

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

KATEDRA KONSTRUKCÍ POZEMNÍCH STAVEB



**ZVUKOVÁ IZOLÁCIA MEDZI OBYTNÝMI MIESTNOSŤAMI V RÁMCI
JEDNÉHO BYTU**

SOUND INSULATION BETWEEN HABITABLE ROOMS WITHIN ONE APARTMENT

DIPLOMOVÁ PRÁCA

2023/2024

Vypracoval:

Bc. Daniel Dinga

Vedúci práce:

Ing. Jiří Nováček, Ph.D.

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Dinga** Jméno: **Daniel** Osobní číslo: **477561**
Fakulta/ústav: **Fakulta stavební**
Zadávací katedra/ústav: **Katedra konstrukcí pozemních staveb**
Studijní program: **Budovy a prostředí**
Studijní obor: **Budovy a prostředí**

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

Zvuková izolácia medzi obytnými miestnosťami v rámci jedného bytu

Název diplomové práce anglicky:

Sound insulation between habitable rooms within one apartment

Pokyny pro vypracování:

Diplomová práce se bude zabývat přenosem zvuku a kročejového zvuku mezi místnostmi téhož bytu s ohledem na akustické požadavky na zvukovou izolaci dle platných technických norem. Pozornost bude věnována především skladbám stavebních konstrukcí a vlivu nepřímého přenosu zvuku vzduchem, například přes vnitřní dveře, případně větrací systémy.

Seznam doporučené literatury:

ČSN 73 0532 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků - Požadavky
Stavební fyzika 3, Akustika pozemních staveb, J. Kaňka, J. Nováček, učební skriptum ČVUT, 2015
Building Acoustics, T. E. Vigran, 2008
COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe, 2014

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

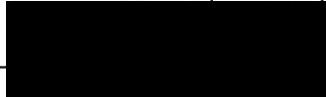
Ing. Jiří Nováček, Ph.D. katedra konstrukcí pozemních staveb FSv

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **27.09.2023**

Termín odevzdání diplomové práce: **08.01.2024**

Platnost zadání diplomové práce:



podpis vedoucí(ho) práce



podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry



podpis děkana(ky)

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Diplomant bere na vědomí, že je povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v diplomové práci.

2.10.2023

Datum převzetí zadání



Podpis studenta

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Daniel Dinga

Název diplomové práce: Zvuková izolácia medzi obytnými miestnosťami v rámci jedného bytu

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: Diplomant provede aktuální řešerši problematiky přenosu zvuku a kročejového zvuku mezi místnostmi téhož bytu, zaměřenou na požadavky na zvukovou izolaci. Dále se bude zabývat vlivem skladeb stavebních konstrukcí a vlivem nepřímého přenosu zvuku vzduchem zejména na vzduchovou neprůzvučnost. Práce bude založena na výsledcích výpočtů a měření.

Podpis vedoucího DP:.....

Datum:..... 2.10.2023

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:.....

Abstrakt

Táto diplomová práca sa zaoberá témou zvukovej izolácie medzi obytnými miestnosťami v rámci jedného bytu. Úvodná časť práce sa venuje základnej teórii šírenia zvuku v budovách a zvukovej izolácie, spolu so súhrnom aktuálnych požiadaviek na zvukovú izoláciu v Českej republike a v ďalších európskych krajinách. Obsahuje taktiež popis hlavných faktorov ovplyvňujúcich kvalitu zvukovej izolácie v jednom byte, najmä so zameraním na skladby vnútorných priečok, stropov a vplyv interiérových dverí. Ďalšia časť práce sa zameriava na nepriamy prenos zvuku v byte a vysvetľuje základné výpočtové modely. Obsahuje tiež výpočet prenosu zvuku pomocou softvéru Odeon (verzia Odeon Combined 14). Práca taktiež obsahuje akustické merania na stavbe a v laboratóriu UCEEB a následné porovnanie s výpočtovými modelmi a vyhodnotenie.

Kľúčové slová

Akustika, zvuková izolácia, akustické požiadavky, nepriamy prenos zvuku, akustické meranie, vzduchová nepriezvučnosť, kročajový zvuk, stavebná akustika

Abstract

This diploma thesis deals with the topic of sound insulation between habitable rooms within one apartment. The introductory part of the work is devoted to the basic theory of sound propagation in buildings and sound insulation, with a summary of current requirements for sound insulation in the Czech Republic and other European countries. It also contains a description of the main factors affecting the quality of sound insulation in an apartment, especially with a focus on the internal partitions, ceilings and the effect of interior doors. The next part of the work focuses on the indirect transmission of sound in the apartment and explains the basic calculation models. It also includes the calculation of sound transmission with software Odeon (version Odeon Combined 14). The work also includes acoustic measurements on the construction site and in the UCEEB laboratory and subsequent comparison with computational models and evaluation.

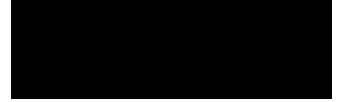
Key words

Acoustics, sound insulation, acoustic requirements, indirect sound transmission, acoustic measurement, airborne sound insulation, impact sound, building acoustics

Čestné prehlásenie

Čestne prehlasujem, že som túto diplomovú prácu vypracoval samostatne pod vedením pána Ing. Jiřího Nováčka, Ph.D., a všetka použitá literatúra a iné zdroje sú uvedené v zozname literatúry.

V Prahe, dňa 8.1.2024



podpis

Pod'akovanie

Na tomto mieste by som rád vyjadril svoju veľkú vďaku pánovi Ing. Jiřímu Nováčkovi, Ph.D. za vedenie tejto diplomovej práce. Jeho pomoc a cenné rady boli pre mňa obrovským prínosom. Veľmi vďačný som svojej rodine, najmä rodičom a mojej snúbenici, za ich podporu a pomoc pri celom mojom štúdiu. Ďalej sa chcem poďakovať všetkým pedagógom a ľuďom, ktorí ma v rámci môjho štúdia formovali a od ktorých som sa veľa naučil. Veľká vďaka tiež patrí firme Wienerberger, ktorá mi poskytla pre účely tejto práce hodnoty potrebné pre výpočty a taktiež spoločnosti Metrostav, ktorá mi poskytla prístup na stavbu za účelom akustického merania.

Obsah

Abstrakt.....	4
Abstract.....	5
PodĎakovanie	7
Obsah	8
1. Úvod.....	13
2. Zvuková izolácia	14
2.1 Zvuk šírený vzduchom.....	14
2.2 Zvuk šírený konštrukciou.....	15
3. Požiadavky v Českej republike a v iných krajinách.....	17
3.1 Česká republika - ČSN 73 0532:2020.....	17
3.2 Požiadavky v zahraničí	17
4. Zásady návrhu zvukovej izolácie v rámci jedného bytu	21
5. Používané materiály a skladby vnútorných konštrukcií.....	24
5.1 Steny.....	24
5.1.1 Murované priečky	24
5.1.2 Sadrokartónové priečky	27
5.1.3 Drevené priečky	28
5.1.4 Porovnanie	30
5.2 Stropné konštrukcie a podlahy	30
5.2.1 Podlahy.....	31
5.2.2 Železobetónové stropy	32
5.2.3 Vložkové stropné konštrukcie.....	32
5.2.4 Drevené stropy	33
5.2.5 Stropné konštrukcie s podhlľadom.....	34
6. Vplyv dverí na zvukovú izoláciu	35
6.1 Vplyv dverového krídla.....	36
6.2 Vplyv zárubne a jej napojenia.....	37
6.3 Prahová škára	37
6.4 Funkčná škára	38
7. Nepriamy prenos zvuku	39
7.1 Nepriamy prenos vzduchom	40
7.1.1 Hala alebo chodba	40
7.2 Prenos zvuku vzduchotechnickým systémom.....	41
8. Výpočet nepriameho prenosu zvuku v programe Odeon	43
8.1 Program Odeon	43

8.1.1	Použitie softvéru pri prenose zvuku medzi dvomi miestnosťami	43
8.2	Postup výpočtu a vstupné parametre.....	43
8.3	Overenie presnosti výpočtu nepriezvučnosti.....	45
8.3.1	Vplyv veľkosti miestnosti na presnosť výsledku nepriezvučnosti.....	45
8.3.2	Vplyv pohltivosti povrchov v daných miestnostiach na presnosť výpočtu.....	47
8.3.3	Vplyv rôznych výšok nepriezvučností na presnosť výpočtu.....	48
8.4	Výpočet nepriameho prenosu zvuku chodbou pomocou softvéru ODEON a porovnanie s ČSN EN ISO 12354-1	49
8.4.1	Porovnanie výpočtu $D_{n,s}$ pomocou softvéru a ČSN EN ISO 12354-1 a následný výpočet nepriezvučnosti s nepriamym prenosom zvuku.....	50
8.4.2	Vplyv vzdialenosti dverí na nepriamy prenos zvuku	53
8.4.3	Vplyv pohltivosti chodby na nepriamy prenos zvuku.....	56
8.4.4	Vplyv nepriezvučnosti dverí na nepriamy prenos chodbou	58
8.4.5	Vplyv nepriameho prenosu na konštrukcie s vysokou nepriezvučnosťou	60
9.	Meranie na stavbe	62
9.1	Predmet merania	62
9.2	Použité meracie nástroje	64
9.3	Použité konštrukcie	65
9.4	Opatrenia na zlepšenie zvukovej izolácie pri meraní na stavbe.....	65
9.5	Postup merania.....	67
9.6	Výsledky merania	67
9.7	Kročajový hluk.....	70
9.8	Výpočet nepriameho prenosu pre zmerané miestnosti.....	71
9.8.1	Výpočet podľa prílohy H	72
9.8.2	Výpočet v programe Odeon	74
9.8.3	Porovnanie	76
10.	Meranie v laboratóriu.....	78
10.1	Meracie prístroje	78
10.2	Akustické komory.....	78
10.3	Postup merania.....	81
10.4	Výsledky merania	82
10.5	Výpočet nepriameho prenosu v laboratóriu UCEEB	83
10.5.1	Výpočet podľa prílohy H	83
10.5.2	Výpočet v programe Odeon	87
10.5.3	Porovnanie	88
11.	Záver	90
11.1	Použitie softvéru Odeon na výpočet nepriameho prenosu	90
11.2	Výpočet podľa prílohy H normy ČSN EN ISO 12354-1	90

11.3	Odporúčania pre navrhovanie	90
11.4	Pomôcka pre projektantov v praxi	91
11.5	Diskusia.....	92
11.5.1	Nedostatok podkladov pre správny návrh.....	92
11.5.2	Nutnosť kritérií v rámci jedného bytu.....	92
11.5.3	Úroveň požadovaných hodnôt.....	93
12.	Použitá literatúra	94

Zoznam značiek

A - ekvivalentná pohltivá plocha miestnosti [m^2]

A_0 - referenčná ekvivalentná pohltivá plocha miestnosti, [10 m^2]

C, C_{tr} - faktory prispôsobenia spektru [dB]

$C_{doorposition}$ - korekčný člen pre zahrnutie vplyvu vzájomnej orientácie dverí [dB]

$D_{n,j,w}$ - vážený normovaný rozdiel hladín akustického tlaku pre prenos cez malý technický prvok alebo systém s prenosom zvuku [dB]

$D_{n,s}$ - normovaný rozdiel hladín akustického tlaku pre nepriamy prenos systémom s [dB]

$D_{n,T}$ - normovaný rozdiel hladín [dB]

$D_{n,T,w}$ - vážený normovaný rozdiel hladín [dB]

f_{cr} - kritická frekvencia [Hz]

f_r - rezonančná frekvencia [Hz]

L_i - priemerná hladina akustického tlaku kročajového zvuku v miestnosti príjmu [dB]

L_n - normovaná hladina akustického tlaku kročajového zvuku [dB]

L'_n - normovaná hladina akustického tlaku kročajového zvuku v budove [dB]

$L'_{n,w}$ - vážená normovaná hladina akustického tlaku kročajového zvuku v budove [dB]

$L'_{n,T}$ - normovaná hladina akustického tlaku kročajového zvuku v budove k dobe dozvuku [dB]

L_p - hladina akustického tlaku [dB]

L_1 - priemerná hladina akustického tlaku v miestnosti zdroja [dB]

L_2 - priemerná hladina akustického tlaku v miestnosti príjmu [dB]

m' - plošná hmotnosť [kg/m^2]

p - akustický tlak [Pa]

p_0 - prahová hodnota akustického tlaku [$2 \times 10^{-5} \text{ Pa}$]

R - vzduchová nepriezvučnosť [dB]

R' - stavebná nepriezvučnosť [dB]

R_w - vážená nepriezvučnosť [dB]

R'_w - vážená stavebná nepriezvučnosť [dB]

$R_{Dd,w}$ - vážená nepriezvučnosť pre priamy prenos vzduchom [dB]

$R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$, $R_{Fd,w}$ - vážené nepriezvučnosti pre bočný prenos [dB]

S - plocha deliacej konštrukcie [m^2]

s' - dynamická tuhosť vrstvy [MN/m^3]

T - doba dozvuku v miestnosti príjmu [s]

T_0 - referenčná doba dozvuku [0,5 s]

λ - vlnová dĺžka [m]

ΔL - zníženie hladiny akustického tlaku kročajového zvuku podlahou [dB]

ΔL_w - vážené zníženie hladiny akustického tlaku kročajového zvuku podlahou [dB]

τ - činiteľ priezvučnosti [-]

τ' - stavebná hodnota činiteľa priezvučnosti [-]

τ_{Dd} - pomer vyžiareného akustického výkonu pre priamy prenos vzduchom [-]

τ_s - pomer vyžiareného akustického výkonu v miestnosti príjmu systémom s nepriamym prenosom vzduchom k akustickému výkonu dopadajúcemu na spoločný deliaci prvok [-]

1. Úvod

Táto diplomová práca sa zaoberá témou zvukovej izolácie v rámci jedného bytu. V stavebnej praxi je venovaná veľká pozornosť najmä prenosu zvuku medzi dvomi susednými bytmi. Problematika šírenia zvuku medzi obytnými miestnosťami rovnakého bytu bola preto dlhú dobu kladená do úzadia. To z nej robí veľmi zaujímavú a zároveň veľmi aktuálnu tému. V rámci zmien v ČSN 73 0532:2020 sa upravili požiadavky na kvalitu zvukovej izolácie práve v tomto prípade. Je preto potrebné sa viac zaoberať správnym návrhom deliacich konštrukcií a ich skladieb s ohľadom na dostatočnú kvalitu zvukovej izolácie.

V súčasnosti sa na stavebnom trhu nachádza veľké množstvo rôznych materiálov a konštrukcií pre vnútorné deliace priečky a stropy, z ktorých veľká časť spĺňa dané akustické požiadavky. Táto skutočnosť má pozitívny vplyv na výslednú akustickú kvalitu nových konštrukcií a taktiež na možnosť vhodného návrhu pre každú jednotlivú situáciu. Veľmi dôležitú úlohu pri prenose zvuku v rámci jedného bytu zohráva nepriamy prenos. Okrem prenosu bočnými stavebnými prvkami je to najmä nepriamy prenos zvuku vzduchom, napríklad spoločnou chodbou, alebo prenos vzduchotechnickým systémom. Práve pri podcenení týchto prenosových ciest môže dôjsť k výraznému zhoršeniu výslednej stavebnej nepriezvučnosti konštrukcií a tým vo veľa prípadoch aj k nespĺneniu normových požiadaviek. Príkladom takejto situácie môže byť najmä návrh interiérových dverí s veľmi nízkou hodnotou vzduchovej nepriezvučnosti.

Cieľom tejto diplomovej práce je viac ozrejniť túto problematiku, simuláciami a meraniami objasniť základné spôsoby šírenia zvuku medzi dvoma obytnými miestnosťami a určiť dôležité parametre konštrukcií, ktoré majú určujúci vplyv na kvalitu výsledného návrhu.

2. Zvuková izolácia

Zvuk je mechanické vlnenie elastického média, ktoré je možné vnímať ľudským sluchom. Vnímanie zvuku je u ľudí možné len v určitom rozmedzí frekvencií a akustického tlaku. Mladý zdravý človek je schopný počuť zvuky vo frekvenciách od 16 do 20 000 Hz, pričom s pribúdajúcim vekom sa toto rozmedzie znižuje. Prahová hodnota akustického tlaku je 0,00002 Pa, zhora je toto pásmo ohraničené hodnotou 20 Pa, čo predstavuje prah bolesti. Vzťah medzi veľkosťou sluchového vnemu a zvukového podnetu nie je lineárny ale logaritmický, čo popisuje Weber-Fechnerov zákon. Z neho tiež vychádza zavedenie logaritmickej miery v akustických veličinách a s ňou spojená decibelová stupnica. [1]

Ľudská aktivita je takmer vždy spojená so zvukom, veľkú časť informácií človek prijíma práve vďaka sluchu. V porovnaní s minulosťou sa v životnom prostredí moderného človeka objavuje omnoho väčšie množstvo zvukov. Keďže človek nedokáže vedome regulovať prijímaný zvukový signál, môže veľká časť týchto zvukov pôsobiť veľmi rušivo, najmä na odpočinok a komunikáciu. Tieto nežiaduce, rušivé alebo škodlivé zvuky označujeme ako hluk. Každý jedinec reaguje na hluk individuálne. Napriek tomu je možné konštatovať, že veľká a častá expozícia voči hluku má priamy vplyv na ľudské zdravie, najmä na nervový a cievny systém. Z toho vyplýva aj veľký význam kvality vnútorného prostredia a stavebnej akustiky. Práve správnym návrhom zvukovej izolácie je možné doceliť požadovanú ochranu pred hlukom a tým aj priamo chrániť ľudské zdravie. [2] [3]

Zvuk, ktorý sa šíri vo vnútri budovy môžeme rozdeliť na zvuk šírený vzduchom a zvuk šírený konštrukciou. Podľa ďalšieho kritéria môžeme zvuky deliť na zvuky definovateľné, pri ktorých je možné v istých podmienkach jednoznačne definovať ich intenzitu, kmitočet a časové pôsobenie (napríklad zvuk výťahového stroja) a na zvuky nedefinovateľné, ktoré vznikajú náhodne pri používaní stavby (napríklad chôdza, rozhovor, hudba). [2]

2.1 Zvuk šírený vzduchom

Pri šírení zvuku vzduchom dochádza k situácii, v ktorej zdroj zvuku vyžaruje zvukové vlny v danej miestnosti, pričom sa v nej vytvorí pole priamych a odrazených vln. Keď zvuk ďalej prechádza cez deliace konštrukcie do ďalšej miestnosti, zníži sa pri tomto prechode jeho intenzita [2]. Prenos tohto zvuku je vyjadrený činiteľom priepustnosti τ . Ten udáva pomer vyžiareného akustického výkonu P_2 k dopadajúcemu akustickému výkonu P_1 na deliacu konštrukciu. Pomocou neho môžeme vyjadriť dôležitú vlastnosť deliacej konštrukcie, jej *vzduchovú nepriepustnosť* R , ktorá sa používa pri hodnotení zvukovej izolácie, na základe vzťahu [1]:

$$R = -10 * \log \tau$$

V tomto prípade hovoríme o laboratórnej nepriepustnosti, pretože predpokladáme, že akustický výkon sa do druhej miestnosti vyžaruje len plochou deliacej konštrukcie a nedochádza k prenosu zvuku inými cestami. Keďže vychádzame z predpokladu, že v miestnosti zdroja sa nachádza difúzne zvukové pole, pri ktorom na deliacu konštrukciu dopadajú zvukové vlny z každého smeru, platí tiež známy výpočtový vzťah [3]:

$$R = L_1 - L_2 - 10 * \log A/S$$

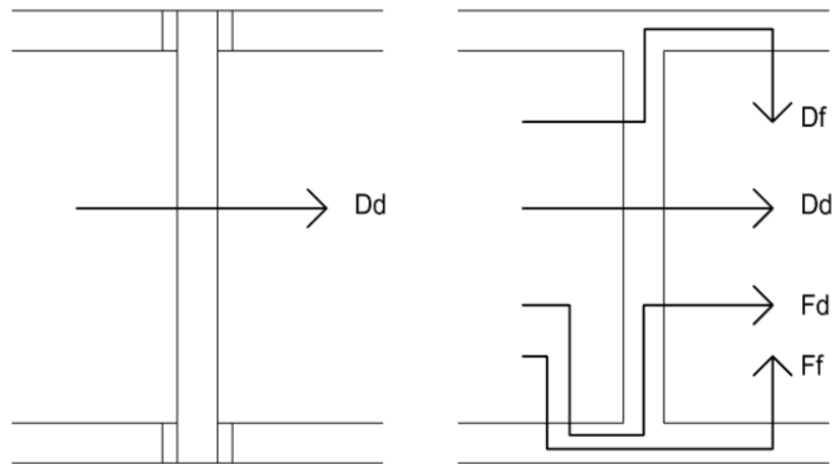
kde:

A – pohltivosť miestnosti príjmu (m^2)

S – plocha deliacej konštrukcie (m^2)

V porovnaní s hodnotou laboratórnej nepriepustnosti sú hodnoty dosahované na stavbe nižšie, čo je spôsobené najmä šírením zvuku bočnými cestami, ktoré sú pri laboratórnom meraní vylúčené. Takáto nepriepustnosť sa potom nazýva *stavebná nepriepustnosť* R' . Rozdiel v prenose

zvuku medzi stavebnou a laboratórnou nepriezvučnosťou je zobrazený na obr. č. 2.01. Téma bočného prenosu je podrobnejšie vysvetlená v danej kapitole.



Obr. 2.01: Porovnanie prenosových ciest zvuku pre laboratórnú a stavebnú nepriezvučnosť [1]

Vážená stavebná nepriezvučnosť

Stavebná nepriezvučnosť je závislá od kmitočtu. Obvykle sa vyjadruje v rozsahu kmitočtov od 100 do 3150 Hz, celkovo toto rozmedzie obsahuje 16 hodnôt nepriezvučnosti v tretinooktávových pásmach. Za účelom jednoduchosti, prehľadnosti a možnosti porovnania rôznych typov konštrukcií bola zavedená *vážená stavebná nepriezvučnosť* R'_w . Zistí sa na základe postupu v norme ČSN EN ISO 717-1 porovnaním so smernou krivkou [2]. Okrem toho táto norma uvádza aj *faktory prispôsobenia spektru C* a C_{tr} . Sú to jednočíselné doplnkové kritériá, ktoré obsahujú dodatočné informácie o zvukovej izolácii daného prvku a jej kvalite v rôznych frekvenciách. [1]

2.2 Zvuk šírený konštrukciou

Pri priamych nárazoch na deliacu konštrukciu v nej vzniká zvuková energia, ktorá sa v nej šíri pomocou akustických vibrácií. Zdroj zvuku sa nachádza priamo na konštrukcii, v bežných budovách je to najmä chôdza, pád predmetov na podlahu alebo ich posúvanie po podlahe. Tento zvuk šíriaci sa v konštrukciách budovy nazývame kročajový zvuk [3]. Zo svojej nepravidelnej podstaty ho zaradíme medzi nedefinovateľné zvuky, pretože závisí od ľudskej aktivity v daných miestnostiach. [2]

Pri hodnotení ochrany proti šíreniu tohto zvuku sa vychádza z použitia normalizovaného zdroja kročajového zvuku umiestneného na danej konštrukcii, ktorý v miestnosti príjmu vybudí určitú hladinu akustického tlaku L_i . Z nej môžeme potom odvodiť veličinu *normová hladina akustického tlaku kročajového zvuku* L_n na základe vzorca

$$L_n = L_i + (A / A_0)$$

kde:

$A_0 - 10 \text{ m}^2$

$A -$ pohltivosť v miestnosti príjmu (m^2)

Táto veličina sa teda vzťahuje na danú zvukovú pohltivosť v miestnosti príjmu. V ďalšom prípade je možné použiť veličinu $L_{n,T}$, ktorá sa vzťahuje na dobu dozvuku podľa vzorca

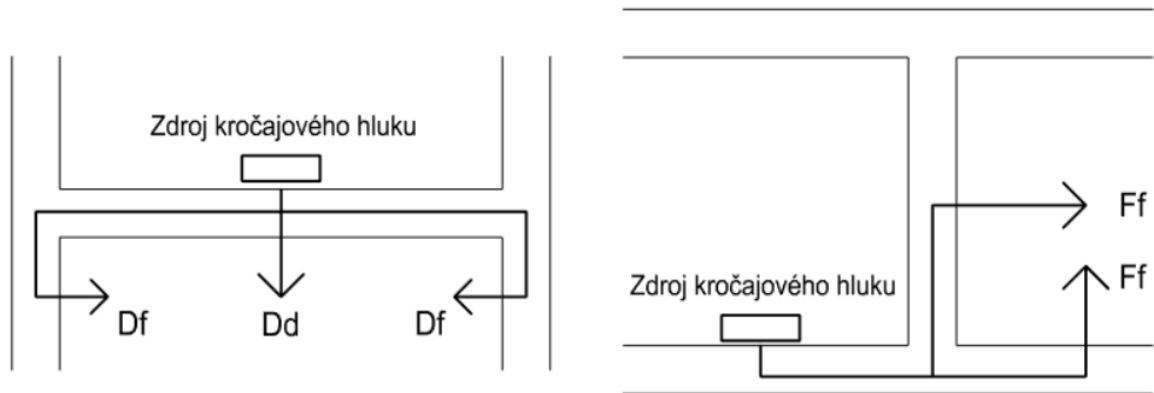
$$L_{n,T} = L_2 + (T / T_0)$$

kde:

$T_0 - 0,5 \text{ s}$

$T -$ čas dozvuku v miestnosti príjmu (s)

Obdobne ako pri vzduchovej nepriezvučnosti sa jedná o laboratórne hodnoty, keďže zvuk sa prenáša len priamou cestou cez konštrukciu. Na stavbe sa však vyskytujú aj ďalšie cesty prenosu zvuku a preto je výsledná hladina zvuku v miestnosti príjmu vyššia. Pri zohľadnení prenosu všetkými cestami hovoríme o stavebnej hodnote L'_n . [1]



Obr. 2.02: Prenosové cesty kročajového zvuku pre stavebnú hodnotu [37]

Vážená hladina kročajového zvuku

Keďže sú dané veličiny závislé od kmitočtu, a v stanovenom zvukoizolačnom pásme od 100 do 3150 Hz obsahujú 16 hodnôt, uvádza ČSN EN ISO 717-2 postup na výpočet jednočíselnej veličiny - *váženej hladiny kročajového zvuku* $L_{n,w}$, ktorá sa určí na základe porovnania týchto hodnôt so stanovenou smernou krivkou. Obdobne ako pri vzduchovej nepriezvučnosti R , uvádza norma aj doplnkové kritérium faktor prispôsobenia spektru C_i , ktorý ponúka ďalšie informácie o kvalite zvukovej izolácii v určitých frekvenciách. [2]

3. Požiadavky v Českej republike a v iných krajinách

3.1 Česká republika - ČSN 73 0532:2020

V Českej republike bola na konci roka 2020 vydaná revízia normy ČSN 73 0532:2020 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posudzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků - Požadavky. Táto norma nahradila pôvodnú normu ČSN 73 0532 z roku 2010. V porovnaní so starou verziou priniesla nová verzia viacero zmien, z ktorých niekoľko sa týka aj témy zvukovej izolácie v rámci jedného bytu. Pôvodne sa požiadavky na zvukovú izoláciu vzťahovali len na jednu obytnú miestnosť. Norma pritom nestanovila, ktorá z obytných miestností má byť chránená. Nová verzia normy stanovuje tieto požiadavky pre všetky obytné miestnosti v byte alebo rodinnom dome. Požiadavky sa nevzťahujú na príslušenstvo v danom byte. Zmena sa dotkla aj samotných požiadaviek v norme. Namiesto pôvodnej minimálne požadovanej stavebnej nepriezvučnosti stien 42 dB sa táto požiadavka znížila na minimálne 40 dB. Poznámka v norme stanovuje túto požiadavku vrátane bočného prenosu zvuku. Zmena nastala aj v prípade kročajového hluku, maximálna hladina kročajového hluku sa znížila z 63 dB na 58 dB, to znamená sprísnenie požiadaviek o 5 dB. [4] [5]

Chránený priestor	Hlučný priestor	Stropy $L'_{n,w}, L'_{n,Tw}$ (dB)	Stropy R'_w (dB)	Steny R'_w (dB)
Všetky obytné miestnosti bytu	Všetky ostatné obytné miestnosti toho istého bytu	≤ 58	≥ 48	≥ 40

Tab. 3.01: Požiadavky ČSN 73 0532:2020 [4]

3.2 Požiadavky v zahraničí

Normové požiadavky na zvukovú izoláciu v rámci jedného bytu v iných krajinách nie sú bežné. Vo väčšine prípadov takéto požiadavky vôbec neexistujú. Nasledujúci zoznam obsahuje príklady krajín, kde podobné predpisy a normy nájdeme.

Slovensko

Jedna z mála krajín, kde existujú podobné požiadavky ako v ČR, je Slovensko. Na Slovensku ich určuje norma STN 73 0532 z roku 2013, kde sú stanovené požiadavky na vzduchovú nepriezvučnosť a hladinu kročajového zvuku medzi dvoma obytnými miestnosťami rovnakého bytu. Tieto požiadavky platia pre všetky byty, s výnimkou rodinných domov. [6]

Chránený priestor	Hlučný priestor	Stropy $L'_{n,w}$ (dB)	Stropy R'_w (dB)	Steny $R'_w, D_{nT,w}$ (dB)	Dvere R_w (dB)
Aspoň jedna obytná miestnosť bytu	Všetky ostatné obytné miestnosti toho istého bytu	≤ 63	≥ 42	≥ 42	≥ 27

Tab. 3.02: Požiadavky STN 73 0532 [6]

Nemecko

V Nemecku nie sú tieto požiadavky stanovené normou. Nemecká DIN 4109 stanovuje požiadavky v bytovej výstavbe len na deliace konštrukcie rôznych bytov. V prílohe číslo 2 tejto normy (DIN 4109:1989 Beiblatt 2) boli uvedené odporúčané hodnoty pre deliace konštrukcie v rámci jedného bytu. Boli stanovené v dvoch úrovniach, a to normálna ochrana proti hluku (normaler Schallschutz) a zvýšená ochrana proti hluku (erhöhter Schallschutz) [7]. Tieto hodnoty sa však už pre návrh neodporúča používať. V novšej norme DIN 4109-1:2018 boli stanovené požiadavky pre vlastný obytný a pracovný priestor, ktoré platia pre trvalo inštalované technické zdroje zvuku, ktoré nie sú spúšťané samotným obyvateľom. [8]

Prvky	Normálna ochrana proti hluku		Zvýšená ochrana proti hluku	
	R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)	R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)
Strop v rodinnom dome	≥ 50	≤ 56	≥ 55	≤ 46
Schody a podesta	-	-	-	≤ 53
Steny bez dverí, medzi hlučnými a tichými miestnosťami s rozličným využitím	≥ 40	-	≥ 47	-

Tab. 3.03: Odporúčané hodnoty podľa DIN 4109:1989 - Beiblatt 2 [36]

V tejto krajine existuje aj koncept preukazu o ochrane proti hluku (Schallschutzausweis). Táto metodika bola vypracovaná Nemeckou spoločnosťou pre akustiku DEGA (Deutsche Gesellschaft für Akustik) a zaoberá sa hodnotením stavebnej akustiky. Vytvára klasifikáciu na základe hodnotenia kvality stavebnej akustiky v danom projekte a následne zaraďuje stavbu do určitého kvalitatívneho stupňa, na základe získaných bodov v celkovom hodnotení. Pre zvukovú izoláciu existujú tri stupne, EW1, EW2 a EW3. Je nutné podotknúť, že uvedené požiadavky nie sú záväzné, slúžia len pre kvalitatívne ohodnotenie stavby. [9]

Prvky	EW 1	EW 2	EW 3
Steny bez dverí, miestnosti s potrebnou ochranou, s dverami zníženie o 5 dB R'_w (dB)	≥ 40	≥ 43	≥ 47
Stropy, R'_w (dB)	≥ 48	≥ 51	≥ 55
Stropy, $L'_{n,w}$ (dB)	≤ 58	≤ 53	≤ 46
Dvere miestností s potrebnou ochranou pri otvorenom pôdoryse, R_w (dB)	≥ 22	≥ 27	≥ 32
Dvere miestností s potrebnou ochranou pri uzatvorenom pôdoryse, R_w (dB)	≥ 17	≥ 22	≥ 27

Tab. 3.04: Požiadavky pre jednotlivé stupne pre DEGA Schallschutzausweis [9]

Pre prípad, že stavebník pri návrhu požaduje zvýšenú kvalitu zvukovej izolácie vydal Verein Deutscher Ingenieure svoju smernicu VDI 4100, kde sa takisto nachádzajú požiadavky na zvukovú izoláciu v rámci jedného bytu. Požiadavky sú určené v dvoch kvalitatívnych úrovniach od 1 po 2 (Schallschutzstufe EB1 a EB2). [7]

Prvky	SSt EB1	SSt EB2
Horizontálny a vertikálny prenos, $D_{nT,w}$ (dB)	≥ 48	≥ 52
Obytné miestnosti s dverami, otvorené pôdorysy, $D_{nT,w}$ (dB)	≥ 26	≥ 31
Stropy, schody, $L'_{nT,w}$ (dB)	≤ 53	≤ 46

Tab. 3.05: Požiadavky pre jednotlivé stupne podľa VDI 4100 [7]

Anglicko a Wales

V Anglicku a Walese je v platnosti Approved Document E, ktorý je súčasťou platných stavebných predpisov (The Building Regulations). Tento dokument stanovuje minimálnu požadovanú zvukovú izoláciu v budovách. Časť E2 (Protection against sound within a dwelling - house) stanovuje požiadavku na konštrukcie v rámci jednej obytnej jednotky. Tieto požiadavky sa však nevzťahujú na steny, ktorých súčasťou sú dvere. [10]

Prvky	R_w
Steny, R_w (dB)	≥ 40
Stropy, R_w (dB)	≥ 40

Tab. 3.06: Požiadavky podľa Approved Document E [10]

Rakúsko

V Rakúsku, podobne ako v Nemecku, nie je v norme stanovená minimálna požadovaná zvuková izolácia v rámci jedného bytu, avšak pre prípad kvalitnejšieho akustického návrhu a vyššieho komfortu zaviedla rakúska ÖNORM B 8115 z roku 2012 štyri kvalitatívne triedy (A, B, Cr a C). Pre dve najvyššie triedy A a B boli zavedené hranice pre zvukovú izoláciu v jednom byte, ktoré platia aj pre rodinné domy. Je dôležité podotknúť, že v Rakúsku sú požiadavky uvedené v $D_{nT,w}$ namiesto stavebnej nepriezvučnosti R'_w . Taktiež pre kročajový hluk používajú $L'_{nT,w}$ namiesto $L'_{n,w}$. Ako je vidieť v tabuľke č. 3.07, pri hodnotení berú do úvahy aj $C_{50-3150}$, čím zvyrazňujú vplyv nízkych frekvencií na dosiahnutú úroveň zvukovej izolácie. [11]

	Trieda A	Trieda B
Obytné miestnosti, bez dverí	$D_{nT,w} + C_{50-3150} \geq 45 \text{ dB}$	$D_{nT,w} \geq 45 \text{ dB}$
Obytné miestnosti, s dverami	$D_{nT,w} + C_{50-3150} \geq 35 \text{ dB}$	$D_{nT,w} \geq 35 \text{ dB}$

Tab. 3.07: Požiadavky pre jednotlivé triedy podľa ÖNORM B 8115-2 [11]

Island

Islandská stavebná norma IST 45:2011 Sound clarification of various types of buildings uvádza štyri kvalitatívne triedy pre úroveň zvukovej izolácie v budovách. Pre najvyššie dve triedy sú stanovené aj požiadavky v rámci jedného bytu. Tieto požiadavky musí spĺňať minimálne jedna obytná miestnosť v byte. [11]

	Trieda A	Trieda B
Aspoň jedna obytná miestnosť bytu, $R'_w + C_{50-3150} \text{ (dB)}$	≥ 48	≥ 43

Tab. 3.08: Požiadavky pre jednotlivé triedy podľa IST 45:2011 [11]

Španielsko

Podľa normy CTE - HR je minimálna požadovaná stavebná nepriezvučnosť medzi obytnými miestnosťami tej istej obytnej jednotky $R'_w + C \geq 33 \text{ dB}$. [11]

Belgicko

Belgická norma NBN S 01-400-1 udáva minimálne požiadavky na zvukovú izoláciu medzi dvomi obytnými miestnosťami rovnakého bytu na úrovni $D_{nT,w} \geq 35 \text{ dB}$. Pri zvýšených nárokoch na zvukovú izoláciu je táto hranica 43 dB. [11]

Fínsko, Švédsko, Švajčiarsko

Podobne ako v iných krajinách tu nie sú stanovené minimálne požadované hodnoty. Tie sa udávajú iba v súvislosti s plánovaním väčšieho akustického štandardu a pri zariaďovaní do kvalitatívnych tried. Vo Fínsku je to $R'_w + C_{50-3150} \geq 48 \text{ dB}$ pre triedu A a ≥ 43 pre triedu B, vo Švédsku $R'_w \geq 44 \text{ dB}$ pre triedu A a $\geq 40 \text{ dB}$ pre triedu B. V Švajčiarsku platí norma SIA 181, kde v je v prílohe definovaná požadovaná úroveň zvukovej izolácie v rovnakom byte pre dve kvalitatívne triedy 1 ($D_{nT,w} + C \geq 40 \text{ dB}$) a 2 ($D_{nT,w} + C \geq 45 \text{ dB}$). [11]

4. Zásady návrhu zvukovej izolácie v rámci jedného bytu

V minulosti téma zvukovej izolácie v rovnakom byte zaujímala v rámci akustického plánovania len okrajovú úlohu. So vzrastajúcimi požiadavkami na komfortné bývanie sa však dostáva stále viac do popredia. [11]

Práve v spojitosti s nárastom dôležitosti tejto témy vydala Nemecká spoločnosť pre akustiku DEGA (Deutsche Gesellschaft für Akustik) v roku 2015 memorandum DEGA BR 0104 Schallschutz im eigenen Wohnbereich, ktoré zhrňa danú problematiku a obsahuje odporúčania pre správny návrh bytu za účelom čo najlepšej úrovne zvukovej izolácie.

