

Protihlukové bariéry dopravných systémů

Bc. František Židek

Diplomová práce
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. František ŽIDEK**

Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Řízení jakosti**

Téma práce: **Protihlukové bariéry dopravních systémů**

Zásady pro vypracování:

1. Vypracujte literární studii na téma
 - a) Hluk jako doprovodný jev dopravy
 - b) Požadavky na zvukoizolační vlastnosti konstrukčních materiálů
 - c) Řešení protihlukových stěn
2. Praktická část
 - a) Výběr zvukoizolačních konstrukčních materiálů
 - b) Fyzikální zkoušky vybraných materiálů
 - c) Konstrukční návrh zvukoizolačního panelu
3. Zhodnocení a závěr

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Literatura:

[1] HAVERKAMP, M., Assessment of the noise reduction potential of vehicle, sheet metal by measurement of the transmitted sound energy. Inter-noise 2000 Nice France, ISBN 2-9515619-6-2

[2] UENO, K., SENJU, M., TACHIBANA, H., ONO, T., Subjective effect on noise on music players, Inter-noise 2000 Nice France, ISBN 2-9515619-6-2

[3] DVOŘÁK Z., VAŠUT S., BRIŠ P., Worn tyres are coming back to roads, Logistic and Transport 2001, 1st International Conference, June 6th — 8th 2001 Vysoké Tatry, Slovensko, ISBN není

[4] DVOŘÁK, Z., Protihlukové stěny pro dopravní systémy, Výzkumná zpráva, AGT, s.r.o. Zlín 5/2000

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

19. února 2010

Termín odevzdání diplomové práce:

19. května 2010

Ve Zlíně dne 19. ledna 2010

doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.

děkan



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.

vedoucí katedry

Příjmení a jméno: Židek František

Obor: Řízení jakosti

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 2.9.4.2010


.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*

(3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*

¹⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*

'3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

¹⁾ *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*

'1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

'2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

'3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlídí k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Moja diplomová práca sa zaoberá zvukovou pohltivosťou vybraných materiálov. Cieľom je navrhnúť vhodný zvukovoizolačný panel. Meranie sa vykonáva na Kundtovej impedančnej trubici, do ktorej sa vkladajú jednotlivé vzorky materiálov. Na vyhodnotenie nameraných výsledkov bude slúžiť program Microsoft Excel.

Kľúčové slová: doprava, hluk, guma, zvukové bariéry

ABSTRACT

My diplome thesis is about absorbing surface selected materials. The aim is to propose an appropriate sound-proofing panel. Measurement is performed on Kundt impedance tube, which are inserted into each sample materials. To assess the measured results will serve Microsoft Excel.

Keywords: transport system, noise, rubber, anti-noise barrier

POĎAKOVANIE

Touto cestou by som rád poďakoval svojmu vedúcemu diplomovej práce, pánovi Ing. Zdenkovi Dvořákovi, CSc., za obetavý prístup, pripomienky, materiály a cenné rady pri tvorbe práce. Moje poďakovanie patrí tiež mojej rodine a manželke za podporu na mojej ceste ku vzdelaniu.

Motto

„Vzdelaný človek má vždy bohatstvo v sebe”

Phaedrus

Prehlasujem, že som na diplomovej práci pracoval samostatne a použitú literatúru som citoval. Súhlasím s tým, že s výsledkami mojej práce môže byť naložené podľa uváženia vedúceho diplomovej práce a riaditeľa ústavu.

V Kysuckom Novom Meste 28.4.2010

.....

