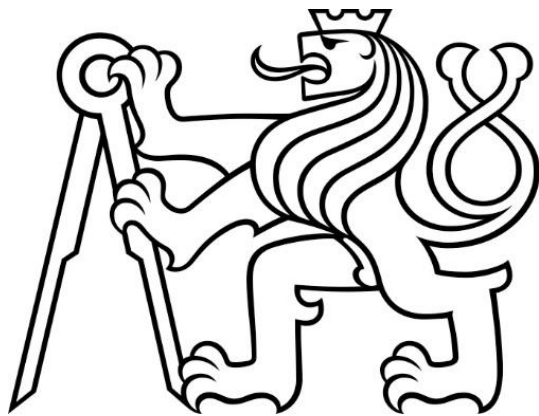


**ČESKÉ VYSOKÉ
UČENÍ TECHNICKÉ
V PRAZE**

**FAKULTA
STAVEBNÍ**



**DIPLOMOVÁ
PRÁCE**

2020

**MARKO
BELKOSKI**

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STAVEBNÍ

Katedra konstrukcí pozemních staveb



Diplomová práce

Dřevěné stropní konstrukce z pohledu stavební akustiky
Wooden floors from the perspective of building acoustics

2020

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

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

Bc. Marko Belkoski

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: <u>Belkoski</u>	Jméno: <u>Marko</u>	Osobní číslo: <u>438119</u>
Zadávací katedra: <u>Katedra konstrukcí pozemních staveb (k124)</u>		
Studijní program: <u>Budovy a prostředí</u>		
Studijní obor: <u>Budovy a prostředí</u>		

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: <u>Dřevěné stropní konstrukce z pohledu stavební akustiky</u>	
Název diplomové práce anglicky: <u>Wooden floors from the perspective of building acoustics</u>	
Pokyny pro vypracování: Diplomová práce bude zaměřená na zvukovou izolaci (vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost) dřevěných stropů. Součástí práce bude řešerše problematiky se zaměřením na tradiční i novodobé stropní konstrukce. Těžištěm práce bude zpracování přehledu akustických vlastností běžných dřevěných stropů na základě výpočtů a z dostupných databází laboratorních měření a jejich porovnání s vlastnostmi tradičních těžkých stropů. Předpokládá se doplnění práce o vlastní měření v laboratoři nebo na stavbě.	
Seznam doporučené literatury: Stavební fyzika 3, Akustika pozemních staveb, J. Kaňka, J. Nováček, učebni skriptum ČVUT Building Acoustics, T. E. Vigran, 2008 ČSN EN ISO 10140 (všechny části), ČSN EN ISO 16283-1 a ČSN EN ISO 16283-2	
Jméno vedoucího diplomové práce: <u>Ing. Jiří Nováček, Ph.D.</u>	
Datum zadání diplomové práce: <u>20. 9. 2019</u>	Termín odevzdání diplomové práce: <u>5. 1. 2020</u> <i>Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku</i>
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“.

<u>27.9.2019</u> Datum převzetí zadání	Podpis studenta(ky)
---	---------------------

SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: MARKO BELKOSKI

Název diplomové práce: DŘEVĚNÉ STROPNÍ KONSTRUKCE Z POHLEDU STAVEBNÍ AKUSTIKY

Základní část: KPS podíl: 95 %

Formulace úkolů: REŠERŠE PROBLEMATIKY ZAMĚŘENÁ NA VZDUCHOVOU A KROČEJOVOU NEPRŮZVUČNOST DŘEVĚNÝCH STROPŮ. PŘEHLED AKUSTICKÝCH VLASTNOSTÍ STROPŮ, ZALOŽENÝ NA VÝSLEDKÁCH VÝPOČTŮ NEBO MĚŘENÍ. POROVNÁNÍ S TRADIČNÍ ZDĚNOU/BETONOVOU VÝSTAVBOU.

Podpis vedoucího DP: Datum: 27.9.2019

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

2. Část: DKJ podíl: 5% %

Konzultant (jméno, katedra): MARTINA ELIÁŠOVÁ - K 134

Formulace úkolů: ZPRACOVÁNÍ PODKLADŮ PRO DIPLOMOVOU PRÁCI - VÝBĚR TRADIČNÍCH A MODERNÍCH DŘEVĚNÝCH STROPNÍCH KONSTRUKCÍ Z HLEDISKA VYUŽITELNOSTI V PRAKTI.

Podpis konzultanta: Datum: 22.10.2019

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)

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „Dřevěné stropní konstrukce z pohledu stavební akustiky“ vypracoval samostatně, pouze za odborného vedení Ing. Jiřího Nováčka, Ph.D. Zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou uvedeny v seznamu zdrojů.

V Praze dne 21. 2020

.....

Bc. Marko Belkoski

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce Ing. Jiřímu Nováčkovi Ph.D. za veškeré cenné rady, věnovaný čas a trpělivost.

Také bych chtěl poděkovat mé rodině za trpělivost a za veškerou materiální a psychickou podporu v průběhu celého studia.

Abstrakt

Předmětem této diplomové práce je zpracování uceleného přehledu akustiky dřevěných stropních konstrukcí.

V úvodní části práce jsou uvedeny obecné požadavky na stropní konstrukce a stručný přehled historických dřevěných stropních konstrukcí. Následně je zpracován přehled vlivu různých konstrukčních řešení dřevěných (zejména nosíkových) stropů na stavební akustiku. Tato část práce je významně podpořena výpočty ve specializovaném programu INSUL, případně jsou uvedené informace čerpány z různých zdrojů, jako jsou odborné publikace a vědecké práce. Dále jsou v práci uvedeny možnosti započítání vlivu vedlejších cest šíření zvuku na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost. Práce obsahuje také porovnání zvukově izolačních vlastností železobetonové stropní konstrukce s lehkým dřevěným stropem. V závěru teoretické části práce je zpracován přehled v současnosti využívaných stropních konstrukcí na bázi dřeva s uvedenými hodnotami jejich vzduchové a kročejové neprůzvučnosti.

V praktické části práce bylo provedeno měření v akustické laboratoři při UCEEB v Buštěhradě. Byly změřeny celkem čtyři varianty stropů. Tato část práce se zabývá také porovnáním jednotlivých měření mezi sebou, které je doplněno komentářem a také srovnáním první měřené skladby s výsledky výpočtu. Dále je v praktické části popsán postup laboratorních měření v souladu s řadou norem ČSN EN ISO 10140.

Klíčová slova

Vzduchová neprůzvučnost, kročejová neprůzvučnost, dřevěné stropní konstrukce, akustika

Abstract

The goal of this diploma thesis is to elaborate a comprehensive overview of acoustics of wooden floors.

There are general requirements for wooden floor structures and a brief overview of historical wooden floor structures given in the introductory part of the thesis. Subsequently, an overview of the effects of various structural solutions of wooden (especially joist-based) floor structures on building acoustics is elaborated. This part of the thesis is significantly supported by calculations made in the specialized software INSUL, or the information is based on various sources such as specialized publications and scientific papers. Furthermore, the thesis presents the possibilities of involving the influence of indirect paths of flanking sound influence on an airborne and impact sound insulation. The thesis also contains comparison the acoustic insulating properties of reinforced concrete floor structure and a light wooden floor structure. At the end of the theoretical part, there is an overview of the currently used wood-based floor structures with their air and impact sound insulation values.

In the practical part of the work, measurements were performed in the acoustic laboratory at UCEEB in Buštěhrad. Four various floors were measured. This part also compares measured values with each other. Comparison is supplemented with commentary and comparison of the first measured floor with the results of calculation. Furthermore, the practical part describes the procedure of laboratory measurements in accordance with series of standards ČSN EN ISO 10140.

Keywords

Airborne sound insulation, impact sound insulation, wooden floor structures, acoustics

Obsah

1	Úvod.....	11
2	Teoretická část	12
2.1	Požadavky na stropní konstrukce.....	12
2.1.1	Architektonické požadavky.....	12
2.1.2	Statická funkce a požadavky	12
2.1.3	Požárně bezpečnostní požadavky.....	13
2.1.4	Tepelně technické požadavky	14
2.1.5	Akustické požadavky	14
2.2	Stručný přehled historických dřevěných stropních konstrukcí	15
2.3	Akustika dřevěných stropních konstrukcí.....	19
2.3.1	Akustické požadavky na stropní konstrukce.....	19
2.3.2	Výška průřezu nosných profilů	21
2.3.3	Osová vzdálenost nosných profilů	23
2.3.4	Vliv podhledu.....	24
2.3.5	Vliv konstrukce podlahy	31
2.3.6	Zvyšování plošné hmotnosti.....	35
2.3.7	Shrnutí.....	35
2.3.8	Doporučená skladba.....	35
2.4	Vedlejší cesty šíření zvuku.....	38
2.4.1	Úvod.....	38
2.4.2	Vzduchová neprůzvučnost	38
2.4.3	Kročejová neprůzvučnost.....	40
2.4.4	Praktický výpočet vlivu bočních cest šíření zvuku v SW BASTIAN	42
2.4.5	Závěr	43
2.5	Srovnání dřevěných a železobetonových stropních konstrukcí z pohledu stavební akustiky.....	44
2.6	Přehled v současnosti používaných dřevěných stropů a jejich akustických vlastností	47
2.6.1	Stropy s dřevěnými nosníky.....	48
2.6.2	Dřevobetonové stropy	52
2.6.3	Masivní dřevěné stropy	55
2.6.4	Stropy se skříňovou konstrukcí.....	57

3	Praktická část	58
3.1	Popis měření.....	58
3.1.1	Úvod.....	58
3.1.2	Zkušební komora a vybavení	58
3.1.3	Měření kročejové neprůzvučnosti	60
3.1.4	Měření vzduchové neprůzvučnosti.....	61
3.1.5	Shrnutí	61
3.2	Provedené zkoušky a porovnání jejich výsledků s výpočty	62
3.2.1	Úvod.....	62
3.2.2	Zkouška trámového „stropu 1“ se záklopem.....	62
3.2.3	Zkouška trámového „stropu 2“ s SDK podhledem	66
3.2.4	Zkouška trámového „stropu 3“ s SDK podhledem a plovoucí podlahou.....	70
3.2.5	Zkouška trámového „stropu 4“ s SDK podhledem a lehkou plovoucí podlahou s násypem	73
3.3	Porovnání naměřených hodnot.....	77
3.3.1	Strop 1 - naměřené a vypočtené hodnoty	77
3.3.2	Porovnání všech měření – popis výsledků	79
4	Závěr	84
5	Seznamy:	86
5.1	Seznam použitých zdrojů	86
5.2	Seznam použitých obrázků	89
5.3	Seznam použitých tabulek.....	91
5.4	Seznam použitých grafů.....	92
5.5	Seznam použitých rovnic	92
5.6	Seznam použitých značek	93

1 Úvod

Hlavním cílem této práce je dosáhnout zpracování uceleného pohledu na navrhování dřevěných, zejména nosníkových, stropních konstrukcí z pohledu stavební akustiky, který by v ideálním případě mohl být zdrojem informací pro projektanty pozemních staveb nebo architektky. Stejně tak věřím, že zkoušky provedené v akustické laboratoři, spolu s uvedenými průběhy vzduchové a kročejové neprůzvučnosti, mohou být cenným zdrojem dat pro tyto odborníky. Motivací pro výběr tohoto tématu pro mě byla zejména možnost případného praktického využití získaných zkušeností a dat v osobní projekční praxi a možnost prohloubení znalostí o stavební akustice a dřevěných stropních konstrukcích. Práce je dělena na část teoretickou a praktickou.

Teoretická část práce si klade za cíl zpracování přehledu vlivu různých konstrukčních řešení dřevěných (zejména nosníkových) stropů na stavební akustiku. Chování těchto konstrukcí z hlediska vzduchové a kročejové neprůzvučnosti je ověřeno ve specializovaném programu INSUL, případně popsáno na základě informací čerpaných z odborných publikací. Dále je v této části práce uvedeno zpracování přehledu historických i moderních dřevěných stropních konstrukcí a také požadavků, které jsou na tyto konstrukce kladeny. Teoretická část práce je doplněna o přehled možností započítání vlivu vedlejších cest šíření zvuku na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost a také o srovnání dřevěných a železobetonových stropních konstrukcí z pohledu stavební akustiky.

V rámci praktické části práce proběhlo měření několika skladeb dřevěného trámového stropu v akustické laboratoři při UCEEB v Buštěhradě. Změřené hodnoty vzduchové a kročejové neprůzvučnosti zkoušených skladeb byly srovnány s požadavky ČSN 73 0532. Praktická část práce je doplněna o srovnání vypočtených a naměřených hodnot vzduchové a kročejové neprůzvučnosti vybrané skladby.

2 Teoretická část

2.1 Požadavky na stropní konstrukce

Dělení požadavků na stropní konstrukce dle prof. Hájka [1]:

2.1.1 Architektonické požadavky

Stropní konstrukce plní z architektonického hlediska zejména funkci dělicí mezi jednotlivými podlažími. Tloušťka stropní konstrukce ovlivňuje celkovou výšku budovy a závisí na použité technologii, zatížení, vzdálenosti podpor, uložení atd. Dále konstrukce podlahy a podhledu, materiál, ze kterého jsou zhotoveny a jejich povrchová úprava ovlivňují vzhled vnitřních prostor budov.

2.1.2 Statická funkce a požadavky

Statické požadavky na stropní konstrukce specifikují zejména Eurokódy 0, 1 a 5. Strop musí být dostatečně únosný, aby přenesl požadované zatížení a dostatečně tuhý, aby zamezil nadměrným průhybům od zatížení a nadměrnému kmitání od dynamických účinků. [1]

2.1.2.1 Požadavky na únosnost

Pro mezní stav únosnosti se posuzuje se zejména:

- Pro průřezy namáhané v jednom směru:
 - Tah rovnoběžně s vlákny, tah kolmo k vláknům, tlak rovnoběžně s vlákny, tlak kolmo k vláknům, ohyb, smyk, kroucení
- Pro průřezy vystavené kombinovaným napětím:
 - Napětí v tlaku šikmo k vláknům, kombinace ohybu a osového tlaku
- Stabilita prvků
[2]

2.1.2.2 Požadavky na použitelnost

V mezním stavu použitelnosti je u stropních konstrukcí posuzován dovolený průhyb a kmitání.

Kmitání se přenáší do konstrukce zejména ze dvou zdrojů:

- Kmitání způsobené stroji
- Kmitání od lidských kroků u obytných budov:
Pokud je základní frekvence ≤ 8 Hz, je nutno zpracovat odborné vyšetření.
Pro stropy obytných budov s $f_1 \geq 8$ Hz se provede posouzení dle Eurokódu 5.
[2]

Vlastní frekvence f_1 se pro obdélníkový strop s celkovými rozměry $l \times b$ a dřevěnými nosníky přibližně vypočte:

$$f_1 = \frac{\pi}{2l^2} \sqrt{\frac{(EI)_l}{m}} \quad (\text{Hz}) \quad 1$$

Kde m je hmotnost na jednotku plochy v kg/m^2 ;

l je rozpětí stropu v m ;

$(EI)_l$ je náhradní ohybová tuhost desky stropu k ose kolmé na směr nosníků v Nm^2/m

Převzato z [2]

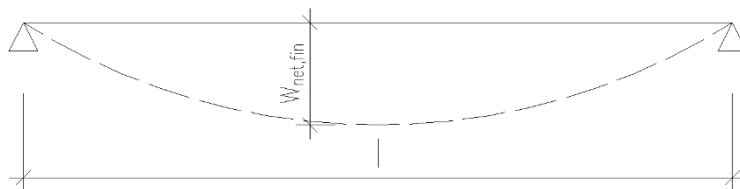
Mezní hodnoty čistého průhybu pod přímkou pro dřevěné nosníky jsou definovány v EC5 následně:

Prostý nosník:

$$w_{\text{net,fin}} = 1/250 - 1/300$$

Vykonzolované nosníky:

$$w_{\text{net,fin}} = 1/125 - 1/175$$



Obrázek 1 - Čistý konečný průhyb

[2]

2.1.2.3 Požadavky na tuhost v horizontální rovině

Stropní konstrukce v některých konstrukčních systémech zajišťuje tuhost v horizontální rovině. Dřevěné stropní konstrukce zpravidla nejsou dostatečně tuhé, pro přenesení sil v horizontální rovině, a proto se zpravidla uplatní spíše u nižších staveb. [1]

2.1.3 Požárně bezpečnostní požadavky

Stropní konstrukce musí vykazovat požární odolnost, tj. danou dobu v minutách odolávat účinkům požáru bez porušení požadované funkce. Pokud slouží stropní konstrukce jako požárně dělicí, tj. vykazuje požadovanou požární odolnost a odděluje dva požární úseky ve svislém směru, musí zpravidla vykazovat požární odolnost mezních stavů REI (R=nosnost; E= celistvost; I = izolační schopnost). [4]

Dřevěné stropní konstrukce jsou zpravidla druhu DP2 nebo DP3. Přesné zatřídění dle ČSN 73 0810. [3]

Objekty s dřevěnými stropními konstrukcemi jsou zpravidla zatříděny do konstrukčních systémů z požárního hlediska smíšených nebo hořlavých. To limituje jejich požární výšku na $h \leq 22,5$ m, resp. na $h \leq 12$ m. [3,4]

2.1.4 Tepelně technické požadavky

Stropní konstrukce musí splňovat požadavky ČSN 73 0540-2 zejména na návrhové hodnoty součinitele prostupu tepla: $U_{N,20}$ [$W/(m^2 \cdot K)$].

Popis konstrukce	Součinitel prostupu tepla [$W/(m^2 \cdot K)$]		
	Požadované	Doporučené	Doporučené hodnoty
	hodnoty	hodnoty	pro pasivní budovy
	$U_{N,20}$	$U_{rec,20}$	$U_{pas,20}$
Strop s podlahou nad venkovním prostorem	0,24	0,16	0,15 až 0,10
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k nevytápěnému prostoru	0,6	0,4	0,30 až 0,20
Strop a stěna vnitřní z vytápěného k temperovanému prostoru	0,75	0,5	0,38 až 0,25
Strop mezi prostory s rozdílem teplot do 10 °C včetně	1,05	0,7	
Strop vnitřní mezi prostory s rozdílem teplot do 5 °C včetně	2,2	1,45	

Tabulka 1 - Součinitel prostupu tepla – požadavky (převzato z ČSN 73 0540-2)

Dále musí podlahové souvrství, včetně stropní konstrukce, splňovat požadavky na **pokles dotykové teploty**.

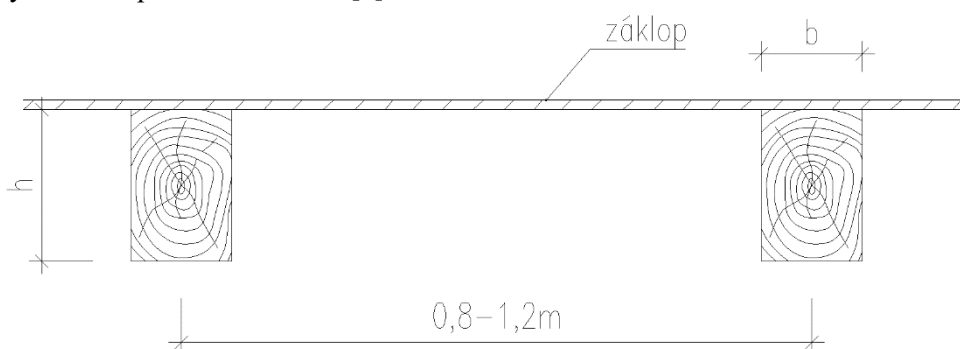
2.1.5 Akustické požadavky

Akustické požadavky jsou na stropní konstrukce kladeny zejména z hlediska zvukové izolace charakterizované vzduchovou a kročejovou neprůzvučností. Podrobně jsou akustické požadavky uvedeny v kapitole 2.3.1.

2.2 Stručný přehled historických dřevěných stropních konstrukcí

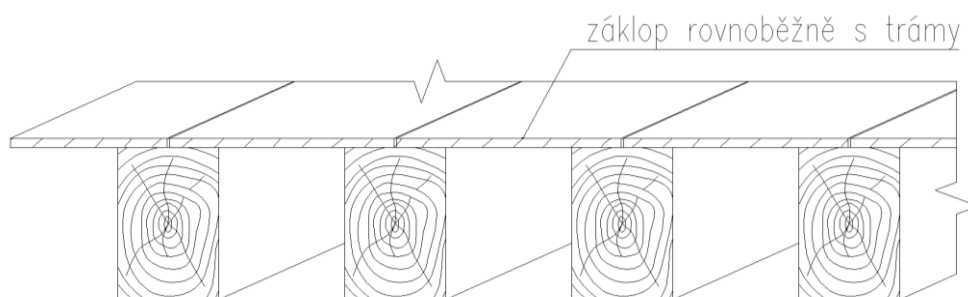
V následujících odstavcích jsou shrnuty historicky používané dřevěné stropní konstrukce v našich zeměpisných podmínkách, se kterými se lze často setkat i dnes, zejména při rekonstrukcích.

Nejjednodušší variantou historické dřevěné stropní konstrukce je jednoduchý **dřevěný trémový strop (obr.2)**, který se skládá z nosných dřevěných trámů v osové vzdálenosti nejčastěji 900-1000 mm, které jsou uloženy přímo na stěny, nebo na dřevěné průvlaky. O konstrukci trémových stropů s průvlaky se zmiňuje již architekt Leon Battista Alberti okolo roku 1450 [5]. Používaly se do rozpětí zhruba 6,0 m [6].



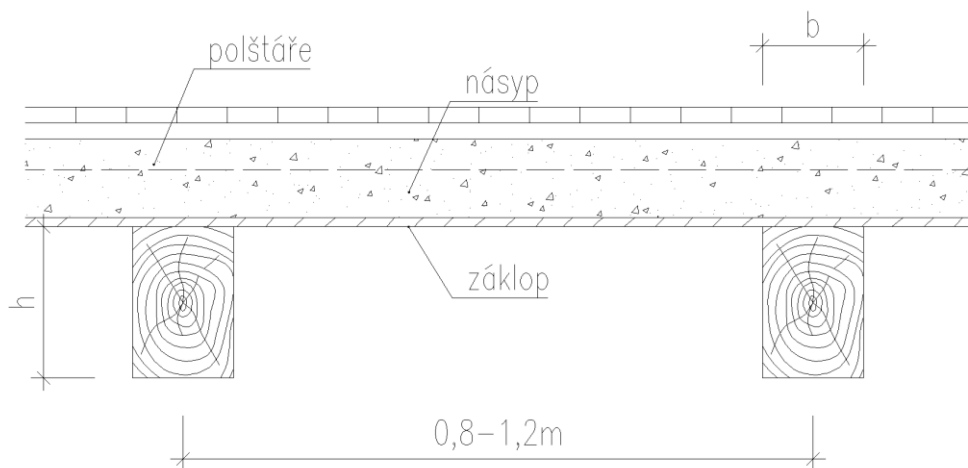
Obrázek 2 - Dřevěný trémový strop

Zvláštním případem trémových stropních konstrukcí jsou stropy tzv. **kapucínské (obr. 3)**, se základem rovnoběžným s trámy [7].



Obrázek 3 – Kapucínský trémový strop

V případě důležitějších prostorů se využíval **trémový strop se základem a násypem (obr.4)**, u něhož násyp zajišťoval požární odolnost z horní strany konstrukce a také zlepšoval akustické vlastnosti. Jako násyp se využíval písek, vápenný rum, cihelná drť nebo škvára [6]. Spáry mezi prkny základu se překrývaly například lištami. Do násypu se zpravidla umísťoval tzv. polštář, na kterém spočívala vrstva podlahy.



Obrázek 4 – Dřevěný trámový strop se záklopem a násypem

Orientační rozměry trámového stropu dle [1]:

Rozpon: 5-6,5 m (výjimečně až 9 m)

Empirický výpočet výšky průřezu pro osovou vzdálenost:

0,65-0,75 m $h = 0,02.l + 130$

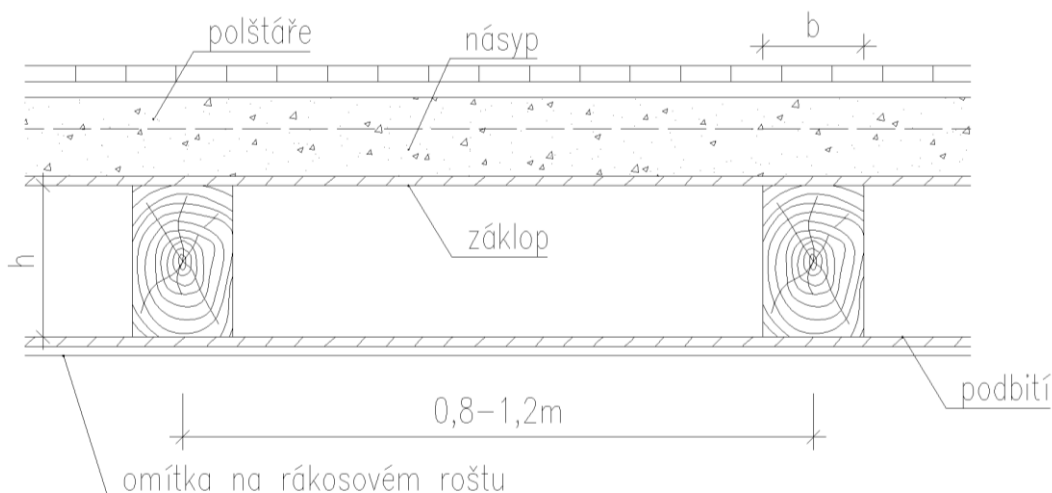
0,9-1,0 m $h = 0,02.l + 160$ až $0,02.l + 200$

0,85m; velké zatížení $h = 0,03.l + 110$

Šířka trámu: $b = 2/3.h$ až $3/4.h$

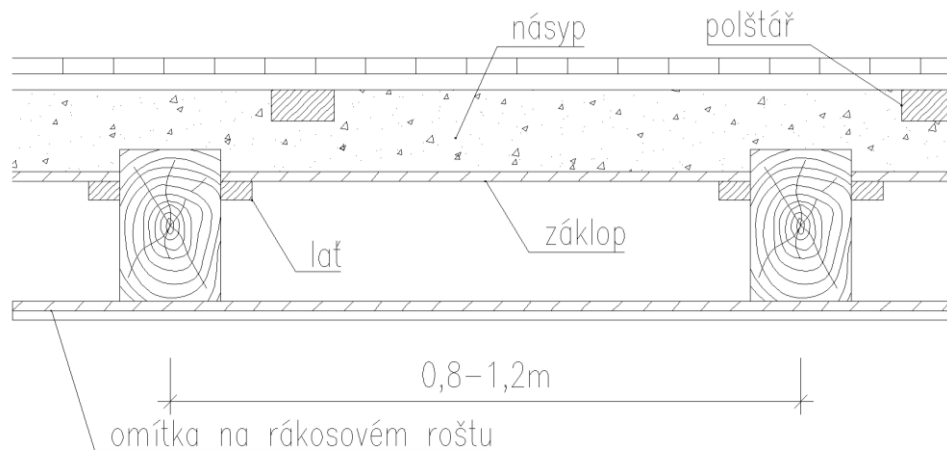
kde l [mm] je teoretické rozpětí místnosti

V případě požadavku na požární odolnost i ze spodní strany stropní konstrukce se trámy opatřily podbitím z prken, na které byl připevněn rákosový rošt, který se následně opatřil omítkou. Takto provedený strop se nazývá **trámový strop s rákosovou omítkou, záklopem a násypem (obr.5)** [6].

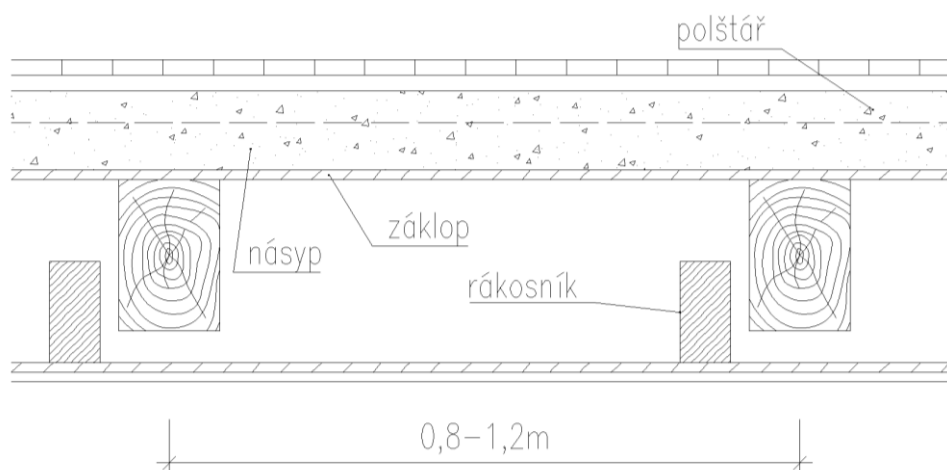


Obrázek 5 – Dřevěný trámový strop se záklopem, násypem a rákosovou omítkou

Pokud bylo třeba snížit konstrukční výšku podlaží, bylo možné **zapustit záklop a násyp** (obr. 6) [6]. Nevýhodou podbití uchyceného přímo na trámy bylo přenášení průhybů konstrukce a následné praskání omítky. Tento problém se řešil pomocí nosníků menšího průřezu, rovnoběžných s trámy, tzv. rákosníků, které sloužily jako nosná konstrukce pro podbití s rákosovým roštem a omítkou. Zároveň konstrukce **trámového stropu s rákosíky** (obr. 7) zlepšovala akustické vlastnosti stropu, ale přinášela zvýšení konstrukční výšky [6].

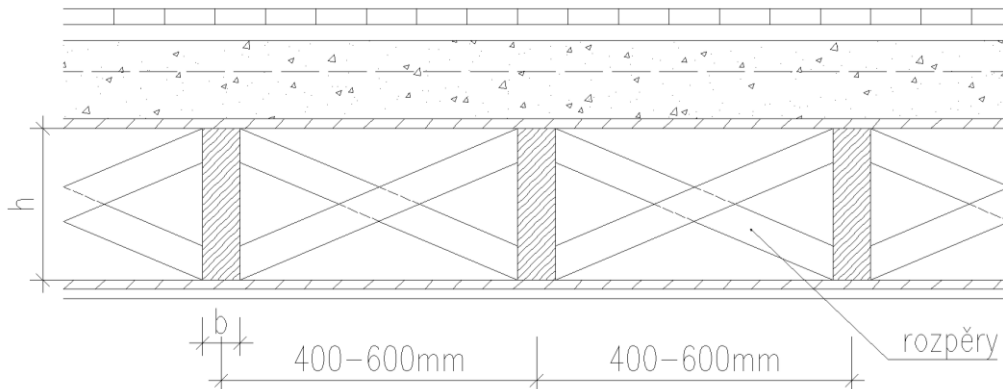


Obrázek 6 – Dřevěný trámový strop se zapuštěným záklopem, násypem a rákosovou omítkou



Obrázek 7 - Dřevěný trámový strop s rákosíky

Fošnové stropy se používaly pro možnost úspory dřeva o 30-40 %. Skládají se ze stropnic z fošen a záklopu z prken. Pro zajištění stability se fošnový strop rozpíral ve vzdálenosti 1,2-1,5 m šikmými rozpěrami z latí nebo prken [1].



