

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Diplomová práce

Vzduchová neprůzvučnost lehkých stavebních prvků s mechanickými spoji
Airborne sound insulation of lightweight building elements with structural connections

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

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



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Tháškurova 7, 166 29 Praha 6

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Haken Jméno: Jakub Osobní číslo: 396540
Zadávající katedra: K124 - katedra konstrukcí pozemních staveb
Studijní program: Budovy a prostředí
Studijní obor: Budovy a prostředí

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Vzduchová neprůzvučnost lehkých stavebních prvků s mechanickými spoji
Název diplomové práce anglicky: Airborne sound insulation of lightweight building elements with structural connections

Pokyny pro vypracování:

Práce bude zaměřena na vzduchovou neprůzvučnost lehkých víceprvkových stavebních konstrukcí, zejména s důrazem na stanovení vlivu mechanických spojů (např. nosných sloupků) na přenos zvuku. Bude založena buď na výpočtech nebo akustických měřeních (případně obojím), provedených na vybraném reprezentativním vzorku skladeb stěnových dělicích prvků. Výsledkem práce bude rovněž srovnání s prvky tradiční zděné výstavby.

Seznam doporučené literatury:

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

Building Acoustics, Vigran, T. E., Taylor and Francis, 2008

Hluk a jeho snižování v technické praxi, Němec, J., Ransdorf, J., Šnědrle, M., SNTL, 1970


Příslušné právní předpisy a technické normy

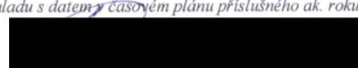
Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Jirí Nováček, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 12. 10. 2016

Termín odevzdání diplomové práce: 8.1.2017

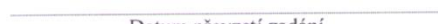
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku


Podpis vedoucího práce


Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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


Datum převzetí zadání


Podpis studenta(ky)

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Jakub Haken

Název diplomové práce: Vzduchová neprůzvučnost lehkých stavebních prvků s mechanickými spoji.

Základní část: KPS podíl: 95 %

Formulace úkolů: Diplomová práce bude obsahovat úvod do problematiky zaměřený na popis akustického chování dělicích stavebních prvků. Dále bude zpracován aktuální přehled přístupů k navrhování a provádění lehkých víceprvkových stěn a příček. Na základě měření nebo výpočtů (případně obojího) bude provedena analýza chování těchto prvků z hlediska přenosu zvuku (zahrnující i vliv nosných sloupků na vzduchovou neprůzvučnost).

Podpis vedoucího DP: Datum: 19.10.2016

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

2. Část: DK podíl: 5 %

Konzultant (jméno, katedra): Ing. Anna Kuklíková, Ph.D.

Formulace úkolů: Posouzení skladeb stěn používaných u staveb na bázi dřeva z hlediska vzduchové neprůzvučnosti.

Podpis konzultanta: Datum: 19.10.2016

3. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

4. Část: podíl: %

Konzultant (jméno, katedra):

Formulace úkolů:

Podpis konzultanta: Datum:

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

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá vzduchovou neprůzvučností lehkých stavebních prvků, zejména jejím teoretickým stanovením a měřením. První část práce je obecně zaměřena na šíření zvuku v budovách, jeho druhy a působení na člověka. Obsahuje též přehled požadavků na lehké stavební konstrukce. Dále se práce zaměřuje na běžné lehké stavební prvky a na typické detaily jejich zabudování, včetně vlivu na akustiku. V druhé části je uveden postup výpočtu vzduchové neprůzvučnosti lehkých stavebních konstrukcí včetně uvedení používaných metod, a to jak u jednoprvkových, tak i u dvouprvkových konstrukcí. Hlavní část práce se věnuje laboratornímu měření a výpočtům neprůzvučnosti vybraných skladeb lehkých stavebních prvků, včetně jejich vzájemného porovnání.

Klíčová slova

Vzduchová neprůzvučnost, lehké stavební konstrukce,

Abstract

This diploma thesis is concerned with airborne sound insulation of lightweight building elements, especially its theoretical assessment and measurement. The first part of the thesis focuses on sound dispersion in buildings in general, sound types and effect on a person. It also includes an overview of requirements for lightweight building constructions. Afterwards, the thesis focuses on common lightweight building elements and typical details of their installation, including the influence on acoustics. In the second part, the thesis states the airborne and sound insulation of lightweight building elements calculation procedure, including a statement of the methodology that is used, both within single-element and two-element constructions. The main part of the thesis is concerned with a laboratory measurement and sound insulation of selected lightweight building elements complexes calculation, including their mutual comparison.

Key words

Airborne sound insulation, lightweight building construction

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně pod odborným vedením Ing. Jiřího Nováčka, Ph.D. a veškeré použité zdroje jsem uvedl v seznamu literatury.

V Praze dne

.....

Bc. Jakub Haken

Poděkování

Zde bych rád poděkoval Ing. Jiřímu Nováčkovi, Ph.D., za profesionální vedení diplomové práce, za odborné rady a za možnost si vyzkoušet akustická měření v praxi.

Dále bych rád poděkoval vedení Univerzitního centra energeticky efektivních budov UCEEB za možnost provést experiment v akustické laboratoři.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat mým blízkým za veškerou lásku a podporu, které se mi dostalo během studia.

Obsah

1.	Úvod	1
2.	Šíření zvuku v budovách	2
2.1.	Zvuk a jeho vnímání člověkem.....	4
2.2.	Vzduchová neprůzvučnost.....	7
2.2.1.	Činitel průzvučnosti τ a neprůzvučnost R	8
2.2.2.	Vážená neprůzvučnost.....	9
2.3.	Kročejevá neprůzvučnost	10
3.	Lehké stavební konstrukce	12
3.1.	Obecné požadavky na lehké stavební konstrukce.....	13
3.1.1.	Akustické požadavky.....	13
3.1.2.	Požární požadavky.....	13
3.1.3.	Agresivní prostředí	13
3.1.4.	Bezpečnost.....	14
3.1.5.	Únosnost.....	14
3.2.	Jednotlivé prvky konstrukce	15
3.2.1.	Desky	15
3.2.2.	Nosný rám	17
3.2.3.	Výplňový materiál	17
3.3.	Schématy typů konstrukcí	18
3.3.1.	Typy lehkých konstrukcí	18
3.3.2.	Opláštění rámu.....	18
3.4.	Obvyklá neprůzvučnost konstrukce dle výrobce	19
3.5.	Typické detaily zabudování lehkých příček	20
3.5.1.	Napojení stěny na podlahu	20
3.5.2.	Napojení stěny na strop	22
3.5.3.	Napojení stěny na boční stěnu	23

4.	Měření vzduchové neprůzvučnosti.....	27
4.1.	Laboratorní vs. In – situ.....	27
4.2.	Přístrojové vybavení.....	28
5.	Výpočet u lehkých stavebních konstrukcí.....	32
5.1.	Jednoduché konstrukce.....	32
5.1.1.	Oblast vlastní rezonance.....	32
5.1.2.	Oblast zákona hmotnosti.....	33
5.1.3.	Oblast vlnové koincidence.....	34
5.1.4.	Metody výpočtu.....	34
5.2.	Dvouprvkové konstrukce.....	35
5.2.1.	Rezonance typu hmotnost – poddajnost – hmotnost.....	37
5.2.2.	Stojaté vlnění ve vzduchové mezeře – půlvlnná rezonance.....	38
5.2.3.	Přenos zvuku mechanickými spoji mezi dílčími konstrukcemi.....	39
5.2.4.	Útlum ve vzduchové mezeře.....	40
5.2.5.	Metody výpočtu.....	40
6.	Popis experimentu.....	43
6.1.	Zkoušené konstrukce.....	44
6.2.	Zkušební příčka.....	49
6.3.	Cíl experimentu.....	51
7.	Měření.....	52
8.	Výpočty neprůzvučnosti konstrukcí.....	65
9.	Porovnání měření s výpočtem a hodnotami od výrobce.....	78
10.	Skladby stěn na bázi dřeva a jejich vzduchová neprůzvučnost.....	81
11.	Závěr.....	84
12.	Seznam použité literatury.....	85

Značky

c_0	rychlost zvuku [m/s]
c_L	rychlost podélného vlnění v materiálu [m/s]
C, C_{tr}	faktory přizpůsobení spektru [dB]
f_{cr}	kritická frekvence [Hz]
$f_{nx,ny}$	vlastní rezonanční frekvence [Hz]
f_r	rezonanční frekvence [Hz]
I	akustická intenzita [W/m^2]
I_0	prahová hodnota akustické intenzity [$10^{-12} W/m^2$]
L_n	hladina kročejového zvuku [dB]
L_p	hladina akustické tlaku [dB]
m'	plošná hmotnost [kg/m^2]
p	akustický tlak [Pa]
p_0	prahová hodnota akustického tlaku [$2 \cdot 10^{-5} Pa$]
R	vzduchová neprůzvučnosti [dB]
R'	vzduchová stavební neprůzvučnost [dB]
R_w	vážená vzduchová neprůzvučnost [dB]
R'_w	vážená vzduchová stavební neprůzvučnost [dB]
W_t	akustický výkon v místnosti zdroje [W]
W_i	akustický výkon v místnosti příjmu [W]
η_{tot}	celkový ztrátový činitel [-]
λ	vlnová délka [m]
ρ_0	objemová hmotnost vzduchu [kg/m^3]
τ	činitel průzvučnosti [-]

1. Úvod

Lehké stavební konstrukce jsou dnes již nedílnou součástí moderní výstavby. Jedná se o konstrukce s lehkým nosným rámem, který je deskově opláštěn. Využívají se jako obvodové stěny, mezibytové stěny nebo jako příčky v rámci jednoho bytu. Mohou být nosné i nenosné. Technologie deskových materiálů povoluje použití lehkých stavebních konstrukcí i v prostorech se zvýšenou vlhkostí, s odstříkující vodou, se zvýšeným požadavkem na bezpečnost či v prostorech s vyššími požadavky na požární odolnost.

Zásadní parametr u lehké stavební konstrukce je vzduchová neprůzvučnost. Kvalita návrhu a provedení zajišťuje akusticky příjemné prostředí, které je odděleno od zdrojů zvuku z ostatních místností v takové míře, aby zvuk nebyl rušivý.

Práce se zaměřuje na přiblížení problematiky vnímání zvuku člověkem a na nároky, které jsou tím vytvářené na lehké stavební konstrukce. Dále také práce provede průřezem lehkých stavebních konstrukcí, jejich typy, obvyklými hodnotami neprůzvučnosti a typickými detaily napojení.

Hlavní část práce si dává za cíl uvést do problematiky měření neprůzvučnosti na stavbě i v laboratoři, ukázat přístrojové vybavení použité k experimentu, popsat postup při výpočtu vybraných lehkých stavebních konstrukcí a porovnat dané hodnoty s hodnotami z měření a od výrobců. Dalšími zajímavostmi jsou aplikace různých tmelů na konstrukce a sledování změn ve výsledné hodnotě neprůzvučnosti, a zkoumání poklesu neprůzvučnosti při částečném mechanickém spojení dvojitého rámu.

2. Šíření zvuku v budovách

Při návrhu budovy tak, aby byla splněna akustická pohoda, obecně uvažujeme více typů zdrojů zvuku. Rozdělujeme je na venkovní a vnitřní. Když navrhujeme obvodový plášť, zohledňujeme zvuk, který dopadá na fasádu z exteriéru. Za venkovní zdroje zvuku se považuje zvuk z pozemní, železniční a letecké dopravy. Dále také stacionární zdroje jako jsou průmyslová, kulturní, společenská a sportovní zařízení. Při návrhu ochrany proti venkovnímu hluku se především dbá na nejslabší články budovy, kterými jsou okna a detaily kolem nich, díky své menší plošné hmotnosti oproti ostatním konstrukcím. [1,2]

Nejčastějšími vnitřními zdroji zvuku jsou zvuky od domácích spotřebičů, z TZB a od užívání objektu, jako je chůze, hovor osob, pády předmětů, puštěná hudba nebo televize. [2,9]

Obecně rozlišujeme dva typy šíření zvuku, buď vzduchem, nebo konstrukcemi formou vibrací. Při ochraně proti šíření zvuku vzduchem se zabýváme problematikou vzduchové neprůzvučnosti, oproti tomu při ochraně proti šíření zvuku vibracemi se zabýváme kročejovou neprůzvučností. [2]

Požadavky na zvukovou izolaci v objektech jsou stanoveny v ČSN 73 0532:2010 – Akustika-Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky. V následných tabulkách je uveden výtazek na požadavky vnitřních a vnějších konstrukcí. [3]

Položka	Hlučný prostor (vysílající)	Požadavky na zvukovou izolaci		
		Stropy		Stěny
		$R'_{w, D_{nT,w}}$ [dB]	$L'_{n,w}$ [dB]	$R'_{w, D_{nT,w}}$ [dB]
A. Bytové domy (kromě rodinných domů) - Jedna obytná místnost vícepokojového bytu				
1	Všechny ostatní místnosti téhož bytu, pokud nejsou funkční součástí chráněného prostoru	47	63	42
B. Bytové domy - Byt				
2	Všechny místnosti druhých bytů	53	55	53

Tab. 2.1 – Výtazek z ČSN 75 0532 na akustické požadavky vnitřních konstrukcí [24]

Požadovaná zvuková izolace obvodové pláště v R'_{w} [dB] nebo $D_{nT,w}$ [dB]							
Ekvivalentní hladina akustického tlaku 2 m před fasádou $L_{A,ep,2m}$ [dB]							
Noc: 22:00 h - 6:00 h	≤40	41 - 45	46 - 50	51 - 55	56 - 60	61 - 65	66 - 70
Den: 6:00 h - 22:00 h	≤50	51-55	56 - 60	61 - 65	66 - 70	71 - 75	76 - 80
2. Obytné místnosti bytů							
	30	30	30	33	38	43	48

Tab. 2.2 - Výtazek z ČSN 75 0532 na akustické požadavky obvodového pláště budov [24]

Podíl plochy oken S_o k celkové ploše obvodového pláště místnosti S_F [%]	Požadavek R_w na okna, určený z hodnot $R'_{w} (D_{nT,w})$ podle tabulky 2.2. [dB]
$S_{oi}/S_F < 35$	$R'_{w} - 5$
$35 \leq S_{oi}/S_F \leq 50$	$R'_{w} - 3$
$S_{oi}/S_F > 50$	R'_{w}

Tab. 2.3 – Výtazek z ČSN 73 0532 na akustické požadavky oken [24]

2.1. Zvuk a jeho vnímání člověkem

Zvuk je mechanické vlnění, které vzniká kmitáním částic prostředí. U zvuku rozlišujeme parametry, jako jsou frekvence, intenzita, vlnová délka a doba trvání. Frekvence s vlnovou délkou jsou ve vztahu [1,5]:

$$f = \frac{c}{\lambda} \quad (2.1)$$

f frekvence zvuku [Hz]

c_0 rychlost zvuku [m/s]

λ vlnová délka [m]

Tento vztah lze také vyjádřit jako počet kmitů, tzn. periodických změn akustického tlaku za jednu sekundu. [1,2]

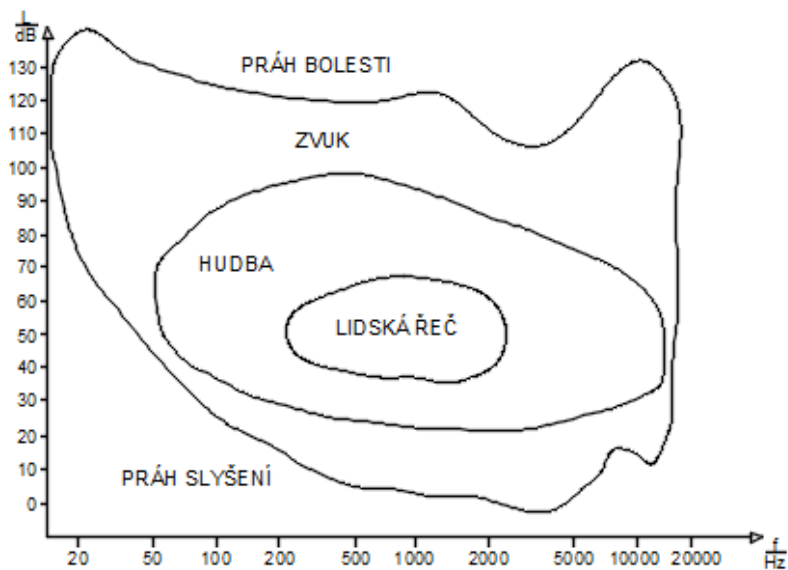
$$f = \frac{1}{T} \quad (2.2)$$

T doba jednoho kmitu [s]

Obecně je zvuk rozdíl mezi celkovým a atmosférickým tlakem v daném prostředí, který vyvolá vlnění v slyšitelném rozsahu pro lidské ucho, tedy v rozmezí 20 Hz – 20 kHz. Z fyzikálního hlediska jde o kmitavý pohyb molekul pružného prostředí šířící se mechanickým vlněním. Ve vzduchu se zvuk šíří ve formě podélného vlnění. Částice kmitají ve stejném směru, jako je směr šíření zvukové vlny. Podélné vlnění probíhá i v pevném a kapalném prostředí. [2,5]

U zvuku se můžeme také setkat s vlněním příčným, kdy částice pružného tělesa kmitají kolmo na směr šíření vlny. Pro představu lze uvést vodní hladinu či položenou hadici na podlaze, kterou na jedné straně rozkmitáme. [2]

Lidské ucho je schopno slyšet pouze určité sluchové pole v závislosti na frekvenci a hladině intenzity zvuku. To je vymezeno na grafu vnější křivkou. Ostatní křivky reprezentují dané oblasti různě vnímaných polí, jako je hudba a lidská řeč. [2,9]



Obr. 2.1 – Vnímání zvuku člověkem v závislosti na frekvenci a hladině akustického tlaku [9]

Fyzikální intenzita podnětu působícího na receptor a jeho subjektivní vjem intenzity je popisován ve Weber-Fechnerově zákoně. Ten říká, že míra účinku zvuku je člověkem vnímána v rozsahu řádů intenzity zvuku. S přírůstkem intenzity zvuku se zmenšuje schopnost sluchu vnímat další přírůstky intenzity zvuku v jejich plné hodnotě. Intenzita počítka je úměrná logaritmu podnětu. Matematicky tento zákon můžeme popsat takto [7]:

$$dS = k \frac{dI}{I} \quad (2.3)$$

S intenzita subjektivního vjemu

k Weberova konstanta

I akustická intenzita [W/m^2]

Při vyřešení diferenciální rovnice ho můžeme zapsat tímto způsobem [7]:

$$S = k * \ln \frac{I}{I_0} \quad (2.4)$$

I_0 prahová hodnota akustické intenzity [$10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$]

Na základě tohoto zákona máme logaritmicickou míru s jednotkou decibel [dB]. Pro akustickou intenzitu I [W/m^2] popsanou v decibelech používáme veličinu hladina akustické intenzity L_I [dB] a pro akustický tlak hladinu akustického tlaku L_p [dB]. [1,7]

$$L_I = L_p \quad (2.5)$$

$$10 \log \frac{I}{I_0} = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad (2.6)$$

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

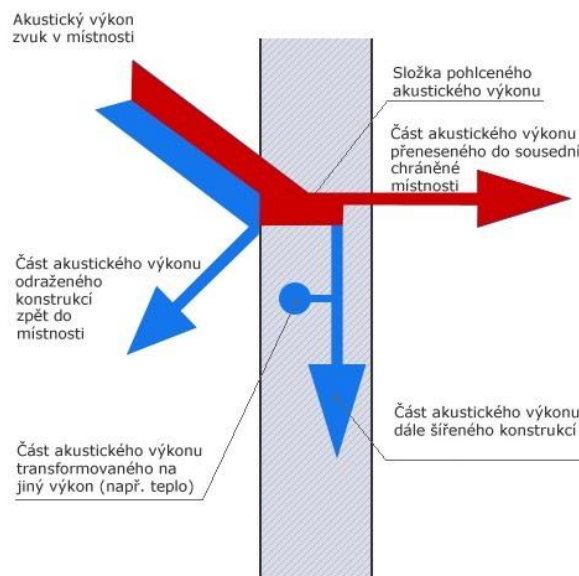
Lepší pochopení principu Weber-Fechnerova zákona lze dosáhnout pomocí přiložené tabulky, znázorňující jednotkový růst intenzity proti řádovému růstu relativní energie, která je odvozena podílem dané tabulkové hodnoty k prahové hodnotě akustické intenzity $10^{-12} \text{ W}/\text{m}^2$. [1,7]

Zvuk	Hladina intenzity	Relativní energie
Práh slyšitelnosti	1	1
Slabý šum listí	10	10
Klidná zahrada	20	10^2
Šepot	30	10^3
Mluva	40	10^4
Hluk v obchodě	50	10^5
Živá ulice	60	10^6
Motocykl bez tlumiče	90	10^9
Zkouška motoru letadla	120	10^{12}
Práh bolesti v uchu	130	10^{13}

Tab. 2.4 – Porovnání intenzity v decibelech s relativní energií [1]

2.2. Vzduchová neprůzvučnost

Při šíření zvuku vzduchem v uzavřeném prostoru dochází k vytvoření pole přímých a odražených vln. Zdroj vysílá zvukovou energii, která je částečně pohlcena ohraničujícími konstrukcemi. Energie, která není pohlcena, vytváří zmíněné pole odražených vln. Zde je rozhodující pro akustickou pohodu celková pohltivost místnosti a doba dozvuku. Část zvukové energie, která je pohlcena konstrukcemi, se dále dělí na odvedenou ze sledovaného místa, nebo se přemění na jiný druh energie, zpravidla energii tepelnou, a na energii, která projde dělicí konstrukcí do vedlejšího prostoru. Pro vzájemný podíl těchto dvou složek energií je zásadní neprůzvučnost konstrukce. Tato vlastnost je rozhodující při přenosu zvukové energie do okolních místností. Do místností, které nejsou bezprostředně sousedící s místností zdroje, neproniká zásadní část energie. Tyto místnosti zpravidla nejsou zasaženy hlukem. [1,4]



Obr. 2.2 – Rozložení akustického výkonu po dopadu na stavební konstrukci [25]

V praxi by bylo velice složité kvantifikovat zdroje hluku, jelikož jsou časově proměnné a obtížně definovatelné. Mezi ně patří například produkce hluku při užívání objektu, chování obyvatel v okolních bytech atd. Při ideálních podmínkách bychom akustickou kvalitu konstrukce mezi místnostmi pro dané zdroje zvuku určili z dlouhodobého pozorování a měření zdrojů hluku v místnosti zdroje a přenosu zvukové

energie do místnosti, v níž má být dosažena akustická pohoda. Tato metoda je samozřejmě prakticky nereálná z důvodu časové náročnosti a nestálosti zdroje hluku, proto byla v praxi zavedena kritéria, která hodnotí kvalitu konstrukce. Pro přenos zvuku vzduchem se jedná o veličinu vážená stavební neprůzvučnost R'_w a vážená neprůzvučnost R_w . [1,4]

2.2.1. Činitel průzvučnosti τ a neprůzvučnost R

Činitel průzvučnosti τ [-] dané konstrukce je definován jako podíl zvukové energie, která je přenesena do místnosti příjmu, k energii, která dopadá na konstrukci v místnosti zdroje. [1]

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} \quad (2.7)$$

W_t akustický výkon v místnosti zdroje [W]

W_i akustický výkon v místnosti příjmu [W]

Neprůzvučnost konstrukce R [dB], která se využívá díky velkému řádovému rozsahu činitele neprůzvučnosti τ , viz Weber-Fechnerův zákon, je definována jako [1,10]:

$$R = 10 \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = 10 \log\left(\frac{W_i}{W_t}\right) \quad (2.8)$$

Pokud můžeme uvažovat zvukové pole v místnosti zdroje i příjmu za difúzní, pak intenzitu zvuku na ploše konstrukce definujeme vztahem [10]:

$$W_i = I_i S = \frac{\tilde{p}_i^2}{4\rho_0 c_0} S \quad (2.9)$$

kde p_s je akustický tlak v místnosti zdroje. Energie W_t [W], která je přenesena přes stavební konstrukci o ploše S [m²], je dána vztahem [10]:

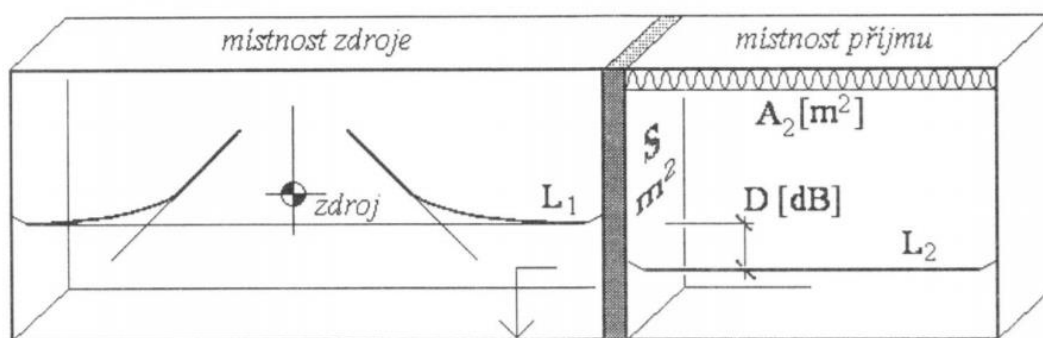
$$W_t = I_t S = \frac{\tilde{p}_R^2}{4\rho_0 c_0} A_R \quad (2.10)$$

kde p_R je akustický tlak v místnosti příjmu a A_2 je celková pohltivost místnosti příjmu. Poté lze napsat činitel průzvučnosti jako [10]:

$$\tau = \frac{W_t}{W_i} = \frac{\tilde{p}_R^2}{\tilde{p}_S^2} \frac{A_R}{S} \quad (2.11)$$

Poté neprůzvučnost lze upravit do tvaru [10]:

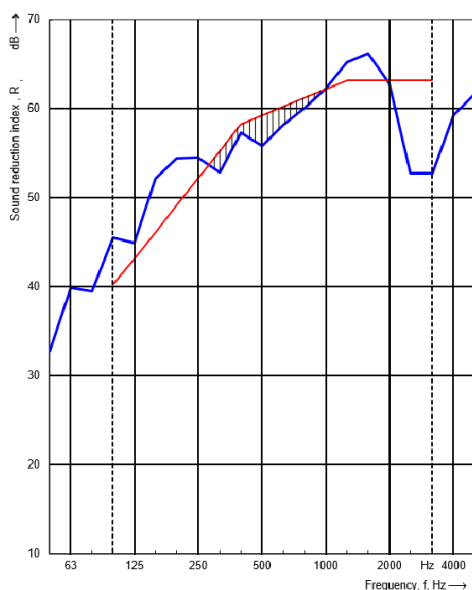
$$R = 10 \log \left(\frac{1}{\tau} \right) = 20 \log \left(\frac{\tilde{p}_S}{\tilde{p}_R} \right) + 10 \log \frac{S}{A_R} = L_1 - L_2 + 10 \log \frac{S}{A_2} \quad (2.12)$$



Obr. 2.3 – Schématické znázornění veličin v místnostech zdroje a příjmu [2]

2.2.2. Vážená neprůzvučnost

Vážená neprůzvučnost R_w [dB] je jednočíselná veličina sloužící k porovnání výsledků závislých na frekvencích s technickými normami. Pro stanovení této hodnoty se vychází z vypočítaných či změřených hodnot R v třetinooktávových pásmech od 100 Hz do 3 150 Hz. Hodnoty se porovnávají se směrnou křivkou dle ČSN EN ISO 717-1, která reprezentuje ideální křivku neprůzvučnosti z hlediska zvukové izolace. Stanovení vážené neprůzvučnosti se provádí pomocí posunu směrné křivky v kroku 1 dB co nejbližše naměřeným či vypočítaným hodnotám tak, aby byl suma rozdílů mezi směrnou křivkou a hodnotami v místech, kde hodnoty směrné křivky jsou vyšší, byla co nejbližše 32 dB, ale ne vyšší. Výslednou hodnotu odečteme ze směrné křivky v místě pásma 500 Hz. [5]



Obr. 2.4 – Vyšrafovaná část reprezentující sumu rozdílů

2.3. Kročejová neprůzvučnost

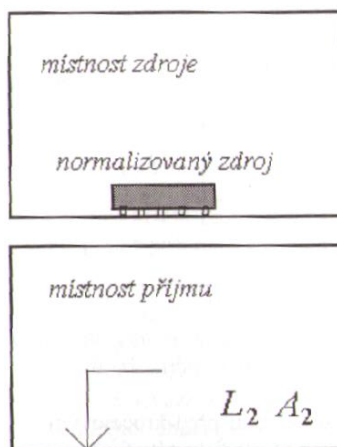
Kročejový zvuk vzniká v konstrukci stavebního objektu nejčastěji působením nahodilých mechanických impulzů. Ty mohou být tvořeny například chůzí, pády předmětů na podlahu a posouváním předmětů, nejčastěji židlí, po podlaze. Jedná se o dynamický proces namáhání stropu. Zdroj zvuku jako takový je nedefinovatelný s nepravidelným charakterem. Přenos kročejového zvuku je zapříčiněn mechanickými impulzy, které v konstrukci budí ohybové vlny přenášené konstrukcí. Chvějící se konstrukce vyzařuje do svého okolí zvuk. K posouzení ochrany proti kročejovému zvuku používáme veličinu hladina kročejového zvuku L_n . [1,4,12]

$$L_n = L_2 + 10 \log \frac{A}{A_0} \quad (2.13)$$

L_n hladina kročejového zvuku [dB]

Určení této veličiny probíhá generováním zvuku pomocí přístroje, který vytváří normalizovaný kročejový zvuk v místnosti zdroje a sledováním hladin kročejového zvuku L_n v místnosti příjmu. Veličina je kmitočtově závislá a pro porovnání s požadavky se stanovuje vážená hladina kročejové zvuku L_{nw} , která se porovnává s danými technickými normami. Postup stanovení jednočíselné hodnoty je podobný

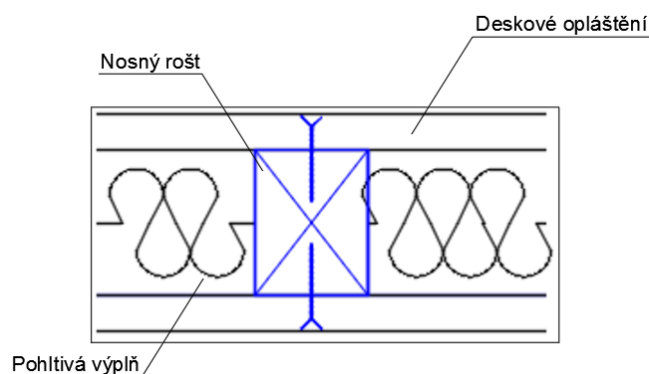
procesu jako vážené neprůzvučnosti. Tato problematika nebude v práci podrobněji rozebírána. [1,4,12]



Obr. 2.5 – Schéma měření kročejové neprůzvučnosti [4]

3. Lehké stavební konstrukce

Základní variantou lehké stavební konstrukce je nosný rám opláštěný buď jednostranně, nebo oboustranně, deskovým prvkem s akusticky pohltivým materiálem.