Podpis diplomanta

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČASŤ	11
1 HLUK	12
1.1 ROZSAH POČUTEENOSTI KMITOČTOV. ULTRAZVUK. INFRAZVUK	14
1.2 PREHEAD ÚČINKOV HLUKU NA ĽUDSKÝ ORGANIZMUS.....	15
1.2.1 Poruchy v úrovni aktivácie centrálného nervového systému.....	16
1.3 CHRONICKÉ POŠKODENIE SLUCHU HLUKOM	16
1.4 HABITUÁLNY A EMOČNE PÔSOBIACÍ HLUK	17
2 NORMATÍVNE A PREDPISOVÉ POŽIADAVKY	18
2.1 NORMY V AKUSTIKE.....	18
2.1.1 Normy pre meranie zvukovo izolačných vlastností	18
2.1.2 Normy pre hodnotenie akustických vlastností	20
2.1.3 Požiadavkové normy a normy pre projektovanie.....	20
3 PROBLEMATIKA VIBRÁCIÍ A RÁZOV	21
3.1 VPLYV VIBRÁCIÍ NA ČLOVEKA.....	24
3.2 ŠTRUKTURÁLNE TLMENIE.....	24
3.2.1 Činiteľ vnútorného tlmenia	25
3.3 VYUŽITIE CHARAKTERISTICKÝCH VLASTNOSTÍ POLYMEROV.....	25
4 HLUK AKO DOPROVODNÝ JAV DOPRAVY	28
4.1 DOPRAVNÝ HLUK	29
4.2 METODIKY PRE VÝPOČET HLUKU Z DOPRAVY	29
4.2.1 Podzemná doprava	29
4.2.1.1 Výpočet hluku z cestnej dopravy.....	30
4.2.1.2 Výpočet hluku železničnej dopravy.....	30
4.2.1.3 Výpočet hluku trolejbusovej dopravy.....	31
4.2.2 Hluk leteckej prevádzky.....	31
4.2.3 Meranie dopravného hluku	31
4.2.3.1 Meranie hluku pozemnej dopravy.....	32
5 POŽIADAVKY NA ZVUKOVOIZOLAČNÉ VLASTNOSTI KONŠTRUKČNÝCH MATERIÁLOV	35
5.1 KONŠTRUKČNÉ STAVEBNÉ A PORÉZNÉ MATERIÁLY	35
5.2 MATERIÁLY PRE ÚPRAVU STIEN	35
5.2.1 Výrobky z dreva.....	35
5.2.2 Keramické a betónové výrobky	36
5.2.3 Výrobky z kovu a lisovaných dosiek	36
5.2.4 Výrobky z lisovaných dosiek.....	36
5.2.5 Výrobky z penových materiálov	36
5.2.6 Výrobky na úpravu stien, krytov a potrubí	36
6 PROTIHLUKOVÉ STENY	38

6.1	ODRAZIVÉ PROTIHLUKOVÉ STENY	39
6.2	STENY S POHLTIVOU ÚPRAVOU	39
6.3	KONŠTRUKCIA	41
6.4	FUNKČNOSŤ A BEZPEČNOSŤ	41
6.5	EXTRAVILÁN	42
6.6	INTRAVILÁN	43
6.7	NA HRANICI	44
6.8	ZHRNUTIE	45
II	PRAKTICKÁ ČASŤ	46
7	STANOVENIE CIEĽOV V PRAKTICKEJ ČASTI	47
8	MERANIE ZVUKOVEJ POHLTIVOSTI MATERIÁLOV	48
8.1	PRINCÍPY METÓDY MERANIA ČINITEĽA ZVUKOVEJ POHLTIVOSTI	50
9	PRÍPRAVA VZORIEK NA MERANIE	54
10	MERANIE	57
11	VYHODNOTENIE NAMERANÝCH VÝSLEDKOV	61
12	NÁVRH ZVUKOVOIZOLAČNÉHO PANELA	71
13	EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE	76
	ZÁVER	77
	ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY	78
	ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK	79
	ZOZNAM OBRÁZKOV	80
	ZOZNAM TABULIEK	82
	ZOZNAM PRÍLOH	83

ÚVOD

Dopravné systémy stále vo väčšej miere zaťažujú svoje okolie nielen splodinami z agregátov, prachom a pod., ale tiež dopravným hlukom.

Oddelenie dopravných ciest a vlakových koridorov od ostatného prostredia je uskutočňované najmä umelými alebo prírodnými valmi, porastami a pod. V poslednej dobe sa stále viac uplatňujú protihlukové steny, ktoré sa zdajú ekonomicky, architektonicky a priestorovo výhodné.

