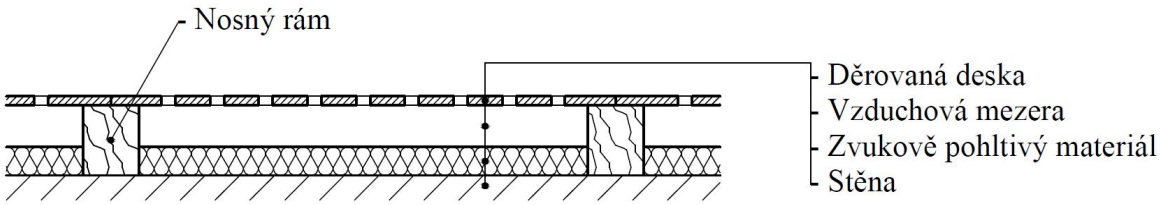
Rezonanční absorbéry jsou tvořeny akusticky oscilačním nebo mechanickým systémem. Fungují na principu přeměny zvukových vln, které se dostanou do absorbéru, na mechanický pohyb desky nebo membrány. Mezi tyto prvky můžeme řadit tzv. membránové absorbéry, ty jsou tvořeny těsnými deskami, za kterými je buď uzavřená vzduchová mezera, nebo je tato mezera vyplněna porézním materiálem. [8] [9] [12]



Obr. 6 Příklad membránového absorbéru

Dalšími typem rezonančních absorbérů jsou dutinové rezonátory. Princip fungování těchto rezonátorů je takový, že vzduchové částice kmitají v otvoru, který spojuje vnitřek rezonátoru s místností. Jejich účinnost se odvíjí od rozměrů vzduchových dutin, tvaru otvoru a jeho velikosti. Stejně jako u membránových absorbérů lze i sem vložit do dutiny nějaký porézní materiál, který pak zvětší účinnost celého prvku. Na podobném principu se používají absorbéry už staletí. Z archeologických vykopávek je patrné, že již v antických chrámech

zabudovávali do konstrukcí jako absorbéry hliněné amfory. V současnosti je více druhů rezonátorů, mezi často používané patří například tvárnicové rezonátory, ty jsou tvořeny sestavou speciálních tvárnic nebo keramikou. Také často používané jsou děrované desky, ty se mohou vyrábět z ocelových nebo hliníkových plechů, dřevovláknitých desek nebo sádrokartonu. Děrované desky jsou na rozdíl od membránových rezonátorů pevně uchyceny k nosnému rámu. Jejich pohltivé vlastnosti se upravují pomocí velikostí a rozmístění otvorů. [8] [9] [11] [12]



Obr. 7 Příklad absorbéru typu děrovaná deska

Samostatné absorbéry

Zařazujeme sem akustická tělesa. Jsou to prostorové prvky, které mají vysokou zvukovou pohltivost. Obvykle bývají vyrobeny z porézního materiálu, který je vyztužen kovovou kostrou. Prvek je poté chráněn proti poškození pomocí pletiva, tkaniny nebo perforované fólie. Tato tělesa jsou vyráběna v různých geometrických tvarech jako například jehlan, kužel, kvádr, válec. Umisťují se obvykle pod stropní konstrukci. Tím že tyto prvky jsou prostorové, rozbíjejí rovinou plochu akustických obkladů, dají se umístit blíže ke zdrojům zvuku a tím zvětšují celkovou akustickou pohltivost prostoru. Každé seskupení těles má svoji specifickou pohltivost. Místo, kde zvuk zaniká a odráží se mezi jednotlivými prvky, je natolik složité určit, že to nelze jednoduše matematicky spočítat a proto se musí stanovit měřením na místě. Mimo jiné sem můžeme zařadit i všechny volně stojící prvky, které mohou pohlcovat zvuk, jako například stůl, židle, skříň a další. [5] [8] [9]

Obr. 8 Příklad akusticky pohltivých těles [16]

Akustické pohlcovače v restauračních zařízeních

V minulosti byla restaurační zařízení plná různého nábytku a výzdoby. Každý stůl měl ubrus, na oknech byly závěsy a záclony, kolem stěny dřevěný obklad, ze stropů vystupovaly dřevěné trámy. Samotné prostory těchto zařízení byly členěny dispozicí budovy. Všechny tyto prvky se podílely na pohlcování zvuků. V dnešní době je moderní, aby restaurace byly, dalo by se říci až sterilní, čisté rovné stěny bez obkladu, stoly bez ubrusů okna bez záclon a závěsů, také materiály se změnily, místo dřevěných stropů se dnes používá převážně železobeton. Právě kvůli snížení počtu těchto sekundárních pohlcovačů se začaly používat pohlcovače vyjmenované v předchozích odstavcích. Nejvíce se však rozšířily pohlcovače, které co nejméně zmenšují prostor , mají dobrou mechanickou odolnost proti poškození a zapadají do designového řešení restauračního zařízení. Mezi takové pohlcovače patří akustické podhledy a obklady stěn.

Obr. 9 Příklad akustický podhled z desek Knauf Cleano RE [17]

2.5 Zkoumání prostorové akustiky

Prostorová akustika místnosti se dá zkoumat více způsoby. Hlavním cílem všech výpočtů a měření je získání co nejpřesnějších objektivních dat popisujících zvukové pole ve vymezeném prostoru určeném pro poslech řeči nebo hudby. Všeobecně můžeme rozdělit zkoumání prostoru na dva základní způsoby. První způsob prostor řeší početně, ať už pomocí softwaru nebo ručního výpočtu. Druhý způsob měří prostor pomocí přístrojů přímo na místě. [5]

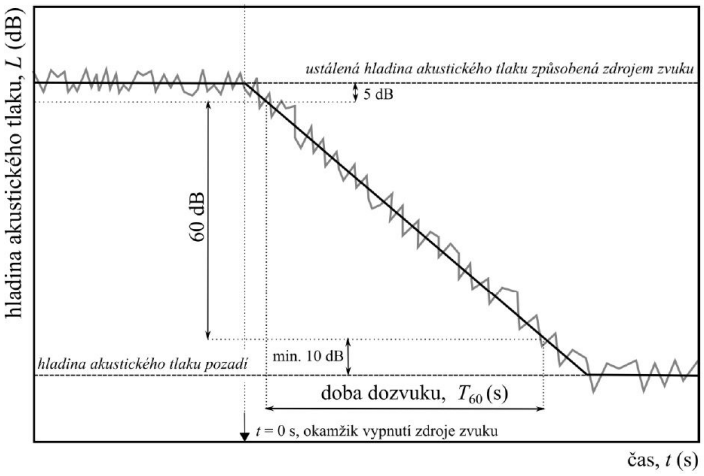
Výpočty prostorové akustiky

U prostorové akustiky se nejčastěji počítá doba dozvuku, viz. kapitola 2.3 této práce. Výpočet doby dozvuku lze provádět buď ručně podle Sabina, Eyringa nebo Millingtona nebo pomocí softwaru, jakým je například program Odeon. Výpočet softwarem bývá přesnější a méně časově náročný. Pro výpočet musíme znát veškeré povrchy a prvky, které se nacházejí v prostoru. Z těchto důvodů se výpočet užívá obvykle ve fázi projektování, při kterém nejsou měření na místě možná. Pomocí výpočtů lze objekt akusticky navrhnout ještě před výstavbou, kde by pozdější úpravy akustiky znamenaly vysoké investiční náklady. Z hlediska přesnosti vychází výpočet oproti měření přímo na místě méně přesně. [5] [8]

Měření prostorové akustiky

Měření prostoru se zaměřuje pouze na veličiny, které ovlivňují kvalitu poslechu ať už přímo nebo nepřímo. Mezi veličiny, které slouží k porovnání jednotlivých místností a ověření, že místnost odpovídá normovým požadavkům, patří nejčastěji používaná doba dozvuku. Základní princip měření doby dozvuku je ten, že v místnosti je zdroj zvuku, a měřící zařízení, které měří, za jak dlouho klesne hladina akustického tlaku o 60dB. K měření doby dozvuku se používají rozdílné metody podle velikosti měřených prostorů. Pro menší prostory, jako jsou kanceláře, restaurace, učebny, se používá metoda přerušovaného šumu. V místnosti je umístěn všesměrný reproduktor, který vytváří zvukový signál a měřící zařízení. U větších prostor, jako jsou například sportovní haly, koncertní sály, společenské auly, se využívá měření pomocí integrované impulzové odezvy, zde se jako zvukový impulz využívá například výstřel z pistole. [3] [5]

Obr. 10 Všesměrný reproduktor [18]



Obr. 11 Pokles kladiny akustického tlaku [4]

3. Prostorová akustika restauračních zařízení

3.1 Co jsou to restaurační zařízení

Restaurační zařízení, jsou prostory, kde jsou podávané nápoje a jídla určená ke konzumaci přímo v místě prodeje. Tímto souhrnným názvem můžeme označit celou řadu podniků, kde se lidé scházejí, ať už za účelem konzumace jídla, pití, zábavy. Mezi restaurační zařízení patří, restaurace, hospody, pivnice, kavárny, školní jídelny, podnikové jídelny, vysokoškolské menzy. V těchto prostorách se setkáváme s různými druhy zvuků a hluků, které musíme při návrhu konstrukcí těchto prostor úplně nebo částečně potlačit, aby pobyt zde byl pro návštěvníka příjemný.

Důležitým hlediskem pro hodnocení restauračních zařízení je jejich hlučnost, kterou řeší prostorová akustika. Je nutné místnost navrhnout tak, aby si hosté u každého stolu mohli spolu povídat a zároveň nerušili ostatní hosty. Pro tento účel je nutné vybavit místnosti pohlcovači zvuku, aby se zkrátila doba dozvuku. V některých typech restauračních zařízení se v místnosti pouští hudba nebo jsou zde pořádané živé koncerty. S těmito zdroji zvuku je také nutné počítat. Dalšími zdroji hluku mohou být zvuky z kuchyně, zvuky od technických zařízení a z dalších sousedních provozů přenášené do restaurace. Zároveň je třeba omezit přenášení zvuků z restaurace do sousedních objektů i do venkovního prostoru. Těmito hledisky se zabývá stavební akustika.

3.2 Hodnocení z hlediska akustiky

3.2.1 Lombardův efekt a akustická simulace v místnosti

Lombardův efekt [4] je fenomén, který říká, že při konverzaci člověk zvyšuje hlasitost mluvy, aby přehlušil okolní akustický hluk, čímž tento hluk zvyšuje a ostatní lidé dělají to samé. Je to jakýsi předchůdce cocktail party effectu. Tento fenomén je pojmenovaný po francouzském otorinolaryngologovi Étienne Lombardovi (1869 - 1920), který byl první, kdo jsi tohoto efektu všiml roku 1909. Zvýšení vážené hladiny akustického tlaku A je popsáno lineární funkcí. Lombardův efekt nastává až od určitých hodnot, pro hluk okolí od 45 dB nebo pro úrovně řeči nad 55 dB.

$$L_{S,A,1m} = 55 + c * \left(L_{N,A} - 45\right) \ [dB] \quad (2)$$

Kde $L_{S,A,1m}$ je vážená hladina akustického tlaku řeči, $L_{N,A}$ je vážená hladina akustického tlaku okolního hluku a c je Lombardův sklon. Bylo provedeno množství nezávislých měření, z nichž vyplynulo, že pouze pro Lombardův sklon $c = 0,5$ výsledky odpovídají naměřeným hodnotám. Na tuto rovnici navázal ve své práci J. H. Rindel ve svém predikčním modelu. Navrhovaný model se může vyjádřit rovnicí:

$$L_{N,A} = 93 - 20\,log\left(\frac{A}{N_S}\right) = 93 - 20\,log\left(\frac{A * g}{N}\right) \ [dB] \quad (3)$$

Kde A je ekvivalentní pohltivá plocha [m^2] místnosti a N_S je počet současně mluvících osob. Do celkové pohltivosti by měla být zahrnuta i absorpce zvuku jednotlivými osobami, která především záleží na jejich oblečení. Obvykle se její hodnota pohybuje mezi 0,2 až 0,5 m^2. V porovnání s absorpcí místnosti se tyto hodnoty zanedbávají. Obvykle je znám pouze celkový počet osob. Pro účely výpočtu je nutné stanovit počet osob poslouchajících jednoho mluvčího $g = N/N_S$. Měřením bylo zjištěno, že jedna skupinka v restauraci nebo jídelně má v průměru 3,5 osoby.

Pro hodnocení akustické kvality v restauraci se často doporučuje posoudit kvalitu slovní komunikace, která se posuzuje s poměrem signálu k šumu (SNR). Výslednou kvalitu podle SNR lze rozdělit do tří kategorií, hodnota mezi 3 dB a 9 dB je hodnocena jako dobrá, mezi 0 dB a 3 dB je uspokojivá, a SNR s hodnotou pod -3 dB se charakterizuje jako nedostatečná. SNR lze definovat jako poměr signálu k hluku, je to rozdíl mezi zvukem co

vydává mluvčí ve vzdálenosti 1m od posluchače a okolního hluku v místnosti. Tento vztah získáme kombinací rovnic (2) a (3).

$$SNR = L_{S,A,1m} - L_{N,A} = -14 + 10log\left(\frac{A * g}{N}\right) \ [dB] \quad (4)$$

Tento vztah se používá pro váženou hladinu akustické tlaku okolního hluku v rozmezí 45 dB až 85 dB nebo pro váženou hladinu akustického tlaku řeči v rozmezí mezi 55 dB až 75 dB. V tomto poli může být rozsah SNR mezi +10 dB až -10 dB. Uspokojivá slovní komunikace ($SNR \geq 0\ dB$) vyžaduje absorpční plochu 6,0 – 8,0 m^2 na osobu, pro dobrou úroveň je nutná plocha 12,0 – 16,0 m^2 na osobu.

Akustická kapacita restaurace. Tento výraz vznikl kvůli, jednodušší komunikaci s laiky, kteří nedokážou pracovat s veličinami jako je doba dozvuku nebo hladina hluku. Tato veličina je definovaná jako maximální možný počet osob, které se nacházejí v objektu, aby kvalita slovní komunikace byla dostatečná. Hodnota SNR je stanovena jako číslo vyšší než -3 dB nebo hladina okolního hluku nepřesáhne 71 dB. Z toho nám vyplývá rovnice pro maximální počet osob.

$$N_{max} \cong \frac{V}{20 * T} \ [osob] \quad (5)$$

kde V je objem místnosti [m^2] a T je doba dozvuku [s]. Pokud bude počet míst menší nebo roven výpočtu, v místnosti bude možné konverzovat na vzdálenost 1m. Při překročení vypočteného množství osob se vzdálenost mezi komunikujícími bude zmenšovat. Při zvýšení kapacity místnosti na dvojnásobek oproti výpočtu, se výsledná hladina okolního hluku zvýší přibližně o 6 dB, to způsobí, že vzdálenost, na kterou je možná konverzace se sníží jen na polovinu, tedy na 0,5 m.

3.2.2 Index srozumitelnosti

Index srozumitelnosti [8], je veličina, která byla již zmíněna v kapitole 2.3. Hladina akustického tlaku A způsobená mluveným projevem, obvykle nabývá hodnot od -18 dB do +12 dB od průměrné špičkové hladiny akustického tlaku A řeči. V okamžiku, kdy hladina akustického tlaku A vyvolaného pozadím překročí hodnotu průměrné špičkové hladiny akustického tlaku A řeči zmenšenou o -12 dB, nastane počátek tzv. maskování řeči. Když má

průměrná špičková hladina akustického tlaku A řeči a průměrná špičková hladina akustického tlaku A pozadí shodný rozsah, je index srozumitelnosti *I* [-]definován rovnicí:

$$I = \frac{\left(L_{pa} + 12 - L'_{pa}\right)}{30} \quad [-] \quad (6)$$

Kde L_{pa} je průměrná špičková hladina akustického tlaku A řeči v [dB] a L'_{pa} je průměrná špičková hladina akustického tlaku A pozadí způsobená nesledovaným mluveným projevem v [dB]. Hodnota L'_{pa} musí ležet v rozmezí hodnot L_{pa} -18 dB a +12 dB. Je-li hodnota L'_{pa} < -18 dB je $I = 1$ to znamená, že v místnosti je naprostá srozumitelnost řeči. Je-li hodnota $L'_{pa} > L_{pa} + 12$ dB platí že $I = 0$ a řeč je naprosto nesrozumitelná. Výpočet L_p provedeme z rovnice:

$$L_p = L_{weq} + 10log\left[\frac{Q_0}{4 * \pi * r^2} + \frac{4 * (1 - \alpha_w)}{A}\right] \quad [dB] \quad (7)$$

První zlomek v závorce představuje pole přímých zvukových vln a druhý zlomek pole odražených zvukových vln. Kde L_{weq} je ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB] uvedená v tabulce tab. 1, Q_0 je směrový činitel řeči pro jednotlivá oktávová pásma [dB] uvedený také v tab. 1, r je vzdálenost akustického středu zdroje od bodu výpočtu v [m], pro náš účel výpočtu je vzdálenost zdroje rovna 1 m, α_w střední činitel pohltivosti [-] pro jednotlivá kmitočtová pásma a *A* je celková pohltivost v [m^2] pro jednotlivá oktávová pásma.

f [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
L_w [dB]	62,0	67,0	69,0	68,0	63,0	52,0
Q_0 [dB]	1,2	1,5	1,8	2,0	2,5	3,5

Tab. 1 Průměrná špičková hladina akustického výkonu [8]

Hodnotu k L'_{pa} lze vypočítat z hodnot pro jednotlivá oktávová pásma L'_p [dB] z rovnice:

$$L'_p = L_w + 10log\left[\frac{4n * (1 - \alpha_w)}{A}\right] \quad [dB] \quad (8)$$

Kde L_w je hladina akustického tlaku [dB] brána z tabulky tab. 1, n počet současně mluvících osob, α_w střední činitel pohltivosti [-] pro jednotlivá kmitočtová pásma a *A* je celková pohltivost v [m^2] pro jednotlivá oktávová pásma.

L_{pa} a L'_{pa} se poté vypočítají dosazením do rovnice:

$$L_{pa} = \sum_{j=1}^{n} 10^{\frac{(L_{pj}+K_A)}{10}} \quad [dB] \quad (9)$$

Kde L_{pj} [dB] je hladina akustického tlaku v j-tém kmitočtovém pásmu a K_A [dB] je korekce váhového filtru A zvukoměru v j-tém v kmitočtovém pásmu.

Výsledné vyhodnocení pracuje s tím, že každé hodnotě indexu srozumitelnosti náleží nějaká hodnota slabikové a větné srozumitelnosti, viz tabulka níže.

Index srozumitelnosti řeči I [-]	Slabiková (větná) srozumitelnost řeči S [%]
0,60 A I	≥ 85 % (velmi dobrá)
0,45 A I < 0,60	≥ 75 % (dobrá)
0,37 A I < 0,45	≥ 65 % (unavující)
I < 0,37	< 65 % (nevyhovující)

Tab. 2 Hodnocení větné srozumitelnosti [8]

3.2.3 Analytický model podle Leccese

Tento model [20] předpokládá, že zvukové pole je v místnosti rovnoměrně rozloženo a hluk pozadí, který je způsobený vnějšími zdroji, vzduchotechnikou, technickým vybavením kuchyně, považujeme za zanedbatelný. Pro prvotní návrh také zanedbáme absorpci zvuku způsobenou lidmi.

Předpokládejme, že v místnosti bude pouze jedna skupina osob, ve které bude mluvící a posluchači. V takovém případě je rušení rovno nule a hustota energie užitečného zvuku D_u [J/m^3] je patrná z rovnice:

$$D_u = D_D + D_R \ [J/m^3] \quad (10)$$

Kde D_D je hustota akustické energie přímého zvukového pole (od anglického slova direct) a D_R je hustota akustické energie odraženého zvukového pole (od anglického slova reflected). Pokud se v místnosti nachází více samostatných konverzačních skupin, hustota energie užitečného zvuku se počítá pro každou skupinu stejně ze stejné rovnice. Navíc se musí ještě spočítat hustota rušení D_n [J/m^3], ta je dána rovnicí:

$$D_n = (N-1) * D_R \quad [J/m^3] \quad (11)$$

Kde písmeno N [-] značí počet obsazených stolů neboli počet komunikačních skupin, ta se vypočte $N = \frac{M}{m}$ [-], M je počet osob v místnosti a m je počet míst u jednoho stolu. Tato rovnice je sestavena s předpokladem, že každý mluvčí má stejný akustický výkon w [W] a vzdálenost mezi jednotlivými stoly je dostatečně velká na to, aby rozhovor od jednoho stolu nebyl srozumitelný u vedlejšího stolu. Pokud toto platí, tak je poměr zvuku k zvukovému rušení η [-] definovaná jako:

$$\eta = \frac{D_u}{D_n} \text{ [-]} \quad (12)$$

Rozdíl úrovně mezi užitečným zvukem a šumem se značí ΔL a platí pro něj rovnice:

$$\Delta L = 10 \log \eta \text{ [-]} \quad (13) \qquad \eta = 10^{\Delta L/10} \text{ [-]} \quad (14)$$

Výpočet D_D a D_R se provádí pomocí následujících vzorců:

$$D_D = \frac{Q*w}{4*\pi*c*r^2} \ [J/m^3] \quad (15) \qquad D_R = \frac{4*w}{c*H} \ [J/m^3] \quad (16)$$

Kde Q je činitel směrovosti zdroje, c [m/s] je rychlost zvuku ve vzduchu, r [m] je průměrná vzdálenost mezi mluvčím a posluchači a H [m^2] je konstanta místnosti. Po dosazení vztahů (10) a (11) do rovnice (12) získáme rovnici:

$$\eta = \frac{1}{N-1} * \left(1 + \frac{D_D}{D_R}\right) = \frac{1}{N-1} * \ (1 + \ \phi^2) \ \text{[-]} \quad (17)$$

Kde platí že:

$$\phi^2 = \frac{D_D}{D_R} = \frac{r_0^2}{r^2} \text{[-]} \quad (18) \qquad \text{a} \qquad r_0^2 = \frac{Q*H}{16*\pi} \ \text{[m}^2\text{]} \quad (19)$$

Konstantu místnosti vyjádříme vztahem:

$$H = \frac{S * \ \alpha}{1 - \ \alpha} \ [m^2] \quad (20)$$

Zde α_m [-] vyjadřuje celkový průměrný činitel pohltivosti zvuku, ten se vyjadřuje ze vztahu:

$$\alpha_m * S = \alpha_p * S_p + \sum \alpha_i * S_i + N_0 * \ \mu + N_0 \ * m * \ A_{židle} + 4 * \ \mu * V + p \quad (21)$$

Kde α_p [-] je průměrný činitel pohltivosti stěn, S_p [m^2] je povrch těchto stěn, N_0 je počet stolů, u [m^2] je pohltivá plocha od desky stolu, $A_{židle}$ $[m^2]$ je ekvivalentní plocha od židlí

a μ $[m^{-1}]$ je pohltivost zvuku ve vzduchu. Celková plocha pohltivých prvků $S = S_p + \sum S_i$ $[m^2]$. Pod písmenem p $[m^2]$ je v rovnici zvuková pohltivost zvukově pohltivých podhledů nebo panelů.

$$\Delta L = 10log(1 + \phi^2) - 10log(N - 1) \quad (22)$$

Výše uvedený vzorec určuje velikost rozdílu mezi užitečným polem, které vytváří jeden mluvčí a mezi rušivým polem, které produkují ostatní mluvčí. Z této rovnice je patrné, že ΔL není závislé na zvýšení výkonu mluvčího. Pro zvýšení ΔL je jediná možnost a to zmenšit vzdálenost mezi posluchačem a mluvícím r [m], toto opatření jde jen po určitou mez, poté by rozhovor nebyl ani možný. Po dosazení $\Delta L = 0$ a úpravě, získáme rovnici:

$$r = r_c = \frac{r_0}{\sqrt{N - 2}} \quad [m] \quad (23)$$

Kde nám r_c říká, jaká musí být vzdálenost od mluvčího u kterého se pole jeho zvuku rovná zeslabení vzhledem k zbývajícím mluvícím. Minimální rozdíl mezi užitečným zvukem a rušivým zvukem k zajištění slovního porozumění u každého stolu se značí ΔL_{min}. Z této hodnoty se pomocí následující rovnice vyjádří minimální hodnota pro poměr zvuku k zvukovému rušení, který zajistí dobrou srozumitelnost.

$$\eta_{min} = 10^{\Delta L_{min}/10} \text{ [-]} \quad (24)$$

Pro dobrou srozumitelnost musí vždy platit podmínka: $\eta \geq \eta_{min}$. Pokud tato podmínka není splněna a nastala situace kdy je $\eta < \eta_{min}$ v takovém případě si hosté u jednotlivých stolů špatně rozumějí, proto řečníci instinktivně zvýší svůj hlas, což vede ke zvyšování rušivého pozadí. Poměr η zůstává stejný. Pro zajištění dobrého slovního porozumění by měl být maximální počet mluvčích N_{max}: $N \leq N_{max}$

$$N_{max} = 1 + \frac{1}{\eta_{min}} * (1 + \phi^2) \quad (25)$$

Maximální počet osob v restauraci, který plní podmínku $\Delta L > \Delta L_{min}$, způsobuje, že $M_{max} = m * N_{max}$. (26)

3.3 Cocktail party effect

Aby bylo možné zajistit v restauračních zařízeních vhodnou úroveň akustického pohodlí, je třeba zajistit, aby konverzace probíhající u jednoho stolu mohla probíhat vzájemně srozumitelným způsobem, aby se zabránilo hluku pozadí z rozhovorů probíhajících u sousedních stolů (úroveň expozice hluku pozadí z vnějších zdrojů byla v těchto prostorách prokázána jako zanedbatelná). Když se v těchto prostorách nachází několik skupin zákazníků současně, restaurační zařízení jsou zatížena velmi nepříjemným hlukem v pozadí, což přiměje každého z řečníků, aby zvýšil svůj hlas v úsilí o to, aby se slyšeli lidé sedící u stejného stolu. Instinktivně všichni ostatní mluvčí u jiných stolů napodobí toto chování, čímž přispívají k hluku v pozadí, který se stále zvyšuje v řetězové reakci známé jako „efekt koktejlové párty“.

Název „efekt koktejlové párty“, nebo také „fenomén koktejlové párty“ byl poprvé popsán britským vědcem Edwardem Colinem Cherrym, který představil toto nové slovní spojení ve své studii vydané v roce 1950. Ta se věnovala lidskému sluchovému systému a schopnosti zaměřit svou pozornost pouze na jednoho mluvčího v prostředí, kde se zároveň vyskytuje více mluvčích, jejichž konverzace se vzájemně překrývá. Tato teorie byla převzata několika dalšími vědci, dokud se jí roku 1959 neujal vědec William Maclean, který navrhl vztah zabývající se vyhodnocením maximálního počtu lidí, jež se mohou nacházet současně v restauračním zařízení a přitom byla stále zajištěna dostatečná úroveň pochopení a srozumitelnosti rozhovorů u každého stolu. Bylo poukázáno na to, že v pozorované místnosti nebo hale, v níž je umístěno několik reproduktorů, se schopnost posluchače soustředit svojí pozornost na zvuky vysílané jedním reproduktorem výrazně zmenšuje při přechodu z binunárního na monofonní poslech. Výskyt tohoto jevu závisí na řeči řečníka a jeho gestech, naše porozumění se zvyšuje, pokud se díváme na rty mluvícího. Schopnost posluchače vnímat rozhovor i v přeplněné místnosti u jednoho stolu dostatečně jasně a zřetelně, záleží na zajímavosti konverzace. [20]

3.4 Příklady řešení akustiky

Příkladů řešení prostorové akustiky restauračních zařízení je mnoho, ať už tradičních, při použití systémových prvků, nebo neobvyklých dělaných „podomácku“. Většina správně řešených objektů nevyužívá zvukově pohltivých prvků jen pro účely akustiky, ale zároveň slouží jako designový doplněk prostoru nebo dokonce je celý prostor designově přizpůsoben těmto prvkům

Restaurace Zámecký had v Dobřichovicích

Jedním z příkladů je řešení restaurace Zámecký had v Dobřichovicích, zde jsou použity jako tlumící prky různé textilie a dekorace, toto řešení klade velký důraz na estetiku prostředí, ale zároveň vytváří velmi příjemné akustické klima.

Obr. 12 Restaurace Zámecký had v Dobřichovicích [21]

Obr. 13 Restaurace Zámecký had v Dobřichovicích [21]

Jídelna anglické školy v Praze 4

Jedná se o jídelnu určenou pro 120 žáků. Jídelna je kruhového půdorysu. Její původní stav nevyhovoval z hlediska akustiky, doba dozvuku byla 8 sekund. Bylo to důsledkem obyčejného podhledu, stěn z železobetonu bez jakéhokoliv obložení a podlahové krytiny z linolea. Proto byla v roce 2013 zrekonstruována. Byl proveden výpočet a navrženo opatření, které se skládalo z akusticky perforovaného sádrokartonového podhledu doplněného akustickými tělesy, dále pak byly po obvodu umístěny akustické panely. Panely byly provedeny s důrazem na design. Výsledná doba dozvuku po rekonstrukci nepřesáhla 1,5 sekundy. [13]

Obr. 14 Pohled do jídelny [13]

Obr. 16 Pohled na akustické obklady stěn [13]

Obr. 15 Pohled na akustické těleso [13]

Entree restaurant Olomouc

Dalším příkladem zajímavě řešené akustiky v restauraci, která zároveň slouží jako estetický prvek, je restaurace Entree restaurant v Olomouci. Zde jsou použity různé dřevěné obklady, a dřevěné latě zavěšené pod stropem. Hlavním akusticky pohltivým prvkem v interiéru jsou popínavé rostliny, které obrůstají některé sloupy a stěny. Rostliny díky svým listům, a celkové pružnosti skvěle pohlcují zvuk a vytváří tak příjemné prostředí z pohledu akustiky.

