



ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Katedra konstrukcí pozemních staveb

Vzduchová neprůzvučnost: od teorie k praxi

Airborne Sound Insulation: From Theory to Practice

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Jiří Bečka

Studijní program: Stavební inženýrství

Studijní obor: Konstrukce pozemních staveb

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

Praha, 2020

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bečka Jméno: Jiří Osobní číslo: 468676
Zadávající katedra: K124 - Katedra konstrukcí pozemních staveb
Studijní program: SI - Stavební inženýrství
Studijní obor: C - Konstrukce pozemních staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Vzduchová neprůzvučnost: od teorie k praxi

Název bakalářské práce anglicky: Airborne Sound Insulation: From Theory to Practice

Pokyny pro vypracování:

Bakalářská práce bude zaměřená na problematiku navrhování a provádění staveb v kontextu stavební akustiky, zejména vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi. Hlavní náplní práce bude ucelený přehled akustických požadavků na stavební konstrukce a budovy, zhodnocení vlivu stavebně-konstrukčního řešení budovy na akustiku, rámcový rozbor chování stavebních prvků zabudovaných ve zkušební laboratoři a na stavbě a ukázky správných a chybných řešení, se kterými se lze často v projektech a na stavbách setkat. Pokud to bude možné, jednotlivá řešení budou doplněna o hodnoty buď změřené nebo vypočtené neprůzvučnosti. Důraz bude kladen také na vliv kvality provedení na výslednou zvukovou izolaci.

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

Datum zadání bakalářské práce: 14. 2. 2020

Termín odevzdání bakalářské práce: 17. 5. 2020

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Vzduchová neprůzvučnost: od teorie k praxi** 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 poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Jiřímu Nováčkovi, Ph.D. za jeho vstřícnost, trpělivost a užitečné rady a připomínky při zpracování práce.

Rovněž bych chtěl poděkovat panu Ing. Bc. Jaroslavu Vychytilovi, Ph.D., který mě v úvodu studia akustiky s nebývalou ochotou uvedl jako první do její teorie.

Svůj vděk bych chtěl vyjádřit panu Ing. Jiřímu Bečkovi (mému otci) za odborné konzultace, pomoc se zajištěním potřebných materiálů a důležitou korekci a dohled nad správným technickým vyjadřováním.

Závěrem chci ještě zmínit památku pana doc. Ing. Jiřího Čechury, CSc., který se problematice akustiky na Fakultě stavební původně věnoval (včetně vytvoření odborné literatury, jež je často stále aktuální) a který před téměř 40 lety inspiroval mého otce, aby se začal zabývat stavební akustikou, a bez něhož bych se tedy k této práci nikdy nedostal.

Anotace

Bakalářská práce se zabývá problematikou vzduchové neprůzvučnosti, jež je součástí stavební akustiky. Cílem je představit důležitost vzduchové neprůzvučnosti a provést ucelený přehled nejen o způsobech jejího zjištění a vyhodnocení na základě požadavků, ale též o provádění (a případných chybách) konstrukcí a rozboru chování stavebních prvků zabudovaných ve stavbách.

První část se věnuje hlavně teoretickému výkladu a vysvětlení, jak vzduchovou neprůzvučnost vyhodnocovat v případech laboratoře a především na stavbě. Ve druhé části se teorie prolíná s praxí a jsou v ní představeny časté způsoby provedení stavebních konstrukcí, pro něž jsou stanoveny hodnoty zvukové izolace vlastními výpočty a následně porovnány s výsledky z praxe. Ve třetí části se práce zaměřuje na chybná řešení, s nimiž se občas může člověk setkat v praxi a jejichž provedení nevede ke splnění normových požadavků.

Klíčová slova

Stavební akustika, zvuk, akustický tlak, vzduchová neprůzvučnost, zvuková izolace, bytový dům, požadavky, měření, technická metoda, dělicí konstrukce.

Summary

The Bachelor thesis deals with the problematics of airborne sound insulation, which is a part of building acoustics. The purpose is to introduce the importance of airborne sound insulation and perform a complete survey not only about the ways of its finding and appraisal according to the requirements, but also about carrying out (and possible mistakes) of structures and analysis of behaviour of building blocks which are built into constructions.

The first part focuses primarily on theoretical explanation of how to evaluate the airborne sound insulation in case of being either in laboratory or mainly on a building site. The second part runs through both theory and practice and introduces common ways of performing the structures, for which the values of sound insulation are set by self calculation and after that compared with results out of practice. The third part deals with wrong solutions that are possible to meet with in practice and whose performance does not lead to meeting the standard requirements.

Keywords

Building acoustics, sound, sound pressure, airborne sound insulation, sound insulation, residential building, requirements, measurement, technical method, section partition.

OBSAH

ÚVOD	9
A) VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST - TEORIE	10
1 Stavební akustika	10
1.1 Hluk součástí lidského života	10
1.2 Vnímání zvuku ve stavební akustice.....	12
1.3 Veličiny akustické imise a emise.....	17
1.4 Šíření zvuku ve volném prostoru	19
1.5 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru	19
1.6 Doba dozvuku	23
2 Vzduchová neprůzvučnost	25
2.1 Důležitost zvukových izolací.....	25
2.2 Vybrané definice z ČSN 73 0532	26
2.3 Zvuk šířený vzduchem – neprůzvučnost.....	27
2.4 Rozdíl mezi laboratorní a stavební neprůzvučností – vliv korekcí.....	30
2.5 Vážená stavební neprůzvučnost a její stanovení.....	33
2.6 Faktory přizpůsobení spektru.....	36
2.7 Požadavky na hodnotu vážené vzduchové neprůzvučnosti	39
3 Měření ve stavebních podmínkách	44
3.1 Vymezení a definice	44
3.2 Přístrojové vybavení	45
3.3 Stavební připravenost pro potřeby měření.....	47
3.4 Postup měření	47
3.5 Vyjádření výsledků měření	49
B) VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST – MEZI TEORIÍ A PRAXÍ	52
4 Výpočty neprůzvučnosti běžných stavebních konstrukcí	52
4.1 Skladby posuzovaných konstrukcí.....	52
4.2 Výpočet technickou metodou	56
4.3 Výsledky výpočtů posuzovaných konstrukcí.....	60
4.4 Vyhodnocení výsledků	61

C) VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST – PRAXE.....	65
5 Případy nevhodných řešení konstrukcí	65
5.1 Železobetonové stěny	66
5.2 Zděné stěny	67
5.3 Sádkartonové stěny.....	68
5.4 Železobetonové stropy.....	70
Příloha 1	71
Příloha 2a	75
Příloha 2b.....	79
Příloha 3a	83
Příloha 3b.....	87
Příloha 4	91
Příloha 5	94
Příloha 6	100
Příloha 7	102
Použitá literatura.....	109

ÚVOD

Tato bakalářská práce je zaměřena na problematiku stavební akustiky – zejména vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi a to nejen v rovině teoretické a scholastické, nýbrž i z mého pohledu, neboť se těmto věcem věnuji prakticky v rámci svých mimoškolních aktivit. Již od střední školy se účastním akustických měření spolu se svým otcem, který se stavební akustikou zabývá od získání inženýrského titulu na Fakultě stavební a který mě do ní průběžně zasvěcuje. Práce je to zajímavá a baví mě a chtěl bych se jí tedy věnovat i ve svém budoucím životě. Z tohoto důvodu si myslím, že mám již s touto problematikou jistou zkušenost a mohu na ni kriticky nahlížet. Potřebné zkušenosti samozřejmě získám až po dokončení studia na vysoké škole a po dalším zapracování v tomto oboru.

Během doby, kdy se účastním akustických měření a následných vyhodnocování zkoušek, jsem si všimnul, že některé chybné nebo méně vhodné konstrukční skladby či provedení na stavbě se neustále opakují, ačkoliv ve výsledku z hlediska stavební akustiky často nevycházejí a někdy nejsou ani stavebně vhodná. Tyto problémy se opakují a někdy nedochází k jejich nápravě či částečnému zlepšení. 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.

Cílem této bakalářské práce je tedy především ukázat správná a vhodná řešení vedoucí k zajištění dobře provedené zvukové izolace (včetně výpočtů a výsledků měření z praxe). Dále bych chtěl poukázat na nejčastější problémy a důvody, které vedou k nespokojenosti cílových uživatelů budov.

Práce je rozdělena do tří hlavních tématických okruhů. V první části (ad A) je vymezena v teoretické rovině samotná vzduchová neprůzvučnost jako součást stavební akustiky. Ve druhé části (ad B) jsou představena řešení skladeb (včetně materiálů), která se využívají v dnešní době a jejichž správné provedení by mělo vést k dosažení požadovaných normových hodnot zvukové izolace. Tato řešení jsou doplněna o teoretické i praktické výpočty. V poslední části (ad C) se práce zaměřuje na již zmiňované chyby a nedostatky, které se v průběhu let vyskytovaly a které měly svým nekvalitním provedením vliv na nízkou hodnotu zvukové izolace. Zároveň je vysvětleno správné řešení, které je v takovýchto případech považováno za vhodné nápravné opatření.

A) VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST - TEORIE

1 Stavební akustika

1.1 Hluk součástí lidského života

Obecně se dá za hluk považovat zvuk, který je námi vnímán jako nepříjemný, obtěžující a rušivý. Nelze jej přesně definovat, jelikož hranice tolerance vůči hluku je mezi lidmi silně subjektivní. Nemůžeme většinou s jistotou říci, kdy a v jaké intenzitě se zrovna objeví - kupříkladu hluk z dopravy je velmi náhodný. *V technické literatuře se udává, že vzrůst hlučnosti v našem životním prostředí činí cca 1 dB za rok.* [1]

Tento výrok by se mohl zdát nadsazený. Pravdou ale nepochybně je, že v dnešní moderní (a velmi uspěchané) době plné všemožných technologií a všudypřítomných dopravních prostředků je hlučnost jevem, vůči kterému je třeba neustále věnovat velikou pozornost, protože ve zvýšené dlouhodobé intenzitě může mít řadu nepříznivých důsledků.

Zdroje hluku jsou všude okolo nás. Jsou jimi stroje, dopravní prostředky, moderní výpočetní technologie, zvířata, samotná příroda (vítr, bouře, déšť, ...) a samozřejmě my sami lidé. Vydáváme totiž zvuků nespočetně. Pomocí zvuku se dorozumíváme verbálně i nonverbálně. Spoustu našich činností doprovází zvuk a mnohdy i nechtěný hluk, aniž si to sami uvědomujeme.

Většinu života v dnešní době strávíme ve vnitřním prostředí. *Podle údajů WHO (Světové zdravotnické organizace) se u městské populace jedná až o 90 % času.* [2] V tomto vnitřním prostředí bydlíme, odpočíváme, pracujeme, studujeme nebo se věnujeme svým koníčkům. Je tedy přirozené, že k takovýmto činnostem člověk svým způsobem vyžaduje jistou míru akustické pohody. Vysoké nároky jsou především kladeny na pobytové prostory, ve kterých se zdržují lidé. Absolutně nejvyšší důraz se však následně klade na samotné byty. *Lidé ve svých bytech vydávají množství zvuků. Mluví, smějí se, milují se, hrají na hudební nástroje, pouští si televizi, rádio, vyzvání jim telefon. Pro dostatečný komfort bydlení v bytech je zapotřebí, aby tyto zvuky (či hluk) šířící se vzduchem neprocházely konstrukcemi stěn a stropů do sousedních bytů. Jednak pro zachování soukromí, jednak z důvodu vyrušování okolních obyvatel.* [3]

Dosažení akustické pohody je pro člověka velmi důležitý faktor. Má vliv na naši psychiku a naše celkové zdraví. Nemůžeme se tedy divit, že snaha o kvalitní zvukovou izolaci bývá i záležitostí vyšších standardů bydlení, které jsou náležitě finančně ohodnoceny (více viz kapitola 2.7). Při nadstandardně provedené protihlukové ochraně je možné utlumit hluk pocházející z vedlejších místností až do té míry, že není vůbec uživateli vnímán. Kritickou se z tohoto pohledu stává hlavně mezibytová stěna.

Mezibytová stěna je z pohledu komfortu uživatelů bytů jednou z nejdůležitějších. Je to stěna, která nás odděluje od sousedů a jsou na ni kladeny nároky statické, akustické, tepelnětechnické, protipožární, apod. [4]

Do hry vstupuje právě tzv. *vzduchová neprůzvučnost*, o níž bude pojednávat tato práce a která zde bude více popsána. Vzduchová neprůzvučnost je totiž vlastnost stavebních konstrukcí, která nejvíce ovlivňuje akustickou pohodu a komfort uživatelů. Vždyť také ČSN 73 0532 říká, že *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. [5]*

Z výše uvedeného by se tedy člověk mohl mylně domnívat, že naším největším cílem je kompletní utlumení zvuku a snížení rušivých elementů na absolutní minimum. Avšak pro člověka je jistá neobtěžující míra zvuku (hluku) nesmírně důležitá. Je jeho součástí již od narození a absenci hlukového pozadí si nedokáže představit stejně tak, jako si nedovede představit život bez dýchání, ačkoliv tuto potřebu vnímá intenzivněji. Přílišné snížení hlukového pozadí nedělá dobře lidské psychice a člověk se cítí nesvůj. Jako krásný příklad lze uvést scénu z kultovního filmu „Tenkrát na západě“, kdy při náhlé absenci jakéhokoliv přirozeného pozadí všichni přítomní rančeři ihned znejistěli a dostali nepříjemný pocit, že se stane něco zlého.

Hodnoty okolo 20 dB považuje většina lidí již za hluboké ticho. Hladinu 30 dB hodnotí lidé jako příjemné ticho. Proto např. pro lety do vesmíru bylo nutno kosmonautům v kabině mimo jiné vytvořit uměle vhodnou zvukovou kulisu. [1]

Z tohoto je patrné, že nízké trvalé hodnoty „hluku“ nejsou člověku nijak zdravotně závadné. Obecně platí, že ani zvuky vysoké intenzity nemohou člověku při krátkodobé expozici nijak ublížit (krom možné bolesti hlavy, která však souvisí se subjektivním rozpoložením). Je však prokázáno, že hluk může mít při vyšších a dlouhotrvajících hodnotách nežádoucí účinky na lidské zdraví, nicméně extrémní hodnoty se běžně v lidském životě neobjevují a v případě pracovišť se zvýšenou hlučností jsou přijata opatření pro ochranu zdraví svých pracovníků. Není tedy nutné se zbytečně bát každého nežádoucího zvuku a snažit se mu bránit všemi silami. Pro všechny jevy platí nějaké rozumné hranice nepřekračující extrémy, které jsou následně spíše kontraproduktivní a zbytečné 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. [1]*

Předpisy pro samotné zvukové izolace jsou pak všeobecně platné normové požadavky, kterými se bude práce zabývat později.

1.2 Vnímání zvuku ve stavební akustice

Na úplném začátku je nezbytné vymežit, jak člověk vnímá zvuk, jakými veličinami se toto vnímání hodnotí a které veličiny ho ovlivní.

a) vnímání intenzity zvuku

Lidský sluch je schopen vnímat zvukové signály s velikou citlivostí. Mezi těmito signály je z hlediska intenzity příliš velký rozdíl (10^{-12} až 10 W/m^2). S rostoucí intenzitou navíc citlivost lidského ucha klesá. Proto byla akustická intenzita vyjádřena v decibelech (dB) na základě logaritmické stupnice, která dokáže tyto rozdíly lépe zohlednit. [6]

Vzniká tak jednotka nazvaná *hladina akustické intenzity* L_I (dB), která je vyjádřena vzorcem:

$$L_I = 10 \lg \frac{I}{I_{ref}} \quad (1.1)$$

I_{ref} je nejnižší prahová hodnota akustické intenzity, jejíž hodnota se rovná 10^{-12} W/m^2 . Častým pojmem, se kterým se v akustice dá setkat, je *hladina akustického tlaku* L_p (dB), která je přímo úměrná hladině akustické intenzity dle vztahu (1.2) [6]:

$$L_p = L_I = L = 10 \lg \frac{p^2}{p_{ref}^2} = 20 \lg \frac{p}{p_{ref}} \quad (1.2)$$

Jak si lze všimnout, tyto dvě hodnoty L_I a L_p se sobě prakticky rovnají¹. Dále bude L_p označováno jako L pod názvem *hladina akustického tlaku*, protože člověk vnímá zvuk spíše jako tlak než intenzitu. Běžně nabývá hodnot 0–120 dB, přičemž v praxi (jak již bylo zmíněno) se můžeme setkat spíše s dolními mezními hodnotami 20 dB. Hodnoty se zaokrouhlují na jedno desetinné místo. Je důležité rozlišovat, zda hodnota hladiny akustického tlaku je udávána pro konkrétní kmitočet (jelikož v různých kmitočtových pásmech se tyto hodnoty od sebe liší), nebo zda se jedná obecně o tzv. *celkovou hladinu akustického tlaku*, která nám říká, jaký akustický tlak je vyvolán v celém slyšitelném frekvenčním rozsahu. [1]

Důležitost kmitočtů (frekvencí) bude rozebrána v bodě b) této části (kapitola 1.2). K celkové hladině akustického tlaku se dá jednoduše dostat pomocí obecného vzorce pro energetický součet více hladin:

$$L = 10 \lg \left(10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right) \quad (1.3)$$

¹ Publikace „Hluk a chvění“ od Richarda Nového [1] udává, že při běžných klimatických podmínkách je rozdíl mezi hladinou akustické intenzity a akustického tlaku roven 0,2 dB, nicméně tento rozdíl je možno zanedbat, aniž by tím byla významně ovlivněna přesnost akustických výpočtů nebo měření zvuku. Proto se cíleně udává, že obě tyto hladiny jsou sobě rovny, ač toto tvrzení není ve výsledku zcela tak pravdivé.

Vzorec (1.3) je zjednodušený pro pochopení energetického sčítání hladin akustického tlaku dvou různých kmitočtů. Běžně by se ve vzorci nacházelo mnoho hladin vztažených ke svým příslušným frekvencím.

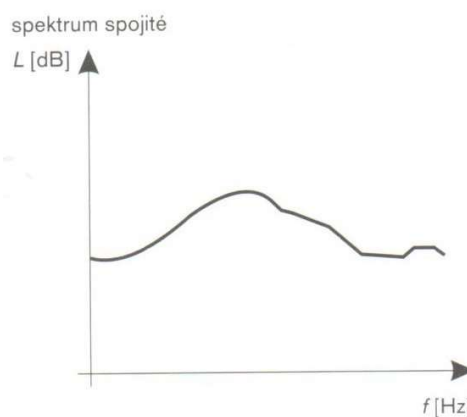
Za zmínku stojí rovněž pojem *maskování zvuku*. K němu dochází v okamžiku, kdy máme dva zdroje zvuku, které v určitém místě příjmu vnímáme jako hladinu akustického tlaku. Tyto dva zvuky jsou od sebe odlišné a jeden zvuk maskuje druhý, je-li jejich energetický součet rozdílňý od hlasitějšího zvuku do 1 dB. Maskování lze názorně předvést na příkladu, kdy máme dva rozdílňné zvuky o hodnotách $L_1 = 75,6$ dB (řev 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. Z tohoto je patrné, že při běžných měřeních stavební vzduchové neprůzvučnosti (více viz celá kapitola 3) nemá pozadí ani případný nečekaný zvuk pocházející ze stavby (a nepřekračující hodnotu hladiny akustického tlaku od zdroje měření) žádný vliv na změřené hodnoty akustických tlaků. 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.

b) vnímání kmitočtu – váhová korekce zvukoměru

Kmitočtové složení zvuku je důležitý údaj pro pochopení chování zvuku. *Kmitočet zvuku je počet periodických změn akustického tlaku za sekundu. Subjektivně je vnímán jako výška tónu.* [6]

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. Charakter zvuku, který obsahuje řadu různých kmitočtů, dobře vystihuje *akustické spektrum*, které uvádí závislost akustické veličiny (např. hladiny akustického tlaku) na kmitočtu. Většina zvuků má *spojité spektrum* (viz obrázek 1.1). [6]

Pro účely sledování kmitočtového složení zvuku lze oblast slyšitelných kmitočtů rozdělit na jedenáct 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. [6]



Obrázek 1.1: Spojité spektrum [2]

Hodnota hladiny akustického tlaku v oktávovém pásmu L_{okt} (dB) je energetickým součtem hladin akustického tlaku zvuku všech kmitočtů, které do daného pásma spadají. [6]

Tato oktáva tedy udává vlastnosti určitého pásma kmitočtů. Výše uvedené se nazývá oktávovou analýzou a nahrazuje pracné řešení každého kmitočtu zvlášť. [6] Neexistují však pouze oktávy, v praxi je také možné se setkat například s třetinooktávovými pásmy. Jejich přítomnost je již vlastně v definici oktávového pásma. V jednom oktávovém pásmu se nacházejí tři třetinooktávová pásma a prostřední z nich je zároveň oktávovým pásmem. Toto je názorně ukázáno v tabulce 1.1, kde jsou uvedena oktávová pásma v číselném rozsahu 125–4000 Hz, resp. třetinooktávová pásma v rozsahu 100–5000 Hz.

Tabulka 1.1: Přehled oktávových a třetinooktávových pásem vč. váhové funkce K_A jednotlivých oktáv

Frekvence pásma f (Hz)		Váhová funkce K_A (dB)
Oktávové	Třetinooktávové	(pro oktávová pásma)
125	100	-16,1
	125	
	160	
250	200	-8,6
	250	
	315	
500	400	-3,2
	500	
	630	
1000	800	0,0
	1000	
	1250	
2000	1600	+1,2
	2000	
	2500	
4000	3150	+1,0
	4000	
	5000	

Zdroj hodnot: Stavební fyzika 3 (Kaňka, Nováček) [6]

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. [6]

Při měření zvukoizolačních vlastností konstrukcí se zaměřujeme na oblast ohraničenou nízkými a vysokými kmitočty. Ta totiž nejlépe vystihuje případné problémy a proto jsou právě pro ni stanovené požadavky v platných normách. Zvukové izolace konstrukcí (tedy jak vzduchová neprůzvučnost, tak i „kročejeová neprůzvučnost“) a také 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.

Jak již bylo řečeno, člověk nevnímá zvuk se stejnou citlivostí, především na nízkých frekvencích je lidský sluch velmi málo citlivý. *Relativně dobrým přiblížením k těmto vlastnostem sluchového orgánu bylo zavedení váhových funkcí, které v souladu s citlivostí lidského sluchu upravují citlivost zvukoměru. Z více původně navržených funkcí se v praxi ujala váhová funkce „A“.* [6]

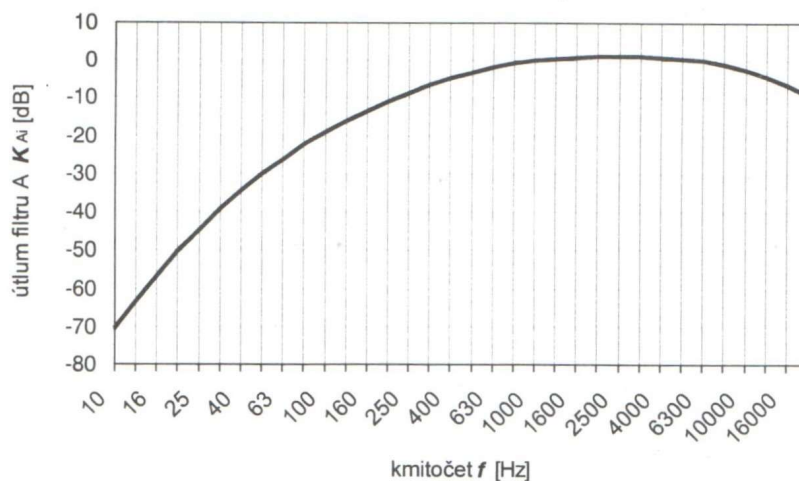
Na základě těchto váhových funkcí tak byla stanovena *hladina akustického tlaku* A označovaná symbolem L_A (dB). K hodnotě této veličiny je možné se dostat přímým měřením pomocí zvukoměru se zapnutým váhovým filtrem A (útlumová charakteristika váhového filtru A viz obrázek 1.2), nebo samotným výpočtem 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). Všechny tyto nové hodnoty zvukového spektra se energeticky sečtou dle následujícího vzorce 1.4:

$$L_A = 10 \lg \sum_{i=1}^n 10^{0,1(L_i + K_{Ai})} \quad (1.4)$$

V takovém součtu je vliv některých kmitočtů potlačen, jiných zesílen – každé pásmo má tak jinou váhu – podle přidělených hodnot váhové funkce. Takto vzniklá veličina je označována symbolem L_A (dB) a nazývá se hladina akustického tlaku A. [6]

Takto vzniklá jednočíselná hodnota slouží jednoduše 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.

Důležitým faktem však je, že při samotném vyhodnocování zvukové izolace se tato korekce běžně nevyužívá (mimo faktory přizpůsobení spektru – viz kapitola 2.6), jelikož posuzujeme samotné konstrukce a neřešíme vnímání zvuku lidským ústrojím.



Obrázek 1.2: Útlumová charakteristika filtru A [1]

c) působení v čase – ekvivalentní hodnota

Průběh a trvání je neméně důležitá informace ve vnímání zvuku. Hladina akustického tlaku není nikdy zcela stejná, tedy neustále mění svou číselnou hodnotu v průběhu času. Na základě těchto změn se dá charakterizovat okolní zvuk jako *ustálený* (v časovém intervalu se hodnoty L_A nemění o více než 5 dB), *proměnný* (v časovém intervalu se hodnoty L_A mění o více než 5 dB), *proměnný přerušovaný* (v určitém okamžiku se hodnota L_A změní o více než 5 dB, v novém intervalu je zvuk ustálený) a *impulsní*. [6] V případech, kdy hluk výrazněji kolísá s časem, není možno jednočíslně charakterizovat hlukovou situaci hladinou akustického tlaku A . Proto byla pro hodnocení proměnných akustických signálů zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ (dB). Je to fiktivní ustálená hladina akustického tlaku A , která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T , jako proměnlivá hladina akustického tlaku A za stejný čas. [1]

Je to tedy „energeticky průměrná hodnota“ v časovém intervalu, se kterým uvažujeme (např. pracovní směna 8 hodin). Veličina $L_{Aeq,T}$ dokáže lépe vyjádřit, zda vystavení zvuku při dlouhodobém trvání může být pro člověka škodlivé. Výpočet se provádí podle následujícího vzorce 1.5:

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \left[\frac{1}{\sum_{i=1}^n t_i} \sum_{i=1}^n (t_i * 10^{0,1L_{Ai}}) \right] \quad (1.5)$$

Ekvivalentní hladinou akustického tlaku A je stanovena většina hygienických limitů. Tyto limity existují jak pro pracoviště, tak i pro bydlení a hodnocení hluku z dopravy. Dají se vyhledat v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.² Je tedy zřejmé, že L_{Aeq} je veličina, která se v akustice používá především. Není však příliš vypovídající z hlediska maximálních hladin akustického tlaku A v průběhu měření.

Z tohoto důvodu se používají veličiny L_{Amax} (*maximální hladina akustického tlaku A*) a L_{Amin} (*minimální hladina akustického tlaku A*). Při podrobnější hladinové analýze³ se používají L_{AX} (dB) procentní hladiny akustického tlaku A . V označení této veličiny je možné za X dosadit celé číslo v intervalu od 1 do 99. Procentní hladina udává hodnotu hladiny akustického tlaku, která byla překročena v X procentech časového intervalu proběhlého měření. [6]

Všechny tyto zmíněné veličiny je možno změřit pomocí tzv. *integračních zvukoměrů*.

² Nařízení o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací (ve znění pozdějších předpisů).

³ Hladinová analýza se zabývá sledováním změn hladin akustického tlaku A .

d) Informační obsah zvuku

Míra rušení zvukem nezávisí jen na fyzikálních parametrech zvuku, ale je ovlivněna i postojem lidí k danému zvuku a jeho zdroji. [6]

Obecně lze říct, že lidé tolerují více zvuky:

- přicházející zvenčí (oproti těm, které vznikají v budově),
- ze zdrojů, které jsou považovány za neutišitelné (např. lednička),
- u kterých se těžko určí přesný původce zvuku (např. doprava),
- dopředu ohlášené (např. ohlášená rekonstrukce bytu v panelovém domě),
- denní oproti nočním,
- v létě než v zimě,
- v rozměrově větších bytech, [6]
- více vzdálené,
- nižších kmitočtů (vyšší kmitočty jsou považovány za rušivé). [2]

U zvuku přicházejícího zvenčí (např. hluk z dopravy), který nepřekračuje běžné hodnoty, je normální, že ho tolik nevnímáme a nevadí nám. Proto je třeba zmínit případ, kdy při velmi dobré zvukové izolaci obvodového pláště může dojít k tomu, že najednou uslyšíme například zvuk pocházející ze sousedních bytů, což je většinou lidí považováno za zvuk nepříjemný. Tato vysoká zvuková izolace je pak v takovémto případě kontraproduktivní a z toho vyplývá, že navrhování zvukových izolací by se mělo řešit komplexně – jak z hlediska obvodového pláště, tak vnitřní části budovy.

1.3 Veličiny akustické imise a emise

Zvuk v místě příjmu je charakterizován *veličinami akustické imise*. Ty byly probrány v kapitole 1.2 a patří mezi ně:

- L – hladina akustického tlaku (dB),
- L_A – hladina akustického tlaku A (dB),
- L_{Aeq} – ekvivalentní hladina akustického tlaku A (dB).

V okamžiku, kdy bychom chtěli jakoukoliv veličinu akustické imise zjistit výpočtem, musí být známy tzv. *veličiny akustické emise*, které charakterizují zvuk způsobený zdrojem. Jsou jimi:

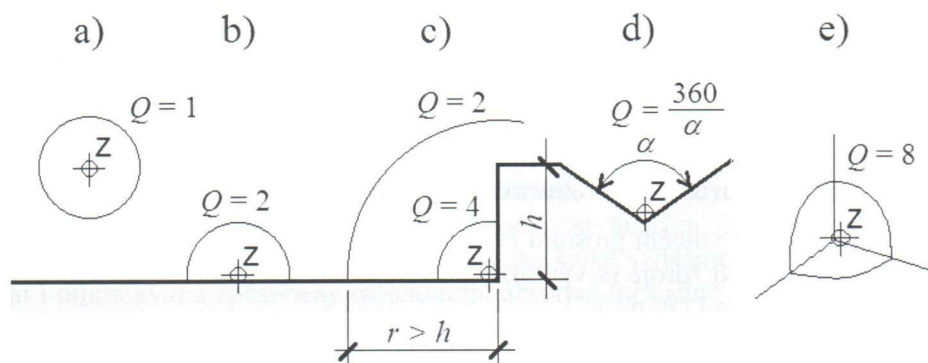
- L_W – hladina akustického výkonu (dB),
- Q – činitel směrovosti (-).

Akustický výkon P (W) je množství akustické energie, kterou zdroj vyzáří do okolního prostoru za jednotku času. Akustický výkon vyjádřený v logaritmické míře se nazývá hladina akustického výkonu L_W (dB). [6]

$$L_W = 10 \lg \frac{P}{P_{ref}} \quad (1.6)$$

Hladina akustického výkonu L_W se běžně udává v oktávových pásmech nebo jako jedna číselná hodnota L_{WA} za všechna sledovaná pásma (včetně korekcí váhového filtru). Tato jednočíselná hodnota však nic nevypovídá o kmitočtovém složení hluku a člověk by se měl zajímat o jednotlivé hodnoty akustického spektra. [6]

Činitel směrovosti Q (-) řeší, jak zdroj vyzařuje zvuk do prostoru v závislosti na jeho umístění vůči okolním odrazným plochám. Činitel směrovosti nabývá hodnot nejčastěji od 1 do 8 – viz obrázek 1.3:



Obrázek 1.3: Činitel směrovosti [6]

- bodový zdroj, v jehož bezprostřední blízkosti nejsou žádné odrazné plochy (letadlo, amplion); $Q = 1$
- zdroj se nachází na odrazné ploše (např. terén) a vysílá zvuk do poloprostoru (nejběžnější případ v reálných situacích – např. silnice); $Q = 2$
- zdroj se nachází v místě styku dvou rovin, které spolu svírají pravý úhel, a vysílá zvuk do čtvrtiny prostoru (pata budovy); $Q = 4$
 - $Q = 4$ platí pouze do vzdálenosti r (m) srovnatelné s výškou např. budovy h (m), ve větší vzdálenosti $r > h$ je opět $Q = 2$
- zdroj se nachází v místě styku dvou rovin, které spolu svírají úhel α ($^\circ$) (dno údolí); $Q = 360/\alpha$
- zdroj se nachází v místě ohraničeném třemi rovinami (tzv. prostorový kout – např. terén a dvě budovy); $Q = 8$ [6]

Hodnoty hladiny akustického tlaku L se při těchto různých případech přirozeně mění. Pro $Q = 2$ se L zvětší přibližně o 3 dB oproti případu, kdy je $Q = 1$. U zdroje v místě styku dvou rovin ($Q = 4$) se L zvětší přibližně o 6 dB a v případě zdroje v prostorovém koutu se L zvětší přibližně o 9 dB.

Zdroj běžně použitý k měření vzduchové neprůzvučnosti (viz kapitola 3.2) se uvažuje jako bodový všesměrový (zvuk se z něj šíří v kulových vlnoplochách) a tedy se při možném výpočtu používá součinitel směrovosti $Q = 1$. Normy definují bodový zdroj zvuku jako takový, jehož rozměry jsou velmi malé ve srovnání s vlnovou délkou vyzařovaného zvuku. Pro praktické úvahy je ale důležitá vzdálenost mezi zdrojem

a místem příjmu zvuku. Je-li tato vzdálenost větší než 1,5násobek násobek největšího rozměru zdroje zvuku, lze přibližně tento zdroj již považovat za bodový. [2]

1.4 Šíření zvuku ve volném prostoru

Při šíření zvuku ve volném prostoru (ve volném zvukovém poli) se akustický výkon P (W) s rostoucí vzdáleností od zdroje (s výjimkou zdroje plošného) rozprostírá na stále větší plochu S (m²). Tím se snižuje intenzita I (W/m²). Od bodového zdroje se zvuk šíří v kulových vlnoplochách, kde plocha $S = 4\pi r^2$. [6] Na základě těchto poznatků následně odvozením vzniká vztah 1.7, který popisuje šíření zvuku ve volném prostoru.

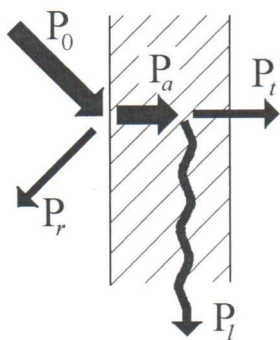
$$L = L_W + 10 \lg \frac{Q}{4\pi r^2} \quad (1.7)$$

Veličina r (m) je vzdálenost od zdroje. L (dB) je tedy hladina akustického tlaku v určité vzdálenosti od místa zdroje zvuku. Je zajímavé zmínit, že při dvojnásobném zvětšení vzdálenosti r se hladina akustického tlaku L zmenší o 6 dB (v případě bodového zdroje malých rozměrů)⁴. V případě šíření zvuku ve volném prostoru se dále projevuje a má významný vliv přídavný *útlum zvuku* (ovlivněný různými faktory), který však není nutný v rámci této bakalářské práce dále rozebírat.

1.5 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru

V uzavřeném prostoru (v místnosti) dochází k odrazu akustické energie od stěn, stropu a podlahy zpět směrem ke zdroji. To má za následek zvýšení hladiny akustického tlaku v porovnání se stavem, který by vznikl ve volném prostoru. Významnou roli zde hraje pohltivost zvuku povrchů, které ohraničují uzavřený prostor. [6]

Na překážku dopadající zvuk o výkonu P_0 (W) se rozdělí (viz obrázek 1.4). Část z něj se odrazí od překážky zpět (P_r). Velikost odražené složky je čistě závislá na materiálu a způsobu povrchového provedení překážky. Druhá část výkonu P_0 se pohltí, tedy projde do konstrukce a šíří se dál (P_a). Z této složky se část změní v teplo (P_l), které je však



velmi malé, a tak nijak neovlivňuje konstrukci. Další část výkonu P_a projde skrz konstrukci do vedlejší místnosti a má označení P_t . [6]

Jak již bylo řečeno, pohltivost povrchů (ovlivňující výkon P_a) je v tomto případě zásadní.

Obrázek 1.4: Rozdělení akustického výkonu při dopadu na stěnu [6]

⁴ V případě liniového (přímkového) zdroje je tento pokles 3 dB. [6]

Na základě těchto všech zmíněných výkonů P lze definovat následující činitele:

- *činitel odrazu (reflexe)* $\rho = \frac{P_r}{P_0}$ (1.8)

- *činitel pohltivosti (absorpce)* $\alpha = \frac{P_a}{P_0}$ (1.9)

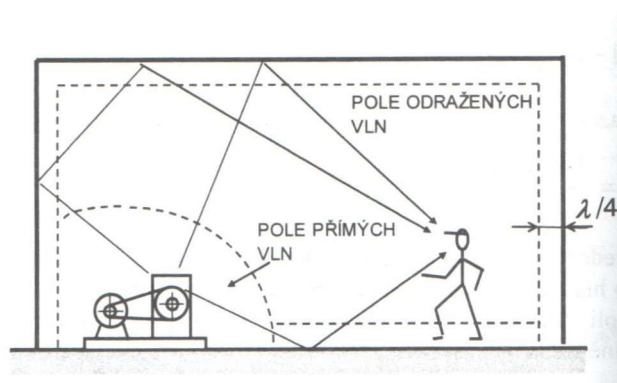
- *činitel prostupu/průzvučnosti (transmise)* $\tau = \frac{P_t}{P_0}$ (1.10)

- *ztrátový činitel* $\eta = \frac{P_t}{P_l}$ (1.11)

Všechny tyto veličiny jsou bezrozměrné a nabývají hodnot od nuly k jedné. Konkrétně činitel pohltivosti α je často používán a to nejen v oblasti výpočtů zvukových izolací, ale i při návrhu auditorií a místností, kde je požadovaná jistá *doba dozvuku*, o které pojednává kapitola 1.6. Platí, že čím vyšší je hodnota činitele α , tím lepší má materiál 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.