Novým požiadavkom na protihlukové steny je pohltivosť zvuku. To núti výrobcov hľadať nové konštrukčné materiály. Ako vhodný materiál sa javia pryžové drte a tlmiace vlákna, ktoré sú získávané pri likvidácii opotrebených pneumatík.

Vhodným komponovaním týchto a ďalších surovín ide získať požadované akustické vlastnosti protihlukových stien.

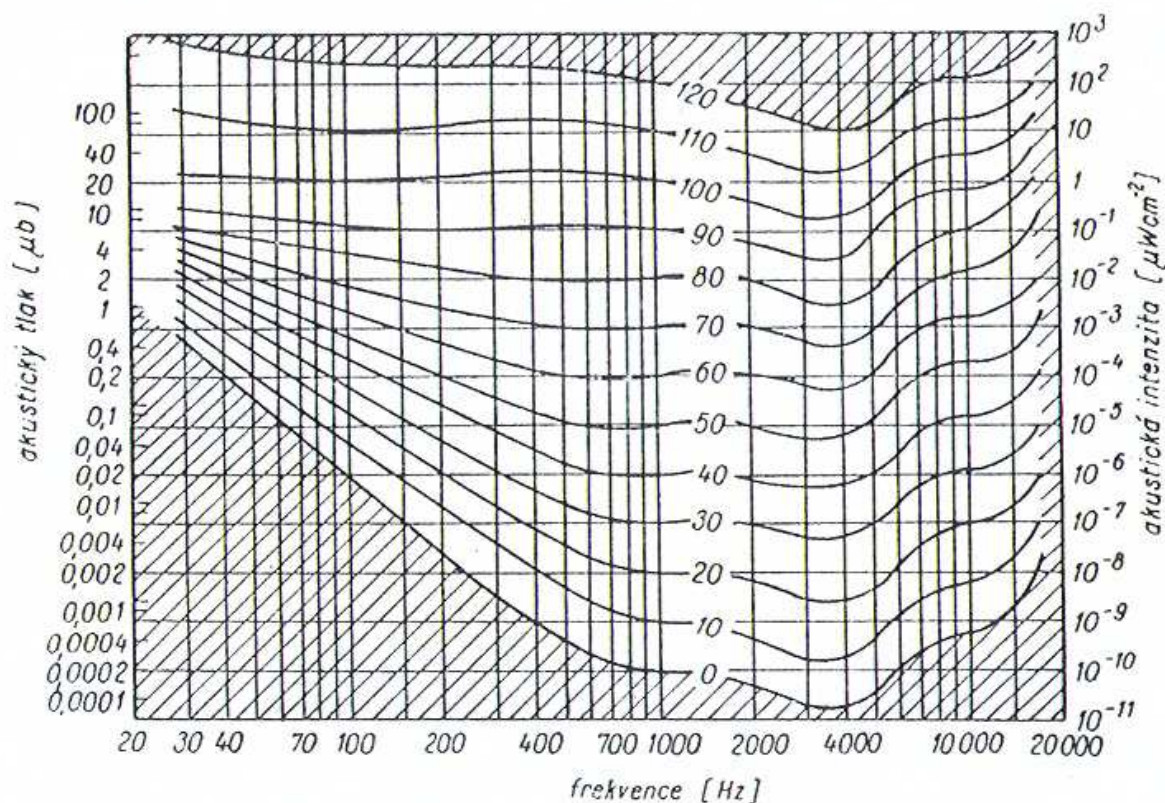
I. TEORETICKÁ ČASŤ

1 HLUK

Hluk je zvukový jav, ktorý vyvoláva škodlivé sluchové vnemy. Pôsobí nepriaznivo po stránke fyziologickej i psychologickej. Najmä nerovnaký intenzívny hluk unavuje pri práci telesnej, a ešte viac pri práci duševnej, rozptyľuje pozornosť a znižuje výkon. Prispieva ku vzniku neuróz. Trvalý intenzívny hluk spôsobuje nedoslýchavosť.