Obrázek 8 – Fošnový strop

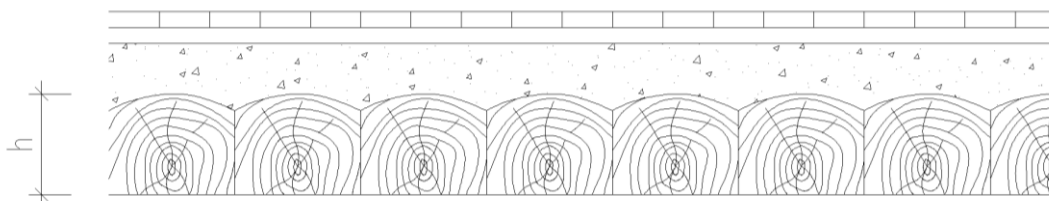
Orientační rozměry fošnového stropu [1]:

Rozpon:	5-6 m
Výška stropnice:	$h = 200-280 \text{ mm}$
Šířka stropnice:	$b = 50-60 \text{ mm}$

Dále se u větších rozpětí (nad 6,5m) využívaly například **trámové stropy do travverz**. V oblastech s dostatkem dřeva se používaly stropy **povalové (obr.9)**. Tvořené ze tří stran hraněnými trámy kladenými na sraz, které společně tvořily deskovou konstrukci. [6]

Orientační rozměry povalového stropu [1]:

Rozpon:	4,5-6 m
Empirický výpočet výšky průřezu:	$h = 0,02.l+60 \text{ až } 0,02.l+80$



Obrázek 9 – Povalový strop

2.3 Akustika dřevěných stropních konstrukcí

Dřevěné stropní konstrukce, bez podlahy, obecně vykazují vyšší hodnoty vážené normované stavební hladiny akustického tlaku kročejového zvuku $L'_{n,w}$ v porovnání s konstrukcemi s vyšší plošnou hmotností. Dále dochází k snazšímu přenosu zvuku nižších frekvencí (<500 Hz) [9], tedy tyto konstrukce vykazují nižší vzduchovou neprůzvučnost v těchto frekvencích než standardně používané stropy, například železobetonové nebo z nosníků a keramických vložek.

Nevýhodou dřevěných stropů oproti tradičním, zejména železobetonovým, konstrukcím je absence snadného výpočtu akustických parametrů ve fázi návrhu. Je proto nutné vycházet z již publikovaných měření na stavbě nebo v laboratoři. Dále je možné použít pro výpočet specializovaný software. V praktické části své práce se pokusím ověřit relevanci těchto výpočtů ve vztahu k naměřeným hodnotám.

Následující části práce jsou zaměřeny na obecné popsání různých konstrukčních řešení ovlivňujících akustiku dřevěných stropních konstrukcí. Vyhodnocení je provedeno na základě měření výrobců, zveřejněných studií, článků a především výpočtů provedených v softwaru INSUL. Jako referenční konstrukce je použita dřevěná trémová konstrukce se záklopem, zejména protože je nejhojněji zastoupena v dostupných zdrojích a její akustické vlastnosti se ve větší míře neliší od jiných dřevěných nosníkových konstrukcí (fošnové, s nosníky ze složeného průřezu atp.) Deskové dřevěné stropní konstrukce a panely s žebrovou konstrukcí budou v této práci zastoupeny v kapitole 2.6 „Přehled v současnosti používaných dřevěných stropů a jejich akustických vlastností“.

V této části práce jsou uvedeny vypočtené jednočíselné hodnoty $L_{n,w}$ a R_w a dále faktorů přizpůsobení spektru (pro vzduchovou neprůzvučnost) $C_{50-3150}$, $C_{tr,50-5000}$ a $C_{I,50-2500}$ (pro kročejovou neprůzvučnost). Uvedené faktory přizpůsobení spektru rozšířené o nižší kmitočty, jsou, dle mého názoru, pro lehké stropní konstrukce vhodnější, než standardně používané C , C_{tr} a C_I , které budou v této části uvedeny zejména pokud bude zdroj hodnot jiný než vlastní výpočet.

Faktor C se používá pro zdroje zvuku, jejichž spektrum přibližně odpovídá různému šumu (například činnosti v bytě, kolejová doprava o středních a vysokých rychlostech, dálková silniční doprava). Faktor C_{tr} se používá pro zdroje zvuku s výraznější složkou nízkých a středních kmitočtů (například městský dopravní hluk, kolejová doprava o nízkých rychlostech, disko hudba). Při používání faktorů přizpůsobení spektru se s požadavky porovnává součet jednočíselné veličiny zvukové izolace a příslušného faktoru, např. $R'_w + C$ [22].

Hodnota součtu $L_{n,w}$ a C_I zhruba odpovídá hladině akustického tlaku kročejového zvuku vznikající chůzí po všech typech stropů [11].

2.3.1 Akustické požadavky na stropní konstrukce

Akustika stropních konstrukcí se obecně hodnotí dle ČSN 73 0532 [3] jednak z hlediska vzduchové neprůzvučnosti, kde se posuzují především hodnoty vážené stavební vzduchové neprůzvučnosti R'_w , které musí být vyšší než hodnoty požadované normou $R'_{w,pož}$. Dále pak z hlediska vážené stavební normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku $L'_{n,w}$. Níže je uveden přehled nejdůležitějších hodnot pro stropy z této normy:

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)			
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci	
		Stropy	
		R'_w (dB)	$L'_{n,w}$ (dB)
A. Bytové domy, rodinné domy – nejméně jedna obytná místnost bytu			
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	47	63
B. Bytové domy – obytné místnosti bytu			
2	Všechny místnosti druhých bytů, včetně příslušenství	53 52 ¹⁾	55 58 ¹⁾
3	Společné prostory domu (schodiště, chodby, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.	52	55
4	Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody	57	48

¹⁾ Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud neumožňuje dodatečná zvukově izolační opatření.

Tabulka 2 – Požadavky na zvukovou izolaci – převzato z [3]

Vzhledem k tomu, že největší rozšíření dřevěných stropních konstrukcí v našich podmínkách je u menších staveb a rodinných domů, považují za nejdůležitější hodnoty z řádky jedna:

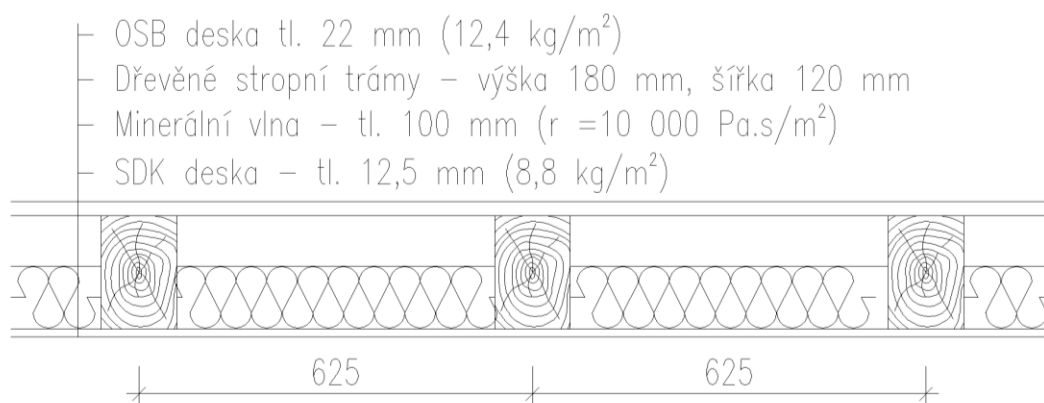
$$R'_w \geq 47 \text{ dB} \text{ a } L'_{n,w} \leq 63 \text{ dB} .$$

2.3.2 Výška průřezu nosných profilů

Výška průřezu nosníků je u stropních konstrukcí ovlivněna zejména statickými požadavky a nelze předpokládat, že by její změně docházelo primárně pro zlepšení akusticky izolačních vlastností. Pro účely srovnání byla jako referenční zvolena skladba inspirovaná stropní konstrukcí C1 z přílohy C normy ČSN EN ISO 10140-5. Software INSUL použitý pro výpočet akusticky izolačních vlastností neumožňuje využití dřevěného rámu podhledu kolmého na stropní nosník, proto jsem tento rám zanedbal a uvažoval jsem desku podhledu pevně připojenou ke stropním nosníkům. Plošné hmotnosti desky záklopu a podhledu byly zvoleny z katalogu použitého programu a jsou mírně odlišné od skladby uvedené v normě. Zvolené plošné hmotnosti a měrný odpor proti proudění vzduchu v případě minerální vlny jsou uvedeny na schématu skladby níže. Pokud nebude uvedeno jinak, jsou tyto hodnoty použity pro další skladby v této práci.



Obrázek 10 - Změna výšky průřezu



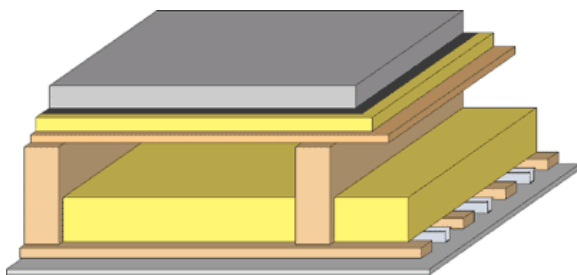
Obrázek 11 - Modifikovaná skladba C1

vliv výšky průřezu					
výška průřezu	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr, 50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
180 mm	43	-5	-16	75	0
240 mm	43	-5	-17	74	0
280 mm	44	-6	-18	74	-1

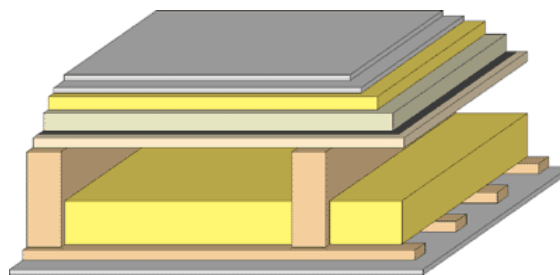
Tabulka 3 – Výška průřezu

Ve vypočtených příkladech uvedených v tabulce 3, respektive u průběhů na grafech 1 a 2 je možné pozorovat malé zlepšení jak u R_w , tak u $L_{n,w}$ (shodně **1 dB**). A to při zvětšení výšky průřezu ze 180 mm na 280 mm.

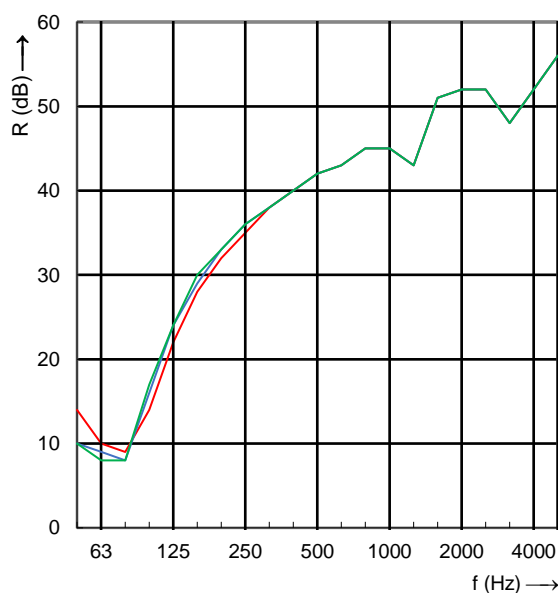
Jak ovlivňuje výška profilů akustické vlastnosti lze také sledovat například v online databázi vlastností dřevěných konstrukcí dataholz.eu [10], kde je možné nalézt změřené hodnoty R_w a $L_{n,w}$ pro konstrukci se shodnou skladbou podhledu i podlahy, ale proměnnou tloušťkou stropních trámů. Pro ilustraci jsem zvolil dvě skladby, ačkoli chování je u většiny skladeb podobné. Jedná se o trámový strop s SDK podhledem. V první variantě s těžkou plovoucí podlahou z anhydritu (gdrnxa01a - obr.12) a v druhém případě s lehkou plovoucí podlahou ze sádrovláknitých desek (gdrtn02a - obr. 13).



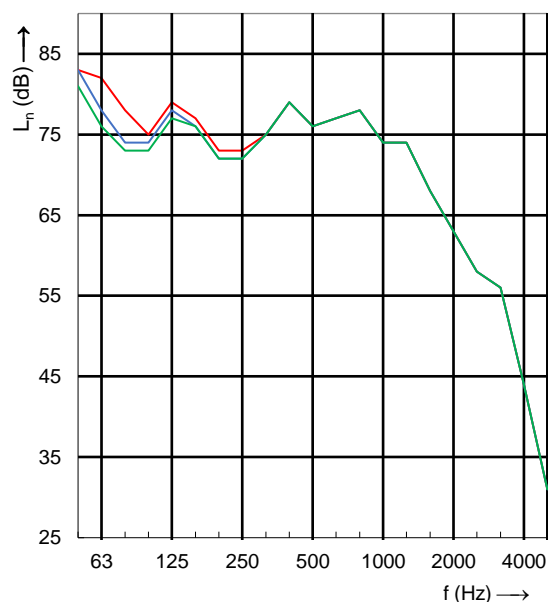
Obrázek 12 - gdrnxa01a – těžká plovoucí podlaha [10]



Obrázek 13 - gdrtn02a – lehká plovoucí podlaha [10]



Graf 1 - Závislost R na výšce průřezu



Graf 2 - Závislost L_n na výšce průřezu

Například u skladby s lehkou plovoucí podlahou (gdrtn02a - obr. 13) je patrné zlepšení při změně výšky průřezu nosného prvku z 200 na 240 mm u R_w **2 dB** (z **63 dB** na **65 dB**) a u $L_{n,w}$ o **1 dB** (z **58 dB** na **57 dB**).

U skladby s těžkou plovoucí podlahou (gdrnxa01a - obr. 12) je patrné zlepšení při změně výšky průřezu nosného prvku z 200 na 240 mm u R_w **1 dB** (z **66 dB** na **67 dB**) a u $L_{n,w}$ o **2 dB** (z **53 dB** na **51 dB**).

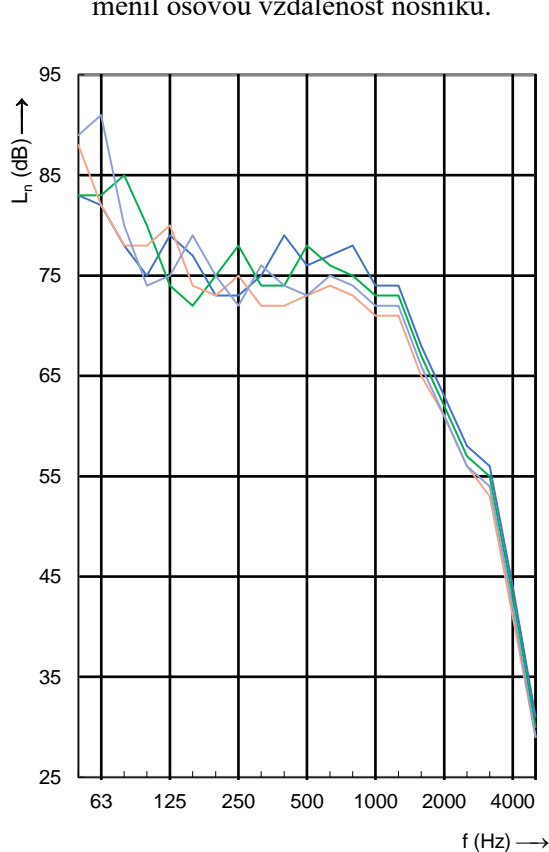
Legenda:

- Výška 180 mm
- Výška 240 mm
- Výška 280 mm

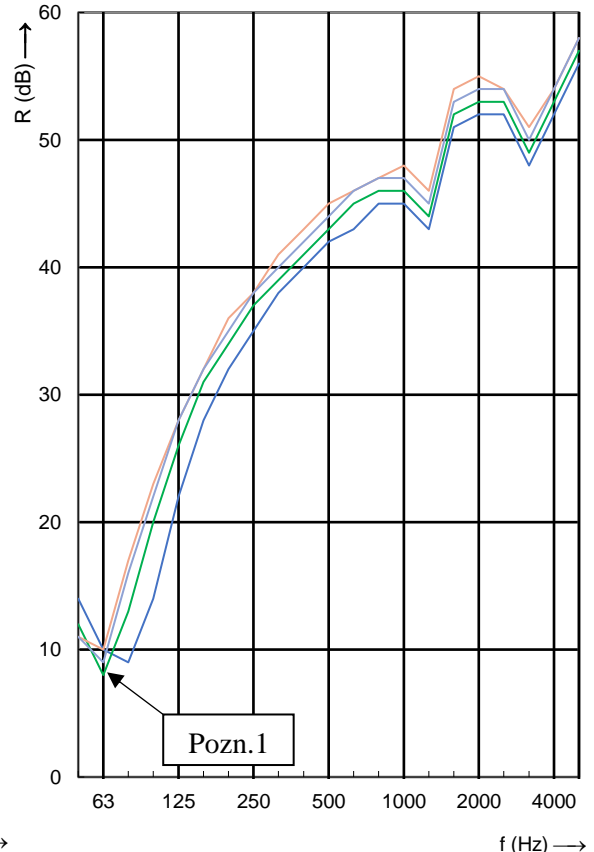
U většiny sledovaných skladeb dostupných v databázi *dataholz* lze při zvýšení průřezu nosného prvku o 40 mm pozorovat zlepšení $L_{n,w}$ i R_w v nízkých jednotkách decibelů (**1-3 dB**). Je zjevné, že tento přínos je v porovnání s celkovými hodnotami $L_{n,w}$ a R_w nízký, ale pokud při návrhu stropní konstrukce dojde z jakýchkoli důvodů k navýšení průřezu, můžeme předpokládat obdobné zlepšení jako ve výše uvedených příkladech. Teoretický princip chování stropu při změně výšky průřezu je popsán v části 2.3.4.1.

2.3.3 Osová vzdálenost nosných profilů

Osová vzdálenost nosných profilů je, stejně jako jejich výška, závislá zejména na statických požadavcích. Má ale také dopad na akustické vlastnosti dřevných nosíkových stropů. Zvolil jsem pro porovnání referenční skladbu C1 popsanou výše, u které jsem měnil osovou vzdálenost nosníků.



Graf 3 - Závislost L_n na osově vzdálenosti nosníků



Graf 4 - Závislost R na osově vzdálenosti nosníků

změna osově vzdálenosti nosníků					
vzdálenost	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
625 mm (C1)	43	-5	-16	75	0
800 mm	45	-5	-17	74	2
1000 mm	46	-4	-17	73	6
1200 mm	47	-5	-17	72	4

Legenda:

- 625 mm (C1)
- 800 mm
- 1000 mm
- 1200 mm

Tabulka 4 – Osová vzdálenost nosníků

Na výše uvedených výsledcích (graf 3) lze pozorovat, že nad 500 Hz klesá hladina akustického tlaku kročejového zvuku s rostoucí osovou vzdáleností nosníků. V nižších frekvencích (pod 125 Hz) dochází v některých případech k opačné situaci u větších osových vzdáleností hladina akustického tlaku kročejového zvuku stoupá, což odpovídá modelu vyvinutém na Lundské univerzitě ve Švédsku [13]. Od 125 Hz do 500 Hz se střídají maxima a minima v jednotlivých případech.

U vzduchové neprůzvučnosti je situace jednodušší. Ve většině rozsahu kmitočtu vzduchová neprůzvučnost stoupá se zvyšující se osovou vzdáleností nosníků. Výjimku tvoří pouze nejnižší frekvence (pod 63 Hz), kde nelze závislost neprůzvučnosti na osové vzdálenosti jednoznačně určit. I přes zmíněné horší výsledky na těchto frekvencích je výsledné zlepšení poměrně značné.

2.3.4 Vliv podhledu

2.3.4.1 obecně

Obecný vliv podhledu navazuje na chování konstrukce s měnící se výškou průřezu nosných prvků. Se změnou výšky průřezu dochází také ke změně výšky vzduchové mezery, která ovlivňuje hodnotu rezonančního kmitočtu. Konstrukce podhledu, tvořená OSB, SDK nebo sádrovláknitými deskami, zavěšenými na kovovém nebo dřevěném roštu, případně ukotveného k nosné konstrukci se chová jako dvouprvková konstrukce. Specifické pro dvouprvkové konstrukce, mezi které patří i konstrukce dřevěného stropu s nosníky, záklopem a podhledem, jsou vlivy jevů jako je *rezonance typu hmotnost – poddajnost – hmotnost, útlum ve zvukové mezeře, stojaté vlnění ve vzduchové mezeře a přenos zvuku mechanickými spoji mezi dílčími jednoduchými konstrukcemi.*

Rezonance typu hmotnost – poddajnost – hmotnost nastává v rozsahu dvou až tří oktáv v okolí rezonančního kmitočtu [11]. Rezonanční kmitočet pro dvouprvkovou konstrukci se vzduchovou mezerou lze vypočítat pomocí následujícího vztahu:

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (Hz) \quad 2$$

Kde m'_1 a m'_2 je hmotnost na jednotku plochy v kg/m^2 dílčích jednoduchých konstrukcí;

d je tloušťka vzduchové mezery v m

V okolí rezonančního kmitočtu klesá neprůzvučnost dvouprvkové konstrukce pod hodnotu, kterou by vykazovala jednoduchá konstrukce s plošnou hmotností odpovídající součtu plošných hmotností obou prvků. Proto je vhodné navrhovat dřevěné nosníkové stropy (obecně dvouprvkové konstrukce) s podhledem tak, aby jejich rezonanční kmitočet ležel mimo zvukově izolační pásmo $f_r < 50$ Hz. Obecně lze nižšího rezonančního kmitočtu dosáhnout zvýšením plošné hmotnosti podhledu a záklopu nebo zvětšením vzduchové mezery. [11]

Příklad výpočtu rezonančního kmitočtu konstrukce z přechozí kapitoly:

Hodnoty pro výpočet jsou uvedeny na obrázku 10 a vyznačení rezonančního kmitočtu viz „Pozn. 1“ v grafu 4.

$$f_r = 60 \sqrt{\frac{1}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} = 60 \sqrt{\frac{1}{0,18} \left(\frac{1}{12,4} + \frac{1}{8,8} \right)} = 62,3 \text{ Hz} \quad 3$$

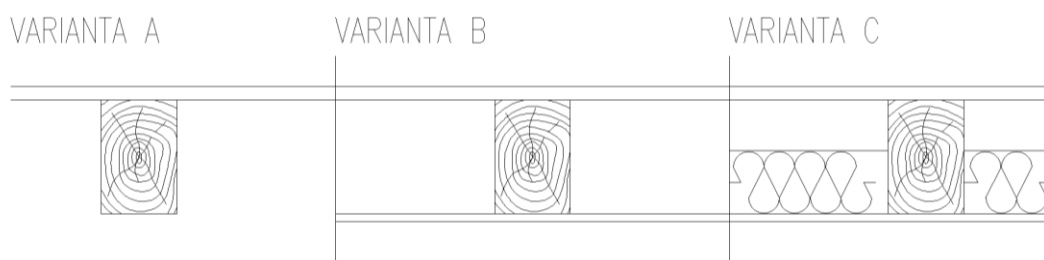
2.3.4.2 Vložená vláknitá izolace

Dále se dvojitá konstrukce se vzduchovou mezerou doplňuje o **vloženou vláknitou akustickou izolaci** nejčastěji z minerálních vláken, která zároveň může plnit další funkce (protipožární, tepelně-izolační). Odrazem zvuku od rovnoběžných povrchů podhledu a záklopu vzniká *stojaté vlnění*, které se projevuje snížením neprůzvučnosti na *kmitočtech půlvlnné rezonance* f_n . [11]

$$f_n = \frac{nc_o}{2d} \text{ (Hz)} \quad 4$$

Kde n je libovolné celé kladné číslo
 d je tloušťka vzduchové mezery (m)
 c_o je rychlost zvuku ve vzduchu ($m \cdot s^{-1}$)

Vliv stojatého vlnění ve vzduchové mezeře lze účinně snižovat vložením akustické izolace. [11]



Obrázek 14 - Vliv podhledu a vložené minerální izolace

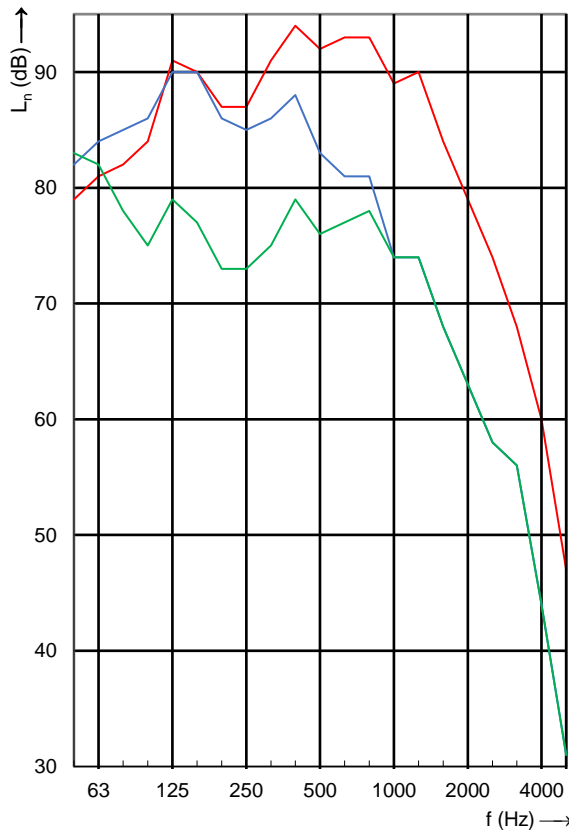
Pro ilustraci důležitosti konstrukce podhledu s vloženou akustickou izolací jsem zvolil srovnání tří variant konstrukcí založených na referenční skladbě popsané dříve. Jedná se o jednoduchý trémový strop pouze se záklopem (varianta A), se záklopem a pevně připojeným podhledem z SDK desky tl. 12,5 mm (varianta B) a s totožným podhledem doplněným o minerální vlnu tl. 100 mm (varianta C) - viz obrázek 14. Výpočet byl opět proveden v softwaru INSUL.

Z níže uvedených výsledků je možné určit zlepšení přidáním podhledu u R_w a $L_{n,w}$ o **12 dB** respektive **8 dB**. V případě přidání podhledu se 100 mm minerální vlny jde o zlepšení u R_w a $L_{n,w}$ o **16 dB** respektive **15 dB**.

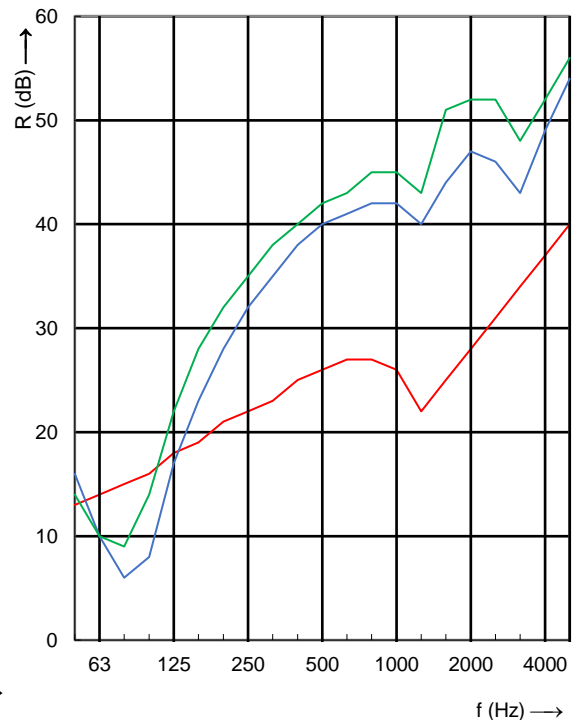
ozn.	Varianta	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
A	bez podhledu a izolace	27	0	-3	90	-3
B	S podhledem bez akustické izolace	39	-5	-16	82	0
C	s podhledem a izolací	43	-5	-16	75	0

Tabulka 5 - Vliv podhledu a minerální izolace

V grafech 5 a 6 je uveden průběh normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku a vzduchové neprůzvučnosti jednotlivých variant. Hodnoty obou veličin se zlepšují tak, jak se zlepšuje konstrukce samotná. Tedy nejprve přidáním desky podhledu a poté přidáním minerální vlny. Výjimku tvoří pouze hodnoty R v okolí rezonančního kmitočtu kde, jak již bylo popsáno, klesá vzduchová neprůzvučnost dvouprvkových konstrukcí pod hodnotu jednoprvkové konstrukce.



Graf 5 - Vliv přítomnosti podhledu na L_n



Graf 6 - Vliv přítomnosti podhledu na R

Obdobné výsledky vlivu vložené minerální izolace ukazují také měření [12] a výpočty [13] zveřejněné v odborných publikacích. V jednočíselných charakteristikách můžeme očekávat vložením minerální vlny zlepšení například podle měření Belgického výzkumného institutu budov [14] přibližně **2 dB** u R_w a **3 dB** u $L_{n,w}$. Jak již bylo naznačeno výše, jednočíselné hodnoty vzduchové neprůzvučnosti a vážené normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku nejsou u problematiky akustických podhledů s vloženou izolací zcela vypovídající, kvůli velké variabilitě těchto hodnot v závislosti na kmitočtu.

Legenda:

- A
- B
- C

Pro ilustraci, dle měření výše zmiňovaného Belgického výzkumného institutu budov [14], dojde ke zlepšení neprůzvučnosti stropu s lehkou plovoucí podlahou, pokud je opatřen podhledem ve formě SDK desky tl. 12,5 pevně připojenou ke stropním nosníkům s částečným vyplněním vzduchové mezery pomocí minerální vlny, u R_w o **9 dB** (ze **38 dB** na **47 dB**) a u $L_{n,w}$ o **7 dB** (z **77 dB** na **70 dB**).

2.3.4.3 Tloušťka pohlcovače

Vliv tloušťky pohlcovače ve zvukové mezeře jsem ověřil v softwaru INSUL a vypočtené výsledky jsou shrnuty v následující tabulce a grafu.