V souvislosti s činitelem pohltivosti α je definována tzv. *ekvivalentní pohltivá plocha* A_i (m^2) povrchu konstrukce, která se určí součinem plochy i -tého povrchu S_i (m^2) a činitele pohltivosti α_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 nacházejí. Samotný činitel pohltivosti je kmitočtově závislý, tudíž i ekvivalentní pohltivá plocha je kmitočtově závislá. [6]

V uzavřeném prostoru se musí oproti venkovnímu prostoru počítat se dvěma poli, ve kterých je úplně jiný akustický tlak. Tato pole jsou na obrázku 1.5.



Obrázek 1.5: Akustická pole uzavřeného prostoru [1]

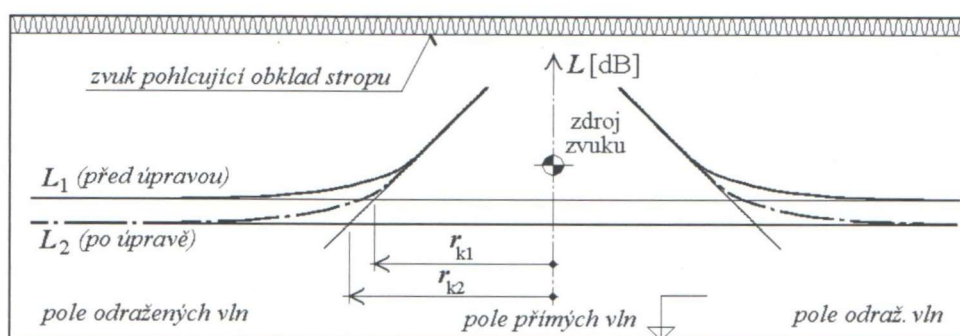
Pole přímých vln se nachází v blízkosti zdroje a bylo popsáno u venkovního prostoru. Lze v něm sluchem rozpoznat, odkud zvuk přichází. Je však omezeno na vzdálenost r_k , která se nazývá *dozvuková vzdálenost* a bude vysvětlena později. V místech vzdálenějších

než hodnota r_k se již nachází *pole odražených vln*, ve kterém už předešlé zákonitosti nefungují. Převládá zde akustické vlnění, které se již několikrát odrazilo od ohraničujících konstrukcí místnosti. Hladina akustického tlaku v tomto poli není závislá na vzdálenosti od zdroje, ale na celkové ekvivalentní pohltivé ploše A místnosti. Kdekoliv v této oblasti je pak hladina akustického tlaku v podstatě stejná. Zároveň se předpokládá *difúzní* charakter pole. [6] Difúzní zvukové pole je takové, ve kterém platí:

- hustota akustické energie je ve všech místech difúzního pole stejná,*
- každý směr dopadu zvuku je stejně pravděpodobný,*
- hustota energie zvuku je součtem hustoty energie všech zvukových vln, které současně do daného místa z různých směrů přicházejí.* [6]

V přeneseném významu to tedy znamená, že v difúzním zvukovém poli je pravděpodobné, že zvuková vlna dopadne na ohraničující konstrukci (např. stěna) prakticky odevšud a že se následně od ní odrazí téměř kamkoliv. Tato představa je ale *zjednodušeným modelem skutečných podmínek šíření zvuku v uzavřených prostorech, jejichž difúznost je ve skutečnosti vždy do jisté míry narušena. Toto zjednodušení zpravidla umožní dostatečně přesně výpočtem stanovit zatížení uživatelů budov hlukem, ale při sledování kvality zvuku v auditoriích (divadla, kina, koncertní sály, přednáškové síně apod.) je nutný podrobnější popis zvukového pole, kterým se zabývá prostorová akustika.* [6] Ta však není předmětem této bakalářské práce.

Obě pole včetně jejich rozhraní v podobě dozvukové vzdálenosti r_k jsou názorně ukázána na obrázku 1.6:



Obrázek 1.6: Šíření zvuku v uzavřeném prostoru [6]

Zdroj zvuku se nachází uprostřed místnosti, svislá osa představuje hladiny akustického tlaku L (dB) a vodorovná osa vzdálenost r (m) od zdroje. Příklad je rozdělen na dvě situace – před a po akustické úpravě místnosti (obložení stropu zvukově pohlcujícím materiálem). Při zvýšení celkové ekvivalentní pohltivé plochy A se hladina

v poli odražených vln L_1 (dB) sníží na hodnotu L_2 (dB) a zároveň se zvětší dozvuková vzdálenost r_k . Tím pádem se prodlouží působení pole přímých vln, avšak nedojde k tomu, že by se snížil samotný průběh hladin akustického tlaku L v blízkosti zdroje. Z toho vyplývá, že pro tuto oblast je aplikace jakéhokoliv pohlcovače zcela zbytečná, pokud bychom se snažili o snížení „hlučnosti“ v poli přímých vln. *Po spuštění zdroje zvuku se hladina akustického tlaku v poli odražených vln ustálí právě na takové hodnotě, která zajistí stav rovnováhy mezi vyzářeným a pohlceným akustickým výkonem.* [6]

Tato hodnota se dá spočítat pomocí vztahu 1.12,

$$L = L_W + 10 \lg \left[\frac{4(1 - \alpha_m)}{A} \right] \quad (1.12)$$

kde α_m (–) je *střední činitel pohltivosti*, který se spočítá jako průměrná hodnota ze všech povrchů v místnosti (viz vztah 1.13):

$$\alpha_m = \frac{S_1 \alpha_1 + S_2 \alpha_2 + \dots + S_i \alpha_i + \dots + S_n \alpha_n}{S_1 + S_2 + \dots + S_i + \dots + S_n} = \frac{A}{\sum S} \quad (1.13)$$

Samotné povrchy použité do výpočtu mohou být povrchy stropů, podlah (případně s kobercem), stěn, oken, dveří, atd.

Hladina akustického tlaku L současně v obou polích je popsána Beránkovým vztahem (vztah 1.14), který v sobě kombinuje vztahy pro pole přímých i odražených vln podle vztahů 1.7 a 1.12:

$$L = L_W + 10 \lg \left[\frac{Q}{4\pi r^2} + \frac{4(1 - \alpha_m)}{A} \right] \quad (1.14)$$

Podle porovnání velikostí zlomků v hranaté závorce (ve vztahu 1.14) lze usoudit, zda konkrétní řešený bod leží v poli přímých nebo v poli odražených vln. Pro pole přímých vln platí vztah 1.15

$$\frac{Q}{4\pi r^2} > \frac{4(1 - \alpha_m)}{A} \quad (1.15)$$

a pro pole odražených vln platí vztah 1.16: [1]

$$\frac{Q}{4\pi r^2} < \frac{4(1 - \alpha_m)}{A} \quad (1.16)$$

Pokud se oba zlomky sobě rovnají (tedy se výraz v hranaté závorce v rovnici 1.14 položí roven nule), lze při vyjádření vzdálenosti r určit dozvukovou vzdálenost r_k (vztah 1.17), na jejímž rozhraní se mění pole přímých vln v pole odražených vln. [6]

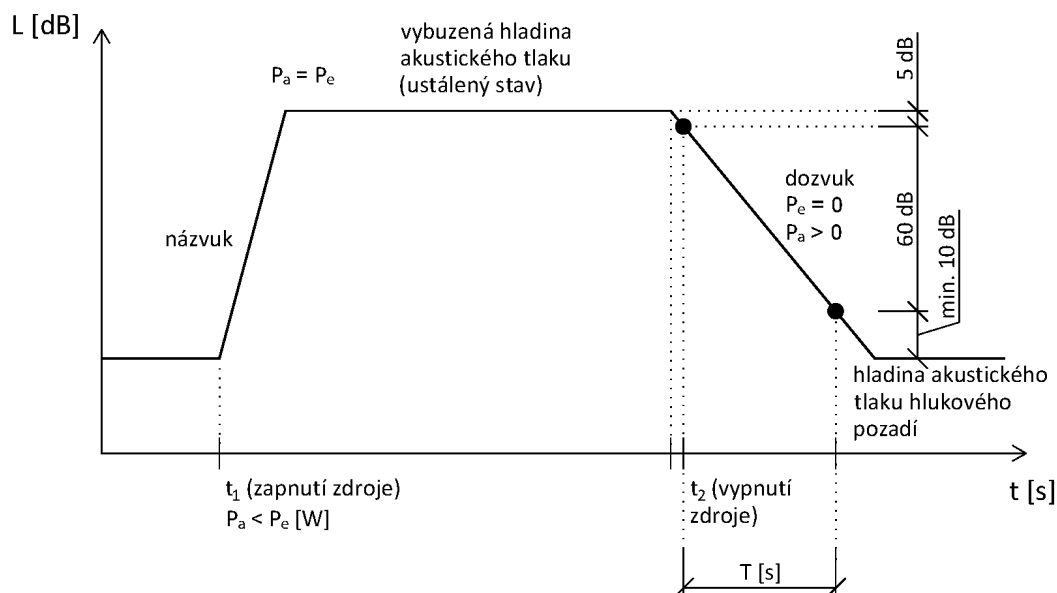
$$r_k = \sqrt{\frac{AQ}{16\pi(1 - \alpha_m)}} \quad (1.17)$$

Je však nutno podotknout, že všechny tyto vztahy lze při výpočtu aplikovat pouze za předpokladu, že je známa celková absorpce prostoru, tedy jednotlivé činitele

pohltivosti. [1] Tyto ideální případy výpočtu také závisí na kmitočtech, protože u 100 až 250 Hz hodnoty obvykle kolísají z důvodu tzv. *stojatého vlnění*, které způsobuje rezonanci. Zároveň vždy předpokládáme difúznost zvukového pole, ale tato vlastnost nemusí pokaždé platit, například když je zvuková pohltivost nerovnoměrně rozložena. V takovém případě bude hladina v poli odražených vln vyšší, než jak by bylo vypočteno. Dalším důvodem nesplnění předpokladu difúznosti zvukového pole je nevhodný objem místnosti, respektive pokud je poměr délek nejdelšího a nejkratšího rozměru místnosti větší než 3.

1.6 Doba dozvuku

Doba dozvuku T (s) je kritériem akustičnosti uzavřeného prostoru z hlediska statistické akustiky [6], která též předpokládá difúznost zvukového pole, jež je popsána v předešlé kapitole 1.5. Následující obrázek 1.7 slouží k vysvětlení pojmu.



Obrázek 1.7: Doba dozvuku T

Po spuštění zdroje zvuku se zvyšuje hladina akustického tlaku v poli odražených vln (v uzavřené místnosti). Tomuto jevu se říká *názvuk*. Po krátké době se ustálí hladina akustického tlaku na trvale stejné hodnotě L (dB) v takzvaném ustáleném stavu, při kterém dochází k rovnováze mezi akustickým výkonem P_e (W) emitovaným zdrojem a akustickým výkonem P_a (W), který pohlcují konstrukce ohraničující místnost. Hodnotu L tohoto ustáleného stavu lze určit podle vztahu 1.12. Po vypnutí 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 čase. 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 vybuze­né hladiny, po okamžik, kdy se tato hladina zmenší o 60 dB (viz obrázek 1.7). *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 ekvivalentní pohltivé ploše místnosti, přičemž s její vyšší hodnotou se naopak doba dozvuku zkracuje. Též závisí na kmitočtu zvuku a sleduje se většinou (kromě zvukových izolací) v oktávo­vých pásmech v rozsahu 125 až 4000 Hz. [2] Na standardní dobu dozvuku jsou stanoveny limity pro různé prostory v ČSN 73 0525 a ČSN 73 0527.

Na základě definice standardní doby dozvuku je zavedeno označení pro dobu dozvuku T_{60} , avšak ne vždy se sleduje pokles o 60 dB, ale též například o 30 dB a 20 dB. Pokles o 20 dB je využíván u měření zvukových izolací a má označení T_{20} . Je též možné učinit lineární převod mezi T_{60} a T_{20} :

$$T_{60} = 3T_{20} \quad (1.18)$$

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 α_m . Na základě především těchto veličin byly odvozeny tři možné vztahy pro výpočet doby dozvuku, které mají různá uplatnění. Prvním z nich je výpočet doby dozvuku podle Sabina,

$$T = 0,163 \frac{V}{A} \quad (1.19)$$

jehož užití je vhodné u místností, které nejsou opatřeny zvuk pohlcujícími obklady a jejichž $\alpha_m < 0,2$. Při měření zvukových izolací je především využíván tento vztah. Pomocí změřené doby dozvuku je možno zjistit celkovou ekvivalentní pohltivou plochu A místnosti. Pro výpočet doby dozvuku ve více zatlu­mených místnostech (auditoriích), tj. pro $\alpha_m > 0,2$ se používá vztah podle Eyringa,

$$T = 0,163 \frac{V}{-\sum S \ln(1 - \alpha_m)} \quad (1.20)$$

který platí pro auditoria do objemu 2000 m^3 . Při vyšších objemech se používá vztah podle Millingtona – vztah 1.21:

$$T = 0,163 \frac{V}{-\sum S_i \ln(1 - \alpha_i)} \quad (1.21)$$

Všechny vztahy pro výpočet doby dozvuku (vztahy 1.19, 1.20 a 1.21) 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. Ne ve všech případech se s ním však počítá. Uplatnění nachází především v případech místností o velikém objemu, tudíž při běžných měřeních doby dozvuku u zvukových izolací jej není třeba zohledňovat.

2 Vzduchová neprůzvučnost

2.1 Důležitost zvukových izolací

Pojem *zvuková izolace* byl již několikrát zmíněn. V tomto případě se však nejedná o vláknitý a jiný izolační materiál (což je tzv. tepelná izolace), ale o neprůzvučnosti konstrukcí, o kterých pojednává celá druhá a třetí kapitola. Nicméně samotná tepelná izolace je materiálem, který mnohdy napomáhá k lepším výsledkům zvukové izolace.

ČSN 73 0532 popisuje zvukovou izolaci jako *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.* [5]

Požadavky pro hodnoty těchto veličin se vyskytují v citované normě. V citaci je uveden termín *chráněný prostor*. Stejná norma říká, že chráněný vnitřní prostor je *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.* [5] Jsou to prostory, ve kterých se zdržují osoby za účelem práce, bydlení nebo rekreace (vymezení a definice prostorů, které jsou sledovány viz kapitola 2.2). Jako takové se tedy podle normy řeší bytové domy (včetně přístaveb za účelem vzniku nových bytů), občanské budovy (hotely, nemocnice, školy, administrativní budovy), obytné části v budovách jiného účelu, rodinné domy (samostatné i řadové). [5]

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. Samotné požadavky jsou kladeny na *dělicí konstrukce mezi místnostmi (obecný výraz pro svislé a vodorovné stavební konstrukce přímo oddělující místnosti zdroje zvuku od chráněných místností, např. stěny, stropy s podlahami atd.* [5]), dělicí konstrukce včetně otvorů (dveře, okna) a obvodové pláště včetně jejich částí (především okna).

V rámci zvukové izolace 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* . *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.* [2] Z důvodu rozsáhlosti látky se bakalářská práce zabývá pouze vzduchovou neprůzvučností.

Pro pochopení pojmu „vzduchová neprůzvučnost“ platí následující. Při šíření zvuku vzduchem zdroj (člověk, přístroje, ...) vyzařuje zvukové vlny do vzduchu v místnosti zdroje a vytvoří pole přímých a odražených vln podle zákonitostí, které byly popsány v kapitole 1.5. Při průchodu dělicí konstrukcí se intenzita tohoto zvuku sníží právě na základě vlastnosti této konstrukce – neprůzvučnosti R (dB). [2]

Vzduchová neprůzvučnost je tedy jinými slovy schopnost dělicí konstrukce zabránit přenosu zvuku šířícího se vzduchem z jednoho prostoru do druhého. V prostorách pro bydlení platí dle aktuální normy to, že tato schopnost by měla mít hodnotu minimálně 53 dB. Taková hodnota zvukové izolace by měla zajistit potřebný komfort pro bydlení a to zejména v klidnějších částech dne a v noci. Avšak realita je často jiná. Není pravidlem, že „magická“ hodnota neprůzvučnosti 53 dB tento komfort zajistí a že si nebudou uživatelé bytů stěžovat. Právě v noci, kdy se uklidňuje zvuk v pozadí (hluk z ulice, auta, ...), se může stát, že ačkoliv mezibytová stěna splňuje minimální normové hodnoty, člověk zaslechne hluk od sousedů (ať už v podobě hlasů nebo ještě hůře v podobě hudby (vliv nízkých frekvencí (basů) viz kapitola 2.7)). K tomuto jevu přirozeně může dojít i během dne. Z toho vyplývá, že zmíněná hodnota 53 dB je zcela závazná, avšak minimální, tedy ne zcela ideální. [3] Hlavním cílem je dosáhnout co nejvyšších hodnot zvukové izolace při současné ekonomické výhodnosti. Jsou však i případy, u kterých běžné normové požadavky nepostačují potřebám. Pro ty jsou v ČSN 73 0532 uvedeny doporučené zvýšené požadavky pro vzduchovou neprůzvučnost. Norma zavádí dvě třídy zvýšené zvukové izolace bytu – *TZZI I* a *TZZI II*. Více o těchto třídách a jiných běžných požadavcích na chráněné vnitřní prostory viz kapitola 2.7.

2.2 Vybrané definice z ČSN 73 0532

Následující definice a vysvětlení převzaté z normy [5] jsou důležité pro pochopení textu následujícího v dalších kapitolách a doplnění některých pojmů zmíněných v textu předešlém.

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).

Obytná místnost bytu – část bytu (zejména obývací pokoj, ložnice, pracovna, dětský pokoj, jídelna a jiné místnosti), která splňuje požadavky zvláštního předpisu⁵, je určena k trvalému bydlení a má nejmenší podlahovou plochu 8 m²; pokud tvoří byt jediná obytná místnost, musí mít podlahovou plochu nejméně 16 m²

⁵ Vyhláška č. 268/2009 Sb.

(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 m².

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 (viz ČSN 73 4301). Tyto prostory nejsou explicitně považovány za chráněné místnosti ve smyslu této normy.

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 jiných bytů.

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

Nebytové prostory domu – prostory bytového domu se zvláštním účelem, které nejsou přímo užívané k bydlení a nejsou volně přístupné uživatelům (některé např. technické místnosti, provozovny služeb, kanceláře, sklady apod.).

Místnosti s technickým zařízením domu – zejména strojovny TZB (výtahy, VZT), šachty výtahů, kotelny a výměňkové stanice, chladicí stanice apod.

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 Zvuk šířený vzduchem – neprůzvučnost

Již v kapitole 2.1 byla zmíněna *neprůzvučnost* R (dB) jako schopnost dělicí konstrukce zabránit přenosu zvuku šířícího se vzduchem z jednoho prostoru do druhého. Právě tato veličina se užívá při hodnocení izolace proti zvuku šířenému vzduchem⁶. Je charakterizována vztahem 2.1,

$$R = 10 \lg \frac{1}{\tau} \quad (2.1)$$

kde τ (–) je *činitel průzvučnosti*, který byl popsán již v kapitole 1.5. Řešíme tedy podíl akustického výkonu, který se dostává za dělicí konstrukci. [1] Tento činitel τ je součástí *činitele pohltivosti* α , který říká, kolik zvuku dělicí konstrukce při jeho dopadu pohltí. Platí vztah 2.2, který říká, že činitel pohltivosti je složen ze dvou částí – z energie, která

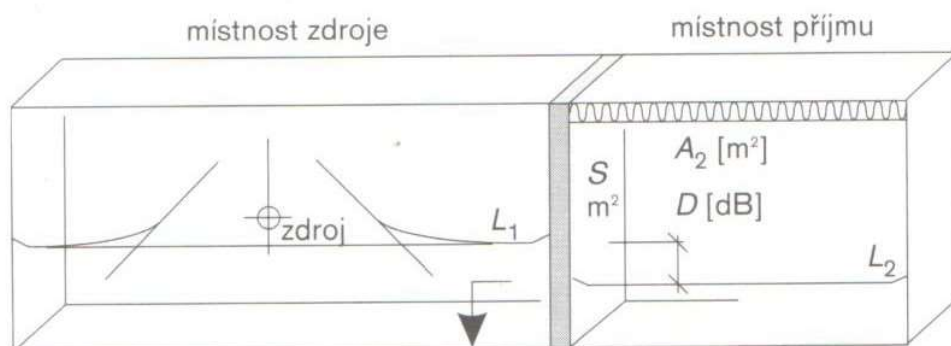
⁶ V angličtině se vzduchová neprůzvučnost nazývá „airborne sound insulation“. Je zajímavé si povšimnout slova „airborne“, které v přesném překladu znamená „zrozený ze vzduchu“.

v konstrukci zůstane a přemění se v teplo (činitel přeměny ϵ), a z energie, která projde konstrukcí do dalšího prostoru (τ):

$$\alpha = \epsilon + \tau \quad (2.2)$$

Prostorová akustika obvykle nezajímá, co se stane s energií pohlcenou, protože se v podstatě zajímá o akustickou energii, která se od stěny po dopadu vrací do prostoru místnosti, kde má být zajištěn kvalitní přenos hudby, zpěvu nebo mluveného slova. Technik, který má za úkol snižovat hluk, má obvykle zájem opačný. Nechce, aby z určitého ohraničeného hlučného prostoru pronikala akustická energie do sousedních chráněných místností. Bude mít zájem, aby činitel průzvučnosti byla hodnota co nejmenší. [1]

V praxi se však vztah 2.1 nepoužívá. Neprůzvučnost lze zjistit pomocí vztahu 2.4 (viz dále). K vysvětlení vzniku tohoto vztahu slouží obrázek 2.1.



Obrázek 2.1: Neprůzvučnost – rozdíl hladin akustického tlaku mezi sousedními místnostmi [2]

Pokud se hladina akustického tlaku v poli odražených vln v *místnosti zdroje* (též nazývána jako *vysílací místnost*) označí jako L_1 (dB) a hladina akustického tlaku v sousední *místnosti příjmu* (též nazývána jako *přijímací místnost*) jako L_2 (dB), pak na rozdíl hladin (též tzv. *stupeň zvukové izolace*) $D = L_1 - L_2$ budou mít hlavní vliv zvukoizolační vlastnosti dělicí konstrukce charakterizované činitelem průzvučnosti τ (tedy vlastnost nazývaná jako *neprůzvučnost* R), ale zároveň se též uplatní plocha S (m^2) dělicí konstrukce (nebo její část společná pro místnost příjmu a zdroje) a celková ekvivalentní pohltivá plocha A_2 (m^2) přijímací místnosti. Pomocí těchto veličin by se při teoretických výpočtech (ve kterých se samotná neprůzvučnost R vypočítá pomocí vzorců a postupů uvedených v kapitole 4.2) dala zjistit hladina akustického tlaku L_2 v místnosti příjmu podle vztahu 2.3: [2]

$$L_2 = L_1 - R + 10 \lg \frac{S}{A_2} \quad (2.3)$$

V praktických případech, kdy chceme stanovit neprůzvučnost R na reálných konstrukcích pomocí měření, se vztah 2.3 jednoduše upraví na vztah 2.4:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A_2} \quad (2.4)$$

Hladiny L_1 a L_2 jsou uměle vybuzeny referenčním zdrojem zvuku a naměřeny zvukoměrem (více k problematice měření viz kapitola 3.4). Celková ekvivalentní pohltivá plocha A_2 v místnosti příjmu se vypočte ze změřené doby dozvuku T_2 v místnosti příjmu podle Sabinova vztahu (vztah 1.19). Vztah 2.4 by se tedy dal s užitím Sabinova vztahu ekvivalentně vyjádřit pomocí vztahu 2.5 [2]:

$$R = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S \cdot T_2}{0,163V_2} \quad (2.5)$$

Neprůzvučnost je veličina, která je kmitočtově závislá v oblasti třetinooktávových pásem v rozsahu 100–3150 Hz⁷. Zvuky nižších kmitočtů už není člověk běžně schopen vnímat a zvuky nižších kmitočtů nejsou tolik běžné.

Podle vztahu 2.4 (resp. 2.5) lze konstatovat, že čím vyšší je rozdíl hladin D , tím je vyšší neprůzvučnost a konstrukce lépe izoluje. Zároveň na základě zkušeností a prokazatelných výsledků platí, že s narůstajícím kmitočtem má konstrukce lepší vlastnosti, tj. například stěny pohlcují více vyšší kmitočty, ale naopak méně nižší. To znamená, že čím vyšší je frekvence dopadajícího zvuku, tím vyšší je neprůzvučnost dělicí konstrukce a tím menší je intenzita pronikajícího zvuku. Z tohoto důvodu je vždy dobré u různých typů konstrukcí znát celý kmitočtový rozsah s příslušnými hodnotami, jelikož výrobci často uvádějí jednu souhrnnou jednočíselnou hodnotu (více viz kapitola 2.5) charakterizující vlastnost zvukové izolace. Ta však není vždy plně vypovídající, protože (jak již bylo zmíněno) konstrukce (či výrobek) může mít velice dobré akustické vlastnosti na vysokých frekvencích, ale velmi slabé na nízkých. Z hlediska požadovaných jednočíselných hodnot sice může tato konstrukce odpovídat normovým požadavkům, avšak cíloví uživatelé si nakonec budou stěžovat na například slyšitelný hovor sousedů, neboť zvuk lidského hlasu se blíží svými kmitočty právě spíše nižším frekvencím sledovaného pásma zvukových izolací.

Pro shrnutí lze popsat tři důsledky frekvenční závislosti neprůzvučnosti:

1. *Akustické signály jsou obvodovou resp. dělicí stavební konstrukcí „filtrovány“ tak, že vysoké frekvence jsou více tlumeny než frekvence nízké.*
2. *Zvukoizolační schopnosti stavebních konstrukcí jsou v oblasti nízkofrekvenčního hluku velmi nízké, takže akustické signály v oblasti nízkofrekvenčního hluku procházejí stavebními konstrukcemi s velmi malým útlumem.*
3. *Díky „filtraci“ může akustický signál proniklý do chráněného vnitřního prostoru získat tónový charakter. [8]*

⁷ Konkrétně se jedná o 16 pásem: 100, 125, 160, 200, 250, 315, 400, 500, 630, 800, 1000, 1250, 1600, 2000, 2500, 3150 Hz.

Častý problém pak nastává kupříkladu u domácích kin (nebo bytů v blízkosti diskoték), jejichž hluk z provozu obsahuje velmi nízké kmitočty (menší než 100 Hz). Konstrukce neutlumí zvuk z reproduktorů se silně nastavenými basy a uživatelé si následně stěžují na nepříjemný dunivý hluk, který však požadavky v ČSN 73 0532 nezohledňují. Tato problematika bude více rozvedena v kapitole 2.7 pojednávající o požadavcích na ochranu proti hluku v budovách.

Též u neprůzvučností platí zásada, že čím hmotnější je dělicí konstrukce, tím je více neprůzvučná. [3] Často se uvádí, že při 350 kg/m^2 je zaručen požadavek na vzduchovou neprůzvučnost. Tato závislost neprůzvučnosti na hmotnosti je vidět na konkrétních příkladech konstrukcí v kapitole 4.

V této kapitole bylo vysvětleno, co znamená (vzduchová) neprůzvučnost. Její hodnotu lze zjistit měřením nebo výpočtem. Měření, které je využíváno v praxi pro stanovení reálných hodnot akustických vlastností výrobků a konstrukcí na dokončené stavbě (či v laboratorních podmínkách), se budou věnovat následující kapitoly (3.1–3.5) patřící do první části (ad A), která se nazývá „Vzduchová neprůzvučnost – teorie“. Výpočtům, sloužícím k předběžným hodnocením konstrukcí ve fázích příprav a projektu, se bude zabývat druhá část (ad B) této práce, která nese název „Vzduchová neprůzvučnost – mezi teorií a praxí“.

2.4 Rozdíl mezi laboratorní a stavební neprůzvučností – vliv korekcí

Akustika zavádí pro neprůzvučnost dva zcela odlišné pojmy, které je třeba rozlišovat. Jsou jimi (*laboratorní*) neprůzvučnost R (dB) a *stavební* neprůzvučnost R' (dB). Platí, že se sobě prakticky nikdy nerovnají při současné nerovnosti, kdy $R > R'$. Zatímco laboratorní neprůzvučnost je hodnota, která je zjištěna na základě výpočtu nebo měření v ideálních laboratorních podmínkách (výrobci ji udávají ve svých technických listech), aby se podle ní dalo projektovat, tak stavební neprůzvučnost je hodnota, která se změří v již zabudovaném stavu reálné konstrukce (měření na dokončovaných stavbách, v rekonstruovaných objektech). Ve výsledku je tedy hodnota stavební neprůzvučnosti tím číslem, které každého zajímá, jelikož právě pro ni jsou stanoveny požadavky uvedené v ČSN 73 0532. Proto je třeba tyto dva pojmy od sebe odlišovat, jelikož výrobci často uvádějí pouze tu lepší hodnotu, tedy hodnotu laboratorní neprůzvučnosti R .

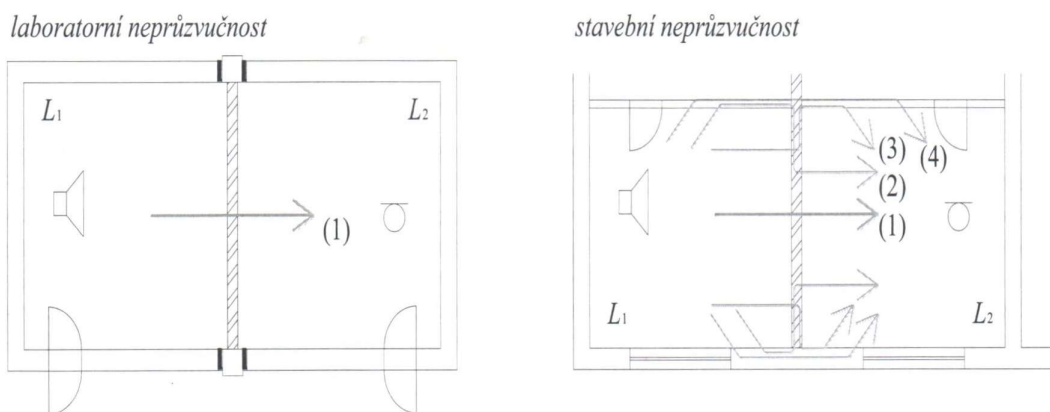
Pro některé dělicí konstrukce existují i relativně spolehlivé metody předpovědi hodnot neprůzvučnosti výpočtem. Hodnoty neprůzvučnosti změřené na konstrukci zabudované v reálném stavebním objektu (ve stavbě) jsou však zpravidla nižší oproti hodnotám zjištěným měřeními v akustické laboratoři nebo oproti hodnotám

teoreticky vypočteným. Příčinou může být odlišné provedení konstrukce na stavbě oproti laboratoři, ale zejména šíření zvuku na stavbě bočními cestami, tj. cestami mimo hodnocenou konstrukci. [6]

ČSN EN ISO 12354-1 definuje způsoby přenosu mezi místnostmi:

- **přímý přenos** (*direct transmission*): přenos způsobený pouze zvukem dopadajícím na dělicí prvek a přímo z něho vyzařovaným (přenos konstrukcí) nebo přenášeným jeho částmi (přenos vzduchem) jako štěrbinami, vzduchotechnickými zařízeními nebo větracími žaluziemi,
- **nepřímý přenos** (*indirect transmission*): přenos zvuku z místnosti zdroje zvuku do místnosti příjmu jinými přenosovými cestami než přímou přenosovou cestou; lze jej rozdělit na přenos vzduchem a přenos konstrukcí; přenos konstrukcí se nazývá boční přenos,
- **nepřímý přenos vzduchem** (*indirect airborne transmission*): nepřímý přenos zvukové energie hlavně vzduchovou přenosovou cestou, tj. větracími systémy, stropními podhledy a chodbami,
- **nepřímý přenos konstrukcí (boční přenos)** (*indirect structure-borne transmission (flanking transmission)*): přenos zvukové energie z místnosti zdroje do místnosti příjmu hlavně (vibračními) cestami konstrukcí, tj. stěnami, podlahami, stropy). [9]

Tyto druhy přenosu jsou znázorněny na obrázku 2.2:



Obrázek 2.2: Laboratorní a stavební neprůzvučnost [6]

Jaké jsou druhy přenosu mezi místnostmi, je vidět na obrázku vpravo. Přímý přenos je v půdorysu pod označením (1), nepřímý konstrukcí (boční) pod označením (2), (3) a (4). Nepřímý přenos vzduchem by vyznačovala šipka vedoucí mezi okny venkovním prostředím. Dalším možným přenosem jsou tzv. *akustické mosty*, které jsou kapitolou samou o sobě. Vznikají možným chybným provedením konstrukce, nedodržením pracovních zásad nebo ignorováním možného akustického problému při nevhodných zásazích do konstrukce - například osazení zásuvek ve zděné stěně, respektive ještě

horším případem je realizace zásuvek z obou stran stěny naproti sobě. Dochází k silnému oslabení stěny, počet žebér dutinového bloku se zmenší a zvuk má mnohem jednodušší cestu do druhého prostoru, což vždy výrazně snižuje zvukovou izolaci této stěny. Dalším různým chybám a problémům, které vedly v praxi ke vzniku akustických mostů a znehodnocení konstrukce jako celku, se bude věnovat třetí část (ad C) nesoucí název „Vzduchová neprůzvučnost - praxe“.

Na obrázku 2.2 vlevo je schematicky znázorněno provedení akustické laboratoře. Taková státně akreditovaná zkušebna má *dělicí prvek zabudovaný do železobetonového rámu pružně odděleného od místnosti zdroje i místnosti příjmu*⁸. [6]

Obě komory jsou tedy na sobě kvůli tomuto pružnému oddělení nezávislé. Do komor též vedou neprůzvučné dveře s vysokou zvukovou izolací, tudíž by nemělo docházet k nepřímým přenosům hluku vzduchem. Proto dochází v laboratoři prakticky jen k přímému přenosu, který je na obrázku označen jako (1).

Vztah mezi laboratorní a stavební neprůzvučností, který lze použít jako přibližný přepočít na R' ve fázi návrhu a projektu při posuzování na základě změřené nebo vypočtené hodnoty laboratorní neprůzvučnosti R , je popsán vztahem 2.6,

$$R' = R - k_1 \quad (2.6)$$

kde k_1 je korekce, která je závislá na vedlejších cestách šíření zvuku. [5]

ČSN 73 0532 uvádí přibližné hodnoty těchto korekcí:

- $k_1 = 2 \text{ dB}$... základní hodnota platná pro všechny dělicí konstrukce v masivních zděných nebo montovaných panelových stavbách z klasických materiálů (cihly, beton),
- $k_1 = 2 \text{ až } 5 \text{ dB}$... doporučené hodnoty pro těžké dělicí konstrukce ve skeletových stavbách (např. vyzdívané konstrukce ve skeletu apod),
- $k_1 = 4 \text{ až } 8 \text{ dB}$... doporučené hodnoty pro lehké dělicí konstrukce ve skeletových, ocelových nebo dřevěných stavbách (deskové dílce, sádkartonové konstrukce, dřevěné stropy apod.).⁹ [5]

Pro korekci o hodnotě 3 dB se uvádí, že při ní dochází k tomu, že *přibližně 50% akustického výkonu se mezi místnostmi šíří přímou cestou a zbývajících 50% bočními cestami*. [10]

⁸ Na stavbě je však dělicí prvek po obvodě spojený s bočními stavebními prvky, kvůli čemuž vznikají boční přenosy. [6]

⁹ Dodatek z normy: *Pro složitější konstrukce nebo dispozice místností se doporučuje korekci stanovit individuálně. Přesnější odhad vlivu vedlejších cest lze získat výpočtem např. podle ČSN EN ISO 12354-1 nebo jiným způsobem*. [5]

Jak je vidět, hodnoty korekce jsou velmi přibližné a závisí na konkrétním konečném provedení. Začínají většinou na čísle 2 dB a poté jsou už jenom horší (vyšší). Ve skutečnosti není obvyklé, že by se někomu mohlo podařit vyrobit konstrukci, která by byla stejně dobrá jako ta změřená v laboratoři. Naopak bude každý spokojen, když se mu podaří konstrukci realizovat tak, aby bylo možno uvažovat jen s vlivem těchto přibližných korekcí (tj. nevyskytne se další problém v podobě akustických mostů). Ty totiž snižují výslednou hodnotu zvukové izolace na ještě nižší hodnoty, než je požadováno.