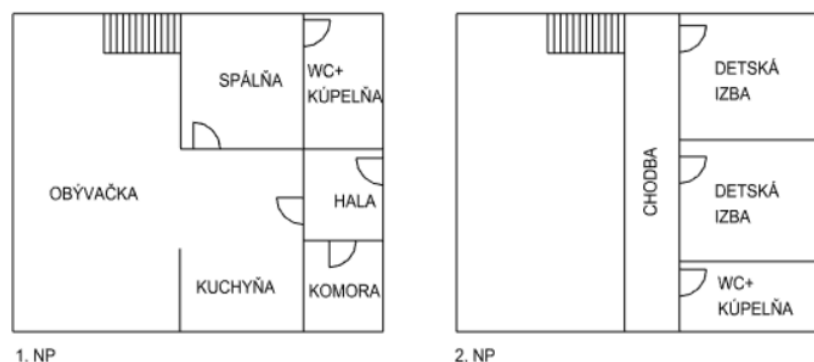
Za najdôležitejšiu úlohu toto memorandum určuje vhodný návrh pôdorysu daného bytu, pričom v princípe rozlišuje medzi dvomi základnými typmi bytov. Prvý typ, takzvaný "otvorený pôdorys" je charakterizovaný tým, že obytné miestnosti sú od seba zvyčajne oddelené len jednou priečkou, ktorá obsahuje dvere a nie sú oddelené chodbou. To sa týka aj dvojpodlažných mezonetových bytov, ktoré obsahujú centrálny obytný priestor presahujúci do druhého podlažia. [9]

Častou situáciou, ktorá sa vyskytuje v otvorených pôdorysoch, je vstup do spálni a iných obytných miestností priamo z obývacej izby. Príklad typického pôdorysu tohto typu je zobrazený na obrázku č. 4.01, v ktorom je zobrazená práve táto situácia. Spálne sú od hlučnej miestnosti oddelené len spoločnou deliacou stenou, ktorá navyše obsahuje spoločné dvere, ktoré predstavujú najslabší článok zvukovej izolácie. Dá sa teda predpokladať výrazný prenos akustickej energie do miestnosti určenej na spánok a oddych.

JEDNOPODLAŽNÝ BYT



DVOJPODLAŽNÝ BYT



Obr. 4.01: Príklady bytov s otvoreným pôdorysom [9]

- platí zásada, že zvuky v rámci bytu zohrávajú pre pohodu obyvateľov tým väčšiu rolu, čím menšia je záťaž hlukom z okolitého prostredia, respektíve čím kvalitnejšia je zvuková izolácia konštrukcií voči okoliu. [9]

Je teda možné konštatovať, že na vnútornú akustickú pohodu má veľký vplyv najmä pôdorys bytu. Ďalší návrh zvukovej izolácie už vychádza z normových požiadaviek týkajúcich sa stavebných prvkov v byte. Z ich povahy môžeme určiť hlavné faktory ovplyvňujúce stavebnú akustiku v rámci jedného bytu. Návrh deliacich priečok a interiérových dverí s dostatočnými hodnotami nepriezvučnosti je nevyhnutný pre dodržanie normových požiadaviek. Taktiež je potrebné vziať do úvahy aj vplyv nepriameho prenosu zvuku v byte. Práve týmto faktorom sú venované samostatné kapitoly v tejto práci.

5. Používané materiály a skladby vnútorných konštrukcií

Z akustického hľadiska je možné steny a stropy rozdeliť na jednoduché, viacvrstvé, dvojité a zložené. Medzi dvojité prvky patria hmotné čiastkové steny, ľahké doskové čiastkové steny a kombinované steny. [3]

Nepriezvučnosť jednoduchých prvkov ovplyvňuje viacero faktorov. Jej priebeh v závislosti od kmitočtu sa dá rozdeliť do troch oblastí, v ktorých tieto javy nastávajú. Prvá oblasť je charakterizovaná vplyvom vlastnej rezonancie. Táto oblasť vplýva vo frekvenčnom pásme až do trojnásobku základného rezonančného kmitočtu. Pri väčšine bežných stavebných konštrukcií sa táto oblasť nachádza v nízkych frekvenciách. V druhej oblasti platí zákon hmotnosti. Je ohraničená trojnásobkom základného rezonančného kmitočtu a približne tretinou kritického kmitočtu koincidencie f_{cr} [2]. Nepriezvučnosť prvkov je v tejto oblasti závislá od plošnej hmotnosti prvku a od frekvencie, pričom každé zdvojnásobenie plošnej hmotnosti alebo frekvencie znamená jej zvýšenie o 6 dB [1]. Poslednou oblasťou je oblasť vplyvu vlnovej koincidencie. Dochádza k nej v situácii, keď sa vlnová dĺžka vynútených ohybových vln rovná vlnovej dĺžke voľných ohybových vln v prvku. V tejto oblasti dochádza k poklesu nepriezvučnosti, pretože medzi prvkom a prostredím vzniká silná väzba. Dochádza k tomu pri kmitočtoch nachádzajúcich sa nad tretinou kritického kmitočtu. Kritický kmitočet f_{cr} predstavuje najnižšiu frekvenciu, pri ktorej dochádza k vlnovej koincidencii. [2]

Nepriezvučnosť dvojítých konštrukcií je navyše okrem už spomenutých javov ovplyvnená aj ďalšími javmi, ktoré nastávajú výlučne v dvojítých prvkoch. Prvým z nich je rezonancia typu hmotnosť - poddajnosť - hmotnosť, ktorá znižuje nepriezvučnosť v oblasti okolo rezonančného kmitočtu f . Je vhodné, aby sa tento kmitočet nachádzal mimo zvukovo izolačného pásma. Vplyv na polohu tohto kmitočtu má plošná hmotnosť oboch vrstiev, ich vzdialenosť od seba a taktiež materiál výplne vzduchovej medzery. Druhým javom je vznik stojateho vlnenia vo vzduchovej medzere. Prenos zvuku je možný aj mechanickými spojmami medzi jednotlivými jednoduchými prvkami. [3]

5.1 Steny

Pri návrhu vnútorných priečok prichádzajú do úvahy rôzne druhy konštrukcií a tiež materiálov. Okrem klasických murovaných priečok sú to najmä ľahké sadrokartónové priečky. Pri súčasných trendoch ekologickej výstavby sa do popredia tiež dostávajú priečky na báze dreva a iných prírodných materiálov.

5.1.1 Murované priečky

Murované priečky sa z akustického hľadiska zatriedujú medzi jednoduché stavebné prvky. Vo väčšine prípadov sa murivo omieta, čo z tejto steny robí viacvrstvovú konštrukciu. Vychádza sa ale z predpokladu, že omietka má podobné mechanické vlastnosti ako murivo, takže tieto steny môžeme stále považovať za jednoduché prvky. Medzi často používané materiály pre murované priečky patria najmä keramické, pórobetónové a vápennopieskové tvárnice. V prípade, že vyľahčené tvárnice obsahujú dutiny, môže prísť k poklesu ich zvukovej izolácie. Príčinou je vznik rezonancií v dutinách a skutočnosť, že sa jednotlivé tenké časti tvárnice správajú ako systém hmotnosť - poddajnosť - hmotnosť. [1]

Príklady keramických priečok

Názov priečky	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
Porotherm 8 Profi + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	80 + 2x15	110	38
Porotherm 11.5 AKU + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	115 + 2x15	180	47
Porotherm 11.5 AKU Profi + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	115 + 2x15	170	46
Porotherm 11.5 Profi + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	115 + 2x15	141	43
Porotherm 14 Profi + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	140 + 2x15	163	43
Porotherm 17.5 Profi + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	175 + 2x15	193	44
Porotherm 19 AKU + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	190 + 2x15	256	53
HELUZ 8 brúsená + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	80 + 2x15	110	35
HELUZ AKU 11,5 + 2x15 mm vnútorná omietka (1 700 kg/m ³)	115 + 2x15	204,8	47
HELUZ 11,5 brúsená + 2x15 mm vnútorná omietka (1 700 kg/m ³)	115 + 2x15	136	45
HELUZ 14 + 2x15 mm vnútorná omietka (1 700 kg/m ³)	140 + 2x15	158	43
HELUZ 17,5 + 2x15 mm vnútorná omietka (1 700 kg/m ³)	175 + 2x15	181	44
HELUZ AKU 17,5 Z brúsená + 2x15 mm vnútorná omietka (1 600 kg/m ³)	175 + 2x15	231	51

Tab. 5.01: Príklady keramických priečok [21] [22]

Príklady pórobetónových priečok

Názov priečky	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
YTONG Klasik 75	75	45	34
YTONG Klasik 100	100	60	37
YTONG Klasik 100 + 2x15 mm vnútorná akustická omietka	100 + 2x15	-	42
YTONG Klasik 125	125	75	39
YTONG Klasik 125 + 2x15 mm vnútorná akustická omietka	125 + 2x15	-	44

YTONG Klasik 150	150	90	41
YTONG Klasik 150 + 2x15 mm vnútorná akustická omietka	150 + 2x15	-	44
YTONG Klasik 200	200	120	43
PORFIX P2-500, 75 mm	75	52	37
PORFIX P2-500, 100 mm	100	68,8	39
PORFIX P2-500, 125 mm	125	86,4	40
PORFIX P2-500, 150 mm	150	103,2	42
PORFIX P2-500, 200 mm	200	52	45

Tab. 5.02: Príklady pórobetónových priechok [23] [24]

Príklady vápennopieskových priechok

Názov priechky	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
Silka E80 + 2x10 mm vnútorná omietka (1 300 kg/m ³)	80 + 2x10	112	45
Silka E120 + 2x10 mm vnútorná omietka (1 300 kg/m ³)	120 + 2x10	168	48
Silka E180 + 2x10 mm vnútorná omietka (1 300 kg/m ³)	180 + 2x10	252	51
Silka HMLF 100 + 2x10 mm vnútorná omietka (1 300 kg/m ³)	100 + 2x10	160	47
Silka KSRP 115 + 2x10 mm vnútorná omietka (1 300 kg/m ³)	115 + 2x10	161	47
Silka KSRP 175 + 2x10 mm vnútorná omietka (1 300 kg/m ³)	175 + 2x10	350	53
Sendwix 4DF-LDE + 2x15 mm vnútorná omietka	115 + 2x15	220	44
Sendwix 10DF-LPE + 2x15 mm vnútorná omietka	150 + 2x15	350	51
Sendwix 12DF-LDE + 2x15 mm vnútorná omietka	175 + 2x15	270	48

Tab. 5.03: Príklady vápennopieskových priechok [38] [25]

5.1.2 Sadrokartónové priečky

Tieto priečky patria z pohľadu akustiky medzi dvojité prvky s ľahkými čiastkovými doskovými stenami. Ich veľkou výhodou je dosiahnutie dobrých akustických vlastností aj pri nízkej hmotnosti steny. Nosná konštrukcia zo stĺpikov na báze kovu alebo dreva je opláštená doskovými prvkami zo sadrokartónu. Hrúbku vzduchovej medzery je vhodné navrhnuť tak, aby rezonančný kmitočet bol čo najnižší a nepresiahol hranicu 80 Hz. Hrúbku dosky je z akustického hľadiska vhodné zvoliť tak, aby sa kritický kmitočet nachádzal mimo zvukoizolačného pásma. Najčastejšie sa v praxi používa hrúbka dosiek 12,5 mm [3]. Pri zvýšení plošnej hmotnosti nie je vhodné použiť dosky s väčšou hrúbkou, pretože to má za následok nepriaznivý posun kritického kmitočtu do nižších frekvencií. Vhodnejšie je preto použiť dvojnásobne opláštenie, napríklad 2 x 12,5 mm. Dôležitou súčasťou skladby je vložená zvuk pohlcujúca izolácia, ktorá má za úlohu znížiť vplyv stojateho vlnenia vo vzduchovej medzere. Najbežnejšie sa na tento účel používa vložka z minerálnej vlny [2]. Pri použití ľahkých priečok je veľmi dôležité dbať na ich správne napojenie na okolité konštrukcie a taktiež na vhodné spoje čiastkových stien, ktoré by nemalo byť tuhé. Možné zlepšenie nepriezvučnosti je použitie druhého radu stĺpikov. Toto riešenie sa však pre priečky v rámci jedného bytu takmer vôbec nepoužíva. [3]

Príklady sadrokartónových priečok

Názov priečky	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 50, opláštená z každej strany 1× RB (A) 12,5 – bez izolácie	75	21	41
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 50, opláštená z každej strany 1× RB (A) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 50 mm	75	22	45
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 75, opláštená z každej strany 1× RB (A) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 50/60 mm	100	22	45
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 75, opláštená z každej strany 1× MA (DF) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 60 mm	100	28	50
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 100, opláštená z každej strany 1× MA (DF) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 80 mm	125	28	53
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 75, opláštená z každej strany 2× RB (A) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 50 mm	100	40	51
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 75, opláštená z každej strany 2× MA (DF) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 50 mm	100	52	56
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 75, opláštená z každej strany 2× RB (A) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 50 mm	125	40	53

Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 100, opláštená z každej strany 2× RB (A) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 50 mm	150	40	56
Rigips - na kovovej podkonštrukcii R-CW 100, opláštená z každej strany 2× MA (DF) 12,5 – s minerálnou izoláciou hrúbky 100 mm	150	52	61
Knauf - na kovovej podkonštrukcii CW 50, opláštená z každej strany 1× GKB / GKF– s minerálnou izoláciou hrúbky 40 mm	75	22 - 24	43 - 45
Knauf - na kovovej podkonštrukcii CW 75, opláštená z každej strany 1× GKB / GKF– s minerálnou izoláciou hrúbky 60 mm	100	22 - 24	45 - 48
Knauf - na kovovej podkonštrukcii CW 100, opláštená z každej strany 1× GKB / GKF– s minerálnou izoláciou hrúbky 80 mm	125	22 - 24	48 - 51
Knauf - na kovovej podkonštrukcii CW 50, opláštená z každej strany 2× GKB – s minerálnou izoláciou hrúbky 40 mm	100	40	51
Knauf - na kovovej podkonštrukcii CW 75, opláštená z každej strany 2× GKB – s minerálnou izoláciou hrúbky 60 mm	125	40	53
Knauf - na kovovej podkonštrukcii CW 100, opláštená z každej strany 2× GKB – s minerálnou izoláciou hrúbky 80 mm	150	40	56

Tab. 5.04: Príklady sadrokartónových priečok [26] [27]

5.1.3 Drevené priečky

Drevené priečky je možné podľa ich konštrukcie rozdeliť na stĺpikové a masívne.

Stĺpikové

Z hľadiska akustiky pre ne môžeme používať zásady, ktoré už boli spomenuté pri ľahkých sadrokartónových priečkach. Nosnú konštrukciu tvoria stĺpiky z rasteného dreva alebo KVH, možné je tiež použitie zlepených profilov a I - profilov. Opláštenie je možné zhotoviť z dosiek na báze dreva, napríklad OSB, drevovláknitých a drevotrieskových dosiek, alebo z dosiek na báze sadrokartónu alebo sádrovlákna. Podobne ako pri iných ľahkých priečkach má vplyv na výslednú nepriezvučnosť aj použitý nosný skelet priečky, a to najmä osová vzdialenosť stĺpikov, pričom spravidla nepriezvučnosť rastie so zväčšovaním vzdialenosti stĺpikov. Najväčší vplyv má táto zmena na posun vlastnej rezonancie opláštenia. [12]

Názov priečky	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
sadrokartón 12,5 mm + stĺpikový rošt 60x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 40 mm + sadrokartón 12,5 mm	85	-	38
sadrovláknitá doska 12,5 mm + stĺpikový rošt 60x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 40 mm + sadrovláknitá doska 12,5 mm	85	-	42
OSB 15 mm + stĺpikový rošt 60x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 40 mm + OSB 15 mm	90	-	34
sadrokartón 12,5 mm + stĺpikový rošt 140x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 120 mm+ sadrokartón 12,5 mm	165	-	41
sadrovláknitá doska 12,5 mm + stĺpikový rošt 140x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 120 mm+ sadrovláknitá doska 12,5 mm	165	-	44
OSB 15 mm + stĺpikový rošt 140x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 120 mm + OSB 15 mm	170	-	36
sadrokartón 2 x 12,5 mm + stĺpikový rošt 60x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 40 mm + sadrokartón 2x 12,5 mm	110	-	43
sadrovláknitá doska 2 x 12,5 mm + stĺpikový rošt 60x60 mm, e = 625 mm s vloženou izoláciou 40 mm + sadrovláknitá doska 2 x 12,5 mm	110	-	47

Tab. 5.05: Príklady drevených stĺpikových priečok [12]

Masívne drevené priečky

V súčasnosti sa dostávajú čoraz viac do popredia v súvislosti s rozvojom udržateľnej výstavby. Jednou z najznámejších variant sú panely z CLT, teda z krížom lepeného dreva. Z akustického hľadiska ich je možné považovať za ortotropné prvky (s dvomi kritickými kmitočtami, každý v inom smere), ktorých nepriezvučnosť je závislá od ich plošnej hmotnosti. V porovnaní s inými používanými materiálmi má však drevo nižšiu hmotnosť, z čoho vyplývajú nižšie hodnoty zvukovej izolácie. Pri bežne používaných hrúbkach panelov je možné dosiahnuť nepriezvučnosť R_w 30 - 45 dB. Jej zlepšenie je možné dosiahnuť zvýšením plošnej hmotnosti, napríklad použitím elementu s väčšou hrúbkou. Toto riešenie však naráža na ekonomické limity. Druhou možnosťou

je obloženie panelu doskovými materiálmi, napríklad na báze sadrokartónu alebo sádrovlákna. Keďže sa tieto konštrukcie vyrábajú ako prefabrikované, na stavbe je nutné ich spájať pomocou kotiev a iných spojovacích systémom. Práve tieto styky a škáry medzi panelmi predstavujú možné oslabenie zvukovej izolácie steny. Množstvo zvuku preneseného škárou závisí najmä od jej šírky a druhu použitého spoja. Táto skutočnosť je dôležitá najmä pri použití elementov s nižšou šírkou okolo 40-100 cm, kde spoje panelov predstavujú veľkú časť plochy. Obložením steny doskovými materiálmi aspoň z jednej strany je však možné tomuto javu zabrániť. [12]

Názov priečky	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
CLT 100 mm	100	45	33
GKB 15 mm + CLT 100 mm + GKB 15 mm	130	69	38
CLT 100 mm + 60 mm latovanie pružne kotvené s vloženou izoláciou 50 mm + GKB 12,5 mm	182,5	58,94	51
CLT 100 mm + CW 75 samostatne stojaci s vloženou izoláciou 60 mm + GKB 2 x 12,5 mm	210	68,84	62
CLT 100 mm + 60 mm latovanie priamo kotvené s vloženou izoláciou 50 mm + GKB 12,5 mm	162,5	54,44	45

Tab. 5.06: Príklady drevených masivných priečok [28]

5.1.4 Porovnanie

Ako je možné odsledovať z hodnôt vážených nepriezvučností vybraných konštrukcií, je možné veľkú väčšinu z nich použiť ako deliacu priečku medzi obytnými miestnosťami. Avšak ako je možné vidieť, niektoré v praxi často používané konštrukcie a skladby nespĺňajú normové požiadavky a nie je vhodné ich na tento účel používať. Ďalej je možné konštatovať, že dané požiadavky spĺňa široké spektrum materiálov a skladieb, preto je pri výbere konkrétneho typu priečky možné rozhodovanie na základe iných kritérií, napríklad ekonomických, funkčných, technologických atď.

5.2 Stropné konštrukcie a podlahy

Stropné konštrukcie musia okrem požiadaviek na vzduchovú nepriezvučnosť spĺňať aj požiadavky na kročajovú izoláciu. Podobne ako v prípade stien, aj v prípade stropov prichádza do úvahy široký výber materiálov a konštrukcií. Medzi často používané materiály patria najmä železobetón, keramika, pórobetón a drevo. Z hľadiska akustiky môžeme stropné konštrukcie rozdeliť na plné doskové stropné konštrukcie, dutinové železobetónové dosky vyľahčené valcovými dutinami, železobetónové rebrové stropy, vložkové stropy (tvarovky nesené železobetónovými a oceľovými nosníkmi), drevené stropy a stropné konštrukcie s podhl'adom. [13]

5.2.1 Podlahy

Samotné stropné dosky zvyčajne nedosahujú požadované hodnoty zvukovej izolácie pri šírení kročajového zvuku. Z toho dôvodu sa na ne navrhuje konštrukcia podlahy, ktorá má za úlohu znížiť prenos kročajového hluku konštrukciou. Takýto strop potom zaraďujeme medzi akusticky násobné konštrukcie. Okrem zníženia kročajového hluku môže taktiež podlaha prispieť aj k zvýšeniu vzduchovej nepriezvučnosti stropu, no pri zlom návrhu taktiež k jej zníženiu vplyvom nepriaznivých rezonancií v konštrukcii. Vplyv podlahy na zníženie kročajového hluku sa vyjadruje pomocou veličiny ΔL - *zníženie hladiny kročajového hluku podlahou*, v dB. [3]

Podlahy môžeme z akustického hľadiska rozdeliť na plávajúce a povlakové. Plávajúce podlahy môžeme ďalej rozdeliť na ťažké plávajúce a ľahké plávajúce podlahy [2]. Plávajúce podlahy väčšinou obsahujú tri vrstvy, a to nášľapnú, roznášaciu a zvukoizolačnú. Roznášaciu vrstvu u ťažkých podláh predstavuje najčastejšie betónový alebo anhydridový poter, pri ľahkých podlahách sú to najmä doskové materiály, napríklad zo sadrokartónu a dosiek na báze dreva [13]. Plávajúca podlaha spolu so stropnou doskou vytvára dvojité konštrukcie, pre ktorú je typická rezonancia typu hmotnosť - poddajnosť - hmotnosť a taktiež polvlňná rezonancia. Na výsledný prenos kročajového hluku má vplyv najmä plošná hmotnosť roznášacej vrstvy podlahy a dynamická tuhosť s' zvukoizolačnej vrstvy [2]. Tabuľka č. 5.07 obsahuje príklady často používaných materiálov pre zvukoizolačné podložky spolu s ich vlastnosťami.

Názov materiálu	Hrúbka (mm)	Dynamická tuhosť s' (MPa/m)	Stlačiteľnosť K_n (%)	Pružnosť ϵ_n (%)
Nobasil	40,5	6,3	6,7	87,1
Ethafoam	6	33,7	6,2	70,8
Isover T-P 20 mm	20	30,9	2,8	88,7
Isover T-P 30 mm	30	25,6	1,7	85,9
Isover T-P 40 mm	40	20,8	1,7	87,1
Isover N 30 mm	30	18,3	3	83,4
Isover N 40 mm	40	9,3	2,6	87,7
Knauf PTE 20 mm	20	30	-	-
Knauf PTE 30 mm	30	15	-	-
Knauf PTN 20 mm	20	18	-	-
Knauf PTN 30 mm	30	13	-	-
Knauf PTN 40 mm	40	10	-	-
Rockwool STEP ROCK HD 30 mm	30	27	-	-
Rockwool STEP ROCK HD 40 mm	40	24	-	-
Isover EPS RigiFloor 5000 30 mm	30	20	-	-
Isover EPS RigiFloor 5000 40 mm	40	20	-	-
Isover EPS RigiFloor 4000 30 mm	30	15	-	-
Isover EPS RigiFloor 4000 40 mm	40	10	-	-
Austrotherm EPS POLYFON T 3,5	30	15	-	-
Austrotherm EPS POLYFON T 3,5	40	10	-	-

Tab. 5.07: Príklady materiálov pre zvukoizolačné podložky [2] [29] [30] [31] [32]

Povlakové podlahy na rozdiel od plávajúcich podláh priamo obmedzujú vznik kročajového hluku tým, že vibrácie a nárazy sú priamo tlmené mäkkou povlakovou vrstvou. Tá môže byť navrhnutá z rôznych mäkkých materiálov, napríklad PVC alebo textilu. [2]

5.2.2 Železobetónové stropy

Homogénne železobetónové konštrukcie patria medzi veľmi často používané stropy. Ich výhodou z hľadiska akustiky je ich vysoká plošná hmotnosť. V prípade použitia vyľahčených stropov s dutinami môže, najmä pri hrúbke nižšej ako 220 mm alebo použití veľkých dutín, dôjsť k zníženiu ich zvukovej izolácie v porovnaní s plnými doskami. Je to dôsledok vzniku rezonancií a stojateho vlnenia v dutinách stropu. Ďalšou alternatívou je železobetónový rebrový strop. Tieto stropy patria medzi neizotropné konštrukcie, pretože majú rozličnú tuhosť v oboch smeroch. [3]

Názov stropu	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená hladina kročajového zvuku $L_{n,w}$ (dB)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
SPIROL 250 mm	250	-	77	52
SPIROL 300 mm	300	-	77	55
TT – strop, a = 1200 mm, výška rebra 365 mm, plná časť 65 mm	430	-	80	43
TT – strop, a = 1200 mm, výška rebra 370 mm, plná časť 80 mm	450	-	78	46
Plná ŽB doska, h = 150 mm	150	330	80	-
Plná ŽB doska, h = 120 mm	120	292	79	-

Tab. 5.08: Príklady železobetónových stropov [3]

5.2.3 Vložkové stropné konštrukcie

Tieto stropy tvoria nosníky zo železobetónu alebo ocele, medzi ktoré sa pokladajú stropné tvarovky z rôznych materiálov, v súčasnosti najmä keramiky a pórobetónu. Vo väčšine prípadov sa takáto konštrukcia následne zalieta vrstvou betónu. Z toho dôvodu tieto stropy zaraďujeme medzi neizotropné a nehomogénne konštrukcie. Preto sú pre ne pri zisťovaní kvality zvukovej izolácie výpočtové modely veľmi nepresné. Vo väčšine prípadov je preto nutné pri ich návrhu vychádzať z nameraných hodnôt. [3]

Názov stropu	Hrúbka (mm)	Plošná hmotnosť (kg/m ²)	Vážená hladina kročajového zvuku $L_{n,w}$ (dB)	Vážená nepriezvučnosť R_w (dB)
HELUZ MIAKO 15/50 s 60 mm nadbetónávkou + Rockwool Steprock ND (T). 20 mm + mazanina 50 mm	210 + 70	336	51	58
HELUZ MIAKO 19/50 s 60 mm nadbetónávkou + Rockwool Steprock ND (T). 20 mm + mazanina 50 mm	250 + 70	365	50	59
HELUZ MIAKO 19/50 s 40 mm nadbetónávkou + Rockwool Steprock ND (T). 20 mm + mazanina 50 mm	230 + 70	315	52	57
HELUZ MIAKO 23/50 s 60 mm nadbetónávkou + Rockwool Steprock ND (T). 20 mm + mazanina 50 mm	290 + 70	410	49	60
Porotherm KSV 17/60 s nadbetónávkou 40 – 70 mm	210 - 240	258 - 330	90 - 89	47 - 48

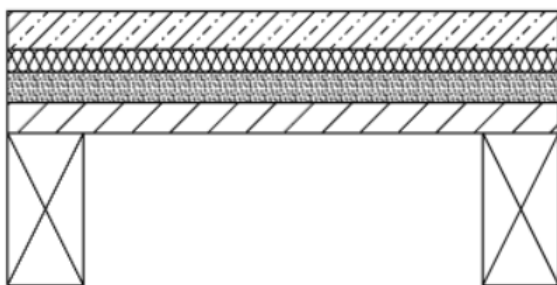
Porotherm KSV 17/45 s nadbetónávkou 40 -70 mm	210 - 240	281 - 353	89 - 87	48 - 49
YTONG Ekonom 250/500	250	138	88	48
YTONG Klasik	250	132	86	50

Tab. 5.09: Príklady vložkových stropov [33] [21] [34]

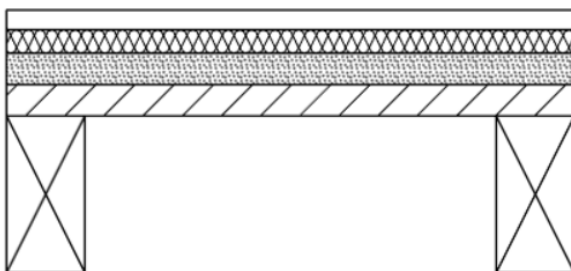
5.2.4 Drevené stropy

Pri návrhu dreveného stropu prichádza do úvahy viacero konštrukčných variant a skladieb. V súčasnej výstavbe sa často používajú najmä trámové stropy a čoraz častejšie aj masívne drevené stropy, väčšinou z CLT. Pri namáhaných konštrukciách je možné použiť aj kombinované drevobetónové stropy. Podobne ako pri iných neizotropných a nehomogénnych konštrukciách sa pri akustickom návrhu vychádza väčšinou z nameraných hodnôt. Samotný drevený strop ako ľahká konštrukcia väčšinou dosahuje len nízku kvalitu zvukovej izolácie. Preto je vo veľa prípadoch na zlepšenie akustických vlastností vhodné navrhnuť priráženie konštrukcie, napríklad násypom alebo doskovými materiálmi. Pri drevených konštrukciách obsahujúce vzduchové medzery je vhodné tieto vyplniť pohltivou izoláciou. Pri drevených konštrukciách má na prenos zvuku veľký vplyv aj použitie podhľadu. [12]

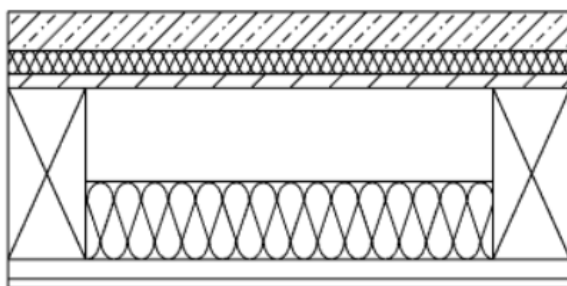
Príklady drevených trámových stropov



Obrázok 5.01: Trámový strop – drevené debnenie 40 mm, násyp 40 mm, kročajová izolácia 30 mm, separačná fólia, betónový poter 50 mm ($L_{n,w} = 58$ dB, $R_w = 66$ dB) [35]



Obrázok 5.02: Trámový strop – drevené debnenie 40 mm, násyp 40 mm, kročajová izolácia 30 mm, suchý poter 25 mm ($L_{n,w} = 59$ dB, $R_w = 57$ dB) [35]



Obrázok 5.03: Trámový strop – SDK 12,5 mm, záves podhľadu 25 mm, trámy 220 mm s vloženou izoláciou 100 mm, OSB 18 mm, kročajová izolácia 30 mm, separačná fólia, betónový poter 50 mm ($L_{n,w} = 52$ dB, $R_w = 66$ dB) [35]

6. Vplyv dverí na zvukovú izoláciu

Medzi prvky, ktoré môžu mať najväčší vplyv pri prenose zvuku z jednej obytnej miestnosti do druhej, patria dvere. Deliacia stena obsahujúca dvere sa stáva zloženou konštrukciou, ktorej nepriezvučnosť sa vypočíta podľa vzťahu [2]:

$$R = 10 \log S - 10 \log (S_1 \cdot 10^{-0,1 R_1} + S_2 \cdot 10^{-0,1 R_2})$$

kde:

R_1 – nepriezvučnosť plnej časti steny (dB)

R_2 – nepriezvučnosť dverí (dB)

S_1 – plocha plnej časti steny (m²)

S_2 – plocha dverí (m²)

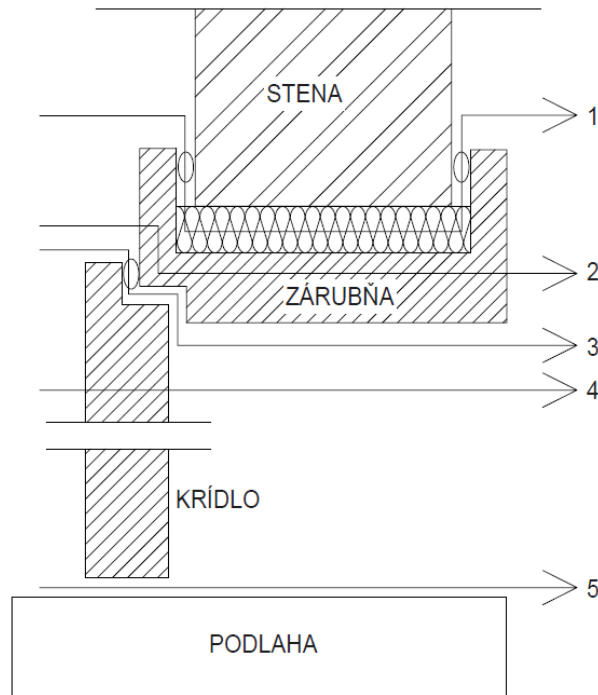
S – celková plocha zloženej steny (m²)

V porovnaní s deliacou stenou majú dvere zvyčajne nižšiu nepriezvučnosť. Práve preto sú dvere veľmi často prvkom, ktorý je rozhodujúci pre výslednú úroveň zvukovej izolácie [14]. Požiadavky na vzduchovú nepriezvučnosť sa väčšinou v normách uvádzajú už v zabudovanom stave. Práve v prípade dverí sa často vyskytujú veľké rozdiely medzi nepriezvučnosťou dverí zameraných v laboratóriu a dosiahnutými výsledkami na stavbe. Samotná nepriezvučnosť dverí závisí okrem konštrukcie, hrúbky a materiálu dverového krídla aj od množstva ďalších parametrov, ktoré majú nezanedbateľný vplyv na výslednú zvukovú izoláciu [7]. Nemecký VDI vydal v roku 2012 smernicu VDI 3728 týkajúcu sa zvukovej izolácie dverí, v ktorej sa nachádza zoznam vplyvov, ktoré sú najdôležitejšie vo vzťahu k ich nepriezvučnosti. Patrí medzi ne najmä:

- dverové krídlo (materiál, počet vrstiev, počet krídel)
- zárubňa (materiál, typ)
- podlaha (materiál, zhotovenie škáry, prerušenie poteru)
- prahová škára (výška škáry, spôsob tesnenia)
- tesnenie funkčnej škáry
- styk zárubne a steny (materiál, vyplnenie)

VDI 3728 ďalej určuje päť hlavných ciest prenosu zvuku zabudovanými dvermi:

- prenos zvuku krídlom
- prenos škárou medzi krídlom a zárubňou
- prenos zárubňou
- prenos stykom zárubne a ohraničujúcej konštrukcie
- prenos prahovou škárou [7]



Obr. 6.01: Päť hlavných ciest prenosu zvuku zabudovanými dvermi, 1 - prenos stykom zárubne a ohraničujúcej konštrukcie, 2 - prenos zárubňou, 3 - prenos škárou medzi krídlom a zárubňou, 4 - prenos zvuku krídlom, 5 - prenos prahovou škárou [7]

Všetky tieto cesty majú vplyv na výslednú nepriezvučnosť. Výsledný vzťah na výpočet nepriezvučnosti dverí obsahujúci všetky tieto vplyvy môžeme vyjadriť ako [3]:

$$R_{w,D} = R_{w,DK} \pm \Delta R_Z - \Delta R_{\text{š1}} - \Delta R_{\text{š2}} - \Delta R_{\text{š3}} - \Delta R_{\text{š4}}$$

kde:

$R_{w,D}$ – celková nepriezvučnosť dverí (dB)

$R_{w,DK}$ – nepriezvučnosť dverového krídla (dB)

ΔR_Z – vplyv nepriezvučnosti zárubne (dB)

$\Delta R_{\text{š1}}$ – vplyv funkčnej škáry (dB)

$\Delta R_{\text{š2}}$ – vplyv prahovej škáry (dB)

$\Delta R_{\text{š3}}$ – vplyv škáry zárubne a steny (dB)

$\Delta R_{\text{š4}}$ – vplyv iných škár a netesností (dB)

6.1 Vplyv dverového krídla

V súčasnosti sa na trhu nachádza veľké množstvo interiérových dverí rôznych konštrukcií a z rozličných materiálov. Čo sa týka samotnej konštrukcie dverového krídla, môžeme ich na základe nej rozdeliť na dve:

- s jednoduchou homogénnou konštrukciou
- s jednoduchou rámovou konštrukciou s tvrdým alebo mäkkým jadrom

- s jednoduchou vrstvenou konštrukciou
- s dvojitou rámovou konštrukciou
- s dvojitou dverovou konštrukciou

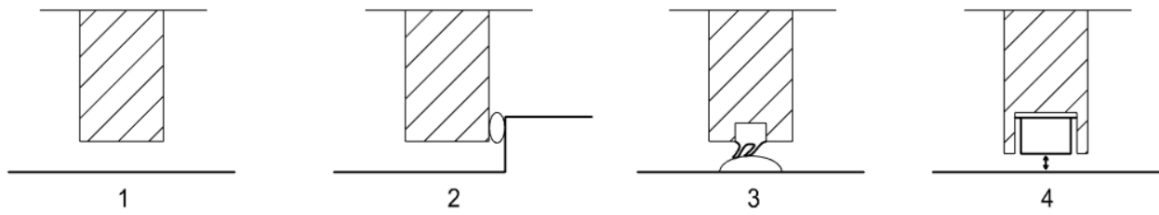
Pokiaľ berieme do úvahy jednoduché dverové krídlo, môžeme k výpočtu jeho nepriezvučnosti pristúpiť ako k akusticky jednoduchej deliacej stene [3]. Rozhodujúcou vlastnosťou dverového krídla je teda jeho plošná hmotnosť m' . Avšak pri bežných hrúbkach krídiel leží koincidenčný kmitočet f_c v nepriaznivej oblasti, preto nie je možné dosahovať vysokej kvality zvukovej izolácie. V tomto prípade je vhodnejšie použiť pri zhotovení krídla spojenie tenších dosiek s dostatočne vysokým koincidenčným kmitočtom [1]. Alternatívou je použitie rámovej konštrukcie dverí, ktoré môžu obsahovať prázdnu alebo vyplnenú vzduchovú dutinu. Práve výplň dverí má veľký vplyv na výslednú nepriezvučnosť [3]. Pri tejto konštrukcii je nutné rátať s nižšou nepriezvučnosťou v oblasti vplyvu rezonančného kmitočtu f_0 [1]. Okrem zvýšenia plošnej hmotnosti a použitia vrstvenej konštrukcie existujú ďalšie opatrenia na zlepšenie zvukovej izolácie krídla, napríklad zmenou tuhosti krídla pri zachovaní plošnej hmotnosti alebo jeho obložením pohltivým materiálom [3].