Obr. 17 Restaurace Entree restaurant [22]

Obr. 18 Restaurace Entree restaurant [22]

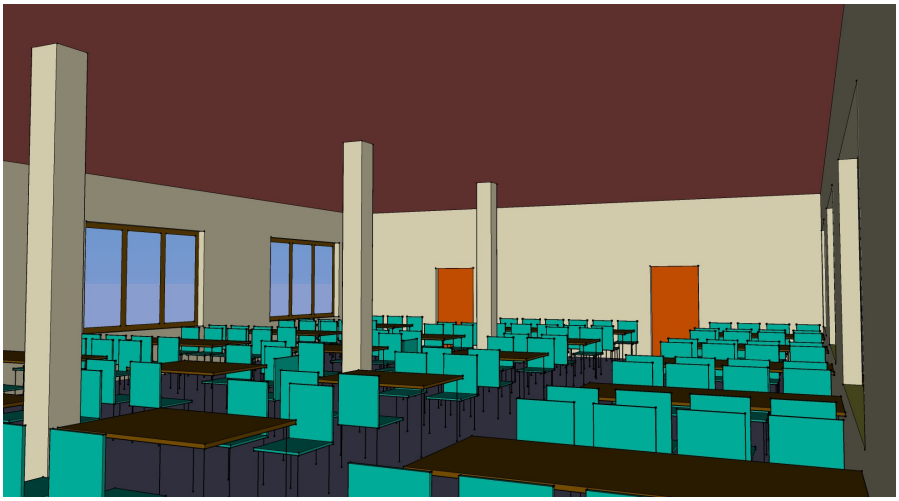
4. Modelové prostory

4.1 Modelový prostor I

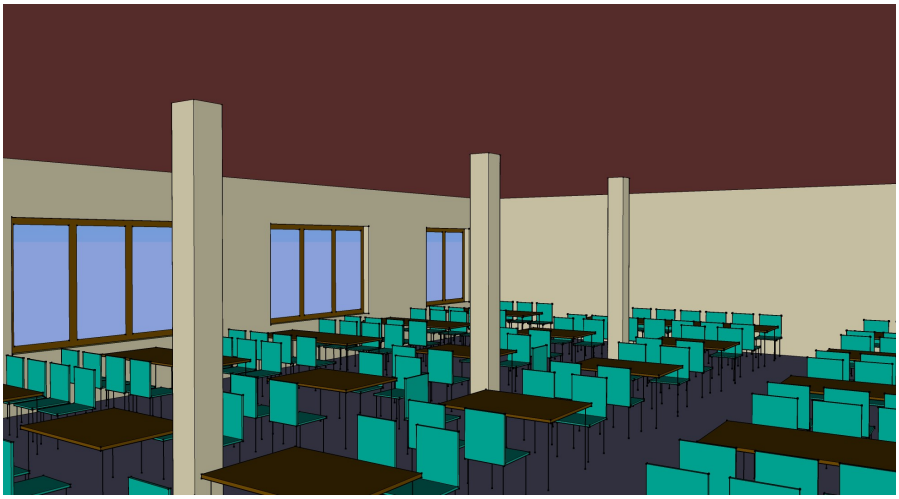
4.1.1 Popis prostoru

Modelový prostor je obdélníkového půdorysu o rozměrech 19,0 x 12,0 m a výšce 3,75m. Objekt je ze železobetonu opatřeného omítkou, na podlaze je dlažba, okna jsou dřevěná s dvojsklem. V místnosti jsou dřevěné stoly a židle. Půdorys prostoru je na obr. 21.

Postup byl takový, že nejprve jsem navrhnul model v programu Sketchup, který jsem poté převedl do softwaru Odeon. Vytvořil jsem tři modelové situace, jednu bez akustických úprav a dvě s akustickými úpravami. Pak jsem pro vytvořené situace vymodeloval obsazenost a porovnával jsem, jak se zlepšovala nebo zhoršovala srozumitelnost.



Obr. 19 Modelový prostor I z programu Sketchup – pohled ke dveřím



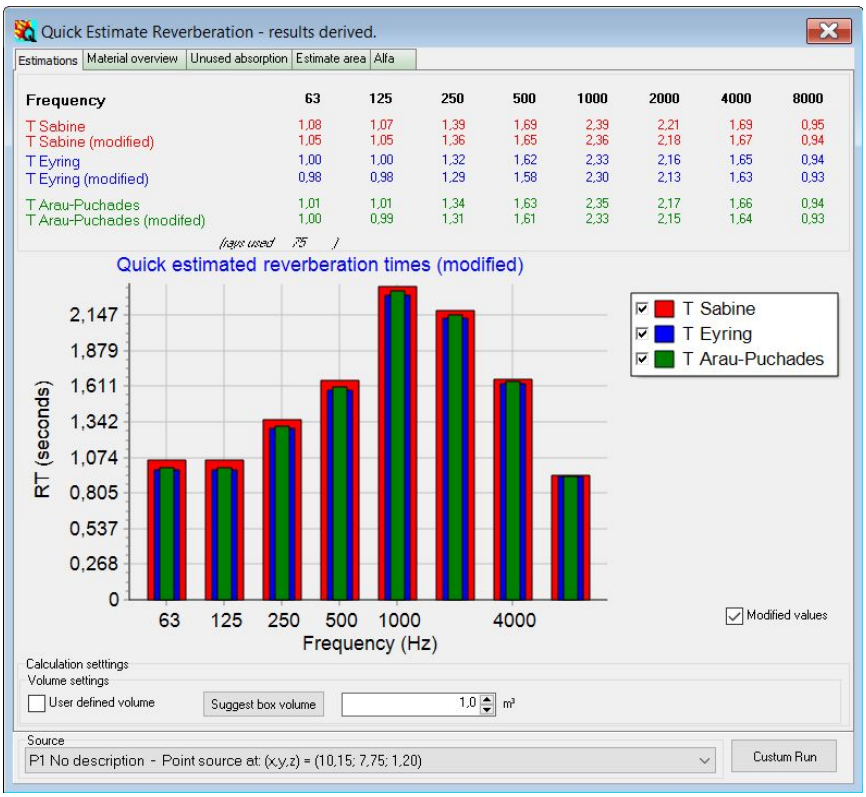
Obr. 20 Modelový prostor I z programu Sketchup – pohled od dveří

Obr. 21 Půdorys modelového prostoru I

4.1.2 Místnost bez úprav

Nejprve jsem navržený model převedl do softwaru Odeon a poté vypočítal dobu dozvuku.

Obr. 22 Modelový prostor I ze softwaru Odeon – bez úprav



Obr. 23 Doba dozvuku modelového prostoru I – bez úprav

Pro tuto modelovou situaci jsem vytvořil pět variant obsazenosti místnosti, které jsem následně vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

V této variantě je v místnosti pouze jedna komunikační dvojice, kterou tvoří jeden mluvčí a jeden posluchač. Pro výpočet STI se uvažuje, že v místnosti se nenachází žádný šum pozadí. Dvojice sedí u stolu, který je přibližně ve středu místnosti /obsazenost místnosti obr. 24/. Pro tuto variantu s jedním posluchačem byla vypočítána jedna hodnota STI /tab. 3/.

Obr. 24 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 1

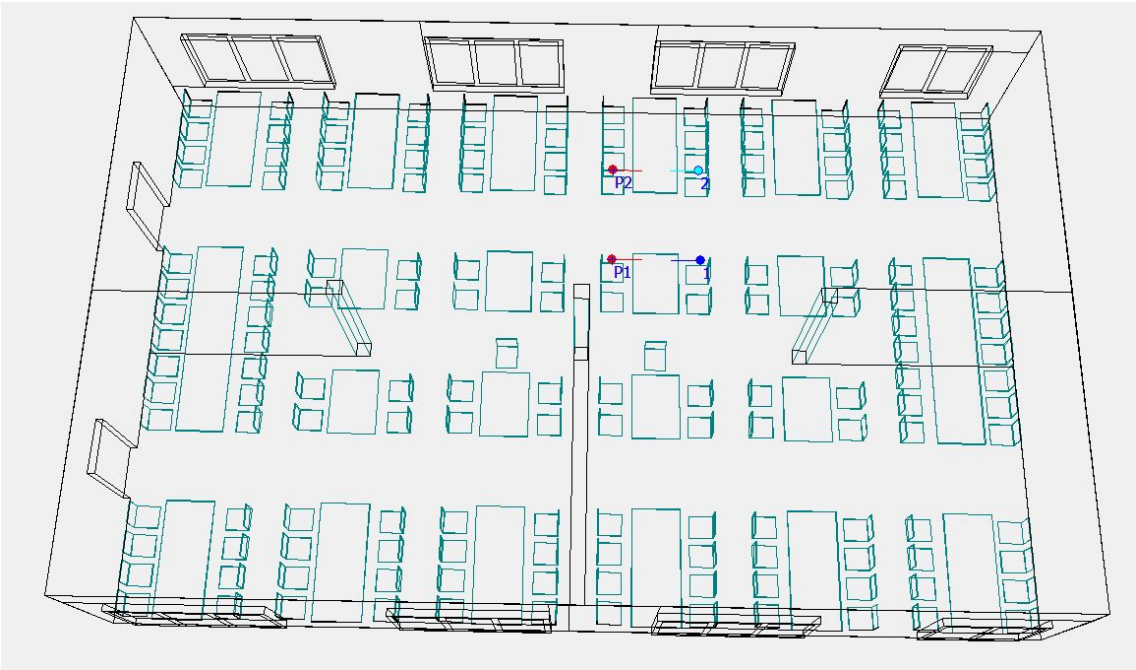
Bod	STI	Hodnocení
1	0,61	Dobrý

Tab. 3 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 1

Vypočítaná hodnota STI je hodnocena jako dobrá. Tato modelová situace ve skutečnosti obvykle nenastává a lze očekávat, že se, se zvyšující obsazeností, bude tato hodnota zhoršovat.

Varianta 2

V této variantě je k původní dvojici přidaná další dvojice s jedním mluvčím a jedním posluchačem. Tato dvojice je umístěna hned k vedlejšímu stolu. Pro výpočet STI se opět uvažuje, že není žádný šum pozadí. Předmětem zkoumání je, jak toto obsazení místnosti změní hodnotu STI /obsazenost místnosti obr. 25/.



Obr. 25 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 2

Bod	STI	Hodnocení
1	0,58	Uspokojivý
2	0,59	Uspokojivý
Průměr	0,59	Uspokojivý

Tab. 4 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 2

Vypočítané hodnoty STI po přidání pouze jednoho dalšího stolu s komunikující dvojicí klesnou v průměru o dvě setiny a hodnocení je pak pouze uspokojivé /tab. 4/.

Varianta 3

V této variantě jsou v místnosti opět dvě komunikující skupiny, ale jsou umístěny na opačných stranách místnosti /obsazenost místnosti obr. 26/. Zaměřil jsem se na to, jak se navzájem ovlivňují tyto dvě skupiny, pokud se nacházejí ve velké místnosti v největší vzdálenosti, jaká je v daném prostoru možná. Pro účely výpočtu je šum pozadí nulový.

Obr. 26 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 3

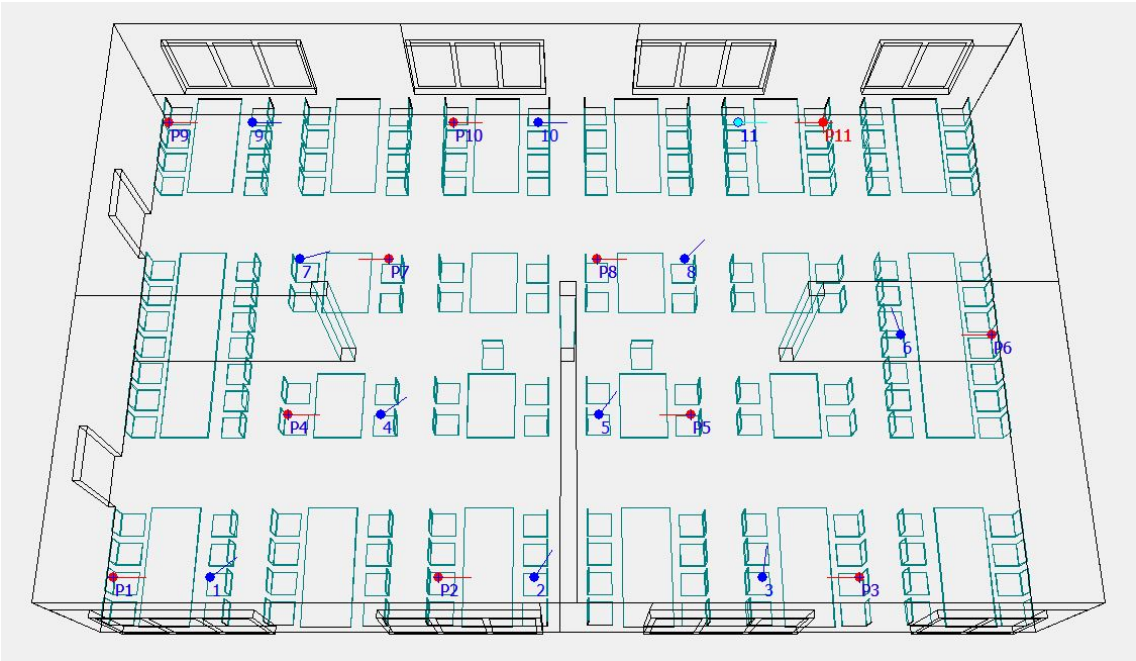
Bod	STI	Hodnocení
1	0,62	Dobrý
2	0,63	Dobrý
Průměr	0,63	Dobrý

Tab. 5 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 3

Z vypočtených hodnot STI je zřejmé, že pokud se ve velké místnosti nacházejí dvě skupiny osob v odlehlých koutech, navzájem se svou řečí neovlivňují /tab. 5/. Ke zvýšení hodnoty STI oproti variantě 1 došlo v tomto případě díky umístění posluchače do kouta místnosti, kde jej více ovlivňuje odraz zvuku od okolních stěn. Pokud variantu 3 porovnáme s variantou 2, zjistíme, že lepší hodnocení STI je při větší vzdálenosti skupin mluvčích mezi sebou.

Varianta 4

V této variantě je vymodelovaná situace, kde polovina stolů v místnosti je obsazena modelovou dvojicí a druhá polovina je prázdná. Obsazení stolů je vždy ob jeden. Toto rozvržení obsazenosti stolů bývá obvyklé. Pokud je to možné, návštěvník si raději sedne dál od jiných lidí /obsazenost místnosti obr. 27/. Pro účely výpočtu je šum pozadí opět nulový.



Obr. 27 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 4

Bod	STI	Hodnocení
1	0,50	Uspokojivý
2	0,48	Uspokojivý
3	0,47	Uspokojivý
4	0,48	Uspokojivý
5	0,47	Uspokojivý
6	0,48	Uspokojivý

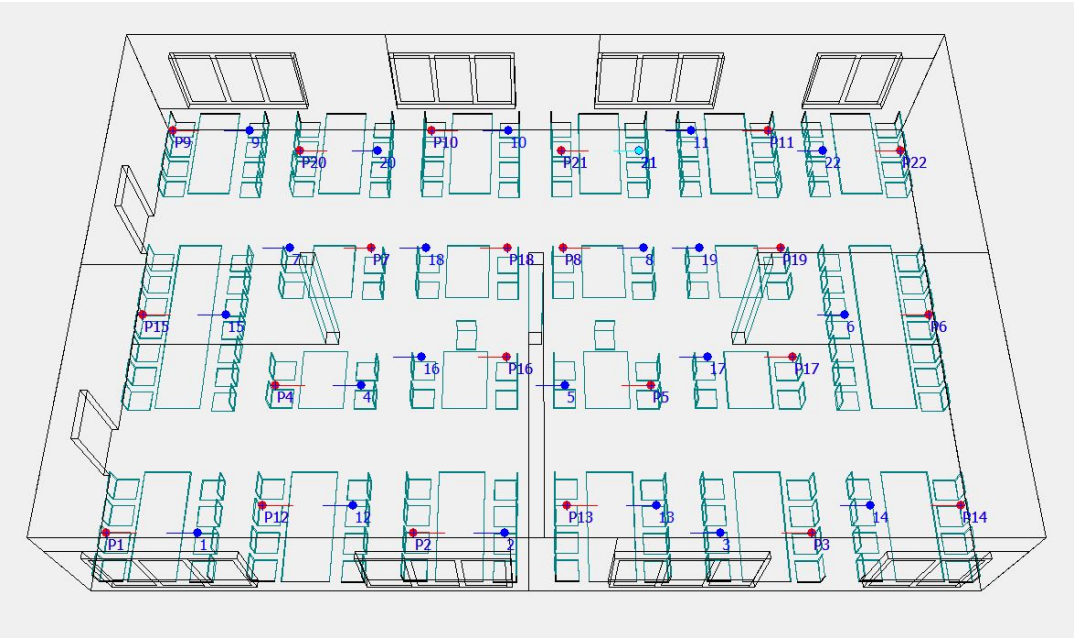
Bod	STI	Hodnocení
7	0,49	Uspokojivý
8	0,47	Uspokojivý
9	0,50	Uspokojivý
10	0,48	Uspokojivý
11	0,47	Uspokojivý
Průměr	0,48	Uspokojivý

Tab. 6 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 4

Při porovnání výsledků výpočtu STI s předchozími variantami je vidět, že hodnota STI klesla /tab. 6/.

Varianta 5

V této variantě jsou obsazeny všechny stoly v místnosti. U každého stolu se nachází jedna modelová dvojice osob, jeden mluvčí a jeden posluchač. Pro účely výpočtů je jedno kolik posluchačů se nachází u stolu, důležité jsou počty řečníků /obsazenost místnosti obr. 28/. Pro účely výpočtu je šum pozadí opět nulový.



Obr. 28 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 5

Bod	STI	Hodnocení
1	0,49	Uspokojivý
2	0,48	Uspokojivý
3	0,48	Uspokojivý
4	0,47	Uspokojivý
5	0,47	Uspokojivý
6	0,48	Uspokojivý
7	0,48	Uspokojivý
8	0,47	Uspokojivý
9	0,49	Uspokojivý
10	0,48	Uspokojivý
11	0,48	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
12	0,48	Uspokojivý
13	0,48	Uspokojivý
14	0,49	Uspokojivý
15	0,48	Uspokojivý
16	0,47	Uspokojivý
17	0,47	Uspokojivý
18	0,47	Uspokojivý
19	0,47	Uspokojivý
20	0,48	Uspokojivý
21	0,48	Uspokojivý
22	0,49	Uspokojivý
Průměr	0,48	Uspokojivý

Tab. 7 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 5

V porovnání s variantou 4, kde byla pouze polovina mluvčích, se průměrná hodnota STI nezměnil /tab. 7/.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2] a činitele zvukové pohltivosti α [-] pro jednotlivé konstrukce jsem převzal z modelu vytvořeného pro program Odeon. V tabulce tab. 8 jsou uvedeny plochy jednotlivých konstrukcí a jejich vypočítané ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	4,84	0,48
NB1 - Stůl	0,10	101,02	10,10
NB2 - Židle	0,10	146,68	14,67
NB3 - Parapet	0,10	3,3	0,33
OK1 - Okna sklo	0,05	33,57	1,68
OK2 - Okna rám	0,10	10,43	1,04
OP1 - Stěna ŽB	0,05	206,91	10,35
P1 - Podlaha dlažba	0,01	228,06	2,28
S1 - Strop ŽB	0,05	227,73	11,39
Celkem			52,32

Tab. 8 Modelový prostor I bez úprav

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 24.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	58,62
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	61,81
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	3,19

Tab. 9 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 3,19 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 25.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	64,65
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	64,82
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	0,18

Tab. 10 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je 0,18 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 26.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	64,65
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	64,82
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	0,18

Tab. 11 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je 0,18 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá. Hodnota SNR varianty 3 je stejná jako u varianty 2 proto, že se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 27.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	11
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	79,45
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	72,23
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-7,23

Tab. 12 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -7,23 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 28.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	22
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	85,48
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	75,24
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-10,24

Tab. 13 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 5

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 5 je -10,24 dB. Dle kapitoly 3.2.1 nesmí být vážená hladina akustického tlaku hluku okolí vyšší než 85 dB. Vzhledem k tomu, že pro tuto variantu je vážená hladina akustického tlaku hluku 85,48 dB, nelze tuto metodu použít.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

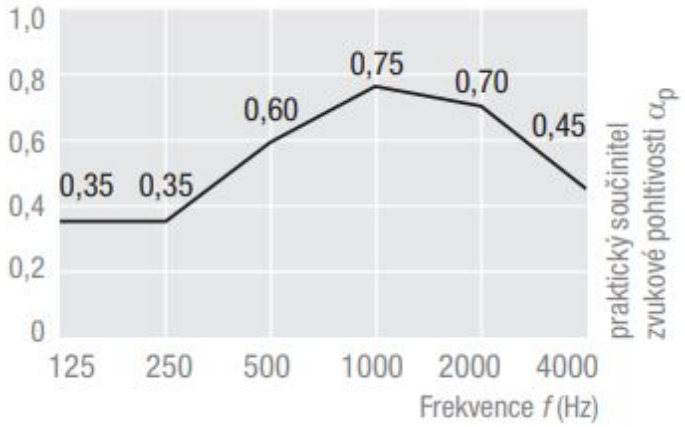
	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	861,31
Doba dozvuku	T	s	2,39
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	18

Tab. 14 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru I bez úprav

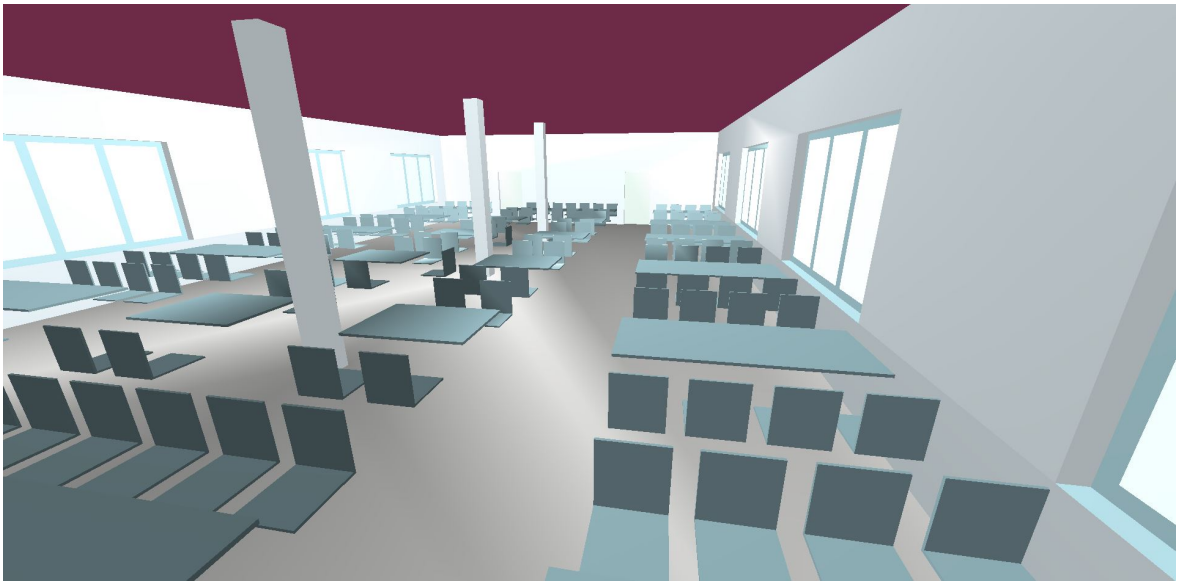
Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 18. V místnosti je v současnosti navrženo 158 míst, což mnohokrát přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.1.3 Místnost s akustickým podhledem

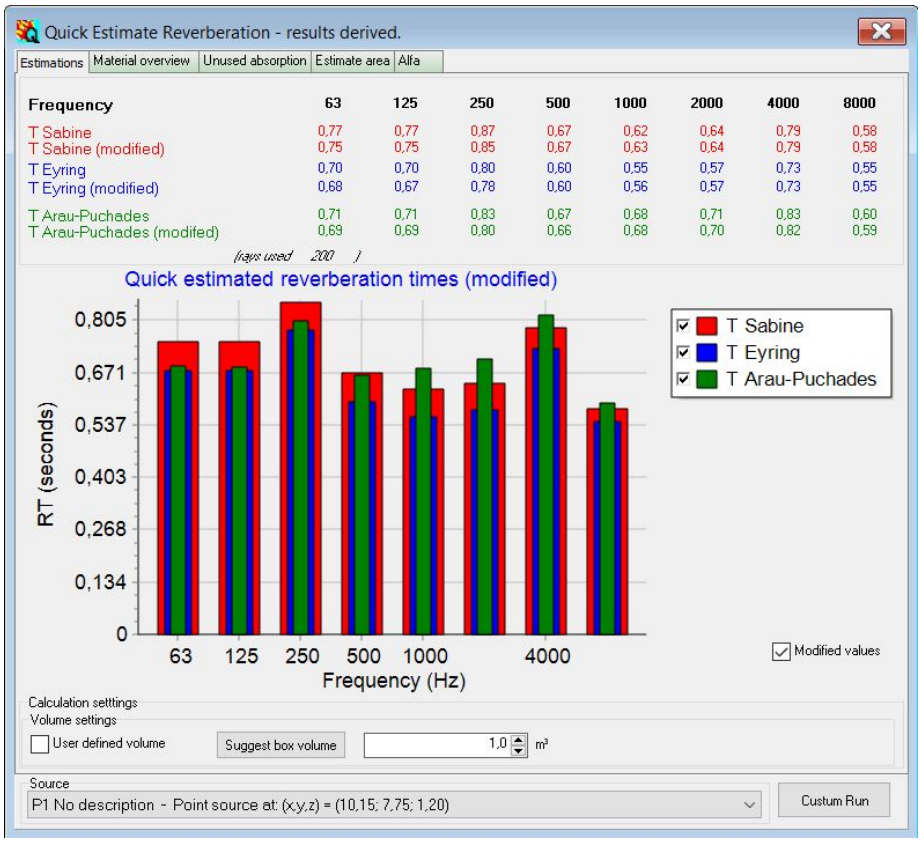
Modelový prostor jsem doplnil o akustický podhled, který zkrátí dobu dozvuku a vytvoří lepší akustické vlastnosti místnosti. Postup výpočtu byl stejný jako v kapitole 4.1.2. Do modelového prostoru jsem navrhl celoplošný akustický podhled THERMATEX® Laguna micro perforiert se součinitelem zvukové pohltivosti, jehož hodnoty jsou uvedeny na obr. 29. Model prostoru jsem upravil a následně přepočítal.



Obr. 29 Graf součinitele pohltivosti akustického podhledu [23]



Obr. 30 Modelový prostor I ze softwaru Odeon – s akustickým podhledem



Obr. 31 Doba dozvuku modelového prostoru I - s akustickým podhledem

V porovnání s akusticky neupravenou místností z bodu 4.1.2 se doba dozvuku snížila téměř na polovinu. Pro tuto modelovou situaci jsem opět vytvořil 5 variant obsazenosti místnosti, shodných s variantami z bodu 4.1.2, které jsem vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 1 v kapitole 4.1.2 /obr. 24/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,81	Vynikající

Tab. 15 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 1

Porovnáním s variantou 1 z kapitoly 4.1.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,2, čímž se hodnocení posunulo z dobrého na vynikající.

Varianta 2

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 2 v kapitole 4.1.2 /obr. 25/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,77	Vynikající
2	0,78	Vynikající
Průměr	0,78	Vynikající

Tab. 16 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 2

V porovnání s variantou 2 z kapitoly 4.1.2 se hodnota STI zlepšil o 0,19, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na vynikající.

Varianta 3

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 3 v kapitole 4.1.2 /obr. 26/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,80	Vynikající
2	0,79	Vynikající
Průměr	0,80	Vynikající

Tab. 17 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 3

Porovnáním s variantou 3 z kapitoly 4.1.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,17, čímž se hodnocení posunulo z dobrého na vynikající. Srovnáním hodnot STI varianty 3 a varianty 2 jsem zjistil, že u varianty 2 se hodnota STI zlepšila o 0,02 méně než u varianty 3. To je zapříčiněno tím, že posluchač byl umístěný do kouta místnosti.

Varianta 4

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 4 v kapitole 4.1.2 /obr. 27/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,67	Dobrý
2	0,66	Dobrý
3	0,65	Dobrý
4	0,67	Dobrý
5	0,66	Dobrý
6	0,66	Dobrý

Bod	STI	Hodnocení
7	0,68	Dobrý
8	0,66	Dobrý
9	0,68	Dobrý
10	0,66	Dobrý
11	0,65	Dobrý
Průměr	0,66	Dobrý

Tab. 18 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 4

Porovnáním s variantou 4 z kapitoly 4.1.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,18, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré.