Obr. 3.1 – Popis lehké stavební konstrukce

Konstrukce jsou oproti klasické zděné výstavbě mnohonásobně lehčí, a tím dochází také k úspoře na nosné konstrukci stropu díky menším statickým požadavkům. Díky menším tloušťkám konstrukce také dochází k zvětšení podlahové plochy. Rychlejší výstavba zajišťuje větší flexibilitu, a proto je lehká stavební konstrukce velmi výhodná při řešení klientských změn v pozdější fázi výstavby. I přes menší tloušťky lehké konstrukce dosahují stejných nebo dokonce lepších akustických vlastností, než je tomu u klasické zděné zástavby. Díky speciální technologii při výrobě vybraných desek dosahuje konstrukce dobrých požárních odolností, vysokých únosností a zlepšení kvality prostředí v místnosti. [13,14]

V dnešní praxi najdeme využití těchto konstrukcí v hojné míře z mnoha důvodů. Montáž lehké stavební konstrukce je suchou výstavbou a tudíž vlhkostně nezatěžuje tolik stávající stavbu, což je výhodné zejména u dřevostaveb a při rekonstrukcích. Díky suché výstavbě se také značně zkracuje doba potřebná pro realizaci, jelikož zde odpadají technologické přestávky potřebné pro vyschnutí vody.

3.1. Obecné požadavky na lehké stavební konstrukce

3.1.1. Akustické požadavky

Dle normy ČSN 73 0532 jsou stanoveny obecné akustické požadavky na konstrukce. Jejich výtah je uveden v kapitole 2 v tabulkách 2.1, 2.2 a 2.3. Dodržení normy je závazné dle vyhlášky 268/2009 Sb. [13,14]

Důležitou hodnotou pro porovnání v dalších kapitolách s měřením a výpočtem je požadavek na mezibytovou stěnu, který je 53 dB. [13,14]

3.1.2. Požární požadavky

Požadavky na požární odolnost konstrukcí jsou závislé na stupni požární bezpečnosti požárního úseku, ve kterém se konstrukce nachází. Dále se rozlišuje, zda-li je konstrukce obvodová nebo vnitřní, popřípadě zda-li je nosná a v jakém podlaží se nachází. Požadavky určují minimální hodnotu klasifikační doby a také mohou určit druh konstrukce – DP1, DP2 a DP3. [13,14]

3.1.3. Agresivní prostředí

Lehké stavební konstrukce lze aplikovat i do míst se zvýšenou vzdušnou vlhkostí a přímým odstříkem. Zásadní je správná kvantifikace vlhkosti v prostředí a možnosti kondenzace nebo přímého výskytu vody a následný návrh deskového materiálu dle podkladu výrobce. [13,14]

Deskové prvky je možné zabudovat i do míst s mrazovým a chemickým zatížením. Zde je doporučena přímá konzultace s technikem výrobce. [13,14]

3.1.4. Bezpečnost

Požadavky na odolnost proti násilnému vniknutí jsou uvedeny v normě ČSN EN 1627 a zkoušeny jsou dle normy ČSN 1630. Bezpečnostní třídy se určují na základě předpokladu použitého nářadí dle kategorií a jeho použití. Výsledná třída koresponduje s dobou průlomové odolnosti. [13,14]

3.1.5. Únosnost

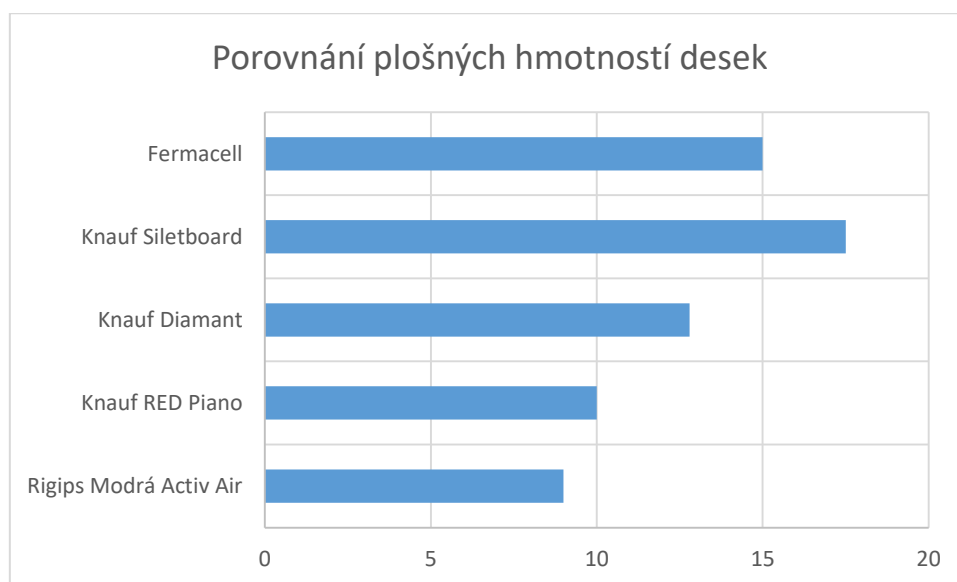
Lehké stavební konstrukce s dřevěným rámem se používají i jako nosné a musí splnit veškeré statické požadavky uvedené v normě ČSN EN 1995-1-1 (731701) – Eurokód 5. [13,14]

3.2. Jednotlivé prvky konstrukce

3.2.1. Desky

U lehkých konstrukcí můžeme vidět opláštění z OBS desek, sádrokartonových desek, sádrovláknitých desek, cementovláknitých desek atd. V této práci se zaměříme především na měření a výpočet konstrukcí se sádrokartonovými deskami.

Lehké konstrukce musí splňovat technické normy z pohledu šíření zvuku. Akustické požadavky jsou rozdílné pro obvodovou stěnu, mezibytovou příčku, příčky v rámci jednoho bytu, mezibytové stropy atd. Díky těmto požadavkům bylo vyvinuto mnoho desek a obecných řešení, aby jejich zabudování do konstrukce přineslo příznivý akustický efekt a hodnoty byly bezpečně splněny. Mezi výrobky firmy Rigips můžeme najít speciální modrou akustickou sádrokartonovou desku. Firma Knauf dodává například akustické desky RED Piano, Diamant a Siletboard. Firma Fermacell dodává také akustické sádrovláknité desky. [13,14]



Obr. 3.2 – Porovnání desek od různých výrobců dle jejich plošných hmotností [15]

Plošná hmotnost desek je zásadním parametrem vzhledem k výsledným akustickým vlastnostem konstrukce. Při použití desek s vyšší plošnou hmotností je dosaženo lepších akustických vlastností než u desek s nižší plošnou hmotností. [10]

Stavební konstrukce také podléhají požárním předpisům a jako takové je musí splnit. Dnes již standardní deska má minimálně požární odolnost A2. Desky od firmy Knauf a Rigips mají požární odolnost A2-s1,d0. Mezi výrobky firmy Fermacell můžeme najít speciální protipožární desky ze sádrovláknitého materiálu s přidanými nehořlavými vlákny, které jsou hydrofobizované. Tyto desky dosahují nejvyšší třídy na oheň dle ČSN EN 13501-1, a to třídy A1. Firma Knauf vyrábí deska Fireboard, která také dosahuje třídy A1. [13,14]

Lehké konstrukce mohou být použity i v místech s větší vlhkostí. Výrobci deklarují systémy pro použití do vlhkých koupelen, WC nebo kuchyní. Rovněž i do veřejných sprch, bazénů, wellness, automyček, bazénů, teras, soklových oblastí, pivovarů a dalších. Většina výrobců uvádí přehledné tabulky, které z jejich desek lze použít pro konkrétní vlhkostní zatížení. Na trhu můžeme nalézt také speciální desky, které mohou sloužit jako parobrzdná vrstva u difúzně otevřených skladeb obvodového pláště dřevěných budov. [13,14]

Na trhu můžeme nalézt i lehké konstrukce, které jsou vyrobeny tak, aby vyhověly bezpečnostním normám ČSN EN 1627. Konstrukce jsou klasifikovány jako třídy RC 2 a RC 3. U těchto typů stěn se používají speciální desky, například desky Topas nebo Massivbauplatte od firmy Knauf. Do konstrukcí lze také vkládat plech o tloušťce 0,5 – 0,6 mm, popřípadě výztužná tkanina. Na trhu existují i konstrukce, které vykazují odolnost proti průstřelu FB 4, například u výrobce Rigips. [13,14]

Dnes již lehké konstrukce vykazují velice zajímavé pevnosti pro kotvení různých typů břemen. Například systémy od firmy Rigips deklarují při použití desky Habito či RigiStabil únosnost pro břemena o hmotnosti od 20 kg do 155 kg. Není problém kotvit do lehké stěny skříně, poličky, obrazy, garnýže, ale také například úchyty pro lezeckou stěnu. [13,14]

Firma Rigips vyvinula technologii Activ'Air. Výrobce uvádí, že desky s označením Activ'Air dokáží snížit koncentraci formaldehydu v místnosti o více než 70 %, a to po dobu více než 50 let. Formaldehyd se nachází v nábytku, koberecích,

nátěrech, lepidlech, osvěžovačích vzduchu nebo například cigaretovém kouři, a jako takový je zdravotně škodlivý. [13,14]

3.2.2. Nosný rám

Lehké konstrukce jsou tvořeny nosným rámem, který je obvykle kotven ve své okrajové části. Sloupky jsou standardně pouze svislé a jsou uloženy do obvodových částí rámu. Z hlediska materiálu může být rám dřevěný nebo z tenkostěnných ocelových profilů. Dřevěné prvky jsou většinou z rostlého dřeva v šířkách od 40 do 80 mm. Tloušťky se pohybují od 60 do 200 mm. U konstrukcí, které mohou být více vlhkostně namáhány, můžeme použít dřevo lepené. Tenkostěnných ocelových profilů můžeme na trhu najít velké množství. Pro stropní konstrukce se používají profily UD a CD. Rozdíl mezi nimi je v použití buď na obvodovou část kotvenou do stávající konstrukce, nebo jako součást vnitřního roštu. Dále se používají profily CW a UW, které jsou určeny na stěnové konstrukce. Rozdíl je totožný jako u profilů pro stropní konstrukci. Můžeme zde najít speciální profily pro akustické příčky s jednoduchým rámem, děrované profily, vyztužovací profily, speciálně chráněné profily proti korozi, žárově pozinkované a další. Standardní profily jsou v tloušťkách 50, 75 a 100 mm. [13,14]

3.2.3. Výplňový materiál

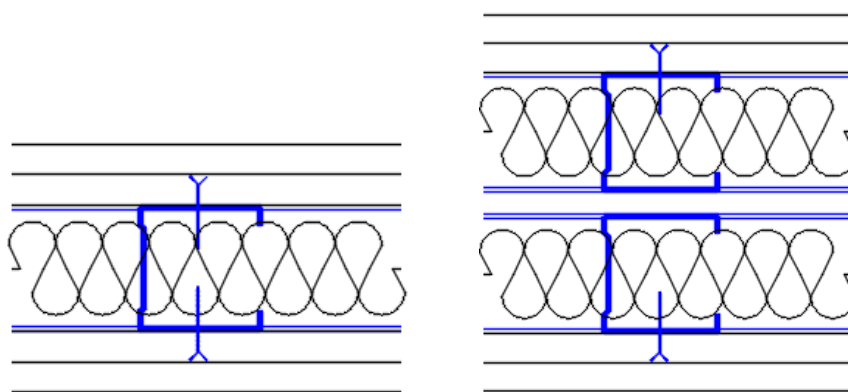
Do lehkých konstrukcí se vkládá výplňový materiál, aby bylo docíleno lepších akustických vlastností, například skelnou a kamennou vlnu, celulózu, konopí, ovčí rouno atd. Dalším důvodem je také, aby konstrukce na poklep nepůsobila dutým dojmem a tím byla uživatelsky příjemnější. Běžně se používají skelné vaty o objemové hmotnosti nejméně 15 kg/m^3 , například skelná vata Isover Piano. Dále se také používá čedičová vlna, která splňuje vysoké akustické nároky. Její objemová hmotnost je 40 kg/m^3 . [15,17]

Výplňový materiál se buď aplikuje do mezery foukáním, nebo je dodávám v tloušťkách standardně od 40 mm až do 200 mm. Faktor difúzního odporu těchto materiálů se pohybuje v rozmezí 1-5. [15]

3.3. Schémata typů konstrukcí

3.3.1. Typy lehkých konstrukcí

U lehkých prvků se používají zpravidla dva typy nosných konstrukcí. První je jednoduchý rošt oboustranně zaklopený deskovým materiálem. Druhá možnost je dvojitý rošt s průběžnou minimálně 5 mm širokou mezerou zaklopený z vnější strany roštu. Dvojitý rošt se používá z důvodů zlepšení akustické kvality konstrukce. Díky průběžné mezeře nedochází k přímé výměně zvukové energie pomocí mechanického spojení a tím se zvyšuje neprůzvučnost konstrukce. [13,14,10]

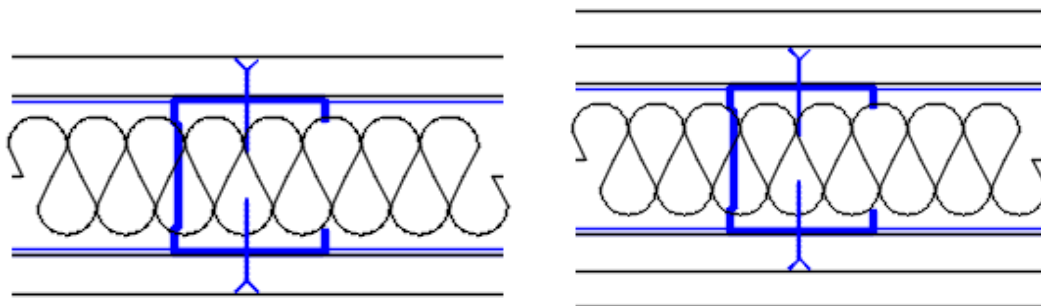


Obr. 3.3 - Dvojitě opláštěný jednoduchý rošt a dvojitě opláštěný dvojitý rošt

3.3.2. Opláštění rámu

Rám může být opláštěn jednou, dvěma nebo třemi deskami. Více desek se u opláštění v praxi nepoužívá. Nejběžnější variantou je jednoduché či dvojitě opláštění. Důvodem vícevrstvého opláštění je zvýšení akustických vlastností. Teoreticky dle zákona hmotnosti ve stavební akustice by s každým dalším opláštěným, pokud bude plošná hmotnost desek stejná, vzrostla neprůzvučnost konstrukce o 6 dB. [13]

Každá z desek se připevňuje speciálními sádkartonářskými vruty do tenkostěnných ocelových profilů nebo vruty do dřeva u dřevěného rámu konstrukce, standardně v osové vzdálenosti 250 mm nebo 300 mm. [13]



Obr. 3.4 - Jednoduše opláštěná konstrukce a dvojitě opláštěná konstrukce

3.4. Obvyklá neprůzvučnost konstrukce dle výrobce

Hodnoty daných konstrukcí včetně schémat a materiálů jsou převzaty od firmy Knauf.

Stěna	popis	R_w	Schema
Knauf WHITE W111	1 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 80 mm, 1 × Knauf WHITE 12.5	48 dB	
Knauf WHITE W112	1 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 80 mm, 2 × Knauf WHITE 12.5	55 dB	
Knauf WHITE W115	2 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 2 × 75 mm, 2 × Knauf WHITE 12.5	62 dB	
Knauf DIAMANT W151	1 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 80 mm, 1 × Knauf DIAMANT 12.5	52 dB	
Knauf DIAMANT W152	1 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 80 mm, 2 × Knauf DIAMANT 12.5	63 dB	
Knauf DIAMANT W155	2 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 2 × 80 mm, 2 × Knauf DIAMANT 12.5	72 dB	
Knauf SILENT K111	1 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 80 mm, 1 × Knauf Silentboard 12.5	60 dB	
Knauf SILENT K112	1 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 80 mm, 2 × Knauf Silentboard 12.5	70 dB	
Knauf SILENT K115	2 × CW 100, izolace Knauf Insulation TP 115 - 2 × 80 mm, 2 × Knauf Silentboard 12.5	76 dB (odhad)	

Obr. 3.5 – Obvyklé hodnoty vzduchové neprůzvučnosti [13]

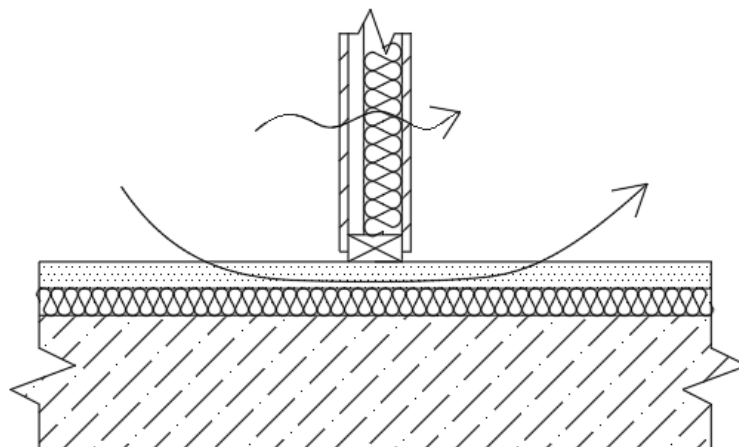
3.5. Typické detaily zabudování lehkých příček

Obecně u zabudování lehkých příček do konstrukce musíme dbát akustických zásad, aby nedošlo k negativnímu přenosu zvukové energie mezi místnostmi. Je zde několik možností provedení. U příkladů budeme vždy uvádět akusticky nejméně výhodnou variantu a každá další bude reprezentovat zlepšení.

3.5.1. Napojení stěny na podlahu

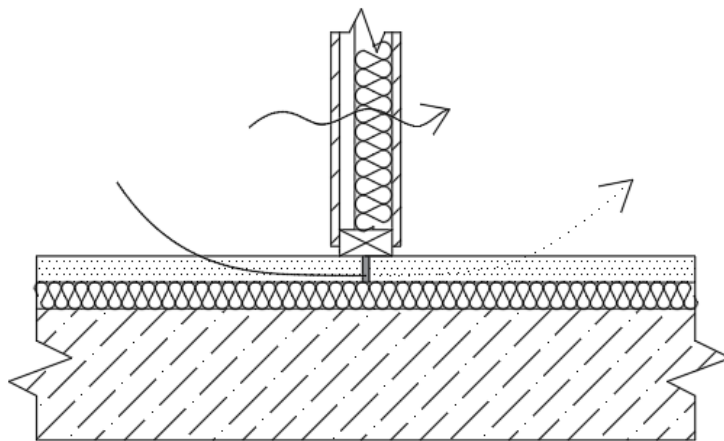
Uvedený příklad je konstrukčně řešen jako dřevěný rám, na který je aplikováno opláštění. Dolní vrstva je nosná část stropní konstrukce. Na ní je položena kročejová izolace. Poslední vrstva stropu symbolizuje všechny vrstvy nad kročejovou izolací. První příklad uložení stěny je aplikování rámu na roznášecí vrstvu konstrukce podlahy. Tento postup je nejméně výhodný, jelikož roznášecí vrstva je tuhá část, která akusticky spojuje obě místnosti. Tvoří cestu pro přenos akustické energie z jedné místnosti do druhé přes tuhou konstrukci. [13,16]

Výhoda tohoto řešení je nerozdělení podlahy a tím jednodušší demontáž či přesun stěnové konstrukce.



Obr. 3.6 – Průběžná podlaha, $R_{w, \text{boční}} = 38 - 44 \text{ dB}$, var. 1 [13,16]

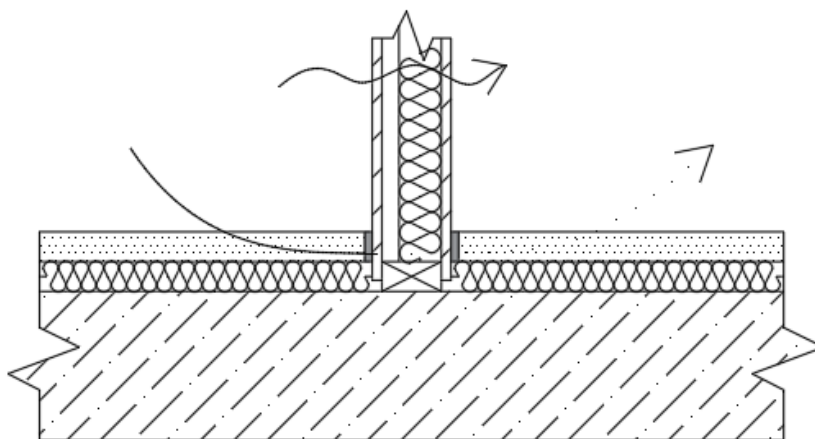
Dalším příkladem je shodné aplikování na roznášecí vrstvu podlahy, s tím rozdílem, že cesta přenosu energie touto vrstvou je přerušena. Důležité u provedení tohoto detailu je dodržet zásadu, že přerušení musí být provedeno pomocí pružného materiálu, který zajistí utlumení přenosu.



Obr. 3.7 – Podlaha s dilatační spárou, $R_{w, \text{boční}} = 55 \text{ dB var. 2}$ [13,16]

Poslední varianta reprezentuje akusticky nejvýhodnější provedení. Nosná část je upevněna na nosnou konstrukci stropu. Důležitá zásada u tohoto detailu je oddělení vrstev podlahy nad kročejovou izolací pružným materiálem od lehké příčky. Tím omezíme přenos zvukové energie tuhou konstrukcí a díky pružným oddělením dosáhneme nejlepších výsledků.

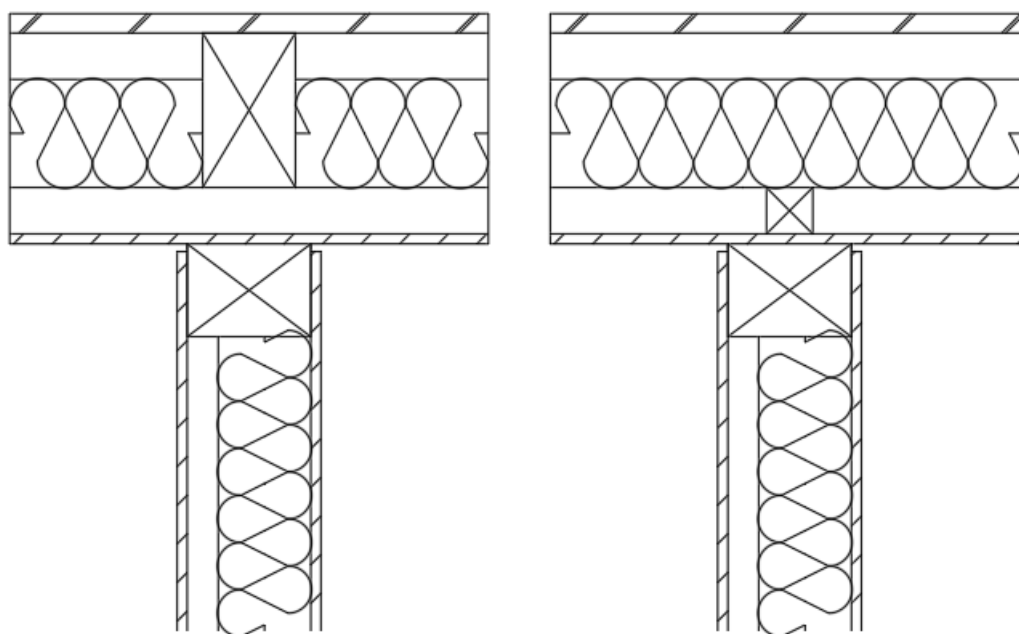
Nevýhodou tohoto řešení je přerušení podlahy. Při přesunu příčky jsou nutné další stavební úpravy.