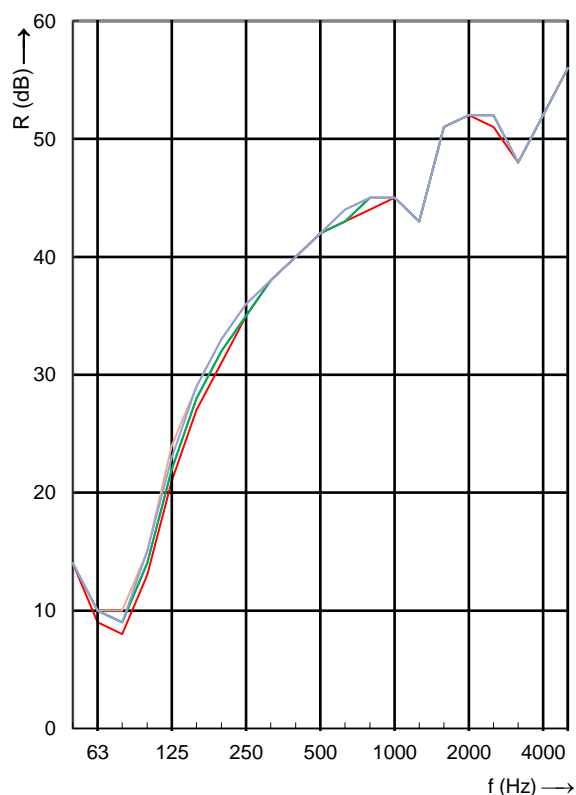
vliv tloušťky vložené akustické izolace					
tl. izolace	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{l,50-2500}$
20 mm	42	-5	-16	75	0
50 mm	43	-6	-16	75	0
100 mm	43	-5	-16	75	0
150 mm	43	-5	-16	75	0
180 mm	43	-5	-16	75	0

Tabulka 6 - Tloušťka vložené izolace

Srovnal jsem vliv změny tloušťky minerální vlny vložené do dříve popsané referenční skladby na vzduchovou neprůzvučnost. Jak je vidět v grafu průběhu R , změna tloušťky izolantu má na průběh a celkové hodnoty očekávatelný vliv, tj. s rostoucí tloušťkou izolantu roste vzduchová neprůzvučnost. V absolutních hodnotách je ale tento vliv velmi nízký (maximálně okolo dvou, až tří decibelů v třetinooktávových pásmech). Uvedená skutečnost by mohla umožňovat úsporu materiálů při návrhu akustických podhledů, protože se ukazuje, že při srovnání tloušťky 50, 100, 150 a 180 mm není rozdíl dramatický a lze uvažovat i o použití izolantu v tloušťkách okolo 50 mm, v případě ekonomického řešení, bez výrazné ztráty vzduchové neprůzvučnosti. Na kročejovou neprůzvučnost nemá ve výpočtu programu INSUL změna tloušťky izolantu žádný vliv. Nejedná se ovšem o dostatečný zdroj dat pro jednoznačné učinění závěrů a bylo by třeba toto chování důkladněji ověřit jiným způsobem výpočtu nebo při praktické zkoušce.

Legenda:

- tl. 20 mm
- tl. 50 mm
- tl. 100 mm
- tl. 150 mm
- tl. 180 mm

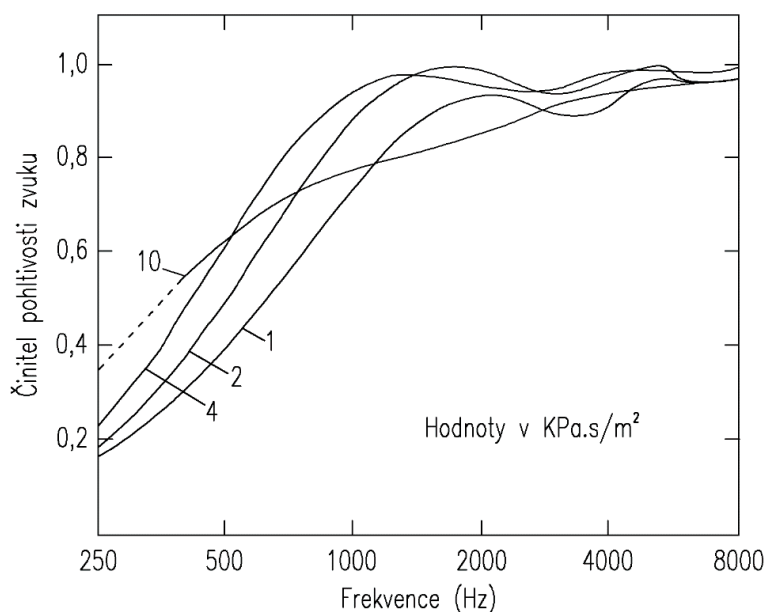


Graf 7 - Závislost R na tloušťce pohlcovače

2.3.4.4 Materiál pohlcovače

Výběr materiálu pohlcovače vloženého do konstrukce podhledu závisí na několika parametrech. Mezi nejdůležitější patří pórovitost a měrný odpor proti proudění vzduchu. K pohlcování zvukové energie v pórovitých materiálech dochází pomocí vibrací molekul vzduchu v materiálu. Mezi těmito molekulami a stěnami pórů probíhá tření. Tím dojde k přeměně energie na teplo. Dále při průchodu podélného vlnění pohlcovačem dochází k periodickému stlačování a uvolňování materiálu a díky tomu je absorbována další část energie. Nakonec dochází k pohlcování zvukových vln díky rezonanci stěn pórů. Při návrh akustických pohlcovačů je třeba volit takové, které budou splňovat zejména tři následující kritéria: Zaprvé je nutné zvolit materiál s vysokou pórovitostí. Zadruhé musí být póry mezi sebou dostatečně propojeny a tím umožnit šíření zvuku mezi sebou. A nakonec musí, v ideálním případě, docházet k přímému spojení mezi povrchem pohlcovače a jednotlivými póry. [15] Tomu nejlépe odpovídají vláknité izolační materiály.

Měrný odpor proti proudění vzduchu r [$\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$] resp. normovaný odpor proti proudění vzduchu R_s [$\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$], ovlivňuje akustické vlastnosti pohltivého materiálu. [16] Rozmezí hodnot pro materiály používané jako akusticky pohltivé je zhruba 1000 až 1 000 000 $\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$ [17]. Graf na obrázku 15 ukazuje závislost činitele pohltivosti na měrném odporu proti proudění vzduchu v závislosti na kmitočtu pro různé materiály. Původní graf, který byl upraven pro účely této práce, uváděl jednotlivé varianty v jednotkách soustavy CGS, tj. $\text{g}\cdot\text{s}^{-1}\cdot\text{cm}^{-2}$ což odpovídá jedné desetíně $\text{Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-1}$ [18]. V případě vydělení hodnot tloušťkou vzorku (50 mm) se jedná o hodnoty uvedené v $\text{KPa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^2$, které jsou uvedeny v grafu.



Obrázek 15 - Závislost činitele pohltivosti zvuku na měrném odporu proti proudění vzduchu dle kmitočtu – hodnoty převzaty z [18], upraveno

V grafu lze pozorovat přibližnou závislost vyšší akustické pohltivosti na zvyšující se hodnotě měrného odporu proti proudění vzduchu. Pro zlepšení akusticky izolačních vlastností je na základě výše uvedených skutečností vhodné použití materiálů s vyššími hodnotami měrného odporu proti proudění vzduchu.

2.3.4.5 Konstrukce podhledu

V předchozích odstavcích jsou popsány zásady, které lze aplikovat v podstatě na všechny druhy podhledů. Ovšem samotná konstrukce podhledu hraje ve výsledných akustických vlastnostech dřevěné stropní konstrukce velmi podstatnou roli. U moderních, nosníkových dřevěných stropních konstrukcí se můžeme setkat zejména s těmito konstrukcemi podhledů:

vliv konstrukce podhledu					
Podhled	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
A) Skl. C1 (přímé kotvení)	43	-5	-16	75	0
B) HUT profil	51	-6	-20	66	5
C) Nezávislá konstrukce	57	-9	-24	62	6

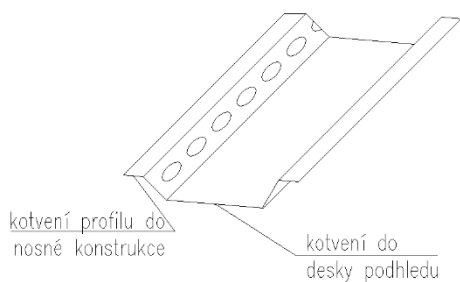
Tabulka 7 - Konstrukce podhledu

Nejjednodušší variantou z pohledu konstrukce podhledu jsou **přímo opláštěné dřevěné stropy**. V tomto případě jsou desky podhledu kotveny do nosné konstrukce stropu, a to buď přímo, nebo přes pružné podložky. Dále je možné přikotvit deskový materiál podhledu k **dřevěnému, nebo ocelovému roštu**, který je kotven nebo zavěšen na nosnou konstrukci stropu. Rošt může být jednosměrný, nebo obousměrný. Další

Legenda:
 systémů kotvení, jako jsou například přímé závěsy, kotvení přes akustické podložky a podobně, je nepřehledné množství a není v možnostech této práce popsat všechny. Zvolil jsem proto tyto tři konstrukce které, dle mého názoru, dobře reprezentují různé možnosti konstrukčních řešení podhledů.

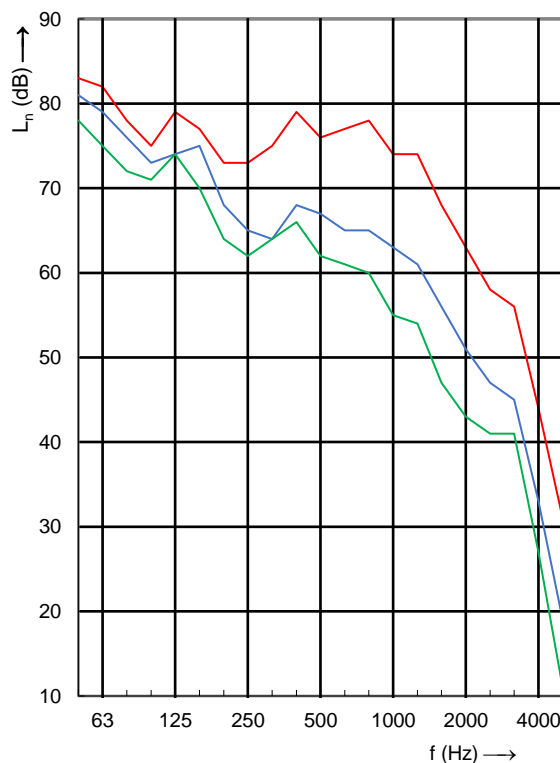
- Skladba C1
- HUT profil
- Nezávislý podhled

V případě požadavku na nižší tloušťku konstrukce je možné využít strop s podhledem s **pružným profilem** (tzv. Federschiene, nebo HUT profil).



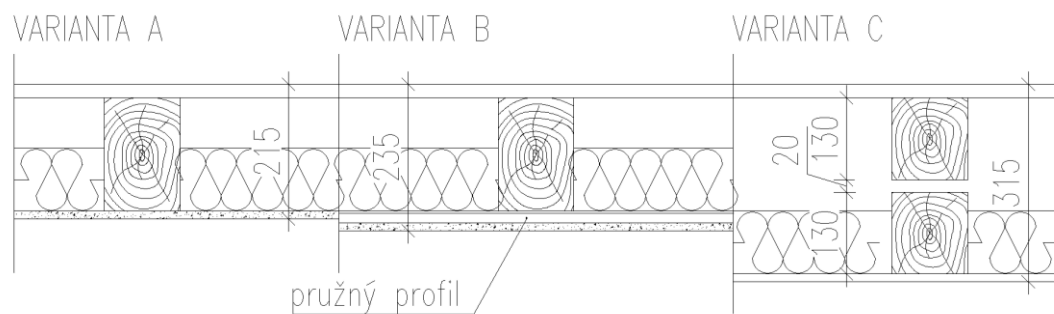
Obrázek 16 - Schéma pružného profilu

Ideální možností, zejména z pohledu šíření kročejového zvuku, je zvolit **samonosný podhled** kotvený většinou po obvodu do svislých nosných konstrukcí.



Graf 8 - Závislost L_n na konstrukci podhledu

Porovnání různých konstrukcí podhledů jsem opět provedl v softwaru INSUL. Zvolil jsem **referenční modifikovanou skladbu** popsanou v předchozím textu. Dále jsem nahradil přímé opláštění stropních nosníků pomocí ukotvení přes stropní **HUT profil**. Jedná se o profily z ocelového pozinkovaného plechu s nízkou výškou (obvykle do 30 mm), přes které jsou kotveny desky podhledu. Jejich využití je výhodné zejména z hlediska konstrukční výšky. Jako třetí variantu jsem vybral **nezávislý podhled**. V použitém programu je možné nezávislý podhled vymodelovat pouze s pomocí dvou svisle oddělených nosníků o stejném průřezu. Zvolil jsem proto nosníky o shodné šířce průřezu jako referenční konstrukce a výšce 2x120mm se svislou mezerou 20 mm. Celková výška skladby je 315 mm. Ve všech podhledech je uvažována vložená shodná minerální vlna tl. 100 mm, která je v této práci použita pro všechny srovnání (pokud není uvedeno jinak), s měrným odporem proti proudění vzduchu $r = 10 \text{ KPa.s.m}^{-2}$.



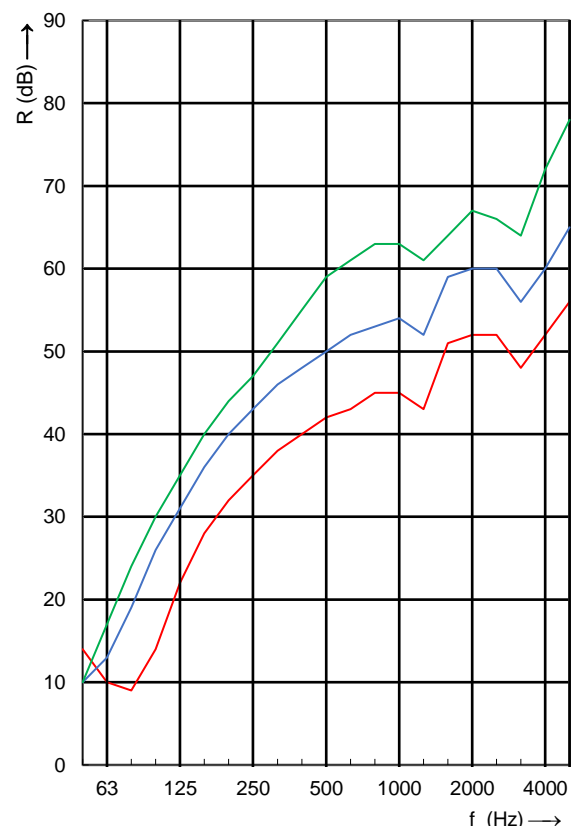
Obrázek 17 - Schéma variant konstrukcí podhledů

Legenda:

- Skladba C1
- HUT profil
- Nezávislý podhled

V grafu číslo 8 a 9 lze pozorovat velmi podobný průběh L_n , resp. R u všech tří variant. Hodnota útlumu oproti referenční skladbě je při použití HUT profilů pro R_w **8 dB** a $L_{n,w}$ **9 dB**. V případě použití nezávislého podhledu lze pozorovat zlepšení u vzduchové a kročejové neprůzvučnosti **14 dB**, resp. **13 dB**.

Obecně lze tedy doporučit kotvení podhledů přes pružný profil. Dále je vhodné použití roštu, ideálně obousměrného. V případě, že to podmínky dovolí, je vhodné volit samonosný podhled, který bude nezávislý na stropní konstrukci, od kterého můžeme očekávat nejzásadnější zlepšení.



Graf 9 - Závislost R na konstrukci podhledu

2.3.5 Vliv konstrukce podlahy

Vzhledem k tomu, že stropní konstrukce samy o sobě nejsou schopny účinně bránit šíření kročejového zvuku, je žádoucí využívat k tomuto účelu konstrukci podlahy. Obecně rozeznáváme:

Podlahy **povlakové** z měkkých podlahových krytin (PVC, koberec, linoleum), které zabraňují vzniku kročejového zvuku většinou pouze nášlapnou vrstvou.

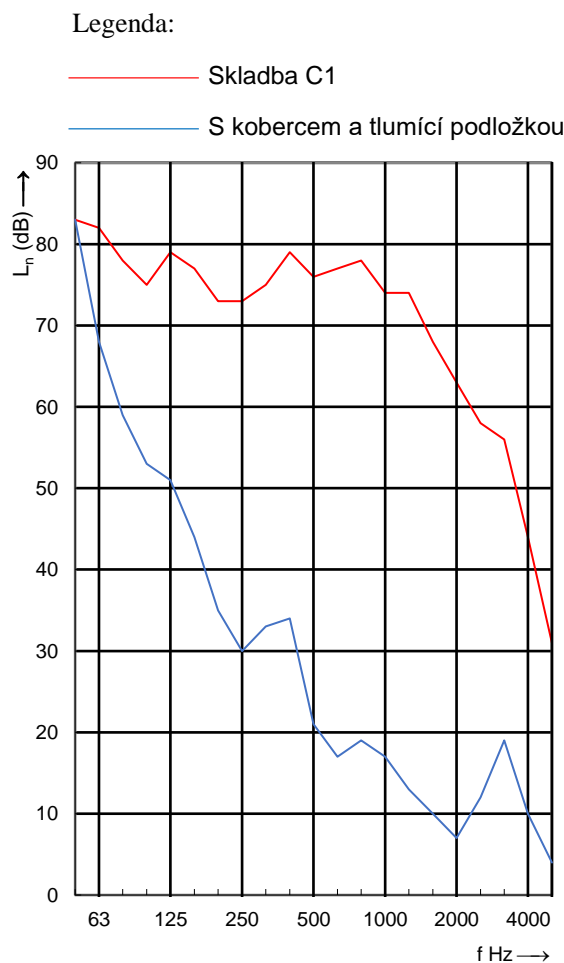
A podlahy **plovoucí**, které se především skládají z roznášecí a izolační vrstvy. Roznášecí vrstvu je důležité pružně oddělit jak od konstrukce stropu, tak ve styku se stěnami, aby nedocházelo k přenosu kročejového zvuku přes ně. Dle roznášecí vrstvy můžeme plovoucí podlahy dělit na **těžké** a **lehké**. Těžké plovoucí podlahy jsou z pravidla provedeny mokrým procesem jako deska z betonové mazaniny, nebo anhydritu. Lehké oproti tomu bývají provedeny za sucha, například s roznášecí vrstvou ze sádrovláknitých desek a podobně. [11]

Pro výpočet kročejového zvuku plovoucích podlah se obvykle používá technická, nebo provozní metoda. Tyto metody ovšem nelze pro malou přesnost výsledků využít u dřevěných stropních konstrukcí. [11] Pro určení akusticky izolačních vlastností těchto konstrukcí je nutné vycházet z již publikovaných měření, nebo z výpočtů pomocí specializovaného softwaru.

2.3.5.1 Povlakové podlahy

U **povlakových podlah** hraje největší roli pro útlum hladiny akustického tlaku kročejového zvuku nášlapná vrstva, případně tlumící podložka. Obecně je u lehkých dřevěných stropních konstrukcí skladba pouze povlakových podlah mezi obytnými místnostmi velmi nevhodná a využití lehké nebo těžké plovoucí podlahy je téměř nutností.

Pro zlepšení kročejové neprůzvučnosti povlakových podlah lze použít tlumící podložky pod koberec, které jsou většinou vyrobeny z pěnového recyklátu. Výrobci slibují útlum normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku až **33 dB**. Provedl jsem jednoduché srovnání v softwaru INSUL mezi referenční skladbou a skladbou u které jsem nad záklop z OSB desky umístil koberec tl. 12 mm s akustickou podložkou z pěnového recyklátu tl. 8 mm. Výsledky jsou vedeny v tabulce 8 a průběh v grafu 10. Jednočíselná hodnota hladiny akustického tlaku kročejového zvuku $L_{n,w} = 37 \text{ dB}$ v tomto případě není, dle mého názoru, dostatečně



Graf 10 - Závislost L_n na nášlapné vrstvě

vypovídající, vzhledem k výrazně menšímu zlepšení v nízkých frekvencích, zhruba pod 500 Hz (viz graf 10). Lepší představu o schopnosti tlumit kročejový zvuk než jednočíselná hodnota $L_{n,w}$, dává v tomto případě hodnota faktoru přizpůsobení spektru $C_I = 31$ dB.

vliv nášlapné vrstvy					
varianta	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{I,50-2500}$
skladba C1	43	-5	-16	75	0
koberec a tlumicí podložka	43	-6	-17	37	31

Tabulka 8 - Vliv nášlapné vrstvy

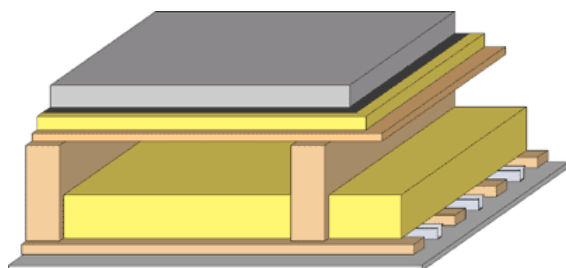
Je tedy zjevné, že ani použití akusticky tlumících podložek pro povlakové podlahy není pro lehké stropní konstrukce to nejlepší řešení. Dalším problémem je nekonzistentnost nášlapné vrstvy na podlaží. Může dojít k jejímu lokálnímu nahrazení, například dlažbou v koupelnách, na toaletách a podobně, které bude mít za následek dramatické zhoršení akustických vlastností, zejména ve vztahu ke kročejové neprůzvučnosti.

2.3.5.2 Plovoucí podlahy

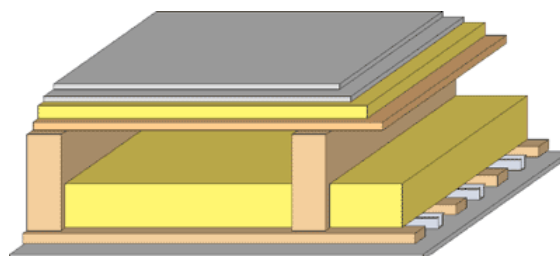
Hojně rozšířené je u dřevěných stropních konstrukcí použití **lehkých plovoucích podlah**. Jejich výhodou je zejména absence mokrého procesu při výstavbě. Jako roznášecí vrstva slouží většinou deskový materiál (OSB, sádkartonové nebo sádrovláknité, případně cementotřískové desky) v jedné, nebo ve dvou křížem uložených vrstvách. Izolační vrstvu tvoří desky z minerálních vláken, které musí být určeny pro použití v podlahách a vykazovat požadované vlastnosti. Například maximální stlačitelnost, únosnost, dynamickou tuhost a podobně.

Těžké plovoucí podlahy vnášejí oproti přechodí variantě do výstavby mokrý proces a je proto třeba chránit vláknitou izolaci v izolační vrstvě podlahy separací, například v podobě folie. Díky vyšší plošné hmotnosti jsou těžké plovoucí podlahy schopny účinněji než lehké tlumit kročejový zvuk v nižších kmitočtech, což ukazují například hodnoty faktoru přizpůsobení spektru C_I dostupné v databázi dataholz.eu [10].

Pro ilustraci uvedu srovnání dvou variant skladby z výše zmíněné databáze. Jedná se o dřevěný trámový strop s SDK podhledem na nosném dřevěném roštu v kombinaci s pružným uložením, se záklopem z OSB desky a dvěma různými variantami podlahového souvrství. Jedná se o lehkou (gdrtxa03a-00, obr. 19) a těžkou (gdrnxa01a-00, obr. 18) plovoucí podlahu.



Obrázek 18 - Skladba gdrnxa01a-00
převzato z [10]



Obrázek 19 - Skladba gdrtxa03a-00
převzato z [10]

U lehké varianty tvoří roznášecí vrstvu podlahová deska tl. 25 mm a izolační vrstvu minerální vlna tl. 30 mm. U těžké varianty tvoří roznášecí vrstvu anhydrid tl. 50 mm, pod kterým je umístěna plastová separační folie a funkci izolační vrstvy zastává minerální vlna tl. 30 mm.

Lehká a těžká plovoucí podlaha			
Podlaha	$R_w(C; C_{tr})$	$L_{n,w}(C_I)$	$m' [kg/m^2]$
Lehká	63(-3;-10)	52(4)	62,3
Těžká	66(-1;-6)	52(0)	142,4

Tabulka 9 - *Lehká a těžká plovoucí podlaha – dataholz [10]*

V tabulce 9 jsou uvedeny laboratorní hodnoty vzduchové neprůzvučnosti, normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku a plošné hmotnosti skladby. Jak je vidět, hodnota vzduchové neprůzvučnosti je v případě lehké varianty podlahy o **3 dB** nižší. V případě započítání faktoru přizpůsobení spektru dokonce o **5 dB**. Hodnoty $L_{n,w}$ jsou shodné, ale liší se hodnota faktoru přizpůsobení spektru, a to o **4 dB**. Toto chování je v podstatě ve shodě s výše uvedeným.

Jako další příklad porovnání lehkých a těžkých plovoucích podlah lze uvést studii Belgického výzkumného institutu budov [14]. Testovaná skladba stropní konstrukce se skládala z dřevěných nosníků se záklopem z OSB desky a nezávislým SDK podhledem s výplní z minerální vlny. Lehkou plovoucí podlahu tvořila kombinace minerální vlny a sádrovláknité desky, těžkou potom sádrovláknitá deska uložená na záklopu, pružná podložka z minerální vlny a cementový potěr na profilovaném plechu.

Lehká a těžká plovoucí podlaha		
Podlaha	$R_w(C; C_{tr})$	$L_{n,w}(C_I)$
Lehká	59(-2;-3)	53(0)
Těžká	65(-2;-7)	46(1)

Tabulka 10 - *Lehká a těžká plovoucí podlaha [14]*

Na výsledcích lze pozorovat lepší akusticky izolační schopnost v případě těžké plovoucí podlahy, ale domnívám se, že rozdíl je částečně způsoben vyšší plošnou hmotností u záklopu skladby těžké plovoucí podlahy, u které došlo k přidání sádrovláknité desky.

Lehká plovoucí podlaha		
Varianta	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
A	90	-3
B	71	3

Tabulka 11 - Lehká plovoucí podlaha

Legenda:

— A

— B

V programu INSUL jsem provedl porovnání dvou skladeb, které jsou založeny na referenční skladbě.

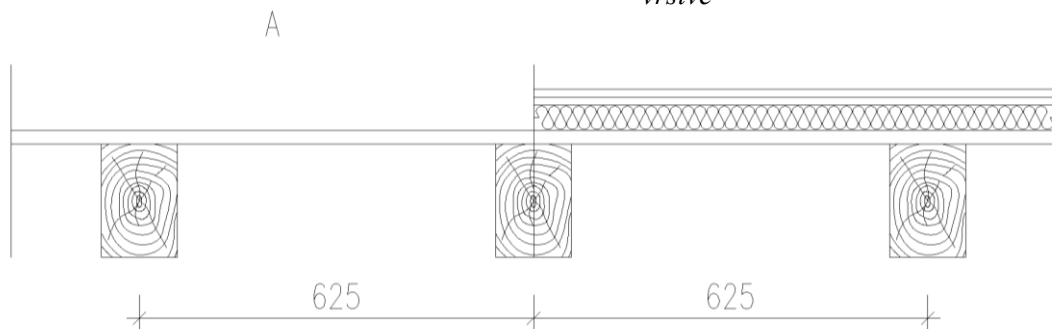
Skladba A – pouze OSB záklop tl. 22 mm

Skladba B

- záklop OSB tl. 22 mm
- minerální vlna tl. 40 mm
- 2x sádrovláknitá deska tl. 12,5 mm



Graf 11- Závislost L_n na nášlapné vrstvě



Obrázek 20 - Schéma skladeb podlahou/bez podlahy

Z tabulky jednočíselných hodnot $L_{n,w}$ je jasně zřetelný značný přínos plovoucí podlahy pro zlepšení kročejové neprůzvučnosti. V nízkých frekvencích (okolo 63 Hz) ovšem ve výpočtu prakticky nedochází k útlumu kročejového zvuku.

Použitý výpočetní software neumožňuje pro lehké stropní konstrukce výpočet těžké plovoucí podlahy s jinými, než programem nabízenými změřenými variantami. Proto v něm nelze neprůzvučnost s těžkou plovoucí podlahou vypočítat.

2.3.6 Zvyšování plošné hmotnosti

Jak již bylo uvedeno v kapitole 2.3.4.1. Zvyšování plošné hmotnosti záklopu a podhledu vede ke snížení rezonančního kmitočtu, a je tedy účinným nástrojem pro zlepšení akustických vlastností nejen v nízkých frekvencích.

Zvýšení plošné hmotnosti lze dosáhnout, v případě deskového podhledu, zvýšením počtu, objemové hmotnosti nebo tloušťky desek. V případě záklopu lze využít stejných postupů, a navíc lze použít prítěžující prvky spojené s jeho konstrukcí nebo na něj uložené, jako jsou:

- Suché násypy
 - Zapuštěné
 - Nezapuštěné
- Prítížení pomocí betonových dlaždic
- Dřevobetonové stropy – V následující části práce je tato konstrukce stropů detailně popsána.

2.3.7 Shrnutí

Na základě výše uvedených výpočtů a skutečností pokládám z hlediska stavební akustiky za vhodnější využití vyšších nosných profilů (neprůzvučnost roste s výškou profilu) s větší osovou vzdáleností jednotlivých nosníků (neprůzvučnost roste s jejich vzdáleností). Obecně je vhodné zvyšování plošné hmotnosti, proto je vhodné volit například dvě desky podhledu nebo systémy násypů na záklop. Konstrukce podhledu má velmi významný vliv na celkovou neprůzvučnost. Čím méně konstrukce podhledu přenáší vibraci, tím lépe. Nejvhodnější je zcela nezávislá konstrukce podhledu, případně použití akustických profilů. Co se týče pohlcovače ve vzduchové mezeře podhledu, zvyšování jeho tloušťky nad 50 mm nehraje významnou roli. Doporučuji tedy, z ekonomického hlediska, použití pohlcovače o tloušťce minimálně 50 mm. Materiál pohlcovače je nejlépe volit z vláknitých izolačních materiálů. Tyto materiály je dále vhodné volit s co nejvyšší hodnotou měrného odporu proti proudění vzduchu. Je tedy například vhodnější minerální izolace z kamenných vláken, kde výrobce uvádí u desky tl. 100 mm hodnotu měrného odporu proti proudění vzduchu $r = 23,8 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$, než dřevovláknité desky, kde výrobce udává odpor proti proudění vzduchu $r \geq 5 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$. Dále je při návrhu skladby vhodné volit vhodnou skladbu podlahy. Pro rodinný dům je vhodné volit alespoň lehkou plovoucí podlahu s izolační vrstvou z minerálních vláken a roznášecí vrstvou ze sádrovláknitých desek, které jsou díky své vyšší objemové hmotnosti vhodnější, než desky na bázi sádrokartonu. Pro bytový dům bych zvolil těžkou plovoucí podlahu na bázi anhydritu nebo cementového potěru, která s sebou přináší nevýhodu mokrého procesu. V případě požadavku na jeho eliminaci je, dle mého názoru, vhodné volit alespoň některý ze systémů násypů, který by měl mít co možná nejvyšší objemovou hmotnost. Například je vhodné volit spíše násyp na bázi vápence, než na bázi drceného keramzitu.