Pro shrnutí tedy lze říci, že korekce k_1 je ovlivněna řadou okrajových podmínek, které v laboratoři nelze nasimulovat, nejvíce tzv. přenosem zvuku vedlejšími cestami, oslabením stěny rozmístěním elektrorozvodů a krabic atd. Ze zkušenosti víme a opakovaně si na stavbách ověřujeme, že je třeba počítat s korekcí k_1 ve výši 3 až 4 dB¹⁰, přičemž varianta s cihelnými nosnými konstrukcemi je z pohledu velikosti korekce příznivější než varianta železobetonové nosné konstrukce s výplňovými nenosnými stěnami. Všimněme si, že korekce k_1 je ovlivněna hlavně konstrukčním řešením, a to nejen vlastní mezibytové stěny, ale také navazujících konstrukcí. Hraje roli, zda se jedná o nosnou či nenosnou konstrukci, zda navazuje na ostatní zděné či monolitické konstrukce apod. Všechna opatření v místech napojení jsou řešena a doporučena tak, aby korekce k_1 byla v součtu všech vedlejších cest co nejmenší. V žádném případě ale tato korekce nezahrnuje vliv špatného provedení. [4]

2.5 Vážená stavební neprůzvučnost a její stanovení

Jak již bylo v kapitole 2.3 řečeno, neprůzvučnost je veličina kmitočtově závislá. Sleduje se v 16 třetinooktávových pásmech v rozmezí 100 až 3150 Hz. Její hodnoty ve většině případů rostou se vzrůstajícím kmitočtem, tedy vyšší kmitočty jsou lépe tlumeny než ty nízké. Závislost však není lineární a u různých konstrukcí a materiálů má různý průběh. V některých částech spektra může dokonce docházet k opačné závislosti (k poklesům hodnoty R se vzrůstajícím kmitočtem) v důsledku rezonance nebo vlnové koincidence. [6]

Hodnotit tedy všech 16 třetinooktávových pásem by bylo značně pracné a především nepraktické. Z tohoto důvodu se tyto hodnoty převádí na jednočíselné vyjádření zvukové izolace – na veličinu vážené neprůzvučnosti R_w (dB), resp. především stavební vážené neprůzvučnosti R'_w (dB), jejíž stanovení je popsáno v ČSN EN ISO 717-1, a pro kterou jsou stanoveny požadavky v ČSN 73 0532.

¹⁰ Jiný zdroj [10] uvádí, že v běžných případech se korekce vážené stavební neprůzvučnosti pohybuje v průměru mezi 2 až 3 dB.

Změřené hodnoty stavební neprůzvučnosti R' (resp. vypočtené hodnoty neprůzvučnosti R – dále se však bude v textu uvažovat stavební neprůzvučnost R') se vynášejí do normalizovaného pravoúhlého diagramu se závislostí neprůzvučnosti R' na kmitočtu f (viz obrázek 2.3). Na vodorovné ose je v logaritmickém měřítku stupnice středních kmitočtů f (Hz) pásem 1/3 oktávy a na svislé ose neprůzvučnost R' (dB). Rozměry diagramu jsou normalizovány tak, že jedné 1/3 oktávy na vodorovné ose odpovídá 10 mm a deseti decibelům na svislé ose odpovídá 40 mm. Hodnoty neprůzvučnosti v jednotlivých pásmech 1/3 oktávy (je jich celkem 16) se s přesností na desetinu decibelu vynesou do diagramu. Sousední hodnoty se spojí úsečkami. Vzniklá lomená čára znázorňuje závislost neprůzvučnosti na kmitočtu. [6]

V tomto okamžiku je proto potřeba stanovit výslednou hodnotu vážené stavební neprůzvučnosti R'_w . Tato jednočíselná veličina pro hodnocení vzduchové neprůzvučnosti je hodnota posunutě směrné křivky v decibelech, odečtená na kmitočtu 500 Hz po jejím posunutí v souladu s metodou uvedenou v této části ISO 717. [11]

Pro pochopení slouží následující tabulka 2.1 a obrázek 2.3. Naměřené hodnoty neprůzvučnosti R' se porovnávají se směrnými hodnotami, tedy s tzv. směrnou křivkou, která má dle těchto hodnot stálý tvar dvakrát lomené čáry. [6]

Tabulka 2.1: Třetinooktávová (resp. oktávová) pásma v rozsahu zvukoizolačního pásma a hodnoty směrné křivky pro neprůzvučnost [6]

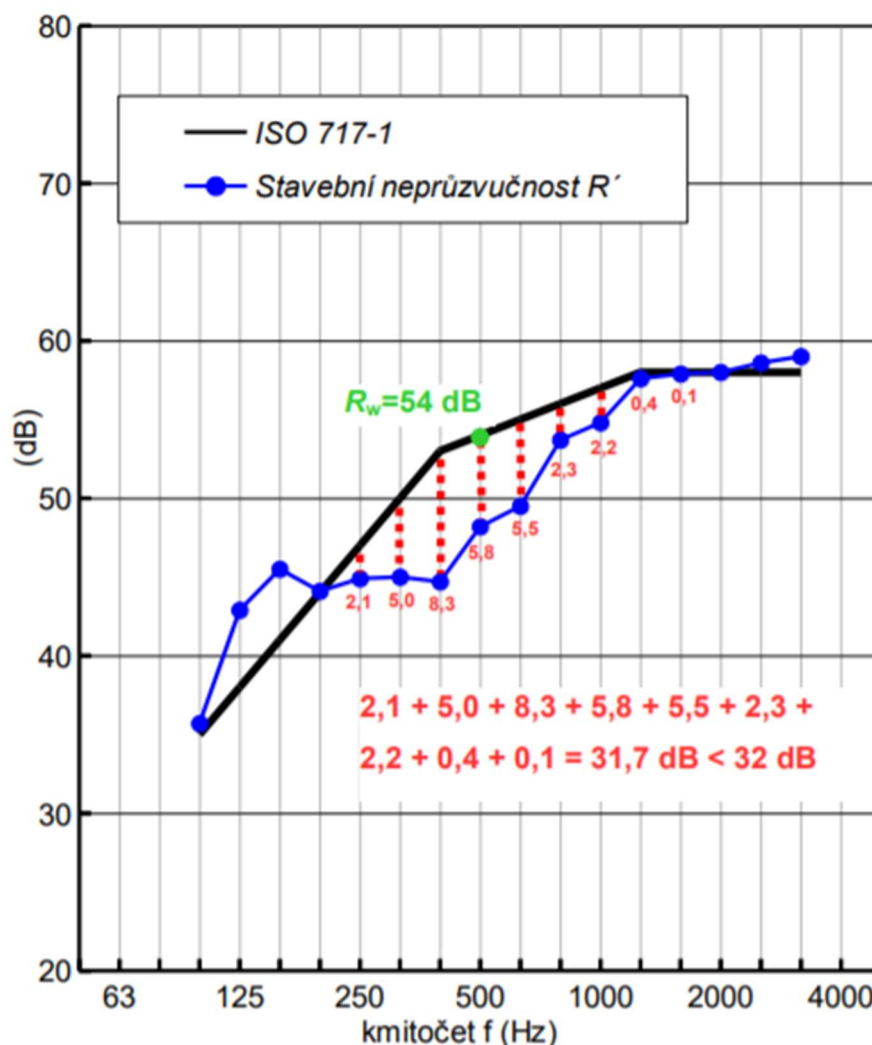
Třetinooktávová pásma																
č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
SK [dB]	33	36	39	42	45	48	51	52	53	54	55	56	56	56	56	56
Oktávová pásma																
č.	1		2		3		4		5		---					
f [Hz]	125		250		500		1000		2000		---					
SK [dB]	36		45		52		55		56		---					

Zdroj hodnot: ČSN EN ISO 717-1 [11]

Směrná křivka má své základní hodnoty stanovené pro váženou stavební neprůzvučnost $R'_w = 52$ dB odpovídající hodnotě směrné křivky v pásmu 500 Hz. Hodnoty směrné křivky jsou uváděny s přesností na celé decibely, hodnoty stavební neprůzvučnosti R' na jedno desetinné místo a vážená stavební neprůzvučnost R'_w na celé decibely, jelikož odpovídá hodnotě směrné křivky v pásmu 500 Hz. Příslušná směrná křivka se posunuje po krocích 1 dB (0,1 dB při vyjadřování nejistoty) směrem ke křivce změřených hodnot, až se součet nepříznivých odchylek co nejvíce blíží, ale nepřesahuje

32,0 dB (měření v 16 třetinooktávových pásmech) nebo 10,0 dB (měření v 5 oktávových pásmech). [11] Nepříznivými odchylkami se rozumí rozdíly mezi hodnotami směrné křivky a změřených neprůzvučností pro příslušný kmitočet, které mají na rušivost hluku větší vliv. V případě vzduchové neprůzvučnosti jsou to pouze ty rozdíly, které se nacházejí pod směrnou křivkou (viz obrázek 2.3). Správná poloha směrné křivky se tedy hledá jejím posouváním po 1 dB v pásmu 500 Hz do té doby, dokud tyto odchylky v součtu nedávají nejbližší možné číslo, které je zároveň nižší nebo rovno normou stanovené hodnotě 32,0 dB. K rozdílům mezi hodnotami směrné křivky a změřených neprůzvučností, které se nacházejí nad směrnou křivkou, se nijak nepřihlíží. [6][11]

Hodnota posunuté směrné křivky v pásmu 500 Hz je potom hledaným jednočíslným údajem – váženou stavební neprůzvučností R'_w (dB). Protože existuje zpravidla tendence dokázat, že hodnocená konstrukce má co nejlepší vlastnosti, je zájem na tom, posunout směrnou křivku co nejvýše. Pravidlo o nejvyšší přípustné hodnotě součtu nepříznivých odchylek 32 dB však pohyb směrné křivky směrem vzhůru zastaví. [6]



Obrázek 2.3: Příklad stanovení vážené stavební neprůzvučnosti R'_w na základě změřených hodnot v třetinooktávových pásmech pomocí směrné křivky [12]

Na obrázku 2.3 je příklad stanovení vážené stavební neprůzvučnosti R'_w . Ta má v tomto případě hodnotu 54 dB, která odpovídá hodnotě směrné křivky v pásmu 500 Hz, při níž je součet nepříznivých odchylek (nacházejících se pod směrnou křivkou) roven 31,7 dB. Pokud by se jednalo o konstrukci například mezibytové stěny, tato hodnota by vyhovovala požadavku, který stanovuje ČSN 73 0532. Více o požadavcích na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách viz kapitola 2.7.

2.6 Faktory přizpůsobení spektru

Kromě vážené stavební neprůzvučnosti R'_w se též počítají na základě dvou typických spekter dva tzv. *faktory přizpůsobení spektru* C a C_{tr} (dB) pro reálně zjištěné kmitočtové rozsahy – v našem případě pro rozsah 100 až 3150 Hz. Ty mohou ale být v případě potřeby doplněny dalšími, které pokrývají kmitočtový rozsah od 50 do 5000 Hz. [11] Dle ČSN EN ISO 717-1 je faktor přizpůsobení spektru *hodnota v decibelech, která se připojuje k jednočíslné veličině (např. k R'_w) a přihlíží k charakteristickým rysům příslušného spektra zvuku.* [11]

Je to tedy doplňkové kritérium k výsledné hodnotě vážené stavební neprůzvučnosti R'_w , protože ta sama o sobě neříká, jak se bude konstrukce chovat pro různé zdroje zvuku. Po přičtení těchto faktorů se dá získat ucelenější obrázek o vhodnosti určité konstrukce. V dnešní době se prozatím při hodnocení tyto faktory nepoužívají a slouží pouze jako doplňková informace. Jejich použití je tedy zcela dobrovolné a výrobcům momentálně slouží v případě zvýšených požadavků na zvukovou izolaci nebo pro vzájemné porovnávání vzduchové neprůzvučnosti různých stavebních prvků. Předpokládá se však, že v budoucnu se jejich používání stane povinným. [6]

Faktory přizpůsobení spektru C a C_{tr} byly zavedeny za účelem zohlednění tvaru kmitočtového spektra rušivého zvuku na vzduchovou neprůzvučnost především těch stavebních prvků, které mají velmi nízkou neprůzvučnost v některém z kmitočtových pásem. [6] Faktor přizpůsobení spektru C je faktor, který odpovídá tzv. *růžovému šumu*¹¹, jenž reprezentuje běžný hluk užívání bytu (hovor, hudba, televize), dětské hry, kolejovou dopravu pro střední a vysoké rychlosti a dálkovou silniční dopravu nad 80 km/h. Je tedy vhodný především pro charakteristiku vnitřních dělicích konstrukcí. Faktor přizpůsobení spektru C_{tr} reprezentuje především hluk ze silniční dopravy¹², který má poněkud rozdílné spektrum u nízkých kmitočtů. Konkrétně představuje městskou dopravu, kolejovou dopravu pro nízké rychlosti, vrtulová letadla a diskohudbu. Tento faktor je tedy vhodný

¹¹ Problematice růžového šumu se bude věnovat kapitola 3.4.

¹² Označení „tr“ veličiny označuje slovo „traffic“, které v překladu znamená „doprava“.

spíše pro obvodové pláště a především okna, protože ta jsou vždy nejslabší částí v obvodových konstrukcích. [6]

Pro výpočet těchto dvou faktorů se použije postup uvedený v ČSN EN ISO 717-1. Následující tabulka 2.2 normovaných hodnot použitých do výpočtu podle vztahu 2.8 obsahuje spektrum č. 1, které se užívá pro výpočet faktoru C , a spektrum č. 2, které se užívá pro výpočet faktoru C_{tr} .

Tabulka 2.2: Spektra hladin akustického tlaku $L_{i,j}$ k výpočtu faktorů přizpůsobení v třetinooktávových, resp. oktávových pásmech

Třetinooktávová pásma																
č.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
f [Hz]	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150
č.1 [dB]	-29	-26	-23	-21	-19	-17	-15	-13	-12	-11	-10	-9	-9	-9	-9	-9
č.2 [dB]	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15
Oktávová pásma																
č.	1		2		3		4		5		---					
f [Hz]	125		250		500		1000		2000		---					
č.1 [dB]	-21		-14		-8		-5		-4		---					
č.2 [dB]	-14		-10		-7		-4		-6		---					

Zdroj hodnot: ČSN EN ISO 717-1 [11]

Tři poznámky k tabulce a hodnotám použitelným k výpočtu faktorů přizpůsobení spektru:

- 1) Všechny hladiny v tabulce 2.2 jsou váženy funkcí A a celková hladina spektra je normována k 0 dB. [11] Hladiny akustického tlaku změřené pro určení vážené (stavební) neprůzvučnosti R_w (R'_w) nejsou váženy funkcí A. K váhové korekci u zvukových izolací dochází tedy až u faktorů přizpůsobení spektru.
- 2) Spektra většiny obvykle převládajících zdrojů vnitřního a vnějšího hluku leží přibližně v rozsahu spekter č. 1 a č. 2; faktory přizpůsobení spektru C a C_{tr} mohou být proto použity k charakteristice neprůzvučnosti s ohledem na různé typy hluku.
- 3) Doplňkové výpočty faktorů přizpůsobení spektru se mohou provést pro rozšířený kmitočtový rozsah (zahrnující třetinooktávová pásma 50 Hz + 63 Hz + 80 Hz a/nebo 4000 Hz + 5000 Hz nebo oktávová pásma 63 Hz a/nebo 4000 Hz). [11]

Samotný výpočet faktorů přizpůsobení spektru se provede podle vztahu 2.7,

$$C_j = X_{Aj} - R_w \quad (2.7)$$

kde j je index označující číslo spektra 1 (faktor C) nebo 2 (faktor C_{tr}); R_w (dB) je vážená neprůzvučnost (resp. R'_w) stanovená podle kapitoly 2.5. Veličina X_{Aj} (dB) je zjednodušeně rozdíl hladin akustického tlaku A v místnosti zdroje a v místnosti příjmu pro růžový šum, resp. hluk silniční dopravy. Vypočte se podle vztahu 2.8,

$$X_{Aj} = -10 \lg \sum 10^{0,1(L_{i,j}-R_i)} \quad (2.8)$$

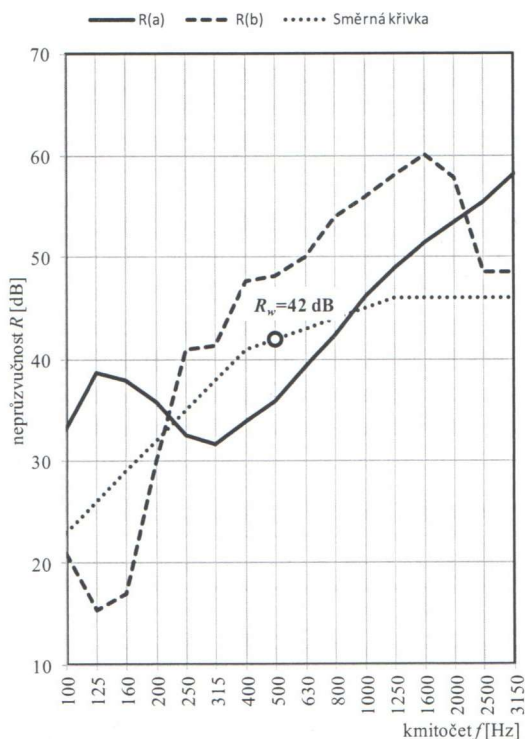
kde i je index označující třetinooktávová pásma 100 Hz až 3150 Hz nebo oktávová pásma 125 Hz až 4000 Hz; $L_{i,j}$ hladina akustického tlaku v tabulce 2.2 pro daný kmitočet i a pro spektrum j ; R_i (resp. R'_i) změřená nebo vypočtená neprůzvučnost pro daný kmitočet i s přesností hodnoty na jedno desetinné místo. [6][11]

Samotný faktor přizpůsobení spektru C (resp. C_{tr}) se vypočte s přesností na jedno desetinné místo a následně zaokrouhlí na celé číslo. [6] V této číselné hodnotě se oba faktory v konečném výsledku změřené nebo spočtené zkoušky vzduchové neprůzvučnosti uvedou společně s hodnotou vážené (stavební) neprůzvučnosti R_w (R'_w) s odkazem na pátou část normy ISO 717-1. Pro vyjádření akustických vlastností stavebních konstrukcí jsou tyto jednočíselné veličiny vypočtené výhradně z třetinooktávových pásem. Faktory jsou uvedené za hodnotou R_w (R'_w) v kulaté závorce, mezi sebou oddělené středníkem. Příkladem uvedení výsledku je například:

$$R_w(C;C_{tr}) = 41(0;-5) \text{ dB [11]}$$

Vliv tvaru spektra rušivého zvuku na vzduchovou neprůzvučnost a použití faktorů přizpůsobení spektru lze ukázat na příkladu, který je převzatý z publikace Kaňka, Nováček: Stavební fyzika 3 (Akustika pozemních staveb). [6]

Na obrázku 2.4 jsou znázorněny průběhy laboratorní neprůzvučnosti R dvou různých stavebních prvků v závislosti na kmitočtu f . Prvkem (a) je jednoduchá příčka z plných cihel tl. 65 mm s oboustrannou omítkou, jejíž $R_w(C;C_{tr}) = 42(0;-3)$. Prvkem (b) je dvojitá příčka s dřevěnými nosnými sloupky a dvojitým opláštěním sádkartonovými deskami, jejíž $R_w(C;C_{tr}) = 42(-5;-11)$. Plocha S obou stěn je 10 m^2 , ekvivalentní pohltivá plocha místnosti příjmu je $A_2 = 10 \text{ m}^2$. Oba tyto prvky mají stejnou hodnotu (laboratorní) vážené neprůzvučnosti $R_w = 42 \text{ dB}$ a jsou měřeny za stejných podmínek. Z hlediska hodnocení vzduchové neprůzvučnosti podle ČSN 73 0532 jsou tedy tyto prvky shodné. Již na obrázku 5.4 je však poznat, že ačkoliv hodnota R_w je totožná, samotný průběh neprůzvučnosti R je značně odlišný. Na základě laboratorního měření, při kterém se užívá zdroj, jenž produkuje tzv. *růžový šum* (více viz kapitola 3.4) a jehož akustický výkon způsobuje hodnoty akustického tlaku A v místnosti zdroje v obou případech zcela stejné, bylo vypočteno (viz [6], str. 59), že rozdíl hladin (stupeň zvukové izolace) u prvku (a) je



Obrázek 2.4: Průběh R prvků (a) a (b) v závislosti na kmitočtu f [6]

41,6 dB. U prvku (b) má stupeň zvukové izolace hodnotu 37,3 dB. Jinými slovy pro dvojitou sádkartonovou stěnu je rozdíl hladin mezi místnostmi o 5 dB nižší než pro jednoduchou zděnou stěnu. Tento rozdíl přesně odpovídá tomu, pokud by se k hodnotě R_w obou prvků přičetl faktor přizpůsobení spektru C . Součet R_w+C prvku (a) je $42+0=42$ dB, prvku (b) $42-5=37$ dB. [6] Teprve takovéto hodnoty objektivně reprezentují hodnoty vážené neprůzvučnosti R_w při hluku z užívání bytu. Běžně se však neřeší, jelikož norma tento fakt nezohledňuje závazně. V případě, kdy by se faktor přizpůsobení spektru C řešil pro spektrum 50 až 3150 Hz (např. u zdroje domácího kina), by se dalo předpokládat zhoršení jeho

hodnoty především u prvku (b), jelikož u sádkartonových stěn jsou nízké frekvence velmi špatně tlumeny. Na zděnou stěnu by však tato změna příliš veliký vliv neměla.

Jak již bylo řečeno, prvek (b) velmi špatně tlumí zvuky nízkých frekvencí. To je zřetelně vidět u faktoru přizpůsobení spektru C_{tr} , jehož hodnota u prvku (a) je -3 (tedy $42-3=39$ dB) a u prvku (b) -11 (tedy $42-11=31$ dB). Faktor přizpůsobení spektru C_{tr} zohledňuje silniční dopravu, městskou dopravu, atd. Ze součtu R_w+C_{tr} je vidět, jak špatně by sádkartonová stěna vykazovala omezené zvukoizolační vlastnosti oproti konstrukci zděné, pokud by se k tomuto faktoru přihlíželo. I z tohoto důvodu tedy není žádoucí, aby se obvodové stěny navrhovaly a realizovaly právě v lehkém dvojitém provedení.

2.7 Požadavky na hodnotu vážené vzduchové neprůzvučnosti

V předešlých kapitolách byl popsán pojem neprůzvučnosti (a to především tzv. stavební neprůzvučnosti R') a vysvětlen způsob stanovení jednočíselné hodnoty vážené stavební neprůzvučnosti R'_w , pro niž jsou stanoveny limitní požadavky (tedy nejnižší požadované hodnoty). Ty se nachází v ČSN 73 0532 „Akustika – Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků – Požadavky“. Tato norma ukládá však nejen požadavky pro vzduchovou, ale i pro kročejovou neprůzvučnost.

§ 14 odst. 3 vyhlášky č. 268 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby říká, že požadovaná vzduchová neprůzvučnost obvodových plášťů budov, stěn, příček a stropů

mezi místnostmi je dána normovými hodnotami. [13] 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. Předešlá citace tedy mění normu na dokument, který nelze jen tak přejít a neřídít se podle něj v otázce zvukových izolací.

Požadavky norma stanovuje pro následující typy budov:

- bytové a rodinné domy,
- hotely a zařízení pro přechodné ubytování,
- nemocnice a zdravotnická zařízení,
- školy a vzdělávací instituce,
- administrativní a správní budovy, firmy.

Základní požadovaná hodnota vzduchové neprůzvučnosti mezi obytnými místnostmi dvou bytů v bytovém domě je pro stěny i stropy $R'_w = 53$ dB. *Vážené hodnoty vzduchové neprůzvučnosti nesmí být nižší než požadované hodnoty uvedené v normě, musí tedy platit, že $R'_w \geq R'_{w,pož}$, případně $D_{nT,w} \geq D_{nT,w,pož}$ ¹³ (nemají-li místnosti společnou dělicí příčku¹⁴).* [7] Též platí, že nejméně jedna obytná místnost v bytě, ohraničená dalšími místnostmi téhož bytu, musí mít $R'_w \geq 42$ dB pro stěny a $R'_w \geq 47$ dB pro stropy. Tyto legislativní požadavky musí být splněny v každé obytné budově. Další číselné hodnoty požadavků pro různé místnosti a typy budov jsou znázorněny na obrázcích 2.5a a 2.5b. V nich uvedené tabulce se rozlišují tzv. chráněné prostory (místnosti příjmu) a hlučné prostory (místnosti zdroje zvuku). Vzduchová neprůzvučnost stěn se posuzuje měřením při horizontálním směru přenosu zvuku a vzduchová neprůzvučnost stropů potom při vertikálním směru přenosu zvuku. Zároveň tabulka stanovuje požadované hodnoty pro přenos kročejového zvuku (vážená normovaná hladina kročejového zvuku $L'_{n,w}$ a $L'_{nT,w}$ (dB)) a vzduchovou neprůzvučnost dveří (vážená neprůzvučnost R_w). Je nutno zmínit, že dle normy není požadavek na zvukovou izolaci dveří vázán na hodnotu stavební neprůzvučnosti, ale pouze na hodnotu laboratorní. ČSN 73 0532 také stanovuje, jak postupovat u měření a hodnocení složené konstrukce, která je tvořena z plné části (na niž jsou požadavky R'_w) a části dveří (na niž jsou požadavky R_w). Tyto dvě části mají zcela jiný charakter požadavku, tudíž se má změřit R'_w celé konstrukce a na základě normou doporučeného vztahu se zjistí, zda konstrukce vyhovuje či nikoliv.

¹³ $D_{nT,w}$ je veličina zvaná *vážený normovaný rozdíl hladin*.

¹⁴ Nebo ve speciálních odůvodněných případech, kdy např. dělicí plochu S nelze jednoznačně stanovit. Pro místnosti, které mají společnou jen část dělicí konstrukce (a tato plocha je menší než 10 m^2), se plocha pro výpočet stanoví jako $\max(S; V/7,5)$, kde V je objem přijímací místnosti. [5]

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci ^{*)}			
		Stropy		Stěny	Dveře
		$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ dB	$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	R_w dB
A. Bytové domy, rodinné domy – nejméně jedna obytná místnost bytu					
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	47	63	42	27
B. Bytové domy – obytné místnosti bytu					
2	Všechny místnosti druhých bytů, včetně příslušenství	53 52 ¹⁾	55 58 ¹⁾	53 52 ¹⁾	-
3	Společné prostory domu (schodiště, chodby, terasy, kočárkárny, sušárny, sklípky apod.)	52	55	52	32 ²⁾ 37 ³⁾
4	Průjezdy, podjezdy, garáže, průchody, podchody	57	48	57	-
5	Místnosti s technickým zařízením domu (výměňkové stanice, kotelny, strojovny výtahů, strojovny VZT, prádelny apod.) s hlukem: $L_{A,max} \leq 80$ dB 80 dB < $L_{A,max} \leq 85$ dB	57 ⁴⁾ 62 ⁵⁾	48 ⁴⁾ 48 ⁵⁾	57 ⁴⁾ 62 ⁵⁾	-
6	Provozovny s hlukem $L_{A,max} \leq 85$ dB: s provozem nejvýše do 22:00 h s provozem i po 22:00 h	57 62	53 48	57 62	-
7	Provozovny s hlukem 85 dB < $L_{A,max} \leq 95$ dB s provozem i po 22:00 h	72 ⁵⁾	38 ⁵⁾	-	-
C. Terasové nebo řadové rodinné domy a dvojdomy - obytné místnosti bytu					
8	Všechny místnosti v sousedním domě	57	48	57	-
D. Hotely a zařízení pro přechodné ubytování – ložnicový prostor ubytovací jednotky					
9	Všechny místnosti druhých jednotek	52	58	47	42 ⁶⁾
10	Společně užívané prostory (chodby schodiště)	52	58	45	32 27 ⁷⁾
11	Restaurace a jiné provozovny s provozem do 22.00 h	57	53	57	-
12	Restaurace a provozovny s provozem i po 22.00 h ($L_{A,max} \leq 85$ dB)	62	48	62	-
E. Nemocnice, zdravotnická zařízení – lůžkové pokoje, ordinace, pokoje lékařů, operační sály apod.					
13	Lůžkové pokoje, ordinace, ošetrovny, operační sály, komunikační a pomocné prostory (chodby, schodiště, haly)	52	58	47 ⁸⁾	27

Obrázek 2.5a: Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách [14]

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Požadavky na zvukovou izolaci ¹⁾			
		Stropy		Stěny	Dveře
		$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ dB	$R'_{w, D_{nT,w}}$ dB	R_w dB
14	Hlučné prostory (kuchyně, technická zařízení budovy) $L_{A,max} \leq 85$ dB	62	48	62	-
F. Školy a vzdělávací instituce – učebny, výukové prostory					
15	Učebny, výukové prostory	52	58	47	-
16	Společné prostory, chodby, schodiště	52	58	47	32 27 ⁷⁾
17	Hlučné prostory (dílny, jídelny) $L_{A,max} \leq 85$ dB	55	48	52	-
18	Velmi hlučné prostory (hudební učebny, dílny, tělocvičny) $L_{A,max} \leq 90$ dB	60 ⁹⁾	48 ⁹⁾	57 ⁹⁾	-
G. Administrativní a správní budovy, firmy – kanceláře a pracovny					
19	Kanceláře a pracovny s běžnou administrativní činností, chodby, pomocné prostory	47	63	37	27
20	Kanceláře a pracovny se zvýšenými nároky, pracovny vedoucích pracovníků ¹⁰⁾	52	58	45	32
21	Kanceláře a pracovny pro důvěrná jednání nebo jiné činnosti vyžadující vysokou ochranu před hlukem ¹⁰⁾	52	58	50	37
<p>¹⁾ Požadavek se vztahuje pouze na starou, zejména panelovou výstavbu, pokud neumožňuje dodatečné zvukově izolační opatření.</p> <p>²⁾ Platí pro vstupní dveře z chodby do předsině (vstupní haly) bytu, je-li chráněný prostor místností oddělen dalšími dveřmi.</p> <p>³⁾ Platí pro vstupní dveře z chodby přímo do chráněné obytné místnosti bytu.</p> <p>⁴⁾ Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje a zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a k překročení hygienických limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. V prokázaných případech, kdy zařízení nebude zdrojem hluku a vibrací, lze požadavky snížit o 5 dB.</p> <p>⁵⁾ Kromě splnění stanovených požadavků na vzduchovou a kročejovou neprůzvučnost mohou být nutná další opatření, kdy je nutné stroje a zařízení uložit, zavěsit či upravit tak, aby nedocházelo k šíření a přenosu zvuku konstrukcí (vibracemi) a instalacemi (rozvody médií, šachtami aj.) a k překročení hygienických limitů hluku ve vnitřních chráněných prostorech. Místnosti s provozním hlukem s dominantním obsahem nízkých kmitočtů nebo s tónovými složkami (např. hlučné strojovny, diskotéky apod.) se zásadně nedoporučuje situovat do blízkosti bytových jednotek.</p> <p>⁶⁾ Platí pro spojovací dveře mezi samostatnými ubytovacími jednotkami (např. dvojité nebo zádveří).</p> <p>⁷⁾ Platí pro vstupní dveře, je-li chráněný prostor oddělen předsiní nebo zádveřím s dalšími dveřmi.</p> <p>⁸⁾ U stěn s prosklenými částmi, přes které je nutný vizuální kontakt, lze požadavek snížit o 5 dB a u celoplošných zasklení až o 10 dB (např. operační sály, JIP).</p> <p>⁹⁾ Vzhledem k možnému přenosu nízkých kmitočtů mohou být nutná další opatření. Situace obvykle vyžaduje individuální posouzení.</p> <p>¹⁰⁾ Požadavky platí rovněž mezi uvedenými pracovny a přilehlými chodbami, popř. pomocnými prostory.</p>					

Obrázek 2.5b: Požadavky na zvukovou izolaci mezi místnostmi v budovách [14]

Požadavky na vzduchovou neprůzvučnost obvodových plášťů budov jsou stanoveny na základě charakteru zvukově izolované místnosti (chráněné místnosti příjmu) a hodnot hluku před fasádou¹⁵ (vyjádřených ekvivalentními hladinami akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ v denní a noční době zvlášť). [7] Číselné hodnoty požadavků jsou v tabulce 2 v ČSN 73 0532. Pro obvodové pláště se doporučuje porovnávat požadavky s hodnotami $R'_w + C$ nebo $R'_w + C_{tr}$ (lépe s C_{tr} z důvodu bezpečnosti).

Pro případy, kdy normové požadavky nepostačují potřebám, uvádí norma doporučené zvýšené požadavky. Pro vzduchovou neprůzvučnost mezi byty jsou zavedeny dvě třídy zvýšené zvukové izolace (TZZI I a TZZI II). Třídě TZZI I odpovídá požadavek $R'_w = 55 \text{ dB}$, třídě TZZI II $R'_w = 59 \text{ dB}$ ¹⁶. [15]

Tyto třídy zvýšené zvukové izolace nejsou však povinné. Samotný investor si může tyto požadavky individuálně klást za účelem zvýšení akustického komfortu budoucích uživatelů. Zároveň splněním vyšších limitů si vytváří dobrou pověst a může následně tyto byty prodat draž. Však také zahraniční studie naznačují, že lidé si jsou ochotni za takové byty připlatit¹⁷. V rámci luxusních bytů a hotelů jsou tyto třídy jistou známkou kvalitního provedení. Samozřejmě tyto nadstandardní podmínky nejsou výsadou pouze luxusnějších staveb. Někteří investoři si uvědomují případné stížnosti uživatelů a chtějí se neustále zlepšovat, tudíž si na sebe kladou vyšší podmínky. [15]

Chráněný prostor (místnost příjmu zvuku)					
Řádka	Hlučný prostor (místnost zdroje zvuku)	Zvýšené požadavky na zvukovou izolaci			
		Třídy zvýšené zvukové izolace bytu	Stropy		Stěny
			$R'_{w, D_{nT,w}}$ [dB]	$L'_{n,w}, L'_{nT,w}$ [dB]	$R'_{w, D_{nT,w}}$ [dB]
A. Bytové domy, rodinné domy - obytné místnosti se zvýšenými nároky (např. pracovny, ložnice apod.)					
1	Všechny ostatní obytné místnosti téhož bytu	TZZI I a TZZI II	47	63	42
B. Bytové domy - obytné místnosti bytu se zvýšenými nároky					
2	Všechny místnosti druhých bytů, společné prostory domu	TZZI I	55	48	55
		TZZI II	59	42	59
3	Průjezdy, vjezdy, garáže	TZZI I	57	45	57
		TZZI II	59	42	59
C. Terasové nebo řadové rodinné domy a dvojdomy - obytné místnosti bytu se zvýšenými nároky					
4	Všechny místnosti v sousedním domě	TZZI I	62	43	62
		TZZI II	68	38	68

Obrázek 2.6: Hodnotové požadavky tříd zvýšené zvukové izolace TZZI I a TZZI II [16]

¹⁵ Ve vzdálenosti 2 m před fasádou.

¹⁶ V praxi je zcela běžné, že ŽB stropy tl. 200 mm s těžkou plovoucí podlahou splňují limit i pro TZZI II. Avšak stěny jsou již slabšími prvky a pro ty především jsou tyto zvýšené limity určeny.

¹⁷ Dle zdroje „Přístupy k hodnocení vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách pro bydlení“ [15] je při splnění požadavků třídy TZZI I na vzduchovou neprůzvučnost spokojeno přibližně o 10 % více uživatelů a při splnění požadavků třídy TZZI II přibližně o 25 % více uživatelů.

Plnění všech požadavků zvukové izolace by měl sledovat stavební úřad, je tedy potřebné v projektové fázi doložit, že konstrukce budou tyto požadavky splňovat. Jak již bylo vysvětleno v předešlých kapitolách, hodnota vzduchové neprůzvučnosti zabudované konstrukce na stavbě se těmito hodnotám často nerovná a je reálně nižší. V rámci kolaudace je tedy třeba opět zkontrolovat, zda konstrukce požadavky skutečně splňují.

Důležitou poznámkou je fakt, že *pro nízkofrekvenční hluk nelze požadované hodnoty R'_w spolehlivě používat.* [8] Dodržení stanovených normových hodnot R'_w tedy není dostatečným opatřením před průnikem hluku například z objektu diskotéky. [8]

K této problematice je třeba konstatovat, že by se měl brát v potaz i vliv tvaru spektra rušivého zvuku (na nízkých kmitočtech). Stále častěji se totiž používají lehké dělicí prvky, které hůře tlumí zvuk o kmitočtu 100 Hz a méně. Vhodnou veličinou, která zohledňuje tyto kmitočty u vzduchových neprůzvučností, by mohla být veličina stupně zvukové izolace $D_{n,T,A,1,50-3150} = D_{n,T,w} + C_{50-3150}$ (resp. $D_{n,T,A,1,50-5000} = D_{n,T,w} + C_{50-5000}$)¹⁸. Tato zohlednění jsou předmětem diskusí ohledně budoucího stanovování požadavků na vzduchovou neprůzvučnost, avšak je třeba dodat, že by mohlo v takovém případě dojít ke komplikacím ohledně samotného stanovování zvukové izolace pomocí měření. A to především z důvodu nedostatečné difuzity zvukového pole na nízkých kmitočtech. Zároveň by docházelo ke komplikacím v rámci projektového výpočtu (odhadu), jelikož neprůzvučnost je v oblasti kmitočtových pásem pod 100 Hz výrazně ovlivněna vlastními kmitočty stavebního prvku, a tak její hodnotu nelze často teoreticky spolehlivě stanovit. U dvojitých prvků navíc dochází k rezonanci typu *hmotnost-poddajnost-hmotnost*. [15]

3 Měření ve stavebních podmínkách

Následující informace a postupy pro samotné měření zvukové izolace, jehož výsledným produktem je protokol obsahující změřenou hodnotu vážené stavební neprůzvučnosti R'_w , jsou shrnutím obsahu ČSN EN ISO 16283-1 „Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách in situ – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost“. Tyto informace jsou doplněny též mými poznatky z praxe, jelikož se těchto měření často účastním.