Zdrojom zvuku je chvenie telies, ktoré sa prenáša do okolitého pružného prostredia a v ňom vzniká zvukové vlnenie. Fázová rýchlosť zvuku závisí na prostredí a teplote. Rýchlosť zvuku vo vzduchu pri nulovej teplote (0°C) je $331,82\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Vzniká pri funkcii strojov, zariadení, v doprave, vo zvukových aparátúrach atď.

Zvuk je kmitanie pevného, kvapalinového a plynného prostredia. Charakteristikou zvuku je **akustický tlak** – striedavý tlak vyvolaný zvukovým kmitaním, **akustická intenzita** – energia, ktorá prejde plochou za čas a **akustická rýchlosť** – rýchlosť kmitania.



Obr. 1. Závislosť zvuku na akustickom tlaku a akustickej intenzite

Přibližný vzorec akustické intenzity je $I = p^2/400$. Meradlom počutelnosti je logaritmická stupnica. Základnou jednotkou počutelnosti je fón. Počutelnost' základného tónu o frekvencii 1000 Hz a akustického tlaku $2 \cdot 10^{-1}$ Pa je 0 fónov. Vzťah medzi akustickým tlakom a intenzitou pre hlasitosť L (fóny) je $L = 20 \log p + 74 = 10 \log I + 100$, kde :

I – intenzita zvuku – $W \cdot m^{-2}$

p – akustický tlak – Pa

Citlivosť ľudského ucha je 1 fón, znížením hlasitosti o 5 fónov znížime intenzitu o 32 %.

Hlasitosť niekoľkých zdrojov o rôznej intenzite je vyjadrený vzťahom

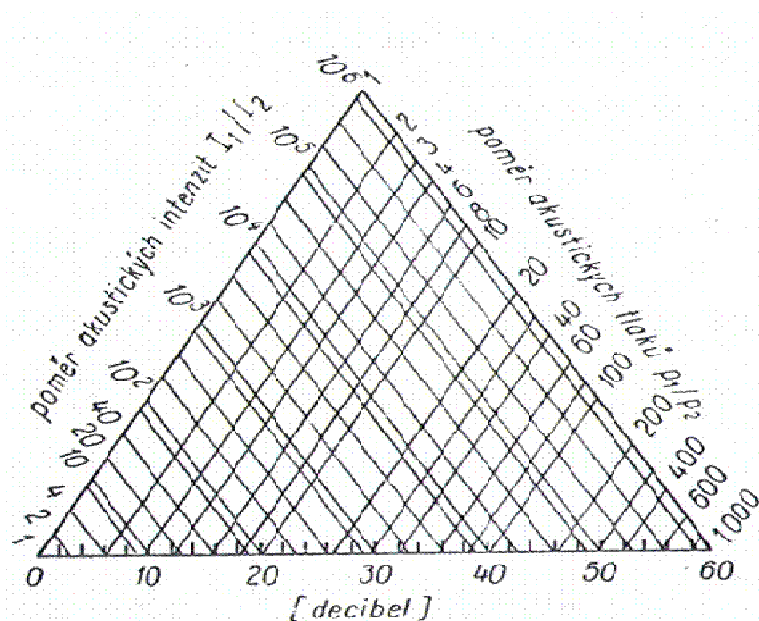
$$L_c = 10 \log \Sigma I_k + 100$$

Hlasitosť niekoľkých zdrojov o rovnakej intenzite vyjadruje vzťah

$$L_c = L_1 + 10 \log n, \text{ kde } n \text{ je počet zdrojov}$$

Jednotkou hlasitosti je decibel. Ide o jednotku, ktorá berie zreteľ na logaritmickú vnímateľnosť ľudského ucha a nezávisí na veľkosti frekvencie. Vyjadruje sa rovnicou

$$D = 20 \log p_1/p_2 = 10 \log I_1/I_2 \text{ (db)}$$



Obr. 2. Prevod pomeru akustických intenzít a akustických tlakov na decibely

Ako informácie pre rôzne hlasitosti sa spravidla uvádzajú tieto príklady :