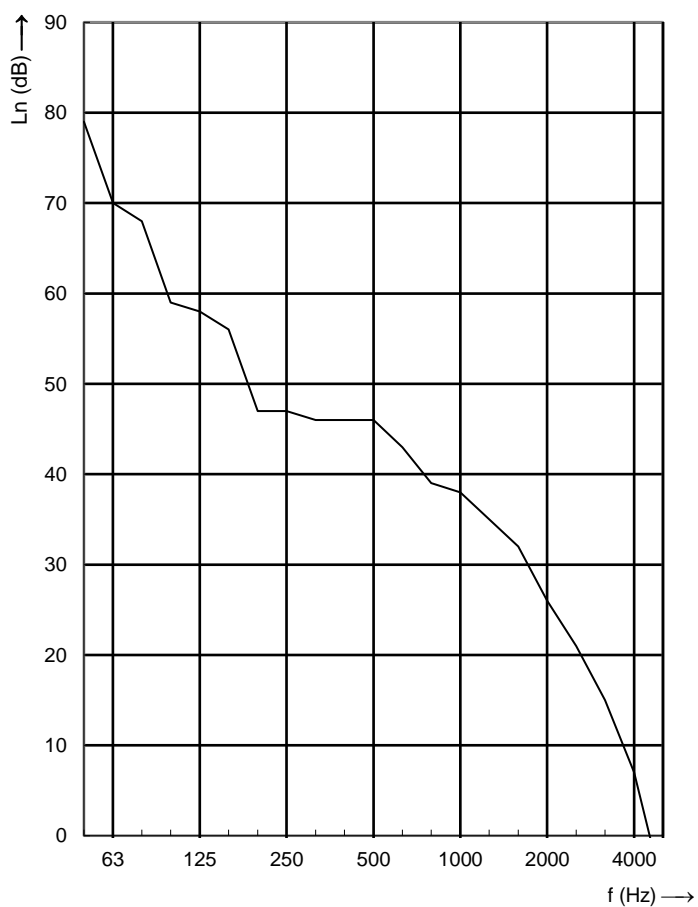
2.3.8 Doporučená skladba

Na základě výše uvedeného shrnutí jsem navrhnul skladbu, která splňuje požadavky ČSN EN 730532 pro rodinné i bytové domy, tedy R'_w minimálně **53 dB** a $L'_{n,w}$ maximálně **55 dB**. Uvedené

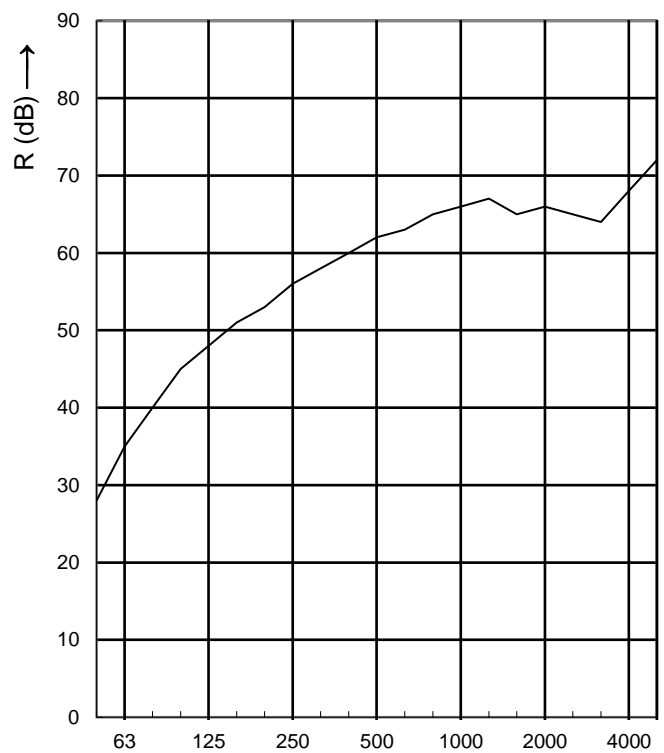
hodnoty stavební vzduchové a kročejové neprůzvučnosti jsou uvažovány s korekcemi $k_1 = 6 \text{ dB}$ a $k_2 = 0 \text{ dB}$.



Obrázek 21 - Schéma doporučené skladby



Graf 12 - Průběh L_n – doporučená skladba



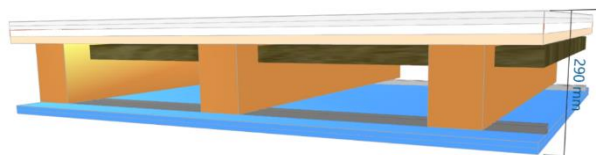
Graf 13 - Průběh R – doporučená skladba f (Hz) →

Jak lze vidět v tabulce 12, navržená skladba s rezervou splňuje výše uvedené požadavky normy ČSN 730532 jak pro vzduchovou, tak pro kročejovou neprůzvučnost. Volitelně by bylo možné použít pouze jednu SDK desku podhledu. V tom případě by vzduchová neprůzvučnost klesla o **2 dB** a hladina akustického tlaku kročejového zvuku by se zvýšila o **5 dB**. Nicméně by ubrání jedné desky mělo dopad zejména v nízkých kmitočtech, a proto je v mnou navržené skladbě deska dvakrát.

R_w	64 dB
$C_{50-3150}$	-2 dB
$C_{tr,50-3150}$	-13 dB
R'_w	58 dB
$L_{n,w}$	46 dB
$C_{L,50-2500}$	19 dB
$L'_{n,w}$	46 dB

Tabulka 12 - Doporučená skladba

Pro bytové domy bych doporučil zvážení použití těžké plovoucí podlahy. V tomto případě by mohla být opět použita pouze jedna deska SDK v podhledu. Na obrázku níže je pro ukázkou uvedené grafické znázornění vymodelované skladby v SW INSUL. Tloušťka minerální izolace ve skladbě je uvedena jako minimální. Skladba není ověřena praktickou zkouškou, a proto je třeba toto doporučení brát jako orientační a založené pouze na výpočtech v rámci této práce.



Obrázek 22 - Ukázka zadání skladby do SW INSUL

2.4 Vedlejší cesty šíření zvuku

2.4.1 Úvod

V rámci této práce jsou převážně uváděny laboratorní hodnoty vážené neprůzvučnosti R_w a laboratorní hodnoty vážené normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku $L_{n,w}$, a to buď určené výpočtem nebo změřené v laboratoři. Tyto hodnoty ovšem nezahrnují vedlejší cesty šíření zvuku, které mohou být u některých druhů konstrukcí velmi významné. Pro srovnání s požadavkem normy ČSN 730532 je třeba použít hodnoty se zahrnutím šíření zvuku vedlejšími cestami. A to stavební váženou neprůzvučnost R'_w a váženou stavební normovanou hladinu akustického tlaku kročejového zvuku $L'_{n,w}$. V následující části je uveden stručný přehled možností určení vlivu vedlejších cest šíření zvuku, a to jak pro vzduchovou, tak pro kročejovou neprůzvučnost.

2.4.2 Vzduchová neprůzvučnost

2.4.2.1 ČSN 73 0532

Nejjednodušší a také nejméně přesný přepočtení laboratorních hodnot vážené neprůzvučnosti R_w na stavební váženou stavební neprůzvučnost R'_w , a tedy zahrnutí vlivu vedlejších cest šíření zvuku nabízí norma **ČSN 73 0532**:

$$R'_w = R_w - k_1 \text{ (dB)} \quad 5$$

Kde

k_1 je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku:

$k_1 = 2 \text{ dB}$ základní hodnota platná pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo montovaných stavbách z klasických materiálů

$k_1 = 2 \text{ až } 5 \text{ dB}$ doporučené hodnoty pro těžké dělicí konstrukce ve skeletových stavbách

$k_1 = 4 \text{ až } 8 \text{ dB}$ doporučené hodnoty pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavbách

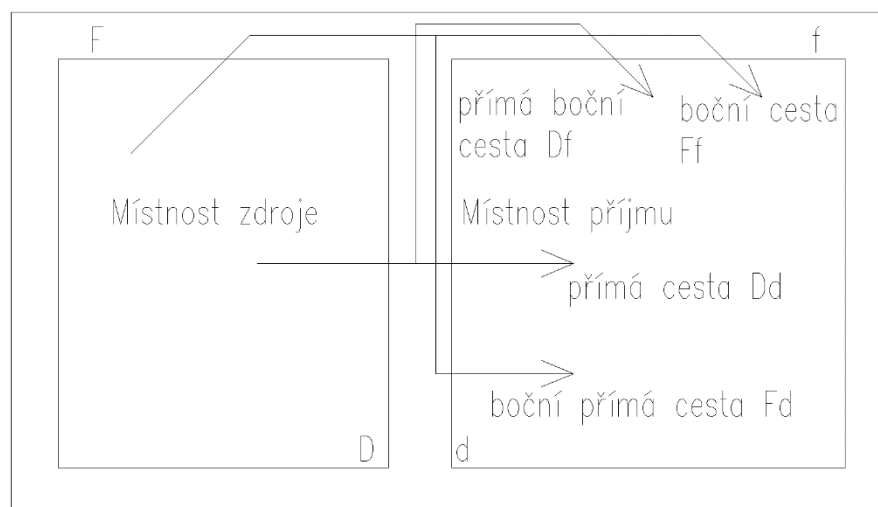
Převzato z [8]

2.4.2.2 ČSN EN ISO 12354-1

Přesnější odhad vlivu vedlejších cest na vzduchovou neprůzvučnost poskytuje norma **ČSN EN ISO 12354-1 Stavební akustika [30]– Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi**.

Obecně norma ČSN EN ISO 12354-1 rozeznává prvky typu A, například monolitický beton, masivní dřevo (včetně křížem vrstvených dřevěných panelů), cihly, bloky, plast, kov atd. A prvky

typu B, například sádkartonové nebo dřevěné obklady na dřevěných nebo kovových rámech [30].



Obrázek 23 - Vedlejší přenosové cesty, vzduchová neprůzvučnost

Prvky, na které dopadá zvuk v místnosti zdroje jsou označeny jako F pro boční a jako D pro dělicí prvek. Malými písmeny f a d jsou označeny prvky v místnosti příjmu vyzařující zvuk, který lze považovat za součet přenosu několika cestami. Tyto cesty lze určit vždy prvkem na který zvuk dopadá a prvkem, který zvuk vyzařuje. [30]

Podrobný model dle ČSN EN ISO 12354-1 je uveden pro třetinooktávová pásma od 100 do 3150 Hz s případným rozšířením k 50 Hz, dále je popsán zvlášť postup pro určení přenosu zvuku konstrukcí a přímého přenosu zvuku vzduchem. [30]

Zjednodušený model dle ČSN EN ISO 12354-1 [30] V případě lehkých konstrukcí (vč. dřevěných stropů) je omezena použitím váženého normovaného rozdílu hladin $D_{n,f}$.

$$R'_w = \left(-10 \lg \left(10^{\frac{-R_{Dd,w}}{10}} + \sum_{F=f=1}^n 10^{\frac{-R_{Ff,w}}{10}} + \sum_{f=1}^n 10^{\frac{-R_{Df,w}}{10}} + \sum_{F=1}^n 10^{\frac{-R_{Fd,w}}{10}} + \frac{A_0}{S_s} \sum_{j=1}^n 10^{\frac{-D_{n,j,w}}{10}} \right) \right) (dB) \quad 6$$

Kde je

$R_{Dd,w}$ vážená neprůzvučnost pro přímý přenos vzduchem v dB

$R_{Ff,w}$ vážená neprůzvučnost pro boční přenos, pro cestu Ff v dB

$R_{Df,w}$ vážená neprůzvučnost pro boční přenos, pro cestu Df v dB

$R_{Fd,w}$ vážená neprůzvučnost pro boční přenos, pro cestu Fd v dB

$D_{n,j,w}$ vážený normovaný rozdíl hladin akustického tlaku pro přenos přes malý technický prvek j $D_{n,e}$ nebo systém s přenosem vzduchem $D_{n,s}$ v dB

n počet bočních prvků v místnosti; obvykle $n=4$, může však být nižší nebo vyšší v závislosti na projektu a konstrukci uvažované situace

m počet prvků nebo systémů j s přenosem vzduchem

S_s plocha dělicího prvku v m^2

A_0 referenční ekvivalentní pohltivá plocha v m^2 ; $A_0=10 m^2$

Převzato z [30]

2.4.3 Kročejová neprůzvučnost

2.4.3.1 ČSN 73 0532

Nejjednodušší a také nejméně přesný přepočít laboratorních hodnot normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku $L_{n,w}$ na váženou stavební normovanou hladinu akustického tlaku kročejového zvuku $L'_{n,w}$ a tedy zahrnutí vlivu vedlejších cest šíření zvuku nabízí, stejně jako u vzduchové neprůzvučnosti, norma **ČSN 73 0532**:

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2 \quad 7$$

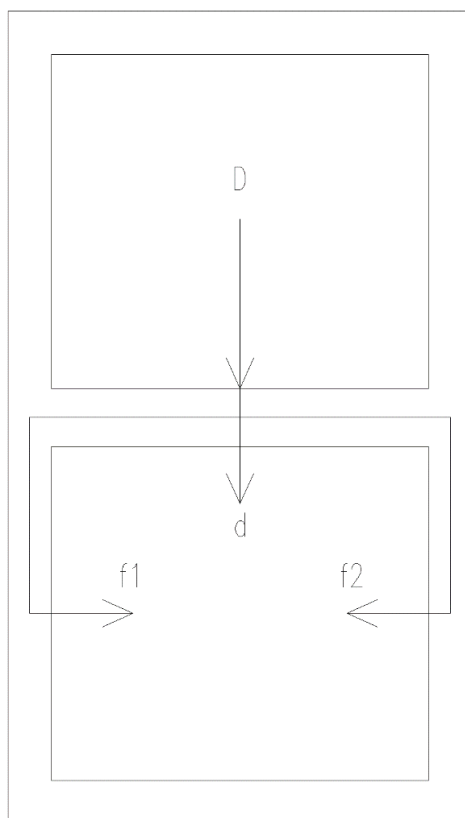
Kde

k_2 je korekce, závislá na vedlejších cestách šíření zvuku v rozsahu 0 dB až 2 dB.

Převzato z [8]

2.4.3.2 ČSN EN ISO 12354-2

Přesnější odhad vlivu vedlejších cest na kročejovou neprůzvučnost poskytuje norma **ČSN EN ISO 12354-2 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi [31]**. V této normě je dělení stavebních konstrukcí stejné jako v části 1, tedy na prvky typu A a B.



d přímý přenos kročejového zvuku
 Dd přímá cesta
 $Df1$ nebo $Df2$ boční cesta

Obrázek 24 - Vedlejší přenosové cesty, kročejová neprůzvučnost

Podrobný model dle ČSN EN ISO 12354-2 1 je uveden pro třetinooktávová pásma od 100 do 3150 Hz. [31]

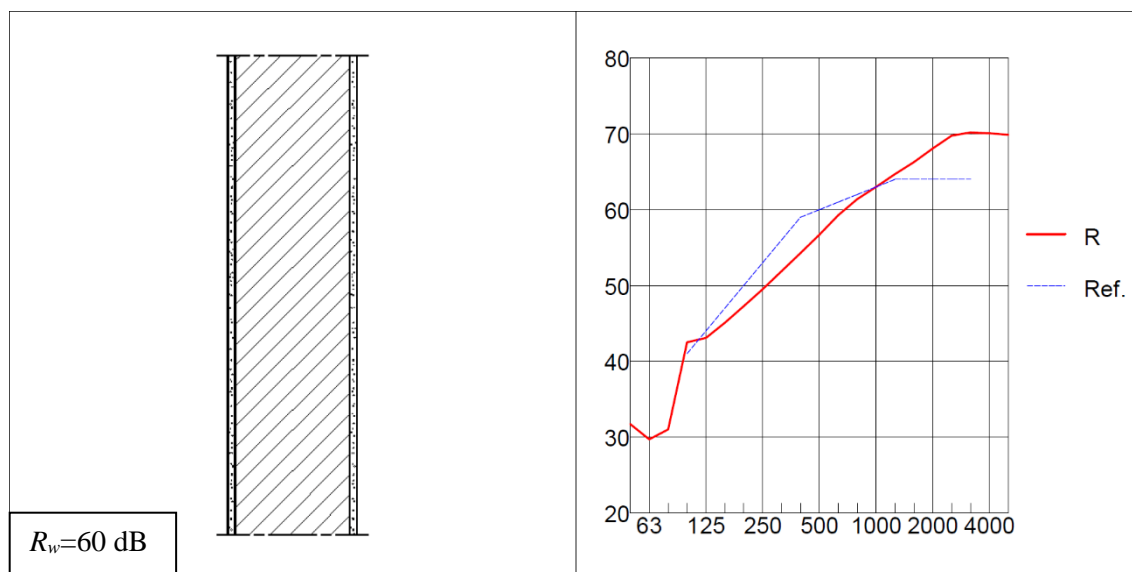
Zjednodušený model dle ČSN EN ISO 12354-2 má omezené použití a je odvozen z přímého výpočtu jednočíslného vyhodnocení. V případě lehkých konstrukcí (vč. dřevěných stropů) je omezen použitím *vážené hladiny akustického tlaku kročejového zvuku pro každou cestu* $L_{n,f,ij}$. [31]

2.4.4 Praktický výpočet vlivu bočních cest šíření zvuku v SW BASTIAN

Postupy popsané v řadě norem **ČSN EN ISO 12354** část 1 až 3 jsou použity ve výpočtech specializovaného softwaru. Jedním z nich je program BASTIAN od německého výrobce DataKustik.

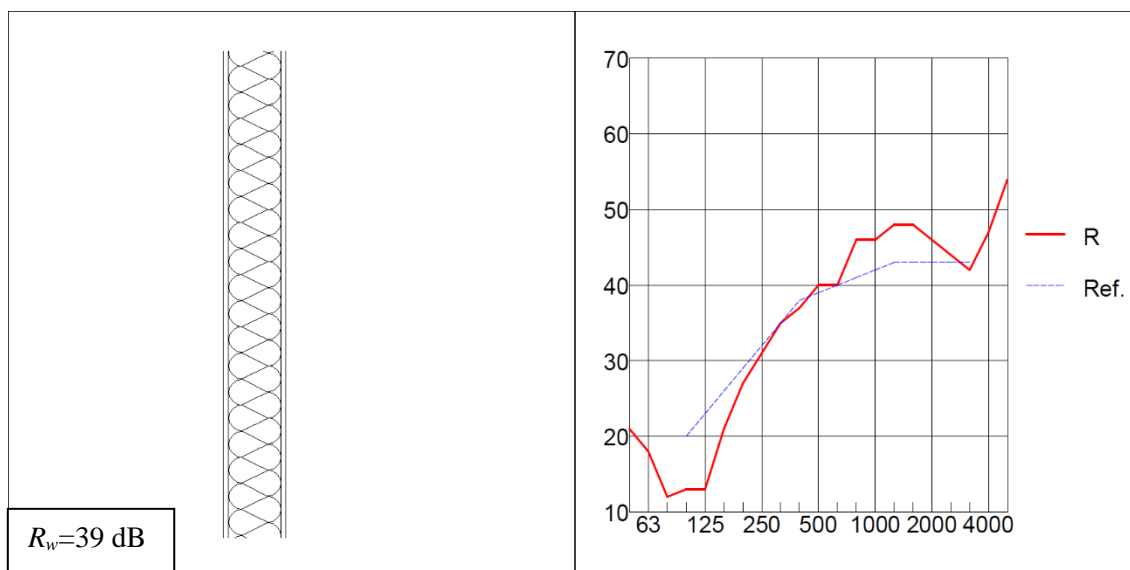
V této části práce jsem vložil do zmíněného SW doporučenou skladbu uvedenou v části 2.3.8. Provedl jsem srovnání vlivu bočních cest šíření zvuku na vzduchovou neprůzvučnost této skladby. Jedná se o porovnání zděné stěny a lehké konstrukce s dřevěným rámem.

Pro cihelnou variantu jsem zvolil tloušťku stěny 240 mm s omítkou tl. 15 mm z obou stran.



Obrázek 25 - Těžká stěna

Jako lehkou skladbu jsem pro ilustraci zvolil jednu ze skladeb z katalogu programu. Jedná se o lehký dřevěný skelet, který se skládá z OSB desky tl. 11 mm, dřevěných sloupků tl. 140 mm vyplněných izolací ze skelných vláken a sádkartonové desky tl. 13 mm.

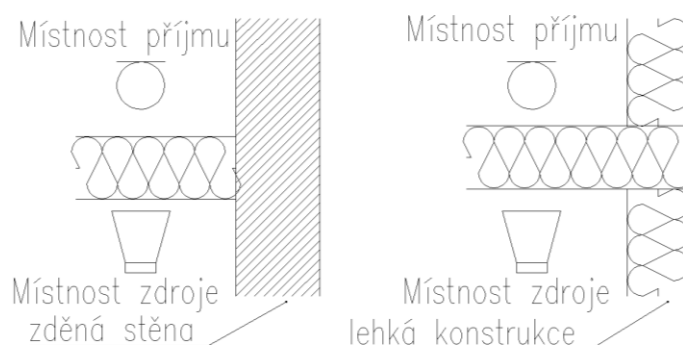


Obrázek 26 - Lehká stěna

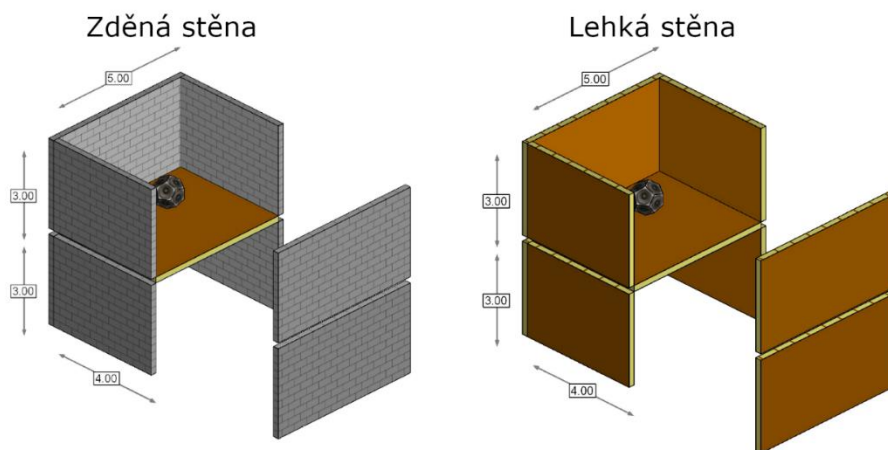
Vypočtené hodnoty vážené stavební neprůzvučnosti R'_w pomocí programu BASTIAN jsou následující:

Varianta	R_w	R'_w	Rozdíl mezi laboratorní a stavební neprůzvučností
Zděná stěna	64 dB	58 dB	6 dB
Dřevostavba		60 dB	4 dB

Tabulka 13 - Vliv bočních cest šíření zvuku



Obrázek 27 - Spoje stěn a stropu použité ve výpočtu v programu BASTIAN



Obrázek 28 - Ukázka zadání do programu BASTIAN

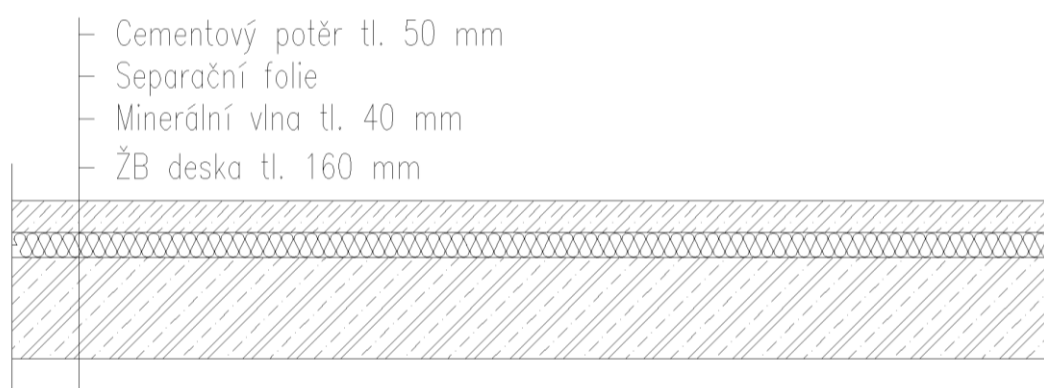
2.4.5 Závěr

Další metody pro určení vlivu vedlejších cest jsou předmětem současného zkoumání. Postupy uvedené v (Část 1 a 2) jsou využívány ve specializovaných výpočetních softwarech jako je například BASTIAN od německého výrobce DataKustik, který byl použit pro srovnání konstrukcí v předchozí části.

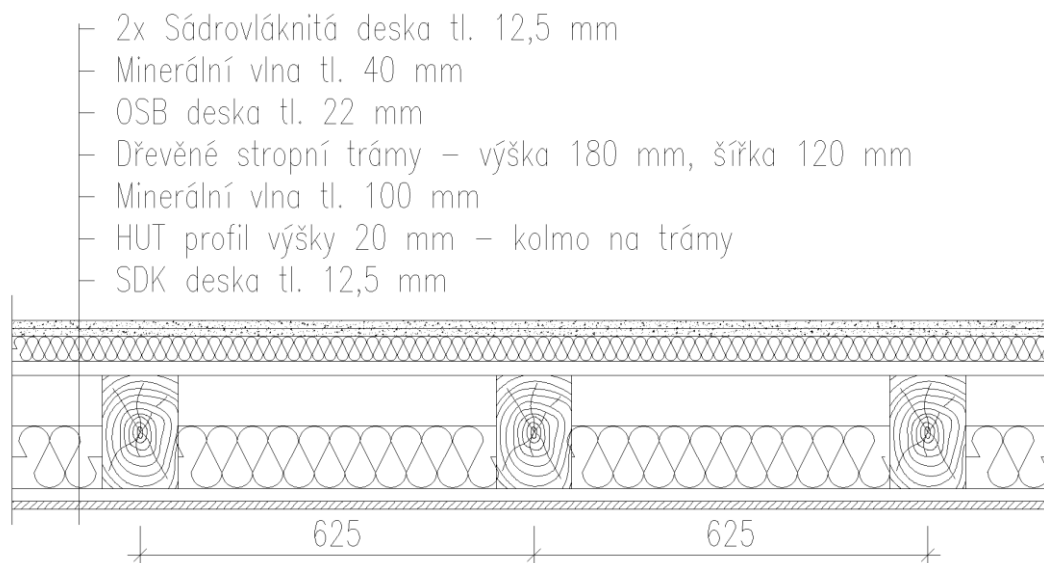
2.5 Srovnání dřevěných a železobetonových stropních konstrukcí z pohledu stavební akustiky

Pro porovnání chování dřevěných a železobetonových stropních konstrukcí, z pohledu stavební akustiky, jsem v programu INSUL vymodeloval železobetonovou desku s těžkou plovoucí podlahou a dřevěný strop s SDK podhledem a lehkou plovoucí podlahou. Důvodem pro výběr těchto skladeb bylo, že dle mého názoru, dobře reprezentují standardně používaná řešení v obou konstrukčních systémech.

Schémata vybraných skladeb:



Obrázek 29 - Schéma ŽB stropní konstrukce



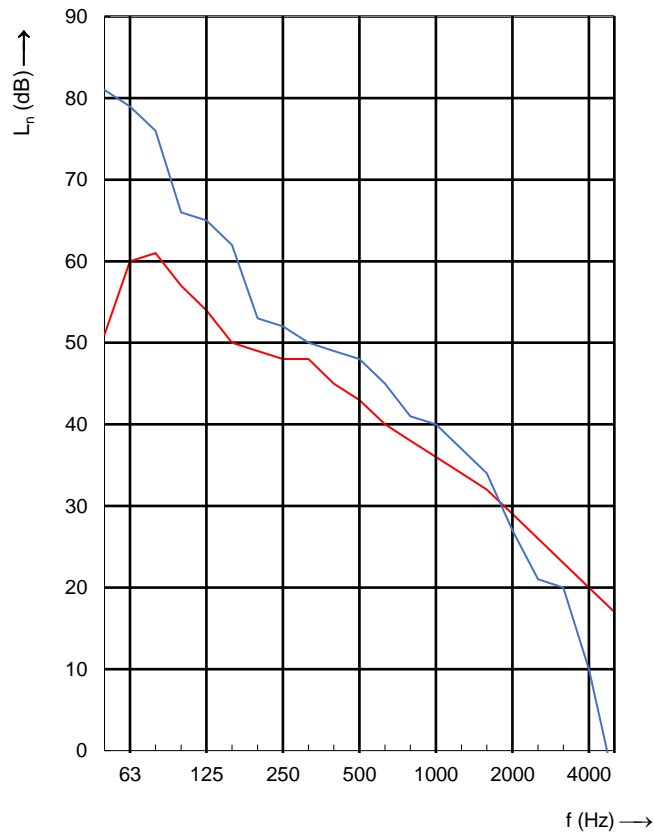
Obrázek 30 - Schéma lehké stropní konstrukce

Dřevěný a ŽB strop					
Varianta	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
ŽB Strop	57	0	-5	44	6
Dřevěný strop	58	-6	-20	52	17

Tabulka 14 - Dřevěný a ŽB strop

Jednočíselné hodnoty jsou uvedeny v tabulce. Ve vzduchové neprůzvučnosti se obě konstrukce liší o **1 dB** ve prospěch dřevného trámového stropu. Ale faktory přizpůsobení spektru jsou značně odlišné v neprospěch dřevěné konstrukce ($C_{50-3150}$ o **6 dB** a $C_{tr,50-3150}$ o **15 dB**).

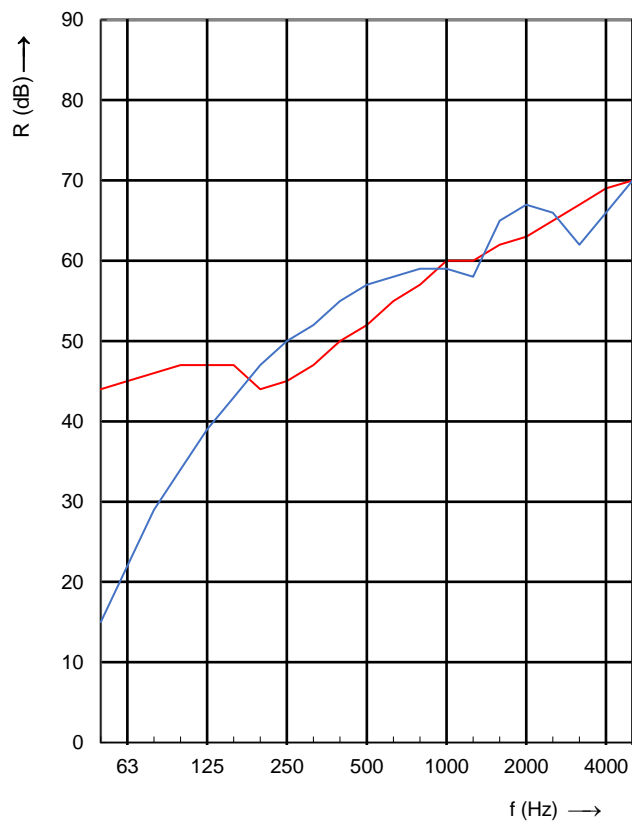
U kročejové neprůzvučnosti jsou hodnoty o **8 dB** horší u dřevěné konstrukce. Faktor přizpůsobení spektru $C_{1,50-2500}$ je u dřevného stropu o **11 dB** nepříznivější než u ŽB konstrukce.