3.1 Vymezení a definice

Postupy, podle kterých jsou vzduchové neprůzvučnosti měřeny, jsou určeny pro zařízené nebo nezařízené místnosti o objemu 10 m³ až 250 m³ v kmitočtovém rozsahu

¹⁸ Stanovení těchto rozšířených faktorů přizpůsobení spektru viz ČSN EN ISO 717-1.

50 až 5000 Hz. Zvukové pole v takovýchto místnostech se může nebo nemusí blížit difúznímu poli.

V předešlých kapitolách již byly vysvětleny mnohé důležité pojmy včetně jejich zjištění jako je stavební neprůzvučnost R' , energeticky průměrná hladina akustického tlaku L_{eq} , doba dozvuku T , rozdíl hladin D , normovaný rozdíl hladin D_{nT} (souvislost se subjektivním vnímáním vzduchové neprůzvučnosti), ekvivalentní pohltivá plocha A atd. Dalšími pojmy a termíny, se kterými se v této části bude pracovat, jsou:

- *hladina hluku pozadí = hladina akustického tlaku měřená v místnosti příjmu způsobená všemi zdroji kromě reproduktoru v místnosti zdroje zvuku,*
- *pevný mikrofon = mikrofon pevně umístěný v prostoru pomocí stacionárního zařízení, jako je např. stativ,*
- *ručně držený mikrofon = mikrofon připojený k přenosnému zvukoměru nebo k tyči, která je ručně držena v pevné poloze operátorem ve vzdálenosti nejméně na délku paže od trupu těla operátora.¹⁹ [17]*

3.2 Přístrojové vybavení

Přístroje používanými k měření vzduchové neprůzvučnosti jsou reproduktor (a stativ), zesilovač, kabely, případně kryty proti větru, pomůcky k zaznamenání průběhu měření a hlavně potom zvukoměr s mikrofonem, jenž zaznamenává všechny akustické hodnoty. Všechny přístroje musí splňovat předepsané požadavky a jsou na ně proto nároky na pravidelné kontroly a zkoušky.

Zdrojem je soustava reproduktorů uzavřená v ozvučnici vyzařující ve společné fázi. Tento bodový zdroj obvykle tvaru dodekahedronu (viz obrázek 3.1) musí být všesměrový se stejnosměrným vyzařováním. Jeho směrovost se pravidelně ověřuje zkouškou, jež je popsána v ČSN EN ISO 16283-1. [17] Příkladem takového



Obrázek 3.1: Reproduktor a zesilovač od firmy CESVA [18]

¹⁹ Norma též pracuje se způsoby měření jako je mechanicky plynule se pohybující mikrofon nebo ručně skenující mikrofon, avšak v případech stavebních měření postačí uvažovat výše popsané způsoby.

zdroje je BP012 (Omni-directional Loudspeaker) od španělské firmy CESVA (viz obrázek 3.1). Dle výrobce je tento zdroj schopen až 123 dB akustického výkonu a vyzařuje tzv. růžový (nebo i též bílý) šum v kmitočtovém rozsahu 50 až 5000 Hz. Pro fungování je však třeba zakoupit i zesilovač, který stejná firma nabízí pod názvem AP602 (viz obrázek 3.1). [18] Oba tyto přístroje jsou vzájemně propojeny kabely.

Zvukoměr s třetinooktávovým filtrem slouží pro měření hladin akustického tlaku 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 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 meteorologický institut nebo autorizované laboratoře. [17] Příkladem mikrofону je Sound Analyser Nor140 od norské firmy Norsonic (viz obrázek 3.2).



Obrázek 3.2: Sound Analyser Nor140 [19]

3.3 Stavební připravenost pro potřeby měření

- *Stavebně dokončený objekt bez průrazů, děr a zeslabení, včetně podlahových vrstev,*
- *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). [20]*

3.4 Postup měření

Na začátku se vybere místnost zdroje (vysílací místnost) a místnost příjmu. Obecně kromě výjimek platí, že místností zdroje by měla být místnost o větším objemu. Zvuk v místnosti zdroje je generován reproduktorem. Tento reproduktor se přesouvá do dvou různých poloh a v průběhu měření je vždy ve stacionární poloze ve výšce nejméně 1,0 m nad podlahou. Polohy reproduktoru v místnosti popisuje ČSN EN ISO 16283-1. Je též možné použít dva stejné současně pracující reproduktory ve dvou polohách, avšak v praxi se běžně pracuje pouze s jedním reproduktorem z důvodů kapacitních a finančních. Akustický výkon má být dostatečně vysoký, aby hladina akustického tlaku v místnosti příjmu výrazně převyšovala hladinu hluku pozadí. Samotný zvuk musí být ustálený a v celém měřeném kmitočtovém rozsahu má mít spojitě spektrum. Pro takový zvuk je vhodný širokopásmový šumový signál. Jako širokopásmový signál zvuku je doporučen bílý nebo především růžový šum, jenž se nejvíce blíží zvuku z užívání bytů. Energeticky průměrná hladina akustického tlaku v místnosti zdroje nesmí být u žádného posuzovaného kmitočtu vyšší o 8 dB než jeho dva sousední kmitočty.

Základem měření je změření hladin akustického tlaku v obou místnostech při zapnutém zdroji pomocí pevně umístěného či ručně drženého mikrofону, který se umísťuje do poloh doporučených normou. Platí, že pro každou polohu reproduktoru v místnosti zdroje by se měl mikrofón umístit alespoň do pěti různých poloh jak

v místnosti zdroje, tak v místnosti příjmu. Jednotlivé polohy jsou měřeny po dobu minimálně 4 s, pro postihnutí celého kmitočtového rozsahu 50 až 5000 Hz je nejlepší měřit jednu polohu po dobu 15 s. Z těchto časů (dob průměrování) následně měřicí přístroj automaticky vypočte energeticky průměrné hladiny akustického tlaku podle vztahu 1.5 v kapitole 1.2.

Též se měří hladina akustického tlaku z hluku pozadí v místnosti příjmu při vypnutí všech zdrojů (reproduktoru). Je vhodné při tomto měření dávat pozor, aby operátor sám nezpůsobil hluk svým pohybem, šustěním oblečení nebo křupnutím kostí a kloubů. Zároveň by se měl vyvarovat rušivého zvuku, který by případně mohl vzniknout při stisknutí tlačítek na zvukoměru. Všechny tyto zvuky nejsou běžnou zvukovou kulisou místnosti a zpochybňovaly by hodnoty hluku pozadí. Za běžné zvuky přispívající k hluku pozadí se považuje hluk z vnějšího prostředí, elektrický šum ve vlastním přijímacím systému či elektrické přeslechy mezi vysílacím a přijímacím systémem. Samotný hluk z pozadí by ideálně neměl ovlivňovat hladinu signálu v místnosti příjmu. V případě vlivu ČSN EN ISO 16283-1 stanovuje korekci signálu na hluk pozadí.

Dále je třeba změřit dobu dozvuku T (s) v místnosti příjmu. Běžně se měří doba dozvuku T_{20} (vysvětlení pojmu viz kapitola 1.6). *Vyhodnocení doby dozvuku z poklesu dozvukové křivky* (ilustrativní obrázek 1.7) začíná 5 dB pod počáteční (vybuzenou) hladinou akustického tlaku. Spodní hranice rozsahu vyhodnocení musí být nejméně 10 dB nad celkovou hladinou hluku pozadí. [17]

Pro účely měření se využívá metoda přerušovaného šumu nebo metoda s integrovanou impulzní odezvou. Metoda přerušovaného šumu opět využívá reproduktor z předešlých měření a vyžaduje přinejmenším jednu polohu reproduktoru, pro niž se mikrofon umístí do třech pevných poloh. V každé poloze mikrofonu se měří dvakrát²⁰. Tato měření se následně při vyhodnocování zprůměrují do výsledné hodnoty doby dozvuku s číselnou hodnotou pro každé kmitočtové pásmo. 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.

Každý operátor, který byl přítomen v místnosti příjmu při měření hladiny akustického tlaku, musí být rovněž přítomen v místnosti příjmu při měření doby dozvuku. Tato změřená veličina následně při určování stavební neprůzvučnosti R' slouží ke korekci na pohltivost přijímací místnosti (viz vztah 3.1), jelikož z doby dozvuku se vypočte podle vztahu 1.19 ekvivalentní pohltivá plocha A (m²).

²⁰ Nebo šest pevných poloh vždy po jednom měření.

V rámci všech těchto akustických měření by měl operátor vždy používat ochranu sluchu v místnosti zdroje, v místnosti příjmu jedině, pokud to vyžaduje situace (slabá zvuková izolace či měření doby dozvuku). V ní je též na jeho rozhodnutí, zda zůstane uvnitř v průběhu měření, aby mohl poslouchat hluk a případné akustické problémy v dělicí konstrukci, nebo zda bude mimo místnost, aby neovlivňoval hluk pozadí. Praktičtější však je první varianta, operátor je schopen sluchem rozeznat krátké vnější hlukové události, které by mohly zpochybnit měření.

Zvuková pole v běžných 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 tato výše zmíněná měření bez znalosti opravdové difúznosti. *Z tohoto důvodu se zvukové pole nemá upravovat pro účely zkoušky dočasně vloženým dalším vybavením nebo difuzory do jedné nebo obou místností (zařízených nebo nezařízených).* [17]

Po provedených měřeních je důležité určit objem V (m^3) místnosti příjmu. Následně se tato hodnota použije ve vztahu 1.19 pro určení ekvivalentní pohltivé plochy A (m^2). Do objemu místnosti se *nemají započítávat objemy objektů s uzavřeným nepohltivým povrchem, jako jsou skříně, skřínky a instalační šachty.* [17]

Též je nutné určit plochu společné dělicí konstrukce S (m^2), jejíž hodnota se pro změnu použije ve vztahu 3.1. Tato plocha se *nemá snižovat o plochy částí povrchu společné dělicí konstrukce, kterou zakrývají objekty, jako jsou vestavěné skříně nebo skřínky.* [17]

3.5 Vyjádření výsledků měření

Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi je vyjádřena veličinou zvanou stavební neprůzvučnost R' , která se vypočte podle vztahu 3.1,

$$R' = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{S}{A_2} \quad (3.1)$$

kde L_1 (dB) je průměrná hladina akustického tlaku ve vysílací místnosti a L_2 (dB) průměrná hladina akustického tlaku v přijímací místnosti. S (m^2) je společná plocha dělicí konstrukce mezi místnostmi a A_2 (m^2) je ekvivalentní pohltivá plocha vypočítaná podle vztahu 1.19.

V případě, kdy místnosti spolu přímo nesousedí nebo nesousedí v celé ploše posuzované konstrukce, lze zvukovou izolaci mezi místnostmi vyjádřit normovaným

rozdílem hladin D_{nT} (dB). Je to jinými slovy veličina nezávislá na dispozici místností a umístění jejich dělicí konstrukce. Vypočte se podle vztahu 3.2,

$$D_{nT} = L_1 - L_2 + 10 \lg \frac{T_2}{T_0} \quad (3.2)$$

kde T_2 (s) je změřená doba dozvuku přijímací místnosti a T_0 je referenční doba dozvuku o hodnotě $T_0 = 0,5$ s.

Obě veličiny se zaokrouhlují ve všech třetinooktávových pásmech s přesností na jedno desetinné místo a vyjadřují se ve formě tabulky a grafu. Následně jsou srovnávány s hodnotami směrné křivky (postup popsán v kapitole 2.5). Výsledkem celého měření je pak stanovení jednočíselné hodnoty veličiny zvané vážená stavební neprůzvučnost R'_w (dB). Dále jsou určeny faktory přizpůsobení spektru C (dB) a C_{tr} (dB), jejichž výpočet a vliv na výsledek je vysvětlen v kapitole 2.6. [17][20]

V závěru je třeba přidat protokol o zkoušce, jehož vypracování se stejně jako vypočtení hodnot vzduchové neprůzvučnosti provádí již mimo stavbu v kanceláři operátora s využitím softwarů a vlastních pracovních postupů. Protokol o zkoušce musí obsahovat následující údaje:

- odkaz na část mezinárodní normy ČSN EN ISO 16283-1 a příslušné změny,
- *název organizace, která provedla 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),*
- *objemy místnosti zdroje a příjmu (zaokrouhlené na celý metr krychlový) a plochu dělicí konstrukce S ,*
- *normovaný rozdíl hladin D_{nT} mezi místnostmi nebo stavební neprůzvučnost R' dělicí konstrukce v závislosti na kmitočet,*
- *stručný popis zkušební postupu, stručné informace o zařízení a označení, ve kterých místnostech 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, musí být uvedeny jako D_{nT} nebo $R' \geq \dots$ dB. Uplatňují se tehdy, když odpovídající hladina akustického tlaku v kterémkoliv pásmu není měřitelná vzhledem k hluku pozadí.*

Pro vyhodnocení jednočíselných hodnot ze směrných křivek viz ISO 717-1 musí být jasně uvedeno, že vyhodnocení vychází z výsledku získaného metodou měření na stavbě. Protokol o zkoušce má rovněž zahrnovat nejistotu jednočíselného vyhodnocení. [17]

Norma též doporučuje podobu formuláře pro vyjádření výsledků, avšak není povinný a každý si může zpracovat svůj vlastní formulář.

B) VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST – MEZI TEORIÍ A PRAXÍ

4 Výpočty neprůzvučnosti běžných stavebních konstrukcí

V předchozích kapitolách byla vysvětlena potřebná teorie týkající se jak vlastní problematiky vzduchové neprůzvučnosti, tak jejího přímého stanovení a to v podmínkách laboratorních i stavebních. Následující kapitola 4 se již věnuje více praktické stránce věci. Jsou v ní uvedeny dělicí konstrukce, které jsou běžně používány v prostředí českého stavebnictví. Hodnota vzduchové neprůzvučnosti je tedy u nich často sledována. Pro tyto konstrukce byly vždy provedeny tři různé způsoby výpočtu hodnoty vážené stavební neprůzvučnosti R'_w . Prvním způsobem je vlastní výpočet pomocí technické metody doc. Čechury, která vychází z početně–grafické metody G. B. Watterse, podle níž počítá ČSN 12354-1. Druhým způsobem je výpočet v softwaru INSUL 9.0, který slouží pro výpočet odhadů zvukových izolací a byl vytvořen na Novém Zélandu. Oba způsoby ale stanovují pouze hodnotu R_w , vážená stavební neprůzvučnost R'_w je zjištěna až pomocí vzorce 2.6. na základě korekce k_1 , jež je odhadnuta podle doporučení ČSN 73 0532. Třetí způsob spočívá ve využití výsledků protokolů z reálně provedených měření (případy bez výraznějších akustických mostů a vedlejších cest přenosu zvuku). Tyto výsledky byly se svolením laskavě poskytnuty firmou KONTRAHLUK, s.r.o. Veškeré obsažené citlivé údaje (jméno objednatele zkoušky, datum a místo měření a čísla objednávek) jsou z důvodu ochrany osobních údajů zakryty, aby nemohly být v budoucnu zneužity. Důraz je následně kladen na porovnání výsledků pomocí všech tří způsobů a subjektivní vyhodnocení jak použitých metod, tak samotných konstrukcí.

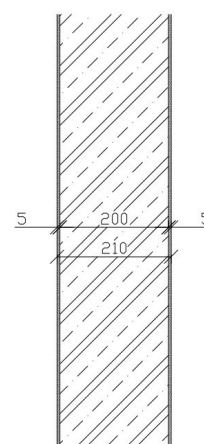
4.1 Skladby posuzovaných konstrukcí

1) Železobetonová monolitická stěna – skladba:

- sádrová stěrka tl. 5 mm,
- železobetonová deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 210 mm.

Jedna z nejčastěji používaných mezibytových konstrukcí. Při správném provedení by měla z hlediska vzduchové neprůzvučnosti vždy vyhovět.



Obrázek 4.1: Stěna 1)

2) Stěna z cihelných bloků POROTHERM 25 AKU SYM**a) se sádrovou omítkou – skladba:**

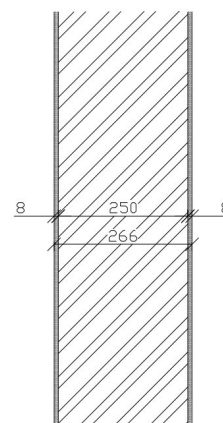
- sádrová omítka tl. 8 mm,
- POROTHERM 25 AKU SYM tl. 250 mm,
- sádrová omítka tl. 8 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 266 mm.

b) s vápenocementovou omítkou – skladba:

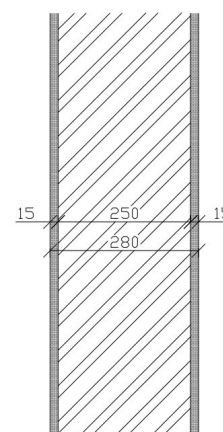
- vápenocementová omítka tl. 15 mm,
- POROTHERM 25 AKU SYM tl. 250 mm,
- vápenocementová omítka tl. 15 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 280 mm.



Obrázek 4.2: Stěna 2a)

Cihelné bloky POROTHERM 25 AKU SYM jsou ve stavebnictví též často využívány z důvodu jednodušší pracnosti, nižší ceny a laboratorně deklarovaných výsledků vážené vzduchové neprůzvučnosti R_w , které by následně po odečtení korekce vyhovovaly požadavkům na stavební vzduchovou neprůzvučnost. V praxi (na stavbě) však bohužel nedochází pokaždé k naplnění těchto hodnot. Důvodem může být chybné provedení, což následně vede k vyšší korekci a znehodnocení konstrukce. Z pohledu mezibytové dělicí konstrukce by pak taková stěna nevyhovovala. Na kvalitu vyzděné konstrukce by měl mít též vliv druh omítky a její tloušťka.



Obrázek 4.3: Stěna 2b)

3) Stěna z cihelných bloků POROTHERM 30 AKU SYM**a) se sádrovou omítkou – skladba:**

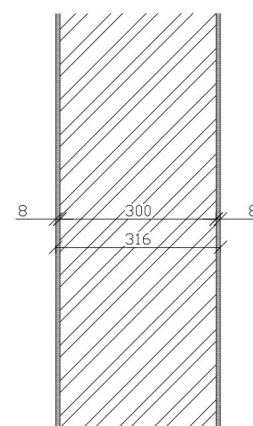
- sádrová omítka tl. 8 mm,
- POROTHERM 30 AKU SYM tl. 300 mm,
- sádrová omítka tl. 8 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 316 mm.

b) s vápenocementovou omítkou – skladba:

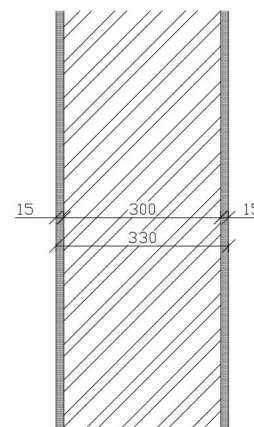
- vápenocementová omítka tl. 15 mm,
- POROTHERM 30 AKU SYM tl. 300 mm,
- vápenocementová omítka tl. 15 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 330 mm.



Obrázek 4.4: Stěna 3a)

Druhá častá varianta cihelných bloků POROTHERM. Stěny mají větší tloušťku a měly by oproti předchozí variantě vykazovat vyšší zvukoizolační vlastnosti. Dalo by se tedy říct, že záruka splnění požadavků je v tomto případě pravděpodobnější. Opět však má na výslednou hodnotu R'_w vliv povrchová úprava v podobě omítek.



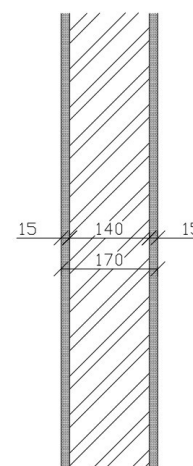
Obrázek 4.5: Stěna 3b)

4) Původní stěna z klasických cihel plných pálených – skladba:

- vápenocementová omítka tl. 15 mm,
- cihla plná pálená tl. 140 mm,
- vápenocementová omítka tl. 15 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 170 mm.

V případech rekonstrukcí starých bytových domů bývá někdy tendence zachovat původní zděné stěny a příčky. Tyto dělicí konstrukce však v dřívějších dobách nebyly z akustického hlediska řešeny, protože nikdo na ně nevznášel požadavky spojené s akustikou. Z tohoto důvodu se tedy následně tyto stěny musí buď vybourat a nahradit jiným materiálovým řešením, nebo v případě zachování stěny použít jiné dodatečné opatření.



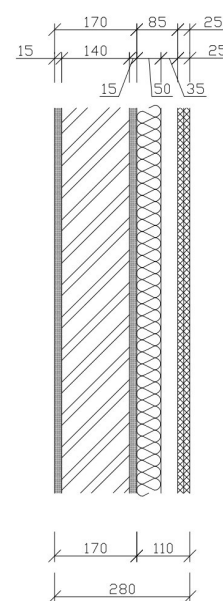
Obrázek 4.6: Stěna 4)

5) Původní stěna z klasických cihel plných pálených doplněná jednostranně o dvojitě opláštěnou sádrokartonovou předstěnu – skladba:

- vápenocementová omítka tl. 15 mm,
- cihla plná pálená tl. 140 mm,
- vápenocementová omítka tl. 15 mm,
- vzduchová mezera tl. 85 mm (včetně ztlumení minerální vlnou Isover AKU tl. 50 mm)
- sádrokartonové desky tl. 25 mm (2 x 12,5 mm).

Celková tloušťka konstrukce: 280 mm.

Doplnění původní zděné stěny o zdvojenou sádrokartonovou předstěnu je jedním (a nejčastějším) z dodatečných opatření, kterým se snažíme zvýšit



Obrázek 4.7: Stěna 5)

zvukoizolační vlastnosti celé konstrukce. Její vhodnost bude popsána dále.

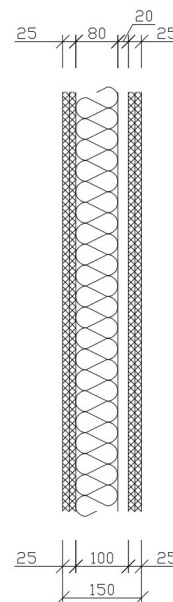
6) Sádrokartonová příčka na jednoduchém roštu

– skladba:

- sádrokartonové desky tl. 25 mm (2 x 12,5 mm),
- vzduchová mezera tl. 100 mm (včetně jednoduchého roštu z tenkostěnných ocelových profilů (typ CW) a zatlumení minerální vlnou Isover AKU tl. 80 mm),
- sádrokartonové desky tl. 25 mm (2 x 12,5 mm).

Celková tloušťka konstrukce: 150 mm.

Sádrokartonová příčka na jednoduchém roštu s oboustranným dvojitým opláštěním je oblíbený způsob provedení lehké dělicí konstrukce. Hodnota vážené stavební neprůzvučnosti R'_w však již oproti masivním konstrukcím nevyhovuje základním požadavkům mezibytových stěn. I z tohoto důvodu by tato příčka měla být užívána především jako dělicí konstrukce mezi jednotlivými obytnými místnostmi jednoho bytu, nebo především v administrativních budovách.



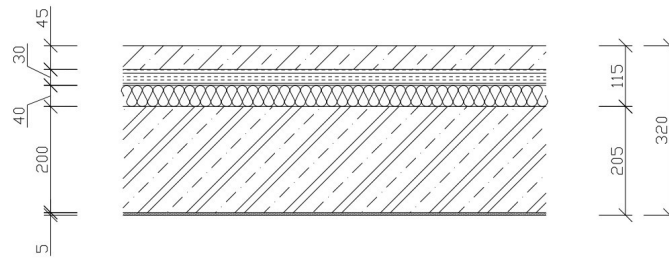
Obrázek 4.8: Stěna 6)

7) Železobetonová stropní konstrukce s těžkou plovoucí podlahou – skladba:

- anhydritová vrstva tl. 45 mm,
- kročejová izolace EPS T 4000 tl. 30 mm,
- obyčejná izolace EPS 100 Z tl. 40 mm,
- železobetonová deska tl. 200 mm,
- sádrová stěrka tl. 5 mm.

Celková tloušťka konstrukce: 320 mm.

Z hlediska vzduchové neprůzvučnosti stropních konstrukcí je současně nejčastějším způsobem provedení železobetonová stropní deska doplněná v bytových domech o těžkou plovoucí podlahu. Při správném provedení většinou nebývá se splněním požadavku na R'_w problém.



Obrázek 4.9: Strop ŽB s těžkou plovoucí podlahou

4.2 Výpočet technickou metodou

Pro vlastní výpočet vážené neprůzvučnosti R_w (z níž se následně zjistí vážená stavební neprůzvučnost R'_w) byla užita technická metoda docenta Čechury, která vychází z početně–grafické metody G. B. Watterse. Její detailnější vysvětlení je popsáno v publikaci „Kaňka, Nováček: Stavební fyzika 3 – Akustika pozemních staveb“ [6]. Pro potřeby této bakalářské práce jsou na následujících stranách uvedeny pouze důležité výpočtové vzorce.

Konstrukce č. 1, 2a, 2b, 3a, 3b a 4 byly počítány technickou metodou pro jednoduché konstrukce, konstrukce č. 5 a 7 byly počítány technickou metodou pro dvouprvkové konstrukce. Konstrukce č. 6 byla kvůli složitému výpočtu, který bývá navíc bez pomoci softwaru nepřesný, vyčíslena pouze programem INSUL 9.0.

Technická metoda u obou typů konstrukcí vyžaduje jako základní nutné vstupní údaje materiálů objemovou hmotnost ρ , rychlost šíření zvuku podélných vln c_L , vnitřní ztrátový činitel η_{int} a tloušťku konstrukce h . Uvažované hodnoty materiálů byly převzaty ze zdrojů [1], [2], [6], případně z technických listů výrobců (u konkrétních výrobků).

a) Výpočet neprůzvučnosti jednoduché konstrukce technickou metodou

Jednoduchými konstrukcemi jsou myšleny deskové prvky tvořené jednou vrstvou materiálu nebo více vrstvami různých materiálů s podobnými mechanickými parametry (omítky apod). Neprůzvučnost je u nich ovlivněna především plošnou hmotností m' a ohybovou tuhostí EI .

Metoda zjednodušuje a nahrazuje skutečný průběh neprůzvučnosti R v závislosti na kmitočtu f v podobě třikrát 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. [6]

Vzorce:

- Základní rezonanční kmitočet:

$$f_{11} = 0,45c_L h \left(\frac{1}{l_x^2} + \frac{1}{l_y^2} \right) \quad (4.1)$$

- l_x ... délka stěny
- l_y ... šířka stěny

- Kritický kmitočet:

$$f_{cr} \cong \frac{63734}{c_L h} \quad (4.2)$$

- Plošná hmotnost:

$$m' = \sum_i \rho_i m_i \quad (4.3)$$

- Celkový ztrátový činitel pro laboratorní situaci v okolí kritického kmitočtu:

$$\eta_{tot} = \eta_{int} + \frac{m'}{485\sqrt{f_{cr}}} \quad (4.4)$$

- Zlomové kmitočty:

$$f_A = 0,4f_{cr}\eta_{tot}^{0,1} \quad (4.5)$$

$$x = 1,33\eta_{tot}^{-0,157} \quad (4.6)$$

$$f_B = 2^x f_A \quad (4.7)$$

$$f_C = 2f_B \quad (4.8)$$

- Neprůzvučnost v bodech A (f_A), B (f_B) a C (f_C):

$$R_A = R_B = 20 \lg(m' f_A) - 47,5 \quad (4.9)$$

$$R_C = R_B + 10 \quad (4.10)$$

Následně se vypočtou neprůzvučnosti R 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 4.1). Tyto oblasti vymezují zlomové kmitočty f_A , f_B a f_C . Pro výpočet vážené neprůzvučnosti R_w se vynesou hodnoty R do tabulky a porovnávají s hodnotami směrné křivky, dokud není součet nepříznivých odchylek Δ_i menší nebo roven číslu 32,0 dB (vysvětlení viz kapitola 2.5). Vážená stavební neprůzvučnost R'_w se poté vypočte pomocí vzorce 2.6. Korekce k_1 je odhadnuta na základě doporučení ČSN 73 0532. Hodnota R'_w se porovnává s normovým požadavkem.

Tabulka 4.1: Výpočet hodnot neprůzvučnosti jednoduché stěny

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.	$f \geq f_C$	$R = R_A + 10 + 20 \lg(f/f_C)$

Zdroj hodnot: [6]

b) Výpočet neprůzvučnosti dvouprvkové konstrukce technickou metodou

Dvouprvkovými konstrukcemi jsou konstrukce sestavené ze dvou jednoduchých konstrukcí, jež jsou od sebe navzájem odděleny průběžnou vzduchovou mezerou, která je ideálně vyplněna tlumivým materiálem (např. minerální vlákna), díky němuž nedochází k samostatnému kmitání dílčích jednoduchých konstrukcí. Neprůzvučnost je u nich ovlivněna vlastnostmi jednotlivých prvků, tloušťkou vzduchové mezery a vzájemným spojením prvků (prošroubování, ...).

Pro tyto konstrukce jsou typické jevy, které se u běžných jednoduchých konstrukcí neobjevují, čímž znesnadňují přesný výpočet.

Zjednodušený průběh neprůzvučnosti má opět tvar tříkrát lomené čáry a je rozdělen do čtyř oblastí dle násobků kritického kmitočtu. V těchto oblastech se však nyní vypočte útlum D_R (viz dále tabulka 4.2). [6]

Vzorce (dodatečné k ad a)):

- Zlomové plošné hmotnosti:

$$m'_c = k_c \frac{\rho}{c_L} \quad (4.11)$$

$$k_c = 25,49 \eta_{tot}^{0,1} \quad (4.12)$$

$$m'_s = k_s m'_c \quad (4.13)$$

$$k_s = 2^{x+1} \quad (4.14)$$

- Hodnota D vzduchové mezery:

$$D = [11 + 7p(1 - 2q)] \lg\left(\frac{d}{0,07}\right) - 0,6q + r + 3,8 \quad (4.15)$$

– d ... šířka vzduchové mezery (m)

- p ... parametr šířky vzduchové mezeře (-)
 - $d \leq 0,07$ m ... $p = 0$
 - $d > 0,07$ m ... $p = 1$
- q ... parametr tuhosti dílčích jednoduchých konstrukcí (-)

$$q = \min \left(\frac{m'_1 - m'_{c1}}{m'_{s1} - m'_{c1}}, \frac{m'_2 - m'_{c2}}{m'_{s2} - m'_{c2}} \right) \quad (4.16)$$

- $q < 0$... $q = 0$
- $0 < q < 1$... $q = q$
- $q > 1$... $q = 1$
- r ... parametr výplně ve vzduchové mezeře (dB)

$$r = 10 \lg (1 + \alpha_{500}) \quad (4.17)$$

- α_{500} ... činitel pohltivosti porézního pohlcovače pro kmitočtové pásmo 500 Hz (-)

- Rezonanční kmitočet:

$$f_r = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{E_d}{d} \left(\frac{1}{m'_1} + \frac{1}{m'_2} \right)} \quad (4.18)$$

- E_d ... modul pružnosti v tlaku materiálu v mezeře (Pa)

- Neprůzvučnost dvouprvkové konstrukce bez vlivu útlumu ve vzduchové mezeře (pouze vliv hmotnosti):

$$R_m = 20 \lg \left(10^{\frac{R_1}{20}} + 10^{\frac{R_2}{20}} \right) \quad (4.19)$$

- Neprůzvučnost:

$$R = R_m + D_R \quad (4.20)$$

- D_R ... útlum ve vzduchové mezeře (dB);
vypočten dle čtyř oblastí kmitočtového pásma, které je vymezeno násobky kritického kmitočtu f_r (viz tabulka 4.2).

Pro výpočet vážené neprůzvučnosti R_w se vynesou hodnoty R do tabulky a porovnávají s hodnotami směrné křivky, dokud není součet nepříznivých odchylek Δ_i menší nebo roven číslu 32,0 dB (vysvětlení viz kapitola 2.5). Vážená stavební neprůzvučnost R'_w se poté vypočte pomocí vzorce 2.6. Korekce k_1 je odhadnuta na základě doporučení ČSN 73 0532. Hodnota R'_w se porovnává s normovým požadavkem.

Tabulka 4.2: Výpočet hodnot útlumu ve vzduchové mezeře dvouprvkové konstrukce

oblast	interval kmitočtů	vztah pro výpočet D_R (dB)
I.	$f \leq 0,5 f_r$	$D_R = 0$
II.	$0,5 f_r \leq f \leq f_r$	$D_R = 20 \lg(f_r/2f)$
III.	$f_r \leq f \leq 4 f_r$	$D_R = 10[(D/6) + 1] \lg(f/f_r) - 6$
IV.	$f \geq 4 f_r$	$D_R = D$

Zdroj hodnot: [6]

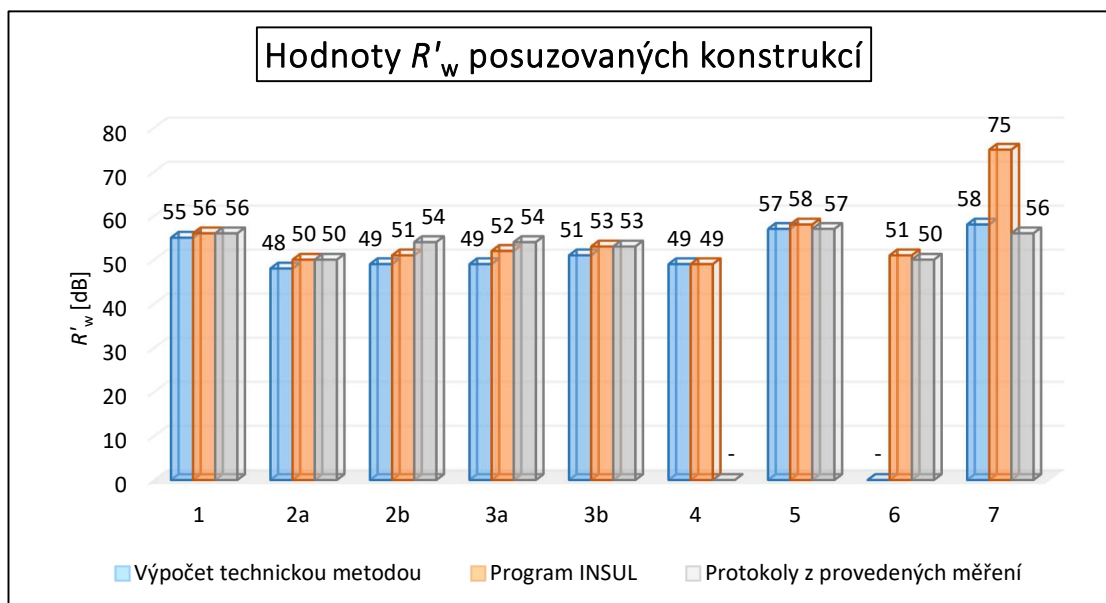
4.3 Výsledky výpočtů posuzovaných konstrukcí

Výpočty technickou metodou jednotlivých konstrukcí (kromě konstrukce č. 6), výstupy z programu INSUL 9.0 a výsledky protokolů provedených měření firmou KONTRAHLUK, s.r.o. se nalézají v části příloh (1–7). V tabulce 4.3 jsou uvedeny pouze výsledky všech tří způsobů zjištění hodnoty vážené stavební neprůzvučnosti R'_w .

Tabulka 4.3: Výsledky R_w a R'_w posuzovaných konstrukcí

	Typ konstrukce																	
	1		2a		2b		3a		3b		4		5		6		7	
	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w	R_w	R'_w
	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]	[dB]
a)	57	55	51	48	52	49	52	49	54	51	52	49	60	57	---	---	60	58
b)	58	56	53	50	54	51	55	52	56	53	52	49	61	58	56	51	77	75
c)	---	56	---	50	---	54	---	54	---	53	---	---	---	57	---	50	---	56

Zdroj hodnot: a) výpočet technickou metodou, b) program INSUL 9.0, c) protokoly z provedených měření



4.4 Vyhodnocení výsledků

V případě železobetonové stěny, která se většinou provádí v tloušťce 200 mm, bývají výsledky vzduchové neprůzvučnosti často uspokojivé (v porovnání s požadovanými hodnotami), neobjeví-li se technologická chyba a kvůli ní způsobený „akustický most“. Obecně je tento typ stěny nejspolehlivější dělicí svislou konstrukcí z hlediska zvukoizolačních vlastností. Má vysokou plošnou hmotnost, jež je v případech jednoduchých konstrukcí rozhodující pro výslednou hodnotu vážené stavební neprůzvučnosti R'_w .

V praxi se její hodnoty běžně pohybují mezi 54 až 57 dB. Mnou vypočtené hodnoty se tedy přibližují zabudovanému stavu konstrukce zcela reálně.

