

I. IDENTIFIKAČNÍ ÚDAJE

Název práce:	Přenos kročejového zvuku stavebními konstrukcemi v bytových domech
Jméno autora:	Bc. Jiří Bečka
Typ práce:	diplomová
Fakulta/ústav:	Fakulta stavební (FSv)
Katedra/ústav:	K124 – Katedra konstrukcí pozemních staveb
Oponent práce:	Ing. Jiří Králíček
Pracoviště oponenta práce:	Firma AKUSTPROJEKT s.r.o., Doležalova 1056, 198 00 Praha 9

II. HODNOCENÍ JEDNOTLIVÝCH KRITÉRIÍ

Zadání	mimořádně náročné
<i>Hodnocení náročnosti zadání závěrečné práce.</i>	
<p>Zadání se týká problematiky kročejového zvuku, který je součástí stavební akustiky. Součástí zadání je teoretická část týkající se kročejové neprůzvučnosti – limity, měřicí postupy, výpočtové metody, řešení ochrany před kročejovým hlukem a dále experimentální část zabývající se zjišťováním přenosu kročejového zvuku v reálných stavbách, které je zaměřené na posouzení vlivu finálních nášlapných vrstev na kročejovou neprůzvučnost.</p> <p>Složitost zadání uvádím v následujících bodech:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Zdroj kročejového hluku je většinou v přímém kontaktu s konstrukcemi – jedná se o rázy způsobené např. chůzí, posuny předmětů po podlaze, pojezdy automobilů, ... Kročejový hluk se šíří konstrukcemi na základě přenosu vibrací (od 20 Hz výše), které rozkmitávají povrchy konstrukcí, čímž dochází k vyzářování hluku do prostorů. Šíření vibrací konstrukcemi záleží na mnoha aspektech a obecně je lze velice těžko matematicky namodelovat. Z toho tedy plyne, že výpočtové metody na kročejovou neprůzvučnost mají podstatně vyšší nejistotu (cca ± 5 dB – např. software Insul) a s tím je nutné při návrhu konstrukcí počítat. - Přenos kročejového zvuku je tím větší, čím jsou konstrukce provázanější. I malé propojení konstrukcí (akustický most) může způsobit nárůst přenosu kročejového hluku nad požadovaný limit. - Problematika kročejového hluku není dosud pro velkou část stavebních společností plně pochopena, a tedy i akceptována. - Stavbami nejsou obecně zařité detaily konstrukcí zamezující přenosu kročejového zvuku. Plně nefunguje dozor nad prováděním těchto stavebních detailů. - Neexistuje databáze propracovaných detailních stavebních konstrukcí, které by zaručovaly při dodržení daných stavebních postupů splnění limitů na kročejovou neprůzvučnost. Je nutné zejména zpracovat postupy provádění stavebních detailů důležitých pro kročejovou neprůzvučnost. 	

Splnění zadání	splněno
<i>Posuďte, zda předložená závěrečná práce splňuje zadání. V komentáři případně uveďte body zadání, které nebyly zcela splněny, nebo zda je práce oproti zadání rozšířena. Nebylo-li zadání zcela splněno, pokuste se posoudit závažnost, dopady a případně i příčiny jednotlivých nedostatků.</i>	
<p>Na úrovni diplomové práce je zadání splněno. Práce má 3 části: A), B), C).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Část A) obsahuje rešerši týkající se teorie akustiky, uvedení do problematiky přenosu kročejového zvuku (pojmy z ČSN 73 0532, kročejová neprůzvučnost, korekce na boční přenos, faktor přizpůsobení spektru, normové požadavky,), principy opatření proti šíření kročejového zvuku, popis měření kročejové neprůzvučnosti, včetně nutného přístrojového vybavení. Lze konstatovat, že část A) plně popisuje problematiku kročejového zvuku a odpovídá úrovni diplomové práce. - Část B) obsahuje kapitolu zabývající se chybami v bytových domech způsobující vysoký přenos kročejového zvuku (z části se jedná o rešerši z dostupných článků o provedených měření, z částí převzato z praxe autora diplomové práce v rámci firmy KONTRAHLUK s.r.o. působící v oblasti stavební akustiky), kapitolu zabývající se pozorováním chování plovoucích podlah z hlediska kročejového zvuku (na 7-mi příkladech je rozebrán princip těžké plovoucí podlahy, včetně dvou neobvyklých kombinací, dále alternativní řešení kročejové izolace těžkých plovoucích podlah pomocí izolace ThermoWhite) a dále kapitolu, kde se autor zabývá experimentálním měřením kročejové 	

neprůzvučnosti – experiment č. 1 v novostavbě bytového domu – 9 měření a experiment č. 2 ve stávajícím panelovém domě – 13 měření (experimenty byly zaměřeny na zjištění vlivu lepené nášlapné vrstvy na kročejový útlum). **Část B) lze hodnotit jako nadstandardní přesahující úroveň diplomové práce, což je dáno zejména prací autora diplomové práce získanou ve firmě KONTRAHLUK s.r.o.**