Obr. 3.8 - Přerušená podlaha, $R_{w, \text{boční}} = 70 \text{ dB ,var. 3}$ [13,16]

3.5.2. Napojení stěny na strop

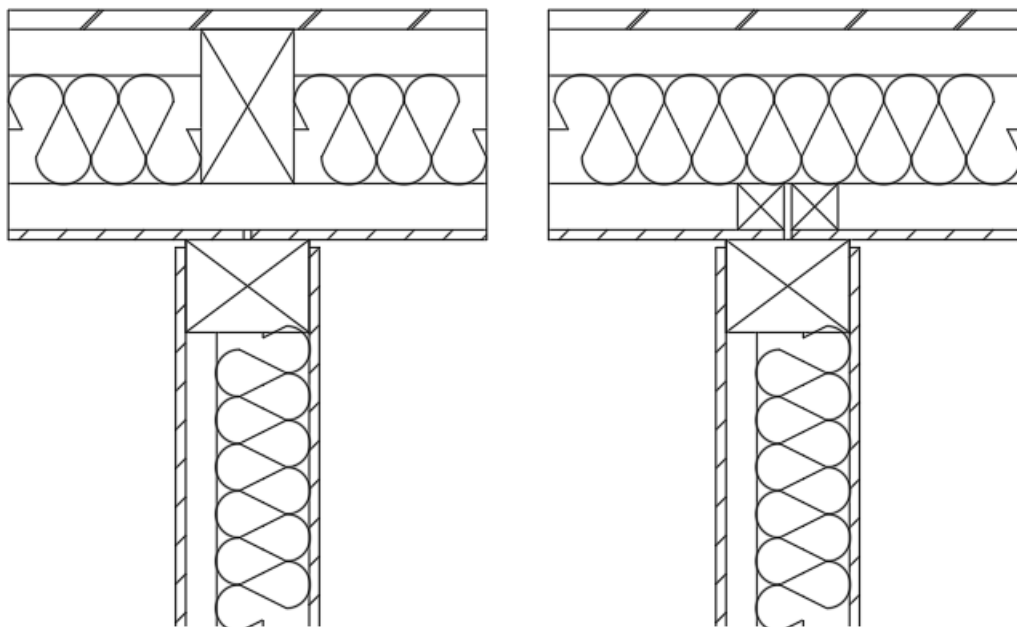
U napojení lehké příčky na stropní konstrukci platí prakticky stejné zásady jako u uložení lehké příčky na konstrukci podlahy. Obecně jde o co největší přerušení přenosu zvukové energie mezi místnostmi v místě detailu. K největšímu přenosu dochází v případě, kdy probíhá jeden tuhý prvek z jedné místnosti do druhé. Zhoršení je nejvíce patrné zvláště u prvků, které jsou co nejbližší ve skladbě vnitřku místnosti a jsou zároveň tuhé. U prvního detailu v levé části obrázku je zobrazeno řešení zabývající se deskovým prvkem, pravá část obrázku se zabývá provedením hranolků v podhledu. Jedná se o stropní konstrukci s dřevěnými nosnými rámy, vzduchovou mezerou a deskovými prvky z obou stran. Není zde zmíněna vrchní skladba podlahy, která pro tuto ukázkou provedení není důležitá. Tato varianta je nejméně akusticky výhodná, jelikož máme průběžné tuhé prvky, které probíhají z jedné místnosti do druhé. [16]



Obr. 3.9 – Napojení stěny na stropní konstrukci, var. 1 [16]

U druhého detailu můžeme vidět zásadní rozdíl v přerušení opláštění stropu tak, aby nedocházelo k přímému přenosu zvukové energie touto částí konstrukce. Zde nejsou nutné pružné materiály v místě přerušení, protože nehrozí zanešení nečistotami nebo jiným materiálem v průběhu aplikace, tudíž necháváme pouze průběžnou mezeru v celé délce stěny, která je společná mezi místnostmi. Důležitým prvkem je také to, že

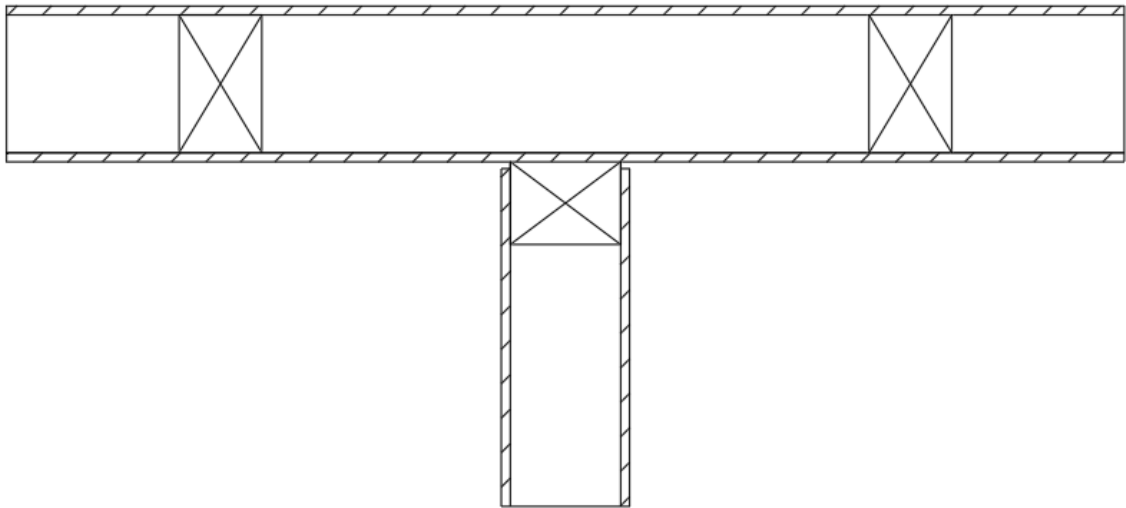
k ukotvení opláštění stropu jsou použity dva hranolky, každý pro danou místnost. Hranolky se nesmí vzájemně dotýkat a musí být dodržena také průběžná mezera, aby nedošlo k negativnímu přenosu zvukové energie.



Obr. 3.10 – Napojení stěny na stropní konstrukci, var. 2 [16]

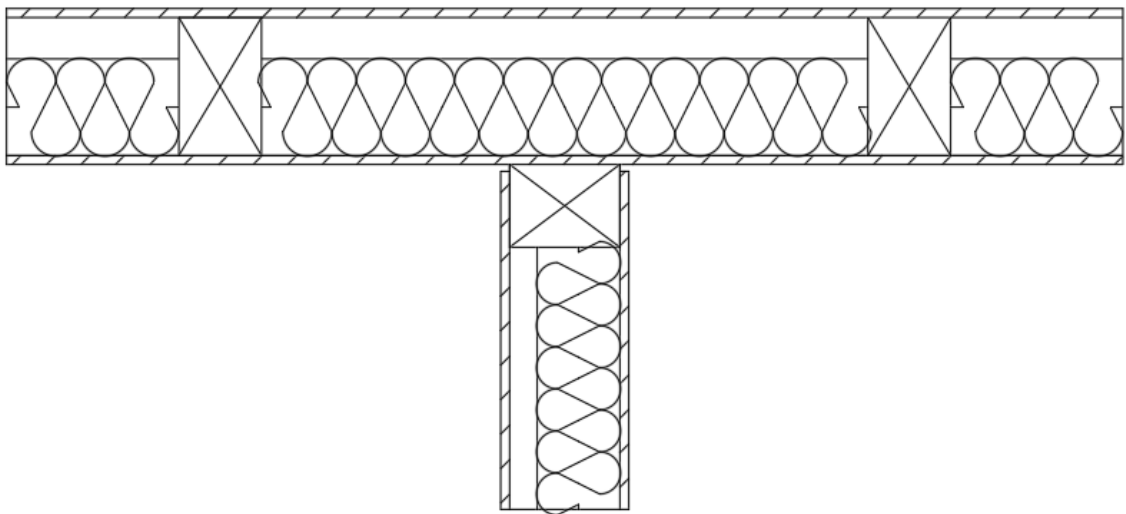
3.5.3. Napojení stěny na boční stěnu

Poslední situace, která bude ilustrována pro popsání obecných akustických zásad, je případ napojení nové lehké konstrukce na stávající. I zde je v příkladu uveden nosný rám z dřevěných prvků, avšak stejné zásady platí i u ostatních nosných systémů. U prvního příkladu můžeme vidět nejhorčí akustické provedení napojení na boční stěnu. Zde je průběžný tuhý prvek, který ve velké míře akusticky spojuje obě místnosti. Také společný rám u rozdělovací stěny je akusticky nevýhodné řešení. [16]



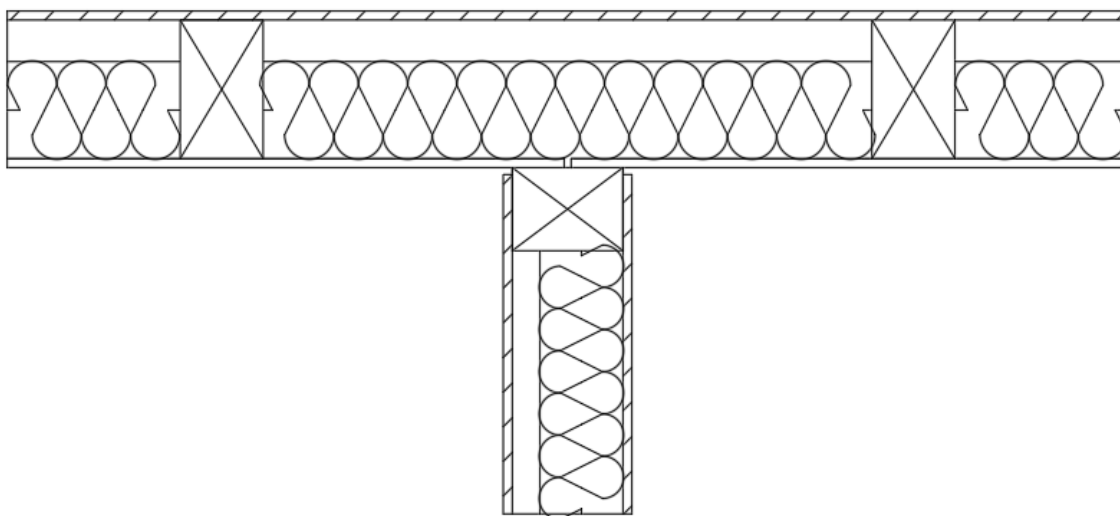
Obr. 3.11 – Napojení stěny na stěnu, var. 1 [16]

U dalšího příkladu vidíme zlepšení v podobě aplikování akusticky pohltivé výplně.



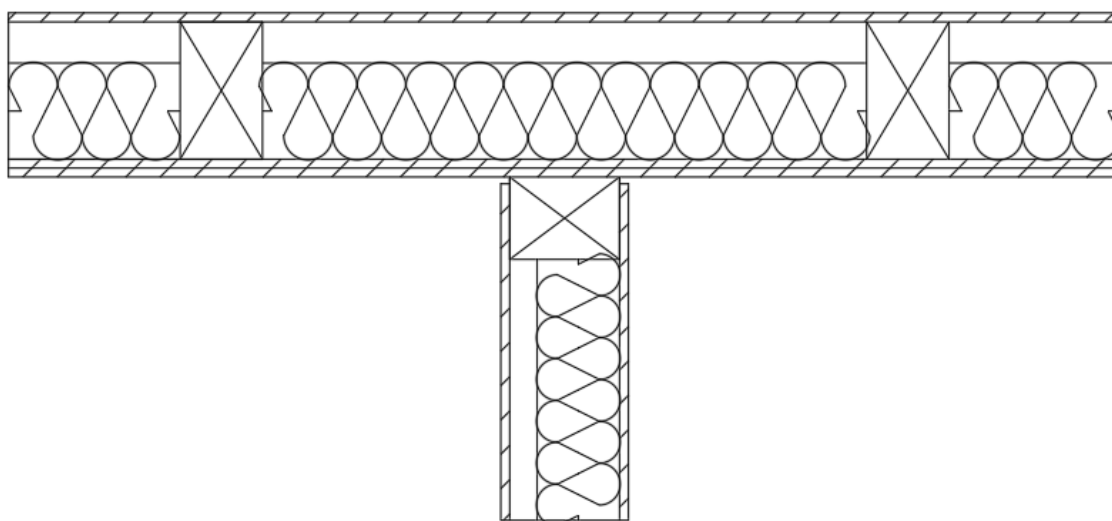
Obr. 3.12 – Napojení stěny na stěnu, var. 2 [16]

Zlepšení provedeme pomocí přerušného opláštění.



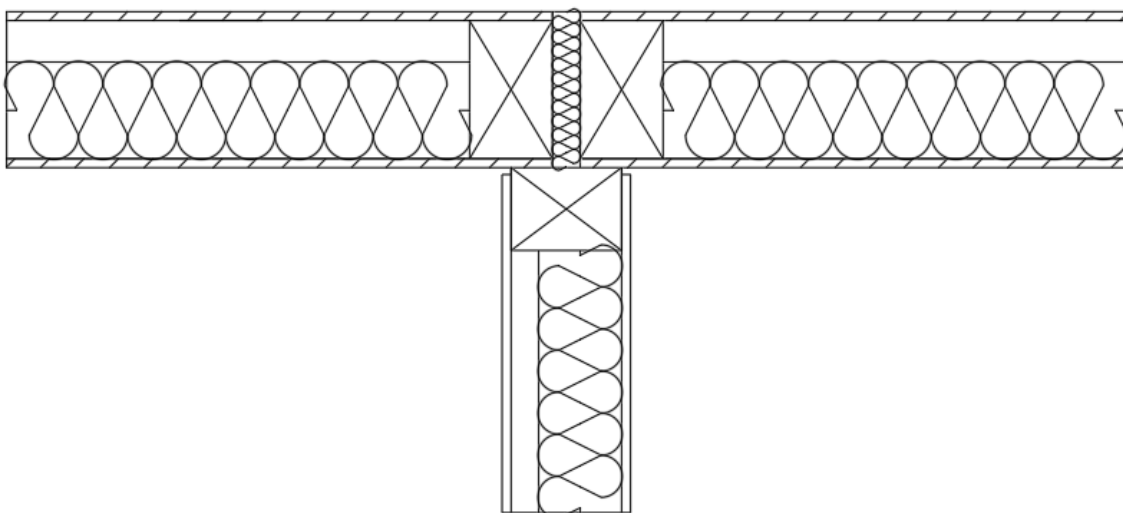
Obr. 3.13 – Napojení stěny na stěnu, var. 3 [16]

Další příklad využívá k zlepšení akustické pohody mezi místnostmi dvojité opláštění stěny.



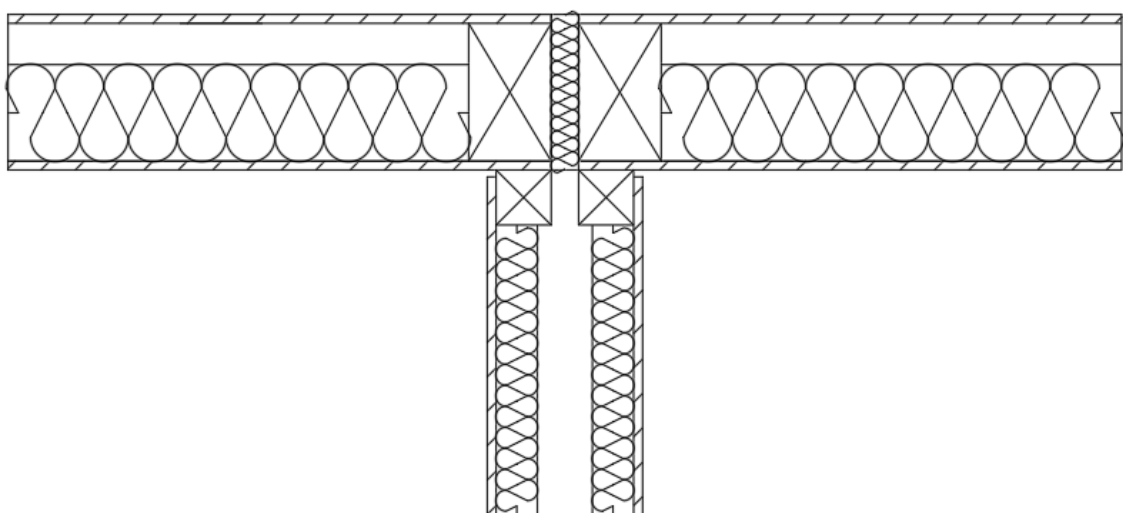
Obr. 3.14 – Napojení stěny na stěnu, var. 4 [16]

Principiálně nejbližší k předchozím podkapitolám bude mít další příklad, kde dochází k oddělení bočních stěn pomocí akusticky pohltivého materiálu. Zde je do značné míry přerušen tok zvukové energie přes tuhé společné konstrukce.



Obr. 3.15 – Napojení stěny na stěnu, var. 5 [16]

V poslední příkladu uvedeme akusticky nejvýhodnější řešení, v němž dojde k nejvýraznějšímu utlumení přenosu zvuku díky rozdělení bočních stěn akusticky pohltivým materiálem v kombinaci s dvojitou konstrukcí stěny. Zde dochází prakticky k úplnému omezení přenosu zvukové energie přímo přes tuhé mechanické spojení nosných částí. Každá dělicí stěna pro danou místnost má svoji nosnou konstrukci, která je akusticky oddělená od ostatních nosných konstrukcí díky akusticky pohltivým výplním.

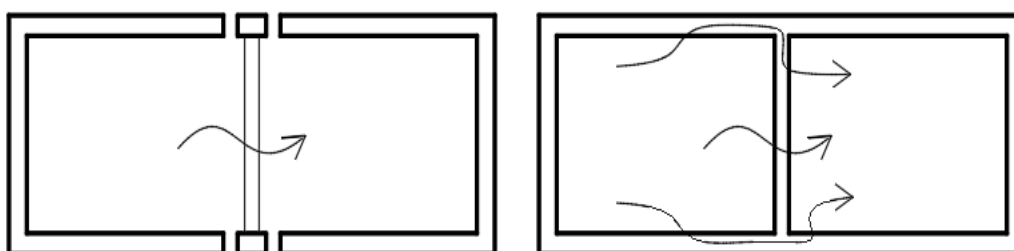


Obr. 3.16 – Nstěny na stěnu, var. 6 [16]

4. Měření vzduchové neprůzvučnosti

4.1. Laboratorní vs. In – situ

V laboratorních podmínkách je při stanovování neprůzvučnosti konstrukce zahrnut přenos zvukové energie pouze konstrukcí mezi místností zdroje a místností příjmu. Nedochozí zde k přenosu bočními cestami do přilehlých místností. [4]



Obr. 4.1 – Přenos zvukové energie v laboratoři (vlevo) a v in-situ (vpravo)

Laboratorní měření jsou používána především na stanovení vlastností daných konstrukcí. Měření na stavbě, neboli in-situ, je prováděno především z důvodu ověření splnění technických norem. [4]

Rozdíl mezi zmíněnými veličinami je v bočním přenosu zvuku. V laboratorních podmínkách dochází k přenosu zvukové energie pouze skrz dělicí konstrukci, zatímco na stavbě může dojít k značným přenosům přes okolní konstrukce. Neprůzvučnost takové konstrukce je snížena z hodnoty R na R' . Nejčastějším případem je přenos přes boční stěny, eventuálně podlahou. Dalším typem přenosu je stropní konstrukcí. Rozdíl mezi laboratorním měřením a měřením na stavbě může dosáhnout až několika decibelů. [4]

Stavební neprůzvučnost R' se stanoví ponížením vypočítané neprůzvučnosti o korekci, nebo lépe výpočtem z hodnot laboratorní neprůzvučnosti dle například ČSN EN 12354-1. Korekce nabývá hodnot mezi 2 až 8 decibely v závislosti na typu stavební konstrukce. U masivních zděných nebo montovaných panelových stavbách uvažujeme korekci 2 dB. U těžkých dělicích konstrukcí ve skeletových stavbách uvažujeme korekci

2 až 5 dB. U lehkých dělicích konstrukcí zabudovaných do skeletových, ocelových nebo dřevěných konstrukčních systému budovy uvažujeme korekci 4 až 8 dB. [4]

4.2. Přístrojové vybavení

Všesměrový reproduktor Nor276

Při měření ve stavební akustice je vyžadována všesměrná reproduktorová soustava. Její použití zajišťuje v největší možné míře zajištění difuzního zvukového pole v místnosti. K maximálnímu efektu jsou reproduktory montovány na povrch dodecahedronu, který se umísťuje doprostřed místnosti. Variantou je montáž reproduktorů na povrch polokruhového polyhedronu, který se umísťuje přímo na podlahu. Zde se vyzařuje do poloprostoru ohraničeného právě podlahou, na níž je umístěna. [9]

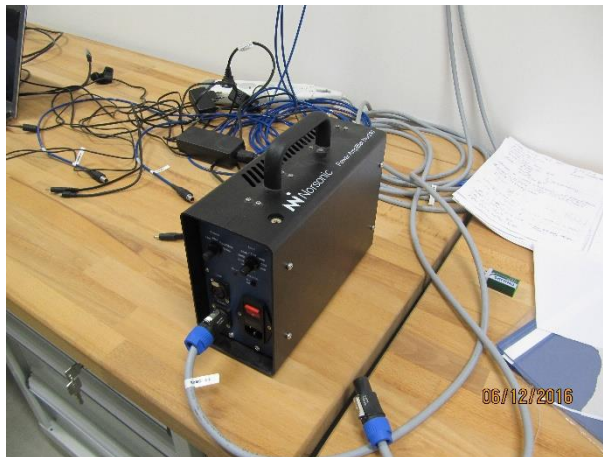
Při měření byl použit všesměrový vysokovýkonný reproduktor od firmy Norsonic – Nor276. Výstupní výkon je až 120 dB, respektive 1 pW pro růžový šum. Reproduktor je navržen pro nepřetržitý provoz po dobu více než jedné hodiny na plný výkon. Je určen pro použití s výkonovým zesilovačem Nor280. Průměr reproduktoru je 332 mm. [19]



Obr. 4.2 – Všesměrový reproduktor Nor 276 od firmy Norsonic

Výkonový zesilovač N280

Speciálně navržený výkonový zesilovač N280 pro stavební akustické měření disponuje výstupním výkonem až 500 Wattů RMS. Jeho součástí je soběstačný šumový generátor. Při použití s reproduktory Nor275 nebo Nor276 emituje 120 dB hladiny akustického výkonu v rozsahu 50-5000 Hz. Přístroj se používá k měření zvukové izolace, doby dozvuku a absorpčního koeficientu. [18]



Obr. 4.3 – Výkonový zesilovač N280 od firmy Norsonic

Zvukový analyzátor Nor140

Přesný ruční zvukový analyzátor Nor140 patří k jednomu z nejmenších na trhu. Je používán při měření hluku z vnějšího prostředí, ve stavební akustice, v průmyslovém prostředí, při hlukovém mapování, při měření vibrací atd. Slouží k frekvenční analýze oktávových a třetinooktávových pásmech v rozsahu 0,4 Hz – 20 000 Hz. Vypočítává také dobu dozvuku. [17]



Obr. 4.4 – Zvukový analyzátor Nor140

Mikrofon Nor 1225

Jedná se o zařízení, které transformuje dopadající zvukový signál na signál elektrický. Mezi nejpoužívanější patří mikrofon kondenzátorový. Princip toho přístroje je změna kapacity vzduchového kondenzátoru způsobená změnou vzdálenosti dvou elektrod, které tvoří dvě kovové membrány. Do měřicí sestavy také patří ještě mikrofonní předzesilovač. [9]

Mikrofon Nor 1225 pokrývá frekvenční rozsah od 5 Hz do 10 000 Hz s odchylkou 1 dB. [20]



Obr. 4.5 – Mikrofon Nor 1225

Akustický kalibrátor Nor 1251

Dnes již je kalibrace nedílná součást většiny přesných zařízení. Jde o kontrolu či znovunastavení požadovaných vlastností tak, aby naměřené hodnoty odpovídaly realitě. U kalibrací měřících vybavení se kontrolují elektrické vlastnosti použitého měřícího řetězce. V praxi se můžeme setkat s dvěma typy. U obou se jedná o navázání měřidla na etanol. V případě pistonfonu se jedná o pohyb pístu v objemu, který je uzavřen membránou mikrofону. U tónových kalibrátorů je princip jejich fungování reproduktor vyzařující do komůrky s přesně definovaným objemem uzavřenou mikrofonní membránou. [9]

Zákon č. 505/1990 Sb. stanovuje pravidelné ověření zvukoměru minimálně jednou za dva roky. Toto pravidlo se vztahuje i na oktávové a třetinooktávové filtry. Pravidelné kontroly o stejné minimální frekvenci jsou vyžadovány i na kalibrační zařízení. [9]

Kalibrátor Nor 1251 má vlastní kompenzační třídu přesnosti 1 dle IEC 60942. Kompenzuje změny teploty, vlhkosti a atmosférického tlaku, a tím odpadá potřeba manuální opravy těchto parametrů. [21]

5. Výpočet u lehkých stavebních konstrukcí

5.1. Jednoduché konstrukce

Chápání konstrukce jako jednoduché z pohledu akustického chování má své odlišnosti od klasického stavebního rozdělení. Konstrukci považujeme za akusticky jednoduchou v případě, že je jednovrstvá a homogenní. Konstrukcí, které jsou vícevrstvé, avšak jednotlivé jejich vrstvy vykazují podobné mechanické vlastnosti, považujeme také za jednoduché. Do této kategorie také patří konstrukce vylehčené dutinami, ať jednovrstvé, tak i vícevrstvé. Dutiny však musí být malého objemu a jejich podíl nesmí přesáhnout 15% z celkového objemu. Patří sem také konstrukce sendvičové s nehmotným jádrem. [1]

Při teoretickém rozboru závislosti neprůzvučnosti jednoduché konstrukce na frekvenci lze očekávat tři charakteristické oblasti:

1. Oblast vlastní rezonance
2. Oblast zákona hmotnosti
3. Oblast vlnové koincidence

5.1.1. Oblast vlastní rezonance

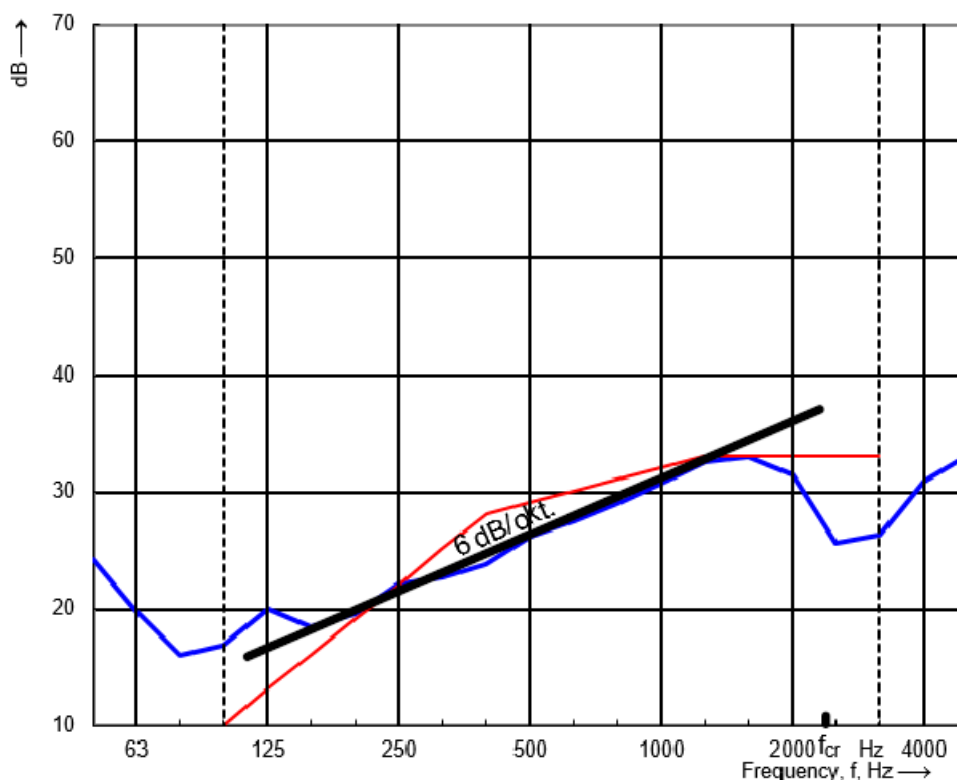
Jedná se o oblast, která charakterizuje chování na nízkých frekvencích. Předpokládáme konstrukci o rozměrech l_x , l_y a tloušťce h , která je ve srovnání s ostatními rozměry velmi malá. Konstrukce je uložena prostě po všech čtyřech stranách, nikoliv vetknuta. Neprůzvučnost v oblasti vlastní rezonance je velmi nízká a nestálá. Vlastní rezonance je dána zejména ohybovou tuhostí, plošnou hmotností a rozměry. Vlastní rezonanci definujeme pomocí vztahu [1]:

$$f_{n_x, n_y} = 0,45c_L h \left[\left(\frac{n_x}{l_x} \right)^2 + \left(\frac{n_y}{l_y} \right)^2 \right] \quad (5.1)$$

n_x, n_y libovolná celá čísla [-]

c_L rychlost podélného vlnění v materiálu [m/s]