Varianta 5

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 5 v kapitole 4.1.2 /obr. 28/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,66	Dobrý
2	0,65	Dobrý
3	0,65	Dobrý
4	0,66	Dobrý
5	0,66	Dobrý
6	0,67	Dobrý
7	0,66	Dobrý
8	0,66	Dobrý
9	0,66	Dobrý
10	0,65	Dobrý
11	0,65	Dobrý

Bod	STI	Hodnocení
12	0,66	Dobrý
13	0,65	Dobrý
14	0,66	Dobrý
15	0,66	Dobrý
16	0,66	Dobrý
17	0,66	Dobrý
18	0,67	Dobrý
19	0,66	Dobrý
20	0,67	Dobrý
21	0,66	Dobrý
22	0,66	Dobrý
Průměr	0,66	Dobrý

Tab. 19 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 5

Porovnáním s variantou 5 z kapitoly 4.1.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,18, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2]a činitele zvukové pohltivosti α [-] jednotlivých konstrukcí jsem převzal z modelu vytvořeného pro program Odeon. V tabulce tab. 20 jsou plochy jednotlivých konstrukcí a jejich ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	4,84	0,48
NB1 - Stůl	0,10	101,02	10,10
NB2 - Židle	0,10	146,68	14,67
NB3 - Parapet	0,10	3,3	0,33
OK1 - Okna sklo	0,05	33,57	1,68
OK2 - Okna rám	0,10	10,43	1,04
OP1 - Stěna ŽB	0,05	193,79	9,69
P1 - Podlaha dlažba	0,01	228,06	2,28
S2 - Akus. podhled	0,60	227,73	136,64
Celkem			176,91

Tab. 20 Modelový prostor I s akustickým podhledem

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 24.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	48,04
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	56,52
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	8,48

Tab. 21 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 8,48 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 25.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	54,07
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	59,53
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	5,47

Tab. 22 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je 5,47 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 26.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	54,07
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	59,53
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	5,47

Tab. 23 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je 5,47 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá. Hodnota SNR je u varianty 3 stejná jako u varianty 2 proto, že se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 27.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	11
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	68,87
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	66,94
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-1,94

Tab. 24 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 4 je -1,94 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 28.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	22
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	74,89
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	69,95
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-4,95

Tab. 25 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 5

Vypočtená hodnota SNR pro variantu 5 je -4,95 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

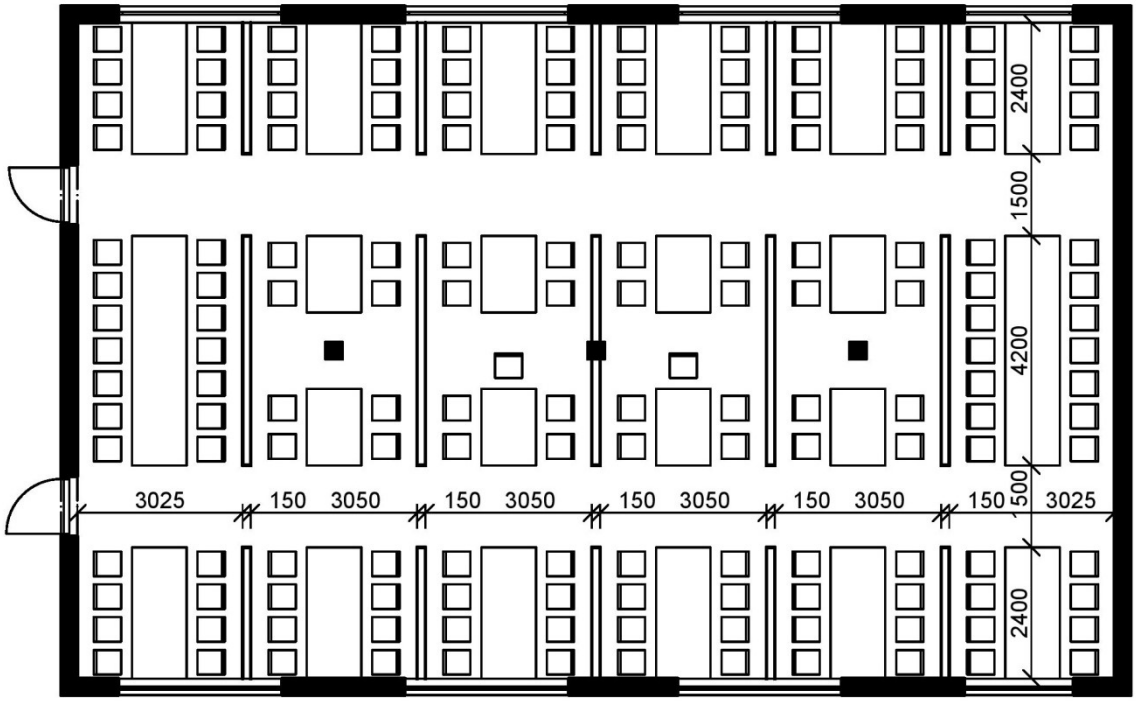
	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	815,77
Doba dozvuku	T	s	0,79
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	52

Tab. 26 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru I s akustickým podhledem

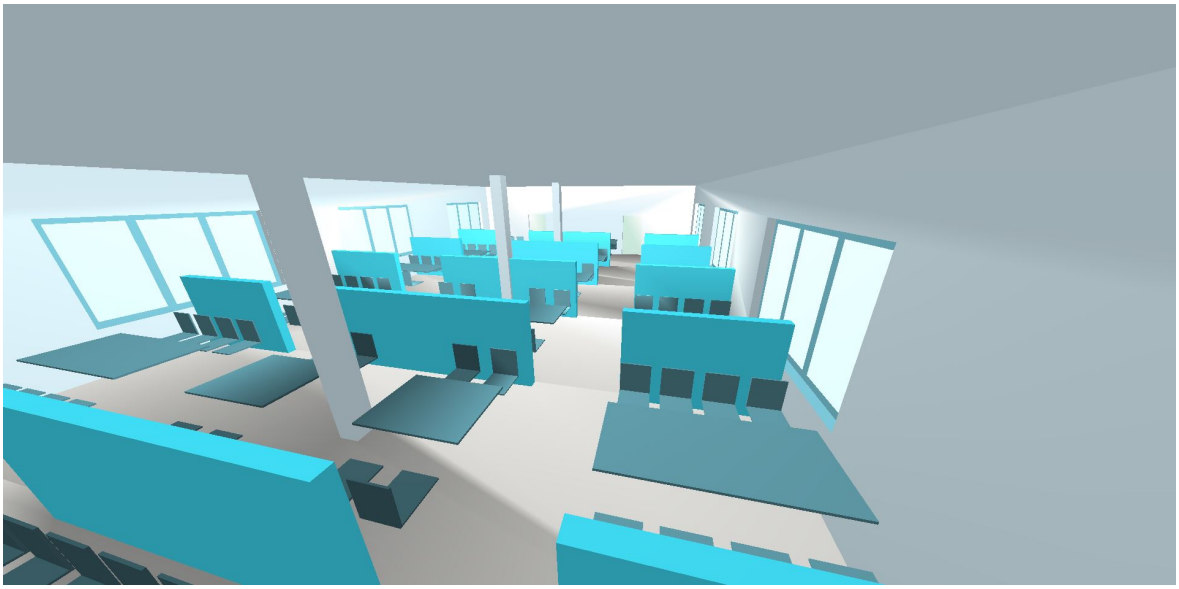
Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 52. V místnosti je v současnosti navrženo 158 míst, což více jak 3krát přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.1.4 Místnost rozdělená příčkami

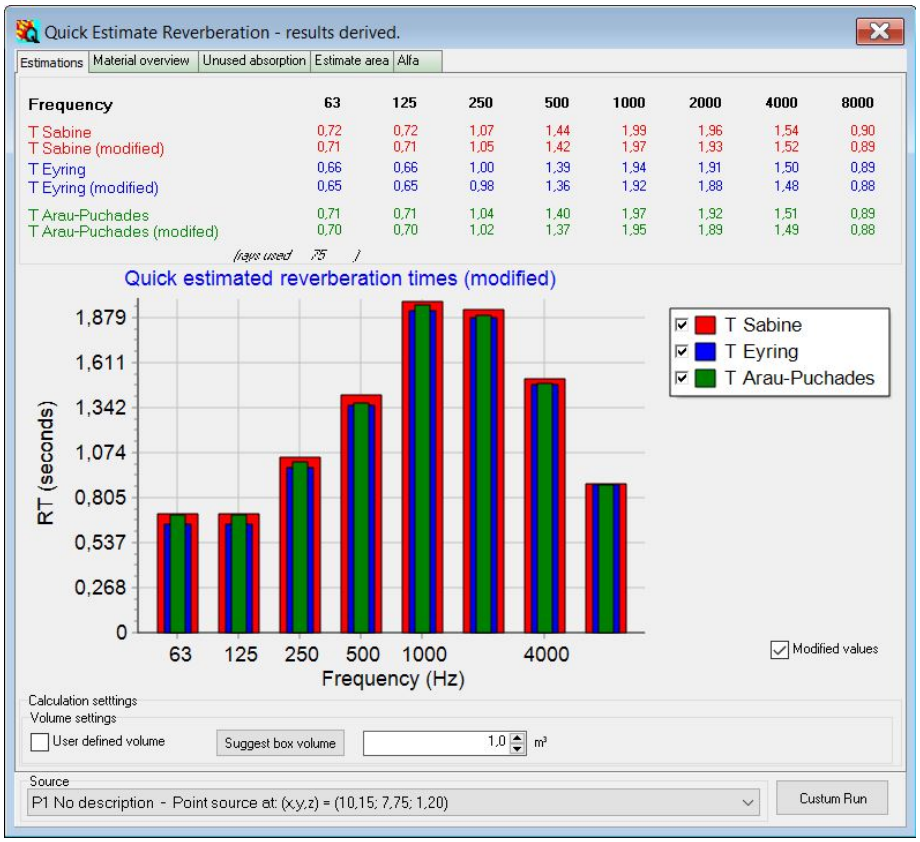
Modelový prostor jsem rozdělil 1,6m vysokými příčkami, které jsou obložené dřevem. Příčky jsem umístil mezi stoly /obr. 31/. Účelem těchto příček je snížení doby dozvuku instalací dalších pohltivých ploch a snížení přímého hluku od jednotlivých stolů. Prostor jsem upravil a přepočítal.



Obr. 32 Schéma rozmístění příček modelového prostoru I



Obr. 33 Modelový prostor I ze softwaru Odeon – rozdělený příčkami



Obr. 34 Doba dozvuku modelového prostoru I – rozděleného příčkami

V porovnání s akusticky neupravenou místností z bodu 4.1.2 se doba dozvuku snížila téměř o třetinu. Pro tuto modelovou situaci jsem vytvořil 5 variant obsazenosti místnosti, shodných s variantami z bodu 4.1.2, které jsem vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 1 v kapitole 4.1.2 /obr. 24/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,69	Dobrý

Tab. 27 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 1

Porovnáním s variantou1 z kapitoly 4.1.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,08, hodnocení zůstalo na úrovni dobrý. Oproti variantě 1 z kapitoly 4.1.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,12 horší.

Varianta 2

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 2 v kapitole 4.1.2 /obr. 25/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,65	Dobrý
2	0,67	Dobrý
Průměr	0,66	Dobrý

Tab. 28 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 2

Porovnáním s variantou 2 z kapitoly 4.1.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,07, hodnocení se zlepšilo z úrovně uspokojivý na úroveň dobrý. Oproti variantě 2 z kapitoly 4.1.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,12 horší.

Varianta 3

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 3 v kapitole 4.1.2 /obr. 26/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,71	Dobrý
2	0,70	Dobrý
Průměr	0,71	Dobrý

Tab. 29 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 3

Porovnáním s variantou 3 z kapitoly 4.1.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,08, hodnocení zůstalo na úrovni dobrý. Oproti variantě 3 z kapitoly 4.1.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,09 horší.

Varianta 4

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 4 v kapitole 4.1.2 /obr. 27/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,55	Uspokojivý
2	0,55	Uspokojivý
3	0,54	Uspokojivý
4	0,54	Uspokojivý
5	0,53	Uspokojivý
6	0,51	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
7	0,54	Uspokojivý
8	0,53	Uspokojivý
9	0,55	Uspokojivý
10	0,55	Uspokojivý
11	0,54	Uspokojivý
Průměr	0,54	Uspokojivý

Tab. 30 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 4

Porovnáním s variantou 4 z kapitoly 4.1.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,06, hodnocení zůstalo na úrovni uspokojivý. Oproti variantě 4 z kapitoly 4.1.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,12 horší.

Varianta 5

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 5 v kapitole 4.1.2 /obr. 28/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,52	Uspokojivý
2	0,52	Uspokojivý
3	0,52	Uspokojivý
4	0,52	Uspokojivý
5	0,51	Uspokojivý
6	0,52	Uspokojivý
7	0,51	Uspokojivý
8	0,52	Uspokojivý
9	0,52	Uspokojivý
10	0,53	Uspokojivý
11	0,52	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
12	0,52	Uspokojivý
13	0,52	Uspokojivý
14	0,52	Uspokojivý
15	0,51	Uspokojivý
16	0,51	Uspokojivý
17	0,52	Uspokojivý
18	0,51	Uspokojivý
19	0,51	Uspokojivý
20	0,52	Uspokojivý
21	0,53	Uspokojivý
22	0,52	Uspokojivý
Průměr	0,52	Uspokojivý

Tab. 31 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 5

Porovnáním s variantou 5 z kapitoly 4.1.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,04, hodnocení zůstalo na úrovni uspokojivý. Oproti variantě 5 z kapitoly 4.1.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,14 horší.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 4.2. Plochy konstrukcí S [m^2]a činitele zvukové pohltivosti α [-] jednotlivých konstrukcí jsem převzal z modelu vytvořeného pro programu Odeon. V tabulce tab. 32 jsou uvedené plochy jednotlivých konstrukcí a jejich ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	4,84	0,48
NB1 - Stůl	0,10	101,02	10,10
NB2 - Židle	0,10	146,68	14,67
NB3 - Parapet	0,10	3,3	0,33
NB4 - Dřevěný obklad	0,10	152,16	15,22
OK1 - Okna sklo	0,05	33,57	1,68
OK2 - Okna rám	0,10	10,43	1,04
OP1 - Stěna ŽB	0,05	204,66	10,23
P1 - Podlaha dlažba	0,01	221,49	2,21
S1 - Strop ŽB	0,05	227,73	11,39
Celkem			67,36

Tab. 32 Modelový prostor I rozdělený příčkami

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 24.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	56,43
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	60,72
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	4,28

Tab. 33 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 4,28 dB. Dle kapitoly 3.21 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 25.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	62,45
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	63,73
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	1,27

Tab. 34 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je 1,27 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 26.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	62,45
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	63,73
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	1,27

Tab. 35 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je 1,27 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá. Hodnota SNR je u varianty 3 stejná jako u varianty 2, protože se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 27.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	11
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	77,26
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	71,13
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-6,13

Tab. 36 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 4 je -6,13 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 28.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	22
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	83,28
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	74,14
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-9,14

Tab. 37 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 5

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 5 je -9,14 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	850,8
Doba dozvuku	T	s	1,99
Maximální počet osob	N_{max}	-	21

Tab. 38 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru I rozděleného příčkami

Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 21. V místnosti je v současnosti navrženo 158 míst, což mnohonásobně přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.1.5 Výsledné zhodnocení variant

A) Výsledné hodnocení STI vypočítané pomocí softwaru Odeon

Varianta	Úprava místnosti					
	Bez úprav		S akustickým podhledem		Rozdělená příčkami	
	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení
1	0,61	Dobrý	0,81	Vynikající	0,69	Dobrý
2	0,59	Uspokojivý	0,78	Vynikající	0,66	Dobrý
3	0,63	Dobrý	0,80	Vynikající	0,71	Dobrý
4	0,48	Uspokojivý	0,66	Dobrý	0,54	Uspokojivý
5	0,48	Uspokojivý	0,66	Dobrý	0,52	Uspokojivý

Tab. 39 Celkový souhrn STI pro modelový prostor I

Z průměrných výsledků v tab. 39 je vidět, že použitím akustického podhledu je hodnota STI lepší o necelé dvě desetiny a hodnocení se zlepšilo na vynikající popřípadě dobrý. Toto jednoduché a relativně méně pracné opatření dokáže dostatečně zlepšit akustické vlastnosti místnosti. Naproti tomu úprava pomocí rozdělení místnosti příčkami přinesla jen mírné zlepšení a to v průměru o 0,07. Tato úprava je nedostatečná.

B) Výsledné hodnocení Lombardova efektu a akustické simulace místnosti

Varianta	Úprava místnosti					
	Bez úprav		S akustickým podhledem		Rozdělená příčkami	
	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení
1	3,19	Dobrý	8,48	Dobrý	4,28	Dobrý
2	0,18	Uspokojivý	5,47	Dobrý	1,27	Uspokojivý
3	0,18	Uspokojivý	5,47	Dobrý	1,27	Uspokojivý
4	-7,23	Nedostatečný	-1,94	Uspokojivý	-6,13	Nedostatečný
5	-10,24	-	-4,95	Nedostatečný	-9,14	Nedostatečný
	Maximální počet osob					
	18		52		21	

Tab. 40 Celkový souhrn SNR pro modelový prostor I

Z výsledků v tab. 40 je vidět, že použitím akustického podhledu je hodnota SNR lepší o cca pět decibelů. Toto jednoduché a relativně méně pracné opatření dokáže ve většině případů dostatečně zlepšit akustické vlastnosti místnosti. Naproti tomu úprava pomocí rozdělení místnosti příčkami přineslo jen mírné zlepšení a to v průměru o jeden decibel. Tato úprava je nedostatečná. Toto tvrzení podporuje i výpočet maximální obsazenosti místnosti, kde místnost s akustickým podhledem má více jak dvojnásobnou kapacitu oproti ostatním.

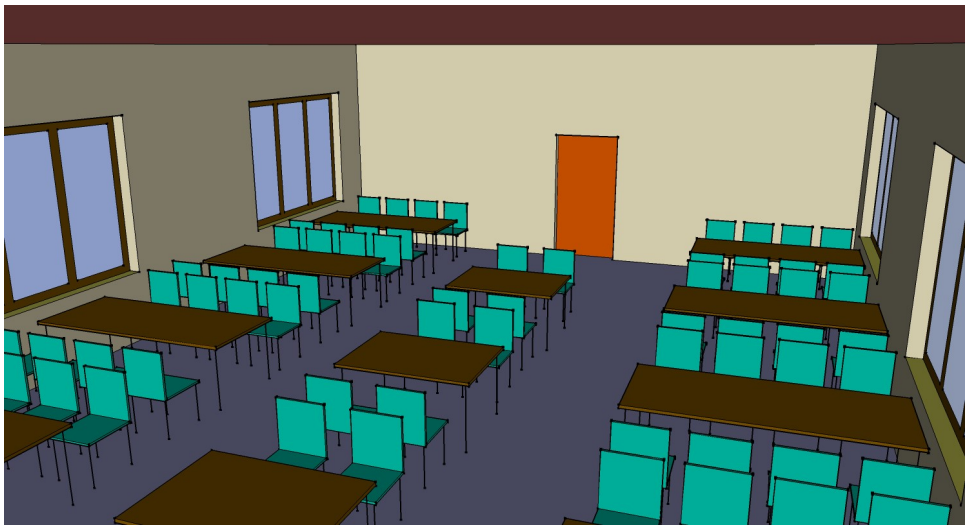
Oproti hodnotám STI, je v hodnotách SNR znatelný rozdíl mezi obsazeností místnosti u poloviny stolů a u všech stolů. Toto hodnocení se zdá být bližší skutečnému stavu chování prostoru.

4.2 Modelový prostor II

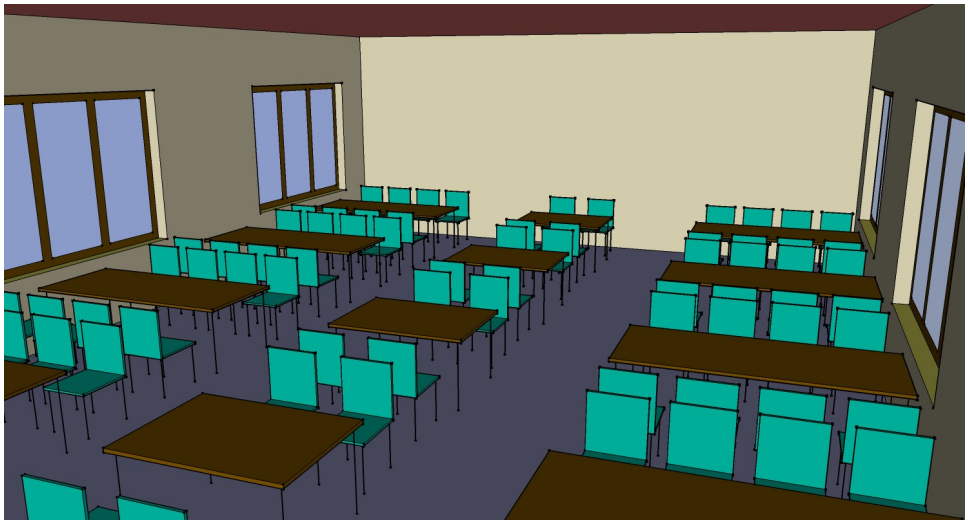
4.2.1 Popis prostoru

Modelový prostor je obdélníkového půdorysu o rozměrech 14,5 x 9,0 m a výšce 3,75m. Objekt je ze železobetonu opatřeného omítkou, na podlaze je dlažba, okna jsou dřevěná s dvojsklem. V místnosti jsou dřevěné stoly a židle. Půdorys prostoru je na obr. 37.

Postup byl takový, že nejprve jsem navrhnul model v programu Sketchup, který jsem poté převedl do softwaru Odeon. Vytvořil jsem tři modelové situace, jedenu bez akustických úprav a dvě s akustickými úpravami. Pak jsem pro vytvořené situace vymodeloval obsazenost a porovnával jsem, jak se zlepšovala nebo zhoršovala srozumitelnost.



Obr. 35 Modelový prostor II z programu Sketchup – pohled ke dveřím



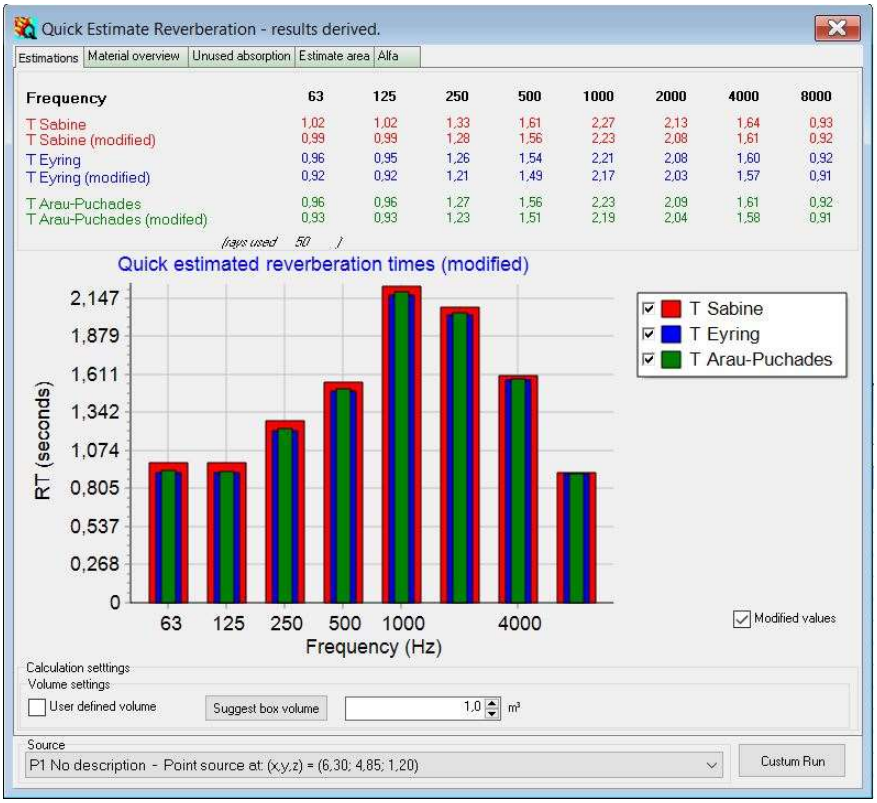
Obr. 36 Modelový prostor II z programu Sketchup – pohled od dveří

Obr. 37 Půdorys modelového prostoru II

4.2.2 Místnost bez úprav

Nejprve jsem navržený model převedl do softwaru Odeon a poté vypočítal dobu dozvuku.

Obr. 38 Modelový prostor II ze softwaru Odeon – bez úprav



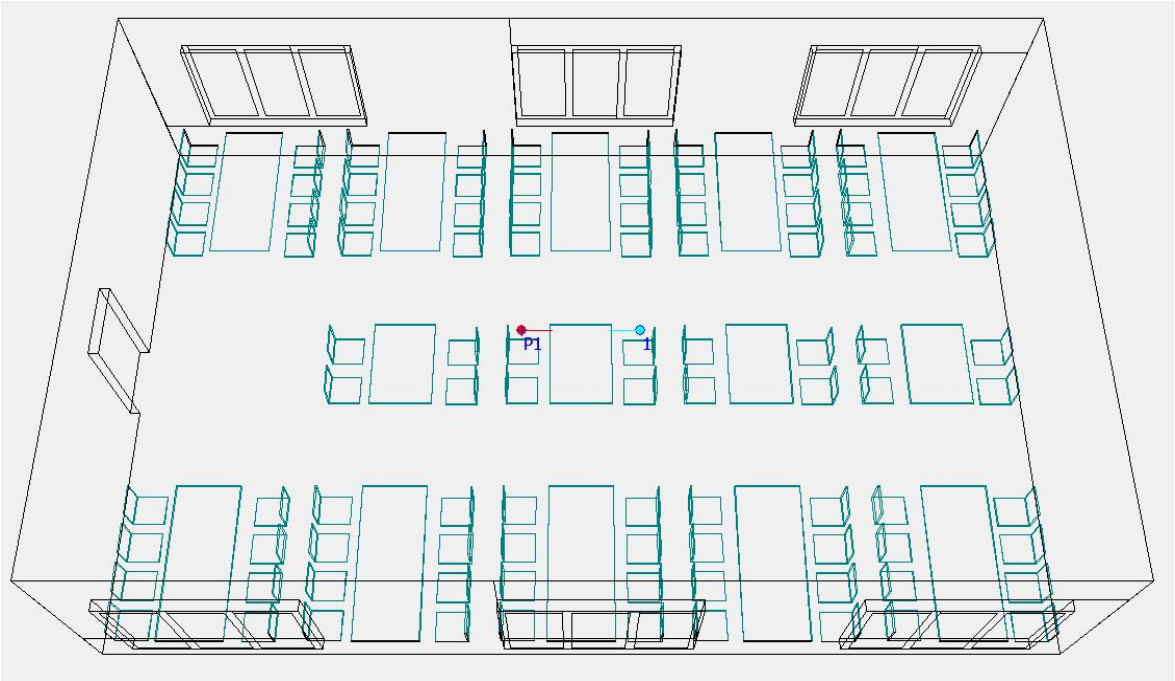
Obr. 39 Doba dozvuku modelového prostoru II – bez úprav

Pro tuto modelovou situaci jsem vytvořil pět variant obsazenosti místnosti, které jsem následně vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

V této variantě je v místnosti pouze jedna komunikující dvojice, kterou tvoří jeden mluvčí a jeden posluchač. Pro výpočet STI se uvažuje, že v místnosti není šum pozadí. Dvojice sedí u stolu, který je přibližně ve středu místnosti /obsazenost místnosti obr. 40/. Pro tuto variantu s jedním posluchačem byla vypočítaná jedna hodnota STI /tab. 41/.



Obr. 40 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 1

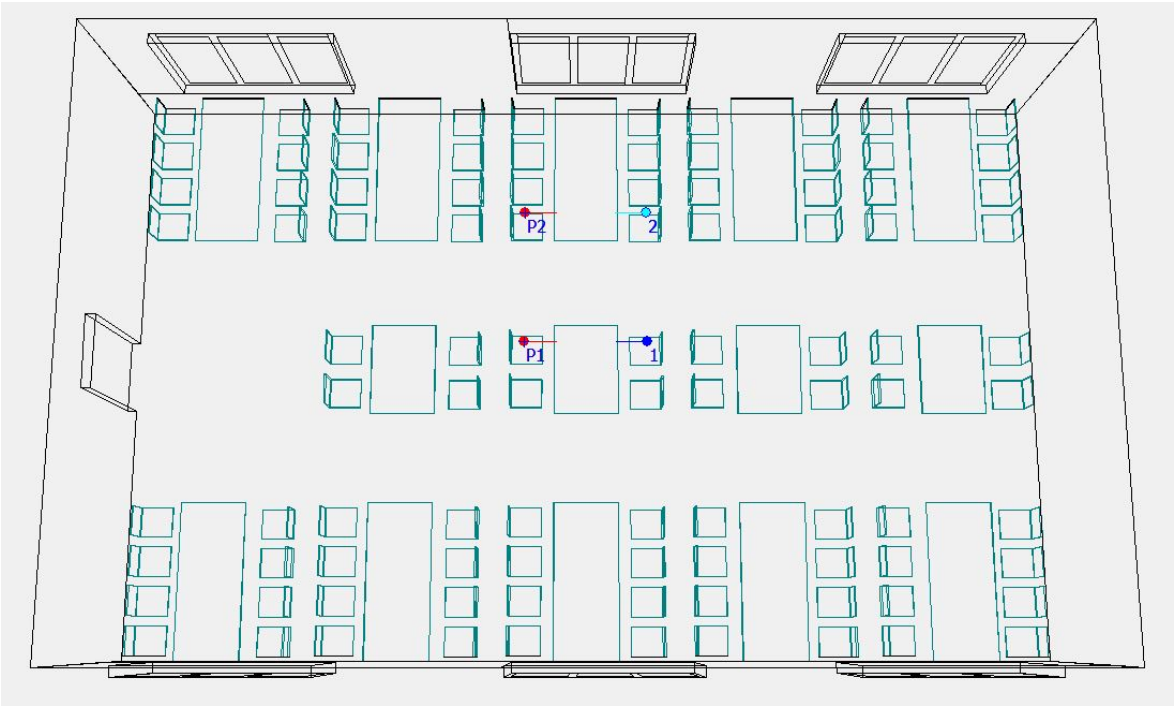
Bod	STI	Hodnocení
1	0,57	Uspokojivý

Tab. 41 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 1

Vypočítaná hodnota STI je hodnocená jako uspokojivá. Tato modelová situace ve skutečnosti obvykle nenastává a lze očekávat, že se, se zvyšující obsazeností, bude tento index zhoršovat. Pokud porovnáme výsledky s variantou 1 modelu I, vidíme, že došlo ke snížení hodnoty STI o 0,04, což zhoršilo hodnocení z dobrého na uspokojivé. Místnost je tvořena stejnými materiály jako v modelu I, rozdíl je v její velkosti a počtu stolů a židlí. S ohledem na tuto skutečnost můžeme vyvodit, že se zmenšujícím se prostorem se zhoršuje hodnota STI.

Varianta 2

V této variantě je k původní dvojici přidaná další dvojice s jedním mluvčím a jedním posluchačem. Tato dvojice je umístěna u vedlejšího stolu. Pro výpočet STI se opět uvažuje, že není žádný šum pozadí. Předmětem zkoumání je, jak toto obsazení místnosti změní hodnotu STI /obsazenost místnosti obr. 41/.



Obr. 41 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 2

Bod	STI	Hodnocení
1	0,54	Uspokojivý
2	0,55	Uspokojivý
Průměr	0,55	Uspokojivý

Tab. 42 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 2

Vypočítané hodnoty STI po přidání pouze jednoho dalšího stolu s komunikující dvojicí klesnou v průměru o dvě setiny a hodnocení je pak pouze uspokojivé /tab. 42/.Také v tomto případě je patrné, že zmenšením prostoru klesne hodnota STI oproti modelovému prostoru I variantě 2.

Varianta 3

V této variantě jsou v místnosti opět dvě komunikující skupiny, ale jsou umístěny na opačných stranách místnosti /obsazenost místnosti obr. 42/. Zaměřil jsem se na to, jak se navzájem ovlivňují tyto dvě skupiny, pokud se nacházejí ve velké místnosti v největší vzdálenosti, jaká je v daném prostoru možná. Pro účely výpočtu je šum pozadí nulový.

Obr. 42 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 3

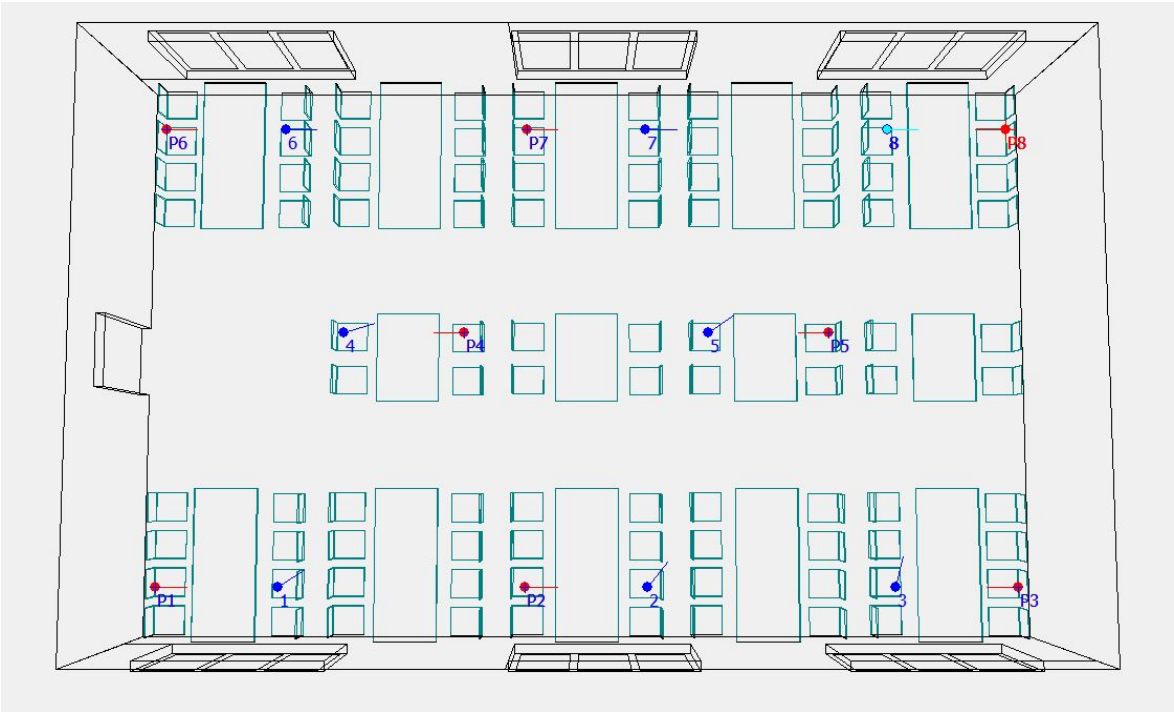
Bod	STI	Hodnocení
1	0,57	Uspokojivý
2	0,58	Uspokojivý
Průměr	0,58	Uspokojivý

Tab. 43 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 3

Z vypočtených hodnot STI je zřejmé, že pokud se ve velké místnosti nacházejí dvě skupiny osob v odlehlých koutech, navzájem se svou řečí neovlivňují /tab. 43/. Ke zvýšení hodnoty STI oproti variantě 1 došlo v tomto případě díky umístění posluchače do kouta místnosti, kde jej více ovlivňuje odraz zvuku od okolních stěn. Pokud variantu 3 porovnáme s variantou 2, zjistíme, že lepší hodnocení STI je při větší vzdálenosti skupin mluvčích mezi sebou. V porovnání s modelovým prostorem I variantou 3 je hodnocení opět nižší a spadá i do nižšího hodnocení.