Graf 14 - Průběh L_n – Srovnání dřevěného a ŽB stropu

Legenda:

- ŽB Strop
- Dřevěný strop



Graf 15 - Průběh R – Srovnání dřevěného a ŽB stropu

Legenda:

- ŽB Strop
- Dřevěný strop

Z průběhu L_n je patrné, že železobetonový strop s těžkou plovoucí podlahou podává lepší výsledky. Rozdíl je zejména patrný pod 100 Hz. Stejný problém nastává i u průběhu vzduchové neprůzvučnosti (graf 15), kde je rozdíl mezi oběma druhy konstrukcí obdobný jako u průběhu L_n . Od železobetonové konstrukce lze očekávat velmi vyrovnaný průběh vzduchové neprůzvučnosti, ale v případě kročejové dochází i u této konstrukce k výraznému poklesu akusticky izolačních schopností s klesající frekvencí, ačkoli ne tak výraznému jako u dřevěného stropu.

2.6 Přehled v současnosti používaných dřevěných stropů a jejich akustických vlastností

V této kapitole práce je uveden stručný přehled v současnosti používaných dřevěných stropních konstrukcí s hodnotami jejich akusticky izolačních vlastností. Ty jsou převzaty z měření v laboratoři, z dostupných databází, ze zveřejněných vědeckých prací nebo vypočteny. V případě laboratorních hodnot je uvedena i hodnota vážené stavební neprůzvučnosti R'_w podle vztahu uvedeného v ČSN 73 0532 pro použití ve fázi návrhu a v projektové přípravě, který byl detailně popsán v dřívější části práce. Korekční součinitel k_1 se volí dle této normy pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavbách (dřevěné stropy) v rozmezí 4 až 8 dB (nebo $k_1 = 2$ dB pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo montovaných panelových stavbách z klasických materiálů).

Vztah pro přibližný přepočet změřené nebo vypočtené laboratorní hodnoty vzduchové neprůzvučnosti stavebních konstrukcí R_w na stavební váženou vzduchovou neprůzvučnost R'_w :

$$R'_w = R_w - k_1$$

k_1 je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku, zvolená pro účely tohoto přehledu jako **6 dB**.

Ve fázi návrhu a projektové přípravy lze také provést přibližný přepočet změřených nebo vypočtených hodnot *vážené normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku* $L_{n,w}$ na *stavební váženou normovanou hladinu akustického tlaku kročejového zvuku* $L'_{n,w}$ pomocí vztahu:

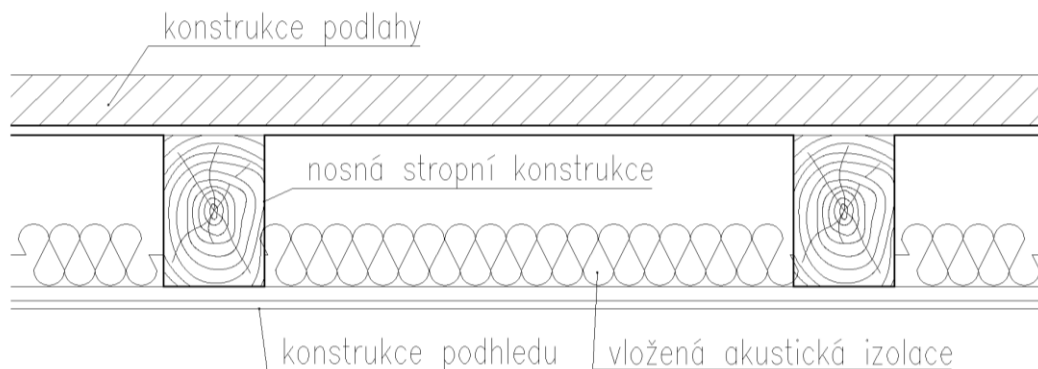
$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2$$

k_2 je korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku v rozsahu 0 dB až 2 dB zvolená pro účely tohoto přehledu jako **0 dB**.

2.6.1 Stropy s dřevěnými nosníky

2.6.1.1 Trámové a fošnové stropy

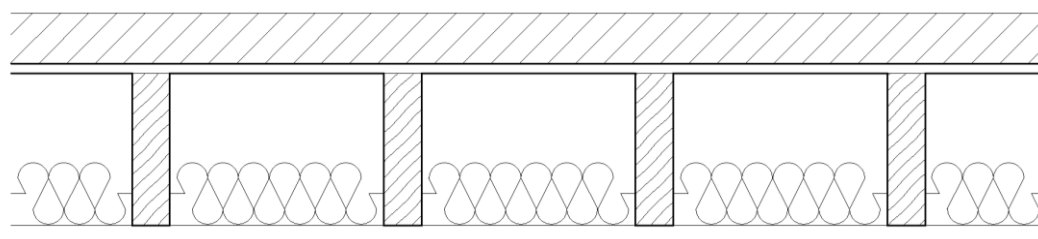
Využívání **stropních konstrukcí s masivními dřevěnými trámy**, dnes často nahrazovanými například lepenými profily (BSH, KVH), v kombinaci se zděnými svislými konstrukcemi v současnosti již není nejběžnějším řešením. Dle mého názoru především díky problémům jako je nedostatečná akustická izolace, náchylnosti k působení vlhkosti a biologických škůdců, často nutnost dodatečné požární ochrany konstrukce apod.



Obrázek 31 - Schéma trámového stropu

Přesto i v dnešní době najde tato konstrukce své uplatnění, zejména díky nižší pořizovací ceně. Z pohledu stavební akustiky je nutné se v dnešní době trámovými stropy zabývat díky jejich četnému využití u rekonstrukcí. V takových případech často dochází k odstranění vrchního souvrství podlahy s násypem (škvárovým, pískovým, s cihelnou drtí apod.) a spodního souvrství – například rákosové omítky na prkenném podbití. Obě tyto vrstvy sloužily jako ochrana konstrukce před účinky ohně, ale také zlepšovaly akustické vlastnosti stropu. V současnosti je můžeme nahradit deskovými podhledy zavěšenými, samonosnými nebo kotvenými přímo k nosné konstrukci a moderním souvrstvím podlah. U konstrukce podlahy je žádoucí zachovat v zájmu akustických vlastností přetížení, které bylo způsobeno násypem. V současné době může být zastoupen například betonovými dlaždicemi kladenými na sucho, těžkou plovoucí podlahou, případně moderními násypy.

Fošnové stropní konstrukce se v dnes uplatňují zejména u dřevostaveb. Jedná o subtilnější dřevěné nosníky s menšími osovými vzdálenostmi, než u tradičních trámových stropních konstrukcí. Šířka se pohybuje obvykle od 60 do 100 mm. Osová vzdálenost je zpravidla 400, 500 nebo 625 mm. Oba parametry závisí především na statických požadavcích. Pro fošnové stropy lze uplatnit většinu skladeb používaných pro dřevěné trámové stropy.

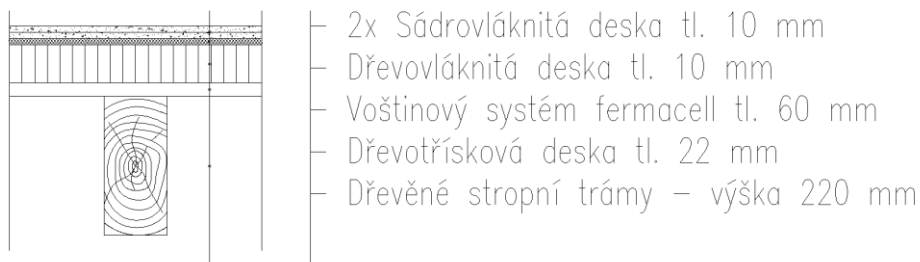


Obrázek 32 - Schéma fošnového stropu

Detailní chování dřevěných nosíkových stropů bylo rozebráno v předchozích částech této práce. Dále jsou uvedeny příklady, které splňují požadavky ČSN 73 0532 pro strop mezi obytnými místnostmi rodinného, nebo bytového domu, tj. **R'_w minimálně 47 dB a $L'_{n,w}$ maximálně 63 dB** a zároveň jsou navrženy s přihlédnutím k chování konstrukcí uvedeném v kapitole 2.3.

p.1) Skladba stropu s odhalenými trámy

Převzato z katalogu fermacell [21]



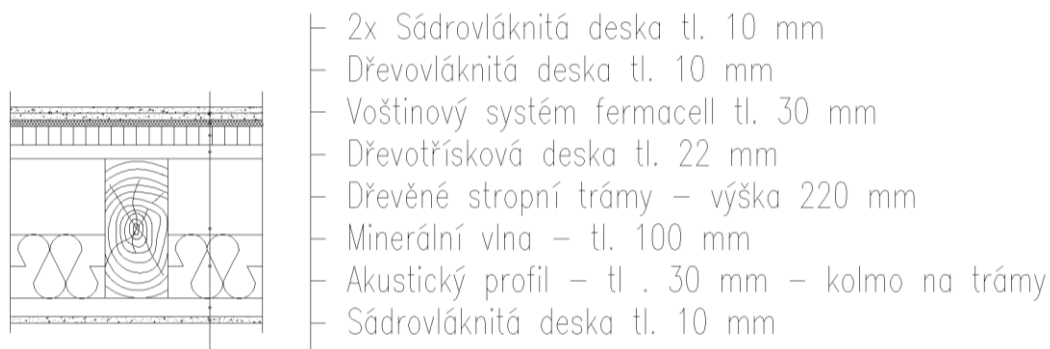
Obrázek 33 - Schéma skladby p.1

Skladba p.1			
$R_w(C, C_{tr})$	R'_w	$L_{n,w}(C_I)$	$L'_{n,w}$
61(-,-)	56	61(-)	61

Tabulka 15 - Skladba p.1

p.2) Skladba stropu s podhledem

Převzato z katalogu fermacell [21]

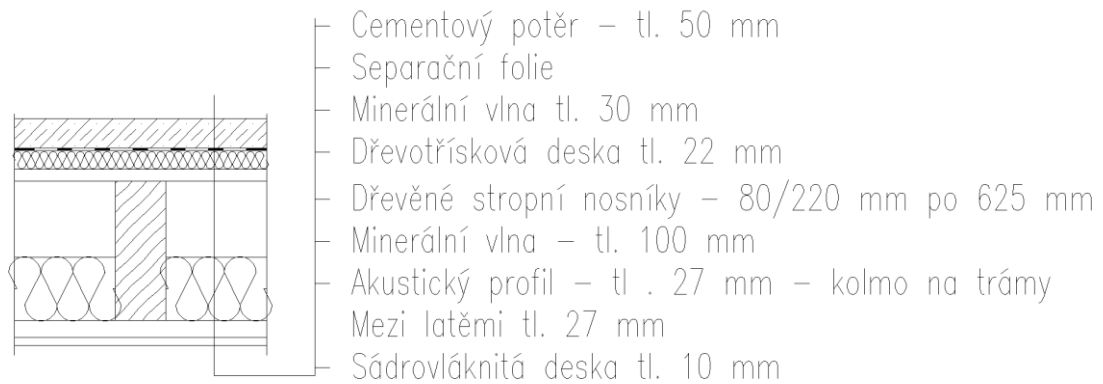


Obrázek 34 - Schéma skladby p.2

Skladba p.2			
$R_w(C, C_{tr})$	R'_w	$L_{n,w}(C_I)$	$L'_{n,w}$
73(-,-)	67	42(-)	42

Tabulka 16 - Skladba p.2

p.3) Skladba stropu s těžkou plovoucí podlahou a podhledem
Převzato z katalogu dataholz [10]



Obrázek 35 - Schéma skladby p.3

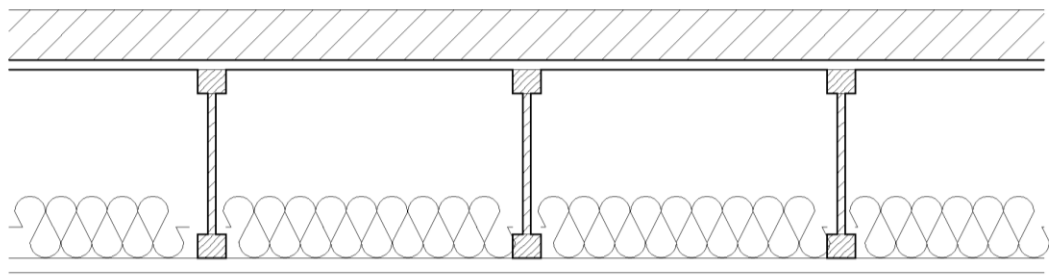
Skladba p.3			
$R_w(C, C_{tr})$	R'_w	$L_{n,w}(Cl)$	$L'_{n,w}$
67(-1,-6)	61	51(-)	51

Tabulka 17 - Skladba p.3

2.6.1.2 Stropy s nosníky z dřevěných I profilů

Jedná se o stropní konstrukce na bázi nosníků ze složeného průřezu. P snice zpravidla tvoří masivn  nebo lepené vrstvené dřevo. Stojiny bývají tvořeny OSB nebo dřevovláknitou deskou. Spojování obou částí je většinou zajiřtено lepením desky do vyfrézované drážky v pásnici.

Tento druh dřevěných nosníků je v hodn  zejména díky niřší hmotnosti, efektivnímu rozložen  materiálů v průřezu, snadn  manipulaci a dobrému pr ruřen  tepelných mostů.



Obrázek 36 - Schéma stropů s nosníky z I profilů

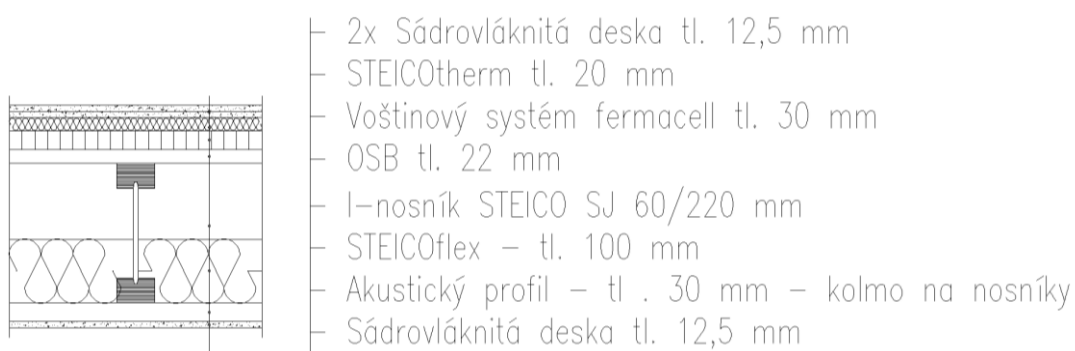
Nevýhodou je potom vyšší cena, zejména u nižších průřezů a nutnost použít speciální spojovací prvky a podobně.

Přesná technologie a specifikace je zpravidla v režii jednotlivých výrobců (STEICO, CZECH PAN, M.T.A apod.), což je problém pro obecné určení chování z hlediska stavební akustiky. Dle podkladů výrobců lze předpokládat velmi obdobné akustické vlastnosti jako u přechozích druhů nosníků stropů.

[27,24]

p.4) Skladba s I profily a zásypem

Převzato z katalogu fermacell [21]



Obrázek 37 - Schéma skladby p.4

Skladba p.4			
R_w	R'_w	$L_{n,w}$	$L'_{n,w}$
63	57	43	43

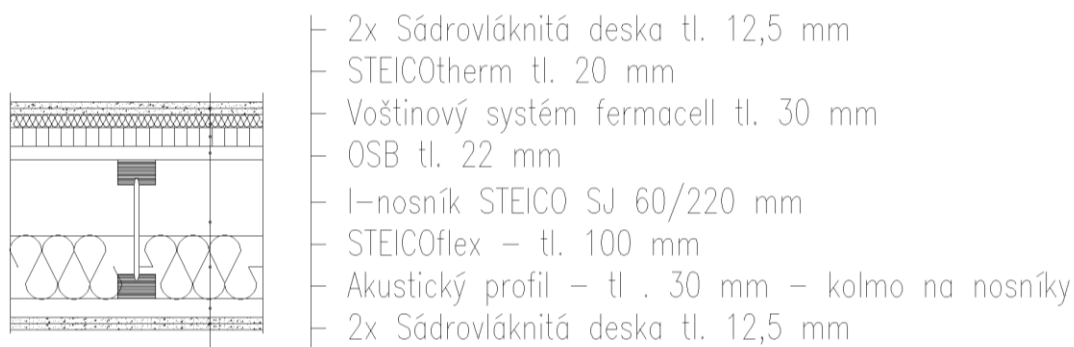
Tabulka 18 - Skladba p.4

p.5) Skladba s I profily a zásypem II.

Převzato z katalogu fermacell [21]

Skladba p.5			
R_w	R'_w	$L_{n,w}$	$L'_{n,w}$
64	58	39	39

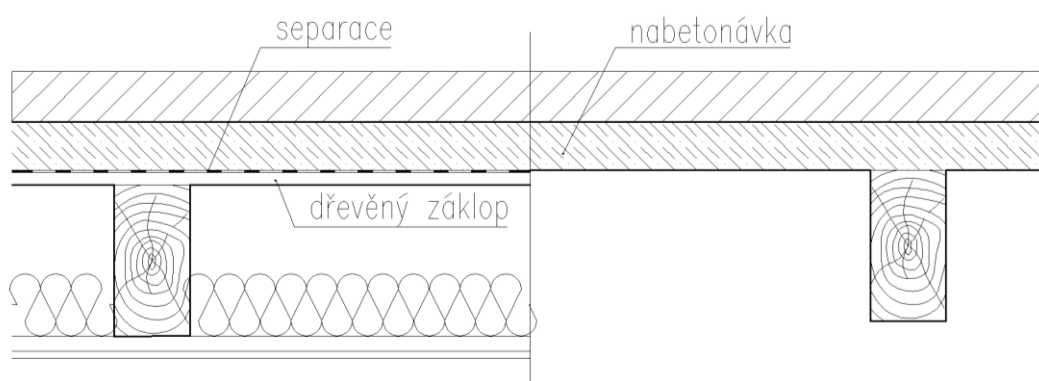
Tabulka 19 - Skladba p.5



Obrázek 38 - Schéma skladby p.5

2.6.2 Dřevobetonové stropy

Kompozitní dřevobetonové stropní konstrukce lze využít jak u nových staveb, tak i u rekonstrukcí. Jedná se o kombinaci dřevěných nosníků a železobetonové desky, případně o masivní dřevěné desky s nabetonávkou. Jde o vhodnou kombinaci, kdy spolu betonová deska a dřevěný nosník spolupůsobí jako T průřez. Jako spřahovací prostředky lze použít velké množství různých prvků. Mohou to být kolíkové prvky jako například: hřebíky, kolíky, ohýbané tyče betonářské výztuže, vruty atp. Případně desky s prolisovanými trny, nebo zářezy v dřevěných nosnících. Nebo i různé kombinace těchto prvků. [26]

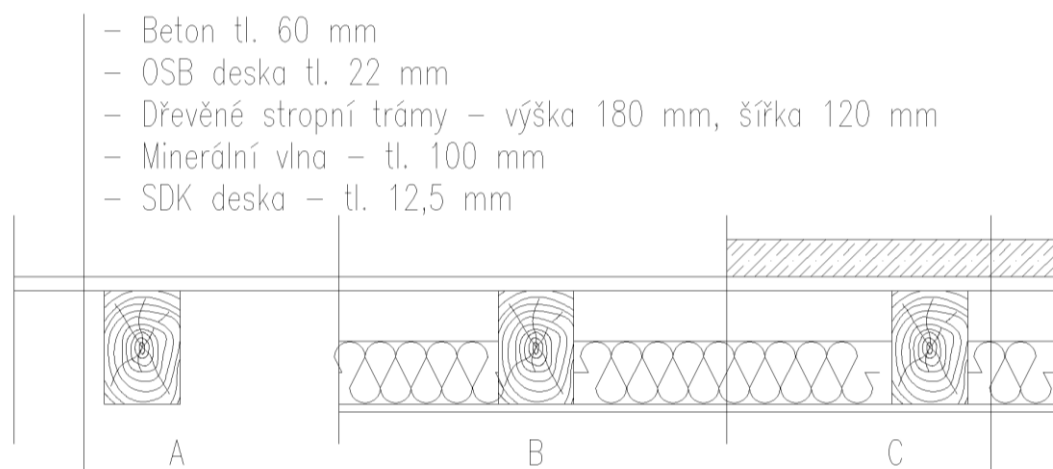


Obrázek 39 - Schéma dřevobetonového stropu

Dřevobetonové stropní konstrukce nejsou vhodné do prostor s vysokou vlhkostí. Ocelové spojovací prostředky by měly mít vhodnou protikorozní ochranu. Pronikání vody z betonové směsi do dřevěné konstrukce je vhodné bránit použitím separačních folií nebo betonem s nižším vodním součinitelem. Se zvyšujícím se rozpětím je vhodné používat měkkčí spojovací prostředky. [26]

Je možné využít i prefabrikované dřevobetonové prvky, což výrazně urychluje dobu výstavby a eliminuje z ní mokré procesy. Naopak jejich nevýhodou je skladování během doby schnutí, složitější provádění a oprava. [26,27]

Kompozitní dřevobetonové stropy jsou oproti tradičním dřevěným konstrukcím výhodnější z hlediska účinků požáru, tuhosti a akustické izolace. [26,27]



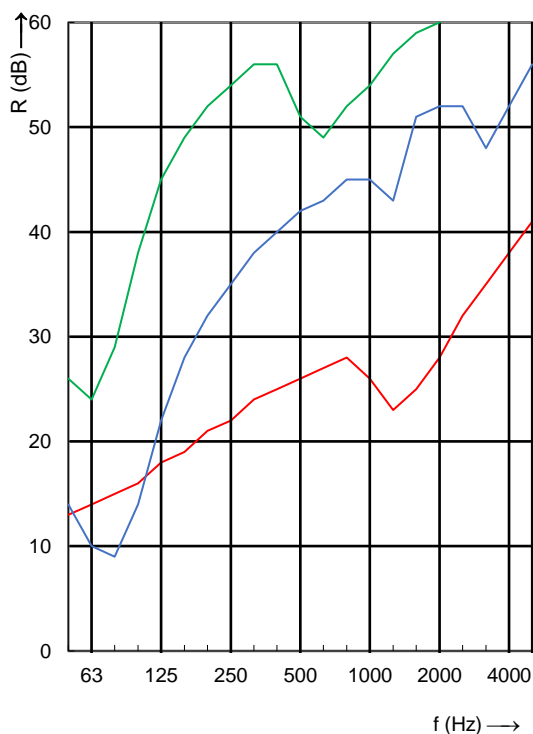
Obrázek 40 - Schéma srovnání dřevobetonového stropu s dřevěným

Provedl jsem v programu INSUL srovnání trámového stropu se záklopem (A), referenční skladby (B) a totožné skladby doplněné o betonovou desku tl. 60 mm (C).

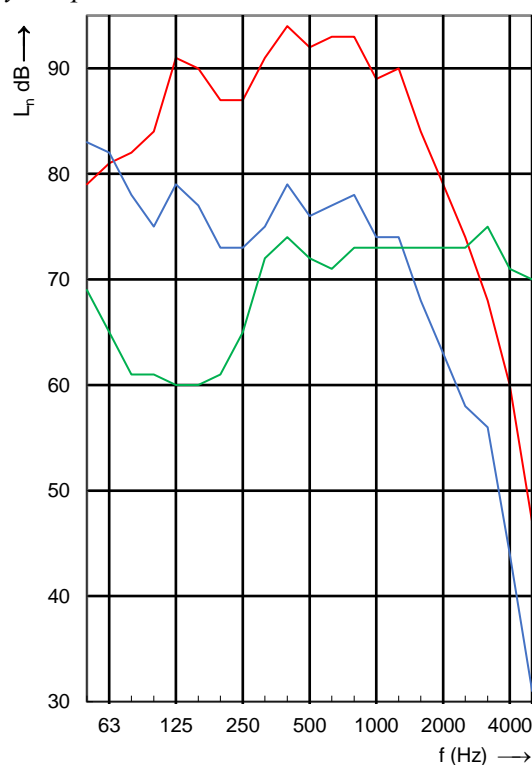
ozn.	Varianta	R_w	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-3150}$	$L_{n,w}$	$C_{1,50-2500}$
A	bez podhledu a izolace	27	0	-3	90	-3
B	s podhledem a izolací	43	-5	-16	75	0
C	s betonovou deskou	56	-2	-13	80	-11

Legenda:
 — A
 — B
 — C

Tabulka 20 - Srovnání variant – dřevobetonový strop



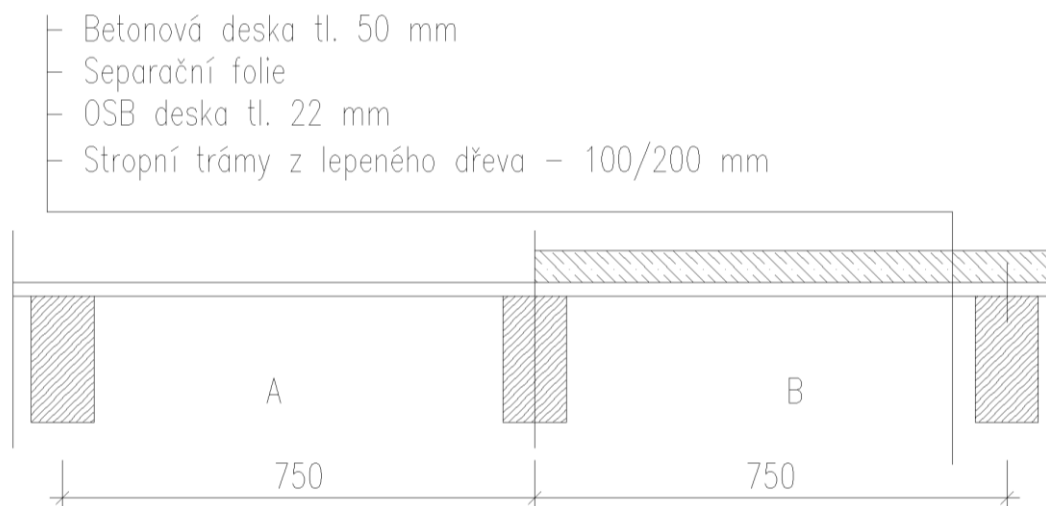
Graf 16 - Průběh R – srovnání variant – dřevobetonový strop



Graf 17 - Průběh L_n – srovnání variant – dřevobetonový strop

Z porovnání vychází, co se týče vzduchové neprůzvučnosti, samozřejmě nejlépe varianta C s betonovou deskou. Díky malé tloušťce není efekt v nízkých frekvencích tak výrazný jako u desky v kapitole 2.5, ale i tak se jedná o značné zlepšení. V jednočíselných hodnotách došlo ke zlepšení s nabetonávkou o **13 dB** u R_w a o **3 dB** u faktoru přizpůsobení spektru $C_{50-3150}$.

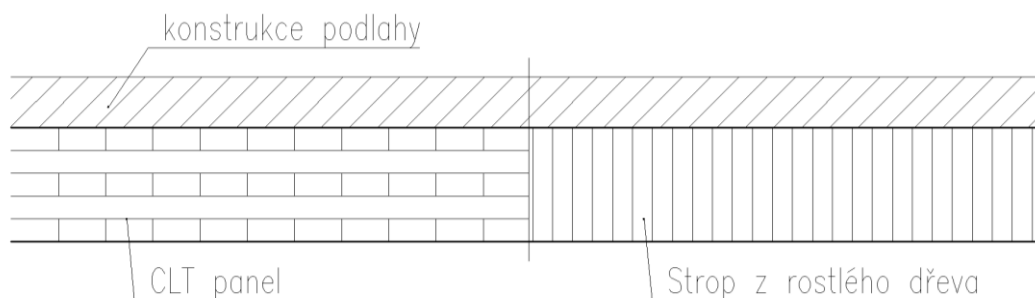
Akustickými vlastnostmi kompozitních dřevobetonových stropních konstrukcí se zabývá také zkouška provedená na portugalské univerzitě v Coimbre [28]. Jedná se o skladbu dřevěného trámového stropu s trámy 200x100 mm z lepeného dřeva po 750 mm s prkenným záklopem tl. 22 mm (var. A na obrázku 41). U druhé zkoušené skladby došlo k vybetonování vrstvy 50 mm (var. B na obrázku 41). Spřažení bylo realizováno pomocí trnů z betonářské výztuže o průměru 8 mm s roztečí 100 mm. U zkoušené skladby došlo k zvýšení vzduchové neprůzvučnosti o **13 dB** a kročejové o **27 dB**. Zlepšení je u vzduchové neprůzvučnosti v kmitočtových pásmech v podstatě obdobné, kromě frekvencí okolo 250 Hz, kde je efekt betonové desky velmi malý, což zcela neodpovídá vypočteným výsledkům. Stejně tak průběh akustického tlaku kročejového zvuku je ve zmíněné zkoušce velmi obdobný. Je třeba zmínit, že nelze jednoznačně určit, zda je použitý SW vhodný pro kompozitní dřevobetonové stropy, bylo by třeba provést porovnání více zkoušek.



Obrázek 41 - Schéma srovnání dřevěného a dřevobetonového stropu, na základě [28]

Dřevobetonov  stropy jsou z hlediska akustických vlastností velmi v hodn  a v řim, že se v bl zk  budoucnosti v naších podmínkách dočkají většího uplatnění.