0 fónov – Začiatok počuteľnosti. Ide ho realizovať len za najstarostlivejších laboratórnych podmienok

10 fónov – Zvuk, ktorý normálne označujeme ako práve počuteľný

20 fónov – Slabé šust'anie lístia v stromoch

30 fónov – Šepkanie

40 fónov – Tichá konverzácia

50 fónov – Normálny hovor zo vzdialenosti 1 meter

60 fónov – Hluk vysávača

70 fónov – Hluk v uliciach miest

80 fónov – Hluk v najfrekvencovanejších uliciach veľkomiest

90 fónov – Hluk v podzemnej dráhe

100 fónov – Hluk v priadeliach bavlny

110 fónov – Hluk pri nitovaní kotlov v kotolniciach

120 fónov – Odsekávanie výronov u odliatkov pneumatickými kladivami vo vzdialenosti asi

2 m. Hluk motoru lietadla vo vzdialenosti niekoľkých metrov

130 fónov – Hranica bolesti prekročená. Ťažké delostrelectvo z najmenej vzdialenosti.

Poplachová siréna vo vzdialenosti 2 m [3]

1.1 Rozsah počuteľnosti kmitočtov. Ultrazvuk. Infrazvuk

Počuteľné kmitočty začínajú pri 16 Hz-20 Hz a končia medzi 16 Hz-20 kHz. Platí to pre zdravý sluch mladého človeka. S pribúdajúcim vekom sa rýchlo zhoršuje počuteľnosť v oblasti vysokých frekvencií.

Vysokú citlivosť vykazuje sluch v oblasti stredných frekvencií, cca medzi 500 Hz-5000 Hz. Medzi 500 Hz-5000 Hz sa nachádzajú kmitočty, ktoré sú dôležité pre počutie reči.

Smerom k nízkym frekvenciám sa citlivosť sluchu výrazne znižuje. Najnižšie počuteľné tóny musia mať o 60 dB-70 dB vyššiu hladinu intenzity, aby boli vnímané rovnako hlasito ako tón 1 000 Hz.

Z tejto vlastnosti sluchu vychádza váhový filter A, ktorý obsahuje pre jednotlivé frekvenčné pásma medzinárodne normované váhové korekcie. Hodnoty merané s použitím váhového filtra A sa blížia sluchovému vnemu človeka a namerané veličiny sa nazývajú hladiny akustického tlaku A, označujeme L_A v dB.

Ultrazvuk – akustické vlnenie o kmitočte vyššom než 20 kHz

S výskytom ultrazvuku sa stretávame predovšetkým na pracoviskách: ultrazvukové čističky, zvaračky, obrábanie s vysokou presnosťou, plazmové horáky. Najnižšie ultrazvukové pásma môžu pôsobiť ako vysokofrekvenčný hluk. Hladina akustického tlaku musí presiahnuť u ultrazvuku 100 dB, aby vznikla závažnejšia hluková záťaž.

Infrazvuk – akustické vlnenie o kmitočte nižšom než 16 Hz

Zdrojom infrazvuku môžu byť veľmi rozmerné kmitajúce konštrukcie alebo pulzácia plynu či vzduchová turbulencia. Preto môže infrazvuk vyžarovať napr. niektoré horáky, kompresory, klimatizácie.

1.2 Prehľad účinkov hluku na ľudský organizmus

Účinky hluku – špecifické a systémové

Špecifické účinky hluku sú sprostredkované priamo sluchovým zmyslovým orgánom. Patrí sem poškodenie sluchu hlukom a maskovacie účinky. Systémové účinky hluku sú sprostredkované špeciálnymi štruktúrami nervového systému. Patria tu poruchy úrovne centrálnej aktivity, poruchy motorickej koordinácie a zmyslovo-motorických funkcií, poruchy emocionálnej rovnováhy a poruchy v sociálnej interakcii.