Varianta 4

V této variantě je vymodelovaná situace, kde polovina stolů v místnosti je obsazena modelovou dvojicí a druhá polovina je prázdná. Obsazení stolů je vždy ob jeden. Toto rozvržení obsazenosti stolů bývá obvyklé. Pokud je to možné, návštěvník si raději sedne dál od jiných lidí /obsazenost místnosti obr. 43/. Pro účely výpočtu je šum pozadí opět nulový.



Obr. 43 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 4

Bod	STI	Hodnocení
1	0,50	Uspokojivý
2	0,49	Uspokojivý
3	0,50	Uspokojivý
4	0,49	Uspokojivý

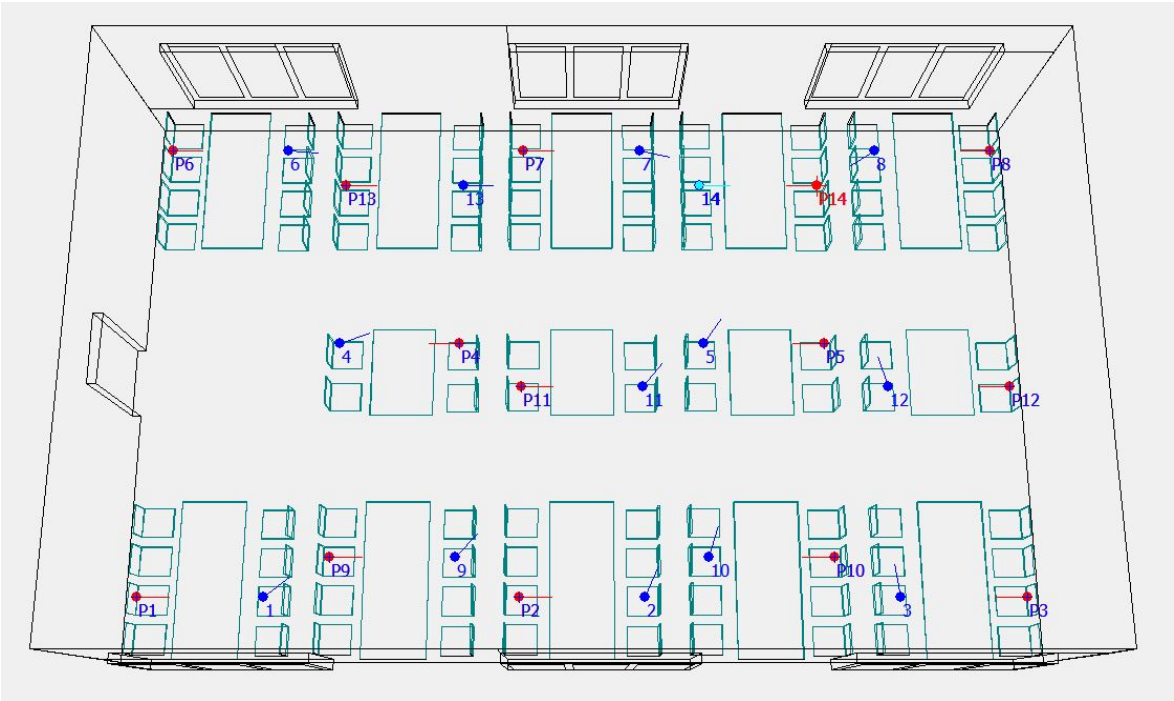
Bod	STI	Hodnocení
5	0,48	Uspokojivý
6	0,50	Uspokojivý
7	0,49	Uspokojivý
8	0,50	Uspokojivý
Průměr	0,49	Uspokojivý

Tab. 44 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 4

Při porovnání výsledků výpočtu STI s předchozími variantami je vidět, že hodnota STI klesla /tab. 44/. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 4 z modelového prostoru I, kde byla obsazenost místnosti také přibližně polovina, zjistíme, že místnost má vyšší průměrnou hodnotu STI a to konkrétně o 0,01.

Varianta 5

V této variantě jsou obsazeny všechny stoly v místnosti. U každého stolu se nachází jedna modelová dvojice osob, jeden mluvčí a jeden posluchač. Pro účely výpočtů je jedno kolik posluchačů se nachází u stolu, důležité jsou počty řečníků /obsazenost místnosti obr. 44/. Pro účely výpočtu je šum pozadí opět nulový.



Obr. 44 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 5

Bod	STI	Hodnocení
1	0,50	Uspokojivý
2	0,49	Uspokojivý
3	0,51	Uspokojivý
4	0,48	Uspokojivý
5	0,49	Uspokojivý
6	0,50	Uspokojivý
7	0,49	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
8	0,51	Uspokojivý
9	0,49	Uspokojivý
10	0,49	Uspokojivý
11	0,49	Uspokojivý
12	0,50	Uspokojivý
13	0,49	Uspokojivý
14	0,49	Uspokojivý
Průměr	0,49	Uspokojivý

Tab. 45 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 5

V porovnání s variantou 4, kde byla pouze polovina mluvčích, se průměrná hodnota STI nezměnila /tab. 45/. Pokud ji porovnáme s modelovým prostorem I variantou 5, průměrná hodnota STI je mírně vyšší konkrétně o 0,01.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2] a činitele zvukové pohltivosti α [-] pro jednotlivé konstrukce jsem převzal z modelu vytvořeného pro program Odeon. V tabulce tab. 46 jsou uvedeny plochy jednotlivých konstrukcí a jejich vypočítané ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	2,42	0,24
NB1 - Stůl	0,10	61,82	6,18
NB2 - Židle	0,10	89,26	8,93
NB3 - Parapet	0,10	2,48	0,25
OK1 - Okna sklo	0,05	24,84	1,24
OK2 - Okna rám	0,10	8,16	0,82
OP1 - Stěna ŽB	0,05	147,73	7,39
P1 - Podlaha dlažba	0,01	130,67	1,31
S1 - Strop ŽB	0,05	130,5	6,53
Celkem			32,87

Tab. 46 Modelový prostor II bez úprav

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 40.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	62,66
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	63,83
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	1,17

Tab. 47 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 1,17 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 41.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	68,68
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	66,84
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-1,84

Tab. 48 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je -1,84 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 42.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	68,68
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	66,84
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-1,84

Tab. 49 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -1,84 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá. Hodnota SNR varianty 3 je stejná jako u varianty 2 proto, že se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 43.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	8
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	80,72
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	72,86
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-7,86

Tab. 50 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -7,86 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 44.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	14
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	85,59
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	75,29
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-10,29

Tab. 51 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 5

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 5 je -10,29 dB. Dle kapitoly 3.2.1 nesmí být vážená hladina akustického tlaku hluku okolí vyšší než 85 dB. Vzhledem k tomu, že pro tuto variantu je vážená hladina akustického tlaku hluku 85,59 dB, nelze tuto metodu použít.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

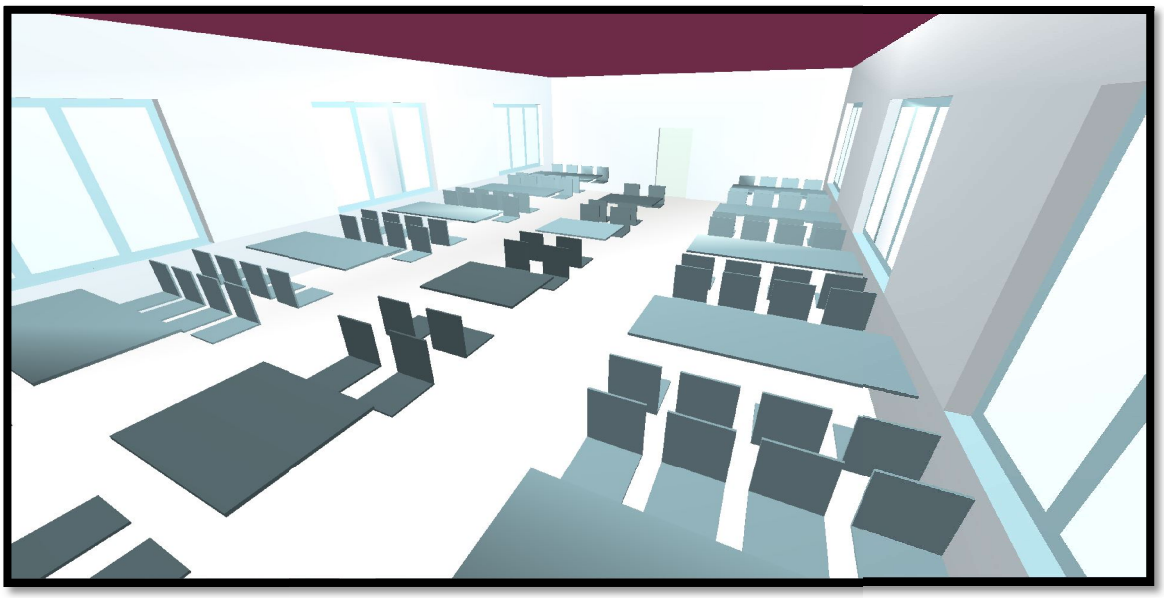
	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	494,69
Doba dozvuku	T	s	2,27
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	11

Tab. 52 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru II bez úprav

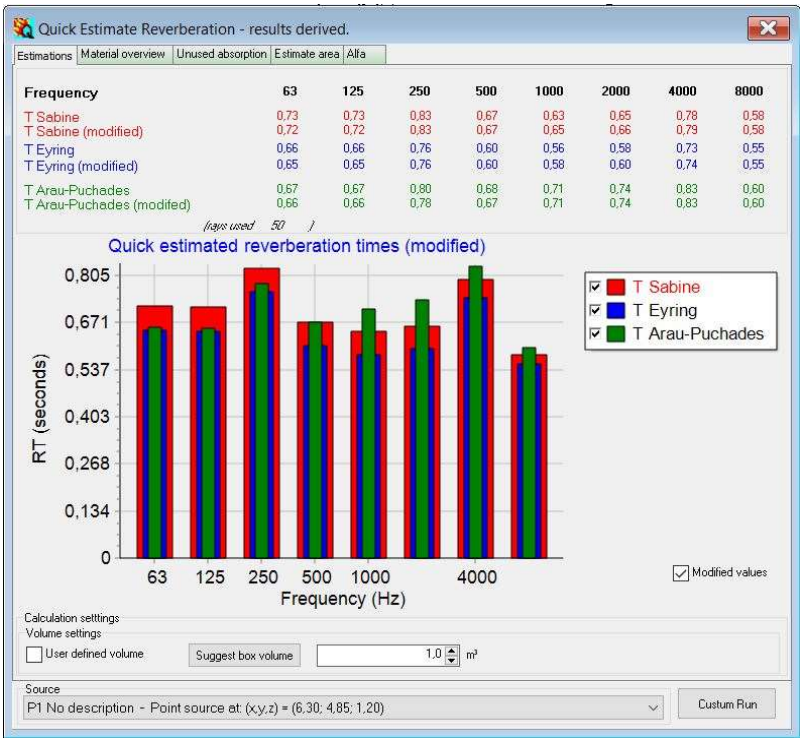
Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 11. V místnosti je v současnosti navrženo 112 míst, což mnohokrát přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.2.3 Místnost s akustickým podhledem

Modelový prostor jsem doplnil o akustický podhled, který zkrátí dobu dozvuku a vytvoří lepší akustické vlastnosti místnosti. Postup výpočtu byl stejný jako v kapitole 4.2.2. Do modelového prostoru jsem navrhl celoplošný akustický podhled THERMATEX® Laguna micro perforiert, ten je stejný jako v kapitole 4.1.3 se součinitelem zvukové pohltivosti, jehož hodnoty jsou uvedeny na obr. 29. Model prostoru jsem upravil a následně přepočítal.



Obr. 45 Modelový prostor II ze softwaru Odeon – s akustickým podhledem



Obr. 46 Doba dozvuku modelového prostoru II - s akustickým podhledem

V porovnání s akusticky neupravenou místností z bodu 4.2.2 se doba dozvuku snížila téměř na polovinu. Pro tuto modelovou situaci jsem opět vytvořil 5 variant obsazenosti místnosti, shodných s variantami z bodu 4.2.2, které jsem vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdroje zvuku jako varianta 1 v kapitole 4.2.2 /obr. 40/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,77	Vynikající

Tab. 53 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 1

Porovnáním s variantou 1 z kapitoly 4.2.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,2, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na vynikající. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 1 v kapitole 4.1.3, došlo ke stejnému zlepšení hodnoty STI.

Varianta 2

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 2 v kapitole 4.2.2 /obr. 41/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,74	Dobrý
2	0,74	Dobrý
Průměr	0,74	Dobrý

Tab. 54 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 2

Porovnáním s variantou 2 z kapitoly 4.2.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,19, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 2 v kapitole 4.1.3, došlo ke stejnému zlepšení hodnoty STI.

Varianta 3

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 3 v kapitole 4.2.2 /obr. 42/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,74	Dobrý
2	0,76	Vynikající
Průměr	0,75	Vynikající

Tab. 55 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 3

Porovnáním s variantou 3 z kapitoly 4.2.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,17, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na vynikající. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 3 v kapitole 4.1.3, došlo ke stejnému zlepšení hodnoty STI.

Varianta 4

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 4 v kapitole 4.2.2 /obr. 43/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,67	Dobrý
2	0,66	Dobrý
3	0,67	Dobrý
4	0,67	Dobrý
5	0,67	Dobrý
6	0,67	Dobrý
7	0,66	Dobrý
8	0,67	Dobrý
Průměr	0,67	Dobrý

Tab. 56 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 4

Porovnáním s variantou 4 z kapitoly 4.2.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,18, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 4 v kapitole 4.1.3, došlo ke stejnému zlepšení hodnoty STI.

Varianta 5

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 5 v kapitole 4.2.2 /obr. 44/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,67	Dobrý
2	0,66	Dobrý
3	0,68	Dobrý
4	0,66	Dobrý
5	0,67	Dobrý
6	0,67	Dobrý
7	0,66	Dobrý
8	0,68	Dobrý
9	0,67	Dobrý
10	0,67	Dobrý
11	0,67	Dobrý
12	0,68	Dobrý
13	0,67	Dobrý
14	0,67	Dobrý
Průměr	0,67	Dobrý

Tab. 57 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 5

Porovnáním s variantou 5 z kapitoly 4.2.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,18, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 5 v kapitole 4.1.3, došlo ke stejnému zlepšení hodnoty STI.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2]a činitele zvukové pohltivosti α [-] jednotlivých konstrukcí jsem převzal z modelu vytvořeného pro program Odeon. V tabulce tab. 58 jsou plochy jednotlivých konstrukcí a jejich ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	2,42	0,24
NB1 - Stůl	0,10	61,82	6,18
NB2 - Židle	0,10	89,26	8,93
NB3 - Parapet	0,10	2,48	0,25
OK1 - Okna sklo	0,05	24,84	1,24
OK2 - Okna rám	0,10	8,16	0,82
OP1 - Stěna ŽB	0,05	138,33	6,92
P1 - Podlaha dlažba	0,01	130,67	1,31
S2 - Akus. podhled	0,60	130,5	78,30
Celkem			104,18

Tab. 58 Modelový prostor II s akustickým podhledem

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 40.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	52,64
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	58,82
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	6,18

Tab. 59 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 6,18 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 41.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	58,66
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	61,83
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	3,17

Tab. 60 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je 3,17 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 42.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	58,66
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	61,83
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	3,17

Tab. 61 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je 3,17 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá. Hodnota SNR je u varianty 3 stejná jako u varianty 2 proto, že se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 43.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	8
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	70,71
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	67,85
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-2,85

Tab. 62 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 4 je -2,85 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 44.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	14
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	75,57
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	70,28
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-5,28

Tab. 63 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 5

Vypočtená hodnota SNR pro variantu 5 je -5,28 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

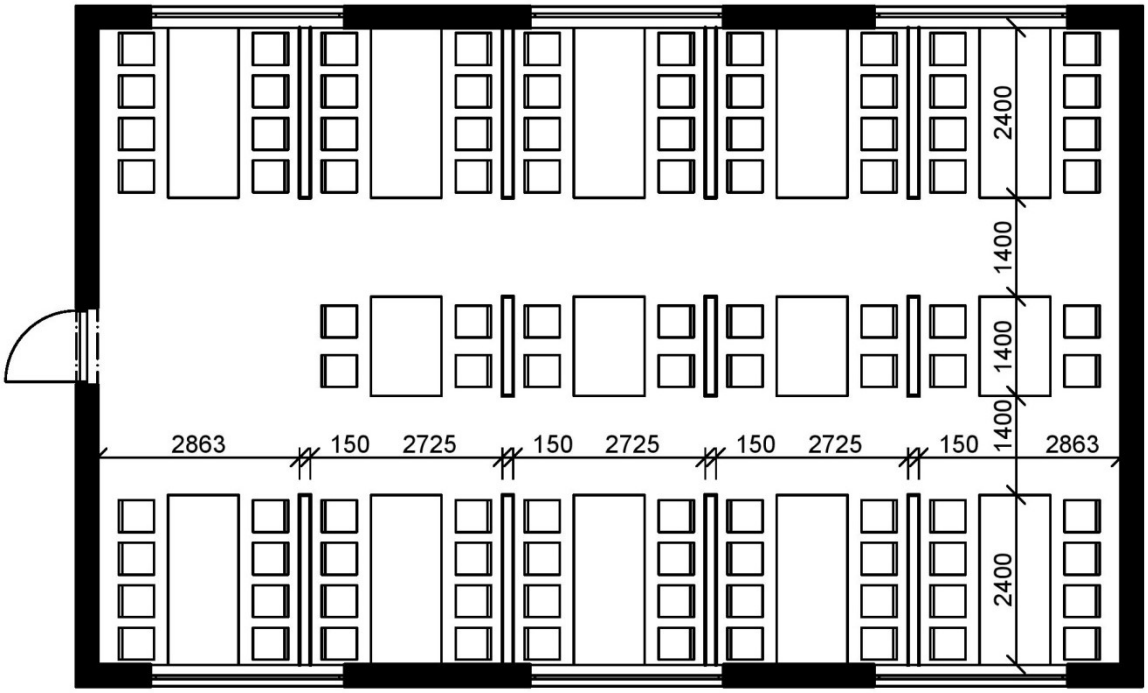
	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	468,59
Doba dozvuku	T	s	0,83
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	28

Tab. 64 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru II s akustickým podhledem

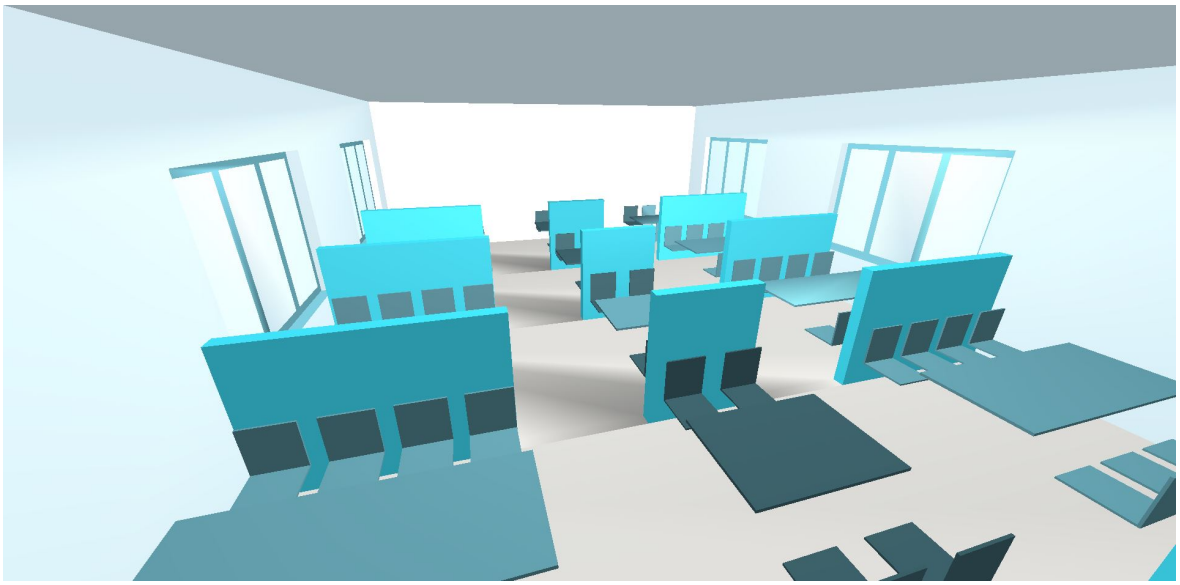
Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 28. V místnosti je v současnosti navrženo 112 míst, což více jak 4krát přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.2.4 Místnost rozdělená příčkami

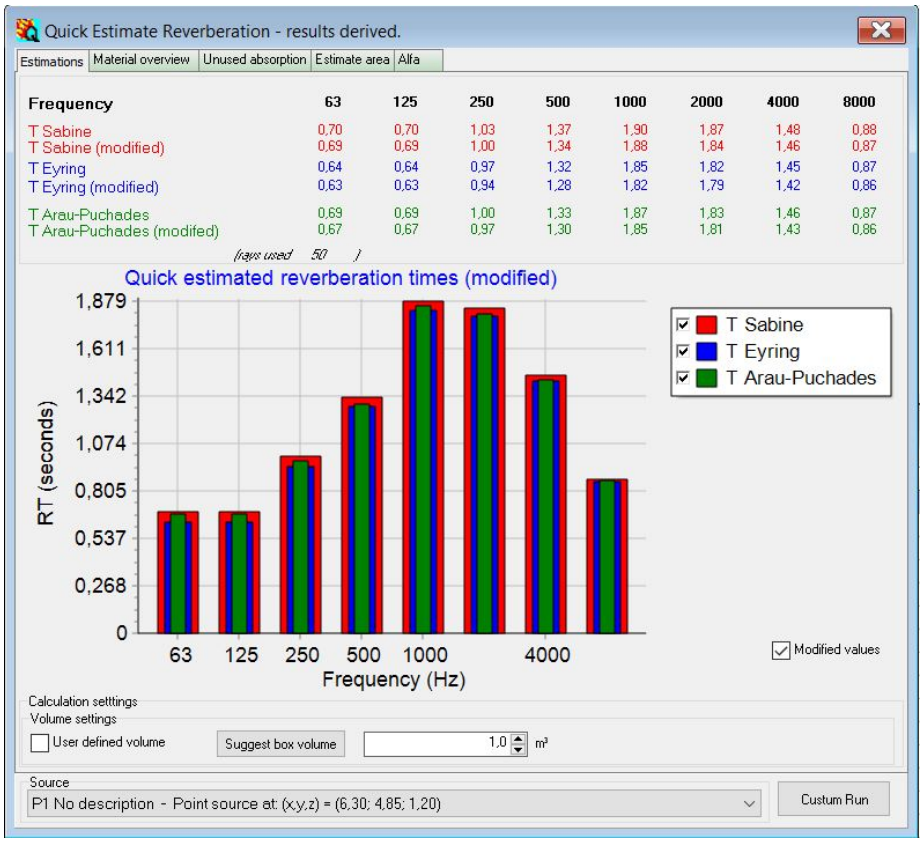
Modelový prostor jsem rozdělil 1,6m vysokými příčkami, které jsou obložené dřevem. Příčky jsem umístil mezi stoly /obr. 47/. Účelem těchto příček je snížení doby dozvuku instalací dalších pohltivých ploch a snížení přímého hluku od jednotlivých stolů. Prostor jsem upravil a přepočítal.



Obr. 47 Schéma rozmístění příček modelového prostoru II



Obr. 48 Modelový prostor II ze softwaru Odeon – rozdělený příčkami



Obr. 49 Doba dozvuku modelového prostoru II – rozděleného příčkami

V porovnání s akusticky neupravenou místností z bodu 4.2.2 se doba dozvuku snížila téměř o třetinu. Pro tuto modelovou situaci jsem vytvořil 5 variant obsazenosti místnosti, shodných s variantami z bodu 4.2.2, které jsem vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 1 v kapitole 4.2.2 /obr. 40/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,68	Dobrý

Tab. 65 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 1

Porovnáním s variantou1 z kapitoly 4.2.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,11, hodnocení zůstalo na úrovni dobrý. Oproti variantě 1 z kapitoly 4.5.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,09 horší.

Varianta 2

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 2 v kapitole 4.2.2 /obr. 41/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,64	Dobrý
2	0,65	Dobrý
Průměr	0,65	Dobrý

Tab. 66 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 2

Porovnáním s variantou 2 z kapitoly 4.2.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,1, hodnocení se zlepšilo z úrovně uspokojivý na úroveň dobrý. Oproti variantě 2 z kapitoly 4.2.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,09 horší.

Varianta 3

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 3 v kapitole 4.2.2 /obr. 42/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,66	Dobrý
2	0,67	Dobrý
Průměr	0,67	Dobrý

Tab. 67 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 3

Porovnáním s variantou 3 z kapitoly 4.2.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,09, hodnocení se zlepšilo z úrovně uspokojivý na úroveň dobrý. Oproti variantě 3 z kapitoly 4.2.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,08 horší.

Varianta 4

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 4 v kapitole 4.2.2 /obr. 43/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,54	Uspokojivý
2	0,55	Uspokojivý
3	0,55	Uspokojivý
4	0,51	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
5	0,53	Uspokojivý
6	0,55	Uspokojivý
7	0,56	Uspokojivý
8	0,55	Uspokojivý
Průměr	0,54	Uspokojivý

Tab. 68 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 4

Porovnáním s variantou 4 z kapitoly 4.2.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,05, hodnocení zůstalo na úrovni uspokojivý. Oproti variantě 4 z kapitoly 4.2.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,13 horší.

Varianta 5

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 5 v kapitole 4.2.2 /obr. 44/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,51	Uspokojivý
2	0,53	Uspokojivý
3	0,54	Uspokojivý
4	0,53	Uspokojivý
5	0,53	Uspokojivý
6	0,51	Uspokojivý
7	0,54	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
8	0,54	Uspokojivý
9	0,53	Uspokojivý
10	0,54	Uspokojivý
11	0,52	Uspokojivý
12	0,53	Uspokojivý
13	0,52	Uspokojivý
14	0,53	Uspokojivý
Průměr	0,53	Uspokojivý

Tab. 69 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 5

Porovnáním s variantou 5 z kapitoly 4.2.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,04, hodnocení zůstalo na úrovni uspokojivý. Oproti variantě 5 z kapitoly 4.1.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,14 horší.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 4.2. Plochy konstrukcí S [m^2]a činitele zvukové pohltivosti α [-] jednotlivých konstrukcí jsem převzal z modelu vytvořeného pro programu Odeon. V tabulce tab. 70 jsou uvedené plochy jednotlivých konstrukcí a jejich ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	2,42	0,24
NB1 - Stůl	0,10	61,82	6,18
NB2 - Židle	0,10	89,26	8,93
NB3 - Parapet	0,10	2,48	0,25
NB4 - Dřevěný obklad	0,10	80,3	8,03
OK1 - Okna sklo	0,05	24,84	1,24
OK2 - Okna rám	0,10	8,16	0,82
OP1 - Stěna ŽB	0,05	146,44	7,32
P1 - Podlaha dlažba	0,01	127,25	1,27
S1 - Strop ŽB	0,05	130,5	6,53
Celkem			40,81

Tab. 70 Modelový prostor II rozdělený příčkami

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 40.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	60,79
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	62,89
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	2,11

Tab. 71 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 2,11 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 41.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	66,81
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	65,90
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-0,90

Tab. 72 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je -0,90 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 42.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	66,81
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	65,90
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-0,90

Tab. 73 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -0,90 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá. Hodnota SNR je u varianty 3 stejná jako u varianty 2, protože se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 43.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	8
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	78,85
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	71,92
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-6,92

Tab. 74 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 4 je -6,92 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 44.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	14
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	83,71
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	74,35
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-9,35

Tab. 75 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 5

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 5 je -9,35 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	489,22
Doba dozvuku	T	s	1,90
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	13

Tab. 76 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru II rozděleného příčkami

Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 13. V místnosti je v současnosti navrženo 112 míst, což mnohonásobně přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.2.5 Výsledné zhodnocení variant

A) Výsledné hodnocení STI vypočítané pomocí softwaru Odeon

Varianta	Úprava místnosti					
	Bez úprav		S akustickým podhledem		Rozdělená příčkami	
	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení
1	0,57	Uspokojivý	0,77	Vynikající	0,68	Dobrý
2	0,55	Uspokojivý	0,74	Dobrý	0,65	Dobrý
3	0,58	Uspokojivý	0,75	Vynikající	0,67	Dobrý
4	0,49	Uspokojivý	0,67	Dobrý	0,54	Uspokojivý
5	0,49	Uspokojivý	0,67	Dobrý	0,53	Uspokojivý

Tab. 77 Celkový souhrn STI pro modelový prostor II

Z průměrných výsledků v tab. 77 je vidět, že použitím akustického podhledu je hodnota STI lepší o necelé dvě desetiny a hodnocení se zlepšilo na vynikající popřípadě dobrý. Toto jednoduché a relativně méně pracné opatření dokáže dostatečně zlepšit akustické vlastnosti místnosti. Naproti tomu úprava pomocí rozdělení místnosti příčkami přinesla jen mírné zlepšení a to v průměru o 0,08. Tato úprava je nedostatečná.