2.6.3 Masivní dřevěné stropy



Obrázek 42 - Schéma masivních dřevěných stropů

2.6.3.1 Masivní stropy z rostlého dřeva

Deskové stropy z rostlého dřeva jsou sestaveny z jednotlivých prvků rostlého dřeva (nosníků, lamel), které se buď spojují přímo na stavbě na hladkou spáru profilování nebo se spojují jednotlivé lamely dílensky kolíky, nebo hřebíky. Mezi výhody masivních stropů z rostlého dřeva patří malá konstrukční výška, rychlá montáž, okamžitá použitelnost a dobré akustické vlastnosti oproti nosníkovým stropům. Mezi nevýhody patří vyšší sesychání a bobtnavost. Dále vyšší spotřeba dřeva a s tím související nízké využití průřezu při zatížení. [27]

Masivní dřevěné stropy s rybinovitým perem se skládají z jednotlivých profilovaných dílců z lepeného, nebo rostlého dřeva a spolupůsobí pomocí rybinového spoje. V případě použití dílců z lepeného dřeva lze urychlit montáž použitím větších prvků. [27]

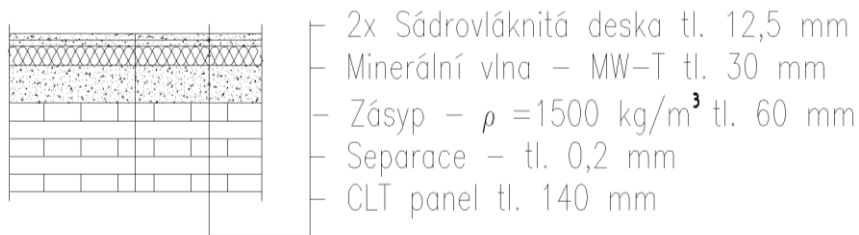
Strop z vrstveného řeziva se skládá z lamel tloušťky 20-50 mm spojovaných k sobě ve svislé poloze pomocí kolíků nebo hřebíků. Ty zajišťují přenos smykových sil mezi jednotlivými lamelami. Jednotlivé lamely tvoří větší dílce, které se k sobě poté na stavbě spojí obdobně jako jednotlivé lamely mezi sebou. [27]

2.6.3.2 Deskové lepené stropy

Deskové lepené dřevěné stropy jsou vyrobeny převážně z dýh nebo prken. Jejich výhodou je malá konstrukční výška, rychlá montáž, okamžitá zatížitelnost, možnost značené prefabrikace a z akustického hlediska výhodnější působení oproti trémovým stropům. Nevýhodou jsou možné vyšší náklady, vyšší spotřeba dřeva a u systémů, které nejsou lepeny příčně, může docházet k vyššímu sesychání. [27] Speciálním případem jsou **panely z křížem lepeného dřeva (CLT – Cross-laminated timber)** - jsou vyrobeny z více celoplošně křížem slepených vrstev řeziva. Díky lepení křížem (vždy v lichém počtu vrstev - 3, 5, 7, 9 a více) nedochází k výraznému sesychání. Jednotlivé lamely mají tloušťku 20 až 60 mm. [27]

p.6) CLT panel se zásypem

Převzato z katalogu dataholz (gdmtxn01) [10]



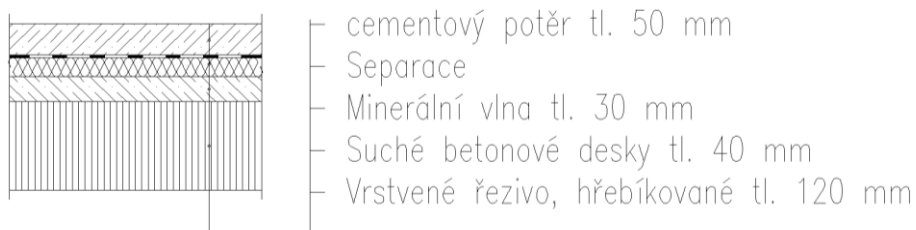
Obrázek 43 - Schéma skladby p.6

Skladba p.6			
$R_w(C, C_{tr})$	R'_w	$L_{n,w}(C_I)$	$L'_{n,w}$
62(-5,-13)	56	50(-1)	50

Tabulka 21 - Skladba p.6

p.7) strop z rostlého dřeva

Převzato z publikace „Masivní Dřevostavby“ [27]



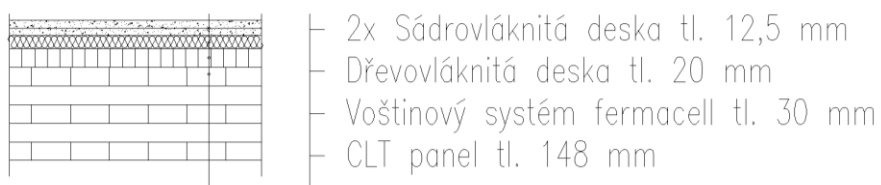
Obrázek 44 - Schéma skladby p.7

Skladba p.7	
$R'_w(C; C_{tr})$	$L'_{n,w}(C_I)$
68 (0;0)	46 (-1)

Tabulka 22 - Skladba p.7

p.8) Strop z CLT panelů s voštinovým systémem

Převzato z katalogu fermacell [21]

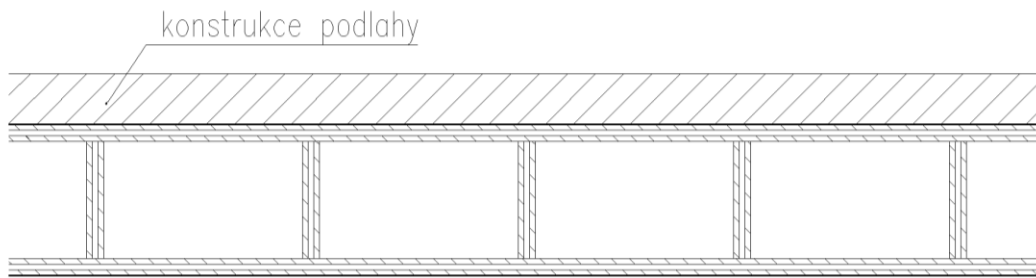


Obrázek 45 - schéma skladby p.8

Skladba p.8			
R_w	R'_w	$L_{n,w}$	$L'_{n,w}$
64	58	54	54

Tabulka 23 - Skladba p.8

2.6.4 Stropy se skříňovou konstrukcí

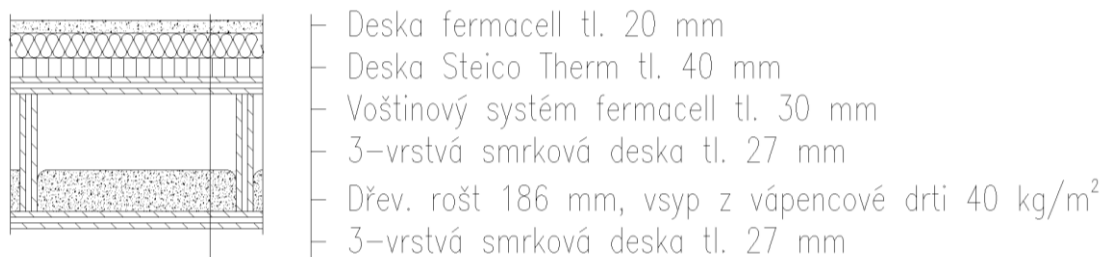


Obrázek 46 - Schéma stropů se skříňovou konstrukcí

Jedná se zejména o prefabrikované stropní panely, které se liší v závislosti na konkrétním výrobcí. Využívají staticky výhodné spojení subtilních žebér spodního a horního opláštění. Spojení žebér k plášti se provádí lepením nebo vruty. „Žebra musí být přímá, hoblovaná, pravoúhlá a technicky vysušená. Při uvážení statických požadavků se používají například také broušené desky OSB. Lepením se vytváří smykové spojení mezi pláštěm a žebrem. Pro lepení s vyvozením lisovacího tlaku hřebíky nebo vruty se musí použít vhodná lepidla.“ [27]

p.9) Panely s žebrovou konstrukcí a vsypem

Převzato z katalogu NOVATOP [29]



Obrázek 47- Schéma skladby p.9

Skladba p.9			
R_w	R'_w	$L_{n,w}$	$L'_{n,w}$
62	56	54	54

Tabulka 24 - Skladba p.9

3 Praktická část

3.1 Popis měření

3.1.1 Úvod

V rámci této práce bylo provedeno laboratorní měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti na vzorcích dřevěného trámového stropu. Měření bylo provedeno v akustické laboratoři Univerzitního centra energeticky efektivních budov ČVUT (UCEEB), Třinecká 1024, 273 43 Buštěhrad, pod vedením Ing. Jiřího Nováčka, Ph.D.

Měření byla realizována za finanční podpory MŠMT v rámci programu NPU I č.LO1605.



Obrázek 48 - Použité vybavení



Obrázek 49 - Použité vybavení

Seznam použitého vybavení:

- 2 x zvukový analyzátor Nor140
- Akustický kalibrátor Nor1251
- Všesměrový reproduktor Nor276 s výkonovým zesilovačem Nor280
- Zdroj kročejového zvuku Nor277
- Notebook s instalovaným softwarem Nor850

3.1.2 Zkušební komora a vybavení

Zkušební komora musí být provedena v souladu s ČSN EN ISO 10140-5 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – část 5: Požadavky na zkušební zařízení a přístrojové vybavení [32].

Zkušební zařízení se skládá ze dvou sousedících místností o objemu nejméně 50 m³, mezi které se umístí zkušební vzorek. Pokud dochází k rozdílům hladin akustického tlaku v místnostech, je nutné do nich nainstalovat difúzní prvky. Doba dozvuku by, na frekvencích

vyšších než 100 Hz, neměla být větší než 2s a menší než 1s. Pokud je vzduchová neprůzvučnost závislá na době dozvuku i přes použití difuzních prvků, musí se upravit měřicí místnost tak aby doba dozvuku T byla [32] :

$$1 \leq T \leq 2(V/50)^{2/3}$$

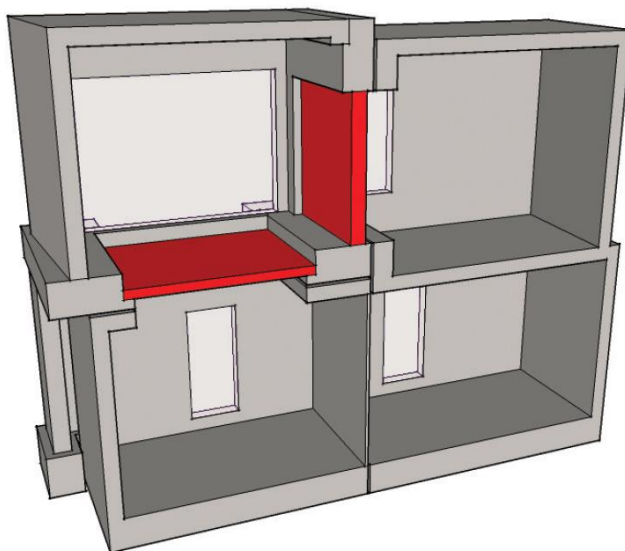
8

Kde V je objem místnosti v metrech krychlových;

T je doba dozvuku v sekundách

Převzato z [32]

Dle ČSN EN ISO 10140-5 má být velikost stropního otvoru ve zkušební komoře nejméně 10 m² a nejvýše 20 m². [32] Otvor pro stropy v akustické laboratoři UCEEB má rozměr 2,9 x 4,4 m tj. 12,76 m². [33]



Obrázek 50 - Schéma akustické komory UCEEB – převzato z [33]

Norma ČSN EN ISO 10140-5 také definuje vhodnost poloh zdroje zvuku. Mimo jiné vzdálenost mezi různými polohami reproduktoru, která nesmí být menší než 0,7 m a nejméně dvě polohy musí být od sebe vzdáleny alespoň 1,4 m. Vzdálenost zdroje od obvodové stěny musí být minimálně 0,7 m a polohy reproduktorů musí být v různých rovinách, které nejsou rovnoběžné se stěnami a mají mezi sebou nejméně 0,1 m. [32]

ČSN EN ISO 10140-4 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – část 4: Měřicí postupy a požadavky [34] určuje kmitočtový rozsah měření pro všechny veličiny nejméně v následujících středních kmitočtech v hertzech: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 2000, 2500, 3150, 4000, 5000 a v případě měření v oblasti nízkých kmitočtů 50, 63, 80 Hz. Měření hladin akustického tlaku je dle části 4 možné za použití jednoho

mikrofonu, který se přesouvá z polohy do polohy (případ měření v rámci této práce), řadou pevných mikrofonů nebo plynule se pohybujícím mikrofonem. Minimální odstup pro mikrofony je 0,7 m mezi polohami mikrofonu, mezi mikrofonem a stěnami, resp. difuzory. A minimální odstup mikrofonu od zkoušeného prvku, respektive reproduktoru je 1,0 m.

Energeticky průměrná hodnota akustického tlaku se pro pevné polohy mikrofonu určí v praxi obvykle pomocí rovnice[34]:

$$L = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \quad 9$$

Kde L_1, L_2, \dots, L_n jsou hladiny akustického tlaku v n různých polohách v místnosti.

Převzato z [34]

3.1.3 Měření kročejové neprůzvučnosti

Měření kročejové neprůzvučnosti probíhalo v souladu s řadou norem ČSN ISO 10140 (všechny části) a zejména s ČSN EN ISO 10140-3 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – Část 3: Měření kročejové neprůzvučnosti. [19] a ČSN EN ISO 10140-1 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – část 1: Aplikační pravidla pro určité výrobky, která uvádí pro zkoušení podlah na lehkém referenčním stropu - pro podlahy kategorie II (Velké vzorky) použití zdroje kročejového zvuku v šesti polohách s náhodným rozmístěním. Řada kladívek musí být pod úhlem 45° na nosníky stropu.

Použitý zdroj kročejového zvuku Nor277 je v souladu s požadavky uvedenými v ISO 10140-5:2010 příloze E.

Obecně se měří hladiny akustického tlaku v místnosti příjmu od 100 Hz do 5000 Hz s případným rozšířením do 50 Hz. Z doby dozvuku se dopočítá ekvivalentní pohltivá plocha v místnosti příjmu. [19]

Počet poloh mikrofonu je uveden pro měření kročejové neprůzvučnosti v části 4. V případě pevných poloh mikrofonu použitých při zkouškách v rámci této práce je jejich počet rovný počtu poloh klepacího zařízení, případně jejich celočíselný násobek. Pro každou polohu zdroje kročejového zvuku se provádí stejný počet poloh mikrofonu. [34]

Ekvivalentní pohltivá plocha A v m^2 se vypočte jako:

$$A = 0,16 \frac{V}{T} \quad 10$$

Kde

V je objem místnosti příjmu zvuku v m^3 ;

T je doba dozvuku v s.

Převzato z [34]

A normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku L_n v dB se vypočte jako:

$$L_n = L_i + 10 \lg \frac{A}{A_0} \quad 11$$

Kde L_i je energeticky průměrná hladina akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu v místnosti příjmu;

A_0 je 10 m^2 ;

A je ekvivalentní pohltivá plocha místnosti příjmu v m^2 .

Převzato z [34]

3.1.4 Měření vzduchové neprůzvučnosti

Měření vzduchové neprůzvučnosti probíhalo v souladu s řadou norem ČSN ISO 10140 (všechny části) a zejména s ČSN EN ISO 10140-2 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – Část 2: Měření vzduchové neprůzvučnosti [20]

Obecně je dle zmíněné normy pro měření třeba použít dvou svisle oddělených místností, tedy místnosti zdroje a příjmu. Stejně jako v případě měření kročejové neprůzvučnosti. Zkoušený prvek se instaluje do otvoru mezi těmito místnostmi. Standardně probíhá měření hladiny akustického tlaku v obou místnostech v rozsahu frekvencí od 100 Hz do 5000 Hz s možností rozšíření až do 50 Hz. V místnosti příjmu se vypočítá ekvivalentní pohltivá plocha z doby dozvuku. [20]

Počet pevných poloh mikrofonu je uveden pro měření vzduchové neprůzvučnosti je popsán v ČSN EN ISO 10140-4. Má se použít nejméně pět poloh v každé místnosti pro každou polohu reproduktoru. A polohy mikrofonů nesmí být ve stejné rovině rovnoběžné s povrchy místnosti ani v pravidelné mřížce. [34]

Vzduchová neprůzvučnost R v dB se vypočte jako (Převzato z [20]):

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A} \quad 12$$

Kde

L_1 je energeticky průměrná hladina akustického tlaku v místnosti zdroje v dB;

L_2 je energeticky průměrná hladina akustického tlaku v místnosti příjmu v dB;

S je plocha volného zkušebního otvoru, v němž je instalován zkoušený prvek v m^2 ;

A je ekvivalentní pohltivá plocha místnosti příjmu v m^2 .

3.1.5 Shrnutí

Při měřeních v rámci této práce bylo využito poloh reproduktorů, mikrofonů a zdroje kročejového zvuku určených Ing. Jiřím Nováčkem, Ph.D. v souladu s výše uvedeným.

3.2 Provedené zkoušky a porovnání jejich výsledků s výpočty

3.2.1 Úvod

V této části jsou uvedeny výsledky měření vzduchové a kročejové neprůzvučnosti provedeného v rámci této práce. Dále je u každé měřené skladby uvedeno její schéma a fotografie pořízené při měření. Porovnání naměřených a vypočtených hodnot vybrané skladby je uvedeno v části 3.3.

3.2.2 Zkouška trámového „stropu 1“ se záklopem

Dne 21.10.2019 byla v akustické laboratoři UCEEB provedena zkouška vzduchové a kročejové neprůzvučnosti na části stropní konstrukce C1 z přílohy C normy ČSN EN ISO 10140-5: Dřevěné trámy 120 x 180 mm po 625 mm, záklop z OSB desky tl. 22 mm.



Obrázek 51 - Schéma „strop 1“



Obrázek 52 - Pohled na záklop „strop 1“



Obrázek 53 - Spodní pohled na „strop 1“ ze dveří akustické komory



Obrázek 54 - Spodní pohled na „strop 1“

3.2.2.1 Kročejová neprůzvučnost

Podmínky při měření kročejové neprůzvučnosti byly následující:

Místnost příjmu:

Objem: 70,9 m³
 Teplota vzduchu: 23,8 °
 Relativní vlhkost: 47,7 %
 Atmosférický tlak: 97,9 kPa

Místnost zdroje:

Objem: 65,2 m³
 Teplota vzduchu: 24,2 °
 Relativní vlhkost: 46,9 %

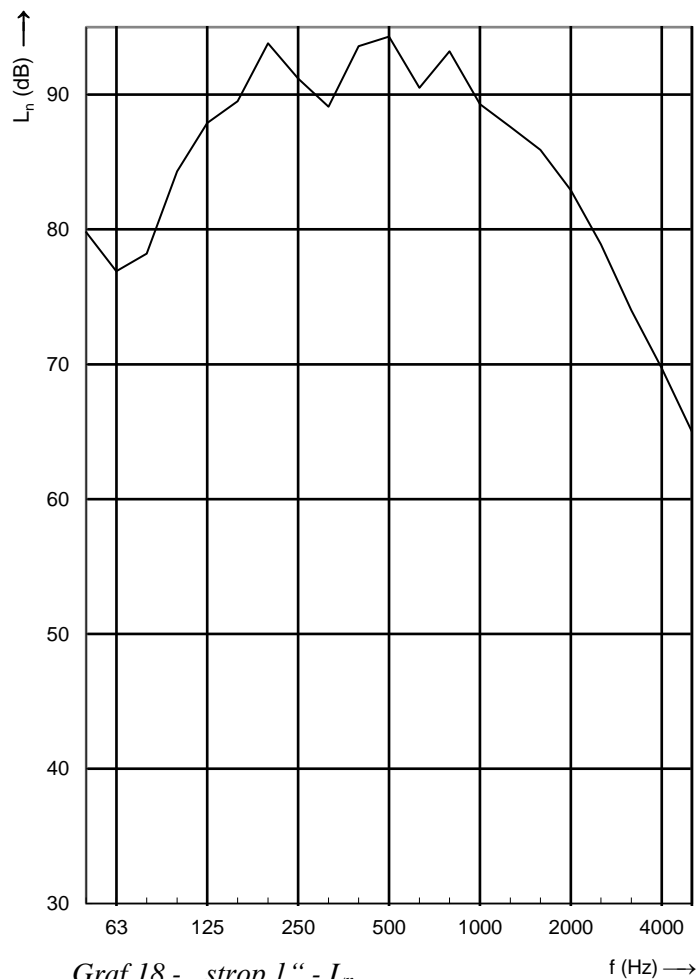
Jednočíselné naměřené hodnoty:

$$L_{n,w}(C_1) = 91 (-4) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = -4 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	L _n 1/3 oktávy [dB]
50	79,8
63	76,9
80	78,2
100	84,3
125	87,9
160	89,5
200	93,8
250	91,2
315	89,1
400	93,6
500	94,3
630	90,5
800	93,2
1000	89,3
1250	87,6
1600	85,9
2000	82,9
2500	78,9
3150	74,0
4000	69,7
5000	65,0

Tabulka 25 -
 „strop 1“ - L_n



3.2.2.2 Vzduchová neprůzvučnost

Podmínky při měření vzduchové neprůzvučnosti byly následující:

Objem: místnosti zdroje	70,9 m ³
Objem: místnosti příjmu	65,2 m ³
Plocha zkoušeného vzorku:	12,37 m ²
Teplota vzduchu:	23,8 °
Relativní vlhkost:	47,7 %
Atmosférický tlak:	97,9 kPa

Jednočíselné naměřené hodnoty:

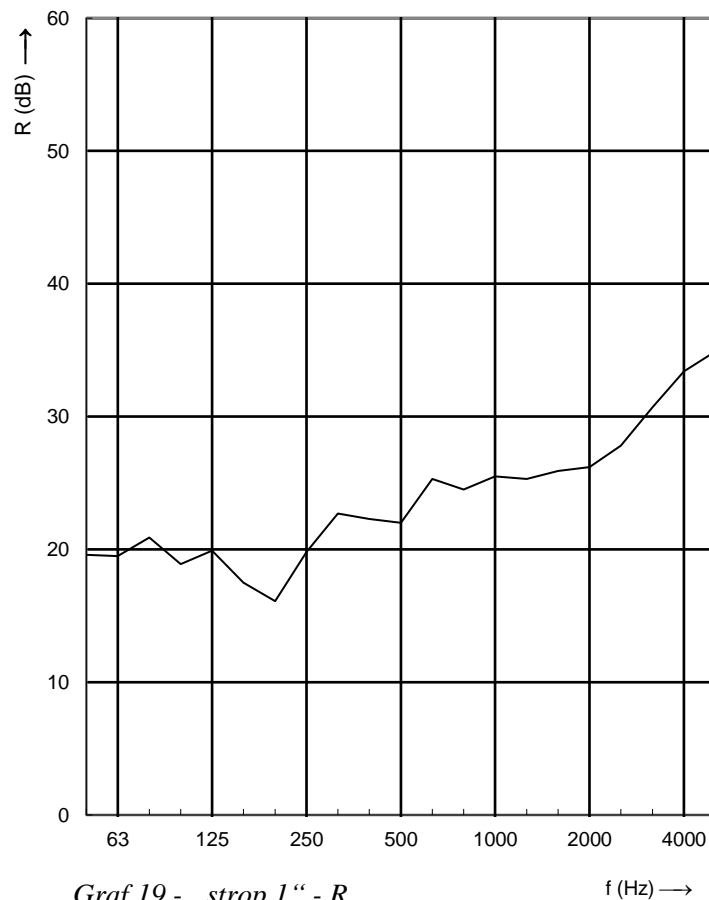
$$R_w(C;C_{tr}) = 26 (-1;-2) \text{ dB}$$

$$C_{50-3150} = -1 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -3 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	19,6
63	19,5
80	20,9
100	18,9
125	19,9
160	17,5
200	16,1
250	19,8
315	22,7
400	22,3
500	22,0
630	25,3
800	24,5
1000	25,5
1250	25,3
1600	25,9
2000	26,2
2500	27,8
3150	30,7
4000	33,4
5000	34,9

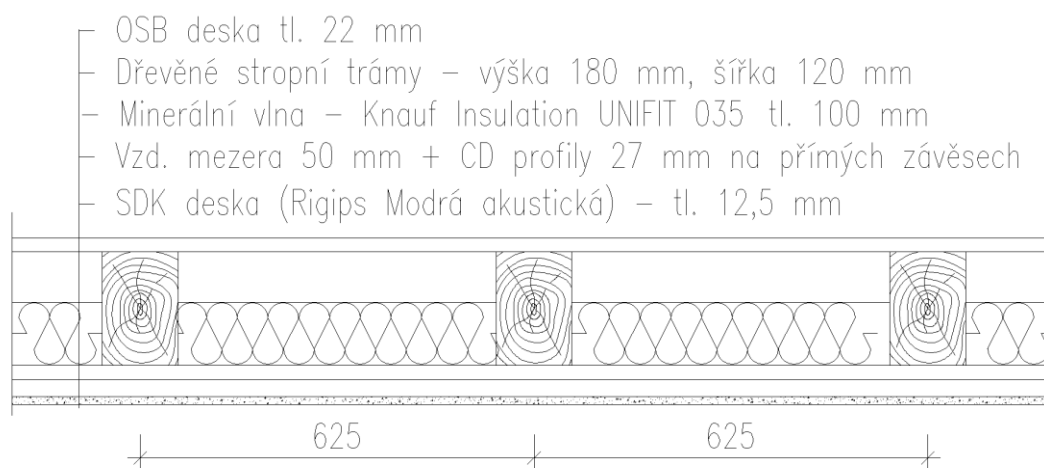
Tabulka 26 -
„strop 1“ - R



Graf 19 - „strop 1“ - R

3.2.3 Zkouška trámového „stropu 2“ s SDK podhledem

Dne 4.11.2019 byla v akustické laboratoři UCEEB provedena zkouška vzduchové a kročejové neprůzvučnosti na stropní konstrukci z předchozí zkoušky (strop 1), která byla rozšířena o SDK podhled. Jeho konstrukci tvořila mezi trámy vložená minerální vata Knauf Insulation UNIFIT 035 tl. 100 mm. Rošt podhledu z CD profilů Rigips po 500 mm (cca 16+34+50+50+50+50+18 cm) na přímé závěsy Rigips kotvené do trámů. A po obvodě na ostění otvoru lepené UD profily Rigips pomocí lepidla Mamut. Na CD profily byla naistalována SDK deska Rigips Modrá akustická tl. 12,5 mm.



Obrázek 55 - Schéma měřené skladby „strop 2“



Obrázek 56 - spodní pohled na „strop 2“ - částečně vložena izolace



Obrázek 57 - Spodní pohled na „strop 2“ - rošt a závěsy podhledu



Obrázek 58 - Spodní pohled na „strop 2“

3.2.3.1 Kročejová neprůzvučnost

Podmínky při měření kročejové neprůzvučnosti byly následující:

Místnost příjmu:

Objem: 68,3 m³
 Teplota vzduchu: 24,8 °
 Relativní vlhkost: 38,7 %
 Atmosférický tlak: 95,4 kPa

Místnost zdroje:

Objem: 65,2 m³
 Teplota vzduchu: 24,4 °
 Relativní vlhkost: 40,7 %

Jednočíselné naměřené hodnoty:

$$L_{n,w}(C_1) = 69 (0) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 2 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	L _n 1/3 oktávy [dB]
50	77,3
63	75,7
80	77,2
100	78,2
125	76,9
160	76,0
200	77,8
250	72,7
315	71,3
400	69,6
500	67,3
630	61,2
800	57,2
1000	53,0
1250	50,7
1600	47,5
2000	45,4
2500	46,1
3150	41,1
4000	39,0
5000	35,0

Tabulka 27 - „strop 2“ - L_n



Graf 20 - „strop 2“ - L_n

3.2.3.2 Vzduchová neprůzvučnost

Podmínky při měření vzduchové neprůzvučnosti byly následující:

Objem: místnosti zdroje	68,3 m ³
Objem: místnosti příjmu	65,2 m ³
Plocha zkoušeného vzorku:	11,12 m ²
Teplota vzduchu:	23,8 °C
Relativní vlhkost:	47,7 %
Atmosférický tlak:	97,9 kPa

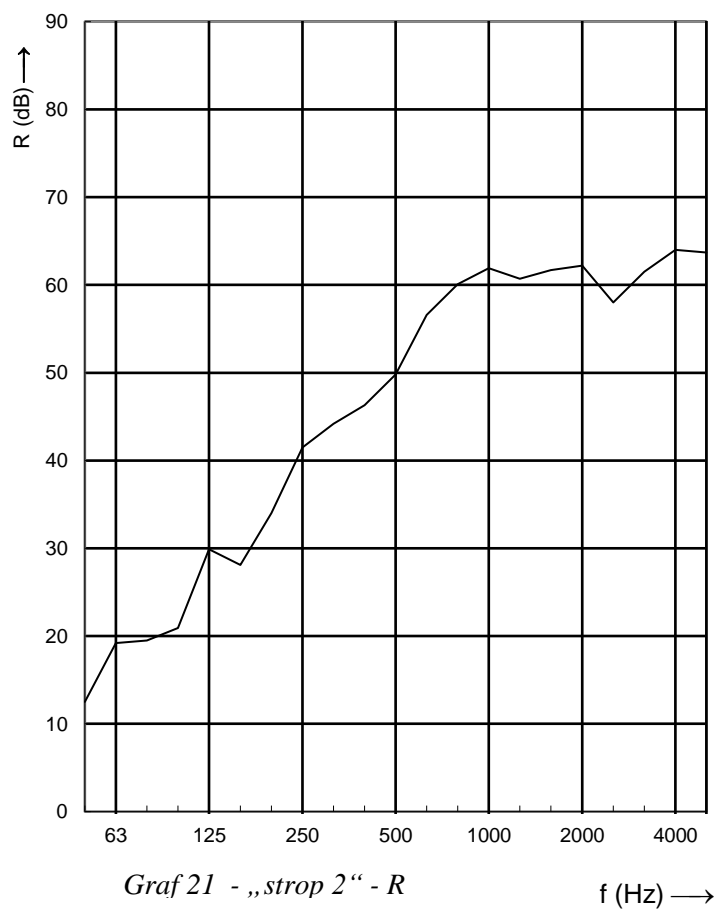
Jednočíselné naměřené hodnoty:

$$R_w(C; C_{tr}) = 49 (-3; -10) \text{ dB}$$

$$C_{50-3150} = -5 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -16 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	12,5
63	19,2
80	19,5
100	20,9
125	29,9
160	28,1
200	34,0
250	41,5
315	44,2
400	46,3
500	49,8
630	56,6
800	60,1
1000	61,9
1250	60,7
1600	61,7
2000	62,2
2500	58,0
3150	61,5
4000	64,0
5000	63,7



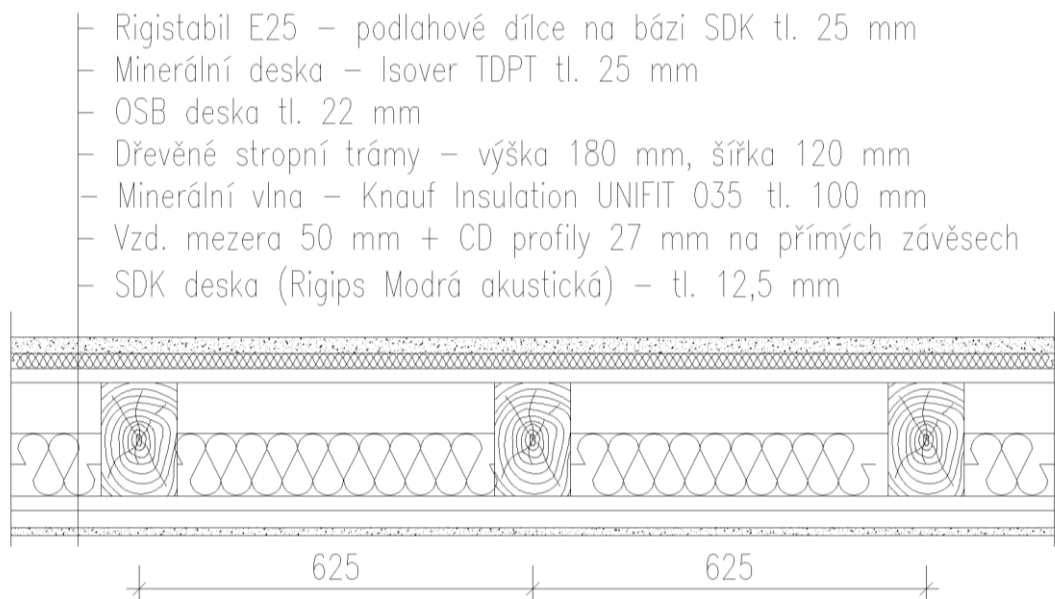
Tabulka 28 -
„strop 2“ - R

Graf 21 - „strop 2“ - R

f (Hz) →

3.2.4 Zkouška trémového „stropu 3“ s SDK podhledem a plovoucí podlahou

Dne 5.11.2019 byla v akustické laboratoři UCEEB provedena zkouška vzduchové a kročejové neprůzvučnosti na stropní konstrukci z předchozí zkoušky (strop 2), který byl rozšířen o lehkou plovoucí podlahu bez podsypu, kterou tvoří lehká plovoucí podlaha Rigistabil E25 tl. 25 mm spolu s minerální deskou Isover TDPT tl. 25 mm. Konstrukce podhledu byla stejná jako v předchozí zkoušce. Tedy mezi trámy vložená minerální vata Knauf Insulation UNIFIT 035 tl. 100 mm. Rošt podhledu z CD profilů Rigips po 500 mm (cca 16+34+50+50+50+50+18 cm) na přímé závěsy Rigips kotvené do trámů. A po obvodě na ostění otvoru lepené UD profily Rigips pomocí lepidla Mamut. Na CD profily byla naistalována SDK deska Rigips Modrá akustická tl. 12,5 mm.