6.2 Vplyv zárubne a jej napojenia

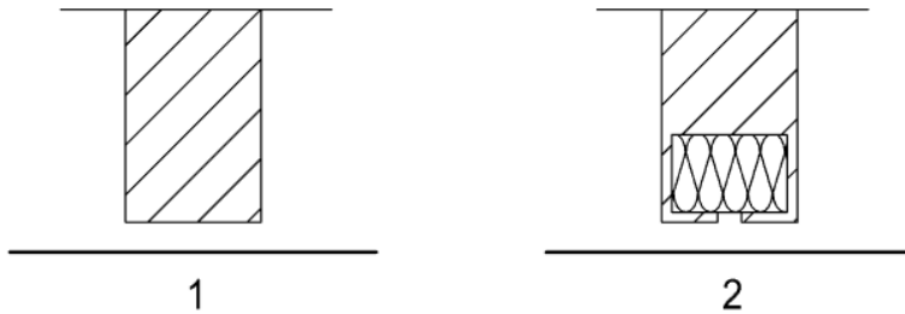
Na zárubne a ich akustickú kvalitu sa v porovnaní s dverovým krídlom vždy kládol menší dôraz, keďže vlastnosti krídla boli rozhodujúce pre výslednú nepriezvučnosť. Pri súčasných dverových krídlach a dostatočnej úrovne tesnenia škár je však čoraz viac dávaná do pozornosti zárubňa, a to najmä z dôvodu, aby pri návrhu kvalitných moderných dverí nepredstavovala ich slabé miesto. Z hľadiska prenosu zvuku sú vhodnejšie oceľové lisované alebo drevené skladané zárubne, najmä z dôvodu ich malej šírky. Pre ich malý rozmer na ne dopadá v porovnaní s krídlom len málo zvukovej energie, ktorá cez ne prechádza do druhej miestnosti. Naopak pri použití drevenej rámovej zárubne s väčšou šírkou je tento prenos omnoho výraznejší. Z toho dôvodu je aj výsledná nepriezvučnosť dverí nižšia. Jej zlepšenie je možné dosiahnuť napríklad zvýšením plošnej hmotnosti zárubne a pri rámovej zárubni použitím typu s prerušeným akustickým mostom [3]. Platí pri tom zásada, že čím vyššia akustická trieda dverí, tým väčší vplyv na výsledok má zárubňa a jej tesnenie [11]. Práve preto je veľmi dôležitým detailom styk zárubne s konštrukciou steny. Škára medzi nimi musí byť úplne vyplnená materiálom, napríklad minerálnou vlnou a na oboch stranách steny zakončená vhodným tesniacim materiálom [14]. Nesprávne vyplnenie škáry má veľký vplyv na zvukovú izoláciu dverí. V prípade nevyplnenej škáry sa výsledná hodnota nepriezvučnosti môže oproti dverám so správnou montážou ($R_w = 41$ dB) znížiť až o 25 dB [3].

6.3 Prahová škára

Prahové škáry sa navrhujú buď ako voľné, to znamená bez tesnenia, alebo s tesnením. Na trhu existuje veľké množstvo riešení prahov od rôznych výrobcov dverí. Medzi základné druhy tesnenia prahovej škáry patria prítlačné, nárazové a výsuvné tesnenie. Faktory ovplyvňujúce zvukovú izoláciu prahovej škáry sú najmä jej výška a v prípade tesnenia je to materiál, tvar a sila kompresie tesnenia [3]. Pri použití škáry bez tesnenia je možné zlepšiť jej nepriezvučnosť vložením pohltivého materiálu do dutiny v spodnej hrane dverového krídla. Týmto spôsobom je možné zlepšiť nepriezvučnosť škáry až o 13 dB [7]. V prípade, že chceme pri dverách doceliť nepriezvučnosť väčšiu ako 32 dB, je potrebné v oblasti prahu predeliť poter alebo mazaninu [14].



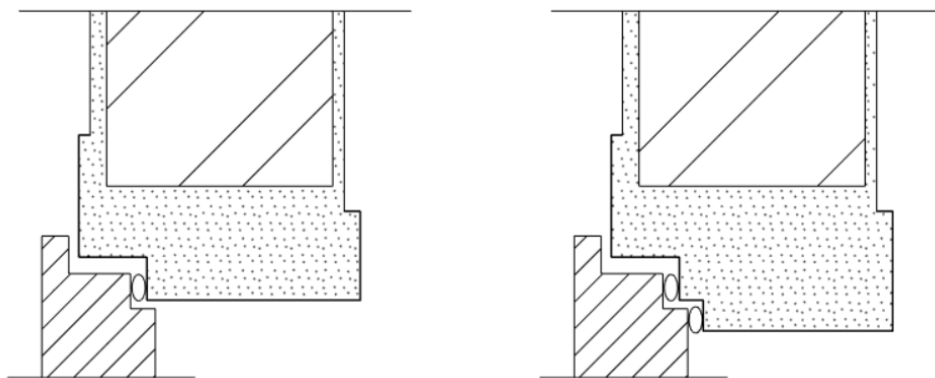
Obr. 6.02: Príklady riešení prahu dverí (1 – voľná škára, 2 – prítlačné tesnenie, 3 – nábehové tesnenie, 4 – výsuvné tesnenie) [3]



Obr. 6.03: Možné zlepšenie nepriezvučnosti voľnej škáry (1) vložení porézneho pohlcovača (2) [7]

6.4 Funkčná škára

V závislosti od požadovanej nepriezvučnosti dverí sa tesnenie vo funkčnej škáre navrhuje ako jednostupňové alebo dvojestupňové [3]. Tesnenie musí byť v tesnom dotyku s krídlom po celej svojej dĺžke aby spĺňalo svoju úlohu. Zvuková izolácia závisí od ich počtu, geometrie, materiálu a sily kompresie tesnenia [7]. Zároveň však toto tesnenie nemá predstavovať priveľkú námahu pri zatváraní dverí. Nemecká DIN EN 12 217 určuje hraničnú silu pri zatváraní 50 N.



Obr. 6.04: Jednostupňové (vľavo) a dvojestupňové tesnenie (vpravo) [3]

7. Nepriamy prenos zvuku

Ako bolo spomenuté v kapitole o zvukovej izolácii, zvuk sa v budove nešíri len cez deliacu konštrukciu. Norma ČSN EN ISO 12354-1 za týmto účelom rozlišuje nasledujúce pojmy:

Priamy prenos vzduchom - prenos spôsobený len zvukom dopadajúcim na deliaci prvok, ktorý je potom priamo z prvku vyžiarený alebo prenesený jeho časťami (prenos vzduchom), napríklad štrbinami, vzduchotechnickými zariadeniami alebo žalúziami

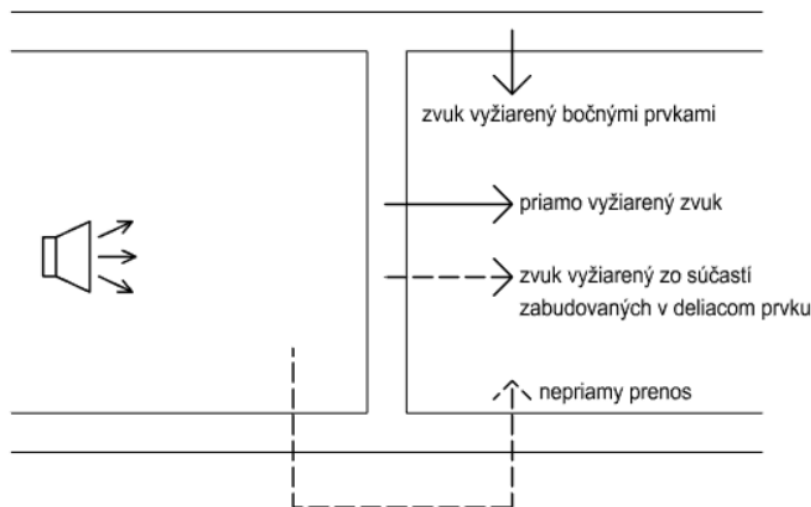
Nepriamy prenos - prenos zvuku z miestnosti zdroja zvuku do miestnosti príjmu inými prenosovými cestami než priamou cestou.

Nepriamy prenos vzduchom - nepriamy prenos zvukovej energie vzduchovou prenosovou cestou, napríklad vetracími systémami, chodbami, dvojíťmi fasádami.

Bočný prenos, Nepriamy prenos konštrukciou - prenos zvukovej energie z budeného prvku v miestnosti zdroja do miestnosti príjmu cez konštrukčné (vibračné) cesty konštrukcii budovy, napríklad stenami, podlahami, stropmi. [15]

Výpočtový model

Na rozdiel od výpočtu nepriezvučnosti obsahuje model pre výpočet stavebnej nepriezvučnosti okrem priameho aj nepriamy prenos zvuku. Všetky príspevky k celkovému prenosu zvuku do miestnosti sú zobrazené na obrázku č. 7.01.



Obr. 7.01: Cesty šírenia zvuku medzi dvomi miestnosťami

Stavebnú nepriezvučnosť môžeme vypočítať podľa vzťahu

$$R' = - (10 \lg \tau')$$

kde:

$$\tau' = \tau_d + \sum_{f=1}^n \tau_f + \sum_{e=1}^m \tau_e + \sum_{s=1}^k \tau_{fs}$$

Pri obmedzení výpočtu na kmitočty od 100 do 3150 Hz je možné použiť zjednodušený model na výpočet váženej stavebnej nepriezvučnosti [15]

$$R'_w = -10 \lg \left(10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} + \frac{A_0}{S_s} \sum_{j=1}^m 10^{\frac{-D_{n,j,w}}{10}} \right)$$

kde:

$R_{Dd,w}$ - vážená nepriezvučnosť pre priamy prenos vzduchom (dB)

$R_{Ff,w}$, $R_{Df,w}$, $R_{Fd,w}$ - vážené nepriezvučnosti pre bočný prenos (dB)

$D_{n,j,w}$ - vážený normovaný rozdiel hladín akustického tlaku pre prenos cez malý technický prvok alebo systém s prenosom zvuku (dB)

n - počet bočných prvkov v miestnosti

m - počet prvkov alebo systémov s prenosom vzduchom

S_s - plocha deliaceho prvku (m^2)

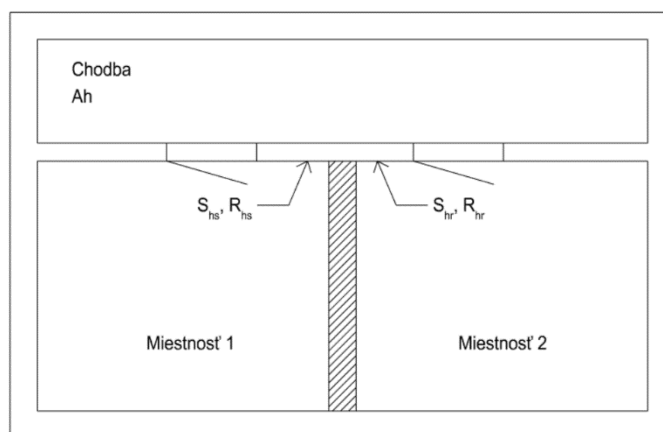
A_0 - referenčná ekvivalentná pohltivá plocha ($10 m^2$)

7.1 Nepriamy prenos vzduchom

7.1.1 Hala alebo chodba

Príloha H normy ČSN EN ISO 12354-1 obsahuje model pre výpočet normovaného rozdielu hladín pre prenos zvuku chodbami, halami alebo medzerou dvojitej fasády. Predpokladá sa pri tom difúzne pole v oboch miestnostiach a v chodbe. Vypočíta sa podľa vzorca

$$D_{n,s} = R_{hr} + R_{hs} + \left(10 \lg \frac{A_h \cdot A_0}{S_{hr} \cdot S_{hs}} + C_{doorposition} \right)$$



Obr. 7.02: Príklad spojenia miestností chodbou s parametrami pre výpočet

kde:

R_{hs} - nepriezvučnosť steny (zloženej konštrukcie vrátane dverí) medzi halou a miestnosťou zdroja (dB)

R_{hr} - nepriezvučnosť steny (zloženej konštrukcie vrátane dverí) medzi halou a miestnosťou príjmu (dB)

S_{hs} - plocha steny (zloženej konštrukcie vrátane dverí) medzi halou a miestnosťou zdroja (m^2)

S_{hr} - plocha steny (zloženej konštrukcie vrátane dverí) medzi halou a miestnosťou príjmu (m^2)

A_h - ekvivalentná pohltivá plocha haly (m^2)

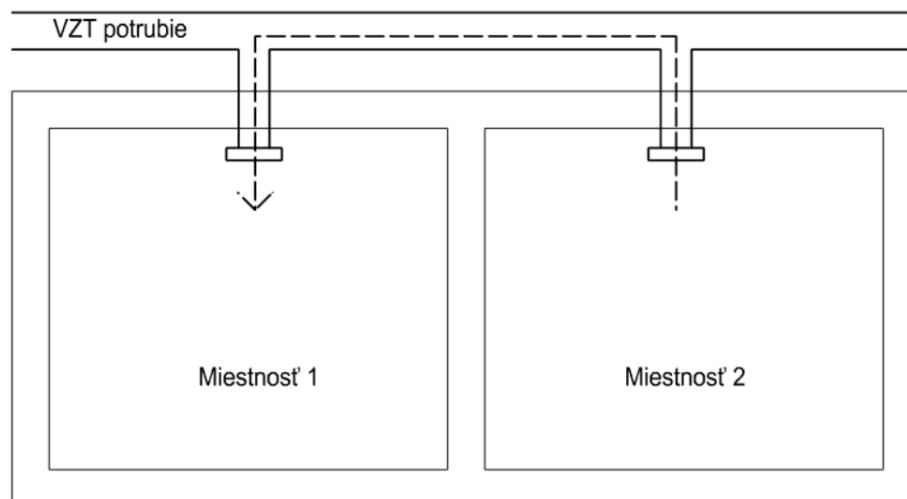
$C_{doorposition}$ - korekčný člen pre zahrnutie vplyvu vzájomnej orientácie dverí (dB)

Korekčný člen $C_{doorposition}$ nadobúda hodnoty -2 dB pri dverách v uhle 90 stupňov a vzájomnej vzdialenosti do 1 m, a 0 dB pri väčšej vzdialenosti alebo v prípade paralelnej polohy dverí. [15]

7.2 Prenos zvuku vzduchotechnickým systémom

Jednou z ďalších možností prenosu zvuku z jednej miestnosti do druhej je prenos potrubím vzduchotechniky. Dochádza k nemu v prípade, že sú obe miestnosti prepojené takýmto systémom. V princípe je možné rozlišovať dva základné prípady takéhoto prenosu.

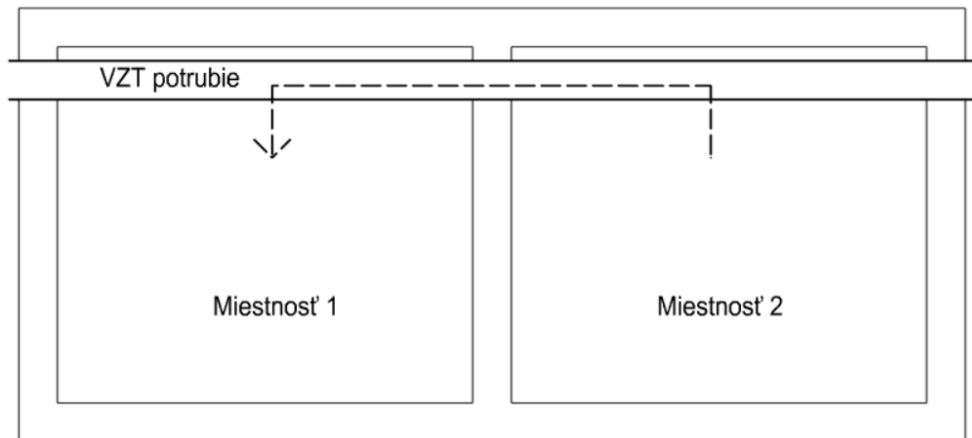
Prvým z nich je prípad, kedy sa v oboch miestnostiach nachádza koncový prvok potrubia, napríklad výustka. Príklad takého prenosu je na obrázku č. 7.04. Na to, aby tento prenos nemal nepriaznivý vplyv na výslednú hladinu zvuku v miestnosti príjmu a neznižovala sa tým stavebná nepriezvučnosť, je potrebné dosiahnuť určitý útlm hluku vo vzduchotechnickom systéme. K útlmu dochádza v systéme napríklad pri stratách zvukovej energie na odbočkách a ohyboch potrubí, koncových jednotkách a taktiež na tlmičoch zvuku v potrubí [16]. Podrobný výpočet obsahuje norma ČSN EN ISO 12354-5. To, aký veľký vplyv má tento prenos na výslednú stavebnú nepriezvučnosť, je možné pozorovať na výsledkoch akustického merania v kapitole č. 9, kde kvôli nemu došlo k výraznému zhoršeniu zvukovej izolácie medzi obytnými miestnosťami .



Obr. 7.03: Miestnosti pripojené na rovnaké VZT potrubie [16]

Druhým prípadom prenosu zvuku vzduchotechnikou je situácia, kedy vzduchotechnické potrubie prechádza z jednej miestnosti priamo do druhej. Tento spôsob prenosu sa taktiež nazýva break-in a break-out. Príklad takéhoto prenosu je na obrázku č. 7.05. Okrem prenosu zvuku

vzduchom v potrubí je možný aj bočný prenos stenou potrubia. Je nutné podotknúť, že je veľmi náročné s presnosťou odhadnúť nepriezvučnosť stien potrubia. Tá závisí najmä na tvare potrubia a jeho detailnej geometrii, pričom platí, že potrubia s kruhovým prierezom dosahujú vyššie hodnoty ako potrubia štvorcové a obdĺžnikové. [16]



Obr. 7.04: Break-in a break-out, potrubie prechádza miestnosťami [16]

8. Výpočet nepriameho prenosu zvuku v programe Odeon

Táto kapitola sa venuje výpočtu vplyvu nepriameho prenosu zvuku pomocou softvéru Odeon. V rámci tejto práce bola použitá verzia Odeon Combined 14.

8.1 Program Odeon

Program Odeon bol vyvinutý dánskou spoločnosťou Odeon A/S. Tento softvér sa používa pre simuláciu vnútornej akustiky budov, a to najmä priestorovej akustiky, ale ponúka taktiež možnosť výpočtu pre exteriérové situácie. Všetky výpočty v programe sú založené na počítaní s akustickou energiou, kde sú zvukové vlny reprezentované lúčmi. Tým sa tento program líši od programov využívajúcich metódu konečných prvkov (FEM) a metódy hraničných prvkov (BEM). Odrazy zvuku sú modelované obrazovými a sekundárnymi zdrojmi. Výpočet sa dá považovať za veľmi presný najmä pre miestnosti a frekvencie, pri ktorých nastáva vysoké prekrytie vlastných módov priestoru. To znamená, že akustické pole už môžeme považovať za dostatočne difúzne. Na odhad tejto hranice môžeme použiť Schroederovu rovnicu

$$f = 2000 \sqrt{\frac{T}{V}}$$

kde:

T – doba dozvuku v miestnosti (s)

V – objem miestnosti

ktorá určuje frekvenciu, pri ktorej je prekrytie vlastných módov dostatočný a túto metódu výpočtu je vhodné použiť. V praxi sa však ukázalo, že výpočet dosahuje presnosť aj pri nižších frekvenciách. [17]

8.1.1 Použitie softvéru pri prenose zvuku medzi dvomi miestnosťami

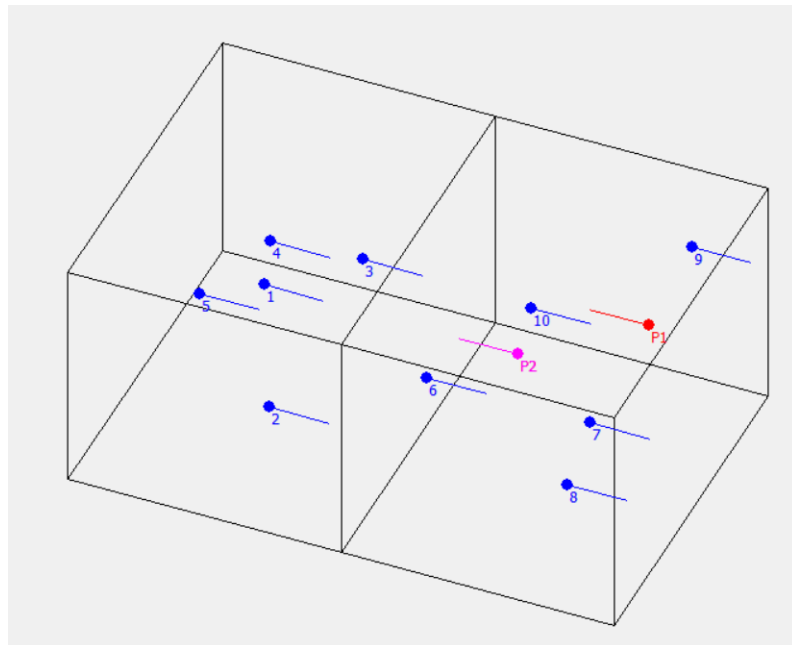
Hoci bol tento softvér primárne vyvinutý pre výpočty a simulácie v oblasti priestorovej akustiky, ponúka tiež možnosť aplikácie v rámci stavebnej akustiky. Viaceré testy potvrdili, že výsledky dosiahnuté použitím tejto metódy sú veľmi uspokojivé. Medzi obmedzenia tejto metódy patrí skutočnosť, že program pri prenose zvuku nedokáže počítať s bočným prenosom zvuku nadväzujúcimi bočnými stavebnými prvkami. Jednou z možností, ako tento problém vyriešiť, je pripočítať tento vplyv k zadanej nepriezvučnosti deliacej steny. Ďalším obmedzením vo výpočte je skutočnosť, že pri zadaní veľmi nízkej nepriezvučnosti stavebného prvku (do 10 dB) výpočet neprinesie spoľahlivé výsledky. [18]

8.2 Postup výpočtu a vstupné parametre

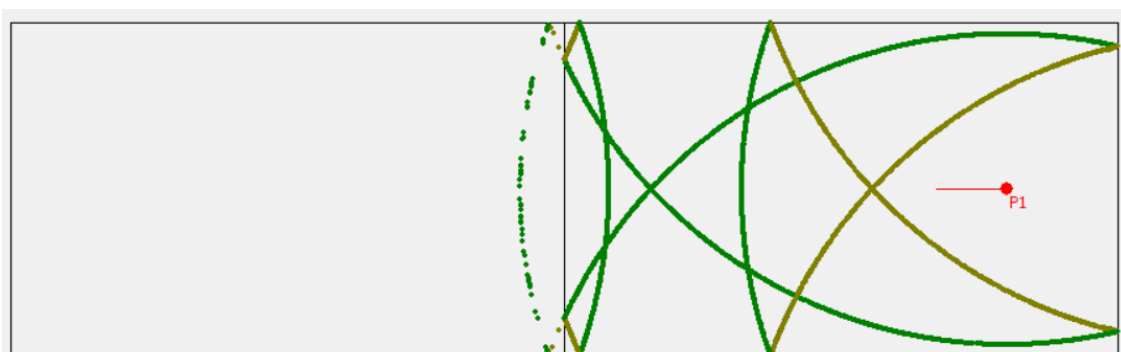
Každý model v programe Odeon je zadaný pomocou zjednodušenej 3D geometrie. Každý povrch v danej geometrii je charakterizovaný svojimi vlastnosťami, medzi ktoré patrí typ povrchu (Type), materiál povrchu (Material), pohltivosť (Absorption), rozptyl zvuku (Scattering coefficient) a priehľadnosť (Transparency). Pre deliace steny a dvere bol použitý typ povrchu Transmission,

ktorý umožňuje pre danú konštrukciu zadať vzduchovú nepriezvučnosť v tretino-oktávových pásmach. Scattering je dôležitá vlastnosť povrchu, ktorá do veľkej miery ovplyvňuje šírenie zvuku v danej miestnosti a hrá veľkú úlohu pri výpočte doby dozvuku [17]. V modeloch obsahovala vždy jedna z obytných miestností zdroj zvuku a druhá obytná miestnosť slúžila ako miestnosť príjmu zvuku. Každá z obytných miestností obsahovala päť prijímačov zvuku, umiestnených na rozličných pozíciách, pomocou ktorých bola určená výsledná hladina zvuku v danej miestnosti. Zdrojová miestnosť obsahovala dva zdroje zvuku s rôznymi pozíciami. Zdroj bol modelovaný ako bodový všesmerový, so spektrom akustického výkonu ružový šum. Hodnoty výkonu zdrojov je v programe možné zadávať len v oktávových pásmach. Pre umiestnenie zdrojov a prijímačov zvuku a následné výpočty boli použité požiadavky normy ČSN EN ISO 16283-1 [19] a ČSN EN ISO 717-1 [20], čím sa tento výpočet svojou systematikou približuje akustickému meraniu na stavbe. Príklad rozloženia zdrojov a mikrofónov je na obrázku č. 8.01. Softvér vypočítal hodnoty hladín zvuku v jednotlivých pozíciách mikrofónov. Z nich bolo možné vyjadriť priemernú hladinu akustického tlaku v miestnosti príjmu L_2 a miestnosti zdroja L_1 , vďaka čomu sa dá vyjadriť vypočítaná nepriezvučnosť steny na základe vzorca:

$$R = L_1 - L_2 - 10 * \log A/S$$



Obr. 8.01: Príklad rozloženia zdrojov a mikrofónov v modeli miestnosti



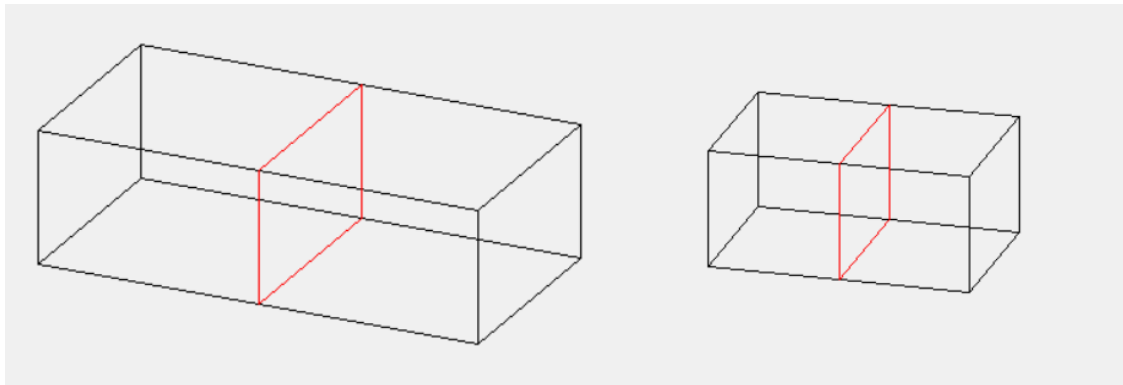
Obr. 8.02: Vizualizácia šírenia zvuku v programe ODEON a prenos časti akustickej energie cez deliacu priečku

8.3 Overenie presnosti výpočtu nepriezvučnosti

Prvým krokom vo výpočtoch pomocou tohto softvéru bolo overenie jeho funkčnosti s ohľadom na počítanú úlohu. Na základe postupu vysvetleného v predchádzajúcom odstavci boli v jednotlivých oktávových pásmach vypočítané hodnoty nepriezvučnosti priečky a tie boli následne porovnané s vstupnými hodnotami nepriezvučnosti, ktoré boli v programe priradené pre danú deliacu stenu. Za účelom použitia tohto softvéru pre ďalšie výpočty je nutné, aby ich rozdiel bol čo najmenší. Šlo teda o potvrdenie spoľahlivosti pri výpočte nepriezvučnosti deliacej steny medzi dvomi miestnosťami a taktiež výsledkov a tvrdení z článku Modelling Airborne Sound Transmission Between Coupled Rooms. [18]

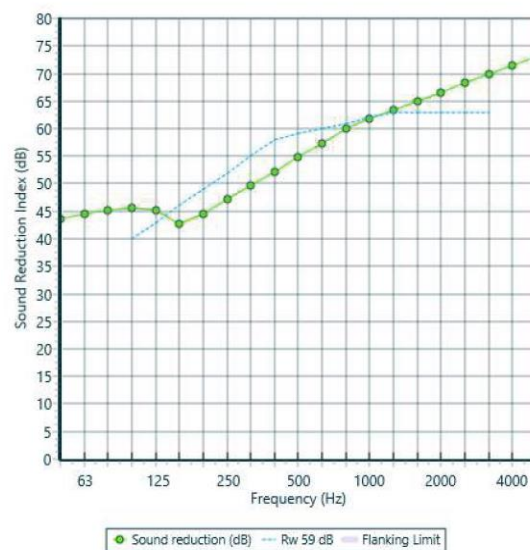
8.3.1 Vplyv veľkosti miestnosti na presnosť výsledku nepriezvučnosti

Vychádza sa z predpokladu, že vo väčších miestnostiach je akustické pole difúznejšie ako v malých a tým by mal byť výsledok presnejší, nakoľko tento softvér ponúka najlepšie výsledky pre kmitočty nad Schroederovu frekvenciu. Boli vymodelované dve kombinácie miestností s rôznym objemom. V prvom prípade šlo o miestnosť s rozmerom 5x5x3 metre, v druhom prípade s rozmermi 4x3x2,7 metrov (obr. č. 8.03). Ako deliaca konštrukcia slúži murovaná pórobetónová priečka hrúbky 150 mm s $R_w = 42$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL), presný priebeh nepriezvučnosti je na obrázku č. 8.04. Tieto hodnoty potom boli zadané do programu ODEON pre deliacu stenu. Pohltivosť povrchov v modeli bola jednotná, a to $\alpha = 0,02$.