Maskovacie účinky – veľmi silné zvuky prekrývajú zvuky slabé. Ide o známu skutočnosť, že zrozumiteľnosť užitočného akustického signálu (napr. slovná komunikácia) môže byť zhoršená alebo znemožnená súčasťou prítomnosťou neúžitočného hluku, ktorý prekryje (maskuje) žiaduci zvuk. Takzvaný maskovací efekt sa vysvetľuje ako posunutie prahu počuteľnosti spôsobené silnejším zvukom. Veľkosť posunutia závisí na rozdielu

frekvencií medzi oboma zvukmi. Poznatky o priebehu dejov pri maskovaní sú využívané v priestorovej akustike pri riešení akustických vlastností sálov, školských tried a pod.

1.2.1 Poruchy v úrovni aktivácie centrálného nervového systému

Hluk spôsobuje zvýšenie dráždivosti ako centrálného, tak vegetatívneho nervového systému. Nadmerné či dlhodobo pôsobiace zvýšenia dráždivosti môže vyústiť v poruchách zdravia, napr. vysoký krvný tlak. K nástupu týchto účinkov je treba, aby v bdelom stave presahovala hladina akustického tlaku A cca 65 dB.

Narušenie rovnováhy medzi procesmi podráždenia a útlmu v mozgu sú príčinou porúch spánku. Je predĺžené zaspávanie, dochádza k prebúdzaniu, spánok nie je dostatočne hlboký, čo spôsobuje zhoršenie jeho zotavovacieho účinku. K prebúdzaniu sa zo spánku dochádza pri hladinách akustického tlaku A 45 dB, poruchy kvality spánku môže spôsobiť úroveň vyššia než 35 dB-37 dB.

Pri pôsobení stredne silných hlukov trpí presnosť pohybovej koordinácie, veľmi silné hluky menia podmienky činnosti zmyslových orgánov, napr. dochádza k deformácii rozsahu zorného poľa.

Sociálne správanie sa ľudí je ovplyvnené hlukom. V hlučnom prostredí sa zhoršuje kooperácia v pracovnej skupine, znižuje sa ochota poskytnúť pomoc.

1.3 Chronické poškodenie sluchu hlukom

Chronické poškodenie sluchu hlukom je sluchová strata, ktorá je spôsobená postupným nevratným poškodením zmyslových buniek vo vnútornej uchu. V prvej fáze vývoja poruchy zaznamenávame dočasnú sluchovú stratu, z ktorej sa ucho zotaví.

Sluchová strata pri chronickom poškodení sluchu hlukom začína poklesom sluchovej ostrosti na frekvenciu 4 000 Hz. Chronickou poruchou sluchu z hluku sú ohrození zamestnanci pracujúci na pracoviskách so zvýšenými hladinami (lamači, robotníci z nábytkárskeho priemyslu, leteckí mechanici, hudobníci a iní).

Pokles sluchovej ostrosti závisí i na celoživotnej všeobecnej expozícii hluku prostredia (doprava a pod.).

Účinná dávka hluku je daná hodnotou hladiny x (krát) čas (doba) pôsobenia. V našich predpisoch sa počíta s činiteľom zdvojenia. Znamená to, že povolená doba pobytu v hluku, pri ňom sa ešte neprekročí hygienicky prípustná záťaž, sa pri každom zvýšení ekvivalentnej hladiny akustického tlaku A o 3 dB zkracuje na polovicu.

V organizácii práce je treba využiť zmeny činnosti alebo zaradiť prestávky, aby bola dodržaná prípustná expozícia hluku. Zvuková expozícia sa vyjadruje ako pomerná zvuková expozícia v % prípustnej expozície alebo ako zvuková expozícia E_A , vyjadrená v Pa^2s .

1.4 Habituálny a emočne pôsobiací hluk

Habituálny hluk je prijímaný ako bežný, normálny, známy. Je to napr. hluk na pracovnom mieste, v dopravnom prostriedku, obvykle pouličný ruch, zvuková kulisa denného života domácnosti a pod.