B) Výsledné hodnocení Lombardova efektu a akustické simulace místnosti

Varianta	Úprava místnosti					
	Bez úprav		S akustickým podhledem		Rozdělená příčkami	
	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení
1	1,17	Dobrý	6,18	Dobrý	2,11	Uspokojivý
2	-1,84	Uspokojivý	3,17	Dobrý	-0,90	Uspokojivý
3	-1,84	Uspokojivý	3,17	Dobrý	-0,90	Uspokojivý
4	-7,86	Nedostatečný	-2,85	Uspokojivý	-6,92	Nedostatečný
5	-10,29	-	-5,28	Nedostatečný	-9,35	Nedostatečný
	Maximální počet osob					
	11		28		13	

Tab. 78 Celkový souhrn SNR pro modelový prostor II

Z výsledků v tab. 78 je vidět, že použitím akustického podhledu je hodnota SNR lepší o cca pět decibelů. Toto jednoduché a relativně méně pracné opatření dokáže ve většině případů dostatečně zlepšit akustické vlastnosti místnosti. Naproti tomu úprava pomocí rozdělení místnosti příčkami přineslo jen mírné zlepšení a to v průměru o jeden decibel. Tato úprava je nedostatečná. Toto tvrzení podporuje i výpočet maximální obsazenosti místnosti, kde místnost s akustickým podhledem má více jak dvojnásobnou kapacitu oproti ostatním.

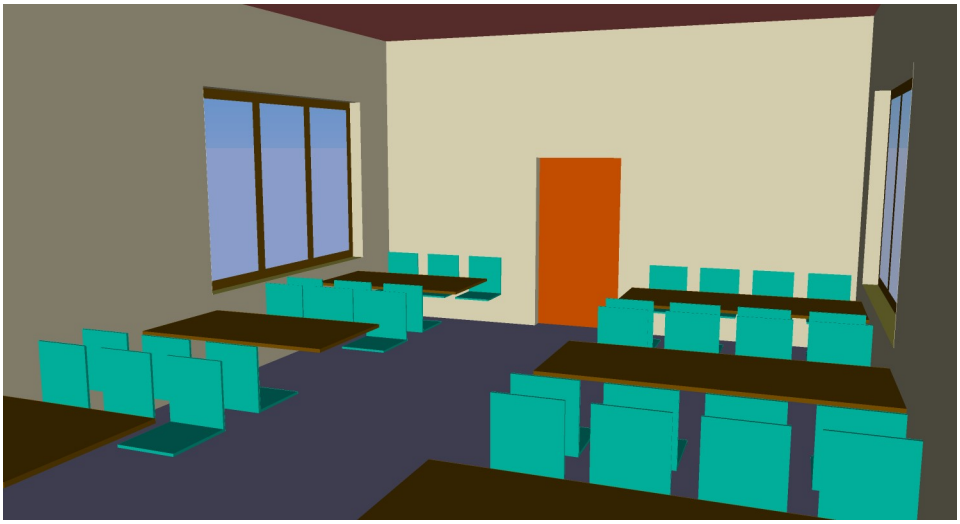
Oproti hodnotám STI, je v hodnotách SNR znatelný rozdíl mezi obsazeností místnosti u poloviny stolů a u všech stolů. Toto hodnocení se zdá být bližší skutečnému stavu chování prostoru.

4.3 Modelový prostor III

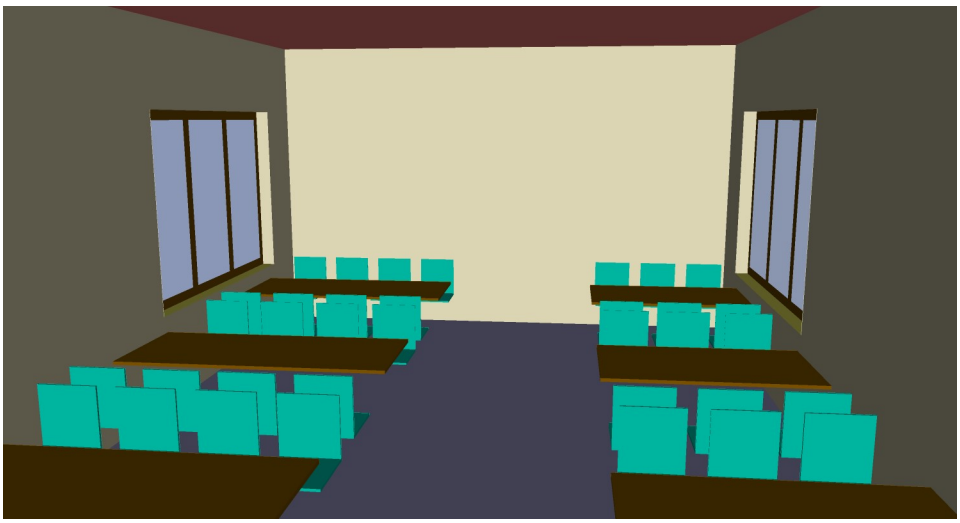
4.3.1 Popis prostoru

Modelový prostor je obdélníkového půdorysu o rozměrech 11,2 x 6,0 m a výšce 3,75m. Objekt je ze železobetonu opatřeného omítkou, na podlaze je dlažba, okna jsou dřevěná s dvojsklem. V místnosti jsou dřevěné stoly a židle. Půdorys prostoru je na obr. 52.

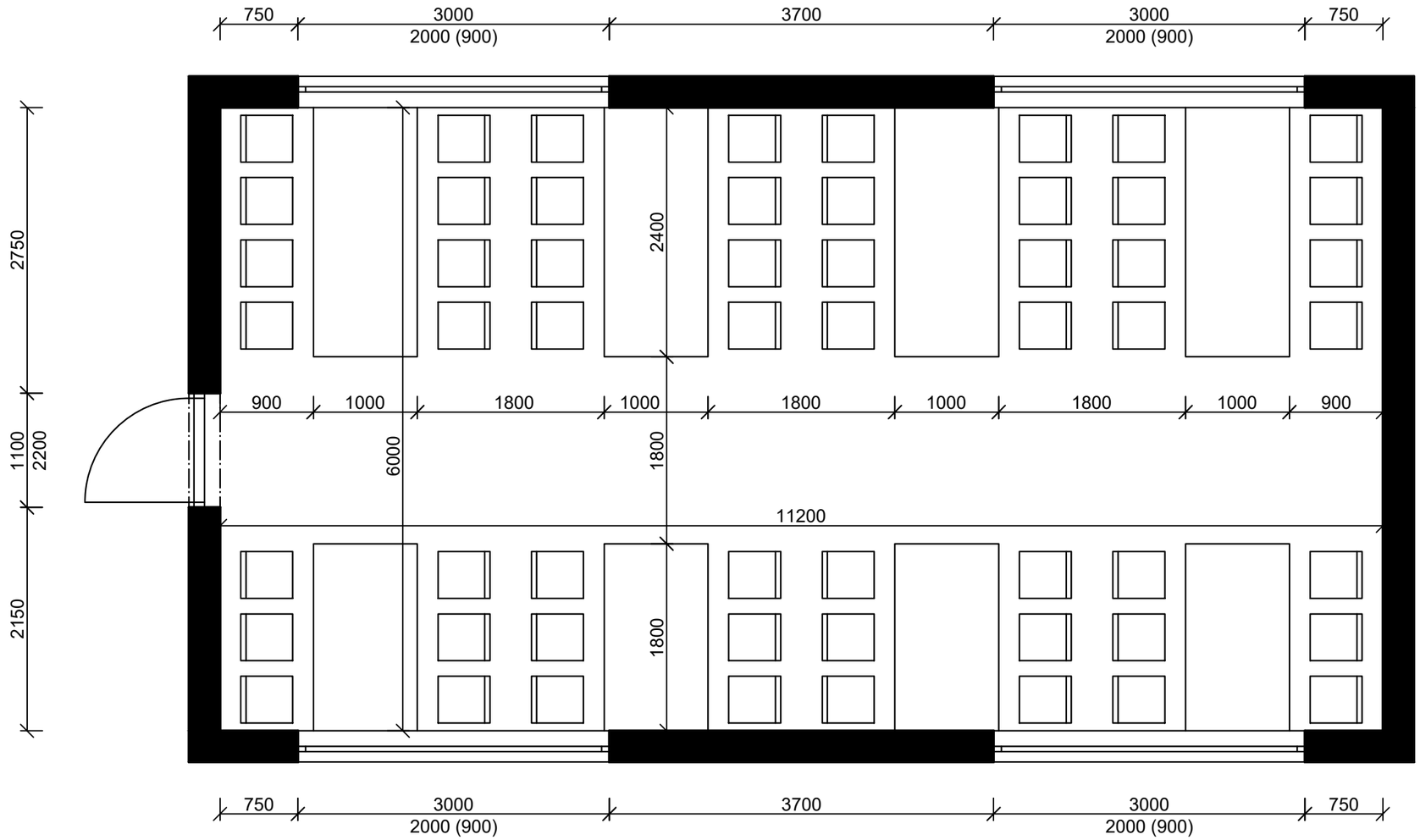
Postup práce bude stejný jako pro modelový prostor I a II. Nejprve jsem navrhnul model v programu Sketchup, který jsem poté převedl do softwaru Odeon. Vytvořil jsem tři modelové situace, jedenu bez akustických úprav a dvě s akustickými úpravami. Pak jsem pro vytvořené situace vymodeloval obsazenost a porovnával jsem, jak se zlepšovala nebo zhoršovala srozumitelnost.



Obr. 50 Modelový prostor III z programu Sketchup – pohled ke dveřím



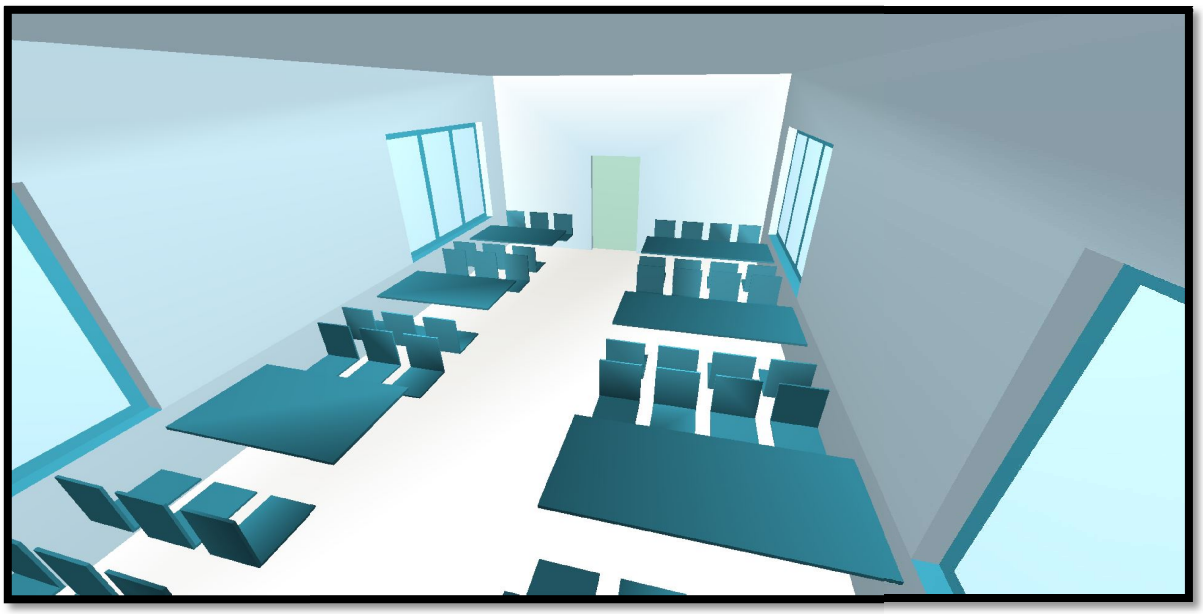
Obr. 51 Modelový prostor III z programu Sketchup – pohled od dveří



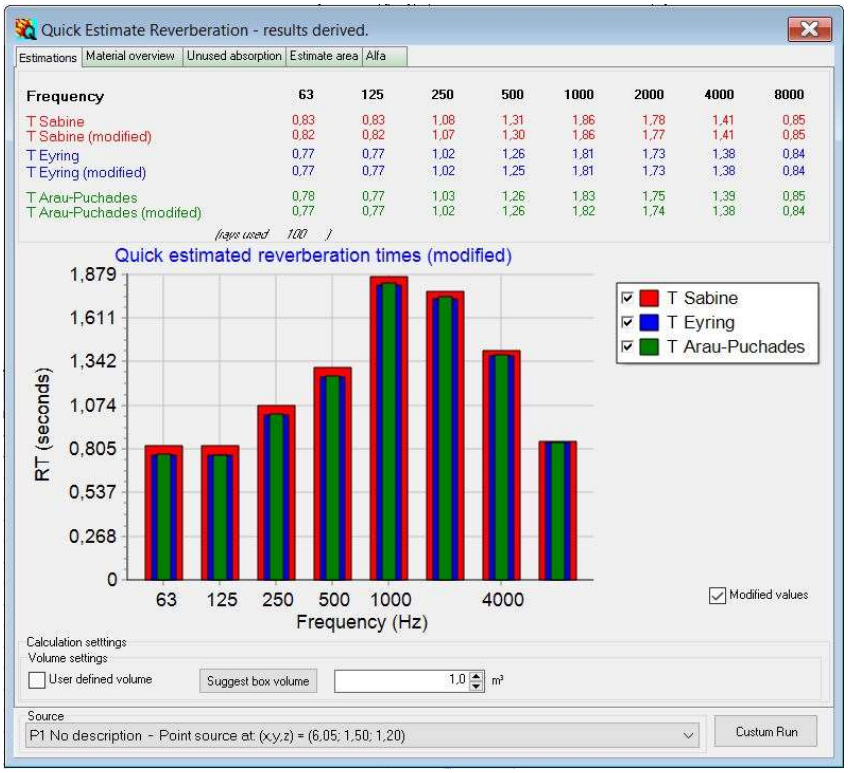
Obr. 52 Půdorys modelového prostoru III

4.3.2 Místnost bez úprav

Nejprve jsem navržený model převedl do softwaru Odeon a poté vypočítal dobu dozvuku.



Obr. 53 Modelový prostor III ze softwaru Odeon – bez úprav



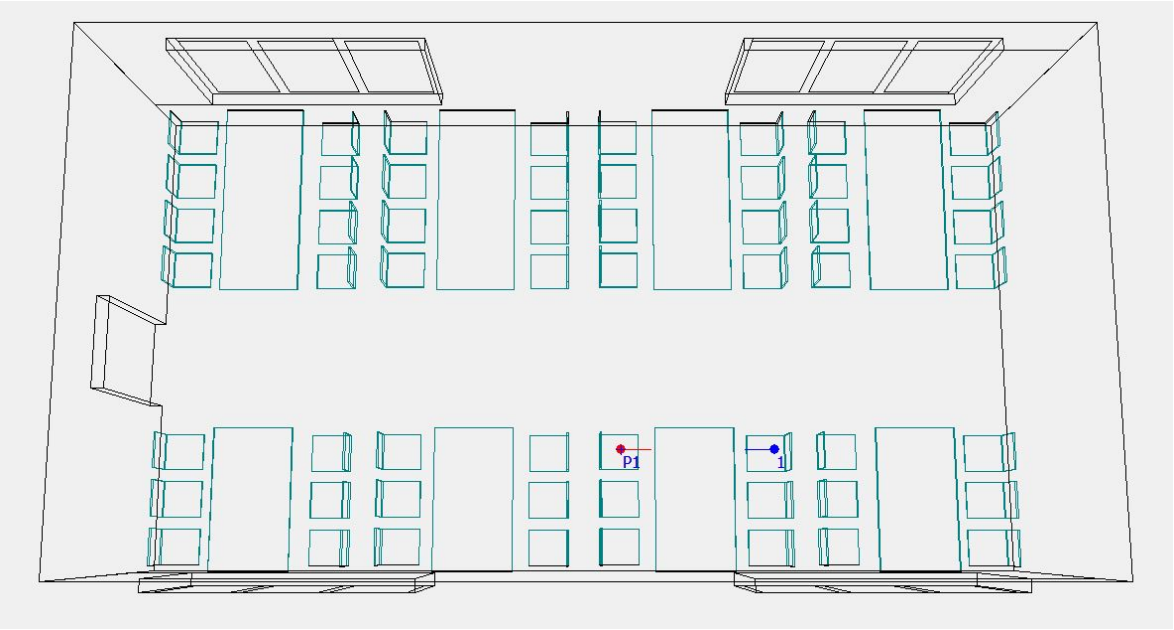
Obr. 54 Doba dozvuku modelového prostoru III – bez úprav

Pro tuto modelovou situaci jsem vytvořil pět variant obsazenosti místnosti, které jsem následně vyhodnotil

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

V této variantě je v místnosti pouze jedna komunikační dvojice, kterou tvoří jeden mluvčí a jeden posluchač. Pro výpočet STI se uvažuje, že v místnosti se nenachází žádný šum pozadí. Dvojice sedí u stolu, který je přibližně ve středu místnosti /obsazenost místnosti obr. 55/. Pro tuto variantu s jedním posluchačem byla vypočítána jedna hodnota STI /tab. 79/.



Obr. 55 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 1

Bod	STI	Hodnocení
1	0,57	Uspokojivý

Tab. 79 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 1

Vypočítaná hodnota STI je hodnocená jako uspokojivá. Tato modelová situace ve skutečnosti obvykle nenastává a lze očekávat, že se, se zvyšující obsazeností, bude tato hodnota zhoršovat. Hodnota STI této varianty 1 je stejná jako varianty 1 v kapitole 4.2.2 a z toho vyplývá, že v tomto případě nemá zmenšení místnosti z modelu II na model III na změnu hodnoty STI žádný dopad.

Varianta 2

V této variantě je k původní dvojici přidaná další dvojice s jedním mluvčím a jedním posluchačem. Tato dvojice je umístěna u vedlejšího stolu. Pro výpočet STI se opět uvažuje, že není žádný šum pozadí. Předmětem zkoumání je, jak toto obsazení místnosti změní hodnotu STI /obsazenost místnosti obr. 56/.

Obr. 56 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 2

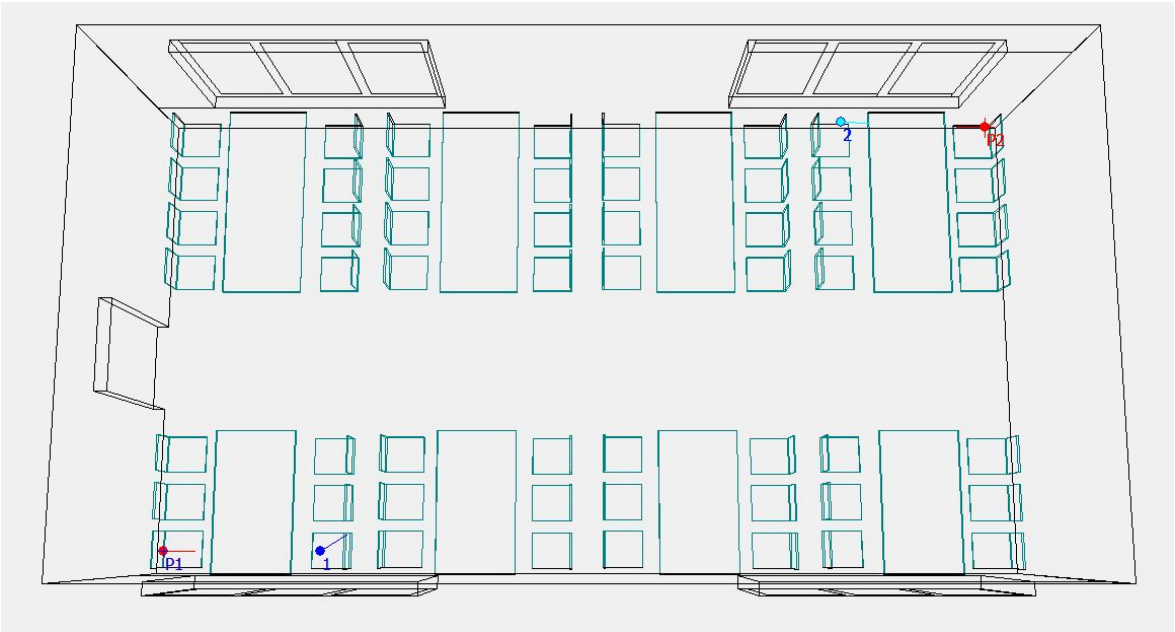
Bod	STI	Hodnocení
1	0,55	Uspokojivý
2	0,55	Uspokojivý
Průměr	0,55	Uspokojivý

Tab. 80 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 2

Vypočítané hodnoty STI po přidání pouze jednoho dalšího stolu s komunikující dvojicí klesnou v průměru o dvě setiny a hodnocení je uspokojivé /tab. 80/. V tomto případě je patrné, že se zmenšením prostoru se hodnota STI spíše mírně zvýšila oproti variantě 2 v kapitole 4.2.2.

Varianta 3

V této variantě jsou v místnosti opět dvě komunikující skupiny, ale jsou umístěny na opačných stranách místnosti /obsazenost místnosti obr. 57/. Zaměřil jsem se na to, jak se navzájem ovlivňují tyto dvě skupiny, pokud se nacházejí ve velké místnosti v největší vzdálenosti, jaká je v daném prostoru možná. Pro účely výpočtu je šum pozadí nulový.



Obr. 57 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 3

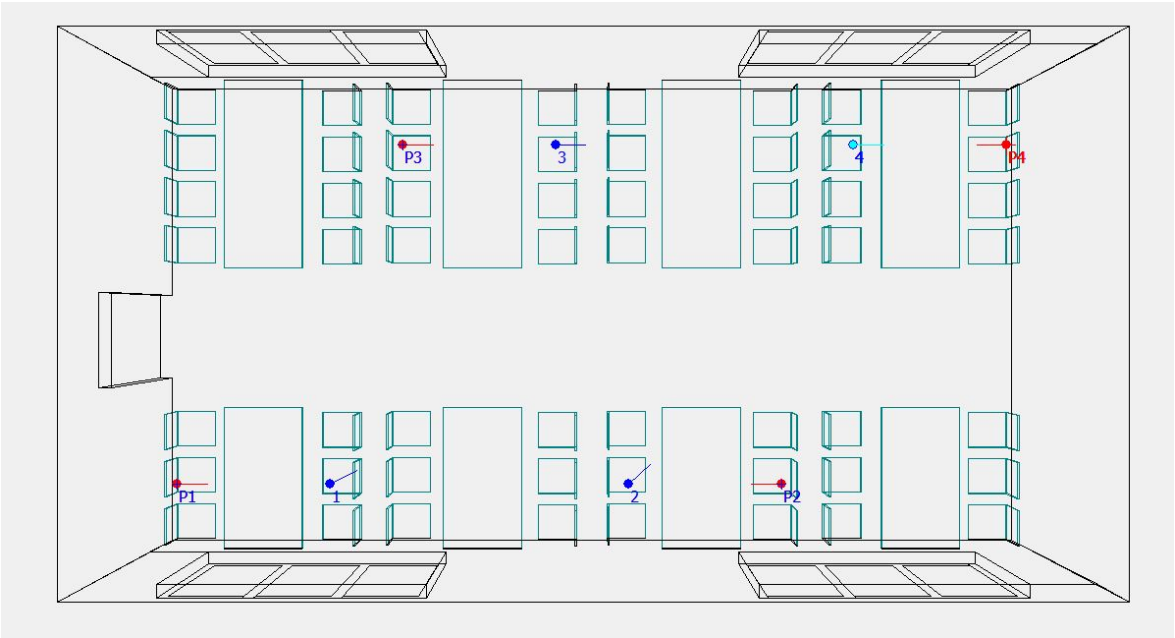
Bod	STI	Hodnocení
1	0,56	Uspokojivý
2	0,57	Uspokojivý
Průměr	0,57	Uspokojivý

Tab. 81 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 3

Z vypočtených hodnot STI je zřejmé, že pokud se v malé místnosti nacházejí dvě skupiny osob v odlehlých koutech, navzájem se svou řečí neovlivňují /tab. 81/. Z vyhodnocení vidíme, že i u této malé místnosti na sebe body, které leží v opačných koutech místnosti, mají jen minimální vliv. Hodnota STI je zde stejná jako u varianty 1.

Varianta 4

V této variantě je vymodelovaná situace, kde polovina stolů v místnosti je obsazena modelovou dvojicí a druhá polovina je prázdná. Obsazení stolů je vždy ob jeden. Toto rozvržení obsazenosti stolů bývá obvyklé. Pokud je to možné, návštěvník si raději sedne dál od jiných lidí /obsazenost místnosti obr. 58/. Pro účely výpočtu je šum pozadí opět nulový.



Obr. 58 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 4

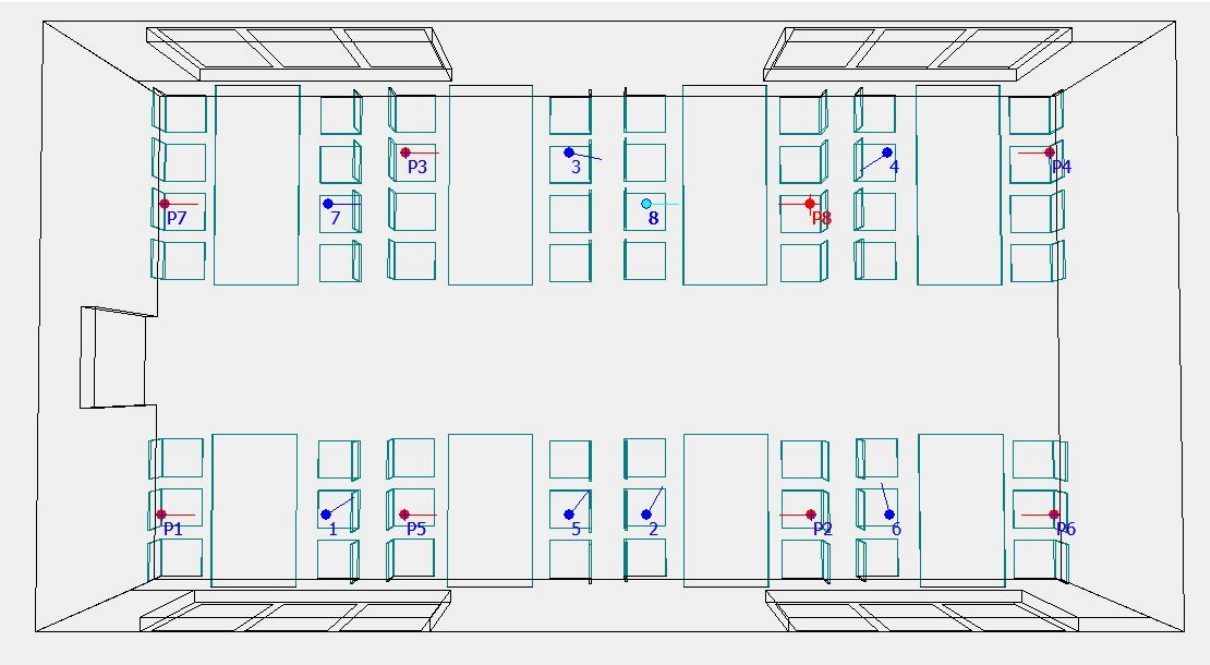
Bod	STI	Hodnocení
1	0,53	Uspokojivý
2	0,51	Uspokojivý
3	0,52	Uspokojivý
4	0,53	Uspokojivý
Průměr	0,52	Uspokojivý

Tab. 82 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 4

Při porovnání výsledků výpočtu STI s předchozími variantami je vidět, že hodnota STI klesla /tab. 82/. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 4 z modelového prostoru II, kde byla obsazenost místnosti také přibližně polovina, zjistíme, že místnost má vyšší průměrnou hodnotu STI a to konkrétně o 0,03.

Varianta 5

V této variantě jsou obsazeny všechny stoly v místnosti. U každého stolu se nachází jedna modelová dvojice osob, jeden mluvčí a jeden posluchač. Pro účely výpočtů je jedno kolik posluchačů se nachází u stolu, důležité jsou počty řečníků /obsazenost místnosti obr. 59/. Pro účely výpočtu je šum pozadí opět nulový.