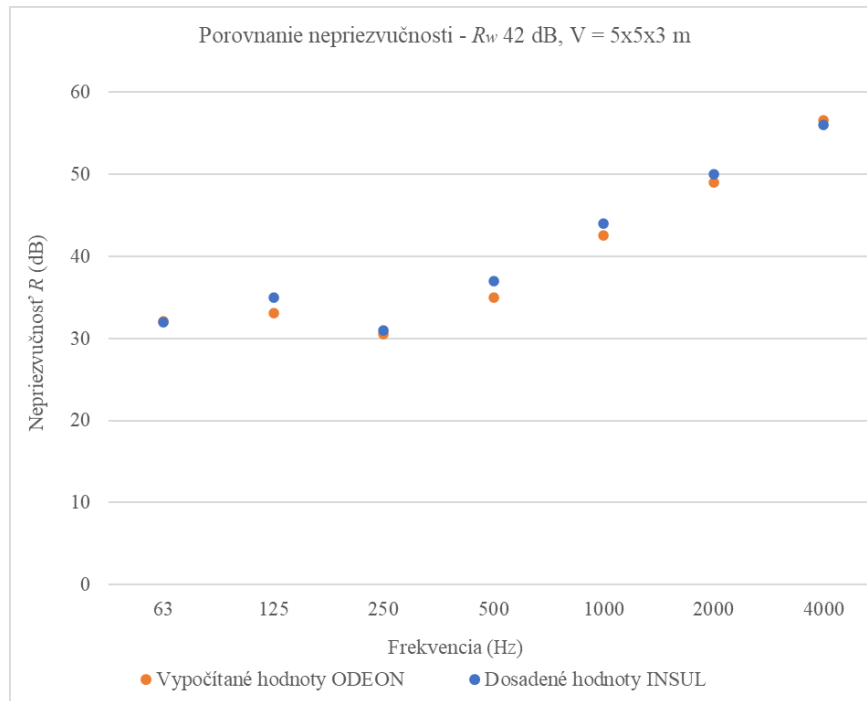


Obr. 8.03: Väčší objem miestnosti $V = 5 \times 5 \times 3$ m (vľavo), menší objem miestnosti $V = 4 \times 3 \times 2,7$ m (vpravo)

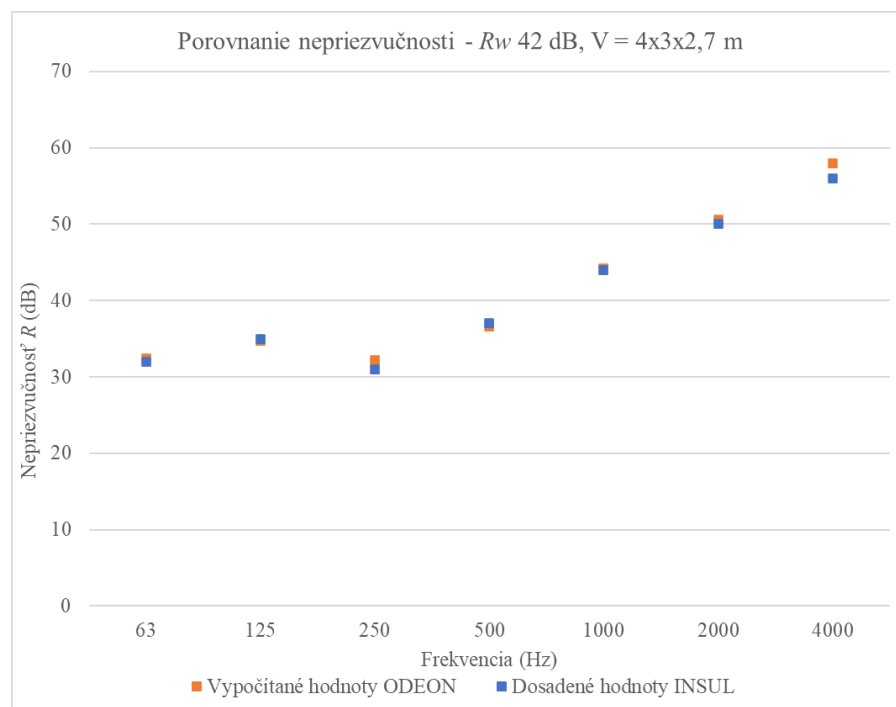
freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	44	
63	44	44
80	45	
100	46	
125	45	44
160	43	
200	45	
250	47	47
315	50	
400	52	
500	55	54
630	57	
800	60	
1000	62	61
1250	63	
1600	65	
2000	67	66
2500	68	
3150	70	
4000	71	71
5000	73	



Obr. 8.04: Vzduchová nepriezvučnosť pórobetónovej priečky, $R_w = 42$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL)



Obr. 8.05: Porovnanie vypočítanej nepriezvučnosti steny v programe ODEON a dosadených hodnôt (z programu INSUL) pri väčšom objeme miestnosti

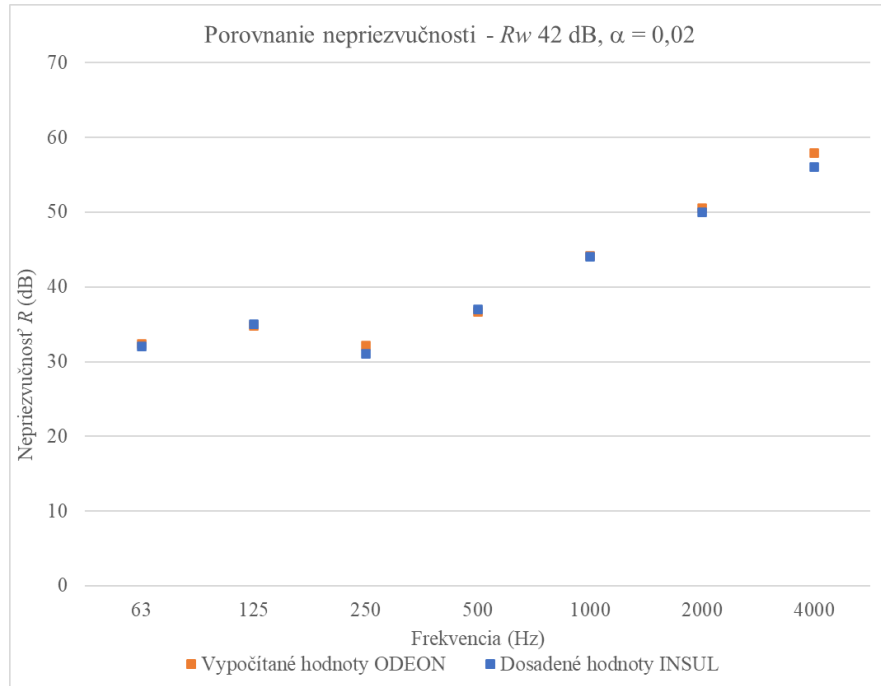


Obr. 8.06: Porovnanie vypočítanej nepriezvučnosti steny v programe ODEON a dosadených hodnôt (z programu INSUL) pri menšom objeme miestnosti

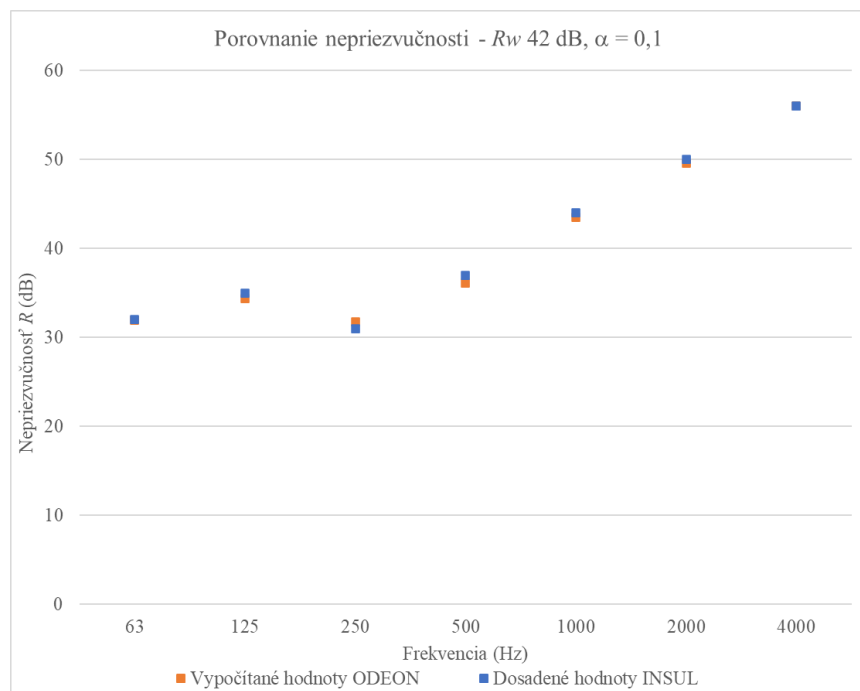
Ako je možné vidieť z výsledkov výpočtu na obrázku č. 8.05 a č. 8.06, v oboch prípadoch bol dosiahnutý podobný výsledok nepriezvučnosti, z čoho je možné usúdiť presnosť výpočtu v oboch prípadoch. Softvér teda dokáže spoľahlivo simulovať šírenie zvuku a jeho prenos prvkami aj pri menšom objeme miestnosti. Táto skutočnosť je dôležitá pre ďalšie výpočty v tejto práci, nakoľko typické obytné miestnosti zvyčajne dosahujú práve podobné rozmery.

8.3.2 Vplyv pohltivosti povrchov v daných miestnostiach na presnosť výpočtu

Podobne ako objem miestnosti má aj celková pohltivosť miestnosti priamy vplyv na vlastnosti difúzneho poľa v miestnosti a taktiež na polohu Schroederovej frekvencie. Bolo preto potrebné preskúmať presnosť simulácie v prípade priestorov s rôznou pohltivosťou. Skúmané boli dve varianty, v prvej bola pohltivosť všetkých povrchov $\alpha = 0,02$, v druhom prípade $\alpha = 0,10$.



Obr. 8.07: Porovnanie vypočítanej nepriezvučnosti steny v programe ODEON a dosadených hodnôt (z programu INSUL) pri menšej pohltivosti miestnosti



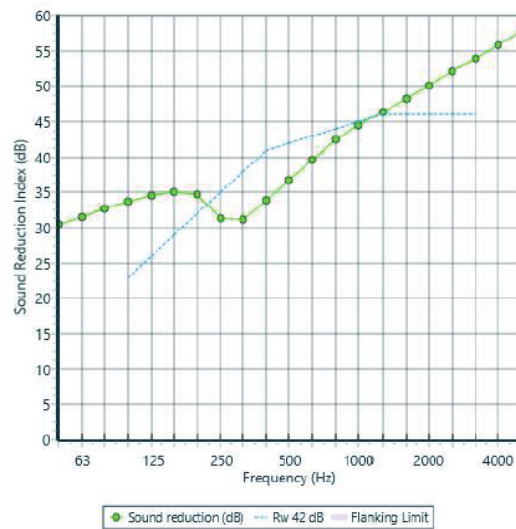
Obr. 8.08: Porovnanie vypočítanej nepriezvučnosti steny v programe ODEON a dosadených hodnôt (z programu INSUL) pri väčšej pohltivosti miestnosti

Porovnanie výsledkov obsahujú obrázky č. 8.07 a č. 8.08. Výsledky v jednotlivých kmitočtových pásmach boli takmer identické, z čoho sa dá usúdiť presnosť daného výpočtu pre miestnosti s rozličnou pohltivosťou.

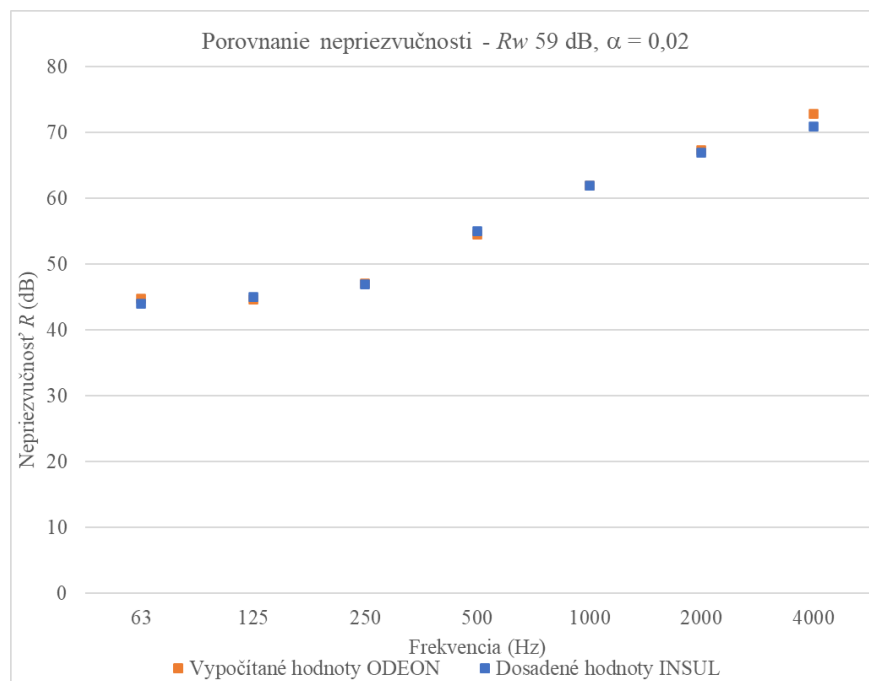
8.3.3 Vplyv rôznych výšok nepriezvučností na presnosť výpočtu

Úlohou bolo porovnať presnosť výpočtu v súvislosti s rôznymi hodnotami nepriezvučnosti deliacej steny. Vychádza sa z tvrdenia článku Modelling Airborne Sound Transmission Between Coupled Rooms [18], kde boli dosiahnuté presnejšie výsledky pri konštrukciách s vyššími hodnotami nepriezvučnosti. Porovnávala sa už spomenutá murovaná stena z pórobetónu s $R_w = 42$ dB so železobetónovou stenou hrúbky 200 mm s $R_w = 59$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL). Presný priebeh jej nepriezvučnosti je na obrázku č. 8.09.

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	31	
63	32	32
80	33	
100	34	
125	35	34
160	35	
200	35	
250	31	32
315	31	
400	34	
500	37	36
630	40	
800	42	
1000	44	44
1250	46	
1600	48	
2000	50	50
2500	52	
3150	54	
4000	56	56
5000	58	



Obr. 8.09: Vzduchová nepriezvučnosť betónovej priečky, $R_w = 59$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL)

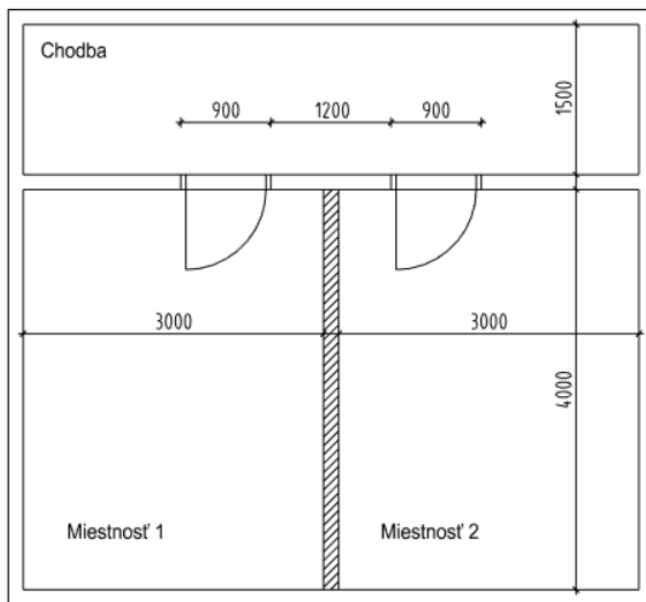


Obr. 8.10: Porovnanie vypočítanej nepriezvučnosti steny v programe ODEON a dosadených hodnôt (z programu INSUL) pri vyšších hodnotách R_w

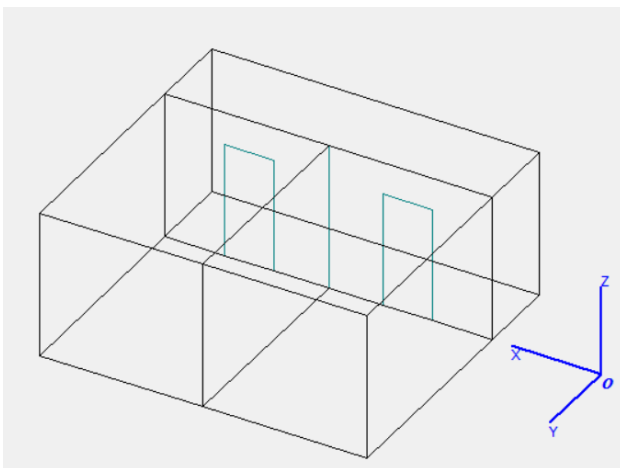
Pri porovnaní vypočítaných výsledkov nepriezvučnosti z programu ODEON s dosadenými hodnotami v daných kmitočtových pásmach (obrázok č. 8.10) je možné konštatovať dostatočnú presnosť výpočtu pre konštrukcie s vyššími hodnotami nepriezvučnosti. Potvrdilo sa tým tvrdenie dostatočnej presnosti softvéru pri nepriezvučnosti vyššej ako 10 dB a že ďalšie zvyšovanie nepriezvučnosti už nemá vplyv na presnosť výpočtu.

8.4 Výpočet nepriameho prenosu zvuku chodbou pomocou softvéru ODEON a porovnanie s ČSN EN ISO 12354-1

Táto časť práce sa zaoberá možnosťou výpočtu nepriameho prenosu zvuku chodbou v programe Odeon. Zvolený model miestností pre výpočet predstavuje typický príklad usporiadania obytných miestností s jednou spoločnou deliacou stenou spojených spoločnou chodbou (obr. č. 8.11). V rámci tohto modelu boli tiež vypočítané varianty so zmenou materiálov deliacich konštrukcií a nepriezvučnosti dverí a ich vzájomnej vzdialenosti. Z výsledkov môžeme odvodiť vplyv týchto zmien na nepriamy prenos zvuku. Taktiež bol skúmaný vplyv doby dozvuku chodby a polohy dverí na nepriamy prenos chodbou. Zároveň bol pre každú situáciu prevedený výpočet podľa prílohy H normy ČSN EN ISO 12354-1, ktorý bol bližšie popísaný v kapitole č. 7 a následne boli tieto výsledky porovnané.



Obr. 8.11: Použitý model miestností so spojením chodbou



Obr. 8.12: Model miestností so spojením chodbou v programe ODEON

8.4.1 Porovnanie výpočtu $D_{n,s}$ pomocou softvéru a ČSN EN ISO 12354-1 a následný výpočet nepriezvučnosti s nepriamym prenosom zvuku

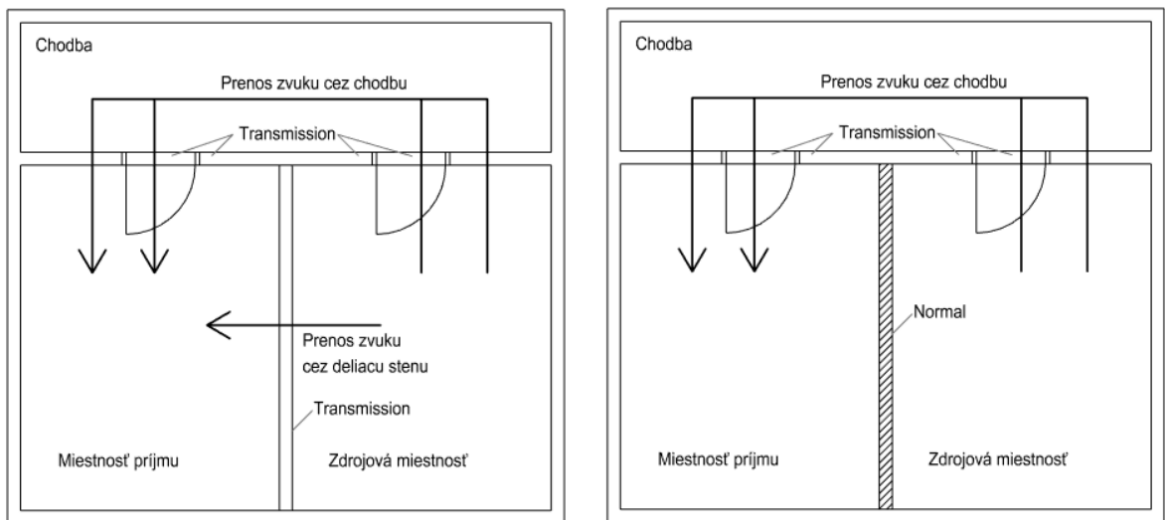
Pre tieto výpočty boli dané miestnosti vymodelované v programe ODEON (obrázok č. 8.12). Všetky deliace priečky v modeli majú rovnakú nepriezvučnosť (pórobetonová stena $R_w = 42$ dB). Dvere do chodby majú nepriezvučnosť $R_w = 23$ dB, čo reprezentuje variant dverí bez prahu. Dvere sú od seba vzdialené 1,2 m a pohltivosť povrchov v modeli je $\alpha = 0,02$. Pri výpočte $D_{n,s}$ je nutné uvažovať len s nepriamym prenosom zvuku, čo znamená, že deliaca stena medzi obytnými miestnosťami v tomto výpočte nemala povolený prenos zvuku zmenou nastavenia typu tejto steny z Transmission na Normal. Tým bolo možné zabezpečiť prenos zvuku z miestnosti zdroja do miestnosti príjmu len nepriamou cestou cez chodbu (obr. č. 8.13). Následne bol pre výpočet $D_{n,s}$ použitý výpočtový vzťah z ČSN EN ISO 12354-1

$$D_{n,s} = L_1 - L_2 - (10 \log A/A_0)$$

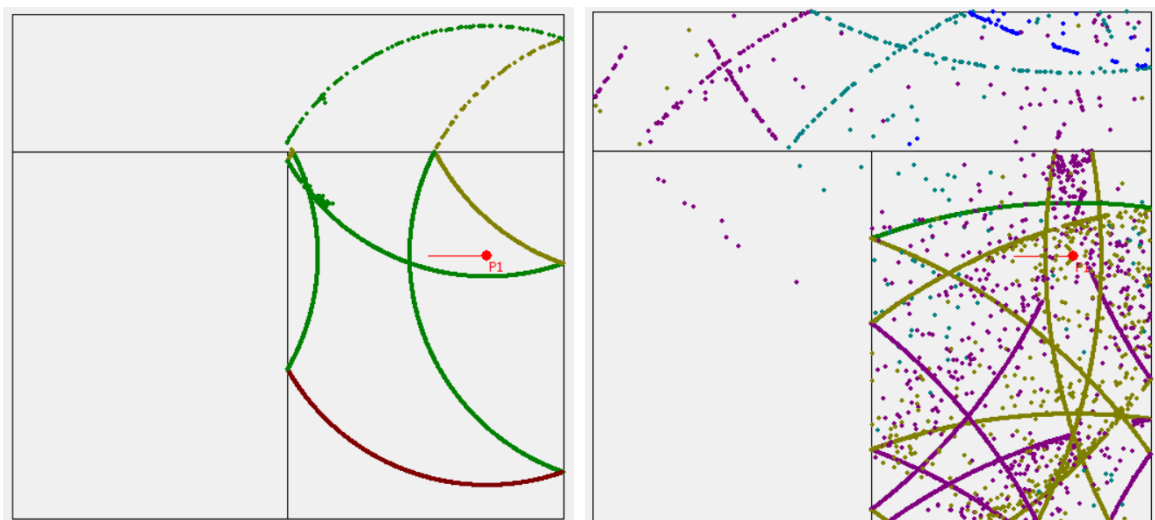
kde:

A – pohltivosť miestnosti (m^2)

A_0 – $10 m^2$



Obr. 8.13: Pri výpočte $D_{n,s}$ sa na prenose vzduchu podieľa len nepriama cesta cez chodbu (zmena nastavenia typu deliacej priečky v modeli ODEON z Transmission na Normal)



Obr. 8.14: Vizualizácia šírenia zvuku v programe ODEON – prenos zvuku do miestnosti príjmu len nepriamou cestou cez chodbu

V druhom kroku bol nepriamy prenos chodbou vypočítaný podľa prílohy H tejto normy. Porovnaním s mernou krivkou bola vypočítaná vážená hodnota tejto veličiny. Nakoľko norma obsahuje aj zjednodušený model, je možné jeho použitím vyjadriť výslednú hodnotu stavebnej nepriezvučnosti. Tento model bol už bližšie popísaný v kapitole č. 7. Na jeho základe môžeme konštatovať zhoršenie stavebnej nepriezvučnosti v porovnaní s váženou hodnotou nepriezvučnosti deliacej steny. Je nutné podotknúť, že v tomto výpočte nebolo uvažované s bočným prenosom zvuku konštrukciami, ale bol zisťovaný len vplyv nepriameho prenosu zvuku chodbou. Výsledné hodnoty pri uvažovaní bočného prenosu konštrukciou by boli v tom prípade ešte nižšie. Pomocou vzorcov

$$\tau_{Dd} = 10^{-R_{Dd}/10}$$

$$\tau_s = (A/S) \cdot 10^{-D_{n,s}/10}$$

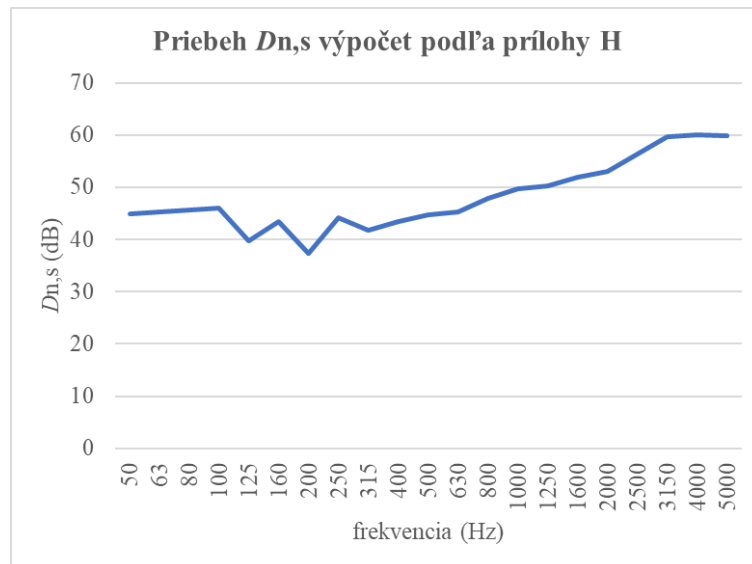
je taktiež možné vyjadriť činitele priezvučnosti pre priamu cestu τ_{Dd} a nepriamu cestu chodbou τ_s a na ich základe vyjadriť výslednú hodnotu stavebnej nepriezvučnosti podľa vzorca

$$R' = -10 \lg(\tau_{Dd} + \tau_s)$$

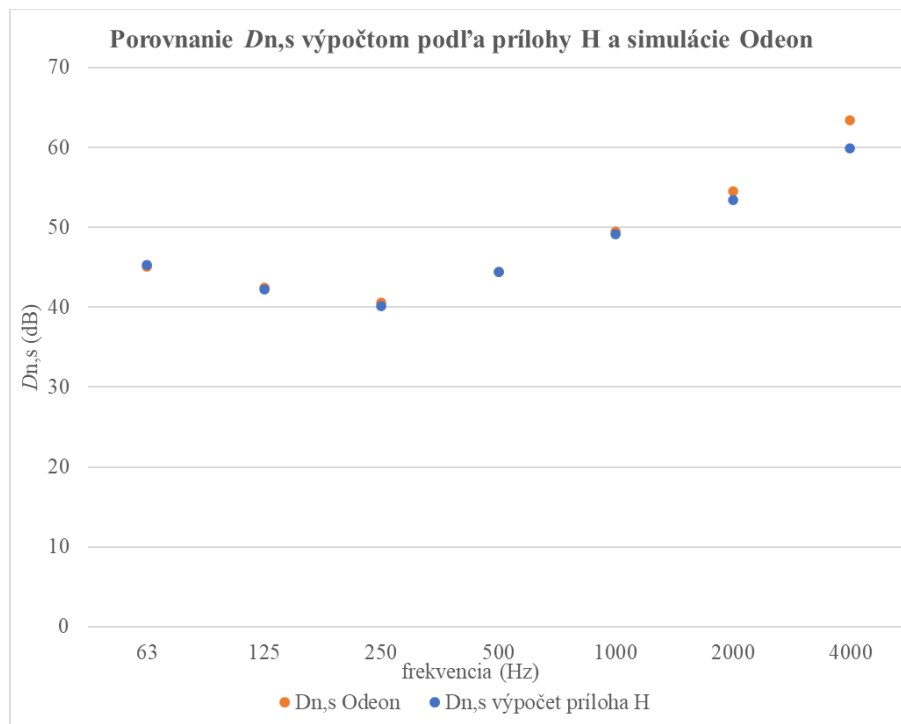
Výsledné hodnoty je taktiež možné porovnať s hodnotami nepriezvučnosti steny a vyjadriť ich zhoršenie vplyvom nepriameho prenosu v jednotlivých frekvenciách. Nakoniec prebehol výpočet nepriezvučnosti pre tento model miestností s chodbou, kde sa v softvéri Odeon počítalo taktiež s prenosom cez deliacu stenu. Následne je možné tieto hodnoty porovnať s hodnotami nepriezvučnosti znížených vplyvom nepriameho prenosu zvuku.

$D_{n,s}$ - dvere vo vzdialenosti 1,2 m						
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	R (dB)	τ_{Dd}	τ_s	R' (dB)	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	44,84	31	0,0007943	0,0000304	30,84	0,16
63	45,30	32	0,0006310	0,0000273	31,82	0,18
80	45,68	33	0,0005012	0,0000250	32,79	0,21
100	46,00	34	0,0003981	0,0000233	33,75	0,25
125	39,66	35	0,0003162	0,0001001	33,81	1,19
160	43,38	35	0,0003162	0,0000425	34,45	0,55
200	37,38	35	0,0003162	0,0001694	33,14	1,86
250	44,08	31	0,0007943	0,0000362	30,81	0,19
315	41,85	31	0,0007943	0,0000605	30,68	0,32
400	43,37	34	0,0003981	0,0000426	33,56	0,44
500	44,79	37	0,0001995	0,0000307	36,38	0,62
630	45,26	40	0,0001000	0,0000276	38,94	1,06
800	47,90	42	0,0000631	0,0000150	41,07	0,93
1000	49,76	44	0,0000398	0,0000098	43,05	0,95
1250	50,22	46	0,0000251	0,0000088	44,70	1,30
1600	51,85	48	0,0000158	0,0000060	46,60	1,40
2000	53,08	50	0,0000100	0,0000046	48,37	1,63
2500	56,29	52	0,0000063	0,0000022	50,71	1,29
3150	59,69	54	0,0000040	0,0000010	53,03	0,97
4000	60,11	56	0,0000025	0,0000009	54,67	1,33
5000	59,93	58	0,0000016	0,0000009	55,98	2,02
$R_w = 42$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)						
$D_{n,s,w} = 49,3$ dB						
$R'w = 41,27$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)						
$R'w = 41,64$ dB (s vplyvom chodby)						

Tab. 8.01: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou, vzdialenosť dverí 1,2 m



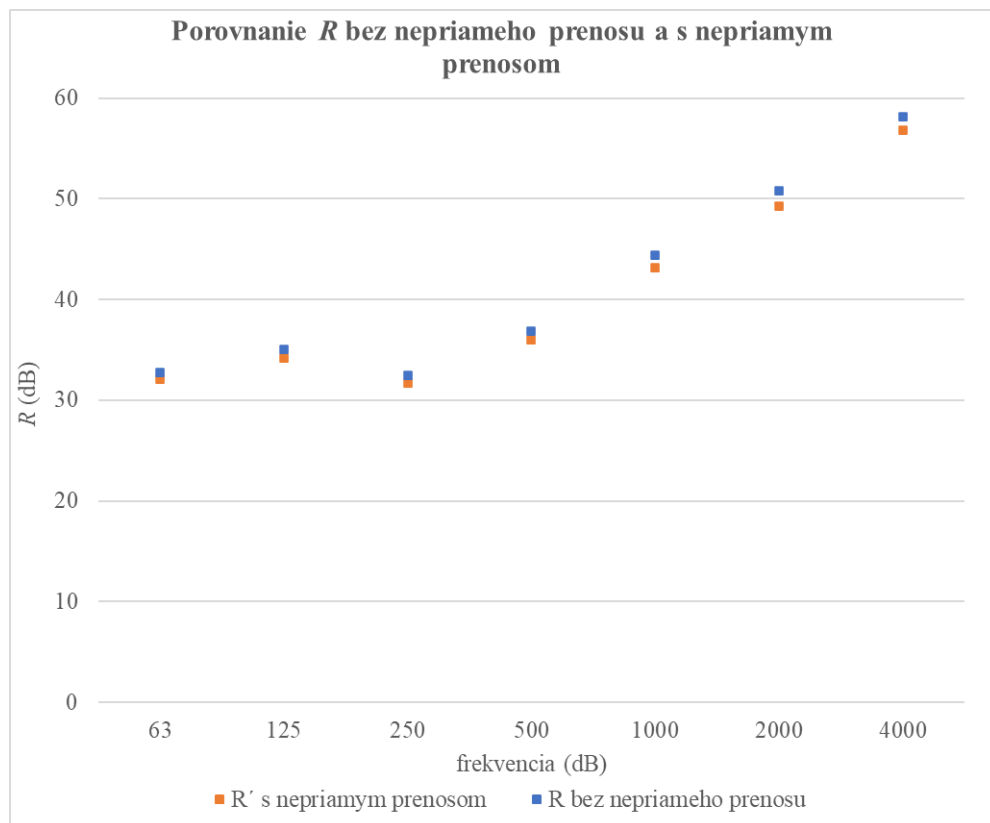
Obr. 8.15: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa prílohy H, dvere vo vzdialenosti 1,2 m



Obr. 8.16: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon, dvere vo vzdialenosti 1,2 m a porovnanie s prílohou H

Porovnanie $D_{n,s}$ - dvere vo vzdialenosti 1,2 m			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) príloha H	$D_{n,s}$ (dB) Odeon	rozdiel (dB)
63	45,26	45,02	0,23
125	42,24	42,41	-0,17
250	40,19	40,59	-0,41
500	44,40	44,46	-0,07
1000	49,17	49,48	-0,30
2000	53,37	54,52	-1,14
4000	59,91	63,37	-3,47

Tab. 8.02: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa prílohy H a podľa programu Odeon, dvere vo vzdialenosti 1,2 m

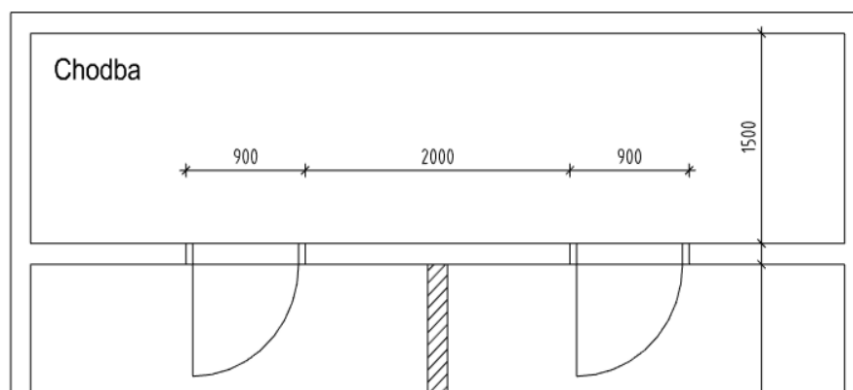


Obr. 8.17: Pokles nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu vzduchom vplyvom nepriameho prenosu, podľa programu Odeon, dvere vo vzdialenosti 1,2 m

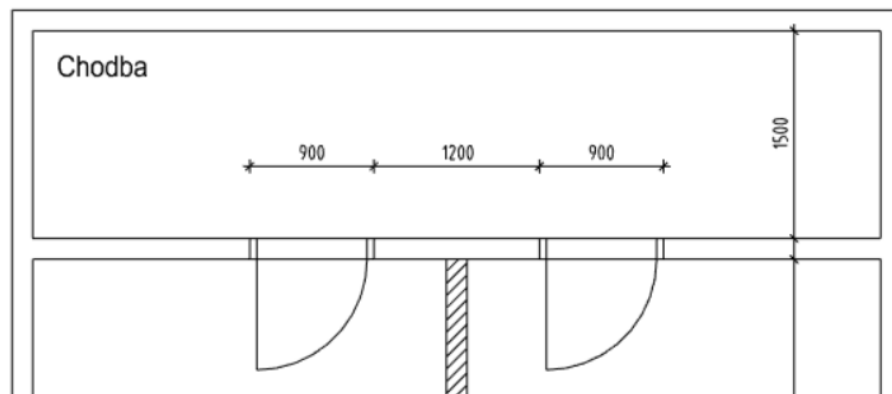
Porovnanie výsledkov na základe výpočtu v programe ODEON a výpočtu podľa prílohy H obsahuje obrázok č. 8.16 a tabuľka č. 8.02. V oboch prípadoch boli dosiahnuté veľmi podobné výsledky. Použitím tohto softvéru je teda v podobných prípadoch možné dostatočne presne simulovať prenos zvuku nepriamou cestou cez chodbu.

8.4.2 Vplyv vzdialenosti dverí na nepriamy prenos zvuku

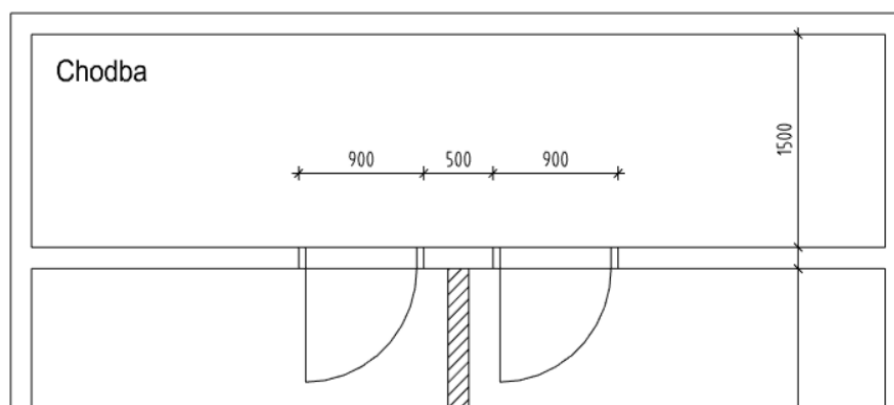
Ďalším predmetom výpočtov bola snaha zistiť, aký veľký vplyv na nepriamy prenos zvuku chodbou má poloha dverí. Konkrétne v tomto prípade šlo o vzdialenosť dverí v paralelnej pozícii. Dodatočne k výsledkom $D_{n,s}$ v situácii z minulej podkapitoly, kde bola vzájomná vzdialenosť dverí 1,2 m, boli taktiež vypočítané prenos zvuku pri vzájomnej vzdialenosti 2 m a 0,5 m.