Obrázek 59 - Schéma měřené skladby „strop 3“



Obrázek 60 - Horní pohled na konstrukci podlahy „strop 3“

3.2.4.1 Kročejová neprůzvučnost

Podmínky při měření kročejové neprůzvučnosti byly následující:

Místnost příjmu:

Objem: 68,3 m³
 Teplota vzduchu: 24,8 °C
 Relativní vlhkost: 38,7 %
 Atmosférický tlak: 95,9 kPa

Místnost zdroje:

Objem: 64,5 m³
 Teplota vzduchu: 24,3 °
 Relativní vlhkost: 37,5 %

Jednočíselné naměřené hodnoty:

$$L_{n,w}(C_1) = 60 (2) \text{ dB}$$

$$C_{1,50-2500} = 7 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	L _n 1/3 oktávy [dB]
50	76,7
63	74,7
80	72,5
100	74,0
125	71,2
160	68,1
200	64,1
250	58,1
315	51,7
400	48,8
500	44,9
630	36,7
800	31,0
1000	27,5
1250	24,8
1600	23,5
2000	25,2
2500	28,3
3150	24,9
4000	23,3
5000	17,7

Tabulka 29 -
 „strop 3“ - L_n



Graf 22 - "strop 3" - L_n

3.2.4.2 Vzduchová neprůzvučnost

Podmínky při měření vzduchové neprůzvučnosti byly následující:

Objem: místnosti zdroje	68,3 m ³
Objem: místnosti příjmu	64,5 m ³
Plocha zkoušeného vzorku:	11,12 m ²
Teplota vzduchu:	24,3 °C
Relativní vlhkost:	37,5 %
Atmosférický tlak:	95,8 kPa

Jednočíselné naměřené hodnoty:

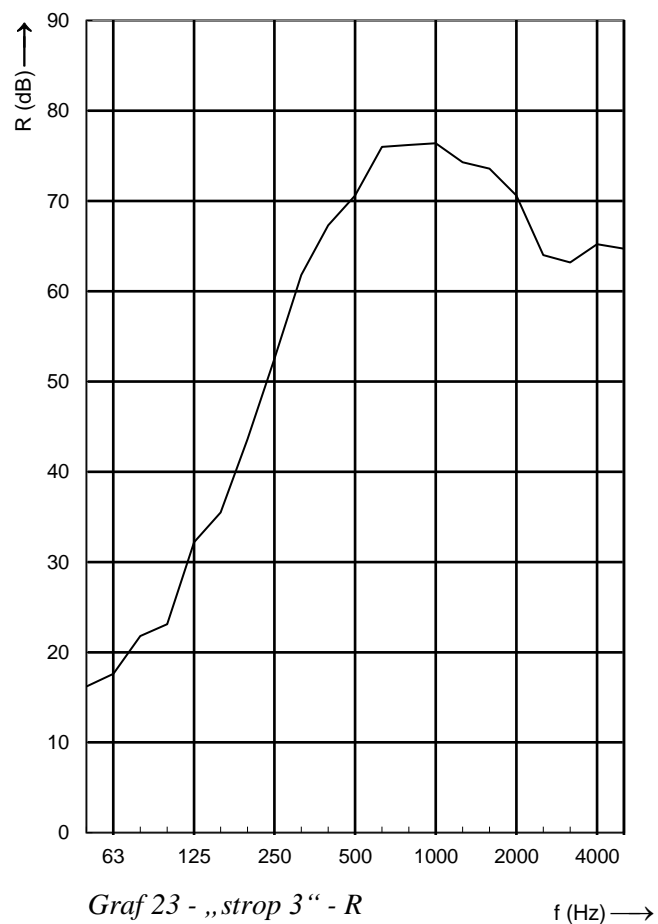
$$R_w(C; C_{tr}) = 56 (-6; -14) \text{ dB}$$

$$C_{50-3150} = -9 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -20 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	16,2
63	17,6
80	21,8
100	23,1
125	32,2
160	35,5
200	43,6
250	52,5
315	61,8
400	67,3
500	70,6
630	76,0
800	76,2
1000	76,4
1250	74,3
1600	73,6
2000	70,6
2500	64,0
3150	63,2
4000	65,2
5000	64,7

Tabulka 30 -
„strop 3“ - R

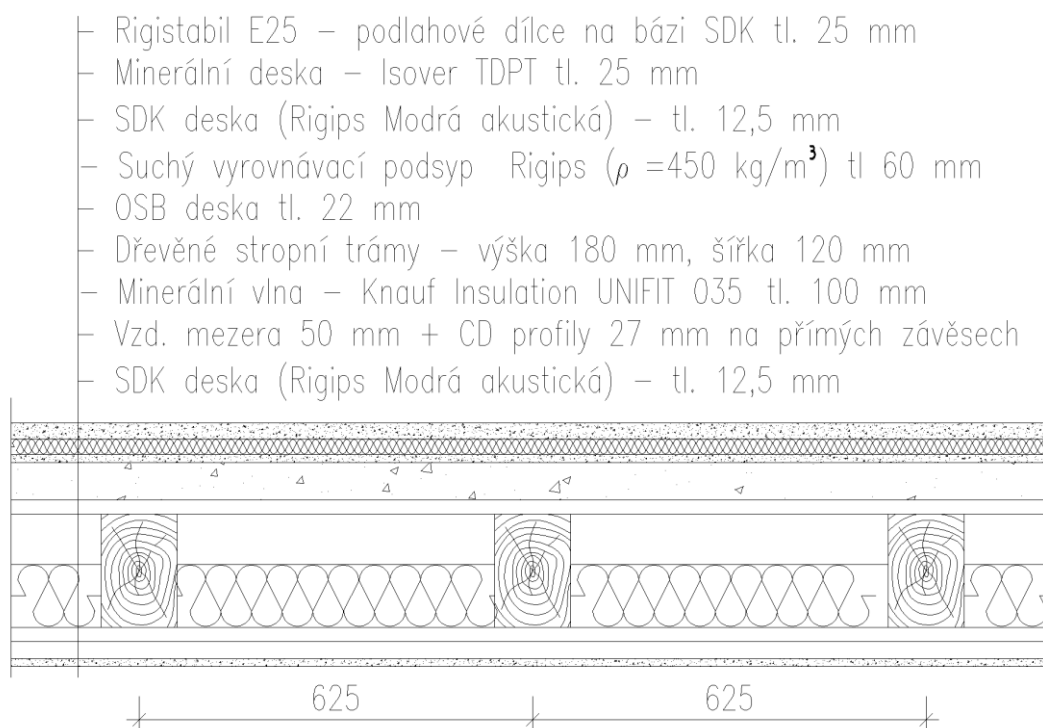


Graf 23 - „strop 3“ - R

f (Hz) →

3.2.5 Zkouška trámového „stropu 4“ s SDK podhledem a lehkou plovoucí podlahou s násypem

Dne 7.11.2019 byla v akustické laboratoři UCEEB provedena zkouška vzduchové a kročejové neprůzvučnosti stropní konstrukce, která byla oproti předchozí zkoušce rozšířena o vyrovnávací podsyp tl. 60 mm. Lehká plovoucí podlaha Rigistabil E25 tl. 25 mm (oproti předchozí zkoušce s prolepenými spoji) s minerální deskou Isover TDPT tl. 25 mm. Na podsypu Rigips byla položena SDK deska modrá akustická tl. 12,5 mm. Samotný podsyp Rigips tl. 60 mm byl aplikován na záklop z OSB desky. Konstrukce podhledu byla stejná jako v předchozí zkoušce. Tedy mezi trámy vložena minerální vata Knauf Insulation UNIFIT 035 tl. 100 mm. Rošt podhledu z CD profilů Rigips po 500 mm (cca 16+34+50+50+50+50+18 cm) na přímé závěsy Rigips kotvené do trámů. A po obvodě na ostění otvoru lepené UD profily Rigips pomocí lepidla Mamut. Na CD profily byla naistalována SDK deska Rigips Modrá akustická tl. 12,5 mm.



Obrázek 61 - Schéma měřené skladby - „strop 4“



Obrázek 62 - Realizace násypu - „strop 4“



Obrázek 63 - Konstrukce podlahy - „strop 4“

3.2.5.1 Kročejová neprůzvučnost

Podmínky při měření kročejové neprůzvučnosti byly následující:

Místnost příjmu:

Objem: 68,3 m³
 Teplota vzduchu: 21,3 °C
 Relativní vlhkost: 45,3 %
 Atmosférický tlak: 96,3 kPa

Místnost zdroje:

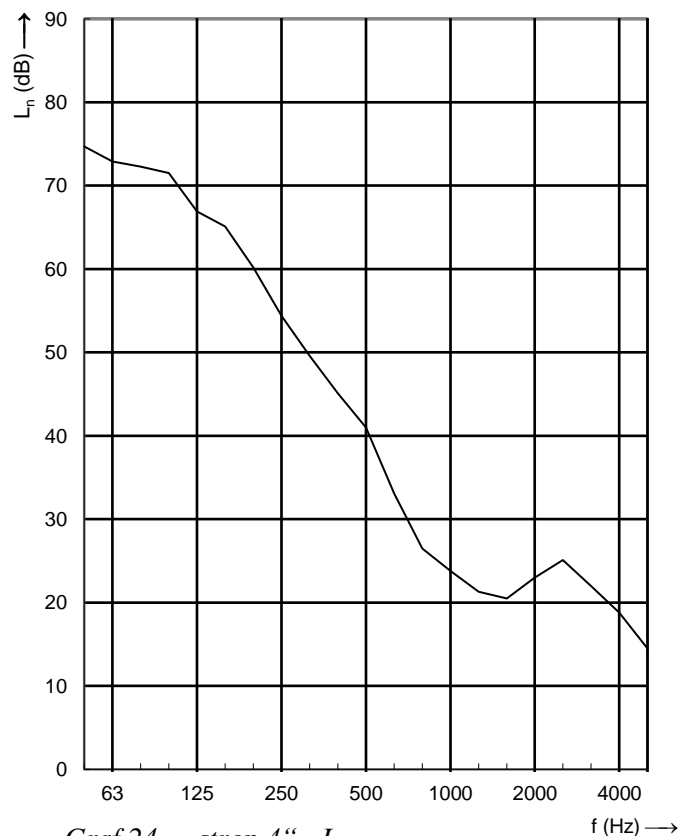
Objem: 63,7 m³
 Teplota vzduchu: 20,2 °C
 Relativní vlhkost: 49,3 %

Jednočíselné naměřené hodnoty:

$$L_{n,w}(C_I) = 56 (3) \text{ dB}$$

$$C_{I,50-2500} = 9 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	L _n 1/3 oktávy [dB]
50	74,7
63	72,9
80	72,3
100	71,5
125	66,9
160	65,1
200	60,2
250	54,4
315	49,6
400	45,1
500	41,0
630	33,1
800	26,5
1000	23,8
1250	21,3
1600	20,5
2000	23,0
2500	25,1
3150	22,0
4000	18,8
5000	14,5



Graf 24 - „strop 4“ - L_n

Tabulka 31 -
 „strop 4“ - L_n

3.2.5.2 Vzduchová neprůzvučnost

Podmínky při měření vzduchové neprůzvučnosti byly následující:

Objem: místnosti zdroje	68,3 m ³
Objem: místnosti příjmu	63,7 m ³
Plocha zkoušeného vzorku:	11,12 m ²
Teplota vzduchu:	20,2 °C
Relativní vlhkost:	49,3 %
Atmosférický tlak:	96,3 kPa

Jednočíselné naměřené hodnoty:

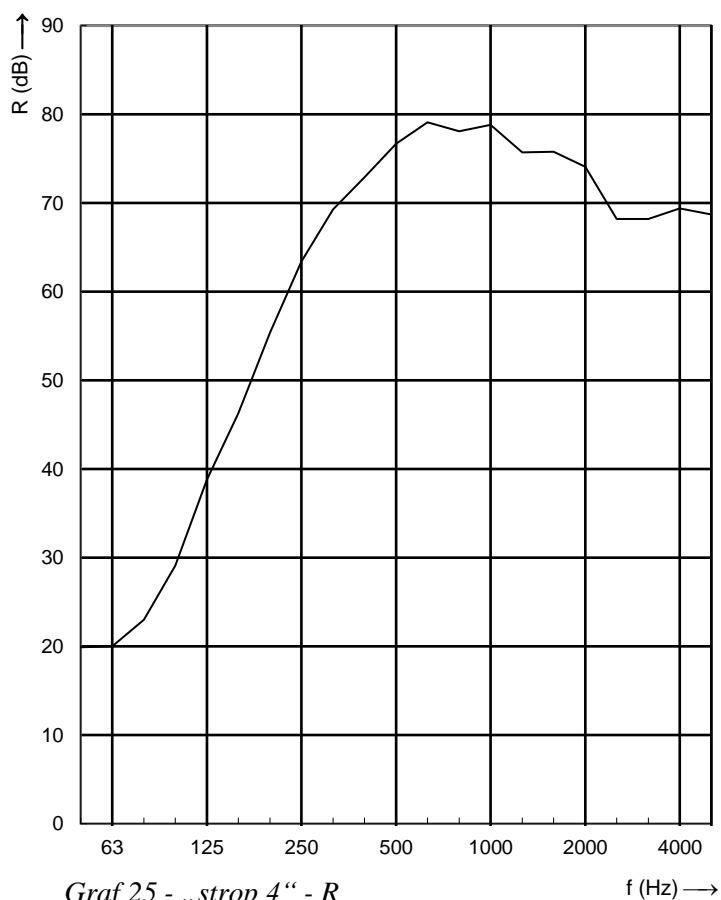
$$R_w(C; C_{tr}) = 64 (-7; -15) \text{ dB}$$

$$C_{50-3150} = -13 \text{ dB}$$

$$C_{tr,50-3150} = -25 \text{ dB}$$

Frekvence f [Hz]	R 1/3 oktávy [dB]
50	19,9
63	20,0
80	23,0
100	29,1
125	38,8
160	46,3
200	55,4
250	63,4
315	69,3
400	72,9
500	76,7
630	79,1
800	78,1
1000	78,8
1250	75,7
1600	75,8
2000	74,1
2500	68,2
3150	68,2
4000	69,4
5000	68,7

Tabulka 32 -
„strop 4“ - R



Graf 25 - „strop 4“ - R

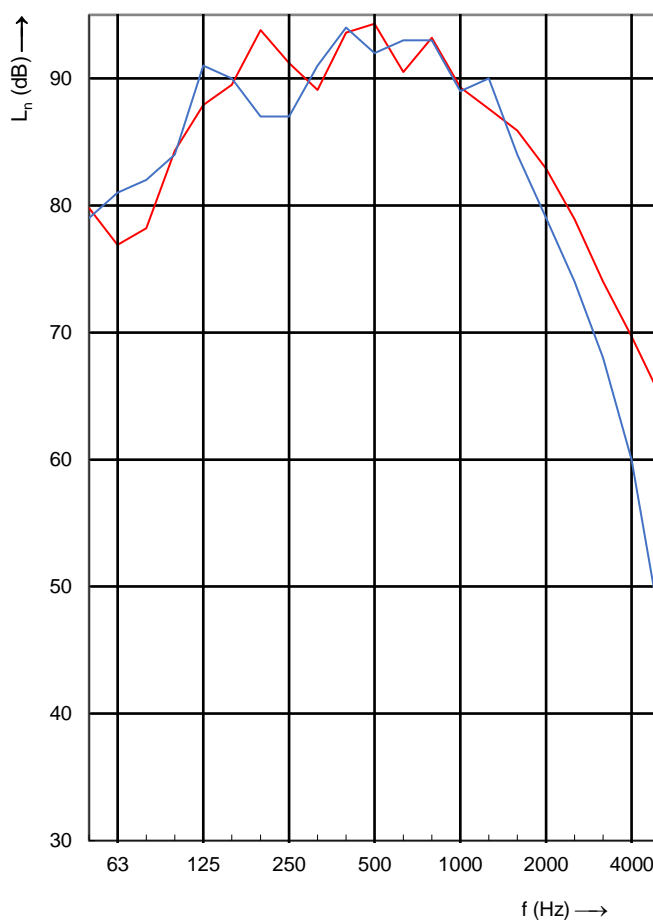
3.3 Porovnání naměřených hodnot

3.3.1 Strop 1 - naměřené a vypočtené hodnoty

3.3.1.1 Kročejová neprůzvučnost

Legenda:

- Naměřené hodnoty
- Vypočtené hodnoty



Graf 26 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – L_n

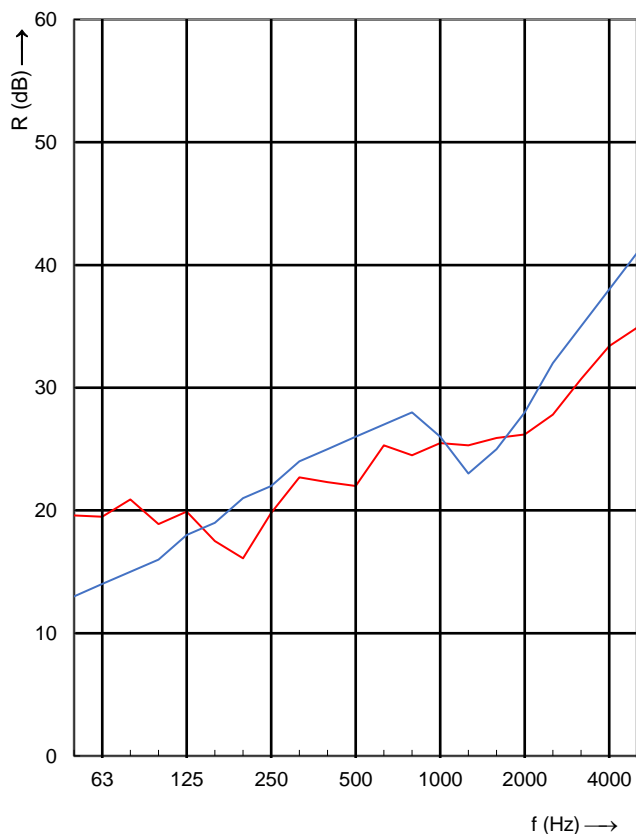
Varianta	$L_{n,w}(C_1)$	$C_{1,50-2500}$
Vypočtená hodnota	90 (-3)	-3
Naměřená hodnota	91 (-4)	-4

Tabulka 33 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – kročejová neprůzvučnost

3.3.1.2 Vzduchová neprůzvučnost

Legenda:

- Naměřené hodnoty
- Vypočtené hodnoty



Graf 27 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – vzduchová neprůzvučnost

Varianta	$R_w (C; C_{tr})$	$C_{50-3150}$	$C_{tr,50-5000}$
Vypočtená hodnota	27 (-1;-3)	0,	-3
Naměřená hodnota	26 (-1;-2)	-1,	-3

Tabulka 34 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – R_w

3.3.1.3 Zhodnocení

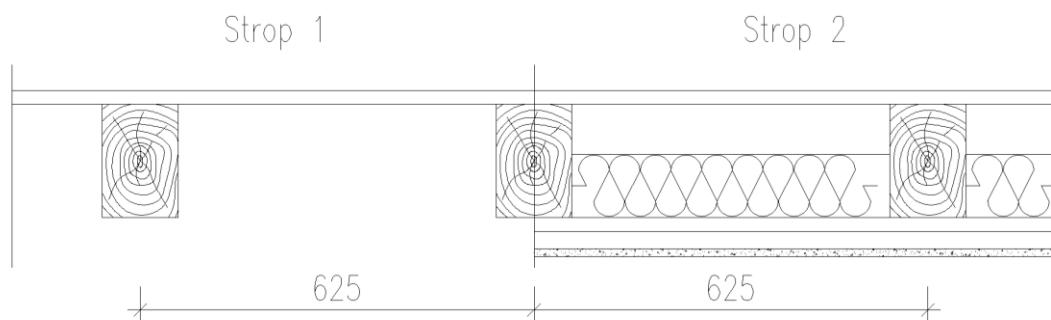
Provedl jsem srovnání průběhů a výsledných jednočíselných hodnot kročejové a vzduchové neprůzvučnosti naměřených v laboratoři s vypočtenými hodnotami pomocí softwaru INSUL. Jak lze pozorovat ve výše vedených tabulkách a grafech, průběhy vzduchové i kročejové neprůzvučnosti jsou velmi obdobné a jednočíselné hodnoty neprůzvučností i faktorů přizpůsobení spektru se liší maximálně o jeden decibel. K jedině, z mého pohledu významné odchylce mezi měřeními a výpočtem dochází u vzduchové neprůzvučnosti v nízkých kmitočtech (<125 Hz), kde se velmi liší vypočtená hodnota od naměřené. Lepší hodnoty vykazuje měřená konstrukce, a to považuji za pozitivní.

3.3.2 Porovnání všech měření – popis výsledků

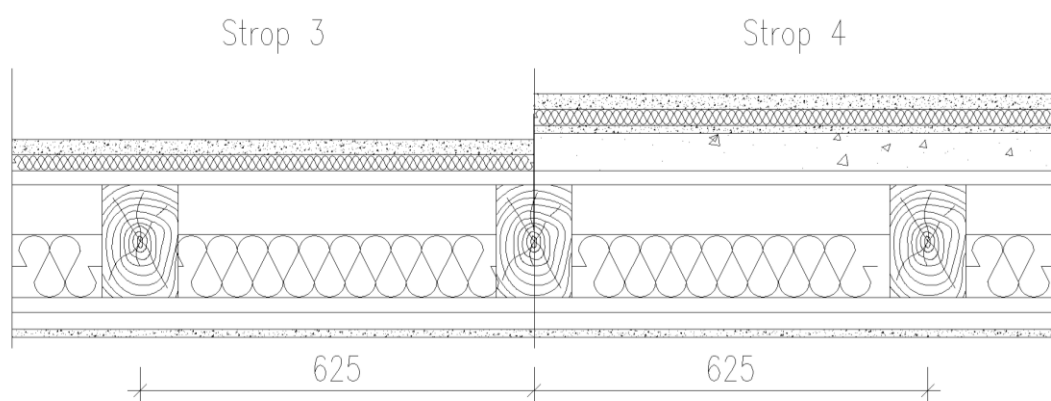
V následujících odstavcích bude popsán postup a souvislost mezi měřením jednotlivých skladeb dřevěného trámového stropu provedeného v laboratoři UCEEB. Přesné a detailní popsání skladeb – viz část 3.2.

U prvního měření (strop 1) se jednalo pouze o dřevěné trámy (180/120 mm) se záklopem z OSB desek tl. 22 mm s roztečí 625 mm. Tato část referenční skladby C1 byla v předchozích odstavcích porovnána s výpočty ve specializovaném SW. Důvodem pro absenci srovnání následujících skladeb s výpočty je absence možnosti vymodelování přímých závěsů a roštu z CD profilů v použitém programu INSUL. Případné nahrazení systému závěsů a roštu nepovažuji za vhodné řešení.

U druhé zkoušky (strop 2) byl nainstalován na zkoušenou konstrukci, jak již bylo naznačeno v předchozím odstavci, sádkartonový podhled na CD profilech Rigips a přímé závěsy. Pomocí profilů byla vytvořena vzduchová mezera o tloušťce 50 mm (vč. profilů). Mezi nosníky byla vložena minerální vata Knauf Insulation UNIFIT 035 tl. 100 mm. Po obvodu byly umístěny UD profily Rigips, které byly nalepeny k ostění otvoru pomocí lepidla Mamut. Na rošt z CD profilů byla instalována SDK deska Rigips Modrá akustická tl. 12,5 mm



Obrázek 64 - Srovnání stropu 1 a 2



Obrázek 65 - Srovnání stropu 3 a 4

Při realizaci třetí skladby (strop 3) došlo k rozšíření předchozí zkoušky o lehkou plovoucí podlahu ve formě desek Rigistabil E25 tl. 25 mm na bázi sádkartonu. Jako izolační vrstva sloužily desky z minerálních vláken ISOVER TDPT tl. 25 mm.

Při posledním měření (strop 4) došlo k demontáži lehké plovoucí podlahy z předchozí zkoušky. Následně byl na záklop nanesen násyp Rigips tl. 60 mm s objemovou hmotností 450 kg/m³ na který byly volně položeny SDK desky (Rigips Modrá akustická) tl. 12,5 mm. Na tyto desky byla položena vrstva desek z minerálních vláken a lehká plovoucí podlaha Rigistabil E25 z předchozí zkoušky. Na rozdíl od „stropu 3“ došlo při této zkoušce k prolepení spojů mezi deskami Rigistabil E25.

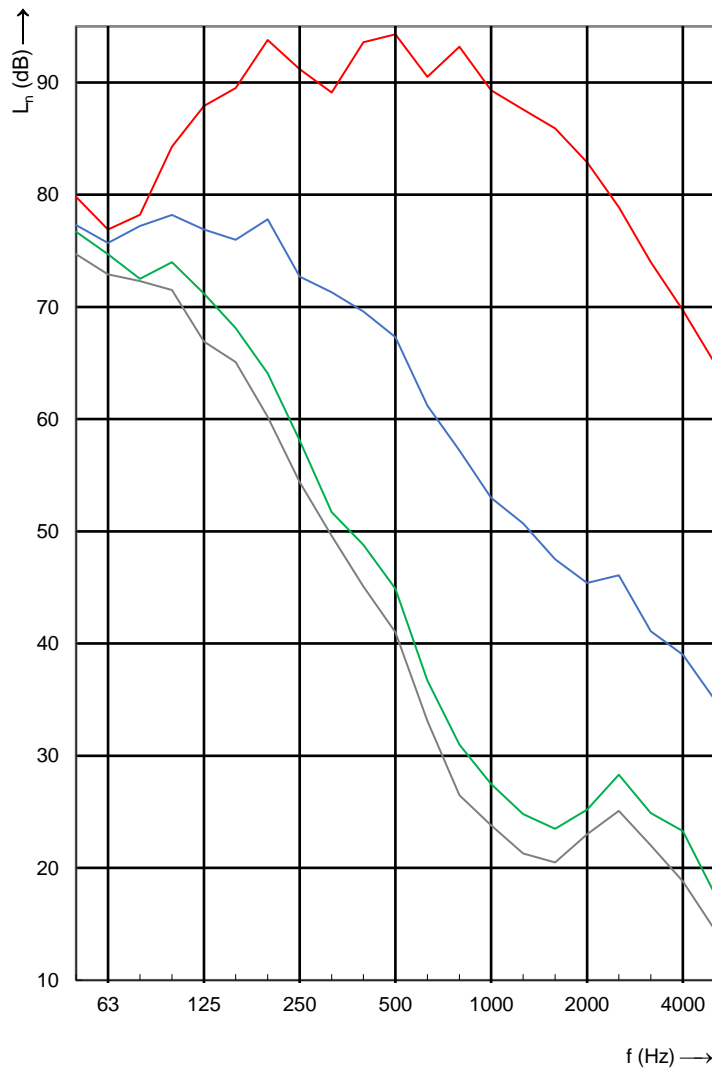
3.3.2.1 Kročejová neprůzvučnost

Varianta	$L_{n,w}$	$C_{I,50-2500}$	C_I
Strop 1	91	-4	-4
Strop 2	69	0	2
Strop 3	60	7	2
Strop 4	56	9	3

Legenda:

- Strop 1
- Strop 2
- Strop 3
- Strop 4

Tabulka 35 - Porovnání naměřených hodnot – kročejová neprůzvučnost



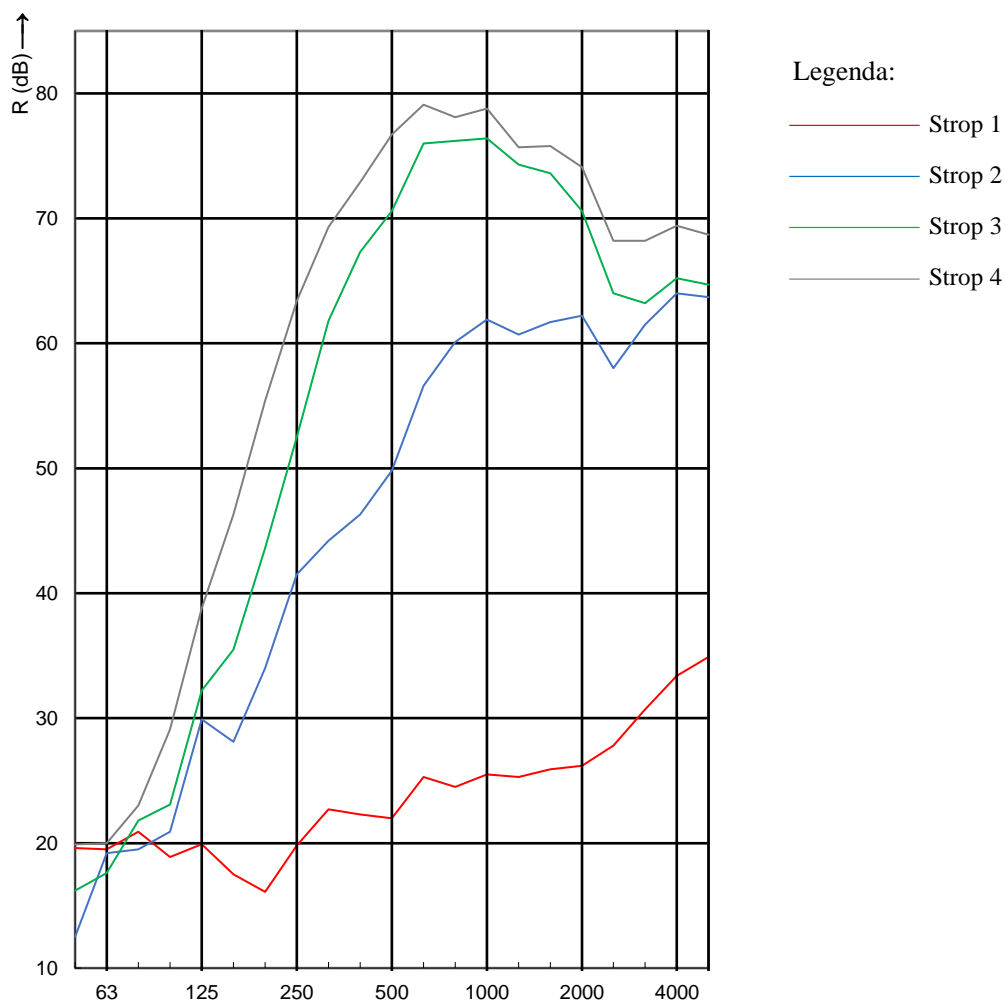
Graf 28 - Porovnání naměřených hodnot – L_n

První měřená skladba vykazuje očekávatelně nejhorší hodnoty kročejové neprůzvučnosti v celém rozsahu měřených frekvencí. Přidáním SDK podhledu dochází k výraznému zlepšení kročejové neprůzvučnosti u $L_{n,w}$ o **22 dB**. Domnívám se, že by bylo možné při použití jiného způsobu kotvení konstrukce podhledu dosáhnout lepších výsledků. Viz část práce 2.3.4.5, kdy vypočtená hodnota $L_{n,w}$ při použití akustických profilů (HUT) byla lepší o **3 dB** a při použití nezávislého podhledu o **7 dB** než v případě provedené zkoušky. U faktorů přizpůsobení spektru $C_{1,50-2500}$ a C_I dochází k zhoršení o **4 dB** respektive **6 dB**, což je dáno průběhem hladiny akustického tlaku kročejového zvuku v závislosti na kmitočtu kdy u první zkoušené konstrukce je kročejová neprůzvučnost v nízkých kmitočtech (cca <125 Hz) lepší než ve středních kmitočtech (cca 125-2000 Hz), což se u ní odráží zápornými hodnotami faktorů přizpůsobení spektru.