Obr. 59 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 5

Bod	STI	Hodnocení
1	0,53	Uspokojivý
2	0,52	Uspokojivý
3	0,53	Uspokojivý
4	0,53	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
5	0,52	Uspokojivý
6	0,53	Uspokojivý
7	0,53	Uspokojivý
8	0,52	Uspokojivý
Průměr	0,53	Uspokojivý

Tab. 83 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 5

V porovnání s variantou 4, kde byla pouze polovina mluvčích, se průměrná hodnota STI zvýšila o 0,01 /tab. 83/. Pokud tuto variantu porovnáme s modelovým prostorem II variantou 5, průměrná hodnota STI je mírně vyšší konkrétně o 0,04.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2] a činitele zvukové pohltivosti α [-] pro jednotlivé konstrukce jsem převzal z modelu vytvořeného pro program Odeon. V tabulce tab. 84 jsou uvedeny plochy jednotlivých konstrukcí a jejich vypočítané ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	2,42	0,24
NB1 - Stůl	0,10	35,09	3,51
NB2 - Židle	0,10	52,07	5,21
NB3 - Parapet	0,10	1,80	0,18
OK1 - Okna sklo	0,05	18,36	0,92
OK2 - Okna rám	0,10	5,64	0,56
OP1 - Stěna ŽB	0,05	107,60	5,38
P1 - Podlaha dlažba	0,01	67,36	0,67
S1 - Strop ŽB	0,05	67,2	3,36
Celkem			20,03

Tab. 84 Modelový prostor III bez úprav

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 55.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	66,96
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	65,98
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-0,98

Tab. 85 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je -0,98 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 56.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	72,99
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	68,99
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-3,99

Tab. 86 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je -3,99 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 57.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	72,99
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	68,99
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-3,99

Tab. 87 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -3,99 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná. Hodnota SNR varianty 3 je stejná jako u varianty 2 proto, že se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 58.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	4
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	79,01
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	72,00
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-7,00

Tab. 88 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 14

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -7,00 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 59.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	8
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	85,03
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	75,01
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-10,01

Tab. 89 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 5

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 5 je -10,01 dB. Dle kapitoly 3.2.1 nesmí být vážená hladina akustického tlaku hluku okolí vyšší než 85 dB. Vzhledem k tomu, že pro tuto variantu je vážená hladina akustického tlaku hluku 85,48 dB, nelze tuto metodu použít.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

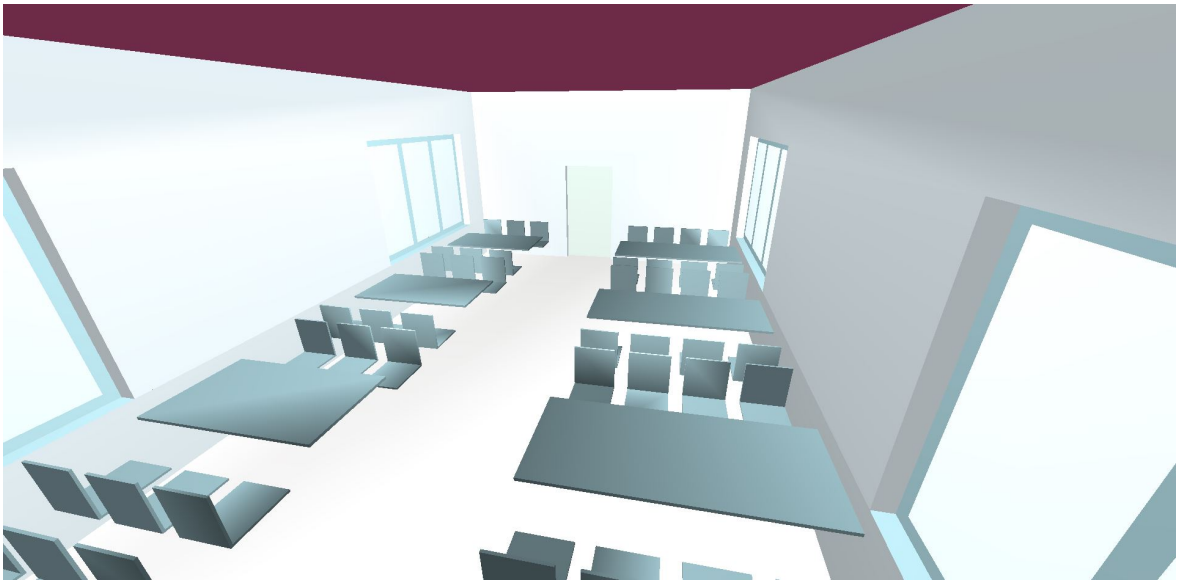
	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	255,96
Doba dozvuku	T	s	1,86
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	7

Tab. 90 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru III bez úprav

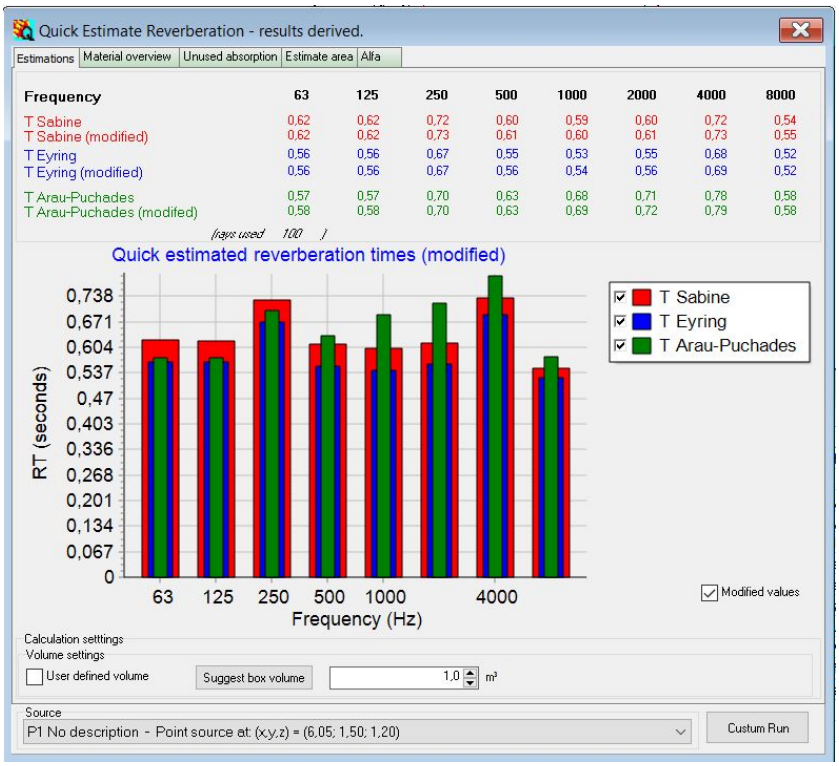
Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 7. V místnosti je v současnosti navrženo 54 míst, což mnohokrát přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.3.3 Místnost s akustickým podhledem

Modelový prostor jsem doplnil o akustický podhled, který zkrátí dobu dozvuku a vytvoří lepší akustické vlastnosti místnosti. Postup výpočtu byl stejný jako v kapitole 4.3.2. Do modelového prostoru jsem navrhl celoplošný akustický podhled THERMATEX® Laguna micro perforiert, ten je stejný jako v kapitole 4.1.3 se součinitelem zvukové pohltivosti, jehož hodnoty jsou uvedeny na obr. 29. Model prostoru jsem upravil a následně přepočítal.



Obr. 60 Modelový prostor III ze softwaru Odeon – s akustickým podhledem



Obr. 61 Doba dozvuku modelového prostoru III - s akustickým podhledem

V porovnání s akusticky neupravenou místností z bodu 4.3.2 se doba dozvuku snížila u některých frekvencí téměř na polovinu. Pro tuto modelovou situaci jsem opět vytvořil 5 variant obsazenosti místnosti, shodných s variantami z bodu 4.3.2, které jsem vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdroje zvuku jako varianta 1 v kapitole 4.3.2 /obr. 55/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,74	Dobrý

Tab. 91 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 1

Porovnáním s variantou 1 z kapitoly 4.3.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,17, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 1 v kapitole 4.2.3, došlo k zlepšení hodnoty STI o 0,03.

Varianta 2

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 2 v kapitole 4.3.2 /obr. 56/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,72	Dobrý
2	0,72	Dobrý
Průměr	0,72	Dobrý

Tab. 92 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 2

Porovnáním s variantou 2 z kapitoly 4.3.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,17, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 2 v kapitole 4.2.3, došlo k zlepšení hodnoty STI o 0,02.

Varianta 3

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 3 v kapitole 4.3.2 /obr. 57/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,72	Dobrý
2	0,73	Dobrý
Průměr	0,73	Dobrý

Tab. 93 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 3

Porovnáním s variantou 3 z kapitoly 4.3.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,16, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 3 v kapitole 4.2.3, došlo k zlepšení hodnoty STI o 0,02.

Varianta 4

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 4 v kapitole 4.3.2 /obr. 58/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,69	Dobrý
2	0,67	Dobrý
3	0,68	Dobrý
4	0,69	Dobrý
Průměr	0,68	Dobrý

Tab. 94 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 4

Porovnáním s variantou 4 z kapitoly 4.3.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,16, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 4 v kapitole 4.2.3, došlo k zlepšení hodnoty STI o 0,01.

Varianta 5

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 5 v kapitole 4.3.2 /obr. 59/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,70	Dobrý
2	0,68	Dobrý
3	0,68	Dobrý
4	0,70	Dobrý
5	0,68	Dobrý
6	0,69	Dobrý
7	0,70	Dobrý
8	0,68	Dobrý
Průměr	0,69	Dobrý

Tab. 95 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 5

Porovnáním s variantou 5 z kapitoly 4.3.2 jsem zjistil, že hodnota STI se zlepšila o 0,16, čímž se hodnocení posunulo z uspokojivého na dobré. Pokud tuto variantu porovnáme s variantou 5 v kapitole 4.2.3, došlo k menšímu zlepšení STI a to o 0,02.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2]a činitele zvukové pohltivosti α [-] jednotlivých konstrukcí jsem převzal z modelu vytvořeného pro program Odeon. V tabulce tab. 96 jsou plochy jednotlivých konstrukcí a jejich ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	2,42	0,24
NB1 - Stůl	0,10	35,09	3,51
NB2 - Židle	0,10	52,07	5,21
NB3 - Parapet	0,10	1,80	0,18
OK1 - Okna sklo	0,05	18,36	0,92
OK2 - Okna rám	0,10	5,64	0,56
OP1 - Stěna ŽB	0,05	100,73	5,04
P1 - Podlaha dlažba	0,01	67,36	0,67
S2 - Akus. podhled	0,60	67,2	40,32
Celkem			56,65

Tab. 96 Modelový prostor III s akustickým podhledem

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 55.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	57,94
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	61,47
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	3,53

Tab. 97 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je 3,53 dB. Dle kapitoly 4.2 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako dobrá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 56.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	63,96
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	64,48
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	0,52

Tab. 98 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je 0,52 dB. Dle kapitoly 4.2 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 57.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	63,96
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	64,48
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	0,52

Tab. 99 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je 0,52 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá. Hodnota SNR je u varianty 3 stejná jako u varianty 2 proto, že se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 58.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	4
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	69,98
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	67,49
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-2,49

Tab. 100 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 4 je -2,49 dB. Dle kapitoly 4.2 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 59.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	8
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	76,00
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	70,50
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-5,50

Tab. 101 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 5

Vypočtená hodnota SNR pro variantu 5 je -5,50 dB. Dle kapitoly 4.2 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

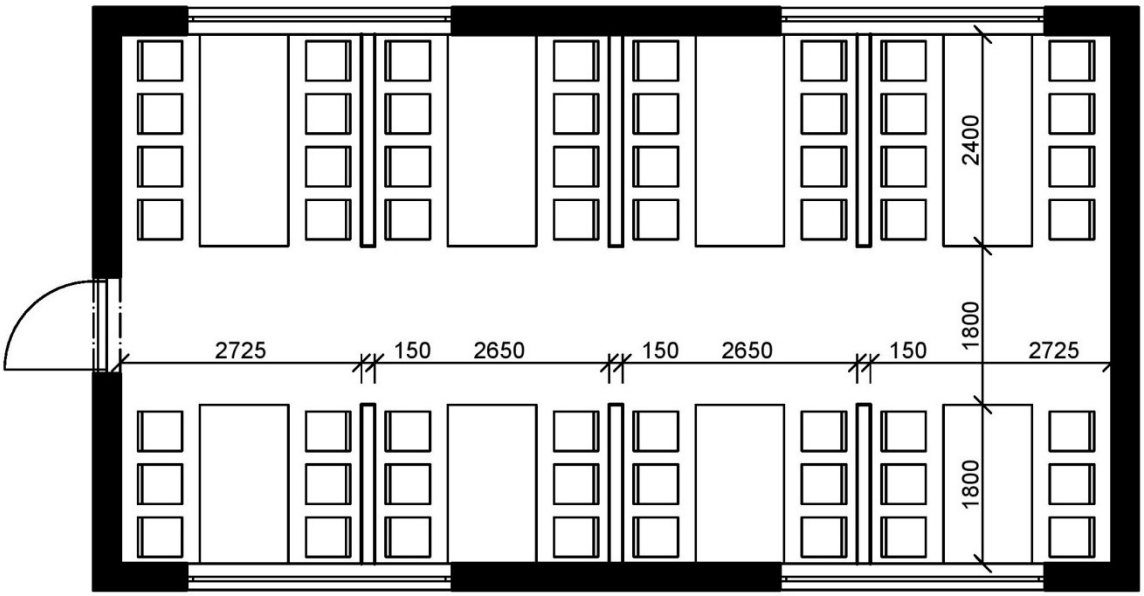
	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	242,52
Doba dozvuku	T	s	0,72
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	17

Tab. 102 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru III s akustickým podhledem

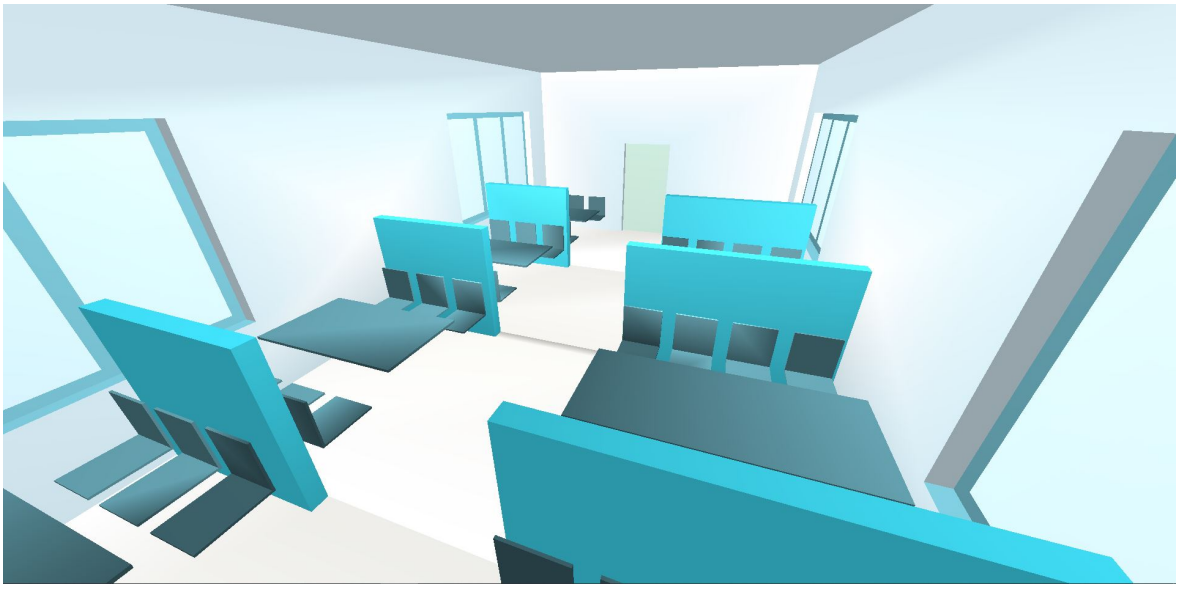
Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 17. V místnosti je v současnosti navrženo 54 míst, což 3krát přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.3.4 Místnost rozdělená příčkami

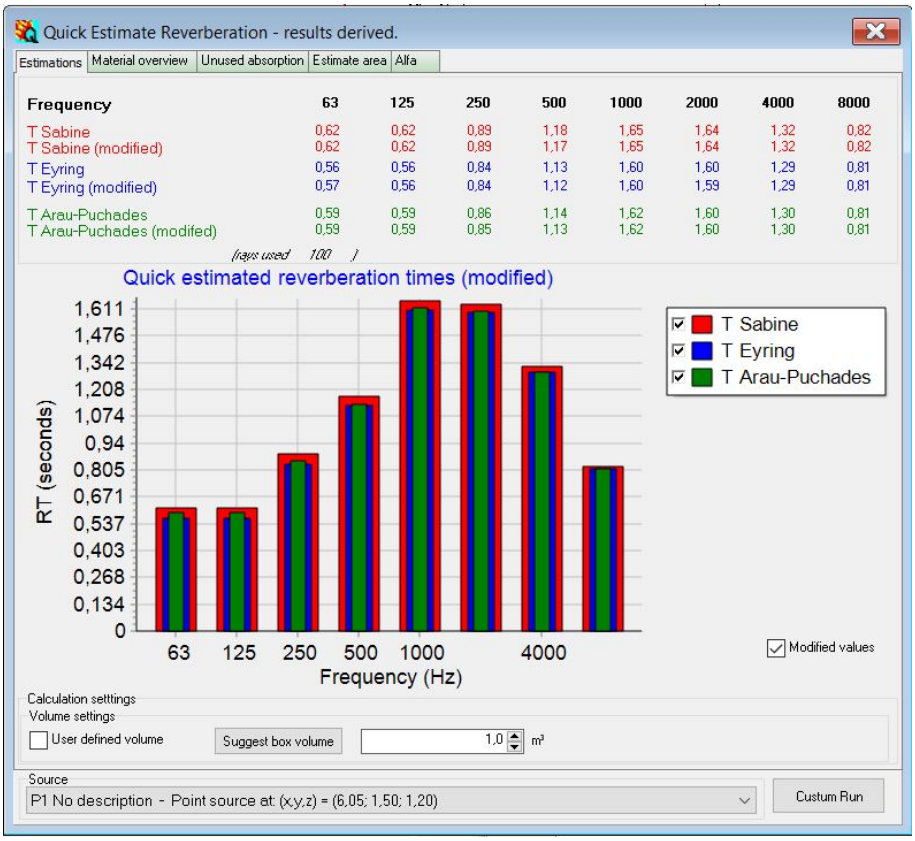
Modelový prostor jsem rozdělil 1,6m vysokými příčkami, které jsou obložené dřevem. Příčky jsem umístil mezi stoly /obr. 62/. Účelem těchto příček je snížení doby dozvuku instalací dalších pohltivých ploch a snížení přímého hluku od jednotlivých stolů. Prostor jsem upravil a přepočítal.



Obr. 62 Schéma rozmístění příček modelového prostoru III



Obr. 63 Modelový prostor III ze softwaru Odeon – rozdělený příčkami



Obr. 64 Doba dozvuku modelového prostoru III – rozděleného příčkami

V porovnání s akusticky neupravenou místností z bodu 4.3.2 se doba dozvuku snížila téměř o třetinu. Pro tuto modelovou situaci jsem vytvořil 5 variant obsazenosti místnosti, shodných s variantami z bodu 4.3.2, které jsem vyhodnotil.

A) Výpočet STI pomocí softwaru Odeon

Varianta 1

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 1 v kapitole 4.3.2 /obr. 55/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,67	Dobrý

Tab. 103 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 1

Porovnáním s variantou1 z kapitoly 4.3.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,1, hodnocení se zlepšilo z úrovně uspokojivý na úroveň dobrý. Oproti variantě 1 z kapitoly 4.3.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,07 horší.

Varianta 2

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 2 v kapitole 4.3.2 /obr. 56/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,63	Dobrý
2	0,61	Dobrý
Průměr	0,62	Dobrý

Tab. 104 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 2

Porovnáním s variantou 2 z kapitoly 4.3.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,07, hodnocení se zlepšilo z úrovně uspokojivý na úroveň dobrý. Oproti variantě 2 z kapitoly 4.3.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,1 horší.

Varianta 3

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 3 v kapitole 4.3.2 /obr. 57/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,63	Dobrý
2	0,63	Dobrý
Průměr	0,63	Dobrý

Tab. 105 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 3

Porovnáním s variantou 3 z kapitoly 4.3.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,06, hodnocení se zlepšilo z úrovně uspokojivý na úroveň dobrý. Oproti variantě 3 z kapitoly 4.3.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,1 horší.

Varianta 4

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 4 v kapitole 4.3.2 /obr. 58/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,58	Uspokojivý
2	0,57	Uspokojivý
3	0,58	Uspokojivý
4	0,58	Uspokojivý
Průměr	0,58	Uspokojivý

Tab. 106 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 4

Porovnáním s variantou 4 z kapitoly 4.3.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,06, hodnocení zůstalo na úrovni uspokojivý. Oproti variantě 4 z kapitoly 4.3.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,1 horší.

Varianta 5

Tato varianta má totožnou obsazenost a umístění zdrojů zvuku jako varianta 5 v kapitole 4.3.2 /obr. 59/.

Bod	STI	Hodnocení
1	0,56	Uspokojivý
2	0,55	Uspokojivý
3	0,55	Uspokojivý
4	0,56	Uspokojivý

Bod	STI	Hodnocení
5	0,55	Uspokojivý
6	0,56	Uspokojivý
7	0,55	Uspokojivý
8	0,55	Uspokojivý
Průměr	0,55	Uspokojivý

Tab. 107 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 5

Porovnáním s variantou 5 z kapitoly 4.3.2 /bez úpravy/ jsem zjistil, že hodnota STI je lepší o 0,02, hodnocení zůstalo na úrovni uspokojivý. Oproti variantě 5 z kapitoly 4.3.3 /akustický podhled/ je hodnota STI o 0,14 horší.

B) Výpočet Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Tento výpočet vychází z kapitoly 3.2.1. Plochy konstrukcí S [m^2]a činitele zvukové pohltivosti α [-] jednotlivých konstrukcí jsem převzal z modelu vytvořeného pro programu Odeon. V tabulce tab. 108 jsou uvedené plochy jednotlivých konstrukcí a jejich ekvivalentní pohltivé plochy A [m^2].

Konstrukce	α [-]	S [m^2]	A [m^2]
DV1 - Dveře	0,10	2,42	0,24
NB1 - Stůl	0,10	35,09	3,51
NB2 - Židle	0,10	52,07	5,21
NB3 - Parapet	0,10	1,80	0,18
NB4 - Dřevěný obklad	0,10	43,27	4,33
OK1 - Okna sklo	0,05	18,36	0,92
OK2 - Okna rám	0,10	5,64	0,56
OP1 - Stěna ŽB	0,05	106,59	5,33
P1 - Podlaha dlažba	0,01	65,51	0,66
S1 - Strop ŽB	0,05	67,2	3,36
Celkem			24,29

Tab. 108 Modelový prostor III rozdělený příčkami

Pro jednotlivé varianty obsazenosti, které se shodují s variantami řešení vnitřního prostoru, jsem vypočítal hodnoty SNR.

Varianta 1

Obsazení místnosti je na obr. 55.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	1
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	65,29
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	65,15
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-0,15

Tab. 109 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 1

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 1 je -0,15 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako uspokojivá.

Varianta 2

Obsazení místnosti je na obr. 56.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	71,31
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	68,16
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-3,16

Tab. 110 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 2

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 2 je -3,16 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 3

Obsazení místnosti je na obr. 57.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	2
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	71,31
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	68,16
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-3,16

Tab. 111 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 3

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 3 je -3,16 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná. Hodnota SNR je u varianty 3 stejná jako u varianty 2, protože se ve výpočtu zohledňuje jen počet osob a ne jejich poloha.

Varianta 4

Obsazení místnosti je na obr. 58.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	4
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	77,33
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	71,17
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-6,17

Tab. 112 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 4

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 4 je -6,17 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Varianta 5

Obsazení místnosti je na obr. 59.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Počet hovořících osob	N_S	-	8
Váž. hladina aku. tlaku hluku	$L_{N,A}$	dB	83,35
Váž. hladina aku. tlaku řeči	$L_{S,A,1m}$	dB	74,18
Poměr signálu k šumu	SNR	dB	-9,18

Tab. 113 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 5

Vypočítaná hodnota SNR pro variantu 5 je -9,18 dB. Dle kapitoly 3.2.1 je pro tuto obsazenost výsledná akustická kvalita hodnocena jako nedostatečná.

Pomocí této metody, lze také určit maximální obsazenost v dané modelové místnosti. Výpočtem jsem zjistil maximální možný počet osob, které mohou bezproblémově konverzovat na vzdálenost 1m.

	Značení	Jednotky	Hodnota
Objem místnosti	V	m^3	253,00
Doba dozvuku	T	s	1,65
Maximální celkový počet osob	N_{max}	-	8

Tab. 114 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru III rozděleného příčkami

Z výpočtu vyplývá, že maximální počet osob pro uspokojivé porozumění je 8. V místnosti je v současnosti navrženo 54 míst, což mnohonásobně přesahuje vypočítaný maximální počet osob.

4.3.5 Výsledné zhodnocení variant

A) Výsledné hodnocení STI vypočítané pomocí softwaru Odeon

Varianta	Úprava místnosti					
	Bez úprav		S akustickým podhledem		Rozdělená příčkami	
	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení
1	0,57	Uspokojivý	0,74	Dobrý	0,67	Dobrý
2	0,55	Uspokojivý	0,72	Dobrý	0,62	Dobrý
3	0,57	Uspokojivý	0,73	Dobrý	0,63	Dobrý
4	0,52	Uspokojivý	0,68	Dobrý	0,58	Uspokojivý
5	0,53	Uspokojivý	0,69	Dobrý	0,55	Uspokojivý

Tab. 115 Celkový souhrn STI pro modelový prostor III

Z průměrných výsledků v tab. 115 je vidět, že použitím akustického podhledu je hodnota STI lepší o 0,17 a hodnocení se zlepšilo na dobrý. Toto jednoduché a relativně méně pracné opatření dokáže dostatečně zlepšit akustické vlastnosti místnosti. Naproti tomu úprava pomocí rozdělení místnosti příčkami přinesla jen mírné zlepšení a to v průměru o 0,06. Tato úprava je nedostatečná.

B) Výsledné hodnocení Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

Varianta	Úprava místnosti					
	Bez úprav		S akustickým podhledem		Rozdělená příčkami	
	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení
1	-0,98	Uspokojivý	3,53	Dobrý	-0,15	Uspokojivý
2	-3,99	Uspokojivý	0,52	Uspokojivý	-3,16	Nedostatečný
3	-3,99	Uspokojivý	0,52	Uspokojivý	-3,16	Nedostatečný
4	-7,00	Nedostatečný	-2,49	Uspokojivý	-6,17	Nedostatečný
5	-10,01	-	-5,50	Nedostatečný	-9,18	Nedostatečný
	Maximální počet osob					
	7		17		8	

Tab. 116 Celkový souhrn SNR pro modelový prostor III

Z výsledků v tab. 116 je vidět, že použitím akustického podhledu je hodnota SNR lepší o cca čtyři a půl decibelu. Toto jednoduché a relativně méně pracné opatření dokáže ve většině případů dostatečně zlepšit akustické vlastnosti místnosti. Naproti tomu úprava pomocí rozdělení místnosti příčkami přineslo jen mírné zlepšení a to v průměru o 0,8 decibelu. Tato úprava je nedostatečná. Toto tvrzení podporuje i výpočet maximální obsazenosti místnosti, kde místnost s akustickým podhledem má více jak dvojnásobnou kapacitu oproti ostatním.

Oproti hodnotám STI, je v hodnotách SNR znatelný rozdíl mezi obsazeností místnosti u poloviny stolů a u všech stolů. Toto hodnocení se zdá být bližší skutečnému stavu chování prostoru.

4.4 Celkové zhodnocení variant

A) Celkové hodnocení STI vypočítané pomocí softwaru odeon

	Var.	Úprava místnosti					
		Bez úprav		S akus. podhledem		Rozdělená příčkami	
		STI	Hodnocení	STI	Hodnocení	STI	Hodnocení
Modelový prostor I	1	0,61	Dobrý	0,81	Vynikající	0,69	Dobrý
	2	0,59	Uspokojivý	0,78	Vynikající	0,66	Dobrý
	3	0,63	Dobrý	0,80	Vynikající	0,71	Dobrý
	4	0,48	Uspokojivý	0,66	Dobrý	0,54	Uspokojivý
	5	0,48	Uspokojivý	0,66	Dobrý	0,52	Uspokojivý
Modelový prostor II	1	0,57	Uspokojivý	0,77	Vynikající	0,68	Dobrý
	2	0,55	Uspokojivý	0,74	Dobrý	0,65	Dobrý
	3	0,58	Uspokojivý	0,75	Vynikající	0,67	Dobrý
	4	0,49	Uspokojivý	0,67	Dobrý	0,54	Uspokojivý
	5	0,49	Uspokojivý	0,67	Dobrý	0,53	Uspokojivý
Modelový prostor III	1	0,57	Uspokojivý	0,74	Dobrý	0,67	Dobrý
	2	0,55	Uspokojivý	0,72	Dobrý	0,62	Dobrý
	3	0,57	Uspokojivý	0,73	Dobrý	0,63	Dobrý
	4	0,52	Uspokojivý	0,68	Dobrý	0,58	Uspokojivý
	5	0,53	Uspokojivý	0,69	Dobrý	0,55	Uspokojivý

Tab. 117 Celkový souhrn STI

V tabulce tab. 117 je uvedeno shrnutí všech vypočítaných průměrných hodnot STI a jejich hodnocení pro všechny tři modelové prostory a všechny počítané varianty. Z porovnání jednotlivých výsledků vyplývá, že hodnota STI pro stejnou variantu obsazenosti a stejnou velikost prostoru je nejlepší v případě, že je v prostoru instalovaný akustický podhled a nejhorší v prostoru bez úprav, což se dalo předpokládat.

B) Celkové hodnocení Lombardova efektu a akustická simulace místnosti

	Var.	Úprava místnosti					
		Bez úprav		S akus. podhledem		Rozdělená příčkami	
		SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení	SNR	Hodnocení
Modelový prostor I	1	3,19	Dobrý	8,48	Dobrý	4,28	Dobrý
	2	0,18	Uspokojivý	5,47	Dobrý	1,27	Uspokojivý
	3	0,18	Uspokojivý	5,47	Dobrý	1,27	Uspokojivý
	4	-7,23	Nedostatečný	-1,94	Uspokojivý	-6,13	Nedostatečný
	5	-10,24	-	-4,95	Nedostatečný	-9,14	Nedostatečný
Modelový prostor II	1	1,17	Dobrý	6,18	Dobrý	2,11	Uspokojivý
	2	-1,84	Uspokojivý	3,17	Dobrý	-0,90	Uspokojivý
	3	-1,84	Uspokojivý	3,17	Dobrý	-0,90	Uspokojivý
	4	-7,86	Nedostatečný	-2,85	Uspokojivý	-6,92	Nedostatečný
	5	-10,29	-	-5,28	Nedostatečný	-9,35	Nedostatečný
Modelový prostor III	1	-0,98	Uspokojivý	3,53	Dobrý	-0,15	Uspokojivý
	2	-3,99	Uspokojivý	0,52	Uspokojivý	-3,16	Nedostatečný
	3	-3,99	Uspokojivý	0,52	Uspokojivý	-3,16	Nedostatečný
	4	-7,00	Nedostatečný	-2,49	Uspokojivý	-6,17	Nedostatečný
	5	-10,01	-	-5,50	Nedostatečný	-9,18	Nedostatečný

Tab. 118 Celkový souhrn SNR

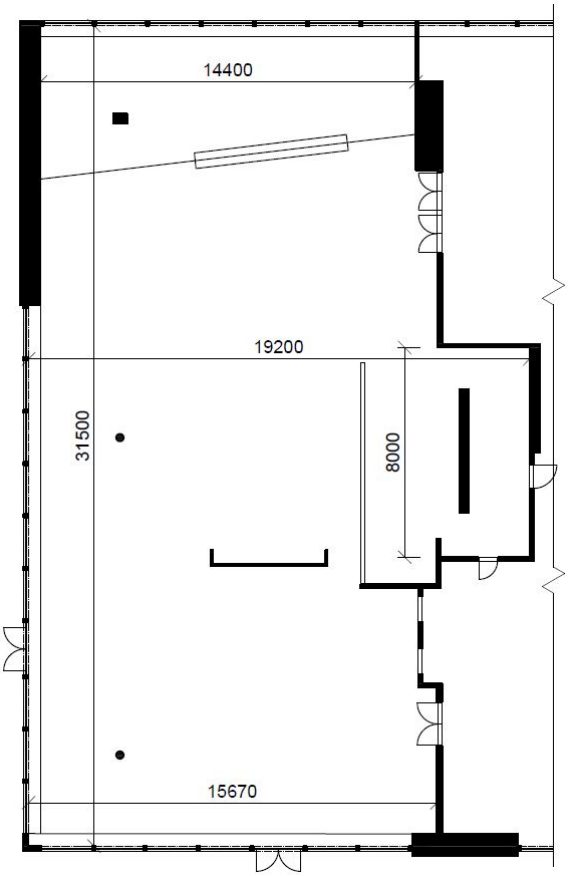
V tabulce tab. 118 je uvedeno shrnutí výsledků SNR a jejich hodnocení pro všechny tři modelové prostory a všechny počítané varianty. Z porovnání výsledků vyplývá, že hodnoty SNR vycházejí nejlépe pro místnost s akustickým podhledem a nejhůř pro místnost bez úprav. Ale při plné obsazenosti ani pouhá úprava akustickým podhledem nestačí a to bez ohledu na velikost místnosti.

5. Objekt menza

Pro účely zkoumání akustiky reálného prostoru jsem si vybral Restauraci vysokoškolské menzy na Strahově.