Oblast vlastní rezonance zasahuje přibližně dvě až tři oktávy okolo základní frekvence vlastní rezonance. V případě konstrukce jedné desky Knauf RED, jejichž výsledek laboratorního měření vzduchové neprůzvučnosti lze vidět na obrázku 5.1, je základní frekvence vlastní rezonance rovna dle výpočtu 10,5 Hz. [1,9]



Obr. 5.1 – Neprůzvučnost desky Knauf RED laboratorním měřením, $R_w = 29,1$ dB

5.1.2. Oblast zákona hmotnosti

Je to kmitočtová oblast přibližně od trojnásobku základní frekvence vlastní rezonance f_0 do třetiny kritického kmitočtu vlnové koincidence f_{cr} . Souvislost mezi neprůzvučností konstrukce a prostředím je v této oblasti malá, proto se tato oblast prezentuje ideálním chováním prvku z hlediska neprůzvučnosti. Pokud zdroj zvuku je v uzavřené místnosti s difúzním zvukovým polem, pak lze uvažovat všesměrný dopad zvukových vln na konstrukci. Při platnosti těchto předpokladů lze očekávat při

zdvojnásobení plošné hmotnosti konstrukce zvýšení neprůzvučnosti o 6 dB. Dále se neprůzvučnost zvyšuje s každým růstem o jednu oktávu o 6 dB. Takto předvídatelné chování je díky rychlosti a vlnové délce volných ohybových vln v konstrukci, které jsou menší než rychlost a vlnová délka zvukových vln dopadajících z okolního prostředí. Hmotnost konstrukce je optimálně využita, pokud platí, že $f_0 \ll 100$ Hz a $f_{cr} \gg 3150$ Hz, jelikož je v co nejvyšší míře obsažena ve zvukoizolační oblasti. Neprůzvučnost v této oblasti lze vypočítat pomocí vzorce [1,9]:

$$R = 20 \log(m'f) - 47,5 \quad (5.2)$$

m' plošná hmotnost [kg/m^2]

5.1.3. Oblast vlnové koincidence

Zde je spojitost mezi prostředím a konstrukcí velmi těsná. Pokud se kolmý průmět vlnové délky dopadající zvukové vlny do roviny jednoduché konstrukce shoduje s vlnovou délkou volných ohybových vln v konstrukci, pak dochází k jevu nazývanému vlnová koincidence. K největšímu poklesu neprůzvučnosti konstrukce v dané kmitočtové oblasti dochází na kritickém kmitočtu vlnové koincidence pro tečný dopad zvukových vln. V případě, že konstrukce je homogenní jednoduchá, kritickou frekvenci vyjádříme vztahem [1,9]:

$$f_{cr} = \frac{63733,6}{c_L h} \quad (5.3)$$

Oblast vlivu vlnové koincidence začíná přibližně ve třetině kritické frekvence. Na obrázku 5.1 můžeme vidět maximální vliv vlnové koincidence dle výpočtu na frekvenci 2402 Hz. [1,9]

5.1.4. Metody výpočtu

Při výpočtu neprůzvučnosti sádrokartonových desek bylo vycházeno ze vzorců (Fahy, 1987) [10]:

$$R_f \approx 20 \log(m'f) - 10 \log \left[\ln \left(\frac{2\pi f}{c_0} \sqrt{ab} \right) \right] + 20 \log \left[1 - \left(\frac{f}{f_{cr}} \right)^2 \right] - 42 \text{ dB} \quad f < f_{cr} \quad (5.4)$$

$$R = 20 * \log(m' * f) + 10 * \log \left[2\eta_{tot} \frac{f}{f_{cr}} \right] - 47 \text{ dB} \quad f > f_{cr} \quad (5.5)$$

η_{tot} celkový ztrátový činitel [-]

5.2. Dvouprvkové konstrukce

Pojmem dvouprvkové konstrukce je myšlena konstrukce, která se skládá ze dvou nezávislých prvků oddělených vzduchovou mezerou zpravidla vyplněnou tlumícím materiálem porézního charakteru. Konstrukce jako taková může být mechanicky spřažena různými způsoby. Mezi základní rozdělení patří rozdělení na konstrukci s mechanickými spoji a bez mechanických spojů. Pro lepší pochopení daných výrazů si můžeme pod pojmem mechanicky spojenými konstrukcemi představit případy, kdy desky opláštění (např. sádkartonové desky) jsou obě pevně připevněny na společný rám, tudíž dochází k přenosu zvukové energie přes konstrukci rámu. Mechanicky nespojené konstrukce většinou využívají dvou nosných rámu, které jsou odděleny mezerou, a každý z nich nese boční konstrukci. Zde tudíž není přenos zvukové energie přímo přes prvky rámu. [1,9,10]

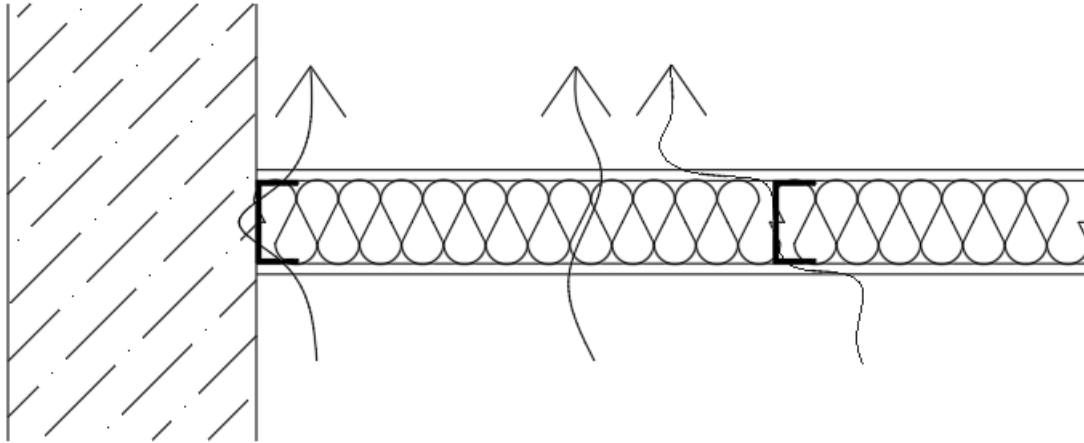
Obecně prvky mohou být velmi masivní, jako například z betonu, pórobetonu, cihel atd. Tato práce se zabývá lehkými konstrukcemi, které váží méně než těžké konstrukce. Po těchto konstrukcích je dnes veliká poptávka, jelikož z pohledu akustických parametrů dosahují mnohem lepších výsledků při menší tloušťce celkové konstrukce. Například při porovnání s masivní stěnou, popřípadě s masivní dvouprvkovou stěnou vyplněnou tlumícím materiálem porézního charakteru, většinou nejpoužívanější minerální vatou, můžeme vidět, v jakých hodnotách se pohybují tloušťky konstrukcí a jejich vážená stavební neprůzvučnost. [13]

Desky				Ocelový rám			R_w [dB]	Tloušťka konstrukce	Masivní konstrukce 300 kg/m ²	Výplň skl. vata
White	RED Piano	Diamant	Silentboard	CW 50	CW 100	MW 100				
• •				•			42	75 mm	100 mm	
•• ••				•			52	100 mm	200 mm	
	•• ••				•		59	150 mm	240 mm	
	• •	• •			•		62	150 mm	300 mm	
			•• ••		•		67	150 mm	233 mm	60 mm
			••• •••			•	74	175 mm	260 mm	60 mm

Tab. 5.2.1 – Srovnání lehké konstrukce s masivní těžkou konstrukcí při stejných akustických vlastnostech [13]

Konstrukce dosahují lepších výsledků při menší tloušťce díky správné kombinaci jednotlivých vrstev. Materiály jako takové nejsou schopny plnit předepsané technické normy, které uvádějí minimální akustické požadavky pro mezibytové stěny, mezipokojové příčky atd. [13] Těchto výsledků se může dosáhnout při správné skladbě konstrukce, která je většinou tvořena těžším deskovým prvkem napojeným na rámovou konstrukci. Mezera je vyplněna porézním pohltivým materiálem. Nevýhoda těchto lehkých konstrukcí z pohledu akustických požadavků je v náročnosti na kvalitu provedení. Obecně musíme u nich dbát na spojení s okolními tuhými prvky, na napojení na rámovou konstrukci či na oddělení jednotlivých rámových konstrukcí průběžnou mezerou.

U dvouprvkových stěn dochází k přenosu zvuku cestou přes rámovou konstrukci, dále také přímou cestou přes vzduchovou mezeru s vloženým pohlcovačem, většinou minerální vatou, a také boční cestou přes napojení k okolním konstrukcím. [10]



Obr. 5.2.1. – Přenos zvuku přes lehkou konstrukci

U dvouprvkových stěn můžeme pozorovat jevy, které jsou charakteristické i pro jednoprvkové konstrukce, jako jsou vlastní rezonance, zákon hmotnosti a vlnová koincidence. Dvouprvková konstrukce je tvořena z dílčích částí tak, že si jednotlivé konstrukce nebrání v samostatném kmitání. Okrajové části, tvořeny jednoduchými konstrukcemi s podobnou ohybovou tuhostí, například sádkartonovými deskami, tvoří mezeru, která je vyplňována zvukově pohltivým materiálem, většinou minerální vatou, tak, aby byl dodržen princip samostatného kmitání jednotlivých konstrukcí. Díky specifické skladbě konstrukce dochází k další jevům, na které musí být brána větší pozornost při návrhu, a které jsou typické pro dvojité stěny – rezonance typu hmotnost – poddajnost – hmotnost, útlum ve vzduchové mezeře, stojaté vlnění ve vzduchové mezeře (půlvlnná rezonance) a přenos zvuku mechanickými spoji mezi dílčími jednoduchými konstrukcemi. [1,9]

5.2.1. Rezonance typu hmotnost – poddajnost – hmotnost.

Skladba dvouprvkových konstrukcí odpovídá vnějším tuhým prvkům se vzduchovou mezerou mezi nimi vyplněnou zvukově pohltivým materiálem. Fyzikálně si tento model můžeme představit jako dvě tuhé kuličky spojené pružinou. Šířka vzduchové dutiny představuje délku pružiny, která ovlivňuje rezonanční kmitočet. Vliv rezonance ovlivňuje akustické vlastnosti v rozsahu dvou, až třech oktáv v okolí

rezonančního kmitočtu f_r . Tento jev oslabuje akustické vlastnosti až pod hodnotu, která by odpovídala jednoduché konstrukci s celkovou plošnou hmotností jako by byl součet všech dílčích plošných hmotností prvků dvojité konstrukce. Při návrhu je požadovaná hodnota rezonančního kmitočtu $f_r < 70$ Hz. V praxi se doporučuje navrhovat konstrukce s rezonančním kmitočtem $f_r < 50$ Hz, hlavně u konstrukcí s malou neprůzvučností na nízkých kmitočtech. [1,9]

Rezonanční kmitočet můžeme vyjádřit vztahem:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_d}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (5.6)$$

Indexy m'_1 a m'_2 značí plošnou hmotnost prvků na jednotlivých stranách a d [m] je šířka vzduchové mezery. Po dosažení dynamického modulu vzduchu $E_d = 0,14$ MPa dostaneme vztah [10]:

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{m'_1 + m'_2}{m'_1 m'_2} \right)} \quad (5.7)$$

Pro návrh tloušťky vzduchové mezery odpovídá vztah:

$$d > 0,73 \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right) \quad (5.8)$$

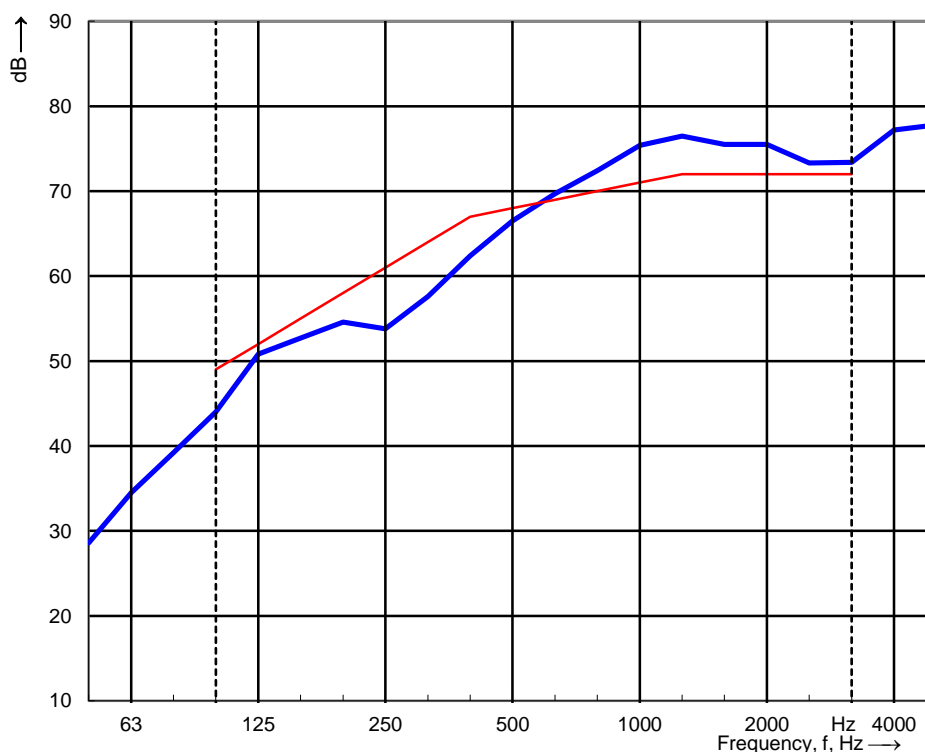
Pokud tento vztah nedodržíme, může dojít k výraznému znehodnocení funkčnosti zvukové izolace při nízkých kmitočtech a k oslabení konstrukce z pohledu akustických vlastností. [10]

5.2.2. Stojaté vlnění ve vzduchové mezeře – půlvlnná rezonance

Díky závislosti vlnové délky na frekvenci zvuku se při dané šířce vzduchové mezery mezi prvky konstrukce začne od určité frekvence projevovat vliv stojatého vlnění. U dvou tuhých konstrukcí s mezerou mezi nimi začne docházet k přenosu zvukové energie stojatým vlněním. Neprůzvučnost se na kmitočtech půlvlnné rezonance sníží. U konstrukcí s vyplněnou dutinou porézním materiálem nebývá však tento pokles viditelný a vliv stojatého vlnění zapříčiňuje pokles růstu neprůzvučnosti z 18 dB na oktávu na 12 dB na oktávu. [10]

Kmitočet změny růstu neprůzvučnosti f_d [Hz] můžeme vyjádřit vztahem:

$$f_d = \frac{55}{d} \quad (5.9)$$



Obr. 5.2.2.1 – Měření neprůzvučnosti dvourvrstvé konstrukce opláštěné oboustranně 2x deskou Knauf RED, s dvěma nosnými rámy oddělenými průběžnou mezerou 5 mm tlustou, z ocelových profilů CW 100 se sloupky s osovou vzdáleností 625 mm. Zde vychází změna růstu neprůzvučnosti kolem kmitočtu 268 Hz.

5.2.3. Přenos zvuku mechanickými spoji mezi dílčími konstrukcemi

Na rozdíl od jednoduchých konstrukcí, u dvouprvkových konstrukcí se musí také řešit a analyzovat přenos zvukové energie přes mechanické spojení. U běžných lehkých příček se rozumí mechanickými spoji napojení jednotlivých desek na středový nosný rám konstrukce. Zde dochází ke značnému přenosu zvuku, jelikož spojení je velmi tuhé a v této části dochází ke kmitání konstrukce jako celku. Při vyšších požadavcích na konstrukci z hlediska akustického, používá konstrukce bez mechanických spojů, kde k tomuto typu přenosu nedochází a konstrukce vykazují lepší akustické vlastnosti. Jako příklad můžeme uvést konstrukci s dvěma rámy od sebe

oddělenými mezerou, na které jsou připevněni desky pouze u každého rámu z jedné strany. [1,9]

5.2.4. Útlum ve vzduchové mezeře

Při doporučeném vyplnění vzduchové mezery mezi krajními prvky konstrukce zvukově pohltivým materiálem dojde k nárůstu neprůzvučnosti konstrukce. K neefektivnějšímu výsledku se uvádí vyplnění dutiny porézním materiálem přibližně ze dvou třetin šířky. Při kompletním vyplnění dutiny nemusí dojít ke z kvalitnější akustických vlastností z důvodu hmotného spojení jednoduchých konstrukcí. Tím může být navýšen podíl přenosu zvukové energie přes tuhé části, jako je tomu u přenosu přes rámovou konstrukci, a tím dojde k dosažení horších výsledků než u částečného vyplnění dutiny. Při technologickém provádění je potřeba také sledovat dostatečnou tuhost výplňového materiálu, aby nedošlo k poklesu a v konstrukci části nevznikaly mezery, které budou bez výplně. Zde je dvoutřetinový poměr vyplnění pozitivní, jelikož například minerální vata stále drží svůj tvar a nedochází k jejímu poklesu, jak by mohlo nastat například u vyplnění dutiny méně než z poloviny. [10]

5.2.5. Metody výpočtu

5.2.5.1. Dvojitý rám

Při výpočetní analýze lehkých konstrukcí s dvojitým rámem byl výpočet rozdělen na tři části. První část byla frekvenčně ohraničena $f < f_0$. Zde byl použit vzorec (Sharp, 1978) [10]:

$$R = 20 \log \left(10^{\frac{R_1}{20}} + 10^{\frac{R_2}{20}} \right) \quad f < f_0 \quad (5.10)$$

Druhá charakteristická část byla omezena dvěma frekvencemi, f_0 a f_d . Zde byl použit vzorec (Sharp, 1978) [10]:

$$R = R_1 + R_2 + 20 \log(fd) - 29 \text{ dB} \quad f_0 < f < f_d \quad (5.11)$$

Třetí část, kde frekvence byly vyšší než frekvence f_d , byla reprezentována vzorcem (Sharp, 1978) [10]:

$$R = R_1 + R_2 + 6 \text{ dB} \quad f > f_d \quad (5.12)$$

5.2.5.2. Jednoduchý ocelový rám

Výpočet vzduchové neprůzvučnosti byl rozdělen na dvě části. Mezi byla kritická frekvence. V první části, kde $f < f_{cr}$ byly použity vzorce (Davy, 1991) [11]:

Pro výpočet přenosu zvukové energie mechanickými spoji [10] :

$$\beta = \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c,1}} \right)^2 \right] \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c,2}} \right)^2 \right] \quad (5.13)$$

$$g = m_1 \sqrt{2\pi f c_{c,2}} + m_2 \sqrt{2\pi f c_{c,1}} \quad (5.14)$$

$$\tau_{B,line} = \frac{64\rho_0^2 c_0^3}{\{g^2 + (4c_0(2\pi f)^{3/2} m_1 m_2 C_M - g)^2\} \beta b (2\pi f)^2} \quad (5.15)$$

Pro výpočet přenosu zvukové energie vzduchovou mezerou [10]:

$$a_i = \left[\frac{\pi f m_i}{\rho_0 c_0} \right] \left[1 - \left(\frac{f}{f_{c,1}} \right)^2 \right] \quad (5.16)$$

$$\tau_p = \frac{1 - \frac{c_0}{2\pi f \sqrt{S}}}{\left[\frac{m_1^2 + m_2^2}{2m_1 m_2} + a_1 a_2 \bar{\alpha} \frac{c_0}{2\pi f \sqrt{S}} \right] \left[\frac{m_1^2 + m_2^2}{2m_1 m_2} + a_1 a_2 \bar{\alpha} \right]} \quad (5.17)$$

Pro vzduchovou neprůzvučnost:

$$R = -10 \log(\tau_{B,line} + \tau_p) \quad f_0 < f \quad (5.18)$$

Ve druhé části výpočtu pro frekvence $f > f_{cr}$ byla zachována metoda výpočtu pro zvukovou energii přenesenou mechanickými spoji. Ve výpočtu byly nahrazeny vzorce pro výpočet přenosu zvukové energie vzduchovou mezerou těmi, které platí pro frekvence $f > f_{cr}$ (Davy, 1998) [11]:

$$\xi_i = \left(\frac{f}{f_{cr,1}} \right)^{1/2} \quad i = 1,2 \quad (5.19)$$

$$\bar{a}_i = \frac{\pi f m_i}{\rho_0 c_0} \quad i = 1,2 \quad (5.20)$$

$$q_1 = \eta_1 \xi_2 + \eta_2 \xi_1 \quad (5.21)$$

$$q_2 = 4(\eta_1 - \eta_2) \quad (5.22)$$

$$\tau_F = \frac{\pi(\xi_1 + \xi_2)q_1}{4\bar{a}_1^2 \bar{a}_2^2 \eta_1 \eta_2 \xi_1 \xi_2 (q_1^2 + q_2^2) \bar{a}^2} \quad (5.23)$$

Pro vzduchovou neprůzvučnost:

$$R = -10 \log(\tau_{B,line} + \tau_F) \quad f > f_{cr} \quad (5.24)$$

5.2.5.3. Jednoduchý dřevěný rám

Zde bylo použito Sharpova modelu (1978). Dále bylo vycházeno ze vzorců (Cremer, 1988) a jejich úprav [10].

$$f_{c,line} = \left[\frac{m_1 \sqrt{f_{c,2}} + m_2 \sqrt{f_{c,1}}}{m_1 + m_2} \right]^2 \quad (5.25)$$

$$\Delta R_{line} \approx 10 \log(b f_{c,line}) - 23 \text{ dB} \quad (5.26)$$

$$R_M = 20 \log \left(10^{\frac{R_1}{20}} + 10^{\frac{R_2}{20}} \right) \quad (5.27)$$

$$R = R_M + \Delta R \quad (5.28)$$

6. Popis experimentu

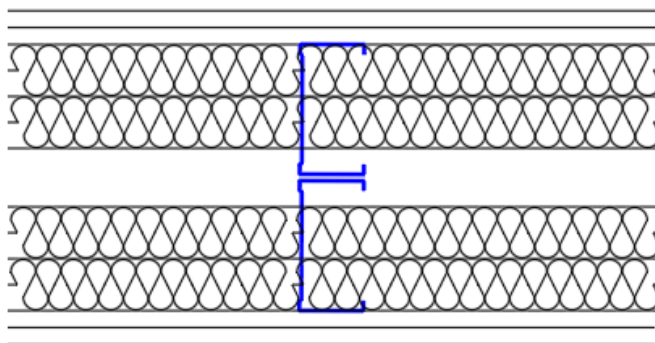
Jednotlivá měření byla prováděna v akustické laboratoři ČVUT v budově UCEEB v Buštěhradu, která disponuje vlastním zkušebním zařízením podle ČSN EN ISO 10140-5 pro měření zvukové izolace stavebních prvků. [22] Bylo provedeno 12 vybraných měření lehkých konstrukcí za účelem stanovení vzduchové neprůzvučnosti daných konstrukcí. Základem byl nosný rám po 625 mm z ocelových sloupků nebo dřevěných trámů. Během laboratorních měření došlo k aplikaci různého typu opláštění ze sádkartonových desek, různý počet desek a různé okrajové tmelení. Desky byly připevňovány sádkartonářskými vruty po 250 mm do svislých částí rámu. Během měření byla i zjištěna špatně provedená průběžná spára mezi dvojitým rámem a mohl tak být částečně zkoumán její vliv na neprůzvučnost konstrukce.



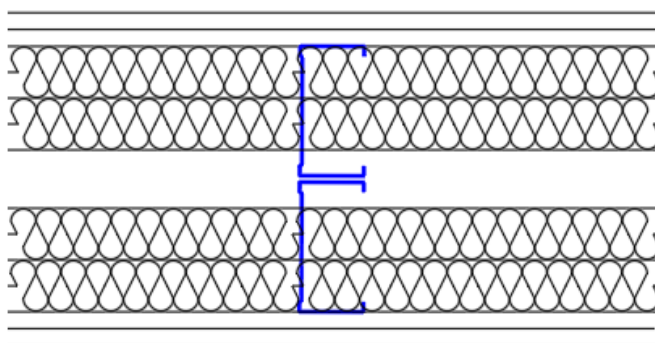
Obr. 6.1 – Aplikování tmelu na zkoušenou konstrukci

6.1. Zkoušené konstrukce

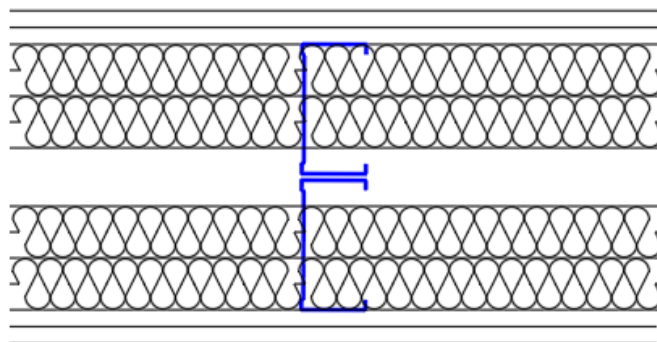
Jednotlivé konstrukce byly vždy připevňovány na rám o rozměrech 2 x 1,25 m, který měl průběžný sloupek uprostřed, čili po 625 mm. U skladeb je zobrazen pouze schématický výřez.