- **Část C)** – zde se autor věnuje třem způsobům výpočtu kročejové neprůzvučnosti na třech konstrukcích, včetně porovnání teoretických výsledků s reálnými výsledky z praxe. Lze konstatovat, že část C) odpovídá úrovni diplomové práce. Je ovšem nutné podotknout, že je v případě výpočtu nějakou metodou vždy nutné uvést nejistotu výpočtu, to je interval, ve kterém se výsledek s velkou pravděpodobností nachází (může činit u veličiny $L_{n,w}$ až ± 5 dB - viz software Insul 9.0). Proto je nutné vždy navrhovat konstrukce s dostatečnou rezervou na hodnotu $L_{n,w}$ a tedy i $L'_{n,w}$ (správně podotknuto v závěru – kapitola 8.4 diplomové práce).

Zvolený postup řešení

vynikající

Posuďte, zda student zvolil správný postup nebo metody řešení.

Postup považuji za naprosto vyhovující v rámci zadání diplomové práce, jehož součástí byla podrobná rešerše problematiky kročejového zvuku a ochrany před kročejovým hlukem ve stavbách – tomu se věnuje část A), experimentální část zaměřená na vliv finálních vrstev na přenos kročejového zvuku – tomu se věnuje část B) a metody výpočtu kročejové neprůzvučnosti, včetně srovnání metod a porovnání s experimentálně získanými výsledky – tomu se věnuje část C) diplomové práce. Uvedený postup plně obsáhl požadavky zadání, práce je jasně strukturovaná a je sestavena logicky s ohledem na cíle zadání.

Odborná úroveň

A - výborně

Posuďte úroveň odbornosti závěrečné práce, využití znalostí získaných studiem a z odborné literatury, využití podkladů a dat získaných z praxe.

Akustika – snižování hluku ve stavbách a v technice je obor, který vychází z teorie a z odborné literatury – to je úplný základ oboru (nikoliv však postačující) a dále hlavně z praxe, která vychovává řádného pracovníka v tomto oboru. Součástí praxe je také získání schopnosti uvažovat v logaritmickeém měřítku. Z velké odborné úrovně této diplomové práce je zřejmé, že autor má již několikaleté zkušenosti v rámci stavební akustiky – jako pracovník-asistent ve firmě KONTRAHLUK s.r.o., což je specializovaná firma na oblast autorizovaného měření hluku, oblast měření dat v rámci stavební akustiky (R'_w a L'_{nw}), vyhodnocení dat, včetně návrhu akustických úprav. Lze konstatovat, že z hlediska odbornosti převyšuje práce běžnou úroveň diplomové práce, a to právě o nástavbu zkušeností získanou praxí.

Formální a jazyková úroveň, rozsah práce

A - výborně

Posuďte správnost používání formálních zápisů obsažených v práci. Posuďte typografickou a jazykovou stránku.

Formulace výrazů odpovídá běžné úrovni profesionálních akustických studií a posudků. Zápis výsledků experimentálních měření, tj. L'_n , $L'_{nw}(C_i)$ pro vertikální přenos kročejového zvuku a L'_{nT} , $L'_{nT,w}(C_i)$ pro horizontální přenos kročejového zvuku (shrnuto v části přílohy diplomové práce) odpovídají zápisům autorizované laboratoře-zkušebny. Totéž lze konstatovat o zápisech teoretických výpočtů.

Výběr zdrojů, korektnost citací

A - výborně

Vyjáďřete se k aktivitě studenta při získávání a využívání studijních materiálů k řešení závěrečné práce. Charakterizujte výběr pramenů. Posuďte, zda student využil všechny relevantní zdroje. Ověřte, zda jsou všechny převzaté prvky řádně odlišeny od vlastních výsledků a úvah, zda nedošlo k porušení citační etiky a zda jsou bibliografické citace úplné a v souladu s citačními zvyklostmi a normami.

Diplomová práce má 60 citací, jednak z literatury o teorii hluku a problematiky kročejového zvuku, z dokumentů řešící zamezení kročejového hluku ve stavbách, z dokumentů o měřicí technice na kročejovou neprůzvučnost a z dokumentů o technických parametrech materiálů používaných pro zamezení přenosu kročejového zvuku. Množství a výběr citací postihuje dostatečně problematiku kročejového zvuku a potvrzuje naprosto vyhovující aktivitu autora diplomové práce ohledně dostupných materiálů v dané oblasti. Použití citací je v souladu s citační etikou a normou ČSN ISO 690. Hodnocení výsledků experimentálních měření a výpočtů autorem je samostatné a řádně odlišeno od citací – viz kapitola 7.1.4 a 7.2.4 (Závěry experimentálního měření 1 a 2) a kapitola 8 (Výpočtová metodika).