Zkoušený strop 3 se skladbou lehké plovoucí podlahy bez násypu vykazuje v porovnání s výchozí skladbou (strop 1) a skladbou „stropu 2“ v případě $L_{n,w}$ zlepšení o **31 dB** resp. **9 dB**. U faktoru přizpůsobení spektru $C_{1,50-2500}$ dochází k dalšímu zhoršení o **7 dB**, což je dáno výraznějším poměrem mezi nízkými a vysokými frekvencemi (strmějším klesáním křivky L_n).

Přidáním suchého vyrovnávacího podsypu Rigips tl. 60 mm spolu s jednou Modrou akustickou deskou Rigips tl. 12,5 mm u „stropu 4“ mělo pozitivní vliv na kročejovou neprůzvučnost v celém rozsahu měření, kdy je číselná hodnota snížení hladiny akustického tlaku kročejového zvuku velmi podobná. U $L_{n,w}$ došlo u poslední měřené skladby ke snížení o **4 dB** oproti předchozí skladbě (bez násypu). U faktorů přizpůsobení spektru $C_{1,50-2500}$ a C_I dochází k zhoršení o **2 dB**, respektive **1 dB**. Dle mého názoru by bylo vhodnější použití podsypu o vyšší objemové hmotnosti. Například voštinový systém konkurenčního výrobce fermacell, který udává více než 3x vyšší objemovou hmotnost (1500 kg/m³) [25], než u podsypu použitého při zkoušce.

3.3.2.2 Vzduchová neprůzvučnost



Graf 29 - Porovnání naměřených hodnot – R f (Hz) →

Varianta	R_w	$C_{50-3150}$	C	$C_{tr,50-3150}$	C_{tr}
Strop 1	26	-1	-1	-3	-2
Strop 2	49	-5	-3	-10	-16
Strop 3	56	-9	-6	-20	-14
Strop 4	64	-13	-7	-25	-13

Tabulka 36 - Porovnání naměřených hodnot – vzduchová neprůzvučnost

První měřená skladba vykazuje očekávatelně nejhorší hodnoty vzduchové neprůzvučnosti v téměř celém rozsahu měřených frekvencí. Výjimkou je pásmo cca pod 100 Hz, tj. v okolí rezonančního kmitočtu, kde zkoušená skladba překonává i strop 2 a 3. Přidáním SDK pohledu ve skladbě „stropu 2“ bylo dosaženo zlepšení R_w o **23 dB**.

Zkoušený „strop 3“ se skladbou lehké plovoucí podlahy bez násypu vykazuje v porovnání s výchozí skladbou (strop 1) a skladbou „stropu 2“ v případě R_w zlepšení o **30 dB** resp. **7 dB**.

Přidáním suchého vyrovnávacího podsypu Rigips tl. 60 mm spolu s jednou Modrou akustickou deskou Rigips tl. 12,5 mm u „stropu 4“ mělo pozitivní vliv na vzduchovou neprůzvučnost v celém rozsahu měření. Jako jediná zkoušená skladba vykazuje lepší výsledky v nízkých kmitočtech než jednoprvková konstrukce (strop 1). Zlepšení oproti skladbě bez násypu (strop3) je u R_w o **8 dB**, což považuji za dobrý výsledek.

Celkově hodnoty faktorů přizpůsobení spektru $C_{50-3150}$, C , $C_{tr,50-3150}$ a C_{tr} klesají, tak jak strměji stoupá křivka R u jednotlivých zkoušených stropů 1-4.

3.3.2.3 Zhodnocení měření

Při použití zjednodušeného přepočtu laboratorních hodnot vzduchové a kročejové neprůzvučnosti dle ČSN 73 0532, tedy použití korekcí $k_I = 6$ dB pro vzduchovou a $k_2 = 0$ dB pro kročejovou neprůzvučnost, lze naměřené hodnoty porovnat s požadavky zmíněné normy.

Jako požadavek označený v následující tabulce jako „RD“ jsem uvažoval požadavek zmíněné normy z řádky 1 „Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu“ tj. R'_w **minimálně 47 dB** a $L'_{n,w}$ **maximálně 63 dB**. Jako požadavek označený jako „BD“ jsem uvažoval řádek 2 „Všechny místnosti druhých bytů, včetně příslušenství“ tj. R'_w **minimálně 53 dB** a $L'_{n,w}$ **maximálně 55 dB**.

Červená barva v tabulce označuje nesplnění příslušného požadavku, zelená naopak jeho splnění.

	Naměřená hodnota		Stavební hodnota		Požadavek ČSN 730532			
	R_w	$L_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$	RD		BD	
					R'_w	$L'_{n,w}$	R'_w	$L'_{n,w}$
Strop 1	26	91	20	91	20	91	20	91
Strop 2	49	69	43	69	43	69	43	69
Strop 3	56	60	50	60	50	60	50	60
Strop 4	64	56	58	56	58	56	58	56

Tabulka 37 - Vyhodnocení naměřených hodnot dle požadavků ČSN 73 0532

Jak je z tabulky patrné požadavky na vzduchovou i kročejovou neprůzvučnost pro rodinný dům plní dvě poslední zkoušené skladby (strop 3 a 4). Jedná se o skladby s lehkou plovoucí podlahou bez podsypu (strop 3) a s podsypem (strop 4). Požadavek pro bytový dům nesplní ani jedna ze zkoušených skladeb.

4 Závěr

Hlavním cílem této práce bylo dosáhnout zpracování uceleného pohledu na navrhování dřevěných, zejména nosníkových, stropních konstrukcí z pohledu stavební akustiky.

Z uvedeného přehledu požadavků, které jsou na dřevěné stropní konstrukce obecně kladeny vyplívá, že jsou tyto konstrukce problematictější, než tradiční železobetonové stropy. Například objekty s dřevěnými stropními konstrukcemi jsou zpravidla zatříděny do konstrukčních systémů z požárního hlediska smíšených nebo hořlavých. To limituje jejich požární výšku. Dále dřevěné stropní konstrukce zpravidla nejsou dostatečně tuhé pro přenesení sil v horizontální rovině, a proto se zpravidla uplatní spíše u nižších staveb.

Z přehledu vlivu různých konstrukčních řešení a parametrů dřevěných stropních konstrukcí na jejich akusticky izolační vlastnosti vyplívá několik důležitých zásad a doporučení pro jejich návrh. Na provedených výpočtech bylo předvedeno, že je zejména z hlediska vzduchové neprůzvučnosti, vhodnější volit vyšší průřez nosníků s větší osovou vzdáleností. Dále byl v této části vysvětlen pozitivní dopad zvyšování plošné hmotnosti konstrukce na akusticky izolační vlastnosti stropu. Byl proveden výpočet různých variant konstrukce podhledu. Zároveň bylo popsáno chování stropní konstrukce s podhledem jako dvouprvkové konstrukce, kdy často klesá její neprůzvučnost v okolí rezonančního kmitočtu pod hodnoty které by vykazovala konstrukce jednoprvková. Je žádoucí volit takovou konstrukci podhledu, která bude přenášet minimum vibrací. Tedy nejvhodnějším řešením je podhled zcela nezávislý na stropní konstrukci, případně použití akustických profilů podhledu. Nejméně vhodným řešením se jeví přímé kotvení desek do nosných prvků stropu. Dále byla popsána problematika návrhu vláknité izolace ve vzduchové dutině podhledu. Na základě odborných publikací a provedených výpočtů je vhodné volit vláknité izolační materiály s vyšší hodnotou měrného odporu proti proudění vzduchu a tloušťkou minimálně 50 mm, a naopak zvyšování tloušťky nad 100 mm nemá na vzduchovou neprůzvučnost zásadní vliv (v případě použití materiálu s měrným odporem proti proudění vzduchu $r = 10000 \text{ Pa}\cdot\text{s}\cdot\text{m}^{-2}$). Konstrukci podlahy je vhodné volit nejlépe plovoucí. Lehká konstrukce plovoucí podlahy má zpravidla horší zvukově izolační vlastnosti, než těžká, ale také výrazně nižší plošnou hmotnost. V práci byl také proveden výpočet zlepšení kročejové neprůzvučnosti při použití povlakové podlahy s kobercem a tlumicí podložkou. Toto řešení se ukázalo jako problematické, kdy celkové zlepšení $L_{n,w}$ je značné, nicméně v třetínoctávkových pásmech s klesající frekvencí výrazně klesá i účinnost tohoto opatření.

Dále byla v programu BASTIAN na praktickém příkladu ověřena vhodnost v práci používané korekce $k_l = 6 \text{ dB}$ pro přepočty z laboratorních na stavební hodnoty vzduchové neprůzvučnosti. Při výpočtu pro dřevěnou stropní konstrukci v kombinaci se zděnou a dřevěnou stěnou bylo dosaženo rozdílu mezi laboratorní a stavební neprůzvučnosti 6 respektive 4 dB.

Na srovnání průběhů vzduchové a kročejové neprůzvučnosti železobetonové a dřevěné stropní konstrukce bylo potvrzeno předpokládané problematické chování dřevěných stropů na nízkých kmitočtech.

V praktické části práce byla změřena vzduchová a kročejová neprůzvučnost v akustické laboratoři při UCEEB v Buštěhradě. Jednalo se o trémový strop bez podhledu, trémový strop s podhledem, trémový strop s podhledem a lehkou plovoucí podlahou a nakonec trémový strop s podhledem, podlahou a vyrovnávacím násypem. Ani jedna z měřených skladeb by nespĺnila požadavky normy ČSN 73 0532 pro použití v bytovém domě. Pro použití v rodinném domě by bylo možné použít dvě poslední skladby s konstrukcí podlahy. Domnívám se že by bylo vhodné zlepšit zvukově izolační vlastnosti zkoušené konstrukce nahrazením použitých přímých závěsů SDK pohledu nezávislou konstrukcí, nebo akustickými profily. Dále by bylo vhodné použití dvou desek podhledu, případně násypu s vyšší objemovou hmotností.

V praktické části práce jsem také provedl srovnání první měřené skladby s výsledky vypočítanými v programu INSUL. Průběhy vzduchové a kročejové neprůzvučnosti uvedené v grafech jsou velmi obdobné, jednočíselné hodnoty vzduchové a kročejové neprůzvučnosti se liší shodně o jeden decibel. To, dle mého názoru, podporuje relevanci vypočtených hodnot uvedených v této práci.

5 Seznamy:

5.1 Seznam použitých zdrojů

1. Konstrukce pozemních staveb 10: nosné konstrukce 1. Vyd. 2. přeprac. Praha: České vysoké učení technické, 2000. ISBN 80-010-2243-9.
2. ČSN EN 1995-1-1 Eurokód 5: Navrhování dřevěných konstrukcí - Část 1-1: Obecná pravidla - Společná pravidla a pravidla pro pozemní stavby
3. ČSN 73 0821 ed.2 - PBS – Požární odolnost stavebních konstrukcí
4. ČSN 73 0802 - PBS – Nevýrobní objekty
5. ALBERTI, Leon Battista. Deset knih o stavitelství. Praha: Státní nakladatelství krásné literatury, hudby a umění, 1956. VA. 38875/55/SV2-D 04771. VA. 38875/55/SV2-D 04771.
6. KOHOUT, Jaroslav, Antonín TOBEK a Pavel MÜLLER. Tesařství: tradice z pohledu dneška. 8. upr. a dopl. vyd. Praha: Grada, 1996. Stavitel. ISBN 80-7169-413-4.
7. WITZANY, Jiří. PDR - poruchy, degradace a rekonstrukce. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN 978-80-01-04488-9.
8. ČSN 73 0532 Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky
9. Homb, A. et al. (2016) ‘Impact sound insulation of wooden joist constructions: Collection of laboratory measurements and trend analysis’, *Building Acoustics*, 23(2), pp. 73–91. doi: 10.1177/1351010X16645971.
10. Dataholz.eu - Intermediate floor [online]. Rakousko: -, 2019 [cit. 2019-09-23]. Dostupné z: <https://www.dataholz.eu/en/components/intermediate-floor.htm>
11. KAŇKA, Jan a Jiří NOVÁČEK. Stavební fyzika 3. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05674-5.
12. Queirós, D., Calejo Rodrigues, R. and Pereira, N. (2016) ‘Historical building acoustical retrofit: An experimental examination of traditional wooden floors’, *Building Acoustics*, 23(3–4), pp. 181–191. doi: 10.1177/1351010X16674945.
13. Brunskog, J & Hammer, P 2003, Design possibilities for impact noise insulation in lightweight floors: A parameter study. in *Euronoise*. pp. 58, European Conference on Noise Control, Naples, Italy, 19/05/2003.

14. Wuyts, D. et al. (2006) 'Laboratory Sound Insulation Measurements of Improved Timber Floor Constructions: A Parametric Survey', *Building Acoustics*, 13(4), pp. 311–325. doi: 10.1260/135101006779320483.
15. Cao, Leitao & Fu, Qiuxia & Si, Yang & Ding, Bin & Yu, Jianyong. (2018). Porous materials for sound absorption. *Composites Communications*. 10. 25-35. 10.1016/j.coco.2018.05.001.
16. RUBÁŠ, Pavel. Princip stanovení měrného odporu proti proudění vzduchu u stavebních materiálů. *Metrologie : vědecká, legální, praktická*. 2018, 27(2/2018), 19-21. ISSN 1210-3543.
17. Bilová, M., & Lumnitzer, E. (2011). Acoustical parameters of porous materials and their measurement. *Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering*, 4(4), 39.
18. Delany, M. E., & Bazley, E. N. (1970). Acoustical properties of fibrous absorbent materials. *Applied acoustics*, 3(2), 105-116.
19. ČSN EN ISO 10140-3 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – Část 3: Měření kročejové neprůzvučnosti.
20. ČSN EN ISO 10140-2 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – Část 2: Měření vzduchové neprůzvučnosti
21. Požární a akustický katalog - Katalog konstrukcí fermacell [online]. In: . 03/2019, s. 51-56 [cit. 2019-10-28]. Dostupné z: <https://www.fermacell.cz/cz/ke-stazeni>
22. NOVÁČEK, Jiří. Hodnocení vzduchové neprůzvučnosti v budovách [online]. [cit. 2019-10-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/188-hodnoceni-vzduchove-nepruzvucnosti-v-budovach>
23. Sean, Smith & Machimbarrena, Maria & Fausti, Patrizio & Rasmussen, Birgit & Gerretsen, Eddy. (2014). *Building acoustics throughout Europe Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe*. -
24. Technická příručka – Nosníky [online]. 2019 [cit. 2019-11-12]. Dostupné z: https://www.steico.com/fileadmin/steico/content/pdf/Marketing/Czech/Konstruktionshefte/STEICO_Technicka_prirucka_Nosniky_cz_i.pdf
25. Fermacell: Voštinový zásyp[online]. In: . [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: <https://www.mta.cz/produkty/materialy-pro-drevostavbu/sucha-vystavba/vostinovy-zasyp-fermacell/>
26. KUKLÍK, Petr. *Dřevěné konstrukce*. Praha: Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2005. ISBN 80-010-3310-4.
27. KOLB, Josef. *Dřevostavby: systémy nosných konstrukcí, obvodové pláště*. Praha: Grada, 2008. ISBN 978-80-247-2275-7.

28. Martins, Carlos & Santos, Pedro & Almeida, Pedro & Godinho, L. & Dias, A.. (2015). Acoustic performance of timber and timber-concrete floors. *Construction and Building Materials*. 101. 684-691. 10.1016/j.conbuildmat.2015.10.142.
29. NOVATOP ELEMENT: Technická dokumentace [online]. In: . 04/2019 [cit. 2019-11-24]. Dostupné z: <https://www.novatop-system.cz/novatop-download/novatop-element-prostropy-a-strechy/?v=63585>
30. ČSN EN ISO 12354-1 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi.
31. ČSN EN ISO 12354-2 Stavební akustika – Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků – Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi.
32. ČSN EN ISO 10140-5 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – část 5: Požadavky na zkušební zařízení a přístrojové vybavení
33. Akustická laboratoř: Měření a výpočty v oblasti stavební a prostorové akustiky [online]. In: . [cit. 2019-12-02]. Dostupné z: https://www.uceeb.cz/system/files/souboryredakce/rp1_akusticka-laborator.pdf
34. ČSN EN ISO 10140-4 – Akustika – Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí – část 4: Měřicí postupy a požadavky

5.2 Seznam použitých obrázků

Obrázek 1 - Čistý konečný průhyb.....	13
Obrázek 2 - Dřevěný trámový strop.....	15
Obrázek 3 – Kapucínský trámový strop.....	15
Obrázek 4 – Dřevěný trámový strop se záklopem a násypem	16
Obrázek 5 – Dřevěný trámový strop se záklopem, násypem a rákosovou omítkou.....	16
Obrázek 6 – Dřevěný trámový strop se zapuštěným záklopem, násypem a rákosovou omítkou	17
Obrázek 7 - Dřevěný trámový strop s rákosníky.....	17
Obrázek 8 – Fošnový strop	18
Obrázek 9 – Povalový strop	18
Obrázek 10 - Změna výšky průřezu.....	21
Obrázek 11 - Modifikovaná skladba C1	21
Obrázek 12 - gdrnxa01a – těžká plovoucí podlaha [10]	22
Obrázek 13 - gdrtn02a – lehká plovoucí podlaha [10].....	22
Obrázek 14 - Vliv podhledu a vložené minerální izolace	25
Obrázek 15 - Závislost činitele pohltivosti zvuku na měrném odporu proti proudění vzduchu dle kmitočtu – hodnoty převzaty z [18], upraveno	28
Obrázek 16 - Schéma pružného profilu	29
Obrázek 17 - Schéma variant konstrukcí podhledů	30
Obrázek 18 - Skladba gdrnxa01a-00 převzato z [10].....	32
Obrázek 19 - Skladba gdrtn03a-00 převzato z [10].....	32
Obrázek 20 - Schéma skladeb podlahou/bez podlahy.....	34
Obrázek 21 - Schéma doporučené skladby	36
Obrázek 22 - Ukázka zadání skladby do SW INSUL	37
Obrázek 23 - Vedlejší přenosové cesty, vzduchová neprůzvučnost	39
Obrázek 24 - Vedlejší přenosové cesty, kročejová neprůzvučnost	41
Obrázek 25 - Těžká stěna.....	42
Obrázek 26 - Lehká stěna.....	42
Obrázek 27 - Spoje stěn a stropu použité ve výpočtu v programu BASTIAN	43
Obrázek 28 - Ukázka zadání do programu BASTIAN	43
Obrázek 29 - Schéma ŽB stropní konstrukce	44
Obrázek 30 - Schéma lehké stropní konstrukce	44
Obrázek 31 - Schéma trámového stropu	48
Obrázek 32 - Schéma fošnového stropu.....	48
Obrázek 33 - Schéma skladby p.1.....	49
Obrázek 34 - Schéma skladby p.2.....	49
Obrázek 35 - Schéma skladby p.3.....	50
Obrázek 36 - Schéma stropů s nosníky z I profilů	50
Obrázek 37 - Schéma skladby p.4.....	51
Obrázek 38 - Schéma skladby p.5.....	52
Obrázek 39 - Schéma dřevobetonového stropu.....	52
Obrázek 40 - Schéma srovnání dřevobetonového stropu s dřevěným	53
Obrázek 41 - Schéma srovnání dřevěného a dřevobetonového stropu, na základě [28].....	54
Obrázek 42 - Schéma masivních dřevěných stropů	55
Obrázek 43 - Schéma skladby p.6.....	56
Obrázek 44 - Schéma skladby p.7.....	56
Obrázek 45 - schéma skladby p.8	56
Obrázek 46 - Schéma stropů se skříňovou konstrukcí	57
Obrázek 47- Schéma skladby p.9.....	57
Obrázek 48 - Použité vybavení	58
Obrázek 49 - Použité vybavení	58
Obrázek 50 - Schéma akustické komory UCEEB – převzato z [33].....	59

Obrázek 51 - Schéma „strop 1“	62
Obrázek 52 - Pohled na záklop „strop 1“	62
Obrázek 53 - Spodní pohled na „strop 1“ ze dveří akustické komory	63
Obrázek 54 - Spodní pohled na „strop 1“	63
Obrázek 55 - Schéma měřené skladby „strop 2“	66
Obrázek 56 - spodní pohled na „strop 2“ - částečně vložena izolace.....	66
Obrázek 57 - Spodní pohled na „strop 2“ - rošt a závěsy podhledu.....	67
Obrázek 58 - Spodní pohled na „strop 2“	67
Obrázek 59 - Schéma měřené skladby „strop 3“	70
Obrázek 60 - Horní pohled na konstrukci podlahy „strop 3“	70
Obrázek 61 - Schéma měřené skladby - „strop 4“	73
Obrázek 62 - Realizace násypu - „strop 4“	74
Obrázek 63 - Konstrukce podlahy - „strop 4“	74
Obrázek 64 - Srovnání stropu 1 a 2.....	79
Obrázek 65 - Srovnání stropu 3 a 4.....	79

Pokud není uvedeno jinak, je autorem použitých obrázků autor této práce.

5.3 Seznam použitých tabulek

Tabulka 1 - Součinitel prostupu tepla – požadavky (převzato z ČSN 73 0540-2).....	14
Tabulka 2 – Požadavky na zvukovou izolaci – převzato z [3].....	20
Tabulka 3 – Výška průřezu.....	21
Tabulka 4 – Osová vzdálenost nosníků.....	23
Tabulka 5 - Vliv podhledu a minerální izolace.....	25
Tabulka 6 - Tloušťka vložené izolace.....	27
Tabulka 7 - Konstrukce podhledu.....	29
Tabulka 8 - Vliv nášlapné vrstvy.....	32
Tabulka 9 - Lehká a těžká plovoucí podlaha – dataholz [10].....	33
Tabulka 10 - Lehká a těžká plovoucí podlaha [14].....	33
Tabulka 11 - Lehká plovoucí podlaha.....	34
Tabulka 12 - Doporučená skladba.....	37
Tabulka 13 - Vliv bočních cest šíření zvuku.....	43
Tabulka 14 - Dřevěný a ŽB strop.....	44
Tabulka 15 - Skladba p.1.....	49
Tabulka 16 - Skladba p.2.....	49
Tabulka 17 - Skladba p.3.....	50
Tabulka 18 - Skladba p.4.....	51
Tabulka 19 - Skladba p.5.....	51
Tabulka 20 - Srovnání variant – dřevobetonový strop.....	53
Tabulka 21 - Skladba p.6.....	56
Tabulka 22 - Skladba p.7.....	56
Tabulka 23 - Skladba p.8.....	56
Tabulka 24 - Skladba p.9.....	57
Tabulka 25 - „strop 1“ - L_n	64
Tabulka 26 - „strop 1“ - R_w	65
Tabulka 27 - „strop 2“ - L_n	68
Tabulka 28 - „strop 2“ - R_w	69
Tabulka 29 - „strop 3“ - L_n	71
Tabulka 30 - „strop 3“ - R_w	72
Tabulka 31 - „strop 4“ - L_n	75
Tabulka 32 - „strop 4“ - R_w	76
Tabulka 33 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – kročejová neprůzvučnost.....	77
Tabulka 34 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – R_w	78
Tabulka 35 - Porovnání naměřených hodnot – kročejová neprůzvučnost.....	80
Tabulka 36 - Porovnání naměřených hodnot – vzduchová neprůzvučnost.....	82
Tabulka 37 - Vyhodnocení naměřených hodnot dle požadavků ČSN 73 0532.....	83

5.4 Seznam použitých grafů

Graf 1 - Závislost R na výšce průřezu.....	22
Graf 2 - Závislost L_n na výšce průřezu.....	22
Graf 3 - Závislost L_n na osově vzdálenosti nosníků.....	23
Graf 4 - Závislost R na osově vzdálenosti nosníků.....	23
Graf 5 - Vliv přítomnosti podhledu na L_n	26
Graf 6 - Vliv přítomnosti podhledu na R.....	26
Graf 7 - Závislost R na tloušťce pohlcovače.....	27
Graf 8 - Závislost L_n na konstrukci podhledu.....	29
Graf 9 - Závislost R na konstrukci podhledu.....	30
Graf 10 - Závislost L_n na nášlapné vrstvě.....	31
Graf 11 - Závislost L_n na nášlapné vrstvě.....	34
Graf 12 - Průběh L_n – doporučená skladba.....	36
Graf 13 - Průběh R – doporučená skladba.....	37
Graf 14 - Průběh L_n – Srovnání dřevěného a ŽB stropu.....	45
Graf 15 - Průběh R – Srovnání dřevěného a ŽB stropu.....	46
Graf 16 - Průběh R – srovnání variant – dřevobetonový strop.....	53
Graf 17 - Průběh L_n – srovnání variant – dřevobetonový strop.....	53
Graf 18 - „strop 1“ - L_n	64
Graf 19 - „strop 1“ - R.....	65
Graf 20 - „strop 2“ - L_n	68
Graf 21 - „strop 2“ - R.....	69
Graf 22 - "strop 3" - L_n	71
Graf 23 - „strop 3“ - R.....	72
Graf 24 - „strop 4“ - L_n	75
Graf 25 - „strop 4“ - R.....	76
Graf 26 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – L_n	77
Graf 27 - Srovnání vypočtených a naměřených hodnot – vzduchová neprůzvučnost.....	78
Graf 28 - Porovnání naměřených hodnot – L_n	80
Graf 29 - Porovnání naměřených hodnot – R.....	82

5.5 Seznam použitých rovnic

Rovnice 1 - vlastní frekvence.....	13
Rovnice 2 - rezonanční kmitočet.....	24
Rovnice 3 - rezonanční kmitočet – příklad.....	24
Rovnice 4 - kmitočet půlvlnné rezonance.....	25
Rovnice 5 - vážená stavební vzduchová neprůzvučnost ČSN 73 0532.....	38
Rovnice 6 - vážená stavební vzduchová neprůzvučnost ČSN EN ISO 12354-1.....	39
Rovnice 7 - vážená stavební normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku.....	40
Rovnice 8 - doba dozvuku.....	59
Rovnice 9 - energeticky průměrná hodnota hladiny akustického tlaku.....	60
Rovnice 10 - ekvivalentní pohltivá plocha.....	60
Rovnice 11 - normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku.....	61
Rovnice 12 - vzduchová neprůzvučnost.....	61

5.6 Seznam použitých značek

Značka	Veličina	Jednotka
T	doba dozvuku	s
C_l	faktor přizpůsobení spektru	dB
C_{tr}	faktor přizpůsobení spektru pro městský dopravní hluk	dB
$C_{tr,50-3150}$	faktor přizpůsobení spektru pro městský dopravní hluk, rozšířený rozsah 50-3150 Hz	dB
$C_{l,50-2500}$	faktor přizpůsobení spektru pro rozšířený rozsah 50-2500 Hz	dB
C	faktor přizpůsobení spektru pro růžový šum	dB
$C_{50-3150}$	faktor přizpůsobení spektru pro růžový šum, rozšířený rozsah 50-3150 Hz	dB
L	hladina akustického tlaku	dB
f_n	kmitočet půlvlnné rezonance	Hz
k_2	korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku (kročejová neprůzvučnost)	dB
k_l	korekce závislá na vedlejších cestách šíření zvuku (vzduchová neprůzvučnost)	dB
r	měrný odpor proti proudění vzduchu	$Pa.s.m^{-2}$
L_n	normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku	dB
R_s	normovaný odpor proti proudění vzduchu	$Pa.s.m^{-1}$
m	plošná hmotnost	$kg.m^{-2}$
f_r	rezonanční kmitočet	Hz
$L_{n,w}$	vážená normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku	dB
$L'_{n,w}$	vážená stavební normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku	dB
R'_w	vážená stavební vzduchová neprůzvučnost	dB
R_w	vážená vzduchová neprůzvučnost	dB
f_1	vlastní frekvence	Hz
R	vzduchová neprůzvučnost	dB
A	ekvivalentní pohltivá plocha	m^2