Dělicí stěna z cihelných bloků bývá občas problematická. Jak již bylo řečeno, jedná se o levnější a z hlediska výstavby jednodušší konstrukci. Je však potřeba uvažovat s několika omezeními. Plošná hmotnost takovéto stěny je nižší než u stěny železobetonové. Výrobci však dokážou nyní vytvořit cihelné bloky s několika izolovanými žebry a to dokonce v akustickém provedení, jež teoreticky splňují vysoké hodnoty zvukové izolace. Realita ovšem bývá často jiná.

Zděné stěny nejsou již tak dokonale monolitické jako železobetonové. I z tohoto důvodu je korekce pro ně vyšší. V případech různých záseků do zdi (z důvodu vedení vnitřních instalací), špatně promaltovaných spár, nebo nedodržení technologického postupu vznikají oslabující místa, jež mohou výrazně degradovat tuto zděnou konstrukci jako celek. V případech laboratorních měření se tyto problémy daří sledovat a zabránit jim, avšak na stavbě samotné se nedaří vždy provést vše dokonale. V okamžiku, kdy stěna není primárně nosná, ale naopak dodatečně dozděná (tudíž nespolutpůsobí (neinteraguje) s okolními konstrukcemi v takové míře), se korekce opět zvýší.

Ze všech těchto popsaných (a několika dalších) důvodů se v praxi často stává, že ač dělicí stěny z cihelných bloků tloušťky 250 mm (provedení AKU) mají laboratorně deklarovanou vysokou vzduchovou neprůzvučnost, jež by měla následně vyhovovat normovým požadavkům, hodnoty změřené na stavbě se jim často ani nepřibližují. Hlavním důvodem je používání tenkostěnných sádrových omítek tloušťky 8 mm – místo výrobcem uvažovaných omítek vápenocementových tloušťky 15 mm (toto provedení se totiž posuzuje v laboratoři).

Výsledek protokolu u konstrukce 2b vychází dokonce 54 dB. V tomto případě však byla použita kvalitní vápenocementová omítka tloušťky 20 mm a v procesu výstavby byl kladen vysoký důraz na správné vyzdění konstrukce. Z tohoto je patrné, že není zcela nemožné v případech stěn z bloků tloušťky 250 mm dosáhnout požadovaných hodnot vzduchové neprůzvučnosti, avšak musí se dodržovat jisté zásady a principy.

Tento typ stěny (2a a 2b) bývá tedy v některých případech problémový, ale na základě mnoha stavebních měření je prokázáno, že stěny vyzděné z cihelných bloků tloušťky 300 mm (provedení AKU) již ve většině případů vyhoví, nedojde-li k hrubým technologickým nedostatkům. Opět platí, že povrchová úprava má vliv na výslednou hodnotu R'_{w} , nicméně i se stěnou omítnutou sádrovou omítkou nebývá výrazný problém.

Výsledky z technické metody a programu INSUL 9.0 jsou dle mého názoru mírně podhodnocené a to jak v případě stěn z cihelných bloků tloušťky 250 mm, tak tloušťky 300 mm. Technická metoda nezohledňuje reálnou ohybovou tuhost těchto stěn, jež je rozhodující pro výpočet společně s plošnou hmotností, která vychází z objemové hmotnosti. Ta je u cihelných bloků menší právě z důvodu žeber a dutin, které však ve výsledku napomáhají vyšší zvukové izolaci. Metoda ovšem nezohledňuje, zda cihla je, nebo není děrovaná. Program INSUL také bohužel ve své materiálové nabídce nenabízí tyto děrované cihly. Ohybovou tuhost ale ve svém výpočtu uvažuje, proto jsou jeho výsledky lepší než ty vypočtené technickou metodou, avšak pro oba způsoby jsou nižší, než bych předpokládal. Jedná se o teoretický výpočet (a ne měření reálného stavu), proto by se hodnoty měly blížit spíše těm, jež udávají výrobci.

V případě domů postavených v minulých stoletích byly dělicí konstrukce většinou realizovány jako zděné stěny z cihel plných pálených. Tyto stěny měly tloušťku 140 mm (s oboustrannou vápenocementovou omítkou 170 mm). Dnešním požadavkům ovšem nevyhovují, což je patrné i na základě výpočtů, které oba vyšly 49 dB. Výsledek měření ze zpracovaného protokolu bohužel není k dispozici, jelikož v rámci měření vzduchových neprůzvučností je zbytečné tyto konstrukce posuzovat. Ze zkušenosti je známo, že tyto stěny nevyhoví a musí tedy být při jejich zachování doplněny o dodatečné opatření.

Jedním z několika možných opatření je jednostranné doplnění původní zděné stěny o sádkartonovou předstěnu s dvojitým opláštěním a zatlumenou vzduchovou mezerou. Tato předstěna nesmí být spojena pevně s původní stěnou. Naopak by měl být její rošt pružně oddělen a přikotven v horní a spodní části.

Vhodnost tohoto řešení je zcela jednoznačná. Jednoduchým opatřením je možno zvýšit hodnotu R'_{w} o přibližně 8 dB, díky čemuž je již normový požadavek s přehledem splněn. Toto řešení je dle mého názoru nejvhodnější. Za nevýhodu by tak mohlo být považováno zmenšení užitné půdorysné plochy jednoho z obytných prostorů, resp. potřeba provedení této předstěny bez oslabujících prvků. V případě vybourání původní zděné stěny a jejího nahrazení současnými cihelnými bloky (které z výše popsaných důvodů nemusí zajistit vyřešení problému) by však ke zmenšení půdorysu některé z obytných místností došlo také. Vzniklým prostorem vzduchové mezery se navíc mohou skrytě vést vnitřní instalace. Vhodnost tohoto dodatečného opatření je tedy zřejmá.

Sádrokartonová příčka na jednoduchém roštu s oboustranným dvojitým opláštěním je oblíbený způsob provedení lehké dělicí konstrukce. Hodnota vážené stavební neprůzvučnosti R'_w však již oproti masivním konstrukcím nevyhovuje základním požadavkům mezibytových stěn. I z tohoto důvodu by tato příčka měla být užívána především jako dělicí konstrukce mezi jednotlivými obytnými místnostmi jednoho bytu, nebo v administrativních budovách.

Stavební firmy ovšem tyto sádrokartonové stěny někdy využívají také jako mezibytové. Jsou totiž levnějším a méně pracným způsobem provedení dělicí konstrukce. Následně ale většinou nastane problém při kolaudaci (pokud je k ní požadováno provést měření neprůzvučnosti), respektive při budoucím využívání bytů. Rozhodně bych nikdy nedoporučil provádět sádrokartonovou mezibytovou stěnu – kromě výjimek v půdních vestavbách, kde je problém s nedostatečnou únosností. I zde je pak ale nutno použít speciální sádrokartonové příčky (tj. v provedení dvojitého oboustranného opláštění na dvojitém roštu a případně ještě s dalším vloženým prvkem (např. bezpečnostní plech)). Mimo již popsané důvody je totiž nevýhodou běžných sádrokartonových příček to, že vykazují nízkou vzduchovou neprůzvučnost v oblasti nízkých frekvencí (viz kapitola 2.6 pojednávající o faktorech přizpůsobení spektru), respektive oproti laboratorně změřené neprůzvučnosti mohou korekce způsobené bočními přenosy zvuku (a v horším případě akustickými mosty, z nichž některé jsou zmíněny v poslední části bakalářské práce) dosahovat vysokých hodnot. Správné provedení a požadované hodnoty zkrátka nemohou být ve všech případech zaručeny, a proto by se měly používat spíše v prostorech, na které nejsou stanoveny tak vysoké požadavky zvukové izolace. Například výsledek protokolu měření ($R'_w = 50$ dB), který byl proveden v kancelářské budově by nebyl v bytovém domě vyhovující. Pro kancelářské prostory je však tento výsledek zcela nadstandardní. Splňuje všechny požadavky pro ně uvedené včetně požadavku na kanceláře „pro důvěrná jednání nebo jiné činnosti vyžadující vysokou ochranu před hlukem“, ačkoliv se nejednalo o místnost pro tyto činnosti.

Z hlediska vzduchové neprůzvučnosti stropních konstrukcí je současně nejčastějším způsobem provedení železobetonová stropní deska, která ovšem musí být v bytových domech doplněna o těžkou plovoucí podlahu (řádně oddílatovanou od všech ostatních ohraničujících konstrukcí).

Na základě výsledků výpočtů je třeba konstatovat, že v tomto případě se číselné hodnoty vážené stavební neprůzvučnosti výrazně liší od výsledku z programu INSUL.

Domnívám se, že tento program z nevysvětlitelného důvodu všechny stropní konstrukce z hlediska vzduchové neprůzvučnosti výrazně nadhodnocuje, což je znát i z velmi nepravděpodobného průběhu diagramu neprůzvučnosti. Výsledek technické metody se však velice dobře přibližuje skutečnosti, jelikož v praxi tyto konstrukce běžně vychází

mezi 56 až 60 dB, přičemž ČSN EN ISO 12354-1 uvádí přibližnou hodnotu 61 dB na základě diagramu popisujícího zlepšení vážené neprůzvučnosti přídatnou vrstvou. [9] Obecně však tyto skladby stropní konstrukce prakticky vždy vychází (pokud se neprojeví vliv akustického mostu (např. napojení digestoří na společné odtahové VZT potrubí nebo v poslední době používané vyústění digestoří do fasád)). Daleko důležitější je proto u těchto konstrukcí sledovat především vznik a následný přenos kročejového zvuku, který může často představovat problém.

C) VZDUCHOVÁ NEPRŮZVUČNOST – PRAXE

5 Případy nevhodných řešení konstrukcí

Třetí část bakalářské práce se věnuje různým konstrukčním chybám a nedostatkům, které se v průběhu let vyskytovaly na stavbách. Nekvalitní provedení konstrukcí následně vedlo ke vzniku akustických mostů, které měly vliv na nízkou hodnotu zvukové izolace takových konstrukcí.

Chybná nebo méně vhodná provedení se na některých stavbách ovšem stále opakují, přestože na tyto chyby jsou stavebníci (investoři) pravidelně upozorňováni – na základě nedostatků zjištěných při měření zvukových izolací.

K dále zmíněným nedostatkům dochází buď již v samotném návrhu a následně realizaci, nebo při nedostatečné technologické kázni stavebníků či snaze ušetřit na stavebním materiálu – v takových případech se tedy stává, že oproti původnímu správnému projektu je konstrukce provedena nevhodně.

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. Chyby, se kterými se člověk může občas v praxi setkat, ovšem zůstanou v paměti déle. Cílem této části je tedy na tyto chyby poukázat a případně se z nich poučit. Na základě popsaného nedostatku je totiž také vysvětleno správné řešení, které je v takovýchto případech považováno za vhodné nápravné opatření.

Ve škole se běžně studenti učí pouze ty správné metody a způsoby, nemusí ale být následně připraveni na to, že něco může být i špatně řešeno a následně si neví rady. Což mi vždy přišlo v rámci výuky různých předmětů škoda. Správným argumentem může být, že chyb se člověk vyvaruje, když bude vše dělat správně, avšak v životě tomu vždy tak není a chybovat je lidské. Věřím tedy, že tato část bude zajímavým náhledem na to „nehezke“.

Chybná řešení jsou svým provedením rozdělena do čtyř kapitol dle typů nejčastějších stavebních konstrukcí, jež byly představeny ve druhé části (ad B) – železobetonové stěny, zděné stěny, sádkartonové stěny a železobetonové stropy.

5.1 Železobetonové stěny

Železobetonové stěny bývají většinou při dostatečné tloušťce (180 mm a více) a současném dodržení správnosti provedení bezproblémové. Tyto konstrukce splňují požadovanou hodnotu vzduchové neprůzvučnosti díky své vysoké plošné hmotnosti. Avšak i u nich je možné provedení akustického mostu při tloušťce konstrukce 180 mm a více. Realizaci stěny pod 180 mm bych na základě provedených měření nedoporučoval.

a) Nedostatečná izolace otvorů po odbednění v místech spínacích tyčí

Po spínacích tyčích, jež v průběhu betonáže udržují a zajišťují bednicí prvky ve své poloze, zůstává po odbednění průběžný otvor v celé tloušťce stěny. Tento otvor by se měl následně zaplnit tepelnou izolací nebo ještě lépe zainjektovat cementovou směsí, aby v konstrukci nevzniknul akustický most. Poté se tento otvor (při například pohledovém betonu) zaopatří zátkou.

V některých případech se však stává, že otvor není zaplněn a pouze se na obou stranách stěny osadí obyčejné zátky. Takovéto provedení je potom z hlediska vzduchové neprůzvučnosti ve většině případů nevyhovující.

b) Chybně provedené přídavné zateplení

Z důvodu zlepšení tepelněizolačních vlastností konstrukcí (v případě mezibytových stěn, ale hlavně stěn sousedících s prostorem schodiště) se stěny po provedení dodatečně zateplují tepelnými izolacemi. Tyto prvky se na stěny kontaktně přilepují. Z hlediska tepelné techniky se jedná o výborný způsob, avšak z hlediska akustiky ne ve všech případech.

Hmotné prvky s nízkou objemovou hmotností (polystyrény, vylehčené pórobetony) ovšem nemají v takovém případě pozitivní vliv, naopak dochází ke zhoršení vzduchové neprůzvučnosti. Je tedy třeba se takových opatření vyvarovat.

Pro potřeby tohoto dodatečného zateplení je nejvhodnější použít minerální vlnu, jejíž desky se lepí po okrajích a ve třech bodech uprostřed a následně přikotví ke stěně.

c) Osazení zásuvek

Osazení zásuvek do mezibytových stěn představuje prakticky vždy problém. Ten je u železobetonových stěn méně významný než u stěn zděných či sádrokartonových, takže osazení zásuvek není třeba úplně vylučovat. Zásadně by se ovšem neměly osazovat proti sobě. Při dostatečné tloušťce stěny je možné osadit zásuvku pouze z jedné její strany. Tloušťka stěny 180 mm by však již toto neumožňovala.

Obecně by však žádná mezibytová stěna (hlavně pak zděná nebo sádrokartonová) neměla být oslabena zásuvkou či instalačním rozvodem.

5.2 Zděné stěny

a) Výběr vhodného materiálu

Mezibytové a další posuzované stěny musí být vždy provedeny z cihelných bloků v akustickém provedení. Z důvodu dobrých tepelněizolačních vlastností a nízké objemové hmotnosti se ovšem občas využívají bloky z pórobetonu. Jejich akustické vlastnosti jsou však zcela nevyhovující. V takových případech je nejlepší nápravou tuto konstrukci vybourat a nahradit ji stěnou vyzděnou z akustických bloků. Při jejich použití je však opět třeba brát v potaz vhodnou tloušťku a povrchovou úpravu v podobě omítek (viz kapitola 4).

V případě požadavku na ponechání této stěny je třeba vždy učinit dodatečné opatření v podobě dvojité opláštěné sádrokartonové předstěny a to z obou stran konstrukce.

U starších objektů je možné ponechat původní stěnu z plných cihel pálených včetně omítky celkové tloušťky 170 mm. Hodnota její vzduchové neprůzvučnosti je však nízká (viz kapitola 4.3), a proto je třeba tuto stěnu doplnit o sádrokartonovou předstěnu s dvojitým opláštěním a se zatlumenou vzduchovou mezerou (viz kapitola 4).

Při požadavku na nadstandardní provedení je možné udělat tuto předstěnu z obou stran této stěny. Toto opatření navíc umožňuje osadit zásuvky i vypínače. Rovněž je možné ve vzniklé vzduchové mezeře vést vnitřní instalace.

Častým případem bylo také v předchozích letech vyzdění stěn z běžných cihelných bloků místo bloků v akustickém provedení. Potom nebylo možno zajistit dodržení požadovaných akustických parametrů a následně tak bylo třeba přistoupit k již dříve popsanému dodatečnému opatření.

Zcela neobvyklé a nevhodné (a naštěstí zřídka realizované) provedení však u těchto běžných bloků (bohužel i následně v provedení AKU) bylo řešení povrchové úpravy stěn. Z důvodu ušetření práce a materiálu byly omítky nahrazeny sádrokartonovými deskami – pevně přilepenými lepidlem v celé ploše. Toto provedení bylo následně mylně vydáváno za nadstandardní řešení. Zvuková izolace tohoto „nadstandardního řešení“ však byla ještě horší, než kdyby se k němu nepřistoupilo vůbec.

Je třeba si uvědomit, že nejlepší způsob povrchové úpravy zděné stěny je vždy nanesení kvalitní oboustranné omítky, jelikož ta eliminuje vliv spár mezi cihelnými bloky.

b) Použití tenkostěnné sádrové omítky

Rozdíl v užití tenkostěnných sádrových omítek a kvalitních vápenocementových omítek (v dostatečně tloušťce) byl již popsán v kapitole 4.4.

c) Osazení zásuvek a prostupy vnitřních instalací

V kapitole 5.1 byla popsána nevhodnost osazení zásuvek v železobetonové stěně. V případě zděné mezibytové stěny dochází vždy k ještě většímu problému. Osazením zásuvek a vypínačů ve zděné konstrukci (respektive ještě horším případem je realizace těchto prvků z jejich obou stran proti sobě) dochází k jejímu silnému oslabení, počet žeber dutinového bloku se zmenší a zvuk má mnohem jednodušší přenosovou cestu do druhého prostoru, takže vždy dochází k výraznému snížení zvukové izolace takové mezibytové konstrukce.

Ještě méně vhodné je oslabovat tyto stěny prostupy vnitřních instalací jako je například topení (nebo ještě hůře vzduchotechnické potrubí). Každý byt by měl mít vlastní vzduchotechnickou jednotku anebo by se ze společného stoupacího potrubí mělo vést VZT potrubí samostatně v rámci jednotlivých bytů (nikoliv však mezi byty).

Správně by tyto zásahy do konstrukcí měly být prováděny nikoliv u stěn mezibytových. V případě stěny tloušťky alespoň 300 mm je možné uvažovat o jednostranném osazení zásuvky, avšak pouze pokud to situace nedovolí jinak.

d) Pružné připojení ke stropní desce

V případě nenosných zděných stěn je vždy třeba zajistit pružné horní připojení ke stropní desce z důvodu jejího průhybu, jenž by následně způsobil deformaci stěny (popraskání omítek). V praxi je možné se setkat s řešením, kdy mezi stěnou a stropní deskou je ponechána vzduchová mezera až 50 mm, která se následně zaplní minerální vlnou a zaomítne. Tímto způsobem vznikají veliké akustické mosty.

Spolehlivým řešením je snažit se ponechat vzduchovou mezera co nejmenší, vyplnit ji minerální vlnou a opatřit z obou stran kovovými zvukoizolačními příložkami. Ty by měly být ideálně z oceli. Hliníkové mají nižší objemovou hmotnost, tím pádem není jejich neprůzvučnost tak vysoká jako v případě ocelových příložek.

5.3 Sádrokartonové stěny

Sádrokartonové stěny by se (jak již bylo řečeno v předešlých kapitolách) neměly využívat jako mezibytové stěny. Jejich provedení totiž většinou nezajišťuje požadované hodnoty zvukové izolace. Akustické mosty spojené s těmito konstrukcemi jsou potom dokonce v některých případech až neřešitelné.

a) Způsob návrhu

Konstrukce je navržena s pouhým jednoduchým opláštěním. To ovšem nemůže nikdy u mezibytových stěn zajistit dostatečnou zvukovou izolaci. Proto je nutno vždy navrhovat dvojité opláštění se vzájemným prostřídáním desek.

b) Kotvení stěny

Příčka (či mezibytová stěna) je založena na společné plovoucí podlaze, což je špatně, jelikož v místě podlahy vzniká mezera v podobě akustického mostu.

Správným řešením je realizace stěny mezi základními nosnými konstrukcemi stropu. Až pak je možno z obou stran provést plovoucí podlahy, které musí být pružně odděleny od této svislé mezibytové dělicí konstrukce. Následně je vhodné rovněž provést stropní podhled se zatlumenou vzduchovou mezerou, protože akustický most by vznikl též u napojení této stěny na horní stropní desku.

c) Napojení na fasádu

V místě napojení sádrokartonové stěny na fasádu vzniká prakticky vždy akustický most z důvodu nemožnosti probetonování této konstrukce (či prolití maltou).

Řešení tohoto problematického místa je možné pomocí oboustranných akustických přílozek a hmotných konstrukčních prvků či kapes, avšak v podstatě nikdy se tento akustický most nepodaří zcela eliminovat, tudíž je tento stavební detail svým způsobem limitující. Opět je třeba zopakovat, že sádrokartonová konstrukce by neměla být řešením mezibytové stěny.

d) Osazení zásuvek a prostupy vnitřních instalací

Problém tohoto řešení byl již vysvětlen v předchozích kapitolách.

e) Dodatečné zařizování interiéru na úkor oslabení sádrokartonové stěny

Po nastěhování do bytu se nájemníci začínají „realizovat“ a navrtávají do stěn otvory pro osazení hmoždinek nebo do nich přímo zatloukají hřebíky, aby si k nim připevnili nábytek nebo aby si na ně mohli pověsit obrazy či jiné prvky. V případě mezibytových sádrokartonových (ale i zděných stěn) představuje toto problém, neboť vždy dojde k oslabení a následnému snížení zvukové izolace takové stěny. Proto je třeba uvažovat a takovéto oslabení mezibytových konstrukcí vůbec neprovádět.

f) Silné prošroubování sádrokartonových desek

Při realizaci stěny se sádrokartonové desky musí přišroubovat k nosnému roštu konstrukce. Výrobce jsou doporučené vzájemné vzdálenosti vrutů a i jejich poloha. Občas může vzniknout mylný předpoklad, že pokud se použije na desku o něco více vrutů, než výrobce předepsal, deska bude lépe držet a bude více „těsná“.

Silná prošroubovanost naopak způsobí množství lokálních akustických mostů.

g) Limitní tloušťka vzduchové mezery

Zatlumená vzduchová mezera sádrokartonových konstrukcí příznivě ovlivňuje hodnotu vzduchové neprůzvučnosti, jelikož v ní dochází k útlumu zvuku. To však platí spolehlivě pouze do tloušťky 200 mm. Poté již hodnota útlumu začne klesat z důvodu stojatého vlnění.

Lze však provádět konstrukce s touto velikou vzduchovou mezerou v případě, kdy se do nich vloží další hmotný prvek v podobě plechu či OSB desky. Tyto prvky mají od sádrokartonu rozdílnou objemovou hmotnost, což má na útlum příznivý vliv. Vložit sádrokartonovou desku by nebylo optimální.

h) Nedostačující zvuková izolace

Ani sádrokartonová stěna na dvojitém roštu s oboustranným dvojitým opláštěním nemusí vyhovovat daným požadavkům. V takovém případě je kromě změny konstrukce možné a vhodné provést dodatečně předstěnu z OSB nebo cementotřískových desek se zatlumenou vzduchovou mezerou (předstěna celkové tloušťky cca 100 mm).

5.4 Železobetonové stropy

Železobetonové stropy opatřené v bytových domech těžkou plovoucí podlahou běžně v případě vzduchové neprůzvučnosti vycházejí, pokud jsou navrženy v patřičných tloušťkách. Například železobetonová stropní deska tloušťky 150 mm by již mohla způsobovat problémy, avšak v takovém provedení nebývá realizována.

a) Vedení vnitřních instalací

Jednou z mála chyb by tedy mohlo být řešení prostupů pro vedení vnitřních instalací touto stropní deskou. Bohužel i v dnešní době je možné se s tímto v praxi někdy setkat. Dalším nedostatkem je napojení digestoří na společné odtahové VZT potrubí mimo izolovanou šachtu (navíc bez zatlumení) nebo v poslední době používané vyústění digestoří do fasád (kdy dochází ke vzniku vedlejší cesty přenosu zvuku přes exteriér). Tato všechna řešení nejsou vhodná a většinou s nimi následně nelze nic dělat. Stavebníci by se jich proto měli vždy vyvarovat.

V rámci přístaveb a rekonstrukcí se navíc často zasahuje do původních dřevěných trámových stropů, které z hlediska vzduchové neprůzvučnosti většinou vycházely. Častou změnou této stropní konstrukce je odstranění původního násypu (stavební suť) a jeho nahrazení polystyrénem. Tím dojde k výrazné ztrátě objemové hmotnosti, a tedy i vzduchové neprůzvučnosti. Násyp by se tedy měl nahradit spíše novým sypkým materiálem (např. pískem). Případně je možné konstrukci zespodu doplnit o zvukoizolační podhled se zatlumenou vzduchovou mezerou.

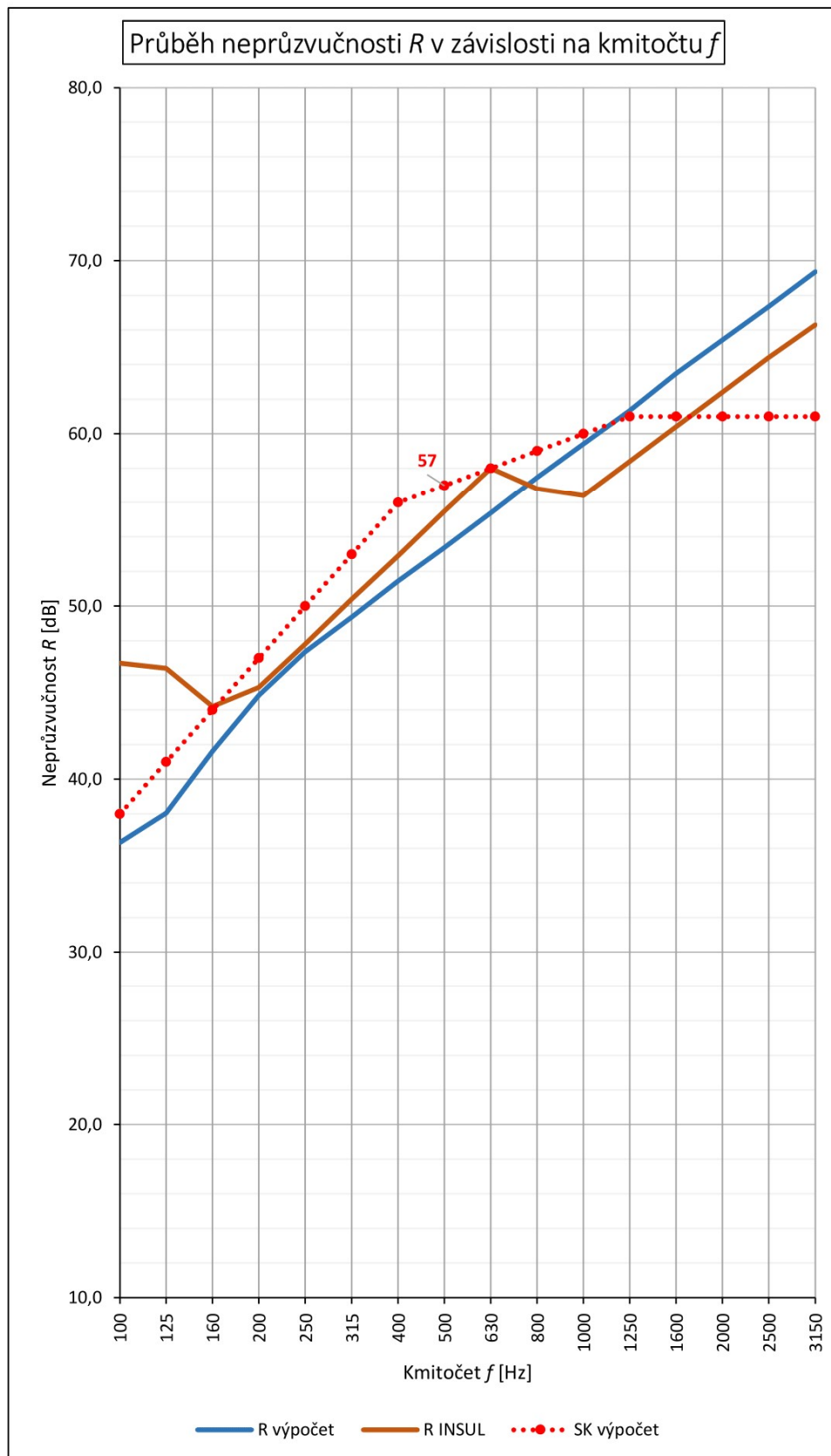
Příloha 1

a) Výpočet technickou metodou

KONSTRUKCE Č. 1

ŽB monolitická stěna tl. 200 mm + oboustranná sádrová stěrka tl. 5 mm

ŽB parametry:		Sádrová stěrka parametry:																																																																																						
Tloušťka:	0,2 m	Tloušťka:	0,01 m																																																																																					
Hustota ρ :	2500 kg/m ³	Hustota ρ :	1200 kg/m ³																																																																																					
Rychlost podélných vln c_L :	3286 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	1700 m.s ⁻¹																																																																																					
Ztrátový činitel η_{int} :	0,005	Ztrátový činitel η_{int} :	0,009																																																																																					
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																						
Hustota ρ :	2438 kg/m ³	Tloušťka h :	0,21 m																																																																																					
Rychlost podélných vln c_L :	3210 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	4 m																																																																																					
Ztrátový činitel η_{int} :	0,005	Výška (l_y):	2,7 m																																																																																					
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	60,6 Hz 60,6 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	94,5 Hz																																																																																					
Plošná hmotnost m':	512 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,114																																																																																					
Zlomové kmitočty:																																																																																								
f_A :	30,4 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	36,3 dB																																																																																					
x :	1,871	Neprůzvučnost R_B v místě B:	36,3 dB																																																																																					
f_B :	111,3 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	46,3 dB																																																																																					
f_C :	222,6 Hz																																																																																							
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>36,4</td><td>38</td><td>1,6</td><td>1,6</td></tr> <tr><td>125</td><td>38,0</td><td>41</td><td>3,0</td><td>3,0</td></tr> <tr><td>160</td><td>41,6</td><td>44</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>200</td><td>44,8</td><td>47</td><td>2,2</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>250</td><td>47,4</td><td>50</td><td>2,6</td><td>2,6</td></tr> <tr><td>315</td><td>49,4</td><td>53</td><td>3,6</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>400</td><td>51,4</td><td>56</td><td>4,6</td><td>4,6</td></tr> <tr><td>500</td><td>53,4</td><td>57</td><td>3,6</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>630</td><td>55,4</td><td>58</td><td>2,6</td><td>2,6</td></tr> <tr><td>800</td><td>57,5</td><td>59</td><td>1,5</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>1000</td><td>59,4</td><td>60</td><td>0,6</td><td>0,6</td></tr> <tr><td>1250</td><td>61,3</td><td>61</td><td>-0,3</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>63,5</td><td>61</td><td>-2,5</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>65,4</td><td>61</td><td>-4,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>67,4</td><td>61</td><td>-6,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>69,4</td><td>61</td><td>-8,4</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>				f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	36,4	38	1,6	1,6	125	38,0	41	3,0	3,0	160	41,6	44	2,4	2,4	200	44,8	47	2,2	2,2	250	47,4	50	2,6	2,6	315	49,4	53	3,6	3,6	400	51,4	56	4,6	4,6	500	53,4	57	3,6	3,6	630	55,4	58	2,6	2,6	800	57,5	59	1,5	1,5	1000	59,4	60	0,6	0,6	1250	61,3	61	-0,3	0,0	1600	63,5	61	-2,5	0,0	2000	65,4	61	-4,4	0,0	2500	67,4	61	-6,4	0,0	3150	69,4	61	-8,4	0,0
f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																				
100	36,4	38	1,6	1,6																																																																																				
125	38,0	41	3,0	3,0																																																																																				
160	41,6	44	2,4	2,4																																																																																				
200	44,8	47	2,2	2,2																																																																																				
250	47,4	50	2,6	2,6																																																																																				
315	49,4	53	3,6	3,6																																																																																				
400	51,4	56	4,6	4,6																																																																																				
500	53,4	57	3,6	3,6																																																																																				
630	55,4	58	2,6	2,6																																																																																				
800	57,5	59	1,5	1,5																																																																																				
1000	59,4	60	0,6	0,6																																																																																				
1250	61,3	61	-0,3	0,0																																																																																				
1600	63,5	61	-2,5	0,0																																																																																				
2000	65,4	61	-4,4	0,0																																																																																				
2500	67,4	61	-6,4	0,0																																																																																				
3150	69,4	61	-8,4	0,0																																																																																				
Součet negativních odchylek:	28,4 dB 28,4 < 32,0 dB	Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB																																																																																						
Vážená neprůzvučnost R_w :	57 dB	$R'_w = R_w - k_1 =$	55 dB																																																																																					
Korekce k_1 :	2,0 dB	VYHOVÍ																																																																																						



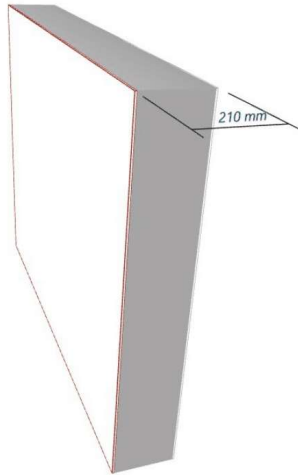
R INSUL [dB]
46,7
46,4
44,2
45,3
47,8
50,4
52,9
55,5
58,0
56,8
56,4
58,4
60,4
62,4
64,4
66,3

b) Výpočet programem INSUL 9.0

Sound Insulation Prediction (v9.0.22)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 - Key No. 3868
 Job Name: ZB stěna tl. 200 mm
 Job No.: 1
 Date: 18.04.2020
 File Name:

Initials: Jiří Bečka



Notes:
 Skladba stěny: sádrová stěrka tl. 5 mm + ZB tl. 200 mm + sádrová stěrka tl. 5 mm

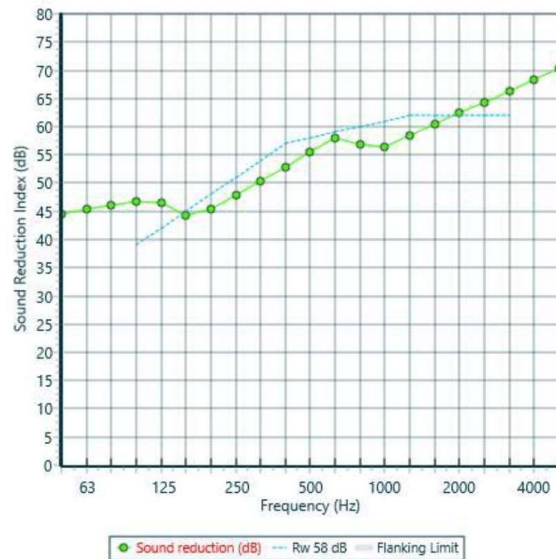
Hodnoty neprůzvučnosti R byly vyneseny též do předešlého grafu pro porovnání výstupů mezi hodnotami vypočtenými podle vzorců a podle softwaru.