5.1 Popis restaurace

Menza, tedy přesněji pouze část restaurace, je přibližně obdélníkového půdorysu, který je rozšířený o kuchyni. Schematický půdorys restaurace je na obrázku 65. Světlá výška vnitřního prostoru je 7,47 m. Svislé nosné konstrukce objektu jsou zděné stěny opatřené omítkou, které jsou doplněné několika ocelovými sloupy. Velká část obvodové konstrukce je prosklená, průhledné výplně tvoří izolační dvojsklo. Jako nosná konstrukce střechy jsou použity ocelové prostorové příhradové vazníky, na kterých je umístěný trapézový plech a souvrství střechy. Ve střeše jsou umístěné tři světlíky. Nášlapná vrstva podlahy je z části z keramické dlažby, na části je položena plovoucí podlaha a linoleum. V prostoru se nachází velké množství zařizovacích předmětů a nábytku. V kuchyni je především vnitřní zařízení z nerezového plechu, v prostorách jídelny jsou dřevěné stoly a židle a prodejní a chladící skříně.



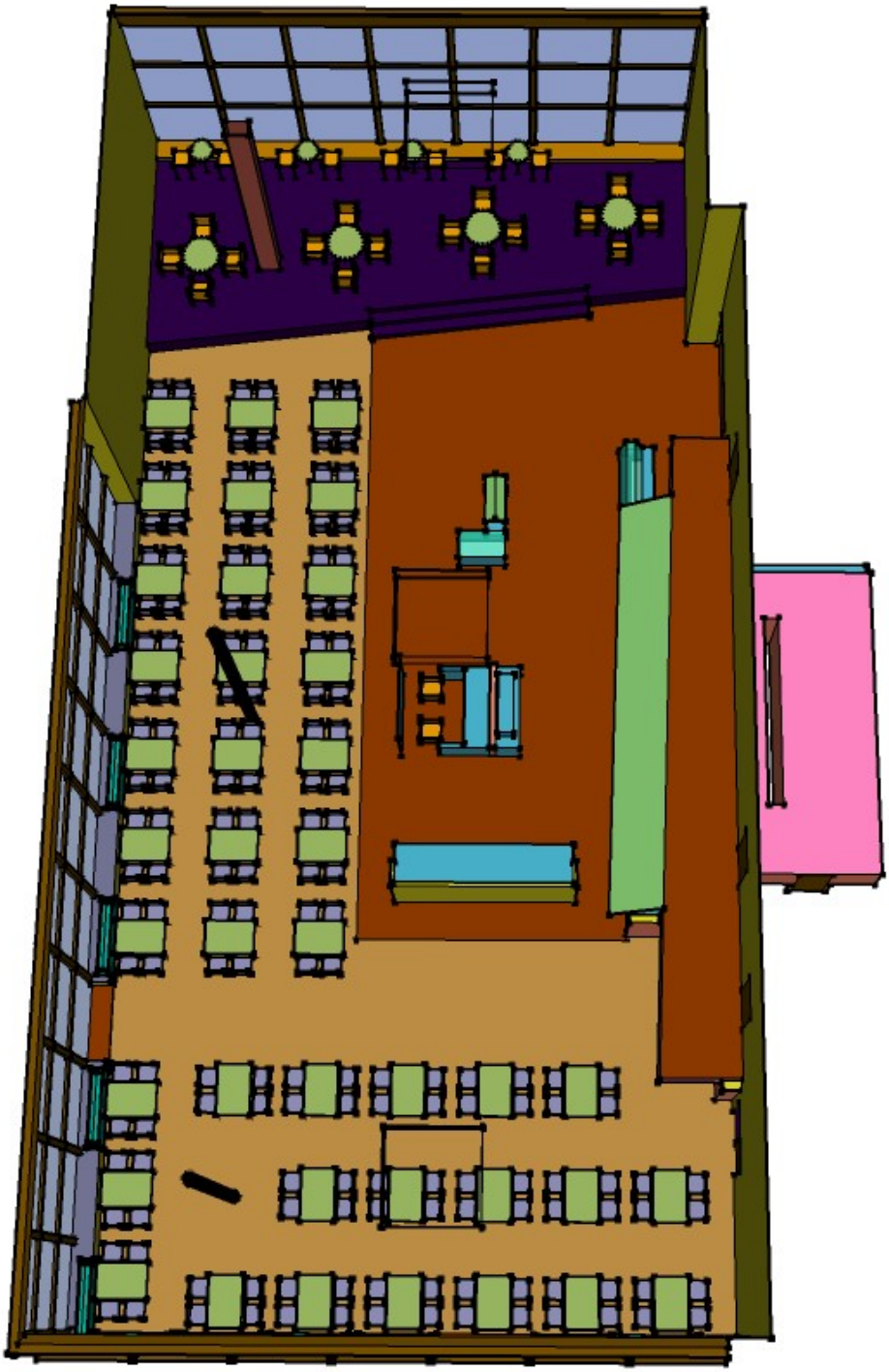
Obr. 65 Schéma půdorysu Strahovské menzy, část Restaurace

Obr. 66 Strahovská menza - Restaurace

Obr. 67 Strahovská menza - Restaurace

5.2 Prostorový akustický model restaurace

Model jsem vytvořil v programu Sketchup 2017 na základě půdorysu a řezu dostupného na stránkách menzy a podle skutečností zjištěných přímo na místě. Model jsem použil, jak pro ruční výpočet, tak pro výpočet pomocí softwaru Odeon.



Obr. 68 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 69 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 70 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 71 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

5.3 Ruční výpočet doby dozvuku restaurace

Výpočet doby dozvuku jsem provedl metodami podle Sabina a Eyringa, které jsou obecně popsané v kapitole 2.3. Doba dozvuku podle Sabina se stanoví ze vztahu:

$$T = 0{,}163\frac{V}{A} \ [s] \quad (27)$$

kde V [m^3] je objem uzavřeného prostoru a A [m^2] je celková ekvivalentní plocha pohlcování, stanovená rovnicí:

$$A = \alpha_m \sum_i S_i + 4 * m * V \quad [m^2] \quad (28)$$

kde α_m [-] je střední činitel zvukové pohltivosti pro uzavřený prostor, $\sum_i S_i$ [m^2] je celková plocha všech vnitřních povrchů a m [m^{-1}] je činitel útlumu zvuku ve vzduchu. Střední činitel zvukové pohltivosti podle Sabina se vypočte ze vztahu:

$$\alpha_m = \alpha_S = \frac{\sum_i S_i * \alpha_i + \sum_j A_{obj,j}}{\sum_i S_i} \quad [-] \quad (29)$$

kde S_i [m^2] je plocha i-tého povrchu, α_i [-] je činitel zvukové pohltivosti i-tého povrchu a , $A_{obj,j}$ [m^2] je ekvivalentní plocha různých pohlcovacích prvků. Střední činitel zvukové pohltivosti podle Eyringa se vypočte z rovnice:

$$\alpha_m = \alpha_E = -\ln(1 - \alpha_S) \quad [-] \quad (30)$$

Činitel útlumu zvuku m [m^{-1}] ve vzduchu dle ČSN 73 0525 pro atmosférický tlak 101,325 kPa a pro teplotu 20° C je uvedený v tabulce tab. 119. Pro frekvence nižší než 1000 Hz má útlum zvuku ve vzduchu zanedbatelný vliv a proto jsem s ním ve výpočtu neuvažoval. Pro náš případ jsem hodnotu relativní vlhkosti vzduchu odhadl na 50 %.

f	Relativní vlhkost [%]										
[Hz]	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1000	0,0041	0,0025	0,0018	0,0013	0,0012	0,0011	0,0012	0,0012	0,0012	0,0013	0,0013
2000	0,0137	0,0095	0,0067	0,0041	0,0031	0,0027	0,0024	0,0023	0,0023	0,0022	0,0023
4000	0,0297	0,0295	0,0242	0,0161	0,0118	0,0094	0,0079	0,0069	0,0063	0,0058	0,0055

Tab. 119 Činitel útlumu zvuku m [24]

Rozměry jednotlivých povrchů jsem převzal z prostorového modelu popsaného v kapitole 5.2, materiály jsem zjistil osobní prohlídkou a jejich střední součinitele zvukové pohltivosti jsem převzal z knihovny programu Odeon.

Povrch	*f* [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
DV1 - Dveře plastové						
Plocha konstrukce [m^2]	3,42					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34	0,34
DV2 - Dveře dřevěné plné						
Plocha konstrukce [m^2]	9,20					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,060	0,080	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,92	0,92	0,55	0,74	0,92	0,92
OK1 - Okna - dvojsklo						
Plocha konstrukce [m^2]	263,62					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,070	0,050	0,030	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	26,36	18,45	13,18	7,91	5,27	5,27
OK2 - Okna - rámy						
Plocha konstrukce [m^2]	144,64					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	14,46	14,46	14,46	14,46	14,46	14,46
OK3 - Parapet dřevotříska						
Plocha konstrukce [m^2]	9,42					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94	0,94
OK4 - Plexisklo						
Plocha konstrukce [m^2]	2,09					
Činitel pohltivosti α [-]	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42	0,42
OK5 - Skleněné výlohy						
Plocha konstrukce [m^2]	15,60					
Činitel pohltivosti α [-]	0,080	0,040	0,030	0,030	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
OK6 - Střešní okno						
Plocha konstrukce [m^2]	12,30					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,070	0,050	0,030	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	1,23	0,86	0,62	0,37	0,25	0,25

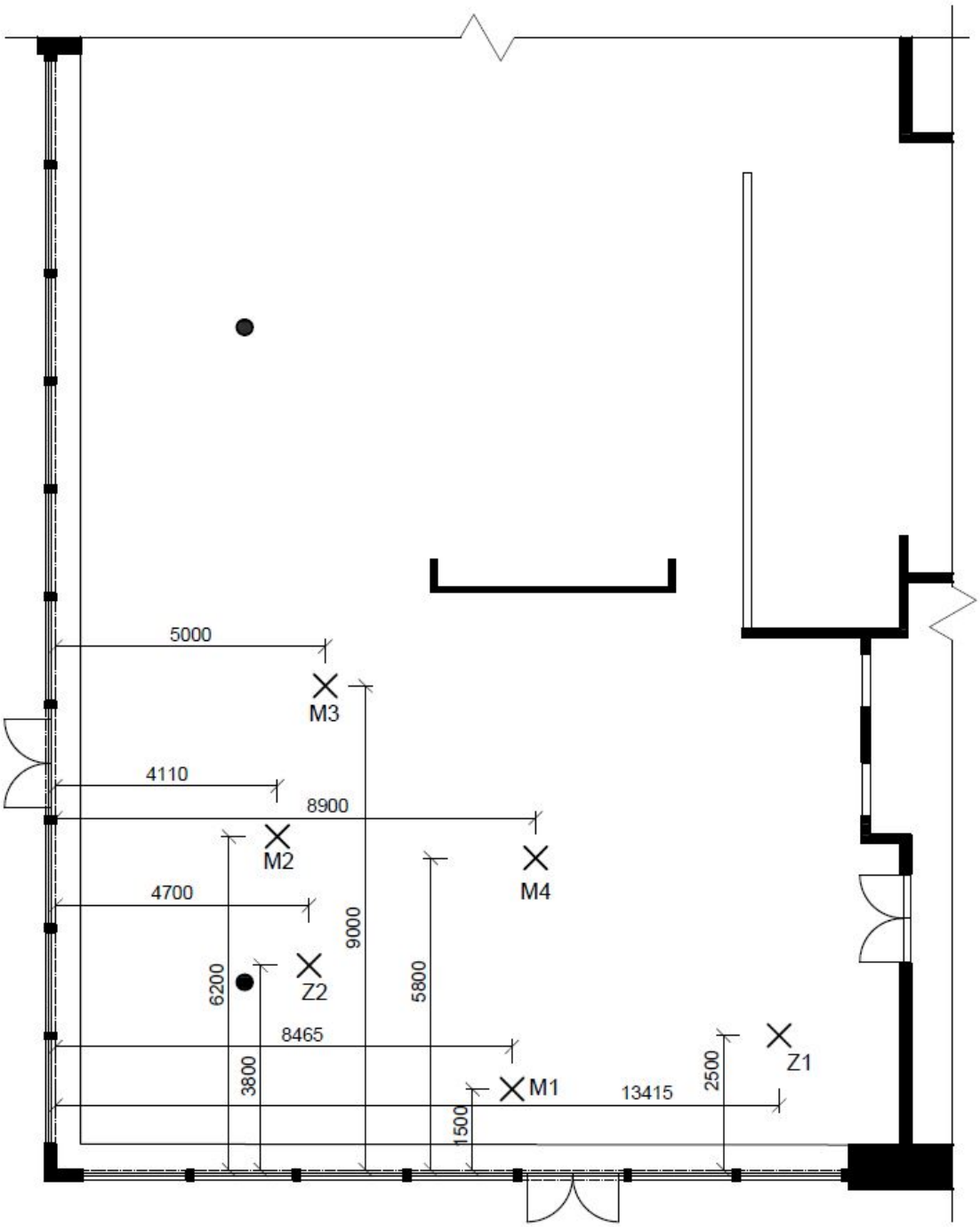
Povrch	*f* [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
OP1 - Stěna zděná s omítkou						
Plocha konstrukce [m^2]	295,77					
Činitel pohltivosti α [-]	0,020	0,020	0,030	0,040	0,050	0,050
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	5,92	5,92	8,87	11,83	14,79	14,79
OP2 - Stěna keramický obklad						
Plocha konstrukce [m^2]	56,09					
Činitel pohltivosti α [-]	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,56	0,56	0,56	0,56	1,12	1,12
OP3 - Stěna sádrokarton						
Plocha konstrukce [m^2]	12,78					
Činitel pohltivosti α [-]	0,280	0,120	0,100	0,170	0,130	0,090
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	3,58	1,53	1,28	2,17	1,66	1,15
OP4 - Ocelové sloupy						
Plocha konstrukce [m^2]	11,85					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19	1,19
OP5 - ŽB s omítkou						
Plocha konstrukce [m^2]	66,00					
Činitel pohltivosti α [-]	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,66	0,66	1,32	1,32	1,32	1,32
P1 - Podlaha beton						
Plocha konstrukce [m^2]	0,80					
Činitel pohltivosti α [-]	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,01	0,01	0,01	0,02	0,02	0,02
P2 - Podlaha plovoucí						
Plocha konstrukce [m^2]	75,73					
Činitel pohltivosti α [-]	0,020	0,020	0,030	0,040	0,050	0,050
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	1,51	1,51	2,27	3,03	3,79	3,79
P3 - Podlaha linoleum						
Plocha konstrukce [m^2]	237,31					
Činitel pohltivosti α [-]	0,020	0,020	0,030	0,040	0,050	0,050
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	4,75	4,75	7,12	9,49	11,87	11,87

Povrch	*f* [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
P4 - Podlaha keramická dlažba						
Plocha konstrukce [m^2]	178,29					
Činitel pohltivosti α [-]	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	1,78	1,78	1,78	1,78	3,57	3,57
P5 - Kamenná dlažba						
Plocha konstrukce [m^2]	7,47					
Činitel pohltivosti α [-]	0,010	0,010	0,010	0,010	0,020	0,020
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	0,07	0,07	0,07	0,07	0,15	0,15
S1 - Strop plech						
Plocha konstrukce [m^2]	460,86					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	46,09	46,09	46,09	46,09	46,09	46,09
ZP01 - Radiátor plech						
Plocha konstrukce [m^2]	22,65					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27	2,27
ZP02 - Ocelový plech						
Plocha konstrukce [m^2]	99,67					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97	9,97
ZP03 - Stůl dřevotříska						
Plocha konstrukce [m^2]	88,85					
Činitel pohltivosti α [-]	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200	0,200
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	17,77	17,77	17,77	17,77	17,77	17,77
ZP04 - Lepené dřevo						
Plocha konstrukce [m^2]	106,4					
Činitel pohltivosti α [-]	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100	0,100
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	10,64	10,64	10,64	10,64	10,64	10,64
ZP05 - Židle polstrované						
Plocha konstrukce [m^2]	32,26					
Činitel pohltivosti α [-]	0,350	0,450	0,570	0,610	0,590	0,550
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	11,29	14,52	18,39	19,68	19,03	17,74

Povrch	*f* [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
ZP06 - Tkanina						
Plocha konstrukce [m^2]	16,61					
Činitel pohltivosti α [-]	0,900	0,700	0,500	0,350	0,250	0,150
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	14,95	11,63	8,31	5,81	4,15	2,49
ZP07 - Otvor						
Plocha konstrukce [m^2]	2,86					
Činitel pohltivosti α [-]	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500	0,500
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43	1,43
Celkem						
Plocha konstrukce [m^2]	2232,54					
Ekv. plocha pohl. A [m^2]	203,39	216,02	171,09	171,54	174,66	194,24
Střední činitel pohl. α_s [-]	0,091	0,097	0,077	0,077	0,078	0,087
Střední činitel pohl. α_e [-]	0,096	0,102	0,080	0,080	0,081	0,091
Činitel útlumu zv. m [m^{-1}]	0,0000	0,0000	0,0000	0,0011	0,0027	0,0094
Objem vzduchu [m^3]	3615					
Útlum ve vzduchu [m^2]	0	0	0	15,906	39,042	135,924
Doba doz. Sabina T_S [s]	2,90	2,73	3,44	3,14	2,76	1,78
Doba doz. Eyringa T_E [s]	2,76	2,59	3,31	3,03	2,67	1,74

Tab. 120 Ruční výpočet doby dozvuku

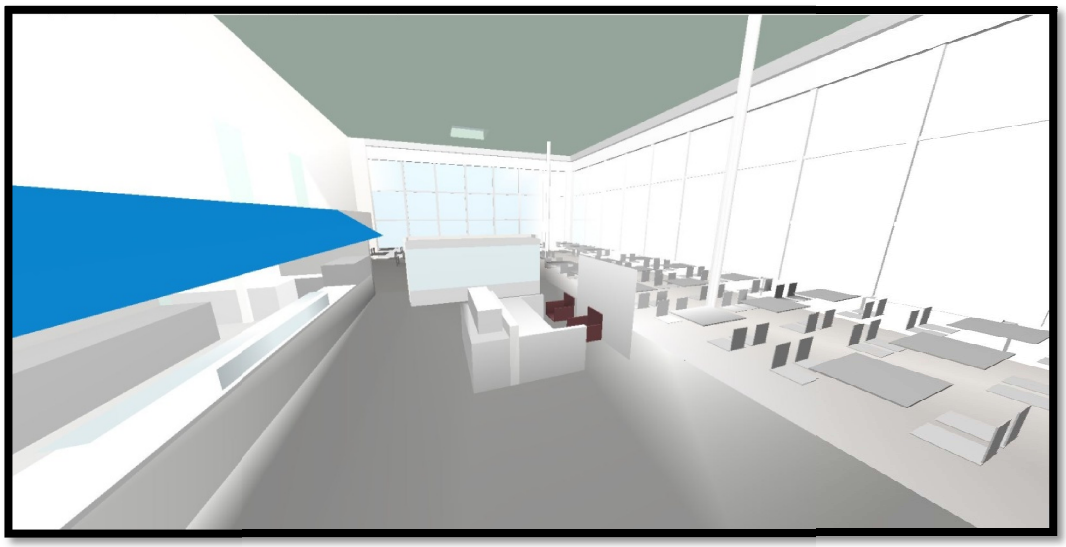
5.4 Výpočet doby dozvuku pomocí softwaru Odeon



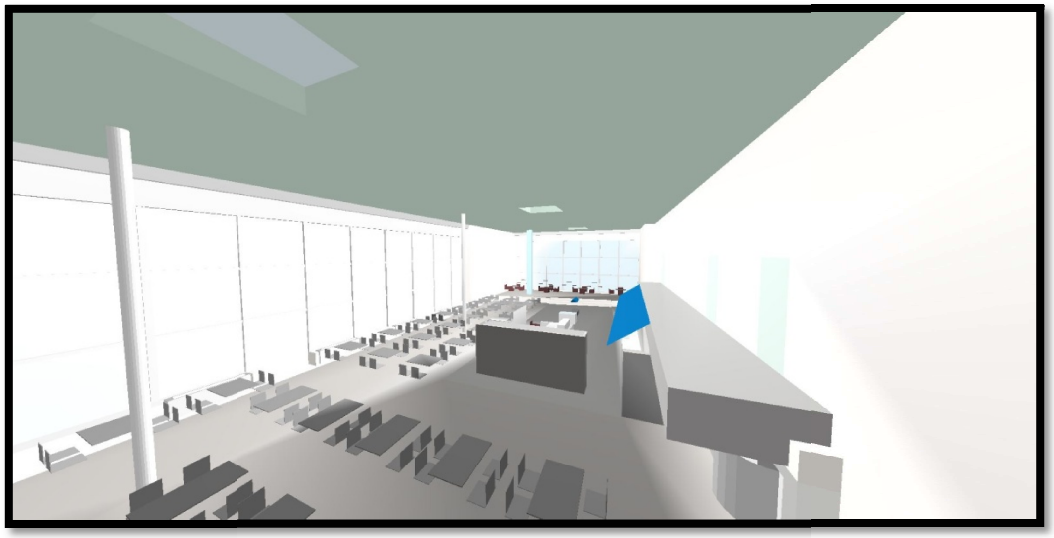
Obr. 72 Strahovská menza – Restaurace – rozmístění měřících bodů

Písmeny Z1 – Z2 jsou značeny polohy zdroje zvuku. Písmeny M1 – M4 jsou označena místa měření. Umístění jednotlivých poloh zdrojů a míst měření jsem zvolil tak, aby přesně odpovídalo podmínkám měření přímo na místě. Detailnější informace o měření jsou uvedené v kapitole 5.5.

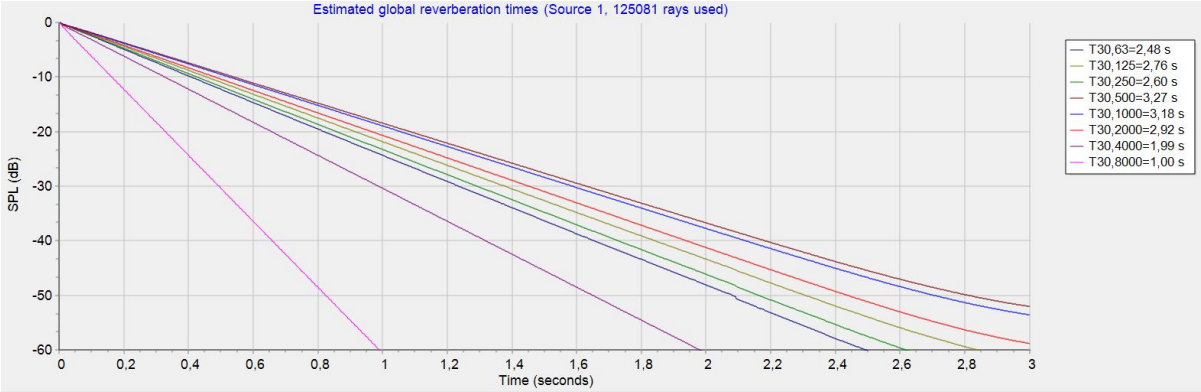
Obr. 73 Strahovská menza – Restaurace – model Odeon



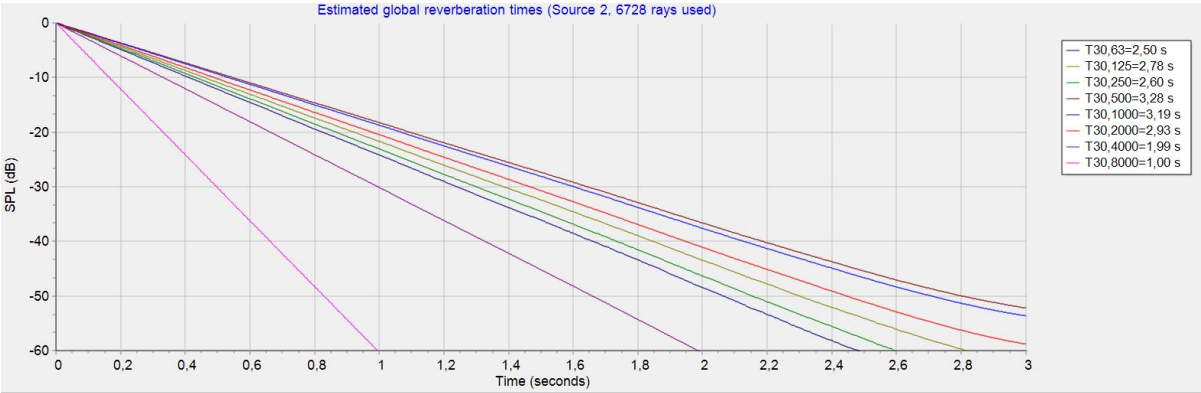
Obr. 74 Strahovská menza – Restaurace – model Odeon



Obr. 75 Strahovská menza – Restaurace – model Odeon



Obr. 76 Grafické zobrazení doby dozvuku pro zdroj v bodě 1



Obr. 77 Grafické zobrazení doby dozvuku pro zdroj v bodě 2

Kombinace zdroj - příjem	f [Hz]						
T20	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Z1 M1	2,75	2,58	3,24	3,16	2,89	1,97	1,00
Z2 M1	2,77	2,59	3,27	3,17	2,90	1,98	1,01
Z1 M2	2,72	2,55	3,28	3,18	2,88	1,94	0,99
Z2 M2	2,73	2,57	3,21	3,14	2,88	1,99	0,97
Z1 M3	2,73	2,57	3,26	3,16	2,90	1,98	1,01
Z2 M3	2,72	2,56	3,22	3,14	2,88	1,97	0,98
Z1 M4	2,71	2,54	3,22	3,14	2,88	1,98	0,98
Z2 M4	2,72	2,54	3,26	3,18	2,91	1,98	1,02
Průměr	**2,73**	**2,56**	**3,25**	**3,16**	**2,89**	**1,97**	**1,00**

Tab. 121 Doba dozvuku T_{20} [s] ze softwaru Odeon

5.5 Měření skutečného stavu

Měření skutečné doby dozvuku přímo v menze proběhlo 12. 12. 2018 v 9:00. V průběhu měření byla menza pro veřejnost uzavřena. Dobu dozvuku jsem měřil impulzovou metodou pomocí přístroje Norsonic NOR 140. Jako zdroj zvuku jsem použil nafouknutý balónek. Přístroj byl před měřením a po jeho skončení kalibrován kalibrátorem NOR 1251. Provedl jsem celkem osm měření, pro dvě polohy zdroje zvuku a čtyři místa měření doby dozvuku. Při měření jsem respektoval požadavky na odstupové vzdálenosti podle ČSN EN ISO 3382-2. Výsledky měření doby dozvuku jsou zapsané v tabulce tab. 122.

Obr. 78 Zvukový analyzátor Norsonic Nor 140

Obr. 79 Autor práce při měření

Kombinace zdroj - příjem	f [Hz]						
T20	125	250	500	1000	2000	4000	8000
Z1 M1	-	2,43	3,23	3,45	2,84	1,89	0,89
Z2 M1	3,14	2,43	3,06	3,19	2,87	1,80	0,77
Z1 M2	-	2,24	3,21	3,17	2,84	1,87	0,93
Z2 M2	2,97	2,17	2,88	3,13	2,78	1,92	0,82
Z1 M3	-	2,54	2,99	3,14	2,83	2,06	1,07
Z2 M3	2,10	2,37	3,11	3,06	2,80	1,90	0,90
Z1 M4	2,67	3,16	3,13	3,13	2,80	1,89	0,90
Z2 M4	-	2,29	3,13	3,08	2,93	1,97	0,94
Průměr	**2,72**	**2,45**	**3,09**	**3,17**	**2,84**	**1,91**	**0,90**

Tab. 122 Doba dozvuku T_{20} [s] změřená na místě

Pro frekenci 125 Hz přístroj nedokázal pokaždé změřit hodnotu doby dozvuku, nejspíše kvůli hluku v pozadí, který byl způsobený vzduchotechnikou a ostatními technickými zařízeními nutnými pro provoz menzy. Tato zařízení bohužel nebylo možné vypnout a měření nebylo možné provést v jinou dobu, než když byla zapnutá. Výsledky měření hladiny akustického tlaku šumu od technického zařízení jsou zapsané v tabulce tab. 123.

Bod měření	L_{AEQ}	f [Hz]						
[dB]		125	250	500	1000	2000	4000	8000
M1	57,4	59,3	56,3	56,3	51,6	49,3	41,9	32,6
M2	56,9	61,4	56,8	53,8	50,2	50,7	43,3	34,8
M3	58,9	59,5	58,1	56,1	52,3	53,1	45,7	38,2
M4	59,2	66,4	56,4	56,3	52,9	52,8	45,9	39,2
Průměr	**58,1**	**61,7**	**56,9**	**55,6**	**51,8**	**51,5**	**44,2**	**36,2**

Tab. 123 Hladina akustického tlaku od technického zařízení

Ekvivalentní hladinu akusitckého tlaku pozadí jsem měřil i za běžného provozu. Tato měření jsem prováděl během největšího náporu v době oběda a večeře zvukovým analyzátorem NTI Acoustilyzer AL1. Stanoviště pro měření se nacházelo přibližně uprostřed restaurace vzhledem k rozložení stolů. Naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku pozadí jsou uvedeny v tabulce tab. 124.

Měření ekvivalentní hladiny akustického tlaku ve Strahovské menze, v části restaurace			
Datum měření	Čas měření	Počet osob v místnosti	Ekvivalentní hladina akustického tlaku [dB]
06.12.2018	11:30	20	67,0
06.12.2018	11:45	35	67,1
06.12.2018	12:00	41	68,5
06.12.2018	12:15	45	71,2
06.12.2018	12:30	56	71,0
06.12.2018	12:45	51	68,7
06.12.2018	13:00	38	70,4
06.12.2018	13:15	55	70,1
06.12.2018	13:30	51	70,8
10.12.2018	18:35	36	67,4
10.12.2018	18:45	35	71,7
10.12.2018	18:55	26	68,7
10.12.2018	19:05	16	66,2
10.12.2018	19:15	26	63,5
10.12.2018	19:25	41	67,2
10.12.2018	19:35	27	66,9
10.12.2018	19:45	30	63,9
Průměrné hodnoty		**37**	**68,3**

Tab. 124 Ekvivalentní hladina akustického tlaku pozadí

5.6 Porovnání výsledků výpočtů a měření

V následující tabulce jsou zobrazeny výsledky výpočtů (podle Sabina, Eyringa, softwarem Odeon) a měření.

Způsob výpočtu	f [Hz]					
[s]	125	250	500	1000	2000	4000
Výpočet podle Sabina	2,90	2,73	3,44	3,14	2,76	1,78
Výpočet podle Eyringa	2,76	2,59	3,31	3,03	2,67	1,74
Výpočet softwarem Odeon	2,73	2,56	3,25	3,16	2,89	1,97
Měření na místě	2,72	2,45	3,09	3,17	2,84	1,91

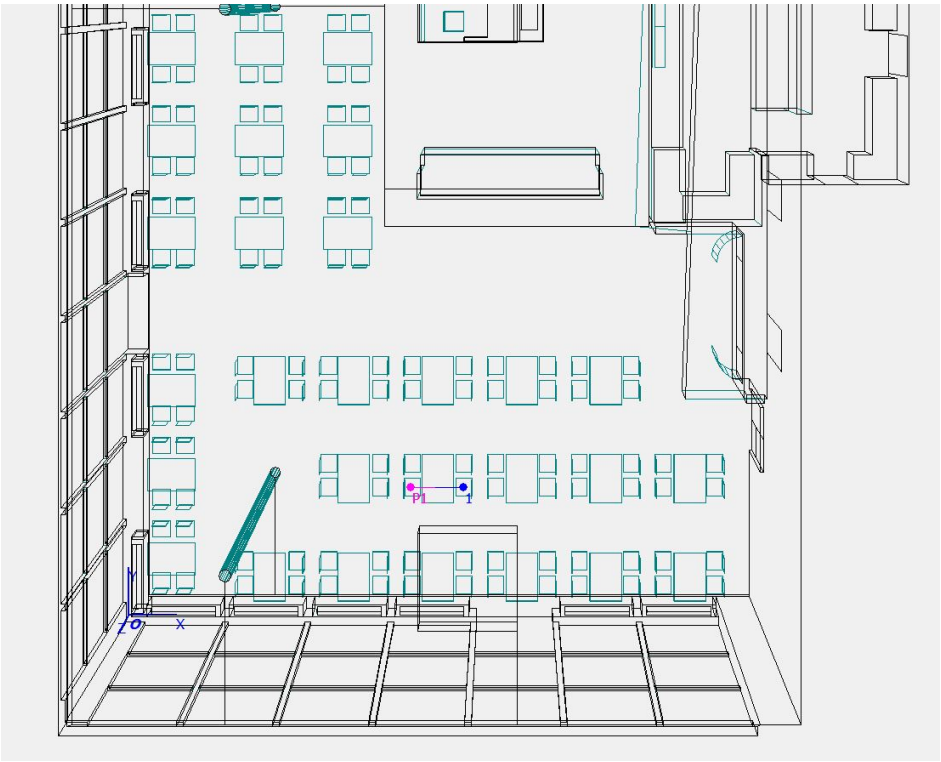
Tab. 125 Průměrná doba dozvuku pro různé způsoby výpočtu

Jako referenční hodnoty budeme brát výsledky měření přímo na místě, které odpovídají realitě. Z výsledků je patrné, že výpočet pomocí programu Odeon nejlépe odpovídá změřeným hodnotám především v oktávových pásmech 1000 Hz a 2000 Hz. Ruční výpočet je méně přesný než výpočet pomocí softwaru Odeon a to také v důsledku toho, že ruční výpočet doby dozvuku byl proveden jako celkový pro místnost a ne pro jednotlivé body jako v případě měření nebo v případě výpočtu pomocí softwaru. Pro dobu dozvuku v prostorách jídelen nebo restaurací neexistuje žádná právně závazná norma, ale můžeme se orientovat podle normy ČSN 73 0527, která se zabývá akustikou v budovách pro kulturní účely, ve školách a v prosterech pro veřejné účely. Norma doporučuje pro snížení doby dozvuku použití širokopásmového akustického podhledu. Současný stav restaurace, co se týká doby dozvuku, je nevyhovující. Obecně vzato se za optimální považuje doba dozvuku kratší než jedna sekunda. To ale spíše platí pro místa, kde je vzdálenost mluvčího a posluchače více než jeden metr.

5.7 Výpočet srozumitelnosti STI

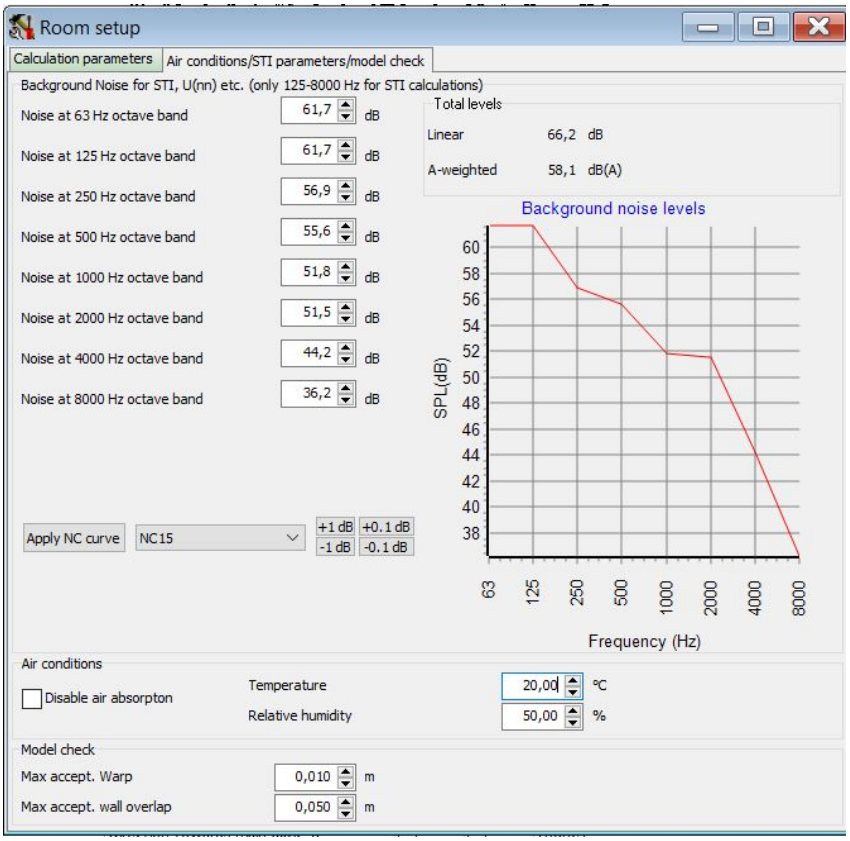
Za nejdůležitější vlastnost jídelen a stravovacích zařízení z hlediska akustiky se považují dobré podmínky pro srozumitelnost řeči. Ty jsou posuzovány pomocí indexu přenosu řeči STI, který je podrobněji vysvětlen v kapitole 2.3. Výpočet STI jsem provedl pomocí softwaru Odeon. Model místnosti a vlastnosti materiálů byly stejné jako pro výpočet doby dozvuku. V rámci simulace je v místnosti modelován pouze jeden zdroj (mluvčí) a jeden

příjemce (posluchač), přičemž oba se nacházejí u stejného stolu. Toto obsazení jsem vymodeloval ve třech variantách. První varianta je taková, že se v místnosti nachází pouze tito dva lidé a hluk pozadí je roven nule. Druhá varianta se liší od první tím, že hluk okolí se rovná pouze hluku z technického zařízení, který odpovídá hodnotám zjištěným při měření (viz kapitola 5.5). V poslední variantě se hluk pozadí rovná průměrnému hluku od ostatních přítomných lidí a od hluku technického zařízen.



Obr. 80 Rozmístění osob v místnosti

Na obrázku obr. 80 je znázorněné umístnění zdroje a příjemce při výpočtu STI. Pod označením P1 je mluvčí a pod označením 1 je posluchač.



Obr. 81 Příklad nastavení šumu z okolí

Varianta	STI	Hodnocení srozumitelnosti
Bez okolního hluku	0,76	Vynikající
S okolním hlukem od TZB	0,54	Uspokojivá
S okolním hlukem od TZB a lidí	0,27	Špatná

Tab. 126 Vyhodnocení STI

Po odečtení hodnot z programu Odeon jsem pomocí obrázku obr. 1 z kapitoly 2.3 vyhodnotil srozumitelnost STI. Srozumitelnost vyšla vynikající pouze v případě, že by v restauraci nebyl žádný hluk pozadí, k takové variantě však běžně nedochází. Nejběžnější je třetí varianta, kdy se v menze nachází jak ostatní hosté tak jsou zapnuté systémy TZB, v této variantě je srozumitelnost špatná. Z tohoto důvodu by bylo nutné navrhnout opatření, pro zlepšení srozumitelnosti a zkrácení doby dozvuku v místnosti.

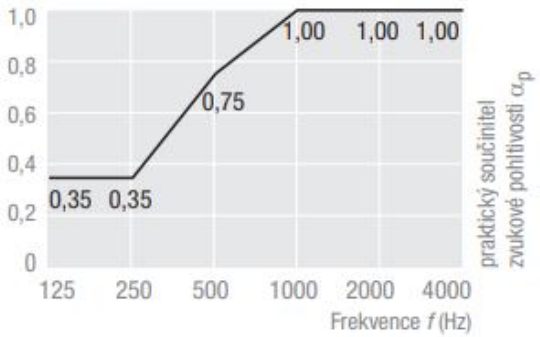
.

5.8 Návrh opatření

Místnost je velmi rozsáhlá, a pro účely pořádání různých akcí musí mít volnou dispozici, proto je použití různých interiérových zástěn, oddělujících jednotlivé stoly nebo sekce stolů nemožné. Velká část stěn je prosklená, což zabraňuje i použití akustických obkladů na stěnách. Strop je tvořen z příhradových prostorových vazníků, které mají i svou estetickou funkci, což vylučuje použití celoplošného akustického podhledu. Jako nejvhodnější řešení jsem navrhl použití samostatných absorbérů - závěsných bafflů pod strop. Tyto prvky jsou tvořeny z netkané kašírované textilie ve tvaru obdélníkových desek, které jsou zavěšeny na tenkých ocelových lanech. Zvolil jsem prvky THERMATEX® BAFFEL CLASSIC od firmy Knauf a to ve velikosti 1200 x 600 mm umístěných ve vzdálenosti 600 mm od sebe.

Obr. 82 Příklad bafflů THERMATEX® BAFFEL CLASSIC [25]

Z grafu na obrázku obr. 82 jsem odečetl pohltivost navržených bafflů vztaženou na jednotku plochy konstrukce stropu. Tyto údaje, jsem vložil do softwaru Odeon a vypočetl jsem dobu dozvuku a hodnotu STI.



Obr. 83 Graf součinitele pohltivosti mnou vybraných bafflů [23]

Před novým výpočtem hodnoty STI jsem musel provést výpočet snížení hladiny akustického tlaku vloženým útlumem D_A [Hz]. Ten se vypočítá ze vztahu níže. Kde A_1 [m^2]

je ekvivalentní plocha pohltivosti před úpravami a A_2 [m^2] je ekvivalentní plocha pohltivosti po úpravě.

$$D_A \approx 10\log(A_2/A_1) \quad [dB] \quad (31)$$

Ekvivalentní plocha pohltivosti A [m^2]	f [Hz]					
	125	250	500	1000	2000	4000
Původní plocha A_1 [m^2]	203,39	216,02	171,09	171,54	174,66	194,24
Navrhovaná plocha A_2 [m^2]	293,14	283,32	462,75	575,38	578,50	575,64
Hodnota vlož. útlumu D_a [dB]	**1,6**	**1,2**	**4,3**	**5,3**	**5,2**	**4,7**

Tab. 127 Hodnota vloženého útlumu zvuku

Bod zdroje a bod přímače	f [Hz]					
T20	125	250	500	1000	2000	4000
Z1 M1	1,92	1,99	1,38	1,13	1,11	0,97
Z2 M1	1,91	1,96	1,44	1,14	1,12	0,98
Z1 M2	1,90	1,95	1,41	1,21	1,17	1,04
Z2 M2	1,93	1,99	1,35	1,05	1,02	0,89
Z1 M3	1,95	2,00	1,45	1,25	1,17	1,03
Z2 M3	1,92	1,98	1,39	1,14	1,09	0,96
Z1 M4	1,92	1,98	1,45	1,18	1,13	0,98
Z2 M4	1,90	1,95	1,42	1,18	1,13	0,97
Průměr	**1,92**	**1,98**	**1,41**	**1,16**	**1,12**	**0,98**

Tab. 128 Doba dozvuku po opatření

Varianta	STI	Hodnocení
Bez okolního hluku	0,88	Vynikající
S okolním hlukem od TZB	0,66	Dobrý
S okolním hlukem od TZB a lidí	0,39	Nevalný

Tab. 129 Vyhodnocení STI po opatření

5.9 Zhodnocení

V původním stavu prostor restaurace menzy nevyhovuje jak z hlediska doby dozvuku, tak z hlediska srozumitelnosti STI. Po navržených úpravách se doba dozvuku podstatně zlepší, zlepší se i hodnota STI. Pro perfektní řešení by bylo třeba rozsáhlejších úprav. Kdybych všem stávajícím povrchům přiřadil pohtivost 100% včetně stolů a židlí, hodnota STI by se neposunula do vynikajícího stavu. Možností by bylo rozdělit místnost nějakými zvukově pohtivými stěnami, ale ty by zhoršily možnosti využití dnes volné dispozice prostoru.

6. Závěr

Na závěr bych chtěl uvést, že při psaní této práce jsem podrobněji poznal problematiku měření veličin v oblasti akustiky, problematiku výpočtu těchto veličin a problematiku návrhu opatření ke zlepšení sledovaných veličin, důležitých pro akustickou pohodu ve stravovacích zařízeních.

Modelováním jednotlivých variant stravovacího prostoru jsem zjistil, že za výpočtové podmínky nulového šumu pozadí, což je ve skutečnosti nereálné, se srozumitelnost řeči se vzrůstajícím počtem mluvčích zhoršuje. Velikost prostoru srozumitelnost řeči výrazně neovlivňuje. Ze dvou metod, kterými jsem modelové prostory zkoumal, byla metoda hodnocení Lombardova efektu s akustickou simulací místnosti blíž realitě.

Restaurace menzy Strahov, kterou jsem si vybral jako prostor pro měření skutečných hodnot pro posouzení srozumitelnosti řeči, ve stávajícím stavu požadavkům na srozumitelnost nevyhovuje. Výpočtem, návrhem a posouzením akustických opatření jsem srozumitelnost řeči v restauraci zlepšil, ale ideálních hodnot nedosáhne. Další akustická opatření by omezila stávající využitelnost volné dispozice prostoru restaurace.

Nejvíce mě zaujalo měření akustických veličin ve skutečném, mnou vybraném prostoru, tj. v restauraci menzy na Strahově. Je mi ale jasné, že bez teoretických znalostí bych nemohl provést výpočet požadovaných akustických parametrů a navrhnout úpravy v prostoru na jejich zlepšení.

7. Seznam použité literatury

[1] Akustika a její dělení :: MEF. Fyzika [online]. Copyright © 2006, [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: < http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/214-akustika-a-jeji-deleni >

[2] ČSN 01 1600. Akustika terminologie, Únor 2003

[3] Prostorová akustika / atelier-dek.cz. *Specializované služby ve stavebnictví / atelier-dek.cz* [online]. Copyright © DEK, a.s. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: < https://atelier-dek.cz/prostorova-akustika-192 >

[4] Ing. Jiří Nováček, Ph.D., přednášky pro předmět 124AKDO – vybrané statě, květen 2017

[5] Ing. Felix kolmer, DrSc, prom. Fyz. Jaroslav Kyncl, CSc., Prostorová akustika, Nakladatelství technické literatury, 1980

[6] Lorenzo Morales, Glenn Leembruggen, Stephen Dance, Bridget M. Shield, A revised speech spectrum for STI calculations, Applied Acoustics, Volume 132, 2018, Pages 33-42, ISSN 0003-682X, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X1730645X>

[7] Belinda Schwerin, Kuldip Paliwal, An improved speech transmission index for intelligibility prediction, Speech Communication, Volume 65, 2014, Pages 9-19, ISSN 0167-6393, < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0167639314000429>

[8] Doc. Ing. Čechura Jiří, CSc., STAVEBNÍ FYZIKA 10, Akusitika stavebních konstrukcí, Vydavatelství ČVUT, březen 1997

[9] Pohlcování zvuku – Paroc.cz. *Paroc stone wool insulation and products – Paroc.cz* [online]. Copyright © Paroc Group 2019 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <https://www.paroc.cz/knowhow/zvuk/pohlcovani-zvuku >

[10] doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D., Stavební fakulta ČVUT Praha,Topinfo s.r.o.: Tzb-info [online]. Obklady z pórovitých materiálů, © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2019, všechna práva vyhrazena. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/229-obklady-z-porovitych-materialu>

[11] doc. Ing. Jan Kaňka, Ph.D., Stavební fakulta ČVUT Praha,Topinfo s.r.o.: Tzb-info [online]. Dutinové rezonátory, © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2019, všechna práva vyhrazena. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/231-dutinove-rezonatory>

[12] Ing. Vít Domkář, Akustika vybrané kapitoly pro architekty a designéry | Katedra architektury FSv ČVUT v Praze [online]. Copyright © [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <http://k129.cz/wp-content/uploads/2016/09/5.AKUSTIKA.pdf>

[13] Prostorová akustika v jídelně anglické školy | Noitami akustika. Odhlučnění, akustika a zvuková izolace :: Noitami akustika [online]. Copyright © Noitami akustika 2010 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <http://www.noitami.cz/project/prostorova-akustika-v-jidelne-anglicke-skoly/>

[14] Speech transmission index. Academic Dictionaries and Encyclopedias [online]. Copyright © Academic, 2000 [cit. 02.01.2019]. Dostupné z: <http://enacademic.com/dic.nsf/enwiki/11567206>

[15] Acoustic Foam Panels | Melfoam Acoustics. Acoustic Foam | Soundproofing Panels | Acoustic Ceilings | Tiles [online]. Copyright © Melfoam Acoustics 2014 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: < http://www.melfoamacoustics.com.au/acoustic-foam-panels/ >

[16] What is often overlooked in a construction project?. Construction DesignWorks [online]. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: < http://constructiondesignworks.net/what-is-often-overlooked-in-a-construction-project/ >

[17] Topinfo s.r.o.: Tzb-info [online]. Knauf Cleaneo RE – nový design s vysokou akustickou účinností, 1.8.2018 © Copyright Topinfo s.r.o. 2001-2019, všechna práva vyhrazena. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z < https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/17704-knauf-cleaneo-re-novy-design-s-vysokou-akustickou-ucinnosti>

[18] Akustická laboratoř | UCEEB. UCEEB - UNIVERZITNÍ CENTRUM ENERGETICKY EFEKTIVNÍCH BUDOV | UCEEB [online]. Copyright © 2014 [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: < http://www.uceeb.cz/akusticka-laborator>

[19] Rindel, Jens. (2014). Acoustic capacity as a means to deal with poor restaurant acoustics. Acoustics Bulletin. 39. 27-30.

[20] Francesco Leccese, Giuseppe Tuoni, Giacomo Salvadori, Michele Rocca, An analytical model to evaluate the cocktail party effect in restaurant dining rooms: A case study, Applied Acoustics, Volume 100, 2015, Pages 87-94, ISSN 0003-682X, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X15001784>

[21] Zámecký had. Zámecký had [online]. [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <http://www.zamecky-had.cz/fotogalerie>

[22] Galerie. Entree Restaurant [online]. Copyright © Copyright 2016 Resort Hodolany [cit. 12.12.2018]. Dostupné z: <http://www.entree-restaurant.cz/galerie.html>

[23] Knauf AMF DeckenSystém e GmbH, AMF THERMATEC® Katalog výrobků, 11/2015

[24] ČSN 73 0525. Akustika – Projektování v oboru prostorové akustiky – Všeobecné zásady, Únor 1998

[25] Knauf AMF - Baffly jako designové a akustické řešení . Knauf AMF Česká republika [online]. Copyright © 2016 Knauf AMF GmbH [cit. 12.12.2018]. < http://www.amf-cz.cz/cze/baffelscz.html>

[26] Akustika - Wikipedie [online]. Akustika, 10. 1. 2018 [cit. 2018-12-12] Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Akustika >

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

[28] ČSN EN ISO 3382-2. Akustika – Měření parametrů prostorové akustiky – Část2: Doba dozvuku v běžných prostorech, Únor 2009

[29] Mark Girolami, A nonlinear model of the binaural cocktail party effect, Neurocomputing, Volume 22, Issues 1–3, 1998, Pages 201-215, ISSN 0925-2312, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925231298000587>

[30] J Kang, Numerical modelling of the speech intelligibility in dining spaces,

Applied Acoustics, Volume 63, Issue 12, 2002, Pages 1315-1333, ISSN 0003-682X, <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003682X02000452>

8. Seznam obrázků

Obr. 1 Hodnocení STI [14]

Obr. 2 Rozdělení akustického výkonu

Obr. 3 Schéma stěny s obkladem z minerálních vláken

Obr. 4 Graf činitele pohltivosti *α [-]* obkladu z min. vláken [10]

Obr. 5 Příklad porézních absorbérů umístěných na stropě [15]

Obr. 6 Příklad membránového absorbéru

Obr. 7 Příklad absorbéru typu děrovaná deska

Obr. 8 Příklad akusticky pohltivých těles [16]

Obr. 9 Příklad akustický podhled z desek Knauf Cleano RE [17]

Obr. 10 Všesměrný reproduktor [18]

Obr. 11 Pokles kladiny akustického tlaku [4]

Obr. 12 Restaurace Zámecký had v Dobřichovicích [21]

Obr. 13 Restaurace Zámecký had v Dobřichovicích [21]

Obr. 14 Pohled do jídelny [13]

Obr. 15 Pohled na akustické těleso [13]

Obr. 16 Pohled na akustické obklady stěn [13]

Obr. 17 Restaurace Entree restaurant [22]

Obr. 18 Restaurace Entree restaurant [22]

Obr. 19 Modelový prostor I z programu Sketchup – pohled ke dveřím

Obr. 20 Modelový prostor I z programu Sketchup – pohled od dveří

Obr. 21 Půdorys modelového prostoru I

Obr. 22 Modelový prostor I ze softwaru Odeon – bez úprav

Obr. 23 Doba dozvuku modelového prostoru I – bez úprav

Obr. 24 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 1

Obr. 25 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 2

Obr. 26 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 3

Obr. 27 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 4

Obr. 28 Rozmístění osob v modelovém prostoru I – varianta 5

Obr. 29 Graf součinitele pohltivosti akustického podhledu [23]

Obr. 30 Modelový prostor I ze softwaru Odeon – s akustickým podhledem

Obr. 31 Doba dozvuku modelového prostoru I - s akustickým podhledem

Obr. 32 Schéma rozmístění příček modelového prostoru I

Obr. 33 Modelový prostor I ze softwaru Odeon – rozdělený příčkami

Obr. 34 Doba dozvuku modelového prostoru I – rozděleného příčkami

Obr. 35 Modelový prostor II z programu Sketchup – pohled ke dveřím

Obr. 36 Modelový prostor II z programu Sketchup – pohled od dveří

Obr. 37 Půdorys modelového prostoru II

Obr. 38 Modelový prostor II ze softwaru Odeon – bez úprav

Obr. 39 Doba dozvuku modelového prostoru II – bez úprav

Obr. 40 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 1

Obr. 41 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 2

Obr. 42 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 3

Obr. 43 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 4

Obr. 44 Rozmístění osob v modelovém prostoru II – varianta 5

Obr. 45 Modelový prostor II ze softwaru Odeon – s akustickým podhledem

Obr. 46 Doba dozvuku modelového prostoru II - s akustickým podhledem

Obr. 47 Schéma rozmístění příček modelového prostoru II

Obr. 48 Modelový prostor II ze softwaru Odeon – rozdělený příčkami

Obr. 49 Doba dozvuku modelového prostoru II – rozděleného příčkami

Obr. 50 Modelový prostor III z programu Sketchup – pohled ke dveřím

Obr. 51 Modelový prostor III z programu Sketchup – pohled od dveří

Obr. 52 Půdorys modelového prostoru III

Obr. 53 Modelový prostor III ze softwaru Odeon – bez úprav

Obr. 54 Doba dozvuku modelového prostoru III – bez úprav

Obr. 55 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 1

Obr. 56 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 2

Obr. 57 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 3

Obr. 58 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 4

Obr. 59 Rozmístění osob v modelovém prostoru III – varianta 5

Obr. 60 Modelový prostor III ze softwaru Odeon – s akustickým podhledem

Obr. 61 Doba dozvuku modelového prostoru III - s akustickým podhledem

Obr. 62 Schéma rozmístění příček modelového prostoru III

Obr. 63 Modelový prostor III ze softwaru Odeon – rozdělený příčkami

Obr. 64 Doba dozvuku modelového prostoru III – rozděleného příčkami

Obr. 65 Schéma půdorysu Strahovské menzy, část Restaurace

Obr. 66 Strahovská menza - Restaurace

Obr. 67 Strahovská menza - Restaurace

Obr. 68 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 69 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 70 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 71 Strahovská menza – Restaurace – model Sketchup

Obr. 72 Strahovská menza – Restaurace – rozmístění měřících bodů

Obr. 73 Strahovská menza – Restaurace – model Odeon

Obr. 74 Strahovská menza – Restaurace – model Odeon

Obr. 75 Strahovská menza – Restaurace – model Odeon

Obr. 76 Grafické zobrazení doby dozvuku pro zdroj v bodě 1

Obr. 77 Grafické zobrazení doby dozvuku pro zdroj v bodě 2

Obr. 78 Zvukový analyzátor Norsonic Nor 140

Obr. 79 Autor práce při měření

Obr. 80 Rozmístění osob v místnosti

Obr. 81 Příklad nastavení šumu z okolí

Obr. 82 Příklad bafflů THERMATEX® BAFFEL CLASSIC [25]

Obr. 83 Graf součinitele pohltivosti mnou vybraných bafflů [23]

9. Seznam tabulek

Tab. 1 Průměrná špičková hladina akustického výkonu [8]

Tab. 2 Hodnocení větné srozumitelnosti [8]

Tab. 3 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 1

Tab. 4 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 2

Tab. 5 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 3

Tab. 6 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 4

Tab. 7 Vyhodnocení STI modelového prostoru I bez úprav – varianta 5

Tab. 8 Modelový prostor I bez úprav

Tab. 9 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 1

Tab. 10 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 2

Tab. 11 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 3

Tab. 12 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 4

Tab. 13 Výpočet SNR modelového prostoru I bez úprav – varianta 5

Tab. 14 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru I bez úprav

Tab. 15 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 1

Tab. 16 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 2

Tab. 17 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 3

Tab. 18 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 4

Tab. 19 Vyhodnocení STI modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 5

Tab. 20 Modelový prostor I s akustickým podhledem

Tab. 21 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 1

Tab. 22 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 2

Tab. 23 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 3

Tab. 24 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 4

Tab. 25 Výpočet SNR modelového prostoru I s akustickým podhledem – varianta 5

Tab. 26 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru I s akustickým podhledem

Tab. 27 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 1

Tab. 28 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 2

Tab. 29 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 3

Tab. 30 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 4

Tab. 31 Vyhodnocení STI modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 5

Tab. 32 Modelový prostor I rozdělený příčkami

Tab. 33 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 1

Tab. 34 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 2

Tab. 35 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 3

Tab. 36 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 4

Tab. 37 Výpočet SNR modelového prostoru I rozděleného příčkami – varianta 5

Tab. 38 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru I rozděleného příčkami

Tab. 39 Celkový souhrn STI pro modelový prostor I

Tab. 40 Celkový souhrn SNR pro modelový prostor I

Tab. 41 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 1

Tab. 42 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 2

Tab. 43 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 3

Tab. 44 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 4

Tab. 45 Vyhodnocení STI modelového prostoru II bez úprav – varianta 5

Tab. 46 Modelový prostor II bez úprav

Tab. 47 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 1

Tab. 48 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 2

Tab. 49 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 3

Tab. 50 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 4

Tab. 51 Výpočet SNR modelového prostoru II bez úprav – varianta 5

Tab. 52 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru II bez úprav

Tab. 53 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 1

Tab. 54 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 2

Tab. 55 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 3

Tab. 56 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 4

Tab. 57 Vyhodnocení STI modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 5

Tab. 58 Modelový prostor II s akustickým podhledem

Tab. 59 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 1

Tab. 60 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 2

Tab. 61 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 3

Tab. 62 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 4

Tab. 63 Výpočet SNR modelového prostoru II s akustickým podhledem – varianta 5

Tab. 64 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru II s akustickým podhledem

Tab. 65 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 1

Tab. 66 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 2

Tab. 67 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 3

Tab. 68 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 4

Tab. 69 Vyhodnocení STI modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 5

Tab. 70 Modelový prostor II rozdělený příčkami

Tab. 71 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 1

Tab. 72 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 2

Tab. 73 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 3

Tab. 74 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 4

Tab. 75 Výpočet SNR modelového prostoru II rozděleného příčkami – varianta 5

Tab. 76 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru II rozděleného příčkami

Tab. 77 Celkový souhrn STI pro modelový prostor II

Tab. 78 Celkový souhrn SNR pro modelový prostor II

Tab. 79 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 1

Tab. 80 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 2

Tab. 81 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 3

Tab. 82 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 4

Tab. 83 Vyhodnocení STI modelového prostoru III bez úprav – varianta 5

Tab. 84 Modelový prostor III bez úprav

Tab. 85 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 1

Tab. 86 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 2

Tab. 87 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 3

Tab. 88 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 4

Tab. 89 Výpočet SNR modelového prostoru III bez úprav – varianta 5

Tab. 90 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru III bez úprav

Tab. 91 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 1

Tab. 92 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 2

Tab. 93 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 3

Tab. 94 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 4

Tab. 95 Vyhodnocení STI modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 5

Tab. 96 Modelový prostor III s akustickým podhledem

Tab. 97 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 1

Tab. 98 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 2

Tab. 99 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 3

Tab. 100 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 4

Tab. 101 Výpočet SNR modelového prostoru III s akustickým podhledem – varianta 5

Tab. 102 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru III s akustickým podhledem

Tab. 103 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 1

Tab. 104 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 2

Tab. 105 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 3

Tab. 106 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 4

Tab. 107 Vyhodnocení STI modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 5

Tab. 108 Modelový prostor III rozdělený příčkami

Tab. 109 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 1

Tab. 110 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 2

Tab. 111 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 3

Tab. 112 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 4

Tab. 113 Výpočet SNR modelového prostoru III rozděleného příčkami – varianta 5

Tab. 114 Maximální počet osob s uspokojivým porozuměním modelového prostru III rozděleného příčkami

Tab. 115 Celkový souhrn STI pro modelový prostor III

Tab. 116 Celkový souhrn SNR pro modelový prostor III

Tab. 117 Celkový souhrn STI

Tab. 118 Celkový souhrn SNR

Tab. 119 Činitel útlumu zvuku *m* [24]

Tab. 120 Ruční výpočet doby dozvuku

Tab. 121 Doba dozvuku T_{20} [s] ze softwaru Odeon

Tab. 122 Doba dozvuku T_{20} [s] změřená na místě

Tab. 123 Hladina akustického tlaku od technického zařízení

Tab. 124 Ekvivalentní hladina akustického tlaku pozadí

Tab. 125 Průměrná doba dozvuku pro různé způsoby výpočtu

Tab. 126 Vyhodnocení STI

Tab. 127 Hodnota vloženého útlumu zvuku

Tab. 128 Doba dozvuku po opatření

Tab. 129 Vyhodnocení STI po opatření