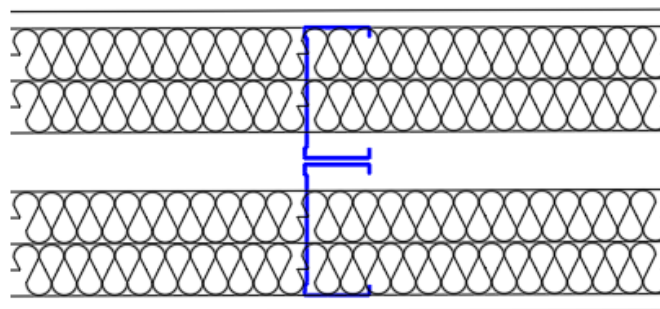
Obr. 6.2 – Skladba 1 - Oboustranné opláštění 2x Knauf RED, nosný dvojitý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v každém rámu, tmel po obvodu Knauf Uniflot, chyba provedení – mechanický kontakt nosných rámu



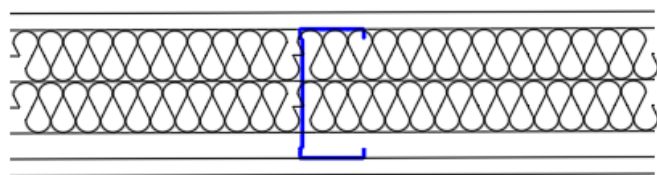
Obr. 6.3 – Skladba 2 - Oboustranné opláštění 2x Knauf RED, nosný dvojitý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v každém rámu, tmel ze strany zdroje zvuku Knauf Uniflot, ze strany příjmu pružný tmel, odstraněn mechanický kontakt nosných rámu



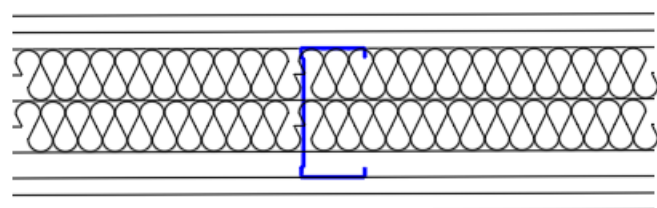
Obr. 6.4 – Skladba 3 - Oboustranné opláštění 2x Knauf RED, nosný dvojitý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v každém rámu, tmel z obou stran pružný tmel, odstraněn mechanický kontakt nosných rámu



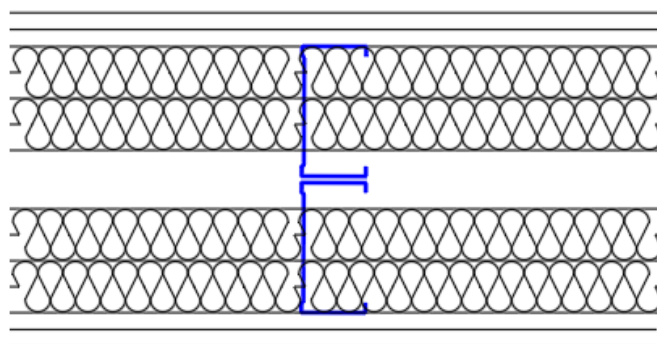
Obr. 6.5 – Skladba 4 - Oboustranné opláštění 1x Knauf RED, nosný dvojitý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v každém rámu, tmel z obou stran pružný tmel, odstraněn mechanický kontakt nosných rámu



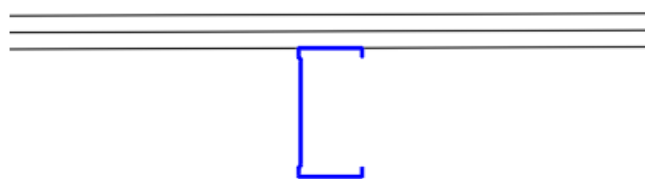
Obr. 6.6 – Skladba 5 - Oboustranné opláštění 1x Knauf RED, nosný jednoduchý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v rámu, tmel z obou stran pružný tmel



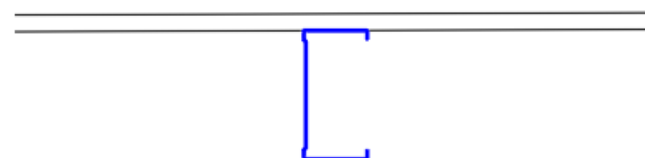
Obr. 6.7 – Skladba 6 - Oboustranné opláštění 2x Knauf RED, nosný jednoduchý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v rámu, tmel z obou stran pružný tmel



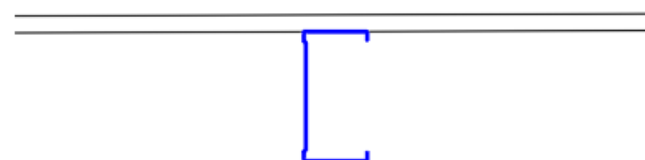
Obr. 6.8 – Skladba 7 - Oboustranné opláštění 2x Knauf RED, nosný dvojitý ocelový rám CW100 s průběžnou 5 mm mezerou s 2x minerální vatou tl. 40 mm v každém rámu, tmel z každé strany pružný tmel, odstraněn mechanický kontakt nosných rámu



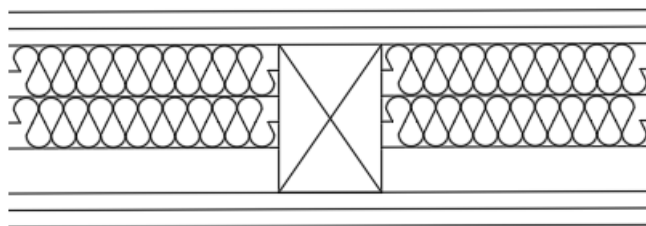
Obr. 6.9 – Skladba 8 - Jednostranné opláštění 2x Knauf RED, nosný ocelový rám CW100, tmeleno pružným tmelem



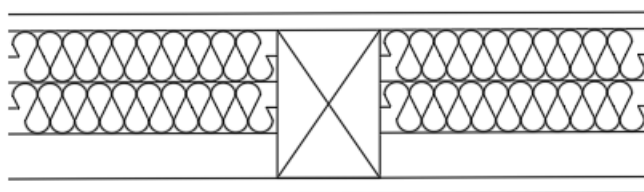
Obr. 6.10 – Skladba 9 - Jednostranné opláštění 1x Knauf RED, nosný ocelový rám CW100, tmeleno Knauf Uniflot



Obr. 6.11 – Skladba 10 - Jednostranné opláštění 1x Knauf Diamant, nosný ocelový rám CW100, tmeleno pružným tmelem



Obr. 6.12 – Skladba 11 - Oboustranné opláštění 1x Knauf RED, nosný dřevěný rám 115 x 80 mm s 2x minerální vatou tl. 40 mm, tmeleno pružným tmelem



Obr. 6.13 – Skladba 12 - Oboustranné opláštění 2x Knauf RED, nosný dřevěný rám 115 x 80 mm s 2x minerální vatou tl. 40, tmeleno pružným tmelem



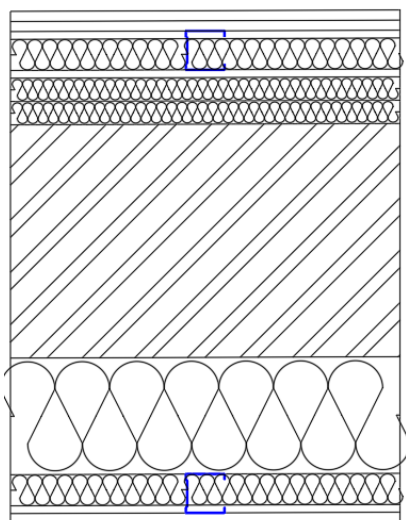
Obr. 6.14 – Dřevěný rám zkoušené konstrukce



Obr. 6.15 – Aplikování sádkartónářských vrutů do konstrukce

6.2. Zkušební příčka

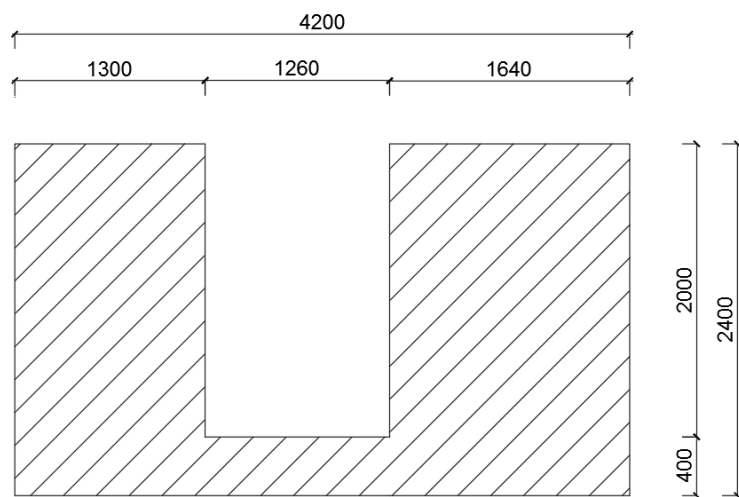
Lehké konstrukce jsme zkoušeli pouze v místě o ploše 2,52 m². Většinu plochy, která oddělovala obě zkušební komory, tvořila příčka se skladbou uvedenou na následujícím obrázku.



Obr. 6.16 – Skladba zbylé konstrukce – 2x 12,5 mm Knauf Diamant, ocelový profil CW 50 s vyplněnou dutinou minerální vatou, 70 mm mezera vyplněná minerální vatou, cihly plné tl. 300 mm, 150 mm mezera vyplněná minerální vatou, ocelový profil CW 50 s vyplněnou dutinou minerální vatou, 1x 12,5 mm Knauf Diamant, tmeleno Knauf Uniflot

Konstrukce byla vytvořena tak, aby dosahovala výrazně větší vzduchové neprůzvučnosti, než byl předpoklad u zkoušených lehkých stěn. Cílem návrhu bylo vytvoření takových podmínek, aby neprůzvučnost zbylé části stěny co nejméně ovlivňovala výsledky pro zkoušení neprůzvučnosti vybraných skladeb konstrukcí.

Mezikomorová část byla vyplněna zmíněnou skladbou dle obrázku 6.16 v místech šrafy. Zbýlý prostor byl určen pro zkoušenou konstrukci.



Obr. 6.17 – Mezikomorová stěna – šrafovaná část je vyplněna skladbou viz obr. 6.2.2., zbylá nešrafovaná část slouží ke zkoušení vybraných konstrukcí



Obr. 6.18 – Mezikomorová stěna se zkoušenou lehkou konstrukcí

6.3. Cíl experimentu

Cílem experimentu bylo provést měření vzduchové neprůzvučnosti na vybraných lehkých konstrukcích. Následně porovnat výsledky s předpokladem dle zveřejněných výsledků měření od výrobců a tím také ověřit, zda-li lze tento typ konstrukcí měřit při takhle malé ploše zkoušené konstrukce. Dalším cílem bylo také porovnat dosažené výsledky měření při použití různých tmelů a přibližně nastínit, jaký rozdíl může způsobit záměna tmelu, který pevně spojí zkoušenou konstrukci s dělicí, a záměna pružného tmelu. Během měření, díky špatnému provedení průběžné mezery mezi dvojitou ocelovou nosnou konstrukcí, vznikl další cíl, a to přibližně analyzovat vliv mechanického spojení mezi dvojitou ocelovou konstrukcí.



Obr. 6.19 – Šedý pružný tmel a bílý tmel Knauf Uniflot

7. Měření

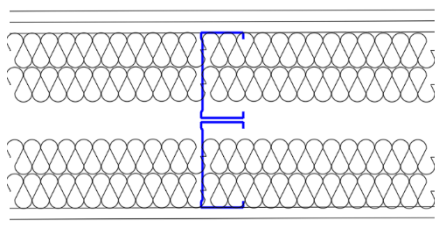
V této kapitole budou představena provedená měření s podrobným popisem. Souhrnná tabulka prezentuje vybraná měření, kde můžeme vidět skladby konstrukcí. Tečky reprezentují u desek, kolikanásobně je z dané strany opláštěná, a u nosné konstrukce, ze kterého rámu je tvořena nosná část, a zda-li je rám jednoduchý nebo dvojitý s průběžnou mezerou 5 mm tlustou mezi rámy. Tmelení byl prováděno buď oboustranně tmelem Knauf Uniflot. V tomto případě jsou uvedeny dvě tečky. V případě, kdy bylo tmeleno z jedné strany pomocí Knauf Uniflot a z druhé strany pružným tmelem, jsou uvedeny vždy po jedné tečce u každého z nich. U prvního měření byl nalezen dotyk profilů CW 100 v dolní rohu roštu.

Skladba číslo	Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
	Knauf	Rigips	CW 100	Dřevěný hranol	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		
	Red	Habito			Red				
1	••		••		••	••		Dotyk CW	55,5
2	••		••		••	•	•		66,3
3	••		••		••		••		68,0
4	•		••		•		••		60,3
5	•		•		•		••		50,8
6	••		•		••		••		56,6
7	••		••		••	••			59,2
8	••		•			•			33,0
9	•		•			•			29,1
10		•	•				••		34,3
11	•			•	•		••		44,1
12	••			•	••		••		48,8

Tab. 7.1 – Souhrnná tabulka měření

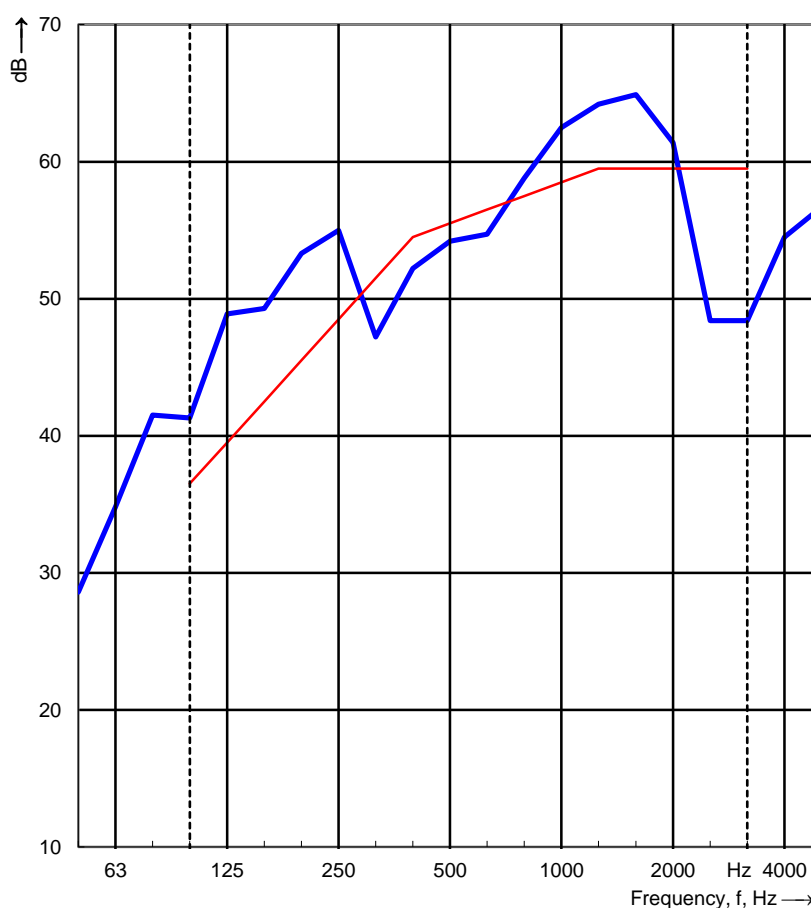
Skladba 1

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel	Dotyk CW	55,5
Red	Diamant			Red				
••		••		••	••			



Statický tlak	97,9	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	46,6	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

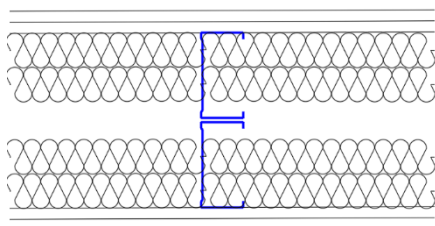
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	28,6
63	34,8
80	41,5
100	41,3
125	48,9
160	49,3
200	53,3
250	55,0
315	47,2
400	52,2
500	54,2
630	54,7
800	58,8
1000	62,5
1250	64,2
1600	64,9
2000	61,4
2500	48,4
3150	48,4
4000	54,5
5000	56,7



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 55,5 \text{ (-3 ; -2) dB}}$$

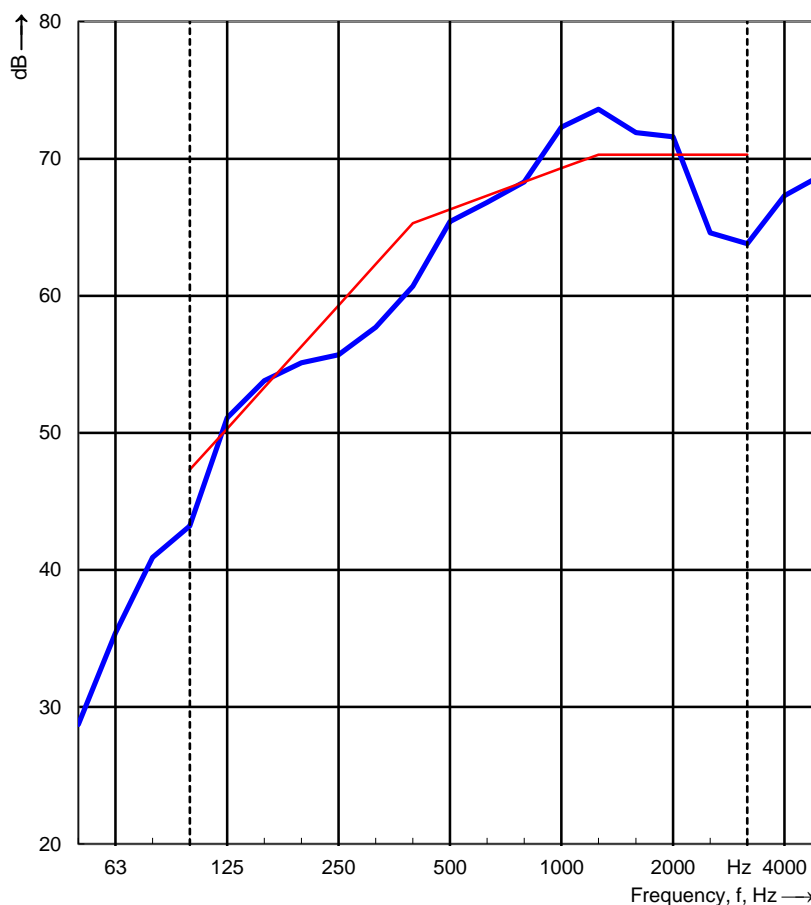
Skladba 2

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		66,3
Red	Diamant			Red				
••		••		••	•	•		



Statický tlak	97,9	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	46,6	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

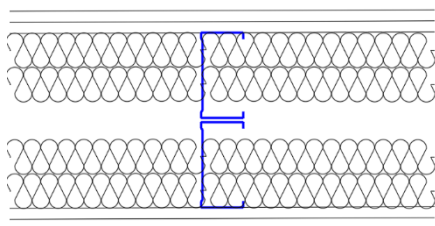
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	28,7
63	35,4
80	40,9
100	43,2
125	51,1
160	53,8
200	55,1
250	55,7
315	57,7
400	60,7
500	65,4
630	66,8
800	68,3
1000	72,3
1250	73,6
1600	71,9
2000	71,6
2500	64,6
3150	63,8
4000	67,3
5000	68,8



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 66,3 \text{ (-2 ; -6) dB}}$$

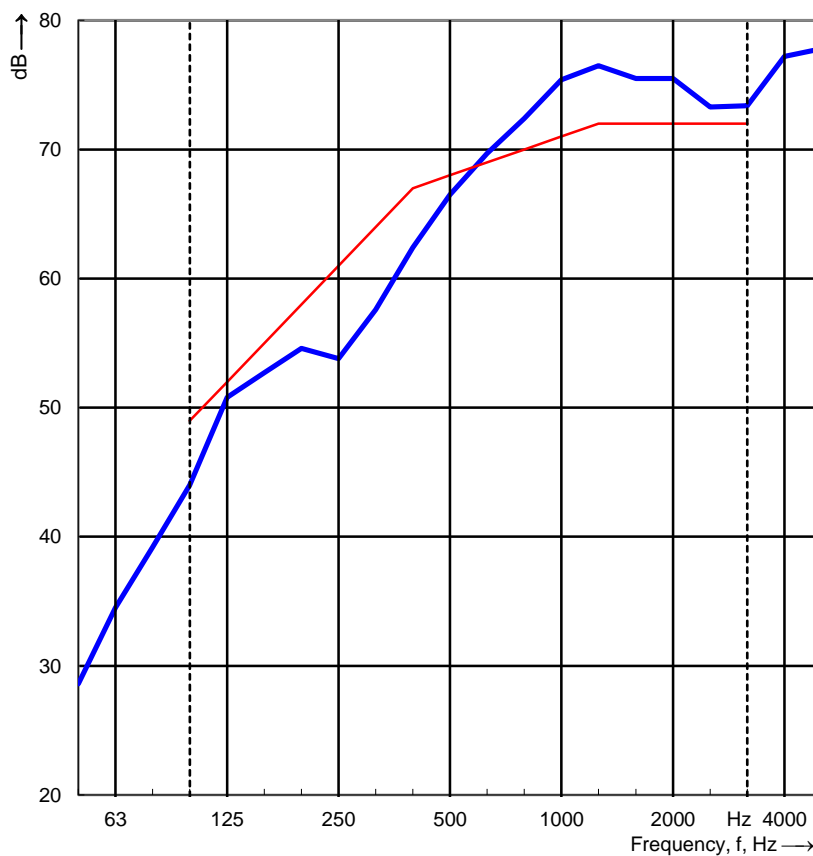
Skladba 3

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		68,0
Red	Diamant			Red				
••		••		••		••		



Statický tlak	99,1	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	35,0	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

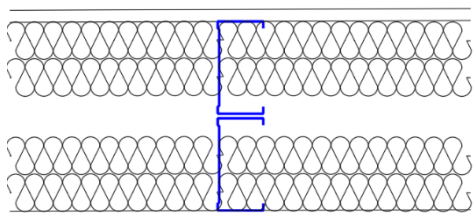
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	28,6
63	34,5
80	39,2
100	44,0
125	50,8
160	52,7
200	54,6
250	53,8
315	57,6
400	62,4
500	66,5
630	69,7
800	72,4
1000	75,4
1250	76,5
1600	75,5
2000	75,5
2500	73,3
3150	73,4
4000	77,2
5000	77,8



$$\underline{R_w(C;Ctr) = 68,0 \text{ (-2 ; -8) dB}}$$

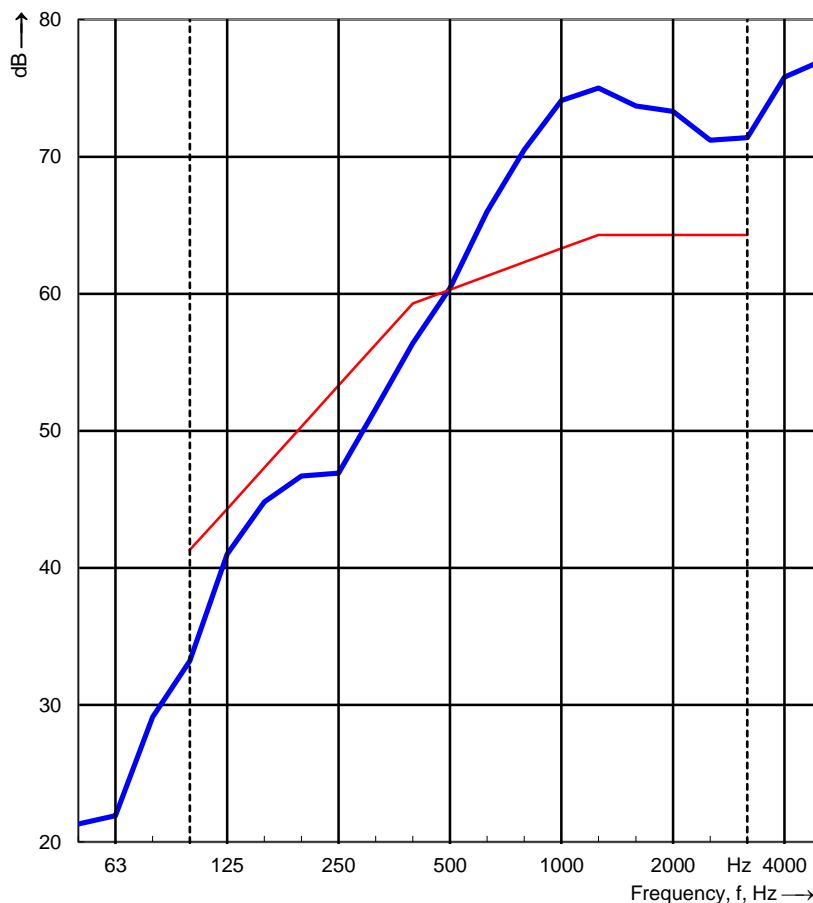
Skladba 4

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		60,3
Red	Diamant			Red				
•		••		•		••		



Statický tlak	99,1	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	35,0	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

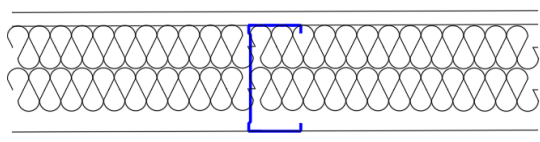
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	21,3
63	21,9
80	29,1
100	33,2
125	41,0
160	44,8
200	46,7
250	46,9
315	51,6
400	56,4
500	60,4
630	66,0
800	70,5
1000	74,1
1250	75,0
1600	73,7
2000	73,3
2500	71,2
3150	71,4
4000	75,8
5000	77,0



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 60,3 (-2 ; -9) \text{ dB}}$$

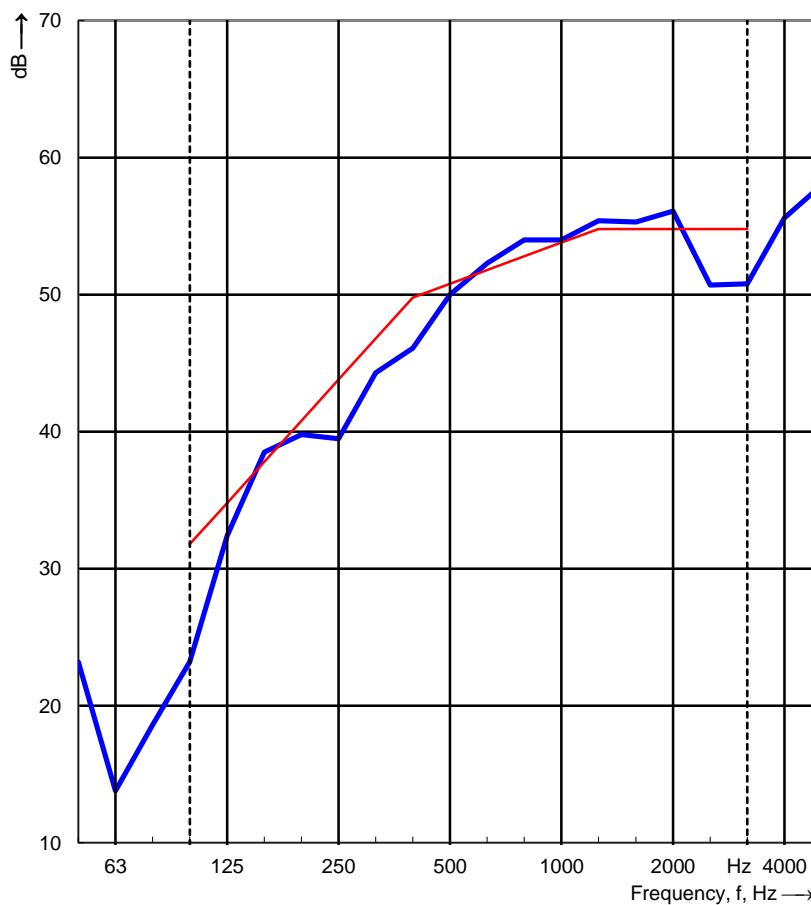
Skladba 5

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		50,8
Red	Diamant			Red				
•		•		•		••		



Statický tlak	99,1	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	35	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,1	m ³