R_w 58 dB
 C -1 dB
 Ctr -4 dB

Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 512 kg/m²

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	44	
63	45	45
80	46	
100	47	
125	46	46
160	44	
200	45	
250	48	47
315	50	
400	53	
500	55	55
630	58	
800	57	
1000	56	57
1250	58	
1600	60	
2000	62	62
2500	64	
3150	66	
4000	68	68
5000	70	



c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: [redacted]
 Datum zkoušky: [redacted]

Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
 [redacted]

Vysílací místnost: [redacted] Objem místnosti zdroje: m³
 Příjímací místnost: [redacted] Objem místnosti příjmu: 96,6 m³

Plocha společné části dělicí konstrukce: 12,0 m²

Kmitočet f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	42,2
125	41,0
160	41,6
200	45,0
250	46,4
315	48,3
400	48,9
500	50,5
630	52,7
800	55,8
1.0 kHz	57,7
1.25 kHz	60,9
1.6 kHz	63,8
2.0 kHz	66,3
2.5 kHz	69,6
3.15 kHz	72,1

Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 56 \text{ (-1;-4) dB}$ $C_{100-3150} = -1 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -4$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: [redacted] Název zkušebny: **KONTRAHLUK, s.r.o.**
 Datum: [redacted] Podpis: Ing. Jiří Bečka

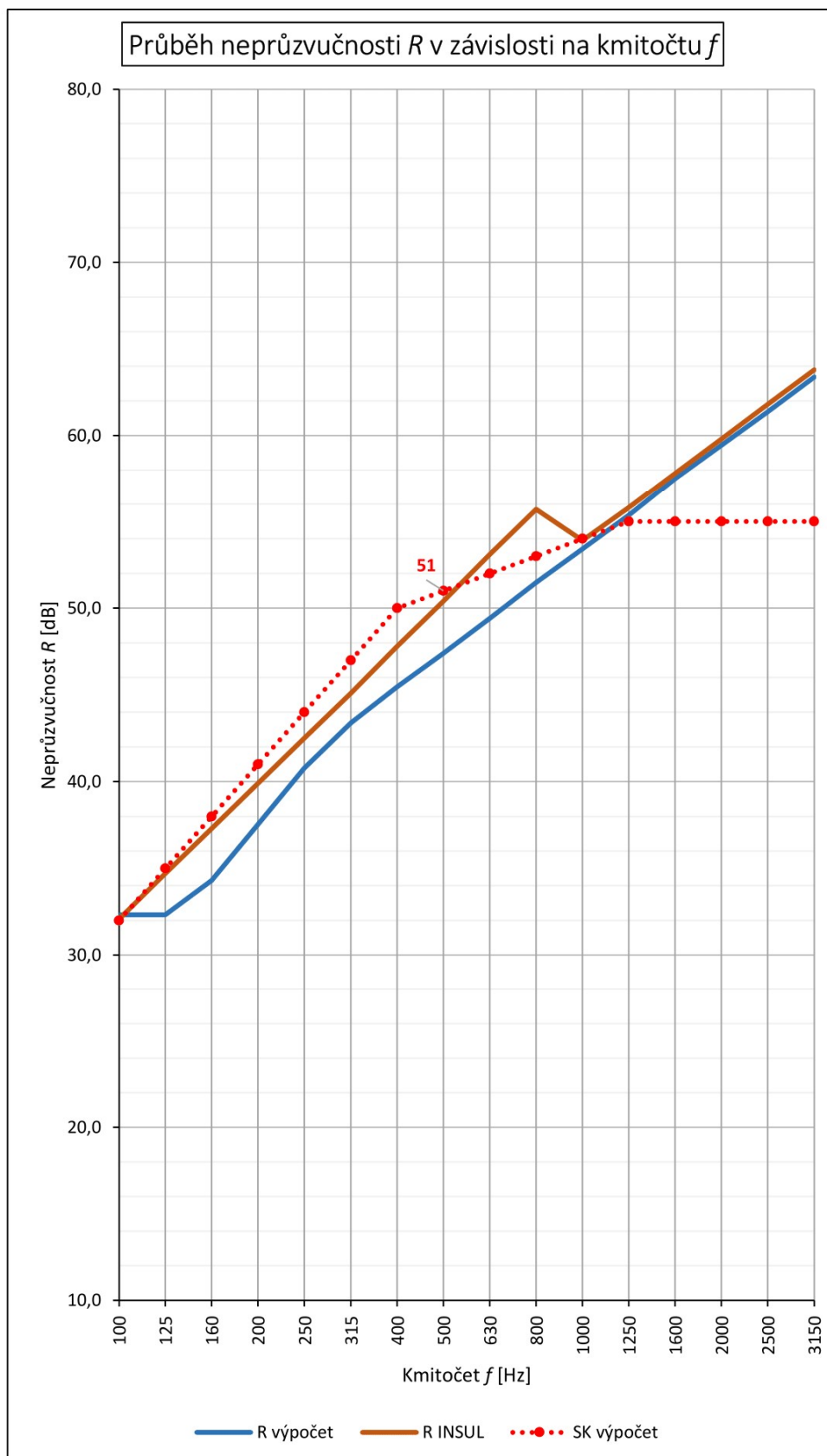
Příloha 2a

a) Výpočet technickou metodou

KONSTRUKCE Č. 2a

Stěna z POROTHERM 25 AKU SYM + oboustranná sádrová omítka tl. 8 mm

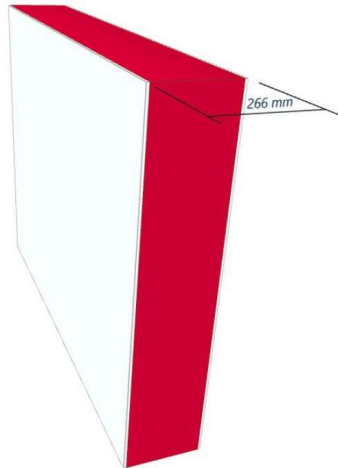
Cihla (372x250x238 mm) parametry:		Sádrová omítka parametry:																																																																																							
Tloušťka:	0,25 m	Tloušťka:	0,016 m																																																																																						
Hustota ρ :	1020 kg/m ³	Hustota ρ :	1100 kg/m ³																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2108 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	1700 m.s ⁻¹																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,035	Ztrátový činitel η_{int} :	0,009																																																																																						
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	1025 kg/m ³	Tloušťka h :	0,266 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2083 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	4 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,033	Výška (l_y):	2,7 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	49,8 Hz 49,8 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	115,0 Hz																																																																																						
Plošná hmotnost m':	272,6 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,086																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	36,0 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	32,3 dB																																																																																						
x :	1,955	Neprůzvučnost R_B v místě B:	32,3 dB																																																																																						
f_B :	139,6 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	42,3 dB																																																																																						
f_C :	279,1 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>32,3</td><td>32</td><td>-0,3</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>125</td><td>32,3</td><td>35</td><td>2,7</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>160</td><td>34,3</td><td>38</td><td>3,7</td><td>3,7</td></tr> <tr><td>200</td><td>37,5</td><td>41</td><td>3,5</td><td>3,5</td></tr> <tr><td>250</td><td>40,8</td><td>44</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>315</td><td>43,4</td><td>47</td><td>3,6</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>400</td><td>45,5</td><td>50</td><td>4,5</td><td>4,5</td></tr> <tr><td>500</td><td>47,4</td><td>51</td><td>3,6</td><td>3,6</td></tr> <tr><td>630</td><td>49,4</td><td>52</td><td>2,6</td><td>2,6</td></tr> <tr><td>800</td><td>51,5</td><td>53</td><td>1,5</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>1000</td><td>53,4</td><td>54</td><td>0,6</td><td>0,6</td></tr> <tr><td>1250</td><td>55,4</td><td>55</td><td>-0,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>57,5</td><td>55</td><td>-2,5</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>59,4</td><td>55</td><td>-4,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>61,4</td><td>55</td><td>-6,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>63,4</td><td>55</td><td>-8,4</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	32,3	32	-0,3	0,0	125	32,3	35	2,7	2,7	160	34,3	38	3,7	3,7	200	37,5	41	3,5	3,5	250	40,8	44	3,2	3,2	315	43,4	47	3,6	3,6	400	45,5	50	4,5	4,5	500	47,4	51	3,6	3,6	630	49,4	52	2,6	2,6	800	51,5	53	1,5	1,5	1000	53,4	54	0,6	0,6	1250	55,4	55	-0,4	0,0	1600	57,5	55	-2,5	0,0	2000	59,4	55	-4,4	0,0	2500	61,4	55	-6,4	0,0	3150	63,4	55	-8,4	0,0
f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	32,3	32	-0,3	0,0																																																																																					
125	32,3	35	2,7	2,7																																																																																					
160	34,3	38	3,7	3,7																																																																																					
200	37,5	41	3,5	3,5																																																																																					
250	40,8	44	3,2	3,2																																																																																					
315	43,4	47	3,6	3,6																																																																																					
400	45,5	50	4,5	4,5																																																																																					
500	47,4	51	3,6	3,6																																																																																					
630	49,4	52	2,6	2,6																																																																																					
800	51,5	53	1,5	1,5																																																																																					
1000	53,4	54	0,6	0,6																																																																																					
1250	55,4	55	-0,4	0,0																																																																																					
1600	57,5	55	-2,5	0,0																																																																																					
2000	59,4	55	-4,4	0,0																																																																																					
2500	61,4	55	-6,4	0,0																																																																																					
3150	63,4	55	-8,4	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:	29,5 dB 29,5 < 32,0 dB	Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB																																																																																							
Vážená neprůzvučnost R_w :	51 dB	$R'_w = R_w - k_1 =$ 48 dB																																																																																							
Korekce k_1 :	3,0 dB	NEVYHOVÍ																																																																																							



b) Výpočet programem INSUL 9.0

Sound Insulation Prediction (v9.0.22)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 - Key No. 3868
 Job Name: POROTHERM 25 AKU SYM + sádrová omítka
 Job No.: 2a Initials: Jiří Bečka
 Date: 18.04.2020
 File Name: 2a - POROTHERM 25 AKU SYM + sádrová omítka.ixl



Notes:
 Skladba stěny: sádrová omítka tl. 8 mm + POROTHERM 25 AKU SYM (tl. 250 mm) + sádrová omítka tl. 8 mm

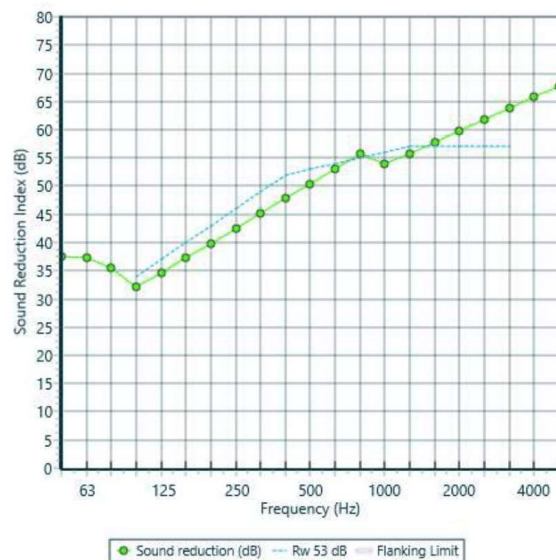
Hodnoty neprůzvučnosti R byly vyneseny též do předešlého grafu pro porovnání výstupů mezi hodnotami vypočtenými podle vzorců a podle softwaru.

R_w 53 dB
 C -2 dB
 Ctr -6 dB

Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 273 kg/m²

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	37	
63	37	37
80	35	
100	32	
125	35	34
160	37	
200	40	
250	42	42
315	45	
400	48	
500	50	50
630	53	
800	56	
1000	54	55
1250	56	
1600	58	
2000	60	59
2500	62	
3150	64	
4000	66	65
5000	68	

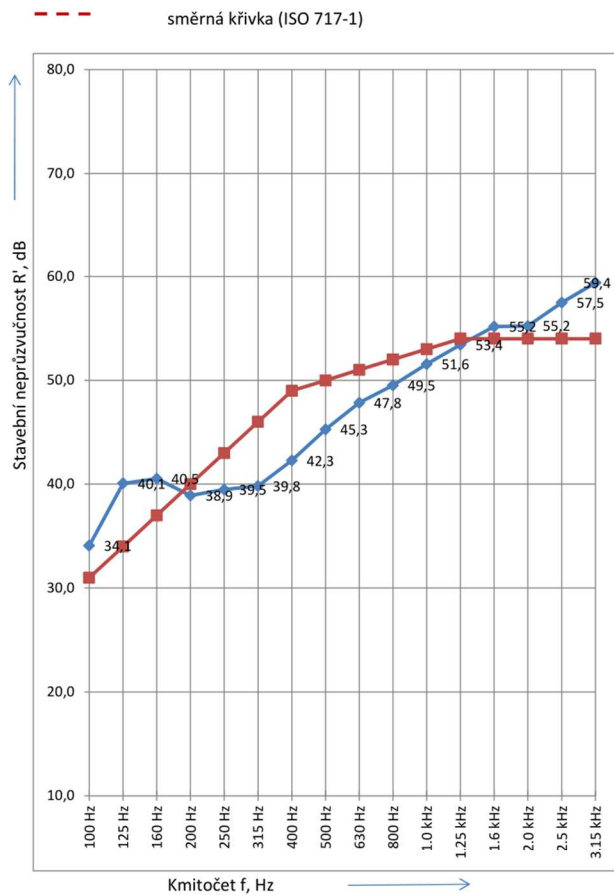


c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: ██████████
 Datum zkoušky: ██████████
 Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
 ██████████
 Vysílací místnost: ██████████
 Příjímací místnost: ██████████
 Objem místnosti zdroje: m³
 Objem místnosti příjmu: 91,8 m³
 Plocha společné části dělicí konstrukce: 17,2 m²

Kmitočť	R'
f	(1/3 oktáv)
Hz	dB
100	34,1
125	40,1
160	40,5
200	38,9
250	39,5
315	39,8
400	42,3
500	45,3
630	47,8
800	49,5
1000	51,6
1250	53,4
1600	55,2
2000	55,2
2500	57,5
3150	59,4



Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'w(C;C_{tr}) = 50 (-1;-4) \text{ dB}$ $C_{100-3150} = -1 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -4$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: ██████████ Název zkušebny: **KONTRAHLUK, s.r.o.**
 Datum: ██████████ Podpis: Ing. Jiří Bečka

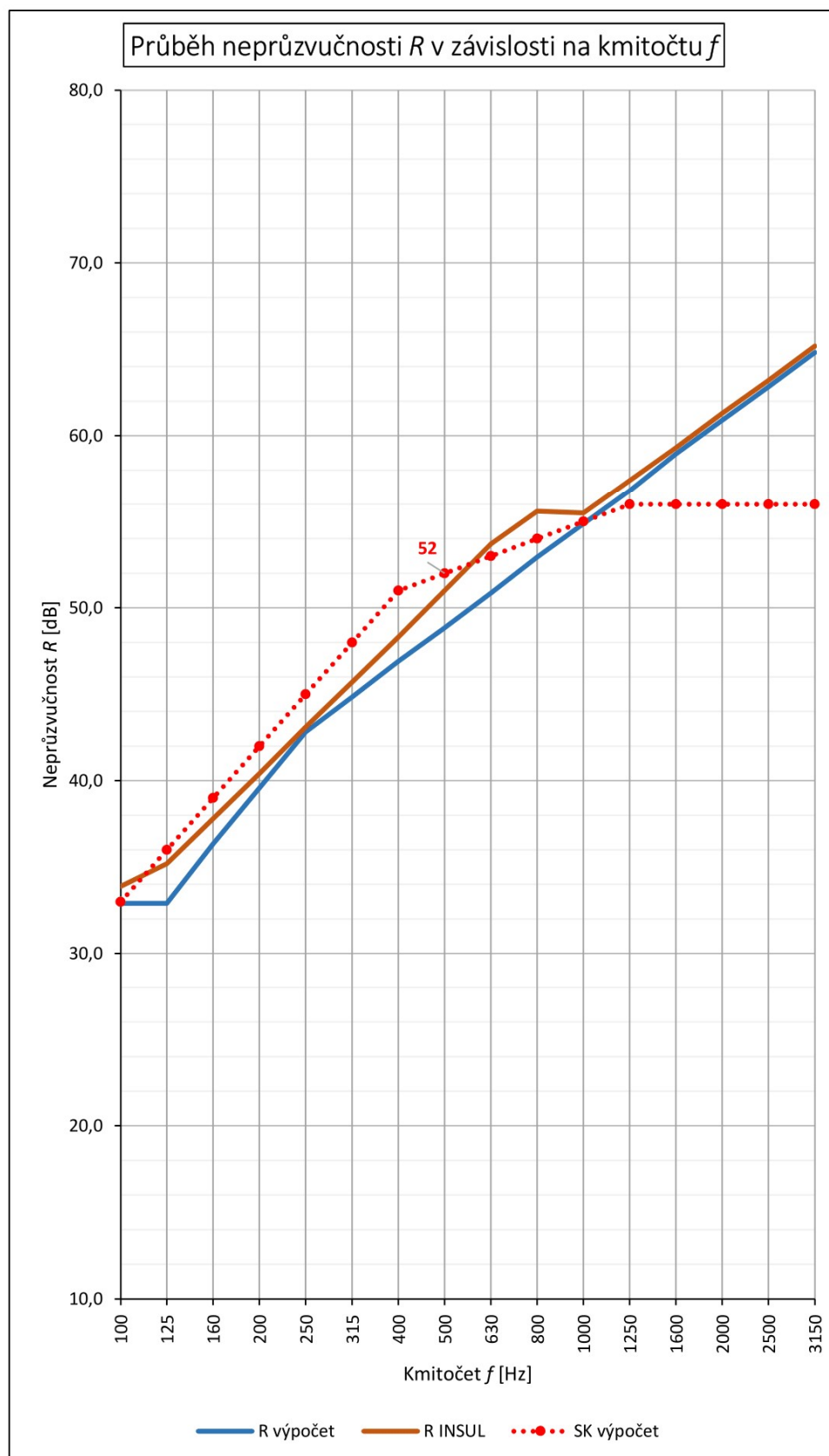
Příloha 2b

a) Výpočet technickou metodou

KONSTRUKCE Č. 2b

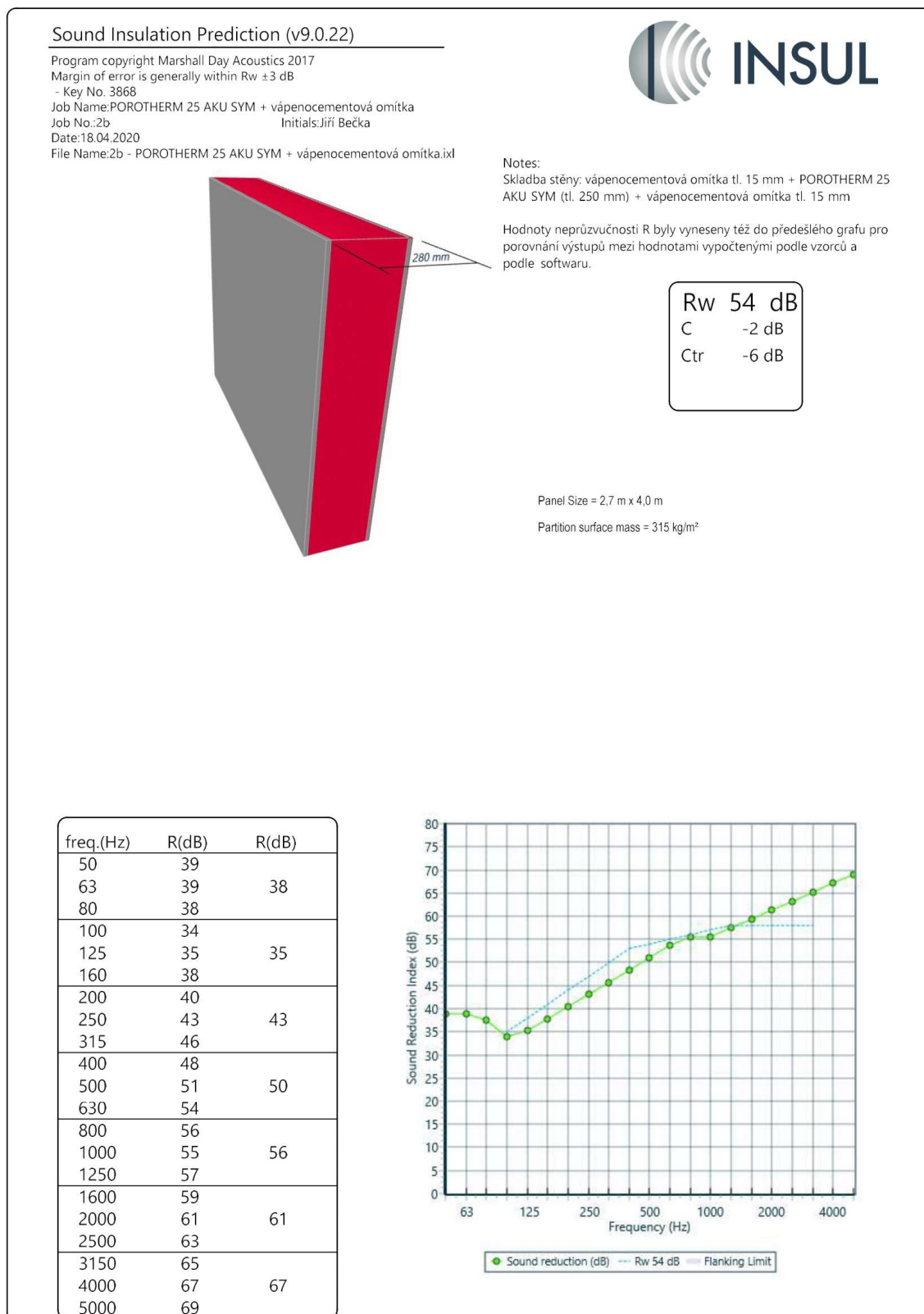
Stěna z POROTHERM 25 AKU SYM + oboustranná vpc. omítka tl. 15 mm

Cihla (372x250x238 mm) parametry:		Vápenocementová omítka parametry:																																																																																							
Tloušťka:	0,25 m	Tloušťka:	0,030 m																																																																																						
Hustota ρ :	1020 kg/m ³	Hustota ρ :	2000 kg/m ³																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2108 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	2625 m.s ⁻¹																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,035	Ztrátový činitel η_{int} :	0,010																																																																																						
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	1125 kg/m ³	Tloušťka h :	0,280 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2163 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	4 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,032	Výška (l_y):	2,7 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	54,4 Hz 54,4 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	105,2 Hz																																																																																						
Plošná hmotnost m':	315 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,096																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	33,3 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	32,9 dB																																																																																						
x :	1,923	Neprůzvučnost R_B v místě B:	32,9 dB																																																																																						
f_B :	126,2 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	42,9 dB																																																																																						
f_C :	252,3 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>32,9</td><td>33</td><td>0,1</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>125</td><td>32,9</td><td>36</td><td>3,1</td><td>3,1</td></tr> <tr><td>160</td><td>36,3</td><td>39</td><td>2,7</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>200</td><td>39,6</td><td>42</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>250</td><td>42,8</td><td>45</td><td>2,2</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>315</td><td>44,8</td><td>48</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>400</td><td>46,9</td><td>51</td><td>4,1</td><td>4,1</td></tr> <tr><td>500</td><td>48,8</td><td>52</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>630</td><td>50,9</td><td>53</td><td>2,1</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>800</td><td>52,9</td><td>54</td><td>1,1</td><td>1,1</td></tr> <tr><td>1000</td><td>54,9</td><td>55</td><td>0,1</td><td>0,1</td></tr> <tr><td>1250</td><td>56,8</td><td>56</td><td>-0,8</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>59,0</td><td>56</td><td>-3,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>60,9</td><td>56</td><td>-4,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>62,8</td><td>56</td><td>-6,8</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>64,8</td><td>56</td><td>-8,8</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	32,9	33	0,1	0,1	125	32,9	36	3,1	3,1	160	36,3	39	2,7	2,7	200	39,6	42	2,4	2,4	250	42,8	45	2,2	2,2	315	44,8	48	3,2	3,2	400	46,9	51	4,1	4,1	500	48,8	52	3,2	3,2	630	50,9	53	2,1	2,1	800	52,9	54	1,1	1,1	1000	54,9	55	0,1	0,1	1250	56,8	56	-0,8	0,0	1600	59,0	56	-3,0	0,0	2000	60,9	56	-4,9	0,0	2500	62,8	56	-6,8	0,0	3150	64,8	56	-8,8	0,0
f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	32,9	33	0,1	0,1																																																																																					
125	32,9	36	3,1	3,1																																																																																					
160	36,3	39	2,7	2,7																																																																																					
200	39,6	42	2,4	2,4																																																																																					
250	42,8	45	2,2	2,2																																																																																					
315	44,8	48	3,2	3,2																																																																																					
400	46,9	51	4,1	4,1																																																																																					
500	48,8	52	3,2	3,2																																																																																					
630	50,9	53	2,1	2,1																																																																																					
800	52,9	54	1,1	1,1																																																																																					
1000	54,9	55	0,1	0,1																																																																																					
1250	56,8	56	-0,8	0,0																																																																																					
1600	59,0	56	-3,0	0,0																																																																																					
2000	60,9	56	-4,9	0,0																																																																																					
2500	62,8	56	-6,8	0,0																																																																																					
3150	64,8	56	-8,8	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:	24,2 dB 24,2 < 32,0 dB	Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB																																																																																							
Vážená neprůzvučnost R_w :	52 dB	$R'_w = R_w - k_1 =$	49 dB																																																																																						
Korekce k_1 :	3,0 dB	NEVYHOVÍ																																																																																							



R INSUL [dB]
33,9
35,2
37,8
40,4
43,1
45,7
48,3
51,0
53,7
55,6
55,5
57,4
59,3
61,3
63,2
65,2

b) Výpočet programem INSUL 9.0



c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: [redacted]
 Datum zkoušky: [redacted]

Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
 [redacted]

Vysílací místnost: [redacted] Objem místnosti zdroje: m³
 Příjímací místnost: [redacted] Objem místnosti příjmu: 54,2 m³

Plocha společné části dělicí konstrukce: 22,2 m²

směrná křivka (ISO 717-1)

Kmitočť f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	40,9
125	41,6
160	44,9
200	43,6
250	47,4
315	47,2
400	49,0
500	49,2
630	51,2
800	52,4
1.0 kHz	53,9
1.25 kHz	55,3
1.6 kHz	57,0
2.0 kHz	57,4
2.5 kHz	57,7
3.15 kHz	57,5

Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'w(C;C_{tr}) = 54 \text{ (-1;-3) dB}$ $C_{100-3150} = -1 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -3$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: [redacted] Název zkušebny: **KONTRAHLUK, s.r.o.**
 Datum: [redacted] Podpis: Ing. Jiří Bečka

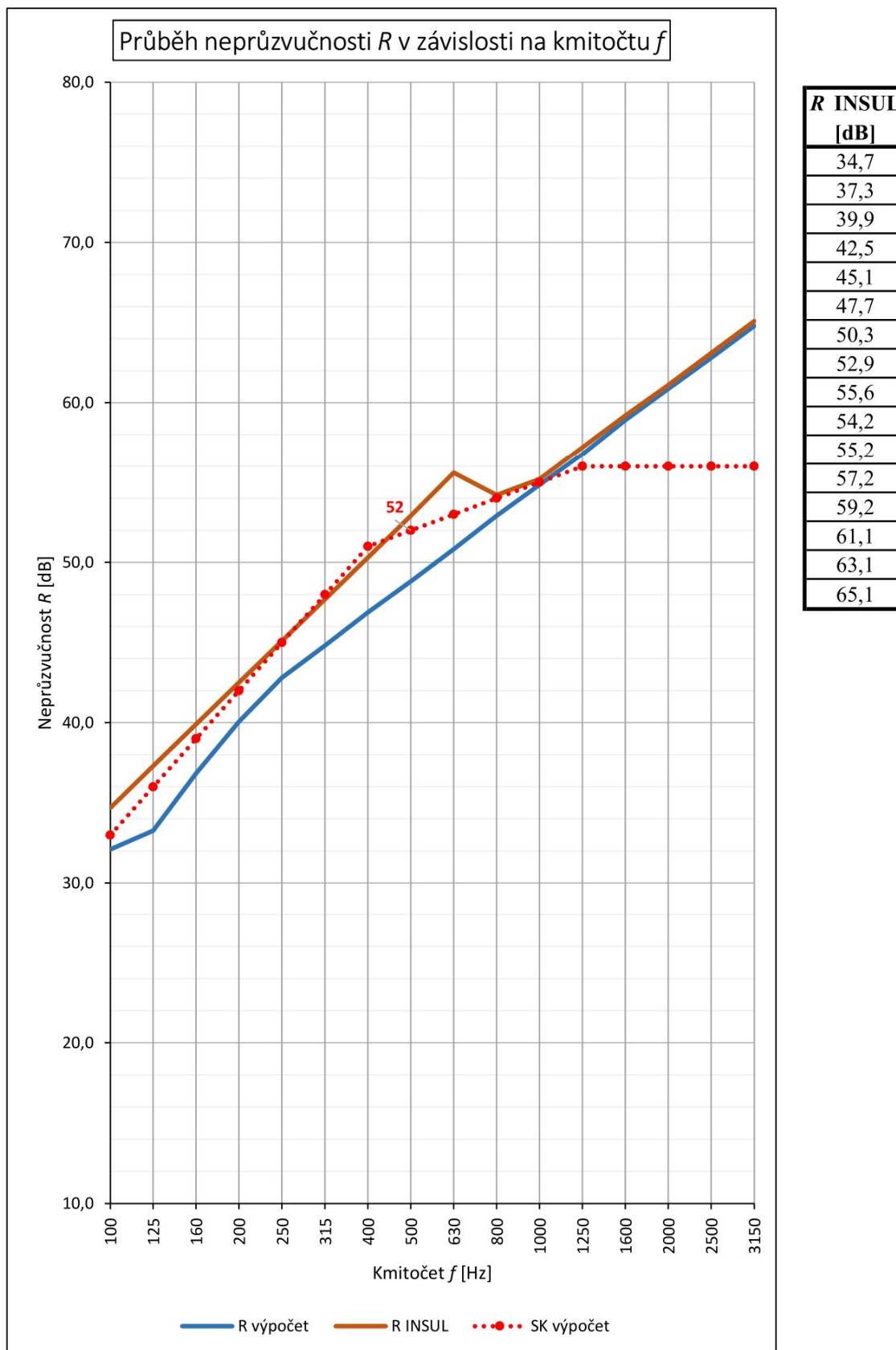
Příloha 3a

a) Výpočet technickou metodou

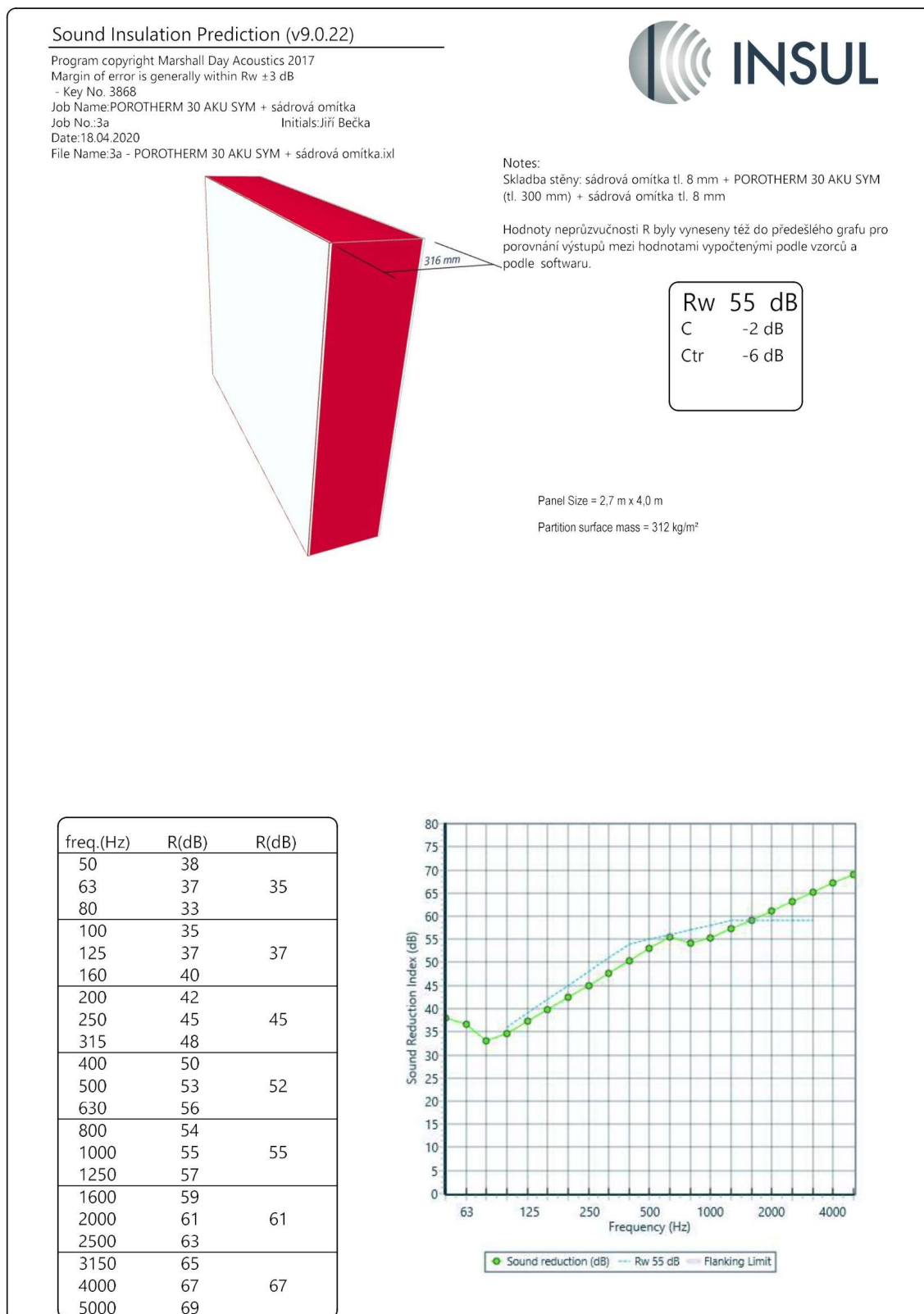
KONSTRUKCE Č. 3a

Stěna z POROTHERM 30 AKU SYM + oboustranná sádrová omítka tl. 8 mm

Cihla (247x300x238 mm) parametry:		Sádrová omítka parametry:																																																																																							
Tloušťka:	0,3 m	Tloušťka:	0,016 m																																																																																						
Hustota ρ :	980 kg/m ³	Hustota ρ :	1100 kg/m ³																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2108 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	1700 m.s ⁻¹																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,035	Ztrátový činitel η_{int} :	0,009																																																																																						
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	986,1 kg/m ³	Tloušťka h :	0,316 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2087 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	4 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,034	Výška (l_y):	2,7 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	59,3 Hz 59,3 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	96,6 Hz																																																																																						
Plošná hmotnost m':	311,6 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,099																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	30,7 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	32,1 dB																																																																																						
x :	1,912	Neprůzvučnost R_B v místě B:	32,1 dB																																																																																						
f_B :	115,4 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	42,1 dB																																																																																						
f_C :	230,9 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>32,1</td><td>33</td><td>0,9</td><td>0,9</td></tr> <tr><td>125</td><td>33,3</td><td>36</td><td>2,7</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>160</td><td>36,8</td><td>39</td><td>2,2</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>200</td><td>40,1</td><td>42</td><td>1,9</td><td>1,9</td></tr> <tr><td>250</td><td>42,8</td><td>45</td><td>2,2</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>315</td><td>44,8</td><td>48</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>400</td><td>46,9</td><td>51</td><td>4,1</td><td>4,1</td></tr> <tr><td>500</td><td>48,8</td><td>52</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>630</td><td>50,8</td><td>53</td><td>2,2</td><td>2,2</td></tr> <tr><td>800</td><td>52,9</td><td>54</td><td>1,1</td><td>1,1</td></tr> <tr><td>1000</td><td>54,8</td><td>55</td><td>0,2</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>1250</td><td>56,8</td><td>56</td><td>-0,8</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>58,9</td><td>56</td><td>-2,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>60,9</td><td>56</td><td>-4,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>62,8</td><td>56</td><td>-6,8</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>64,8</td><td>56</td><td>-8,8</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	32,1	33	0,9	0,9	125	33,3	36	2,7	2,7	160	36,8	39	2,2	2,2	200	40,1	42	1,9	1,9	250	42,8	45	2,2	2,2	315	44,8	48	3,2	3,2	400	46,9	51	4,1	4,1	500	48,8	52	3,2	3,2	630	50,8	53	2,2	2,2	800	52,9	54	1,1	1,1	1000	54,8	55	0,2	0,2	1250	56,8	56	-0,8	0,0	1600	58,9	56	-2,9	0,0	2000	60,9	56	-4,9	0,0	2500	62,8	56	-6,8	0,0	3150	64,8	56	-8,8	0,0
f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	32,1	33	0,9	0,9																																																																																					
125	33,3	36	2,7	2,7																																																																																					
160	36,8	39	2,2	2,2																																																																																					
200	40,1	42	1,9	1,9																																																																																					
250	42,8	45	2,2	2,2																																																																																					
315	44,8	48	3,2	3,2																																																																																					
400	46,9	51	4,1	4,1																																																																																					
500	48,8	52	3,2	3,2																																																																																					
630	50,8	53	2,2	2,2																																																																																					
800	52,9	54	1,1	1,1																																																																																					
1000	54,8	55	0,2	0,2																																																																																					
1250	56,8	56	-0,8	0,0																																																																																					
1600	58,9	56	-2,9	0,0																																																																																					
2000	60,9	56	-4,9	0,0																																																																																					
2500	62,8	56	-6,8	0,0																																																																																					
3150	64,8	56	-8,8	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:	23,9 dB 23,9 < 32,0 dB	Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB																																																																																							
Vážená neprůzvučnost R_w :	52 dB	$R'_w = R_w - k_1 =$	49 dB																																																																																						
Korekce k_1 :	3,0 dB	NEVYHOVÍ																																																																																							



b) Výpočet programem INSUL 9.0

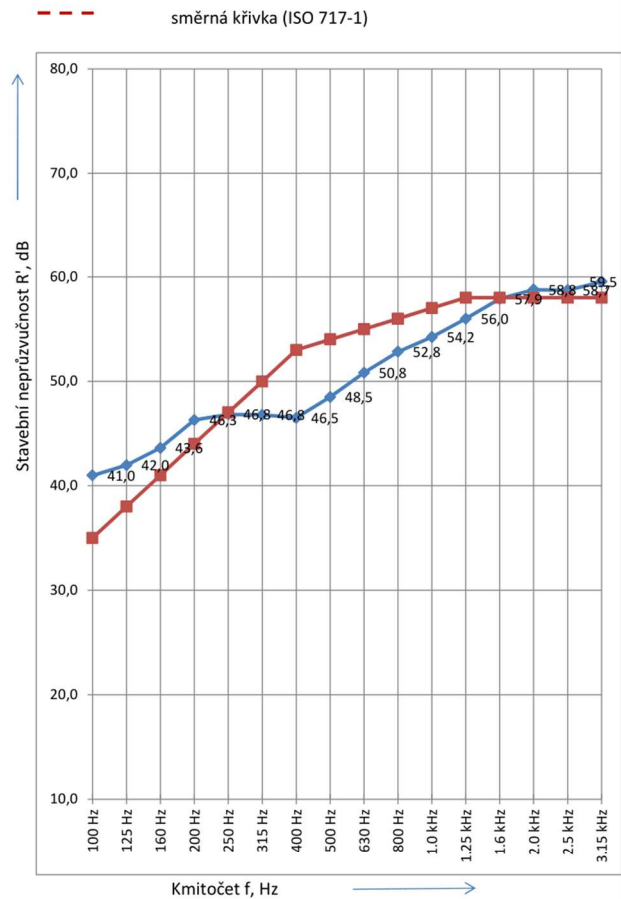


c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: ██████████
 Datum zkoušky: ██████████
 Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
 ██████████
 Stěna (POROTHERM 300 mm) ██████████
 Vysílací místnost: ██████████ Objem místnosti zdroje: m³
 Příjímací místnost: ██████████ Objem místnosti příjmu: 64,7 m³
 Plocha společné části dělicí konstrukce: 14,4 m²