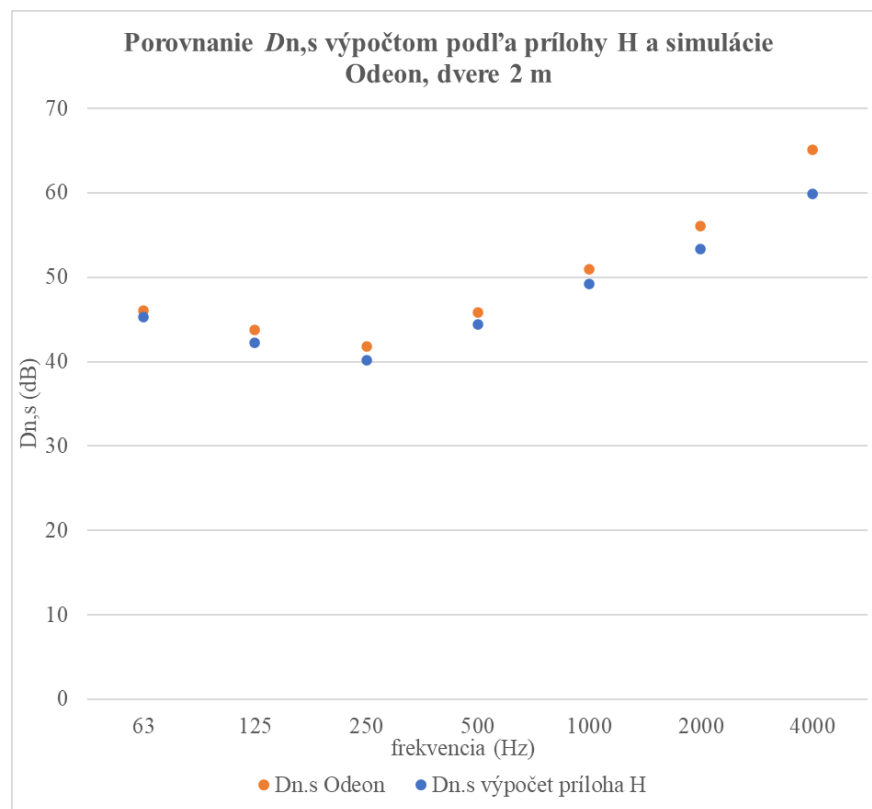
Obr. 8.18: Pôdorys modelových miestností, vzdialenosť dverí 2 m



Obr. 8.19: Pôdorys modelových miestností, vzdialenosť dverí 1,2 m

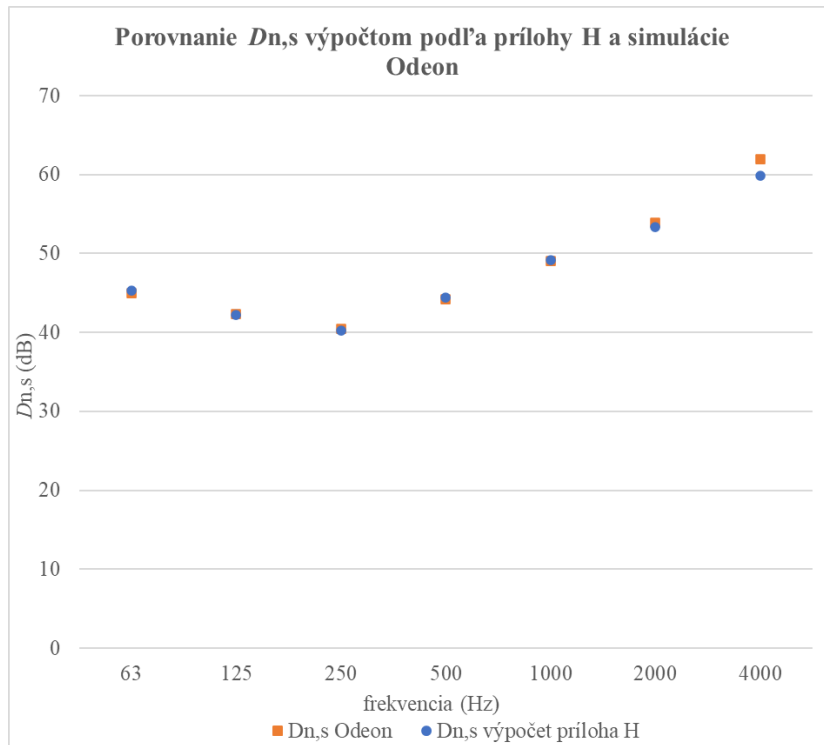


Obr. 8.20: Pôdorys modelových miestností, vzdialenosť dverí 0,5 m



Obr. 8.21: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon, dvere vo vzdialenosti 2 m a porovnanie s prílohou H

Porovnanie $D_{n,s}$ - dvere vo vzdialenosti 2 m			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) príloha H	$D_{n,s}$ (dB) Odeon	rozdiel (dB)
63	45,26	46,10	-0,84
125	42,24	43,77	-1,54
250	40,19	41,85	-1,66
500	44,40	45,84	-1,45
1000	49,17	50,95	-1,78
2000	53,37	56,06	-2,68
4000	59,91	65,15	-5,25

Tab. 8.03: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa prílohy H a podľa programu Odeon, dvere vo vzdialenosti 2 m

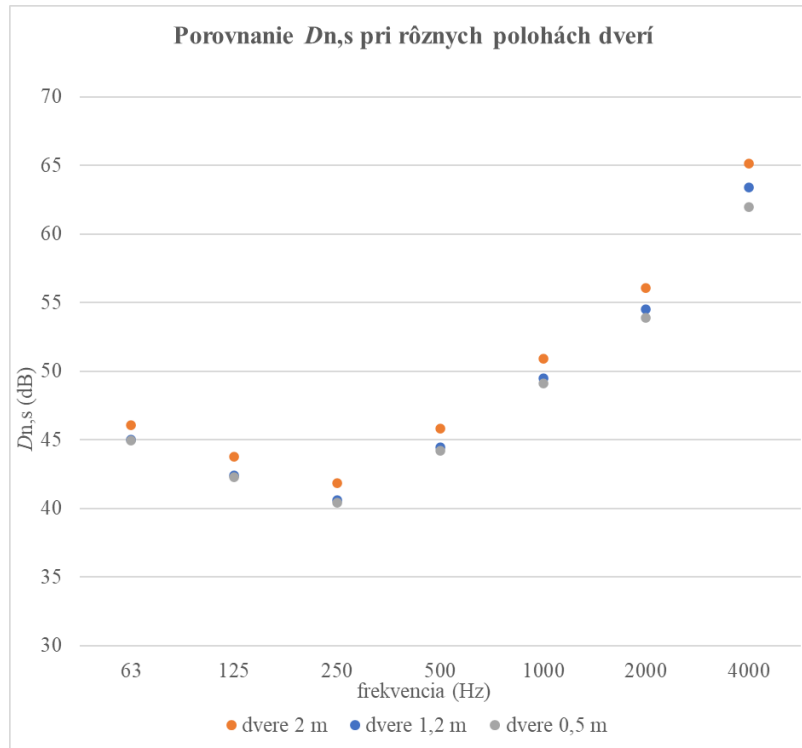
Obr. 8.22: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon, dvere vo vzdialenosti 0,5 m a porovnanie s prílohou H

Porovnanie $D_{n,s}$ - dvere vo vzdialenosti 0,5 m			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) príloha H	$D_{n,s}$ (dB) Odeon	rozdiel (dB)
63	45,26	44,98	0,28
125	42,24	42,29	-0,05
250	40,19	40,42	-0,23
500	44,40	44,22	0,18
1000	49,17	49,11	0,06
2000	53,37	53,88	-0,51
4000	59,91	61,96	-2,05

Tab. 8.04: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa prílohy H a podľa programu Odeon, dvere vo vzd. 0,5 m

Porovnanie $D_{n,s}$ pri rôznych polohách dverí			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) dvere 0,5 m	$D_{n,s}$ (dB) dvere 1,2 m	$D_{n,s}$ (dB) dvere 2 m
63	44,98	45,02	46,10
125	42,29	42,41	43,77
250	40,42	40,59	41,85
500	44,22	44,46	45,84
1000	49,11	49,48	50,95
2000	53,88	54,52	56,06
4000	61,96	63,37	65,15

Tab. 8.05: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon, všetky vzdialenosti dverí

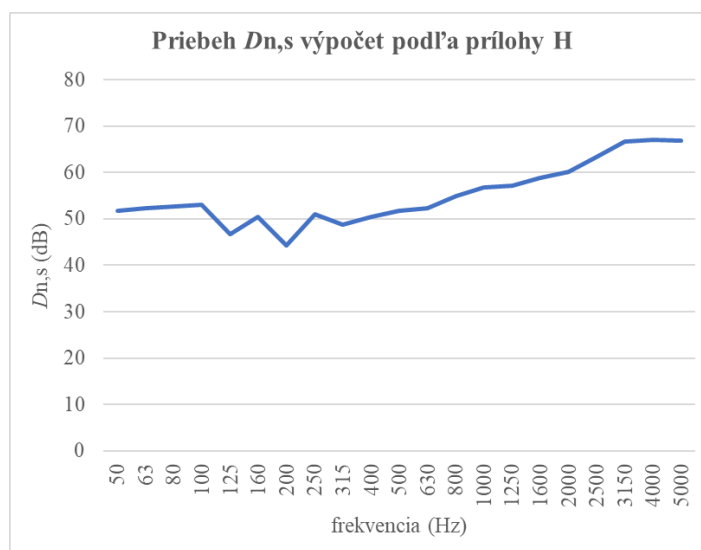


Obr. 8.23: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon, všetky vzdialenosti dverí

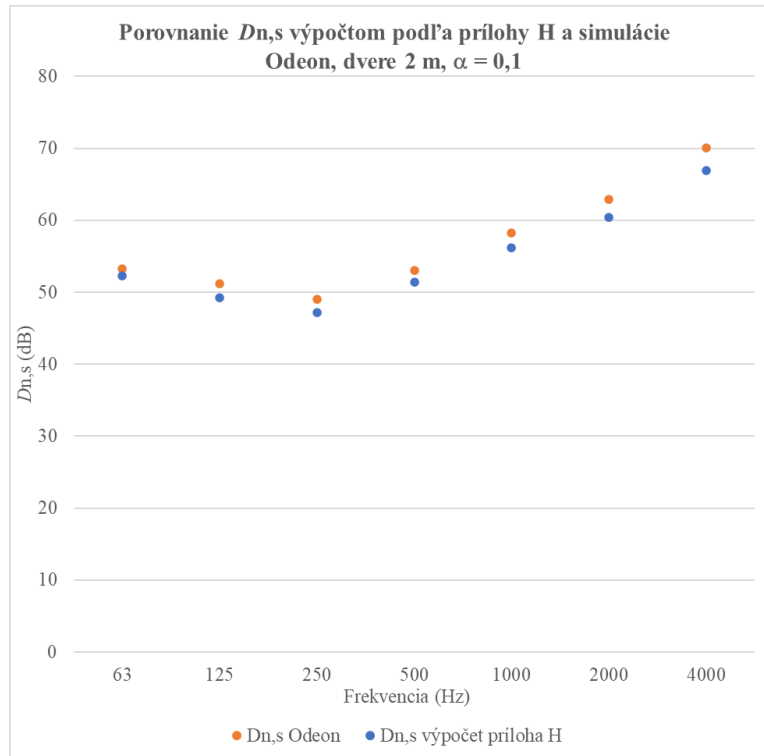
Z výsledkov v tabuľke č. 8.05 je zrejmé, že prenos zvuku chodbou stúpa pri znižovaní vzájomnej vzdialenosti dverí. Pre všetky uvedené vzdialenosti platí, že výsledok výpočtu na základe prílohy H normy ČSN EN ISO 12354-1 je rovnaký pre všetky pozície dverí (Tab. 8.01). Avšak na základe simulácie šírenia zvuku v programe Odeon je vidieť, že tieto hodnoty nie sú rovnaké a pri zväčšovaní vzdialenosti dverí klesá veľkosť chodbou prenesenej akustickej energie do miestnosti príjmu.

8.4.3 Vplyv pohltivosti chodby na nepriamy prenos zvuku

V predchádzajúcich príkladoch bola uvažovaná pohltivosť povrchov v chodbe $\alpha = 0,02$. Táto nízka hodnota pohltivosti mala za následok, že len málo zvukovej energie, ktorá prenikla do chodby bola jej povrchmi absorbovaná a tým sa veľká časť z nej mohla po odraze dostať do miestnosti príjmu. Preto bola uvažovaná ďalšia varianta s väčšou pohltivosťou povrchov ($\alpha = 0,10$) v chodbe.



Obr. 8.24: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa prílohy H, $\alpha = 0,10$



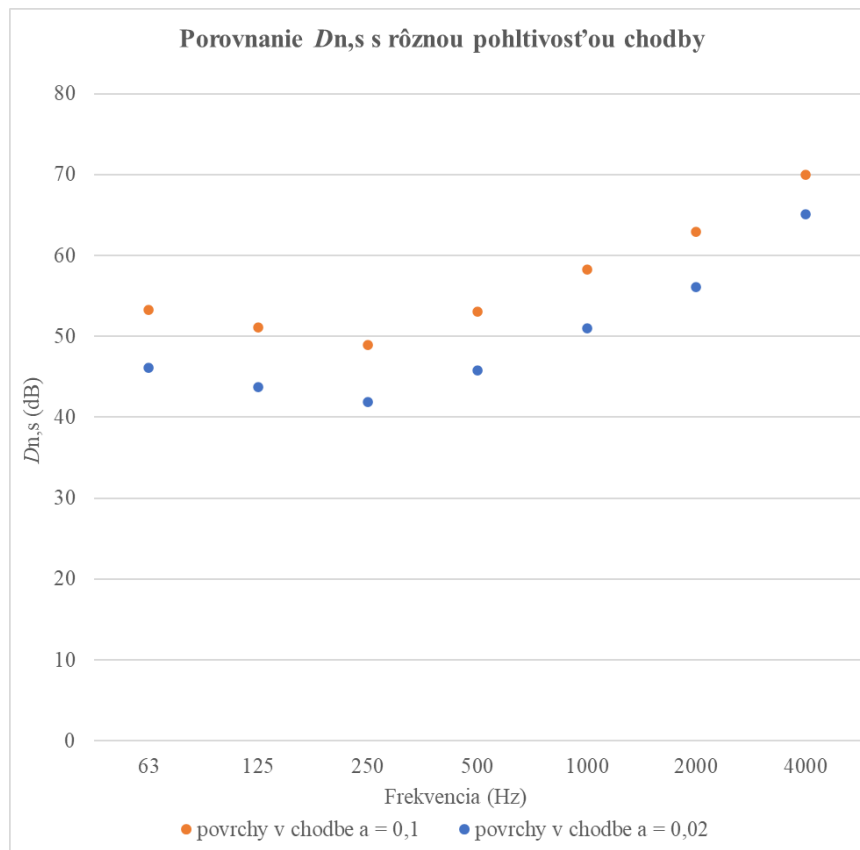
Obr. 8.25: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon, a porovnanie s prílohou H, $\alpha = 0,10$

Dn,s - dvere vo vzdialenosti 2 m, $\alpha = 0,1$						
Frekvencia (Hz)	Dn,s (dB) podľa prílohy H	R (dB)	τ_{Dd}	τ_s	R' (dB)	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	51,82	31	0,0007943	0,0000061	30,97	0,03
63	52,29	32	0,0006310	0,0000055	31,96	0,04
80	52,67	33	0,0005012	0,0000050	32,96	0,04
100	52,99	34	0,0003981	0,0000047	33,95	0,05
125	46,65	35	0,0003162	0,0000200	34,73	0,27
160	50,37	35	0,0003162	0,0000085	34,88	0,12
200	44,37	35	0,0003162	0,0000339	34,56	0,44
250	51,07	31	0,0007943	0,0000072	30,96	0,04
315	48,84	31	0,0007943	0,0000121	30,93	0,07
400	50,36	34	0,0003981	0,0000085	33,91	0,09
500	51,78	37	0,0001995	0,0000061	36,87	0,13
630	52,25	40	0,0001000	0,0000055	39,77	0,23
800	54,89	42	0,0000631	0,0000030	41,80	0,20
1000	56,75	44	0,0000398	0,0000020	43,79	0,21
1250	57,21	46	0,0000251	0,0000018	45,71	0,29
1600	58,84	48	0,0000158	0,0000012	47,68	0,32
2000	60,07	50	0,0000100	0,0000009	49,62	0,38
2500	63,28	52	0,0000063	0,0000004	51,71	0,29
3150	66,68	54	0,0000040	0,0000002	53,79	0,21
4000	67,10	56	0,0000025	0,0000002	55,70	0,30
5000	66,92	58	0,0000016	0,0000002	57,51	0,49
R_w = 42 dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)						
D_{n,s,w} = 56,4 dB						
R' _w = 41,85 dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)						
R' _w = 41,95 dB (s vplyvom chodby)						

Tab. 8.06: D_{n,s} podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou. $\alpha = 0,10$

Porovnanie $D_{n,s}$ s rôznou pohltivosťou chodby			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) $\alpha = 0,1$	$D_{n,s}$ (dB) $\alpha = 0,02$	rozdiel (dB)
63	53,24	46,10	7,14
125	51,15	43,77	7,38
250	48,99	41,85	7,14
500	53,09	45,84	7,25
1000	58,24	50,95	7,29
2000	62,89	56,06	6,83
4000	70,03	65,15	4,87

Tab. 8.07: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon, rôzne pohltivosti chodby

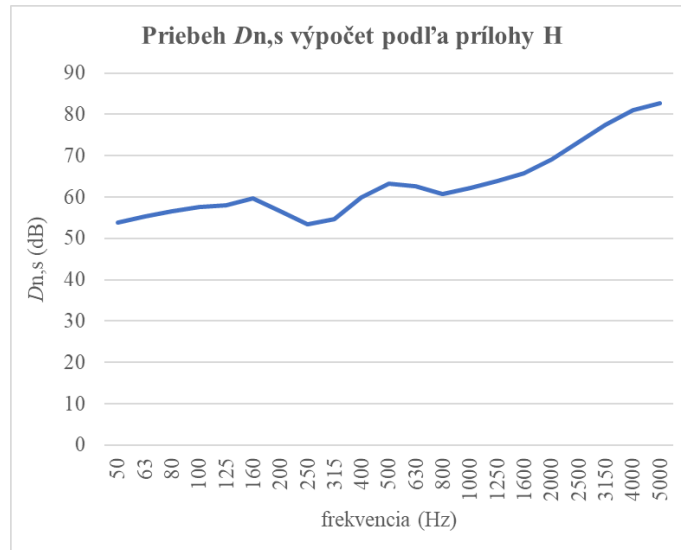


Obr. 8.26: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon, rôzne pohltivosti chodby

Zvýšenie pohltivosti v chodbe malo veľký vplyv na nepriamy prenos, či už z výsledkov simulácie, tak z výsledkov výpočtu podľa prílohy H. Rozdiel vo výsledkoch nepriezvučnosti s vplyvom nepriameho prenosu a bez neho je veľmi malý. To ukazuje, že použitím dostatočne pohltivých materiálov pre povrchy v chodbe je možné takmer úplne potlačiť nepriamy prenos chodbou.

8.4.4 Vplyv nepriezvučnosti dverí na nepriamy prenos chodbou

Stena s dverami predstavuje z akustického hľadiska zloženú konštrukciu. Dvere v nej predstavujú najslabší článok z hľadiska zvukovej izolácie. V doterajších príkladoch bola pre dvere uvažovaná nízka hodnota vzduchovej nepriezvučnosti $R_w = 23$ dB, čo predstavuje prípad interiérových dverí bez prahu. Preto bola taktiež vypočítaná varianta s dverami vyššej kvality, ktoré predstavujú interiérové dvere s padacím prahom. Vzduchová nepriezvučnosť týchto dverí je 32 dB.



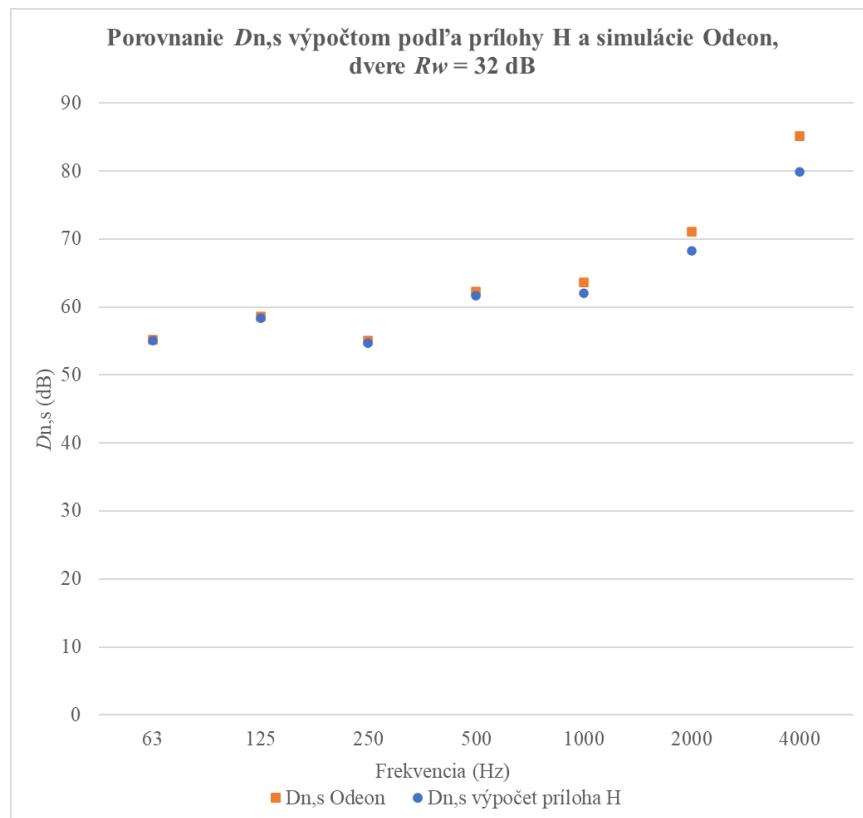
Obr. 8.27: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa prílohy H, dvere $R_w = 32$ dB

$D_{n,s}$ - dvere $R_w = 32$ dB						
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	R (dB)	τ_{d1}	τ_s	R' (dB)	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	53,83	31	0,00079433	0,00000383	30,98	0,02
63	55,20	32	0,00063096	0,00000280	31,98	0,02
80	56,47	33	0,00050119	0,00000209	32,98	0,02
100	57,62	34	0,00039811	0,00000160	33,98	0,02
125	58,03	35	0,00031623	0,00000146	34,98	0,02
160	59,71	35	0,00031623	0,00000099	34,99	0,01
200	56,65	35	0,00031623	0,00000200	34,97	0,03
250	53,40	31	0,00079433	0,00000423	30,98	0,02
315	54,74	31	0,00079433	0,00000311	30,98	0,02
400	59,95	34	0,00039811	0,00000094	33,99	0,01
500	63,16	37	0,00019953	0,00000045	36,99	0,01
630	62,68	40	0,00010000	0,00000050	39,98	0,02
800	60,79	42	0,00006310	0,00000077	41,95	0,05
1000	62,11	44	0,00003981	0,00000057	43,94	0,06
1250	63,91	46	0,00002512	0,00000038	45,94	0,06
1600	65,66	48	0,00001585	0,00000025	47,93	0,07
2000	69,09	50	0,00001000	0,00000011	49,95	0,05
2500	73,28	52	0,00000631	0,00000004	51,97	0,03
3150	77,47	54	0,00000398	0,00000002	53,98	0,02
4000	81,09	56	0,00000251	0,00000001	55,99	0,01
5000	82,80	58	0,00000158	0,00000000	57,99	0,01
$R_w = 42$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)						
$D_{n,s,w} = 64,0$ dB						
$R'_w = 41,97$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)						
$R'_w = 42$ dB (s vplyvom chodby)						

Tab. 8.08: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou. dvere $R_w = 32$ dB

Porovnanie $D_{n,s}$ - rôzne R_w dverí			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB), $R_w = 23$ dB	$D_{n,s}$ (dB), $R_w = 32$ dB	rozdiel (dB)
63	46,10	55,21	9,12
125	43,77	58,63	14,86
250	41,85	55,06	13,22
500	45,84	62,23	16,39
1000	50,95	63,61	12,66
2000	56,06	71,13	15,07
4000	65,15	85,15	19,99

Tab. 8.09: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon, rôzne R_w dverí



Obr. 8.28: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon, a porovnanie s prílohou H, dvere $R_w = 32$ dB

Použitím kvalitných interiérových dverí bola na základe výpočtov a simulácie takmer úplne potlačená nepriama cesta zvuku cez chodbu. Nepriezvučnosť dverí v porovnaní s priečkou už nepredstavuje výrazné zhoršenie výslednej nepriezvučnosti zloženej steny.

8.4.5 Vplyv nepriameho prenosu na konštrukcie s vysokou nepriezvučnosťou

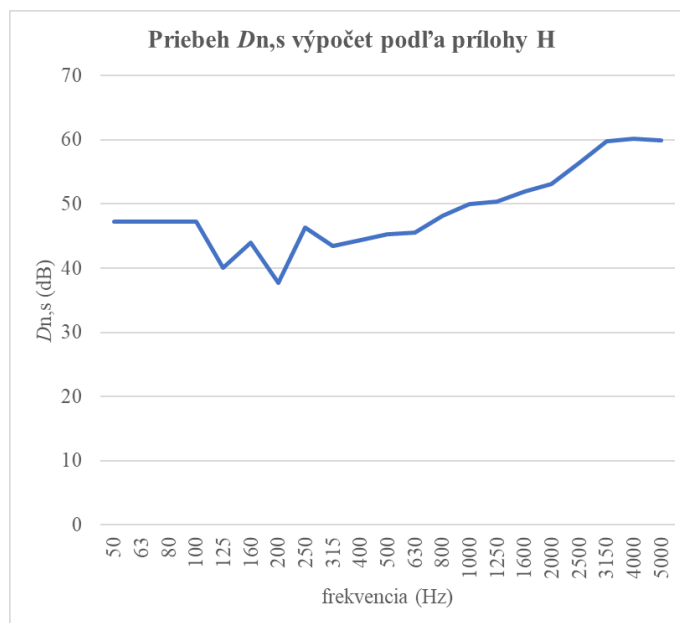
Prenos zvuku cez chodbu môže mať výrazný vplyv na výslednú nepriezvučnosť. Tento vplyv ešte narástol pri použití deliacich stien s vyššími hodnotami nepriezvučnosti. V tomto prípade šlo o železobetónovú stenu z podkapitoly č. 8.3.3, s $R_w = 59$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL). V porovnaní s ňou predstavujú interiérové dvere s $R_w = 23$ dB výrazne slabé miesto vo zvukovej izolácii zloženého prvku.

Činiteľ priezvučnosti pre priamu cestu τ_{Dd} a pre nepriamy prenos τ_s nadobúdajú porovnateľné hodnoty (viď. Tabuľka č. 8.10). To znamená, že pri prenose zvuku medzi obytnými miestnosťami sa chodbou prenesie podobné množstvo akustickej energie ako priamou cestou cez deliacu priečku. Je preto dôležité zohľadniť vplyv nepriameho prenosu pri konštrukciách s vysokou nepriezvučnosťou. Na druhú stranu vďaka vysokým hodnotám je menšia pravdepodobnosť, že takáto konštrukcia nevyhoví ako deliaca priečka v rámci jedného bytu aj po započítaní nepriameho prenosu.

$D_{n,s}$ - dvere $R_w = 23$ dB, vyššia nepriezvučnosť steny						
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	R (dB)	τ_{Dd}	τ_s	R' (dB)	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	47,21	44	0,0000398	0,0000176	42,41	1,59
63	47,21	44	0,0000398	0,0000176	42,41	1,59
80	47,24	45	0,0000316	0,0000175	43,09	1,91
100	47,26	46	0,0000251	0,0000174	43,71	2,29
125	40,10	45	0,0000316	0,0000904	39,13	5,87
160	44,03	43	0,0000501	0,0000366	40,62	2,38
200	37,71	45	0,0000316	0,0001567	37,25	7,75
250	46,29	47	0,0000200	0,0000218	43,80	3,20
315	43,53	50	0,0000100	0,0000411	42,92	7,08
400	44,34	52	0,0000063	0,0000341	43,93	8,07
500	45,34	55	0,0000032	0,0000271	45,20	9,80
630	45,55	57	0,0000020	0,0000258	45,56	11,44
800	48,15	60	0,0000010	0,0000142	48,19	11,81
1000	49,95	62	0,0000006	0,0000094	50,00	12,00
1250	50,35	63	0,0000005	0,0000085	50,44	12,56
1600	51,95	65	0,0000003	0,0000059	52,06	12,94
2000	53,15	67	0,0000002	0,0000045	53,30	13,70
2500	56,35	68	0,0000002	0,0000021	56,38	11,62
3150	59,75	70	0,0000001	0,0000010	59,66	10,34
4000	60,15	71	0,0000001	0,0000009	60,12	10,88
5000	59,95	73	0,0000001	0,0000009	60,06	12,94

$R_w = 59$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)
 $D_{n,s,w} = 49,9$ dB
 $R'w = 49,47$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)
 $R'w = 49,7$ dB (s vplyvom chodby)

Tab. 8.10: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou. dvere $R_w = 23$ dB, nepriezvučnosť steny $R_w = 59$ dB

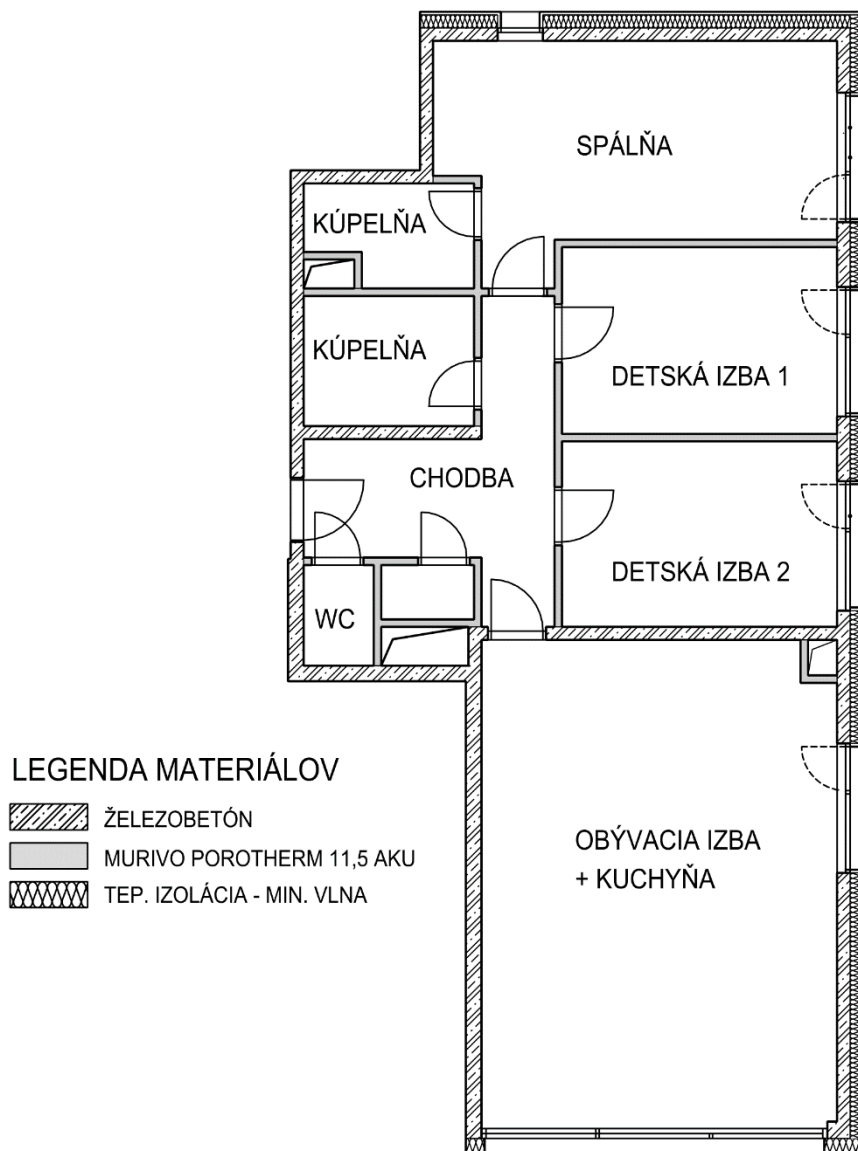


Obr. 8.29: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa prílohy H, dvere $R_w = 23$ dB, nepriezvučnosť steny $R_w = 59$ dB

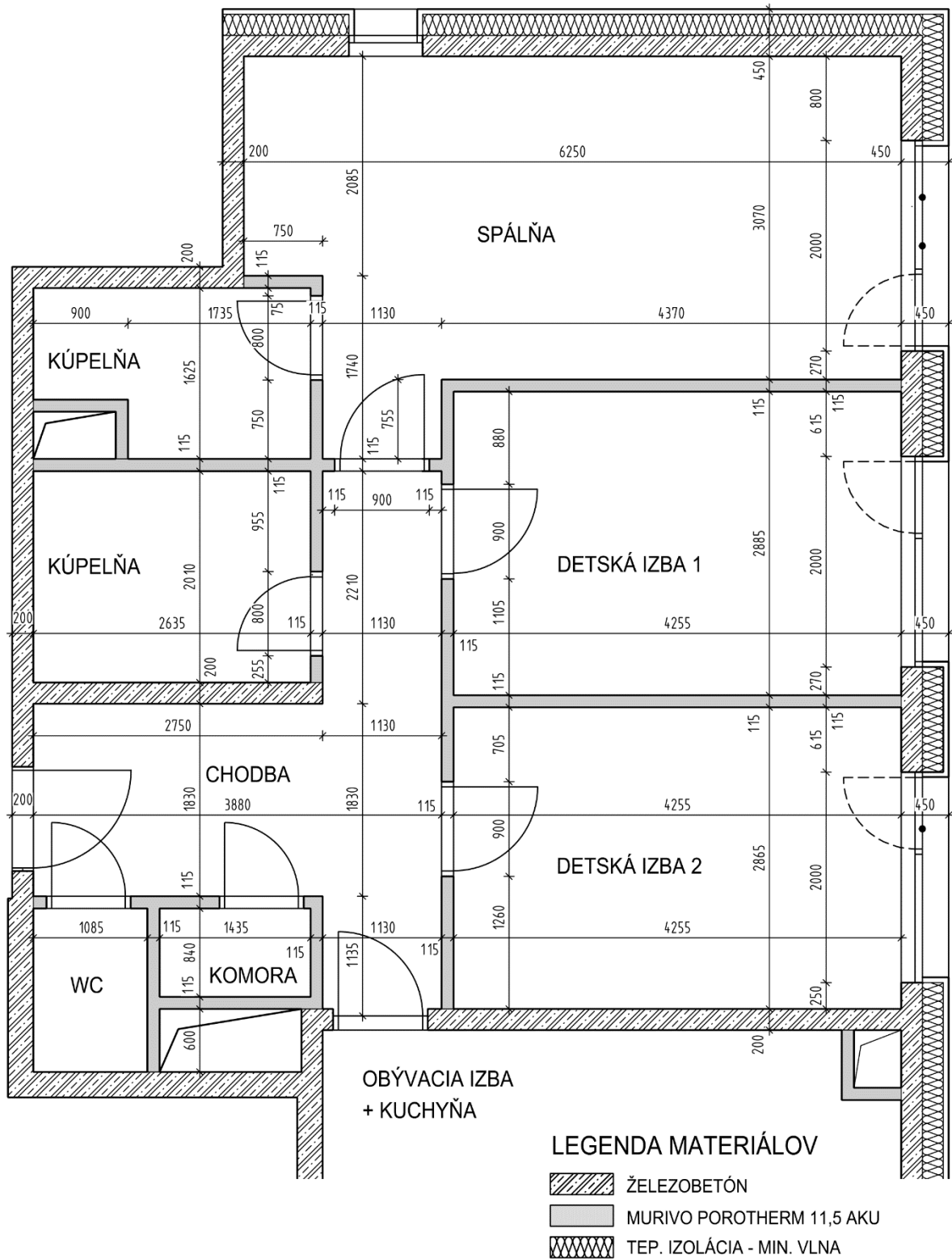
9. Meranie na stavbe

9.1 Predmet merania

Predmetom akustického merania bol štvorizbový byt v Prahe. Jedná sa o novostavbu ešte v nezariadenom stave, no s hotovými podlahami a dverami. Pôdorys tohto bytu sa nachádza na obrázku č. 9.01, detailný výsek meraných miestností na obrázku č. 9.02. Tento byt ponúkal veľmi dobré možnosti na meranie rôznych druhov nepriameho prenosu zvuku. Všetky obytné miestnosti boli pripojené na vzduchotechnický systém a v každej z nich sa nachádzala tanierová výustka. Interiérové dvere boli prevedené bez prahu a tesnenia v prahovej škáre, ktorá v tomto prípade dosahovala šírku až dva centimetre.