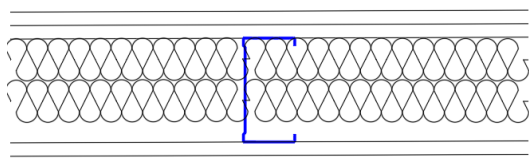
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	23,2
63	13,8
80	18,6
100	23,2
125	32,4
160	38,5
200	39,8
250	39,5
315	44,3
400	46,1
500	50,0
630	52,3
800	54,0
1000	54,0
1250	55,4
1600	55,3
2000	56,1
2500	50,7
3150	50,8
4000	55,6
5000	58,0



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 50,8 (-3 ; -9) \text{ dB}}$$

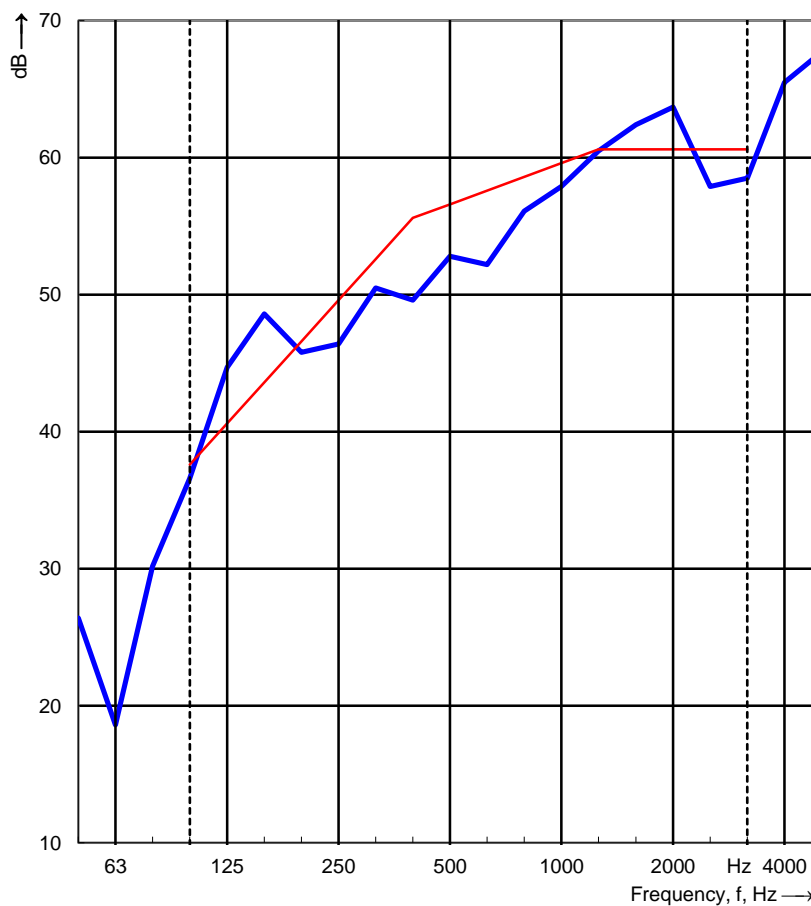
Skladba 6

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		56,6
Red	Diamant			Red				
••		•		••		••		



Statický tlak	98,7	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	26,1	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,1	m ³

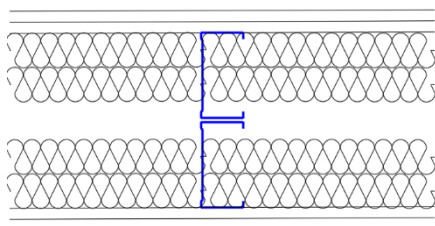
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	26,4
63	18,6
80	30,2
100	36,6
125	44,7
160	48,6
200	45,8
250	46,4
315	50,5
400	49,6
500	52,8
630	52,2
800	56,1
1000	57,9
1250	60,5
1600	62,4
2000	63,7
2500	57,9
3150	58,5
4000	65,5
5000	67,7



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 56,6 \text{ (-2 ; -5) dB}}$$

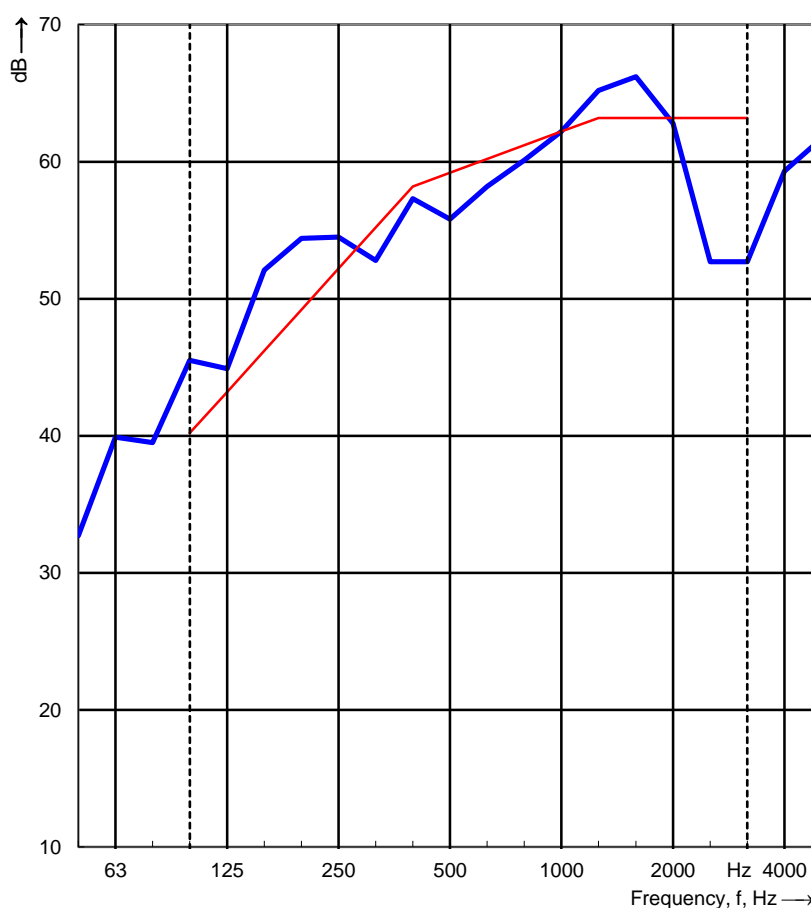
Skladba 7

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		59,2
Red	Diamant			Red				
••		••		••	••			



Statický tlak	98,9	kPa
Teplota vzduchu	23,7	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	25,6	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

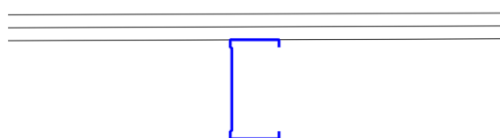
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	32,7
63	39,9
80	39,5
100	45,5
125	44,9
160	52,1
200	54,4
250	54,5
315	52,8
400	57,3
500	55,8
630	58,2
800	60,1
1000	62,2
1250	65,2
1600	66,2
2000	62,8
2500	52,7
3150	52,7
4000	59,3
5000	61,7



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 59,2 \text{ (-2 ; -3) dB}}$$

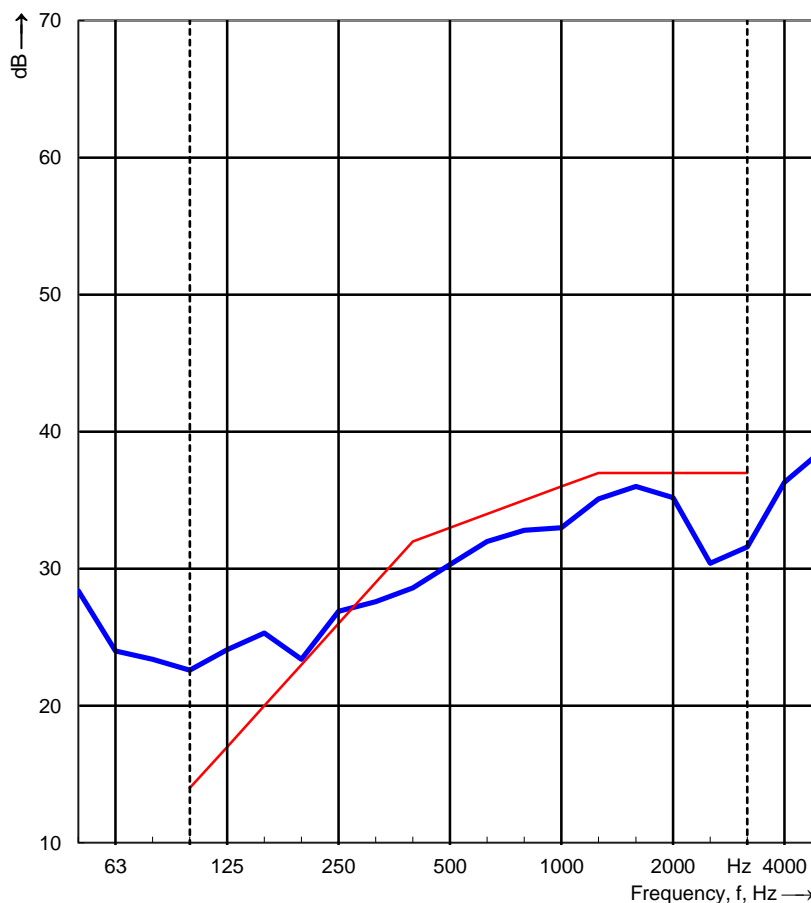
Skladba 8

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		33,0
Red	Diamant			Red				
••		•			•			



Statický tlak	98,9	kPa
Teplota vzduchu	23,7	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	25,6	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,8	m ³

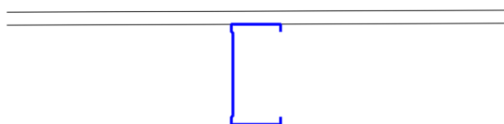
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	28,4
63	24,0
80	23,4
100	22,6
125	24,1
160	25,3
200	23,4
250	26,9
315	27,6
400	28,6
500	30,3
630	32,0
800	32,8
1000	33,0
1250	35,1
1600	36,0
2000	35,2
2500	30,4
3150	31,6
4000	36,3
5000	38,6



$R_w (C;Ctr) = 33,0 (-1 ; -2) \text{ dB}$

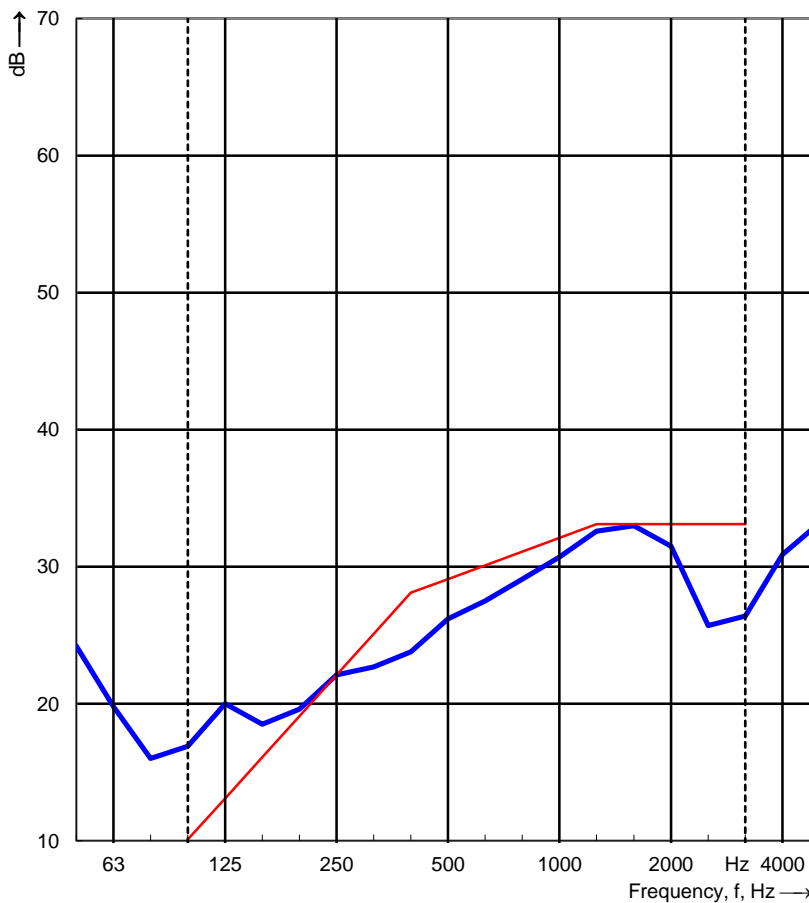
Skladba 9

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmelené		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		29,1
Red	Diamant			Red				
•		•			•			



Statický tlak	98,9	kPa
Teplota vzduchu	23,7	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	25,6	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

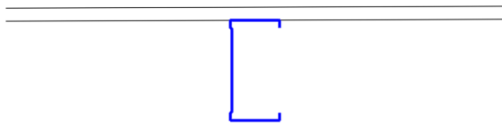
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	24,2
63	19,8
80	16,0
100	16,9
125	20,0
160	18,5
200	19,6
250	22,1
315	22,7
400	23,8
500	26,2
630	27,5
800	29,1
1000	30,7
1250	32,6
1600	33,0
2000	31,5
2500	25,7
3150	26,4
4000	30,9
5000	33,2



$R_w (C;Ctr) = 29,1 (-2 ; -3) \text{ dB}$

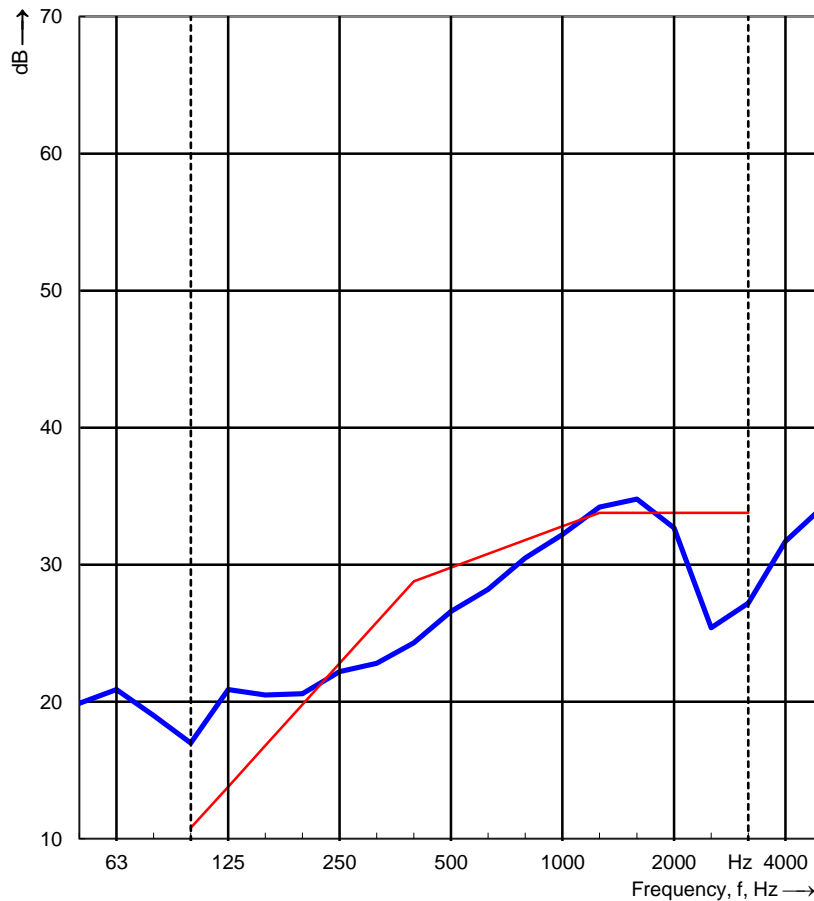
Skladba 10

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		29,8
Red	Diamant			Red				
	•	•				•		



Statický tlak	98,9	kPa
Teplota vzduchu	23,7	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	25,6	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	65,2	m ³

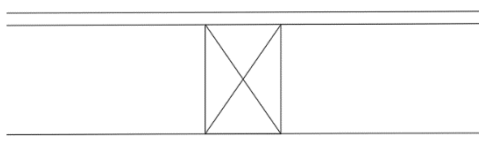
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	19,9
63	20,9
80	19,0
100	17,0
125	20,9
160	20,5
200	20,6
250	22,2
315	22,8
400	24,3
500	26,6
630	28,2
800	30,5
1000	32,2
1250	34,2
1600	34,8
2000	32,7
2500	25,4
3150	27,2
4000	31,7
5000	34,2



$R_w (C;Ctr) = 29,8 (-2 ; -3) \text{ dB}$

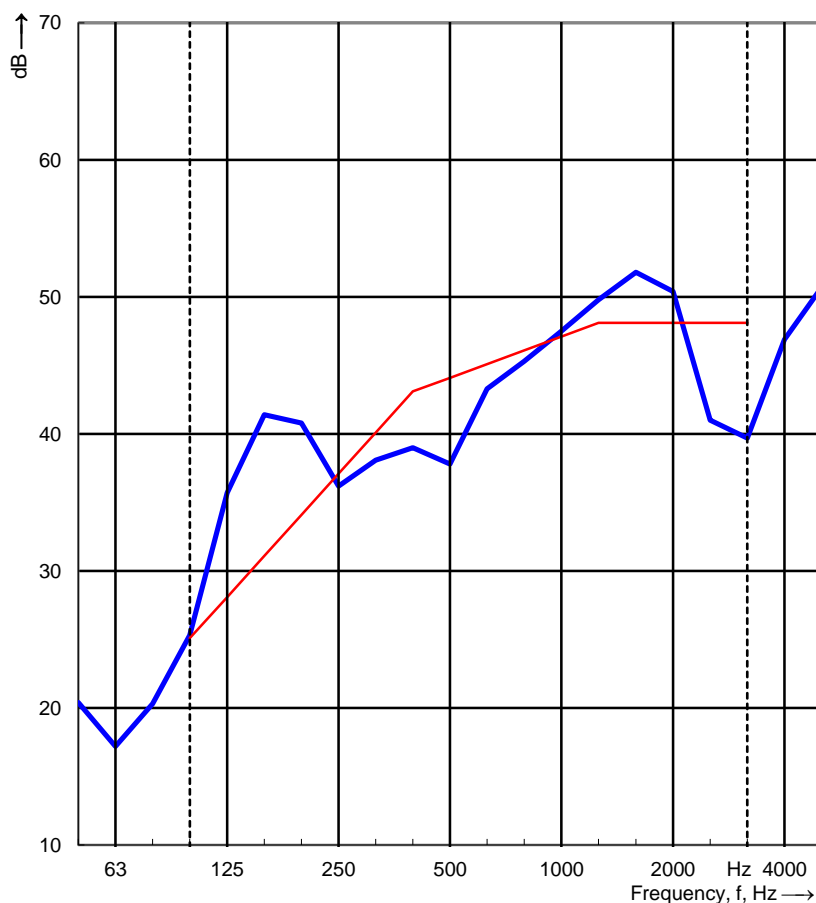
Skladba 11

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		44,1
Red	Diamant			Red				
•		•	•	•	••			



Statický tlak	99,1	kPa
Teplota vzduchu	24,4	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	23,7	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	64,8	m ³

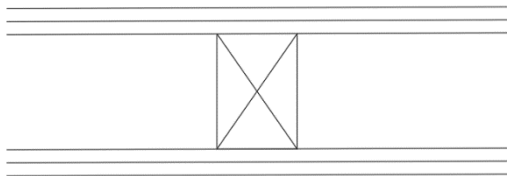
Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	20,4
63	17,2
80	20,3
100	25,3
125	35,7
160	41,4
200	40,8
250	36,2
315	38,1
400	39,0
500	37,8
630	43,3
800	45,3
1000	47,5
1250	49,8
1600	51,8
2000	50,4
2500	41,0
3150	39,7
4000	46,9
5000	50,7



$$\underline{R_w (C;Ctr) = 44,1 (-2 ; -3) \text{ dB}}$$

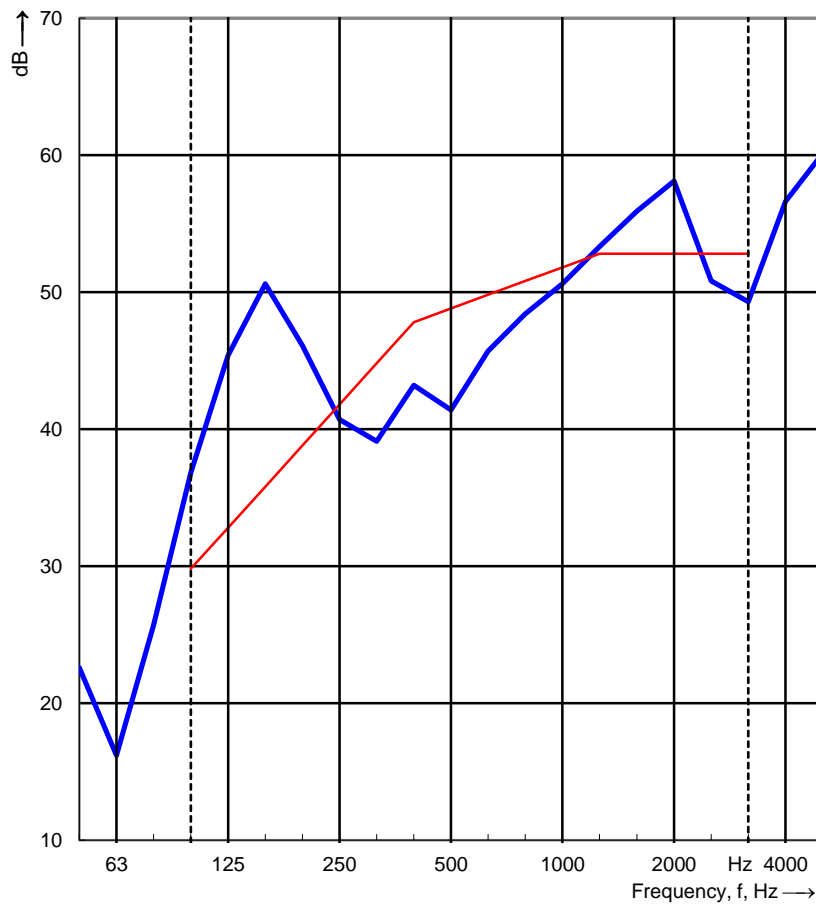
Skladba 12

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		48,8
Red	Diamant			Red				
••		•	••	••				



Statický tlak	98,7	kPa
Teplota vzduchu	23,3	°C
Relativní vlhkosti vzduchu	27,9	%
Plocha testovaného vzorku	2,60	m ²
Objem místnosti zdroje	72,5	m ³
Objem místnosti příjmu	64,8	m ³

Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	22,6
63	16,2
80	25,7
100	36,8
125	45,4
160	50,6
200	46,1
250	40,7
315	39,1
400	43,2
500	41,4
630	45,7
800	48,4
1000	50,6
1250	53,3
1600	55,9
2000	58,1
2500	50,8
3150	49,3
4000	56,6
5000	60,1



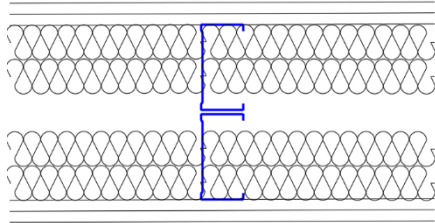
$$\underline{R_w (C;Ctr) = 48,8 (-1 ; -3) \text{ dB}}$$

8. Výpočty neprůzvučnosti konstrukcí

Výpočet dle kapitol 5.2.5 a 5.1.4 závislý na typu konstrukce je znázorněn v grafech pomocí červené křivky. Její hodnoty jsou rozepsány v tabulce v závislosti na frekvenci. V horní části stránky je uvedeno, jaké hodnoty vstupují do výpočtu. V dolní části jsou uvedeny veličiny R_w , reprezentující výpočtovou metodu, a $R_w (C;Ctr)$, reprezentující hodnotu naměřenou pro porovnání. Podrobnější slovní rozbor bude uveden v kapitole 9.