Kmitočet f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	41,0
125	42,0
160	43,6
200	46,3
250	46,8
315	46,8
400	46,5
500	48,5
630	50,8
800	52,8
1000	54,2
1250	56,0
1600	57,9
2000	58,8
2500	58,7
3150	59,5



Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'w(C;C_{tr}) = 54 (-1;-3) \text{ dB}$ $C_{100-3150} = -1 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -3$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: ██████████ Název zkušebny: **KONTRAHLUK, s.r.o.**
 Datum: ██████████ Podpis: Ing. Jiří Bečka

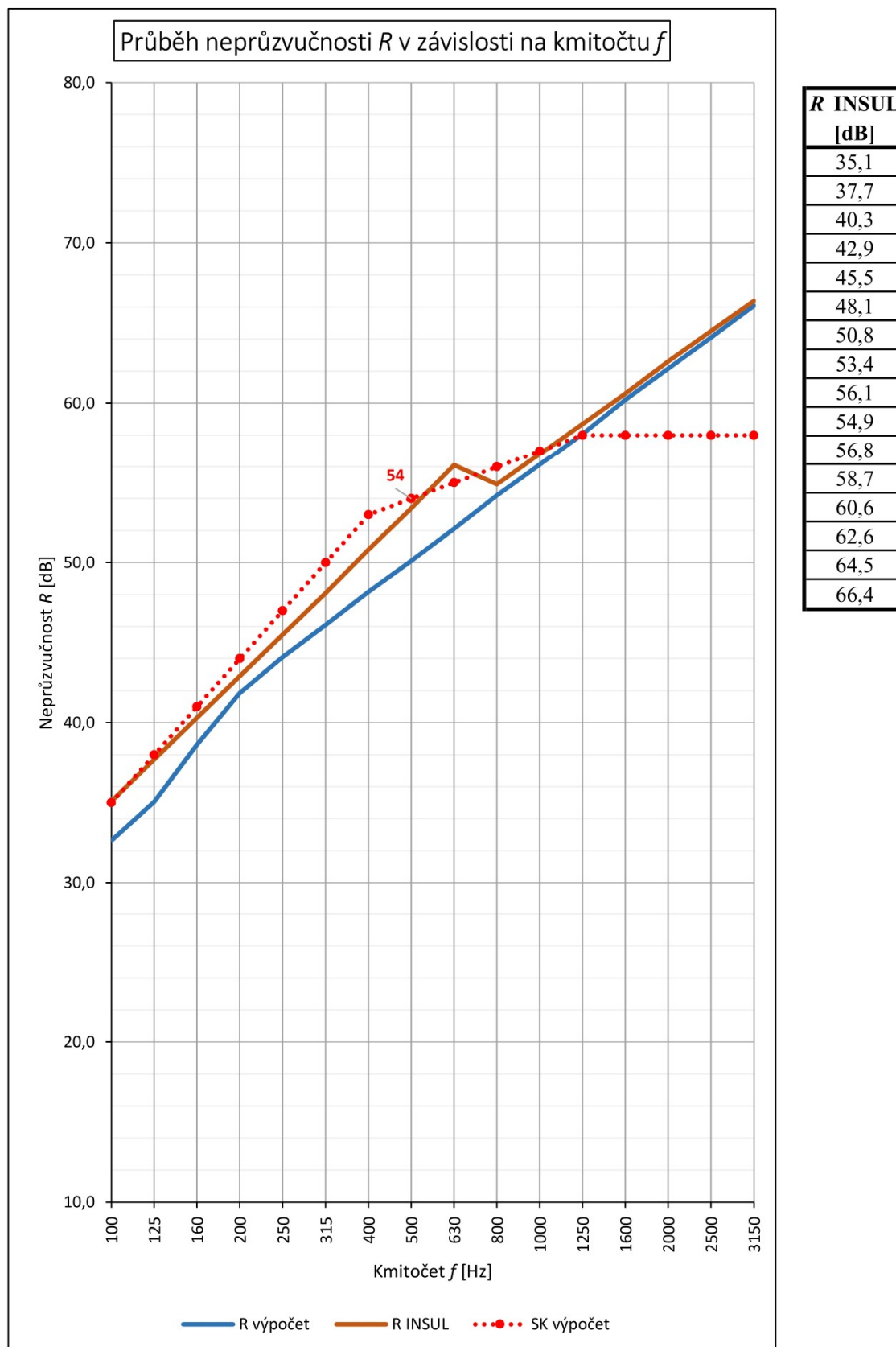
Příloha 3b

a) Výpočet technickou metodou

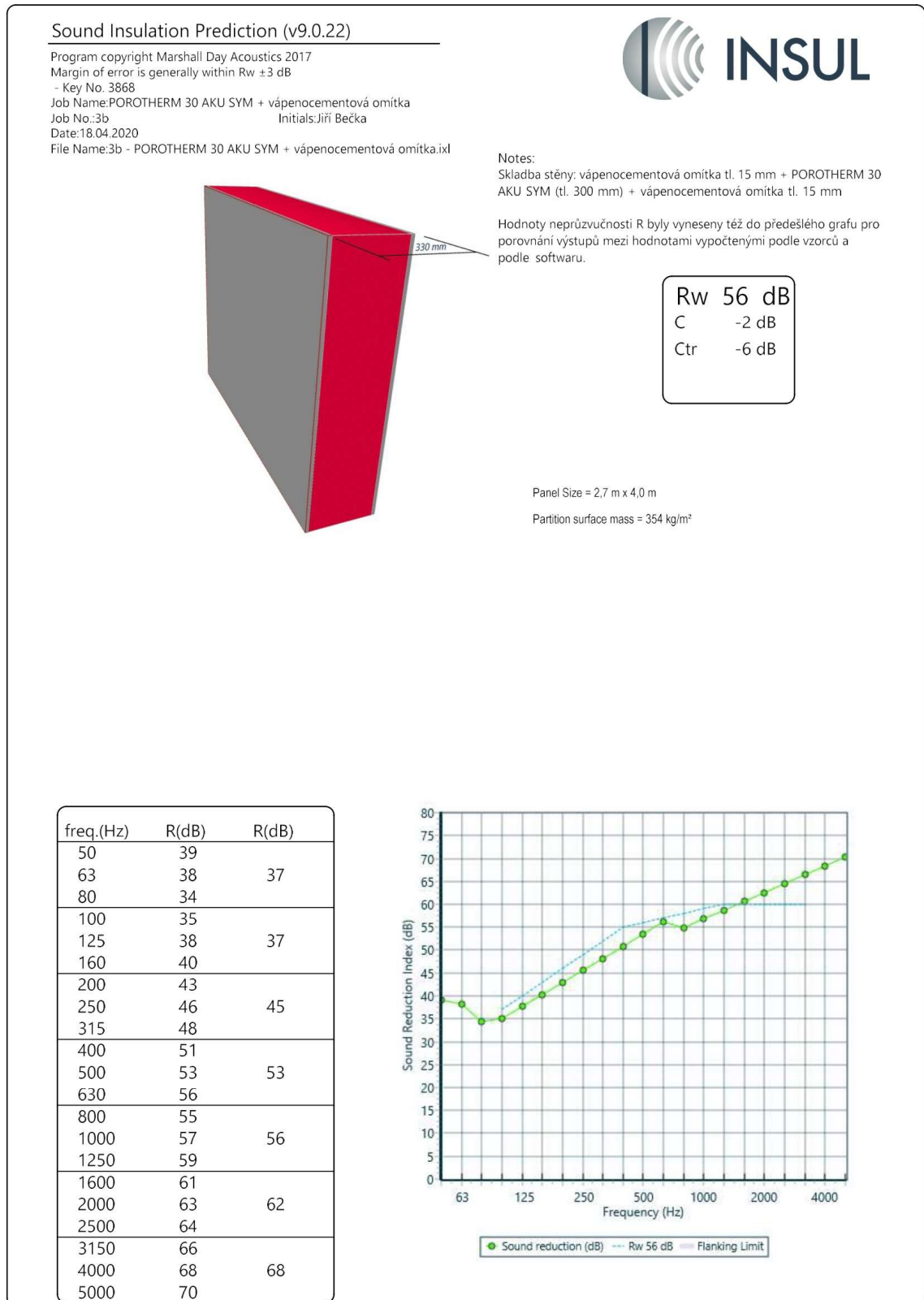
KONSTRUKCE Č. 3b

Stěna z POROTHERM 30 AKU SYM + oboustranná vpc. omítka tl. 15 mm

Cihla (247x300x238 mm) parametry:		Vápenocementová omítka parametry:																																																																																							
Tloušťka:	0,3 m	Tloušťka:	0,030 m																																																																																						
Hustota ρ :	980 kg/m ³	Hustota ρ :	2000 kg/m ³																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2108 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	2625 m.s ⁻¹																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,035	Ztrátový činitel η_{int} :	0,010																																																																																						
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	1073 kg/m ³	Tloušťka h :	0,330 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2155 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	4 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,033	Výška (l_y):	2,7 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	63,9 Hz 63,9 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	89,6 Hz																																																																																						
Plošná hmotnost m':	354 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,110																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	28,7 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	32,6 dB																																																																																						
x :	1,881	Neprůzvučnost R_B v místě B:	32,6 dB																																																																																						
f_B :	105,9 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	42,6 dB																																																																																						
f_C :	211,8 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>32,7</td><td>35</td><td>2,3</td><td>2,3</td></tr> <tr><td>125</td><td>35,1</td><td>38</td><td>2,9</td><td>2,9</td></tr> <tr><td>160</td><td>38,6</td><td>41</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>200</td><td>41,9</td><td>44</td><td>2,1</td><td>2,1</td></tr> <tr><td>250</td><td>44,1</td><td>47</td><td>2,9</td><td>2,9</td></tr> <tr><td>315</td><td>46,1</td><td>50</td><td>3,9</td><td>3,9</td></tr> <tr><td>400</td><td>48,2</td><td>53</td><td>4,8</td><td>4,8</td></tr> <tr><td>500</td><td>50,1</td><td>54</td><td>3,9</td><td>3,9</td></tr> <tr><td>630</td><td>52,1</td><td>55</td><td>2,9</td><td>2,9</td></tr> <tr><td>800</td><td>54,2</td><td>56</td><td>1,8</td><td>1,8</td></tr> <tr><td>1000</td><td>56,1</td><td>57</td><td>0,9</td><td>0,9</td></tr> <tr><td>1250</td><td>58,1</td><td>58</td><td>-0,1</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>60,2</td><td>58</td><td>-2,2</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>62,2</td><td>58</td><td>-4,2</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>64,1</td><td>58</td><td>-6,1</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>66,1</td><td>58</td><td>-8,1</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	32,7	35	2,3	2,3	125	35,1	38	2,9	2,9	160	38,6	41	2,4	2,4	200	41,9	44	2,1	2,1	250	44,1	47	2,9	2,9	315	46,1	50	3,9	3,9	400	48,2	53	4,8	4,8	500	50,1	54	3,9	3,9	630	52,1	55	2,9	2,9	800	54,2	56	1,8	1,8	1000	56,1	57	0,9	0,9	1250	58,1	58	-0,1	0,0	1600	60,2	58	-2,2	0,0	2000	62,2	58	-4,2	0,0	2500	64,1	58	-6,1	0,0	3150	66,1	58	-8,1	0,0
f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	32,7	35	2,3	2,3																																																																																					
125	35,1	38	2,9	2,9																																																																																					
160	38,6	41	2,4	2,4																																																																																					
200	41,9	44	2,1	2,1																																																																																					
250	44,1	47	2,9	2,9																																																																																					
315	46,1	50	3,9	3,9																																																																																					
400	48,2	53	4,8	4,8																																																																																					
500	50,1	54	3,9	3,9																																																																																					
630	52,1	55	2,9	2,9																																																																																					
800	54,2	56	1,8	1,8																																																																																					
1000	56,1	57	0,9	0,9																																																																																					
1250	58,1	58	-0,1	0,0																																																																																					
1600	60,2	58	-2,2	0,0																																																																																					
2000	62,2	58	-4,2	0,0																																																																																					
2500	64,1	58	-6,1	0,0																																																																																					
3150	66,1	58	-8,1	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:		30,9 dB	Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB																																																																																						
		30,9 < 32,0 dB																																																																																							
Vážená neprůzvučnost R_w:		54 dB	$R'_w = R_w - k_1 =$ 51 dB																																																																																						
Korekce k_1 :		3,0 dB	NEVYHOVÍ																																																																																						



b) Výpočet programem INSUL 9.0



c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: [redacted]
 Datum zkoušky: [redacted]

Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
 [redacted]

Vysílací místnost: [redacted] Objem místnosti zdroje: m³
 Příjímací místnost: [redacted] Objem místnosti příjmu: 48,4 m³

Plocha společné části dělicí konstrukce: 14,9 m²

Kmitočet f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	40,0
125	40,5
160	40,4
200	40,4
250	43,6
315	44,7
400	46,2
500	48,5
630	50,3
800	51,7
1.0 kHz	53,3
1.25 kHz	55,0
1.6 kHz	56,4
2.0 kHz	58,8
2.5 kHz	60,0
3.15 kHz	59,9

Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'_{w}(C;C_{tr}) = 53 \text{ (-1;-4) dB}$ $C_{100-3150} = -1 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -4$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: [redacted] Název zkušebny: **KONTRAHLUK, s.r.o.**
 Datum: [redacted] Podpis: Ing. Jiří Bečka

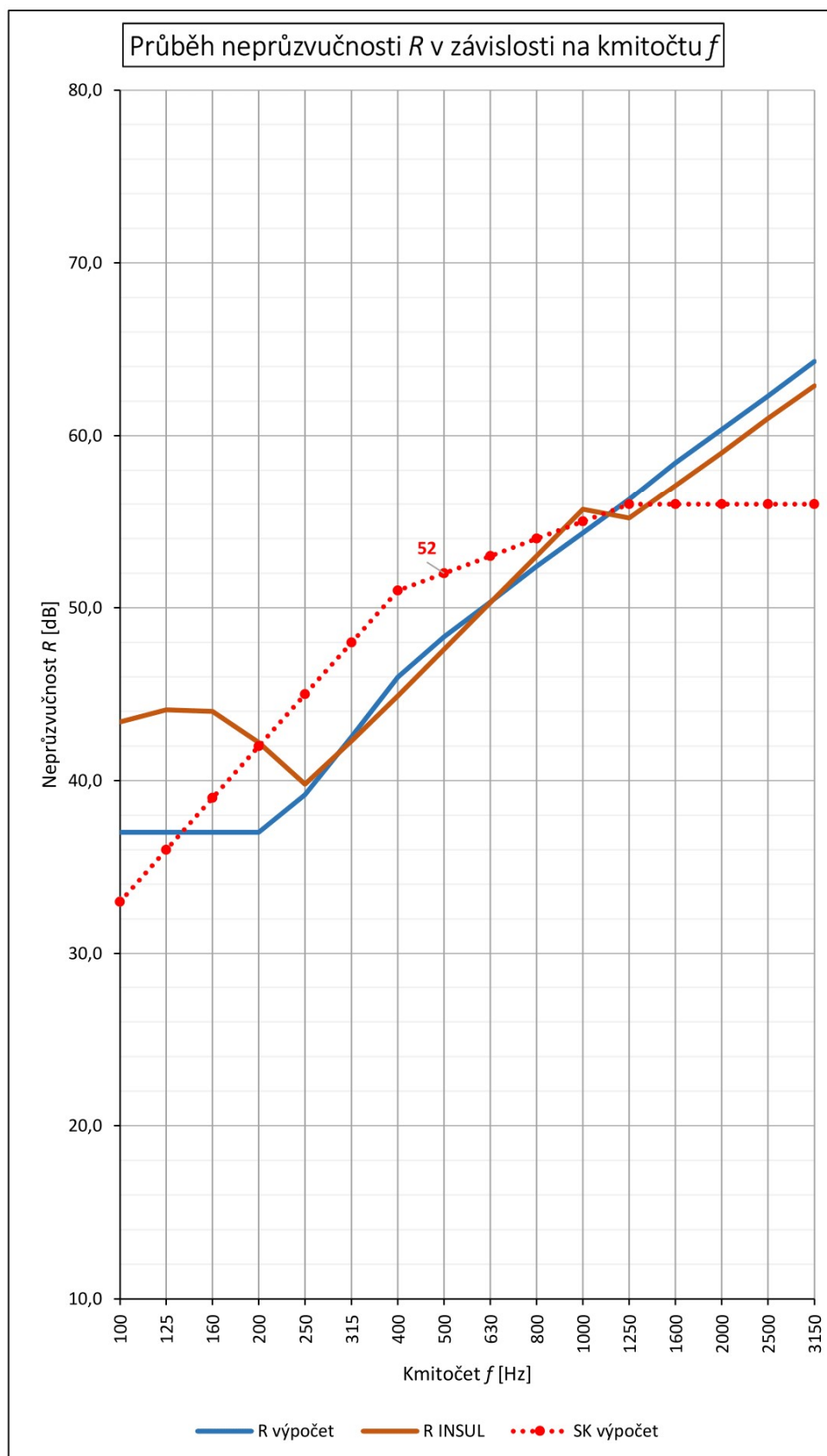
Příloha 4

a) Výpočet technickou metodou

KONSTRUKCE Č. 4

Stěna z cihly plné pálené + oboustranná vápenocementová omítka tl. 15 mm

Cihla (290x140x65 mm) parametry:		Vápenocementová omítka parametry:																																																																																							
Tloušťka:	0,14 m	Tloušťka:	0,030 m																																																																																						
Hustota ρ :	1900 kg/m ³	Hustota ρ :	2000 kg/m ³																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2108 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	2625 m.s ⁻¹																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,010	Ztrátový činitel η_{int} :	0,010																																																																																						
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	1918 kg/m ³	Tloušťka h :	0,170 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2199 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	4 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,010	Výška (l_y):	2,7 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	33,6 Hz 33,6 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	170,5 Hz																																																																																						
Plošná hmotnost m':	326 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,061																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	51,6 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	37,0 dB																																																																																						
x :	2,061	Neprůzvučnost R_B v místě B:	37,0 dB																																																																																						
f_B :	215,2 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	47,0 dB																																																																																						
f_C :	430,5 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>37,0</td><td>33</td><td>-4,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>125</td><td>37,0</td><td>36</td><td>-1,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>160</td><td>37,0</td><td>39</td><td>2,0</td><td>2,0</td></tr> <tr><td>200</td><td>37,0</td><td>42</td><td>5,0</td><td>5,0</td></tr> <tr><td>250</td><td>39,2</td><td>45</td><td>5,8</td><td>5,8</td></tr> <tr><td>315</td><td>42,5</td><td>48</td><td>5,5</td><td>5,5</td></tr> <tr><td>400</td><td>46,0</td><td>51</td><td>5,0</td><td>5,0</td></tr> <tr><td>500</td><td>48,3</td><td>52</td><td>3,7</td><td>3,7</td></tr> <tr><td>630</td><td>50,3</td><td>53</td><td>2,7</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>800</td><td>52,4</td><td>54</td><td>1,6</td><td>1,6</td></tr> <tr><td>1000</td><td>54,3</td><td>55</td><td>0,7</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>1250</td><td>56,3</td><td>56</td><td>-0,3</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>58,4</td><td>56</td><td>-2,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>60,4</td><td>56</td><td>-4,4</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>62,3</td><td>56</td><td>-6,3</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>64,3</td><td>56</td><td>-8,3</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	37,0	33	-4,0	0,0	125	37,0	36	-1,0	0,0	160	37,0	39	2,0	2,0	200	37,0	42	5,0	5,0	250	39,2	45	5,8	5,8	315	42,5	48	5,5	5,5	400	46,0	51	5,0	5,0	500	48,3	52	3,7	3,7	630	50,3	53	2,7	2,7	800	52,4	54	1,6	1,6	1000	54,3	55	0,7	0,7	1250	56,3	56	-0,3	0,0	1600	58,4	56	-2,4	0,0	2000	60,4	56	-4,4	0,0	2500	62,3	56	-6,3	0,0	3150	64,3	56	-8,3	0,0
f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	37,0	33	-4,0	0,0																																																																																					
125	37,0	36	-1,0	0,0																																																																																					
160	37,0	39	2,0	2,0																																																																																					
200	37,0	42	5,0	5,0																																																																																					
250	39,2	45	5,8	5,8																																																																																					
315	42,5	48	5,5	5,5																																																																																					
400	46,0	51	5,0	5,0																																																																																					
500	48,3	52	3,7	3,7																																																																																					
630	50,3	53	2,7	2,7																																																																																					
800	52,4	54	1,6	1,6																																																																																					
1000	54,3	55	0,7	0,7																																																																																					
1250	56,3	56	-0,3	0,0																																																																																					
1600	58,4	56	-2,4	0,0																																																																																					
2000	60,4	56	-4,4	0,0																																																																																					
2500	62,3	56	-6,3	0,0																																																																																					
3150	64,3	56	-8,3	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:	31,9 dB 31,9 < 32,0 dB	Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB																																																																																							
Vážená neprůzvučnost R_w :	52 dB	$R'_w = R_w - k_1 =$	49 dB																																																																																						
Korekce k_1 :	3,0 dB	NEVYHOVÍ																																																																																							

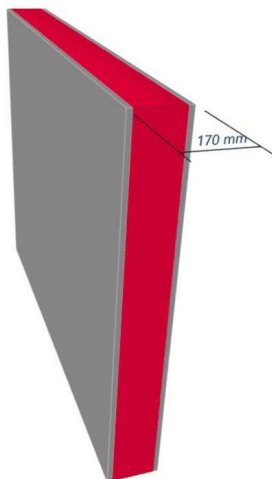


R INSUL [dB]
43,4
44,1
44,0
42,2
39,8
42,3
44,9
47,6
50,3
53,0
55,7
55,2
57,1
59,0
61,0
62,9

b) Výpočet programem INSUL 9.0

Sound Insulation Prediction (v9.0.22)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 - Key No. 3868
 Job Name: Cihla plná pálená + vápenocementová omítka
 Job No.: 4 Initials: Jiří Bečka
 Date: 18.04.2020
 File Name: 4 - Cihla plná pálená + vápenocementová omítka.ixl



Notes:
 Skladba stěny: vápenocementová omítka tl. 15 mm + CPP tl. 140 mm
 + vápenocementová omítka tl. 15 mm

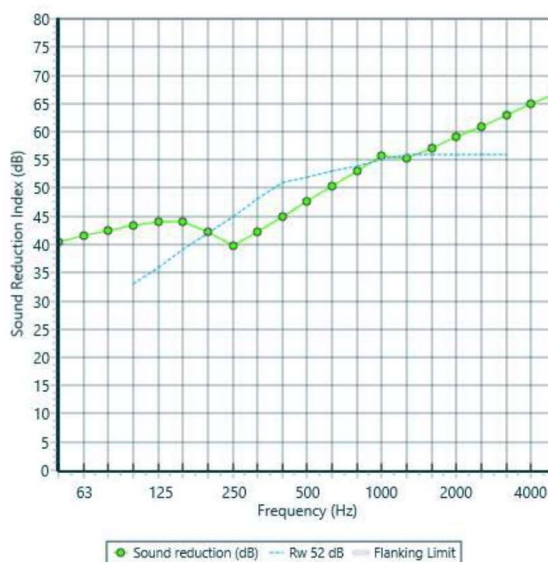
Hodnoty neprůzvučnosti R byly vyneseny též do předešlého grafu pro porovnání výstupů mezi hodnotami vypočtenými podle vzorců a podle softwaru.

R_w 52 dB
 C -1 dB
 C_{tr} -3 dB

Panel Size = 2,7 m x 4,0 m

Partition surface mass = 326 kg/m²

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	40	
63	41	41
80	42	
100	43	
125	44	44
160	44	
200	42	
250	40	41
315	42	
400	45	
500	48	47
630	50	
800	53	
1000	56	54
1250	55	
1600	57	
2000	59	59
2500	61	
3150	63	
4000	65	65
5000	67	



● Sound reduction (dB) --- Rw 52 dB --- Flanking Limit

Příloha 5

a) Výpočet technickou metodou

KONSTRUKCE Č. 5

Stěna z cihly plné pálené + oboustranná vpc omítka + SDK předstěna

1) Výpočet neprůzvučnosti dvojitého sádrokartonu																																																																																								
SDK předstěna 2 x 12,5 mm parametry:																																																																																								
Tloušťka:	0,025 m	Rozměry:																																																																																						
Hustota ρ :	820 kg/m ³	Tloušťka h :	0,025 m																																																																																					
Rychlost podélných vln c_L :	1775 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	5,7 m																																																																																					
Ztrátový činitel η_{int} :	0,021	Výška (l_y):	3,1 m																																																																																					
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	2,7 Hz $2,7 < 100$ Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	2873 Hz																																																																																					
Plošná hmotnost m':	20,5 kg/m ³	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,022																																																																																					
Zlomové kmitočty:																																																																																								
f_A :	783,7 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	36,6 dB																																																																																					
x :	2,425	Neprůzvučnost R_B v místě B:	36,6 dB																																																																																					
f_B :	4209 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	46,6 dB																																																																																					
f_C :	8419 Hz																																																																																							
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R_2 [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>18,7</td><td>16</td><td>-2,7</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>125</td><td>20,7</td><td>19</td><td>-1,7</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>160</td><td>22,8</td><td>22</td><td>-0,8</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>200</td><td>24,8</td><td>25</td><td>0,2</td><td>0,2</td></tr> <tr><td>250</td><td>26,7</td><td>28</td><td>1,3</td><td>1,3</td></tr> <tr><td>315</td><td>28,7</td><td>31</td><td>2,3</td><td>2,3</td></tr> <tr><td>400</td><td>30,8</td><td>34</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>500</td><td>32,7</td><td>35</td><td>2,3</td><td>2,3</td></tr> <tr><td>630</td><td>34,7</td><td>36</td><td>1,3</td><td>1,3</td></tr> <tr><td>800</td><td>36,6</td><td>37</td><td>0,4</td><td>0,4</td></tr> <tr><td>1000</td><td>36,6</td><td>38</td><td>1,4</td><td>1,4</td></tr> <tr><td>1250</td><td>36,6</td><td>39</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>1600</td><td>36,6</td><td>39</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>2000</td><td>36,6</td><td>39</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>2500</td><td>36,6</td><td>39</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>3150</td><td>36,6</td><td>39</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> </tbody> </table>				f [Hz]	R_2 [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	18,7	16	-2,7	0,0	125	20,7	19	-1,7	0,0	160	22,8	22	-0,8	0,0	200	24,8	25	0,2	0,2	250	26,7	28	1,3	1,3	315	28,7	31	2,3	2,3	400	30,8	34	3,2	3,2	500	32,7	35	2,3	2,3	630	34,7	36	1,3	1,3	800	36,6	37	0,4	0,4	1000	36,6	38	1,4	1,4	1250	36,6	39	2,4	2,4	1600	36,6	39	2,4	2,4	2000	36,6	39	2,4	2,4	2500	36,6	39	2,4	2,4	3150	36,6	39	2,4	2,4
f [Hz]	R_2 [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																				
100	18,7	16	-2,7	0,0																																																																																				
125	20,7	19	-1,7	0,0																																																																																				
160	22,8	22	-0,8	0,0																																																																																				
200	24,8	25	0,2	0,2																																																																																				
250	26,7	28	1,3	1,3																																																																																				
315	28,7	31	2,3	2,3																																																																																				
400	30,8	34	3,2	3,2																																																																																				
500	32,7	35	2,3	2,3																																																																																				
630	34,7	36	1,3	1,3																																																																																				
800	36,6	37	0,4	0,4																																																																																				
1000	36,6	38	1,4	1,4																																																																																				
1250	36,6	39	2,4	2,4																																																																																				
1600	36,6	39	2,4	2,4																																																																																				
2000	36,6	39	2,4	2,4																																																																																				
2500	36,6	39	2,4	2,4																																																																																				
3150	36,6	39	2,4	2,4																																																																																				
Součet negativních odchylek:	24,3 dB $24,3 < 32,0$ dB	pozn.: Hodnoty R_1 u cihly plné pálené v kmitočtovém rozsahu 100–3150 Hz jsou k nalezení v tabulce v "Konstrukce č. 4"																																																																																						
Vážená neprůzvučnost $R_{w,2}$:	35 dB																																																																																							

2) Výpočet neprůzvučnosti konstrukce č. 5 (původní stěna z CPP + sádrokartonová předstěna)

Skladba konstrukce: CPP tl. 140 mm (+oboustranná vpc omítka), vzduch. mezera tl. 85 mm (+minerální vata Isover AKU tl. 50 mm), SDK tl. 2 x 12,5 mm

Stěna z CPP (+ vpc omítka) parametry:		Sádrokarton parametry:			
Tloušťka h_1 :	0,17 m	Tloušťka h_2 :	0,025 m		
Hustota ρ_1 :	1918 kg/m ³	Hustota ρ_2 :	820 kg/m ³		
Rychlost podélných vln $c_{L,1}$:	2199 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln $c_{L,2}$:	1775 m.s ⁻¹		
Ztrátový činitel $\eta_{int,1}$:	0,010	Ztrátový činitel $\eta_{int,2}$:	0,021		
Kritický kmitočet $f_{cr,1}$:	170,5 Hz	Kritický kmitočet $f_{cr,2}$:	2873 Hz		
Plošná hmotnost m'_{1} :	326 kg/m ²	Plošná hmotnost m'_{2} :	20,5 kg/m ²		
Celkový ztrátový činitel $\eta_{tot,1}$:	0,061	Celkový ztrátový činitel $\eta_{tot,2}$:	0,022		
Délka stěny (l_x):		5,7 m			
Výška stěny (l_y):		3,1 m			
Zlomové plošné hmotnosti:					
$m'_{c,1}$:	16,8 kg/m ²	$m'_{c,2}$:	8,0 kg/m ²		
$m'_{s,1}$:	140,3 kg/m ²	$m'_{s,2}$:	86,28 kg/m ²		
Vzduchová mezera (d = 0,085 m):					
Šířka vzduchové mezery $d > 0,07$ m $\rightarrow p = 1$ (parametr šířky vzduchové mezery)					
Parametr tuhosti dílčích jednoduchých konstrukcí q : 0,159					
Činitel pohltivosti α_{500} : 0,92					
Parametr výplně ve vzduchové mezeře r :			2,8 dB		
Hodnota D : 7,9 dB					
Rezonanční kmitočet:					
f_r :	46,9 Hz	$4f_r$:	187,4 Hz		
D_R ... hodnoty útlumu	f [Hz]	D_R [dB]	R_m [dB]	R [dB]	
	100	1,6	38,0	39,6	
	125	3,8	38,2	42,1	
	R_m ... neprůzvučnost dvouprvkové konstrukce bez vlivu útlumu ve vzd. mezeře	160	6,3	38,6	44,9
		200	7,9	38,9	46,8
		250	7,9	41,0	48,9
		315	7,9	44,1	52,0
		400	7,9	47,4	55,2
	$R = R_m + D_R$	500	7,9	49,6	57,5
		630	7,9	51,7	59,5
		800	7,9	53,7	61,6
		1000	7,9	55,4	63,3
		1250	7,9	57,1	65,0
		1600	7,9	59,1	67,0
		2000	7,9	60,9	68,8
2500		7,9	62,7	70,6	
3150		7,9	64,7	72,5	

f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.
100	39,6	41	1,4	1,4
125	42,1	44	1,9	1,9
160	44,9	47	2,1	2,1
200	46,8	50	3,2	3,2
250	48,9	53	4,1	4,1
315	52,0	56	4,0	4,0
400	55,2	59	3,8	3,8
500	57,5	60	2,5	2,5
630	59,5	61	1,5	1,5
800	61,6	62	0,4	0,4
1000	63,3	63	-0,3	0,0
1250	65,0	64	-1,0	0,0
1600	67,0	64	-3,0	0,0
2000	68,8	64	-4,8	0,0
2500	70,6	64	-6,6	0,0
3150	72,5	64	-8,5	0,0

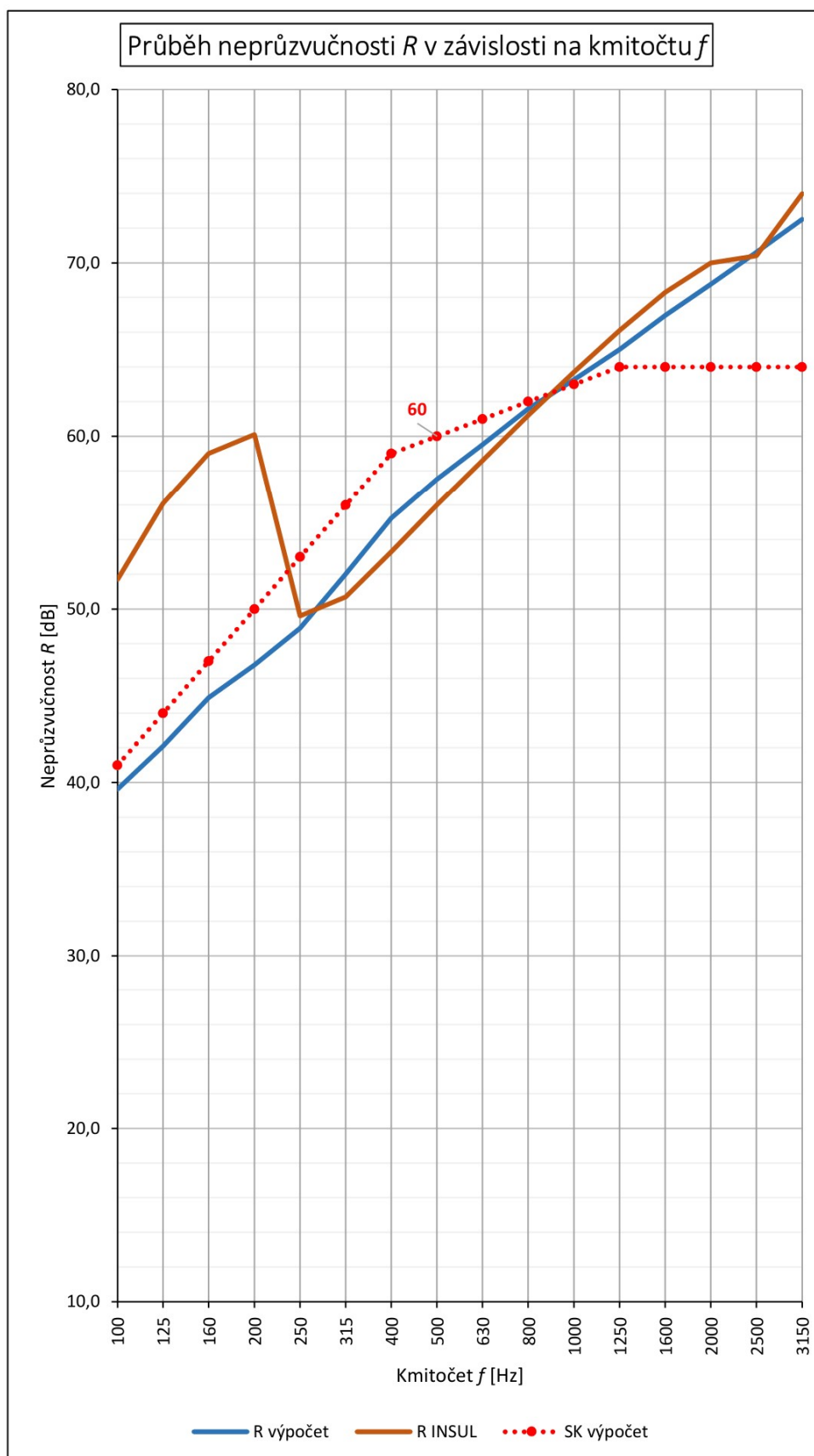
Součet negativních odchylek: 24,8 dB
 24,8 < 32,0 dB

Požadavek na mezibytovou stěnu $R'_w \geq 53$ dB

Vážená neprůzvučnost R_w : **60 dB**
 Korekce k_1 : 3,0 dB

$$R'_w = R_w - k_1 = 57 \text{ dB}$$

VYHOVÍ

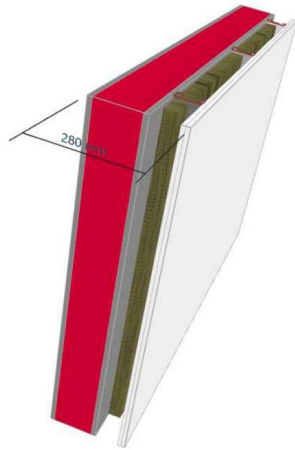


R INSUL [dB]
51,7
56,1
59,0
60,1
49,6
50,7
53,3
56,0
58,6
61,2
63,7
66,1
68,3
70,0
70,4
74,0

b) Výpočet programem INSUL 9.0

Sound Insulation Prediction (v9.0.22)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 - Key No. 3868
 Job Name: CPP + předstěna Initials: Jiří Bečka
 Job No.: 5
 Date: 22.04.2020
 File Name: 5 - CPP + předstěna.ixl



Notes:
 Skladba stěny: vápenocementová omítka tl. 15 mm + CPP tl. 140 mm + vápenocementová omítka tl. 15 mm + vzduchová mezera tl. 85 mm (minerální vlna Isover AKU tl. 50 mm) + SDK tl. 2 x 12,5 mm

Hodnoty neprůzvučnosti R byly vyneseny též do předešlého grafu pro porovnání výstupů mezi hodnotami vypočtenými podle vzorců a podle softwaru.

R_w 61 dB
 C 0 dB
 C_{tr} -3 dB

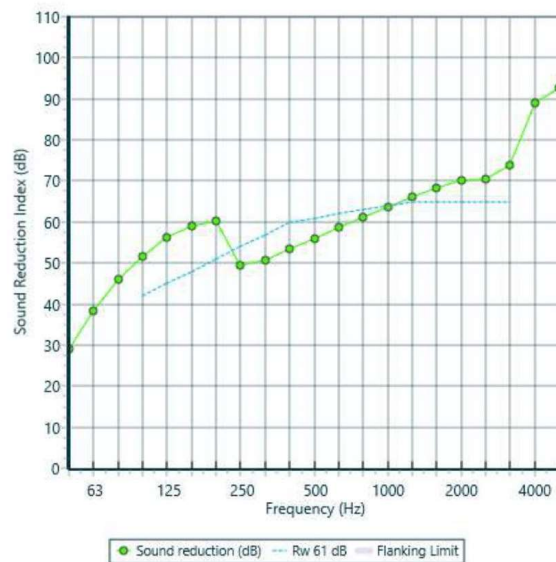
Mass-air-mass resonant frequency = 40 Hz

Panel Size = 3,1 m x 5,7 m

Partition surface mass = 349 kg/m²

Frame: Steel Stud (0.75mm) (85 mm x 38 mm), Stud spacing 625 mm ; Cavity Width 85 mm

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	29	
63	38	33
80	46	
100	52	
125	56	55
160	59	
200	60	52
250	50	
315	51	
400	53	
500	56	55
630	59	
800	61	
1000	64	63
1250	66	
1600	68	
2000	70	69
2500	70	
3150	74	
4000	89	79
5000	93	



c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1

Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: [redacted]

Datum zkoušky: [redacted]

Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:

[redacted]
[redacted]

Vysílací místnost: [redacted]

Přijímací místnost: [redacted]

Objem místnosti zdroje:

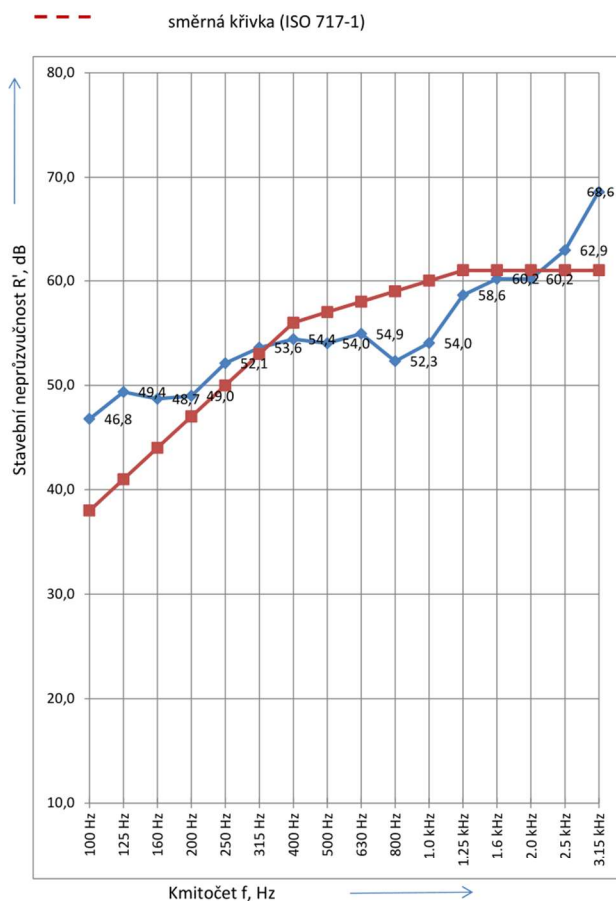
m³

Objem místnosti příjmu:

210,9 m³

Plocha společné části dělicí konstrukce: 17,7 m²

Kmitočet f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	46,8
125	49,4
160	48,7
200	49,0
250	52,1
315	53,6
400	54,4
500	54,0
630	54,9
800	52,3
1000	54,0
1250	58,6
1600	60,2
2000	60,2
2500	62,9
3150	68,6



Vyhodnocení podle ISO 717-1:

$R'_{w}(C;C_{tr}) = 57 \text{ (-1;-3) dB}$

$C_{100-3150} = -1 \text{ dB}$

$C_{tr,100-3150} = -3$

Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: [redacted]

Název zkušebny: KONTRAHLUK, s.r.o.

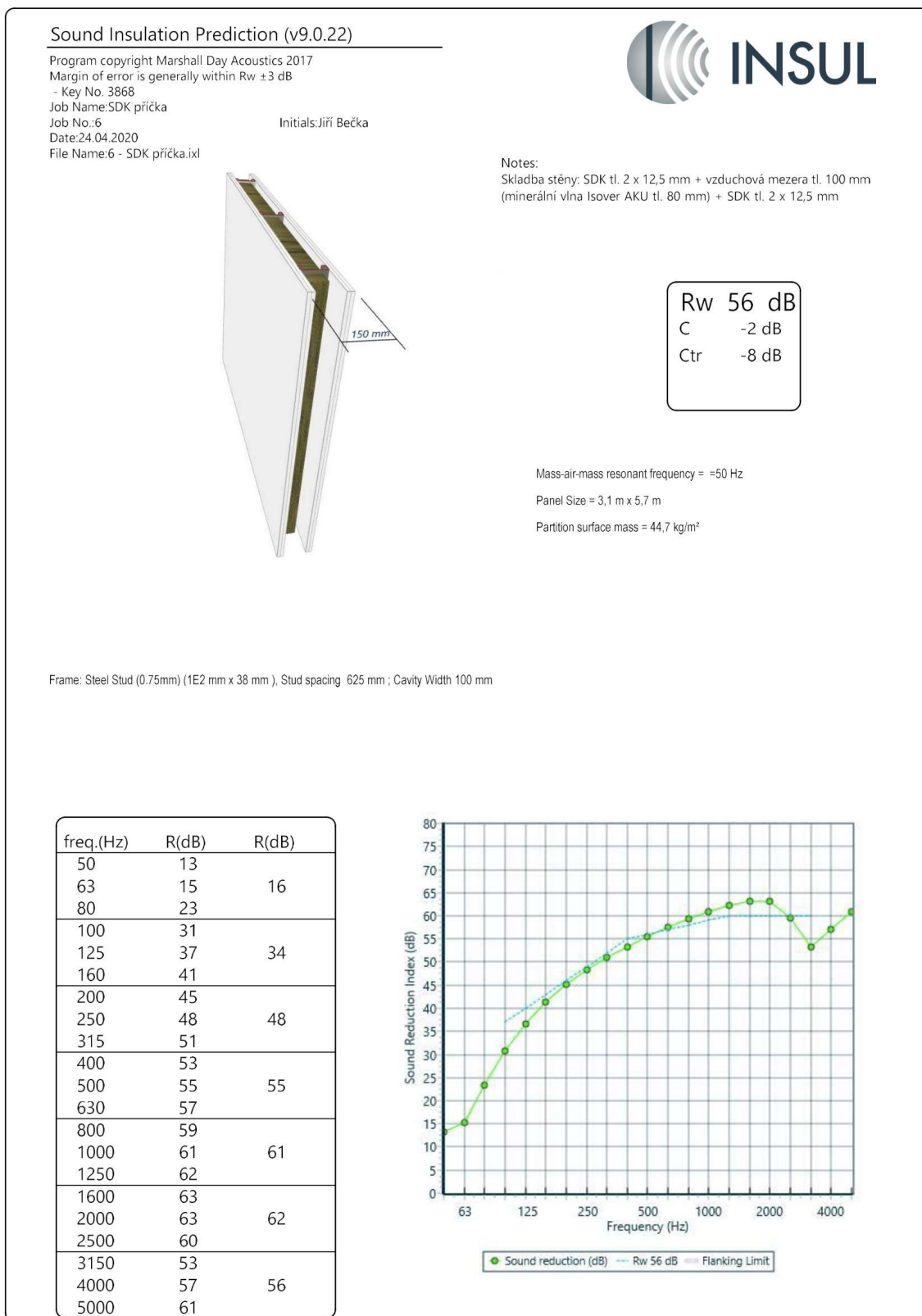
Datum: [redacted]

Podpis

Ing. Jiří Bečka

Příloha 6

b) Výpočet programem INSUL 9.0



c) Výsledek protokolu z provedeního měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: XXXXXXXXXX
 Datum zkoušky: XXXXXX

Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX
 Sádrokartonová dvojitá příčka v plném provedení XXXXXXXXXX

Vysílací místnost: XXXXXXXXXX Objem místnosti zdroje: m^3
 Příjímací místnost: XXXXXXXXXXXXXXXXXXXX Objem místnosti příjmu: $84,6 m^3$

Plocha společné části dělicí konstrukce: $18,0 m^2$

Kmitočet f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	24,6
125	31,4
160	35,1
200	40,1
250	40,8
315	45,5
400	48,4
500	51,7
630	51,0
800	51,9
1000	53,2
1250	54,0
1600	53,6
2000	51,6
2500	49,5
3150	50,2

Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'w(C;C_{tr}) = 50 (-2;-8) \text{ dB}$ $C_{100-3150} = -2 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -8$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: XXXXXXXXXX Název zkušebny: **KONTRALUK, s.r.o.**
 Datum: XXXXXX Podpis: **Ing. Jiří Bečka**

Příloha 7

a) Výpočet technickou metodou

KONSTRUKCE Č. 7

ŽB strop + těžká plovoucí podlaha (s vrchní anhydritovou vrstvou)

1) Výpočet neprůzvučnosti ŽB stropní nosné konstrukce (včetně jednostranné sádrové stěrky)																																																																																									
ŽB parametry:		Sádrová stěrka parametry:																																																																																							
Tloušťka:	0,2 m	Tloušťka:	0,005 m																																																																																						
Hustota ρ :	2500 kg/m ³	Hustota ρ :	1200 kg/m ³																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	3286 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln c_L :	1700 m.s ⁻¹																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,005	Ztrátový činitel η_{int} :	0,009																																																																																						
Vážený průměr parametrů:		Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	2468 kg/m ³	Tloušťka h :	0,205 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	3247 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	7 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,005	Šířka (l_y):	5 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	18,1 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	95,7 Hz																																																																																						
	18,1 < 100 Hz																																																																																								
Plošná hmotnost m':	506 kg/m ²	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,112																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	30,8 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	36,3 dB																																																																																						
x :	1,876	Neprůzvučnost R_B v místě B:	36,3 dB																																																																																						
f_B :	112,9 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	46,3 dB																																																																																						
f_C :	225,8 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R_1 [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>36,3</td><td>38</td><td>1,7</td><td>1,7</td></tr> <tr><td>125</td><td>37,8</td><td>41</td><td>3,2</td><td>3,2</td></tr> <tr><td>160</td><td>41,4</td><td>44</td><td>2,6</td><td>2,6</td></tr> <tr><td>200</td><td>44,6</td><td>47</td><td>2,4</td><td>2,4</td></tr> <tr><td>250</td><td>47,2</td><td>50</td><td>2,8</td><td>2,8</td></tr> <tr><td>315</td><td>49,2</td><td>53</td><td>3,8</td><td>3,8</td></tr> <tr><td>400</td><td>51,3</td><td>56</td><td>4,7</td><td>4,7</td></tr> <tr><td>500</td><td>53,2</td><td>57</td><td>3,8</td><td>3,8</td></tr> <tr><td>630</td><td>55,3</td><td>58</td><td>2,7</td><td>2,7</td></tr> <tr><td>800</td><td>57,3</td><td>59</td><td>1,7</td><td>1,7</td></tr> <tr><td>1000</td><td>59,3</td><td>60</td><td>0,7</td><td>0,7</td></tr> <tr><td>1250</td><td>61,2</td><td>60</td><td>-1,2</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>1600</td><td>63,3</td><td>60</td><td>-3,3</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>65,3</td><td>60</td><td>-5,3</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>67,2</td><td>60</td><td>-7,2</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>69,2</td><td>60</td><td>-9,2</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R_1 [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	36,3	38	1,7	1,7	125	37,8	41	3,2	3,2	160	41,4	44	2,6	2,6	200	44,6	47	2,4	2,4	250	47,2	50	2,8	2,8	315	49,2	53	3,8	3,8	400	51,3	56	4,7	4,7	500	53,2	57	3,8	3,8	630	55,3	58	2,7	2,7	800	57,3	59	1,7	1,7	1000	59,3	60	0,7	0,7	1250	61,2	60	-1,2	0,0	1600	63,3	60	-3,3	0,0	2000	65,3	60	-5,3	0,0	2500	67,2	60	-7,2	0,0	3150	69,2	60	-9,2	0,0
f [Hz]	R_1 [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	36,3	38	1,7	1,7																																																																																					
125	37,8	41	3,2	3,2																																																																																					
160	41,4	44	2,6	2,6																																																																																					
200	44,6	47	2,4	2,4																																																																																					
250	47,2	50	2,8	2,8																																																																																					
315	49,2	53	3,8	3,8																																																																																					
400	51,3	56	4,7	4,7																																																																																					
500	53,2	57	3,8	3,8																																																																																					
630	55,3	58	2,7	2,7																																																																																					
800	57,3	59	1,7	1,7																																																																																					
1000	59,3	60	0,7	0,7																																																																																					
1250	61,2	60	-1,2	0,0																																																																																					
1600	63,3	60	-3,3	0,0																																																																																					
2000	65,3	60	-5,3	0,0																																																																																					
2500	67,2	60	-7,2	0,0																																																																																					
3150	69,2	60	-9,2	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:		30,0 dB																																																																																							
		30,0 < 32,0 dB																																																																																							
Vážená neprůzvučnost $R_{w,1}$:		57 dB																																																																																							

2) Výpočet neprůzvučnosti anhydritové vrstvy tl. 45 mm																																																																																									
Anhydrit parametry:																																																																																									
Tloušťka:	0,045 m	Rozměry:																																																																																							
Hustota ρ :	2100 kg/m ³	Tloušťka h :	0,045 m																																																																																						
Rychlost podélných vln c_L :	2980 m.s ⁻¹	Délka (l_x):	7 m																																																																																						
Ztrátový činitel η_{int} :	0,006	Výška (l_y):	5 m																																																																																						
Zákl. rezonanční kmitočet f_{11} :	3,6 Hz 3,6 < 100 Hz	Kritický kmitočet f_{cr} :	475 Hz																																																																																						
Plošná hmotnost m' :	94,5 kg/m ³	Celkový ztrátový činitel η_{tot} :	0,015																																																																																						
Zlomové kmitočty:																																																																																									
f_A :	124,9 Hz	Neprůzvučnost R_A v místě A:	33,9 dB																																																																																						
x :	2,573	Neprůzvučnost R_B v místě B:	33,9 dB																																																																																						
f_B :	743 Hz	Neprůzvučnost R_C v místě C:	43,9 dB																																																																																						
f_C :	1486 Hz																																																																																								
<table border="1"> <thead> <tr> <th>f [Hz]</th> <th>R_z [dB]</th> <th>Směrná křivka SK [dB]</th> <th>odch.</th> <th>neg. odch.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>100</td><td>32,0</td><td>20</td><td>-12,0</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>125</td><td>33,9</td><td>23</td><td>-10,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>160</td><td>33,9</td><td>26</td><td>-7,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>200</td><td>33,9</td><td>29</td><td>-4,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>250</td><td>33,9</td><td>32</td><td>-1,9</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>315</td><td>33,9</td><td>35</td><td>1,1</td><td>1,1</td></tr> <tr><td>400</td><td>33,9</td><td>38</td><td>4,1</td><td>4,1</td></tr> <tr><td>500</td><td>33,9</td><td>39</td><td>5,1</td><td>5,1</td></tr> <tr><td>630</td><td>33,9</td><td>40</td><td>6,1</td><td>6,1</td></tr> <tr><td>800</td><td>35,0</td><td>41</td><td>6,0</td><td>6,0</td></tr> <tr><td>1000</td><td>38,2</td><td>42</td><td>3,8</td><td>3,8</td></tr> <tr><td>1250</td><td>41,5</td><td>43</td><td>1,5</td><td>1,5</td></tr> <tr><td>1600</td><td>44,6</td><td>43</td><td>-1,6</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2000</td><td>46,5</td><td>43</td><td>-3,5</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>2500</td><td>48,5</td><td>43</td><td>-5,5</td><td>0,0</td></tr> <tr><td>3150</td><td>50,5</td><td>43</td><td>-7,5</td><td>0,0</td></tr> </tbody> </table>					f [Hz]	R_z [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.	100	32,0	20	-12,0	0,0	125	33,9	23	-10,9	0,0	160	33,9	26	-7,9	0,0	200	33,9	29	-4,9	0,0	250	33,9	32	-1,9	0,0	315	33,9	35	1,1	1,1	400	33,9	38	4,1	4,1	500	33,9	39	5,1	5,1	630	33,9	40	6,1	6,1	800	35,0	41	6,0	6,0	1000	38,2	42	3,8	3,8	1250	41,5	43	1,5	1,5	1600	44,6	43	-1,6	0,0	2000	46,5	43	-3,5	0,0	2500	48,5	43	-5,5	0,0	3150	50,5	43	-7,5	0,0
f [Hz]	R_z [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.																																																																																					
100	32,0	20	-12,0	0,0																																																																																					
125	33,9	23	-10,9	0,0																																																																																					
160	33,9	26	-7,9	0,0																																																																																					
200	33,9	29	-4,9	0,0																																																																																					
250	33,9	32	-1,9	0,0																																																																																					
315	33,9	35	1,1	1,1																																																																																					
400	33,9	38	4,1	4,1																																																																																					
500	33,9	39	5,1	5,1																																																																																					
630	33,9	40	6,1	6,1																																																																																					
800	35,0	41	6,0	6,0																																																																																					
1000	38,2	42	3,8	3,8																																																																																					
1250	41,5	43	1,5	1,5																																																																																					
1600	44,6	43	-1,6	0,0																																																																																					
2000	46,5	43	-3,5	0,0																																																																																					
2500	48,5	43	-5,5	0,0																																																																																					
3150	50,5	43	-7,5	0,0																																																																																					
Součet negativních odchylek:	27,5 dB 27,5 < 32,0 dB																																																																																								
Vážená neprůzvučnost $R_{w,2}$:	39 dB																																																																																								

Homogenizace kročejového (EPS T 4000) a klasického (EPS 100 Z) polystyrénu pro výpočet:

Objemová hmotnost:	22,4 kg/m ³	Dynamická tuhost:	15 MPa
Rychlost podélných vln $c_{L,1}$:	1730 m.s ⁻¹		
Ztrátový činitel $\eta_{int,1}$:	0,200		
Činitel pohltivosti α_{500} :	0,03		

3) Výpočet neprůzvučnosti konstrukce č. 7

Skladba konstrukce: ŽB deska tl. 200 mm (+ sádrová stěrka) + EPS 100 Z tl. 40 mm + EPS T 4000 tl. 30 mm + anhydrit tl. 45 mm

ŽB deska (+ sádrová stěrka) parametry:		Anhydritová vrstva parametry:		
Tloušťka h_1 :	0,205 m	Tloušťka h_2 :	0,045 m	
Hustota ρ_1 :	2468 kg/m ³	Hustota ρ_2 :	2100 kg/m ³	
Rychlost podélných vln $c_{L,1}$:	3247 m.s ⁻¹	Rychlost podélných vln $c_{L,2}$:	2980 m.s ⁻¹	
Ztrátový činitel $\eta_{int,1}$:	0,005	Ztrátový činitel $\eta_{int,2}$:	0,006	
Kritický kmitočet $f_{cr,1}$:	95,7 Hz	Kritický kmitočet $f_{cr,2}$:	475 Hz	
Plošná hmotnost m'_{1} :	506 kg/m ²	Plošná hmotnost m'_{2} :	94,5 kg/m ²	
Celkový ztrátový činitel $\eta_{tot,1}$:	0,112	Celkový ztrátový činitel $\eta_{tot,2}$:	0,015	
Délka stropní konstrukce (l_x): 7 m				
Šířka stropní konstrukce (l_y): 5 m				
Zlomové plošné hmotnosti:				
$m'_{c,1}$:	15,6 kg/m ²	$m'_{c,2}$:	11,8 kg/m ²	
$m'_{s,1}$:	114,3 kg/m ²	$m'_{s,2}$:	140,4 kg/m ²	
Vzduchová mezera (d = 0,07 m):				
Šířka vzduchové mezery $d \leq 0,07$ m $\rightarrow p = 0$ (parametr šířky vzduchové mezery)				
Parametr tuhosti dílčích jednoduchých konstrukcí q : 0,643				
Činitel pohltivosti α_{500} : 0,03				
Parametr výplně ve vzduchové mezeře r : 0,1 dB				
Hodnota D : 2,8 dB				
Rezonanční kmitočet:				
f_r :	69,1 Hz	$4f_r$:	276,3 Hz	
D_R ... hodnoty útlumu	f [Hz]	D_R [dB]	R_m [dB]	R [dB]
	100	-3,6	40,5	36,8
	125	-2,2	42,1	39,9
R_m ... neprůzvučnost dvou-prvkové konstrukce bez vlivu útlumu ve vzd. mezeře	160	-0,6	44,5	43,8
	200	0,8	46,8	47,6
	250	2,2	48,9	51,1
	315	2,8	50,6	53,4
$R = R_m + D_R$	400	2,8	52,4	55,2
	500	2,8	54,1	56,9
	630	2,8	56,0	58,8
	800	2,8	58,0	60,8
	1000	2,8	60,0	62,8
	1250	2,8	62,1	64,9
	1600	2,8	64,3	67,1
	2000	2,8	66,2	69,0
	2500	2,8	68,2	71,0
	3150	2,8	70,2	73,0

f [Hz]	R [dB]	Směrná křivka SK [dB]	odch.	neg. odch.
100	36,8	41	4,2	4,2
125	39,9	44	4,1	4,1
160	43,8	47	3,2	3,2
200	47,6	50	2,4	2,4
250	51,1	53	1,9	1,9
315	53,4	56	2,6	2,6
400	55,2	59	3,8	3,8
500	56,9	60	3,1	3,1
630	58,8	61	2,2	2,2
800	60,8	62	1,2	1,2
1000	62,8	63	0,2	0,2
1250	64,9	64	-0,9	0,0
1600	67,1	64	-3,1	0,0
2000	69,0	64	-5,0	0,0
2500	71,0	64	-7,0	0,0
3150	73,0	64	-9,0	0,0

Součet negativních odchylek:

28,8 dB

Požadavek na strop mezi byty $R'_w \geq 53$ dB

28,8 < 32,0 dB

Vážená neprůzvučnost R_w :

60 dB

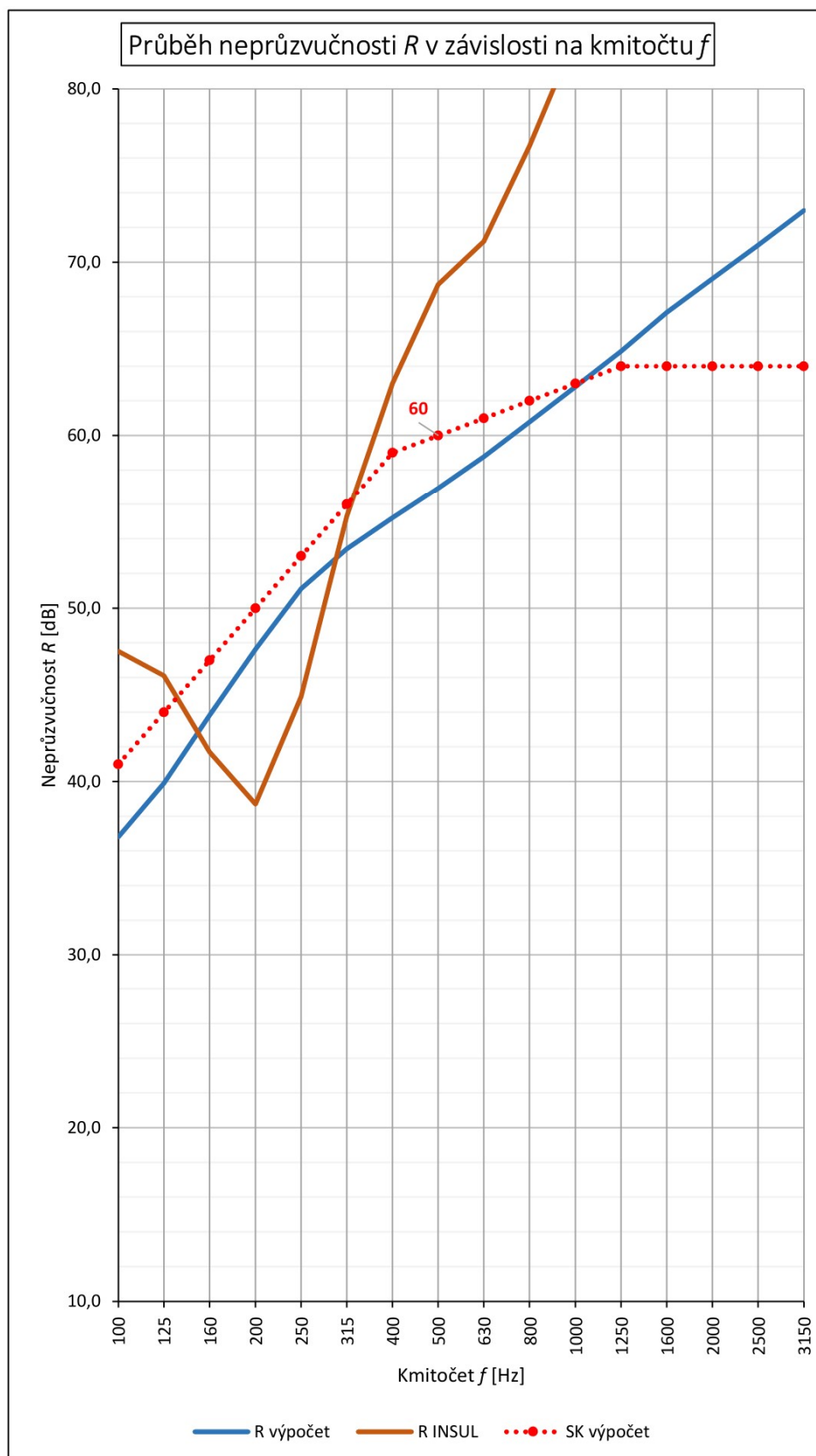
$R'_w = R_w - k_1 =$

58 dB

Korekce k_1 :

2,0 dB

VYHOVÍ

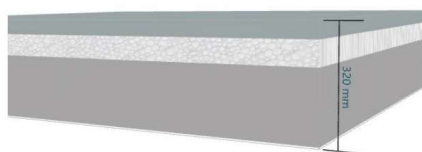


R INSUL [dB]
47,5
46,1
41,7
38,7
44,9
55,3
63,0
68,7
71,2
76,7
83,0
88,8
94,2
99,4
104,5
109,3

b) Výpočet programem INSUL 9.0

Sound Insulation Prediction (v9.0.22)

Program copyright Marshall Day Acoustics 2017
 Margin of error is generally within $R_w \pm 3$ dB
 - Key No. 3868
 Job Name: ZB strop s těžkou plovoucí podlahou
 Job No.: 7 Initials: Jiří Bečka
 Date: 25.04.2020
 File Name:



Notes:
 Skladba stropní konstrukce: sádrová stěrka tl. 5 mm + ŽB tl. 200 mm + EPS 100 Z tl. 40 mm + EPS T 4000 tl. 30 mm (zde oba polystyrény v jedné zhomogenizované vrstvě) + anhydrit tl. 45 mm

Hodnoty neprůzvučnosti R byly vyneseny též do předešlého grafu pro porovnání výstupů mezi hodnotami vypočtenými podle vzorců a podle softwaru.

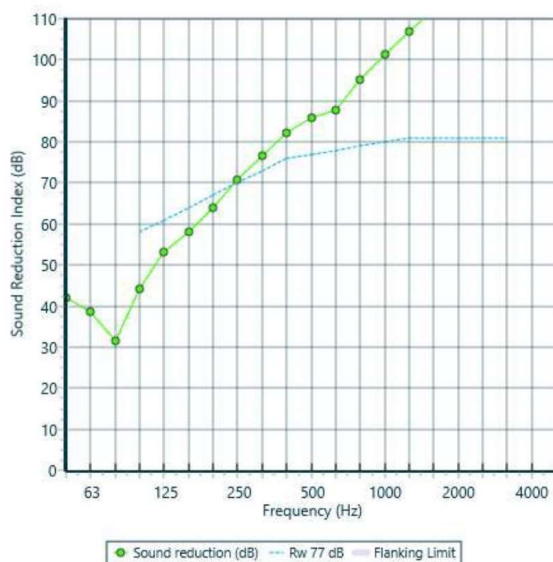
R_w 77 dB
 C -6 dB
 C_{tr} -14 dB

Mass-air-mass resonant frequency = 77 Hz

Panel Size = 7,0 m x 5,0 m

Partition surface mass = 602 kg/m²

freq.(Hz)	R(dB)	R(dB)
50	42	
63	38	35
80	32	
100	44	
125	53	48
160	58	
200	64	68
250	71	
315	77	
400	82	
500	86	85
630	88	
800	95	
1000	101	99
1250	107	
1600	112	
2000	117	115
2500	122	
3150	127	
4000	132	130
5000	135	

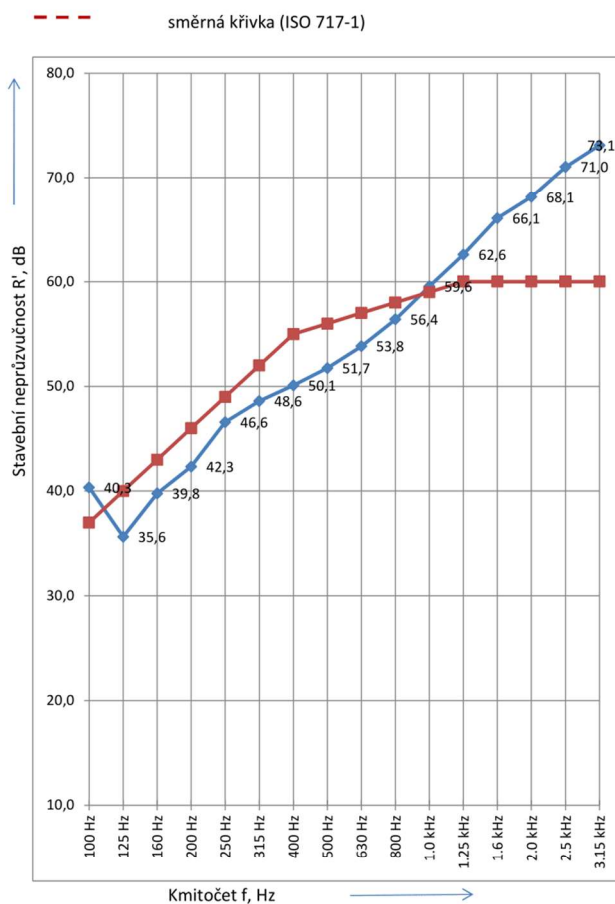


c) Výsledek protokolu z provedeného měření

Stavební neprůzvučnost podle ISO 16283-1
 Stavební měření vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi

Objednatel: [redacted]
 Datum zkoušky: [redacted]
 Popis a identifikace stavební konstrukce, uspořádání zkoušky a směr měření:
 [redacted]
 [redacted]
 Vysílací místnost: [redacted] Objem místnosti zdroje: m³
 Příjímací místnost: [redacted] Objem místnosti příjmu: 96,6 m³
 Plocha společné části dělicí konstrukce: 24,1 m²

Kmitočet f Hz	R' (1/3 oktáv) dB
100	40,3
125	35,6
160	39,8
200	42,3
250	46,6
315	48,6
400	50,1
500	51,7
630	53,8
800	56,4
1000	59,6
1250	62,6
1600	66,1
2000	68,1
2500	71,0
3150	73,1



Vyhodnocení podle ISO 717-1:
 $R'w(C;C_{tr}) = 56 (-2;-6) \text{ dB}$ $C_{100-3150} = -2 \text{ dB}$ $C_{tr,100-3150} = -6$
 Výsledky jsou stanoveny na základě měření v budově, technickou metodou.

Číslo protokolu: [redacted] Název zkušebny: **KONTRAHLUK, s.r.o.**
 Datum: [redacted] Podpis: Ing. Jiří Bečka

Použitá literatura

- [1] NOVÝ, Richard. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. Praha: České vysoké učení technické, 2009. ISBN 978-80-01-04347-9.
- [2] KAŇKA, Jan. *Akustika stavebních objektů*. 1. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-140-3.
- [3] Akustika staveb: Vzduchová neprůzvučnost aneb proč slyšíme hovor od sousedů. *ESTAV* [online]. Praha: Portál ESTAV.cz, 2016 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: <https://www.estav.cz/cz/4012.akustika-staveb-vzduchova-nepruzvucnost-aneb-proc-slysime-hovor-od-sousedu>
- [4] Akustika v praxi – vzduchová neprůzvučnost zděných mezibytových stěn v detailech. *IMateriály* [online]. Praha: Business Media One, s. r. o., 2016 [cit. 2020-03-01]. Dostupné z: https://www.imaterialy.cz/rubriky/materialy/akustika-v-praxi-vzduchova-nepruzvucnost-zdenych-mezibytovych-sten-v-detailech_43638.html
- [5] ČSN 73 0532. *Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a posuzování akustických vlastností stavebních výrobků - Požadavky*. Únor 2010. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
- [6] KAŇKA, Jan a NOVÁČEK, Jiří. *Stavební fyzika 3*. 1. V Praze: České vysoké učení technické, 2015. ISBN 978-80-01-05674-5.
- [7] Požadavky na vzduchovou neprůzvučnost. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., c2001-2020 [cit. 2020-03-21]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/189-pozadavky-na-vzduchovou-nepruzvucnost>
- [8] Kurs 2 - Hluk v komunálním prostředí: Kapitola 1.14 - Neprůzvučnost. *Krajská hygienická stanice Královéhradeckého kraje* [online]. Hradec Králové: Krajská hygienická stanice Královéhradeckého kraje se sídlem v Hradci Králové, 2013 [cit. 2020-03-24]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_114__neprzvunost.html
- [9] ČSN EN ISO 12354-1. *Stavební akustika - Výpočet akustických vlastností budov z vlastností stavebních prvků - Část 2: Vzduchová neprůzvučnost mezi místnostmi*.

- Srpen 2018. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
- [10] Výpočet vzduchové a kročejové neprůzvučnosti mezi místnostmi v obytných budovách. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2014 [cit. 2020-03-25]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/10766-vypocet-vzduchove-a-krocejove-nepruzvucnosti-mezi-mistnostmi-v-obytnych-budovach>
- [11] ČSN EN ISO 717-1. *Akustika - Hodnocení zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách - Část 1: Vzduchová neprůzvučnost*. Březen 2013. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
- [12] NOVÁČEK, Jiří. *ZVUKOVÁ IZOLACE V BUDOVÁCH: Vzduchová neprůzvučnost*. Univerzitní centrum energeticky efektivních budov, ČVUT v Praze, 2018.
- [13] *Vyhláška o technických požadavcích na stavby*. In: . Praha: Ministerstvo pro místní rozvoj, 2009, ročník 2009, 268/2009 Sb.
- [14] Požadavková tabulka normy ČSN 73 0532. *Akustické centrum* [online]. Praha: Akustické centrum, c2006-2012 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.akustickecentrum.cz/legislativa/tabulka1-normy-csn-73-0532.pdf>
- [15] Přístupy k hodnocení vzduchové neprůzvučnosti mezi místnostmi v budovách pro bydlení. *TZB-info* [online]. Praha: Topinfo s.r.o., 2012 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/9396-pristupy-k-hodnoceni-vzduchove-nepruzvucnosti-mezi-mistnostmi-v-budovach-pro-bydleni>
- [16] Vzduchová neprůzvučnost. *Rigips* [online]. Praha: Saint-Gobain Construction Products CZ a.s., c1992-2020 [cit. 2020-04-07]. Dostupné z: <https://www.rigips.cz/pro-odborniky/vzduchova-nepruzvucnost/>
- [17] ČSN EN ISO 16283-1. *Akustika – Měření zvukové izolace stavebních konstrukcí a v budovách in situ – Část 1: Vzduchová neprůzvučnost*. Říjen 2014. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
- [18] FP122: DATASHEET. *CESVA* [online]. Barcelona: CESVA instruments s.l.u., 2015 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z: https://download.cesva.com/datasheets/fp122_en.pdf

-
- [19] Sound Analyser Nor140. *Norsonic* [online]. Tranby: Norsonic AS, 2013 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:
https://web2.norsonic.com/product_single/soundanalyser-nor140/
- [20] Stavební akustika. *Akustické centrum* [online]. Praha: Akustické centrum, c2006-2012 [cit. 2020-04-09]. Dostupné z:
https://www.akustickecentrum.cz/stavebni_akustika.php