Další komentáře a hodnocení

Vyjádřete se k úrovni dosažených hlavních výsledků závěrečné práce, např. k úrovni teoretických výsledků, nebo k úrovni a funkčnosti technického nebo programového vytvořeného řešení, publikačním výstupům, experimentální zručnosti apod.

Výsledky diplomové práce „Přenos kročejového zvuku stavebními konstrukcemi v bytových domech“ jsou:

- **Rešerše problematiky přenosu kročejového zvuku, opatření proti šíření kroč. hluku a měření kročejové neprůzvučnosti konstrukcí.**

Toto bylo jednoznačně splněno a materiál by bylo možné použít pro výklad problematiky na odborných kurzech pro stavební projektanty.

- **Pozorování příčin zvýšeného přenosu kročejového zvuku na reálných stavbách, chování plovoucích podlah ve vztahu ke kročejové neprůzvučnosti, experimentální autorovo měření přenosu kročejového zvuku konstrukcemi bytových domů se zaměřením na vliv nášlapných vrstev.**

V části pozorování příčin jsou výborně shrnuty chyby v návrhu a v provádění konstrukcí způsobující zvýšený přenos kročejového zvuku. Jsou zde uvedeny příklady reálných staveb, kde se některé chyby ohledně kroč. zvuku vyskytly a kde byly aplikovány úpravy k jejich odstranění. V této části jsou uvedeny 2 experimenty z literatury, ve kterém byl zjišťován vliv bodových a liniových akustických mostů na velikost přenosu kroč. zvuku u těžkých plovoucích podlah. Dále jsou zde uvedeny převzaté reálné příklady staveb, na kterých je ukázán vliv provedení spáry mezi těžkou plovoucí podlahou a boční stěnou na velikost kroč. neprůzvučnosti a příklady z autorovy praxe měření L'_{nw} a $L'_{nT,w}$, který ukazuje reálný příklad špatného návrhu těžké plovoucí podlahy na poddimenzované nosné ŽB konstrukci a reálný příklad špatně provedené podlahy mezipodesty schodiště. Uvedený přehled fatálních stavebních detailů zvyšující přenos kroč. zvuku, jejich možné odstranění a příklady měření kročejové neprůzvučnosti v reálných stavbách s nevyhovující kroč. neprůzvučnosti svědčí o delší praxi autora v řešení dané problematiky. Z této části diplomové práce by bylo možné vyjít při tvorbě průvodce stavebních firem týkajících se detailů staveb v souvislosti s kročejovou neprůzvučností.

V části chování plovoucích podlah ve vztahu ke kročejové neprůzvučnosti jsou zdokumentovány různé druhy skladeb plovoucích podlah, tj. těžké plovoucí desky s běžně užívanými pružnými podložkami, včetně dvoukonstrukčních podlah i těžkých plovoucích podlah s alternativní izolací ThermoWhite (pouze okrajově, bez teoretického rozboru účinků této izolace na kroč. neprůzvučnost – je to z důvodu nedostatečných dat od výrobce ThermoWhite). Výsledky průběhů hodnot L'_n v 1/3-oktávových pásmech jsou navzájem mezi sebou graficky porovnány. Výsledky by bylo možné použít pro stavební projektanty při návrhu konstrukcí s vyhovující kročejovou neprůzvučností. Dále byla v této části řešena okrajově problematika přenosu nízkofrekvenčního hluku, tj. pod 100 Hz (problematika není v české legislativě normativně ošetřena).

Část Experimentální měření č. 1 a 2 je zaměřena na zjištění vlivu podlahových nášlapných vrstev na kročejovou neprůzvučnost stropních konstrukcí, a to jednak u stropních konstrukcí bytové novostavby (č. 1) a staré panelové zástavby (č.2). Výsledky, tj. průběhy hodnot L'_n v 1/3-oktávových pásmech jsou mezi sebou navzájem přehledně porovnány a autorem diskutovány, včetně plynoucích závěrů. Přínos této experimentální části je v originalitě tématu, protože v technické praxi v ČR se málokdy řeší vliv finální nášlapné vrstvy na konečný kročejový útlum stropní konstrukce (v kolaudační praxi novostaveb se kročejová neprůzvučnost u podlah ve většině případů měří bez finální nášlapné vrstvy). Další přínos je také v tom, že výběrem vhodných nášlapných vrstev lze v některých případech u nevyhovujících stropních konstrukcí (platí zejména u staré panelové bytové zástavby) docílit, že hodnota $L'_{n,w}$, resp. $L'_{nT,w}$ podklesne na vyhovující limity dle současně platné normy.