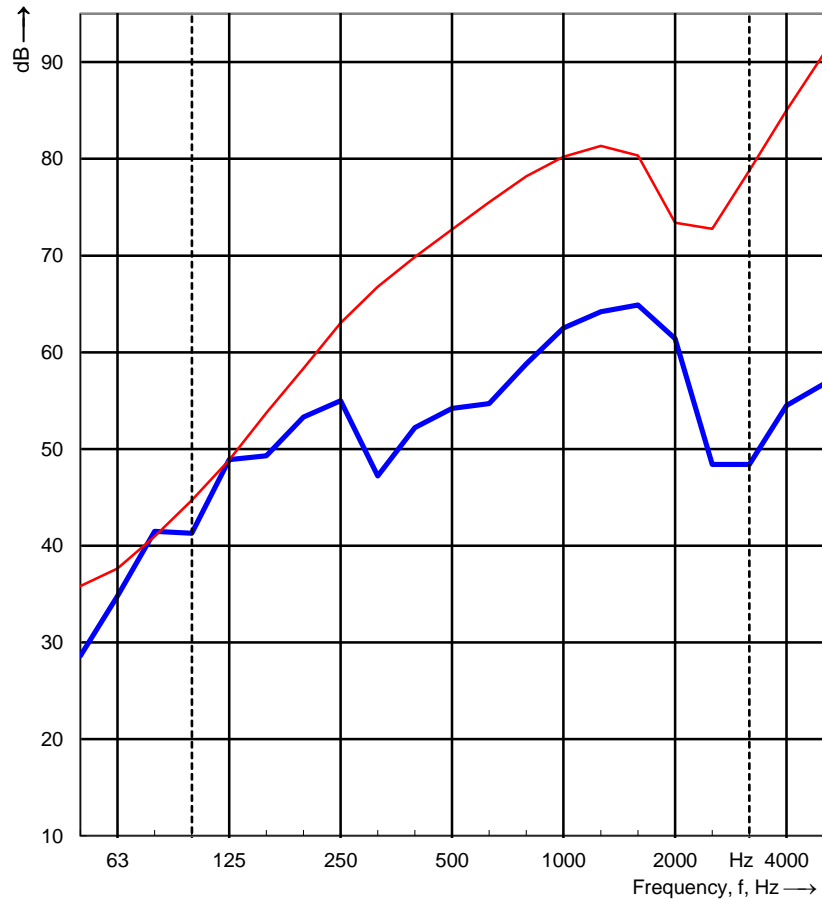
Skladba 1

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel	Dotyk CW	71
••	••			••				



Vstupní hodnoty		
d	0,205	m
$m'_{1,2}$	20	kg/m ²
f_0	42	Hz
f_d	268	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	35,8
63	37,6
80	41,0
100	44,7
125	48,9
160	53,7
200	58,3
250	63,0
315	66,8
400	69,9
500	72,7
630	75,5
800	78,2
1000	80,2
1250	81,3
1600	80,3
2000	73,4
2500	72,8
3150	78,8
4000	85,0
5000	90,8

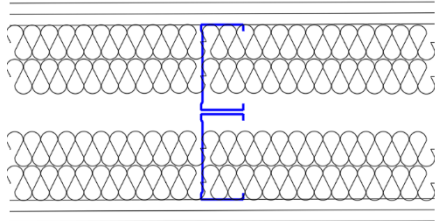


$$\underline{R_{w,vyp} = 71 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 55,5 \text{ (-3 ; -2) dB}}$$

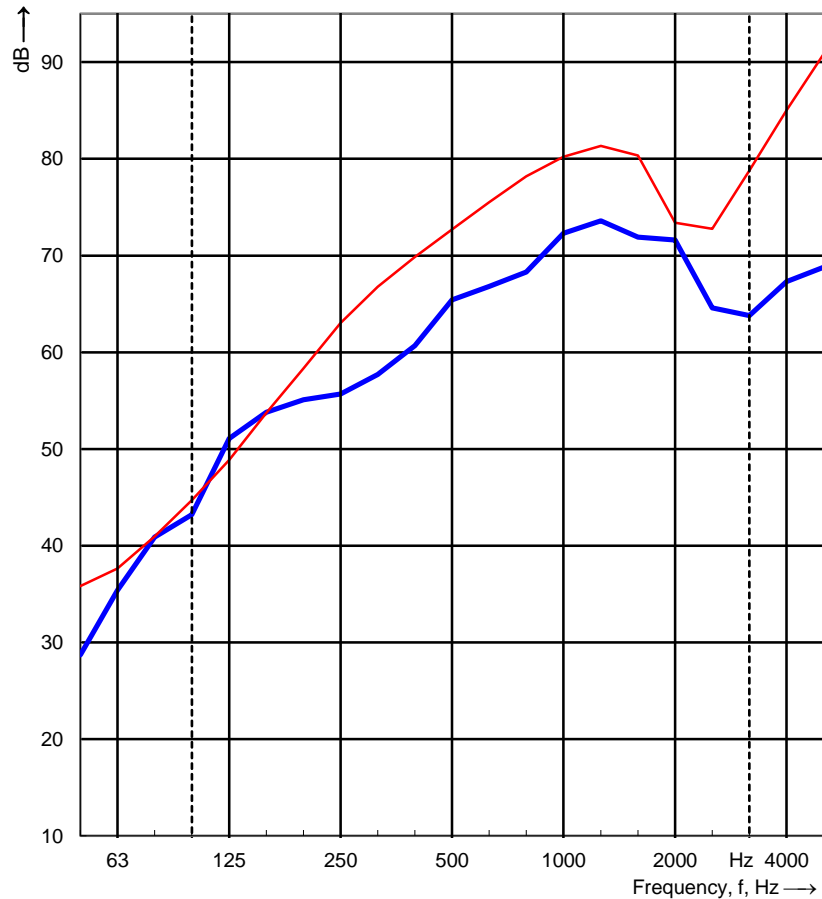
Skladba 2

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		71
••				••				



Vstupní hodnoty		
d	0,205	m
$m'_{1,2}$	20	kg/m ²
f_0	42	Hz
f_a	268	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	35,8
63	37,6
80	41,0
100	44,7
125	48,9
160	53,7
200	58,3
250	63,0
315	66,8
400	69,9
500	72,7
630	75,5
800	78,2
1000	80,2
1250	81,3
1600	80,3
2000	73,4
2500	72,8
3150	78,8
4000	85,0
5000	90,8

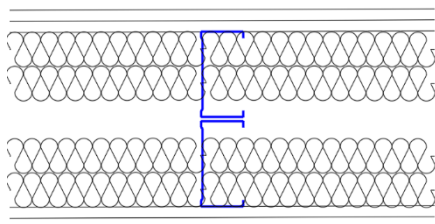


$$\underline{R_{w,vyp} = 71 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 66,3 \text{ (-2 ; -6) dB}}$$

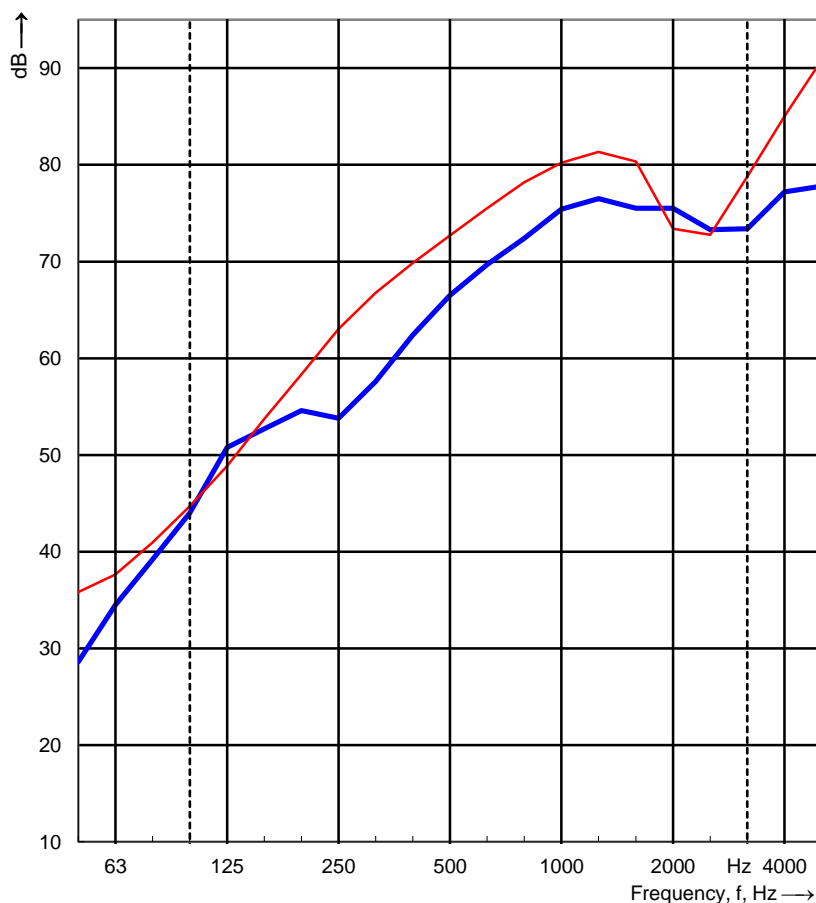
Skladba 3

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		71
••				••				



Vstupní hodnoty		
d	0,205	m
$m'_{1,2}$	20	kg/m ²
f_0	42	Hz
f_a	268	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	35,8
63	37,6
80	41,0
100	44,7
125	48,9
160	53,7
200	58,3
250	63,0
315	66,8
400	69,9
500	72,7
630	75,5
800	78,2
1000	80,2
1250	81,3
1600	80,3
2000	73,4
2500	72,8
3150	78,8
4000	85,0
5000	90,8

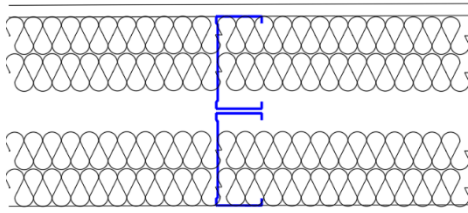


$$\underline{R_{w,vyp} = 71 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lap}(C;Ctr) = 68,0 \text{ (-2 ; -8) dB}}$$

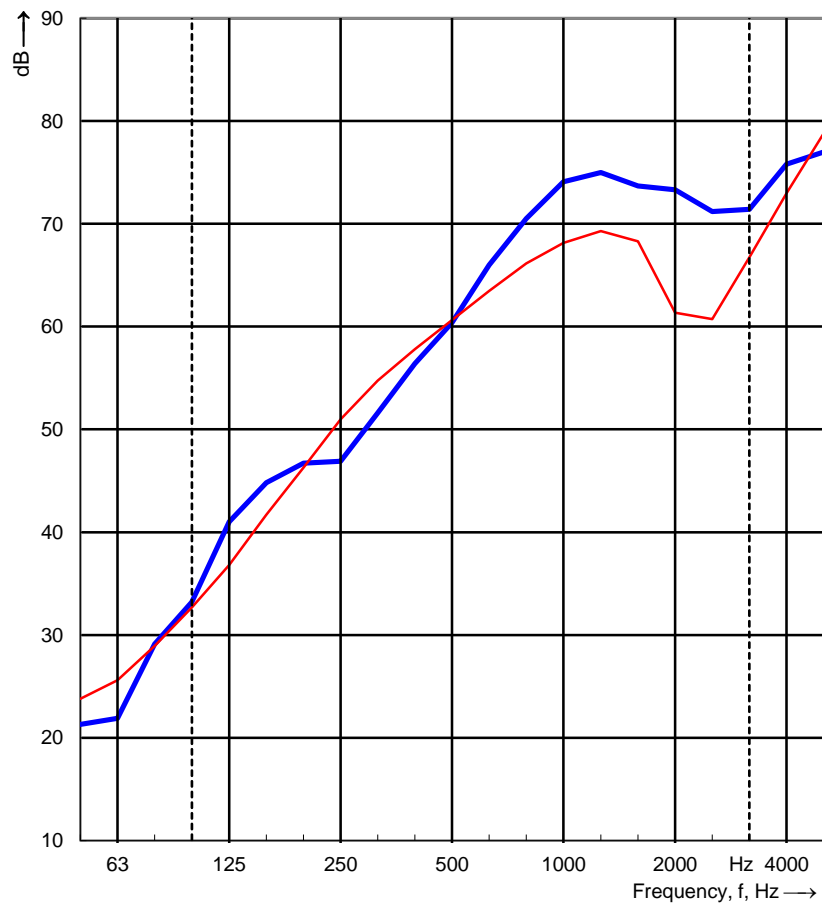
Skladba 4

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		59
Red	Diamant			Red				
•		••		•		••		



Vstupní hodnoty		
d	0,205	m
$m'_{1,2}$	10	kg/m ²
f_0	59	Hz
f_a	268	Hz

Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	23,8
63	25,6
80	28,9
100	32,7
125	36,8
160	41,7
200	46,3
250	51,0
315	54,7
400	57,8
500	60,7
630	63,5
800	66,1
1000	68,2
1250	69,3
1600	68,3
2000	61,4
2500	60,7
3150	66,7
4000	73,0
5000	78,8

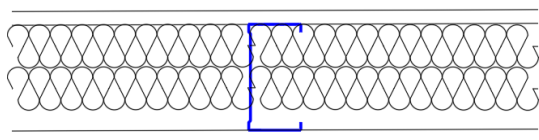


$R_{w, \text{ vyp}} = 59 \text{ dB}$

$R_{w, \text{ lab}} (C; \text{Ctr}) = 60,3 \text{ } (-2 ; -9) \text{ dB}$

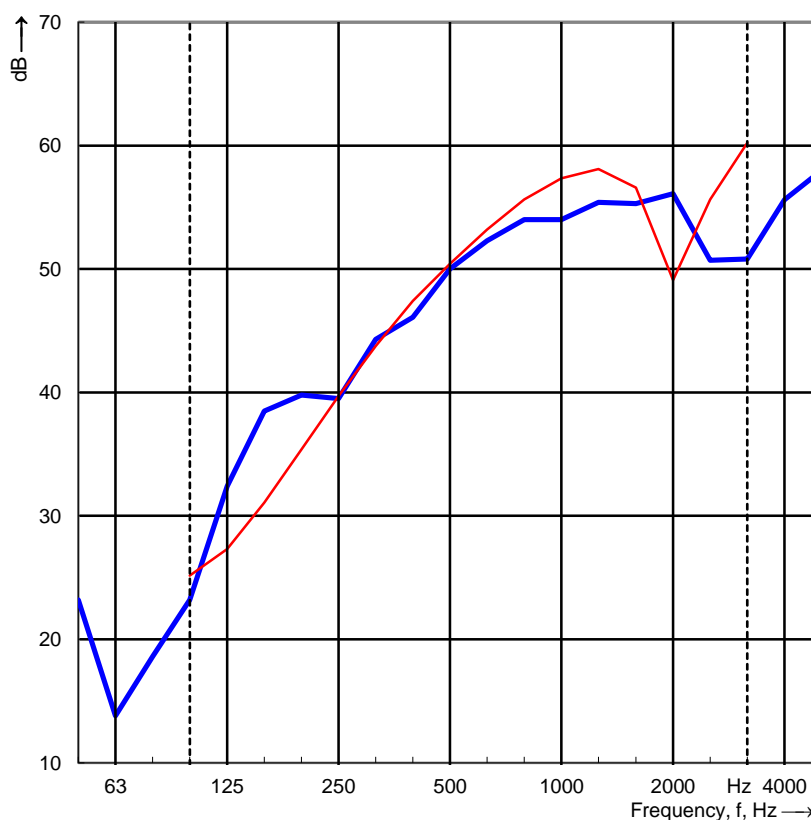
Skladba 5

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w, vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		49
•				•				



Vstupní hodnoty		
b'	0,625	m
h	0,0125	m
S	2,5	m ²
$m'_{1,2}$	10	kg/m ²
c_0	343	m/s
c_L	2128	m/s
C_M	10 ⁻⁶	m ² /N
ρ_0	1,206	kg/m ³
η_{tot}	0,021	-
f_0	84,9	Hz
f_d	268	Hz
f_{cr}	2396	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	
63	
80	
100	25,2
125	27,3
160	31,1
200	35,4
250	39,7
315	43,7
400	47,4
500	50,4
630	53,2
800	55,6
1000	57,3
1250	58,1
1600	56,6
2000	49,1
2500	55,6
3150	60,2
4000	
5000	

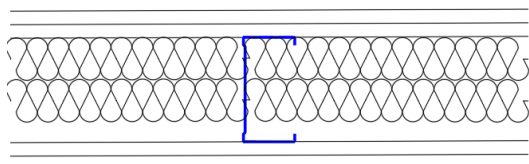


$$\underline{R_{w, vyp}} = 49 \text{ dB}$$

$$\underline{R_w (C; Ctr)} = 50,8 \text{ (-3 ; -9) dB}$$

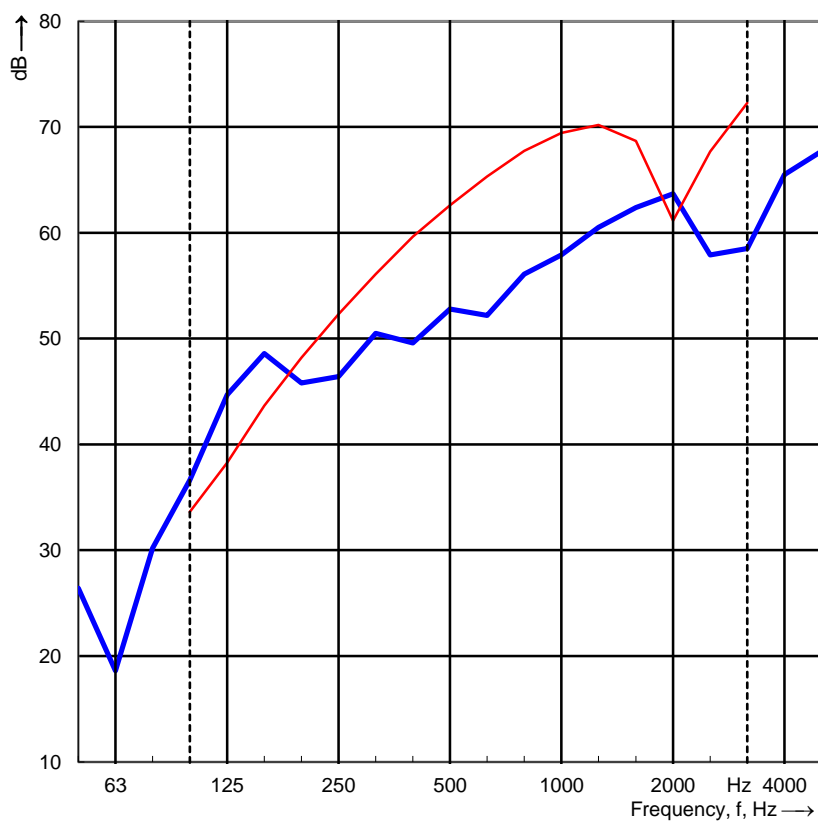
Skladba 6

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		61
••				•				



Vstupní hodnoty		
b'	0,625	m
h	0,0125	m
S	2,5	m ²
$m'_{1,2}$	20	kg/m ²
c_0	343	m/s
c_L	2128	m/s
C_M	10 ⁻⁶	m ² /N
ρ_0	1,206	kg/m ³
η_{tot}	0,021	-
f_0	60	Hz
f_d	268	Hz
f_{cr}	2396	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	
63	
80	
100	33,6
125	38,3
160	43,7
200	48,2
250	52,3
315	56,1
400	59,6
500	62,6
630	65,3
800	67,8
1000	69,5
1250	70,2
1600	68,7
2000	61,1
2500	67,7
3150	72,3
4000	
5000	

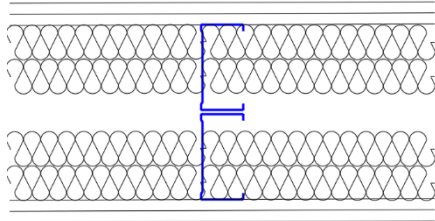


$$\underline{R_{w,vyp} = 61 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 56,6 \text{ (-2 ; -5) dB}}$$

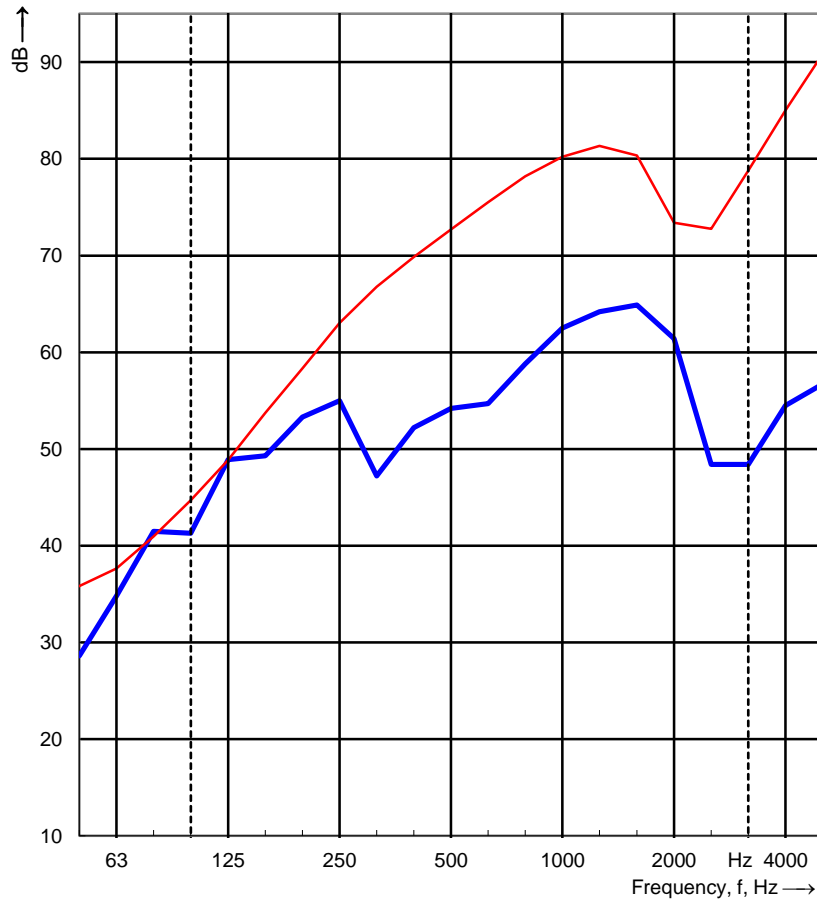
Skladba 7

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		71
••				••				



Vstupní hodnoty		
d	0,205	m
$m'_{1,2}$	20	kg/m ²
f_0	42	Hz
f_d	268	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	35,8
63	37,6
80	41,0
100	44,7
125	48,9
160	53,7
200	58,3
250	63,0
315	66,8
400	69,9
500	72,7
630	75,5
800	78,2
1000	80,2
1250	81,3
1600	80,3
2000	73,4
2500	72,8
3150	78,8
4000	85,0
5000	90,8

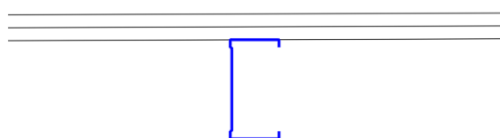


$R_{w,vyp} = 71 \text{ dB}$

$R_{w,lab}(C;Ctr) = 59,2 \text{ (-2 ; -3) dB}$

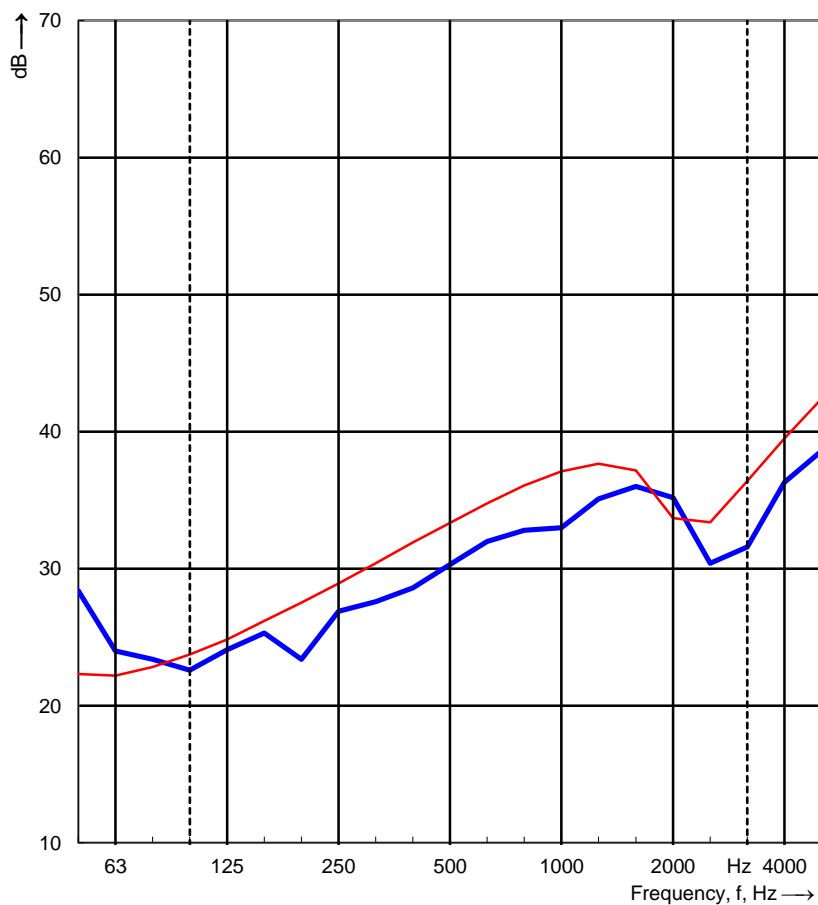
Skladba 8

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	R_w [dB]
Knauf	Knauf	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		35
Red	Diamant			Red				
••		•			•			



Vstupní hodnoty		
a	2	m
b	1,25	m
h	0,0125	m
c_0	343	m/s
c_L	2128	m/s
m'	20	kg/m ²
η_{tot}	0,021	-
f_{cr}	2396	Hz

Frekvence	R
f	1/3 oktávy
[Hz]	[dB]
50	22,3
63	22,2
80	22,8
100	23,7
125	24,8
160	26,2
200	27,5
250	28,9
315	30,4
400	31,9
500	33,3
630	34,8
800	36,1
1000	37,1
1250	37,7
1600	37,2
2000	33,7
2500	33,4
3150	36,4
4000	39,5
5000	42,4

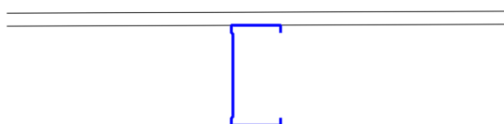


$$\underline{R_{w, vyp} = 35 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w, lab} (C; Ctr) = 33,0 \text{ (-1 ; -2) dB}}$$

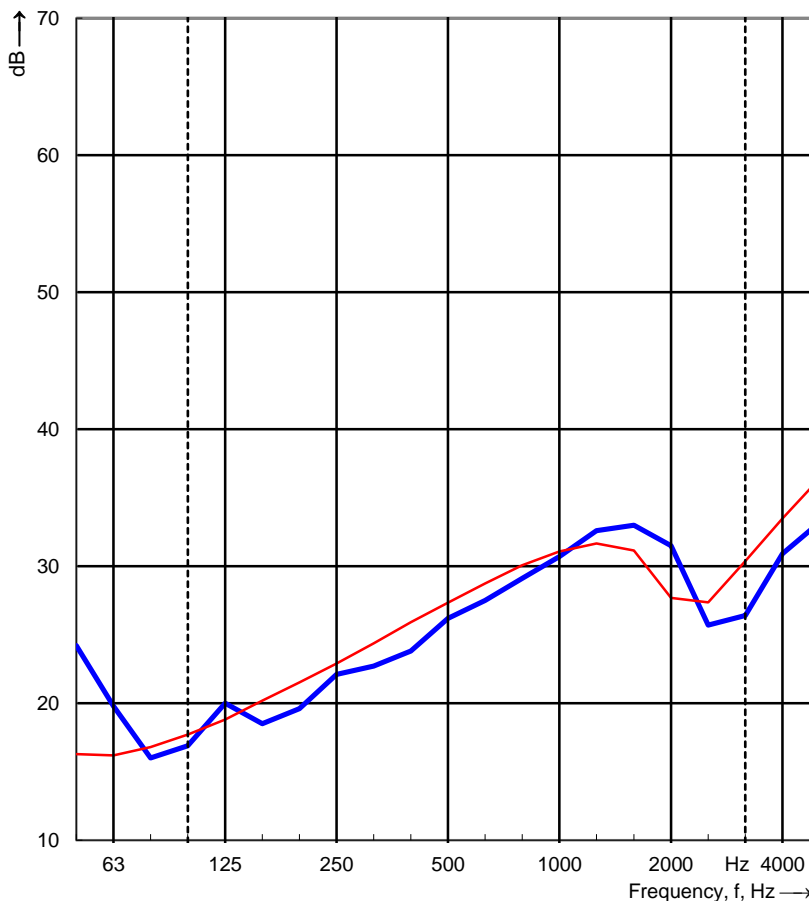
Skladba 9

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		29
•				•				



Vstupní hodnoty		
a	2	m
b	1,25	m
h	0,0125	m
c_0	343	m/s
c_L	2122	m/s
m'	10	kg/m ²
η_{tot}	0,021	-
f_{cr}	2403	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	16,3
63	16,2
80	16,8
100	17,7
125	18,8
160	20,2
200	21,5
250	22,9
315	24,4
400	25,9
500	27,3
630	28,7
800	30,1
1000	31,1
1250	31,6
1600	31,2
2000	27,7
2500	27,4
3150	30,4
4000	33,5
5000	36,4

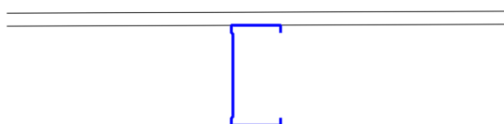


$$\underline{R_{w,vyp} = 29 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 29,1 \text{ (-2 ; -3) dB}}$$