Obr. 9.01: Pôdorys bytu M 1:100



Obr. 9.02: Pôdorys bytu M 1:50



Obr. 9.03: Zdrojová miestnosť s meracími prístrojmi



Obr. 9.04: Miestnosť príjmu s mikrofónom

9.2 Použité meracie nástroje

Pri meraní boli použité nasledujúce meracie nástroje:

- zvukové analyzátory Nor140

- meracie mikrofóny Nor1225
- akustický kalibrátor Nor1251
- zdroj kročajového zvuku Nor277
- všesmerový reproduktor (dvanásťsten) Nor276
- výkonový zosilovač Nor280
- software Nor850

9.3 Použité konštrukcie

Vnútorne deliace priečky v byte boli prevedené ako murované, hrúbky 115 mm z tehál Porotherm Aku 11,5. Vážená vzduchová nepriezvučnosť tejto steny je podľa technického listu výrobcu 47 dB. Všetky steny boli omietnuté. Použité boli interiérové dvere DEXTŮRA – Hladké dvere, s oblôžkovou zárubňou a vo vyhotovení bez prahového tesnenia. Nepriezvučnosť dverí nebola výrobcom zameraná. Ich plošná hmotnosť je 13,7 kg/m². Strop tvorila železobetónová doska hrúbky 220 mm, na ktorú bola zhotovená ťažká plávajúca podlaha s hrúbkou 140 mm. Nášľapná vrstva z dreva už bola v čase merania vyhotovená.



Obr. 9.05: Interiérové dvere bez prahu

9.4 Opatrenia na zlepšenie zvukovej izolácie pri meraní na stavbe

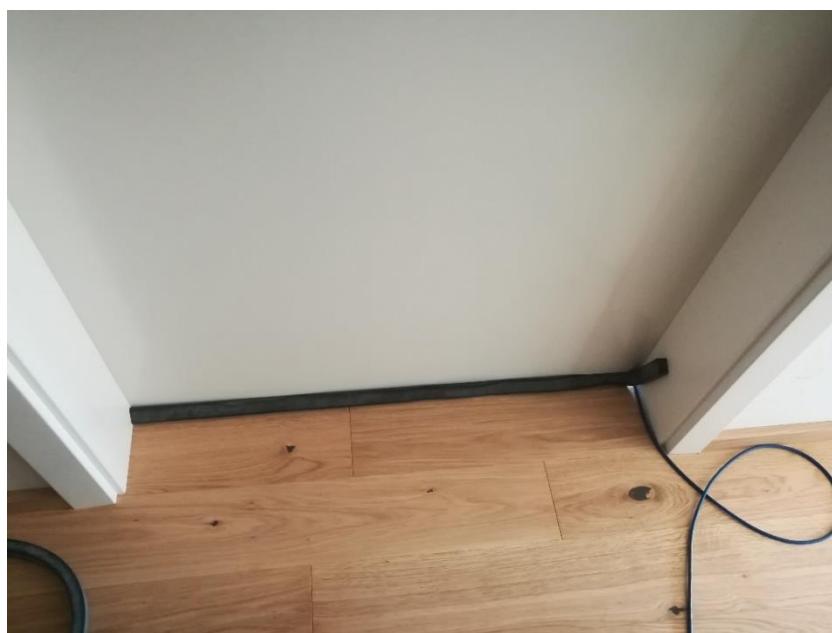
Použitím dodatočného gumového tesnenia v prahovej škáre a vložení minerálnej izolácie do koncovej časti vzduchotechnického potrubia v miestnosti príjmu a zdroja bolo možné dostatočne ovplyvniť nepriamy prenos zvuku. Je nutné podotknúť, že dané opatrenia boli len provizórne a teda nie je možné exaktne vyčíslieť zlepšenie vzduchovej nepriezvučnosti dverí, respektíve zvýšenie útlmu pri prenose potrubím. Slúžia teda hlavne na dobrú ilustráciu dôsledkov nedostatočnej zvukovej izolácie a jej návrhu v prípade nepriameho prenosu zvuku. Následne bolo možné meraním vyhodnotiť vplyv jednotlivých ciest na výslednú stavebnú nepriezvučnosť a tiež účinnosť jednotlivých opatrení.



Obr. 9.06: Tanierová výustka v obytných miestnostiach



Obr. 9.07: Vloženie minerálnej izolácie do VZT potrubia



Obr. 9.08: Vložené gumové tesnenie do prahovej škáry



Obr. 9.09: Prekrytie gumového tesnenia textíliou

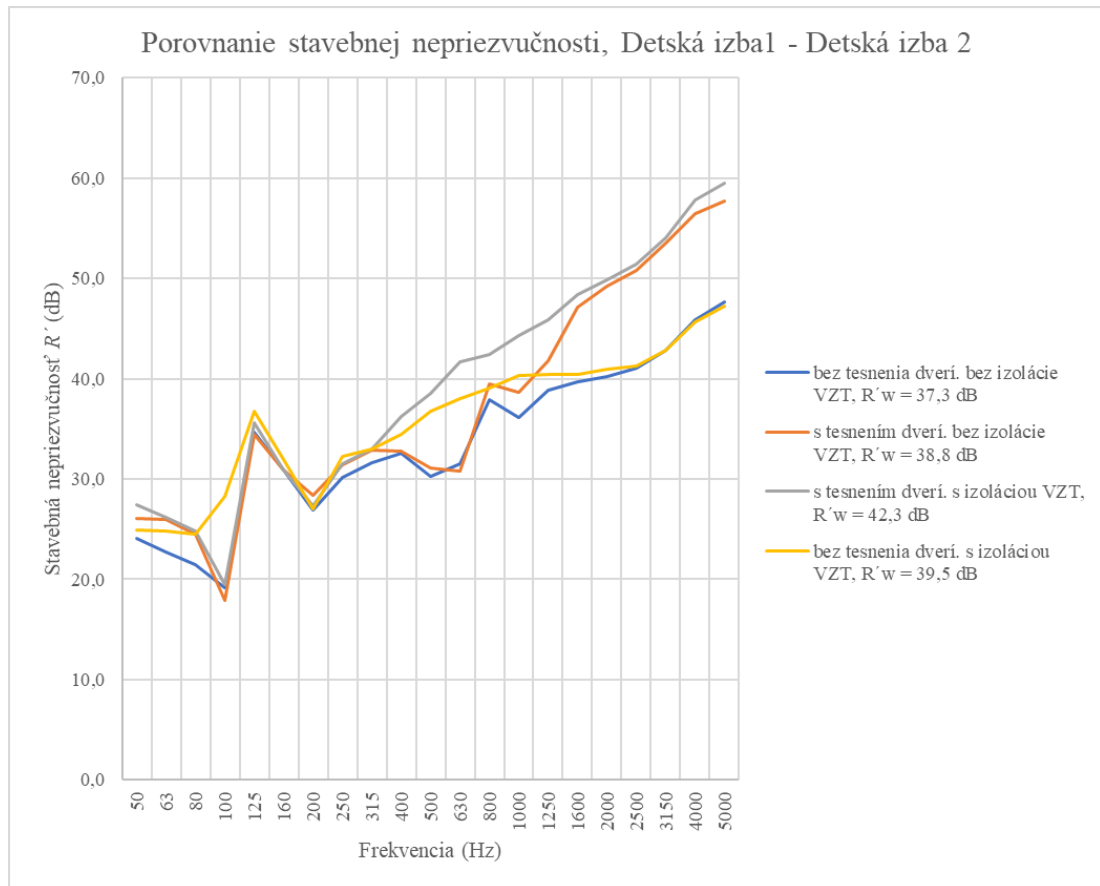
9.5 Postup merania

V byte bolo prevedené meranie vzduchovej nepriezvučnosti a taktiež meranie kročajového zvuku. Meranie bolo prevedené v súlade s normou ČSN EN ISO 16283-1 a ČSN EN ISO 16283-2 pre dve kombinácie miestností zdroja a príjmu. Miestnosťou príjmu bola v oboch prípadoch Detská izba 1, zdrojovou miestnosťou v prvej kombinácii bola Detská izba 2 a v druhej kombinácii Obývací izba (viď. Obr. č. 9.02). Pre každú kombináciu boli zamerané štyri varianty vzduchovej nepriezvučnosti v závislosti od použitého opatrenia na jej zlepšenie, a to konkrétne

- 1. varianta - stávajúci stav (dvere s voľnou prahovou škárou a VZT potrubie bez izolácie)
- 2. varianta - prahová škára utesnená, VZT potrubie bez izolácie
- 3. varianta - prahová škára utesnená, VZT potrubie s izoláciou
- 4. varianta - prahová škára bez tesnenia, VZT potrubie s izoláciou

9.6 Výsledky merania

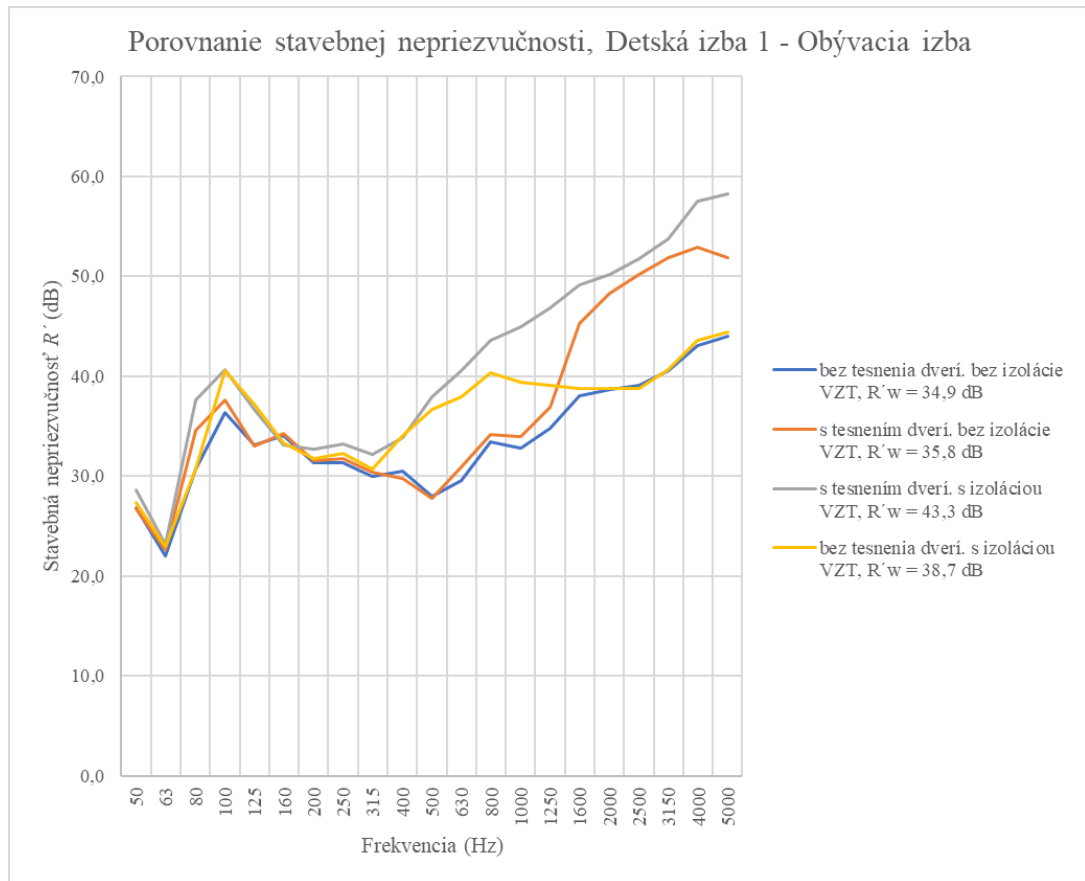
Pre obidve kombinácie miestností platí, že pre stávajúci stav neboli dodržané normové požiadavky. Z výsledkov merania je možné určiť vplyv opatrení na zlepšenie vzduchovej nepriezvučnosti. Obidve opatrenia, tesnenie prahovej škáry a izolácia VZT potrubia, preukázali zlepšenie zvukovej izolácie a zníženie prenosu zvuku do druhej miestnosti. V prípadoch, keď boli dané opatrenia použité súčasne, bolo možné dosiahnuť normové požiadavky. Z tohto zistenia môžeme konštatovať, že nepriamy prenos zvuku má na výslednú kvalitu zvukovej izolácie medzi dvomi miestnosťami veľmi veľký vplyv. Pri porovnaní grafov stavebnej nepriezvučnosti je pri použitých opatreniach možné pozorovať značné zlepšenie zvukovej izolácie najmä v oblasti vyšších kmitočtov.



Obr. 9.10: Porovnanie nameraných hodnôt stavebnej nepriezvučnosti pre dané varianty, Detská izba 1 – Detská izba 2

frekvencia (Hz)	Stavebná nepriezvučnosť R' (dB)			
	bez tesnenia, bez izolácie VZT	s tesnením, bez izolácie VZT	s tesnením, s izoláciou VZT	bez tesnenia, s izoláciou VZT
50	24,1	26,1	27,4	24,9
63	22,7	26,0	26,2	24,8
80	21,5	24,5	24,8	24,5
100	19,2	17,9	19,5	28,3
125	34,7	34,4	35,6	36,7
160	30,9	30,9	30,9	31,9
200	26,9	28,4	27,3	27,0
250	30,1	31,4	31,5	32,2
315	31,6	32,9	33,0	33,0
400	32,6	32,8	36,2	34,4
500	30,3	31,1	38,5	36,7
630	31,5	30,8	41,7	38,0
800	37,9	39,5	42,4	39,1
1000	36,1	38,6	44,3	40,3
1250	38,8	41,8	45,9	40,4
1600	39,7	47,1	48,4	40,4
2000	40,2	49,2	49,9	40,9
2500	41,0	50,8	51,4	41,3
3150	42,8	53,5	54,0	42,8
4000	45,9	56,4	57,8	45,7
5000	47,6	57,7	59,5	47,2
$R'w$ (dB)	37,3	38,8	42,3	39,5

Tab. 9.01: Porovnanie nameraných hodnôt stavebnej nepriezvučnosti pre dané varianty, Detská izba 1 – Detská izba 2



Obr. 9.11: Porovnanie nameraných hodnôt stavebnej nepriezvučnosti pre dané varianty, Detská izba 1 – Obývacia izba

frekvencia (Hz)	Stavebná nepriezvučnosť $R'w$ (dB)			
	bez tesnenia, bez izolácie VZT	s tesnením, bez izolácie VZT	s tesnením, s izoláciou VZT	bez tesnenia, s izoláciou VZT
50	26,8	26,7	28,6	27,3
63	22,0	22,6	23,2	22,9
80	30,7	34,6	37,6	30,7
100	36,4	37,6	40,7	40,5
125	33,1	33,0	36,7	37,2
160	34,1	34,3	33,1	33,3
200	31,3	31,5	32,7	31,7
250	31,3	31,7	33,2	32,3
315	30,0	30,4	32,2	30,7
400	30,5	29,8	33,8	34,1
500	28,0	27,8	37,9	36,7
630	29,6	30,9	40,6	37,9
800	33,4	34,2	43,6	40,3
1000	32,8	33,9	44,9	39,4
1250	34,8	36,9	46,8	39,1
1600	38,0	45,3	49,1	38,8
2000	38,7	48,3	50,2	38,8
2500	39,1	50,2	51,8	38,8
3150	40,5	51,9	53,8	40,7
4000	43,1	52,9	57,5	43,6
5000	44,0	51,9	58,3	44,4
$R'w$ (dB)	34,9	35,8	43,3	38,7

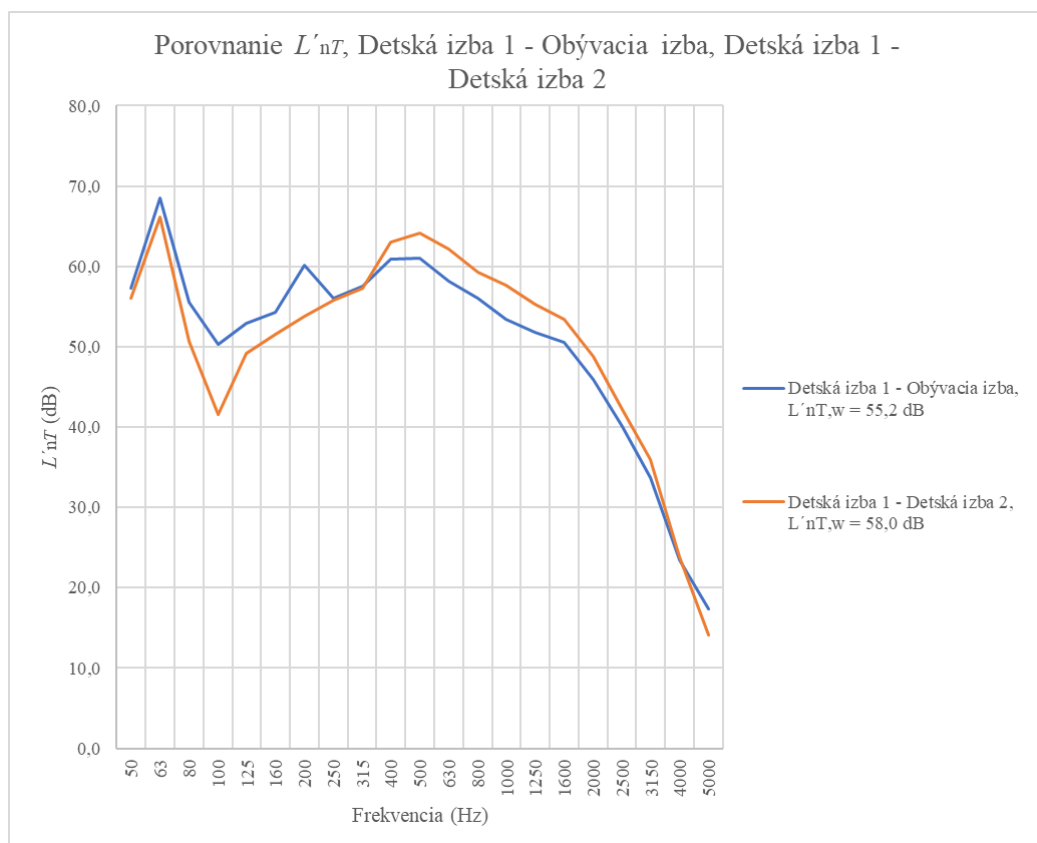
Tab. 9.02: Porovnanie nameraných hodnôt stavebnej nepriezvučnosti pre dané varianty, Detská izba 1 – Obývacia izba

9.7 Kročajový hluk

V rámci akustického merania na stavbe bolo prevedené taktiež meranie kročajového hluku pre obidve kombinácie obytných miestností. Normové požiadavky boli tesne splnené v obidvoch prípadoch. Je nutné podotknúť, že veľký vplyv na výsledky mohol mať aj prenos akustickej energie vzduchom, ktorý v tejto situácii nie je možné vylúčiť. Jeho význam sa mohol ešte zvýšiť práve použitím dverí s vysokou voľnou škárou. Obidve kombinácie miestností boli preto zamerané vo variante s uteseným prahom a vloženou izoláciou vo VZT potrubí. Podľa vyjadrenia zhotoviteľa bol poter v oblasti prahu dverí predelený, čo má pozitívny vplyv na výsledok.



Obr. 9.12: Zdroj kročajového zvuku Nor277



Obr. 9.13: Porovnanie nameraných hodnôt $L'_{nT,w}$ pre dané varianty

frekvencia (Hz)	L'_{nT} (dB)	
	Detská izba 1 - Obývacia izba	Detská izba 1 - Detská izba 2
50	57,3	56,1
63	68,5	66,1
80	55,6	50,7
100	50,3	41,6
125	52,9	49,2
160	54,3	51,6
200	60,1	53,8
250	56,1	55,8
315	57,5	57,3
400	60,9	63,0
500	61,0	64,2
630	58,2	62,1
800	56,0	59,3
1000	53,4	57,7
1250	51,8	55,3
1600	50,5	53,4
2000	45,9	48,8
2500	40,1	42,2
3150	33,7	35,9
4000	23,5	23,9
5000	17,3	14,1
$L'_{nT,w}$ (dB)	55,2	58,0

Tab. 9.03: Porovnanie nameraných hodnôt $L'_{nT,w}$ pre dané varianty

9.8 Výpočet nepriameho prenosu pre zmerané miestnosti

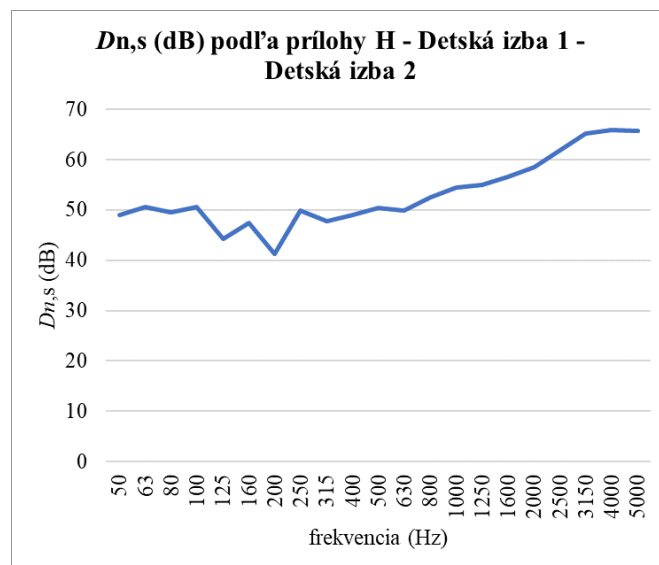
Za účelom zistenia vplyvu nepriameho prenosu zvuku chodbou boli pre tieto dve kombinácie miestností prevedené výpočty podľa prílohy H normy ČSN EN ISO 12354-1 a taktiež simulácia v programe Odeon. Kľúčový pre správny výpočet je dostatok podkladov a informácií o použitých materiáloch, ich nepriezvučnosti a pohltivosti povrchov. Nakoľko bola pri akustickom meraní na stavbe zmeraná doba dozvuku chodby a miestnosti príjmu, bolo možné spočítať pohltivosti miestnosti a na ich základe veľmi presne odhadnúť pohltivosti povrchových materiálov. Vo výpočtoch boli použité laboratórne hodnoty nepriezvučnosti pre priečku z tehál Porotherm 11,5 AKU, poskytnuté výrobcom. Ako veľmi problematické sa ukázalo získať potrebné hodnoty pre interiérové dvere. Veľká časť výrobcov interiérových dverí pri svojich výrobkoch neuvádza hodnoty vzduchovej nepriezvučnosti, respektíve ich uvádza len pre interiérové dvere slúžiace ako akustické dvere. Podobne to bolo aj v tomto prípade, kde boli použité hladké dvere DEXTŮRA bez prahu. Výrobca tieto hodnoty pri interiérových dverách neuvádza a po jeho oslovení výrobca uviedol, že pre tento typ dverí neboli prevedené žiadne akustické merania. Podobná situácia nastala aj pri oslovení ďalších dodávateľov interiérových dverí. Pre potreby výpočtu boli použité interiérové dvere od výrobcu, ktorý tieto hodnoty uvádza a ktorý taktiež poskytol hodnoty z akustického merania týchto dverí. Vybraný typ dverí svojim typom, materiálom a konštrukciou predstavuje obdobný výrobok ako dvere v projekte. Ich plošná hmotnosť je približne zhodná ($16,5 \text{ kg/m}^2$) a taktiež boli zmerané bez prahu. Ich vážená nepriezvučnosť je 23 dB, je nutné ale predpokladať, že táto hodnota je v skutočnosti ešte oveľa nižšia vplyvom veľmi vysokej voľnej prahovej škáry.

9.8.1 Výpočet podľa prílohy H

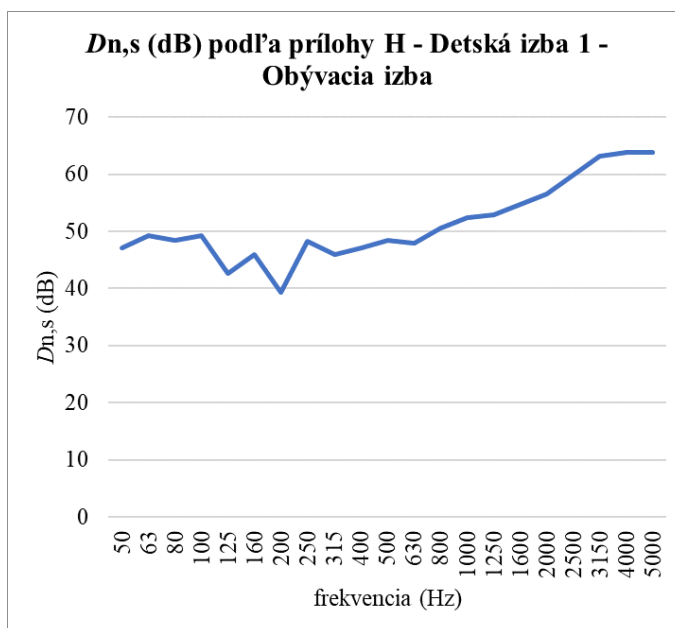
Pri výpočte podľa prílohy H sa postupovalo rovnako ako v rovnakých výpočtoch v kapitole č. 8. Na základe vypočítaných $D_{n,s}$ bolo taktiež možné vypočítať zmenu výslednej stavebnej nepriezvučnosti podľa vzťahov uvedených v rovnakej kapitole.

$D_{n,s}$ - Detská izba 1 - Detská izba 2				
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	τ_{Dd}	τ_s	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	48,95	0,0000813	0,0000113	0,57
63	50,68	0,0004074	0,0000076	0,08
80	49,61	0,0007762	0,0000097	0,05
100	50,56	0,0006166	0,0000078	0,05
125	44,20	0,0006761	0,0000338	0,21
160	47,44	0,0005248	0,0000160	0,13
200	41,24	0,0003467	0,0000668	0,77
250	49,87	0,0003715	0,0000092	0,11
315	47,77	0,0001862	0,0000149	0,33
400	48,97	0,0000741	0,0000112	0,61
500	50,39	0,0000468	0,0000081	0,69
630	49,96	0,0000324	0,0000090	1,06
800	52,51	0,0000219	0,0000050	0,89
1000	54,42	0,0000132	0,0000032	0,95
1250	54,95	0,0000105	0,0000028	1,04
1600	56,62	0,0000068	0,0000019	1,09
2000	58,57	0,0000049	0,0000012	0,98
2500	61,84	0,0000036	0,0000006	0,64
3150	65,13	0,0000024	0,0000003	0,47
4000	65,86	0,0000012	0,0000002	0,75
5000	65,77	0,0000019	0,0000002	0,49
$R_w = 47$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)				
$D_{n,s,w} = 54,4$ dB				
$R'w = 46,35$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)				
$R'w = 46,4$ dB (s vplyvom chodby)				

Tab. 9.04: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou, Detská izba 1 – Detská izba 2



Obr. 9.14: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa prílohy H, Detská izba 1 – Detská izba 2



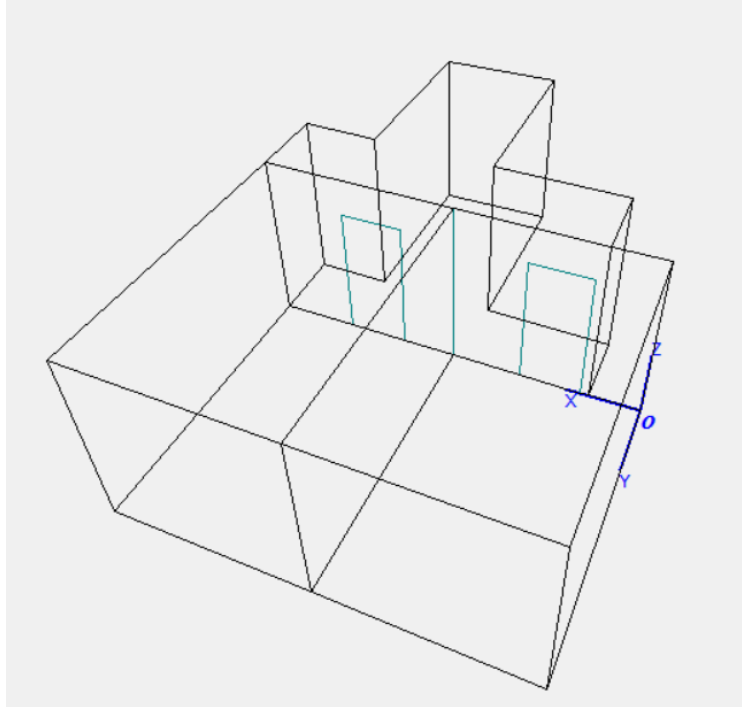
Obr. 9.15: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa prílohy H, Detská izba 1 – Obývacia izba

$D_{n,s}$ - Detská izba 1 - Obývacia izba				
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	τ_{Dd}	τ_s	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	47,06	0,0000813	0,0000148	0,73
63	49,18	0,0004074	0,0000091	0,10
80	48,50	0,0007762	0,0000106	0,06
100	49,29	0,0006166	0,0000089	0,06
125	42,58	0,0006761	0,0000416	0,26
160	45,89	0,0005248	0,0000194	0,16
200	39,39	0,0003467	0,0000868	0,97
250	48,28	0,0003715	0,0000112	0,13
315	45,93	0,0001862	0,0000193	0,43
400	47,05	0,0000741	0,0000149	0,79
500	48,44	0,0000468	0,0000108	0,90
630	48,00	0,0000324	0,0000120	1,37
800	50,54	0,0000219	0,0000067	1,15
1000	52,44	0,0000132	0,0000043	1,23
1250	52,97	0,0000105	0,0000038	1,35
1600	54,64	0,0000068	0,0000026	1,41
2000	56,58	0,0000049	0,0000017	1,26
2500	59,86	0,0000036	0,0000008	0,84
3150	63,14	0,0000024	0,0000004	0,62
4000	63,87	0,0000012	0,0000003	0,97
5000	63,79	0,0000019	0,0000003	0,65
$R_w = 47$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)				
$D_{n,s,w} = 52,4$ dB				
$R'_{w} = 46,14$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)				
$R_w = 46,2$ dB (s vplyvom chodby)				

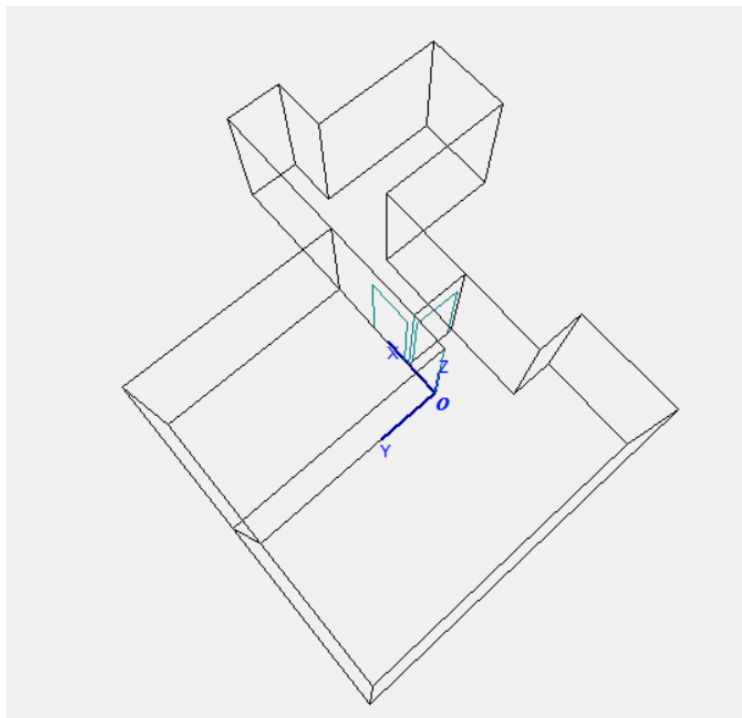
Tab. 9.05: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou, Detská izba 1 – Obývacia izba

9.8.2 Výpočet v programe Odeon

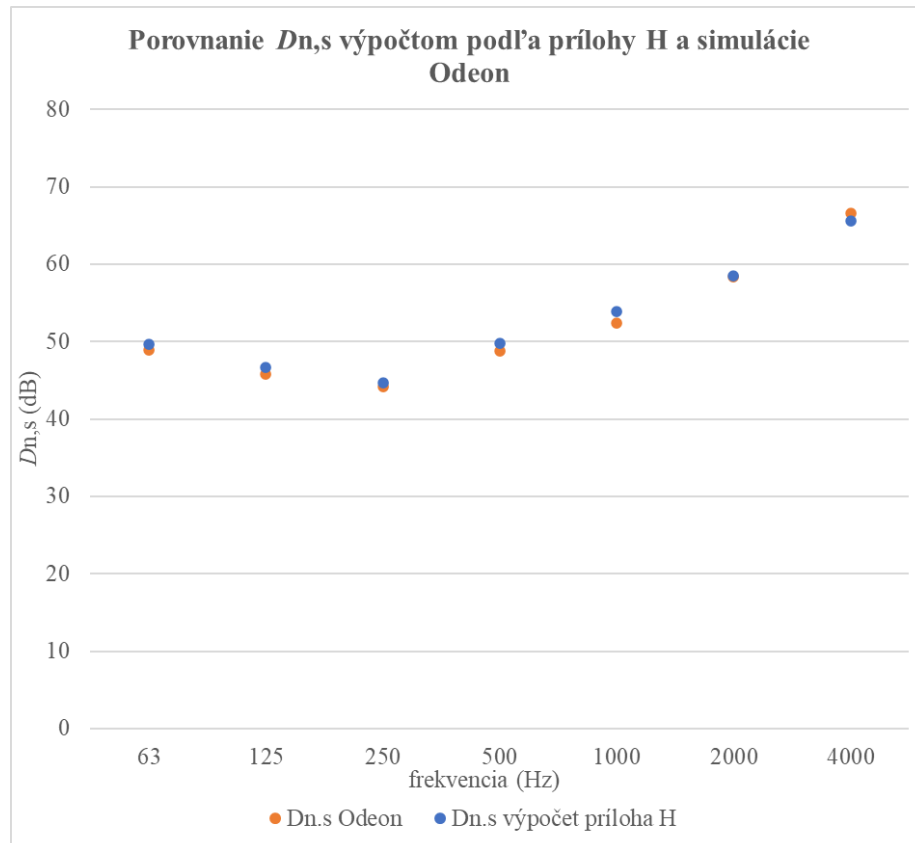
Nakoľko sa jedná o komplexnejšiu geometriu chodby ako v predchádzajúcich príkladoch, je vhodné zvýšiť počet použitých lúčov v simulácii. Tým sa zabezpečí dostatok odrazených lúčov do miestnosti príjmu a tým aj presnejší výsledok výpočtu.



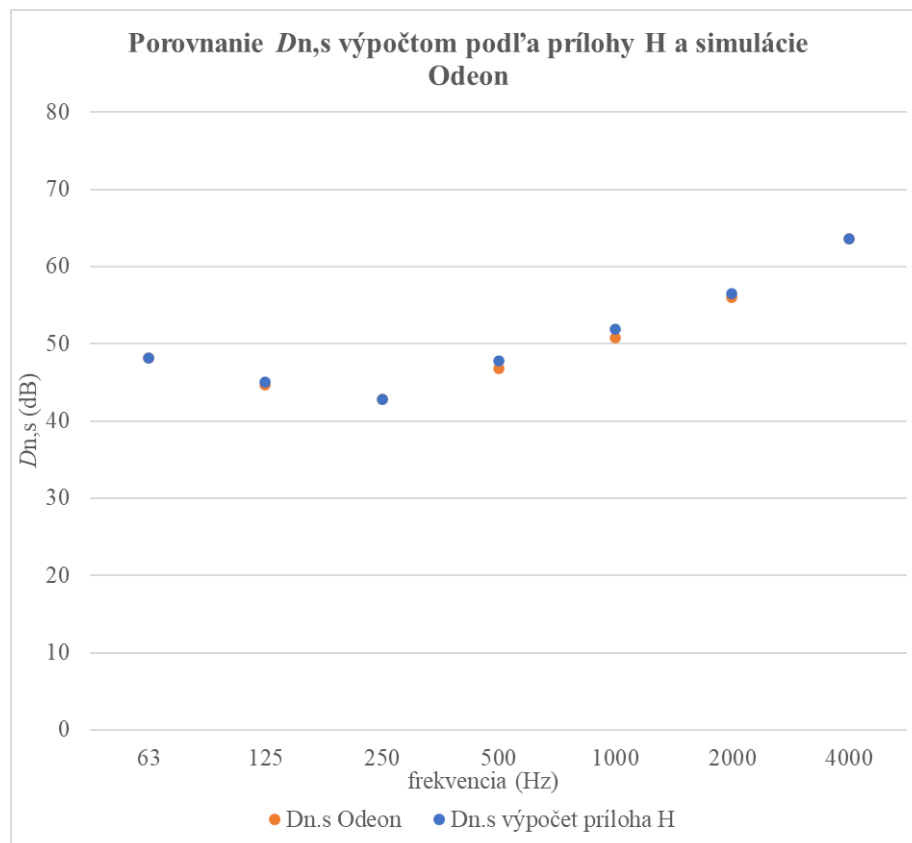
Obr. 9.16: Model Odeon pre kombináciu Detská izba 1 – Detská izba 2



Obr. 9.17: Model Odeon pre kombináciu Detská izba 1 – Obývacía izba



Obr. 9.18: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon a porovnanie s prílohou H, Detská izba 1 – Detská izba 2



Obr. 9.19: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon a porovnanie s prílohou H, Detská izba 1 – Obývacía izba

9.8.3 Porovnanie

Ako je možné vidieť v tabuľke č. 9.06 a č. 9.07, v oboch prípadoch boli dosiahnuté podobné výsledky pre výpočty podľa normy a softvéru. Z toho je možné opäť konštatovať vhodnosť modelovania v tomto programe za účelom výpočtu nepriameho prenosu zvuku chodbou. Taktiež pri porovnaní obidvoch kombinácií miestností (tabuľka č. 9.08) je možné pozorovať zvýšený prenos zvuku chodbou pri situácii, kedy sú dvere na seba v kolmej polohe oproti situácii, kedy sú dvere paralelne. To odpovedá prístupu normy pri výpočte podľa prílohy H, kde sa pre takéto umiestnenie dverí počíta s korekčným činiteľom $C_{doorposition}$. Vplyvom nepriameho prenosu zvuku chodbou došlo k zhoršeniu nepriezvučnosti steny. V skutočnosti je toto zhoršenie na základe meraní ešte výraznejšie. Okrem bočného prenosu zvuku príľahlými konštrukciami je to najmä vplyvom voľnej prahovej škáry a taktiež prenosom zvuku vzduchotechnickým systémom. Práve veľká výška prahovej škáry (2 cm) má zjavný vplyv na výrazné zníženie nepriezvučnosti dverí a tým aj na celkový prenos zvuku chodbou. Uvažovaná nepriezvučnosť dverí 23 dB sa teda ukázala ako vysoká. Ďalej vloženie minerálnej izolácie do VZT potrubia bolo možné túto cestu šírenia výrazne potlačiť, čo ukazuje meranie, ale nie úplne potlačiť. Nakoľko nebolo u tohto provizórneho riešenia možné určiť kvalitu zvukovej izolácie, nebola táto prenosová cesta zahrnutá do výpočtového modelu. Vylúčenie týchto vplyvov bolo možné dosiahnuť až pri meraní v laboratóriu, ktoré je bližšie popísané v kapitole číslo 10.

Porovnanie $D_{n,s}$ - Detská izba 1 - Obývacia izba			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) príloha H	$D_{n,s}$ (dB) Odeon	rozdiel (dB)
63	48,16	48,16	0,00
125	45,10	44,69	0,40
250	42,85	42,85	0,00
500	47,79	46,79	1,00
1000	51,85	50,73	1,12
2000	56,53	56,03	0,50
4000	63,59	63,61	-0,02

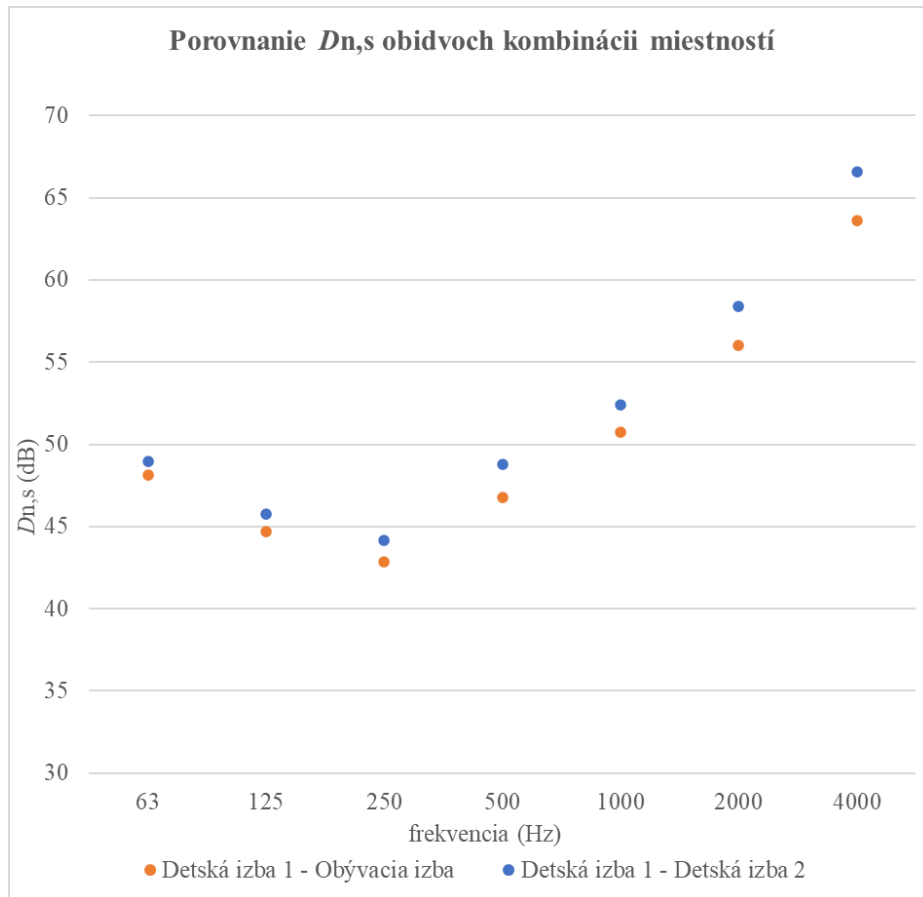
Tab. 9.06: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa prílohy H a podľa programu Odeon, Detská izba 1 – Obývacia izba;

Porovnanie $D_{n,s}$ - Detská izba 1 - Detská izba 2			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) príloha H	$D_{n,s}$ (dB) Odeon	rozdiel (dB)
63	49,69	48,95	0,74
125	46,65	45,77	0,88
250	44,67	44,13	0,54
500	49,74	48,78	0,95
1000	53,83	52,43	1,39
2000	58,52	58,40	0,12
4000	65,57	66,58	-1,01

Tab. 9.07: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa prílohy H a podľa programu Odeon, Detská izba 1 – Detská izba 2;

Porovnanie $D_{n,s}$ obidvoch kombinácií miestností - Odeon			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) Detská izba 1 - Obývacia izba	$D_{n,s}$ (dB) Detská izba 1 - Detská izba 2	rozdiel (dB)
63	48,16	48,95	0,79
125	44,69	45,77	1,08
250	42,85	44,13	1,28
500	46,79	48,78	1,99
1000	50,73	52,43	1,70
2000	56,03	58,40	2,36
4000	63,61	66,58	2,98

Tab. 9.08: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon pre obidve kombinácie miestností



Obr. 9.20: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa programu Odeon pre obidve kombinácie miestností

10. Meranie v laboratóriu

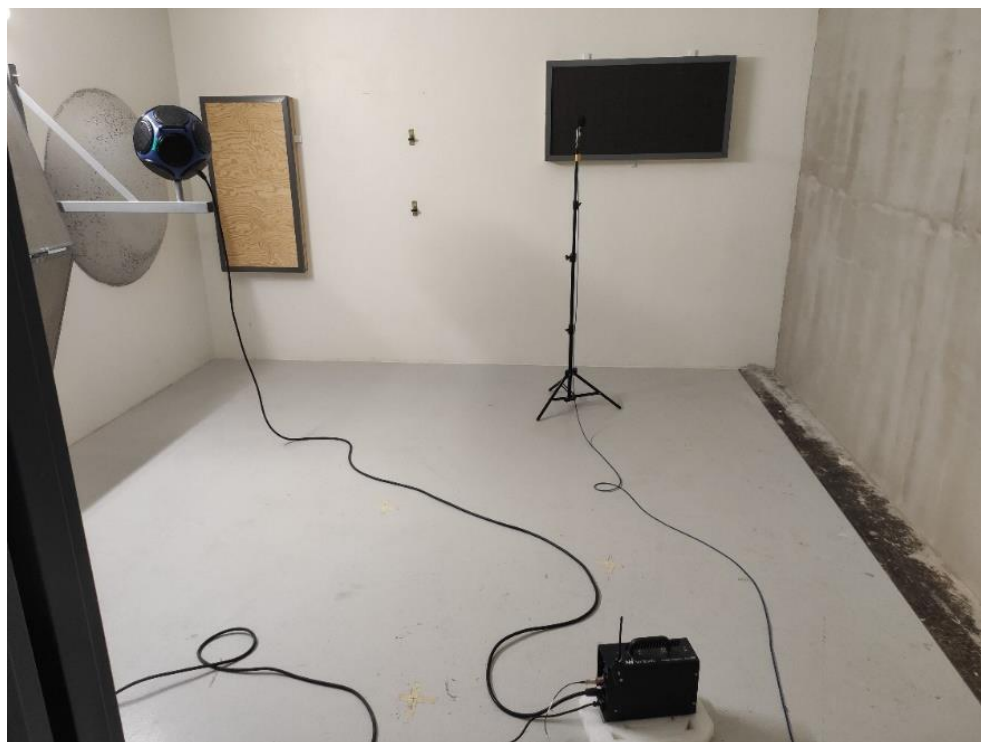
Meranie bolo uskutočnené v akustickom laboratóriu UCEEB ČVUT v Buštěhrade. Bočné prvky komôr sú od seba akusticky oddelené, čím sa vylučuje bočný prenos hluku. Práve skutočnosť, že sa na prenose zvuku podieľa len priama cesta cez deliaci prvok bola hlavným predpokladom pre tento experiment. Nakoľko vstup do oboch komôr tvoria dvojité akustické dvere s veľmi vysokou nepriezvučnosťou vedúce zo spoločnej chodby, ich úplným otvorením vzniká druhá cesta pre šírenie zvuku. Na prenose zvuku z jednej komory do druhej sa teda v tom prípade podieľajú dve cesty, a to priamy prenos zvuku cez deliaci prvok a nepriamy prenos zvuku vzduchom cez spoločnú chodbu.

10.1 Meracie prístroje

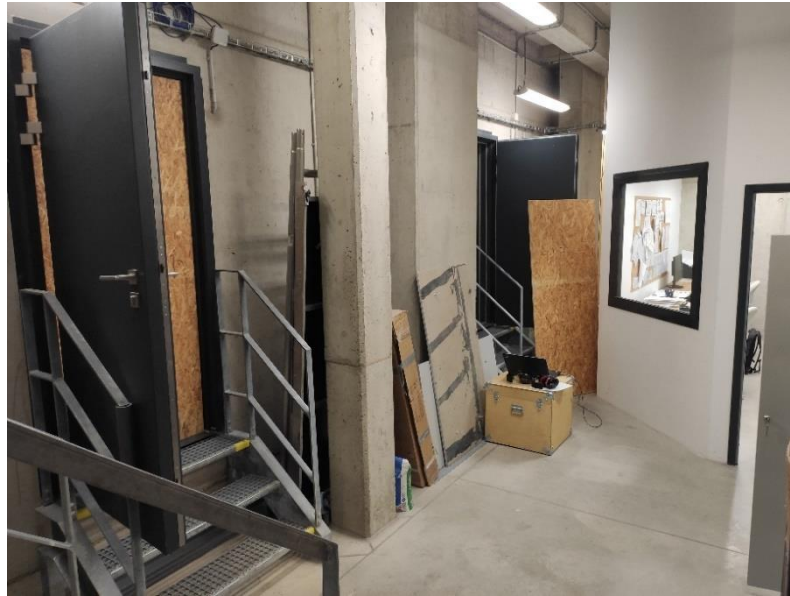
Pre toto akustické meranie boli použité rovnaké nástroje ako pri meraní na stavbe. Ich bližší popis sa nachádza v kapitole č. 9.

10.2 Akustické komory

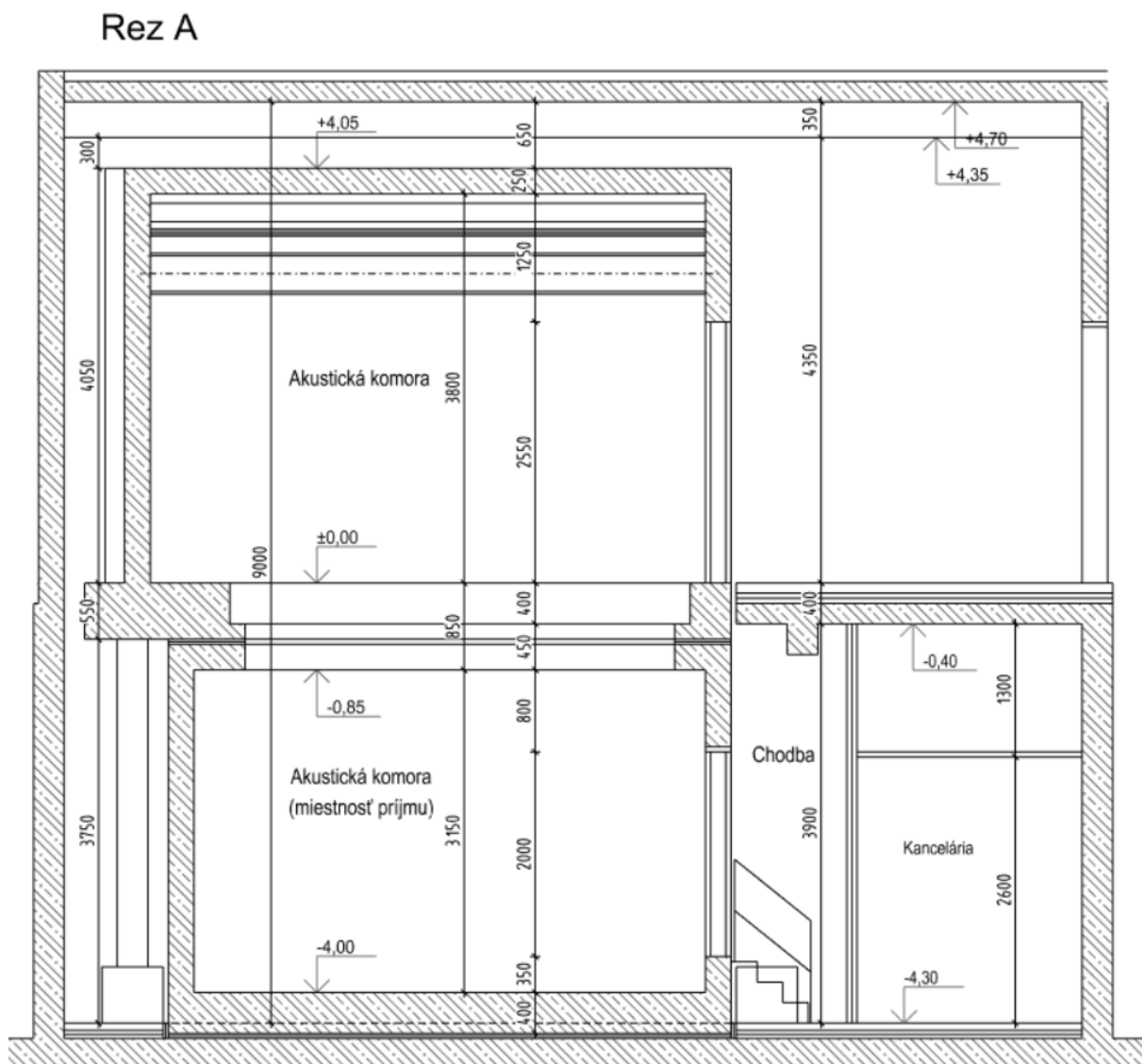
Väčšia z dvojice akustických komôr slúžila ako zdrojová miestnosť. Jej rozmery sú 4,4 x 5 x 3,15 m. Deliacia priečka bola dvojitá murovaná konštrukcia z vápenopieskových tehál so vzduchovou medzerou s vloženým poréznym pohlcovačom z minerálnych vlákien. Plocha deliacej konštrukcie bola 5x3,15 m. Druhá akustická komora mala objem 68 m³. Vchod do oboch komôr je zo spoločnej chodby. Nákres situácie je na obrázku č. 10.05.



Obr. 10.01: Akustická komora – zdrojová miestnosť



Obr. 10.02: Spojovacia chodba pred komorami



Obr. 10.03: Rez A cez akustické laboratórium

10.3 Postup merania

Meranie obsahovalo niekoľko variant. Základnou úlohou bolo zistenie laboratórnej nepriezvučnosti deliacej priečky, teda bez vplyvu bočného prenosu. V ďalšom kroku boli dvere nahradené materiálom s nižšou nepriezvučnosťou. V tomto prípade šlo o dosku OSB, hrúbky 15 mm, priebeh jej nepriezvučnosti sa nachádza na obrázku č. 10.09. Toto zníženie nepriezvučnosti dverového otvoru malo za následok šírenie akustickej energie do spoločnej chodby, čím sa do prenosu zvuku zapojila nepriama cesta vzduchom. Následne bol skúmaný vplyv škáry dverí na zvýšenie nepriameho prenosu zvuku. Skrátením dĺžky dosky OSB bola vytvorená škára medzi hornou hranou dosky a zárubňou s výškou 1 cm, čo predstavuje prípad interiérových dverí bez prahu. Nakoniec bola zmeraná varianta s prázdny dverným otvorom. Pre potreby výpočtov bola taktiež zmeraná doba dozvuku v chodbe.



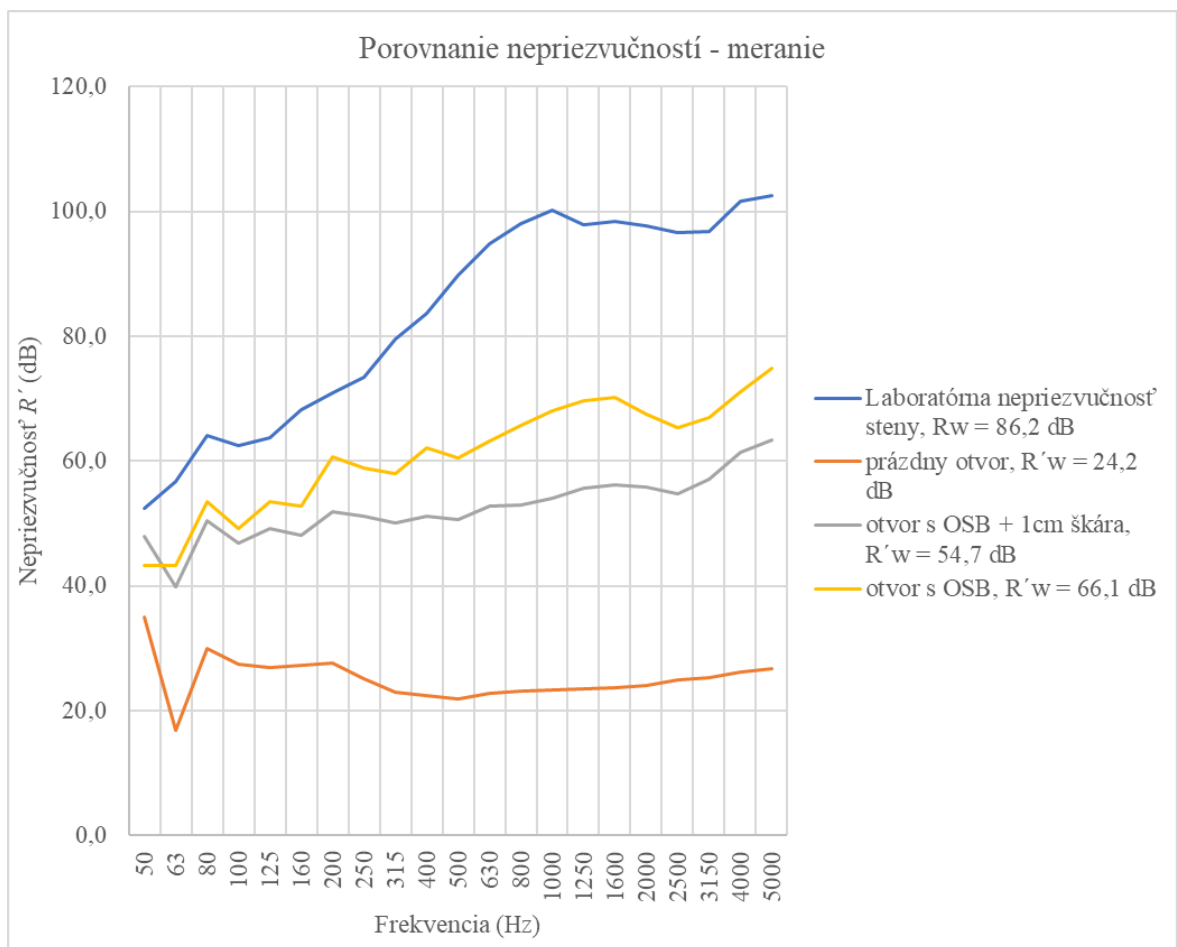
Obr. 10.06: Škára v OSB doske



Obr. 10.07: OSB doska ako výplň dverového otvoru

10.4 Výsledky merania

Laboratórna nepriezvučnosť deliacej priečky dosiahla pri meraní veľmi vysokej hodnoty 86,2 dB. To znamená, že len veľmi malá časť akustickej energie sa v tomto prípade prenáša priamou cestou cez deliacu konštrukciu. Z toho vyplýva veľmi vysoké riziko zhoršenia výslednej nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu zvuku chodbou, ako sa už ukázalo na výpočtoch v kapitole č. 8. To sa potvrdilo pri ďalších meraniach, kde výplň dverového otvoru tvorila OSB doska s $R_w = 25$ dB. Vplyvom nepriameho prenosu došlo k výraznému zhoršeniu výslednej nepriezvučnosti oproti laboratórnej hodnote. Ešte k väčšiemu poklesu došlo pri použití OSB dosky so škárou. Tým sa potvrdilo tvrdenie o veľkom vplyve tesnosti dverí a vyhotovenia prahovej škáry na výslednú nepriezvučnosť a taktiež na nepriamy prenos zvuku. Vyplýva z toho aj riziko nesplnenia normových požiadaviek pri použití dverí bez prahového tesnenia. Pri meraní varianty s prázdny dverným otvorom došlo k situácii, kedy sa nepriamy prenos stal dominantnou cestou pri šírení zvuku.



Obr. 10.08: Porovnanie nepriezvučnosti pre dané varianty merania

frekvencia (Hz)	Stavebná nepriezvučnosť R' (dB)			
	dvere zatvorené	dvere otvorené	OSB s 1 cm škárou	OSB
50	52,4	35,0	48,0	43,2
63	56,7	16,8	39,8	43,3
80	64,0	29,9	50,5	53,5
100	62,4	27,5	46,9	49,1
125	63,8	26,9	49,2	53,4
160	68,3	27,2	48,1	52,7
200	70,9	27,7	51,9	60,6
250	73,4	25,1	51,2	58,9
315	79,5	22,9	50,1	57,9
400	83,7	22,5	51,2	62,1
500	89,8	21,9	50,6	60,5
630	94,8	22,8	52,7	63,2
800	98,1	23,1	52,9	65,7
1000	100,1	23,4	54,1	68,0
1250	97,9	23,5	55,7	69,6
1600	98,4	23,7	56,2	70,2
2000	97,7	24,0	55,9	67,5
2500	96,6	24,9	54,8	65,3
3150	96,8	25,3	57,0	66,9
4000	101,7	26,1	61,3	71,1
5000	102,5	26,7	63,3	74,8
$R'w$ (dB)	86,2	24,2	54,7	66,1

Tab. 10.01: Porovnanie nepriezvučnosti pre dané varianty merania

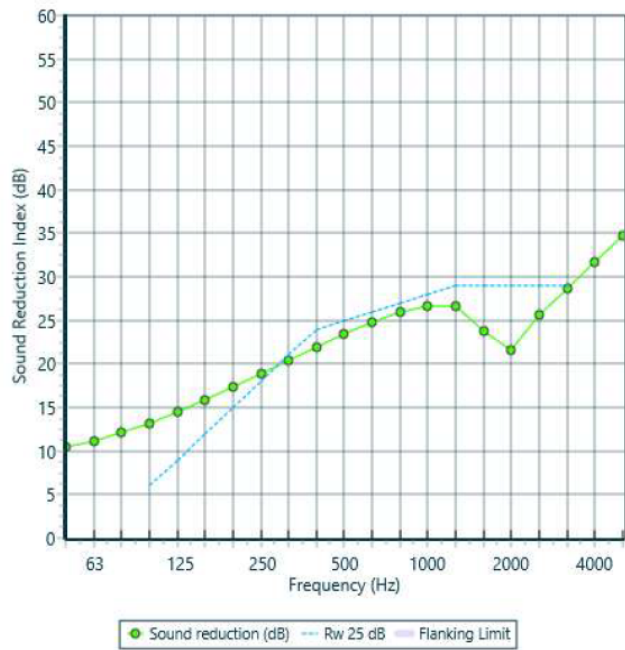
10.5 Výpočet nepriameho prenosu v laboratóriu UCEEB

Vplyv nepriameho prenosu zvuku chodbou bol taktiež vypočítaný podľa prílohy H normy ČSN EN ISO 12354-1 a taktiež na základe simulácie v programe Odeon. Pri akustickom meraní v laboratóriu bola zameraná doba dozvuku chodby a miestnosti príjmu, bolo teda možné spočítať pohltivosť miestnosti a na ich základe odhadnúť pohltivosť povrchových materiálov. Priemerná pohltivosť povrchov v miestnosti odpovedá vlastnostiam betónu.

10.5.1 Výpočet podľa prílohy H

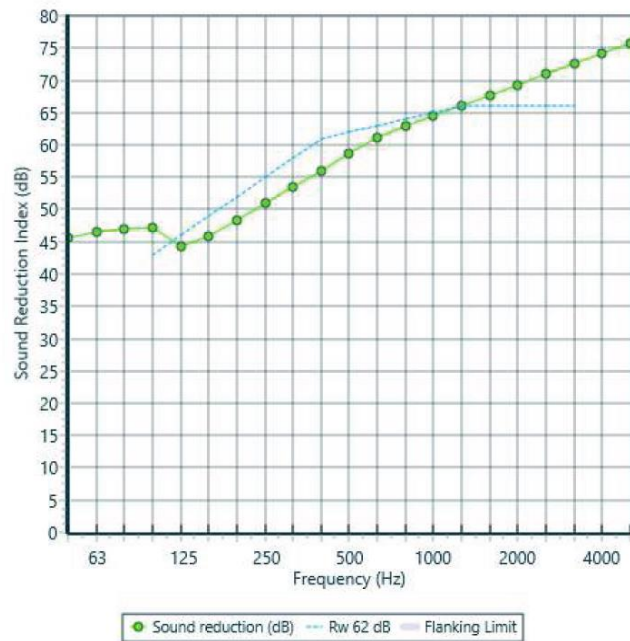
Pre výpočty podľa normy ČSN EN ISO 12354-1 prílohy H sa použil rovnaký postup ako v predchádzajúcich kapitolách. Aj v tomto prípade bolo na základe vypočítaných $D_{n,s}$ možné vypočítať zmenu výslednej stavebnej nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu zvuku.

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	10	
63	11	11
80	12	
100	13	
125	15	14
160	16	
200	17	
250	19	19
315	20	
400	22	
500	23	23
630	25	
800	26	
1000	27	26
1250	27	
1600	24	
2000	22	23
2500	26	
3150	29	
4000	32	31
5000	35	

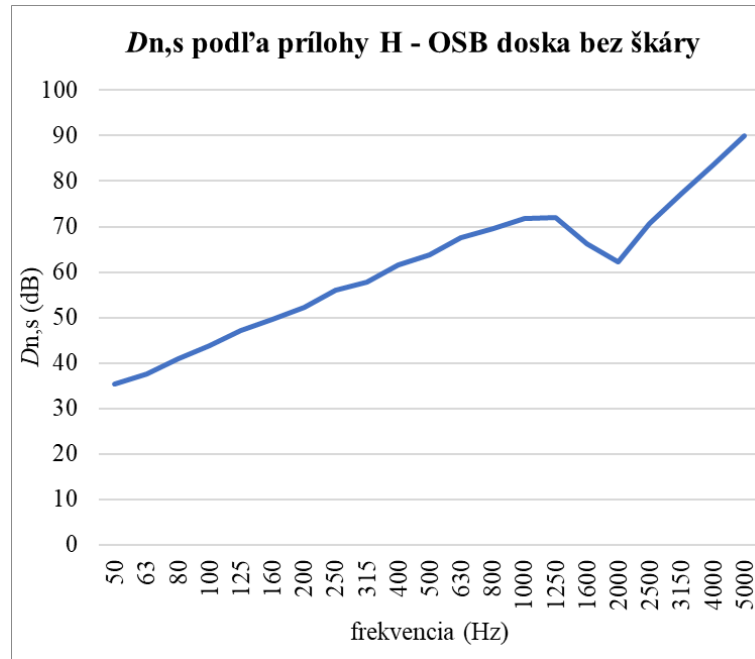


Obr. 10.09: Nepriezvučnosť OSB dosky, $R_w = 25$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL)

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	46	
63	46	46
80	47	
100	47	
125	44	46
160	46	
200	48	
250	51	50
315	53	
400	56	
500	59	58
630	61	
800	63	
1000	65	64
1250	66	
1600	68	
2000	69	69
2500	71	
3150	73	
4000	74	74
5000	76	

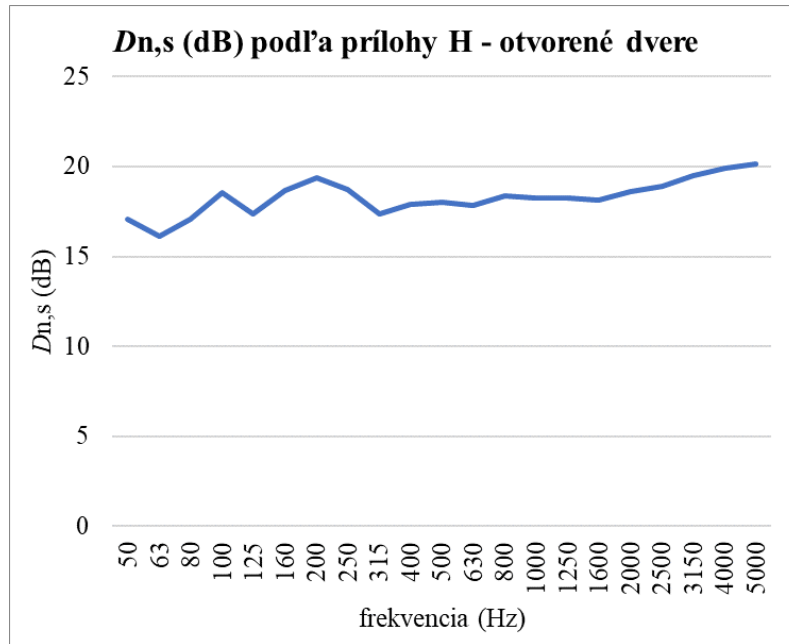


Obr. 10.10: Nepriezvučnosť betónovej steny, $R_w = 62$ dB (hodnota vypočítaná v programe INSUL)

Obr. 10.11: $D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H - OSB doska bez škáry

$D_{n,s}$ - dvere s OSB bez škáry						
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	R (dB)	τ_{Dd}	τ_s	R' (dB)	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	35,46	52,4	0,0000057544	0,0001804593	37,30	15,10
63	37,52	56,7	0,0000021380	0,0001123822	39,41	17,29
80	41,02	64	0,0000003981	0,0000501710	42,96	21,04
100	43,81	62,4	0,0000005754	0,0000264120	45,69	16,71
125	47,23	63,8	0,0000004169	0,0000120132	49,06	14,74
160	49,50	68,3	0,0000001479	0,0000071224	51,38	16,92
200	52,30	70,9	0,0000000813	0,0000037391	54,18	16,72
250	56,08	73,4	0,0000000457	0,0000015652	57,93	15,47
315	57,73	79,5	0,0000000112	0,0000010699	59,66	19,84
400	61,54	83,7	0,0000000043	0,0000004454	63,47	20,23
500	63,78	89,8	0,0000000010	0,0000002657	65,74	24,06
630	67,55	94,8	0,0000000003	0,0000001116	69,51	25,29
800	69,46	98,1	0,0000000002	0,0000000720	71,42	26,68
1000	71,72	100,1	0,0000000001	0,0000000427	73,68	26,42
1250	71,97	97,9	0,0000000002	0,0000000404	73,92	23,98
1600	66,19	98,4	0,0000000001	0,0000001525	68,16	30,24
2000	62,16	97,7	0,0000000002	0,0000003863	64,13	33,57
2500	70,63	96,6	0,0000000002	0,0000000549	72,59	24,01
3150	77,26	96,8	0,0000000002	0,0000000119	79,16	17,64
4000	83,56	101,7	0,0000000001	0,0000000028	85,43	16,27
5000	89,88	102,5	0,0000000001	0,0000000007	91,49	11,01
$R_w = 86,2$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)						
$D_{n,s,w} = 65,4$ dB						
$R'w = 67,3$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)						
$R'w = 67,2$ dB (s vplyvom chodby)						

Tab. 10.02: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou, dvere s OSB bez škáry

Obr. 10.12: $D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H – prázdne dvere

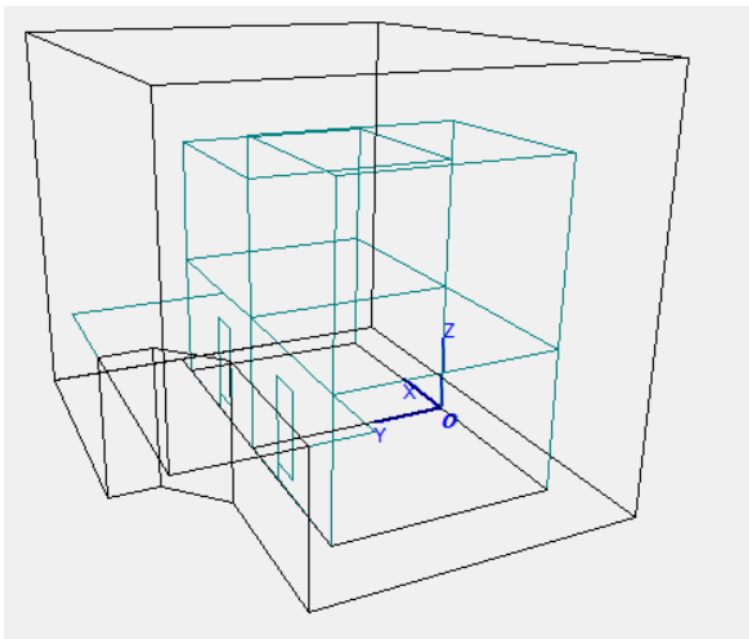
$D_{n,s}$ - otvorené dvere						
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) podľa prílohy H	R (dB)	τ_{Dd}	τ_s	R' (dB)	zhoršenie R vplyvom chodby (dB)
50	17,05	52,4	0,0000057544	0,0125318650	19,02	33,38
63	16,15	56,7	0,0000021380	0,0154238339	18,12	38,58
80	17,08	64	0,0000003981	0,0124432699	19,05	44,95
100	18,56	62,4	0,0000005754	0,0088504948	20,53	41,87
125	17,39	63,8	0,0000004169	0,0115704127	19,37	44,43
160	18,64	68,3	0,0000001479	0,0086759065	20,62	47,68
200	19,36	70,9	0,0000000813	0,0073603566	21,33	49,57
250	18,73	73,4	0,0000000457	0,0084984562	20,71	52,69
315	17,36	79,5	0,0000000112	0,0116520125	19,34	60,16
400	17,92	83,7	0,0000000043	0,0102498840	19,89	63,81
500	17,99	89,8	0,0000000010	0,0100744839	19,97	69,83
630	17,81	94,8	0,0000000003	0,0105124320	19,78	75,02
800	18,35	98,1	0,0000000002	0,0092859409	20,32	77,78
1000	18,23	100,1	0,0000000001	0,0095487242	20,20	79,90
1250	18,27	97,9	0,0000000002	0,0094611120	20,24	77,66
1600	18,11	98,4	0,0000000001	0,0098115100	20,08	78,32
2000	18,60	97,7	0,0000000002	0,0087602725	20,57	77,13
2500	18,92	96,6	0,0000000002	0,0081470478	20,89	75,71
3150	19,52	96,8	0,0000000002	0,0070958127	21,49	75,31
4000	19,91	101,7	0,0000000001	0,0064825933	21,88	79,82
5000	20,15	102,5	0,0000000001	0,0061321815	22,12	80,38

$R_w = 86,2$ dB (laboratórna nepriezvučnosť steny)
 $D_{n,s,w} = 19,0$ dB
 $R'_w = 20,97$ dB (s vplyvom chodby - zjednodušený model)
 $R'_w = 21,0$ dB (s vplyvom chodby)

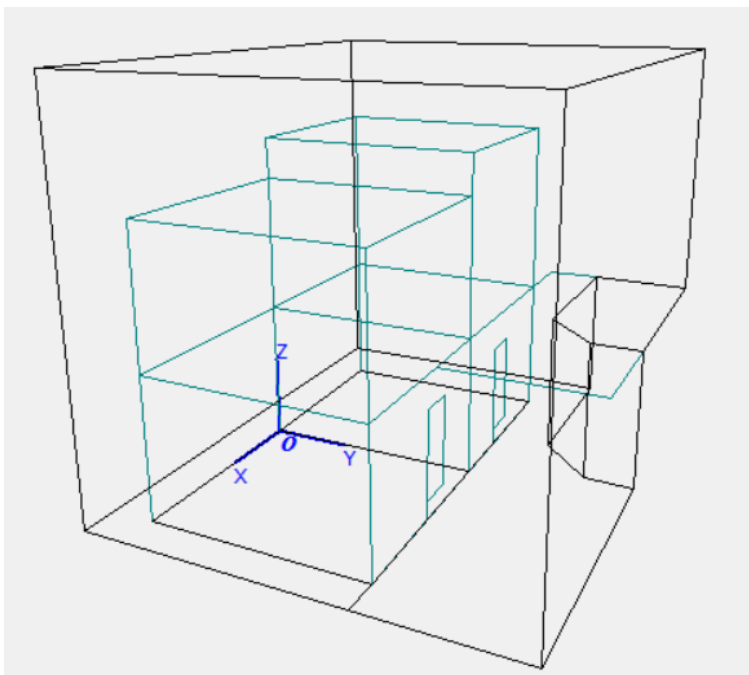
Tab. 10.03: $D_{n,s}$ podľa prílohy H, vyjadrenie činiteľov priezvučnosti a následné zhoršenie nepriezvučnosti vplyvom nepriameho prenosu chodbou, otvorené dvere

10.5.2 Výpočet v programe Odeon

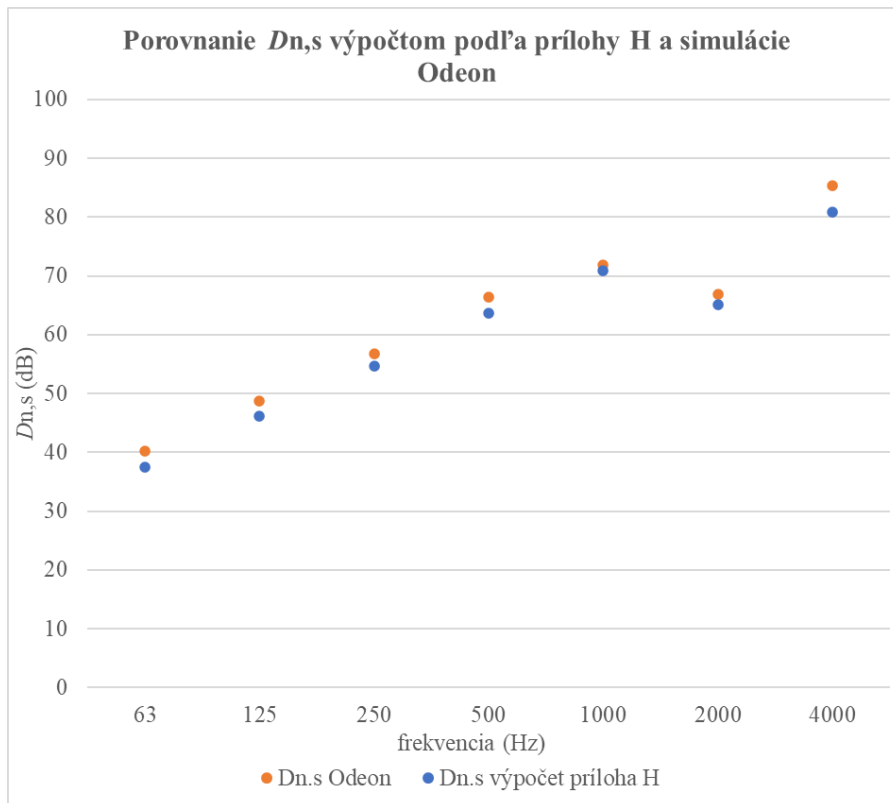
Podobne ako v prípade modelu akustického merania na stavbe, sa jedná o komplexnejšiu geometriu spoločného priestoru. Je preto vhodné zvýšiť počet použitých lúčov v simulácií a taktiež zvýšiť presnosť výpočtu programu zmenou nastavenia programu z presnosti Engineering na Laboratory. Tým sa zabezpečí dostatok odrazených lúčov do miestnosti príjmu a tým aj presnejší výsledok výpočtu. Pri použití nižšieho počtu lúčov program v tomto prípade neposkytoval požadované výsledky. Model akustických komôr spolu s okolitou miestnosťou sa nachádza na obrázku č. 10.13 a 10.14 Horné dve komory boli vymodelované zjednodušene s obdĺžnikovým pôdorysom, nakoľko horné podlažie pri nepriamom prenose nemalo taký dôležitú úlohu ako povrchy spodného podlažia, v ktorom sa akustická energia priamo odrážala do miestnosti príjmu. V porovnaní s predchádzajúcimi modelmi bolo nutné zohľadniť existenciu vybavenia laboratória, ako napríklad skrine, ktoré priamo ovplyvňovali smer šírenia zvuku a jeho odrazov. Možné to bolo zmenou nastavenia rozptylu odrazu zvuku na povrchoch materiálov (Scattering) na vyššie hodnoty, čo znamená, že menšia časť zvukovej energie dopadajúcej na povrch materiálu sa odrazí zrkadlovo.



Obr. 10.13: Model ODEON akustického laboratória



Obr. 10.14: Model ODEON akustického laboratória



Obr. 10.15: Výpočet normovaného rozdielu hladín pre nepriamy prenos vzduchom podľa programu Odeon a porovnanie s prílohou H, dvere s OSB

10.5.3 Porovnanie

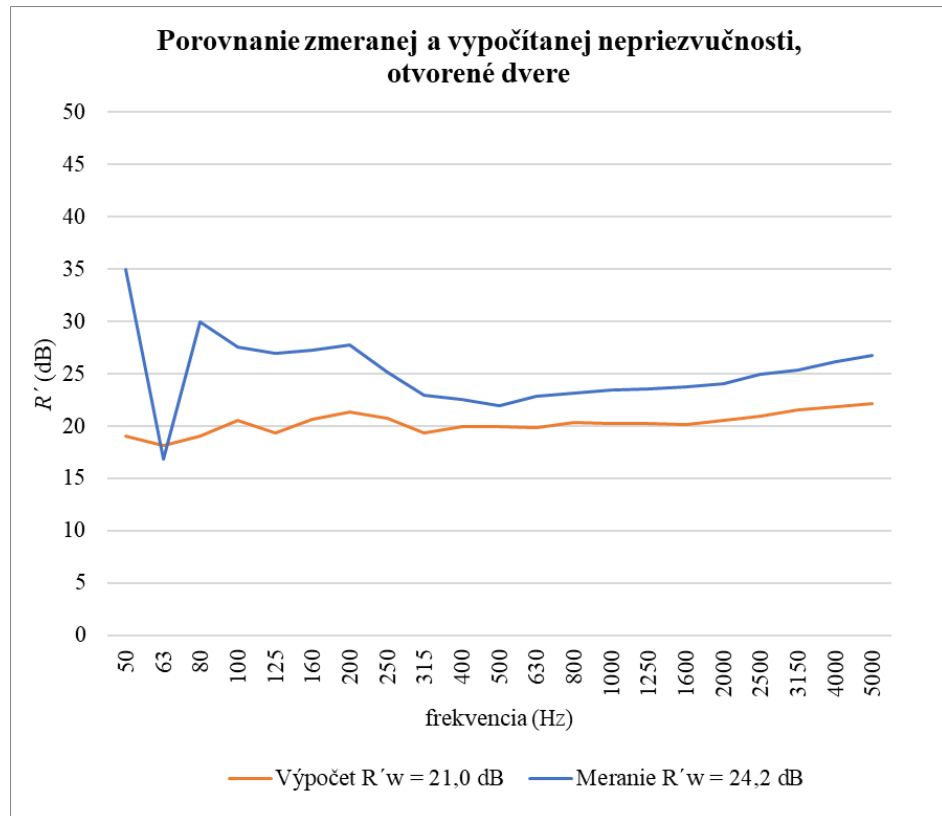
Výsledky dosiahnuté simuláciou v programe Odeon dosahujú veľmi blízku zhodu s výpočtom podľa normy. Po zohľadnení vplyvu nepriameho prenosu zvuku výpočtov výslednej nepriezvučnosti sa dosiahli porovnateľné výsledky ako pri akustickom meraní. To vypovedá o dostatočnej presnosti výpočtov podľa normy ČSN EN ISO 12354-1 a výpočtov podľa simulácie Odeon a ukazuje ich dostatočnú vhodnosť pre potreby skúmania vplyvu nepriameho prenosu zvuku. V porovnaní s plnou OSB doskou došlo pri použití dosky so škárou k výraznému zníženiu hodnoty nepriezvučnosti. Tým sa taktiež potvrdilo tvrdenie z kapitoly č. 9, kde sa pri meraní na stavbe taktiež ukázal výrazný vplyv výšky škáry na zvýšený nepriamy prenos zvuku.

Porovnanie $D_{n,s}$ - dvere s OSB bez škáry			
Frekvencia (Hz)	$D_{n,s}$ (dB) príloha H	$D_{n,s}$ (dB) Odeon	rozdiel (dB)
63	37,45	40,17	-2,73
125	46,21	48,76	-2,54
250	54,75	56,76	-2,01
500	63,65	66,35	-2,70
1000	70,89	71,80	-0,90
2000	65,06	66,84	-1,78
4000	80,93	85,31	-4,38

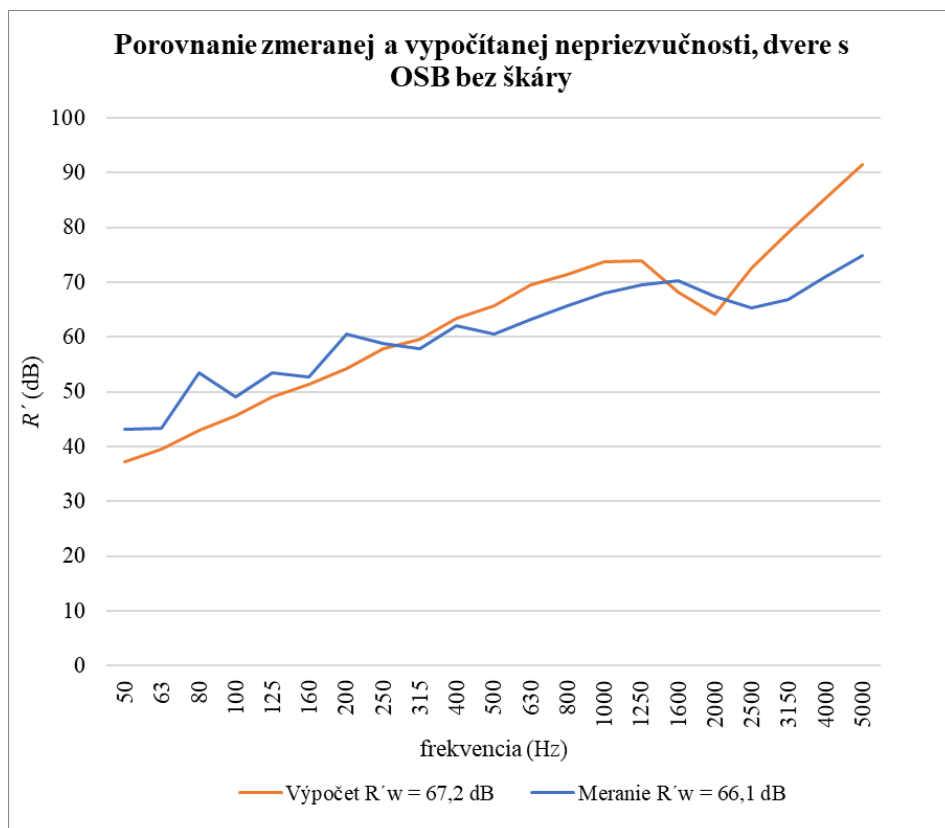
Tab. 10.04: Porovnanie výsledkov $D_{n,s}$ podľa prílohy H a podľa programu Odeon, dvere s OSB bez škáry

Porovnanie $R'w$			
Variant	$R'w$ - zjednodušený model	$R'w$ - podrobný model	$R'w$ - mernie
dvere s OSB bez škáry	67,3	67,2	66,1
otvorené dvere	20,9	21,0	24,2

Tab. 10.05: Porovnanie výpočtu stavebnej nepriezvučnosti podľa jednotlivých výpočtových modelov s nameranými hodnotami



Obr. 10.16: Porovnanie zmeranej a vypočítanej nepriezvučnosti, otvorené dvere



Obr. 10.17: Porovnanie zmeranej a vypočítanej nepriezvučnosti, dvere s OSB bez škáry

11. Záver

Problematika šírenia zvuku medzi obytnými miestnosťami rovnakého bytu sa ukázala byť veľmi komplexným problémom závislým od viacerých faktorov. Ako dokazujú výpočty a akustické merania v tejto práci, veľký vplyv na výslednú stavebnú nepriezvučnosť má nepriamy prenos zvuku. Okrem toho boli vysvetlené možné metódy prenosu zvuku v rámci jedného bytu, vplyv dverí a ich vlastností. Podstatnou časťou práce je súhrn bežne používaných materiálov a skladieb vnútorných priečok a stropov, ich akustických vlastností a možností ich zlepšenia. Veľmi zaujímavé je taktiež porovnanie požiadaviek na zvukovú izoláciu v rámci jedného bytu medzi rozličnými európskymi krajinami, nakoľko tieto požiadavky nie sú v iných krajinách bežné.

11.1 Použitie softvéru Odeon na výpočet nepriameho prenosu

Program Odeon sa na základe výsledkov tejto práce ukázal ako vhodný na použitie pri simulácii šírenia zvuku nepriamym prenosom chodbou. Výsledky získané jeho použitím sa veľmi blízko priblížili výsledkom na základe normových výpočtov. Taktiež je možné jeho pomocou zohľadniť vplyvy, ktoré daná norma vo výpočte nezohľadňuje, napríklad vzdialenosť dverí, samotnú geometriu chodby alebo nerovnomerné rozloženie materiálov s vysokou pohltivosťou. Pri použití tohto softvéru sa pri výpočte nepriameho prenosu zvuku chodbou osvedčilo použiť väčšieho množstva lúčov, čím sa zabezpečí dostatočný počet odrazených lúčov v miestnosti príjmu.

11.2 Výpočet podľa prílohy H normy ČSN EN ISO 12354-1

Pri porovnaní výpočtov podľa tejto prílohy, simulácie pomocou softvéru Odeon a laboratórneho merania boli dosiahnuté veľmi podobné výsledky. Model popísaný v norme teda poskytuje celkom presný odhad skutočného prenosu zvuku chodbou. Určité limity tohto výpočtu sú v skutočnosti, že pracuje len s hodnotou pohltivosti chodby a plochami konštrukcii, pričom nezohľadňujú geometriu chodby a polohu dverí.

11.3 Odporúčania pre navrhovanie

1. Dbat' na vhodný výber deliacich konštrukcií

Ako ukazuje súhrn bežne používaných skladieb a materiálov v kapitole č. 5, niektoré z nich svojou hodnotou laboratórnej nepriezvučnosti len tesne prekračujú hodnotu 40 decibelov. Existuje teda veľký predpoklad, že pri zohľadnení bočného, respektíve nepriameho prenosu vzduchom tieto konštrukcie nesplnia normové požiadavky. Je preto vhodné s týmito vplyvmi uvažovať už pri výbere deliacich konštrukcií a prípadne pre obytné miestnosti zvoliť alternatívy s vyššou laboratórnou nepriezvučnosťou.

2. Zvýšený dôraz pri výbere interiérových dverí a ich zabudovaní

V prípade zložených prvkov sú práve dvere najčastejšie tým slabším článkom. Obzvlášť to platí pre interiérové dvere s nízkou hodnotou nepriezvučnosti, s nevhodným tesnením, voľnou prahovou škárou alebo vetracou mriežkou. Pre obmedzenie nepriameho prenosu je preto vhodné navrhovať dvere s vyššou hodnotou nepriezvučnosti a s vhodným tesnením, a to aj v prahovej škáre.

3. Vysoký vplyv vzduchotechniky a návrhu vetrania

Na základe merania na stavbe sa ukázalo, že vzájomné prepojenie obytných miestností vzduchotechnickým systémom malo zásadný vplyv na výslednú nepriezvučnosť. Otázne je použitie tlmivých hluku vo vzduchotechnických potrubiach, nakoľko ich použite v miestnostiach v rámci jedného bytu nie je vôbec bežné.

4. Čím vyššia nepriezvučnosť použitej konštrukcie, tým väčší vplyv nepriameho prenosu na výslednú nepriezvučnosť.

Toto konštatovanie sa opiera o výsledky výpočtov a simulácii na základe normového postupu a softvéru Odeon. Pokles nepriezvučnosti pri konštrukciách s vyššími hodnotami nepriezvučnosti bol omnoho výraznejší ako v prípade steny s horšou zvukovou izoláciou. Tento výrazný pokles ukázali taktiež akustické merania na stavbe a v laboratóriu.

5. V prípade snahy o dobrú akustickú kvalitu bytu uprednostniť uzavretý pôdorys voči otvorenému

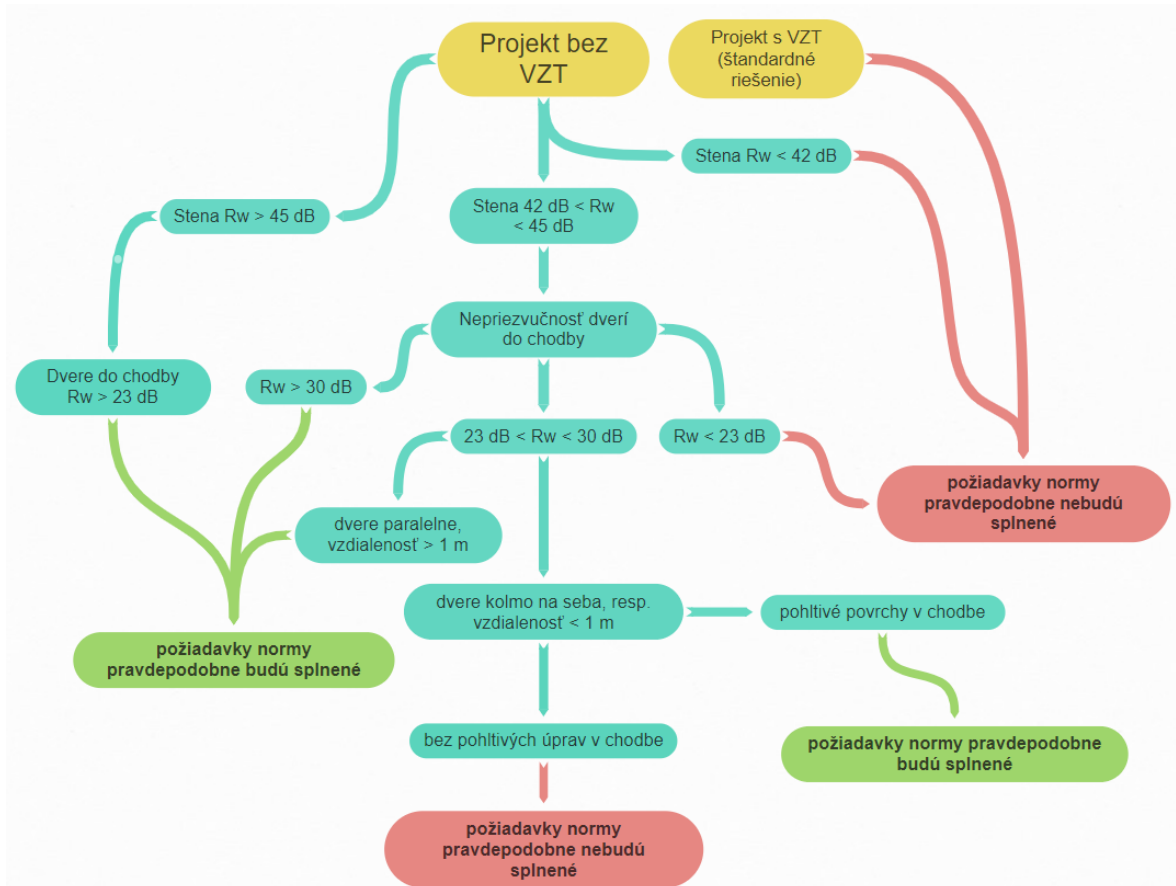
Tento princíp návrhu vychádza z odporúčaní uvedených v memorande DEGA. Pri použití uzavretého pôdorysu sa spravidla dosahuje vyšší akustický komfort ako v prípade otvoreného, nakoľko obytné miestnosti nie sú priamo spojené dverami.

11.4 Pomôcka pre projektantov v praxi

Jedným z vedľajších výstupov tejto diplomovej práce bolo spracovanie získaných hodnôt výpočtov a meraní v tejto práci a vytvorenie jednoduchej pomôcky pre projektantov, pomocou ktorej by bolo možné jednoducho odhadnúť vplyv nepriameho prenosu zvuku chodbou na splnenie normových požiadaviek. Ďalej je možné jej pomocou určiť slabé miesta v návrhu, nevhodné kombinácie použitých riešení a zároveň zvoliť správne opatrenia na ich kompenzáciu.

Je nutné podotknúť, že tento postup je potrebné považovať za značne zjednodušený, nakoľko neobsahuje všetky vplyvy vyskytujúce sa na stavbe, napríklad geometriu miestností, rozloženie pohltivých materiálov a podobne. Taktiež je potrebné pre zvýšenie jej presnosti väčší počet meraní a výpočtov, ktorý však presahuje rámec tejto diplomovej práce. Napriek tomu jej použitím je možné určiť možné problémy v návrhu a v prípade podozrenia na nespĺnenie požiadaviek použitím výpočtov v norme ČSN EN ISO 12354-1 alebo inými metódami (napríklad meraním) preukázať ich splnenie.

Pri zhotovení pomôcky sa vychádzalo z použitia masívnych konštrukcií, kde korekcia pre prenos zvuku bočnými prvkami dosahuje hodnoty 2 dB. Pri použití deliacich konštrukcií s vyššími korekciami (napr. ľahké priečky) je nutné posunúť hranice nepriezvučnosti steny v pomôcke o rozdiel týchto korekcií. Hranica 23 dB v prípade interiérových dverí predstavuje dvere bez tesnenia v prahovej škáre. Na základe výsledkov tejto práce sa neodporúča navrhovať dvere s menšou zvukovou izoláciou. V prípade pohltivých úprav v chodbe sa ukázalo, že už zvýšenie priemernej pohltivosti v chodbe na $\alpha = 0,10$ malo za následok potlačenie nepriameho prenosu zvuku chodbou.



Obr. 11.01: Pomôcka pre projektantov

11.5 Diskusia

11.5.1 Nedostatok podkladov pre správny návrh

Presné a dostatočné podklady a informácie o materiáloch a prvkoch sú základom pre správny akustický návrh. Ako sa ukázalo pri spracovaní tejto diplomovej práce, získanie požadovaných údajov pre výpočet zvukovej izolácie v rámci jedného bytu je veľmi náročné. Detailné hodnoty nepriezvučnosti materiálov v mnohých prípadoch nie sú zverejnené. Najkomplikovanejšia situácia nastáva pri otázke interiérových dverí a ich vlastností. Vo väčšine prípadov výrobcovia pre ne vôbec neuvádzajú hodnoty nepriezvučnosti, respektíve kvalita zvukovej izolácie ani nebola testovaná. To predstavuje zrejme najväčšiu prekážku pri zohľadnení nepriameho prenosu zvuku v byte. V prípade známych hodnôt hrá významnú úlohu skutočnosť, že výsledná nepriezvučnosť dverí v zabudovanom stave je do značnej miery závislá od mnohých faktorov, ako sa uvádza v kapitole č. 6, čo v mnohých prípadoch znamená výrazné zníženie nepriezvučnosti dverí. Presnosť výpočtov je teda aj pri známych hodnotách R_w dverí otázna. Dvere taktiež na rozdiel od deliacich priečok predstavujú ľahko vymeniteľný prvok. Práve ich častá výmena, napríklad pri zmene dizajnu alebo majiteľa bytu, znamená aj v prípade vhodného návrhu jeho nestálosť.

11.5.2 Nutnosť kritérií v rámci jedného bytu

Veľmi zaujímavou témou na diskusiu je otázka, či majú normové požiadavky na zvukovú izoláciu v rámci jedného bytu svoje opodstatnenie. Na jednej strane je možné argumentovať

prílišným zásahom do práv majiteľov a stavebníkov bytov a rodinných domov. Snaha o dodržanie akustických požiadaviek môže negatívne ovplyvniť želaný výber materiálov a dispozície bytu z hľadiska majiteľa. Taktiež v tomto prípade na rozdiel od iných požiadaviek normy užívateľ ruší len samého seba a zdroj hluku teda väčšinou môže sám ovplyvniť. Na druhej strane je však pochopiteľná snaha zavedenia kritérií, vďaka ktorým je stanovená určitá minimálna kvalita zvukovej izolácie v rámci jedného bytu. Tá môže byť veľmi vhodná najmä pre väčšie byty s viacerými obyvateľmi. Zároveň v súčasnosti tiež narastá počet zdieľaných bytov, kde sú jednotlivé miestnosti prenajaté rôznym osobám. Nakoľko ľudské vnímanie zvuku je veľmi subjektívne a individuálne, môžu mať tieto požiadavky pozitívny vplyv na kvalitu vnútorného prostredia predovšetkým u jedincov s vysokou citlivosťou na hluk.

11.5.3 Úroveň požadovaných hodnôt

Na základe meraní na stavbe sa ukázalo, že v prípade použitia núteného vetrania obytných miestností je veľmi náročné dosiahnuť požadované hodnoty, a to dokonca i v tom prípade, keď bola použitá deliaca priečka s relatívne vysokou nepriezvučnosťou ($R_w = 47$ dB). Zároveň v súčasnosti narastá počet bytových domov s núteným vetraním, čím sa tento spôsob šírenia zvuku v byte stáva čoraz častejším. Nakoľko sa merania v rámci jedného bytu uskutočňujú len veľmi zriedka, je otázne, aké množstvo týchto bytov spĺňa spomínanú normu. Z tohto pohľadu je možné otvorenie diskusie o zmiernení tohto kritéria, respektíve jeho upravení.

12. Použitá literatura

1. WILLEMS, Wolfgang M. *Lehrbuch der Bauphysik*. Wiesbaden : Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, 2022. ISBN 978-3-658-34092-6.
2. KAŇKA, Jan a NOVÁČEK, Jiří. *Stavební fyzika 3. Akustika pozemních staveb*. Praha : ČVUT v Praze, 2015. ISBN 978-80-01-05674-5.
3. TOMAŠOVIČ, Peter a DLHÝ, Dušan a GAŠPAROVIČOVÁ, Viera a RYCHTÁRIKOVÁ, Monika. *Akustika budov*. Bratislava : STU, 2009. ISBN 978-80-227-3019-8 .
4. ČSN 73 0532:2020 *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků - Požadavky*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
5. RUBÁŠ, Pavel. *Nové požadavky ve stavební akustice v revizi ČSN 73 0532:2020*. *TZBinfo*. [Online] [Datum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/21919-nove-pozadavky-ve-stavebni-akustice-v-revizi-csn-73-0532-2020>.
6. STN 73 0532 *Akustika. Hodnotenie zvukovoizolačných vlastností budov a stavebných konštrukcií. Požiadavky*. Bratislava : SÚTN, 2013.
7. WILLEMS, Wolfgang M. a WAGNER, Alexandra a STRICKER, Diana. *Schallschutz: Bauakustik*. Wiesbaden : Springer Vieweg Wiesbaden, 2020. ISBN 9783658284534.
8. GIGLA, Birger. *Schutz gegen Lärm im eigenen Wohnbereich*. *baunetzwissen.de*. [Online] [Datum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/schallschutz/schutz-gegen-laerm-im-eigenen-wohnbereich-4408769>.
9. DEGA BR 0104 *Memorandum Schallschutz im eigenen Wohnbereich*. Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. [Online] 2015. [Datum: 15. 10. 2023.]. Dostupné z: <https://www.dega-akustik.de/online-publikationen>.
10. *Approved Document E: resistance to the passage of sound*. Newcastle Upon Tyne : NBS, 2015. ISBN 978-1-85946-616-2.
11. FOUAD, Nabil A. *Bauphysik-Kalender 2014*. Berlin : Wilhelm Ernst & Sohn, 2014. ISBN 978-3-433-03050-9.
12. BLÖDT, Adrian a RABOLD, Andreas. *Schallschutz im Holzbau - Grundlagen und Vorbemessung*. Berlin: Holzbau Deutschland-Institut e.V. [Online] 2019. [Datum: 21. 10. 2023.]. Dostupné z: https://informationsdienst-holz.de/fileadmin/Publikationen/2_Holzbau_Handbuch/R03_T03_F01_Schallschutz_Grundlagen_Vorbemessung_2019.pdf. ISSN 0466-2114.
13. CHMÚRNY, Ivan a TOMAŠOVIČ, Peter a HRAŠKA, Jozef. *Fyzika vnútorného prostredia budov*. Bratislava : STU, 2013. ISBN 9788022739177.
14. SÄLZER, Elmar. *Schallschutz im Hochbau*. Berlin : Wilhelm Ernst & Sohn, 2015. ISBN 978-3-433-03029-5.
15. ČSN EN ISO 12354-1 *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.

16. VIGRAN, Tor Erik. *Building Acoustics*. New York : Taylor & Francis, 2008. ISBN 0-203-93131-9.
17. ODEON User's Manual. *odeon.dk*. [Online] 2023. [Dátum: 4. 10. 2023.]. Dostupné z: <https://odeon.dk/downloads/user-manual/>.
18. RINDEL, Jens Holger a CHRISTENSEN, Claus Lyng. Modelling airborne sound transmission between coupled rooms. *Baltic Nordic Acoustical Meeting 2008 Reykjavik*. [Online] 2008. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/242216588_MODELLING_AIRBORNE_SOUND_TRANSMISSION_BETWEEN_COUPLED_ROOMS.
19. ČSN EN ISO 16283-1 *Akustika - Stavební měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
20. ČSN EN ISO 717-1 *Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
21. Technické listy produktov Wienerberger. *wienerberger.sk*. [Online] [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: https://www.wienerberger.sk/dokumenty-na-stiahnutie.html?1316_f_typ-dokumentu=item2.
22. Technické listy výrobkov Heluz. *heluz.sk*. [Online] [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.heluz.cz/cs/vyrobky/cihly-pro-obvodove-a-vnitri-zdivo>.
23. Vnitřní nenosné stěny - příčky. *xella.cz*. [Online] [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/vnitri-nenosne-steny-pricky.
24. PRODUKTY PORFIX. *porfix.cz*. [Online] [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.porfix.cz/produkty/>.
25. Zdicí bloky. *kmbeta.cz*. [Online] [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.kmbeta.cz/sendwix>.
26. KOMPAKT – podklady pre projektovanie. *rigips.sk*. [Online] 2022. [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.rigips.sk/Dokumenty/brozura/rigips-kompakt-podklady-pre-projektovanie.pdf>.
27. Knauf stěny s kovovou podkonstrukcí. *knauf.sk*. [Online] 2020. [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.knauf.sk/w11-priecky-knauf-s-ocelovou-podkonstrukciou>.
28. MASSIVHOLZHANDBUCH 2.0. *binderholz.com*. [Online] 2018. [Dátum: 20. 12. 2023.]. Dostupné z: <https://www.binderholz.com/news/details/massivholzhandbuch-20-altbewaehrtes-stark-verbessert/>.
29. Katalog produktů. *isover.cz*. [Online] [Dátum: 5. 11. 2023.]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/produkty>.
30. PRODUKTY. *knaufinsulation.cz*. [Online] [Dátum: 5. 11. 2023.]. Dostupné z: <https://www.knaufinsulation.cz/produkty>.
31. Izolace podlah. *rockwool.com*. [Online] [Dátum: 5. 11. 2023.]. Dostupné z: <https://www.rockwool.com/cz/produkty-a-reseni/izolace-podlahy/>.

32. Austrotherm EPS. *austrotherm.cz*. [Online] [Datum: 5. 11. 2023.]. Dostupné z: https://www.austrotherm.cz/produkty/austrotherm-eps?_gl=1*1mp5gtn*_up*MQ.*_ga*MjA2OTUwOTcwMC4xNzAzMTQzNDY2*_ga_W14884VSTV*MTcwMzE0MzQ2Ni4xLjAuMTcwMzE0MzQ2Ni4wLjAuMA...
33. Stropy MIAKO. *heluz.cz*. [Online] [Datum: 6. 11. 2023.]. Dostupné z: <https://selektorkonstrukci.heluz.cz/category/10/968>.
34. KONSTRUKCE STROPŮ A STŘECH. *xella.cz*. [Online] [Datum: 6. 11. 2023.]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/stropni-system-klasik.
35. Geprüfte/zugelassene Bauteile. *dataholz.eu*. [Online] [Datum: 6. 11. 2023.]. Dostupné z: <https://www.dataholz.eu/bauteile/bauteil-geschossdecke.htm>.
36. DIN 4109:1989-11 *Schallschutz im Hochbau; Anforderungen und Nachweise*. Berlin : Deutsches Institut für Normung e. V., 1989.
37. ČSN EN ISO 12354-2 *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
38. Přehled materiálových vlastností a produktů 2023. *xella.cz*. [Online] 2023. [Datum: 24. 11. 2023.]. Dostupné z: https://www.xella.cz/cs_CZ/podklady-pro-projektovani-vnitri-nenosne-steny.