- **Výpočty kročejové neprůzvučnosti.**

Na příkladech známých skladem stropních konstrukcí, u kterých jsou změřeny hodnoty kročejové neprůzvučnosti je ukázáno, k jakým možným výsledkům hodnot L'_{nw} lze různými obecně platnými výpočetními modely dojít. Rozdíly ve výsledcích jsou autorem řádně okomentovány. Hlavní přínos této části je, že konstrukce je nutné navrhovat s dostatečnou výpočetní rezervou hodnot $L'_{n,w}$, protože hodnoty stanovené výpočtem mohou mít velkou odchylku od hodnot získaných měření na reálné konstrukci např. při kolaudaci.

Na základě výše uvedeného lze tento bod klasifikovat **A - výborně**.

III. CELKOVÉ HODNOCENÍ, OTÁZKY K OBHAJOBĚ, NÁVRH KLASIFIKACE

Shrňte aspekty závěrečné práce, které nejvíce ovlivnily Vaše celkové hodnocení. Uveďte případné otázky, které by měl student zodpovědět při obhajobě závěrečné práce před komisí.

- **Rozsáhlá orientace v problematice kročejového zvuku a jeho šíření konstrukcemi.**
- **Znalosti reálných staveb z hlediska šíření kročejového zvuku získané praktickými zkušenostmi v oboru (jednoznačně přesahuje úroveň diplomové práce).**

Předloženou závěrečnou práci hodnotím klasifikačním stupněm **A - výborně**.

Poznámka:

Pro co největší využití znalostního potenciálu diplomové práce v praxi by bylo vhodné krátce zhodnotit hlavní přínos pro zamezení přenosu kročejového zvuku stavebními konstrukcemi v bytových domech a to pro skupinu stavebních projektantů a pro skupinu pracovníků provádějících stavbu a dozor.

- V případě projektantů by se jednalo zejména o:
 - Výpočetně naddimenzovat konstrukce z hlediska L'_{nw} , nebrat v úvahu pozitivní vliv některých nášlapných vrstev (uživatel bytu je může v čase změnit bez povinnosti kontaktovat stavební úřad).
 - U těžkých plovoucích podlah držet hodnotu $f_r < 80$ Hz, volit dostatečnou tl. těžké roznášecí desky podlahy (doporučená tl. min. 45 mm u Anhydritu), volit dostatečně nízkou dynamickou tuhost pružné vrstvy ($s' < 20$ MPa/m), zamezit akustickým mostům – návrhem pružných stěnových pásků (referenčně Isover N/PP tl. 15 mm, alt. pěnová izolace Ethafoam, resp. Miralon tl. 10 mm), navrhnout dostatečně pevnou PE folii zabraňující protečení betonu při lití těžké plovoucí podlahy do pružné izolace, dále zvolit dostatečnou tl. ŽB nosných konstrukcí (min. tl. 200 mm).
 - Dodržovat zásady výstavby mezibytových stěn a bytových příček.
 - Instalace schodišť na pružné členy (referenčně schock tronsole).
 - Těžké plovoucí podlahy provést i na chodbách, na podestách a mezipodestách a samozřejmě ve všech vnitřních prostorách bytů.
 - V případě lehkých plovoucích podlah využívat zásypů v kombinaci s minerální kročejovou izolací. Do snižování kročejového zvuku u lehkých konstrukcí zapojit i SDK podhledy s minerální izolací, které jsou dostatečně pružně zavěšené vůči nosným konstrukcím stropu.
- V případě pracovníků provádějících stavbu a dohled je nutné zejména dodržet projekt, nezaměňovat materiály, vyvarovat se poškození pružných podložek podlah – např. chůzí, zatečením vody, proražením ocelovou výztuží, ... Dále je nutné dodržet důležité stavební detaily, které mají za následek vznik akustických mostů – viz předcházející odstavec.

Pro další vývoj znalostí v problematice šíření kročejového zvuku konstrukcemi a zejména jeho omezení by bylo vhodné v uvedeném tématu pokračovat v doktorském studiu. Vytvořit dostatečnou databázi stavebních konstrukcí, u kterých jsou splněny požadavky na kročejovou neprůzvučnost, tyto konstrukce popsat nejen z hlediska skladeb ale zejména z hlediska důležitých detailů a technologie provádění. Zaměřit se také na lehké dřevěné stropy v dřevostavbách.

Datum: 27.1.2022

Podpis: 