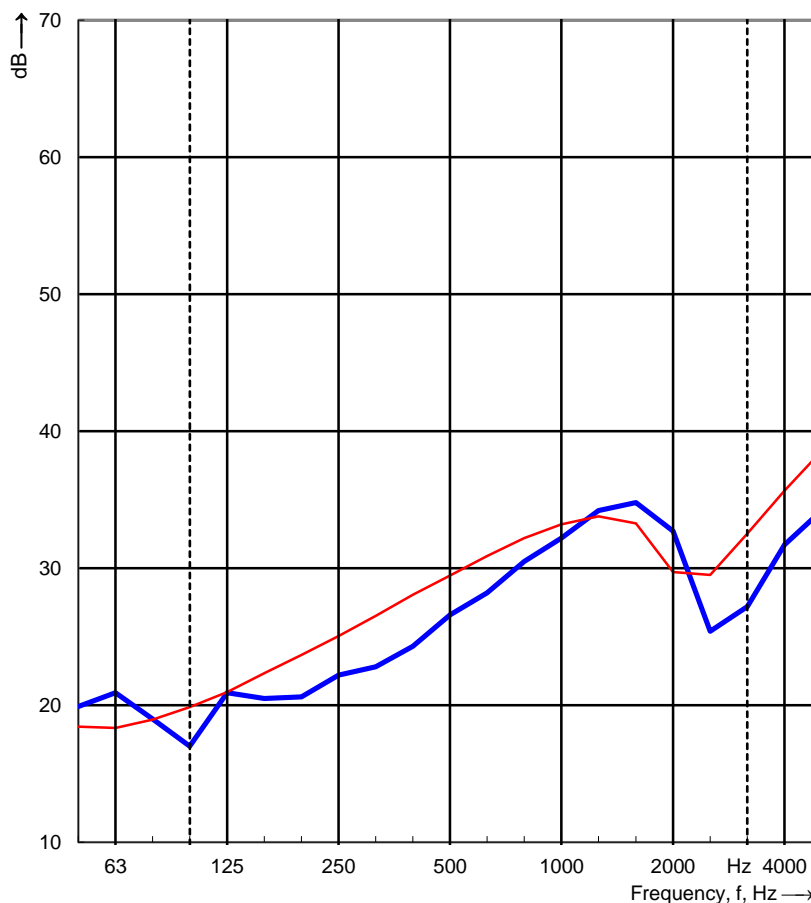
Skladba 10

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		31
	•			•				



Vstupní hodnoty		
a	2	m
b	1,25	m
h	0,0125	m
c_0	343	m/s
c_L	2128	m/s
m'	12,8	kg/m ²
η_{tot}	0,021	-
f_{cr}	2396	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	18,4
63	18,3
80	19,0
100	19,9
125	21,0
160	22,3
200	23,7
250	25,0
315	26,5
400	28,1
500	29,5
630	30,9
800	32,2
1000	33,2
1250	33,8
1600	33,3
2000	29,8
2500	29,5
3150	32,5
4000	35,6
5000	38,5

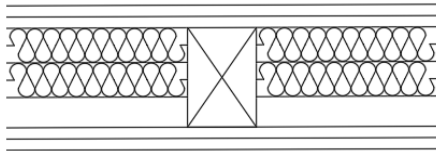


$$\underline{R_{w,vyp} = 31 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 29,8 \text{ (-2 ; -3) dB}}$$

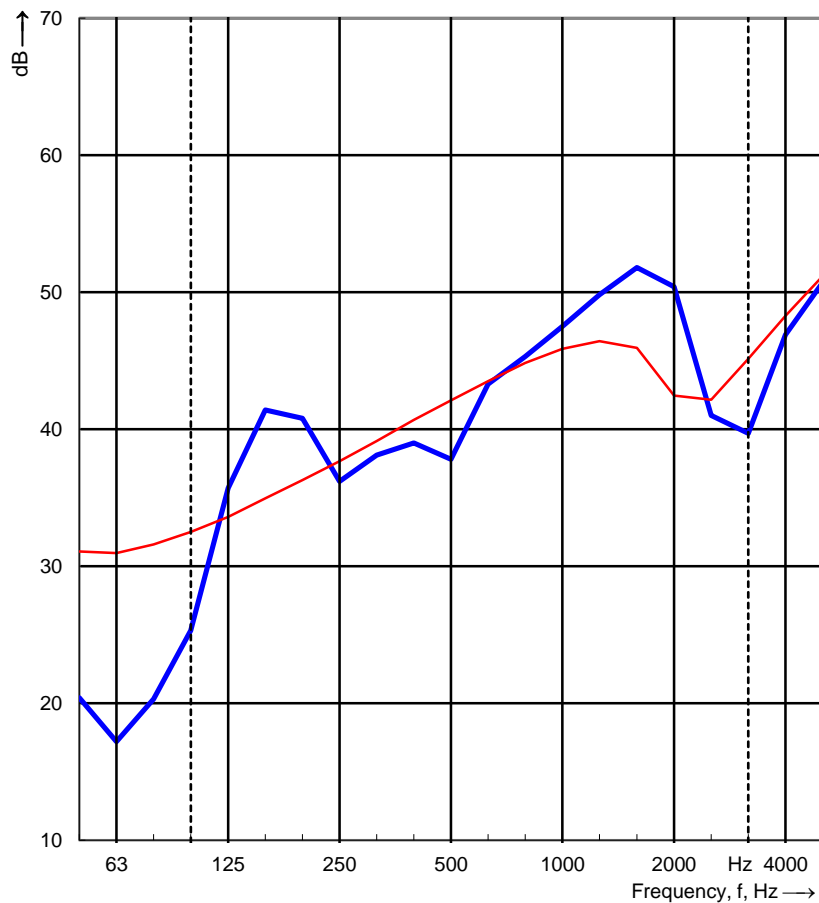
Skladba 11

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		44
•				•				



Vstupní hodnoty		
l	2	m
S	2,52	m ²
h	0,0125	m
b'	0,625	m
c_0	343	m/s
c_L	2128	m/s
$m'_{1,2}$	10	kg/m ²
f_{cr}	2396	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	31,1
63	31,0
80	31,6
100	32,5
125	33,6
160	35,0
200	36,3
250	37,7
315	39,2
400	40,7
500	42,1
630	43,5
800	44,9
1000	45,9
1250	46,4
1600	45,9
2000	42,5
2500	42,2
3150	45,2
4000	48,3
5000	51,2

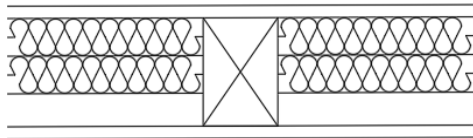


$$\underline{R_{w,vyp} = 44 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 44,1 (-2 ; -3) \text{ dB}}$$

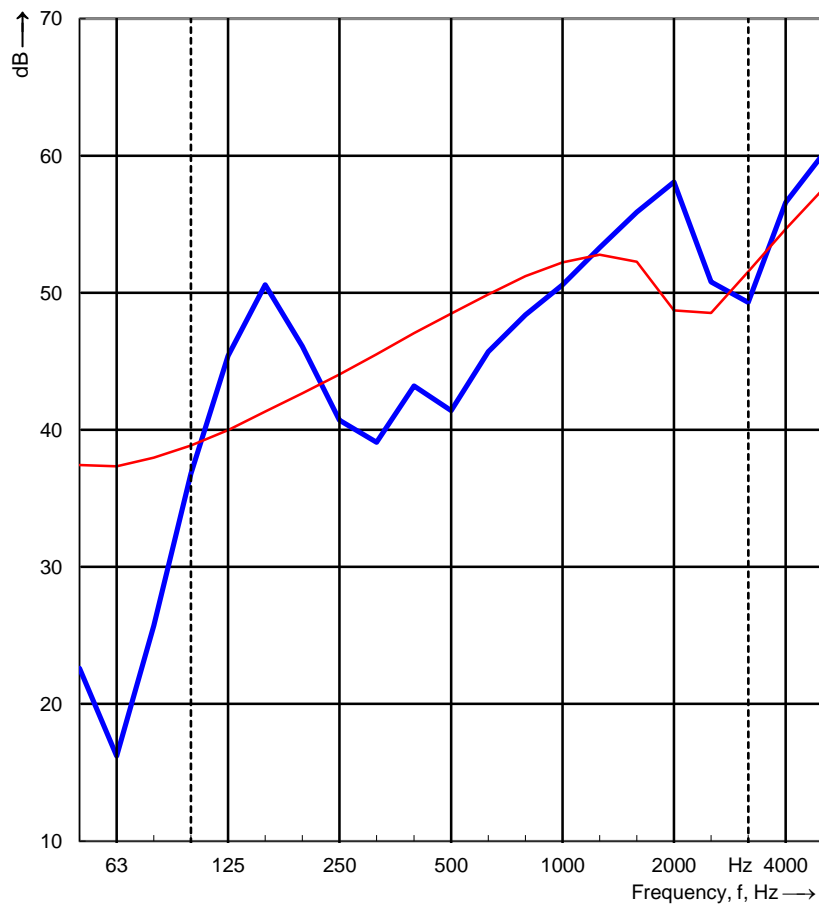
Skladba 12

Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,vyp}$ [dB]
Knauf Red	Knauf Diamant	CW 100	Dřevěný hr.	Knauf Red	Uniflot	Pružný tmel		50
••				•				



Vstupní hodnoty		
l	2	m
S	2,52	m ²
h	0,0125	m
b'	0,625	m
c_0	343	m/s
c_L	2128	m/s
$m'_{1,2}$	20	kg/m ²
f_{cr}	2396	Hz

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	37,1
63	37,0
80	37,6
100	38,5
125	39,6
160	41,0
200	42,3
250	43,7
315	45,2
400	46,7
500	48,1
630	49,5
800	50,9
1000	51,9
1250	52,5
1600	52,0
2000	48,5
2500	48,2
3150	51,2
4000	54,3
5000	57,2



$$\underline{R_{w,vyp} = 50 \text{ dB}}$$

$$\underline{R_{w,lab}(C;Ctr) = 48,8 \text{ (-1 ; -3) dB}}$$

9. Porovnání měření s výpočtem a hodnotami od výrobce

V této kapitole jsou rozepsány různé pohledy na naměřené hodnoty vzduchové neprůzvučnosti vybraných konstrukcí a jejich vzájemné porovnání. Pro větší přehlednost jsou na konci kapitoly uvedeny tabulky s přehledem naměřených hodnot a skladeb konstrukcí.

Dvojitý rám CW 100 s průběžnou mezerou 5 mm, s 2x minerální vatou tl. 40 mm v každém rámu a s dvěma deskami Knauf Red na každé straně byl podroben celkově čtyřmi měřeními -1,2,3 a 7. Hodnoty od výrobce se shodují s výpočtem. Z naměřených R_w je jim nejbližší konstrukce s pružným tmelem na obou stranách. Při použití tmelu Knauf Uniflot na obou stranách se naměřená hodnota liší od hodnoty výrobce o 11,8 dB.

Rozdíl ve výsledných akustických vlastnostech při použití různých tmelů je zásadní. Již při změně tmelu na jedné straně bylo dosaženo lepšího výsledku o 7,1 dB. Při změně tmelu i na straně druhé bylo dosaženo dalšího zlepšení o 1,7 dB, celkově tedy o 8,8 dB. Zde se naše výsledky rozporují s hodnotami od výrobce, jelikož podobných výsledků při měření bylo dosaženo při použití pružného tmelu. Při použití tmelu Knauf Uniflot byla naměřena hodnota vzduchové neprůzvučnosti o již zmíněných 8,8 dB.

Na těchto měřeních se dále ukázal vliv mechanického spojení tenkostěnných ocelových profilů CW 100. Pouze zhruba třicetimetový dotyk roštů v dolním rohu konstrukce způsobil pokles vzduchové neprůzvučnosti o 3,7 dB.

U třech konstrukcí bylo provedeno měření s opláštěním jednou deskou a následně dvojitým opláštěním. Jednalo se o konstrukce s jednoduchým a dvojitým tenkostěnným ocelovým rámem a s jednoduchým dřevěným rámem. U dřevěného rámu bylo zlepšení o 4,7 dB, u jednoduchého tenkostěnné ocelového rámu o 5,8 dB a u dvojitého tenkostěnného ocelového rámu o 7,7 dB.

Při porovnání konstrukcí se stejným deskovým opláštěním, avšak jiným typem rámu se vzduchová neprůzvučnost výrazně zvyšuje při použití dvojitého rámu. Rozdíl jednoduše opláštěných konstrukcí s jednoduchým a dvojitým rámem při tmelení stejným materiálem je 9,5 dB. Rozdíl u konstrukce s dvojitým opláštěním je dokonce 11,4 dB.

Zajímavé je porovnání dvojitě opláštěné konstrukce s dvojitým tenkostěnným ocelovým rámem s dotykem v dolním rohu konstrukce, u které byl použit tmel Knauf Uniflot, s dvojitě opláštěnou konstrukcí s jednoduchým rámem a tmelením pružným tmelem. Rozdíl byl pouze 1,1 dB s tím, že konstrukce s jednoduchým rámem dosahovala paradoxně vyšší hodnoty. Zde si můžeme udělat další představu o tom, jaký vliv má tmelení na celkový výsledek.

U konstrukcí s dřevěným jednoduchým rámem byly naměřeny nejmenší hodnoty z měřených dvojitých konstrukcí. Rozdíl jednoduše opláštěné konstrukce s dřevěným rámem oproti konstrukci s rámem jednoduchým tenkostěnným ocelovým je 6,7 dB. Oproti konstrukci s dvojitým tenkostěnným ocelovým rámem je rozdíl dokonce 16,2 dB. Na těchto rozdíle lze vidět vliv mechanického spojení.

U dvojitě opláštěné konstrukce s jednoduchým dřevěným rámem jsou rozdíly oproti konstrukci s tenkostěnným ocelovým rámem také zásadní. U konstrukce s jednoduchým tenkostěnným ocelovým rámem byla naměřena vyšší hodnota vzduchové neprůzvučnosti o 7,8 dB, a u konstrukce s dvojitým tenkostěnným ocelovým rámem byla hodnota vyšší o 19,2 dB oproti konstrukci s dřevěným jednoduchým rámem.

Při měření jedné desky Knauf Red připevněné na tenkostěnném ocelovém rámu pouze z jedné strany byla naměřena hodnota 29,1. U zdvojeného opláštění byla naměřena hodnota 33,0. Dle zákona hmotnosti byla očekávána změna o 6 dB, rozdíl v hodnotách však činí pouze 3,9 dB.

Zajímavý rozdíl je v porovnání zdvojeného opláštění deskami Knauf Red pouze z jedné strany tenkostěnného ocelové rámu s jednoduchým opláštěním deskou Knauf Diamant, rovněž pouze z jedné strany. U konstrukce s deskami Knauf Red byl použit tmel Knauf Uniflot, a u konstrukce s deskou Knauf Diamant byl použit pružný tmel. I zde nabývá tmelení velkého významu, jelikož u konstrukce s jednoduchým opláštěním, ale zato s pružným tmelem, byla naměřena vzduchová neprůzvučnost o 1,3 dB větší než u konstrukce s dvojitým opláštěním.

Naměřená hodnota vzduchové neprůzvučnosti konstrukce s jednoduchým tenkostěnným ocelovým rámem a jednoduchým opláštěním z obou stran se od hodnoty uváděné výrobcem liší pouze o 0,2 dB. Oproti výpočtu se liší o 1,8 dB. U konstrukce

s jednoduchým tenkostěnným ocelovým rámem s dvojitým opláštěním z obou stran se hodnota naměřená liší od hodnoty uváděné výrobcem o 2,4 dB.

Skladba číslo	Desky		Nosná konstrukce		Desky	Tmel		Poznámky	$R_{w,lab}$ [dB]
	Knauf	Rigips	CW 100	dřevěný hranol	Knauf	Uniflot	Pružný tmel		
	Red	Habito			Red				
1	••		••		••	••		dotyk CW	55,5
2	••		••		••	•	•		66,3
3	••		••		••		••		68,0
4	•		••		•		••		60,3
5	•		•		•		••		50,8
6	••		•		••		••		56,6
7	••		••		••	••			59,2
8	••		•			•			33,0
9	•		•			•			29,1
10		•	•				••		34,3
11	•			•	•		••		44,1
12	••			•	••		••		48,8

Tab. 9.1 - Souhrnná tabulka měření

Skladba číslo	R_w naměřené [dB]	R_w vypočítané [dB]	R_w dle výrobce [dB]	Tmel		Poznámky
				Uniflot	Pružný	
1	55,5	71	71	••		Dotyk CW
2	66,3	71	71	•	•	
3	68,0	71	71		••	
4	60,3	59	-		••	
5	50,8	49	51		••	
6	56,6	61	59		••	
7	59,2	71	71	••		
8	33,0	35	-	•		
9	29,1	29	-	•		
10	29,8	31	-		•	
11	44,1	44	-		••	
12	48,8	50	-		••	

Tab. 9.2 – Souhrnná tabulka hodnot naměřených, vypočítaných a deklarovaných od výrobce s přehledem použitých tmelů

10. Skladby stěn na bázi dřeva a jejich vzduchová neprůzvučnost

Obecně lze u objektů na bázi dřeva najít více typů svislých nosných konstrukcí. Pro stěnové systémy se používá v případě roubenek kulatina nebo hraněné řezivo. Dalším konstrukčním typem stěnového systému jsou masivní vrstvené lepené panely neboli CLT. Sloupkové konstrukce se dělí na masivní skelet, hrázděné stavby a lehký skelet, známý jako 2by4. Masivní skelet má osovou vzdálenost sloupků přibližně od 1,6 m do 6 m. Hrázděné stavby mají analogickou konstrukci jako u masivního skeletu, s provedenou vyzdívkou mezi sloupky. Lehký skelet se vyznačuje osovou vzdáleností sloupků 500 mm nebo 625 mm a menšími rozměry sloupků než je tomu u masivního skeletu. Vzhledem k zaměření práce budou dále rozebrány pouze skladby stěn 2by4, jelikož odpovídají lehké konstrukci.

Systém 2by4 se vyznačuje svislou konstrukcí z nosných sloupků přibližně o rozměrech od 60/120 mm do 80/180 mm s osovou vzdáleností ideálně 625 mm. Sloupky mohou být z rostlého řeziva, KVH, BSH, Duo a Trio hranolů, nebo STEICO nosníků. Prostorová tuhost je zajištěna konstrukčním opláštěváním například z OSB desek, sádrovláknitých, cementotřískových nebo sádrokartonových desek.

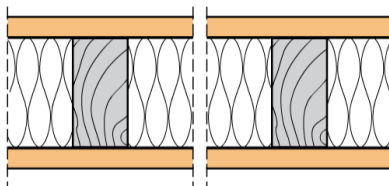


Obr. 10.1 – Konstrukční systém 2by4

V průřezu jednotlivých skladeb budou uvedeny vždy varianty s vyplněnou vzduchovou mezerou pohlcovačem. Deskové opláštění z OSB desek nebude uváděno. Výběr je specifikován pouze na sádrovláknité desky od firmy Fermacell. Kapitola se

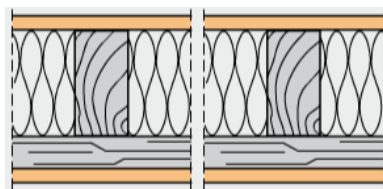
zaměřuje na přiblížení hodnot vzduchové neprůzvučnosti jednotlivých konstrukcí s dřevěným rámem a jejich zlepšení.

Základní skladbou je jednoduše opláštěná dřevěná konstrukce.



Obr. 10.2 – Nosná dřevěná konstrukce 60/100 mm s jednoduchým opláštěním deskou Fermacell tl. 12,5 mm, dutina vyplněna skelnou izolací tl. 100 mm, obj. hmot. 13 kg/m³, $R_w = 44$ dB [23]

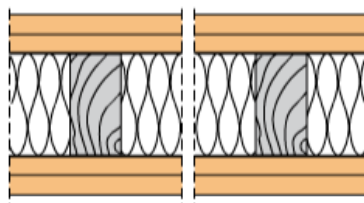
Při vytvoření předsazené stěny kontralatěmi 40/60 mm dosahuje konstrukce podobných vlastností jako v předchozím případě.



Obr. 10.3 – Nosná dřevěná konstrukce 60/100 mm s jednoduchým opláštěním deskou Fermacell tl. 12,5 mm a předsazenou stěnou z kontralaty 40-60 mm, dutina vyplněna skelnou izolací tl. 100 mm, obj. hmot. 13 kg/m³, $R_w = 44$ dB [23]

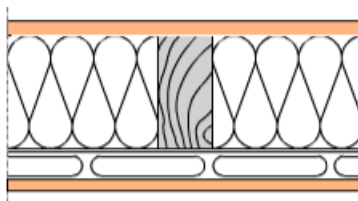
V případě vyplnění dutiny dřevovláknitou, celulóзовou nebo konopnou izolací se vzduchová neprůzvučnost zlepšit o 2 dB, teda na $R_w = 46$ dB.

Při dvojitým opláštěním s vyplněnou vzduchovou mezerou skelnou izolací dosahuje konstrukce vzduchové neprůzvučnosti $R_w = 54$ dB.



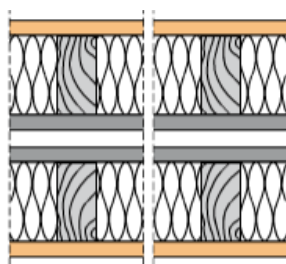
Obr. 10.4 – Nosná dřevěná konstrukce 60/100 mm s dvojitým opláštěním deskou Fermacell tl. 12,5 mm, dutina vyplněna skelnou izolací tl. 100 mm, obj. hmot. 13 kg/m³, $R_w = 54$ dB [23]

K výraznému zlepšení vzduchové neprůzvučnosti dojde při kotvení předstěny nikoliv do kontralatí, ale na speciální akustické profily 27.



Obr. 10.5 – Nosná dřevěná konstrukce 60/100 mm s jednoduchým opláštěním deskou Fermacell tl. 12,5 mm a předsazenou stěnou kotvenou na akustické profily 27 mm, dutina vyplněna skelnou izolací tl. 100 mm, obj. hmot. 13 kg/m³, $R_w = 57$ dB [23]

Akusticky výhodnější možností je konstrukce s dvojitým dřevěným roštem, který má mezi sebou vzduchovou mezeru tl. 35 mm. Základní z nich je konstrukce s každým roštem jednoduše opláštěným, z vnější strany deskou Fermacell 12,5 mm, z vnitřní strany deskou Powerpanel HD 15 mm.



Obr. 10.6 – Nosná dřevěná konstrukce 60/120 mm s jednoduchým opláštěním deskou Fermacell tl. 12,5 mm z vnější strany a deskou Powerpanel HD 15 mm z vnitřní, $R_w = 66$ dB [23]

Při zdvojení vnějšího opláštění dojde ke zlepšení vzduchové neprůzvučnosti konstrukce na hodnotu $R_w = 72$ dB. [23]

11. Závěr

Práce shrnuje podstatu lidského vnímání zvuku a popisuje související nároky na stavební konstrukce. Mezi ně patří nároky na akustické a požární vlastnosti, na odolnost proti agresivitě prostředí, na bezpečnost a únosnost. Popisuje jednotlivé prvky konstrukce, jako jsou deskové prvky, nosný rám a výplňový materiál. Dále uvádí obvyklé neprůzvučnosti lehkých konstrukcí a jejich typické detaily napojení na podlahu, strop a boční stěnu.

Hlavní část práce popisuje rozdíl v měření vzduchové neprůzvučnosti na stavbě a v laboratoři a uvádí přístrojové vybavení, které bylo použito pro experiment. Dále se zabývá popisem postupu výpočtu jednotlivých konstrukcí. Je uveden souhrn naměřených hodnot včetně grafů a porovnání s vypočítanými hodnotami a hodnotami uváděnými výrobcem.

Při porovnávání jednotlivých hodnot vzduchových neprůzvučností byl ukázán rozdíl mezi jednotlivými typy rámu, četností opláštění a použitým tmelem. Dále byl kvantifikován rozdíl v hodnotách vzduchové neprůzvučnosti při mechanickém spojení dvojitého rámu.

12. Seznam použité literatury

- [1] ČECHURA, Jiří. *Stavební fyzika 10: akustika stavebních konstrukcí*. Praha: České vysoké učení technické, 1997. ISBN 80-01-01593-9.
- [2] KAŇKA, Jan a Jiří NOVÁČEK. *Stavební fyzika 3*. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05674-5.
- [3] KAŇKA, Jan. *Stavební fyzika*. 2. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2013. ISBN 978-80-01-05209-9.
- [4] KAŇKA, Jan. *Stavební akustika: TP 1.8.3 : technická pomůcka k činnosti autorizovaných osob*. Praha: Pro Českou komoru autorizovaných inženýrů a techniků činných ve výstavbě vydává Informační centrum ČKAIT, 2011. Metodické a technické pomůcky k činnosti autorizovaných osob. ISBN 978-80-87438-12-1.
- [5] KAŇKA, Jan. *Akustika stavebních objektů*. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-140-3.
- [6] NOVÁK, Jan. *Akustická kvalita a pohoda ve výstavbě*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1981.
- [7] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [8] REICHARDT, Walter. *Technická akustika: anglicko-nemecko-francúzsko-rusko-španielsko-poľsko-maďarsko-slovenský slovník*. Bratislava: Alfa, 1978. Edícia prekladových slovníkov.
- [9] VAVERKA, Jiří. *Stavební fyzika*. Brno: VUTIUM, 1998. ISBN 80-214-1283-6.
- [10] VIGRAN, Tor Erik. *Building acoustics*. New York: Taylor & Francis, 2008. ISBN 0203931319.
- [11] DAVID A. BIES AND COLIN H. HANSEN. *Engineering Noise Control Theory and practice*. 2nd ed. London: Spon Press, 1995. ISBN 0203116658.

- [12] Kročejová neprůzvučnost. tzb-info [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/190-krocejova-nepruzvucnost>
- [13] Speciální požadavky. Knauf [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://www.knauf.cz/4-specialni-pozadavky>
- [14] Produkty a řešení. Rigips [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://www.rigips.cz/produkty-a-reseni/>
- [15] Izolace příček. Isover [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://www.isover.cz/aplikace/izolace-pricek-predsten/izolace-pricek>
- [16] Požární a akustický katalog. Fermacell [online]. 2015, [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://marketing.fermacell.cz/viewer/konstrukcni-detaily/#/1/>
- [17] Sound analyzer Nor 140 – New version 4.0. Norsonic [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: http://www.norsonic.com/en/products/sound_level_meters/sound_analyser_nor140/Sound+Analyser+Nor140+--+%22MULTI-TOOL%22.9UFRjQYk.ips
- [18] Nor280 Power Amplifier. Norsonic [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: http://www.norsonic.com/en/products/noise_sources/nor280_power_amplifier/
- [19] Nor276 Dodecahedron loudspeaker. Norsonic [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: http://www.norsonic.com/en/products/noise_sources/nor276_loudspeaker/
- [20] Free-field microphone Nor1225. Norsonic [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: http://www.norsonic.com/en/products/microphones+preamplifiers/microphones/nor1225_free-field_microphone/
- [21] Calibrators Nor1251 and Nor1253. Norsonic [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: http://www.norsonic.com/en/products/calibrators/calibrators_nor1251+53/
- [22] Akustická laboratoř. UCEEB [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://www.uceeb.cz/akusticka-laborator>
- [23] Dřevostavby a cenové ukazatele nosných konstrukcí obvodových zdí. Konstrukce [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://www.konstrukce.cz/clanek/drevostavby-a-cenove-ukazatele-nosnych-obvodovych-zdi/%3C!DOCTYPE%20HTML%20PUBLIC>

- [24] Požadavky na zvukovou izolaci obvodového pláště dle ČSN 73 0532 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky. tzb-info [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://stavba.tzb-info.cz/tabulky-a-vypocty/137-pozadavky-na-zvukovou-izolaci-obvodoveho-plaste-dle-csn-73-0532-akustika-ochrana-proti-hluku-v-budovach-a-posuzovani-akustickych-vlastnosti-stavebnich-vyrobku-pozadavky>
- [25] Vzduchová neprůzvučnost stavebních konstrukcí – odhlučnění. Petr Vlček, zvuková izolace a odhlučnění [online]. [cit. 2017-1-8]. Dostupné z: <http://www.odhlučnenibytu.cz/sluzby/odhlučneni-bytu.html>
- [26] ČSN 011600 Akustika – Terminologie (2003)
- [27] ČSN 730532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních prvků – Požadavky (2000)
- [28] ČSN EN 12354-1 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi (2001)
- [29] ČSN EN ISO 717-1: Akustika – Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí v budovách – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost (1998)
- [30] Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby
- [31] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací