



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

---

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

**Přenos kročejového zvuku stavebními konstrukcemi  
v bytových domech**

**Transmission of impact sound through building  
structures in apartment houses**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

**Bc. Jiří Bečka**

Studijní program: Budovy a prostředí

Studijní obor: Budovy a prostředí

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

**Praha, 2021**

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

### I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bečka Jméno: Jiří Osobní číslo: 468676  
Zadávající katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb  
Studijní program: B - Budovy a prostředí  
Studijní obor: Budovy a prostředí

### II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Přenos kročejového zvuku stavebními konstrukcemi v bytových domech  
Název diplomové práce anglicky: Transmission of impact sound through building structures in apartment houses

**Pokyny pro vypracování:**

Diplomová práce se bude zabývat přenosem kročejového zvuku ze stropních konstrukcí a schodišť v bytových domech. Po úvodu do problematiky, přehledu aktuálních požadavků na kročejovou neprůzvučnost a uvedení příkladů správných stavebních řešení, se práce zaměří na výpočtové metody stanovení normované hladiny kročejového zvuku. Cílem bude vzájemné srovnání metod i porovnání výsledků výpočtů s výsledky měření v laboratořích a na stavbách. Zvláštní pozornost bude věnována vlivu různých izolačních podložek a nášlapných vrstev na kročejový útlum. Součástí práce budou též ukázky chybných řešení z praxe.

**Seznam doporučené literatury:**

Stavební fyzika 3, Akustika pozemních staveb, J. Kaňka, J. Nováček, učební skriptum ČVUT, 2015  
Building Acoustics, T. E. Vigran, 2008  
COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe, 2014

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

Datum zadání diplomové práce: 24. 9. 2021

Termín odevzdání diplomové práce: 2. 1. 2022

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

  
Podpis vedoucího práce

  
Podpis vedoucího katedry

### III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

*Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutně 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“.*

24. 9. 2021

Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta(ky)

# SPECIFIKACE ZADÁNÍ

Jméno diplomanta: Bc. Jiří Bečka

Název diplomové práce: Přenos kročejového zvuku stavebními konstrukcemi v bytových domech

Základní část: KPS podíl: 100 %

Formulace úkolů: Student zpracuje podrobnou rešerši problematiky zaměřenou na kročejovou neprůzvučnost, zejména na aktuální požadavky, měřicí postupy, výpočtové stanovení a na řešení ochrany před kročejovým zvukem na stavbách včetně vlivu provedení. Součástí práce bude experimentální měření kročejové neprůzvučnosti na stavbách, jehož výsledky student následně vyhodnotí s důrazem na vliv finálních nášlapných vrstev.

Podpis vedoucího DP:.....

Datum: 14.10.2021

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

2. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Podpis konzultanta:.....

Datum:.....

3. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Podpis konzultanta:.....

Datum:.....

4. Část: \_\_\_\_\_ podíl: \_\_\_\_\_ %

Konzultant (jméno, katedra): \_\_\_\_\_

Formulace úkolů: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Podpis konzultanta:.....

Datum:.....

## Poznámka:

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

## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Přenos kročejového zvuku stavebními konstrukcemi v bytových domech** zpracoval samostatně za použití uvedené literatury a pramenů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne .....

.....

podpis

## **Poděkování**

Rád bych tímto poděkoval svému vedoucímu diplomové práce panu Ing. Jiřímu Nováčkovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, ochotu, vhodné připomínky při zpracování práce a především možnost opětovného navázání spolupráce.

Též bych chtěl poděkovat firmě KONTRAHLUK, s.r.o. (která se běžně zaměřuje na oblast stavební akustiky) za zapůjčení měřicí aparatury použité v rámci provedených experimentálních měření.

Nejen za asistenci při těchto měřeních, ale i za poskytnutí potřebných studijních podmínek a rodinného zázemí po dobu celého mého studia, chci poděkovat svým rodičům, díky kterým jsem se mohl škole věnovat naplno.

Věnováno památce Ing. Jiřího Bečky – mého dědečka, se kterým se již bohužel společně nestihneme radovat z pokračování v jeho stavařských šlápějích. Jsem vděčný za Tvou neutuchající podporu a za to, jaký lidský vzor jsi nám všem vytvořil.

## **Anotace**

Diplomová práce se zabývá problematikou kročejové neprůzvučnosti, jež tvoří součást stavební akustiky. Svým obsahem navazuje na předešlou autorovu bakalářskou práci, v níž byla řešena problematika vzduchové neprůzvučnosti konstrukcí.

V první části diplomové práce je pozornost věnována především teorii a vysvětlení základních principů přenosu kročejového zvuku včetně zásad jeho omezení a kontrolních měřicích postupů. Ty jsou využity ve druhé části, v níž jsou uvedena dvě experimentální měření, která se podrobně zaměřují na konkrétní způsoby vhodného útlumu přenosu kročejového zvuku v bytových domech. Zároveň jsou v této části představena správná (ale i nevhodná) řešení a způsoby provádění různých typů stropních konstrukcí včetně vybraných příkladů z praxe. Třetí část na několika těchto vybraných příkladech zkoumá a porovnává možné výpočtové metody, které slouží v rámci projekční činnosti k hlavním nástrojům v návrhu skladeb stropních konstrukcí.

## **Klíčová slova**

Stavební akustika, zvuková izolace, přenos kročejového zvuku, kročejová neprůzvučnost, normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku, stropní konstrukce, plovoucí podlahy, schodiště, bytové domy, požadavky, stavební měření, akustické mosty, výpočtové metody.

## **Summary**

The Diploma thesis deals with the problematics of impact sound insulation, which is a part of building acoustics. Its content follows on from the previous Bachelor thesis, which introduced airborne sound insulation.

The first part pays attention primarily to theory and puts an interpretation on basic principles of transmission of impact sound including the ways of its suppression and gauging procedures of prove. These procedures are applied in the second part, which introduces two experimental measurements that are in detail focused on a particular way of impact sound reduction in apartment houses. Together with these experiments the second part presents correct (but also incorrect) solutions and performance of different ceilings including few chosen examples taken out of practice. Third part explores (on these examples) some possible computerized methods and draws a comparison between them. These methods are the main tools used during projection of flooring assembly.

## **Keywords**

Building acoustics, sound insulation, transmission of impact sound, impact sound insulation, normalized impact sound pressure level, ceilings, floating floors, staircase, apartment houses, requirements, building measurement, acoustic bridges, computerized methods.

## OBSAH

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ÚVOD</b> .....   | <b>19</b> |
| <b>A) PŘENOS KROČEJOVÉHO ZVUKU – REŠERŠE</b> .....                  | <b>20</b> |
| <b>1 Vybrané pojmy a teorie akustiky</b> .....                      | <b>20</b> |
| 1.1 Zvuková izolace bytových domů .....                             | 20        |
| 1.2 Hladina akustického tlaku .....                                 | 22        |
| 1.3 Váhová korekce zvukoměru .....                                  | 23        |
| 1.4 Ekvivalentní hodnota .....                                      | 24        |
| 1.5 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru .....                         | 25        |
| 1.6 Doba dozvuku .....  | 26        |
| <b>2 Přenos kročejového zvuku (kročejová neprůzvučnost)</b> .....   | <b>28</b> |
| 2.1 Uvedení do problematiky.....                                    | 28        |
| 2.2 Vybrané definice z ČSN 73 0532 .....                            | 29        |
| 2.3 Kročejová neprůzvučnost.....                                    | 31        |
| 2.4 Rozdíl mezi laboratoří a stavbou .....                          | 37        |
| 2.5 Stanovení korekce pro boční přenos .....                        | 40        |
| 2.6 Stanovení vážené normované hladiny kročejového zvuku .....      | 41        |
| 2.7 Faktor přizpůsobení spektru.....                                | 44        |
| 2.8 Normové požadavky pro kročejovou neprůzvučnost.....             | 45        |
| 2.9 Kročejová neprůzvučnost jednoduché ŽB stropní desky.....        | 51        |
| <b>3 Preventivní opatření proti přenosu kročejového zvuku</b> ..... | <b>54</b> |
| 3.1 Princip plovoucí podlahy .....                                  | 55        |
| 3.1.1 Těžká plovoucí podlaha .....                                  | 60        |
| 3.1.2 Lehká plovoucí podlaha.....                                   | 68        |
| 3.1.3 Dodatečné informace k plovoucím podlahám .....                | 70        |
| 3.2 Povlakové podlahy.....  | 71        |
| 3.3 Dřevěné trámové stropy – dřívější i současné .....              | 74        |
| 3.4 Konstrukce schodišť – ochrana před kročejovým zvukem .....      | 77        |
| <b>4 Stavební měření kročejové neprůzvučnosti</b> .....             | <b>88</b> |
| 4.1 Sledované hodnoty a vybrané definice .....                      | 88        |
| 4.2 Přístrojové vybavení .....                                      | 89        |



---

|  |  |            |
|--|--|------------|
| 4.3  | Stavební připravenost pro potřeby měření.....                  | 92         |
| 4.4  | Postup měření kročejové neprůzvučnosti .....                   | 92         |
| 4.5  | Vyjádření výsledků měření podle ČSN EN ISO 16283-2 .....       | 96         |
| <b>B) TÉMATICKÁ POZOROVÁNÍ, EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ.....</b> |  | <b>98</b>  |
| <b>5</b>   | <b>Nedokonalá provedení v bytových domech.....</b>             | <b>98</b>  |
| <b>6</b>   | <b>Pozorování chování plovoucích podlah .....</b>              | <b>110</b> |
| 6.1  | Správná provedení v bytových domech.....                       | 110        |
| 6.1.1  | Těžké plovoucí podlahy – porovnání vysoké kvality .....        | 110        |
| 6.1.2  | Těžké plovoucí podlahy v neobvyklých kombinacích.....          | 115        |
| 6.1.3  | Alternativní kročejová izolace těžkých plovoucích podlah ..... | 119        |
| 6.2  | Problematika přenosu nízkofrekvenčního zvuku.....              | 128        |
| <b>7</b>   | <b>Experimentální měření.....</b>                              | <b>129</b> |
| 7.1  | Experimentální měření 1 – novostavba bytového domu.....        | 130        |
| 7.1.1  | Uvedení situace.....   | 130        |
| 7.1.2  | Popis způsobu měření .....                                     | 131        |
| 7.1.3  | Řešené nášlapné vrstvy, výsledky měření.....                   | 134        |
| 7.1.4  | Závěry experimentálního měření 1 .....                         | 144        |
| 7.2  | Experimentální měření 2 – panelový dům.....                    | 145        |
| 7.2.1  | Uvedení do situace a řešení problematiky.....                  | 145        |
| 7.2.2  | Popis způsobu měření .....                                     | 147        |
| 7.2.3  | Řešené situace nášlapných vrstev, výsledky měření.....         | 149        |
| 7.2.4  | Závěry experimentálního měření 2 .....                         | 163        |
| <b>C) MODELOVÁNÍ KROČEJOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI.....</b>         |  | <b>164</b> |
| <b>8</b>   | <b>Výpočtová metodika .....</b>                                | <b>164</b> |
| 8.1  | Skladby posuzovaných konstrukcí.....                           | 164        |
| 8.2  | Výpočetní modely.....  | 167        |
| 8.2.1  | Technická metoda .....   | 167        |
| 8.2.2  | Metoda podle ČSN EN ISO 12354-2 přílohy B .....                | 169        |
| 8.3  | Vyjádření výsledků .....                                       | 170        |
| 8.4  | Závěr provedených výpočtů.....                                 | 181        |
| <b>Použitá literatura.....</b>                             |  | <b>182</b> |

## SEZNAM PŘÍLOH

*(Přílohy jednotlivých kapitol k nahlédnutí mimo tuto práci v samostatném sešitu).*

- Příloha A** Výpočet kročejové neprůzvučnosti jednoduché ŽB stropní desky
- Příloha B** Dva příklady chybných návrhů stropních konstrukcí (kapitola 5)
- Příloha C** Ukázka kvalitního návrhu stropních konstrukcí (kapitoly 6.1.1, 6.1.2)
- Příloha D** Alternativní kročejová izolace (kapitola 6.1.3)
- Příloha E** Experimentální měření 1 (kapitola 7.1)
- Příloha F** Experimentální měření 2 (kapitola 7.2)
- Příloha G** Výstupy výpočetních modelů (kapitola 8)

## SEZNAM TABULEK

|     |   |       |     |
|-----|---|-------|-----|
| 1.1 | Potenciální zdroje hluku vznikající v bytové výstavbě [2]   | ..... | 21  |
| 2.1 | Třetinooktávová pásma v rozsahu zvukoizolačního pásma a hodnoty směrné křivky pro kročejový zvuk [20] | ..... | 43  |
| 2.2 | Požadavky na kročejovou neprůzvučnost mezi místnostmi v domech s byty [1]                             | ..... | 46  |
| 5.1 | Naměřené hodnoty obou příkladů [51]   | ..... | 104 |
| 5.2 | Naměřené hodnoty přenosu kročejového zvuku z mezipodesty (před a po úpravě)                           | ..... | 108 |
| 6.1 | Naměřené hodnoty $L'_n$ (dB) pěti stropních konstrukcí s těžkou plovoucí podlahou                     | ..... | 113 |
| 6.2 | Naměřené hodnoty $L'_n$ (dB) pěti stropních konstrukcí s rozdílnou zvukoizolační podložkou            | ..... | 121 |
| 7.1 | Zjištěné hodnoty $L'_n$ (dB) situací experiment. měření 1   | ..... | 139 |
| 7.2 | Vypočtené hodnoty $\Delta L'_n$ (dB) uvedených situací vztažených k referenčnímu stavu                | ..... | 142 |
| 7.3 | Zjištěné hodnoty $L'_n$ (dB) v případě vertikálního přenosu situací experimentálního měření 2         | ..... | 155 |
| 7.4 | Vypočtené hodnoty $\Delta L'_n$ (dB) uvedených situací vztažených k referenčnímu měření               | ..... | 160 |
| 7.5 | Zjištěné hodnoty $L'_{nT}$ (dB) v případě horizontálního přenosu experimentální měření 2              | ..... | 162 |
| 8.1 | Výpočet hodnot neprůzvučnosti jednoduché konstrukce [7]   | ..... | 168 |
| 8.2 | Vypočtené hodnoty $L_n$ (dB) posuzovaných konstrukcí pomocí 3 metod                                   | ..... | 170 |

## SEZNAM OBRÁZKŮ

|      |   |       |    |
|------|---|-------|----|
| 1.1  | Doba dozvuku $T$  | ..... | 26 |
| 2.1  | Vertikální přenos směrem dolů   | ..... | 33 |
| 2.2  | Vertikální přenos směrem nahoru   | ..... | 34 |
| 2.3  | Horizontální přenos schodiště   | ..... | 34 |
| 2.4  | Horizontální přenos chodba  | ..... | 34 |
| 2.5  | Rozdíl mezi laboratorní a stavební situací [15]   | ..... | 37 |
| 2.6  | Schéma laboratoře [11]  | ..... | 39 |
| 2.7  | Boční přenosy na stavbě [11]  | ..... | 41 |
| 2.8  | Příklad metody vážení pomocí směrné křivky [11]   | ..... | 43 |
| 2.9  | Výsledné hodnoty $L_n$  | ..... | 52 |
| 2.10 | Souhrnný graf průběhů $L_n$   | ..... | 52 |
| 2.11 | Porovnání vzduchové neprůzvučnosti stropních ŽB desek   | ..... | 53 |
| 2.12 | Porovnání kročejové neprůzvučnosti stropních ŽB desek   | ..... | 53 |
| 3.1  | Schématické znázornění a) holé stropní konstrukce, b) stropní konstrukce s izolačním podlahovým povlakem, c) s lehkou plovoucí podlahou, d) s těžkou plovoucí podlahou [26] | ..... | 54 |
| 3.2  | Ukončení těžké plovoucí podlahy u stěn [7]  | ..... | 56 |
| 3.3  | Okrajový dilatační pásek po obvodě místnosti [foto pořízeno autorem]  | ..... | 57 |
| 3.4  | Okrajový dilatační pásek v detailu [foto pořízeno autorem]  | ..... | 58 |
| 3.5  | Detail styku příčky a podlahy [33]  | ..... | 59 |
| 3.6  | Rozdíl funkce mezery u vzduchové a kročejové neprůzvučnosti [4]   | ..... | 59 |
| 3.7  | Ukázka skladby těžké plovoucí podlahy [30]  | ..... | 61 |
| 3.8  | Pokládání těžké plovoucí podlahy [28]   | ..... | 63 |
| 3.9  | Teoretický průběh kročej. útlumu v závislosti na kmitočtu [7]   | ..... | 64 |
| 3.10 | Těžká a lehká plovoucí podlaha s vyznačením základních veličin [11]   | ..... | 65 |

---

|      |  |       |    |
|------|--|-------|----|
| 3.11 | Ukázka skladby lehké plovoucí podlahy [30]   | ..... | 68 |
| 3.12 | Ukázka skladby těžké plovoucí podlahy s teplovodním vytápěním [36]                   | ..... | 70 |
| 3.13 | Skladba povlakové podlahy [11]   | ..... | 73 |
| 3.14 | Trámový strop s rovným podhledem a násypem [39]                                      | ..... | 74 |
| 3.15 | Trámový strop s rovným podhledem a násypem v řezu [40]                               | ..... | 75 |
| 3.16 | Trámový strop se zapaštěným záklopem [39]  | ..... | 75 |
| 3.17 | Trámový strop s rákosníky [39]   | ..... | 76 |
| 3.18 | Skladba stropní konstrukce moderní dřevostavby [41]                                  | ..... | 77 |
| 3.19 | Izolace schodišťového ramene od stropní konstrukce a podesty [42]                    | ..... | 79 |
| 3.20 | Ukázka izolačního prvku (Schöck typ T) [43]  | ..... | 79 |
| 3.21 | Ukázka prefabrikovaného ramene s již zabudovaným izolačním prvkem [43]               | ..... | 80 |
| 3.22 | Provedení v místě napojení prefabrikovaného ramene a poloprefabrikované podesty [43] | ..... | 80 |
| 3.23 | Spojení výztuže monolitického ramene pomocí závěsných konzolek izolačního prvku [43] | ..... | 81 |
| 3.24 | Provedení v místě napojení monolitického ramene a monolitické podesty [43]           | ..... | 81 |
| 3.25 | Izolační podložka (Schöck typ F) [43]  | ..... | 82 |
| 3.26 | Provedení v místě napojení prefabrikovaného ramene a prefabrikované podesty [43]     | ..... | 82 |
| 3.27 | Izolační spárové desky (Schöck typ L) [43]   | ..... | 83 |
| 3.28 | Napojení schodišťové stěny na rameno nebo mezipodestu [43]                           | ..... | 84 |
| 3.29 | Izolace podesty od stěn [42]   | ..... | 84 |
| 3.30 | Stěnové pouzdro pro uložení mezipodesty do nosné stěny (Schöck typ Z) [43]           | ..... | 85 |
| 3.31 | Stěnové pouzdro pro napojení monolitické podesty (Schöck typ Z) [43]                 | ..... | 85 |
| 3.32 | Stěnové pouzdro pro napojení prefabrikované podesty                                  |       |    |

---

|   |       |     |
|---|-------|-----|
| (Schöck typ Z) [43]   | ..... | 86  |
| 3.33 Ukázka řešení izolace schodiště na reálné stavbě [42]  | ..... | 86  |
| 3.34 Spára mezi keramickou dlažbou a soklem<br>[foto pořízeno autorem]                            | ..... | 87  |
| 4.1 Klepací zařízení MI006 od firmy CESVA [44]  | ..... | 89  |
| 4.2 Pryžový balon Nor279 od firmy Norsonic [46]   | ..... | 90  |
| 4.3 Ukázka průběhu měření s pryžovým balonem [43]   | ..... | 90  |
| 4.4 Integrační zvukoměr s mikrofonem typu Nor140 od firmy<br>Norsonic [47]                        | ..... | 91  |
| 4.5 Reproduktor BP012 a zesilovač AP602 od firmy CESVA [48]                                       | ..... | 91  |
| 4.6 Startovací pistole [foto pořízeno autorem]  | ..... | 91  |
| 5.1 Vliv bodových akustických mostů na útlum podlahy [15]   | ..... | 100 |
| 5.2 Vliv liniových akustických mostů na útlum podlahy [15]  | ..... | 101 |
| 5.3 Půdorys situace příkladu 1 [51]   | ..... | 103 |
| 5.4 Průběh $L'_{nT}$ (dB) před úpravou a po úpravě – přenos z chodby 1                            | ..... | 103 |
| 5.5 Půdorys situace příkladu 2 [51]   | ..... | 104 |
| 5.6 Průběh $L'_{nT}$ (dB) před úpravou a po úpravě – přenos z chodby 2                            | ..... | 105 |
| 5.7 Průběh $L'_n$ (dB) špatně provedené těžké plovoucí podlahy<br>(byt – byt)                     | ..... | 106 |
| 5.8 Průběh $L'_{nT}$ (dB) špatně provedené těžké plovoucí podlahy<br>(podesta – byt)              | ..... | 107 |
| 5.9 Průběh $L'_{nT}$ (dB) před úpravou a po úpravě – horizontální přenos<br>z mezipodesty do bytu | ..... | 109 |
| 6.1 Stropní konstrukce 1  | ..... | 111 |
| 6.2 Stropní konstrukce 2  | ..... | 111 |
| 6.3 Stropní konstrukce 3  | ..... | 112 |
| 6.4 Stropní konstrukce 4  | ..... | 112 |
| 6.5 Stropní konstrukce 5  | ..... | 113 |
| 6.6 Průběh $L'_n$ (dB) pěti stropních konstrukcí s těžkou plovoucí<br>podlahou (přenos byt – byt) | ..... | 114 |

---

|      |  |       |     |
|------|--|-------|-----|
| 6.7  | Stropní konstrukce 6   | ..... | 116 |
| 6.8  | Průběh $L'_n$ (dB) rekonstruovaného původního dřevěného trémového stropu (vestavba)          | ..... | 117 |
| 6.9  | Stropní konstrukce 7   | ..... | 118 |
| 6.10 | Průběh $L'_n$ (dB) spřaženého ocelobetonového stropu s těžkou plov. podlahou (nástavba)      | ..... | 118 |
| 6.11 | Skladba stropní konstrukce 1 a 2   | ..... | 120 |
| 6.12 | Skladba stropní konstrukce 3 a 4   | ..... | 120 |
| 6.13 | Skladba stropní konstrukce 5   | ..... | 121 |
| 6.14 | Průběh $L'_n$ (dB) pěti stropních konstrukcí s rozdílnou zvukoizolační podložkou (byt – byt) | ..... | 122 |
| 6.15 | Porovnání dosažených vážených hodnot $L'_{n,w}$ (dB) měřených konstrukcí                     | ..... | 123 |
| 6.16 | Konkrétnější porovnání průběhů $L'_n$ (dB) mezi konstrukcemi 1,2 a 5                         | ..... | 124 |
| 6.17 | Konkrétnější porovnání průběhů $L'_n$ (dB) mezi konstrukcemi 3,4 a 5                         | ..... | 125 |
| 6.18 | Systém ThermoWhite ve skladbě těžké plovoucí podlahy [52]                                    | ..... | 126 |
| 6.19 | Pokládka systému a výsledná podoba izolační vrstvy po vyschnutí a zatvrdnutí [53]            | ..... | 127 |
| 6.20 | Spektrální analýza měření hluku [26]   | ..... | 128 |
| 7.1  | Půdorys obytné místnosti ve 2.NP, resp. ve 4.NP  | ..... | 131 |
| 7.2  | Půdorys obytné místnosti ve 3.NP   | ..... | 132 |
| 7.3  | Stavební připravenost obytné místnosti ve 4.NP [foto pořízeno autorem]                       | ..... | 132 |
| 7.4  | Stavební připravenost obytné místnosti ve 3.NP [foto pořízeno autorem]                       | ..... | 132 |
| 7.5  | Schematické znázornění umístění zdroje a mikrofonu v obytných místnostech                    | ..... | 132 |
| 7.6  | Schematické znázornění umístění zdroje a mikrofonu v obytných místnostech                    | ..... | 132 |

---

|      |  |       |     |
|------|--|-------|-----|
| 7.7  | Zachycený průběh měření vč. ukázky mikrofonu a zvukoměru<br>[foto pořízeno autorem]                        | ..... | 133 |
| 7.8  | Základní skladba stropní konstrukce  | ..... | 134 |
| 7.9  | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 2<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 135 |
| 7.10 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 3<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 135 |
| 7.11 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 5<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 136 |
| 7.12 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 6<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 137 |
| 7.13 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 7<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 137 |
| 7.14 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 8<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 138 |
| 7.15 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 9<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 138 |
| 7.16 | Porovnání dosažených vážených hodnot $L'_{n,w}$ (dB) situací<br>experimentálního měření 1                  | ..... | 139 |
| 7.17 | Průběh $L'_n$ (dB) porovnávaných situací experiment. měření 1  | ..... | 140 |
| 7.18 | Průběh $\Delta L'_n$ (dB) situací experimentálního měření<br>porovnávaných k referenčnímu stavu            | ..... | 143 |
| 7.19 | Objekt experimentálního měření 2 – panelový bytový dům typu<br>VVÚ-ETA z roku 1986 [foto pořízeno autorem] | ..... | 146 |
| 7.20 | Schematické znázornění oblastí provedených měření<br>v rámci celého domu                                   | ..... | 148 |
| 7.21 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 1<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 149 |
| 7.22 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 2<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 150 |
| 7.23 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 3<br>[foto pořízeno autorem]                                    | ..... | 150 |



---

|      |   |       |     |
|------|---|-------|-----|
| 7.24 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 5<br>[foto pořízeno autorem]   | ..... | 151 |
| 7.25 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 6<br>[foto pořízeno autorem]   | ..... | 151 |
| 7.26 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 7<br>[foto pořízeno autorem]   | ..... | 152 |
| 7.27 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 8<br>[foto pořízeno autorem]   | ..... | 152 |
| 7.28 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 10<br>[foto pořízeno autorem]  | ..... | 153 |
| 7.29 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 11<br>[foto pořízeno autorem]  | ..... | 153 |
| 7.30 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 12<br>[foto pořízeno autorem]  | ..... | 154 |
| 7.31 | Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 13<br>[foto pořízeno autorem]  | ..... | 154 |
| 7.32 | Porovnání dosažených vážených hodnot $L'_{n,w}$ (dB) v případě<br>vertikálního přenosu situací experimentálního měření 2      | ..... | 155 |
| 7.33 | Průběh $L'_n$ (dB) v případě vertikálního přenosu porovnávaných<br>situací experimentálního měření 2                          | ..... | 156 |
| 7.34 | Průběh $\Delta L'_n$ (dB) situací experimentálního měření<br>porovnávaných k referenčnímu                                     | ..... | 159 |
| 7.35 | Porovnávání dosažených vážených hodnot $L'_{nT,w}$ (dB) v případě<br>horizontálního přenosu situací experimentálního měření 2 | ..... | 160 |
| 7.36 | Průběh $L'_{nT}$ (dB) v případě horizontálního přenosu<br>porovnávaných situací experimentálního měření 2                     | ..... | 161 |
| 8.1  | Stropní konstrukce 1  | ..... | 165 |
| 8.2  | Stropní konstrukce 2  | ..... | 166 |
| 8.3  | Stropní konstrukce 5  | ..... | 166 |
| 8.4  | Porovnání zjištěných vážených hodnot $L_{n,w}$ (dB) stropních<br>konstrukcí pomocí 3 metod                                    | ..... | 171 |
| 8.5  | Porovnání vážených hodnot $L'_{n,w}$ (dB) s reálnými stavebními   |       |     |

---

|      |   |       |     |
|------|---|-------|-----|
|      | hodnotami   | ..... | 171 |
| 8.6  | Průběhy $L_n$ (dB) 1. stropní konstrukce při použití 3 různých metod výpočtu                | ..... | 174 |
| 8.7  | Průběhy $L_n$ (dB) 2. stropní konstrukce při použití 3 různých metod výpočtu                | ..... | 175 |
| 8.8  | Průběhy $L_n$ (dB) 3. stropní konstrukce při použití 3 různých metod výpočtu                | ..... | 176 |
| 8.9  | Průběhy $L_n$ (dB) tří stropních konstrukcí při použití technické metody výpočtu            | ..... | 177 |
| 8.10 | Průběhy $L_n$ (dB) tří stropních konstrukcí při použití metody výpočtu podle evropské normy | ..... | 178 |
| 8.11 | Průběhy $L_n$ (dB) tří stropních konstrukcí při použití výpočtu softwarem INSUL             | ..... | 179 |
| 8.12 | Průběhy $L_n$ (dB) tří stropních konstrukcí z naměřených stavebních hodnot                  | ..... | 180 |

## ÚVOD

Otázce zvukových izolací jsem se již věnoval ve své předešlé bakalářské práci. S ohledem na obsáhlost této problematiky jsem však řešil pouze její první část, a to vzduchovou neprůzvučnost. Proto mi přijde zcela logické navázat na již získané znalosti a vytvořit tak komplexní přehled oblasti zvukových izolací.

Má diplomová práce je tedy zaměřena na přenos kročejového zvuku (tzv. kročejovou neprůzvučnost) stavebními konstrukcemi v bytových domech. Bytové domy jsou vybrány zcela záměrně z toho důvodu, že především v nich se kročejová neprůzvučnost sleduje a podrobněji posuzuje. Proto je důležité se podívat na všechny aspekty, kterými se stavebnictví snaží dosáhnout požadovaných normových hodnot.

Věnuji se měření zvukových izolací v rámci svých mimoškolních aktivit již téměř 10 let. K tomu mám vyhovující zázemí ve firmě mého otce, který mě právě k akustice přivedl. Od zpracování bakalářské práce se můj zájem o tuto problematiku ještě více prohloubil a všímám si lépe různých detailů a skladeb navržených konstrukcí. Domnívám se, že nyní již na zvukoizolační vlastnosti stavebních konstrukcí nahlížím s větším nadhledem než dříve.

Samotný přenos kročejového zvuku je často mnohem méně předvídatelný a též hůře posuzovatelný než vzduchová neprůzvučnost. Mnohdy záleží i na malých detailech a měření konkrétních konstrukcí na stavbách nepřinášejí často takové výsledky, jaké by měly odpovídat teoretickým výpočtům. Důvodem může být vliv výběru zvukoizolačních podložek či nevhodný způsob provedení na stavbě.

Kromě toho se navíc osobně domnívám, že současné normové požadavky na kročejovou neprůzvučnost neposkytují dostatečnou záruku pro akustický komfort. Ze všech těchto důvodů si myslím, že problematika kročejové neprůzvučnosti je složitější než mé předešlé téma. V bakalářské práci jsem věnoval velkou část vysvětlení teorie. Ani ta zde nebude opomenuta, avšak u některých vysvětlení nebo pojmů z teorie akustiky se budu odkazovat právě na svou předešlou práci, abych se tak mohl více zabývat současným tématem.

Cílem této diplomové práce je především více rozebrat a ukázat vhodný návrh skladby konstrukcí za účelem omezení přenosu kročejového zvuku, který by vedl ke spokojenosti budoucích uživatelů bytů. Součástí budou mimo samotnou teorii kročejové neprůzvučnosti vlastní postřehy, experimenty, měření a detailnější výpočty.

Práce je rozdělena do tří hlavních tématických okruhů. V první části (ad A) je kromě nezbytné akustické teorie vysvětlen přenos kročejového zvuku včetně popisu jeho měření. Ve druhé části (ad B) se zaměřuji na zajímavosti, zmíněné experimenty a postřehy spojené s problematikou a praktické ukázky nedostatků a chyb. Poslední modelová část (ad C) je věnována několika způsobům výpočtů v oblasti výběru zvukoizolačních podložek společně s porovnáním reálných výsledků z praxe.

## A) PŘENOS KROČEJOVÉHO ZVUKU – REŠERŠE

### 1 Vybrané pojmy a teorie akustiky

První kapitola je do značné míry inspirována mou bakalářskou prací „Vzduchová neprůzvučnost: od teorie k praxi“, ve které jsem již níže zmiňované pojmy a veličiny vysvětloval. Pro zopakování jsou zde stručněji uvedeny jen některé původní části.

#### 1.1 Zvuková izolace bytových domů

Bytový dům je podle ČSN 73 0532 *dům, ve kterém více než polovina podlahové plochy odpovídá požadavkům na trvalé bydlení a je k tomuto účelu určena.* [1]

V bytových domech bydlí v ČR podle údajů ČSÚ při posledním sčítání lidu v roce 2011 přibližně 51,1 % obyvatel. Ve výsledku tedy větší polovina obyvatel ČR žije ve společném bydlení, což je vzhledem k Evropské unii mírný nadprůměr. [20]

Bytové domy tak mají v České republice například oproti severským zemím výrazné zastoupení a je zapotřebí pohlížet na jejich návrh komplexně z několika pohledů. Jedním z těchto pohledů je právě akustika. Obecně nechceme, aby člověk žijící v bytě slyšel nadměrný hluk. Za hluk lze považovat zvuk, *kteřý je námi vnímán jako nepříjemný, obtěžující a rušivý. Nelze jej přesně definovat, jelikož hranice tolerance vůči hluku je mezi lidmi silně subjektivní.* [3]

V následující tabulce 1.1 jsou uvedeny nejčastější potenciální zdroje hluku vznikající v bytové výstavbě. Ve druhém sloupci je pak uvedena jejich souvislost s jedním či druhým typem zvukové izolace (vzduchová neprůzvučnost nebo přenos kročejového zvuku) a následně, který druh frekvencí je tímto hlukem nejvíce zasažen. Nízkými frekvencemi je myšlena oblast kmitočtu 40–200 Hz, středními 250–1000 Hz a vysokými 1250–3000 Hz. Označení *vše* uvažuje celé slyšitelné spektrum (16–16000 Hz).

Pokud by se však měl hodnotit hluk, na který si lidé v bytových domech stěžují nejvíce, je jím tak hluk z venkovní dopravy, následovaný právě hlukem od sousedů. [2]

Vzhledem k tomu, že si lidé chtějí v dnešní uspěchané době doma co nejvíce psychicky odpočinout a načerpat fyzickou sílu, musí se k akustickému komfortu přihlížet jako k důležitému aspektu zdravého vnitřního prostředí.

| Potenciální zdroj hluku         | Vzduchová neprůzvučnost | Přenos kročejového zvuku | Ovlivněné frekvence |
|---------------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|
| Lidské hlasy                    | ■                       |                          | střední–vysoké      |
| Televize                        | ■                       |                          | střední–vysoké      |
| Zavírání dveří                  |                         | ■                        | nízké–střední       |
| Radio/hudba                     | ■                       | ■                        | vše                 |
| Domácí zařízení                 | ■                       | ■                        | vše                 |
| Zapojování se do zásuvky        |                         | ■                        | nízké–střední       |
| Spínače světel                  |                         | ■                        | střední             |
| Zavírání skříněk                |                         | ■                        | nízké–střední       |
| Technický hluk (potrubní svody) | ■                       |                          | vše                 |
| Kroky                           |                         | ■                        | nízké–střední       |
| Dětské hraní                    | ■                       | ■                        | vše                 |
| Domácí kutilství (DIY)          | ■                       | ■                        | vše                 |
| Psí štěkot                      | ■                       |                          | nízké–střední       |

**Tabulka 1.1:** Potenciální zdroje hluku vznikající v bytové výstavbě [2]

Paradoxem zde však může být to, že v současnosti jsou často využívána špičková okna, která mají nejen vysokou tepelněizolační vlastnost, ale i tu zvukoizolační. Mohou tak zabránit přenosu přirozeného ruchu města do bytu a především pak v noci, kdy se toto hlukové pozadí sníží, přispět k vyššímu vnímání zvuků z vnitřku budovy včetně přenosu kročejového zvuku a zvuku šířeného vzduchem z okolních prostor domu. Možnost stížností na případné nekvalitní provedení stavebních konstrukcí pak samozřejmě roste a je třeba dbát jak na samotný konstrukční návrh, tak na jeho provedení. [4] *Zvuková izolace v budovách proto není v žádném případě zbytečným luxusem, nýbrž naprostou nutností.* [5]

Kvalitní zvuková izolace by pak měla být cílem každého investora a stavební firmy, protože vyšší komfort znamená vyšší prestiž, finanční ohodnocení a taktéž i pro některé lepší pocit z dobře odvedené práce. Zároveň se však musí jednat o řešení rozumná z hlediska technického i finančního. *Je proto nutno vždy zvolit optimální kompromis mezi technickými a ekonomickými možnostmi společnosti, přičemž hygienické předpisy jsou pro nás hlukovým kritériem.* [6]

Těmito předpisy jsou pak v tomto případě všeobecně platné normové požadavky, kterými se bude práce zabývat později v samotné teoretické části pojednávající o přenosu kročejového zvuku (kapitola 2).

## 1.2 Hladina akustického tlaku

Podstatná a často zmiňovaná veličina v této práci je *hladina akustického tlaku*  $L_p$ , častěji označovaná  $L$  (dB). Běžně nabývá hodnot 0–120 dB, přičemž v praxi se můžeme setkat s dolními mezními hodnotami spíše 20 dB – dosažení hodnoty hluku pozadí pod 20 dB není příliš časté. Hodnoty se zaokrouhlují na jedno desetinné místo. Celá akustika je sledována v širokém frekvenčním rozsahu, jednotkou frekvence je Hz (hertz).

Slyšitelné zvukové spektrum se udává od 16 do 16000 Hz, v některých publikacích od 20 do 20000 Hz. Důležité je nyní rozlišovat, zda hodnota hladiny akustického tlaku je udávána pro konkrétní kmitočet (jelikož pro různé kmitočty se tyto hodnoty od sebe liší), nebo zda se jedná obecně o tzv. *celkovou hladinu akustického tlaku*, která vyjadřuje, jaký akustický tlak je vyvolán v celém slyšitelném frekvenčním rozsahu. [3] Hodnotu této celkové hladiny akustického tlaku lze snadno zjistit pomocí obecného vzorce pro energetický součet více hladin:

$$L = 10 \lg \left( 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad (1.1)$$

*Vzorec (1.1) je zjednodušený pro pochopení energetického sčítání hladin akustického tlaku dvou různých kmitočtů. Běžně by se ve vzorcích nacházelo mnoho hladin vztažených ke svým příslušným frekvencím. [3]*

*Za zmínku stojí rovněž pojem maskování zvuku. K němu dochází v okamžiku, kdy máme dva zdroje zvuku, které v určitém místě příjmu vnímáme jako hladinu akustického tlaku. Tyto dva zvuky jsou od sebe odlišné a jeden zvuk maskuje druhý, pokud je rozdíl mezi jejich energetickým součtem a hlasitějším zvukem nižší než 1 dB. [3]*

*Maskování lze názorně předvést na příkladu, kdy máme dva rozdílné zvuky o hodnotách  $L_1 = 75,6$  dB (křik člověka) a  $L_2 = 48,2$  dB (pozadí ovlivněné lehkým větrem). Při energetickém součtu obou zvuků nám vyjde výsledná hladina akustického tlaku o hodnotě 75,6 dB. Dá se tedy říct, že řev člověka maskuje pozadí. Na výslednou hodnotu zvuku nemá pozadí prakticky žádný vliv. Kdyby měla hodnota pozadí ještě menší velikost, opět by neměla na výsledek vliv. Při dvou zvucích o rozdílu například 10 dB též dochází k maskování hlasitějším zdrojem. [3]*

Z tohoto je patrné, že při běžných měřeních kročejové neprůzvučnosti (viz další kapitola 4) nemá pozadí ani případný nečekaný zvuk pocházející ze stavby (a nepřekračující hodnotu hladiny akustického tlaku od zdroje měření) nijak výrazný vliv na změřené hodnoty akustických tlaků. [3]

Tuto problematiku i nepřímou zmiňuje ČSN EN ISO 16283-2 v příloze D, kde se rozebírá příspěvek zvuku přenášený vzduchem z klepacího zařízení (více viz kapitola 4.4).

*Fenomén maskování je však závislý na kmitočtu, tudíž nelze říct, že za každé situace se mohou popisované postřehy spolehlivě brát v úvahu. Více o této problematice je možno nalézt v odborné literatuře. [3]*

### 1.3 Váhová korekce zvukoměru

Vnímání kmitočtu člověkem je různé, subjektivně je vnímán jako výška tónu. Jak již bylo řečeno, pásmem slyšitelných kmitočtů je rozmezí 16–16000 Hz, avšak lidský sluch je schopen vnímat zvuk o různých kmitočtech s nerovnoměrnou citlivostí.

*Je udáváno, že v pásmu 500–2000 Hz (pásmo odpovídající lidské řeči) lidé slyší nejlépe. Kolem 1000 Hz by měl být lidský sluch zcela nejcitlivější. [3]*

Pro lepší sledování kmitočtového složení zvuku lze oblast slyšitelných kmitočtů rozdělit na 11 oktávových pásem, z nichž každé je charakterizováno svým středním kmitočtem (a zároveň má podle něj svůj název).

*Oktáva je interval mezi dvěma kmitočty, kde druhý je dvojnásobek prvního. Hodnota hladiny akustického tlaku v oktávovém pásmu  $L_{\text{okt}}$  (dB) je energetickým součtem hladin akustického tlaku zvuku všech kmitočtů, které do daného pásma spadají. [3]*

Oktáva tedy udává vlastnosti určitého pásma kmitočtů. Výše uvedené se nazývá oktávovou analýzou a nahrazuje pracné řešení každého kmitočtu zvlášť. Neexistují však pouze oktávy, v praxi je také velice běžné se setkat kupříkladu s třetinooktávovými pásmy, přičemž platí, že v jednom oktávovém pásmu se nacházejí tři třetinooktávová pásma a prostřední z nich je právě daným oktávovým pásmem. Zároveň je známý fakt, že člověk nevnímá zvuk se stejnou citlivostí, především na nízkých frekvencích je lidský sluch velmi málo citlivý. [3]

Právě proto byla zavedena váhová korekce filtrem A. Váhových korekcí různých typů je mnohem více, avšak tato se nejvíce ujala a měla by nejlépe odpovídat lidskému vnímání zvuku různých frekvencí. [3]

*Na základě korekce typu A tak byla stanovena hladina akustického tlaku A označovaná symbolem  $L_A$  (dB). K hodnotě této veličiny je možné se dostat přímým měřením pomocí zvukoměru se zapnutým váhovým filtrem A (integrační zvukoměry, používané na stavbách, tuto korekci běžně automaticky umožňují), nebo samotným výpočtem pomocí hodnot zvukového spektra, pokud známe konkrétní váhové funkce. Obecně platí ten princip, že ke každé kmitočtové hladině akustického tlaku se přičte příslušná váhová korekce  $K_A$  (příklad některých váhových funkcí pro oktávová pásma je uveden v tabulce 1.1 v mé předešlé bakalářské práci – zde tabulka není uvedena, protože pro účely diplomové práce není podstatná). Všechny tyto nové hodnoty zvukového spektra se energeticky sečtou dle následujícího vzorce 1.2: [3]*

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i + K_{Ai})} \quad (1.2)$$

Takto vzniklá jednočíselná hodnota pak slouží ke klasifikaci hlučnosti (hlukové expozice) lidí na pracovištích, v bytech, školách nebo oblastech komunální hygieny.

*Tyto hodnoty posuzuje hygienická služba v ČR, zda vyhovují přípustným hlukovým limitům. [3]*

Důležitým faktem však je, že při samotném vyhodnocování zvukové izolace se tato korekce běžně nevyužívá (mimo faktor přizpůsobení spektru – viz kapitola 2.7), jelikož posuzujeme samotné konstrukce a neřešíme vnímání zvuku lidským ústrojím – naměřují se tedy hladiny akustického tlaku  $L$  (dB). [3]

*Zvuk s nízkým kmitočtem (16 až 63 Hz) je sluchem vnímán s poměrně malou citlivostí a naopak zvuk o vysokých kmitočtech (8 000 až 16 000 Hz) je zpravidla prostředím dobře tlumen. [7]*

Při měření zvukoizolačních vlastností konstrukcí je tedy posuzována oblast ohraničená nízkými a vysokými kmitočty. Ta totiž nejlépe vystihuje případné problémy, a proto jsou právě pro ni stanovené požadavky v platných normách. Zvukoizolační vlastnosti konstrukcí (tedy jak *vzduchová neprůzvučnost*, tak i v této práci řešená *kročejová neprůzvučnost*) a rovněž hluk z provozu technologie jsou běžně hodnoceny třetinooktávovou analýzou ve frekvenčním rozsahu 100–3150 Hz. *V jeho rámci se sleduje, zda některý kmitočet neobsahuje tzv. tónovou složku. K jejímu vzniku dochází, když hodnota hladiny akustického tlaku pro jedno třetinooktávové pásmo je o 5 dB vyšší než hodnoty sousedních třetinooktávových pásem. [3]*

## 1.4 Ekvivalentní hodnota

Každý zvuk působí v čase různě, hladina akustického tlaku není nikdy zcela stejná, tedy neustále mění průběžně svou číselnou hodnotu. Z tohoto důvodu byla v akustice zavedena *ekvivalentní hladina akustického tlaku*  $A L_{Aeq,T}$  (dB). Tato veličina by měla mít během sledovaného časového úseku stejné účinky na člověka, jako proměnlivá hodnota akustického tlaku  $A$  za stejný čas. [3]

*Je to tedy „energeticky průměrná hodnota“ v časovém intervalu, se kterým uvažujeme (např. pracovní směna 8 hodin, ale i 15vteřinový náměr zvukoměru při měření zvukových izolací – viz kapitola 4.4). Veličina  $L_{Aeq,T}$  dokáže lépe vyjádřit, zda vystavení zvuku při dlouhodobém trvání může být pro člověka škodlivé. Výpočet se provádí podle následujícího vzorce 1.3: [3]*

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[ \frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i} \sum_{i=1}^n (t_i * 10^{0,1L_{Ai}}) \right] \quad (1.3)$$

Ekvivalentní hladinou akustického tlaku  $A$  je v praxi stanovena část hygienických limitů. Tyto limity jsou sledovány jak pro pracoviště, tak i pro bydlení a hodnocení hluku



z dopravy. Dají se vyhledat v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.<sup>1</sup> U zvukových izolací však platí normové požadavky podle ČSN 73 0532 [1] – více viz kapitola 2.8. [3]

## 1.5 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru

Princip šíření zvuku v uzavřeném prostoru byl vysvětlen podrobně v bakalářské práci. Při měřeních vzduchové neprůzvučnosti je totiž důležité chápat zákonitosti a souvislosti spojené s touto problematikou. Měří se jak hladina akustického tlaku  $L_2$  (dB) v místnosti příjmu, tak hladina akustického tlaku  $L_1$  (dB) v místnosti zdroje. Vliv odrazů, pohltivosti okolních ploch a vymezení pole přímých a pole odražených vln zde má svoje opodstatnění.

V případě měření kročejové neprůzvučnosti (popsáno v kapitole 4) je také využíván umělý zdroj, který má zde simulovat kročejový zvuk, avšak nyní není důležité změřit hladinu akustického tlaku  $L_1$  (dB) v místnosti zdroje, avšak pouze hladinu akustického tlaku  $L_2$  (dB) v místnosti příjmu. Zvuk (nárazy) způsobený umělým zdrojem se v tomto případě nešíří vzduchem, avšak přímo konstrukcí, jež je tímto zdrojem rozechvěna a sama tak vydává zvuk do okolního prostředí místnosti příjmu.

V této kapitole je tedy důležité zmínit fakt, že hodnota akustického tlaku  $L_2$  (dB) úzce souvisí s činitelem pohltivosti  $\alpha$  (–) všech ohraničujících konstrukcí místnosti, případně povrchů přidaného zařízení atd. Samotná pohltivost je lépe vyjádřena pomocí *ekvivalentní pohltivé plochy*  $A_i$  ( $m^2$ ) povrchu konstrukce, která se určí součinem plochy  $i$ -tého povrchu  $S_i$  ( $m^2$ ) a činitele pohltivosti  $\alpha_i$  (–). *Celková ekvivalentní pohltivá plocha*  $A$  ( $m^2$ ) v místnosti je následně součtem ekvivalentních pohltivých ploch všech povrchů místnosti (podlahy, stěny, strop), případně i dalších předmětů, které se v místnosti příjmu nacházejí. [3]

*Platí, že čím vyšší je hodnota činitele  $\alpha$ , tím lepší má materiál (respektive prostor) pohltivé účinky, které napomáhají ke zkrácení doby dozvuku. Například hladké a tvrdé povrchy (beton) mají nízkou pohltivost. Proto v nezařízené místnosti novostavby je daleko větší odezva na zvukovou událost (než u zcela zařízené, nebo utlumené místnosti), a naměří se v ní vyšší hladina akustického tlaku  $L_2$  (dB). [3]*

Tento vliv akustiky prostoru nemá však žádný vliv na výslednou hodnotu kročejové neprůzvučnosti a je tzv. korigován (či normován) pomocí korekce na pohltivou plochu, resp. pomocí korekce na dobu dozvuku. Tyto korekce jsou uvedeny ve vztazích 2.1, resp. 2.2 v kapitole 2.3.

---

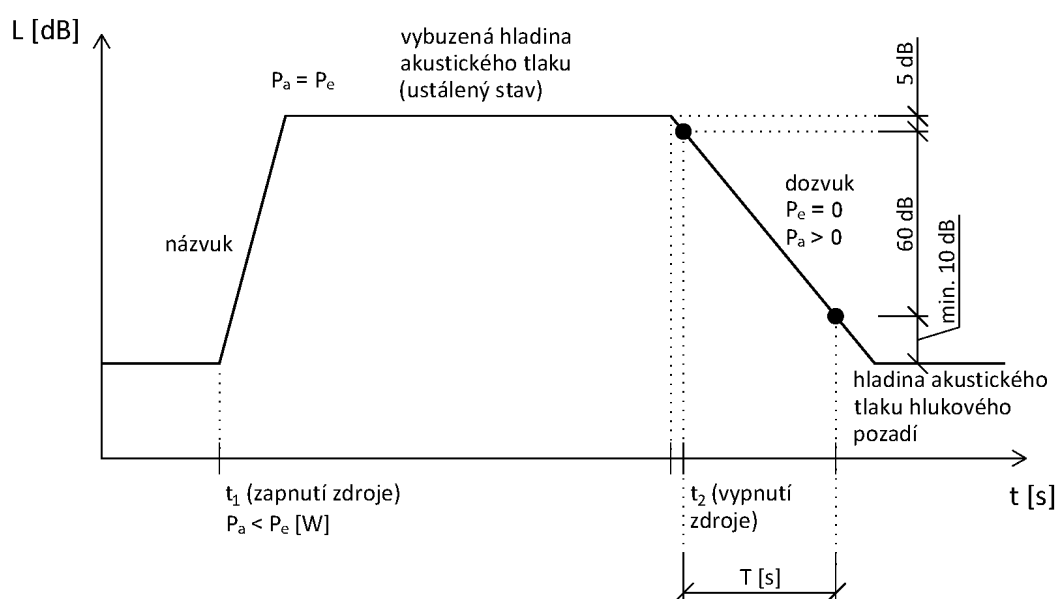
<sup>1</sup> Nařízení o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (ve znění pozdějších předpisů).

## 1.6 Doba dozvuku

Doba dozvuku  $T$  (s) je kritériem akustičnosti uzavřeného prostoru z hlediska statistické akustiky. [7]

Z hlediska prostorové akustiky, která klade důraz na jasnost a srozumitelnost řeči, je nejsledovanější veličinou. V otázce zvukových izolací je však také důležitá – z důvodu korekce (normování) pro získání výsledné hodnoty kročejové neprůzvučnosti (pro obě varianty přenosu kročejového zvuku (vertikálně i horizontálně ( viz kapitola 2.3)).

Následující obrázek 1.1 (převzatý z autorovy dřívější bakalářské práce, vyrobený původně v AutoCADu) slouží k vysvětlení pojmu.



**Obrázek 1.1:** Doba dozvuku  $T$

V předešlé práci byl vysvětlen detailněji princip počátečního vybuzení místnosti před samotným určováním doby dozvuku. Pro stručnější zopakování nyní postačí vysvětlit, co se děje po vypnutí budícího zdroje (či po výstřelu ze signální pistole – obě varianty a jejich praktické využití vysvětleny v kapitole 4.4). Vypnutím zdroje přestane ihned existovat pole přímých vln. Hladina akustického tlaku v poli odražených vln se ovšem snižuje postupně, jelikož zvukové vlny se stále odrážejí a do místa pozorování (měření) dorazí jednotlivě v různém času. Takovému jevu se říká dozvuk. Ten je sledován v časovém rozmezí od okamžiku, kdy měřicí přístroj naměří hladinu o hodnotě o 5 dB nižší, než je hodnota maximální vybuzené hladiny v místnosti, po okamžik, kdy se tato hladina zmenší o 60 dB (viz obrázek 1.1). Standardní doba dozvuku  $T$  (zkráceně doba dozvuku) je tedy definována jako doba, za kterou poklesne hladina akustického tlaku po vypnutí zdroje (a snížení o 5 dB) o 60 dB. Tato doba může být různě dlouhá, se zvětšujícím se objemem místnosti úměrně narůstá. Zároveň je závislá na celkové ekvi-

valentní pohltivé ploše místnosti, přičemž s její vyšší hodnotou se naopak doba dozvuku zkracuje. Jako ostatní akustické veličiny závisí také na kmitočtu zvuku a v případě zvukových izolací se sleduje ve třetinooktávových pásmech v rozsahu 100 až 3150 Hz. Na základě definice standardní doby dozvuku je zavedeno označení pro dobu dozvuku  $T_{60}$ , jsou však sledovány i další odvozené poklesy – například o 30 dB a 20 dB. [3]

*Pokles o 20 dB je využíván u měření zvukových izolací a má označení  $T_{20}$ . [3]*

Jak již bylo řečeno, doba dozvuku závisí především na objemu místnosti  $V$  ( $m^3$ ) a ekvivalentní pohltivé ploše  $A$  ( $m^2$ ), tedy na středním činiteli pohltivosti  $\alpha_m$ . Na základě především těchto veličin existují (mimo jiné, méně používané) tři vztahy pro výpočet doby dozvuku, které mají různá uplatnění. Uveden zde bude pouze první vztah, jelikož jako jediný se využívá při vyhodnocování zvukových izolací. Je jím výpočet doby dozvuku podle Sabina,

$$T = 0,163 \frac{V}{A} \quad (1.4)$$

*jehož užití je vhodné u místností, které nejsou opatřeny zvuk pohlcujícími obklady a jejichž  $\alpha_m < 0,2$ . Pomocí změřené doby dozvuku je možno zjistit celkovou ekvivalentní pohltivou plochu  $A$  místnosti. [3]*

Tento převod se však využívá pouze u první varianty měření kročejové neprůzvučnosti (vertikální přenos směrem dolů). U všech ostatních variant přenosu kročejového zvuku jsou přímo použity naměřené hodnoty doby dozvuku v jednotlivých třetinooktávových pásmech.

Další výpočty doby dozvuku (např. podle Eyringa a Millingtona) mají uplatnění pro prostory o větším objemu a s výraznějším ztlumením. Všechny tři tyto výpočty doby dozvuku (včetně Sabinova vztahu) se mohou ve jmenovateli doplnit o výraz  $4mV$ , který obsahuje veličinu  $m$  ( $m^{-1}$ ), která se nazývá *činitel útlumu zvuku* a jejíž hodnoty jsou dány ČSN 73 0525. Výraz  $4mV$  zohledňuje pohltivost vzduchem, s jejímž vlivem se uvažuje hlavně v případech místností o velkém objemu – při běžných měřeních doby dozvuku u zvukových izolací jej není třeba zohledňovat. [3]

## 2 Přenos kročejového zvuku (kročejová neprůzvučnost)

### 2.1 Uvedení do problematiky

*Stavba musí být navržena a postavena takovým způsobem, aby hluk vnímaný uživateli nebo osobami poblíž stavby byl v souladu s hygienickými limity udržován na úrovni, která neohrozí jejich zdraví, dovolí jim spát, odpočívat a pracovat v uspokojivých podmínkách. [1]*

Zvuková izolace si dává za úkol ochránit vnitřní prostor budov před zvukem šířícím se stavebními konstrukcemi. V této oblasti se řeší dva základní pojmy. Prvním je *vzduchová neprůzvučnost*, která vyjadřuje zvukovou izolaci, při níž se zvuk šíří vzduchem. Zavádí veličinu zvukové izolace zvanou *neprůzvučnost R*. Druhým pojmem je *kročejová neprůzvučnost* (přenos kročejového zvuku), při níž se zvuk šíří vodorovnou konstrukcí. Zavádí veličinu zvanou *normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku  $L_n$* . [3]

*Obě veličiny jsou nezávislé na neustále se měnící hlukové situaci v budově a při jejich zjišťování měření se používají umělé zdroje zvuku, které mají známé normou stanovené vlastnosti. [4]*

Jak pro vzduchovou, tak pro kročejovou neprůzvučnost je důležité splnit požadavky dané ČSN 73 0532, která prošla v poslední době mírnou proměnou z hlediska výsledků i způsobů navrhování staveb a konstrukcí v rámci projekční činnosti.

Veličiny jsou sledovány ve vnitřních *chráněných prostorech* bytových domů (včetně přístaveb za účelem vzniku nových bytů), občanských budov (hotely, nemocnice, školy, administrativní budovy), obytných částí v budovách jiného účelu a v rodinných domech (samostatné i řadové). [1]

*Největší důraz je však kladen na bytové domy. Změření zvukové izolace je u nich vždy vyžadováno pro kolaudační řízení. U ostatních typů budov není ve všech případech nutno vyhotovit protokol o splnění limitů, jelikož oproti bytovým domům nejsou tyto limity tolik přísné a ve výsledku se na ně při kolaudaci tolik nehledí jako na jiné důležitější věci. [3]*

Samotné požadavky jsou kladeny na *dělicí konstrukce* mezi místnostmi (svislé (stěny) a vodorovné (stropy s podlahami)), *dělicí konstrukce* včetně otvorů (dveře, okna) a obvodové pláště včetně jejich výplňových částí (především okna).

Kročejová neprůzvučnost pak řeší a hodnotí konstrukce a situace stropů a podlah mezi místnostmi (vertikální přenos) a schodišť, chodeb a jiných prostor, které s chráněnými prostory nemají společnou dělicí konstrukci (horizontální přenos).

## 2.2 Vybrané definice z ČSN 73 0532

Následující definice a vysvětlení převzaté z normy [1] jsou důležité pro pochopení textu následujícího v dalších kapitolách a doplnění některých pojmů zmíněných v textu předešlém.

**Bytový dům** – dům, ve kterém více než polovina podlahové plochy odpovídá požadavkům na trvalé bydlení a je k tomuto účelu určena.

**Byt** – soubor místností, popř. jedna obytná místnost, který svým stavebně technickým uspořádáním a vybavením splňuje požadavky na trvalé bydlení a je k tomuto účelu užívání určen.

**Obytná místnost bytu** – část bytu (zejména obývací pokoj, ložnice, pracovna, dětský pokoj, jídelna a jiné místnosti), která splňuje požadavky zvláštního předpisu<sup>2</sup>, je určena k trvalému bydlení a má nejmenší podlahovou plochu 8 m<sup>2</sup>; pokud tvoří byt jediná obytná místnost, musí mít podlahovou plochu nejméně 16 m<sup>2</sup> (viz ČSN 73 4301). Pro účely této normy sem patří např. i obytné kuchyně a obytné místnosti s prostorově připojenými kuchyňskými kouty. Samostatná kuchyň se považuje za obytnou místnost, má-li podlahovou plochu o velikosti nejméně 12 m<sup>2</sup>.

**Zvuková izolace** – stav ochrany proti přenosu zvuku stavebními konstrukcemi mezi místnostmi nebo z vnějšího prostředí do chráněného prostoru. Vyjadřuje se veličinami vzduchové a kročejové neprůzvučnosti podle příslušných měřicích norem.

**Chráněný vnitřní prostor stavby** (chráněný prostor) – uzavřený nebo jinak vymezený prostor (místnost), na který se vztahují hygienické limity hluku a který je nutné chránit proti přenosu zvuku ze sousedního vnitřního i vnějšího prostředí budov. (pozn.: tj. prostory, ve kterých se zdržují osoby za účelem práce, bydlení nebo rekreace)

**Hlučný prostor** – uzavřený nebo jinak vymezený prostor, ve kterém vzniká provozní činností hluk, který se přenáší vzduchem a/nebo stavební konstrukcí do chráněných prostorů (místností).

**Přenos zvuku dělicí konstrukcí** – přenos zvuku charakterizovaný stavební vzduchovou neprůzvučností stěny (stropu) nebo kročejovou neprůzvučností stropu, mezi dvěma sousedícími místnostmi, s přenosem zvuku přes společnou dělicí konstrukci o definované ploše, včetně vlivu vedlejších cest.

---

<sup>2</sup> Vyhláška č. 268/2009 Sb.

**Dělicí konstrukce** – obecný výraz pro svislé a vodorovné stavební konstrukce přímo oddělující místnosti zdroje zvuku od chráněných místností, např. stěny, stropy s podlahami atd.

**Stropy a stropní konstrukce** – vodorovné stavební konstrukce oddělující místnosti a prostory mezi podlažími. Pro účely této normy sem zahrnujeme stropy včetně přídatných konstrukcí podlah, podhledů apod.

**Podlaha** – konstrukce z jedné nebo více vrstev pokrývající holou stropní konstrukci. Často má charakter podlahové krytiny, těžké nebo lehké plovoucí podlahy, popř. dvojité podlahy. Přispívá zejména ke snížení přenosu kročejového hluku.

**Podhled** – obklad stropu, popř. zavěšená nebo snížená podstropní konstrukce se vzduchovou mezerou pro rozvody, zvukově a tepelně izolační materiál aj. Přispívá ke zlepšení vzduchové a kročejové neprůzvučnosti a podílí se též na prostorové akustice místnosti. Může být navržen ze zvukově odrazivých a/nebo zvukově pohltivých částí.

**Schodiště, podesty** – konstrukce schodišťových stupňů a podest ve společných prostorech domu nebo uvnitř bytů. Vztahují se na ně stejné požadavky na kročejovou neprůzvučnost jako na stropy a podlahy.

**Společně užívané prostory domu** – příslušné prostory a místnosti používané uživateli domu (domovní komunikace a domovní vybavení – vstupní prostory, chodby a schodiště, garáže, sklípky, prádelny, sušárny, půdy apod.).

**Příslušenství bytu** – prostory, které doplňují obytné místnosti a jsou určeny pro zajištění bytové komunikace, osobní hygieny, vaření a dalších funkcí, nutných pro trvalé užívání bytu. Tyto prostory nejsou explicitně považovány za chráněné místnosti ve smyslu této normy (ČSN 73 0532).

**Všechny prostory druhých bytů** – viz obytné místnosti bytu a příslušenství bytu, tj. včetně WC a koupelen, technické a hospodářské místnosti (např. prádelny apod.), předsíně, haly, chodby apod. Atria, lodžie a terasy pouze tehdy, pokud přímo sousedí s obytnými místnostmi druhých bytů.

**Provozovny v obytných domech** – různé služby nevýrobního charakteru, prodejny, opravny, občerstvení, restaurační zařízení, herny, kanceláře, ubytovny, úřadovny, lékařské ordinace apod. Obvykle bývají umístěny v 1.NP pod bytovými jednotkami.

## 2.3 Kročejová neprůzvučnost

Vzduchová neprůzvučnost je vnímána jako schopnost dělicích konstrukcí zabránit přenosu zvuku šířícího se vzduchem z jednoho prostoru do druhého. Oproti tomu kročejová neprůzvučnost (nebo také přenos kročejového zvuku) je schopnost konstrukcí snižovat zvuk, který jimi prochází.

Sleduje se u vodorovných stropních konstrukcí. Stropy jako takové nemají totiž sloužit pouze jako ochrana proti zvuku šířenému vzduchem, ale i proti zvuku šířenému přímo konstrukcemi. Zvuky, které se stropními konstrukcemi přenášejí, jsou chůze, dupání, pád předmětů na podlahu, posouvání nábytku (včetně šoupání židlí), manipulace se zabudovaným nábytkem, provoz strojů umístěných na podlaze nebo zavěšených na zdi, případně i používání zásuvek či vypínačů.

Jedná se o mechanické impulzy (rázy), při nichž jsou stropní konstrukce dynamicky namáhány. V důsledku těchto rázů vznikají v konstrukcích ohybové vlny v podobě chvění (vibrací), které se šíří různými rychlostmi od místa impulzu do nosných konstrukcí objektu. Samotné chvějící se konstrukce (především stropy, ale i stěny) vyzařují do vzduchu ve vnitřních prostorách zvuk. Obecně se říká, že konstrukcemi je propouštěn tzv. *kročejový zvuk* (též známý jako *strukturální*), který náleží do oblasti chvění (od 20 Hz výše) a který je lidmi vnímán jako zvuk různé intenzity podle stupně zvukové izolace (v podobě kročejové neprůzvučnosti), jež má zabránit jeho nadměrnému přenosu. Kročejová neprůzvučnost tak nemusí nutně postihovat pouze zvuk, který vzniká při přímém kontaktu s podlahou, ale i další hluky, které jsou způsobeny příklady, jež byly popsány v tabulce 1.1. [4, 9, 10]

*Pro kročejovou neprůzvučnost je tak charakteristické, že zdroj hluku (na rozdíl od vzduchové neprůzvučnosti) je v přímém kontaktu s dělicí konstrukcí. [10]*

Pokud nejsou stavební konstrukce správně navrženy a provedeny, kročejový zvuk je následně velice snadno přenášen i do vzdálenějších prostorů v objektu, nikoliv jen do přímo sousedících.

Nosné (ale i nenosné) konstrukce v podobě železobetonu, kovů, keramiky, cihelných bloků, dřeva, kamene, skla a podobných materiálů jsou totiž velice dobrými nosiči takového zvuku. Proto je zde odizolování podlah od ostatních konstrukcí zcela zásadním a klíčovým prvkem. O způsobech provedení a dodržení tohoto a dalších pravidel však pojednává až kapitola 3.

Na základě výše uvedeného lze konstatovat, že kročejová neprůzvučnost je vlastnost stropní konstrukce odolávat přenosu kročejového zvuku (nebo omezovat jeho vznik) do chráněných místností. Ve vzorci pro získání výsledné hodnoty veličiny, která slouží jako ukazatel kročejové neprůzvučnosti stropní konstrukce (viz vzorce 2.1, 2.2), se nevyskytuje rozdíl hladin  $D$  (dB), jako v případě neprůzvučnosti vzduchové, ale

pouze hladina akustického tlaku  $L_2$  (dB), která je naměřena v místnosti příjmu. To znamená, že čím nižší tato hodnota bude, tím lepší zvukoizolační schopnost konstrukce stropu má, protože v místnosti příjmu nebude naměřena tak vysoká hladina akustického tlaku. Což je značný rozdíl oproti vzduchové neprůzvučnosti. Proto je zde termín „neprůzvučnost“ zavádějící, protože tento druh zvukové izolace nyní udává, kolik zvuku reálně projde do sousedních místností skrz stropní konstrukci. [10]

Autor práce tedy spíše tento pojem chápe velice zjednodušeně jako „průzvučnost“, avšak ani takto by nebyl zcela přesný a vystihující. Proto také různí autoři nepoužívají termín kročejová neprůzvučnost, nicméně jiné vyjádření nebo veličina, která by lépe vyjadřovala tuto zvukoizolační vlastnost neexistuje.

Zároveň je zaveden druhý možný pojem tohoto typu zvukové izolace, a to *přenos kročejového zvuku*, který již lépe vystihuje výše uvedenou situaci. Většina lidí zná především termín kročejová neprůzvučnost a též ho lze běžně najít v národních a evropských normách. V práci budou využívány oba termíny.

Kročejový zvuk je nedefinovatelný a jeho nepravidelný charakter závisí na aktivitě lidí užívajících budovu, způsobu chůze, obutí, hmotnosti jedinců atd. [4]

Proto nelze reálné zdroje pro měření kročejové neprůzvučnosti využít a pro účely za každé situace objektivního hodnocení jsou nahrazeny zdroji umělými především v podobě klepacího zařízení, které má normově přesně definované vlastnosti a pravidelnými údery vybuzuje posuzovanou stropní konstrukci. Toto zařízení je společně s dalším alternativním zdrojem popsáno v kapitole 4.2. [11]

Nejběžnější případ vzniku kročejového zvuku představuje jeho přenos z horních podlaží do spodních (tzv. vertikální přenos směrem dolů). Rušivý zvuk může být veden také schodištěm nebo stropy na stejném podlaží (tzv. horizontální přenos – např. ze společné chodby do bytu nebo mezi prostory cizích bytů vzájemně). Dále je možno se též setkat s přenosem kročejového zvuku ze spodního do podlaží horního (tzv. vertikální přenos směrem nahoru).

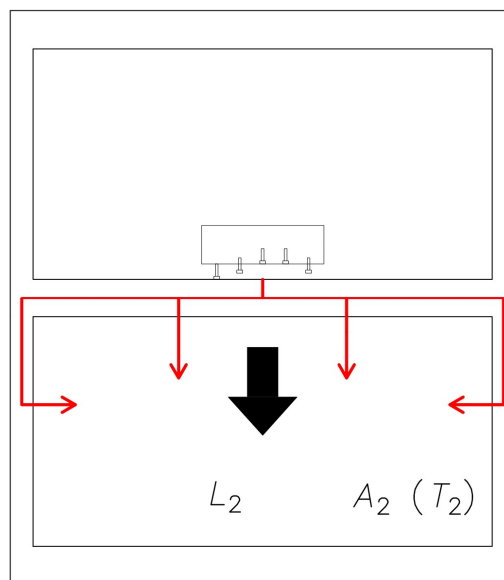
Posouzení vertikálního přenosu zvuku směrem dolů je požadováno nejčastěji. Ostatní uvedené možnosti jsou v případech místností exponovaných vůči hlučným místům v podobě schodišť, chodeb a provozoven neméně důležité k posouzení. V těchto případech se pak zavádí veličina, která je lehce rozdílná od té, která se běžně používá pro vertikální přenos směrem dolů. Princip měření je však velmi podobný. Obě veličiny budou níže vysvětleny.

V případě vertikálního přenosu směrem dolů lze zjistit kročejovou neprůzvučnost pomocí následujícího vztahu 2.1.

$$L_n = L_2 + 10 \lg \frac{A_2}{A_0} = L_2 + 10 \lg \frac{0,16V_2}{T_2A_0} \quad (2.1)$$



Vztah 2.1 zavádí novou veličinu zvanou *normovaná hladina (k pohltivé ploše) akustického tlaku kročejového zvuku*  $L_n$  (dB), zkráceně *normovaná hladina kročejového zvuku*. V *místnosti zdroje* (též nazývané jako *vysílací místnost*) je umístěno normalizované klepací zařízení, které vybudí posuzovanou stropní konstrukci. Vzniklý kročejový zvuk je pak v různé míře slyšitelný v okolních místnostech. Jeho skutečný vliv se přímo změní ve spodní *místnosti příjmu* (též nazývané jako *přijímací místnost*). Zjištěná hladina akustického tlaku  $L_2$  (dB) by se měla správně nazývat *hladina akustického tlaku kročejového zvuku*, protože je způsobena samotným klepacím zařízením. Je opět třeba uvést, že se v tomto případě nejedná o rozdíl hladin jako je tomu v případě vzduchové neprůzvučnosti.



**Obrázek 2.1:** Vertikální přenos směrem dolů

Následně je provedeno korigování (tzv. normování) hodnoty pomocí desetinásobku dekadického logaritmu poměru měřené ekvivalentní pohltivé plochy  $A_2$  ( $\text{m}^2$ ) v místnosti příjmu k referenční ekvivalentní pohltivé ploše  $A_0$  ( $\text{m}^2$ ). Ekvivalentní pohltivá plocha  $A_2$  ( $\text{m}^2$ ) se zjistí z naměřené *dobu dozvuku*  $T_2$  (s) v místnosti příjmu pomocí výpočtu podle Sabina (vztah 1.4). Tento výpočet je zohledněn i v uvedeném vztahu 2.1 po druhém rovnítku. Referenční ekvivalentní pohltivá plocha  $A_0$  ( $\text{m}^2$ ) je rovna  $10 \text{ m}^2$  (hodnota pro byty). [12]

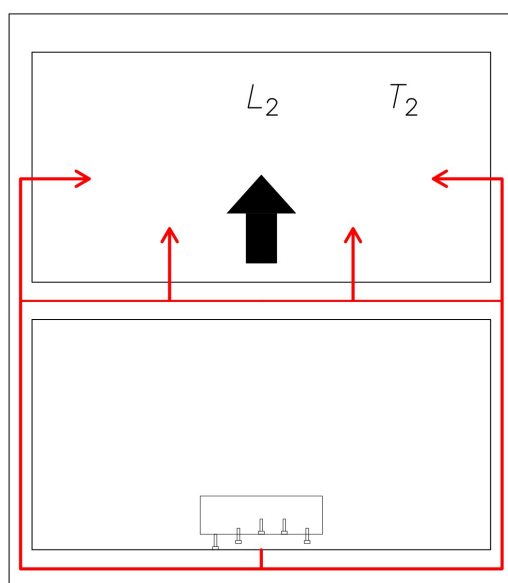
Tato korekce je důležitá vzhledem k různým úrovním dokončenosti přijímacích místností. Při měřeních v málo zařízených místnostech je doba dozvuku vyšší, než v prostorech normálních k obytným účelům. Zvýšená doba dozvuku v přijímacím prostoru má za následek vyšší hladinu akustického tlaku  $L_2$  (dB).

Kročejová neprůzvučnost (přenos kročejového zvuku) je však vlastnost samotné stropní konstrukce, na kterou vybavení či nevybavení místnosti příjmu nemá vliv. Proto je zde tato logaritmická korekce uplatněna – teoretický vliv zvýšené (nebo i snížené) doby dozvuku je díky ní vyloučen. [13]

V předešlé situaci se jednalo o případ, kdy buzená konstrukce je společnou dělicí stavební konstrukcí. Při dalších možnostech měření a přenosu kročejového zvuku již místnosti nemají společnou dělicí konstrukci. Jedná se například o případ vertikálního přenosu směrem nahoru (viz obrázek 2.2). Ten nastává nejčastěji u provozoven či hlučných prostorů v 1.NP pod obytnými místnostmi bytů. Příkladem takových hlučných prostorů jsou restaurace, prodejna, čekárna, ale i chodba nebo společné garáže.

Dalším případem je horizontální přenos ze schodiště – z podesty, ale nejčastěji z mezpodesty či schodišťových ramen (viz obrázek 2.3). Samotné schodišťové konstrukce se tedy musí také řešit z hlediska dostatečného omezení přenosu kročejového zvuku. Preventivní opatření jsou pak oproti běžným opatřením stropních konstrukcí odlišná a bude jim věnována kapitola 3.4.

Posledním běžně ověřovaným případem je horizontální přenos kročejového zvuku z prostoru společné domovní chodby do obytných místností bytů (viz obrázek 2.4). Pokud v chodbách není správně vyřešená kročejová izolace, dochází k jeho zvýšenému přenosu, což je následně zdrojem oprávněných stížností uživatelů bytů.



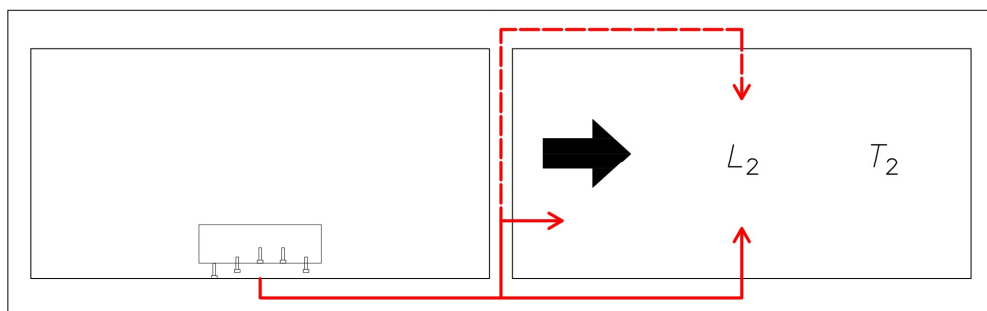
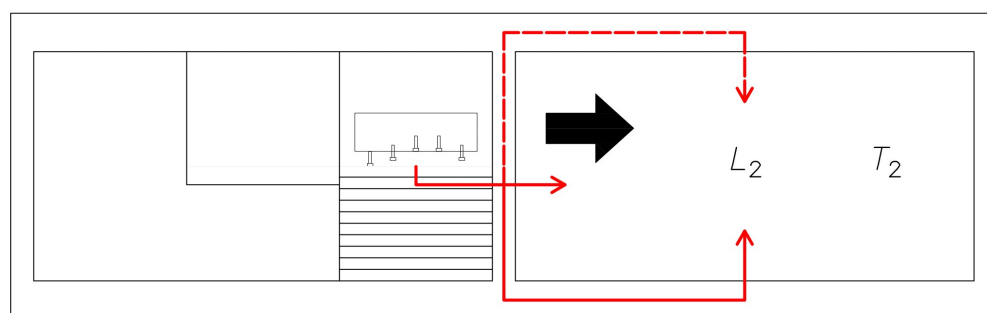
*Vlevo*

**Obrázek 2.2:** Vertikální přenos směrem nahoru

*Dole*

**Obrázek 2.3:** Horizontální přenos schodiště

**Obrázek 2.4:** Horizontální přenos chodba



Ve všech těchto zbývajících případech přenosů se zavádí druhá veličina zvaná *normovaná hladina (k době dozvuku) akustického tlaku kročejového zvuku*  $L_{nT}$  (dB), zkráceně normovaná hladina kročejového zvuku. Název je tedy stejný jako u předešlé veličiny  $L_n$  (dB), avšak důležitý rozdíl zde vzniká u normování „k době dozvuku“, což je patrné ze vztahu 2.2.

$$L_{nT} = L_2 - 10 \lg \frac{T_2}{T_0} \quad (2.2)$$

Opět zde platí, že v místnosti zdroje je umístěno normalizované klepací zařízení, které při svém spuštění vybudí stropní konstrukci, z níž se následně šíří kročejový zvuk.

V místnosti příjmu je pak rovněž měřena hladina akustického tlaku  $L_2$  (dB). Samotná výsledná hodnota normované hladiny kročejového zvuku však vzniká v tomto případě snížením o korekční člen, který se rovná desetinásobku dekadického logaritmu poměru změřené doby dozvuku  $T_2$  (s) k referenční době dozvuku  $T_0$  (s), která je pro obytné místnosti bytů dána hodnotou  $T_0 = 0,5$  s ve všech kmitočtových pásmech. Předpokládá se totiž, že v místnostech tohoto typu je doba dozvuku při zařízení nábytkem přibližně rovna této hodnotě. [14]

I zde je tedy třeba změřit dobu dozvuku, avšak tentokrát se již nepřepočítává ekvivalentní pohltivá plocha přijímací místnosti  $A_2$  (m<sup>2</sup>). Ve vzorci 2.2 je pak uvažováno s přímo naměřenými hodnotami  $T_2$  (s), a není tak nutné znát objem prostoru  $V_2$  (m<sup>3</sup>), ačkoliv pro účely vyjádření výsledků je to údaj požadovaný.

Veličina  $L_{nT}$  by tak měla vyjadřovat přímou vazbu na subjektivní vnímání kročejové neprůzvučnosti. [14]

Obě zmiňované veličiny ( $L_n$  i  $L_{nT}$ ) jsou stejně jako vzduchová neprůzvučnost kmitočtově závislé v oblasti třetinooktávových pásem v rozsahu 100–3150 Hz<sup>3</sup>.

Zaokrouhlují se na jedno desetinné místo, avšak pro účely porovnávání s požadavky ČSN 73 0532 se stanovují tzv. *vážené* normované hladiny akustického tlaku kročejového zvuku  $L_{n,w}$ , resp.  $L_{nT,w}$ .

O způsobu vyjádření těchto vážených hodnot pojednává kapitola 2.6.

Vzorce 2.1 a 2.2 slouží pouze pro účely laboratorního či stavebního měření reálných konstrukcí. V oblasti projektování jsou hodnoty kročejové neprůzvučnosti vypočteny z vlastností prvků pomocí různých odhadových metod či pomocí softwaru.

---

<sup>3</sup> Zvukoizolační pásmo představuje o 16 pásem: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 Hz.

V případech měření se od sebe veličiny nijak neodlišují – název zůstává stejný, rozdíl je zde pouze v tom, že u stavebních hodnot se k veličině přidává horní čárka, tj. vzniká označení  $L'_{n}$ , resp.  $L'_{nT}$ , stejně tak pak u vážených hodnot.

Jak již bylo zmíněno, výsledná hodnota přenosu kročejového zvuku má být co nejnižší. Proto by normovaná hladina kročejového zvuku měla ideálně s narůstajícím kmitočtem klesat. To znamená, že čím vyšší je frekvence procházejícího zvuku konstrukcí, tím vyšší by měla být její zvukoizolační vlastnost v podobě kročejové neprůzvučnosti a tím menší je intenzita vnímaného zvuku v místnosti příjmu.

Zároveň lze říct, že na rozdíl od vzduchové neprůzvučnosti nelze dosáhnout lepší ochrany proti hluku pouhým zvětšením plošné hmotnosti konstrukce, ale je vždy nutné navrhnout odpovídající podlahovou konstrukci a správné konstrukční řešení, které zajistí požadovaný kročejový útlum. To znamená, že základní stropní konstrukce (např. ŽB deska) neposkytuje dostatečnou ochranu proti přenosu kročejového zvuku. Dokonce se naopak její kročejová neprůzvučnost s narůstajícím kmitočtem zmenšuje (tedy se zvyšuje normovaná hladina kročejového zvuku). Lépe je tento nedostatek jednoduchých stropních konstrukcí popsán v kapitole 2.9.

Vhodným návrhem skladby je možné dosáhnout kročejové neprůzvučnosti, která splňuje normové požadavky, avšak ani tento konečný výsledek nemusí být vždy uživatelům bytů vyhovující. Nepříjemnou skutečností je fakt, že zvuky jako chůze, dupot a bouchání (které vyvolávají kročejový hluk) jsou zvuky s převahou nízkých frekvencí (běžně se jedná o frekvence nižší, než je 100 Hz (spodní hranice zvukoizolačního pásma)). Často se tedy stává, že jak klasické, tak i některé moderní materiály nedokáží tuto nízkofrekvenční složku dostatečně eliminovat (nebo ji omezí jen nerovnoměrně a vznikne tzv. tónová složka). Konstrukce z hlediska požadavků ve výsledku podle normy ČSN 73 0532 vyhovují, ale kvůli subjektivnímu vnímání lidí mohou následně přijít stížnosti na obtěžující nízkofrekvenční zvuky.

Ty totiž nejsou v rámci posuzování zvukových izolací ověřovány. Celé této někdy opomíjené problematice ohledně možného rušivého vnímání frekvencí pod spodní hranicí vymezené oblasti pro řešení kročejové neprůzvučnosti se věnuje kapitola 6.2.

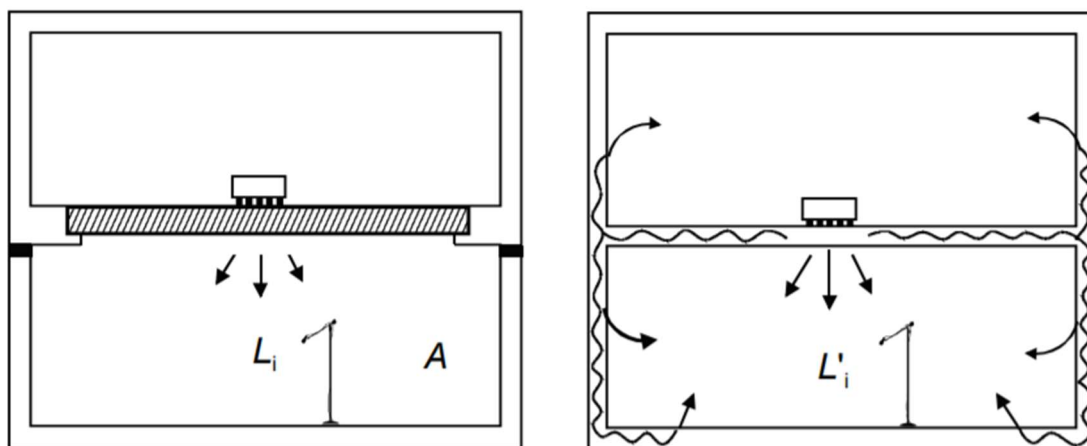
V této vlastní kapitole bylo vysvětleno, že kročejová neprůzvučnost jakožto zvukoizolační vlastnost konstrukcí je vyjádřena veličinou zvanou normovaná hladina kročejového zvuku a lze ji získat pomocí měření nebo výpočtu. Měření převážně na stavbě popisuje kapitola 4 a vlastním autorovým experimentálním měřením se věnují kapitoly 7.1 a 7.2, které patří do druhé části práce (ad B), jež se nazývá „Tematická pozorování, experimentální měření“.

Výpočtům, sloužícím k předběžným hodnocením konstrukcí ve fázích příprav a projektu, se zabývá třetí modelová část (ad C), která nese název „Modelování kročejové neprůzvučnosti“.

## 2.4 Rozdíl mezi laboratoří a stavbou

V předchozí kapitole byl vysvětlen rozdíl mezi veličinami normované hladiny kročejového zvuku v laboratoři ( $L_n$ ) a na stavbě ( $L'_n$ ). Hodnotu  $L_n$  lze zjistit pomocí výpočtu nebo laboratorním měřením, hodnotu  $L'_n$  pouze měřením na stavbě, případně předběžným odhadem na základě využití empirické korekce  $k_2$  (dB), jejíž způsob určení je podrobněji vysvětlen v kapitole 2.5.

Výsledky v laboratořích, podle nichž se projektuje a výrobci je udávají ve svých technických listech, jsou dosaženy za ideálních podmínek a měly by velice přesně reflektovat skutečnou vlastnost stropní konstrukce z hlediska kročejového útlumu. Na stavbách, kde se již posuzují reálné konstrukce stropů, dochází k tzv. bočním přenosům, které výslednou kročejovou neprůzvučnost konstrukce více či méně zhoršují. To je zcela zřetelně vidět na obrázku 2.5. [3]



**Obrázek 2.5:** Rozdíl mezi laboratorní a stavební situací [15]

Zatímco v případě laboratoře je jediným způsobem přenosu tzv. přímý přenos, na stavbě může docházet k několika dalším bočním přenosům, které zvyšují výslednou hladinu akustického tlaku v místnosti příjmu. O tom, jak moc zvýšená tato hladina bude, rozhoduje samotné provedení především podlah a dalších preventivních opatření, které mají na kročejový útlum největší vliv. Ten mohou mít i případné akustické mosty, které vzniknou hrubým nedodržením základních technologických pravidel nebo nesprávným návrhem stropní konstrukce a mají za následek zhoršení její kročejové neprůzvučnosti. S těmito mosty se však v rámci výpočtu logicky nijak neuvažuje, v případě laboratoře by se ideálně nikdy neměly objevit. Setkat se tak s nimi lze jedině na stavbě, a právě proto jsou normové požadavky kladeny na stavební hodnoty  $L'_n$ , resp.  $L'_{nT}$ .

U vzduchové neprůzvučnosti platilo, že laboratorní neprůzvučnost  $R$  (dB) je téměř vždy větší než stavební neprůzvučnost  $R'$  (dB), tedy  $R > R'$ . Podíl bočních přenosů, které měly vliv na výslednou hodnotu korekce  $k_1$  (dB), se zde projevil daleko více než u nyní řešené kročejové neprůzvučnosti. Boční přenos je zde také patrný, avšak tvrdí se, že v běžných stavbách s těžkými stavebními prvky je jeho vliv na celkový přenos poměrně malý a zanedbává se. [16]

Zatímco u vzduchové neprůzvučnosti vznikající zvuk dopadal jak na dělicí, tak i na boční konstrukce, v případě kročejové neprůzvučnosti vzniká většinou přímo v dělicí konstrukci, z níž se šíří dál. Boční konstrukce vysílací místnosti tak nejsou do tohoto přenosu tolik zapojeny (viz obrázek 2.5).

Je tedy pravda, že vliv bočního přenosu je určitě menší než v případě druhého typu zvukové izolace, avšak ne ve všech případech by se měl zanedbávat – v případě dřevostavby pak může být poměrně významný, je tedy vždy lepší s ním v nějaké míře počítat. Korekce  $k_2$  (dB) se pro získání stavební hodnoty přičítá k laboratorní podle vztahu 2.3. Běžně se uvádí, že její hodnota je rovna 0 až 2 dB, nemusí tomu však tak být vždy – více viz kapitola 2.5.

$$L'_n = L_n + k_2 \quad (2.3)$$

Z uvedeného pak vyplývá, že laboratorní normovaná hladina kročejového zvuku  $L_n$  je menší než stavební hodnota normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$ . V krajním případě však také může jedna druhé zhruba odpovídat, tedy  $L_n \approx L'_n$ .

ČSN EN ISO 12354-2 definuje možné způsoby přenosu kročejového přenosu mezi místnostmi takto:

- **přímý přenos kročejového zvuku** (*impact direct transmission*): přenos způsobený nárazovým (kročejovým) vybuzením a vyzařováním zvuku dělicím prvkem,
- **boční přenos** (*flanking transmission*), **nepřímý přenos** (*indirect structure-borne transmission*): přenos zvukové energie z buzeného prvku v místnosti zdroje do místnosti příjmu přes konstrukční (vibrační) cesty konstrukcí budovy, např. stěnami, podlahami, stropy. [17]

Tyto druhy přenosů jsou pak jasně vidět na obrázku 2.5, autor práce se je snažil znázornit červenou čarou i v obrázcích 2.1–2.4 v kapitole 2.3. Případný nepřímý přenos vzduchem (například mezi okny místností venkovním prostorem) zde není uvažován, stejně tak akustické mosty, které se však mohou nevhodně projevit ve výsledné kročejové neprůzvučnosti. Jejich vzniku, důvodu a možnosti omezení se věnuje kapitola 5, která patří do druhé části práce (ad B).

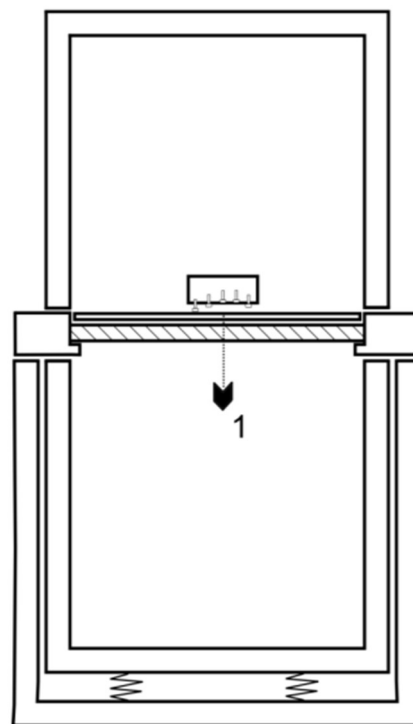
Provedení akustické laboratoře odpovídá tomu, aby byl co nejvíce potlačen přenos kročejového zvuku bočními cestami. Realizovaný strop je zabudován do zkušební

železobetonového rámu, který je pružně oddílatován od ostatních svislých konstrukcí. Jak je vidět na schématickém obrázku 2.6, celá laboratoř nemá žádná výrazná pevná spojení sousedních konstrukcí, což by mělo za následek vytvoření bočního přenosu. Ten je tak zcela potlačen, a dominantním přenosem je tak pouze přenos přímý, což slouží k přesnému určení skutečné kročejové neprůzvučnosti posuzovaných stropních konstrukcí. Díky tomu je možné výsledky použít ke srovnání zvukověizolačních vlastností stavebních prvků, ke klasifikaci stavebních prvků podle jejich zvukověizolační způsobilosti, při návrhu stavebních výrobků, které vyžadují určité akustické vlastnosti a k odhadu akustického účinku těchto prvků v hotových stavbách. [12]

Výsledky měření však nelze přímo aplikovat na stavební podmínky bez zahrnutí vlivu dalších faktorů, které ovlivňují neprůzvučnost, a to zvláště přenosu bočními cestami, okrajových podmínek a ztrátového činitele. [12]

Proto je vždy třeba změřit na stavbě finální provedení stropní konstrukce a porovnat ho s normovými hodnotami, protože i sebelepší konstrukce v laboratoři může být následně na stavbě špatně provedena a nebude tak poskytovat akustický komfort pro budoucí uživatele bytů.

Dále platí, že v akustické laboratoři by měla mít místnost příjmu objem minimálně  $50 \text{ m}^3$  (ideálně  $50\text{--}60 \text{ m}^3$ ), vhodně zvolené poměry rozměrů místnosti z důvodu rovnoměrného rozložení vlastních kmitočtů na nízkých frekvencích a zkoušený prvek by měl pokrývat celou plochu stropu místnosti příjmu, tj. od stěny ke stěně. Zvukové pole se má co nejvíce blížit difúznímu a místnost zdroje by měla být větší. Další podmínky a způsob uspořádání laboratorní zkoušky viz ČSN EN ISO 10140–1,3,5. [12,18,19]



Obrázek 2.6: Schéma laboratoře [11]

## 2.5 Stanovení korekce pro boční přenos

V předešlé kapitole byl vysvětlen rozdíl mezi laboratoří a stavbou z pohledu rozdílnosti výsledných hodnot kročejové neprůzvučnosti. Zatímco v laboratoři je boční přenos konstrukcemi potlačen, na stavbě se mu nelze vždy vyhnout, a proto je třeba při posuzování v rámci návrhu a projektu přičíst k laboratorní hodnotě (změřené nebo vypočtené) korekci na boční přenos  $k_2$  (dB). Běžně se tato korekce přičítá až k vážené hodnotě normované hladiny kročejového zvuku (vztah 2.4), jejímuž stanovení se věnuje následující kapitola 2.6.

$$L'_{n,w} = L_{n,w} + k_2 \quad (2.4)$$

Korekce  $k_2$  může být zjištěna několika způsoby. Jednou z možností je vytvořit v softwaru přesný model místností a jednotlivým dělicím konstrukcím přiřadit jejich vlastnosti. Příkladem takového softwaru může být BASTIAN. Zajímavější však bude vysvětlit, jak lze korekci na boční přenos stanovit empiricky či samostatně výpočtem.

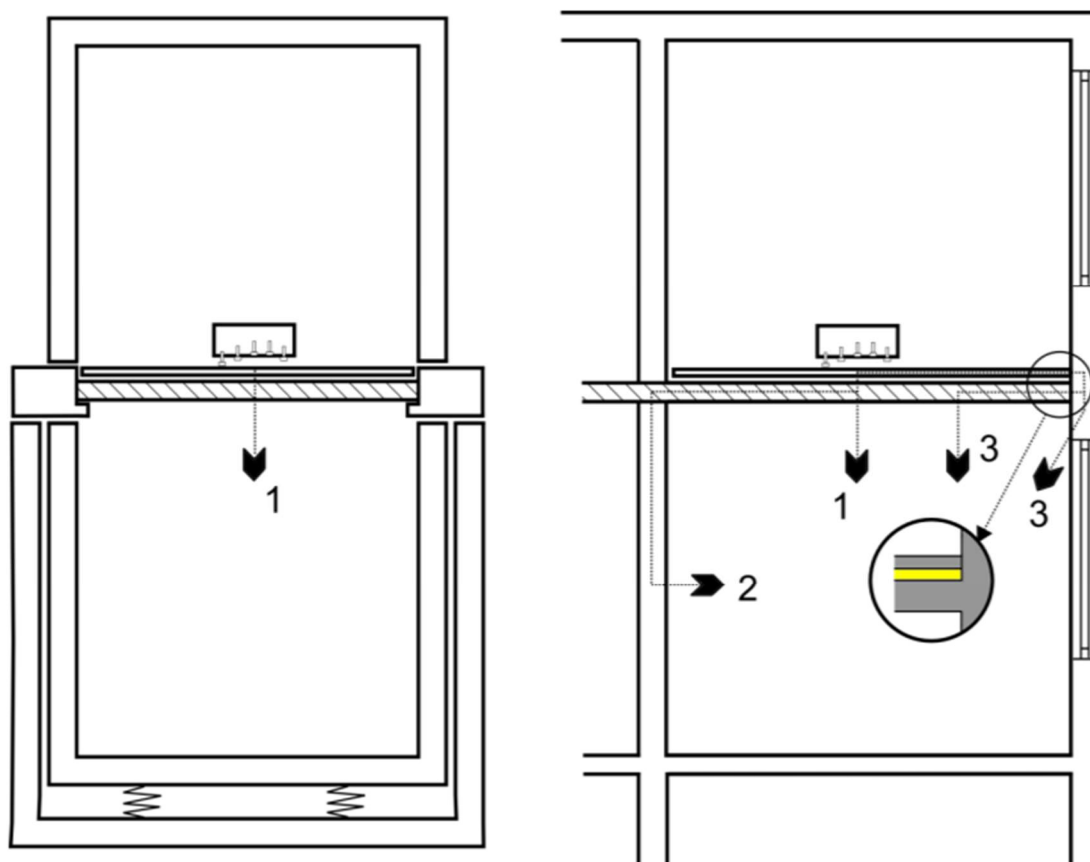
Aktualizovaná (k roku 2020) ČSN 73 0532 uvádí, že korekce je u běžných konstrukcí rovna 0 až 2 dB, výběr hodnoty byl dříve na zvážení projektanta. Nyní již tato norma přímo doporučuje, že pro dřevěné a kovové stropní konstrukce včetně podlahy má být  $k_2 = 2$  dB. V případě těžkých stropních konstrukcí včetně podlahy rozlišuje dvě situace pro boční svislé vnitřní konstrukce. Pokud jsou jimi těžké silikátové stěny pružně oddělené od stropní konstrukce, nebo lehké montované stěny z desek a nosného roštu, korekce by měla být rovna 1 dB. Pokud se jedná o těžké silikátové stěny dozděné až ke stropní konstrukci, je třeba použít korekci  $k_2 = 2$  dB. [1]

Toto doporučení však platí pouze pro velmi běžné styky konstrukcí, v případě jejich větší složitosti nebo u náročných dispozic je lepší korekci stanovit individuálně pomocí výpočtu. Jedním z nich je výpočet opět podle ČSN 73 0532 v příloze E s využitím grafů pro různé situace styků konstrukcí v závislosti na plošných hmotnostech dělicí stropní konstrukce a 4 svislých bočních konstrukcí. Je založen na zjednodušeném výpočetním modelu ČSN EN ISO 12354-2 a má svá omezení. Pro typické případy však na základě zkušeností vykazuje poměrně srovnatelné výsledky jako při použití druhé evropské normy, což je rozdíl oproti předchozímu vydání ČSN 73 0532, kde tato jednoduchá pomůcka nebyla. V případě ne tak snadných situací mohl projektant použít pouze daleko složitější výpočet podle ČSN EN ISO 12354-2. Tato novinka je tak uživatelsky přívětivá a zároveň umožňuje pracovat s relativně přesnými hodnotami korekce  $k_2$ . [1, 17]

Pro účely diplomové práce není důležité uvádět jednotlivé vzorečky obou možných výpočtů. Je ale potřebné zmínit, že v případě kročejové neprůzvučnosti dochází v každém styku pouze k jednomu bočnímu přenosu, zatímco u vzduchové neprůzvučnosti byly tři. Z toho tedy vyplývá, že se nyní ve výpočtech uvažuje celkem jen se čtyřmi bočními přenosy (oproti dřívějším dvanácti) a s jedním přímým přenosem konstrukcí



(viz obrázek 2.7). U místností vedle sebe (horizontální přenos) jsou pak uvažovány pouze dva boční přenosy.



**Obrázek 2.7:** Boční přenosy na stavbě [11]

Na obrázku 2.7 je opět použito schéma laboratoře z předchozí kapitoly (viz obrázek 2.6), nyní je však vidět v porovnání s reálným stavem na stavbě. Konstrukce již nejsou od sebe pružně odděleny, po stranách stropní konstrukce tak v každém styku vzniká jeden boční přenos (označen číslem 2), jak již bylo vysvětleno výše. Přímý přenos je označen číslem 1, pod číslem 3 jsou uvažovány případné akustické mosty. Ty však v samotné korekci zohledňovány nejsou.

## 2.6 Stanovení vážené normované hladiny kročejového zvuku

Kročejová neprůzvučnost jakožto vlastnost stropních konstrukcí odolávat přenosu kročejového zvuku je vyjádřena veličinou zvanou normovaná hladina (akustického tlaku) kročejového zvuku  $L'_n$ , resp.  $L'_{nT}$  (dB) (při laboratorních hodnotách značena bez horní čárky). Ta je přirozeně kmitočtově závislá a je sledována v 16 třetinooktávových pásmech v rozsahu zvukoizolačního pásma od 100 do 3150 Hz. Při správném provedení stropních konstrukcí by měla mít její hodnota sestupnou tendenci, tj. se vzrůstajícím kmitočtem by měla konstrukce méně přenášet kročejový zvuk. Nelze však říct,

že k tomuto dochází vždy, často pak nelze ani vysledovat určitou závislost, kterou by výsledné hodnoty  $L_n$  mezi sebou měly, ačkoliv teoretické výpočty s ní pracují.

V horším případě také mohou výsledky s narůstajícím kmitočtem stoupat.

Hodnotit tak všech 16 hodnot by nedávalo příliš smysl. Proto ČSN EN ISO 717-2 normalizuje metodu, kterou lze tyto kmitočtově závislé hodnoty kročejové neprůzvučnosti, změřené na stavbě podle ČSN EN ISO 16283-2 (resp. v laboratoři podle ČSN EN ISO 10140-3), převést na jednočíslnou veličinu, která tento druh zvukových izolací lépe charakterizuje. [20]

Touto metodou je tzv. *vážení* pomocí směrné křivky. Vzniká tak veličina zvaná *vážená normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku*  $L'_{n,w}$ , resp.  $L'_{nT,w}$  (dB). Při laboratorních hodnotách (z měření nebo výpočtu) je pak se značením bez čárky. Zjištěná veličina je následně hodnocena v souladu s požadavky ČSN 73 0532 a může sloužit k vzájemnému porovnávání různých stavebních prvků a konstrukcí z hlediska kročejové neprůzvučnosti. [13, 21]

Změřené hodnoty normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (resp.  $L_n$  – dále se však budou v textu uvažovat pouze stavební hodnoty) se vynášejí do normalizovaného pravoúhlého diagramu se závislostí normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) (svislá osa) na kmitočtu  $f$  (Hz) (vodorovná osa) – viz obrázek 2.8. Rozměry diagramu jsou normalizovány tak, že jednomu třetinooktávovému pásmu odpovídá 5 mm a deseti decibelům 20 mm. Zjištěné hodnoty  $L'_n$  se vynesou do diagramu s přesností na jedno desetinné místo a spojí úsečkami, čímž vznikne lomená čára, znázorňující závislost normované hladiny akustického tlaku na kmitočtu. [3, 14]

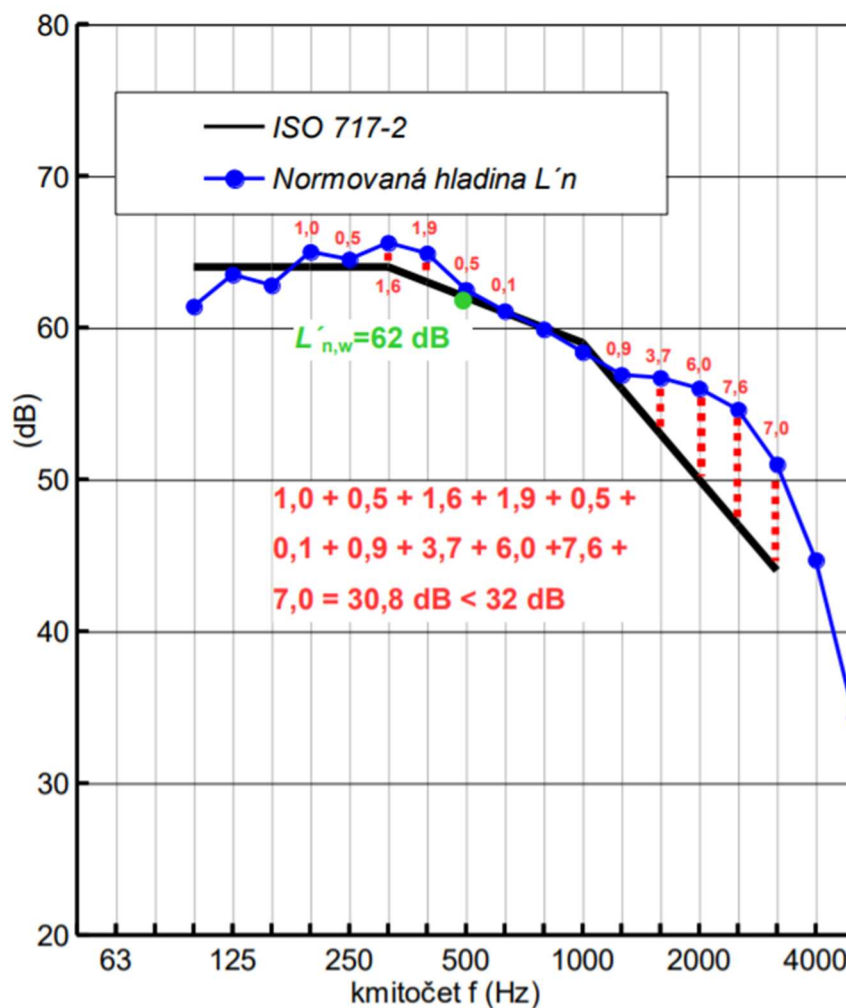
Metoda vážení pak funguje tak, že se do grafu vloží směrná křivka, jejíž hodnoty jsou dány ČSN EN ISO 717-2 a jsou uvedeny v tabulce 2.1. Má tak tvar dvakrát lomené čáry a každá její hodnota se porovnává se zjištěnými výsledky normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB). Směrná křivka se pak posouvá vzhledem ke křivce normované hladiny kročejového zvuku s krokem 1 dB, dokud se součet nepříznivých odchylek ve všech 16 třetinooktávových pásmech co nejvíce blíží, ale nepřesahuje stanovenou hodnotu 32 dB. [20, 21]

Odchytky jsou v daném třetinooktávovém pásmu nepříznivé tehdy, když zjištěná hodnota  $L'_n$  je vyšší než směrná hodnota, tj. rozhodující jsou zde hodnoty nad směrnou křivkou (nikoliv pod směrnou křivkou, jako tomu bylo v případě vzduchové neprůzvučnosti). V okamžiku, kdy součet nepříznivých odchylek splňuje podmínku zmíněnou výše, se sleduje hodnota takto posunuté směrné křivky odečtená na kmitočtu 500 Hz. Ta poté odpovídá výsledné hodnotě vážené normované hladiny (akustického tlaku) kročejového zvuku  $L'_{n,w}$ , resp.  $L'_{nT,w}$ . [20, 21]

| Třetinooktávová pásma |     |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|-----------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
| č.                    | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   |
| $f$<br>[Hz]           | 100 | 125 | 160 | 200 | 250 | 315 | 400 | 500 | 630 | 800 | 1000 | 1250 | 1600 | 2000 | 2500 | 3150 |
| $SK$<br>[dB]          | 62  | 62  | 62  | 62  | 62  | 62  | 61  | 60  | 59  | 58  | 57   | 54   | 51   | 48   | 45   | 42   |

**Tabulka 2.1:** Třetinooktávová pásma v rozsahu zvukoizolačního pásma a hodnoty směrné křivky pro kročejový zvuk [20]

Jak je patrné z tabulky 2.1, hodnoty směrné křivky jsou vždy celá čísla, vážená normovaná hladina kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  i  $L'_{nT,w}$  má tedy také podobu celého čísla, (oproti 16 hodnotám  $L'_n$  v normalizovaném diagramu). Normou stanovená směrná křivka má své základní hodnoty uvedené pro váženou normovanou hladinu kročejového zvuku  $L'_{n,w} = 60$  dB, což odpovídá právě hodnotě směrné křivky v pásmu 500 Hz. Pro pochopení slouží obrázek 2.8. [3]



**Obrázek 2.8:** Příklad metody vážení pomocí směrné křivky [11]

V příkladu na obrázku 2.8 má řešená stavební konstrukce výslednou váženou normovanou hladinu kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  rovnu 62 dB, což odpovídá hodnotě posunutě směrné křivky v pásmu 500 Hz, při níž je součet nepříznivých odchylek (nacházejících se nad směrnou křivkou) roven 30,8 dB. Z obrázku je tedy jasně patrné, že k odchylkám, které se nacházejí pod směrnou křivkou, se nijak nepřihlíží. [3]  
Zmiňovaná vážená hodnota 62 dB v příkladu by nevyhovovala současným požadavkům ČSN 73 0532, které jsou kladeny na stropní konstrukce bytových domů. Těmto požadavkům je věnována kapitola 2.8.

## 2.7 Faktor přizpůsobení spektru

Samotná vážená normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku nemusí ve všech případech poskytovat zcela vypovídající informaci o reálné kročejové neprůzvučnosti mezi místnostmi. To platí především u stropních konstrukcí betonových a dřevěných trámových stropů, které jsou v provedení bez podlah, nebo je účinnost těchto podlah velmi nízká. V takových případech může docházet ke zvýšenému přenosu kročejového zvuku na nízkých kmitočtech. Z důvodu těchto nízkofrekvenčních výchytek a faktu, že nevážená (lineární) hladina akustického tlaku způsobená normalizovaným klepacím zařízením odpovídá více vážené hladině akustického tlaku  $A$  vznikající chůzí po všech typech stropů (což je u těchto typů stropů považováno za vhodnější hodnocení), se zavádí pro hodnocení kročejové neprůzvučnosti doplňkové kritérium zvané *faktor přizpůsobení spektru*  $C_I$  (dB). [7, 13, 20]

Index  $I$  pochází od anglického slova „impact“, což je přímý odkaz na samotný kročejový zvuk (tedy anglicky „impact sound“). [15]

Faktor je sledován v celém zvukoizolačním pásmu 100–3150 Hz, nabývá vždy celočíselné hodnoty a ČSN EN ISO 717-2 jej charakterizuje jako *hodnotu v decibelech, která se připojuje k jednočíselné veličině (např.  $L_n$ ) a přihlíží k nevážené hladině kročejového zvuku, jež představuje charakteristiky typických spekter při chůzi*. [20]

Výpočet lze provést podle následujícího vztahu 2.5:

$$C_I = L'_{n,sum} - 15 - L'_{n,w} \quad (2.5)$$

$L'_{n,sum}$  je energetický součet všech zjištěných normovaných hladin kročejového zvuku  $L'_n$  (určených s přesností na jedno desetinné místo) provedený podle vztahu 2.6.

$$L'_{n,sum} = 10 \lg \sum 10^{\frac{L_i}{10}} \quad (2.6)$$

$L'_{n,w}$  ve vztahu 2.5 je pak vážením zjištěná vážená normovaná hladina kročejového zvuku.

Faktor bývá jako doplňkové kritérium udáván samostatně odděleně za hodnotou  $L'_{n,w}$  například ve tvaru  $L'_{n,w} (C_I) = 55 (-1)$  dB. Pro těžké stropy s účinnou podlahou se jeho

hodnota blíží k nule, kdežto pro dřevěné trémové stropy s výraznými výchylkami u nízkých kmitočtů bude jeho hodnota mírně kladná. [20]

Výpočet faktoru přizpůsobení spektru může být v případě potřeby doplněn o další pásma z oblasti nízkých frekvencí (50, 63, 80 Hz), označen je pak jako  $C_{1,50-2500}$ . [20]

ČSN 73 0532 nevyžaduje prokazování faktoru  $C_1$ , pokud by se však toto doplňkové kritérium požadovalo, bylo by uváděno a porovnáváno s normovými požadavky jako součet  $L'_{n,w}$  a  $C_1$ . Ačkoliv v České republice tedy tato hodnota není nijak závazná a pouze tak informuje o kvalitě zkušeneé konstrukce, v některých zemích Evropské unie je požadovaná. Příkladem je Nizozemsko a Švýcarsko (součet  $L'_{nT,w}$  a  $C_{1,50-2500}$ ). Ve Švédsku se dokonce sleduje součet  $L'_{n,w}$  a  $C_{1,50-2500}$ . [2]

## 2.8 Normové požadavky pro kročejovou neprůzvučnost

V předchozích kapitolách byla vysvětlena veličina popisující vlastnost konstrukcí z hlediska kročejové neprůzvučnosti. Touto veličinou je normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku  $L'_n$  (resp.  $L'_{nT}$ ), jejíž vážená hodnota slouží k porovnávání s požadavky, které na stropní konstrukce klade ČSN 73 0532 „Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků – Požadavky“ v aktualizované podobě z roku 2020. Norma stanovuje požadavky pro oba druhy zvukových izolací, tedy pro vzduchovou i kročejovou neprůzvučnost. Obě sledované veličiny musí splňovat uvedené požadavky, které v normě slouží pouze jako limitní (tedy nejnižší požadované) hodnoty.

§ 14 odst. 3 vyhlášky č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby říká, že *požadovaná kročejová neprůzvučnost stropních konstrukcí s podlahami je dána normovými hodnotami*. [22]

*Normy nejsou vždy závazné (pouze při smluvním vztahu), jelikož nejsou právními předpisy. Zákon nebo vyhláška však jsou právními předpisy. Je-li v právním předpisu odkaz na normu, odkazovaná norma se automaticky stává též závaznou. Především citace tedy mění normu (ČSN 73 0532) na dokument, který nelze jen tak přejít a neřídít se podle něj v otázce zvukových izolací*. [3]

V normě jsou požadavky rozděleny pro různé typy budov. Pro diplomovou práci budou popsány pouze požadavky pro bytové domy. Zároveň je důležité si uvědomit, že v nové verzi (platné od prosince 2020) došlo k několika změnám oproti původní (z roku 2010). Nejedná se však pouze o samotné zpřísnění požadavků, které se dotklo nejvíce právě kročejové neprůzvučnosti, ale i o zavedení nových přístupů k hodnocení zvukové izolace v bytových domech. Všechny tyto provedené změny jsou zohledněny v autorem přepracované tabulce 2.2 včetně následného komentáře důležitých bodů. Tabulka ukazuje pouze hodnoty pro kročejovou neprůzvučnost, nikoliv pro vzduchovou neprůzvučnost. Zároveň jsou v ní (v závorkách) uvedené i hodnoty platné v předchozí verzi nor-

my. Tyto hodnoty je důležité zde zmínit v kontextu s novými změnami, protože za posledních 10 let vstoupily ve všeobecnou známost. Byly podle nich navrhovány dosavadní projekty a i podle autorova názoru bude možná rok nebo dva trvat, než bude tato změna dostatečně vzata v potaz všemi projektanty a realizačními firmami. Důvodem by mohl být fakt, že novou verzi mají povinnost splňovat všechny novostavby nebo rekonstrukce stávajících objektů, pro které bylo vystaveno stavební povolení až po vydání aktualizované ČSN 73 0532 (tedy po prosinci 2020). Všechny stavby se získaným stavebním povolením před platností nově zavedené normy tak mají splňovat požadavky staré a podle toho jsou a budou prováděny. Některé firmy se tak s novými požadavky mohou setkat až za několik let, projektanti však podle nich musí navrhovat již nyní.

|  |   | $L'_{n,w}, L'_{nT,w}$<br>dB                       |
|--|---|---|
| <b>A. Bytové, rodinné, terasové, řadové domy, dvojdomy - všechny obytné místnosti bytu</b> |   |   |
| 1  | Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu   | $\leq 58$ ( <del>63</del> )                       |
| <b>B. Bytové domy, rodinné domy s více než jedním bytem - obytné místnosti bytu</b>        |   |   |
| 2  | Všechny místnosti druhých bytů včetně příslušenství   | $\leq 53$ ( <del>55</del> )<br>$\leq 58^a$ (58)   |
| 3  | Terasy a lodžie druhých bytů nad obytnou místností  | $\leq 58$ (—)                                     |
| 4  | Společné prostory domu (schodiště, chodby, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.)  | $\leq 53$ ( <del>55</del> )                       |
| 5  | Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody  | $\leq 48$ (48)                                    |
| 6  | Místnosti s technickým zařízením domu (výměňkové stanice, kotelny, strojovny výtahů, strojovny VZT, prádelny apod.) s hlukem: |   |
|  | $L_{A,max} \leq 80$ dB  | $\leq 48^b$ (48)                                  |
|  | $80$ dB $< L_{A,max} \leq 85$ dB  | $\leq 48^b$ (48)                                  |
| 7  | Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB:   |   |
|  | s provozem nejvýše do 22:00 h<br>s provozem i po 22:00 h  | $\leq 50^b$ ( <del>53</del> )<br>$\leq 45^b$ (48) |
| 8  | Provozovny s hlukem $85$ dB $< L_{A,max} \leq 95$ dB  |   |
|  | s provozem nejvýše do 22:00 h<br>s provozem i po 22:00 h  | $\leq 43^b$ (—)<br>$\leq 38^b$ (38)               |

**Tabulka 2.2:** Požadavky na kročejovou neprůzvučnost mezi místnostmi v domech s byty [1]

Horní index „a“: Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud situace neumožňuje dodatečná zvukově izolační opatření. [1]

Horní index „b“: Kromě splnění stanovených požadavků mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje nebo zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami, aj.) a tím k překročení limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. Místnosti s provozním hlukem s významným obsahem nízkých kmitočtů nebo s tónovými složkami se

*zásadně nemají situovat do blízkosti bytových jednotek. V opodstatněných případech se provede posouzení pomocí akustické studie. Provozovny se zvláště vysokým hlukem  $L_{Amax} > 95$  dB (např. diskotéky, herny apod.) se zásadně nemají umísťovat do obytných budov. Pokud takováto situace nastane, musí se provést podrobná akustická studie na základě frekvenční analýzy všech instalovaných zdrojů hluku. [1]*

Pod písmenem A a B v tabulce jsou uvažovány chráněné vnitřní prostory bytu, čísla jsou pak označeny hlučné prostory domu.

Jak je z tabulky patrné, měřené hodnoty vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  či  $L'_{nT,w}$  mají být nižší nebo rovny normovému požadavku, tedy platí, že  $L'_{n,w}$  ( $L'_{nT,w}$ )  $\leq L'_{n,w,pož}$  ( $L'_{nT,w,pož}$ ). Nedodržení normového požadavku pak vyžaduje částečnou nápravu nebo výměnu konstrukčního prvku, který tuto nerovnost nesplňoval.

*Plnění všech požadavků zvukové izolace by měl sledovat stavební úřad, je tedy potřebné v projektové fázi doložit, že konstrukce budou tyto požadavky splňovat. [3]*

Jak již bylo vysvětleno v předešlých kapitolách, hodnota kročejové neprůzvučnosti zabudované konstrukce na stavbě se těmito hodnotám často nemusí rovnat a je reálně vyšší. [3]

*V rámci kolaudace je tedy třeba opět zkontrolovat, zda konstrukce požadavky skutečně splňují. [3]*

Oproti minulé verzi ČSN 73 0532 se také změnilo vnímání dělicích konstrukcí u obytných místností v rámci jednoho bytu. Dříve se požadavek vztahoval na nejméně jednu obytnou místnost bytu, nepřímo tak často stačilo vybrat jednu velice dobře provedenou místnost, aby normě bylo učiněno zadost. Nyní však mají být zvukoizolační požadavky splněny u všech obytných místností, což je jistý krok k zatraktivnění bytů z hlediska akustického komfortu. Je třeba zmínit, že tato změna se projeví spíše u vzduchové neprůzvučnosti stěn, požadavky na kročejovou neprůzvučnost lze v tomto případě uplatnit pouze u stropů takzvaných mezonetových bytů. V tomto případě došlo ke zpřísnění  $z \leq 63$  dB na  $\leq 58$  dB.

Základní a všeobecně známý je požadavek kladený na stropní konstrukci, která odděluje chráněný vnitřní prostor obytné místnosti bytu od obytných místností nebo příslušenství druhých bytů. Ten dříve vyžadoval splnění hodnoty kročejové neprůzvučnosti  $\leq 55$  dB. Nově aktualizovaná norma tento požadavek změnila na  $\leq 53$  dB.

Zcela nově byl v aktuální verzi definován požadavek, který popisuje zvukovou izolaci mezi chráněnou obytnou místností bytu a hlučným prostorem terasy nebo lodžie, která se nachází půdorysně právě nad touto místností. Příkladem může být terasa bytu ve 3.NP přímo nad obývacím pokojem či ložnicí bytu ve 2.NP, což je v dnešním pojetí výstavby poměrně běžný trend, na který si majitelé spodních bytů mohli často stěžovat

právě z důvodu nevhodné zvukové izolace. Kročejová neprůzvučnost pak u těchto teras nebo lodžii má vykazovat hodnotu  $\leq 58$  dB. [23]

U hlučných prostorů společných prostor domu, jakými jsou mimo jiné především chodba a schodiště, se v otázce kročejové neprůzvučnosti uplatní spíše veličina  $L'_{nT,w}$ . Požadavek na ni vztažený je shodný se základním požadavkem mezi obytnými místnostmi bytů – tedy z původní hodnoty  $\leq 55$  dB se zpřísnil na  $\leq 53$  dB.

Velice důležitý je také požadavek vztažený na hlučný prostor garáží. Ten zde svou hodnotu  $\leq 48$  dB nezměnil, jedná se však stále o hodnotu, která může být někdy složitěji dosažitelná. Její prokázání se požaduje pro chráněné místnosti bytů nad prostory garáží (vertikální přenos směrem nahoru) nebo také vedle prostoru garáží v případě přímého sousedství bytu (horizontální přenos).

Pro místnosti s technickým zařízením domu se musí dávat pozor na vhodné uložení strojů, aby hluk z jejich provozu nebyl přenášen strukturálně. Provozovny jsou pak v normě myšleny občanské prostory typu restaurace, lékárna, pošta atd. Obecně je tedy vhodné uvažovat nad vhodnou volbou dispozic. Velice hlučné provozny by se neměly do bytových domů zásadně vůbec umísťovat. U ostatních musí být vždy splněny požadavky na zvukové izolace.

Zároveň je vhodné uvažovat i nad dispozicemi bytů mezi sebou. *Hlučné místnosti příslušenství bytu, zejména WC, koupelny a kuchyně by zásadně neměly být situovány vedle chráněných místností (např. ložnic) druhých bytů. Hlučné místnosti s technickým zařízením domu (například i výtahy) by rovněž neměly být situovány v těsném sousedství obytných místností. [1]*

Normová poznámka uvedená v citaci směřuje především ke vzduchové neprůzvučnosti, přenos strukturálního hluku zde však může být také významný.

Ani situace, kdy je koupelna (uvažována jako příslušenství bytu) umístěna půdorysně nad koupelnou jiného bytu, nemusí být zcela v pořádku. Pokud je hned vedle koupelny obytná místnost, může se při nevhodném návrhu podlahových vrstev stát, že přenos kročejového zvuku z místnosti horní koupelny bude znatelný i ve spodní obytné místnosti (tedy jde o jakýsi „horizontálně vertikální přenos“). Jednodušší je tak vždy sjednotit základní skladby podlah v celém bytě, aby pak nevznikl právě takový problém. Finální nášlapná vrstva podlah se pak bude podle užívání prostor lišit.

Ohledně finální vrstvy ČSN 73 0532 dodává poznámku, že *nášlapná vrstva tvořená volně položenou podlahovinou (kobercem apod.) se nesmí používat při prokazování splnění požadavků na kročejovou neprůzvučnost. Podlahovinu lze zahrnout do hodnocení pouze v těch případech, kdy je nedílnou součástí stavby, např. lepené PVC, koberec nebo jiné speciální povrchy pevně spojené se stropní konstrukcí. [1]*



Autor práce se často zúčastňuje měření kročejové neprůzvučnosti, při kterých jsou posuzované stropní konstrukce v dokončeném stavu, avšak bez finální nášlapné vrstvy. Ta by teoreticky mohla mít další vliv na výslednou hodnotu normované hladiny kročejového zvuku. Na tento možný vliv se práce zaměří v rámci experimentálních měření, která budou zkoumat reálný útlum stropní konstrukce finální nášlapnou vrstvou z hlediska kročejového zvuku (viz kapitola 7).

V ČSN 73 0532 je také nově definované doporučení pro zvýšenou ochranu místností bytu před hlukem. Obecně norma doporučuje zlepšit zvukovou izolaci o 3 dB, aby bylo dosaženo lepšího akustického komfortu. Konkrétně výsledný požadavek kročejové neprůzvučnosti pak bude o 3 dB nižší. Jsou tak nahrazeny poněkud zmatečné dvě třídy zvýšené zvukové izolace (TZZI I a TZZI II), které se prakticky téměř nevyužívaly. Doporučení však není nijak závazné a ani vymahatelné, pouze pokud by bylo předmětem smluvních dohod. Doporučení tedy slouží jako možné vodítko k dobrovolnému zlepšení akustického komfortu, avšak sám investor si může nasmlouvat pro svou potřebu požadavky i přísnější. [1]

Uplatnění mohou tato doporučení tedy nalézt právě u bytových domů, kde je předpokládán hlučnější provoz jakéhokoliv charakteru, nebo jednoduše tam, kde je vyšší akustický komfort považován za kvalitní provedení, které je následně náležitě finančně oceněno. Mimo vlastní prestiž pak může jít investorům o to, že chtějí dělat stavby kvalitněji, než je tomu běžně zvykem. [3]

Stížnosti uživatelů bytů jsou totiž častěji na kročejový zvuk, který je více rušivý. Případné obavy z toho, zda nové normou stanovené požadavky nejsou přísné, jsou tedy podle názoru autora zbytečné. V žádném z uvedených případů se nejedná o požadavky, které by měly výrazně měnit současné provádění stropních konstrukcí. Při správné realizaci by nemělo být dosažení požadované kročejové neprůzvučnosti nijak náročné. Naopak by autor uvítal možná ještě přísnější změnu, která by vedla k důslednějšímu provádění a následnému vyššímu akustickému komfortu. Podle vlastní zkušenosti si lidé při splnění současných požadavků stěžují i tak. Tyto požadavky jsou totiž minimální, tedy ne zcela ideální. 53 dB je tak nyní uspokojivá hodnota, ale (podle autorova názoru) až okolo 45 dB už bývají uživatelé bytů poměrně spokojeni<sup>4</sup>. Dosáhnutí těchto hodnot není vůbec nereálné, což jasně ukazují mnohé výsledky ze souboru vlastních měření (viz kapitola 6.1.1) a také vybrané zajímavé příklady řešení stropních konstrukcí z hlediska kročejové neprůzvučnosti (viz kapitoly 6.1.2 a 6.1.3). Zároveň však při této

---

<sup>4</sup> Citovaný článek z roku 2017 například tvrdí, že při dosažení kročejové neprůzvučnosti 48 dB bylo plně spokojeno 80 % účastníků výzkumu. [24]

problematice záleží na návrhu stropní konstrukce, který se projeví například v rozšířeném faktoru přizpůsobení spektru  $C_{1,50-2500}$  (dB).

Požadavky tedy nejsou, jak vyplývá z výše řečeného, nijak přísné. V rámci Evropské unie, kde každý stát má nastaven své vlastní požadavky různě (ať už z hlediska požadovaných hodnot, nebo i sledovaných veličin), patří Česká republika spíše k průměru. Pro zajímavost lze zmínit, že nejpřísnější požadavky jsou v Rakousku. Minimální základní požadavek stropů na kročejovou neprůzvučnost je zde standardně (nikoliv ale komfortně) vyžadován podle ÖNORM B 8115-2 hodnotou  $L'_{nT,w} \leq 48$  dB.<sup>5</sup> Jak lze vidět, prostor pro zlepšování zde stále je. Vše má stále svůj vývoj, což ukázala poslední revize ČSN 73 0532. V dalších letech se tedy dá očekávat další zpřísnění.

*Jak jde čas a technologie se zlepšují, tak i požadavky na kročejovou neprůzvučnost objektů a to zejména obytných se zvyšují. Dokonce tato problematika jde tak dopředu, že skladby doporučené před několika lety jako vyhovující jsou pro dnešní vyhlášky nedostatečné. [25]*

Tato věta popisuje pravdu, která je nejbolestivěji vidět u panelových domů, jejichž výstavba byla v minulém století velice rozšířená. Ohledně kročejového zvuku jsou však z pohledu dnešního vnímání řešeny nevhodně, ačkoliv právě pro ně je v ČSN 73 0532 provedena jistá výjimka. Otázce panelových domů a jejich kročejové neprůzvučnosti se věnuje kapitola 7, v níž bylo provedeno vlastní experimentální měření a ověření tohoto typu zvukové izolace na reálné stavbě panelového domu.

---

<sup>5</sup> Vzduchová neprůzvučnost je pak zde vyžadována v podobě  $D_{nT,w} \geq 55$  dB. [2]

## 2.9 Kročejová neprůzvučnost jednoduché ŽB stropní desky

V této kapitole bude na příkladu jednoduché železobetonové stropní desky vysvětlen přenos kročejového zvuku samotnou stropní konstrukcí bez dalších úprav (tedy bez podlahového souvrství). Hodnoty normované hladiny kročejového zvuku  $L_n$  byly vypočteny pomocí technické metody doc. Čechury (v Excelu), jejíž postup je uveden až v kapitole 8.2.1 ve třetí části práce, která se více věnuje samotným výpočtům.

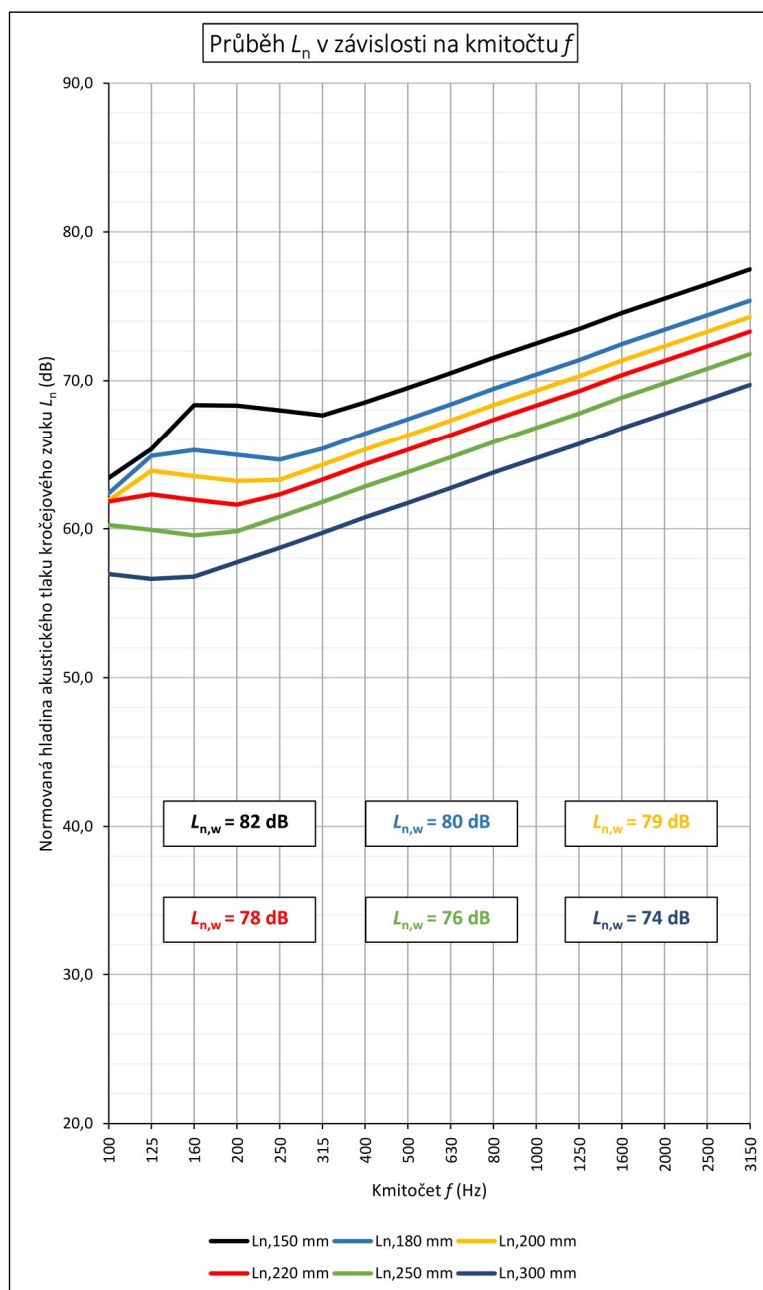
Deska není řešena jen v jedné tloušťce, ale hned v několika. Je tak zajímavé sledovat, jak se průběh normované hladiny kročejového zvuku průběžně mění, včetně výsledné vážené hodnoty. Na základě provedených výpočtů tak lze prokázat, proč je vždy zapotřebí realizovat stropy s přidanou skladbou podlahy.

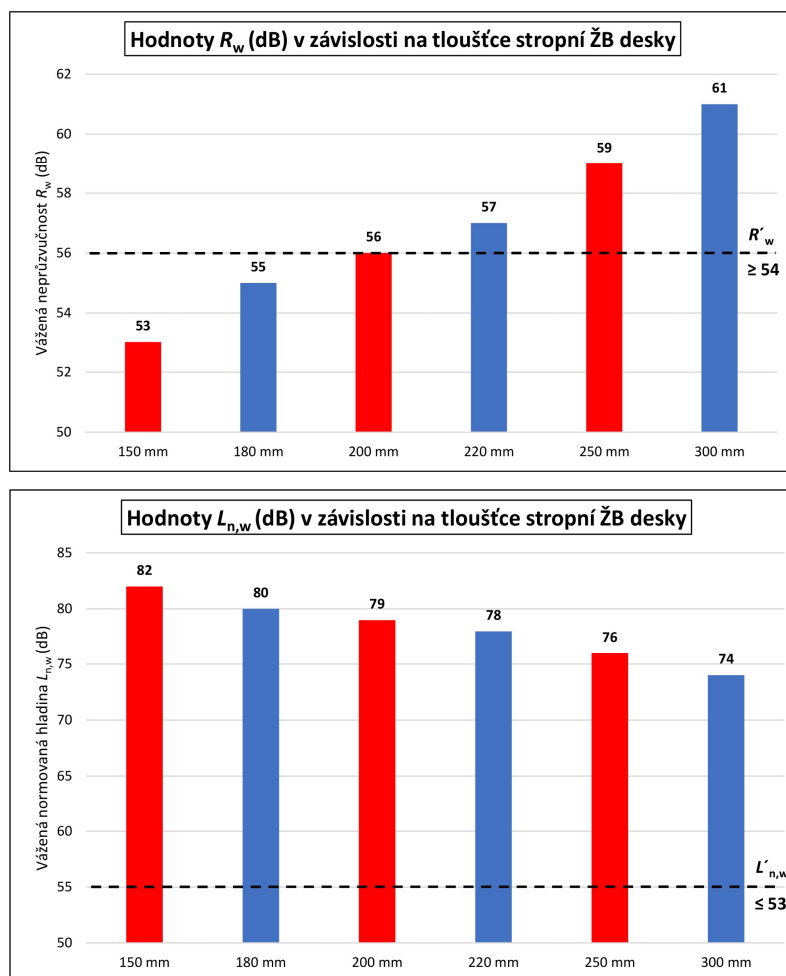
Tloušťky železobetonové stropní desky byly počítány v pořadí: 150, 180, 200, 220, 250 a 300 mm. Pomocné výpočty a postupy společně s výslednými hodnotami normované hladiny kročejového zvuku  $L_n$  jsou uvedeny v části příloh.

Vstupní hodnoty pro železobeton (objemová hmotnost  $\rho = 2400 \text{ kg/m}^3$ , rychlost podélných vln  $c_L = 3228 \text{ m.s}^{-1}$ , ztrátový činitel  $\eta_{\text{int}} = 0,005$ ) jsou použity podle publikace „Kaňka, Nováček: Stavební fyzika 3 – Akustika pozemních staveb“. [7]

Technická metoda je sama o sobě (i z pohledu autora) výrazně na straně bezpečnosti. Při měřeních v laboratorních podmínkách by nevycházely pro samotnou desku tak vysoké hodnoty kročejové neprůzvučnosti, reálně by byly přibližně cca o 5 dB nižší, což však nijak nesnižuje provedený výpočet a ani závěry, které z něj vyplývají a které popisují představený problém.

| $f$<br>(Hz) | $L_{n,150\text{ mm}}$<br>(dB) | $L_{n,180\text{ mm}}$<br>(dB) | $L_{n,200\text{ mm}}$<br>(dB) | $L_{n,220\text{ mm}}$<br>(dB) | $L_{n,250\text{ mm}}$<br>(dB) | $L_{n,300\text{ mm}}$<br>(dB) |
|-------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| 100         | 63,4                          | 62,4                          | 61,9                          | 61,8                          | 60,2                          | 57,0                          |
| 125         | 65,4                          | 64,9                          | 63,9                          | 62,3                          | 59,9                          | 56,6                          |
| 160         | 68,4                          | 65,3                          | 63,5                          | 61,9                          | 59,6                          | 56,8                          |
| 200         | 68,3                          | 65,0                          | 63,2                          | 61,6                          | 59,8                          | 57,8                          |
| 250         | 68,0                          | 64,7                          | 63,3                          | 62,3                          | 60,8                          | 58,7                          |
| 315         | 67,7                          | 65,4                          | 64,3                          | 63,3                          | 61,8                          | 59,7                          |
| 400         | 68,5                          | 66,4                          | 65,3                          | 64,4                          | 62,8                          | 60,8                          |
| 500         | 69,5                          | 67,4                          | 66,3                          | 65,3                          | 63,8                          | 61,7                          |
| 630         | 70,5                          | 68,4                          | 67,3                          | 66,3                          | 64,8                          | 62,7                          |
| 800         | 71,5                          | 69,4                          | 68,4                          | 67,4                          | 65,9                          | 63,8                          |
| 1000        | 72,5                          | 70,4                          | 69,3                          | 68,3                          | 66,8                          | 64,7                          |
| 1250        | 73,5                          | 71,4                          | 70,3                          | 69,3                          | 67,8                          | 65,7                          |
| 1600        | 74,6                          | 72,5                          | 71,4                          | 70,4                          | 68,9                          | 66,8                          |
| 2000        | 75,5                          | 73,4                          | 72,3                          | 71,3                          | 69,8                          | 67,8                          |
| 2500        | 76,5                          | 74,4                          | 73,3                          | 72,3                          | 70,8                          | 68,7                          |
| 3150        | 77,5                          | 75,4                          | 74,3                          | 73,3                          | 71,8                          | 69,7                          |

Obrázek 2.9: Výsledné hodnoty  $L_n$ Obrázek 2.10: Souhrnný graf průběhů  $L_n$



**Obrázek 2.11, 2.12:** Porovnání vzduchové, resp. kročejové neprůzvučnosti stropních ŽB desek

Hodnota normované hladiny kročejového zvuku  $L_n$  by měla ideálně s rostoucím kmitočtem klesat. Z grafu v obrázku 2.10 je však patrné, že u samotné stropní konstrukce (v tomto případě železobetonové) k tomuto efektu dochází pouze u nižších frekvencí, dále dochází naopak k nárůstu výsledné normované hladiny kročejového zvuku, a to při všech uvažovaných tloušťkách řešené desky.

Po vyjádření vážených hodnot lze konstatovat, že samotná stropní konstrukce splňuje normou požadované hodnoty pro vzduchovou neprůzvučnost již při tloušťce 200 mm, pokud by byla uplatněna korekce  $k_1 = 2$  dB (viz obrázek 2.12). Limit je pro ně  $\geq 54$  dB a je v obrázku zvýrazněn čárkovanou čarou. Při větších tloušťkách je zde dokonce vytvořena dostatečná rezerva. Z hlediska kročejové neprůzvučnosti však stropní desky nevyhovují ani v jednom případě. Limit  $\leq 53$  dB při použití korekce  $k_2 = 2$  dB nesplňuje poslední deska o tloušťce 300 mm dokonce o 19 dB.

Pro ověření představeného trendu byl vytvořen kontrolní výpočet pro stropní desku teoretické tloušťky 600 mm, což představuje extrémní případ, který by reálně staticky nedával na stavbách smysl. Vážené hodnoty vyšly pro  $R_w = 69$  dB a  $L_{n,w} = 67$  dB.

I při uvažování tohoto extrémního případu nedojde ke splnění požadavku na kročejovou neprůzvučnost ( $\leq 53$  dB), při uplatnění korekce  $k_2 = 2$  dB vzniká rozdíl 12 dB. Za zmínku stojí fakt, že vzduchová neprůzvučnost takovéto desky se nadále zvyšuje, její hodnota však s přihlédnutím k dvojnásobné tloušťce desky není o tolik vyšší. Nabízí se tak jasný závěr, že zvětšování hmoty nad 300 mm není z hlediska vzduchové neprůzvučnosti u stropů nijak ekonomické a kročejové neprůzvučnosti by to stále nepomohlo.

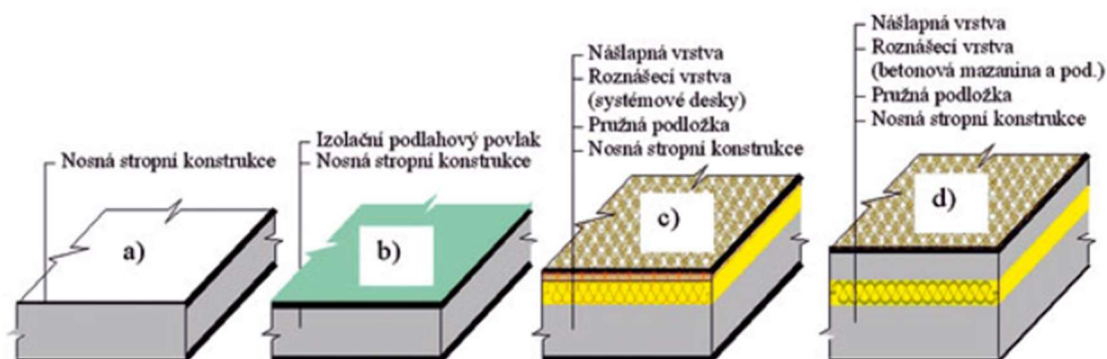
Samotná nosná ŽB stropní konstrukce neposkytuje dostatečnou ochranu proti přenosu kročejového zvuku. Proto je vždy nutné navrhnout další opatření – v tomto konkrétním případě odpovídající podlahovou konstrukci, která zajistí požadovaný kročejový útlum. Pro schodišťové konstrukce pak musí být navrženo správné konstrukční řešení.

Uvedené závěry neplatí pouze pro železobetonové stropní konstrukce, ale i pro další typy, kdy strop tvoří pouze nosná konstrukce – keramické, dřevěné, ocelové atd.

### 3 Preventivní opatření proti přenosu kročejového zvuku

V kapitole 3 jsou popsány technicky platné postupy, které by měly zajistit prevenci před zvýšeným přenosem kročejového zvuku. Jak bylo vysvětleno v předchozí kapitole 2.9, samotná nosná stropní konstrukce je z hlediska kročejové neprůzvučnosti nevyhovující. Je tedy zapotřebí provést jisté druhy opatření, mezi které patří zejména provádění podlah. Ty jsou nejúčinnější při útlumu středních a především vysokých kmitočtů, které jsou viditelně na obrázku 2.10 pro samotnou konstrukci problémové. Při nízkých kmitočtech mají podlahy též svůj vliv, ale v této oblasti je nejdůležitější samotné konstrukční řešení. Výsledek by poté již měl vyhovovat platným požadavkům.

Níže budou vysvětleny dvě možné funkce podlahy – plovoucí (těžké a lehké) a plovákové. Zároveň se práce dotkne řešení podlah trámových stropů a rozebere přístup k řešení přenosu kročejového zvuku ze schodišť do vnitřních chráněných prostorů bytů.



**Obrázek 3.1:** Schématické znázornění a) holé stropní konstrukce, b) stropní konstrukce s izolačním podlahovým povlakem, c) s lehkou plovoucí podlahou, d) s těžkou plovoucí podlahou [26]

### 3.1 Princip plovoucí podlahy

Termín „plovoucí podlaha“ je obecně známý. Hlavním jejím cílem je co nejlepší pružné oddělení zdroje (způsobujícího kročejový zvuk) od stavebních konstrukcí budovy. Proto je při provádění těchto podlah, jež mají účinně tlumit kročejový zvuk, nutné vložit pružnou mezivrstvu. Ta je položena na nosnou konstrukci a na ni jsou pak kladeny všechny zbývající vrstvy podlahy. [11, 27]

Obecně má plovoucí podlaha čtyři vrstvy (v pořadí shora):

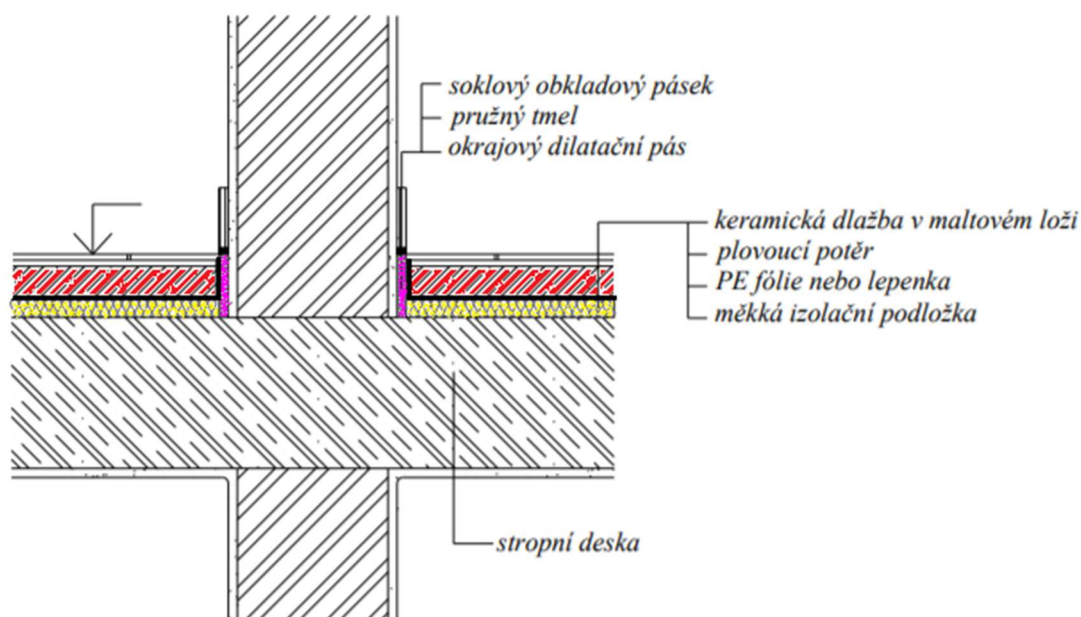
- 1) Nášlapná – jedná se o finální vrstvu, po které se následně při užívání chodí. Příkladem mohou být laminované desky na bázi dřeva, dřevěné parkety nebo palubky, vinylové systémy, koberce, podlahové povlaky typu PVC, dlažba apod.
- 2) Roznášecí – roznáší sílu vnesenou do konstrukce zdrojem kročejového zvuku. Podle její konstrukce se následně plovoucí podlahy rozdělují na těžké a lehké. U těžkých je roznášecí deska v provedení z betonové mazaniny nebo anhydritu, u lehkých z deskových materiálů na bázi dřeva (OSB, cementotřískové) nebo sádry (sádrokartonové, sádrovláknité).
- 3) Ochranná – především je nutná u provádění těžkých plovoucích podlah, ale její využití má své opodstatnění i u těch lehkých. Často není ve zdrojích udávána jako jedna z vrstev, protože je uvažovaná automaticky, avšak při méně zdařilých projektech na ni bývá občas zapomenuto, tudíž autorovi přijde důležité ji zde zmínit.
- 4) Izolační (zvukopohltivá) – zmiňovaná pružná mezivrstva, nejdůležitější součást podlahy pro úspěšný útlum kročejového zvuku. Jejími běžnými materiály jsou minerální skelná nebo čedičová vlákna, elastifikované polystyreny, dřevovláknité desky, pružné pěny, nebo rýhami či dutinami upravené pryže. [7, 28, 29]

Samotná finální nášlapná vrstva má na výsledný kročejový útlum ve většině případů plovoucích podlah spíše mírný vliv. Rozhodující tak je, aby roznášecí vrstva byla dokonale odizolovaná od nosné konstrukce stropu. Tuto úlohu přejímá spodní izolační vrstva, u které je důležité, aby nevedla zvuk tak dobře jako jiné běžné stavební materiály. Klasické tepelné izolace nedokážou kročejový zvuk dostatečně eliminovat, je tedy zapotřebí materiálů, kterým se obecně říká kročejová izolace nebo také zvukoizolační podložky. Aby byly účinné, musí být pružné, ale zároveň tuhé pro dostatečné statické působení. [29, 30]

Nejde však o to, aby byla roznášecí vrstva pružně oddělena pouze od nosné stropní konstrukce. Je nutné zajistit její pružné oddělení i po obvodu místnosti od bočních stěn a u všech případných prostupů roznášecí deskou. [27].

Toto oddělení se provádí okrajovým izolačním páskem v celé tloušťce roznášecí desky i nášlapné vrstvy. Tloušťka použitého izolačního pásku má být navrhována i s ohledem na objemové změny roznášecí desky vlivem teplotní roztažnosti a případných dalších dilatačních pohybů. Při zohlednění možných dilatačních pohybů roznášecí desky a stlačitelnosti pásku je nutné pro zachování jeho pružných vlastností ponechat určitou rezervu v jeho tloušťce. [27]

Ukázka izolačního pásku je vidět na obrázku 3.2, který představuje správné provedení ukončení podlahy u stěny. V tomto případě se jedná o příklad těžké plovoucí podlahy, která bude více rozebrána v kapitole 3.1.1. Červenou barvou je zvýrazněna roznášecí vrstva, žlutou spodní kročejová izolace a fialovou okrajový izolační (dilatační) pásek. Černá čára pak znázorňuje hydroizolační PE folii, která obě pružná oddělení ochraňuje. Též je důležité zmínit (a na obrázku je to patrné), že běžným technologickým postupem je nejdříve provedení hrubých omítek na stěnách, teprve poté se realizuje skladba podlahy. Tímto postupem by mělo být zajištěno požadované pružné oddělení, omítka nemá takto možnost se dotýkat podlahové konstrukce.



**Obrázek 3.2:** Ukončení těžké plovoucí podlahy u stěny [7]

Okrajový dilatační pásek by měl mít optimálně tloušťku 10–15 mm (tloušťka 5 mm je pouze pro stavební dilataci) a materiálem bývá obvykle stejný materiál, který je použit jako zvukoizolační podložka. Perfektní oddělení vzniklé podlahy od svislých stěn je nezbytným předpokladem pro funkčnost podlahy z hlediska útlumu kročejového zvuku. Jakékoliv pevné propojení podlahové konstrukce s okolními konstrukcemi konečný výsledek degraduje. [9]



Po splnění těchto dvou pravidel (spodní a boční pružné oddělení) lze říct, že podlaha „plave v jakési vaně z tohoto materiálu“, což jasně vystihuje termín „plovoucí podlaha“. [28]

Budicí síla vnášená zdrojem kročejového zvuku do plochy roznášecí desky je provedením plovoucí podlahy tlumena díky kročejové izolaci, která vzniklou zvukovou energií částečně „odpruží“. Do nosné konstrukce proniká pouze část této energie a nosná konstrukce tak již nemá možnost se poté tolik rozvíbrovat, protože se jedná o hutný statický prvek stavby. [31, 32]

*Pokud bereme v potaz to, že se přenášejí dunivé rázovité nárazy přes podlahu do stěn, tak je zřejmé, že v bytě níže se zvuk vyzáří nejen ze stropu, ale také ze stěn. [32]* Vnímání zvuk v místnosti příjmu bytu je však díky provedení plovoucí podlahy menší.

Na konečné požadované výsledky má ale také vliv způsob ukončení podlahy u boční stěny pomocí lišty, aby nedošlo k vytvoření dalšího možného akustického mostu. To bývá častý problém u keramických finálních nášlapných vrstev. *V případě klasického ukončení pomocí keramického soklu bez pružného přerušení ke stěně i k podlaze dochází ke znehodnocení funkčnosti celé podlahy. V tomto případě dochází ke zhoršení zvukoizolačních vlastností konstrukce v oblasti vyšších kmitočtů. [9]*

V posledním obrázku 3.2 je tento problém vyřešen pomocí pružného tmelu. Na tento drobný detail se však musí dávat veliký pozor, protože i malý pevný kontakt může zvýšit kročejovou neprůzvučnost konstrukce o několik decibelů.

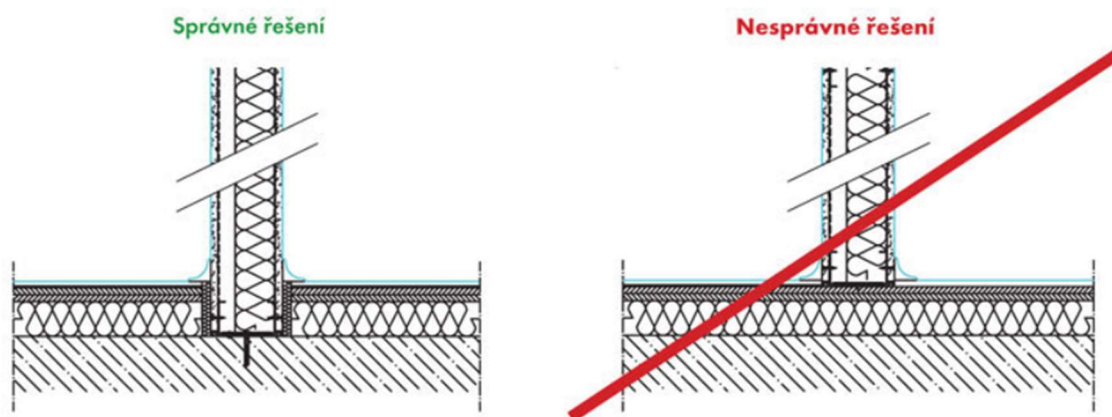


**Obrázek 3.3:** Okrajový dilatační pásek po obvodě místnosti [foto pořizeno autorem]



**Obrázek 3.4:** Okrajový dilatační pásek v detailu [foto pořízeno autorem]

Pružný okrajový dilatační pásek se vkládá také do spár roznášecí desky mezi dvěma místnostmi a dalšími místnostmi v rámci jednoho podlaží. Tyto místnosti bývají většinou odděleny svislými stěnami. V místě dveří oddělení místností vytváří pouze práh, u kterého je nutné provést proříznutí podlahového souvrství až k nosné konstrukci a vložení dilatačního pásku, aby nedocházelo k horizontálnímu přenosu kročejového zvuku přes konstrukci roznášecí desky podlahy. Typickým příkladem této situace je přenos z prostoru společné chodby domu do bezprostředně sousedících chráněných místností bytů. *Problematika přenosu kročejového hluku mezi místnostmi v horizontálním směru je bohužel někdy opomíjena. Chybný návrh nebo provedení pak může mít zásadní vliv na užitnou hodnotu bytů.* [27]

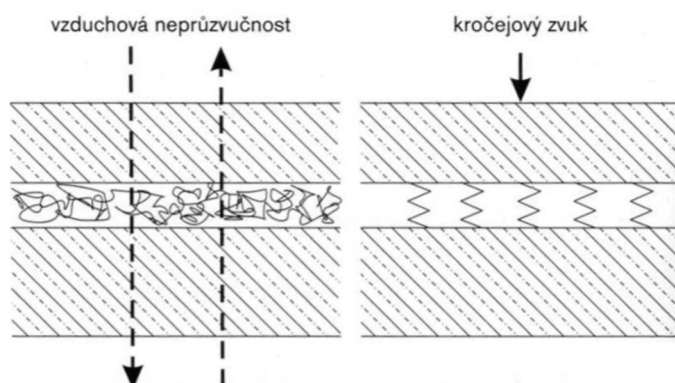


**Obrázek 3.5:** Detail styku příčky a podlahy [33]

Zděné příčky se vyzdívají už od nosné konstrukce, nikoliv až od konstrukce podlahy. Montované příčky (viz obrázek 3.5) jsou kotveny též do nosné konstrukce, nikoliv do konstrukce podlahy.

Plovoucí podlaha je svým provedením dvouprvková konstrukce, kde jedním prvkem (deskou) je nosná konstrukce stropu a druhým prvkem (deskou) je roznášecí vrstva spolu s případnou vrstvou nášlapnou. Obě desky jsou navzájem od sebe odděleny zvukoizolační podložkou. Vlastnosti této konstrukce jsou ovlivněny rezonancí typu hmotnost–poddajnost–hmotnost a půlvlnou rezonancí (stojatým vlněním) ve zvukoizolační podložce. [4]

Rezonanční kmitočet bude uveden v další kapitole. Nyní je vhodné si uvědomit rozdíl fungování mezery s minerální izolací ve prospěch vzduchové a ve prospěch kročejové neprůzvučnosti. U vzduchové neprůzvučnosti se jedná i při vyplnění minerálními vlákny stále o vzduchovou mezeru a konstrukce má stejné vlastnosti ve směru zvuku, který míří dolů i nahoru. Pro přenos kročejového zvuku ale platí, že výplň mezery mezi nosnou a roznášecí deskou se chová jako pružina, která tlumí kmitající vrstvy nad ní. Působí tedy pouze ve svislém směru dolů ve smyslu gravitace a poměr budící síly kročejového zdroje ku přenesené síle do nosné konstrukce je označován jako kročejový útlum. [4, 9]



**Obrázek 3.6:** Rozdíl funkce mezery u vzduchové a kročejové neprůzvučnosti [4]

Tento zmiňovaný kročejový útlum může být u těžkých plovoucích podlah v rozmezí 15–32 dB, u lehkých 15–26 dB. Hodnoty jsou však velice přibližné, nejlepším způsobem jejich zjištění je laboratorní nebo stavební měření. [9]

*Vliv podlahové konstrukce na celkovou eliminaci kročejového hluku lze vyjádřit pomocí indexu zlepšení kročejové neprůzvučnosti, který je rozdílem mezi hladinou kročejové neprůzvučnosti stropu s podlahovou konstrukcí a hladinou kročejové neprůzvučnosti stropu bez podlahové konstrukce. [34]*

Výsledky konstrukcí s provedením plovoucí podlahy pak, jak již bylo řečeno v této kapitole, závisí na správném provedení, způsobu zakončení nášlapné vrstvy u bočních stěn a samozřejmě na vlastnostech samotné zvukoizolační podložky. Její výběr se odvíjí v závislosti na rezonančním kmitočtu. Rozhodujícím parametrem podložek je jejich dynamická tuhost  $s'_n$  (MPa.m<sup>-1</sup>) a ztrátový činitel  $\eta_d$  (-). Dalšími sledovanými parametry pro posouzení kvality podložky s ohledem na trvalost zvukově izolačního efektu jsou její statické relaxační vlastnosti – pružnost  $\varepsilon$  (%) a stlačitelnost  $K_n$  (%). Mimo to je důležité znát i objemovou hmotnost podložky. [1, 9]

*Výrobce je povinen výše uvedené vlastnosti výrobku, prvku nebo materiálu s popsáním účelem použití deklarovat a to na základě jejich ověření v akreditované akustické laboratoři. [9]*

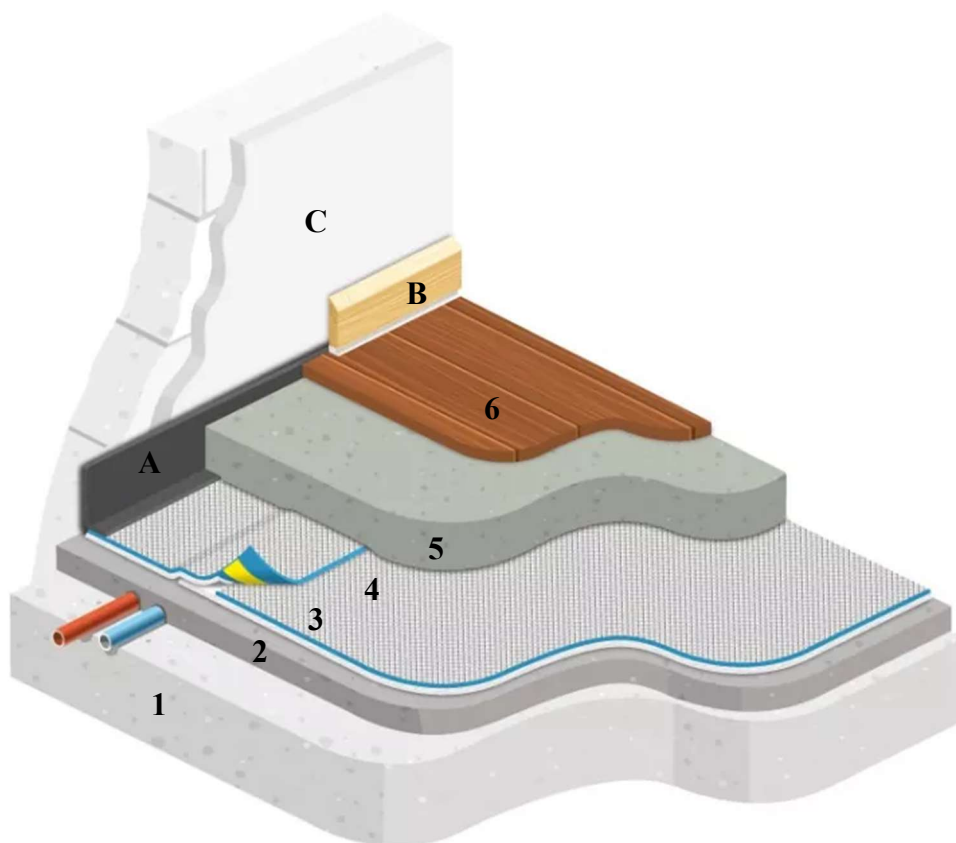
Z výše uvedeného vyplývá, že tzv. „plovoucí“ podlahy, které jsou v současné době často nabízeny v podobě položení nášlapných laminátových nebo dřevěných desek na pouhou stropní konstrukci bez pružné zvukoizolační podložky (a roznášecí vrstvy nad ní), nemohou být chápány jako plovoucí a to ani v případě, kdy je pod nášlapnou vrstvou desek umístěna „tlumící podložka“ typu MIRELON tl. 1–3 mm. Jedná se pouze o obchodní název těchto nášlapných vrstev a termín by se neměl zaměňovat. [4, 9]

*Označení podlahy jako plovoucí tedy náleží pouze konstrukci podlahy, která se skládá z přesně definovaných vrstev. Každá tato vrstva má svoji specifickou funkci a nelze ji vynechat. [9]*

### 3.1.1 Těžká plovoucí podlaha

Princip a provedení plovoucí podlahy byl v předešlé kapitole jasně vysvětlen. Plovoucí podlahy se dělí na těžké a lehké, nyní bude vysvětlena první varianta včetně zákonitostí kročejového útlumu zvukoizolační podložkou.

Těžké plovoucí podlahy jsou považovány za neúčinnější, proto jsou v bytových domech nejrozšířenějším typem při provádění podlah, které by měly snižovat přenos kročejového zvuku. Ukázka skladby těžké plovoucí podlahy je na obrázku 3.7.



**Obrázek 3.7:** Ukázka skladby těžké plovoucí podlahy [30]

Po provedení omítek (v obrázku 3.7 písmenko C) se na nosnou konstrukci (číslo 1) pokládá zvukoizolační podložka (3). Velice častá je však kombinace, kdy je do řešené skladby nejdříve přidána tepelná izolace v podobě podlahového polystyrenu (2). Ten nelze sám o sobě použít jako kročejovou izolaci, protože je tuhý a pro kročejový útlum tak zcela nevhodný. Společně s kročejovou izolací však vylepšuje tepelněizolační vlastnosti stropní konstrukce a především v něm mohou být po vyřezání vedeny potrubní rozvody – nejčastěji přívodní a vratné potrubí vytápění, což je vidět i na obrázku 3.7. Kročejovou izolací by se nikdy takto potrubí vést nemělo, takový zásah by snižoval její celkový kročejový útlum. Pokud by si investor nepřál mít ve skladbě podlahy polystyren, je možné položit na sebe dvě vrstvy kročejové izolace, přičemž spodní bude v místě vyříznutí pro potrubí vytápění zasypána sypkým materiálem. Následně by se položila druhá vrstva kročejové izolace, přičemž se doporučuje spoje jednotlivých desek prostřídat, aby se předešlo tvorbě akustických a tepelných mostů. [34]

Především v případě provádění těžkých podlah je nutné chránit zvukoizolační podložku (která bývá většinou z minerálních vláken) před zatečením záměsové směsi pokládané směsi roznášecí vrstvy. Jako ochranná vrstva se obvykle používá polyetylenová folie, která má mít slepené spoje. [27]

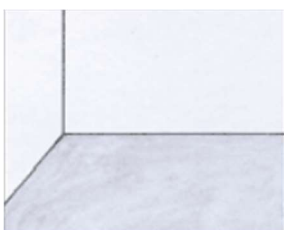
Pokud by směs zatekla do kročejové izolace, došlo by k vytvoření lokálních spojů desky roznášecí s deskou nosnou, což by vedlo k výraznému snížení kročejové neprůzvučnosti stropní konstrukce oproti předpokládanému projektovanému stavu. *Oprava tohoto problému představuje vybourání podlahového souvrství a jeho nové provedení. [27]*

Na obrázku 3.7 je tato folie pod číslem 4 a je samozřejmostí, aby jí byl chráněn i okrajový dilatační pásek (písmeno A), jehož praktické použití bylo vysvětleno již výše.

Následně se na izolační vrstvu překrytou ochrannou PE folií aplikuje roznášecí vrstva (číslo 5), která je v případě těžkých plovoucích podlah v provedení betonové mazaniny nebo litého podlahového potěru v podobě anhydritu. U toho je výhodou jeho samonivelační schopnost, odpadá tak nutnost vibrování betonové směsi, což zjednodušuje práci. Zároveň je i levnější, tudíž z těchto dvou důvodů bývá poměrně oblíbenou variantou oproti betonové mazanině, ačkoliv doba jeho zrání a následného vysychání je o něco delší.

Po vyzrání roznášecí vrstvy se může pokládat podlahová krytina (číslo 6). V případě keramiky je třeba dbát i na způsob provedení soklové části (písmeno B). [34]

Pro názornost bude nyní navíc na jednoduchých obrázcích předveden hrubý postup při pokládání těžké plovoucí podlahy včetně nezbytných předpokladů.



*Pro pokládání plovoucí podlahy je třeba mít rovný podklad.*



*Okolo stěn je třeba použít okrajové pásky.*



*Pokládání podlahových desek na rovný podklad.*



*Na izolační desky se položí hydroizolační PE folie.*



*Vrstva betonu musí být tlustá min. 5 cm, je doporučeno použít betonářskou výztuž (sítě).*



*Pásek je třeba seříznout podle betonové desky.*



*Na beton se pokládá nášlapná vrstva (např. koberec). [28]*

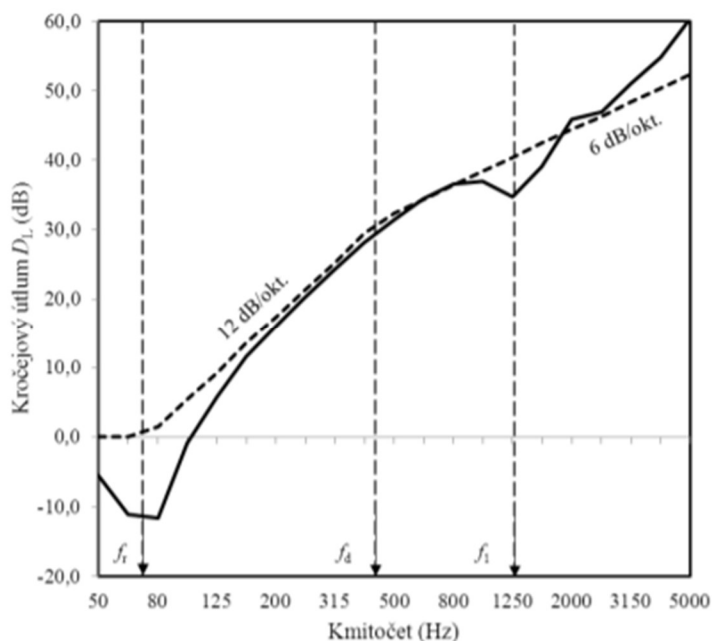
**Obrázek 3.8:** Pokládání těžké plovoucí podlahy [28]

*Pro těžké plovoucí podlahy má být plošná hmotnost roznášecí vrstvy nejméně 75 kg/m<sup>2</sup>. Tato podmínka je splněna například při objemové hmotnosti materiálu desky 2000 kg/m<sup>3</sup> a tloušťce desky nejméně 37,5 mm. Výhodou těžkých plovoucích podlah je jejich vyšší účinnost oproti lehkým plovoucím podlahám, nevýhodou pak především mokrá proces související s nutnou dobou zrání a rizikem zatečení směsi do izolační vrstvy. [34]*

V případě roznášecí vrstvy z betonové mazaniny bývá jako vhodný návrh tloušťky udáváno rozmezí 50–60 mm, aby byla zajištěna dostatečná pevnost. Při užití anhydritu se udávají nižší hodnoty – přibližně 30–40 mm. [34]

U zvukoizolačních podložek je podle zkušenosti dobré nenavrhovat jejich tloušťku pod 30 mm, nad 50 mm by se pak jednalo spíše o výjimky. Tepelná izolace může být klidně navržena s větší tloušťkou, vhodné je se pohybovat do 60 mm.

Celý návrh skladby a výběr zvukoizolační podložky je však volen s ohledem na rezonanční kmitočty celého souvrství. Jak je i vidět ve vztahu 3.1, akustické vlastnosti stropní konstrukce závisí především na plošné hmotnosti nosné a roznášecí desky a dynamické tuhosti kročejové izolace. Vysvětlení problematiky kročejového útlumu s přihlédnutím k rezonančnímu kmitočtu  $f_i$  (Hz) je s mírnými obměnami velice podobné i v případě lehké plovoucí podlahy, která bude více rozebrána v kapitole 3.1.2. [33]



**Obrázek 3.9:** Teoretický průběh kročejového útlumu v závislosti na kmitočtu [7]

Při použití zvukoizolační podložky dochází k útlumu kročejového zvuku stropní konstrukce. Ten je však ve sledovaném zvukoizolačním rozmezí 100–3150 Hz nerovnoměrný. Obecně platí, že útlum roste s kmitočtem. Dochází k němu však až nad hodnotou rezonančního kmitočtu  $f_r$  (Hz) celého souvrství, jak je patrné z obrázku 3.9, na kterém je zobrazen teoretický průběh kročejového útlumu. Pod hodnotou  $f_r$  je útlum brán jako nulový, strop se chová jako jednoduchá konstrukce, dokonce okolo kmitočtu  $f_r$  může docházet k vyššímu přenosu kročejového zvuku, což zhoršuje situaci. Proto je vhodné navrhovat skladbu stropu takovou, aby rezonanční kmitočet dosahoval hodnoty  $< 80$  Hz, jednoduše mimo normou posuzované rozmezí 100–3150 Hz. Toho lze při dnešních materiálech a zkušenostech dobře dosáhnout. Je ale třeba používat pružné kročejové izolace. Pokud by se místo nich použila například tuhá polystyrenová podložka, došlo by k poklesu kročejové neprůzvučnosti z důvodu posunutí rezonančního kmitočtu směrem nahoru do dolního pásma zvukoizolační oblasti. [9]

Ještě lepší by bylo dosáhnout hodnoty rezonančního kmitočtu  $< 50$  Hz, avšak to je již u těchto typů podlah složitější. Bylo by to však vhodné a žádoucí, protože zvuky, kdy lidé například chodí na boso, jsou zvuky s nízkými frekvencemi, které se typicky projeví duněním podlah a jsou následně subjektivně silně vnímány. Ačkoliv se tedy tento problém spojený s umístěním rezonančního kmitočtu neprojeví z hlediska normového hodnocení kročejové neprůzvučnosti, výsledný reálný efekt může být nepříjemně rušivý. Proto u nízkých frekvencí vzniká problém, jak již bylo víckrát zmíněno v minulých kapitolách. Je to kvůli zvýšenému přenosu kročejového zvuku okolo  $f_r$ .



Rezonanční kmitočet lze stanovit pomocí vztahu 3.1,

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_d}{d} \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (3.1)$$

kde  $m'_1$  a  $m'_2$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) jsou plošné hmotnosti dílčích prvků (nosné stropní desky a roznášecí vrstvy podlahy) (viz obrázek 3.10) a  $s'$  ( $\text{MPa}\cdot\text{m}^{-1}$ ) je dynamická tuhost pružné vrstvy. Tu lze vyjádřit i jako poměr modulu pružnosti v tlaku zvukoizolační podložky  $E_d$  (Pa) a tloušťky zvukoizolační podložky ve stlačeném stavu  $d$  (m), tedy  $s' = E_d / d$ . Je vhodné pro potřeby přesného výpočtu rozlišovat dynamickou tuhost ve stlačeném a nestlačeném stavu, protože výrobci často udávají v tabulkách hodnoty pro nestlačený stav, tedy veličinu dynamické tuhosti  $s'_n$ . Pro výpočet reálné dynamické tuhosti (která má po zatížení vyšší hodnotu) pak slouží následující vztahy 3.2 až 3.5. [7]

Roznášecí vrstva včetně případné nášlapné vrstvy přitěžuje a tím stlačuje zvukoizolační podložku. Plošná hmotnost těchto vrstev se dá vyjádřit jako

$$m'_2 = \sum_{i=1}^n \rho_i h_i \quad (3.2)$$

kde  $\rho_i$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$ ) je objemová hmotnost  $i$ -té vrstvy nad zvukově izolační podložkou,  $h_i$  (m) je tloušťka této vrstvy,  $n$  je počet vrstev nad zvukoizolační podložkou. [7]

Stlačitelnost  $K$  (%) zvukoizolační podložky při zatížení touto roznášecí vrstvou je

$$K = K_n \frac{m'_2}{m'_n} = K_n \frac{m'_2}{200} \quad (3.3)$$

Tloušťka zvukoizolační podložky při tomto zatížení je

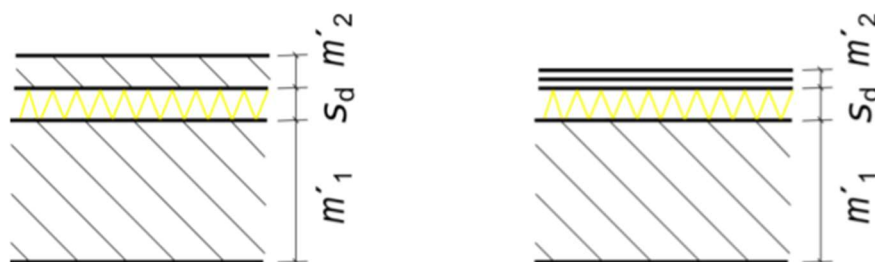
$$d = d_0 \left( 1 - \frac{K}{100} \right) \quad (3.4)$$

Reálná dynamická tuhost při tomto zatížení je pak

$$s' = s'_n \frac{d_n}{d} = s'_n \frac{100 - K_n}{100 - K} \quad (3.5)$$

Skládá-li se zvukoizolační podložka z více vrstev o dynamických tuhostech  $s'_1, s'_2, \dots$ , dosazuje se do vztahů dynamická tuhost  $s'$ , pro kterou platí

$$s' = \frac{1}{\frac{1}{s'_1} + \frac{1}{s'_2} + \dots} \quad (3.6)$$



Obrázek 3.10: Těžká a lehká plovoucí podlaha s vyznačením základních veličin [11]

Ze vztahu 3.1 je patrné, že rezonanční kmitočet  $f_r$  je typu hmotnost–pružnost–hmotnost. Základní veličiny pro jeho výpočet jsou k jednotlivým vrstvám těžké nebo lehké podlahy znázorněny na obrázku 3.10. Od rezonančního kmitočtu stoupá kročejový útlum zvukoizolační podložkou přibližně o 12 dB na oktávu. Tak tomu je pouze do kmitočtu  $f_d$ . Od něj roste kročejový útlum již pouze o 6 dB na oktávu. V okolí kmitočtu  $f_1$  (Hz) dochází k dalšímu významnému lokálnímu poklesu v nárůstu kročejového útlumu, jako tomu bylo u rezonančního kmitočtu  $f_r$ . Jedná se o tzv. základní kmitočet půlvlnné rezonance, který souvisí s násobným odrazem zvuku mezi nosnou a roznášecí vrstvou. Kmitočet  $f_1$  je tak dán charakterem zvukoizolační podložky a jeho hodnota lze zjistit pomocí vztahu 3.7,

$$f_1 = \frac{1}{2d} \sqrt{\frac{E_d}{\rho_d}} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{s'}{m'_d}} \quad (3.7)$$

kde  $m'_d$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) je plošná hmotnost zvukoizolační podložky. [7]

Nejen v okolí  $f_1$  dochází k poklesu útlumu, ale i u všech následných celistvých násobků. Míra tohoto poklesu pak závisí na velikosti ztrátového činitele  $\eta_d$  (-) zvukoizolační podložky, přičemž platí, že jeho větší hodnota znamená menší pokles a naopak. Již výše byl zmíněn kmitočet  $f_d$ , do jehož hodnoty roste kročejový útlum o 12 dB na oktávu. Jedná se o kmitočet, u něhož se začne ještě o něco dříve také projevovat půlvlnná rezonance (vliv stojatého vlnění ve zvukoizolační podložce). Jeho stanovení je podobné jako ve vztahu 3.7, avšak v prvním jmenovateli rovnice je k číslu 2 přidáno číslo  $\pi$ . Platí tak vztah

$$f_d = \frac{1}{2\pi d} \sqrt{\frac{E_d}{\rho_d}} = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{s'}{m'_d}} \quad (3.8)$$

Při teoretických výpočtech pak lze hodnoty těchto kmitočtů využít v rovnicích 3.9 a 3.10, při kterých se zjišťuje hodnota kročejového útlumu (nebo také snížení hladiny kročejového zvuku) těžkou plovoucí podlahou výpočtem podle J. H. Rindela.

Pro  $f_r < f \leq f_d$  platí

$$\Delta L = 40 \lg \frac{f}{f_r} \quad (3.9)$$

Pro  $f > f_d$  pak platí

$$\Delta L = 40 \lg \frac{f_d}{f_r} + 20 \lg \frac{f}{f_d} \quad (3.10)$$

Hodnoty kročejového útlumu se následně odečítají od příslušné hodnoty na daném kmitočtu pro samotnou holou stropní desku  $L_{n,0}$  (dB) podle vztahu 3.11

$$L_n = L_{n,0} - \Delta L \quad (3.11)$$

V případě výpočtu pro lehkou plovoucí podlahu se využije pouze vztah 3.9 pro celou oblast třetinooktávových pásem, které mají hodnotu  $f > f_r$ . [7]

Výpočet kročejového útlumu lze provést také jinak – pomocí technické metody doc. Čechury. Jedná se o poměrně složitější výpočet, kde útlum  $D_L$  (dB) se určí podle

$$D_L = 10 \lg \left\{ \left[ \cos \frac{\pi f}{f_1} - \left( \frac{f f_1}{\pi f_r^2} \right) \sin \frac{\pi f^2}{f_1} \right]^2 + \left[ 1 + \left( \frac{f f_1}{\pi f_r^2} \right)^2 \right] \sinh^2 \frac{\eta_d \pi f}{f_1} \right\} \quad (3.12)$$

Výsledné hodnoty normované hladiny kročejového zvuku  $L_n$  (dB) se poté zjistí v příslušných kmitočtových pásmech podle vztahu 3.13,

$$L_n = -20 \lg \left( 10^{-\frac{L_{n1}}{20}} + 10^{-\frac{L_{n2}}{20}} \right) - D_L \quad (3.13)$$

kde  $L_{n1}$  (dB) je hodnota normované hladiny kročejového zvuku samotné nosné stropní konstrukce a  $L_{n2}$  (dB) hodnota normované hladiny kročejového zvuku zatěžující roznášecí vrstvy. [7]

Oba vztahy tak mají svá uplatnění. Kromě nich existují ještě dvě jednodušší možnosti stanovení kročejového útlumu. Jednou je přímý výpočet váženého kročejového útlumu  $D_{L,w}$  (dB) provozní metodou podle pánů docentů Čechury a Kaňky. Podle polohy rezonančního kmitočtu vypočteného podle vztahu 3.1 se vybere jeden z možných výpočtů pro váženou hodnotu kročejového útlumu  $D_{L,w}$ . Ten se pak následně uplatní ve vztahu 3.14,

$$L_{n,w} = -20 \lg(10^{-0,05 L_{n,w1}} + 10^{-0,05 L_{n,w2}}) - D_{L,w} \quad (3.14)$$

z čehož vyplývá, že v této metodě odpadá výpočet útlumu pro každé třetinooktávové pásmo a řeší se pouze vážené hodnoty.

Další možností je využít grafické pomůcky uvedené v ČSN EN ISO 12354-2, která při znalosti dynamické tuhosti  $s'$  (MN.m<sup>-3</sup>) zvukoizolační podložky a plošné hmotnosti  $m'_2$  (kg.m<sup>-2</sup>) roznášecí desky nabízí rychlé jednočíselné určení vážené hodnoty kročejového útlumu  $\Delta L_w$  přímo z křivek v přiložených grafech. [11]

Obě tyto jednodušší metody jsou též použitelné pro rychlé předběžné určení, jsou však pouze přibližné a neplatí ve všech případech.

Výsledné hodnoty kročejového útlumu plovoucí podlahou, které mají nerovnoměrný průběh, jak ukázal obrázek 3.9, se následně projeví v celkové normované hladině kročejového zvuku  $L_n$  (dB) tím, že významně vylepší hodnoty na vysokých kmitočtech a též relativně i na nízkých, avšak v mnohem menší míře. Zároveň u nich velice záleží na poloze rezonančního kmitočtu, teoreticky by totiž mohlo dojít ke zvýšenému přenosu kročejového zvuku, jak již bylo v této kapitole vysvětleno.

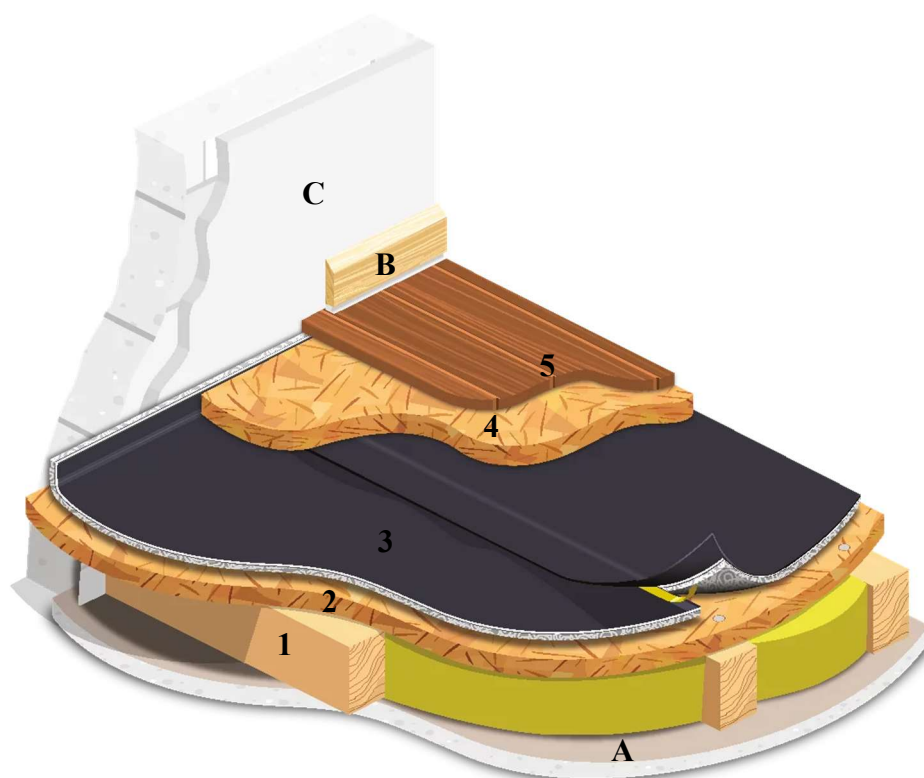
Obecně jsou více účinné těžké plovoucí podlahy než lehké, u kterých je příčinou to, že mají menší plošnou hmotnost roznášecí desky  $m'_2$  (kg.m<sup>-2</sup>), tedy i vyšší rezonanční kmitočet  $f_r$  (Hz), u něhož již nemusí být reálné dosáhnout hodnoty  $< 80$  Hz. Zvýšený přenos kročejového zvuku se tak projevuje už ve spodní oblasti sledovaného zvukoizolačního pásma a výsledné hodnoty kročejové neprůzvučnosti jsou proto nižší.

Zároveň se v případě zvukoizolačních podložek u lehkých plovoucích podlah používají podložky s vyšší tuhostí, protože síly vnášené do konstrukce zdrojem kročejového zvuku jsou více roznášeny lokálně než plošně jako u těžkých plovoucích podlah. Je proto třeba zajistit, aby se podložky na krajích u soklu neodtrhávaly. [11]

*Čím je pevnost podlahových desek vyšší, tím je zpravidla nižší jejich schopnost tlumit kročejový hluk. V projektu i během realizace by se z tohoto důvodu měla najít správná rovnováha mezi pevností a akustickou schopností. [24]*

### 3.1.2 Lehká plovoucí podlaha

Jak již samotný název napovídá, lehké plovoucí podlahy mají menší hmotnost než ty těžké. Konkrétně do nich patří konstrukce, jejichž hodnota plošné hmotnosti je vyšší než  $15 \text{ kg/m}^2$  a zároveň nižší než  $75 \text{ kg/m}^2$ . V kapitole 3.1.1 bylo vysvětleno, proč jsou právě lehké plovoucí podlahy méně účinné. Přes tuto zřejmou nevýhodu však najdou své uplatnění, a to především při výstavbě podkroví nebo montovaných dřevostaveb. Důvodem je již zmiňovaná nižší hmotnost podlahového souvrství, což má příznivý vliv na statiku budovy, a také výstavba bez mokrého procesu, což je především u dřevěných konstrukcí jednoznačná výhoda, která zároveň přináší urychlení celé výstavby, protože se nemusí čekat na dozrání roznášecí desky. Složení lehkých plovoucích podlah je však podobné jako u těžkých plovoucích podlah. [27, 34]



**Obrázek 3.11:** Ukázka skladby lehké plovoucí podlahy [30]

Na obrázku 3.11 je ukázka moderního dřevěného trémového stropu. Na nosné konstrukci v podobě dřevěných trámů (číslo 1) je záklop z OSB desek (číslo 2). Na nosné části se umístí zvukoizolační podložka (číslo 3), rozdílem je zde pak roznášecí vrstva (číslo 4), která je v tomto případě tvořena opět OSB deskou, na níž se následně pokládá podlahová krytina (například dřevěné palubky – číslo 5). Opět je třeba dbát na umístění okrajového dilatačního pásku po výšce roznášecí vrstvy. V obrázku je také znázorněna instalace podhledu pod stopní konstrukcí včetně vyplnění tepelnou izolací (písmeno A). Ten však přenos kročejového zvuku nesnižuje, má tak pouze pohledovou funkci, případně vylepšuje vzduchovou neprůzvučnost.

Hydroizolační ochranná PE folie se již u lehkých plovoucích podlah nad zvukoizolační podložku umísťovat nemusí, pro ochranu před případným zatečením do izolace a následně konstrukce či před narušením celistvosti podložky se však použití folie nevyklučuje. Stejně tak je opět možné použít pod kročejovou izolaci polystyren jako tepelnou izolaci.

Hrubý postup při pokládání lehké plovoucí podlahy jako na obrázku 3.8 v předchozí kapitole je tak v tomto případě velice podobný, odpadá však vytváření monolitické vrstvy roznášecí desky.

Ta je u tohoto typu podlah vytvořena tzv. suchou (montovanou) technologií z *velkoplošných materiálů na bázi dřeva (OSB desky, překližky, CETRIS desky, dřevotřískové desky na pero a drážku a podobně) nebo na bázi sádrovláknitých a sádrokartonových desek. U většiny velkoplošných materiálů se doporučuje používat desky o tloušťce 12 až 18 mm (podle pevnosti materiálu). Ukládají se na izolační materiál minimálně ve dvou vrstvách tak, že vrchní deska se natočí oproti spodní o 90 stupňů, aby bylo zajištěno vystřídaní spár. Pro vyšší stabilitu konstrukce se musejí obě vrstvy navzájem sešroubovat samořeznými vruty. Některé velkoplošné materiály s vyšší pevností lze ukládat i v jedné vrstvě. Jejich tloušťka však musí být větší než 22 mm a spoje jednotlivých desek musejí být na pero a drážku (polodrážku). [34]*

*Při montáži se vzájemně lepí a spojují s pomocí sponek nebo vrutů. [35]*

*V případě montovaných dřevostaveb lze ke zvýšení celkové plošné hmotnosti použít roznášecí desky se zvýšenou objemovou hmotností (cementovláknité desky a podobně). [34]*

Roznášecí vrstva může současně představovat i nášlapnou vrstvu (lamino, dřevotříska apod.). Nemusí tomu tak být vždy, jako podlahovou krytinu si lze pak představit téměř vše. Také již bylo zmíněno, že zvukoizolační podložka by měla být u lehkých plovoucích podlah volena s mírně vyšší tuhostí. Důvodem je více lokální přenos síly, která je vybuzena zdrojem kročejového zvuku. [9, 26]

### 3.1.3 Dodatečné informace k plovoucím podlahám

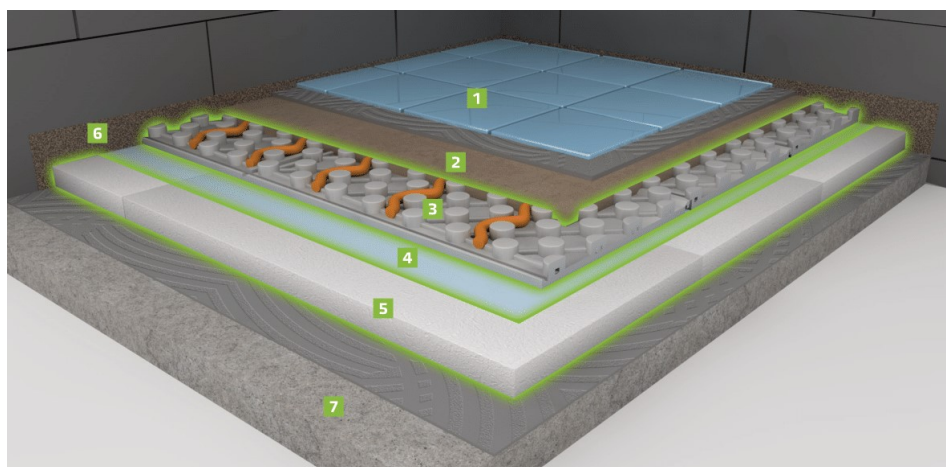
Z předešlých kapitol lze vyvodit několik závěrů a postřehů pro užívání nebo právě neužívání plovoucích podlah.

Pokud se nejedná o návrh nástavby nebo dřevostavby, lehkou plovoucí podlahu lze navrhnout pouze v případě dostatečné vzduchové neprůzvučnosti nosné stropní konstrukce. Pokud však strop vykazuje nízkou hodnotu vzduchové neprůzvučnosti, je nutné v projektu uvažovat s těžkou plovoucí podlahou. Nejvýhodnějším a jasně nejbezpečnějším se pak jeví návrh hmotné stropní konstrukce (např. ŽB monolitické desky) v kombinaci s těžkou plovoucí podlahou. Při vhodném návrhu lze u takovéto konstrukce očekávat kvalitní zvukoizolační vlastnosti i v oblasti nižších kmitočtů. [9, 26]

Zároveň však nelze říct, že by u moderních konstrukcí, které obsahují více vrstev plnicích specifické funkce, nebylo možno dosáhnout dostatečných výsledných hodnot zvukové izolace při relativně nízké hmotnosti konstrukce. [33]

Je však nutno zmínit, že instalace akustického podhledu s minerální vatou v případě kročejové neprůzvučnosti (na rozdíl od vzduchové neprůzvučnosti) příliš nepomáhá. Kročejový zvuk, vznikající při kontaktu s podlahou nebo bočními konstrukcemi, se šíří tvrdými konstrukcemi, podhled tedy obejde bočními cestami. Jisté vylepšení je tak při takové situaci možné, avšak nepříliš významné. Z pohledu snížení doby dozvuku místnosti ale může mít instalace podhledu příznivý vliv – větší ztlumení místnosti způsobuje subjektivně zmenšený vjem zvukové události. [24]

Případné přidání podlahového vytápění není v případě plovoucích podlah v ničem překážkou. *K tomu se většinou používají polystyrénové tvarovky, do kterých se pokládají vytápěcí hadice, a následně se celá konstrukce zpevní vrstvou anhydritu (nebo betonové mazaniny).* [24]



**Obrázek 3.12:** Ukázka skladby těžké plovoucí podlahy s teplovodním vytápěním [36]  
1 – keramická dlažba do lepidla, 2 – anhydrit, 3 – tvarovka s teplovodními hadicemi, 4 – PE fólie, 5 – kročejová/tepelná izolace, 6 – okrajový pásek, 7 – nosná konstrukce

Všechny ukázané postupy, návrhy a výpočty, pomocí kterých by měla být zajištěna dostatečná kvalita v otázce přenosu kročejového zvuku, však platí pro ideální stav a dobře provedenou skladbu v ploše. Samotná kročejová neprůzvučnost je však opravdu silně ovlivněna detaily, z nichž některé mohou být i nepatrné. V minulých kapitolách byl zmíněn případný vliv špatného provedení okrajové dilatační pásky po obvodě podlahy nebo co by se stalo, pokud by například anhydrit vytvořil v jakémkoliv místě pevné spojení s bočními konstrukcemi. Byl popsán příklad, kdy by se oblast soklu u keramické dlažby prolepila tvrdým lepidlem místo pružného tmelu. Přes dlažbu by vznikající kročejový zvuk „proběhnul“ okolo spodní kročejové izolace, čímž by její funkce významně ztratila svůj účel. Stejně tak se musí tato kročejová izolace ochránit před zatečením. Problémů různého typu může být při provádění na stavbě více, což popisuje samotná kapitola 5.

Velice důležité je však dodržet technologické postupy nejen procesu výstavby, ale i pro vrstvu kročejové izolace, která určuje výsledný kročejový útlum. Rozhodně by nemělo docházet k podcenění jejího výběru. V rámci bezpečnosti není od věci skladbu podlah mírně předimenzovat než poddimenzovat. [32]

*V případě podhodnocení akustických parametrů jsou následky špatného návrhu v reálu jen těžko řešitelné, a to s nemalými finančními náklady. [26]*

Tloušťka plovoucích podlah se může obecně pohybovat od 60 mm až do 150 mm nebo i více. Je tedy logické, že v případě některých rekonstrukcí bytových domů není užití plovoucí podlahy vhodné. Tím jsou míněny situace, kdy by se nezasahovalo do původní podlahové konstrukce anebo stávající podlaha je tvořena například pouze nášlapnou vrstvou nad nosnou konstrukcí stropu, jako tomu bývalo často u panelových domů (viz další kapitola 3.2). Nevhodnost použití plovoucích podlah v těchto případech je způsobena tím, že by se musely v domě předělávat všechny dveře z důvodu následné rozdílné výšky prahů. [24]

Pokud by se v takových prostorech provedla nová podlaha na nosnou stropní konstrukci bez izolační podložky (tzv. kontaktní podlaha) s nášlapnou vrstvou typu keramické dlažby, ničemu by to nepomohlo. Při takovémto kontaktním charakteru podlahy by strop měl podobný průběh normované hladiny kročejového zvuku jako holá stropní konstrukce anebo by se situace možná i zhoršila. Proto budou v následující kapitole představeny tzv. povlakové podlahy, které vzniklý problém částečně řeší. [9]

### 3.2 Povlakové podlahy

Z pohledu stavební akustiky je specifickou funkcí podlah tlumit kročejový zvuk. Podle této funkce se rozdělují podlahy na plovoucí a povlakové. *Zatímco plovoucí po-*

*dlahy svojí zvukoizolační vrstvou brání šíření chvění do nosné konstrukce stropu a budovy, funkce povlakových podlah spočívá v omezení vzniku kročejového zvuku. [4]*

Typickými povlakovými podlahovinami jsou PVC, linoleum, pryž, koberec atd. Mají různou tloušťku a jsou buď samy ve formě měkkých izolačních podložek nebo jsou na samostatné izolační podložky kladeny a to přímo na nosnou konstrukci stropu. Proto se jim také říká „kontaktní“ nebo „nulové“ podlahy. Mají však být na strop lepeny, nikoliv volně položeny (viz kapitola 2.8), což by snižovalo vzduchovou neprůzvučnost. Při takovém provedení pak aktivně zmenšují velikost síly, která je do nosné stropní konstrukce vnášena zdrojem kročejového zvuku. Nárazy jsou podlahovinou tlumeny přímo při vzniku. [4, 37]

Účinnost povlakových podlah však sama o sobě nedosahuje takové efektivity jako v případě plovoucích podlah. Kročejový útlum není u nich sice nikterak zanedbatelný, ale jako jediné řešení proti přenosu kročejového zvuku by nebyly dostatečné. Proto se povlakové podlahy příliš nepoužívají. Možná je ale kombinace s plovoucí podlahou, která obstará hlavní část kročejového útlumu a zbytek nebo případné nedostatky poté vylepšuje právě povlaková podlahovina.

Užíváním pouhých podlahovin byly známé panelové domy z minulého století. Tehdejší normové požadavky při tomto provedení splňovaly stropní konstrukce poměrně hraničně. Svým způsobem ale provedené povlaky alespoň trochu fungovaly a snižovaly tak přenos kročejového zvuku. Bohužel v průběhu užívání si lidé často byty rekonstruovali a současně vyměňovali nášlapnou vrstvu podlahy. V lepším případě v bytě položili koberce, které jsou neúčinnějším povlakem, přičemž záleží na jejich tloušťce. V horším případě nahradili původní povlak za keramickou dlažbu, což mělo za následek již nyní známý efekt téměř nulového vylepšení situace oproti holé stropní desce. *Těžko budeme ale přemlouvat souseda, aby si do bytu položil koberec, když právě zaplatil za novou dlažbu. [24]*

Problematika přenosu kročejového zvuku u dřívější výstavby panelových domů je tak z pohledu akustika velice zajímavá a je jí věnováno experimentální měření ve druhé části práce (ad B) v kapitole 7.2.

Zajímavé je také zmínit existenci tzv. zdvojených (dvojitých) podlah, u kterých se opět nepoužívá zvukoizolační podložka jako celek. Na nosnou konstrukci jsou na drobné měkké podložky umístěny rektifikovatelné stojky, které nesou vyjímatelné podlahové panely (dlaždice). Ty tak slouží jako jakási roznášecí vrstva. Mohou být současně i nášlapnou vrstvou, avšak častěji jsou kryty nášlapnou vrstvou v podobě koberce, dlažby, laminátu apod. Pod panely tak vzniká vzduchová dutina, ve které mohou být umístěny rozvody VZT, elektřiny, zdravotnických instalací, vytápění a další.

Odnímatelnost desek zaručuje okamžitou revizi a případnou opravu při poruše. Zároveň kročejová neprůzvučnost nabývá u takovýchto podlah poměrně často slušných výsled-



ků. Je však zapotřebí říct, že pro bytové domy se tyto zdvojené podlahy nevyužívají. Uplatnění najdou spíše u administrativních budov, datových center, prostor pro telekomunikační zařízení apod. V bytových domech není zapotřebí vést tolik rozvodů v konstrukci podlahy, navíc by nebyla z pohledu užívání praktická a zvyšovala by částečně nároky na konstrukční výšku budovy. [38]

V případě výpočtu normované hladiny kročejového zvuku při použití povlakové podlahy v rámci projektu lze použít technickou metodu, jež byla představena v kapitole 3.1.1, která popisovala výpočet kročejového útlumu pro plovoucí podlahy. Nyní se však počítá jinak rezonanční kmitočet  $f_r$  (Hz) a základní kmitočet půlvlnné rezonance  $f_1$  (Hz).



**Obrázek 3.13:** Skladba povlakové podlahy [11]

Rezonanční vrstvu tvoří stropní konstrukce, podlahovina a kladívko klepacího zařízení (zdroj kročejového zvuku), které do konstrukce stropu udává impulzy. Chybí zde tak roznášecí vrstva s plošnou hmotností  $m'_1$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ). Rezonanční kmitočet se určí podle vztahu 3.15,

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{S_h s'}{m_h}} = \frac{\sqrt{s'}}{167,1} \quad (3.15)$$

kde  $m_h$  (kg) je hmotnost kladívka normalizovaného klepacího zařízení ( $m_h = 0,5$  kg),  $S_h$  ( $\text{mm}^2$ ) úderná plocha tohoto kladívka ( $S_h = 700$   $\text{mm}^2$ ) a  $s'$  (Pa/m) dynamická tuhost povlakové podlahoviny. [7, 37]

Základní kmitočet půlvlnné rezonance  $f_1$  (Hz) se vypočte podle vztahu 3.16,

$$f_1 = 83,5543 \frac{f_r}{\sqrt{m'_d}} \quad (3.16)$$

kde  $m'_d$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) je plošná hmotnost povlakové podlahoviny. [7]

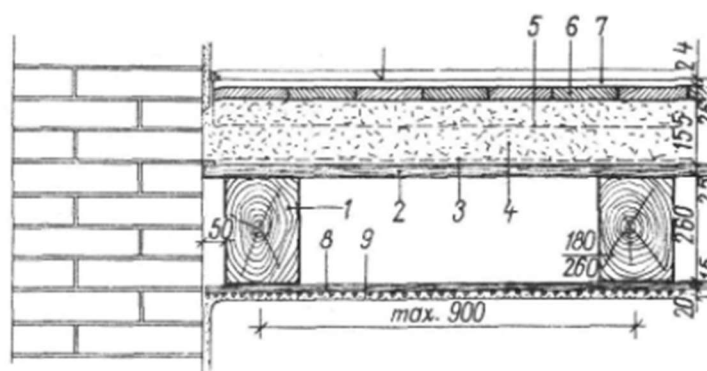
Podobně jako u plovoucích podlah platí, že do rezonančního kmitočtu  $f_r$  ke kročejovému útlumu nedochází. Nad jeho hodnotou roste teoreticky o 12 dB na oktávu a vypočte se stejně jako v případě lehké plovoucí podlahy podle vztahu 3.17 nebo vztahu 3.12 pro  $D_L$  (dB) a následně se použije pro výpočet  $L_n$  (dB). [7]

$$\Delta L = 40 \lg \frac{f}{f_r} \quad (3.17)$$

### 3.3 Dřevěné trámové stropy – dřívější i současné

Cílem této kapitoly není zcela postihnout a vysvětlit celou problematiku dřevěných stropů z pohledu kročejové neprůzvučnosti, což by vystačilo na další diplomovou práci. Dřevěné stropy mohou být trámové, dřevobetonové, z CLT panelů, nosníků typu I apod. Autor zde tak chce velice zkráceně a zjednodušeně vysvětlit základy útlumu přenosu kročejového zvuku v případě dřevěných trámových stropů v bytových domech, a to na příkladu dřívějších běžně používaných konstrukcí a na příkladu modernějším.

Dřívější řešení dřevěných trámových stropů v bytových domech bylo z hlediska zvukových izolací poměrně solidní. Obecně jsou například pro kročejovou neprůzvučnost lepší ohybově měkké konstrukce než ohybově tuhé. Pro splnění vzduchové neprůzvučnosti by ale měla být stropní konstrukce dostatečně hmotná. Bohužel se trochu navzájem vylučuje, aby konstrukce současně vykazovala co nejmenší tuhost a co největší hmotnost. Dřívější tradiční dřevěné trámové stropy s podbitím, záklopem a násypem však toto splňovaly. Násyp napomáhá tomu, že je konstrukce hmotná, ale i ohybově měkká. [4]

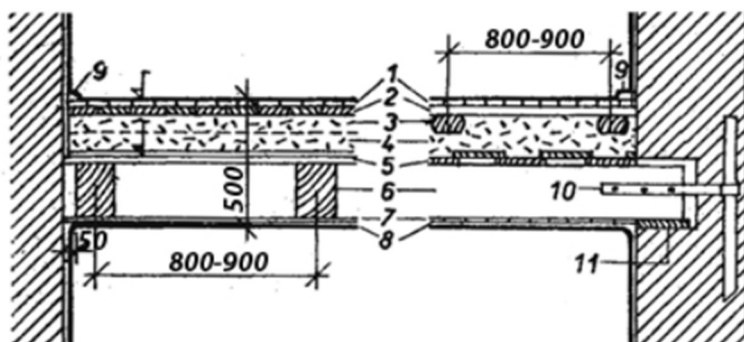


Obrázek 3.14: Trámový strop s rovným podhledem a násypem [39]

Na obrázku 3.14 je tzv. polospalný strop, který byl při výstavbě bytových domů užíván od 19. století. Na dřevěné trámy (pod číslem 1) byl umístěn záklop (2) z prken, jejichž vzájemné spáry byly překryty lištami (3). Na záklop byl položen násyp (4) minimální tloušťky 80 mm, který mohl být z dostatečně suchého stavebního rumu, písku, škváry, drti z cihel nebo vápna apod. Do násypu se kolmo na směr trámů umísťovaly tzv. polštáře (5) a na ně se přibíjela dřevěná podlaha. Nejdříve se provedla hrubá podlaha (6), na ni poté čistá podlaha (7). Dolní líc trámů ochraňovalo podbití z dřevěných prken (8) s rákosovými rohožemi nebo drátěným pletivem a omítkou (9), a vytvářelo tak rovný podhled. [39]

Na obrázku 3.15 je stejná konstrukce stropu včetně druhého příčného řezu. Jsou tak lépe vidět zmiňované polštáře, lišty mezi prkny záklopu a uložení zhlaví trámy, který spočívá na impregnované podložce (v obrázku 3.15 pod číslem 11). Pro zajištění

prostorové tuhosti objektu a zvýšení stability nosných zdí se některé stropnice kotví k nosné zdi ocelovými kotvami (trámové kleště – v obrázku 3.15 pod číslem 10). [39]

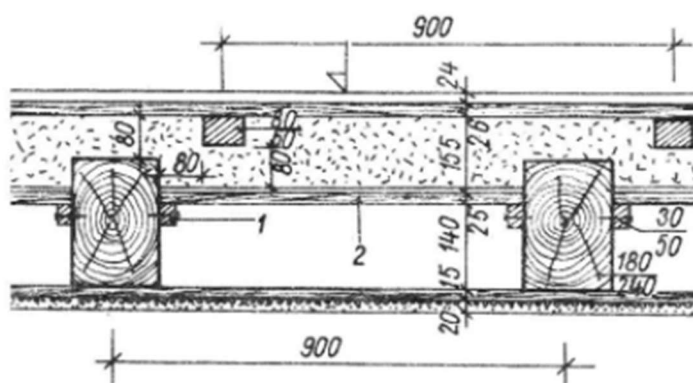


Obrázek 3.15: Trámový strop s rovným podhledem a násypem v řezu [40]

Při výše ukázaném provedení stropní konstrukce má použití násypu tu výhodu, že při položení podlahy prostřednictvím polštářů je dostatečně tlumen kročejový zvuk. Energie chvění podlahy se přenáší do násypu, kde se mění třením mezi jednotlivými zrny násypu v teplo. [4]

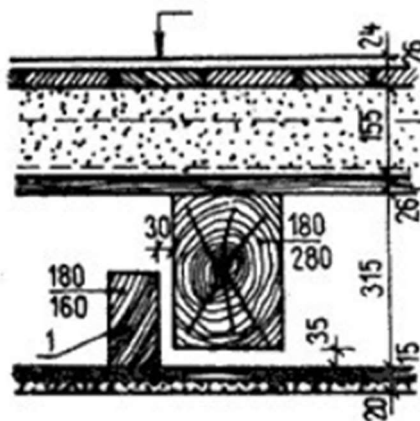
Kromě částečné ztráty energie kročejového zvuku poskytují násypy další výhody. Jednou z nich je, že násyp přitěžuje skladbu podlahy a kromě zlepšení vzduchové neprůzvučnosti zamezuje mechanickému rozhoupání stropu. Také zvyšuje požární odolnost konstrukce z vrchní strany. [32]

Nevýhodou tohoto stropu je však větší konstrukční tloušťka. Ta se dá vyřešit modifikací – tzv. trámovým stropem se zapuštěným záklopem (viz obrázek 3.16).



Obrázek 3.16: Trámový strop se zapuštěným záklopem [39]

Rovný podhled v podobě podbití s rákosovou omítkou však může při dynamických účincích stropní konstrukce popraskat. Proto byly vymyšleny trámové stropy s tzv. rákosníky (viz obrázek 3.17). Ty fungují jako samostatné trámky, na něž je zavěšen podhled, který je právě díky rákosníkům oddělen od vlastní nosné konstrukce. Průhyb stropnic se tak nepřenáší do podhledu a nedochází k praskání omítky. [39]

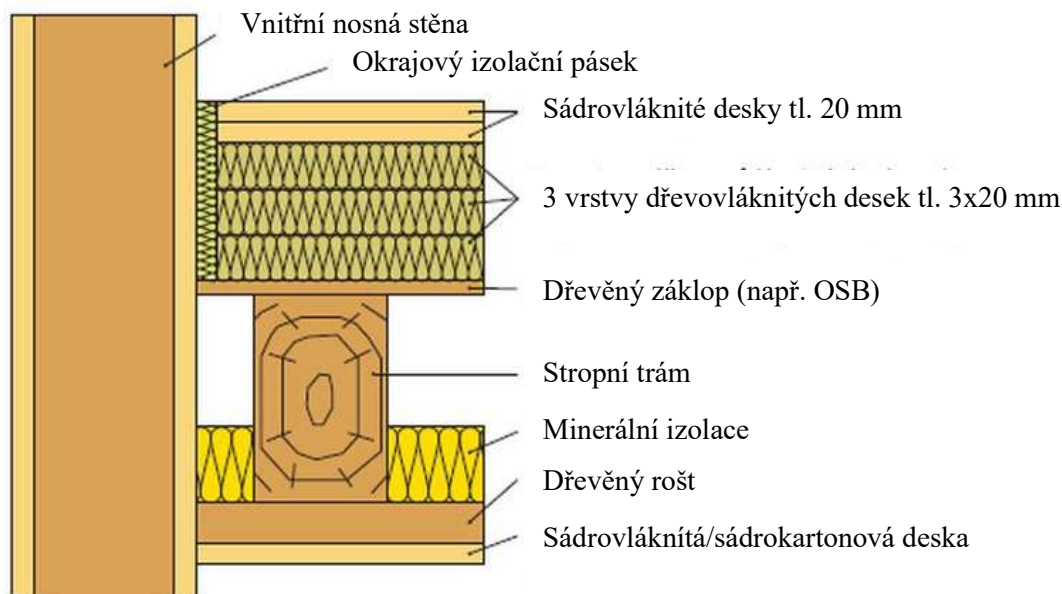


Obrázek 3.17: Trámový strop s rákosníky [39]

Tímto provedením se sice opět zvyšuje konstrukční tloušťka, avšak pozitivním dopadem je i částečné vylepšení zvukoizolačních vlastností stropu. [39]

Ač může i u těchto konstrukcí v některých případech přinášet problémy zvýšený přenos kročejového zvuku na nízkých frekvencích, v kombinaci se zděnými stěnami nedocházelo k výrazným stížnostem. V moderní výstavbě však tento trend může představovat skutečnost, se kterou je třeba se vypořádat. Čím dál víc se navíc bytové domy řeší ve formě dřevostaveb, kde tak vzniká další reálné riziko v podobě většího bočního přenosu. Při dodržení pravidel a technologických postupů se lze těmto rizikům vyvarovat, obecně jsou však dřevěné konstrukce stropů náchylnější na nekomfort z pohledu kročejového zvuku. Nízké kmitočty mohou být často u moderních dřevostaveb slabé místo i v případě, že je splněn požadavek kročejové neprůzvučnosti. Rozšířený faktor přizpůsobení spektru  $C_{1,50-2500}$  pak může nabývat vyšších hodnot, než jak je běžné u dnes již tradičních železobetonových stropů.

Podlahy stropních konstrukcí dřevostaveb bývají nejčastěji prováděny jako plovoucí a to nejčastěji v lehké variantě – ukázka možné skladby viz obrázek 3.11 v kapitole 3.1.2 nebo na následujícím obrázku 3.18.



**Obrázek 3.18:** Skladba stropní konstrukce moderní dřevostavby [41]

Zásady jsou opět stejné. Velice důležité je umístění okrajového izolačního pásku na celou výšku skladby podlahy a výběr vhodné izolační podložky. Ta může být v provedení dřevovláknité desky, jejíž výhodou je poměrně vysoká pevnost v tlaku a tvarová stálost. Podložka může být u dřevostaveb i v provedení minerální kamenné vlny, elastifikovaného polystyrenu nebo lze v případě potřeby alternativně vložit betonové dlaždice do skladby podlahy. Ty jsou chráněny od záklopu a roznášecí vrstvy například již zmiňovanými dřevovláknitými deskami. Dlaždice mají vysokou objemovou hmotnost, tudíž mají vliv na zlepšení akustických vlastností stropů. Také by šlo použít variantu těžké plovoucí podlahy, avšak ta není u dřevostaveb příliš oblíbená právě z důvodu vnášení mokrého procesu do objektu, který je výhradně ze dřeva. Též by se nemělo zapomínat na možnost použití násypu, jehož vliv na kročejovou neprůzvučnost byl popsán u „historických“ konstrukcí. Ten se tak dá zároveň kombinovat i s pružnou podložkou. [41]

### 3.4 Konstrukce schodišť – ochrana před kročejovým zvukem

Tato kapitola rozebere přístup k řešení ochrany proti přenosu kročejového zvuku ze schodišťových konstrukcí do vnitřních chráněných prostorů bytů. Chůzí po stupních schodišťových ramen nebo po podestách a mezipodestách vzniká kročejový zvuk, který může nepříjemně ovlivňovat obyvatele domu v přilehlých chráněných místnostech nebo i místnostech vzdálenějších. Při špatně řešené izolaci schodišťových konstrukcí vznikají zbytečné spory. Způsob provedení schodišťových konstrukcí má tak z pohledu kročejové neprůzvučnosti nejen vliv na kvalitu bydlení, ale i na hodnotu nemovitosti. [42]

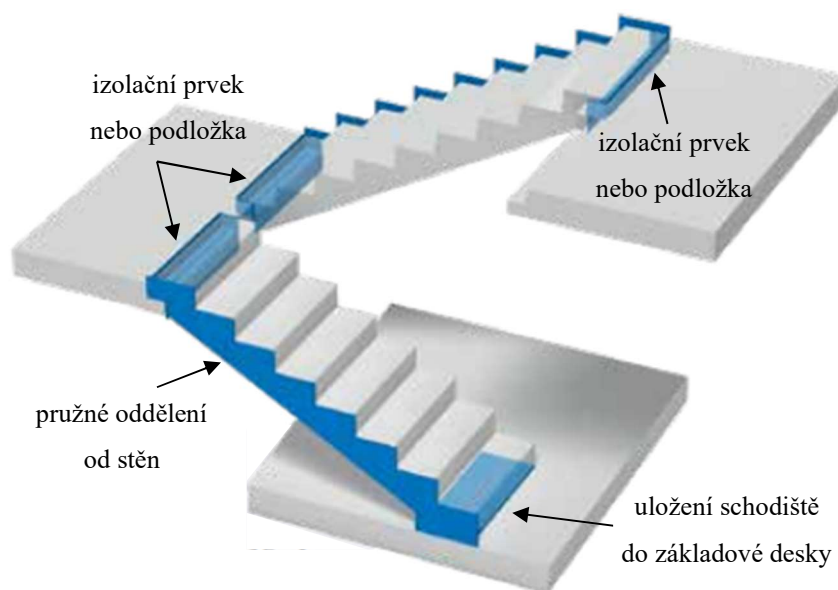
Jedná se o horizontální přenos kročejového zvuku, jak bylo popsáno v kapitole 2.3. Pro účely vyhodnocování na stavbě provedené kvality se sleduje veličina vážená

normovaná hladina (k době dozvuku) kročejového zvuku  $L'_{nT,w}$  (dB) a základní požadavek pro bytové domy je podle ČSN 73 0532  $\leq 53$  dB (v dřívější verzi  $\leq 55$  dB). Jeho splnění je dokazováno na základě nezávislého akustického měření.

V následujícím popisu běžných řešení izolace schodišťových konstrukcí budou uvedena pouze přímá (ne točitá) schodišťová ramena a podesty i mezipodesty v provedení ze železobetonu, protože tento typ je v bytových domech zcela nejčastější. Dvě hlavní možnosti izolace schodiště od budovy jsou izolace schodišťového ramene od stropní konstrukce a podesty (viz později obrázek 3.19) a izolace podesty od stěn (viz později obrázek 3.29). V prvním případě je rameno nezávislé na konstrukci podesty a mezipodesty. Ty by tak měly být v provedení s plovoucí podlahou. Napojení ramene a podest je zajištěno pomocí izolačního prvku nebo akustické podložky, což bude vysvětleno později. Při izolaci podesty od stěn jsou obě schodišťová ramena včetně mezipodesty provedena jako jeden celek. Spojení s konstrukcí budovy tak vzniká v místě styku ramene a podesty (opět řešeno izolačním prvkem nebo akustickou podložkou) a v místě, kde je mezipodesta uložena do konstrukce nosné stěny pomocí jakýchsi izolačních boxů. Princip včetně obrázků bude také vysvětlen později. Zapomínat by se nikdy nemělo ani na uložení do základové desky v 1.NP budovy a na pružné boční oddělení konstrukcí schodišťových ramen od přilehlých nosných stěn.

Na stavebním trhu si za uplynulá léta v případě řešení izolace schodišť upevnila svou pozici německá společnost Schöck. Proto podle jejích postupů budou vysvětleny následující realizace. *Izolaci proti kročejovému zvuku lze realizovat jen jako spolupůsobící systém. Přitom je nutno zohlednit všechny komponenty a napojení konstrukcí ve schodišťovém prostoru. Systém izolace proti kročejovému zvuku Schöck Tronsole se skládá z několika částí, jež se ideálně vzájemně doplňují. Jde o kompletní řešení bez rizika vzniku akustických mostů během provádění stavebních prací. [42]*

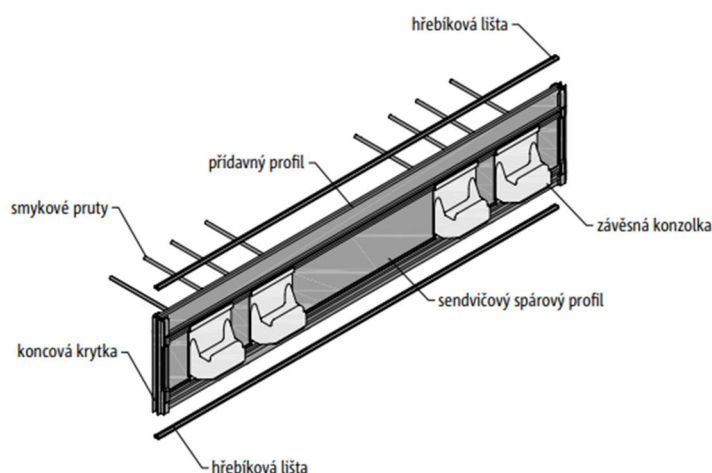
Při provedení podle montážních návodů společnosti by následně mělo dojít ke splnění normových požadavků dokonce s rezervou, protože produkty jsou testovány podle přísnějších rakouských norem. Použité produkty jsou podle potřeby optimalizovatelné pro jakoukoliv konkrétní situaci. [42]



**Obrázek 3.19:** Izolace schodišťového ramene od stropní konstrukce a podesty [42]

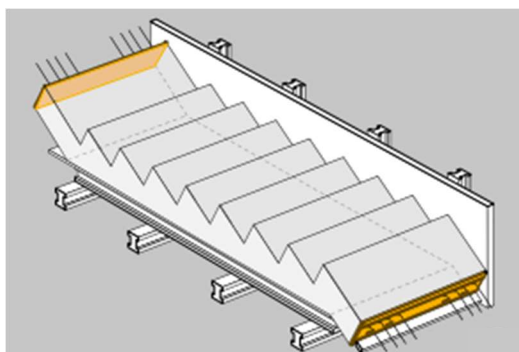
V případě izolace schodišťového ramene od stropní konstrukce a podesty jsou využívány principy použití izolačního prvku nebo podložky, jak je znázorněno v obrázku 3.19, ve kterém všechny modré obrysy představují místa, která jsou při realizaci schodišťových konstrukcí potřebná ochránit tak, aby došlo k úspěšné eliminaci akustických mostů. Cílem je ve všech těchto místech zajistit souvislá a nepřerušovaná řešení. [42]

Volba akustického řešení izolace schodišťového ramene má vliv na způsob stavebního provedení samotných ramen, respektive i konstrukcí podest a mezipodest. V případě užití izolačního prvku může být rameno monolitické nebo i prefabrikované a podesta nebo mezipodesta monolitická nebo prefabrikovaná. Vždy však vzniká rovná plocha spárového profilu v místě napojení, ze které vyčnívá výztuž pro zmonolitnění s připojovanou konstrukcí (viz obrázek 3.20).

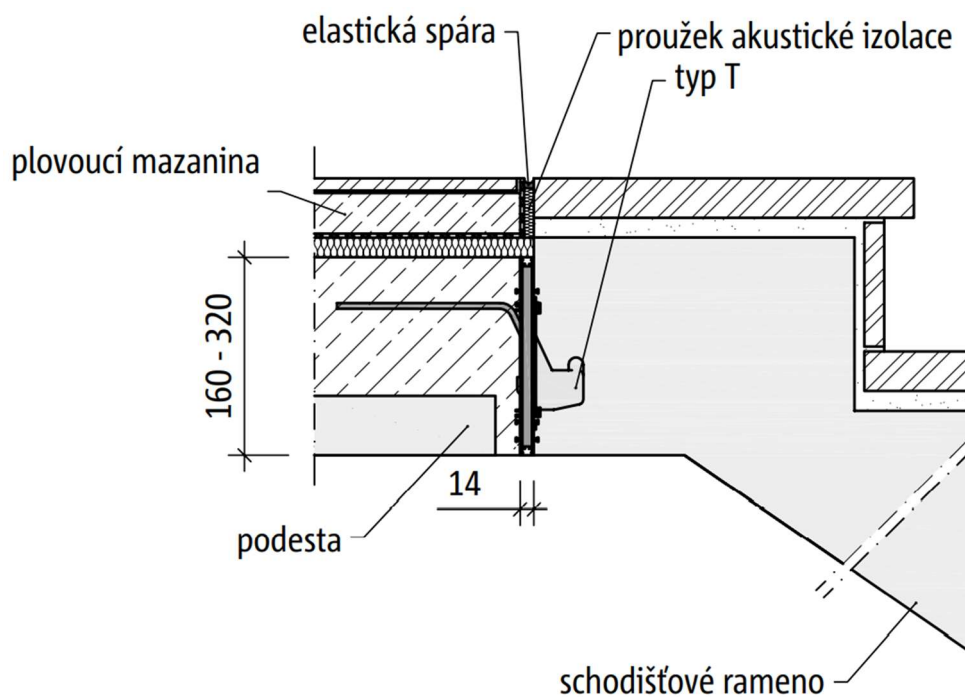


**Obrázek 3.20:** Ukázka izolačního prvku (Schöck typ T) [43]

Pokud je rameno prefabrikované, má v sobě tento prvek zabudovaný již z panelárny a v místě poloprefabrikované podesty nebo mezipodesty se monoliticky napojí. Podoba prefabrikovaného ramene viz obrázek 3.21 a finální řešení napojení viz obrázek 3.22.



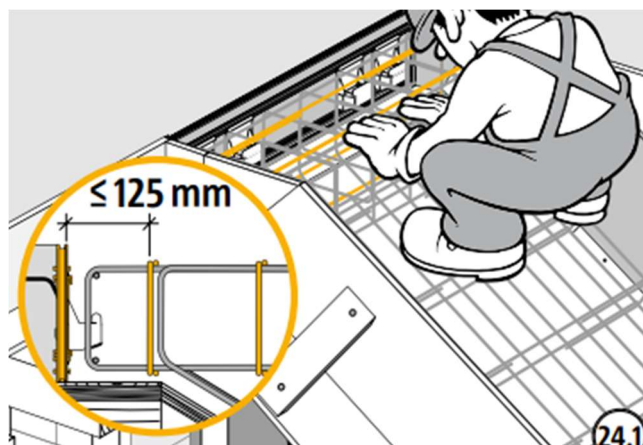
**Obrázek 3.21:** Ukázka prefabrikovaného ramene s již zabudovaným izolačním prvkem [43]



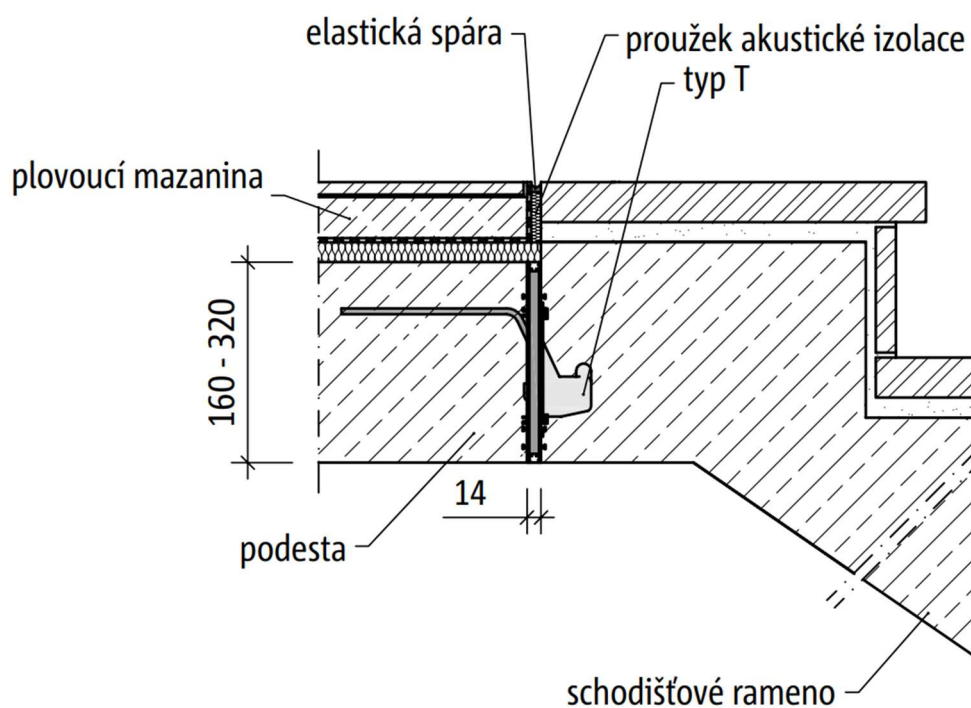
**Obrázek 3.22:** Provedení v místě napojení prefabrikovaného ramene a poloprefabrikované podesty [43]

Pokud bude rameno dodatečně dobetonováno, prvek je již umístěn v místě provedené podesty nebo mezipodesty a výztuž ramene se na něj poté napojí pomocí závěsných konzolek – viz obrázek 3.23.





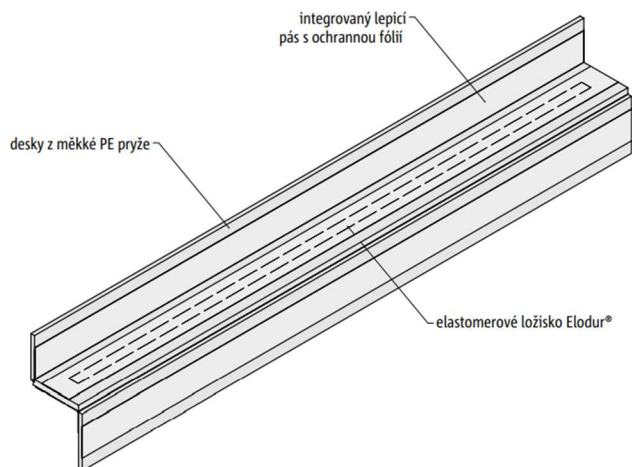
**Obrázek 3.23:** Spojení výztuže monolitického ramene pomocí závěsných konzolek izolačního prvku [43]



**Obrázek 3.24:** Provedení v místě napojení monolitického ramene a monolitické podesty [43]

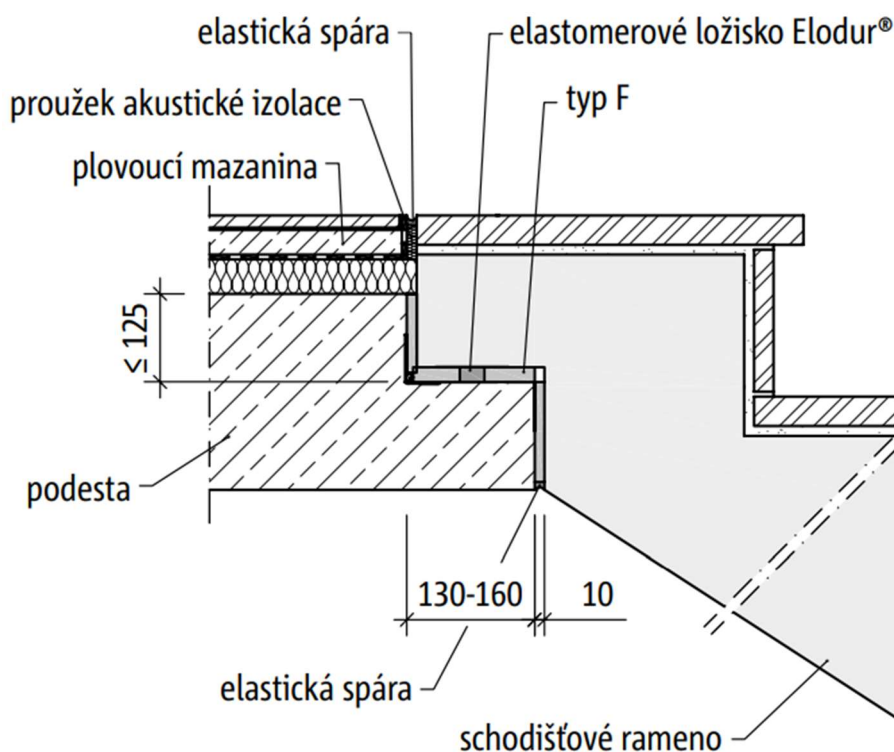
U těchto ukázaných postupů (v případě užití izolačního prvku) tak vzniká v okamžiku provádění schodiště jistá pracnost, avšak výhodou řešení je, že u podesty i ramene odpadá nutnost realizace úložných konzolek po celé šířce prvku (neboli ozubů). [42]

Pokud se izolace schodišťového ramene řeší pomocí podložek, rameno je vždy prefabrikované. Podesty, resp. stropy jsou nejčastěji v prefabrikovaném nebo poloprefabrikovaném provedení, vyloučeno však není ani monolitické. U tohoto typu izolace schodišťového ramene však vzniká nutnost provedení ozubů u podesty i ramene. Na tyto ozuby jsou následně kladeny izolační podložky (viz obrázek 3.25).



**Obrázek 3.25:** Izolační podložka (Schöck typ F) [43]

Podložky bývají většinou z pružného materiálu v podobě sylomeru či elastomeru, který je konkrétně použit u výrobku společnosti Schöck na obrázku 3.25. Podložka se přilepí pomocí integrovaných samolepicích pásů k prefabrikovanému schodišťovému rameni. Výsledné napojení na konstrukci podesty viz obrázek 3.26. [42]



**Obrázek 3.26:** Provedení v místě napojení prefabrikovaného ramene a prefabrikované podesty [43]

Podložky jsou při správné realizaci mírně účinnější, protože je zde možno lépe zajistit správnost provedení jednotlivých spár. Tato skutečnost je společně s rychlostí a efektivitou výstavby důvodem, proč je z pohledu autora varianta s použitím izolační

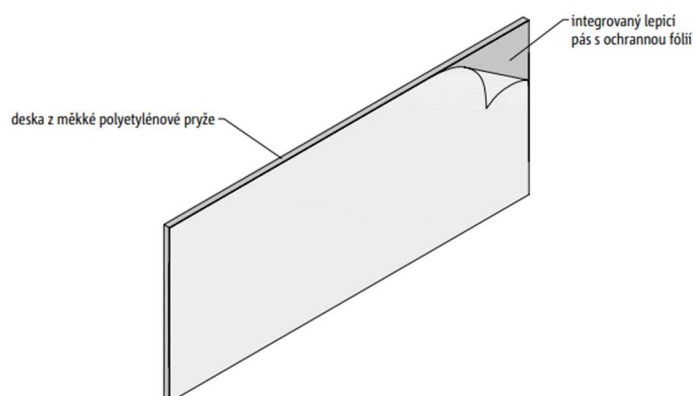
podložky u současných bytových domů častější. Místo styku však musí být pečlivě kontrolováno, aby do něj nezapadaly nečistoty. [42]

*Elastomerová ložiska, která nevyplňují dokonale spáru, zde představují obzvláštní riziko, jelikož i minimální akustické mosty mohou vést k nesplnění minimálních požadavků. [42]*

Je zcela běžné, že konstrukce podest jsou provedeny společně s plovoucí podlahou. U izolovaného ramene od stropní konstrukce podesty a mezipodesty je však nutné si uvědomit, že plovoucí podlahu musí mít i mezipodesta (viz obrázky 3.22, 3.24 a 3.26). Samotný prefabrikovaný panel uložený na nosnou zeď nebo monolitická deska provedená pomocí vylamovacích lišt není řešením, které by eliminovalo přenos kročejového zvuku do chráněných místností bytů. Pouze při provedení plovoucí podlahy mezipodesty může být způsob izolace schodišťového ramene prohlášen za vhodný. Též si lze v obrázcích povšimnout, že i na spáru mezi keramickou dlaždicí schodišťového stupně a podlahovým souvrstvím je zapotřebí si dávat pozor. Do vzniklé spáry by měla být vložena akustická izolace (včetně horního zajištění pružným tmelem).

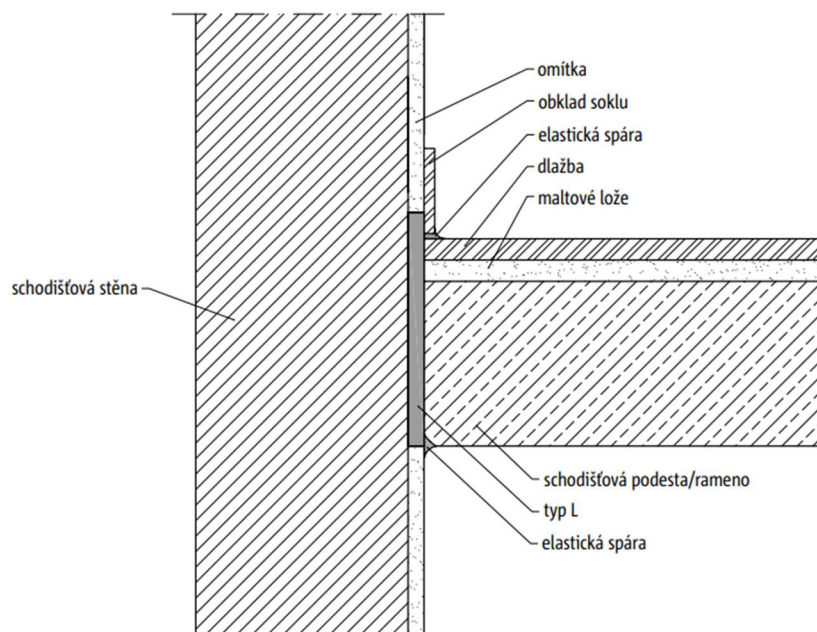
Všechny doposud předvedené principy vedoucí ke snížení přenosu kročejového zvuku by však nefungovaly, pokud by nedošlo k pružnému oddělení schodišťových ramen od přilehlých stěn. Absence izolačních spárových desek (původně viditelných v obrázku 3.19 po stranách jednotlivých ramen) by degradovalo realizované úpravy, kterými jsou provedení izolačních prvků či izolačních podložek a plovoucích podlah. Boční izolační spárové desky *dokonale vyplňují spáru a vylučují tak vniknutí nečistot, které by mohly způsobit akustické mosty. [42]*

Jedná se o měkké polyetylénové pryže, které jsou ke konstrukcím ramen nebo též samotných mezipodest (viz později obrázek 3.29) pomocí samolepicích pásů (viz obrázek 3.27).



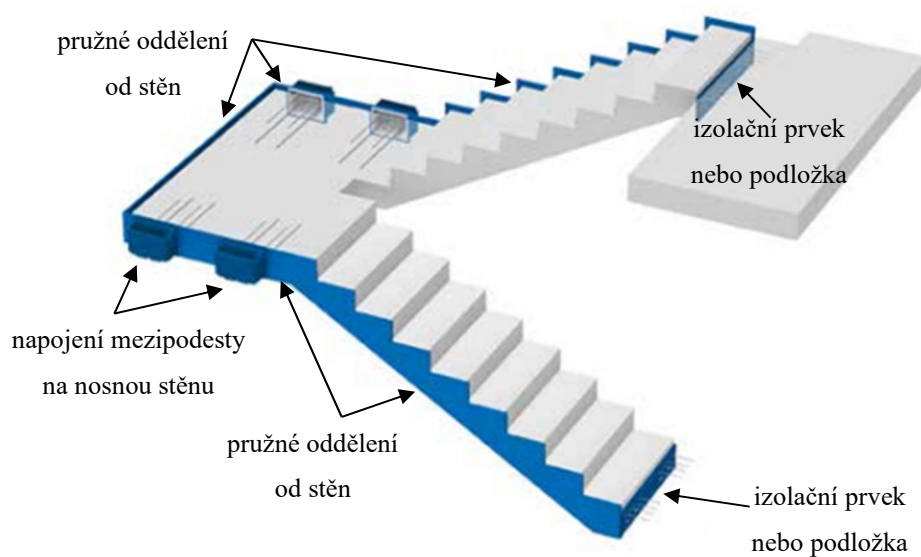
**Obrázek 3.27:** Izolační spárové desky (Schöck typ L) [43]

Desky se snadno řezou, tudíž po jejich nalepení je možné ponechat malý kousek desky přečnívat nad konstrukcí ramene nebo mezipodesty (viz obrázek 3.28 v horní části spáry), aby bylo důsledně zajištěno pružné oddělení.



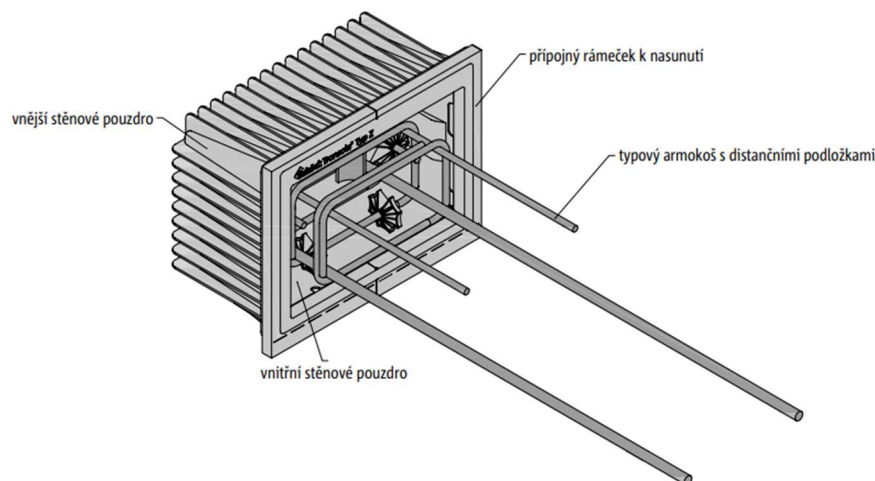
**Obrázek 3.28:** Napojení schodišťové stěny na rameno nebo mezipodestu [43]

Po tento okamžik byla popsána možnost izolace schodišťového ramene od stropní desky a podesty. Druhou hlavní možností izolace schodiště od konstrukce budovy je izolace podesty od stěn, což je znázorněno na obrázku 3.29.



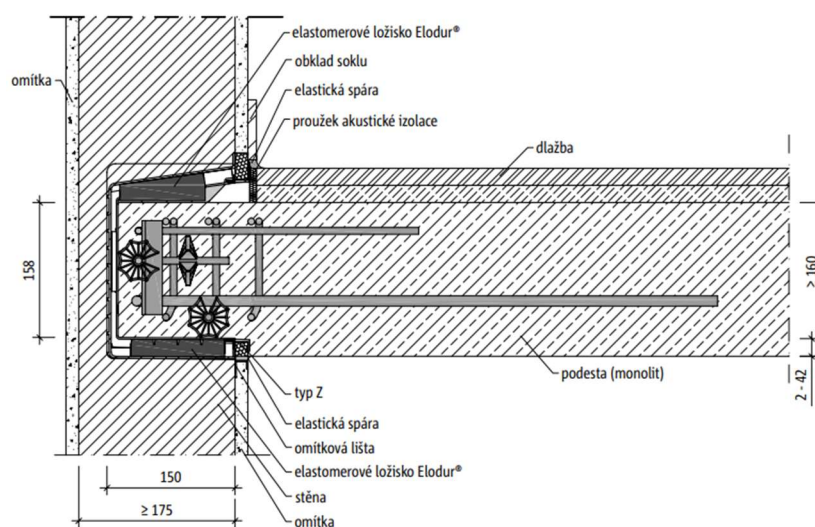
**Obrázek 3.29:** Izolace podesty od stěn [42]

Schodišťová ramena včetně mezipodesty jsou provedena jako jeden celek. Ve všech místech, kde dochází k jejich styku s přílehlými schodišťovými stěnami, je opět použita izolační spárová deska. V místě napojení konstrukce na podesty může být použit izolační prvek nebo izolační podložka. Principy těchto opatření již byla popsány výše. Nově se zde však objevuje opatření proti přenosu kročejového zvuku v podobě prvku určeného k napojení mezipodesty do konstrukce nosné stěny. Podesta pak může být monolitická nebo prefabrikovaná. Schodišťová stěna může být zděná nebo z monolitického betonu. [43]



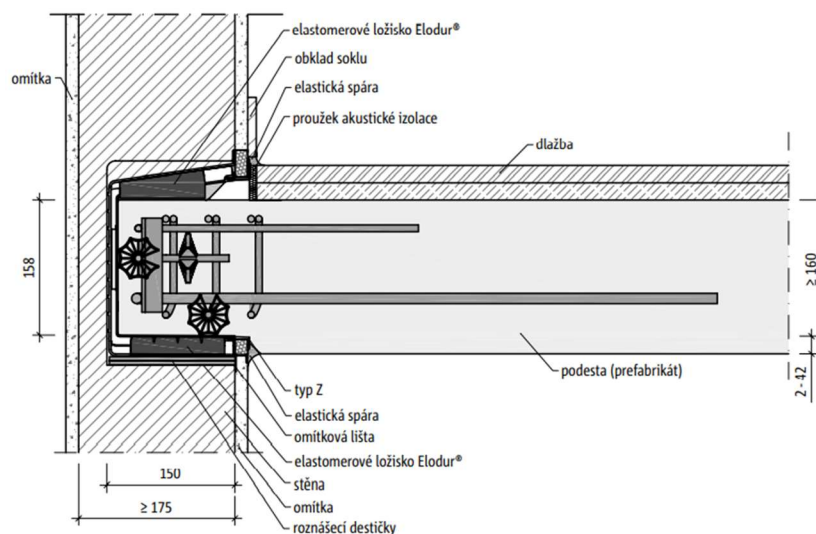
**Obrázek 3.30:** Stěnové pouzdro pro uložení mezipodesty do nosné stěny (Schöck typ Z) [43]

Prvkem pro napojení mezipodesty je stěnové pouzdro, které se skládá z vnějšího a vnitřního plastového pouzdra, do kterého jsou integrována elastomerová ložiska. Do boxu je následně zasunut typový armokoš pro konečné zabetonování. Pokud je mezipodesta v monolitickém provedení, pouzdro slouží v nosné stěně jako ztracené bednění, které je připraveno pro dodatečné dobetonování mezipodesty (viz obrázek 3.31).



**Obrázek 3.31:** Stěnové pouzdro pro napojení monolitické podesty (Schöck typ Z) [43]

Pokud je mezipodesta v prefabrikovaném provedení, již v panelárně jsou na ni provedeny betonové konzolky, na které jsou následně stěnová pouzdra nasunuta (viz obrázek 3.32). Tato deska se poté na stavbě umístí do požadované polohy. [43]



**Obrázek 3.32:** Stěnové pouzdro pro napojení prefabrikované podesty (Schöck typ Z) [43]

Při užití stěnového pouzdra, které izoluje mezipodestu (a nepřímou tak i schodišťová ramena) od stěn, se na mezipodestě nemusí realizovat plovoucí podlaha. Urychlí se tak provádění, a mezipodesta může mít menší tloušťku. [42]

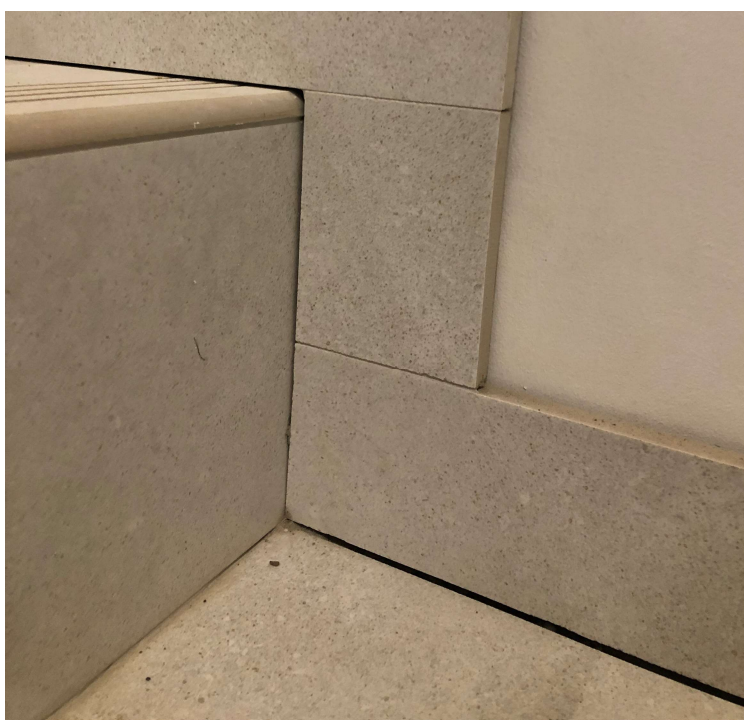
Představené prvky a schodišťové konstrukce se pak mohou mezi sebou různě kombinovat. Na obrázku 3.33 je ukázka z reálné stavby, kde schodišťové rameno slouží zároveň jako mezipodesta. Je zde ke spatření uložení ramene včetně mezipodesty do nosné stěny pomocí stěnových pouzder, uložení navazujícího ramene na ozub pomocí izolační podložky. Po stranách je samozřejmě izolační spárová deska.



**Obrázek 3.33:** Ukázka řešení izolace schodiště na reálné stavbě [42]

*Ochrana proti hluku je zaručena pouze tehdy, je-li celé schodiště akusticky odděleno od navazujících konstrukcí. K tomu je nutno provést všechny spáry po obvodu schodišťových konstrukcí tak, aby nemohlo dojít ke vzniku akustických mostů. [42]*

Je tak důležité předejít jakémukoliv pevnému styku. Na schodišťových stupních již žádná další pochozí vrstva byt nemusí, avšak velice časté je provedení keramické dlažby včetně protiskluzné úpravy. V místě styku keramiky se stěnou musí být zajištěna absence nečistot, případně omítka se zde nesmí dlažby dotýkat. Soklová oblast pak má být od samotné dlažby oddělena (viz obrázek 3.34). Vzniklá mezera se následně silikonuje pružným tmelem.



**Obrázek 3.34:** Spára mezi keramickou dlažbou a soklem [foto pořízeno autorem]

## 4 Stavební měření kročejové neprůzvučnosti

Postupy stavebního měření kročejové neprůzvučnosti a uvedené informace jsou převzaty především z ČSN EN ISO 16283-2 „Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách in situ – Část 2: Kročejová neprůzvučnost“. Částečně jsou však místy zohledněny autorovy vlastní znalosti z průběhů měření, kterým se věnuje v rámci své vlastní praxe. Popsané postupy jsou následně použity při řešení dvou vlastních měření ve druhé části práce (ad B).

### 4.1 Sledované hodnoty a vybrané definice

Výsledkem stavebního měření je vážená normovaná hladina kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  (dB) či  $L'_{nT,w}$  (dB) – značeno s čárkou, nikoliv bez čárky. Rozdíl stavební a laboratorní hodnoty byl vysvětlen v kapitole 2.4. Vážená hodnota se následně porovnává s požadavky ČSN 73 0532. [1]

Postupy měření platí obecně pro místnosti o objemu od  $10 \text{ m}^3$  do  $250 \text{ m}^3$  v kmitočtovém rozsahu 100 až 3150 Hz. V případě místností o objemu  $\leq 25 \text{ m}^3$  má být použit nízkofrekvenční postup pro rozsah 50 až 80 Hz. Pro místnosti s větším objemem mohou být hlavní zásady běžného měření také použity pro tyto nižší kmitočty (zde se ještě navíc doporučuje ověřit kmitočty 4000 a 5000 Hz). Nicméně tato rozšíření neovlivňují výslednou hodnotu kročejové neprůzvučnosti, protože ta se dle normy stanovuje pouze pro základní kmitočtový rozsah. Rozšíření tedy funguje jen jako dodatečná informace o přenosu kročejového zvuku danou stropní konstrukcí, a slouží tak k lepšímu pochopení jejího chování především v oblasti mnohdy kritických nízkých kmitočtů. [14]

Při stanovení kročejové neprůzvučnosti je zapotřebí zjistit časově a prostorově průměrné hladiny akustického tlaku kročejového zvuku  $L_2$  (dB), dobu dozvuku  $T_2$  (s) a ekvivalentní pohltivou plochu  $A_2$  ( $\text{m}^2$ ) – na základě doby dozvuku  $T_2$ . Pojmy byly vysvětleny již dříve. V kapitole 4 budou též uvažovány následující termíny:

- *hladina hluku pozadí = hladina akustického tlaku měřená v místnosti příjmu způsobená všemi zdroji, kromě zdroje kročejového zvuku,*
- *pevně umístěný mikrofon = mikrofon umístěný v pevné poloze v prostoru pomocí stacionárního zařízení, jako je např. stativ.*<sup>6</sup> [14]

---

<sup>6</sup> Norma též pracuje se způsoby měření jako je mechanicky plynule se pohybující mikrofon, ručně skenující mikrofon nebo ručně držený mikrofon, avšak v případech nyní uvažovaných stavebních měření kročejové neprůzvučnosti postačí uvažovat výše popsany způsob pevně umístěného mikrofonu [3].



## 4.2 Přístrojové vybavení

Běžně používaným přístrojem pro měření kročejové neprůzvučnosti je tzv. klepací zařízení (příklad viz obrázky 4.1). To je umístěno na povrch zkoušené konstrukce a má normou přesně definované vlastnosti. Každý zdroj kročejového zvuku musí obsahovat pět kladívek, která jsou umístěná v řadě. Vzdálenost mezi těmito kladívky by měla být 100 mm, stejná vzdálenost má být i mezi krajními podpěrami zdroje a nejbližšími kladívky. Podpěry musí být opatřeny antivibračními izolačními podložkami. Samotná část kladívka, která dopadá na zkoušenou konstrukci, má tvar válce o průměru 30 mm. Dopadová plocha musí být z tvrzené oceli a zaoblená podle instrukcí. Celé kladívko pak váží přibližně 500 g a dopadá volným pádem z výšky 40 mm s rychlostí zhruba  $0,886 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , přičemž směr dopadu musí být kolmý ke zkoušenému povrchu, který by měl být rovný a tvrdý. Doba mezi dvěma po sobě následujícími dopady kladívek je 100 ms, frekvence úderů je tak 10 Hz. Celý zdroj musí mít vlastní pohon napojený na elektrickou energii a hmotnost zdroje *musí být menší než 25 kg, aby rozdílně nezatěžoval lehké podlahy nebo podlahoviny.* [19]



**Obrázek 4.1:** Klepací zařízení MI006 od firmy CESVA [44]

Klepací zařízení má simulovat lehké a tvrdé nárazy, kterými jsou například chůze na tvrdém podpatku a pády předmětů. Používání zařízení bylo v průběhu let několikrát kritizováno, protože klepání kladívek nepodává dostatečnou informační hodnotu subjektivního vnímání zvukové izolace ve vztahu k charakteru kročejového zvuku (normální chůze, skákání apod.). Přesto nebylo klepací zařízení do této doby dostatečně nahrazeno. Ačkoliv byl již alternativně popsán zdroj v podobě pryžového balonu, normové požadavky jsou stále definované vzhledem ke klepacímu zařízení. [11, 15, 45]

Smyslem použití pryžového balonu je, že má lépe simulovat těžké a měkké nárazy na strop, což odpovídá právě reálnější chůzi s bosýma nohama nebo skákání dětí.

Příkladem vhodného provedení alternativního zdroje může být dutý pryžový balon o průměru 180 mm s tloušťkou pláště 30 mm a hmotností 2,5 kg (příklad viz obrázek 4.2). Balon se pouští z výšky 1 metru (ze základny zdroje) volným pádem na povrch zkoušené konstrukce. Sledovaným výsledkem této alternativní metody je jednočíselná veličina zvaná vážená maximální hladina akustického tlaku  $A$  kročejového zvuku  $L'_{i,A,Fmax}$  (dB), resp.  $L'_{i,A,Fmax,V,T}$  (dB). Způsob stanovení veličiny a sledovaný kmitočtový rozsah je popsán v ČSN EN ISO 16283-2. V rámci diplomové práce není potřeba se mu nadále věnovat, protože ani autor práce se s tímto způsobem hodnocení kročejové neprůzvučnosti nikdy nesetkal. Jedná se tak prozatím spíše o alternativu, která se uplatní spíše ve výzkumných laboratořích. [11, 19, 20]



**Obrázek 4.2:** Pryžový balon Nor279 od firmy Norsonic [46]



**Obrázek 4.3:** Ukázka průběhu měření s pryžovým balonem [46]

Přístroje a pomůckami používanými k měření hladin akustického tlaku jsou především zvukoměr s mikrofonom (příklad viz obrázek 4.4), kabely, případně kryty proti větru a pomůcky k zaznamenání průběhu měření. Pro měření doby dozvuku se používá reproduktor ve tvaru dodekahedronu umístěný na stativu a zesilovač (příklad sestavy viz obrázek 4.5). Všechny přístroje musí splňovat předepsané požadavky a jsou na ně proto kladeny nároky na pravidelné kontroly a zkoušky. [3, 14]

Při použití reproduktoru se jedná o měření doby dozvuku pomocí tzv. metody přerušovaného šumu. Dozvuk místností se však dá měřit i alternativní metodou integrované impulzní odezvy, při níž je použita startovací pistole (příklad takové pistole viz obrázek 4.6). Obě metody budou ještě popsány.

Dole

**Obrázek 4.4:** Integroční zvukoměr s mikrofonem typu Nor140 od firmy Norsonic [47]

Vpravo

**Obrázek 4.5:** Reprodukční BP012 a zesilovač AP602 od firmy CESVA [48]



Zvukoměr s třetinoctávnovým filtrem slouží pro měření hladin akustického tlaku (v tomto případě kročejového zvuku) a doby dozvuku v několika různých polohách. Na začátku a na konci každého měření (a minimálně na začátku a konci každého měřicího dne) by se měl měřicí systém (mikrofon) zkontrolovat pomocí tzv. akustického kalibrátoru. Kalibrátor vyvolává určitou hladinu akustického tlaku, jehož hodnota se má vždy zaznamenat do dokumentace



**Obrázek 4.6:** Startovací pistole [foto pořízeno autorem]

operátora. Rozdíl hodnot akustického tlaku (změřených na začátku a na konci) získaných kalibrací by měl být menší nebo roven 0,5 dB. V opačném případě musí být provedené měření prohlášeno za neplatné, změřené hodnoty se smažou a vše je třeba opakovat. Měřicí přístroj je nutno ověřovat doporučeně každé dva roky. Toto ověřování provádí například Český metrologický institut nebo autorizované laboratoře. [3]

### 4.3 Stavební připravenost pro potřeby měření

- *Stavebně dokončený objekt bez průrazů, děr a zeslabení, včetně podlahových vrstev (v případě předběžného ověření vlivu podlahové krytiny na kročejovou izolaci nouzově postačí alespoň vzorek o velikosti 1x1 m),*
- *osazená okna a dveře – vchodové i vnitřní (popř. je nouzově možno nahradit deskovým materiálem přidrženým po dobu měření přes dveřní otvor),*
- *instalace těsnění do oken a dveří, instalace prahů u dveří (alespoň improvizovaně pomocí vhodného prkna, hranolu apod.),*
- *možnost připojení na elektrický proud 230 V ve všech dotčených místnostech a osvětlení pro měření v nočních hodinách (lépe klasické žárovkové osvětlení, nouzově halogenová přenosná svítidla),*
- *klid v objektu (především vyloučení stavební činnosti, minimalizace počtu měření přítomných osob),*
- *podklady: stavební výkresy (půdorysy a řezy) včetně legendy místností, skladby dělicích konstrukcí (druhy materiálů – u méně běžných plošná hmotnost, tloušťky),*
- *dokument vyžadující provedení měření/posouzení hlukových poměrů (obvykle stanovisko hygienické služby nebo stavebního úřadu). [49]*

### 4.4 Postup měření kročejové neprůzvučnosti

Uvedený tzv. základní postup měření je uvažován u místností o objemu od 10 m<sup>3</sup> do 250 m<sup>3</sup>, resp. od 25 m<sup>3</sup> do 250 m<sup>3</sup>, jelikož místnosti o objemu menším než 25 m<sup>3</sup> mají být navíc měřeny podle tzv. nízkofrekvenčního postupu, který bude pouze stručně popsán v závěru, protože běžné obytné místnosti těchto hodnot většinou nedosahují, tudíž není nutné postup více rozebírat. Akustické veličiny jsou u základního postupu sledovány v kmitočtovém rozsahu 100 až 3150 Hz, rozsah však lze v případě potřeby stejným způsobem měření rozšířit o nízké frekvence 50, 63 a 80 Hz, resp. o vysoké frekvence 4000 a 5000 Hz. Jejich hodnoty však nijak nezasahují do hodnocení zvukové izolace a jsou tak pouze informační. Zvukové pole místností uvažovaných pro potřeby měření pak může, ale nemusí nutně být přibližně difúzní. [14]

Pro vyjádření kročejové neprůzvučnosti je zapotřebí vybrat místnost zdroje (vysílací místnost), ve které je umístěn v provozu zdroj kročejového zvuku, a místnost příjmu (přijímací místnost), do níž je vyzařován zvuk z činnosti tohoto zdroje na společnou dělicí konstrukci, resp. na společnou stropní konstrukci. Následně pak mohou být v místnosti příjmu změřeny akustické veličiny v podobě hladiny akustického tlaku kročejového zvuku, hladiny hluku pozadí při vypnutí zdroje kročejového zvuku a doby dozvuku. Jejich využití ve vyhodnocení bude popsáno níže. [14]

ČSN EN ISO 16283-2 popisuje dva možné zdroje kročejového zvuku, a to klepací zařízení a pryžový balon. Z již vysvětlených důvodů bude následující postup uvažován pouze při činnosti klepacího zařízení pro pevně umístěný mikrofon. Všechny další v evropské normě uvedené postupy jsou však považovány za rovnocenné. [14]

Klepací zařízení má být v místnosti zdroje umístěno v nejméně čtyřech různých polohách, náhodně po celé ploše dělicí konstrukce, vždy však nejméně 0,5 m od okrajů podlahy. Po zapnutí zdroje a ustálení hladiny hluku je možné v místnosti příjmu naměřit hladiny akustického tlaku kročejového zvuku  $L$  (dB) v několika různých polohách mikrofonu. Tento počet poloh včetně příkladů umístění je popsán v ČSN EN ISO 16283-2 v příloze D a je závislý na podlahové ploše místnosti příjmu i zdroje a typu dělicí stropní konstrukce. Při běžných stavebních měřeních však bývá zvykem pro každou polohu klepacího zařízení měřit ve čtyřech různých polohách mikrofonu. Žádné dvě polohy mikrofonu však nesmí ležet ve stejné rovině vzhledem k povrchům místnosti a polohy nesmí ležet na pravidelné mřížce. Zároveň platí, že všechny tyto polohy jsou od sebe vždy vzdáleny minimálně 0,7 m, od ohraničujících stěn pak minimálně 0,5 m a od zdrojem kročejového zvuku buzené dělicí konstrukce minimálně 1,0 m. [14]

Při čtyřech polohách klepacího zařízení tak vzniká soubor šestnácti měření pro jednu stropní konstrukci. Pokud má být postihnut celý kmitočtový rozsah 50 až 5000 Hz, doba průměrování v jedné poloze je 15 s. Během tohoto času vypočte měřicí přístroj spojený s mikrofonem energeticky průměrné hladiny akustického tlaku kročejového zvuku podle vztahu 1.3 v kapitole 1.4. Tyto hladiny se následně při vyhodnocení energeticky zprůměrují podle vztahu 4.1,

$$L_{sb} = 10 \lg \left( \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n 10^{L_j/10} \right) \quad (4.1)$$

kde  $L_j$  až  $L_n$  jsou hladiny akustického tlaku kročejového zvuku v  $n$  různých polohách mikrofonu v místnosti. [14]

Následně je zapotřebí změřit hladinu hluku pozadí, aby bylo zajištěno, že hladina akustického tlaku kročejového zvuku nebude právě tímto hlukem pozadí ovlivněna. Ten je způsoben cizími zvuky, jako je například hluk z ostatních místností, z činností v domě, elektrický šum v přijímací místnosti, případně hluk způsobený operátorem, který je při měření v místnosti přítomen (oblečení, boty, praskání kloubů). Po vypnutí klepacího zařízení je tak tato hladina hluku pozadí změřena. Operátor má při jeho měření vydávat (pokud vydával) stejné zvuky jako při měření hladin akustického tlaku kročejového zvuku. Zároveň se má ale vyvarovat nadbytečných vlastních zvuků a zvuků, které by mohly při stisknutí provádět tlačítka zvukoměru. Následně je pak při vyhodnocení provedena korekce naměřené hladiny signálu (hladiny kročejového zvuku) na hluk pozadí. Hladina hluku pozadí  $L_b$  musí být nejméně 6 dB (ale přednostně více než 10 dB)

pod hladinou energeticky průměrné hladiny kročejového zvuku  $L_{sb}$  (která je vypočtena podle vztahu 4.1), a to v každém kmitočtovém pásmu. Pokud je rozdíl těchto hladin menší než 10 dB, ale větší než 6 dB, vypočte se korekce energeticky průměrné hladiny kročejového zvuku podle vztahu 4.2. Vzniklá korigovaná hladina je pak hladinou  $L_2$  (dB), která figuruje ve vztazích 2.1 a 2.2 pro zjištění normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{nT}$  (dB), resp.  $L'_{nT}$  (dB). [14]

$$L_2 = 10 \lg(10^{L_{sb}/10} - 10^{L_b/10}) \quad (4.2)$$

Pokud je ve kterémkoliv kmitočtovém pásmu rozdíl v hladinách menší nebo roven 6 dB, použije se k hladině  $L_{sb}$  přímo korekce 1,3 dB. V protokolu o měření pak musí být jasně uvedeno, kterého kmitočtového pásma se tato konkrétní korekce týká. [14]

Dále je nutné změřit dobu dozvuku  $T$  (s) v místnosti příjmu (pojem byl vysvětlen v kapitole 1.6). Běžně se měří doba dozvuku  $T_{20}$  (s), přičemž je preferována technická metoda. *Každý operátor, který byl přítomen v místnosti příjmu během měření hladiny akustického tlaku, musí být rovněž přítomen v místnosti příjmu při měření doby dozvuku.* [14]

Doba dozvuku může být zjištěna dvěma metodami – metodou přerušovaného šumu nebo metodou integrované impulzní odezvy. Při metodě přerušovaného šumu je použita reproduktorová sestava z obrázku 4.5. Reproduktor je ve stacionární poloze ve výšce nejméně 1,0 m nad podlahou a zvuk jím způsobený je (v podobě růžového šumu) ustálený a má spojité spektrum v celém uvažovaném kmitočtovém rozsahu. Reproduktor má být umístěn v nejméně jedné poloze, při níž je mikrofon umístěn do třech pevných poloh, ve kterých dochází ke dvěma měřením doby dozvuku. Též je možné provést šest pevných poloh vždy po jednom měření doby dozvuku. [14]

*Metoda integrované impulzní odezvy využívá rány ze startovací pistole a je zapotřebí především v místnostech, které jsou více zatlumené nebo menšího objemu. Metoda vyžaduje přinejmenším šest pevných poloh po jednom měření. Tato měření (u obou metod) se následně při vyhodnocování zprůměrují do výsledné hodnoty doby dozvuku s číselnou hodnotou pro každé kmitočtové pásmo.* [3]

Pro vyhodnocení normované hladiny (k pohltivé ploše) kročejového zvuku  $L'_{nT}$  podle vztahu 2.1 (v kapitole 2.3) se z naměřené doby dozvuku vypočte podle vztahu 1.4 (v kapitole 1.6) ekvivalentní pohltivá plocha místnosti příjmu  $A_2$  (m<sup>2</sup>). K tomu je zapotřebí určit objem místnosti příjmu  $V_2$  (m<sup>3</sup>). Do objemu místnosti se *nemají započítávat objemy objektů s uzavřeným nepohltivým povrchem, jako jsou skříně, skříňky a instalační šachty.* [14]

Pokud je vyhodnocovanou veličinou normovaná hladina (k době dozvuku) kročejového zvuku  $L'_{nT}$  podle vztahu 2.2 (v kapitole 2.3), změřená doba dozvuku se do zmiňovaného vztahu dosadí přímo.

V rámci zmíněných akustických měření je vhodné, aby operátor používal ochranu sluchu v místnosti zdroje, v místnosti příjmu pak většinou při měření doby dozvuku vždy. V přijímací místnosti je též na jeho rozhodnutí, zda zůstane uvnitř v průběhu měření, aby mohl poslouchat hluk a případné akustické problémy spojené s přenosem kročejového zvuku, nebo zda bude mimo místnost, aby případně neovlivňoval hluk pozadí. Praktičtější však je první varianta, operátor je schopen svým sluchem rozeznat krátké vnější hlukové události, které by mohly zpochybnit měření. [3]

Jak již bylo zmíněno, zvuková pole v běžných obytných místnostech (zařízených nebo nezařízených) se jen zřídka svým charakterem přibližují difúznímu zvukovému poli v celém rozsahu kmitočtového pásma 50 až 5000 Hz. Normou stanovené postupy však umožňují uvažovaná měření bez znalosti skutečné difúznosti. *Z tohoto důvodu se zvukové pole nemá měnit pro účely zkoušky dočasně vloženým dalším domácím vybavením nebo difuzory do místnosti příjmu.* [14]

ČSN EN ISO 16283-2 navíc v příloze D určuje, zda je možné, aby hluk ze samotné činnosti klepacího zařízení přenášený vzduchem mohl přispívat k výsledné hladině akustického tlaku v místnosti příjmu, čímž by její hodnotu uměle navyšoval a snižoval tak zvukoizolační vlastnost stropní konstrukce. K ověření možného příspěvku je zapotřebí určit nejenom hladinu akustického tlaku v místnosti způsobenou klepacím zařízením (zde uvažovanou jako  $L_{R,tm}$ ), ale i hladinu akustického tlaku v místnosti zdroje způsobenou klepacím zařízením (zde jako  $L_{S,tm}$ ) a rozdíl hladin akustického tlaku mezi oběma místnostmi při použití signálu růžového šumu způsobeného reproduktorovou soustavou (zde jako  $L_{D,spk}$ ). Následně platí, že rozdíl  $L_{S,tm} - L_{D,spk}$  musí být 10 dB nebo více pod hladinou  $L_{R,tm}$ , aby byl vliv zvuku přenášeného vzduchem z klepacího zařízení považován za zanedbatelný. [14]

Postupy lze použít pro měření ve směru vertikálním (dolů, nahoru) i v horizontálním (hlučné prostory chodeb a schodišť). V případě schodišť by se mělo měření provádět pro podesty a schodišťová ramena odděleně – tedy vždy čtyři polohy klepacího zařízení zvlášť pro obě konstrukce schodišťového prostoru. U ramen by měly být dvě polohy na druhém, resp. předposledním stupni, zbylé dvě mají být umístěny rovnoměrně mezi spodní a horní polohou. [14]

Již zmíněný nízkofrekvenční postup je použit navíc k základnímu postupu u místností příjmu s objemem menším než 25 m<sup>3</sup> pro třetinooktávová pásma 50, 63 a 80 Hz. V malých místnostech totiž dochází k prostorovému kolísání hladin akustického tlaku. Ty se tak na nízkých frekvencích měří v rozích místnosti podle návodu v ČSN EN ISO 16283-2. Doba dozvuku se pak nízkofrekvenčním postupem měří pouze v oktávovém pásmu 63 Hz, které zastupuje hodnoty ostatních třetinooktávových pásem. [14]

## 4.5 Vyjádření výsledků měření podle ČSN EN ISO 16283-2

Po změření akustických i neakustických veličin na stavbě probíhá následné vyhodnocení výsledků v sídle organizace (operátora), která měření provedla, s využitím softwarů nebo vlastních pracovních postupů. Zde se tak energeticky průměrují hladiny akustického tlaku kročejového zvuku podle dřívějšího vztahu 4.1, dochází ke korekci na hluk pozadí podle vztahu 4.2, zprůměruje se doba dozvuku a podle ní vypočte ekvivalentní pohltivá plocha  $A_2$  ( $m^2$ ). Kročejová neprůzvučnost je pak po přepočtu podle vztahů 2.1, resp. 2.2 z kapitoly 2.3 vyjádřena výsledky měření v podobě normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n}$ , resp.  $L'_{nT}$  v decibelech ve všech třetinooktávových kmitočtových pásmech s přesností na jedno desetinné místo. Veličiny jsou vyjádřeny ve formě tabulky a grafu se závislostí decibelů na kmitočtech. Graf má normované rozměry, které znázorňují na svislé ose 20 mm pro 10 dB a na vodorovné ose 5 mm pro třetinooktávové pásmo. Podoba formuláře a grafu je v ČSN EN ISO 16283-2 v příloze C uvedena jako doporučená, provedení však záleží na samotné organizaci – ukázka takového formuláře viz příloha kapitoly 7 (experimentální měření). [14]

Následně jsou tyto výsledky srovnávány s hodnotami směrné křivky podle postupu, který je popsán v kapitole 2.6. Výsledkem celého měření je pak stanovení jednočíselné hodnoty veličiny zvané vážená normovaná hladina (akustického tlaku) kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  (dB), resp.  $L'_{nT,w}$  (dB). Stanoven je i faktor přizpůsobení spektru  $C_I$  (dB), případně  $C_{I,50-2500}$  (dB) při rozšíření zvukoizolačního pásma – viz kapitola 2.7. [3, 14]

V závěru je zapotřebí přidat protokol o provedené zkoušce. Ten musí obsahovat podle ČSN EN ISO 16283-2 následující údaje:

- odkaz na tuto mezinárodní normu a rok vydání (tj. ISO 16283-2:2020),
- název organizace, která prováděla měření,
- název a adresa organizace nebo osoby objednatele zkoušky (klienta),
- datum zkoušky,
- popis a specifikace stavební konstrukce (adresa nebo jiný identifikační údaj) a uspořádání zkoušky (včetně případné dočasné změny obsahu místnosti pro účel zkoušky, např. použití difuzorů),
- objem místnosti příjmu (zaokrouhlený na celý metr krychlový),
- zdroj kročejového zvuku,



- 
- normovanou hladinu (k době dozvuku) akustického tlaku kročejového zvuku  $L'_{nT}$  nebo normovanou hladinu (k pohltivé ploše) akustického tlaku kročejového zvuku  $L'_n$  nebo normovanou maximální hladinu akustického tlaku kročejového zvuku  $L'_{i,Fmax,V,T}$  v závislosti na kmitočtu (neuvažováno),
  - stručný popis zkušebního postupu, stručné informace o zařízení a uvedení, zda se použil nízkofrekvenční postup pro hladinu akustického tlaku a dobu dozvuku v třetinooktávových pásmech 50 Hz, 63 Hz a 80 Hz,
  - označení výsledků, které jsou limitní z hlediska měření, se musí uvádět jako  $L'_{nT}$  nebo  $L'_n$  nebo  $L'_{i,Fmax,V,T} \leq \dots$  dB. Uplatňují se tehdy, jestliže odpovídající hladina akustického tlaku v kterémkoliv pásmu není měřitelná vzhledem ke hluku pozadí.

Pro vyhodnocení jednočíselných hodnot ze směrných křivek se použije ISO 717-2. Musí být jasně uvedeno, že vyhodnocení vychází z výsledku získaného metodou měření in situ.

Protokol o zkoušce má rovněž zahrnovat nejistotu jednočíselného vyhodnocení. [14]

## B) TÉMATICKÁ POZOROVÁNÍ, EXPERIMENTÁLNÍ MĚŘENÍ

Po první teoretické části A), která komplexně představuje problematiku přenosu kročejového zvuku v bytových domech, je práce rozšířena o druhou část, ve které budou teoretické poznatky konfrontovány s realitou. V kapitole 5 bude na několika příkladech (i z vlastní autorovy zkušenosti) ukázána „tvrdá“ realita běžné praxe, při níž nedochází k naplnění normových požadavků. Důvodem je většinou vliv tzv. akustických mostů či podcenění situace. Naštěstí jsou tyto případy spíše ojedinělé, tudíž jsou následně v kapitole 6 uvedeny příklady vybraných nebo provedením zajímavých konstrukcí staveb, u nichž k problémům nedošlo a svým provedením spadají dokonce do mírného nadstandardu. Obě kapitoly tak představují autorova vlastní (ale i převzatá) pozorování, která se pojí s tématem celé práce. Závěrem druhé části je pak kapitola 7, ve které autor představí dvě experimentální měření, jež v rámci diplomové práce provedl na dvou zcela rozdílných bytových domech v Praze. Obě měření však spojuje sledování kročejového útlumu z hlediska různých provedení finálních nášlapných vrstev.

### 5 Nedokonalá provedení v bytových domech

V kapitole 2.4 bylo vysvětleno, proč stavební hodnoty normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) jsou větší (případně podobné) než laboratorní hodnoty  $L_n$  (dB). Důvodem je tzv. boční přenos, jehož vliv je způsoben především konstrukčním uspořádáním. Boční přenos je vyjádřen příslušnou hodnotou korekce  $k_2$  (dB), ve které však nejsou zohledněny případné nedostatky a chyby, kterých je možné se na stavbě dopustit v podobě akustických mostů. Při jejich vzniku přestávají platit nejen tyto předběžně stanovené korekce, ale i zákonitosti, které byly představeny v první části práce. Ignorování těchto případných chyb vede k akustickému diskomfortu uživatelů bytů, ztrátě důvěry ve stavební firmy a mírně nadneseně ke zpomalení přirozeného růstu stavebnictví.

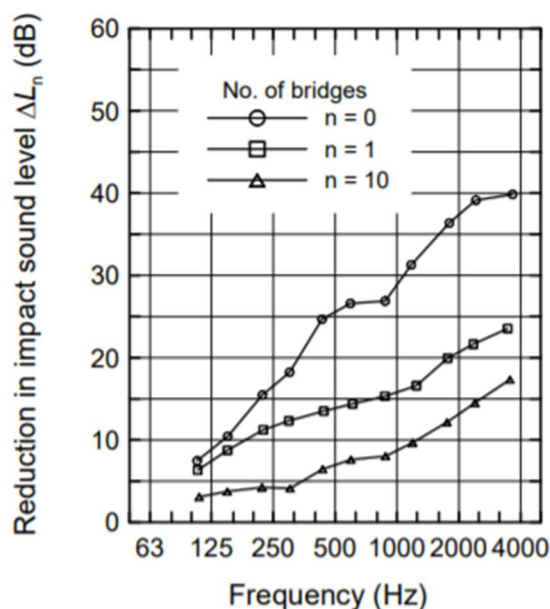
*Někteří projektanti často důležitost splnění normových požadavků daných platnými předpisy podceňují a navrhují konstrukce nebo úpravy, které tyto limity nemohou splnit. Samozřejmě nelze vinit pouze projektanty. V dnešní době totiž často dochází ze strany investorů k tlaku na celkové šetření a na dosažení vyššího zisku, což způsobuje tlak i na samotné projektanty. Investoři by si ale měli uvědomit, že ne vždy jsou takovéto úspory opravdu výhodné, jelikož při zjištění akustického problému musí často dojít k nápravě nebo dokonce i výměně konstrukčního prvku a ve výsledku může tento fakt způsobit daleko větší finanční ztráty, než kdyby již od začátku bylo vše správně a dobře udělané. [3]*

K nedostatkům nedochází ale pouze samotným návrhem a následnou realizací, ale i při nedostatečné technologické kázni při výstavbě. [3]

Naštěstí mnohé chyby mohou být podchyceny v průběhu kontrolních měření, kterých se autor již několik let sám účastní. Z chyb se lidé nejlépe poučí, proto budou v následujících odrážkách a odstavcích představeny ty nejčastější, respektive nejvíce pravděpodobné, ke kterým může dojít, pokud se jich v rámci návrhu a výstavby stavební firmy dostatečně nevyvarují. Mnohé z nich však byly popsány a vysvětleny už v první části, proto budou zde pouze uvedeny bez dalšího rozebírání.

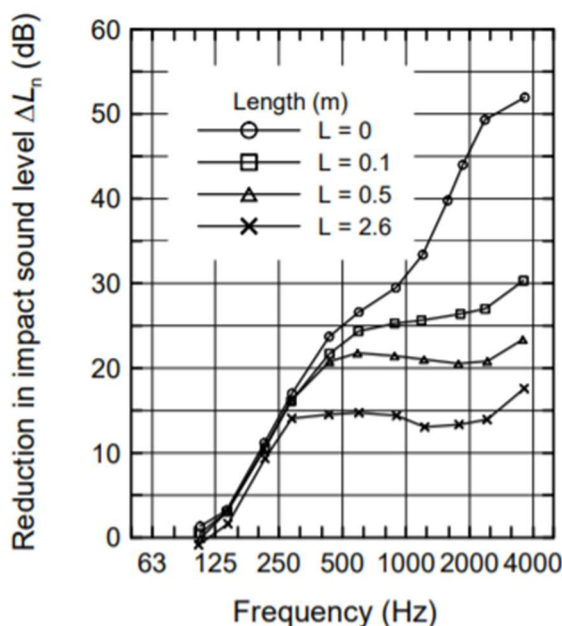
- nevhodná dispozice chráněných a hlučných prostorů v budově;
- *zanedbání nebo podcenění vlivu bočního přenosu kročejového zvuku (zejména přenos ze společné chodby nebo schodiště do bytu); [50]*
- *navrhování konstrukcí téměř výhradně na požadované hodnoty; [50]*
- *nevhodná volba typu tlumící podložky a její tloušťky; [9]*
- *v rámci šetření se místo navržené zvukoizolační podložky použije „stejná“, ale levnější (nebo ještě hůř například běžný tepelněizolační polystyren); [9]*
- rozvody TZB jsou uloženy v rozřezané zvukoizolační podložce, která je případně překryta pro vyrovnání běžným polystyrenem; [26]
- před vytvořením roznášecí vrstvy dělníci po podložce chodí – pohybem dojde k jejímu narušení nebo částečnému poničení bez následné náhrady;
- propíchnutí zvukoizolační podložky výztuží roznášecí vrstvy a zatečení směsi pod podložku, což způsobí pevné propojení s nosnou konstrukcí;
- absence ochranné PE folie, která kryje zvukoizolační podložku od záměsové směsi roznášecí vrstvy – částečná ztráta vlastností podložky;
- neúmyslné vytržení okrajového izolačního pásku – následně do vzniklé spáry zapadá prach a nepořádek vzniklý na stavbě – spára je poté opět opatřena páskem, avšak bez předešlého vyčištění, což způsobuje pevné spojení mezi roznášecí vrstvou a bočními stěnami;
- nedostatečná tloušťka okrajového izolačního pásku;
- *nevhodně provedené ukončení podlahových konstrukcí u stěny – např. špatné umístění okrajových pásků po obvodě podlahy zapříčinilo zatečení betonové mazaniny (nebo anhydritu) tvořící roznášecí vrstvu až ke stěně, čímž došlo k vytvoření akustických můstků: [9]*
  - k tomuto problému je zajímavé ukázat dva experimenty provedené Karlem Göselem v roce 1964 – experimenty ukazují, jak moc jsou především těžké plovoucí podlahy zranitelné vůči akustickým mostům, způsobených výše popsaným zatečením roznášecí vrstvy, které vede k vytvoření pevných spojení se stěnou,

- vždy samozřejmě záleží na tloušťce spojení, materiálu, který ho způsobuje, ale obecně se efekt plovoucí podlahy snižuje,
- v prvním experimentu použil Gösele u betonové roznášecí vrstvy bodová spojení v podobě sádrových válečků o průměru 30 mm, [15]



**Obrázek 5.1:** Vliv bodových akustických mostů na útlum podlahy [15]

- svislá osa představuje dosažený kročejový útlum provedené podlahy, vodorovná třetinooktávová pásma, křivka se značením kolečka představuje nulový počet akustických mostů (správné provedení), se značením čtverečku jeden akustický most v podobě sádrového válečku a se značením trojúhelníčku dokonce 10 takových válečků,
- za povšimnutí stojí, že v případě i jednoho pouhého akustického mostu v místě napojení na boční stěnu dochází u experimentální plovoucí podlahy ke zhoršení výsledného kročejového útlumu na přibližně polovinu jeho původní hodnoty,
- vliv pevných spojení se stěnou je tak nezanedbatelný a měl by být během procesu výstavby pečlivě sledován,
- druhý provedený experiment byl velice podobný s rozdílem, kdy pevná bodová spojení byla nahrazena pevným „liniovým“ spojením, tedy spojením po délce stěny,
- délka spojení s kolečkem byla 0 m (správné provedení), se čtverečkem 0,1 m, s trojúhelníčkem 0,5 m a s křížkem 2,6 m,



**Obrázek 5.2:** Vliv liniových akustických mostů na útlum podlahy [15]

- v tomto případě nedochází kromě posledního případu k velikým rozdílům do přibližně 500 Hz, poté se však kročejový útlum opět výrazně snižuje i při nejkratším liniovém spojení o délce 0,1 m,
- ke spojení stěny s podlahou nesmí docházet ani při použití finální nášlapné vrstvy v podobě keramiky – vzniklá horní spára v místě soklu se silikonuje:
  - příkladem může být převzatá (viz citace) situace, kdy si majitelé bytu stěžovali na kročejový zvuk z horního bytu – průzkum zjistil, že podlaha horního bytu byla opatřena keramickou dlažbou, přičemž pružný tmel byl již zastaralý a místy popraskaný; měřením byla zjištěna hodnota  $L'_{n,w} = 61$  dB, což bylo o 3 dB více, než požadovala platná norma k době vydání stavebního povolení; při podrobnějším průzkumu bylo zjištěno, že dlažba se dotýká místy pod soklem boční stěny a spára je zaplněna tzv. spárovačkou, která navíc místy zatekla do okrajového izolačního pásku; po odstranění krajního pruhu dlažby a výměně pásku se již situace dostatečně zlepšila; [29]
- v místě vstupních dveří do bytu chybí spára s okrajovým izolačním páskem (viz konkrétní příklad později), resp. také v místě prahů mezi místnostmi;
- vyzdění příčky, resp. kotvení montované stěny od konstrukce podlahy – nedochází tak k přerušení podlahového souvrství mezi dvěma místnostmi;
- v případě panelových domů bývají někdy odstraněny původní povlakové podlahoviny a na nosnou konstrukci stropu jsou jako náhrada položeny nevhodné materiály nebo jsou nevhodně provedeny, tudíž dojde ke zhoršení situace;

- v případě mezonetových bytů bývá často nosná konstrukce schodiště kotvena do nosné stropní konstrukce bez přerušení akustického mostu, což následně při chůzi po schodišti způsobuje zvýšený přenos kročejového zvuku do stropní konstrukce;
- vybrání násypu u dřevěných trámových stropů: v kapitole 3.2 byly vysvětleny hlavní výhody násypu ve skladbě dřevěného trámového stropu – tlumí kročejový zvuk a zároveň přetížením zlepšuje vzduchovou neprůzvučnost a zamezuje rozhoupání stropu; pokud se však při rekonstrukci násyp neadekvátně nahradí například pouhou izolací (buť vysoké objemové hustoty), nemusí nutně dojít ke zlepšení zvukových izolací; je naopak možné, že dojde i ke zhoršení; nabízí se tedy původní násyp vyměnit za nový; [32]
- vedení průduchů okolními svislými konstrukcemi: v tomto případě se jedná spíše o tzv. vedlejší boční přenosovou cestu, kdy v průběhu měření kročejové neprůzvučnosti může zvuk, způsobený činností klepacího zařízení a pronikající průduchem mezi dvěma zkoušenými místnostmi, uměle navyšovat hodnoty normované hladiny kročejového zvuku především v oblasti středních a vyšších kmitočtů, čímž je ovlivněna objektivita měření; doporučuje se tedy v průběhu měření co nejlépe tyto průduchy ucpat (týká se například budoucího napojení zatím neosazených digestoří) – hlavně v případě použití keramické dlažby (při jejím použití již k výraznému útlumu na středních a vyšších kmitočtech nedochází)); při použití ostatních typů podlahovin by tato vedlejší cesta neměla mít na výslednou hodnotu vážené normované hladiny kročejového zvuku příliš veliký vliv; [9]

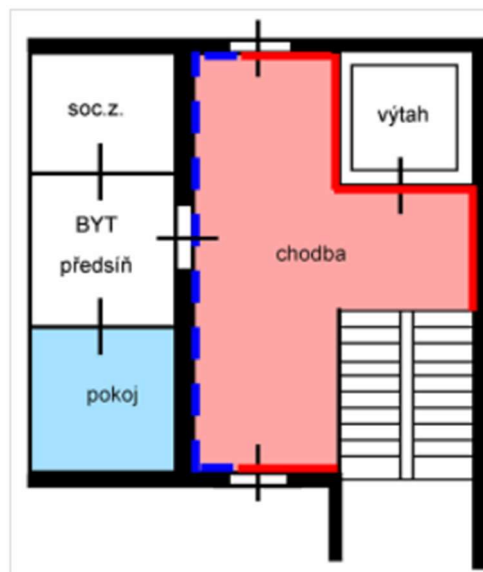
Následující dva převzaté příklady bytových domů ukazují dopad na kročejovou neprůzvučnost, pokud není správně provedena spára v místě napojení plovoucí podlahy chodby k boční stěně. Jedná se o horizontální přenos kročejového zvuku, který byl sledován v kmitočtovém rozsahu 100 až 3150 Hz. Tabulky a grafy však byly pro účely práce vyrobeny v novém provedení včetně stanovení  $C_1$  (dB). [51]

### **Příklad 1:**

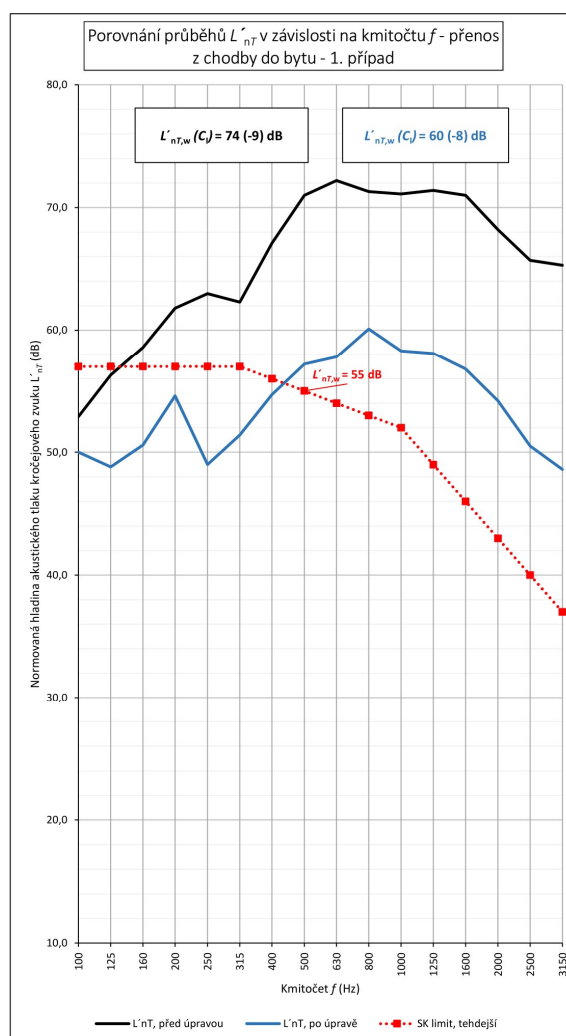
Na základě stížností uživatelů bytu bylo provedeno kontrolní měření ze společné domovní chodby se schodištěm, která přímo sousedila s obytnou místností bytu (viz obrázek 5.3). Měření potvrdilo oprávněnost této stížnosti, kročejová neprůzvučnost zde dosahovala hodnoty  $L'_{nT,w} = 74$  dB, což výrazně převyšovalo tehdejší požadovanou hodnotu 58 dB (podle ČSN 73 0532:2000). Pro zjištění příčiny tak byla provedena sonda, která odhalila, že v místě soklu nebylo po celém obvodu chodby vůbec

realizováno pružné oddělení v podobě izolačního pásku. Oprava problému následně spočívala v odsekání celého podlahového souvrství od boční stěny pouze podél stěny bytu (modrá čárkovaná čára v obrázku 5.3) a vložení izolačního pásku do spáry. Po úpravě opakované měření prokázalo zlepšení situace – kročejová neprůzvučnost nyní dosahovala hodnoty  $L'_{nT,w} = 60$  dB. Došlo tak ke zlepšení o 14 dB, avšak i tak se nepovedlo splnit současné normové požadavky (58 dB). Pravděpodobným důvodem je pružné oddělení pouze v místě stěny přilehlé k bytu (v ostatních stycích k němu kvůli zdánlivé složitosti detailu nedošlo).

Přes tato nevyřešená místa tak nejspíše docházelo ke zvýšenému přenosu kročejového zvuku do chráněné místnosti bytu. Společný graf s průběhem normovaných hladin  $L'_{nT}$  (dB) před úpravou a po úpravě je na obrázku 5.4, konkrétní hodnoty pak v tabulce 5.1. Je patrné, že po úpravě došlo ke snížení normované hladiny kročejového zvuku ve všech kmitočtech, které spadají do zvukoizolačního pásma, přičemž na středních a vyšších kmitočtech je tento rozdíl nejvíce pozorovatelný. Právě ty měly konečný vliv na zlepšení kročejové neprůzvučnosti z pohledu hodnocení podle vážené hodnoty. *Průběh hladiny akustického tlaku kročejového zvuku s dominantními vyššími kmitočty obvykle ukazuje na pevné propojení s navazující konstrukcí a přenos hluku tímto propojením.* [51]



Obrázek 5.3: Půdorys situace příkladu 1 [51]



Obrázek 5.4: Průběh  $L'_{nT}$  (dB) před úpravou a po úpravě – přenos z chodby 1

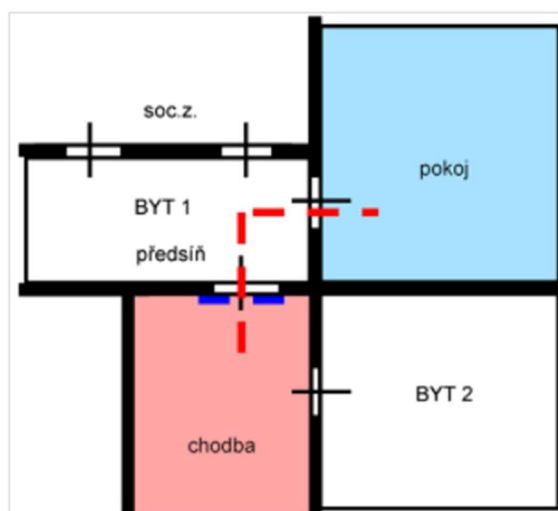
**Příklad 2:**

Ve druhém případě obytná místnost bytu nesousedila přímo s prostorem chodby, oba prostory byly odděleny předsíní bytu. Měření mezi obytnou místností bytu a chodbou zjistilo kročejovou neprůzvučnost o hodnotě  $L'_{nT,w} = 69$  dB, což opět nesplňovalo tehdy platnou normou požadovanou hodnotu 58 dB. Konzultací s realizační firmou bylo zjištěno, že při provádění plovoucí podlahy na chodbě nejspíše nedošlo k oddělení podlahy v místě prahu vstupních dveří do bytu, což následně potvrdila sonda (místo v obrázku

5.5 je opět vyznačeno modrou čárkovanou čarou). V místě prahu tak musela být dodatečně prořezána spára mezi podlahovým souvrstvím chodby a předsíně. Po provedené úpravě bylo dosaženo při opakovaném měření kročejové neprůzvučnosti hodnoty  $L'_{nT,w} = 49$  dB, což znamená rozdíl o 20 dB oproti stavu před úpravou, a zároveň tak již došlo ke splnění normového požadavku. Stejně jako v případě 1 došlo ke snížení normované hladiny kročejového zvuku ve všech kmitočtech zvukoizolačního pásma, nejvýrazněji na středních a vyšších. Společný graf s průběhem normovaných hladin  $L'_{nT}$  (dB) před úpravou a po úpravě je na obrázku 5.6, konkrétní hodnoty v tabulce 5.1. [51]

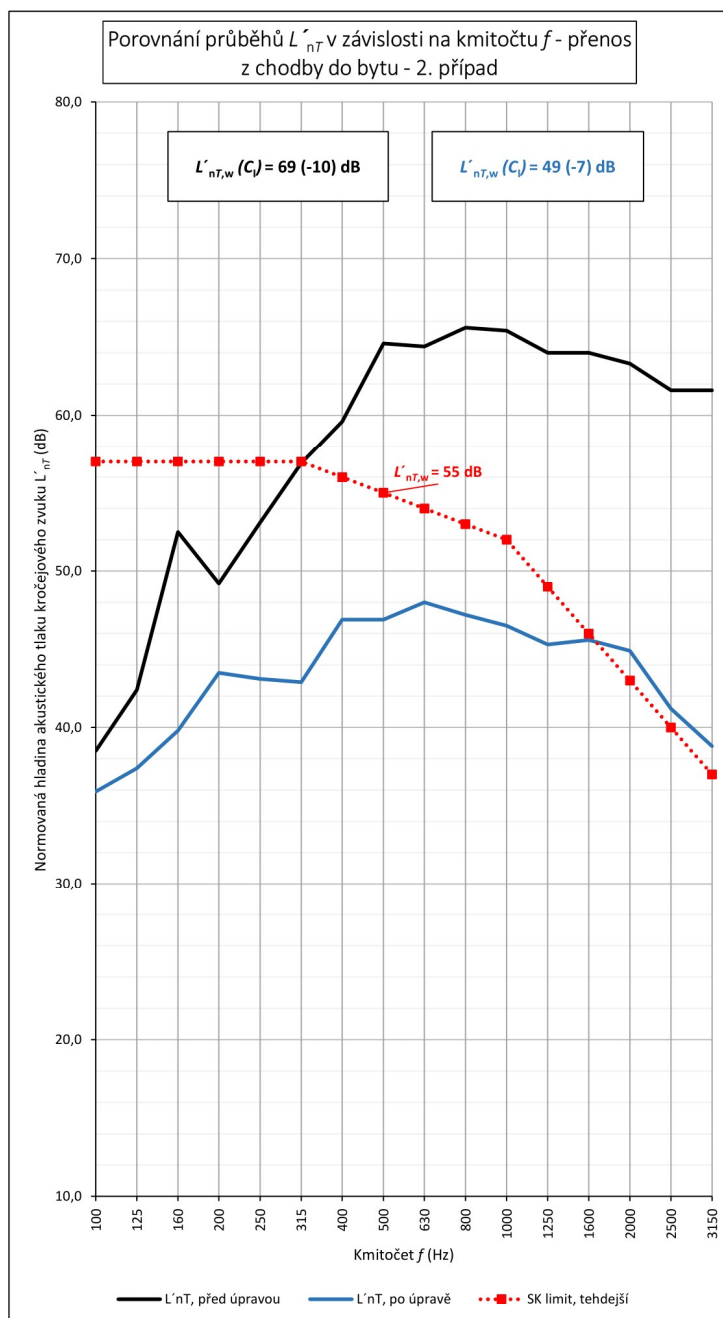
| $f$<br>(Hz)           | 1. případ               |                       | 2. případ               |                       |
|-----------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
|                       | $L'_{nT, před}$<br>(dB) | $L'_{nT, po}$<br>(dB) | $L'_{nT, před}$<br>(dB) | $L'_{nT, po}$<br>(dB) |
| 100                   | 52,9                    | 50,0                  | 38,5                    | 35,9                  |
| 125                   | 56,3                    | 48,8                  | 42,4                    | 37,4                  |
| 160                   | 58,6                    | 50,6                  | 52,5                    | 39,8                  |
| 200                   | 61,8                    | 54,6                  | 49,2                    | 43,5                  |
| 250                   | 63,0                    | 49,0                  | 53,1                    | 43,1                  |
| 315                   | 62,3                    | 51,4                  | 56,9                    | 42,9                  |
| 400                   | 67,1                    | 54,7                  | 59,6                    | 46,9                  |
| 500                   | 71,0                    | 57,2                  | 64,6                    | 46,9                  |
| 630                   | 72,2                    | 57,8                  | 64,4                    | 48,0                  |
| 800                   | 71,3                    | 60,1                  | 65,6                    | 47,2                  |
| 1000                  | 71,1                    | 58,3                  | 65,4                    | 46,5                  |
| 1250                  | 71,4                    | 58,1                  | 64,0                    | 45,3                  |
| 1600                  | 71,0                    | 56,8                  | 64,0                    | 45,6                  |
| 2000                  | 68,2                    | 54,2                  | 63,3                    | 44,9                  |
| 2500                  | 65,7                    | 50,5                  | 61,6                    | 41,2                  |
| 3150                  | 65,3                    | 48,6                  | 61,6                    | 38,8                  |
| $L'_{nT,w}$ (dB)      | 74                      | 60                    | 69                      | 49                    |
| $C_{1,100-3150}$ (dB) | -9                      | -8                    | -10                     | -7                    |

Tabulka 5.1: Naměřené hodnoty obou příkladů [51]



Obrázek 5.5: Půdorys situace příkladu 2 [51]





Z výše uvedeného je tak jasně vidět, že horizontální přenos kročejového zvuku může být velice palčivým problémem, který negativně ovlivňuje život v bytových domech. Oprava může být velice nákladná a v některých případech obtížně realizovatelná. [51]

**Obrázek 5.6:** Průběh  $L'_{nT}$  (dB) před úpravou a po úpravě – přenos z chodby 2

Následující příklad je z autorovy vlastní praxe. Jednalo se o měření v novostavbě bytového domu, který byl postaven jako železobetonový prefabrikovaný. Bohužel již v rámci projektu byla navržena limitně nízká konstrukční výška jednoho podlaží 2,8 m. Železobetonový stropní panel měl pak tloušťku 150 mm, a na skladbu podlahy tak zbyvalo pouhých 50 mm, aby byla zároveň splněna minimální požadovaná světlá výška obytné místnosti 2,6 m. Z uvedeného je tedy již předem pro odborníka zřejmé, že zde vznikne problém s přenosem kročejového zvuku vertikálním směrem, jelikož navržená skladba podlahy byla v projektu výrazně poddimenzována.

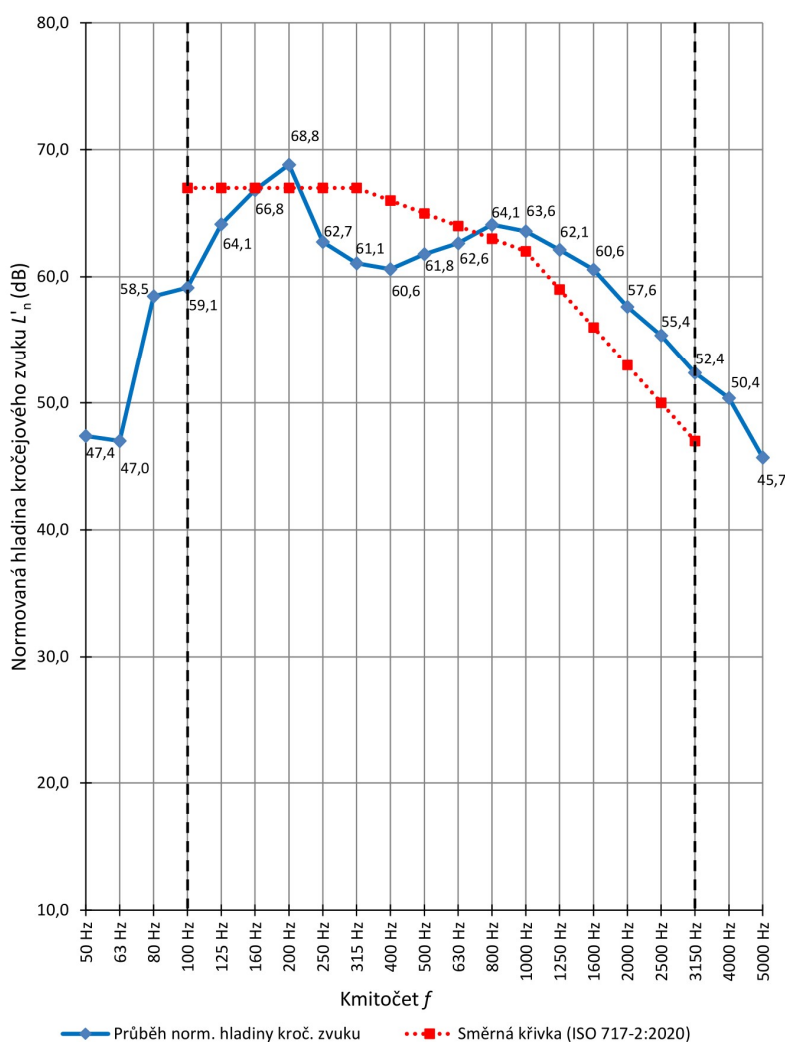
#### Skladba stropní konstrukce:

- anhydrit tl. 35 mm,

- vrstva kročejové izolace Ethafoam tl. 15 mm,
- železobetonový prefabrikovaný stropní panel tl. 150 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 200 mm.

Ačkoliv byla podlaha projektantem prezentována jako těžká plovoucí, reálně tomu tak pochopitelně nebylo. Měření pak prokázalo výslednou hodnotu vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w} = 65$  dB, což neodpovídalo tehdy platnému požadavku  $L'_{n,w} \leq 55$  dB. Pro další informaci vážená stavební neprůzvučnost stropní konstrukce byla jen  $R'_w = 50$  dB (požadavek  $\geq 53$  dB). Průběh normované hladiny  $L'_n$  (dB) viz obrázek 5.7. Ve sledovaném pásmu 100–3150 Hz jsou všechny sledované hodnoty vysoké a na středních a vyšších kmitočtech nedochází v podstatě k žádnému útlumu.

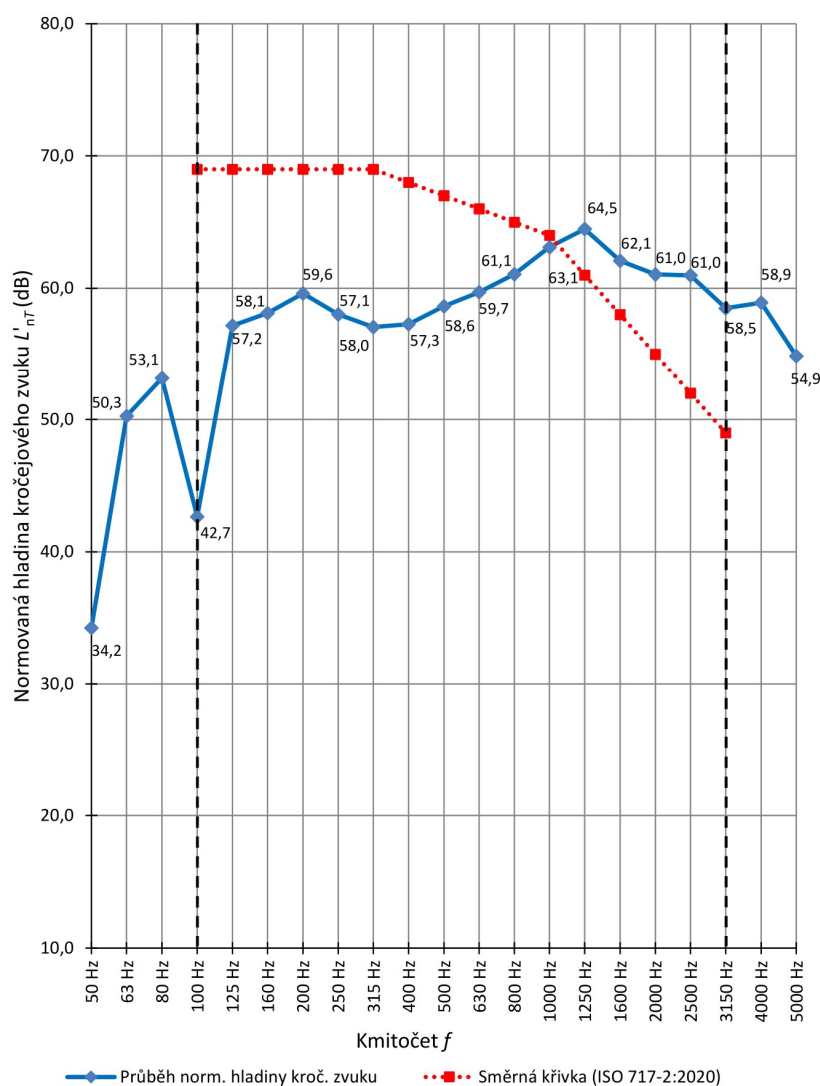


Obrázek 5.7: Průběh  $L'_n$  (dB) špatně provedené těžké plovoucí podlahy (byt – byt)

Byt ještě nebyl stavebně dokončen a finální nášlapná vrstva nebyla zatím realizována. Tou bylo předpokládáno lepené PVC, které by průběh výsledků mírně zlepšilo, avšak ne dostatečně v případě vážené hodnoty. Dalo by se uvažovat s variantou, že například položením koberce by výsledný přenos kročejového zvuku nemusel být tak

výrazný, nicméně referenční stav je natolik špatný, že kalkulovat s těmito možnostmi by nebylo vhodné.

Druhé měření pak bylo řešeno ze schodišťové podesty, která přímo sousedila s obytnou místností bytu. Skladba podesty byla ve stejném provedení jako v případě podlahy bytu (tedy nedokonalém). Horizontální přenos kročejového zvuku zde byl opět významný, vážená normovaná hladina vykazovala hodnotu  $L'_{nT,w} = 67$  dB (požadavek  $\leq 55$  dB). Průběh normované hladiny  $L'_{nT}$  (dB) viz obrázek 5.7. Přenos na nízkých frekvencích zde byl mírně nižší, avšak poté byl jeho průběh víceméně rostoucí, což způsobilo ještě horší váženou hodnotu než v případě přenosu byt – byt.



**Obrázek 5.8:** Průběh  $L'_{nT}$  (dB) špatně provedené těžké plovoucí podlahy (podesta – byt)

Případného opakovaného měření po vyřešení problému se již autor nezúčastnil a ani nemá informaci, zda k nějakému došlo. Již od počátku návrhu byla otázka obou řešených zvukových izolací silně podceněna, což se potvrdilo měřením. Nabízelo by se tak řádné provedení plovoucí podlahy, které by však mělo vliv na nedostatečnou světlou výšku místnosti. Autor je však toho názoru, že pokud by světlá výška měla být

například pouze 2,5 m, je to stále lepší varianta, než aby docházelo k rušivému akustickému diskomfortu. Samozřejmě zůstává otázkou, nakolik by se po této úpravě zvýšila vzduchová neprůzvučnost – společně s kročejovou neprůzvučností by zřejmě byla jen na hranici normových požadavků. Příčinou celého problému je tak nízká konstrukční výška a malá tloušťka stropního nosného panelu, se kterými projekt počítal. Podcenit tyto parametry je pak ve výsledku kontraproduktivní a náprava velmi složitá.

Závěrečný příklad kapitoly je opět z autorovy vlastní praxe. Měření proběhlo v novostavbě bytového domu, kde předmětem zkoumání byl přenos kročejového zvuku z mezipodesty schodiště do přilehlé obytné místnosti bytu. Naměřené hodnoty vykazovaly daleko vyšší výsledky, než bylo předpokládáno, a to ve všech patrech domu. Ve zde uvedeném případě byla například vážená normovaná hladina (k době dozvuku)  $L'_{nT,w} = 61$  dB. Na základě nevyhovujícího měření tak byla provedena sonda do podlahového souvrství mezipodesty, z níž bylo zjištěno, že subdodavatel opomněl v celém domě do podlahy vložit kročejovou izolaci. Izolace schodiště byla totiž provedena v podobě izolace ramen od stropních konstrukcí a podest. Mezipodesta v monolitickém provedení tak měla mít vlastní plovoucí podlahu, jejíž správné fungování zde však nebylo možné. Konstrukce podlahy tedy spočívala z nepochopitelného důvodu v pouhém vylití betonové mazaniny do stanovené výšky (roznášecí deska tak měla větší tloušťku, než bylo navrženo). Subdodavatelská firma, která jinak vždy fungovala spolehlivě, musela

| $f$<br>(Hz) | $L'_{nT, \text{před}}$<br>(dB) | $L'_{nT, \text{po}}$<br>(dB) |
|-------------|--------------------------------|------------------------------|
| 50          | 41,0                           | 42,9                         |
| 63          | 25,5                           | 40,9                         |
| 80          | 31,8                           | 42,2                         |
| 100         | 34,1                           | 38,9                         |
| 125         | 44,3                           | 44,7                         |
| 160         | 47,2                           | 47,0                         |
| 200         | 47,8                           | 42,6                         |
| 250         | 50,8                           | 44,9                         |
| 315         | 50,8                           | 41,0                         |
| 400         | 53,5                           | 44,7                         |
| 500         | 53,8                           | 43,4                         |
| 630         | 56,0                           | 47,7                         |
| 800         | 55,5                           | 45,6                         |
| 1000        | 57,0                           | 43,4                         |
| 1250        | 59,4                           | 41,2                         |
| 1600        | 57,2                           | 38,5                         |
| 2000        | 55,0                           | 34,2                         |
| 2500        | 53,6                           | 34,0                         |
| 3150        | 50,7                           | 39,3                         |
| 4000        | 46,6                           | 35,2                         |
| 5000        | 43,1                           | 26,6                         |

$L'_{nT,w}$  (dB) 61 45

$C_{1,100-3150}$  (dB) -10 -5

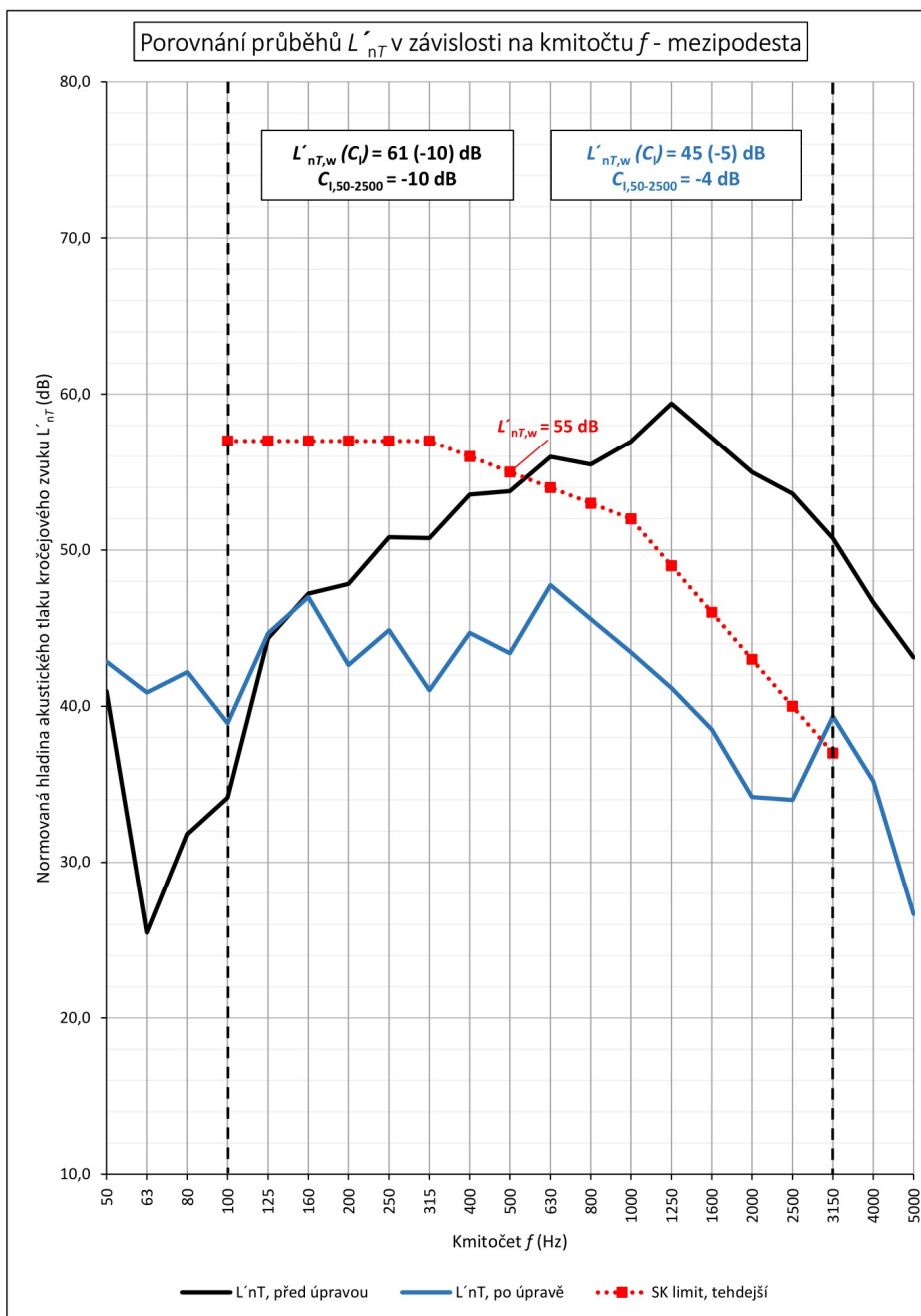
$C_{1,50-2500}$  (dB) -10 -4

na své vlastní náklady v celém domě hotové podlahy zcela vybourat, vložit původně navrženou kročejovou izolaci a podlahu dobetonovat. Opakované měření pak již splňovalo normový požadavek  $\leq 55$  dB, normovaná hladina dosahovala hodnoty  $L'_{nT,w} = 45$  dB. Tímto nedopatřením tak subdodavatelská firma zbytečně utrpěla finanční ztrátu. Jedná se však o názorný příklad toho, jak důležitá jsou kontrolní měření zvukových izolací, prováděná před zahájením kolaudačního řízení.

Málokoho by napadlo, že by v případě zdánlivě správně vyřešené konstrukce mezipodesty mohl vzniknout zvýšený přenos kročejového zvuku. Problém tak mohl být podchycen ještě před samotným předáním stavby.

Konkrétní hodnoty z průběhu měření viz tabulka 5.2, grafické porovnání průběhu normovaných hladin akustického tlaku  $L'_{nT}$  (dB) před úpravou a po úpravě viz obrázek 5.9.

**Tabulka 5.2:** Naměřené hodnoty přenosu kročejového zvuku z mezipodesty (před a po úpravě)



**Obrázek 5.9:** Průběh  $L'_{nT}$  (dB) před úpravou a po úpravě – horizontální přenos z mezipodesty do bytu

Z průběhu naměřených hodnot je viditelné, že provedení plovoucí podlahy zvýšilo hodnoty  $L'_{nT}$  (dB) na nižších frekvencích, což může být následně teoreticky doprovázeno horším vnímáním zvuků, které tyto frekvence doprovázejí, avšak hlavní je zde útlum prakticky v celém rozsahu zvukoizolačního pásma, díky němuž se hodnota kročejové neprůzvučnosti zlepšila o 16 dB.

## 6 Pozorování chování plovoucích podlah

### 6.1 Správná provedení v bytových domech

Kapitola 5 představila nedostatky a případné chyby u stavebních konstrukcí, které mohou z pohledu kročejové neprůzvučnosti způsobit nemožnost splnění normových požadavků. *Je však třeba zmínit, že není vše vždy špatně. Často se v průběhu měření neobjeví závažnější problém a vše je v pořádku. Snaha stavět budovy správně je přirozeně ve většině případů převládající. [3]*

V kapitole 2.8 se autor zamýšlel nad přísností současných platných požadavků, neboť ze své praxe zná mnoho případů, kdy jejich splnění nepředstavovalo problém. V následující části jsou tak uvedeny některé reálné konstrukce, které při vyhodnocování kročejové neprůzvučnosti vykazovaly nadstandardní výsledky – slouží tak jako ukázka toho, že s dnešními možnostmi je možné i při „běžném“ provedení dosáhnout lepších výsledků, než jaké předepisují normy. Mimo svoji zvukoizolační kvalitu pak i některé vybrané konstrukce připadaly autorovi zajímavé svým atypickým provedením.

#### 6.1.1 Těžké plovoucí podlahy – porovnání vysoké kvality

Na ukázkou bylo vybráno pět stropních konstrukcí z různých bytových domů, jejichž základem byla nosná železobetonová stropní deska a těžká plovoucí podlaha. Ani jedna skladba není stejná jako druhá, avšak všechny si jsou s jistými obměnami v podobě různých typů nebo tloušťek kročejové či tepelné izolace (resp. tloušťek nosné konstrukce) vzájemně podobné a zajišťují velmi dobrou ochranu vůči přenosu kročejového zvuku. Na jejich příkladu lze ověřit vhodnost návrhu a následného technologického provedení přímo na stavbě.

Příklady těžkých plovoucích podlah byly vybrány (napříč celou kapitolou 6) z toho důvodu, že jsou nejčastějším typem při provádění podlah v bytových domech.

Postupně budou popsány skladby a vážené hodnoty obou zvukových izolací všech pěti konstrukcí (včetně jednoduchého schématu), na závěr je přiložena tabulka a graf s porovnáním průběhu normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB).

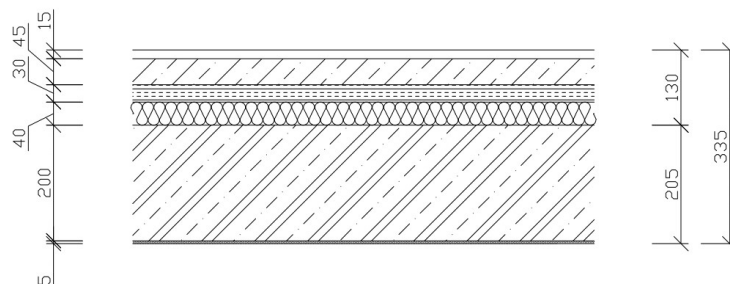
#### Skladba stropní konstrukce 1:

- desky na bázi dřeva tl. 12 mm,
- Mirelon tl. 3 mm,
- anhydrit tl. 45 mm,
- PE folie,
- kročejový polystyren EPS-T 3500 tl. 30 mm,

- tepelná izolace – polystyren 100Z tl. 40 mm,
- železobetonová deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 335 mm.

$L'_{n,w} = 41 \text{ dB}$ ;  $R'_w = 58 \text{ dB}$ .



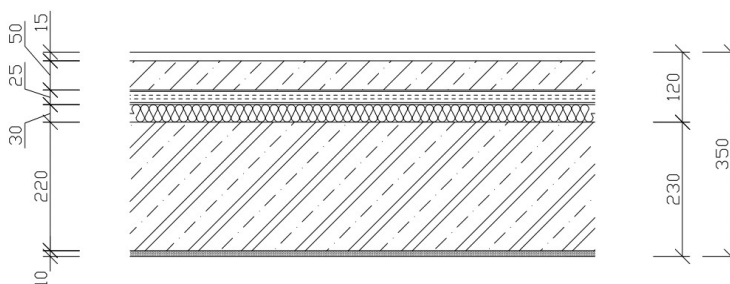
**Obrázek 6.1:** Stropní konstrukce 1

### Skladba stropní konstrukce 2:

- dřevěné lamely tl. 13 mm,
- Mirelon tl. 2 mm,
- vyztužená betonová mazanina tl. 50 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace Styrofloor T5 tl. 25 mm,
- tepelná izolace – EPS desky tl. 30 mm,
- železobetonová deska tl. 220 mm,
- sádrová omítka tl. 10 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 350 mm.

$L'_{n,w} = 41 \text{ dB}$ ;  $R'_w = 63 \text{ dB}$ .



**Obrázek 6.2:** Stropní konstrukce 2

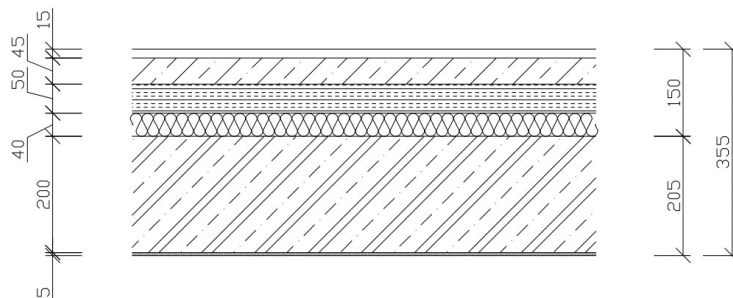
### Skladba stropní konstrukce 3:

- laminátové desky tl. 12 mm,
- vrstva flexibilního lepidla tl. 3 mm,
- anhydrit tl. 45 mm,

- systémová deska EPS (Rehau Vario) tl. 50 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace EPS T4000 tl. 40 mm,
- železobetonová deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 355 mm.

$L'_{n,w} = 43 \text{ dB}$ ;  $R'_w = 62 \text{ dB}$ .



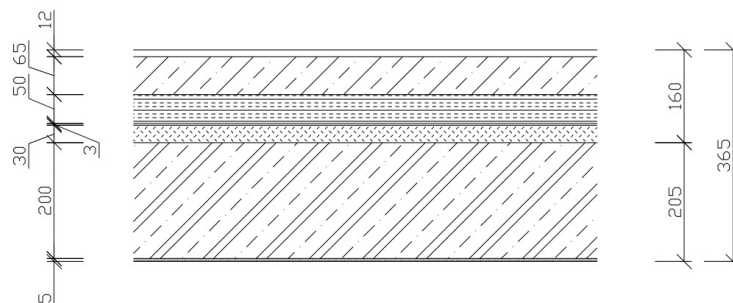
**Obrázek 6.3:** Stropní konstrukce 3

#### Skladba stropní konstrukce 4:

- laminátové lamely tl. 8 mm,
- Mirelon tl. 4 mm,
- cementový potěr s polymerovými vlákny tl. 65 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace EPS FLOOR 4000 tl. 50 mm,
- Mirelon tl. 3 mm,
- pískový zásyp (pro vedení instalací) tl. 30 mm,
- železobetonová deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 365 mm.

$L'_{n,w} = 42 \text{ dB}$ ;  $R'_w$  nezjištěno.



**Obrázek 6.4:** Stropní konstrukce 4

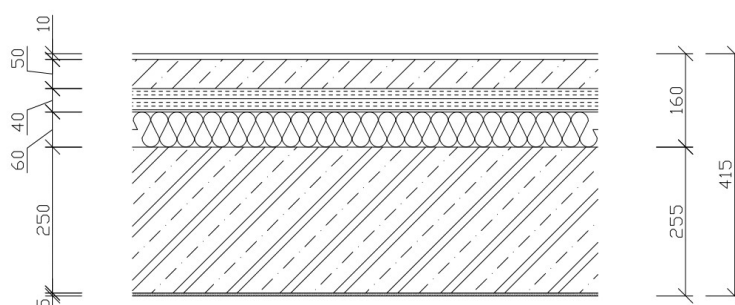


**Skladba stropní konstrukce 5:**

- lepené dýhované vícevrstvé desky tl. 10 mm,
- anhydrit tl. 50 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace ISOVER (typ TDPT) tl. 40 mm,
- tepelná izolace – ISOVER (typ EPS 150) tl. 60 mm,
- železobetonová deska tl. 250 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 415 mm.

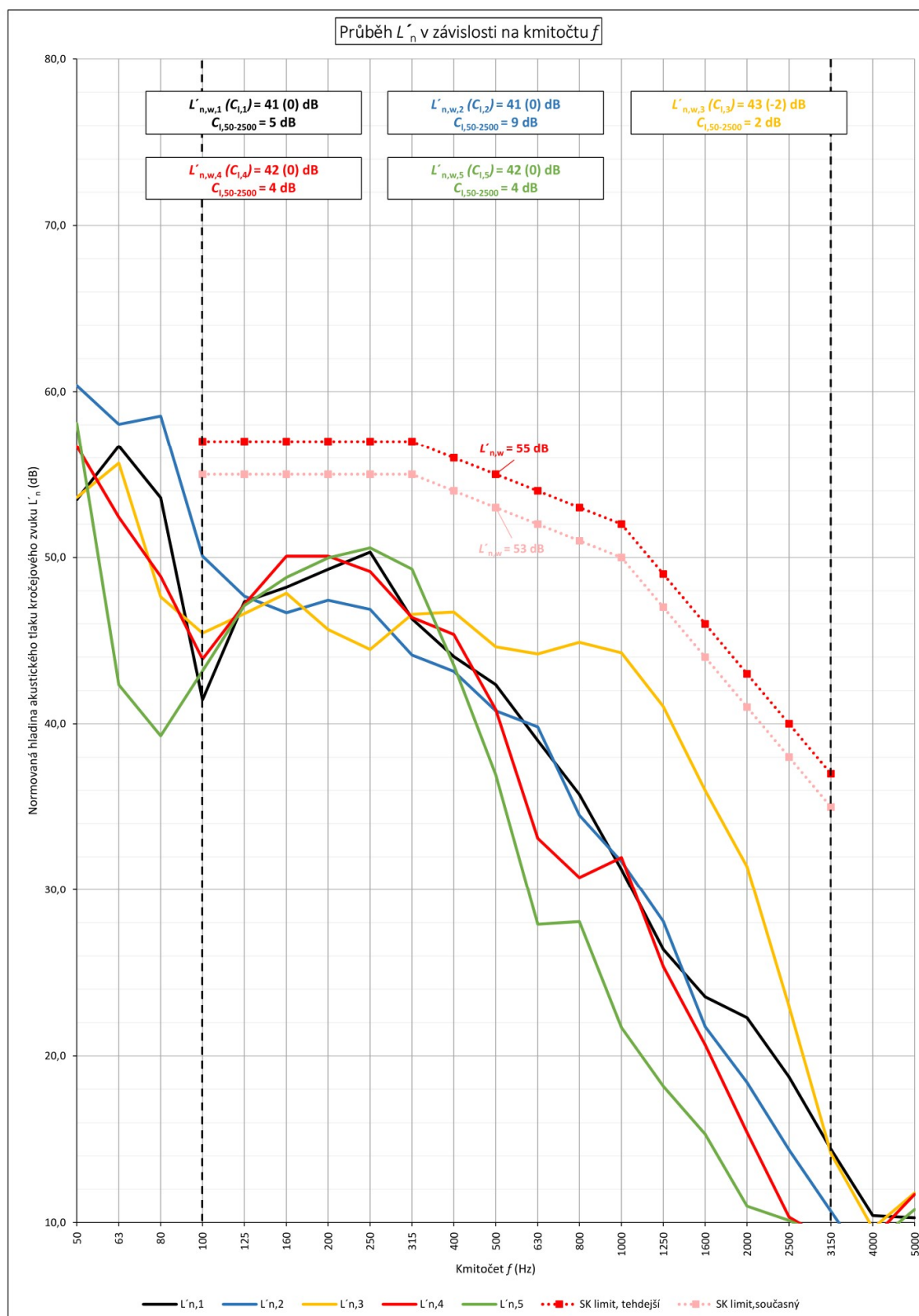
$L'_{n,w} = 42 \text{ dB}$ ;  $R'_w = 63 \text{ dB}$ .



**Obrázek 6.5:** Stropní konstrukce 5

| $f$<br>(Hz)           | $L'_{n,1}$<br>(dB) | $L'_{n,2}$<br>(dB) | $L'_{n,3}$<br>(dB) | $L'_{n,4}$<br>(dB) | $L'_{n,5}$<br>(dB) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 50                    | 53,5               | 60,4               | 53,6               | 56,7               | 58,1               |
| 63                    | 56,7               | 58,0               | 55,7               | 52,4               | 42,3               |
| 80                    | 53,6               | 58,5               | 47,6               | 48,9               | 39,3               |
| 100                   | 41,4               | 50,1               | 45,4               | 43,9               | 43,2               |
| 125                   | 47,3               | 47,7               | 46,6               | 47,2               | 47,1               |
| 160                   | 48,2               | 46,7               | 47,8               | 50,1               | 48,8               |
| 200                   | 49,3               | 47,4               | 45,7               | 50,1               | 50,0               |
| 250                   | 50,3               | 46,9               | 44,5               | 49,1               | 50,6               |
| 315                   | 46,3               | 44,1               | 46,6               | 46,4               | 49,3               |
| 400                   | 44,0               | 43,1               | 46,7               | 45,4               | 43,5               |
| 500                   | 42,3               | 40,8               | 44,6               | 40,9               | 37,0               |
| 630                   | 39,0               | 39,8               | 44,2               | 33,1               | 27,9               |
| 800                   | 35,7               | 34,5               | 44,9               | 30,7               | 28,1               |
| 1000                  | 31,2               | 31,7               | 44,3               | 32,0               | 21,7               |
| 1250                  | 26,4               | 28,1               | 41,0               | 25,4               | 18,2               |
| 1600                  | 23,5               | 21,8               | 36,0               | 20,7               | 15,3               |
| 2000                  | 22,3               | 18,4               | 31,4               | 15,4               | 11,0               |
| 2500                  | 18,7               | 14,4               | 23,0               | 10,3               | 10,1               |
| 3150                  | 14,4               | 10,7               | 14,2               | 8,9                | 9,0                |
| 4000                  | 10,4               | 7,0                | 9,7                | 9,1                | 8,7                |
| 5000                  | 10,3               | 8,4                | 11,8               | 11,7               | 10,8               |
| $L'_{n,w}$ (dB)       | 41                 | 41                 | 43                 | 42                 | 42                 |
| $C_{I,100-3150}$ (dB) | 0                  | 0                  | -2                 | 0                  | 0                  |
| $C_{I,150-2500}$ (dB) | 5                  | 9                  | 2                  | 4                  | 4                  |

**Tabulka 6.1:** Naměřené hodnoty  $L'_n$  (dB) pěti stropních konstrukcí s těžkou plovoucí podlahou



**Obrázek 6.6:** Průběh  $L'_{n,w}$  (dB) pěti stropních konstrukcí s těžkou plovoucí podlahou (přenos byt – byt)

V grafu na obrázku 6.6 jsou zároveň znázorněny dvě směrné křivky – světlejší představuje limitní směrnou křivku pro kročejovou neprůzvučnost  $L'_{n,w} = 53$  dB,

červená pro (v době měření požadovanou) kročejovou neprůzvučnost  $L'_{n,w} = 55$  dB. Sledované průběhy normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  všech konstrukcí ukazují tři základní věci. Přirozeně došlo u všech případů ke splnění normového požadavku 55 dB – a to s velikou rezervou (stejně tak v případě vzduchové neprůzvučnosti, jejíž požadavek byl v době vydání stavebního povolení 53 dB). Také je vždy možné sledovat v rámci zvukoizolačního pásma výrazný útlum na středních a vyšších frekvencích, který má na svědomí právě provedení plovoucí podlahy. Prakticky k tomuto útlumu dochází přibližně již od 200 Hz, resp. 250 Hz. Navíc je možné si povšimnout, že u konstrukcí 1 a 3 je grafem pravděpodobně (avšak ne zcela jistě – k tomu by byl zapotřebí průběh normované hladiny  $L'_n$  (dB) pod 50 Hz) vymezena přibližná oblast rezonančního kmitočtu  $f_r$  (Hz), o jehož důležitosti z hlediska návrhu pojednávala kapitola 3.1.1 v rámci teorie. Poloha rezonančního kmitočtu by se měla pohybovat pod 80 Hz, toto doporučení by pak obě konstrukce splnily, protože zvýšený přenos kročejového zvuku na nízkých kmitočtech, který je rezonančním kmitočtem způsoben, se u nich pohybuje okolo 63 Hz.

Průběh  $L'_n$  (dB) konstrukce 3 lze sice od kmitočtu 400 Hz a výše považovat za uspokojivý z pohledu vážené hodnoty normované hladiny kročejového zvuku, avšak oproti ostatním konstrukcím za viditelně zvýšený, což může mít na svědomí systémová deska pro podlahové vytápění. V průběhu měření tak mohla tato konstrukce subjektivně působit o něco hůře.

Konstrukce 2 pak může v budoucnu způsobovat mírné problémy s přenosem kročejového zvuku na nízkých frekvencích – oproti ostatním jsou hodnoty v této oblasti nejvyšší, což zohledňuje i faktor přizpůsobení spektru  $C_{1,50-2500} = 9$  dB.

Za zmínku také stojí, že výsledné hodnoty jsou ovlivněny i položením finálních nášlapných vrstev, jejichž provedení by mělo vést k pravděpodobnému mírnému zvýšení konečných hodnot normované hladiny kročejového zvuku.

### 6.1.2 Těžké plovoucí podlahy v neobvyklých kombinacích

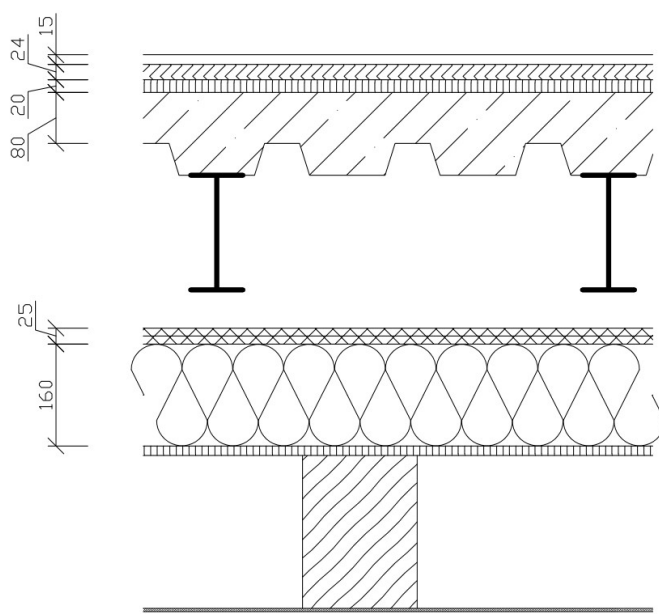
Ze souboru různých měření v průběhu let by autor navíc chtěl zmínit dvě dále uvedené stropní konstrukce v provedení s těžkou plovoucí podlahou. Jejich hodnoty kročejové neprůzvučnosti dosahovaly nejen ještě lepších výsledků než konstrukce v předchozí kapitole 6.1.1, ale navíc byly tyto stropy neobvyklé svou skladbou a typem nosné konstrukce (oproti jejímu běžnému provedení v bytových domech jako železobetonové desky). První příklad představuje rekonstrukci původního dřevěného trámového stropu v nové půdní vestavbě stávajícího obytného objektu. Druhým příkladem je pak ocelobetonový strop. Níže jsou popsány skladby obou zmíněných konstrukcí včetně schémat a jednotlivých vážených hodnot zvukových izolací a graficky znázorněných průběhů normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB).

**Skladba stropní konstrukce 6:**

- laminátové desky tl. 12 mm,
- Mirelon tl. 3 mm,
- OSB desky tl. 2 x 12 mm,
- dřevěný rošt vyplněný keramzitem tl. 20 mm,
- betonová mazanina tl. 80 mm nad vlnou trapézového plechu,
- trapézový plech,
- nosné ocelové I profily (výšky 180 mm),
- vzduchová mezera,
- polystyrénové desky tl. 25 mm,
- tepelná izolace Orsil tl. 160 mm,
- původní konstrukce dřevěného stropu.

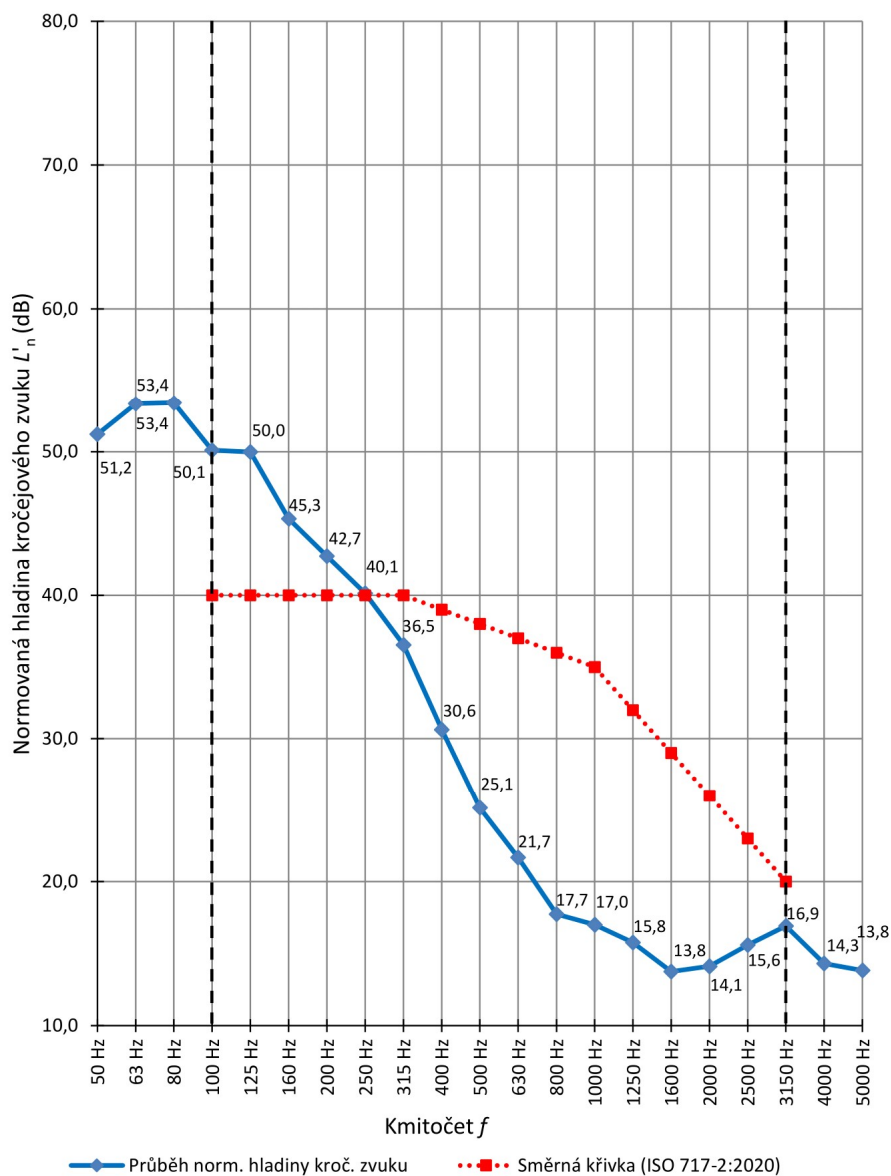
Celková tloušťka konstrukce: nezměřeno (dále neověřováno, ale značná).

$L'_{n,w} = 38 \text{ dB}$ ;  $R'_{w} = 73 \text{ dB}$ .



**Obrázek 6.7:** Stropní konstrukce 6

Konstrukce původního dřevěného trámového stropu s přidanou horní konstrukcí a vloženou tepelnou izolací v podobě Orsilu tl. 160 mm vykazovala vysoké hodnoty obou zvukových izolací. Kročejová neprůzvučnost byla o 17 dB lepší než požadavek a vzduchová neprůzvučnost o 20 dB. Jedná se o zcela unikátní konstrukci, která vznikla u půdní vestavby, při níž nebyla odstraněna původní stropní konstrukce. Mimo skvělé akustické vlastnosti je však mírnou nevýhodou, že skladba celé konstrukce měla velikou tloušťku (následující druhá konstrukce (dále označena 7) pak ukazuje možnost, kdy se v případě půdní nástavby původní konstrukce odstranila a nahradila novou, která v sobě též nese atributy první již zmíněné).



**Obrázek 6.8:** Průběh  $L'_n$  (dB) rekonstruovaného původního dřevěného trámového stropu (vestavba)

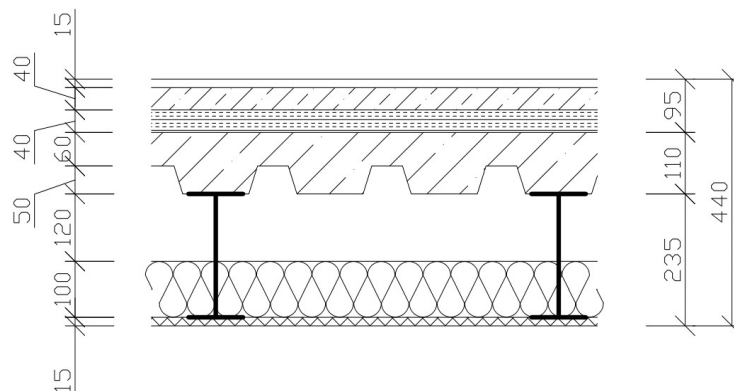
### Skladba stropní konstrukce 7:

- třívrstvé dřevěné desky tl. 12 mm,
- Mirelon tl. 3 mm,
- anhydrit tl. 40 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace Orsil tl. 40 mm,
- betonová deska tl. 60 mm nad vlnou trapézového plechu,
- trapézový plech výšky 50 mm,
- nosné ocelové I profily (výšky 220 mm),
- tepelná izolace Isover tl. 100 mm ve vzduchové mezeře,

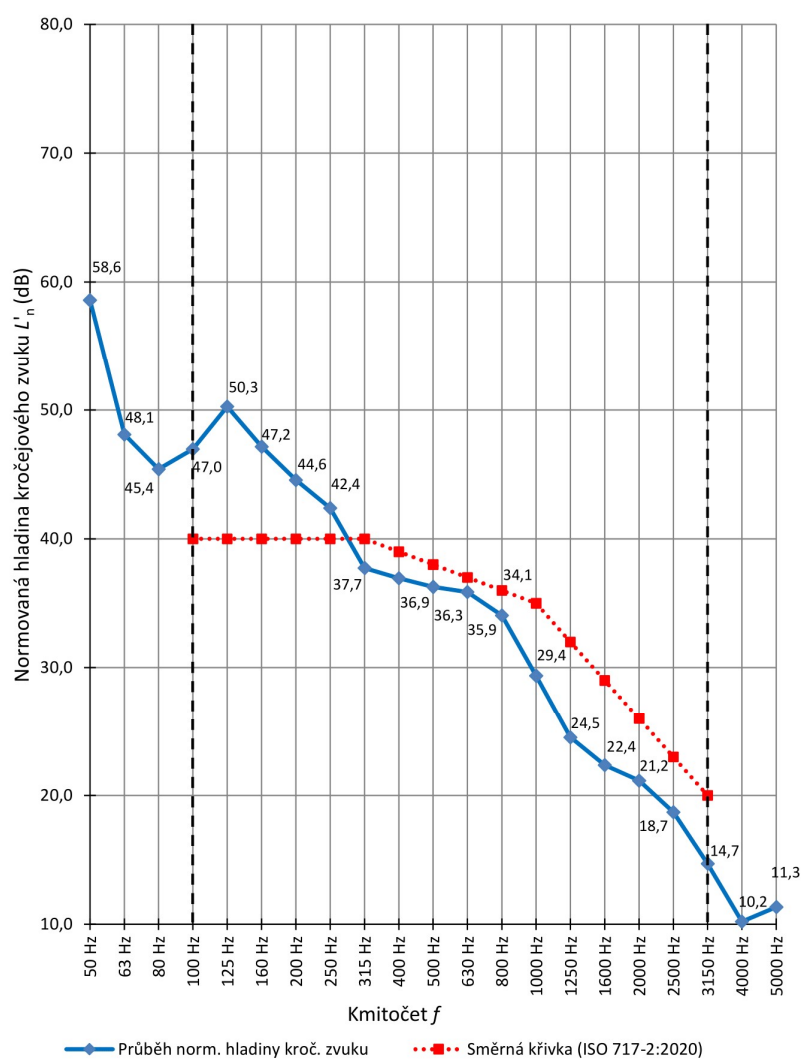
- sádkartonový podhled tl. 15 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 440 mm.

$L'_{n,w} = 38$  dB;  $R'_w$  nezjištěno (ověření této hodnoty nebylo požadováno).



Obrázek 6.9: Stropní konstrukce 7



Obrázek 6.10: Průběh  $L'_n$  (dB) spřaženého ocelobetonového stropu s těžkou plov. podlahou (nástavba)

Konstrukce spřaženého ocelobetonového stropu s těžkou plovoucí podlahou nahradila původní konstrukci stropu. Oproti konstrukci 6 má sice menší tloušťku, avšak zároveň viditelně horší zvukoizolační vlastnosti z hlediska kročejového zvuku na středních a vyšších kmitočtech. Tyto hodnoty jsou však stále pod příslušnou směrnou křivkou, a tak i tato konstrukce dosahuje kročejové neprůzvučnosti  $L'_{n,w} = 38$  dB jako konstrukce v předešlém případě. Obě možnosti tak představují vysoce kvalitní akustické řešení, kdy každé má své uplatnění, výhody i nevýhody. Nelze však na základě pouhých dvou měření tvrdit, že uvedených akustických hodnot je možno při tomto řešení dosáhnout vždy, situace je vždy závislá na konkrétním provedení a není natolik predikovatelná, jako tomu je například u těžkých plovoucích podlah (ani u nich však výsledek nemůže být vždy z pochopitelných důvodů (závislost na technologické kázni) zaručen). Každopádně obě představené konstrukce ukazují možný přístup k řešení obnovovaných stropních konstrukcí vyšších pater stávajících budov.

### 6.1.3 Alternativní kročejová izolace těžkých plovoucích podlah

Předcházející kapitoly uvažovaly řešení těžkých plovoucích podlah s využitím běžně používaných zvukoizolačních podložek. Výběr těchto řešení pak v případě správného návrhu a provedení přináší velmi uspokojivé výsledky ohledně kročejové neprůzvučnosti. Autor práce se však během praxe setkal s alternativní možností možné zvukoizolační podložky. Jedná se o systém ThermoWhite, který je v České republice využíván teprve několik let, v zahraničí však již více než 20 let. [52]

V této kapitole bude představen soubor měření z jednoho komplexu bytových domů v nejmenovaném městě ve Středočeském kraji, při němž v průběhu několika let byla možnost vyhodnocení kročejové neprůzvučnosti většího množství podobných bytových domů, stavěných postupně po etapách. V každém objektu byly vždy vyhodnoceny dvě namátkově vybrané stropní konstrukce. Zajímavé je pak právě porovnání stejných stropních konstrukcí z jednoho a druhého domu, u kterých jediný rozdíl představoval výběr zvukoizolační podložky – v prvním byla použita „běžná“, ve druhém zmiňovaný systém ThermoWhite. Výsledky včetně výhod a možných výhledů do budoucnosti ohledně tohoto „nového“ systému jsou uvedeny v závěru kapitoly.

První čtyři dále uvedené konstrukce (výsledky pro obě představené situace jsou vždy po dvou měřeních, což vylepšuje jejich objektivitu) byly pro srovnání doplněny o pátou konstrukci z dalšího bytového domu, ve kterém byla použita stejná „běžná“ zvukoizolační podložka, avšak nosná konstrukce stropu měla v tomto případě větší tloušťku.

Následují skladby, zjištěné vážené hodnoty zvukových izolací, schémata skladeb a tabulkově i graficky znázorněné výsledky měření.

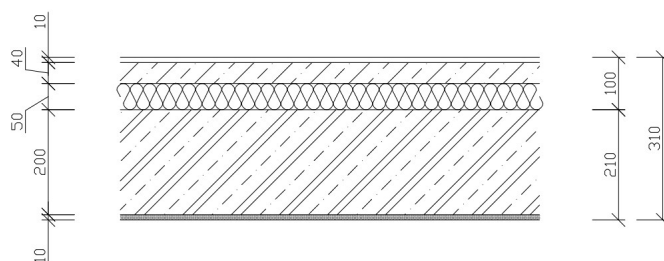
**Skladba stropní konstrukce 1 a 2:**

- laminátové lamely tl. 8 mm,
- Mirelon tl. 2 mm,
- anhydrit tl. 40 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace EPS 4000 tl. 50 mm,
- železobetonový panel Spiroll tl. 200 mm,
- sádrová omítka tl. 10 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 310 mm.

$L'_{n,w,1} = 46 \text{ dB}$ ;  $R'_{w,1} = 60 \text{ dB}$ .

$L'_{n,w,2} = 49 \text{ dB}$ ;  $R'_{w,2} = 56 \text{ dB}$ .



**Obrázek 6.11:** Skladba stropní konstrukce 1 a 2

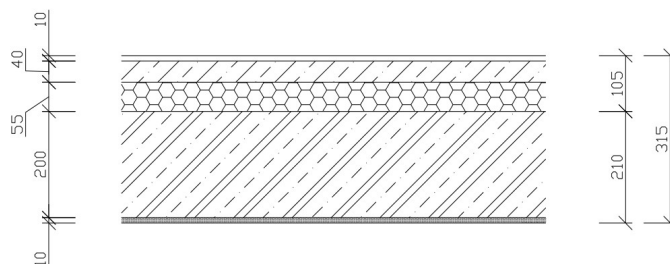
**Skladba stropní konstrukce 3 a 4:**

- laminátové lamely tl. 8 mm,
- Mirelon tl. 2 mm,
- anhydrit tl. 40 mm,
- PE folie (ThermoWhite PE 5/300),
- kročejová a tepelná izolace – systém ThermoWhite tl. 55 mm,
- železobetonový panel Spiroll tl. 200 mm,
- sádrová omítka tl. 10 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 315 mm.

$L'_{n,w,3} = 38 \text{ dB}$ ;  $R'_{w,3} = 60 \text{ dB}$ .

$L'_{n,w,4} = 40 \text{ dB}$ ;  $R'_{w,4} = 59 \text{ dB}$ .



**Obrázek 6.12:** Skladba stropní konstrukce 3 a 4

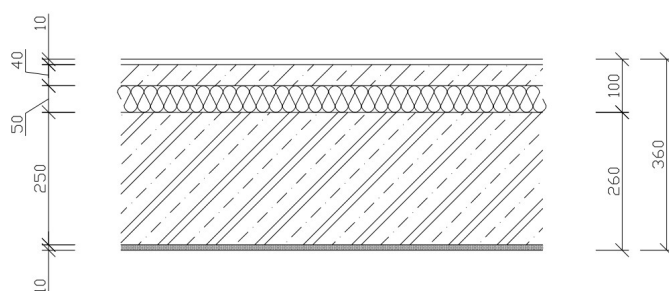


**Skladba stropní konstrukce 5:**

- laminátové lamely tl. 8 mm,
- Mirelon tl. 2 mm,
- anhydrit tl. 40 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace EPS 4000 tl. 50 mm,
- železobetonový panel Spiroll tl. 250 mm,
- sádrová omítka tl. 10 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 360 mm.

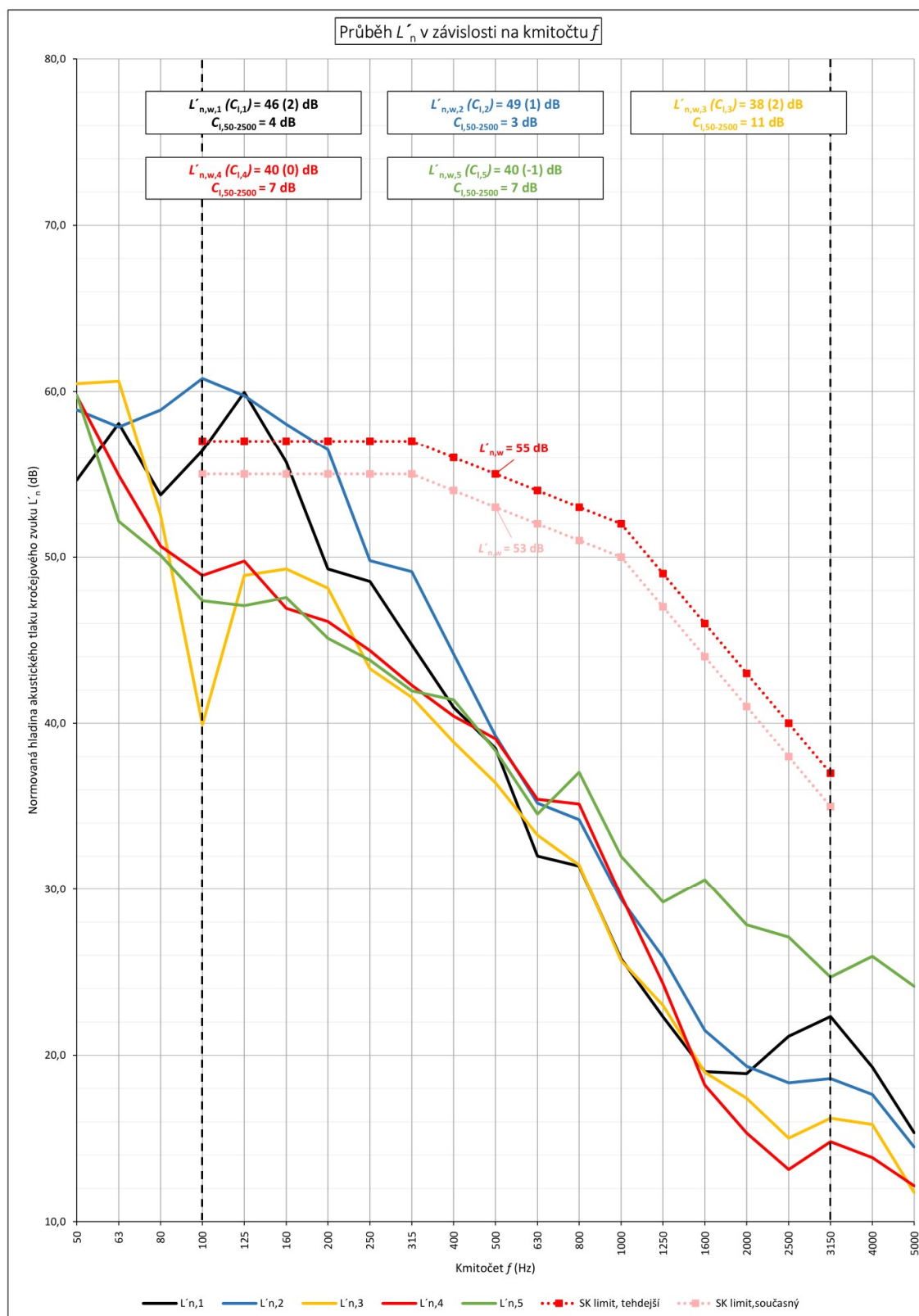
$L'_{n,w,5} = 40 \text{ dB}$ ;  $R'_{w,5} = 59 \text{ dB}$ .



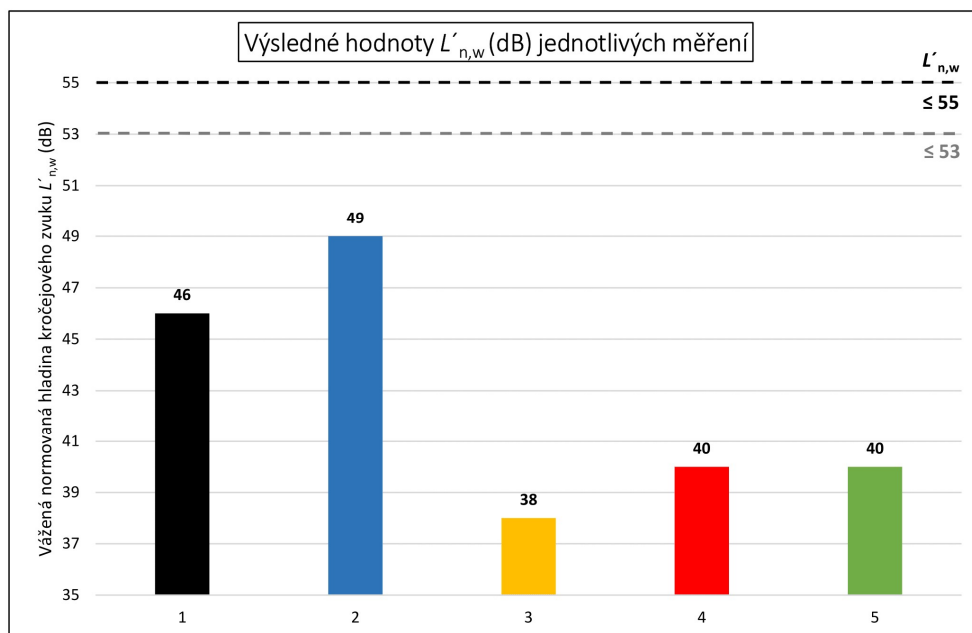
**Obrázek 6.13:** Skladba stropní konstrukce 5

| $f$<br>(Hz)           | $L'_{n,1}$<br>(dB) | $L'_{n,2}$<br>(dB) | $L'_{n,3}$<br>(dB) | $L'_{n,4}$<br>(dB) | $L'_{n,5}$<br>(dB) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 50                    | 54,6               | 58,9               | 60,5               | 59,7               | 59,8               |
| 63                    | 58,1               | 57,9               | 60,6               | 54,9               | 52,1               |
| 80                    | 53,7               | 58,9               | 52,5               | 50,7               | 50,1               |
| 100                   | 56,4               | 60,8               | 39,9               | 48,9               | 47,4               |
| 125                   | 59,9               | 59,8               | 48,9               | 49,8               | 47,1               |
| 160                   | 55,7               | 58,0               | 49,3               | 46,9               | 47,6               |
| 200                   | 49,3               | 56,5               | 48,1               | 46,1               | 45,1               |
| 250                   | 48,5               | 49,8               | 43,3               | 44,4               | 43,8               |
| 315                   | 44,7               | 49,1               | 41,6               | 42,3               | 42,0               |
| 400                   | 41,0               | 44,2               | 38,9               | 40,4               | 41,4               |
| 500                   | 38,5               | 39,3               | 36,4               | 39,1               | 38,4               |
| 630                   | 32,0               | 35,2               | 33,3               | 35,4               | 34,5               |
| 800                   | 31,4               | 34,2               | 31,5               | 35,1               | 37,1               |
| 1000                  | 25,8               | 29,4               | 25,7               | 29,6               | 32,0               |
| 1250                  | 22,3               | 25,9               | 23,0               | 24,3               | 29,2               |
| 1600                  | 19,0               | 21,5               | 19,0               | 18,2               | 30,6               |
| 2000                  | 18,9               | 19,3               | 17,4               | 15,3               | 27,8               |
| 2500                  | 21,1               | 18,3               | 15,0               | 13,1               | 27,1               |
| 3150                  | 22,3               | 18,6               | 16,2               | 14,8               | 24,7               |
| 4000                  | 19,3               | 17,6               | 15,8               | 13,9               | 25,9               |
| 5000                  | 15,3               | 14,5               | 11,8               | 12,2               | 24,1               |
| $L'_{n,w}$ (dB)       | 46                 | 49                 | 38                 | 40                 | 40                 |
| $C_{1,100-3150}$ (dB) | 2                  | 1                  | 2                  | 0                  | -1                 |
| $C_{1,50-2500}$ (dB)  | 4                  | 3                  | 11                 | 7                  | 7                  |

**Tabulka 6.2:** Naměřené hodnoty  $L'_n$  (dB) pěti stropních konstrukcí s rozdílnou zvukoizolační podložkou



Obrázek 6.14: Průběh  $L'_n$  (dB) pěti stropních konstrukcí s rozdílnou zvukoizolační podložkou (byt – byt)



**Obrázek 6.15:** Porovnání dosažených vážených hodnot  $L'_{n,w}$  (dB) měřených konstrukcí

Z porovnání mezi první situací (konstrukce 1 a 2) a druhou situací (konstrukce 3 a 4) vychází, že se kročejová neprůzvučnost provedených stropů (která ve všech případech splňovala tehdejší (resp. i současné) normové požadavky) zlepšila z  $L'_{n,w} = 46$  dB (resp. 49 dB) na  $L'_{n,w} = 38$  dB (resp. 40 dB), což je zlepšení až o 11 dB.

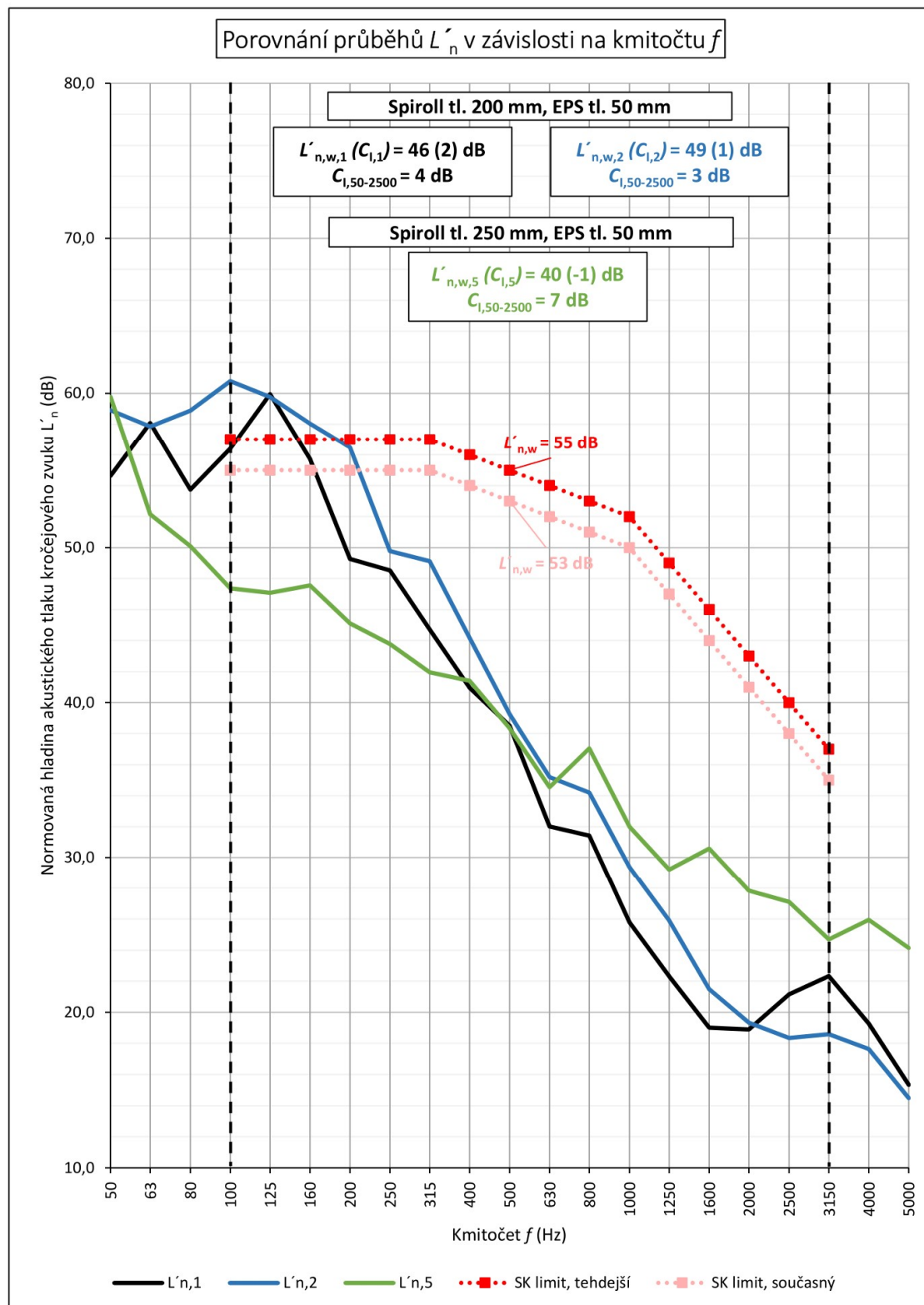
Jediný rozdíl těchto situací přitom spočíval pouze v rozdílné zvukoizolační podložce. Zatímco při první situaci jí byla kročejová izolace EPS 4000 tl. 50 mm, ve druhém zmiňovaný systém ThermoWhite tl. 55 mm. Rozdíl v tloušťce je zde pouze 5 mm, na výsledný kročejový útlum tak má vliv především samotný materiál.

Největší rozdíl pak lze v průběhu normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) na obrázku 6.14 spatřit v oblasti nízkých a středních frekvencí do 500 Hz. Zde je přenos kročejového zvuku u konstrukcí 3 a 4 výrazně nižší než v prvních dvou případech, což způsobuje výsledný rozdíl ve vážených hodnotách. Od 500 Hz je již průběh všech čtyř konstrukcí víceméně podobný kromě občasných výchytek.

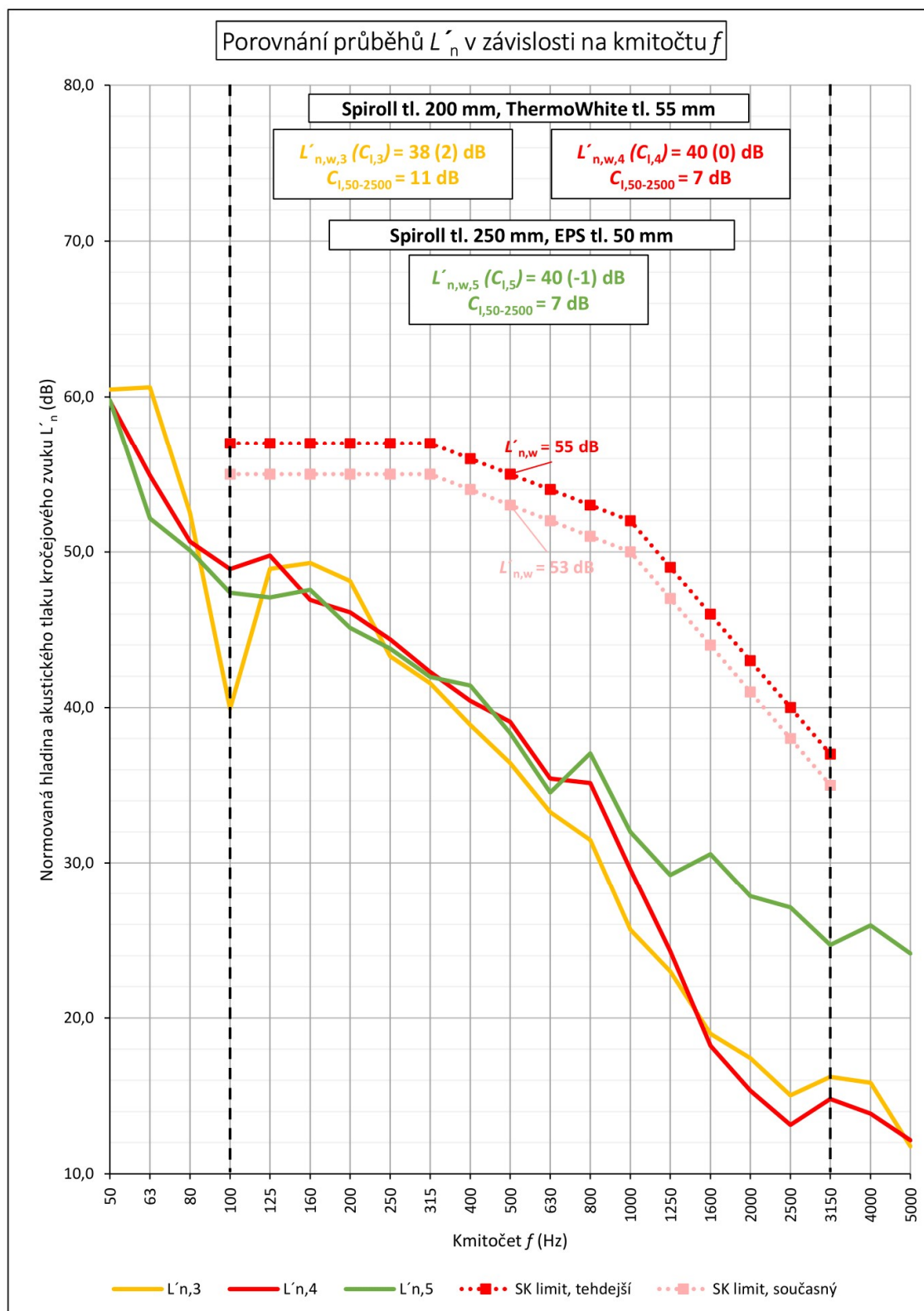
Nelze si tak nepovšimnout, že pouhé použití jiného (autorem nazývaného „alternativního“ materiálu) vede k výrazně lepším výsledkům. Bohužel není k dispozici větší sada měření, která by umožnila ještě o něco objektivnější závěr, který z těchto předvedených vyplývá ve prospěch systému ThermoWhite. Ze samotného principu pokládání systému a jeho charakteristiky však autor už na základě těchto měření předpokládá, že tento novější způsob izolace stropů může mít do budoucna mnohem větší zastoupení, a to právem. Více o systému bude rozepsáno na konci kapitoly 6.1.3.

Pátá hodnocená konstrukce byla stejná jako konstrukce 1 a 2, avšak s tím rozdílem, že nosná konstrukce stropu v podobě železobetonového panelu Spiroll měla tloušťku 250 mm. Podle výsledků ve sloupcovém grafu v obrázku 6.15 vycházela jeho kročejová

neprůzvučnost  $L'_{n,w} = 40$  dB, jako tomu bylo u konstrukce 4, tedy lépe než u prvních dvou konstrukcí, což se dalo i při správném provedení předpokládat. Bylo tak zajímavé porovnat průběhy normovaných hladin kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) mezi konstrukcemi 1,2 a 5, resp. především 3,4 a 5 (viz obrázky 6.16 a 6.17).



**Obrázek 6.16:** Konkrétnější porovnání průběhů  $L'_n$  (dB) mezi konstrukcemi 1,2 a 5

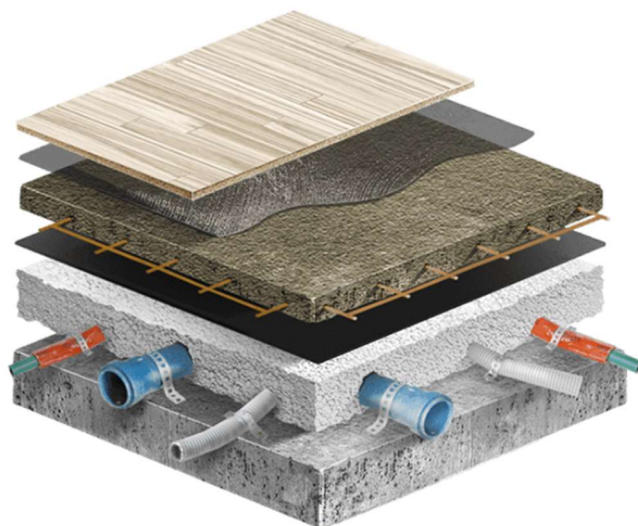


**Obrázek 6.17:** Konkrétnější porovnání průběhů  $L'_n$  (dB) mezi konstrukcemi 3, 4 a 5

Srovnání v grafu na obrázku 6.16 opakuje již výše zmíněné při porovnávání prvních čtyř konstrukcí – na nízkých frekvencích došlo u konstrukce 5 ke zlepšení. Nyní však viditelně dochází ke zvýšenému přenosu kročejového zvuku hlavně na vysokých

frekvencích. Zda je tento jev způsoben samotnou skladbou konstrukce nebo technologickým provedením, není jisté, zde bohužel chybí druhé potvrzující měření. Obecně však z hlediska hodnoty kročejové neprůzvučnosti vychází konstrukce 5 lépe než první dvě ( $L'_{n,w} = 40$  dB oproti 46, resp. 49 dB). Zajímavé je tak především porovnání této mohutnější konstrukce s konstrukcemi 3 a 4, které využívají jako zvukoizolační podložku systém ThermoWhite místo „běžné“, kterou má ve své skladbě právě konstrukce 5. Průběh normované hladiny kročejového zvuku všech tří stropů je od nízkých frekvencí podobný, avšak od středních a vysokých je v případě konstrukce 5 vyšší. Hodnoty vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  jsou víceméně stejné – 40 dB pro konstrukci 5 a 4, v případě konstrukce 3 však vycházelo  $L'_{n,w} = 38$  dB. Nabízí se tak alespoň v souboru těchto měření jasný závěr, že pokud by investor chtěl dosáhnout silně nadstandardních výsledků kročejové neprůzvučnosti, může použít větší tloušťku nosného panelu (250 mm), respektive ještě lépe může na stejnou původní tloušťku panelu (200 mm) použít kročejovou izolaci systému ThermoWhite. Výsledky kapitoly jsou tak velice přínosné pro budoucí praktické využití.

ThermoWhite je polystyrénová izolace s různými stupni zatížení. Jedná se o kuličky polystyrenu, které jsou recyklací získány z odřezků a zbytků vzniklých při zateplování domů. Po smíchání se speciálním pojivem, vodou a případnými dalšími přísadami vzniká jemně viskózní hmota, která se čerpadlem „vyleje“ v požadovaném prostoru. Proto se tomuto systému také neodborně říká „vylévaný polystyren“. Ten má schopnost rovnoměrného rozlití, dobrého zaplnění prostorů a vyrovnání nerovnoměrně rovinného podkladu. Vzniká tak plně homogenní a celistvá bezespárová plocha oproti klasickým jednotlivě pokládaným polystyrenovým deskám. Ačkoliv samotný materiál nemá součinitel tepelné vodivosti  $\lambda$  (W/(m.K)) na takové úrovni jako desky z polystyrenu (cca  $\lambda = 0,0464$  W/(m.K) v případě běžně zatíženého systému ThermoWhite), ve výsledku jsou i tepelnětechnické vlastnosti použité technologie lepší právě z důvodu dokonalého vyplnění prostoru a absence jakýchkoliv spár a netěsností. [52, 53]



V případě užití již není zapotřebí prořezávat polystyrenové desky kvůli vedení všech možných rozvodů (topení, voda, elektřina atd.). Materiál je jednoduše „obteče“ a zaizoluje kvalitněji (viz obrázek 6.18). To vede k výrazné úspoře času (rychlost pokládky je udávána přibližně 6 až 8 m<sup>3</sup>/hod) a čistotě provedení na stavbě. [52]

**Obrázek 6.18:** Systém ThermoWhite ve skladbě těžké plovoucí podlahy [52]

Kvůli viskóznímu charakteru hmoty je po zhutnění a zarovnání materiálu (hmota neteče, ale je tvárná) do požadované výšky zapotřebí počkat, než polystyren vyschne a zatuhne do finální podoby. Čas pro to potřebný se pohybuje mezi 24 až 48 hodinami, při použití akceleratoru schnutí může být tato doba i pouhých 12 hodin. Poté již lze po této vrstvě chodit, respektive provést na ní vrstvu další – například podlahové vytápění nebo přímo roznášecí vrstvu, protože systém sám o sobě velice dobře tlumí kročejový zvuk (jak bylo ukázáno výše provedenými měřeními), tudíž v sobě spojuje prvky tepelné i kročejové izolace. Při kombinaci s folií ThermoWhite PE 5/300, která kryje horní povrch „vylévaného polystyrenu“ a slouží jako parotěsná zábrana (a zároveň má funkci útlumu kročejového zvuku), je možné podle výrobce dosáhnout hodnot kročejového útlumu až 32 dB. [52, 53]



**Obrázek 6.19:** Pokládka systému a výsledná podoba izolační vrstvy po vyschnutí a zatvrdnutí [53]

Pro shrnutí tak lze říct, že kromě výrazného zlepšení kročejové neprůzvučnosti materiál poskytuje výhodu v podobě univerzality a přesnosti, kdy vyrovná nedokonalosti spodní desky a přizpůsobí se okolí, čímž nevzniká společně s absencí spár mezi běžnými deskami takové množství potenciálních tepelných mostů – najde tak své uplatnění i u současných nízkoenergetických domů. Výrobce udává, že tloušťku této vrstvy je možné provést až do 500 mm, tudíž materiál lze úspěšně použít i v případě základů, střech, podkroví, sklepů, bazénů atd. Oproti manipulaci s běžnými polystyrenovými deskami se práce zkracuje i na pouhý jeden den (především pokud je uvažováno zakrytí rozvodů v podlaze). Po vytvrdnutí, které netrvá nijak dlouho, snese i poměrně vysoké zatížení. Velikým plusem je také ekologičnost celého procesu, protože materiál pochází z recyklace. Výsledná cena realizace pak není vzhledem k rychlosti práce a dosažené kvalitě nijak vysoká, naopak dochází k výsledné úspoře peněz za vytápění. [52]

## 6.2 Problematika přenosu nízkofrekvenčního zvuku

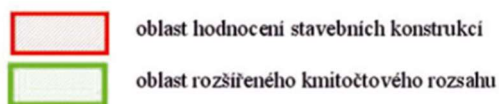
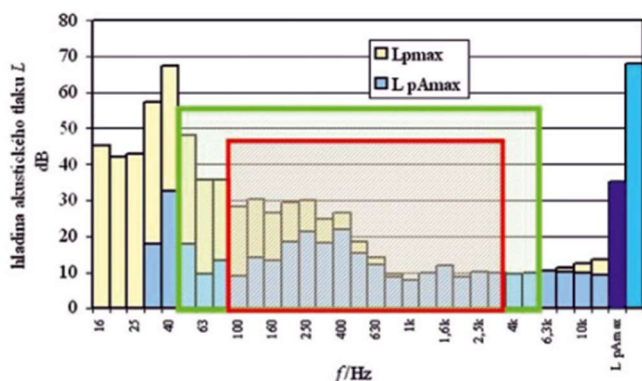
*Z hlediska boje proti hluku je nejdůležitější frekvenční oblast, v níž vnímá zvuky lidský sluchový orgán. [6]*

Touto oblastí je chápáno zvukoizolační pásmo 100 až 3150 Hz. Jak již však bylo v průběhu práce několikrát zmíněno, problém může nastat i v případě kmitočtů nižších než 100 Hz. V oblasti rezonančního kmitočtu  $f_r$  (Hz) dochází ke zvýšenému přenosu kročejového zvuku, proto je snaha ho dostat svou hodnotou mimo zvukoizolační pásmo. Bohužel pak spadá do oblasti pod ním a následně jsou zvuky s nízkými frekvencemi (kterými je například bosá chůze, dupot atd.) slyšet ve větší míře i u konstrukcí, které mají kvalitní výsledky z hlediska výsledné vážené hodnoty  $L'_{n,w}$  (dB). Výrazný tento problém bývá například u podlahových konstrukcí s nášlapnou vrstvou, kterou tvoří laminátové desky. [9]

*Délka zvukové vlny v nízkofrekvenční oblasti je řádově v metrech, je tedy srovnatelná s geometrickými rozměry místnosti – může se vyskytnout stojaté vlnění a vzniká výrazná prostorová nehomogenita akustického pole. Hluk v oblasti nízkých frekvencí je vnímán jako pulzace a fluktuace, který způsobuje pocit tlaku v uších, což je z hlediska subjektivního vnímání uživatele značně nepříjemné. [26]*

Další skutečností je fakt, že konstrukce obecně hůře filtrují nízkofrekvenční zvuky, případně může vzniknout i tzv. tónová složka. Proto je vhodné znát u různých typů konstrukcí celý kmitočtový rozsah s příslušnými hodnotami, jak ukáže následující převzatý příklad. [3]

V bytovém domě byl v přízemním bytě vnímán hluk způsobený pohybem osob ve vyšším patře subjektivně jako značně rušivý. Bylo tak provedeno měření, kdy vážená normovaná hladina kročejového zvuku měla hodnotu  $L'_{n,w} = 49$  dB, což splňovalo normové požadavky, avšak následně byl proveden rozbor nízkých frekvencí, díky němuž



bylo zjištěno, že subjektivně vnímaná hlučnost, způsobená pohybem osob ve vyšším patře, se nachází v oblasti nízkých frekvencí (31,5 až 40 Hz – viz obrázek 6.20). Ta je mimo hodnocený zvukoizolační rozsah podle ČSN EN ISO 717-2. [26]

**Obrázek 6.20:** Spektrální analýza měření hluku [26]



V oblasti kmitočtů 31,5 Hz a 40 Hz vznikla výrazná tónová složka. Tento zvuk je dominantní v rámci celého spektra, tudíž ho lze považovat za značně rušivý. Nízkofrekvenční oblast však v současnosti není normativně ošetřena. Problém je sice sledován a uvažuje se o jeho řešení, avšak neexistuje dosud limit pro nízkofrekvenční hluk jako takový. Větší informační hodnotu tak zde poskytuje pouze faktor přizpůsobení spektru  $C_{1,50-2500}$  (Hz), jehož charakter je však pouze doplňkový. [26]

Celá tato problematika tak není z pohledu uživatelů bytů optimální.

## 7 Experimentální měření

Podle ostatních již představených kapitol vyplývá, že kročejový útlum stropních konstrukcí záleží především na výběru a tloušťce zvukoizolační podložky, respektive druhu roznášecí vrstvy a nosné konstrukce a v neposlední řadě na způsobu provedení. Málodky se však řeší konečný kročejový útlum způsobený finální nášlapnou vrstvou. Při samotných měřeních bývá stavební dokončenost po hrubou podlahu, tedy po roznášecí vrstvu, na kterou se umístí klepací zařízení. Závěrem měření pak je, že pokud konstrukce vyhovuje již nyní daným normovým požadavkům, přidáním finální nášlapné vrstvy se výsledek kročejové neprůzvučnosti nezmění, nebo pravděpodobně o něcolepší. Není běžným zvykem, že by v celém domě byly všechny nášlapné vrstvy jednotné, budoucí uživatelé bytů si totiž většinou mohou zvolit, jakou nášlapnou vrstvu si ve svém bytě představují. Nejčastěji je tedy možné se setkat s vinylovými nebo laminátovými povrchy na tenké kročejové podložce (běžně Mirelon, avšak jsou i jiné druhy), parketami, koberci či keramickou dlažbou. Paradoxem je, že pokud se například parkety nebo keramická dlažba nalepí „natvrdo“ přímo na roznášecí vrstvu, může ve výsledku dojít k mírnému nebo v horších případech i k výraznému zhoršení (záleží na konkrétním provedení) kročejové neprůzvučnosti.

Tento konečný vliv, způsobený položením poslední vrstvy skladby podlahy, však už nebývá často následně zkontrolován dodatečným měřením, a tak se mohou jednotlivé stropní konstrukce různých bytů bytového domu z pohledu přenosu kročejového zvuku chovat jinak. Cílem především prvního experimentálního měření kapitoly 7 je tak zjistit, nakolik mohou finální nášlapné vrstvy přispět ke konečnému kročejovému útlumu – zda je tento vliv výrazný či méně podstatný. Také druhé experimentální měření se však této problematice věnuje a je možná ještě zajímavější, protože při něm samotné použití finální nášlapné vrstvy může zajistit nebo znemožnit splnění normových požadavků. Obě měření jsou tak z pohledu praxe velice přínosná.

V rámci experimentálních měření nebylo možné ověřit ve stavebních podmínkách vliv výběru různých zvukoizolačních podložek. Proto se této problematice věnují teoretické výpočty ve třetí části práce (ad C)) s návazností na kapitolu 6.1.1.

## 7.1 Experimentální měření 1 – novostavba bytového domu

### 7.1.1 Uvedení situace

Na nejmenované stavbě v Praze, která byla již těsně před dokončením a předáním, bylo po dohodě s hlavním manažerem projektu domluveno dne 23.11.2021 experimentální měření, které mělo ověřit konečný kročejový útlum (způsobený přidáním finální nášlapné vrstvy) stropních konstrukcí, které byly dokončeny po hrubou podlahu.

Měření bylo prováděno vždy na malých vzorcích vybraných materiálů, které jsou běžně v bytech užívány. Vzorky jsou uvedeny včetně fotodokumentace v kapitole 7.1.3. Autor si uvědomuje případné zpochybnění objektivitu měření, pokud není finální nášlapná vrstva provedena po celé ploše obytné místnosti, avšak ČSN EN ISO 16283-2 udává, že *měření na měkkých podlahových krytinách (jako jsou například koberce a PVC podlahoviny) může být provedeno na malém vzorku (např. 1 m<sup>2</sup>), který se přesunuje mezi různými polohami klepacího zařízení. Je třeba brát v úvahu, že má-li být podlahová krytina přilepena, mohou být výsledky měření bez lepidla zavádějící. ... Použije-li se malý vzorek, má se to vždy uvést v protokolu o zkoušce. [14]*

Obecně na základě zkušenosti lze také říct, že lepení finální nášlapné vrstvy by mělo být většinou o něco horší než pouhé položení lehké plovoucí nášlapné vrstvy (tedy podložky s funkcí kročejového útlumu a na ní provedené finální nášlapné vrstvy). Tento rozdíl se pak pohybuje okolo 1 nebo 2 dB, případně nemusí dojít z hlediska hodnoty vážené normované hladiny kročejového zvuku k žádnému rozdílu.

*Doporučuje se vyhnout použití malého vzorku těžkého koberce s významnou hmotností na lehké dřevěné trámové dělicí konstrukci, protože nemusí uvažovat tlumící nebo omezující účinek na ohybové kmity dělicí konstrukce, ke kterému dochází, pokud je pokryta celá její plocha. [14]*

V případě tohoto prvního experimentu byla měření provedena na železobetonové stropní konstrukci s těžkou plovoucí podlahou. Zároveň je zajímavé (avšak nyní v případě experimentálního měření neuvažováno) zmínit, že pokud jsou v téže místnosti použity různé podlahové krytiny (například v kombinaci kuchyně s obývacím pokojem), má se měření provádět a zaznamenat z obou dvou typů podlahových krytin odděleně. [14]

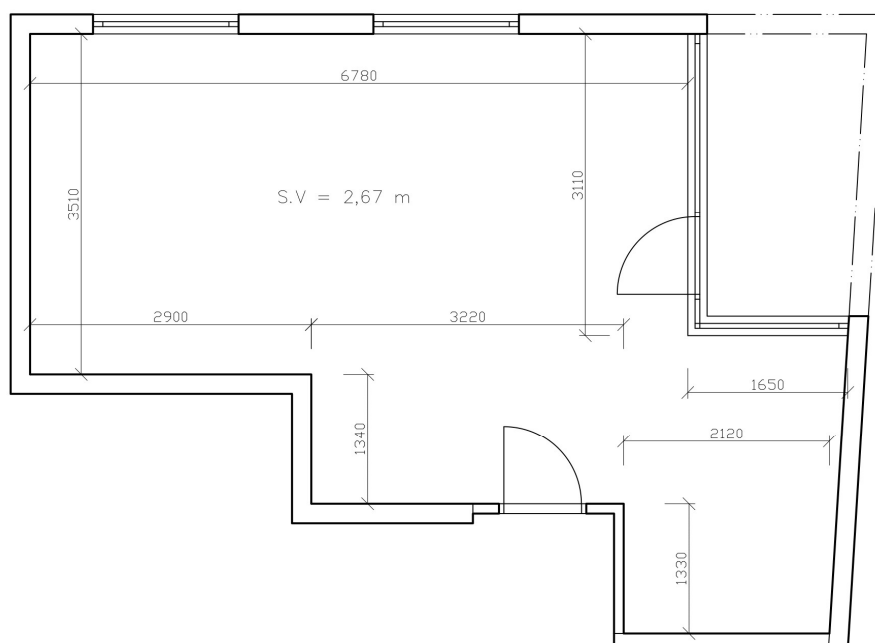
ČSN 73 0532 stanovuje důležitý dodatek (který byl zmíněn již v kapitole 2.8), že *nášlapná vrstva tvořená volně položenou podlahovinou (kobercem apod. – což je případ experimentálního měření) se nesmí používat při prokazování splnění požadavků na kročejovou neprůzvučnost. Podlahovinu lze zahrnout do hodnocení pouze v těch případech, kdy je nedílnou součástí stavby, např. lepené PVC, koberec, nebo jiné speciální povrchy pevně spojené se stropní konstrukcí. [1]*

Měření tak má nyní pouze informativní charakter a slouží jako podklad k závěrům, které z něj plynou. Výsledky jsou sice porovnávány s normovými požadavky na kročejovou neprůzvučnost, avšak jejich hodnota není závazná a nebude v budoucnu použita při případném prokazování o splnění požadavku příslušné zvukové izolace.

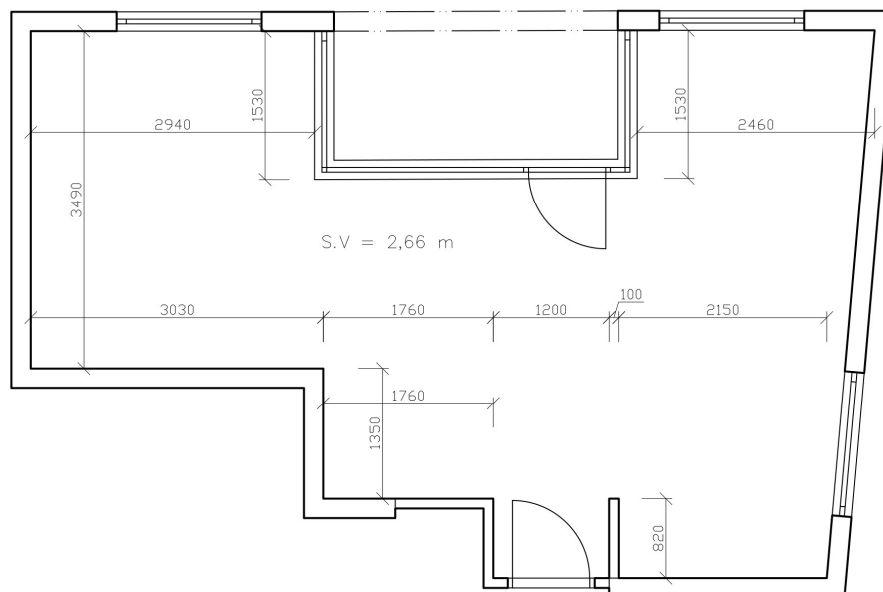
### 7.1.2 Popis způsobu měření

Pro účely měření byly vybrány obytné místnosti (obývací pokoje s KK) bytového domu ve 4.NP a 3.NP (respektive ve 2.NP). Celkem bylo provedeno devět různých měření kročejové neprůzvučnosti, přičemž osm z nich mezi obytnými místnostmi ve 4.NP a 3.NP, poslední deváté mezi obytnými místnostmi ve 3.NP a 2.NP (obytná místnost ve 2.NP je pak půdorysně shodná s obytnou místností ve 4.NP). Zjednodušené půdorysy místností viz obrázky 7.1 a 7.2. Stavební připravenost místností viz obrázky 7.3 a 7.4.

V místnosti zdroje bylo vždy na zkoušenou podlahu (resp. materiálový vzorek) umístěno klepací zařízení do čtyř různých poloh. Po jeho spuštění byly v místnosti příjmu naměřeny hladiny akustického tlaku  $L_2$  (dB) v souladu s postupy popsány v kapitole 4.4. Pro každou polohu klepacího zařízení byl umístěn mikrofon integračního zvukoměru do 4 různých poloh. Polohy klepacího zařízení i mikrofonu jsou schematicky znázorněny na obrázcích 7.5 a 7.6. Doba dozvuku byla vždy ověřena ve 12 náměrech.



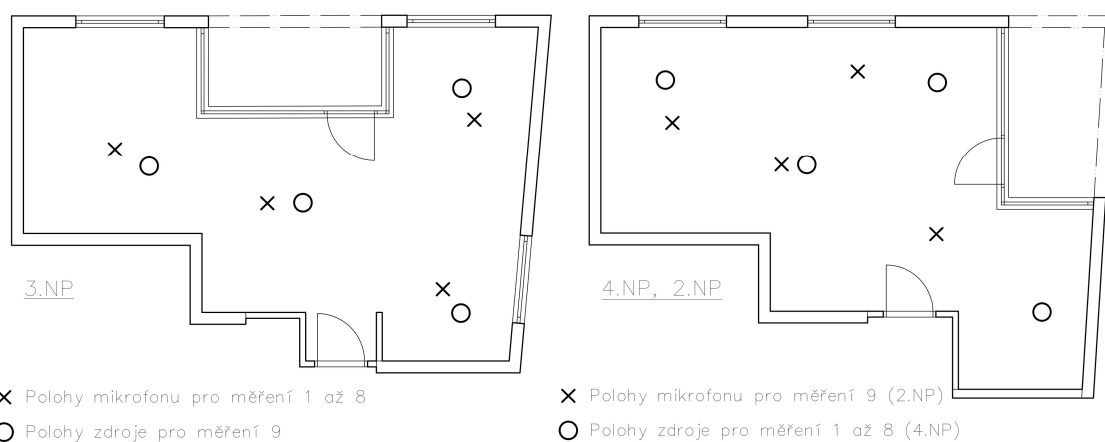
Obrázek 7.1: Půdorys obytné místnosti ve 2.NP, resp. ve 4.NP



Obrázek 7.2: Půdorys obytné místnosti ve 3.NP



Obrázek 7.3, 7.4: Stavební připravenost obytné místnosti ve 4.NP, resp. ve 3.NP [foto pořizeno autorem]



Obrázek 7.5, 7.6: Schematické znázornění umístění zdroje a mikrofonu v obytných místnostech

Měření bylo provedeno za asistence autorova otce Ing. Jiřího Bečky. Aparatura potřebná pro účely měření byla zapůjčena firmou KONTRAHLUK – normalizovaným zdrojem kročejového zvuku bylo zařízení CESVA MI 005, pro měření doby dozvuku byla použita signální pistole. Hladiny akustického tlaku a doby dozvuku byly naměřeny pomocí mikrofону Norsonic typu Nor1225, který byl kabelem spojen se zvukoměrem Norsonic typu Nor118 – BASIC (viz obrázek 7.7). Před zahájením celého měření a následně po jeho ukončení byla provedena kalibrace použité aparatury kalibrátorem Norsonic typu Nor1251. Rozměry místnosti, ze kterých se dodatečně určil její objem, byly zjištěny pomocí laserového dálkoměru Stanley TLM 300.

Měření autor následně vyhodnotil podle platných postupů, které jsou stanoveny ČSN EN ISO 717-2 v rozsahu zvukoizolačního pásma 100–3150 Hz. Zároveň však byly navíc v protokolech ověřeny nízké kmitočty, jež do tohoto sledovaného pásma nespadají (tj. 50, 63 a 80 Hz), a mají tak pouze informativní charakter. Vysoké kmitočty (tj. 4000 a 5000 Hz) nebylo třeba zohledňovat, ve většině případů byly jejich hodnoty normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) víceméně stejně nízké (z důvodu útlumu konstrukcí plovoucí podlahy), a neměly tak žádnou vypovídající hodnotu. Mimo doplňkový faktor přizpůsobení spektru  $C_1$  (dB) byl ověřován i druhý faktor  $C_{1,50-2500}$  (dB).

Všechny místnosti svým objemem převyšovaly 25 m<sup>3</sup>, nebylo tak zapotřebí v případě měření nízkých kmitočtů (pod 100 Hz) použít tzv. nízkofrekvenční postup.



**Obrázek 7.7:** Zachycený průběh měření vč. ukázky mikrofону a zvukoměru [foto pořízeno autorem]

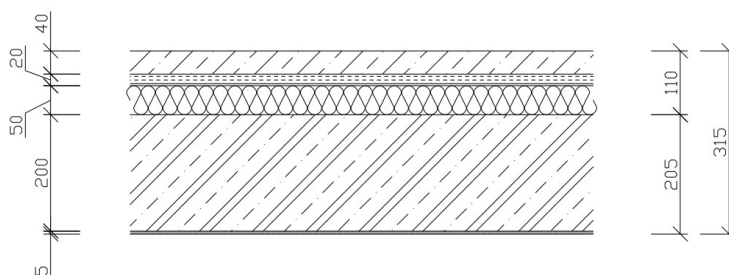
### 7.1.3 Řešené nášlapné vrstvy, výsledky měření

Měření 1 až 8 byla provedena z obytné místnosti ve 4.NP (vysílací místnost) do obytné místnosti ve 3.NP (přijímací místnost). Měření 9 (přenos ze stejné obytné místnosti ve 3.NP do obytné místnosti ve 2.NP) mělo za cíl zjistit kročejovou neprůzvučnost stropní konstrukce s provedením finální nášlapné vrstvy v podobě keramické dlažby. Ta neměla být realizována ve 4.NP, proto se měření posunulo o patro níž, ve kterém již byla položena. Základní skladba stropní konstrukce, která je popsána níže, však byla v obou případech zcela stejná.

#### Základní skladba stropní konstrukce pro měření 1 až 9:

- anhydrit tl. 40 mm,
- PE folie,
- kročejový polystyren tl. 20 mm,
- klasický polystyren tl 50 mm,
- železobetonová stropní deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 315 mm.



**Obrázek 7.8:** Základní skladba stropní konstrukce

Kromě prvního měření byla vždy použita jiná finální nášlapná vrstva, respektive jiná podložka s funkcí kročejového útlumu. Situace jsou představeny níže včetně fotodokumentace, popisu použitého materiálu, který byl přidán v podobě vzorku na horní povrch roznášecí anhydritové vrstvy (tl. 40 mm) a výsledné vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  (dB). Souhrnné grafy a tabulky, které doplňují výsledky, jsou uvedeny v závěru kapitoly.

#### Měření 1 – tzv. referenční:

Klepací zařízení se umístilo přímo na povrch anhydritové roznášecí vrstvy. Toto měření bylo následně vybráno za referenční – tj. další výsledky se k němu vztahovaly a byly s ním porovnávány z hlediska zlepšení (či případného zhoršení) kročejové neprůzvučnosti. Obecně bylo původně ve všech případech předpokládáno zlepšení.

Výsledek:  $L'_{n,w,1} (C_{1,1}) = 49 (0) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 2 \text{ dB}$ .

**Měření 2:**

Na roznášecí vrstvu byly jako finální nášlapná vrstva položeny laminátové desky Egger Pro Classic 32 (dekor dub Olchon medový EPL144) tloušťky 8 mm – nyní bez podložky s funkcí kročejového útlumu.

Výsledek:  $L'_{n,w,2} (C_{1,2}) = 48 (3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.9: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 2 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 3:**

Finální nášlapná vrstva: laminátové desky Egger Pro Classic 32 (dekor dub Olchon medový EPL144) tloušťky 8 mm + podložka s funkcí kročejového útlumu Mirelon tloušťky 3 mm.

Výsledek:  $L'_{n,w,3} (C_{1,3}) = 48 (3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.10: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 3 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 4:**

Finální nášlapná vrstva: laminátové desky Egger Pro Classic 32 (dekor dub Olchon medový EPL144) tloušťky 8 mm + dvojitá podložka s funkcí kročejového útlumu Mirelon tloušťky 2 x 3 mm.

Výsledek:  $L'_{n,w,4} (C_{1,4}) = 49 (2) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$ .

**Měření 5:**

Finální nášlapná vrstva: laminátové desky Egger Pro Classic 32 (dekor dub Olchon medový EPL144) tloušťky 8 mm + podklad Arbiton Secura MAX Aquastop Smart 3in1 tloušťky 5 mm (podklad pod laminátové a dřevěné podlahy, který kombinuje paroizolační folii, podložku pod podlahu a lepicí pásku). [54]

Výsledek:  $L'_{n,w,5} (C_{1,5}) = 48 (3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 5 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.11: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 5 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 6:**

Finální nášlapná vrstva: vinylová podlahovina Pergo (dekor Grey Scottish Oak) tloušťky 5 mm + podložka s funkcí kročejového útlumu Mirelon tloušťky 3 mm.

Výsledek:  $L'_{n,w,6} (C_{1,6}) = 45 (3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 6 \text{ dB}$ .





**Obrázek 7.12:** Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 6 [foto pořízeno autorem]

### Měření 7:

Finální nášlapná vrstva: vinylová podlahovina Pergo (dekor Grey Scottish Oak) tloušťky 5 mm + podklad Arbiton Secura MAX Aquastop Smart 3in1 tloušťky 5 mm (podklad pod laminátové a dřevěné podlahy, který kombinuje paroizolační folii, podložku pod podlahu a lepicí pásku). [54]

Výsledek:  $L'_{n,w,7} (C_{1,7}) = 45 (3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 6 \text{ dB}$ .



**Obrázek 7.13:** Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 7 [foto pořízeno autorem]

**Měření 8:**

Finální nášlapná vrstva: koberec Primavera typ 153 (výška vlasu 4 mm) celkové tloušťky 8 mm – bez podložky.

Výsledek:  $L'_{n,w,8} (C_{1,8}) = 44 (3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 5 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.14: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 8 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 9:**

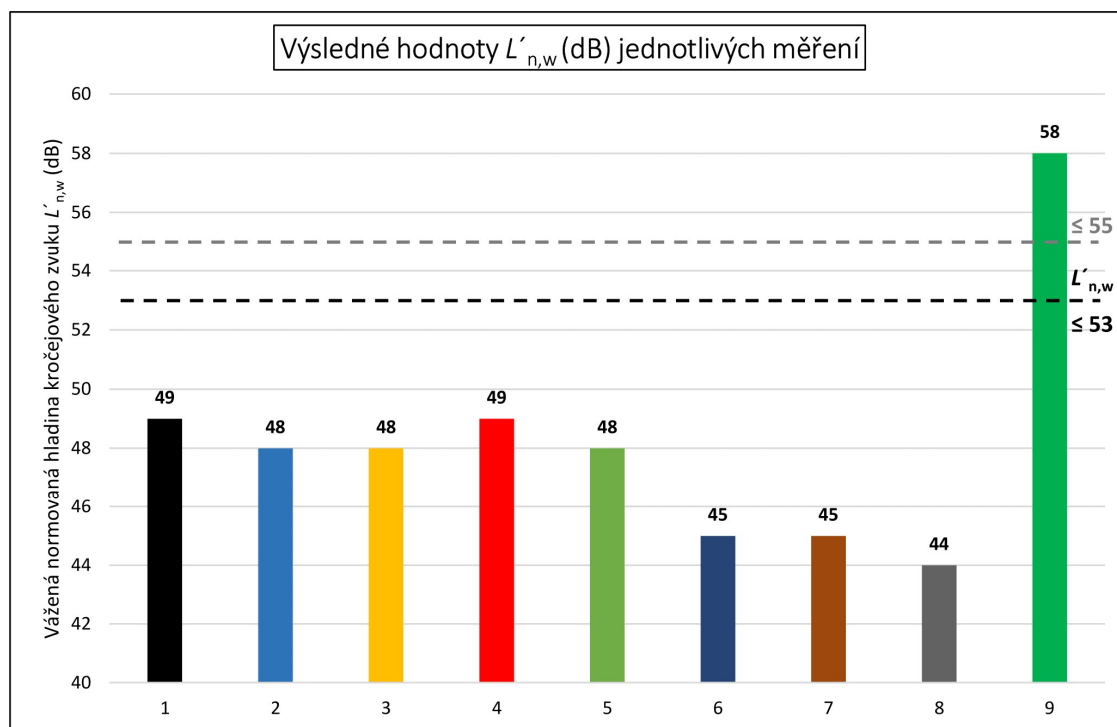
Měření provedeno z obytné místnosti ve 3.NP do obytné místnosti ve 2.NP.

Finální nášlapná vrstva: lepená keramická dlažba RAKO Extra kat. č.: DAR63723 tloušťky 10 mm.

Výsledek:  $L'_{n,w,9} (C_{1,9}) = 58 (-3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -2 \text{ dB}$ .



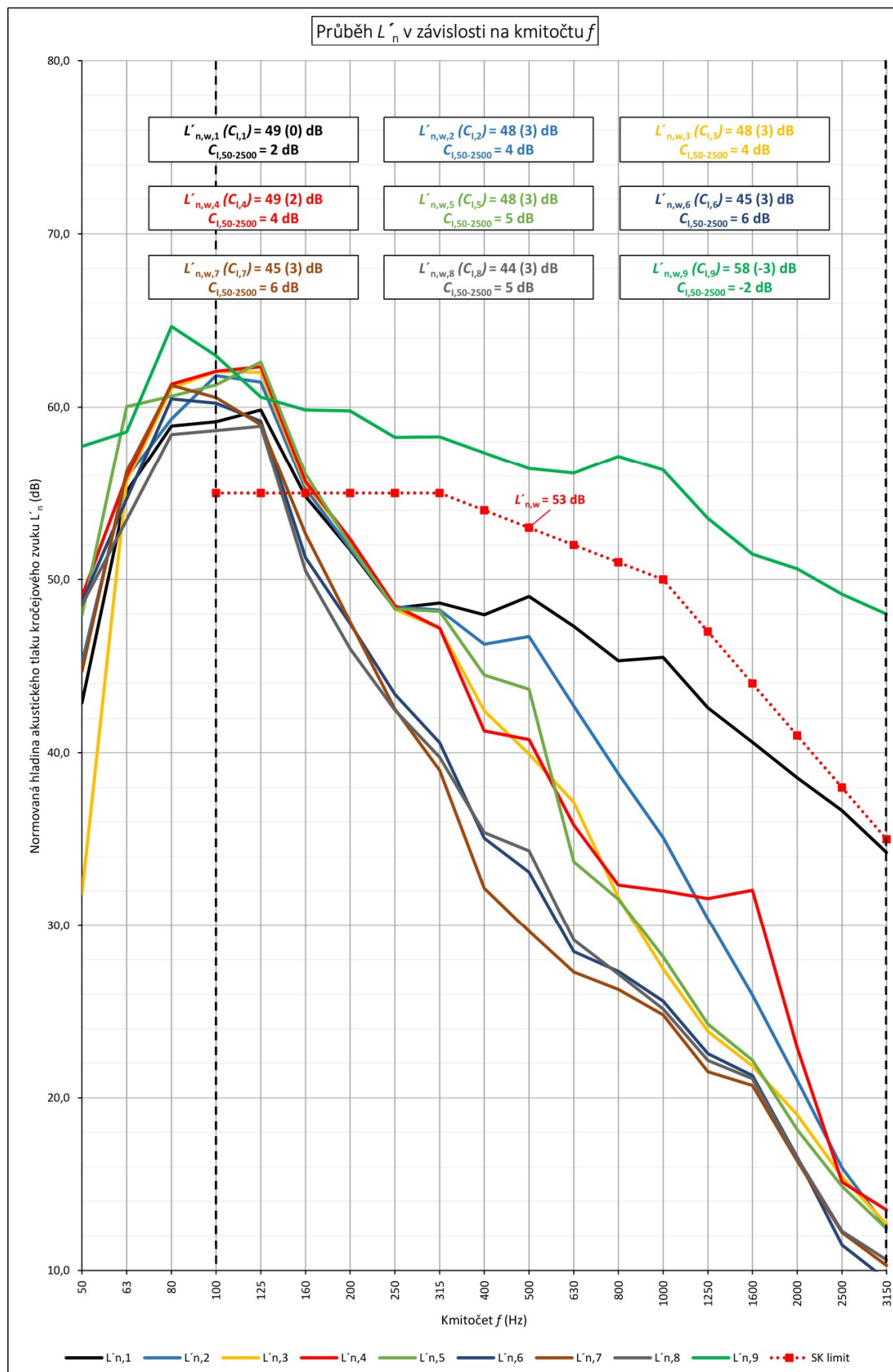
*Obrázek 7.15: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 9 [foto pořízeno autorem]*

Obrázek 7.16: Porovnání dosažených vážených hodnot  $L'_{n,w}$  (dB) situací experimentálního měření 1

| $f$<br>(Hz)           | $L'_{n,1}$<br>(dB) | $L'_{n,2}$<br>(dB) | $L'_{n,3}$<br>(dB) | $L'_{n,4}$<br>(dB) | $L'_{n,5}$<br>(dB) | $L'_{n,6}$<br>(dB) | $L'_{n,7}$<br>(dB) | $L'_{n,8}$<br>(dB) | $L'_{n,9}$<br>(dB) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| 50                    | 42,9               | 45,2               | 31,8               | 49,0               | 47,9               | 48,7               | 44,7               | 48,5               | 57,7               |
| 63                    | 55,1               | 55,9               | 55,7               | 56,0               | 60,0               | 54,7               | 56,3               | 53,4               | 58,6               |
| 80                    | 58,9               | 59,3               | 61,1               | 61,3               | 60,6               | 60,5               | 61,3               | 58,4               | 64,7               |
| 100                   | 59,2               | 61,8               | 62,1               | 62,1               | 61,3               | 60,2               | 60,6               | 58,6               | 63,0               |
| 125                   | 59,8               | 61,4               | 62,0               | 62,3               | 62,6               | 59,2               | 59,0               | 58,9               | 60,6               |
| 160                   | 54,8               | 55,3               | 55,5               | 55,7               | 56,1               | 51,3               | 52,6               | 50,5               | 59,8               |
| 200                   | 51,7               | 51,8               | 52,2               | 52,3               | 52,0               | 47,5               | 47,6               | 46,0               | 59,8               |
| 250                   | 48,3               | 48,4               | 48,3               | 48,5               | 48,3               | 43,4               | 42,5               | 42,5               | 58,3               |
| 315                   | 48,6               | 48,2               | 47,2               | 47,2               | 48,2               | 40,6               | 39,0               | 39,7               | 58,3               |
| 400                   | 48,0               | 46,3               | 42,4               | 41,3               | 44,5               | 35,1               | 32,2               | 35,4               | 57,3               |
| 500                   | 49,0               | 46,7               | 39,9               | 40,8               | 43,7               | 33,1               | 29,7               | 34,3               | 56,4               |
| 630                   | 47,3               | 42,7               | 37,1               | 35,8               | 33,7               | 28,5               | 27,3               | 29,2               | 56,2               |
| 800                   | 45,3               | 38,8               | 31,6               | 32,4               | 31,5               | 27,3               | 26,3               | 27,2               | 57,1               |
| 1000                  | 45,5               | 35,1               | 27,5               | 32,0               | 28,2               | 25,6               | 24,8               | 25,1               | 56,3               |
| 1250                  | 42,6               | 30,4               | 23,8               | 31,6               | 24,3               | 22,6               | 21,5               | 22,2               | 53,5               |
| 1600                  | 40,6               | 26,0               | 21,8               | 32,1               | 22,2               | 21,3               | 20,7               | 21,1               | 51,5               |
| 2000                  | 38,5               | 21,0               | 19,0               | 22,9               | 18,2               | 16,6               | 16,3               | 16,5               | 50,6               |
| 2500                  | 36,7               | 15,9               | 15,4               | 15,1               | 14,9               | 11,5               | 12,2               | 12,3               | 49,2               |
| 3150                  | 34,2               | 12,5               | 12,7               | 13,5               | 12,4               | 9,5                | 10,3               | 10,6               | 48,0               |
| $L'_{n,w}$ (dB)       | 49                 | 48                 | 48                 | 49                 | 48                 | 45                 | 45                 | 44                 | 58                 |
| $C_{1,100-3150}$ (dB) | 0                  | 3                  | 3                  | 2                  | 3                  | 3                  | 3                  | 3                  | -3                 |
| $C_{1,50-2500}$ (dB)  | 2                  | 4                  | 4                  | 4                  | 5                  | 6                  | 6                  | 5                  | -2                 |

Tabulka 7.1: Zjištěné hodnoty  $L'_n$  (dB) situací experimentálního měření 1

Konstrukce by měly splňovat hodnotu vážené normované hladiny, která platila v době vydání stavebního povolení, tudíž  $L'_{n,w} \leq 55$  dB. Z uvažovaných situací byl požadavek splněn vždy kromě měření 9 (s keramickou dlažbou).

Obrázek 7.17: Průběh  $L'_n$  (dB) porovnávaných situací experimentálního měření 1

S přihlédnutím k současnému normovému požadavku  $L'_{n,w} \leq 53$  dB, který je na obrázku 7.17 znázorněn příslušnou limitní směrnou křivkou a který v tomto případě nemusí být uplatněn, by opět (kromě posledního) všechna provedená měření vyhovovala, a to s dostatečnou rezervou na straně bezpečnosti.

Na základě výsledků a průběhů normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) v grafu na obrázku 7.17 je možné z hlediska kročejové neprůzvučnosti zhodnotit základní provedení stropní konstrukce (tj. bez finální nášlapné vrstvy) jako uspokojivé.

Od kmitočtu 250 Hz však oproti ostatním měřením lze spatřit vyšší přenos kročejového zvuku, který nemá sice vliv na výslednou váženou hodnotu, ale subjektivně by tyto kmitočty, pokud by finální nášlapná vrstva nebyla aplikována, budoucí uživatelé bytů vnímali jako rušivé. Z ostatních průběhů je tak vidět, že se naplnil očekávaný předpoklad, kdy přidání finální nášlapné vrstvy úspěšně napomáhá snížení normované hladiny kročejového zvuku na středních a vyšších kmitočtech (s výjimkou keramické dlažby).

U nízkých frekvencí (především při uvažování laminátových desek) dochází k mírnému zvýšení, u ostatních podlahovin typu vinyl nebo koberec je situace přibližně stejná nebo místy zhoršená, nikoliv však výrazně. Nejlépe je tato skutečnost viditelná na doplňkovém faktoru přizpůsobení spektru  $C_{1,50-2500}$  (dB), jehož hodnota se zvyšuje jednak se zlepšující se (tedy snižující) hodnotou vážené normované hladiny, avšak právě i s nárůstem přenosu kročejového zvuku na nízkých frekvencích. Někteří vnímavější jedinci tak mohou v budoucnu u některých typů podlah vznášet námitky. Obecně však, jak ukazuje obrázek 7.16, dochází ke zlepšení hodnoty  $L'_{n,w}$  (dB) a ta je v tomto případě rozhodující.

Položením laminátových desek se situace ve většině případů z pohledu vážené hodnoty oproti referenčnímu stavu zlepšila o 1 dB, resp. v případě použití dvojité vrstvy Mirelonu o tloušťce 3 mm zůstala stejná – tato situace však byla z hlediska vyhodnocování podle směrné křivky velice hraniční, nicméně lze si v grafu povšimnout, že od kmitočtu 800 Hz docházelo ke zvýšení hodnot  $L'_n$  (dB), což i autor práce v místnosti příjmu pocíval subjektivně jako mírné zhoršení. Dvě vrstvy Mirelonu byly použity pouze pro zajímavost, prakticky se s nimi nikdy takto neuvažuje. Za zmínku rovněž stojí, že v případě druhého měření, kdy byly laminátové desky přímo položeny na roznášecí vrstvu, došlo ke zlepšení průběhu normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB), avšak při aplikaci jedné či druhé podložky s funkcí kročejového útlumu došlo k jejímu ještě většímu snížení. Tím se experimentem jasně prokázala vhodnost praktické aplikace těchto podložek.

Při použití laminátových desek se sice na nízkých frekvencích v rámci zvukoizolačního pásma (100–3150 Hz) normovaná hladina  $L'_n$  (dB) zvýšila, od 250 Hz však bylo možno sledovat její postupné zlepšování. V případě použití vinylové podlahoviny (měření 6 a 7) došlo kromě kmitočtu 100 Hz ve všech sledovaných pásmech k významnému

snížení kročejové neprůzvučnosti, jejíž pokles (zde pozitivní) má oproti aplikaci laminátových desek strmější tendenci. Celkové snížení normované hladiny kročejového zvuku mělo ve výsledku vliv na váženou hodnotu, která se snížila oproti referenčnímu stavu ze 49 dB na 45 dB v obou případech uvažovaných podložek, které byly pod vinylovou podlahovinu vloženy. Vysvětlení je jednoduché – zatímco vinyl je částečně pružný, laminátové desky jsou svojí strukturou o poznání tvrdší.

V případě použití koberce s celkovou výškou 8 mm pak došlo ke snížení normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) ve všech dotčených zvukoizolačních pásmech, což se pozitivně projevilo i na vážené hodnotě, která se snížila ze 49 dB na 44 dB. Ze souboru prvního experimentálního měření tak použití koberce zajišťuje nejlepší výsledek. Nelze však spolehlivě říct, že by tomu tak bylo vždy, jelikož koberců různého typu a především různé výšky vlasu a celkové výšky je celá spousta. Každý má tak jiný vliv na finální kročejový útlum. Obecně však lze říct, že přidáním koberce na stropní konstrukci se situace určitě nezhorší a lze očekávat její zlepšení.

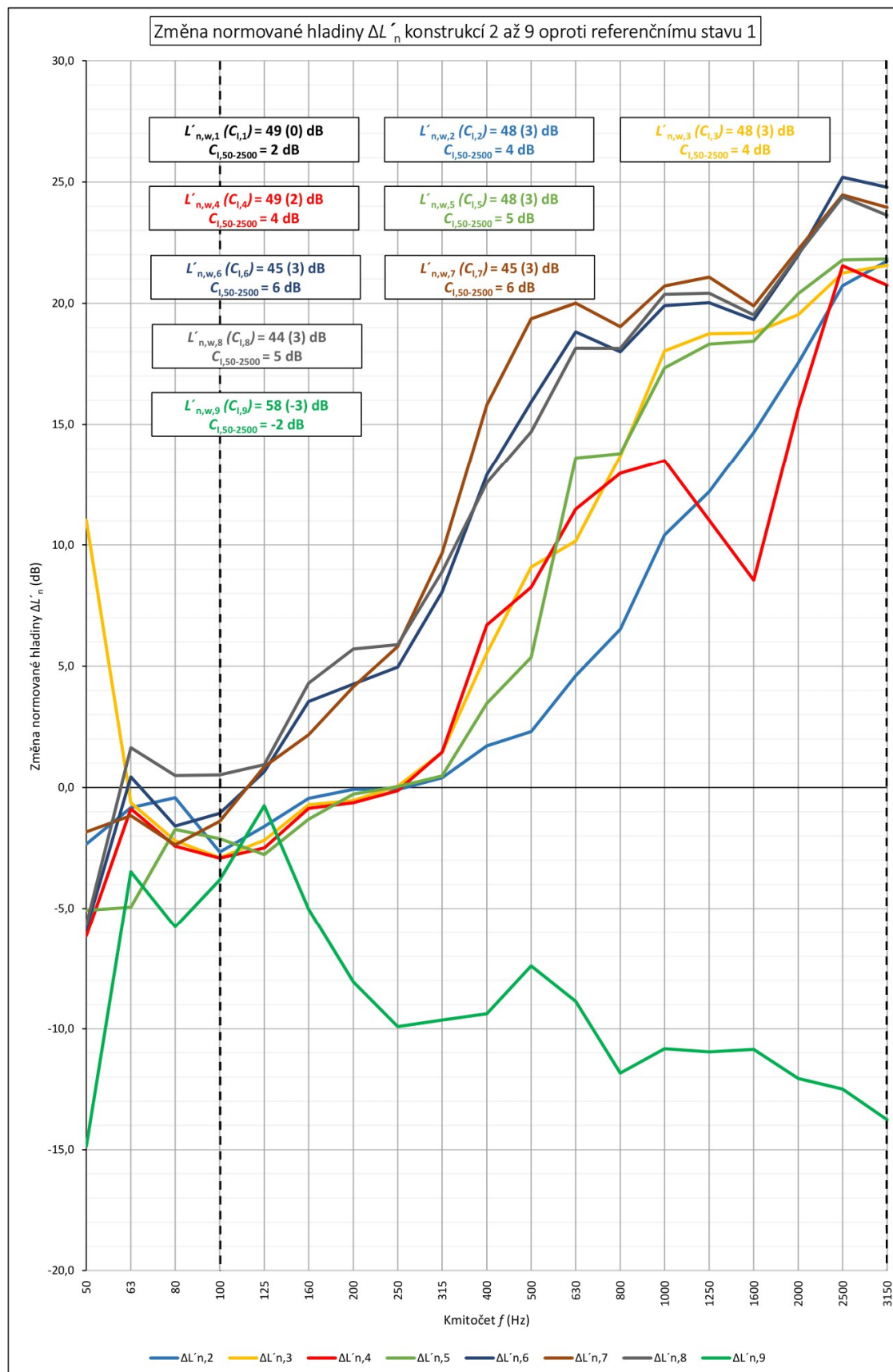
Při posledním devátém měření ovšem došlo ke zvýšení přenosu normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB), a to v celém uvedeném rozsahu od 50 do 3150 Hz.

Provedení keramické dlažby je tak ze všech v tomto měření představených možností „nejrizikovější“. Nebývá však zvykem, aby došlo k výraznému zhoršení, které nastalo v tomto případě, kdy z původní hodnoty  $L'_{n,w} = 49$  dB se situace zhoršila o 9 dB na hodnotu  $L'_{n,w} = 58$  dB. Obvykle podle zkušeností nastává zhoršení pouze mírné nebo žádné, výsledek tak zůstává přibližně stejný. Pravděpodobným důvodem tohoto nárůstu přenosu kročejového zvuku tak může být nedokonale provedené napojení keramické dlažby v oblasti soklu, nebo technologická chyba během lepení dlažby k podkladu.

Zároveň byla vytvořena tabulka a graf, ve kterém je možné sledovat reálnou změnu normované hladiny kročejového zvuku  $\Delta L'_n$  (dB) všech řešených konstrukcí s provedením finální nášlapné vrstvy oproti původnímu referenčnímu stavu z měření 1.

| $f$<br>(Hz) | $\Delta L'_{n,2}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,3}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,4}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,5}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,6}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,7}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,8}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,9}$<br>(dB) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| 50          | -2,3                      | 11,0                      | -6,1                      | -5,1                      | -5,8                      | -1,8                      | -5,7                      | -14,9                     |
| 63          | -0,8                      | -0,6                      | -0,9                      | -4,9                      | 0,4                       | -1,2                      | 1,6                       | -3,5                      |
| 80          | -0,4                      | -2,2                      | -2,4                      | -1,7                      | -1,6                      | -2,4                      | 0,5                       | -5,8                      |
| 100         | -2,7                      | -2,9                      | -2,9                      | -2,1                      | -1,1                      | -1,4                      | 0,5                       | -3,8                      |
| 125         | -1,6                      | -2,2                      | -2,5                      | -2,8                      | 0,6                       | 0,9                       | 0,9                       | -0,7                      |
| 160         | -0,4                      | -0,7                      | -0,9                      | -1,3                      | 3,5                       | 2,2                       | 4,3                       | -5,0                      |
| 200         | -0,1                      | -0,5                      | -0,6                      | -0,3                      | 4,3                       | 4,1                       | 5,7                       | -8,1                      |
| 250         | -0,1                      | 0,1                       | -0,1                      | 0,0                       | 5,0                       | 5,8                       | 5,9                       | -9,9                      |
| 315         | 0,4                       | 1,4                       | 1,5                       | 0,5                       | 8,1                       | 9,7                       | 8,9                       | -9,6                      |
| 400         | 1,7                       | 5,5                       | 6,7                       | 3,5                       | 12,9                      | 15,8                      | 12,6                      | -9,4                      |
| 500         | 2,3                       | 9,1                       | 8,3                       | 5,4                       | 15,9                      | 19,4                      | 14,7                      | -7,4                      |
| 630         | 4,6                       | 10,2                      | 11,5                      | 13,6                      | 18,8                      | 20,0                      | 18,1                      | -8,9                      |
| 800         | 6,5                       | 13,7                      | 13,0                      | 13,8                      | 18,0                      | 19,0                      | 18,1                      | -11,8                     |
| 1000        | 10,4                      | 18,0                      | 13,5                      | 17,3                      | 19,9                      | 20,7                      | 20,4                      | -10,8                     |
| 1250        | 12,2                      | 18,7                      | 11,0                      | 18,3                      | 20,0                      | 21,1                      | 20,4                      | -11,0                     |
| 1600        | 14,7                      | 18,8                      | 8,6                       | 18,4                      | 19,3                      | 19,9                      | 19,5                      | -10,8                     |
| 2000        | 17,5                      | 19,5                      | 15,7                      | 20,4                      | 22,0                      | 22,2                      | 22,0                      | -12,1                     |
| 2500        | 20,7                      | 21,2                      | 21,5                      | 21,8                      | 25,2                      | 24,5                      | 24,4                      | -12,5                     |
| 3150        | 21,7                      | 21,6                      | 20,7                      | 21,8                      | 24,8                      | 24,0                      | 23,6                      | -13,8                     |

Tabulka 7.2: Vypočtené hodnoty  $\Delta L'_n$  (dB) uvedených situací vztažených k referenčnímu stavu



**Obrázek 7.18:** Průběh  $\Delta L'_n$  (dB) situací experimentálního měření porovnávaných k referenčnímu stavu

### 7.1.4 Závěry experimentálního měření 1

Mimo vyjádření výsledků pomocí vážených normovaných hladin kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  (dB) a předvedené rozdíly jednotlivých provedení v dosaženém kročejovém útlumu lze uvést následující závěry.

Pokud nastává při provedení hrubé podlahy z hlediska přenosu kročejového zvuku hlavní problém na nízkých frekvencích, přidání vesměs jakékoliv finální nášlapné vrstvy (mimo některé typy koberců – viz samotné měření) v jakémkoliv provedení tento nedostatek nezlepší. Zlepšení nastane sice u středních a vyšších kmitočtů, avšak kvůli srovnávání se směrnou křivkou zůstane kročejová neprůzvučnost prakticky stejná a nedojde ke snížení její vážené hodnoty. Případně k němu dojde, pokud vliv na vyhodnocení měly i jiné kmitočty než ty rizikové, avšak jejich oblast zůstane stále nevyřešena. V horším případě kvůli částečnému navýšení hodnot nízkých frekvencí (přidáním nášlapné vrstvy) může dojít i ke zhoršení situace, to se však běžně nepředpokládá. Problém tak zde spočívá v nedokonalém pružném napojení po obvodě podlahy či nevhodně zvolené kročejové izolaci, resp. její nedostatečné tloušťce. To znamená, že v oblasti nízkých kmitočtů je nejdůležitější samotné konstrukční řešení.

S touto problematikou se pojí i měřením ukázaný fakt, že při použití laminátových desek může vážená hodnota normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  (dB) z hlediska normových požadavků splňovat stanovené hodnoty, avšak následně není vždy vyloučen možný problém zvýšeného přenosu kročejového zvuku na nízkých kmitočtech.

V rámci posledního měření (s keramickou dlažbou) bylo prokázáno, že *průběh hladiny akustického tlaku kročejového zvuku s dominantními vyššími kmitočty obvykle ukazuje na pevné propojení s navazující konstrukcí a přenos hluku tímto propojením.* [51]

Na úplný závěr je zapotřebí opět zmínit, že v rámci experimentálního měření byly použité vzorky volně položené na povrchu stropní konstrukce, tedy nikoliv s ní pevně spojené. V reálných aplikacích tak nemusí být vždy dosaženo takových hodnot zlepšení jako v těchto naměřených případech. Určitě by tak bylo zajímavé zjistit, jaký rozdíl by představovalo skutečné provedení na stavbě vůči nyní teoreticky zjištěným poznatkům, které z experimentálního měření vyplývají.

V samostatné části příloh jsou uvedeny v tabulkách a grafech naměřené hodnoty včetně výpočtů ke všem provedeným měřením. Zároveň je zde ke každému protokolu řečeno, kterých kmitočtových pásem se týkala korekce na hluk pozadí rovna 1,3 dB, jejíž oprávněnost použití byla vysvětlena v kapitole 4.4.



## 7.2 Experimentální měření 2 – panelový dům

### 7.2.1 Uvedení do situace a řešené problematiky

V experimentálním měření 1 bylo na správně realizované stropní konstrukci v provedení s těžkou plovoucí podlahou ukázáno, nakolik mohou svým aplikováním přispět finální nášlapné vrstvy ke konečné hodnotě vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w}$  (dB). Tento vliv se v některých případech projevil poměrně významně.

S tímto poznatkem tak bude pracovat i druhé experimentální měření, u něhož je vliv samotné nášlapné vrstvy o to podstatnější z toho důvodu, že její vhodná realizace bude schopna zajistit splnění současných normových požadavků u stropní konstrukce, která by jím sama svým provedením jinak nevyhovovala. Řeč je o stropních konstrukcích ve starších panelových bytových domech. Ty běžně splňují požadovanou vzduchovou neprůzvučnost, kročejová neprůzvučnost však u nich představuje problém, který je občas nelehké řešit. Možnými důvody jsou nevhodné složení podlahy nebo její znehodnocení či poškození během užívání. [10]

Panelové bytové domy byly v minulém století velice rozšířeným typem občanské výstavby. Svým způsobem je lze považovat za vrcholné inženýrské dílo. Rychlost jejich provedení (způsobená plnou prefabrikací stěnových a stropních železobetonových panelů) a technologie, která umožňovala stavět tyto budovy do mnohem větších výšek, než jak tomu bylo do té doby zvykem, vytvářela veliké množství nových a okamžitě dostupných bytů pro široké obyvatelstvo.

Tehdejší normové požadavky na zejména kročejovou neprůzvučnost nebyly nijak přísné, a umožňovaly tak provádění podlah na prefabrikovaných stropních panelech v jednoduchých řešeních, která sledovala nastolený trend zrychlené výstavby. Stropní konstrukce v těchto domech pak splňovaly požadavky poměrně hraničně s nízkou rezervou ve prospěch bezpečnosti, případně k těmto požadavkům ani nebylo výrazněji přihlíženo. Z dnešního pohledu jsou však tyto realizace nedostačující, protože nároky doby se v případě kročejové neprůzvučnosti poměrně výrazně zpřísnily. Často je tak možné zaznamenat v těchto starších panelových domech stížnosti uživatelů bytů a nespokojenost s vnímaným přenosem kročejového zvuku.

Velkým nedostatkem u horizontálních konstrukcí sledovaných soustav panelových domů je zejména opotřebenost podlah. *Stávající podlahy na panelových stropích vykazují řadu nedostatků. Dřívější rozměrové tolerance a dosahovaná rovinnost stropních panelů vedly často k tomu, že nebyla dodržována předepsaná tloušťka podlahy. Limitující pro tloušťku podlahy byla světlá výška místnosti, tzn. že po položení finálních podlahových povlaků nesměla být světlá výška místnosti menší než 2550 mm. Tloušťka podlah se u panelových domů pohybovala v rozmezí od 55 do 100 mm, přičemž v počátku*

výstavby panelových bytových domů tloušťka podlah dosahovala 100 mm a v závěru panelové výstavby se snižovala na 55 mm nebo jen povlakové podlahoviny s malými tloušťkami (viz soustava VOS, VM-OS, VVÚ-ETA, kde podlahovina dosahovala mnohdy jen tloušťky 33 mm). [10]

Ve druhém experimentálním měření bude představen panelový bytový dům soustavy typu VVÚ-ETA v provedené pražské variantě, při níž základní řešení stropních konstrukcí představovalo přímé nalepení pružné PVC podlahoviny na prefabrikovaný železobetonový panel (který byl opatřen pouze stěrkou). Budova byla dokončena v roce 1986, tudíž patří k jedněm z posledních panelových domů uvedeného typu, které byly v Praze realizovány. Celkem má pět nadzemních a jedno podzemní podlaží. Konstrukční výška jednoho podlaží je 2800 mm, tloušťka stropních panelů 250 mm. Světlá výška bytů je tak ve většině případů rovna přibližně 2530 mm.

Měření proběhlo ve dnech 1.12.2021 a 2.12.2021. Všichni nájemníci s ním byli plně srozuměni a zároveň byli poučeni o anonymitě vzniklých výsledků. Jejich závěry slouží pouze pro účely měření, které má za cíl zkoumat reálný stav současných stropních konstrukcí v původním panelovém domu z hlediska přenosu kročejového zvuku. Hodnoty tak nebudou použity pro případná zpochybnění v případě průběžně rekonstruovaných bytů s nevhodným provedením finální nášlapné vrstvy, které nevede ke splnění normových požadavků, platných v době prováděné rekonstrukce.

Fotografie řešené budovy viz obrázek 7.19.



**Obrázek 7.19:** Objekt experimentálního měření 2 – panelový bytový dům typu VVÚ-ETA z roku 1986 [foto pořízeno autorem]

Při rekonstrukcích v panelových domech je kromě správného technologického postupu zapotřebí vhodně zvolit typ podlahové krytiny. Pokud to situace dovoluje, řešením je nová lehká plovoucí podlaha. Bohužel u mnoha případů to výškové poměry nedovolují (což je i případ uvažovaného objektu), a řešením je tak zde pouze opakovaný návrh měkkých podlahových povlaků nebo lehké plovoucí nášlapné vrstvy, protože realizace plovoucí podlahy by byla spojena s nežádoucím rozdílem úrovní podlah (tedy zvyšováním prahů) a nesplněnou minimální světlou výškou. [4, 10]

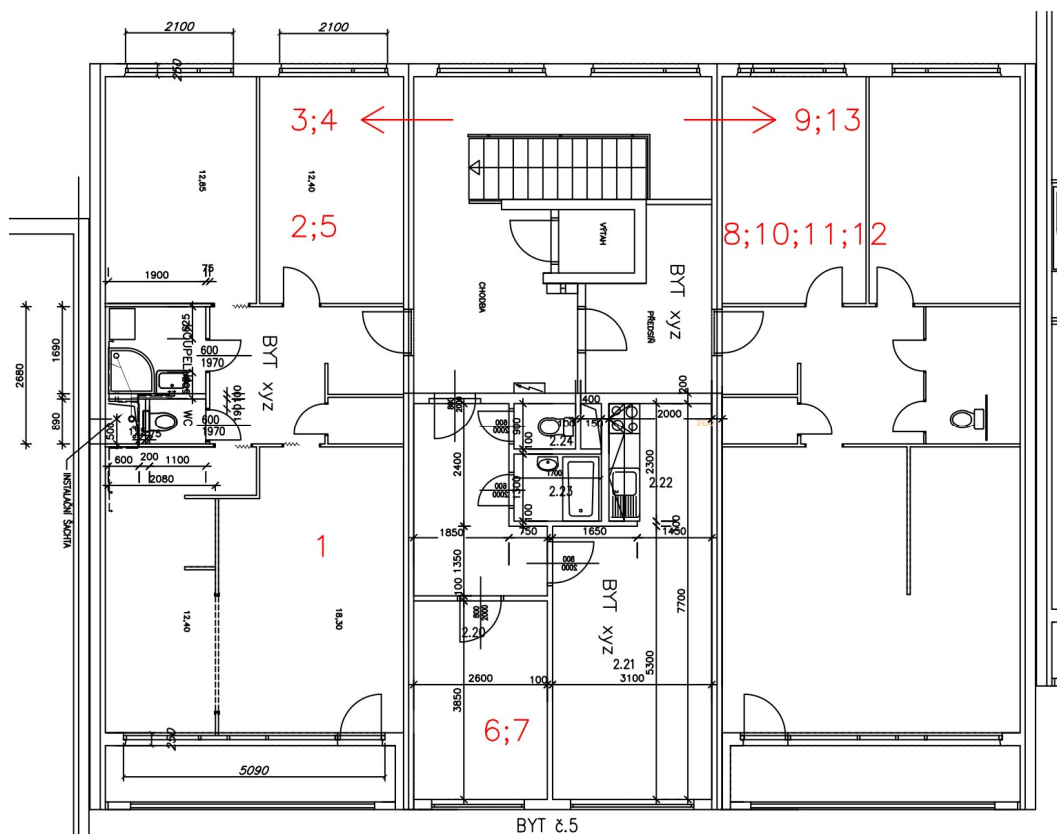
Během rekonstrukcí si často lidé neuvědomí důležitost původního povlaku z PVC, tudíž ho odstraní a nahradí méně vhodným materiálem. Nešvarem pak bývá provedení keramické dlažby na podkladní mazaninu na nosné stropní konstrukci, což v tomto případě vždy vede ke zhoršení kročejové neprůzvučnosti. [4, 10]

Výhodou vybraného panelového domu byla rozmanitost nášlapných vrstev v jednotlivých bytech. V souboru měření se tak objevují různé materiály a v krajních případech se výsledky od sebe liší až s téměř 30 dB rozdílem. Oproti experimentálnímu měření 1 nebyly používány vzorky podlahovin – nášlapné vrstvy byly vždy pevně spojené s podkladem, tudíž výsledky měření lze považovat ve smyslu vyhodnocování kročejové neprůzvučnosti za korektní.

## 7.2.2 Popis způsobu měření

Celkem bylo provedeno třináct různých měření kročejové neprůzvučnosti, přičemž u devíti z nich se jednalo o vertikální přenos směrem dolů (mezi byty) a u zbylých čtyř o přenos horizontální z chodby domu do bytu. Do měření bylo zapojeno jedenáct bytových jednotek z patnácti – postihnuta tak byla všechna podlaží panelového domu. Ta jsou vždy stejná, proto byl z projektové dokumentace vybrán pouze půdorys 5.NP, který schematicky čísla od 1 do 13 znázorňuje, ve kterých místech se konala jednotlivá měření v rámci celého domu (viz obrázek 7.20).

V místnosti zdroje jednotlivých obytných místností bytů (resp. v místě chodeb při horizontálním měření) bylo pokaždé na zkoušenou stropní konstrukci umístěno klepací zařízení do čtyř různých poloh. Po jeho spuštění byly v obytné místnosti příjmu naměřeny hladiny akustického tlaku  $L_2$  (dB) v souladu s postupy popsány v kapitole 4.4. Pro každou polohu klepacího zařízení byl umístěn mikrofon integračního zvukoměru do 4 různých poloh. Po ukončení každého měření se dále ověřil hluk pozadí. Doba dozvuku byla tentokrát posuzována všude pouze pomocí 8 náměrů. Pro účely práce nebyla zpracována jednotlivá schémata obytných místností příjmu, vždy se totiž jednalo o jednoduché prostory obdélníkového půdorysu. Polohy klepacího zařízení i mikrofonu zohledňovaly vybavenost jednotlivých místností.



**Obrázek 7.20:** Schematické znázornění oblastí provedených měření v rámci celého domu

V obou dnech využil při měření autor pomoci své matky Vladimíry Bečkové. Aparatura potřebná pro účely měření byla zapůjčena firmou KONTRAHLUK – normalizovaným zdrojem kročejového zvuku bylo zařízení CESVA MI 005, pro měření doby dozvuku byla použita signální pistole. Hladiny akustického tlaku a doby dozvuku byly naměřeny pomocí mikrofону Norsonic typu Nor1225, který byl kabelem propojen se zvukoměrem Norsonic typu Nor118 – BASIC (viz obrázek 7.7 předchozí kapitoly 7.1). Před zahájením celého měření a následně po jeho ukončení byla v obou dnech provedena kalibrace zvukoměrné aparatury kalibrátorem Norsonic typu Nor1251. Rozměry jednotlivých místností, ze kterých se dodatečně určil jejich objem, byly zjištěny pomocí laserového dálkoměru Stanley TLM 300.

Měření autor následně vyhodnotil podle platných postupů, které jsou stanoveny ČSN EN ISO 717-2 v rozsahu zvukoizolačního pásma 100–3150 Hz. Zároveň však byly do protokolů přidány nízké kmitočty, jež do tohoto pásma nespádají (tj. 50, 63 a 80 Hz), a mají tak pouze informativní charakter. Stejně tak byly pro potřeby tohoto měření přidány i vysoké kmitočty (tj. 4000 a 5000 Hz), jelikož jednotlivé výsledky normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) se v této oblasti od sebe značně lišily. Mimo doplňkový faktor přízpůsobení spektru  $C_1$  (dB) byl zjištěn i druhý faktor  $C_{1,50-2500}$  (dB).

Všechny místnosti svým objemem převyšovaly  $25 \text{ m}^3$ , nebylo proto zapotřebí v případě měření nízkých kmitočtů (pod 100 Hz) použít tzv. nízkofrekvenční postup.

### 7.2.3 Řešené situace nášlapných vrstev, výsledky měření

Základní provedení stropní konstrukce představuje pouze prefabrikovaný železobetonový panel tl. 250 mm, na němž byla kvůli zarovnání případných nerovností realizována stěrka. Na spodním povrchu panelu je pak aplikována omítka kromě měření 11, při němž ve spodní místnosti příjmu byl instalován pod nosnou konstrukcí akustický podhled. Finální nášlapné vrstvy se od sebe vždy kromě měření 2 a 6 (původní PVC podlahovina z roku 1986) a 3,4 a 9 (původní PVC podlahovina na chodbě) liší.

Ve většině případů byly nášlapné vrstvy zabudovány již několik let, nebylo tak možné zjistit jejich jednotlivé tloušťky, případně obchodní název a typ.

Jednotlivé situace nášlapných vrstev jsou představeny níže včetně fotodokumentace a výsledné vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{n,w}$ , resp.  $L'_{nT,w}$  (dB).

Souhrnné grafy a tabulky, které doplňují výsledky, jsou uvedeny v závěru kapitoly.

#### Měření 1 – tzv. referenční (vertikální přenos 5.NP → 4.NP):

Finální nášlapná vrstva: lepená keramická dlažba.

Toto měření bylo následně z důvodu nejhorší hodnoty kročejové neprůzvučnosti vybráno za referenční – tj. další výsledky se k němu vztahovaly a byly s ním porovnávány z hlediska zlepšení kročejové neprůzvučnosti. Výsledek tohoto měření může být kvůli aplikaci keramické dlažby považován téměř za ekvivalentní situaci, při níž by měření bylo provedeno na holé stropní konstrukci panelu.

Výsledek:  $L'_{n,w,1} (C_{1,1}) = 71 (-9)$  dB;  $C_{1,50-2500} = -10$  dB.



Obrázek 7.21: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 1 [foto pořízeno autorem]

**Měření 2 (vertikální přenos 5.NP → 4.NP):**

Finální nášlapná vrstva: původní PVC podlahovina z roku 1986.

Výsledek:  $L'_{n,w,2} (C_{1,2}) = 59 (-3) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -3 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.22: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 2 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 3, 4 a 9 (horizontální přenos z chodby):**

Finální nášlapná vrstva: původní PVC podlahovina (jiného typu než v bytech (viz měření 2)) z roku 1986.

Výsledek:  $L'_{nT,w,3} (C_{1,3}) = 69 (-11) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -11 \text{ dB}$ ; přenos v 5.NP

Výsledek:  $L'_{nT,w,4} (C_{1,4}) = 62 (-10) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -10 \text{ dB}$ ; přenos ve 4.NP

Výsledek:  $L'_{nT,w,9} (C_{1,9}) = 64 (-9) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -9 \text{ dB}$ ; přenos ve 4.NP



*Obrázek 7.23: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 3 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 5 (vertikální přenos 4.NP → 3.NP):**

Finální nášlapná vrstva: původní PVC podlahovina (rok 1986) + typový koberec 1.

Výsledek:  $L'_{n,w,5} (C_{1,5}) = 46 (0) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 4 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.24: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 5 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 6 (vertikální přenos 4.NP → 3.NP):**

Finální nášlapná vrstva: původní PVC podlahovina z roku 1986.

Výsledek:  $L'_{n,w,6} (C_{1,6}) = 59 (-2) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -1 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.25: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 6 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 7 (vertikální přenos 3.NP → 2.NP):**

Finální nášlapná vrstva: podložka s funkcí kročejového útlumu Mirelon + laminátové desky.

Výsledek:  $L'_{n,w,7} (C_{1,7}) = 54 (-1) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = 0 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.26: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 7 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 8 (vertikální přenos 5.NP → 4.NP):**

Finální nášlapná vrstva: podložka s funkcí kročejového útlumu Mirelon – údajně (její přítomnost přijde autorovi nepravděpodobná) + vinylová podlahovina.

Výsledek:  $L'_{n,w,8} (C_{1,8}) = 62 (-5) \text{ dB}$ ;  $C_{1,50-2500} = -4 \text{ dB}$ .



*Obrázek 7.27: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 8 [foto pořízeno autorem]*



**Měření 10 (vertikální přenos 4.NP → 3.NP):**

Finální nášlapná vrstva: původní PVC podlahovina (rok 1986) + typový koberec 2.

Výsledek:  $L'_{n,w,10} (C_{I,10}) = 54 (0)$  dB;  $C_{I,50-2500} = 1$  dB.



*Obrázek 7.28: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 10 [foto pořizeno autorem]*

**Měření 11 (vertikální přenos 3.NP → 2.NP):**

Finální nášlapná vrstva: původní PVC podlahovina (rok 1986) + typový koberec 3.

V místnosti příjmu byl navíc instalován akustický podhled s odsazením od nosné konstrukce 100 mm.

Výsledek:  $L'_{n,w,11} (C_{I,11}) = 44 (3)$  dB;  $C_{I,50-2500} = 10$  dB.



*Obrázek 7.29: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 11 [foto pořizeno autorem]*

**Měření 12 (vertikální přenos 2.NP → 1.NP):**

Finální nášlapná vrstva: lepené dubové parkety.

Výsledek:  $L'_{n,w,12} (C_{I,12}) = 70 (-8) \text{ dB}$ ;  $C_{I,50-2500} = -8 \text{ dB}$ .

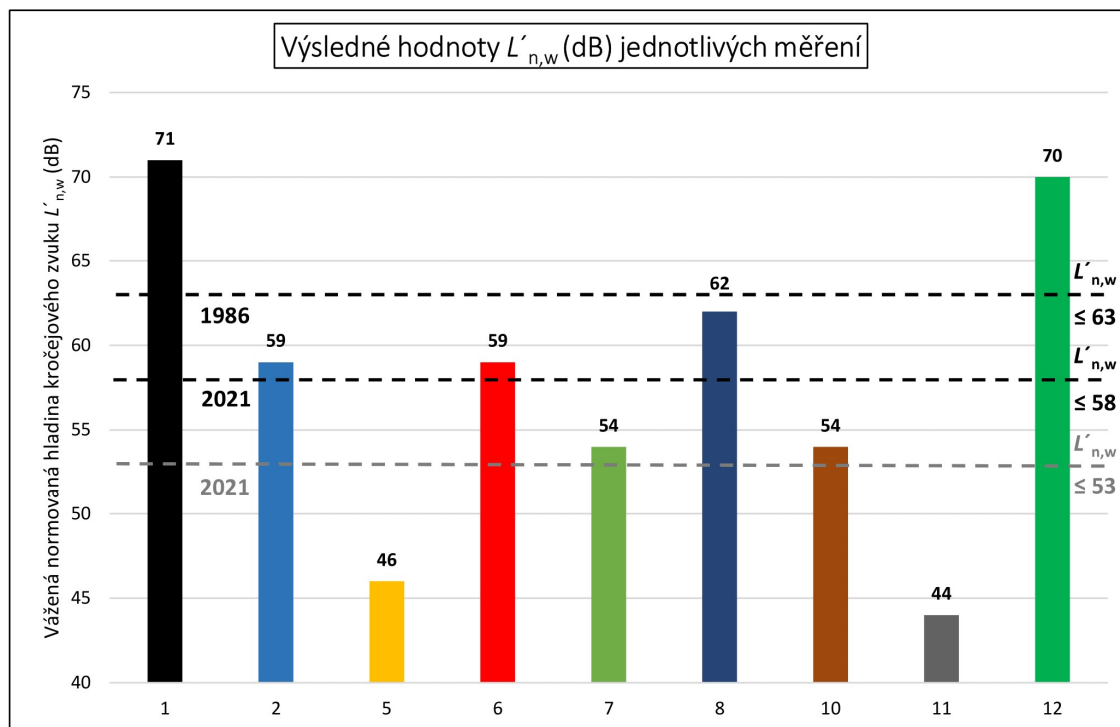
*Obrázek 7.30: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 12 [foto pořízeno autorem]*

**Měření 13 (horizontální přenos z chodby v 1.NP):**

Finální nášlapná vrstva: lepená keramická dlažba.

Výsledek:  $L'_{nT,w,13} (C_{I,13}) = 61 (-6) \text{ dB}$ ;  $C_{I,50-2500} = -6 \text{ dB}$ .

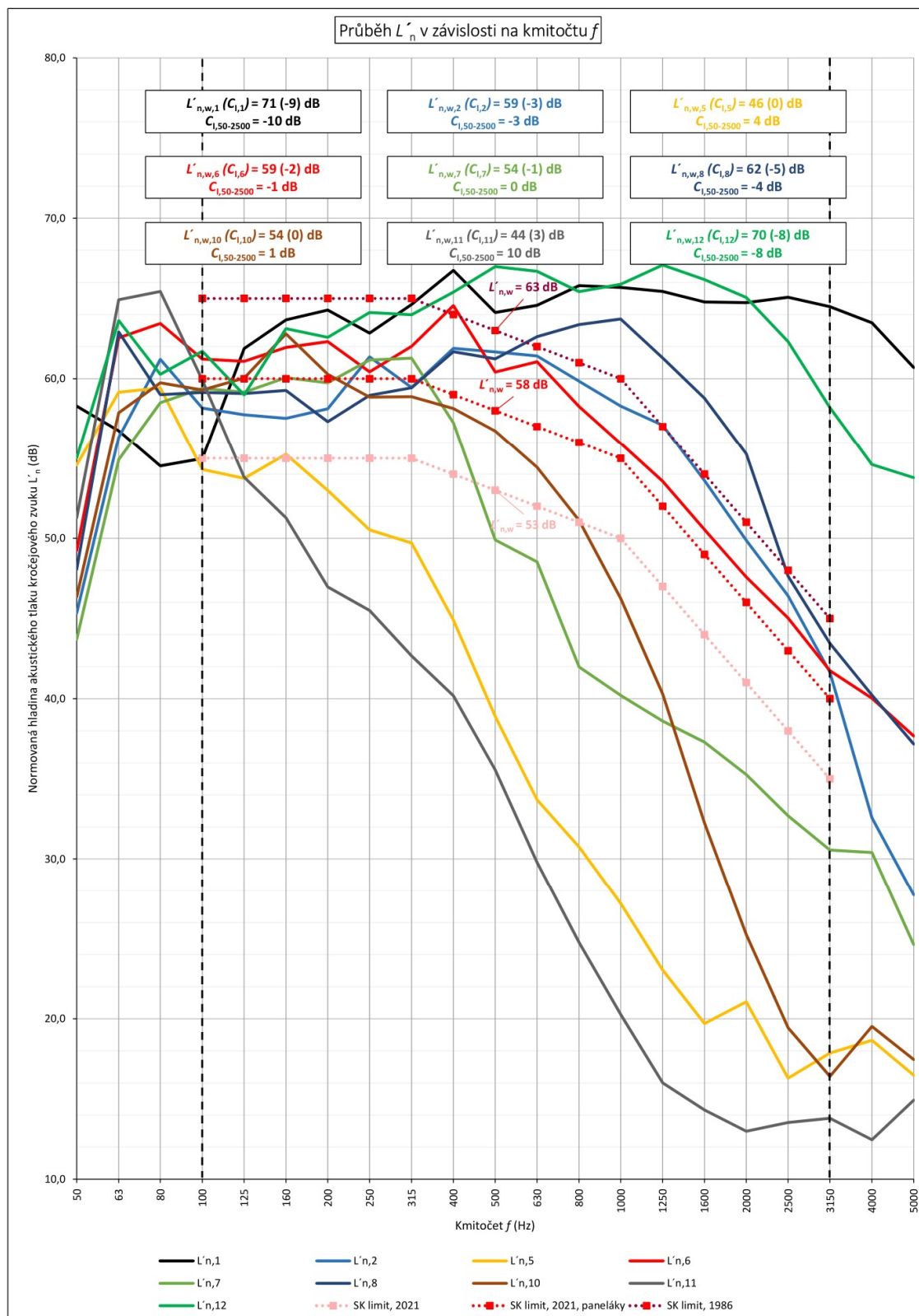
*Obrázek 7.31: Poloha klepacího zařízení v průběhu měření 13 [foto pořízeno autorem]*



Obrázek 7.32: Porovnání dosažených vážených hodnot  $L'_{n,w}$  (dB) v případě vertikálního přenosu situací experimentálního měření 2

| $f$<br>(Hz)           | $L'_{n,1}$<br>(dB) | $L'_{n,2}$<br>(dB) | $L'_{n,5}$<br>(dB) | $L'_{n,6}$<br>(dB) | $L'_{n,7}$<br>(dB) | $L'_{n,8}$<br>(dB) | $L'_{n,10}$<br>(dB) | $L'_{n,11}$<br>(dB) | $L'_{n,12}$<br>(dB) |
|-----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 50                    | 58,3               | 45,3               | 54,6               | 49,2               | 43,7               | 48,1               | 46,4                | 51,3                | 55,0                |
| 63                    | 56,7               | 56,3               | 59,2               | 62,5               | 54,9               | 62,9               | 57,9                | 64,9                | 63,6                |
| 80                    | 54,5               | 61,2               | 59,4               | 63,4               | 58,5               | 59,0               | 59,7                | 65,4                | 60,3                |
| 100                   | 55,0               | 58,2               | 54,3               | 61,2               | 59,4               | 59,1               | 59,3                | 59,9                | 61,7                |
| 125                   | 61,9               | 57,7               | 53,7               | 61,1               | 59,2               | 59,1               | 60,0                | 53,8                | 59,0                |
| 160                   | 63,7               | 57,5               | 55,2               | 62,0               | 60,1               | 59,3               | 62,8                | 51,3                | 63,1                |
| 200                   | 64,3               | 58,1               | 53,0               | 62,3               | 59,7               | 57,3               | 60,3                | 47,0                | 62,6                |
| 250                   | 62,8               | 61,4               | 50,5               | 60,4               | 61,2               | 59,0               | 58,8                | 45,5                | 64,1                |
| 315                   | 64,6               | 59,4               | 49,7               | 62,0               | 61,3               | 59,4               | 58,9                | 42,7                | 64,0                |
| 400                   | 66,8               | 61,9               | 44,9               | 64,6               | 57,3               | 61,7               | 58,1                | 40,2                | 65,4                |
| 500                   | 64,1               | 61,7               | 38,9               | 60,4               | 49,9               | 61,2               | 56,7                | 35,6                | 67,0                |
| 630                   | 64,6               | 61,4               | 33,7               | 61,1               | 48,5               | 62,6               | 54,4                | 29,8                | 66,7                |
| 800                   | 65,8               | 59,8               | 30,8               | 58,3               | 42,0               | 63,4               | 51,1                | 24,8                | 65,4                |
| 1000                  | 65,7               | 58,3               | 27,2               | 56,0               | 40,2               | 63,7               | 46,3                | 20,3                | 65,9                |
| 1250                  | 65,4               | 57,1               | 23,0               | 53,6               | 38,6               | 61,3               | 40,3                | 16,0                | 67,1                |
| 1600                  | 64,8               | 53,6               | 19,7               | 50,5               | 37,3               | 58,8               | 32,3                | 14,3                | 66,2                |
| 2000                  | 64,7               | 49,9               | 21,1               | 47,6               | 35,3               | 55,3               | 25,2                | 13,0                | 65,1                |
| 2500                  | 65,1               | 46,4               | 16,3               | 45,0               | 32,7               | 47,6               | 19,4                | 13,5                | 62,3                |
| 3150                  | 64,5               | 41,6               | 17,9               | 41,7               | 30,6               | 43,5               | 16,4                | 13,8                | 58,2                |
| 4000                  | 63,5               | 32,6               | 18,7               | 40,0               | 30,4               | 40,2               | 19,5                | 12,5                | 54,6                |
| 5000                  | 60,7               | 27,7               | 16,5               | 37,7               | 24,6               | 37,2               | 17,5                | 14,9                | 53,8                |
| $L'_{n,w}$ (dB)       | 71                 | 59                 | 46                 | 59                 | 54                 | 62                 | 54                  | 44                  | 70                  |
| $C_{1,100-3150}$ (dB) | -9                 | -3                 | 0                  | -2                 | -1                 | -5                 | 0                   | 3                   | -8                  |
| $C_{1,50-2500}$ (dB)  | -10                | -3                 | 4                  | -1                 | 0                  | -4                 | 1                   | 10                  | -8                  |

Tabulka 7.3: Zjištěné hodnoty  $L'_n$  (dB) v případě vertikálního přenosu situací experimentálního měření 2



**Obrázek 7.33:** Průběh  $L'_n$  (dB) v případě vertikálního přenosu porovnávaných situací experimentálního měření 2

Ve znázorněných grafech pro vertikální přenos (byt – byt) jsou pokaždé uvedeny 3 různé hodnoty normových požadavků. Nejvyšší hodnota  $L'_{n,w} = 63 \text{ dB}$  odpovídá

požadavku platnému v době vydání stavebního povolení okolo roku 1986. U bytů, které již prošly rekonstrukcí, nejsou nyní směrodatné, avšak je zajímavé se zaměřit na výsledky měření 2 a 6, při nichž byla kročejová neprůzvučnost posuzována v bytech, které si zachovaly původní PVC podlahovinu bez další přídavné vrstvy (např. v podobě koberce). V obou případech vychází vážená normovaná hladina kročejového zvuku  $L'_{n,w} = 59$  dB. Tehdejší provedení podlah tak vyhovovalo s poměrně slušnou rezervou na straně bezpečnosti. Jak je známo, z dnešního pohledu by sice obě situace nepostačovaly, avšak dokud se do nich nebude zasahovat, nemůže proti nim být vznesena žádná námitka.

Druhý a třetí uvedený požadavek je již současně platný podle aktualizovaného vydání ČSN 73 0532. Třetí hodnota  $L'_{n,w} = 53$  dB je základní požadavek, který se vztahuje na všechny novostavby bytových domů i rekonstrukce těch stávajících. V případě staré výstavby (a především právě té panelové) však norma v otázce kročejové neprůzvučnosti uděluje výjimku, jelikož si její autoři uvědomují, že jisté situace dodatečná zvukově izolační opatření v podobě plovoucích podlah neumožňují. Místo 53 dB je tak požadována hodnota 58 dB, se kterou jsou stropní konstrukce panelových domů běžně porovnávány. Při uvažování této hodnoty by pak splňovaly požadavek stropní konstrukce z měření 5, 7, 10 a 11, což je názorně ukázáno v grafu na obrázku 7.32. Situace z měření 2 a 6 by teoreticky požadavek nesplňovaly, neoprávněnost tohoto závěru však byla vysvětlena již výše.

Pozitivním zjištěním měření je, že případný požadavek  $L'_{n,w} \leq 53$  dB by splňovaly konstrukce z měření 5 a 11, při nichž zůstala na železobetonovém panelu původní PVC podlahovina a na ni byl navíc položen koberec.

Při všech uvažovaných normových požadavcích pak výrazně neuspěly dvě situace. První je lepení keramické dlažby přímo na prefabrikovaný stropní panel z měření 1. Vážená normovaná hladina kročejového zvuku  $L'_{n,w} = 71$  dB. Toto provedení prakticky není potřeba nijak komentovat, samotný průběh na obrázku 7.33 je více než výstižný. Téměř identická situace ( $L'_{n,w} = 70$  dB) pak nastává v případě měření 12, ve kterém byla testovaným povrchem byla nášlapná vrstva v podobě lepených dubových parket. Obě provedení jsou zcela nevhodná, jelikož při nich víceméně nedochází k žádnému kročejovému útlumu. Autor se tak bude v rámci práce již potřetí opakovat, avšak v tomto případě je citovaný výrok zcela zřejmý a výstižný – *průběh hladiny akustického tlaku kročejového zvuku s dominantními vyššími kmitočty obvykle ukazuje na pevné propojení s navazující konstrukcí a přenos hluku tímto propojením.* [51]

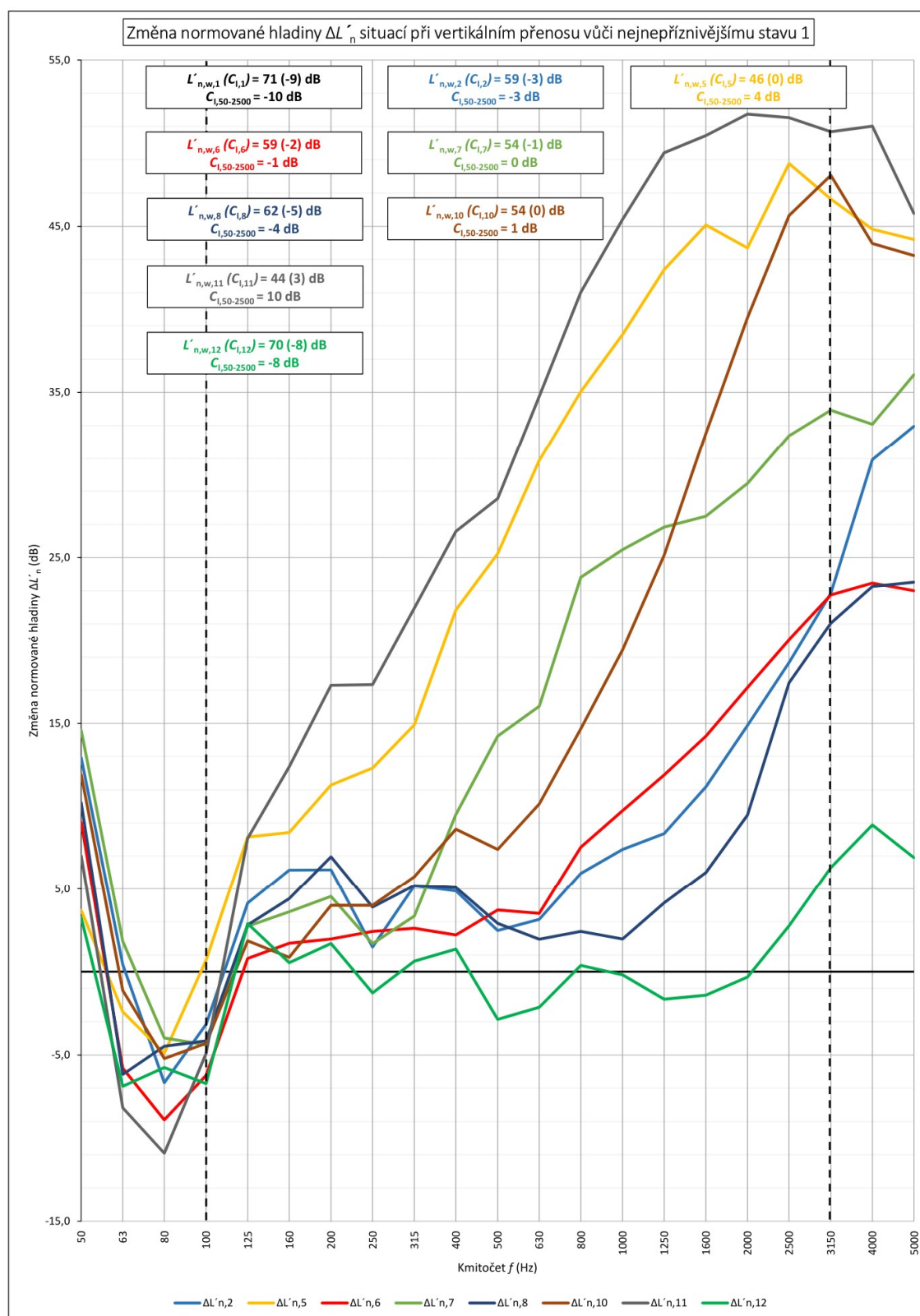
Při měřeních 7 a 8 byla nášlapná vrstva v lehkém plovoucím provedení. V prvním případě byly na podložce s funkcí kročejového útlumu (Mirelonu) položeny laminátové desky, ve druhém pak vinylová podlahovina. Zatímco první varianta dosahovala poměrně slušných výsledků ( $L'_{n,w} = 54$  dB), druhá měla váženou hodnotu o 8 dB horší, tedy

$L'_{n,w} = 62$  dB. Z průběhů v grafu na obrázku 7.33 je zřejmé, že rozdíl mezi nimi se začal projevovat již na kmitočtu 315 Hz – zatímco u laminátové podlahy docházelo k poklesu normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB), u vinylové naopak k růstu, který se zlomil až na kmitočtu 1000 Hz. Autor toto provedení podezírá z absence kročejové podložky, především kvůli závěrům z prvního experimentálního měření, kde podlaha s vinylem dosahovala lepších výsledků než s laminátem. Majitel bytu si též nebyl zcela jist, zda podložka pod podlahovinou skutečně je. Tuto informaci mu pouze sdělil bývalý vlastník.

Hodnota 54 dB, kterou zaznamenala laminátová podlaha, vyšla i v případě měření 10, při němž nášlapnou vrstvou byl koberec položený na původní PVC podlahovině. Při tomto provedení si byly obě možnosti svým průběhem normované hladiny  $L'_n$  (dB) poměrně podobné, na frekvencích od 1250 Hz však došlo u laminátové podlahy ke zvýšeným hodnotám. Před zahájením měření si majitelé bytu pod touto konkrétní zkoušenou konstrukcí stěžovali na poměrně výrazný kročejový zvuk. Měření prokázalo, že z hlediska vážené hodnoty je konstrukce v pořádku, slyšitelný problém však mohl být způsoben nárůstem normované hladiny právě na těchto středních a vyšších frekvencích.

Jako poslední jsou porovnány situace 5 a 11, které z celého souboru měření vyšly nejlépe. Důvodem bylo opět položení koberce na původní PVC podlahovinu. Ačkoliv se může na první pohled měření 11, jehož hodnota vážené normované hladiny kročejového zvuku vyšla  $L'_{n,w} = 44$  dB, jevit jako nejvhodnější, z autorova pohledu nejlepších výsledků dosahuje měření 5. Při něm sice vycházela hodnota  $L'_{n,w} = 46$  dB, avšak podstatným rozdílem, který není vážením vůči směrné křivce zohledněn, je zde přenos kročejového zvuku na nízkých frekvencích. Ten byl u situace 11 ze všech měřených konstrukcí jednoznačně nejhorší, což dokazuje i faktor přizpůsobení spektru  $C_{1,50-2500}$  (dB), jehož hodnota dosahuje 10 dB, zatímco při situaci 5 pouhých 4 dB. Jeho zvýšené hodnoty pravděpodobně způsoboval akustický podhled pod zkoušenou stropní konstrukcí. Přestože by měl teoreticky napomáhat ke snížení vnímaného kročejového zvuku (což nelze v tomto případě s určitostí potvrdit, protože koberec v místnosti zdroje mohl být ze všech uvedených z hlediska kročejového útlumu jednoduše nejlepší), v tomto případě způsoboval mírnou rezonanci, která se projevila právě na nízkých kmitočtech. Po dotázení bylo totiž zjištěno, že vzduchová mezera pod stropní konstrukcí byla zaplněna minerální vatou v celém objemu. Správně by však měla nad vatou vždy zůstat malá mezera vzduchu. V celém průběhu zvukoizolačního pásma lze od kmitočtu 125 Hz spatřit, že hodnoty normované hladiny kročejového zvuku  $L'_n$  (dB) byly v případě měření 11 viditelně nižší, stropní konstrukce tak měla velice dobrý kročejový útlum. Bohužel přenos na nízkých frekvencích ji „posunul“ na druhé místo. Bez něj by navíc vážená hodnota  $L'_{n,w}$  (dB) byla ještě nižší.

Zároveň byla vytvořena tabulka a graf, ve kterém je možné sledovat změnu normované hladiny kročejového zvuku  $\Delta L'_n$  (dB) všech řešených konstrukcí oproti prvnímu měření s keramickou dlažbou, které vyšlo nejhůř (a je tak považováno za referenční).

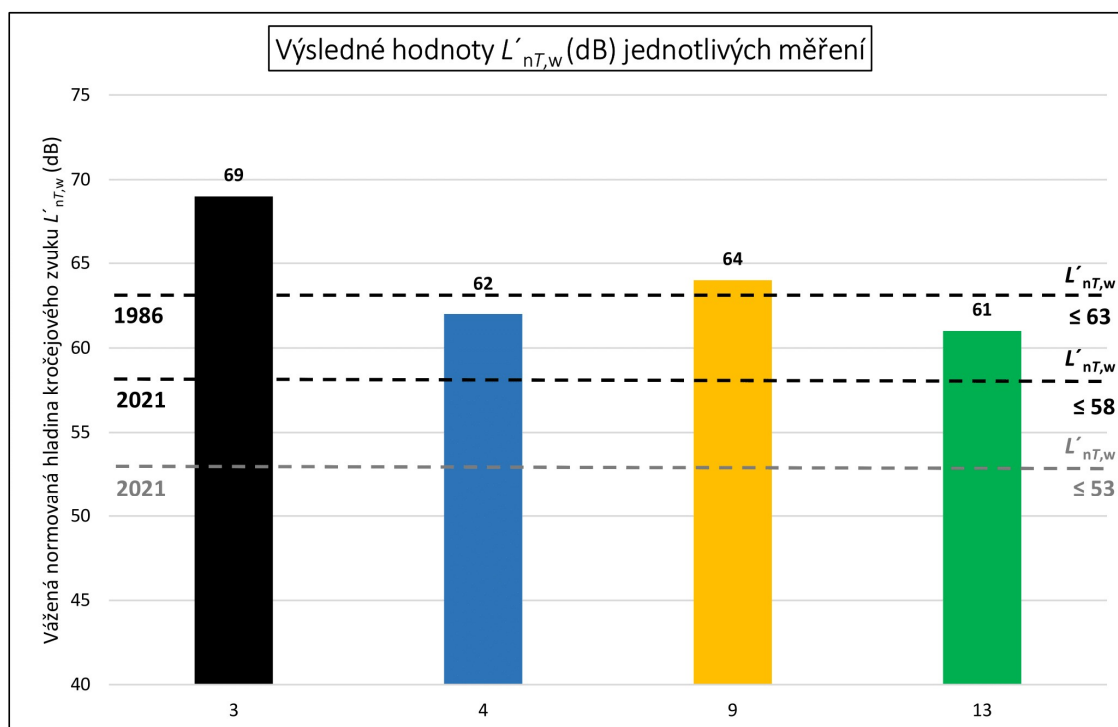


Obrázek 7.34: Průběh  $\Delta L'_n$  (dB) situací experimentálního měření porovnávaných k referenčnímu

| $f$<br>(Hz) | $\Delta L'_{n,2}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,5}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,6}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,7}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,8}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,10}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,11}$<br>(dB) | $\Delta L'_{n,12}$<br>(dB) |
|-------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| 50          | 12,9                      | 3,7                       | 9,1                       | 14,6                      | 10,2                      | 11,9                       | 7,0                        | 3,3                        |
| 63          | 0,4                       | -2,4                      | -5,8                      | 1,8                       | -6,2                      | -1,1                       | -8,2                       | -6,9                       |
| 80          | -6,7                      | -4,9                      | -8,9                      | -4,0                      | -4,5                      | -5,2                       | -10,9                      | -5,8                       |
| 100         | -3,2                      | 0,7                       | -6,2                      | -4,4                      | -4,1                      | -4,3                       | -4,9                       | -6,7                       |
| 125         | 4,1                       | 8,2                       | 0,8                       | 2,7                       | 2,8                       | 1,8                        | 8,1                        | 2,9                        |
| 160         | 6,1                       | 8,4                       | 1,7                       | 3,6                       | 4,4                       | 0,9                        | 12,4                       | 0,5                        |
| 200         | 6,2                       | 11,3                      | 2,0                       | 4,5                       | 7,0                       | 4,0                        | 17,3                       | 1,7                        |
| 250         | 1,5                       | 12,3                      | 2,4                       | 1,7                       | 3,9                       | 4,0                        | 17,3                       | -1,3                       |
| 315         | 5,2                       | 14,9                      | 2,6                       | 3,4                       | 5,2                       | 5,8                        | 22,0                       | 0,6                        |
| 400         | 4,9                       | 21,9                      | 2,2                       | 9,5                       | 5,1                       | 8,6                        | 26,6                       | 1,4                        |
| 500         | 2,5                       | 25,2                      | 3,7                       | 14,2                      | 2,9                       | 7,4                        | 28,6                       | -2,9                       |
| 630         | 3,1                       | 30,9                      | 3,5                       | 16,0                      | 2,0                       | 10,1                       | 34,8                       | -2,1                       |
| 800         | 6,0                       | 35,0                      | 7,5                       | 23,8                      | 2,4                       | 14,7                       | 41,0                       | 0,4                        |
| 1000        | 7,4                       | 38,5                      | 9,7                       | 25,5                      | 2,0                       | 19,4                       | 45,4                       | -0,2                       |
| 1250        | 8,3                       | 42,4                      | 11,9                      | 26,8                      | 4,1                       | 25,1                       | 49,4                       | -1,7                       |
| 1600        | 11,2                      | 45,1                      | 14,2                      | 27,5                      | 6,0                       | 32,5                       | 50,5                       | -1,4                       |
| 2000        | 14,9                      | 43,7                      | 17,2                      | 29,5                      | 9,5                       | 39,5                       | 51,8                       | -0,3                       |
| 2500        | 18,7                      | 48,8                      | 20,0                      | 32,4                      | 17,4                      | 45,6                       | 51,5                       | 2,8                        |
| 3150        | 22,8                      | 46,6                      | 22,7                      | 33,9                      | 21,0                      | 48,1                       | 50,7                       | 6,3                        |
| 4000        | 30,9                      | 44,8                      | 23,5                      | 33,1                      | 23,3                      | 44,0                       | 51,0                       | 8,9                        |
| 5000        | 33,0                      | 44,2                      | 23,0                      | 36,1                      | 23,5                      | 43,2                       | 45,8                       | 6,9                        |

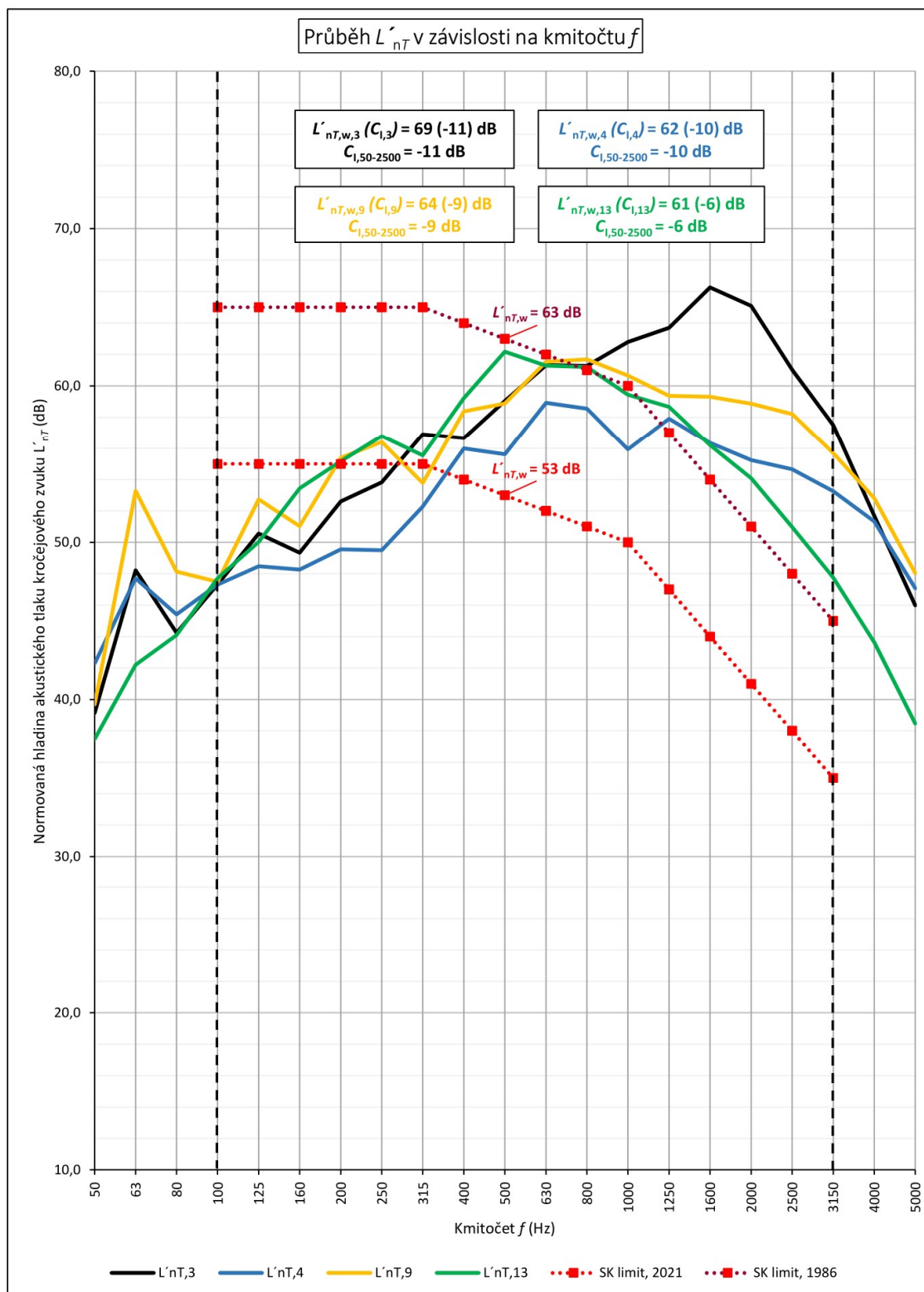
Tabulka 7.4: Vypočtené hodnoty  $\Delta L'_n$  (dB) uvedených situací vztahených k referenčnímu měření

Stejně jako pro vertikální přenos byly znázorněny výsledné hodnoty i pro horizontální přenos z prostorů chodeb do obytných místností bytů.



Obrázek 7.35: Porovnání dosažených vážených hodnot  $L'_{nT,w}$  (dB) v případě horizontálního přenosu situací experimentálního měření 2





**Obrázek 7.36:** Průběh  $L'_{nT}$  (dB) v případě horizontálního přenosu porovnávaných situací experimentálního měření 2

| $f$<br>(Hz)           | $L'_{nT,3}$<br>(dB) | $L'_{nT,4}$<br>(dB) | $L'_{nT,9}$<br>(dB) | $L'_{nT,13}$<br>(dB) |
|-----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|----------------------|
| 50                    | 39,1                | 42,3                | 39,7                | 37,5                 |
| 63                    | 48,2                | 47,7                | 53,3                | 42,2                 |
| 80                    | 44,2                | 45,4                | 48,1                | 44,1                 |
| 100                   | 47,3                | 47,3                | 47,5                | 47,7                 |
| 125                   | 50,6                | 48,5                | 52,7                | 50,0                 |
| 160                   | 49,3                | 48,3                | 51,0                | 53,4                 |
| 200                   | 52,6                | 49,6                | 55,4                | 55,2                 |
| 250                   | 53,8                | 49,5                | 56,4                | 56,8                 |
| 315                   | 56,9                | 52,3                | 53,8                | 55,5                 |
| 400                   | 56,7                | 56,0                | 58,4                | 59,2                 |
| 500                   | 59,0                | 55,6                | 58,9                | 62,2                 |
| 630                   | 61,3                | 58,9                | 61,5                | 61,3                 |
| 800                   | 61,3                | 58,6                | 61,7                | 61,2                 |
| 1000                  | 62,8                | 55,9                | 60,7                | 59,4                 |
| 1250                  | 63,7                | 57,9                | 59,4                | 58,7                 |
| 1600                  | 66,3                | 56,4                | 59,3                | 56,2                 |
| 2000                  | 65,1                | 55,2                | 58,9                | 54,1                 |
| 2500                  | 61,0                | 54,7                | 58,2                | 51,0                 |
| 3150                  | 57,5                | 53,3                | 55,7                | 47,7                 |
| 4000                  | 51,7                | 51,3                | 52,8                | 43,6                 |
| 5000                  | 46,0                | 47,1                | 48,0                | 38,5                 |
| $L'_{nT,w}$ (dB)      | 69                  | 62                  | 64                  | 61                   |
| $C_{1,100-3150}$ (dB) | -11                 | -10                 | -9                  | -6                   |
| $C_{1,50-2500}$ (dB)  | -11                 | -10                 | -9                  | -6                   |

**Tabulka 7.5:** Zjištěné hodnoty  $L'_{nT}$  (dB) v případě horizontálního přenosu experimentálního měření 2

První tři případy horizontálního přenosu z prostorů chodeb (měření 3,4 a 9) představovaly situaci, kdy klepací zařízení bylo umístěno na původní podlahovině z PVC. Výsledné vážené normované hladiny (k době dozvuku) kročejového zvuku by tak měly svou hodnotou být menší nebo rovny 63 dB, což je požadavek platný v době realizace před 35 lety. Kromě měření 4 však tento požadavek splněn není. V případě měření 9 byl sice výsledek hraniční ( $L'_{nT,w} = 64$  dB), avšak měření 3 se dřívějšímu už tak málo přísnému požadavku ani nepřiblížilo. Hodnota  $L'_{nT,w} = 69$  dB tak vybízí k myšlence, zda v době výstavby bylo s tímto přenosem kročejového zvuku uvažováno, protože u provedených podlah mezi obytnými místnostmi bytů při vertikálním přenosu bylo v předchozích grafech dokázáno, že alespoň tato problematika byla sledována.

V posledním případě horizontálního přenosu je výsledná vážená hodnota nejlepší ( $L'_{nT,w} = 61$  dB), avšak keramická dlažba byla v 1.NP provedena teprve před několika lety, kdy již platil snížený požadavek na panelové domy  $L'_{nT,w} \leq 58$  dB. Realizace je tak z pohledu tohoto požadavku nevhodná a nedostačující.

Na všech průbězích na obrázku 7.36 je možné spatřit nepříznivý rostoucí trend normované hladiny kročejového zvuku  $L'_{nT}$  (dB), který se láme až na kmitočtu 800 Hz, v nejhorším případě až na 1600 Hz. Provedení nášlapných vrstev chodeb je tak v tomto panelovém domě velmi špatné, což prokázaly všechny změřené vzorky.

## 7.2.4 Závěry experimentálního měření 2

Toto experimentální měření, které má s prvním (dříve provedeným) společnou základní problematiku týkající se finálních nášlapných vrstev, je ve výsledku svým praktickým dosahem zcela rozdílné. Na základě zjištěných výsledků je velice zajímavé sledovat změny, které mohou způsobit různé tenké vrstvy materiálů umístěných na nosné konstrukci stropu. Původní provedení, které zajišťovalo splnění normových požadavků ( $L'_{n,w} = 59 \text{ dB} \leq 63 \text{ dB}$ ), je v současné době zastaralé. Obecně však všechny byty měly na začátku z hlediska kročejové neprůzvučnosti stejnou akustickou úroveň. Postupnými zásahy pak ale tuto rovnováhu nájemníci pozměnili, přičemž způsob těchto zásahů určoval, zda k lepšímu, nebo také k horšímu. Vzhledem k tomu, že stropní konstrukce nebyly provedeny jako plovoucí (případ experimentálního měření 1), tyto zásahy se mohou po aplikaci projevit daleko výrazněji, než jak tomu bylo v kapitole 7.1. Na základě provedených měření lze pak sledovat, že nejlepších výsledků bylo dosaženo v případech, kdy na původní PVC podlahovinu byl položen koberec. Samozřejmě opět platí, že útlum každého koberce je různý. Jeho položením se však situace nikdy nezhorší.

Ne každý chce však mít ve svém bytě koberec, ať už z jakéhokoliv důvodu. Navíc pokud si nájemce či vlastník bytu, neznalý základních zásad odhlučnění podlahy, provede nášlapnou vrstvu v podobě keramické dlažby (či jakéhokoliv jiného tvrdého materiálu přímo nalepeného na stropní panel), těžko pak bude sousedem ze spodního patra přesvědčen, aby ji vyměnil za materiál s lepším kročejovým útlumem. Vždy je lepší nad tímto problémem předem uvažovat, aby se předešlo případným budoucím sporům. Vše však záleží na ochotě a vstřícnosti sousedů.

V situacích, kdy je provedení v horním bytě nevyhovující či vyloženě špatné a z této strany není vůle k nápravě, je další (avšak již méně efektivní) možností, udělat změny ve svém vlastním bytě. Kročejový zvuk se přenáší konstrukcemi, tedy stropem, ale i stěnami. Lze tak provést odhlučnění stropu pomocí akustického podhledu, které však v některých případech může způsobit problém na nízkých frekvencích, jak názorně ukázalo provedené experimentální měření. Navíc dochází ke snížení světlé výšky místnosti. V ojedinělých případech byly dokonce realizovány sádkartonové předstěny se vzduchovou mezerou vyplněnou pohltivým materiálem. Velikou nevýhodou tohoto řešení je však zmenšení bytové plochy, které může být především u malých bytů velmi značné. Dokonalá tedy tato dodatečná řešení nejsou, a stále tak platí, že ze všeho nejlepší je domluvit se se sousedy na ideálním výběru nášlapné vrstvy podlahy, která bude vhodná nejen vzhledově, ale i z pohledu dostatečného kročejového útlumu. [55]

V části příloh jsou opět v tabulkách a grafech uvedeny naměřené hodnoty včetně potřebných výpočtů. Zároveň jsou zde vždy popsána kmitočtová pásma, ve kterých bylo během výpočtu potřeba použít korekci 1,3 dB na hluk pozadí.

## C) MODELOVÁNÍ KROČEJOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI

V poslední třetí části se práce věnuje výběru zvukoizolačních podložek ve skladbě stropních konstrukcí, jejichž podlahy jsou provedeny jako plovoucí. Výběr konkrétní kročejové izolace má v rámci návrhu největší vliv na výslednou kročejovou neprůzvučnost. U kvalitního projektu, který počítá s případnými budoucími nedostatky, které se mohou na stavbě stát a které byly popsány především v kapitole 5, se přirozeně zvyšuje pravděpodobnost, že při kontrolním měření kročejové neprůzvučnosti konstrukce vyhoví normovým požadavkům. Způsob výpočtu, jehož výsledkem je pouze laboratorní hodnota  $L_{n,w}$  (dB) (resp. stavební  $L'_{n,w}$  (dB) získaná využitím předběžně stanovené korekce  $k_2$  (dB)), je tak kromě vlastních zkušeností schopného projektanta zcela určující.

Cílem této části není postihnout a představit široké spektrum zvukoizolačních podložek použitelných v praxi. Na základě kapitoly 6.1.1, v níž byly představeny stropní konstrukce, jejichž výsledky z konkrétních stavebních měření dokazovaly nejen kvalitní provedení, ale právě i samotný návrh, budou provedeny vlastní výpočty, které budou sledovat možnou shodu či neshodu projektovaných a stavebně změřených hodnot kročejové neprůzvučnosti.

Pro tři vybrané konstrukce byly vždy provedeny tři různé způsoby výpočtu vážené normované hladiny kročejového zvuku  $L_{n,w}$  (dB), aby mohly být následně mezi sebou porovnány a podrobeny analýze, nakolik přesné tyto způsoby jsou pro praktické využití.

První aplikací je výpočet pomocí technické metody doc. Čechury. Druhou přesný výpočet podle ČSN EN ISO 12354-2 v příloze B, třetí použití uznávaného softwaru INSUL 9.0.

Všechny provedené výpočty a protokoly jsou uvedeny v části příloh.

## 8 Výpočtová metodika

### 8.1 Skladby posuzovaných konstrukcí

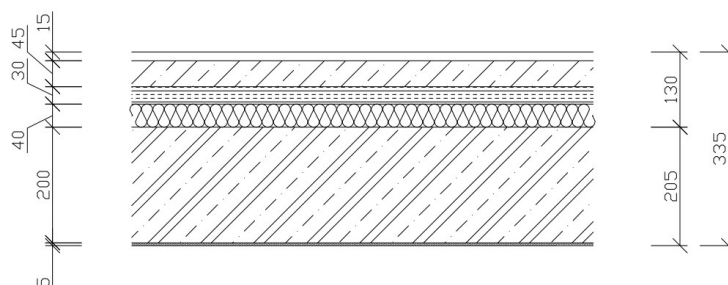
V kapitole 6.1.1 byly již posuzované konstrukce představeny. Pro upřesnění však budou jejich skladby popsány i v této kapitole. Při popisu konkrétní kročejové izolace jsou zároveň uvedeny její parametry, které jsou klíčové pro samotné výpočty. Jsou jimi dynamická tuhost  $s'$  (MPa/m), objemová hmotnost  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) a vnitřní ztrátový činitel zvukoizolační podložky  $\eta_d$  (-). Hodnoty prvních dvou parametrů byly převzaty z jednotlivých technických listů výrobců, velikost ztrátového činitele odpovídá hodnotám, které byly nalezeny v knihovně materiálů programu INSUL 9.0.

**Skladba stropní konstrukce 1:**

- (desky na bázi dřeva tl. 12 mm),
- (Mirelon tl. 3 mm),
- anhydrit tl. 45 mm,
- PE folie,
- kročejový polystyren EPS-T 3500 tl. 30 mm,
  - $s' = 15 \text{ MPa/m}$  [56],  $\rho = 12,5 \text{ kg/m}^3$  [57],  $\eta_d = 0,2$
- (tepelná izolace – polystyren 100Z tl. 40 mm),
- železobetonová deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 280 (335) mm.

$L'_{n,w} = 41 \text{ dB}$ .



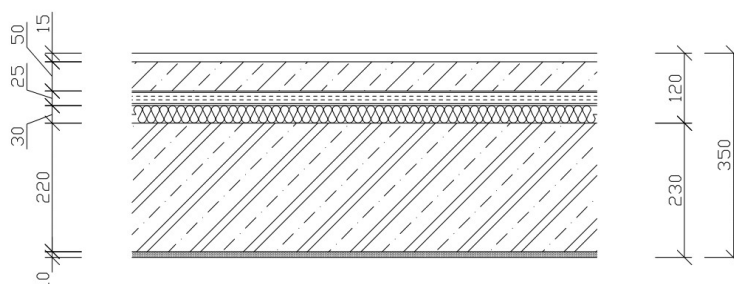
**Obrázek 8.1:** Stropní konstrukce 1

**Skladba stropní konstrukce 2:**

- (dřevěné lamely tl. 13 mm),
- (Mirelon tl. 2 mm),
- vyztužená betonová mazanina tl. 50 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace Styrofloor T5 tl. 25 mm,
  - $s' = 15 \text{ MPa/m}$  [58],  $\rho = 18 \text{ kg/m}^3$  [59],  $\eta_d = 0,18$
- (tepelná izolace – EPS desky tl. 30 mm),
- železobetonová deska tl. 220 mm,
- sádrová omítka tl. 10 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 305 (350) mm.

$L'_{n,w} = 41 \text{ dB}$ .



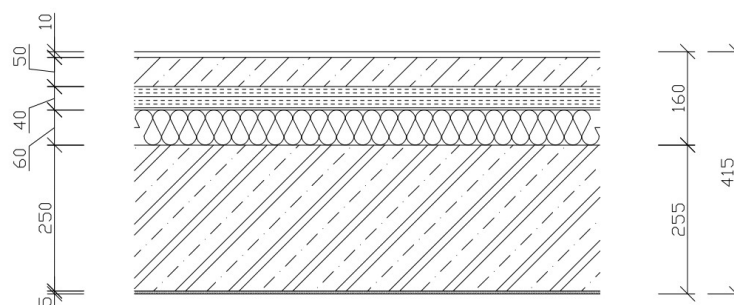
Obrázek 8.2: Stropní konstrukce 2

**Skladba stropní konstrukce 5:**

- (lepené dýhované vícevrstvé desky tl. 10 mm),
- anhydrit tl. 50 mm,
- PE folie,
- kročejová izolace ISOVER (typ TDPT) tl. 40 mm,
  - $s' = 9 \text{ MPa/m}$  [60],  $\rho = 100 \text{ kg/m}^3$  [60],  $\eta_d = 0,25$
- (tepelná izolace – ISOVER (typ EPS 150) tl. 60 mm),
- železobetonová deska tl. 250 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 345 (415) mm.

$L'_{n,w} = 42 \text{ dB}$ .



Obrázek 8.3: Stropní konstrukce 5

Popisky v kulatých závorkách nejsou součástí výpočtů. Finální nášlapné vrstvy se kvůli další přidané podložce s funkcí kročejového útlumu (Mirelon) těžko ve výpočtu zohledňují. Proto je jejich dodatečný vliv následně předpokládán pomocí zkušenosti, kterou je možné zobecnit i na základě předchozích uvedených experimentálních měření. Tepelná izolace má na rozdíl od kročejové izolace vyšší tuhost, tudíž její případný vliv je zde ve prospěch bezpečnosti zanedbán. Výše uvedené stavební hodnoty  $L'_{n,w}$  (dB) byly původně stanoveny včetně těchto vynechaných vrstev, výsledky výpočtů tak nemohou být považovány za zcela odpovídající daným situacím.

## 8.2 Výpočetní modely

### 8.2.1 Technická metoda

Technická metoda pro zjištění normovaných hladin kročejového zvuku  $L_n$  (dB) je závislá na hodnotách neprůzvučnosti  $R$  (dB), které jsou též stanoveny technickou metodou (opět od doc. Čechury – odvození podle početně–grafické Wattersovy metody). Detailnější popis a vysvětlení těchto postupů je uvedeno v publikaci „Kaňka, Nováček: Stavební fyzika 3 – Akustika pozemních staveb“ (případně v kapitole 3.1.1). Zároveň podle ní byly uvažovány vstupní údaje nosných a roznášecích konstrukcí – objemová hmotnost  $\rho$  ( $\text{kg/m}^3$ ), rychlost šíření zvuku podélných vln  $c_L$  ( $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a vnitřní ztrátový činitel  $\eta_{\text{int}}$  (-). [7]

Pro potřeby práce jsou níže uvedeny pouze důležité výpočtové vzorce. Samotný výpočet byl proveden v programu Microsoft Excel.

Po stanovení normovaných hladin kročejového zvuku  $L_n$  (dB) jednoduché stropní desky představuje výpočet postupy, které byly použity též v kapitole 2.9.

#### a) Výpočet neprůzvučnosti jednoduché konstrukce (nosné nebo roznášecí)

*Jednoduchými konstrukcemi jsou myšleny deskové prvky tvořené jednou vrstvou materiálu nebo více vrstvami různých materiálů s podobnými mechanickými parametry (omítky apod). ... Metoda zjednodušuje a nahrazuje skutečný průběh neprůzvučnosti  $R$  v závislosti na kmitočtu  $f$  v podobě tříkrát lomené čáry. Body zlomu (v místech zlomových kmitočtů) rozdělují zvukově izolační pásmo (100 až 3150 Hz) na čtyři oblasti, z nichž každá se chová jinak. [3]*

#### Vzorce:

- Kritický kmitočet:

$$f_{\text{cr}} \cong \frac{63734}{c_L h} \quad (8.1)$$

- Plošná hmotnost:

$$m' = \sum_i \rho_i m_i \quad (8.2)$$

- Celkový ztrátový činitel pro laboratorní situaci v okolí kritického kmitočtu:

$$\eta_{\text{tot}} = \eta_{\text{int}} + \frac{m'}{485\sqrt{f_{\text{cr}}}} \quad (8.3)$$

- případně je  $f_{\text{cr}}$  (Hz) nahrazeno příslušným třetinooktávovým pásmem, do kterého zjištěný kritický kmitočet  $f_{\text{cr}}$  spadá

- Zlomové kmitočty:

$$f_A = 0,4f_{cr}\eta_{tot}^{0,1} \quad (8.4)$$

$$x = 1,33\eta_{tot}^{-0,157} \quad (8.5)$$

$$f_B = 2^x f_A \quad (8.6)$$

$$f_C = 2f_B \quad (8.7)$$

- Neprůzvučnost v bodech A ( $f_A$ ), B ( $f_B$ ) a C ( $f_C$ ):

$$R_A = R_B = 20 \lg(m' f_A) - 47,5 \quad (8.8)$$

$$R_C = R_B + 10 \quad (8.9)$$

Následně se vypočtou neprůzvučnosti  $R$  (dB) pro jednotlivé kmitočty v třetinooktávovém pásmu a jejich hodnoty se vynesou do normalizovaného diagramu. Každý příslušný kmitočet je počítán dle oblasti, do které spadá (viz tabulka 8.1). Tyto oblasti vymezují zlomové kmitočty  $f_A$ ,  $f_B$  a  $f_C$ . Pro výpočet vážené neprůzvučnosti  $R_w$  (dB) se vynesou hodnoty  $R$  do tabulky a porovnávají s hodnotami směrné křivky, dokud není součet nepříznivých odchylek  $\Delta_i$  menší nebo roven číslu 32,0 dB. [3]

| Oblast | Interval kmitočtů     | Vztah pro výpočet $R$ (dB)     |
|--------|-----------------------|--------------------------------|
| I.     | $f \leq f_A$          | $R = R_A + 20 \lg(f/f_A)$      |
| II.    | $f_A \leq f \leq f_B$ | $R = R_A$                      |
| III.   | $f_B \leq f \leq f_C$ | $R = R_A + (100/3) \lg(f/f_B)$ |
| IV.    | $f \geq f_C$          | $R = R_A + 10 + 20 \lg(f/f_C)$ |

Tabulka 8.1: Výpočet hodnot neprůzvučnosti jednoduché konstrukce [7]

### b) Výpočet normované hladiny kročejového zvuku pro strop s podlahou

Podle polohy kritického kmitočtu  $f_{cr}$  (Hz) je výpočet normované hladiny kročejového zvuku  $L_{n1}$  (dB) nosné desky (resp.  $L_{n2}$  (dB) roznášecí desky) pomocí neprůzvučností  $R$  (dB) rozdělen na dvě části. Pro polohy třetinooktávových pásem  $f \leq f_{cr}$  platí

$$L_n = 38 + 10 \lg(f_{cr}) + 20 \lg(f) - R \quad (8.10)$$

zatímco pro  $f > f_{cr}$  platí

$$L_n = 38 + 30 \lg(f) - R \quad (8.11)$$



Vážená normovaná hladina  $L_{n,w}$  (dB) jednoduchých konstrukcí je pak stanovena podle postupu popsaného v kapitole 2.6. [7]

Při provedení plovoucí podlahy však výpočet pokračuje dál.

- Kombinace normovaných hladin  $L_n$  nosné a roznášecí desky:

$$L_{nm} = -20 \lg \left( 10^{-\frac{L_{n1}}{20}} + 10^{-\frac{L_{n2}}{20}} \right) \quad (8.12)$$

- Rezonanční kmitočet plovoucí podlahy:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{s' \left( \frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (8.13)$$

- Kročejový útlum způsobený těžkou plovoucí podlahou:

$$D_L = 10 \lg \left\{ \left[ \cos \frac{\pi f}{f_1} - \left( \frac{f f_1}{\pi f_r^2} \right) \sin \frac{\pi f^2}{f_1} \right]^2 + \left[ 1 + \left( \frac{f f_1}{\pi f_r^2} \right)^2 \right] \sinh^2 \frac{\eta_d \pi f}{f_1} \right\} \quad (8.14)$$

- Výsledná normovaná hladina kročejového zvuku  $L_n$  (dB):

$$L_n = L_{nm} - D_L \quad (8.15)$$

Vážená hodnota  $L_{n,w}$  (dB) stropu s podlahou se opět stanoví běžným způsobem.

## 8.2.2 Metoda podle ČSN EN ISO 12354-2 přílohy B

Metoda podle evropské normy je o poznání jednodušší. Jsou podle ní přímo stanoveny normované hladiny kročejového zvuku  $L_n$  (dB) bez předchozí znalosti neprůzvučnosti  $R$  (dB). Stačí tak znát pouze pár technických parametrů, jako je vnitřní ztrátový činitel nosné konstrukce  $\eta_{int}$  (-), plošná hmotnost  $m'$  ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$ ) nosné ( $m'_1$ ) a roznášecí ( $m'_2$ ) vrstvy a dynamická tuhost  $s'$  (MPa/m) zvukoizolační podložky. Jejich hodnoty jsou uvažovány stejné jako v případě technické metody.

Pro potřeby práce jsou níže opět uvedeny pouze důležité výpočtové vzorce.

Samotný výpočet byl proveden v programu Microsoft Excel.

### Vzorce:

- Celkový ztrátový činitel pro laboratorní situaci:

$$\eta_{tot,lab} \approx \eta_{int} + \frac{m'}{485\sqrt{f}} \quad (8.16)$$

- Doba doznívání stavebního prvku:

$$T_s = \frac{2,2}{f\eta_{tot}} \quad (8.17)$$

- Normovaná hladina kročejového zvuku nosné konstrukce:

$$L_{n1} \approx 155 - 30 \lg(m') + 10 \lg(T_s) + 10 \lg(\sigma) + 10 \lg\left(\frac{f}{f_{\text{ref}}}\right) \quad (8.18)$$

- $f_{\text{ref}}$  je referenční kmitočet;  $f_{\text{ref}} = 1000$  Hz,
- $\sigma$  je činitel vyzařování pro volné ohybové vlny (-) – pro těžké konstrukce je jeho hodnota nad  $f_{\text{cr}}$  (Hz) přibližně rovna 1 ( $\sigma \approx 1$ )

- Rezonanční kmitočet systému:

$$f_0 = 160 \sqrt{\frac{s'}{m'_2}} \quad (8.19)$$

- Snížení hladiny kročejového zvuku plovoucí podlahou:

$$\Delta L = \left(30 \lg \frac{f}{f_0}\right) \quad (8.20)$$

- Výsledná normovaná hladina kročejového zvuku  $L_n$  (dB):

$$L_n = L_{n1} - \Delta L \quad (8.21)$$

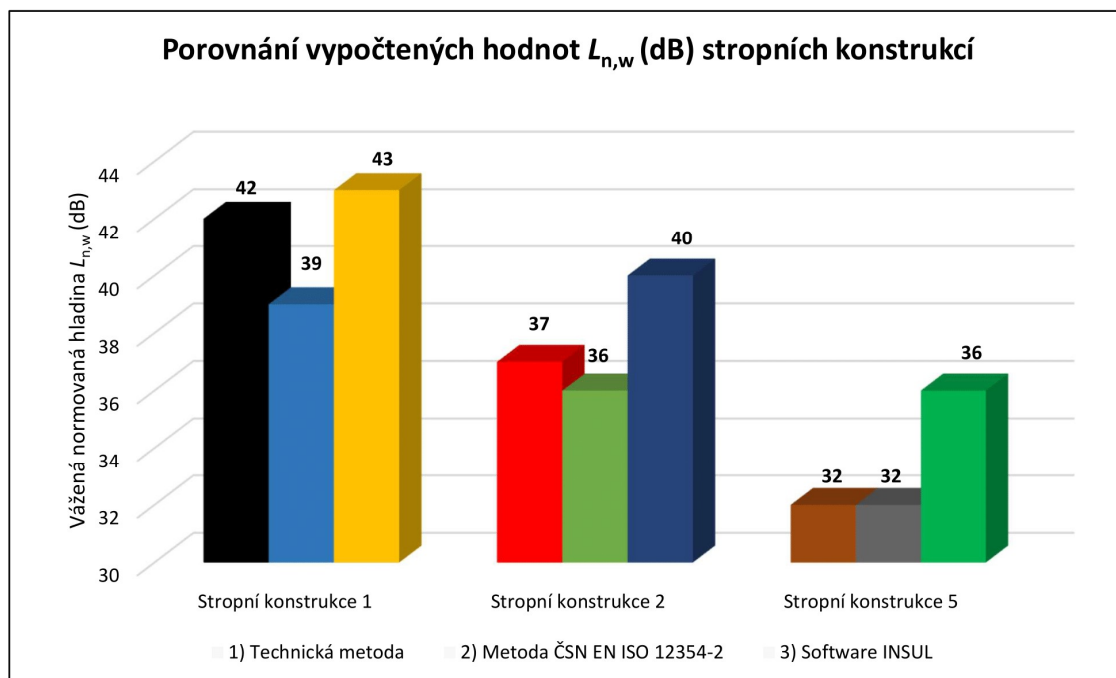
Následuje vyhodnocení vážené normované hladiny  $L_{n,w}$  (dB) stropu s podlahou.

### 8.3 Vyjádření výsledků

Všechny výpočty byly provedeny v rozsahu sledovaného zvukoizolačního pásma, tj. od 100 do 3150 Hz. Kromě vážené hodnoty  $L_{n,w}$  (dB) byl vyjádřen i faktor přizpůsobení spektru  $C_1$  (dB). Následně po přičtení korekce, která byla ve všech případech stanovena číslem 2 dB, vznikly výsledné vážené hodnoty  $L'_{n,w}$  (dB), které byly následně porovnány s reálnými výsledky ze stavby (tj.  $L'_{n,w,\text{real}}$  (dB)).

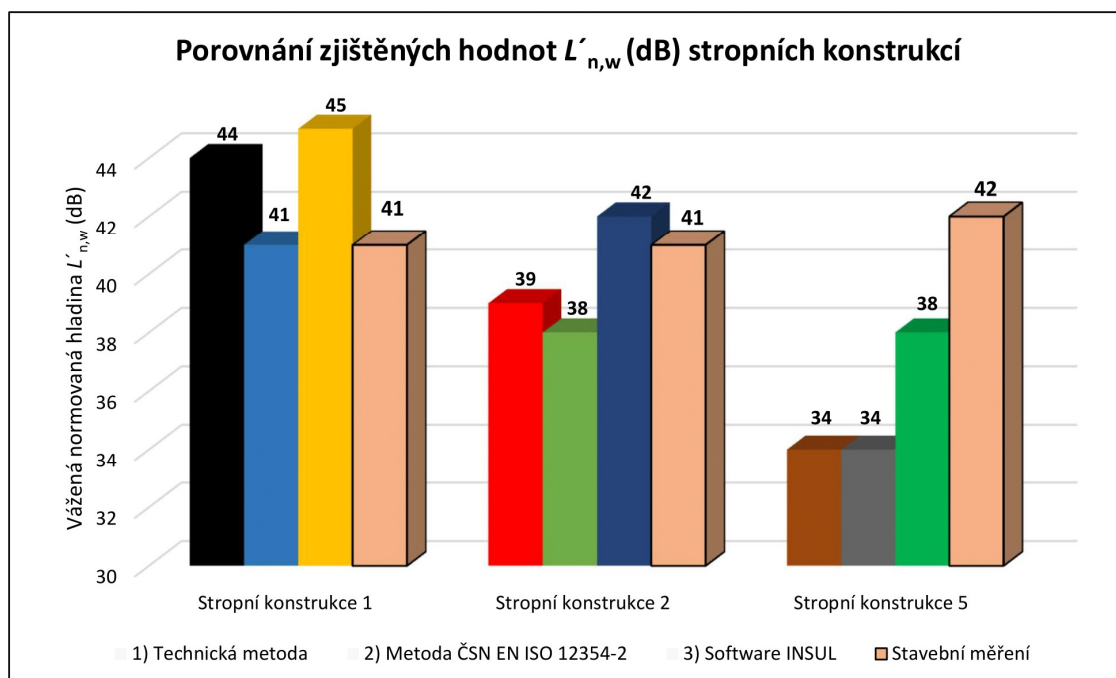
| $f$<br>(Hz)                 | $L_{n,1, \text{TM}}$<br>(dB) | $L_{n,1, \text{ČSN}}$<br>(dB) | $L_{n,1, \text{INSUL}}$<br>(dB) | $L_{n,2, \text{TM}}$<br>(dB) | $L_{n,2, \text{ČSN}}$<br>(dB) | $L_{n,2, \text{INSUL}}$<br>(dB) | $L_{n,5, \text{TM}}$<br>(dB) | $L_{n,5, \text{ČSN}}$<br>(dB) | $L_{n,5, \text{INSUL}}$<br>(dB) |
|-----------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|---------------------------------|
| 100                         | 58,4                         | 51,7                          | 56,7                            | 54,5                         | 48,8                          | 51,9                            | 48,3                         | 44,9                          | 45,6                            |
| 125                         | 53,7                         | 49,3                          | 51,7                            | 49,3                         | 46,4                          | 47,4                            | 43,5                         | 42,4                          | 43,6                            |
| 160                         | 48,3                         | 46,6                          | 49,2                            | 44,3                         | 43,7                          | 47,2                            | 39,0                         | 39,7                          | 43,8                            |
| 200                         | 43,9                         | 44,1                          | 48,8                            | 40,0                         | 41,2                          | 47,6                            | 35,7                         | 37,2                          | 45,0                            |
| 250                         | 40,1                         | 41,7                          | 49,1                            | 36,9                         | 38,7                          | 46,0                            | 33,3                         | 34,8                          | 42,3                            |
| 315                         | 37,0                         | 39,1                          | 46,2                            | 33,8                         | 36,2                          | 42,8                            | 31,2                         | 32,2                          | 39,5                            |
| 400                         | 34,0                         | 36,5                          | 43,3                            | 30,8                         | 33,6                          | 39,9                            | 29,7                         | 29,6                          | 36,9                            |
| 500                         | 31,2                         | 34,0                          | 40,6                            | 28,2                         | 31,1                          | 37,3                            | 29,3                         | 27,1                          | 34,5                            |
| 630                         | 28,6                         | 31,5                          | 38,2                            | 25,5                         | 28,5                          | 34,9                            | 30,0                         | 24,6                          | 32,3                            |
| 800                         | 25,8                         | 28,8                          | 35,9                            | 22,7                         | 25,9                          | 32,6                            | 28,0                         | 21,9                          | 30,1                            |
| 1000                        | 23,3                         | 26,3                          | 33,7                            | 20,2                         | 23,4                          | 30,5                            | 22,9                         | 19,4                          | 28,1                            |
| 1250                        | 21,1                         | 23,8                          | 31,7                            | 18,2                         | 20,9                          | 28,4                            | 19,8                         | 16,9                          | 26,0                            |
| 1600                        | 19,3                         | 21,0                          | 29,3                            | 16,9                         | 18,1                          | 25,8                            | 16,0                         | 14,2                          | 23,2                            |
| 2000                        | 18,7                         | 18,5                          | 26,2                            | 17,0                         | 15,6                          | 22,7                            | 11,2                         | 11,7                          | 20,3                            |
| 2500                        | 19,7                         | 16,0                          | 23,3                            | 19,0                         | 13,1                          | 19,8                            | 5,7                          | 9,1                           | 17,3                            |
| 3150                        | 20,3                         | 13,4                          | 20,3                            | 17,2                         | 10,5                          | 16,9                            | -1,2                         | 6,5                           | 14,5                            |
| $L_{n,w}$ (dB)              | 42                           | 39                            | 43                              | 37                           | 36                            | 40                              | 32                           | 32                            | 36                              |
| $C_{1,100-3150}$ (dB)       | 3                            | 1                             | 2                               | 4                            | 1                             | 1                               | 3                            | 1                             | 1                               |
| $k_2$ (dB)                  | 2                            | 2                             | 2                               | 2                            | 2                             | 2                               | 2                            | 2                             | 2                               |
| $L'_{n,w}$ (dB)             | 44                           | 41                            | 45                              | 39                           | 38                            | 42                              | 34                           | 34                            | 38                              |
| $L'_{n,w,\text{real}}$ (dB) | 41                           |                               |                                 | 41                           |                               |                                 | 42                           |                               |                                 |

Tabulka 8.2: Vypočtené hodnoty  $L_n$  (dB) posuzovaných konstrukcí pomocí 3 metod



**Obrázek 8.4:** Porovnání zjištěných vážených hodnot  $L_{n,w}$  (dB) stropních konstrukcí pomocí 3 metod

Na základě výsledků v uvedeném grafu je možné konstatovat, že nejpříznivějších výsledků je vždy dosaženo při použití metody podle ČSN EN ISO 12354-2 (vždy znázorněny jako druhý sloupec ze tří). Naopak nejméně příznivé výsledky, tedy nejvyšší ze tří způsobů výpočtu, vychází při řešení pomocí softwaru INSUL.



**Obrázek 8.5:** Porovnání vážených hodnot  $L'_{n,w}$  (dB) s reálnými stavebními hodnotami

Po přičtení korekce (vždy  $k_2 = 2$  dB) bylo možné porovnat dosažené výsledky z výpočtu s hodnotami, které byly reálně dosaženy při měřeních na stavbách. Toto srovnání

(na obrázku 8.5) je nyní názornější z pohledu relevantnosti použitých metod. Nejdříve je zapotřebí si uvědomit, co by mohlo mít vliv na změnu teoretických výsledků v běžné stavební praxi. Jedním z možných vlivů je samotné konstrukční řešení v rámci budovy, které je zohledněno korekcí  $k_2$  (dB), přičemž čím je její hodnota vyšší, tím dochází k většímu přenosu bočními konstrukcemi a zároveň se zhoršuje výsledná kročejová neprůzvučnost. V uvedených případech byla použita korekce  $k_2 = 2$  dB, což je běžná hodnota u monolitických konstrukcí, tudíž nepředpokládá významnější boční přenos. Další možností je horší způsob provedení, který není nikdy ve výpočtu zohledněn. Kročejová izolace nemusí být ideálně položena nebo dojde k jejímu znehodnocení, které nemusí mít na svědomí výrazný akustický most, nicméně výsledné hodnoty kročejové neprůzvučnosti se tímto vlivem zvýší. Na základě těchto bodů dochází autor v případě stropní konstrukce 1 k domněnce, že technická metoda i výpočet v softwaru INSUL tuto konstrukci mírně podhodnocují – jsou tedy více na straně bezpečnosti.

Je nutné opět připomenout, že výpočet byl proveden bez uvažování finální nášlapné vrstvy. Její realizace v lehkém plovoucím provedení by tedy následně mohla přispět ke zlepšení výsledku, který na stavbě dosáhl hodnoty 41 dB. Jeví se však jako málo pravděpodobné, že by mohlo v případě desek na bázi dřeva společně s podložkou (Mirelonem) dojít ke zlepšení až o 4 dB (z původních 45 dB při použití softwaru), což ukázalo i experimentální měření 1 během měření na laminátové podlaze, která se svým charakterem deskám na bázi dřeva nejvíce přibližuje. Vážená hodnota se nemusí nijak snížit, případně by mohlo nastat reálné vylepšení o 1 dB (maximálně o 2 dB). Z tohoto pohledu se tak jeví výpočtová metoda podle evropské normy jako nejrelevantnější.

Při sledování výsledků stropní konstrukce 2 je již rozdíl mezi technickou metodou a metodou uvedenou v evropské normě méně výrazný. Výpočet softwaru opět vychází vyšší než reálný výsledek na stavbě, nyní však pouze o 1 dB, což je rozdíl, který by následně mohlo změnit provedení finální nášlapné vrstvy. Lze však předpokládat, že hodnoty 39 dB (technická metoda) a 38 dB (ČSN EN ISO 12354-2) jsou teoreticky dosažitelné, avšak na stavbě následně méně proveditelné.

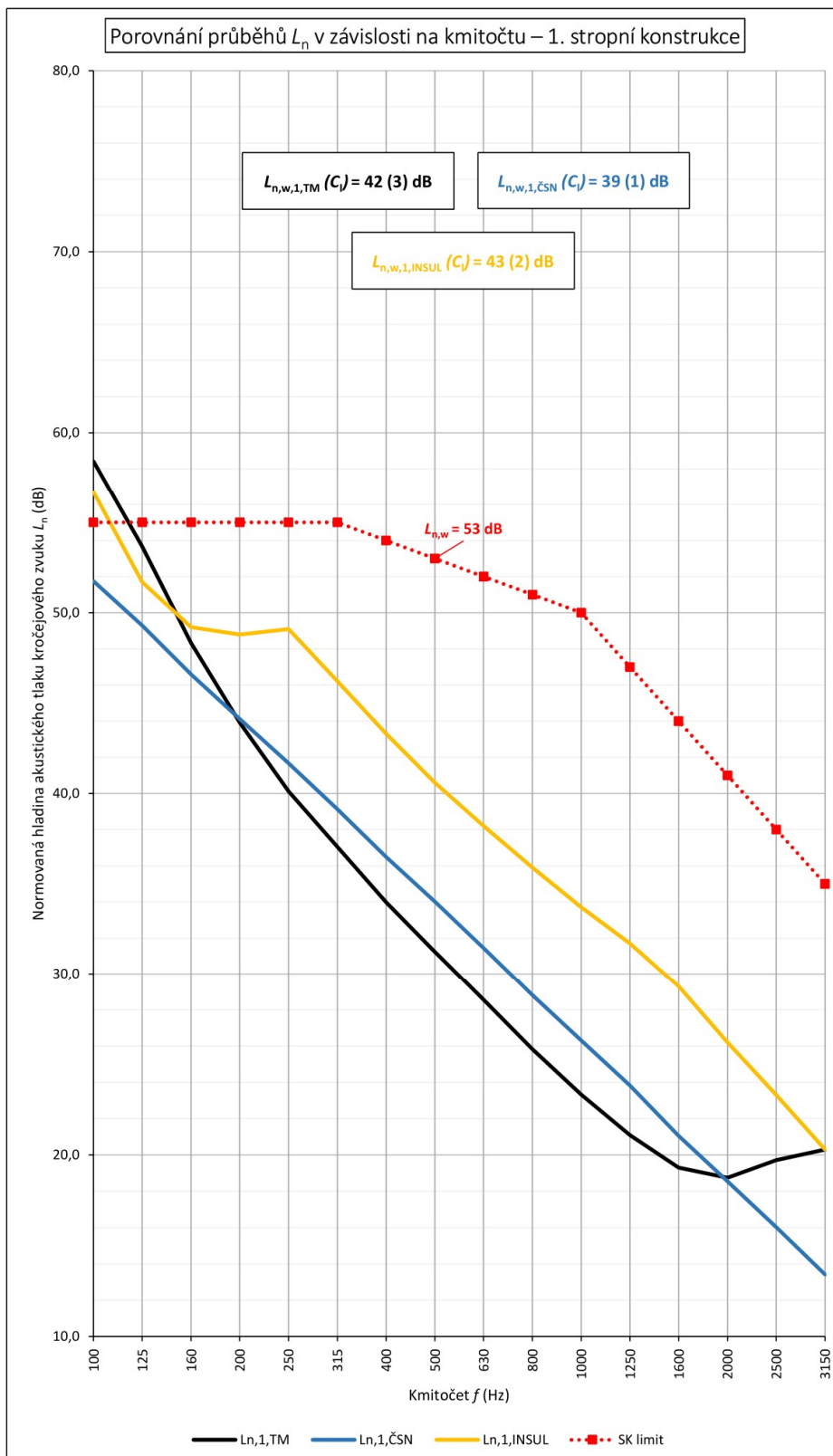
U stropní konstrukce 5 jsou hodnoty obou prvních metod opět výrazně nižší než při výpočtu softwarem. Nyní se však od reality výrazně vzdalují – o 8 dB od naměřené hodnoty. Důvodem mohou být již výše zmíněné vlivy, avšak v tomto případě autor předpokládá, že výpočet jednoduše pracuje s poměrně nízkou dynamickou tuhostí zvukoizolační podložky ( $s' = 9$  MPa/m) a zjednodušuje (resp. nadhodnocuje) její reálné chování po zabudování. Zároveň nebyla ve výpočtu zohledněna tepelná izolace, avšak její výraznější vliv na zhoršení situace je málo pravděpodobný, spíše by naopak mohlo dojít i ke zlepšení.

U poslední konstrukce se tak nabízí myšlenka, že nízkých hodnot kročejové neprůzvučnosti (zde 34 dB) je možné teoreticky dosáhnout s kvalitní kročejovou izolací,

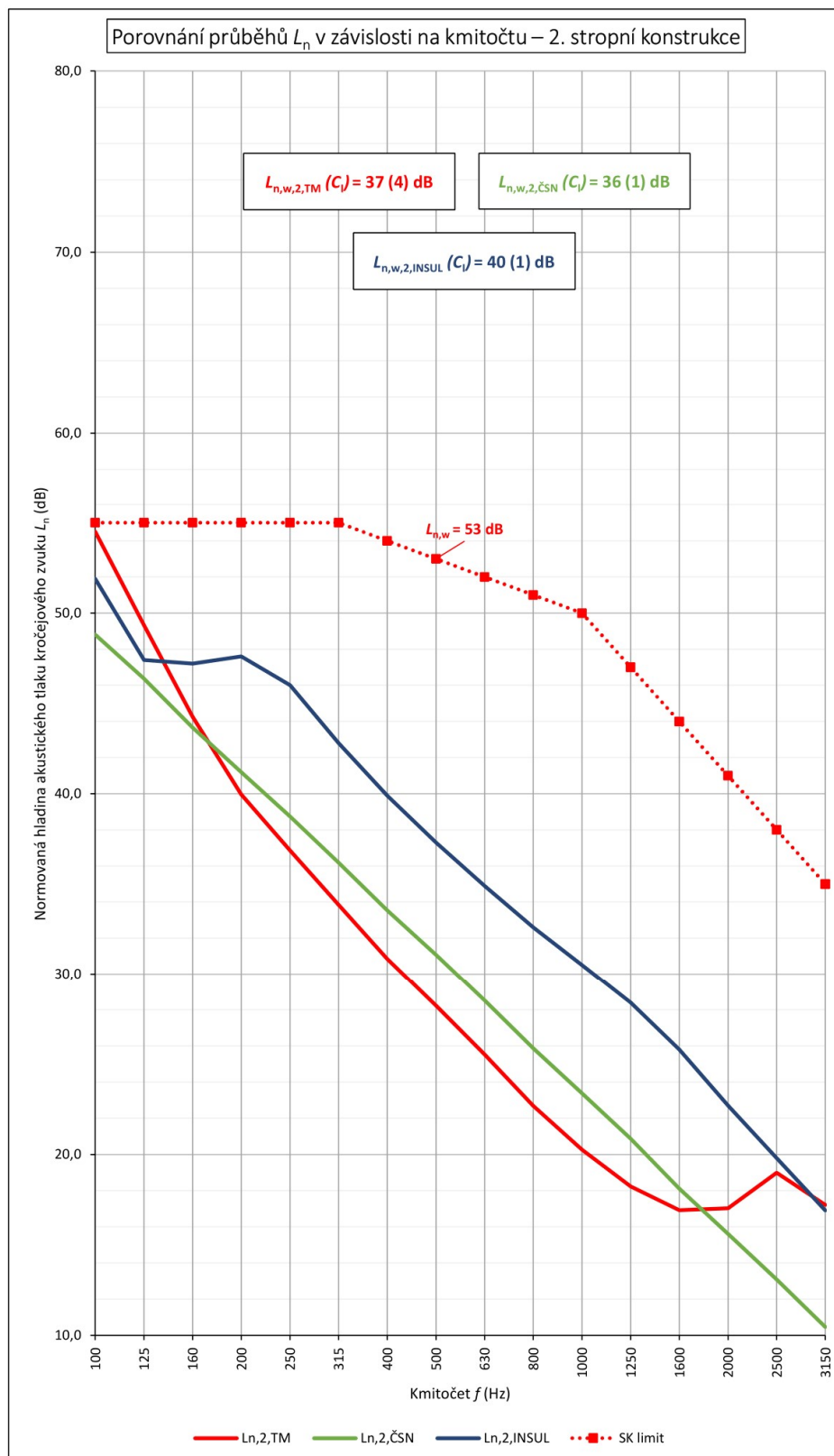
avšak prakticky se se současnou technologií provádění k této hodnotě málokterá konstrukce přiblíží, pokud není prováděna velice pečlivě, což však není z časových a ekonomických důvodů dobře možné. Zároveň je třeba zmínit, že i v laboratořích není vždy snadné dosáhnout takovýchto hodnot, tudíž v posledním případě, kdy je uvažována podložka s nízkou dynamickou tuhostí, jsou výsledky u prvních dvou metod spíše nadhodnocené. Použitelnost těchto metod se tak zdá být z hlediska návrhu omezená. Je zcela možné, že zjednodušené metody, které fungují poměrně přesně v jistém rozsahu, mohou být po jeho překročení úspěšně nahrazeny výpočetními softwary. U poslední konstrukce se totiž vypočtený výsledek jeví poměrně reálně.

Nelze však dojít k těmto závěrům na základě vzorku pouhých tří konstrukcí, sledovaný problém by si vyžadoval daleko větší soubor výsledků, ve kterém by se zjištěné hodnoty mohly mezi sebou lépe porovnat.

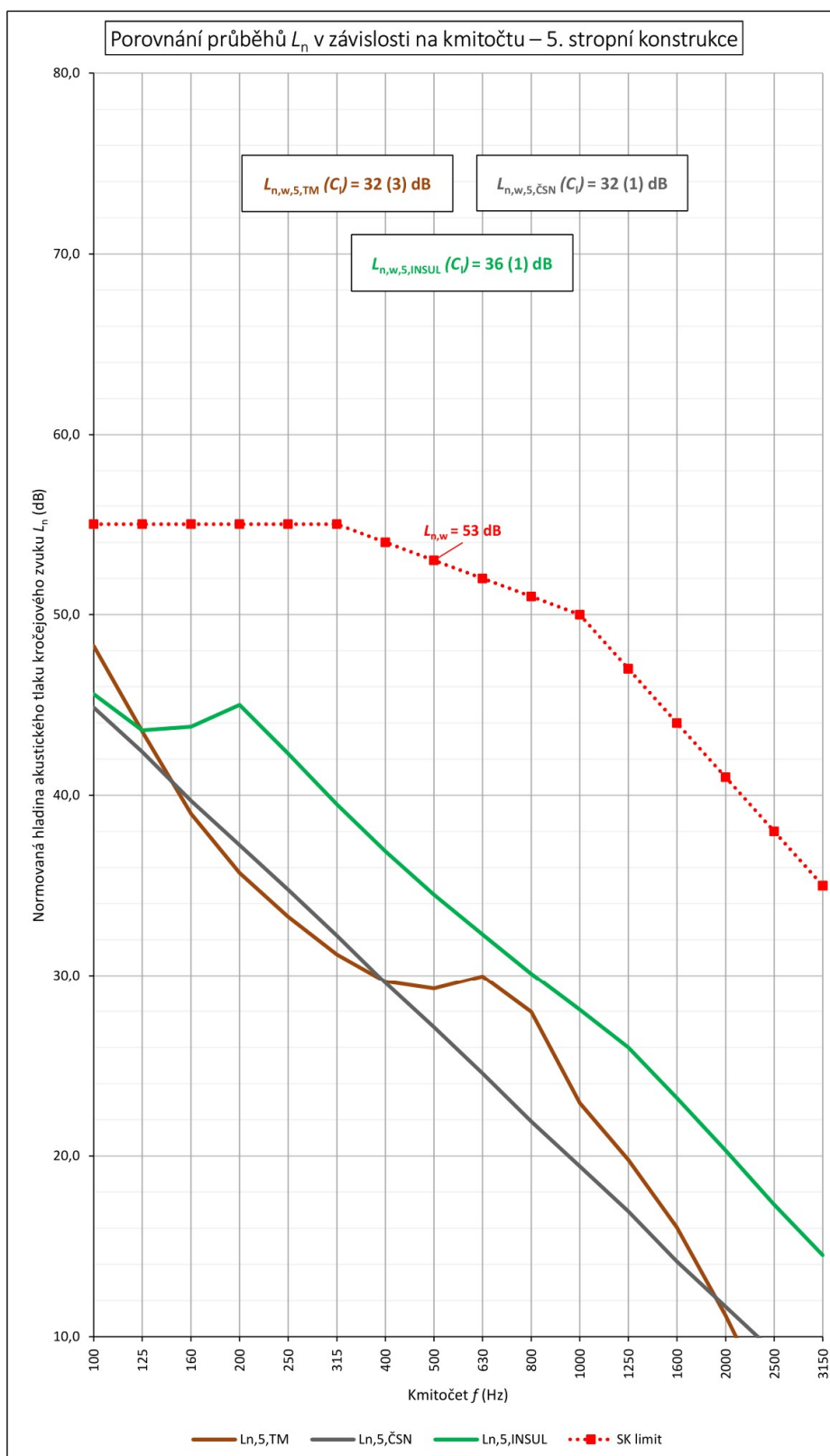
Na následujících grafech jsou pro úplnost znázorněny společně vždy po třech jednotlivé průběhy normované hladiny kročejového zvuku  $L_n$  (dB) pro různé varianty výpočtů. Na prvním grafu jsou průběhy zjištěné pomocí všech tří uvedených metod v případě stropní konstrukce 1, následně na dalších grafech v případě stropní konstrukce 2, resp. stropní konstrukce 3. Stejně tak jsou porovnány mezi sebou jednotlivé metody, tj. pro technickou metodu jsou v jednom grafu znázorněny průběhy normované hladiny kročejového zvuku všech tří stropních konstrukcí, následně pro metodu podle evropské normy a pro výpočet podle softwaru. V závěru je pro zajímavost uveden navíc graf reálně naměřených hodnot stropních konstrukcí na stavbách. Průběhy stavebních hodnot však v sobě zahrnují i vliv finální nášlapné vrstvy, tudíž je nelze s ostatními relevantně srovnávat. Jedná se tak pouze o kontrast mezi teoretickými výpočty a praktickými výsledky.



Obrázek 8.6: Průběhy  $L_n$  (dB) 1. stropní konstrukce při použití 3 různých metod výpočtu

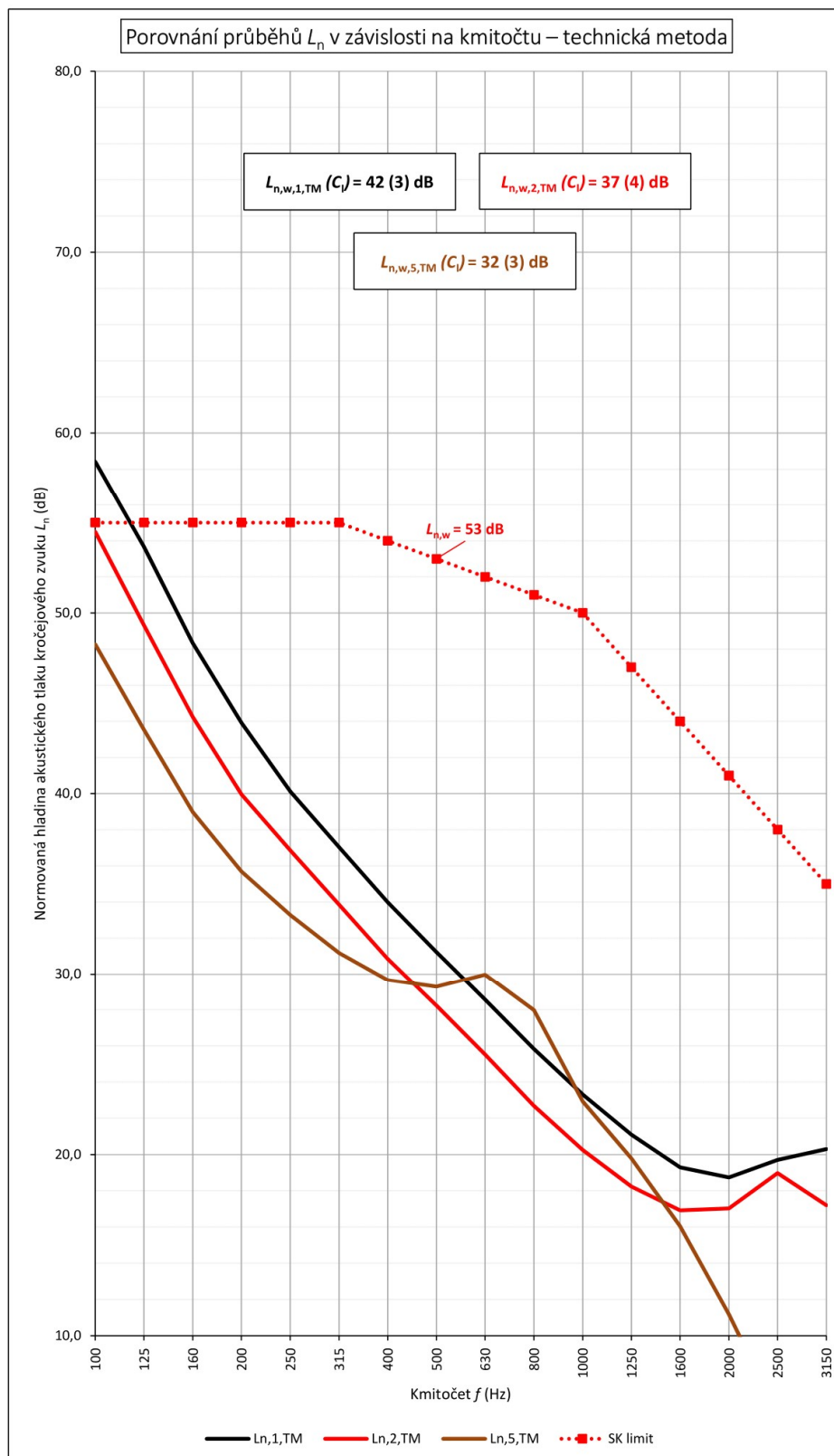


Obrázek 8.7: Průběhy  $L_n$  (dB) 2. stropní konstrukce při použití 3 různých metod výpočtu

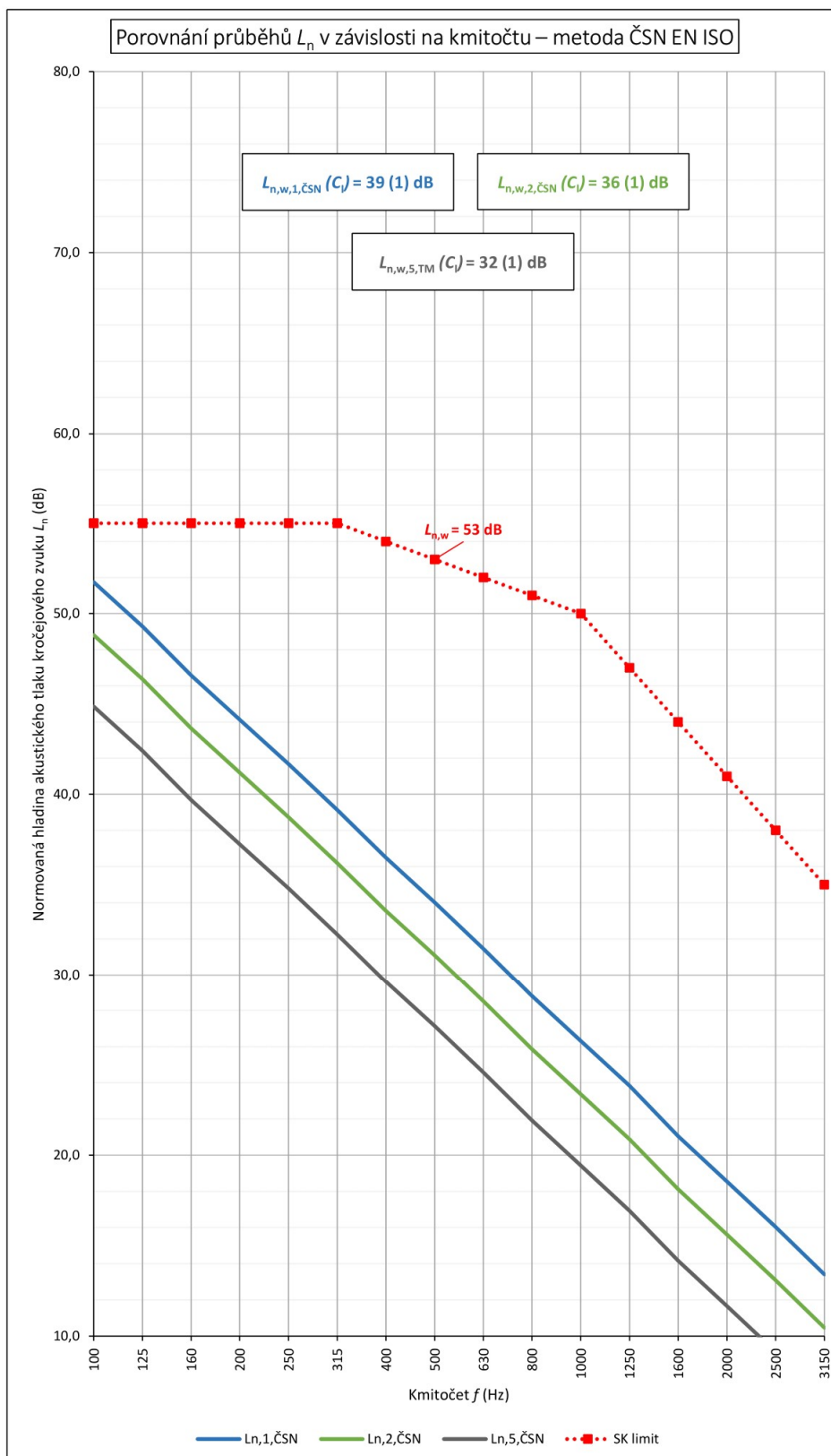


**Obrázek 8.8:** Průběhy  $L_n$  (dB) 5. stropní konstrukce při použití 3 různých metod výpočtu

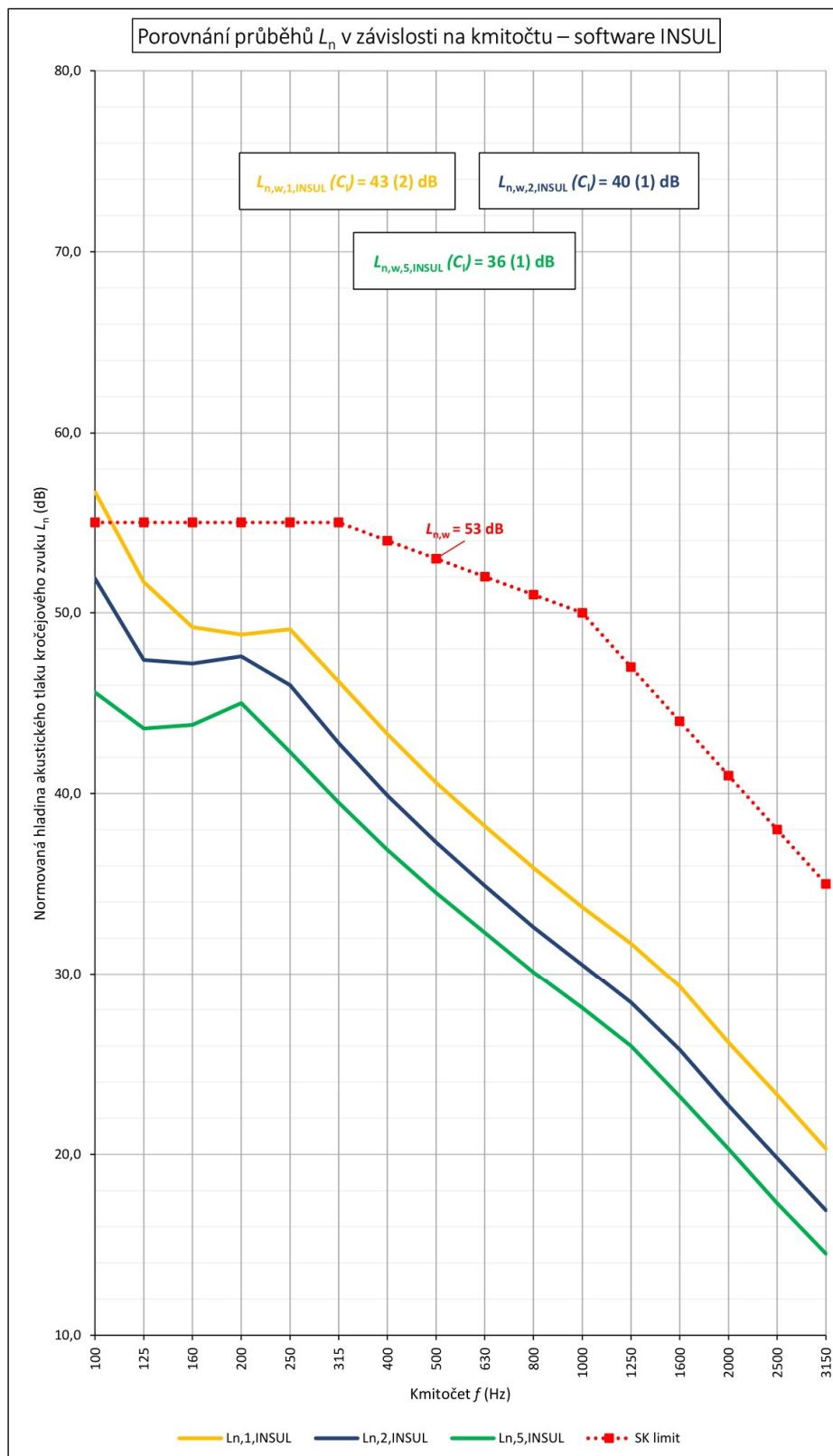




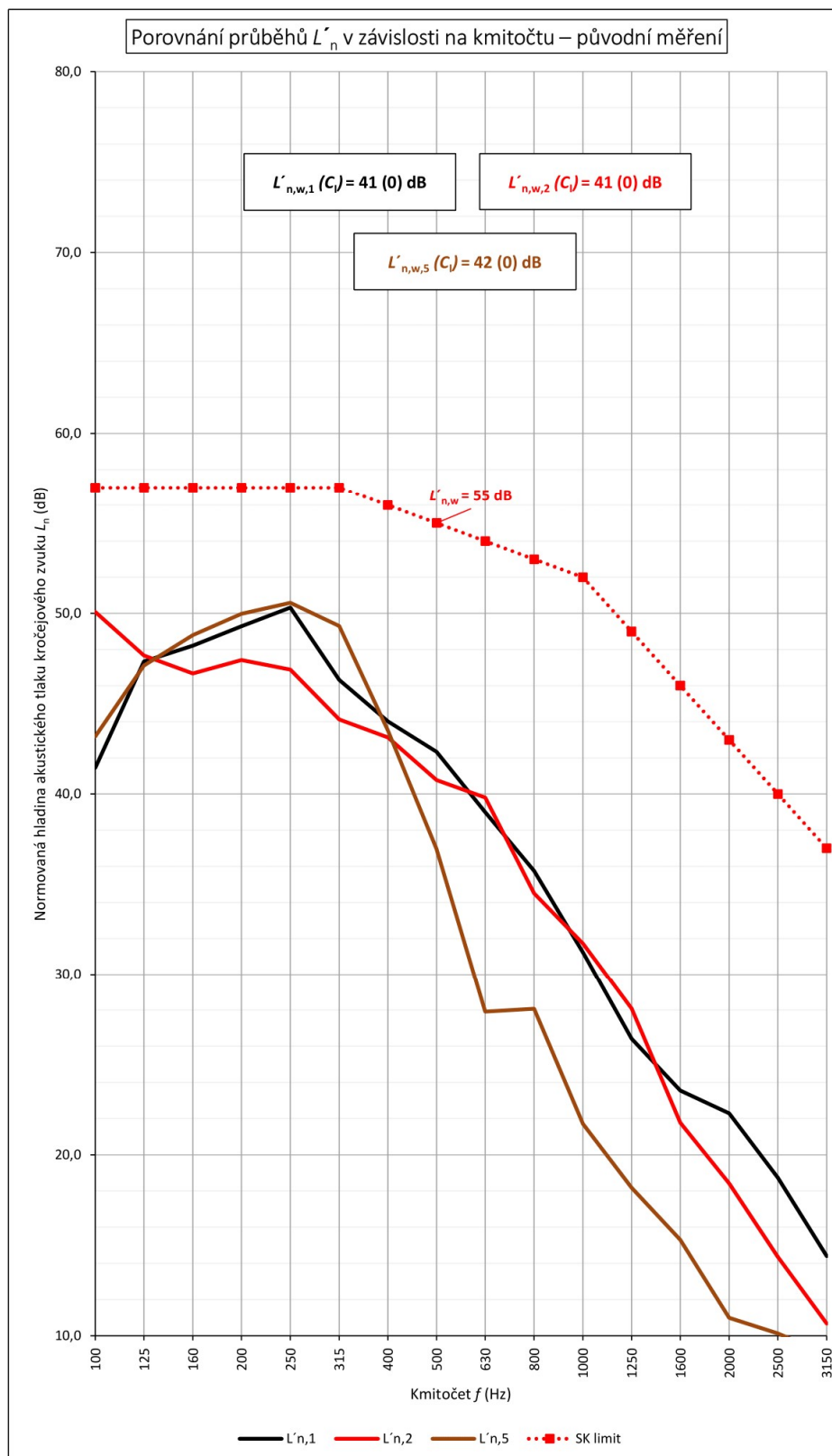
**Obrázek 8.9:** Průběhy  $L_n$  (dB) tří stropních konstrukcí při použití technické metody výpočtu



Obrázek 8.10: Průběhy  $L_n$  (dB) tří stropních konstrukcí při použití metody výpočtu podle evropské normy



Obrázek 8.11: Průběhy  $L_n$  (dB) tří stropních konstrukcí při použití výpočtu softwarem INSUL

Obrázek 8.12: Průběhy  $L_n$  (dB) tří stropních konstrukcí z naměřených stavebních hodnot

---

## **8.4 Závěr provedených výpočtů**

Relevantnost metod či jejich vhodná použitelnost byla okomentována již výše. Nevyrovnanost výsledků jasně ukázala, že v případě předběžných výpočtů kročejové neprůzvučnosti jsou konečné hodnoty mnohem hůře předvídatelné (oproti vzduchové neprůzvučnosti). Návrh tak nemusí být vždy směrodatný a určující, přičemž již v předchozích kapitolách bylo vysvětleno, co s ním může následně v praxi provést vznik jakékoliv další chyby. Už jenom proto by tedy měly být konstrukce vždy navrhovány z hlediska kročejové neprůzvučnosti bezpečně, nikoliv na samé hraně splnitelnosti normových požadavků.

## Použitá literatura

- [1] ČSN 73 0532. *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních konstrukcí a výrobků - Požadavky*. Prosinec 2020. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2020.
- [2] Birgit Rasmussen & María Machimbarrena (editors), *COST Action TU0901 – Building acoustics throughout Europe. Volume 1: Towards a common framework in building acoustics throughout Europe* [online]. 1st edition. Brusel: DiScript Preimpresion, S. L., 2014 [cit. 2021-12-21]. ISBN 978-84-697-0158-4. 978-84-697-0158-4. Dostupné z: <https://www.cost.eu/actions/TU0901/#tabs+Name:Description>
- [3] BEČKA, Jiří. *Vzduchová neprůzvučnost: od teorie k praxi*. Praha, 2020. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta stavební, Katedra konstrukcí pozemních staveb. Vedoucí práce Jiří Nováček.
- [4] KAŇKA, Jan. *Akustika stavebních objektů*. 1. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-140-3.
- [5] Bezpečná ochrana proti kročejovému zvuku. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2020 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akusticke-izolace/20377-bezpecna-ochrana-proti-krocejovemu-zvuku-i>
- [6] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [7] KAŇKA, Jan a Jiří NOVÁČEK. *Stavební fyzika 3*. 1. Praha: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05674-5.
- [8] ČSN 73 0525. *Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Všeobecné zásady*. Únor 1998. Praha: Český normalizační institut, 1998.
- [9] Kročejová neprůzvučnost. *Svaz českých a moravských bytových družstev* [online]. Praha, 2018 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.scmbd.cz/krocejova-nepruzvucnost>
- [10] Vzduchová a kročejová neprůzvučnost vodorovných kcí panelových domů. *Izolace.cz* [online]. Praha, 2006 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.izolace.cz/clanky/vzduchova-a-krocejova-nepruzvucnost-vodorovnych-kci-panelovych-domu/>

- 
- [11] NOVÁČEK, Jiří. *Kročejová neprůzvučnost*. ČVUT v Praze, Katedra konstrukcí pozemních staveb, 2021.
- [12] ČSN EN ISO 10140-3. *Akustika - Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí - Část 3: Měření kročejové neprůzvučnosti*. Duben 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [13] Hodnocení kročejové neprůzvučnosti v budovách. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001–2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/197-hodnoceni-krocejove-nepruzvucnosti-v-budovach>
- [14] ČSN EN ISO 16283-2. *Akustika - Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách in situ - Část 2: Kročejová neprůzvučnost*. Květen 2021. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.
- [15] VIGRAN, Tor Erik. *Building Acoustics* [online]. 1st edition. Abingdon: Taylor & Francis e-Library, 2008 [cit. 2021-12-21]. ISBN 978-0-415-42853-8. Dostupné z: DOI:10.1201/9781482266016
- [16] Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi v budovách. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001–2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/196-krocejova-nepruzvucnost-mezi-mistnostmi-v-budovach>
- [17] ČSN EN ISO 12354-2. *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 2: Kročejová neprůzvučnost mezi místnostmi*. Srpen 2018. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [18] ČSN EN ISO 10140-1. *Akustika - Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí - Část 1: Aplikační pravidla pro určité výrobky*. Zář 2017. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
- [19] ČSN EN ISO 10140-5. *Akustika - Laboratorní měření zvukové izolace stavebních konstrukcí - Část 5: Požadavky na zkušební zařízení a přístrojové vybavení*. Duben 2011. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2011.
- [20] ČSN EN ISO 717-2. *Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 2: Kročejová neprůzvučnost*. Říjen 2021. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2021.

- 
- [21] Vážená normovaná hladina akustického tlaku kročejového zvuku. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001–2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/195-vazena-normovana-hladina-akustickeho-tlaku-krocejoveho-zvuku>
- [22] *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. In: . Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009, ročník 2009, 268/2009 Sb.
- [23] Nové požadavky ve stavební akustice v revizi ČSN 73 0532:2020. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/21919-nove-pozadavky-ve-stavebni-akustice-v-revizi-csn-73-0532-2020>
- [24] Kročejová neprůzvučnost podlahy: Jaký zvolit izolační materiál?. *Stavbaweb.cz* [online]. Praha: Business Media One, 2017 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.stavbaweb.cz/krocejova-nepruzvucnost-podlahy-17151/clanek.html>
- [25] Jak na kročejový hluk a kročejovou neprůzvučnost podlahy?. *Podlahy.com* [online]. Praha, 2014 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.podlahy.com/jak-na-krocejovy-hluk-a-krocejovou-nepruzvucnost-podlahy>
- [26] Kročejová neprůzvučnost stropních konstrukcí. *ASB-portal* [online]. Praha: Jaga Media, 2009 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.asb-portal.cz/stavebnictvi/strop-a-podlaha/stropni-system/krocejova-nepruzvucnost-stropnich-konstrukci>
- [27] Podlahy z pohledu kročejové neprůzvučnosti. *ATELIER DEK* [online]. Praha, 2010 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/podlahy-z-pohledu-krocejove-nepruzvucnosti-338>
- [28] Jak na to - plovoucí podlahy. *PZservis* [online]. Praha, 2002 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [http://www.pzservis.cz/izol\\_projektanti2/rockwool/sw1462.html](http://www.pzservis.cz/izol_projektanti2/rockwool/sw1462.html)
- [29] Kročejový hluk, problém většiny novostaveb. *Nemopas* [online]. DEK, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [https://nemopas.cz/clanky/Krocejovy\\_hluk,\\_problem\\_vetsiny\\_novostaveb](https://nemopas.cz/clanky/Krocejovy_hluk,_problem_vetsiny_novostaveb)
- [30] Kročejová izolace: proti dupotu, hluku z bouchání, kroků... *Potichu* [online]. Kolín: Potichu Czech [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.potichu.cz/krocejova-izolace/?gclid=CjwKCAjwzOqKBhAWEiwArQGwaKN3URa1hXrt91uiKecq->



- MUhd2ZDzU3EUdB9d3Y1sf6v5Z\_B0nO2khoCY7EQAvD\_BwE
- [31] Kročejový útlum těžkou plovoucí podlahou. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001–2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/193-krocejovy-utlum-tezkou-plovouci-podlahou>
- [32] Slyšíte dupání sousedů? Může za to malá kročejová neprůzvučnost stropu. *E-STAV.cz* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2014-2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/3923.slysite-dupani-sousedu-muze-za-to-mala-krocejova-nepruzvucnost-stropu>
- [33] VZDUCHOVÁ A KROČEJOVÁ NEPRŮZVUČNOST. *Knauf Insulation* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.knaufinsulation.cz/%C5%99e%C5%A1en%C3%AD/akustika-t%C4%9B%C5%BEk%C3%BDch-a-lehk%C3%BDch-plovouc%C3%ADch-podlah>
- [34] Jak vám dupou sousedé?. *Home* [online]. Praha: Jaga Media, 2011 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://homebydleni.cz/bydleni/rekonstrukce-bytu/jak-vam-dupou-sousedu/>
- [35] LEHKÉ PLOVOUCÍ PODLAHY. *Knauf Insulation* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.knaufinsulation.cz/postupy/izolace-podlahy/lehk%C3%A9-plovouc%C3%AD-podlahy>
- [36] Skladby podlah. *Styrotrade* [online]. Hradec Králové: Kompletweb, 2015 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://styrotrade.cz/cs/aktuality/skladby-podlah/>
- [37] Kročejový útlum pružnou povlakovou podlahovinou. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001–2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/194-krocejovy-utlum-pruznou-povlakovou-podlahovinou>
- [38] Zdvojená podlaha. *Wikipedia* [online]. San Francisco: Wikimedia Foundation, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Zdvojen%C3%A1\\_podlaha](https://cs.wikipedia.org/wiki/Zdvojen%C3%A1_podlaha)
- [39] Dřevěný strop trémový. *Elektronická učebnice* [online]. Praha: MŠMT, 2015 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/2201>
- [40] Trémový strop se záklopem. *Eurosyst* [online]. San Francisco: WordPress, 2016 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <http://eurosyst.ru/tramovy-strop-se-zaklopem/>
- [41] Jak se vypořádat s kročejovým hlukem v dřevostavbě?. *DřevoStavby* [online].

- Velké Meziříčí: XART, 2017 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z:  
<https://www.drevoastavby.cz/drevostavby-archiv/stavba-drevostavby/izolace/4490-jak-se-vyporadat-s-krocejovym-hlukem-v-drevostavbe>
- [42] Ochrana proti kročejovému zvuku s modrými obrysy. In: *Schöck* [online]. Opava: Schöck-Wittek, 2020 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z:  
[https://www.schoeck.com/view/4907/Prospekty\\_Schoeck\\_Tronsole\\_\\_\\_4907\\_\\_.pdf/cs](https://www.schoeck.com/view/4907/Prospekty_Schoeck_Tronsole___4907__.pdf/cs)
- [43] Tronsole – Systém ochrany proti kročejovému zvuku. In: *Schöck* [online]. Opava: Schöck-Wittek, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z:  
[https://www.schoeck.com/view/3739/Technicke\\_informace\\_Schoeck\\_Tronsole\\_\\_\\_3739\\_\\_.pdf/cs](https://www.schoeck.com/view/3739/Technicke_informace_Schoeck_Tronsole___3739__.pdf/cs)
- [44] MI006: Tapping Machine. *CESVA* [online]. Barcelona: CESVA instruments s.l.u, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.cesva.com/en/products/sound-sources/mi006/>
- [45] Normalizovaný zdroj kročejového zvuku. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001–2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/191-normalizovany-zdroj-krocejoveho-zvuku>
- [46] Nor279: impact ball. *Norsonic* [online]. Ellikom: Happit [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://norsonic.nl/en/product-detail/44>
- [47] Sound Analyser Nor140. *Norsonic* [online]. Oslo: idium Wordpress, 2013 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [https://web2.norsonic.com/product\\_single/soundanalyser-nor140/](https://web2.norsonic.com/product_single/soundanalyser-nor140/)
- [48] FP122: DATASHEET. *CESVA* [online]. Barcelona: CESVA instruments s.l.u, 2015 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z:  
[https://download.cesva.com/datasheets/fp122\\_en.pdf](https://download.cesva.com/datasheets/fp122_en.pdf)
- [49] Stavební akustika. *Akustické centrum* [online]. Praha, c2006-2012 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [https://www.akustickecentrum.cz/stavebni\\_akustika.php](https://www.akustickecentrum.cz/stavebni_akustika.php)
- [50] NOVÁČEK, Jiří. *AKUSTIKA BUDOV: KROČEJOVÝ ZVUK*. ČVUT v Praze, Katedra konstrukcí pozemních staveb, 2021. Dostupné také z:  
<http://kps.fsv.cvut.cz/index.php?lmut=cz&part=vyuka&sub=druh&type=bc&kod=124SF01>

- 
- [51] Kročejové neprůzvučnosti plovoucích podlah. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2011 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/podlahy/7166-krocejove-nepruzvucnosti-plovoucich-podlah>
- [52] Špičková tepelná izolace, již také v České republice. *ThermoWhite* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.thermowhite.cz/>
- [53] PRODUKTY – PŘEHLED A SPECIFIKACE. *ThermoWhite* [online]. Praha, 2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [https://www.thermowhite.cz/produkty/#PE5\\_300](https://www.thermowhite.cz/produkty/#PE5_300)
- [54] Podklad Arbiton Secura MAX Aquastop Smart 3in1. *LaSamba* [online]. Zlín: iNET SAMBA [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.lasamba.cz/podklad-arbiton-secura-max-aquastop-smart-3in1-p13455>
- [55] Jak odhlučnit byt v paneláku. *Chytré bydlení* [online]. Brno: propeople, 2019 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.chytre-bydleni.cz/byt/jak-odhlucnit-byt-v-panelaku>
- [56] EPS POLYFON T 3500. *DCD IDEAL* [online]. Dynín: S2 STUDIO, c2019-2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.dcd-ideal.cz/katalog/eps-polyfon-t-3500>
- [57] IZOLAČNÍ DESKA EPS T 3500. *Izolace-Info* [online]. Brno: digimadi, c2008-2021 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.izolace-info.cz/katalog/polystyren/expandovany-polystyren/izopol-dvorak-s-r-o/1365035-izolacni-deska-eps-t-3500-p.html>
- [58] Styrofloor T4. *Styrotrade* [online]. Hradec Králové: Kompletweb, 2018 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://styrotrade.cz/cs/produkty/podlahy/izolace-podlah-s-utlumem-krocejoveho-hluku/styrofloor-t4/>
- [59] Technický list na EPS T - STYROFLOOR T5. In: *Tepelná izolace* [online]. Praha: Perus, 2008 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: [http://www.tepelna-izolace.cz/data/mod\\_redaction\\_adv/46/down/styrotrade-polystyreny-vse-technicke-listy.pdf](http://www.tepelna-izolace.cz/data/mod_redaction_adv/46/down/styrotrade-polystyreny-vse-technicke-listy.pdf)
- [60] Isover TDPT: Minerální izolace ze skelných vláken. *ISOVER* [online]. Praha: Saint-Gobain Insulation Products, 2019 [cit. 2021-12-21]. Dostupné z: <https://www.isover.cz/dokumenty/technicke-listy/pds-isover-tdpt-cs-cz.pdf>