Emočný hluk – náhly neobvyklý hluk vyvoláva reakciu typu „čo to je, čo sa deje“. Ak nesignalizuje ohrozenie ani nenesie pre nás zaujímavú informáciu, rýchlo sa habituuje. Mnoho zvukov pre nás citový význam má. Signalizuje nebezpečie alebo ho pripomína, či symbolizuje. Takýto hluk sa nazýva emočný.

Habituálny a emočný hluk majú vplyv na vzostup krvného tlaku. Je pochopiteľné, že nezáleží na zdroji, ak bude hluk pôsobiť ako habituálny alebo emočný. Rozdiel je v niečom inom a je zásadný. Habituálny hluk spôsobí zvýšenie krvného tlaku až od hladiny akustického tlaku $L_A = 65$ dB. Má prah účinku. Emočný hluk môže pôsobiť, aj keď jeho hladina hlasitosti je na prahu počuteľnosti. Nemá žiadny prah. Neriadi sa bežnými vzťahmi medzi dávkou a účinkom.

2 **NORMATÍVNE A PREDPISOVÉ POŽIADAVKY**

Súčasná normatívna základňa sa v Českej republike primárne odvíja od hygienických požiadaviek kladených na zabezpečenie tak exteriérovej, tak aj interiérovej pohody. Úroveň hlukovej záťaže je definovaná takzvanými najvyššími prípustnými hodnotami hluku.

Tu možno teda všeobecne konštatovať, že zdravotne záväzné kritériá sú obsiahnuté v hygienických predpisoch, od ktorých sa odvíjajú takzvané „prevádzacie“ technické požiadavky na konštrukčné prvky stavieb, prípadne iných priestorov, ktoré sú obsahom normatívnej základne, z ktorých niektoré obsahujú záväzné ustanovenia v zmysle zákona č. 632/1992 Zb. podľa §4.

Od 1. 9. 1997 nie je žiadna ČSN vydaná ako záväzná. V súčasnosti sa zavádzajú „harmonizované ČSN“, čo vyjadruje vzťah k nariadeniu vlády, vydanému na základe zákona.

2.1 **Normy v akustike**

Obecne ide normy v akustike rozdeliť do troch základných skupín:

- normy pre meranie zvukovo izolačných vlastností
- normy pre hodnotenie akustických vlastností
- požiadavkové normy a normy pre projektovanie

Vzhľadom k tomu, že výpočtové a hodnotiace postupy v akustike vychádzajú vo svojich princípoch z merania ako základných vstupných veličín, tak i z výsledných hodnôt akustických veličín charakterizujúcich konštrukčné prvky, ide jednoznačne preferovať skupinu noriem, ktorá jednoznačnejšie definuje postupy merania a z toho vyplývajúce výsledky, než ostatné skupiny pre hodnotenie a projektovanie

2.1.1 **Normy pre meranie zvukovo izolačných vlastností**

Metódy merania zvukovo izolačných vlastností sú predmetom komplexu noriem ČSN 73 0511 až ČSN 73 0518. Tieto normy dôsledne vychádzajú z medzinárodných noriem ISO

140/I až ISO 140/VIII. Normy ISO sú základným podkladom pre spracovanie národných noriem vo väčšine vyspelých štátov, alebo sú týmito štátmi priamo prevzaté.

V súčasnej dobe sú postupne v ČR preberané normy EN, EURONORM, CECC, IC, ETS, harmonizačné dokumenty CEN a CENELEC, medzinárodné dokumenty a normy ISO, IEC, QC (IEC), CISPR (IEC), UIC, CODEX ALIMENTARIUS, UN/ECE (EHKOSN).

Prvá zo skupiny noriem je ČSN ISO 140- 1. Táto norma stanoví požiadavky na laborátorov pre meranie vzduchovej a kročejovej nepriezvučnosti stavebných konštrukcií v podmienkach bez vplyvu vedľajších ciest šírení zvuku. Druhá z rady noriem je ČSN EN 20140-2, v nej sú špecifikované požiadavky na presnosť na základe určení opakovateľnosti a výsledkov meraní.

ČSN EN ISO 140 časť 3 vychádza z ISO 140/III a určuje spôsob merania laboratórnej vzduchovej nepriezvučnosti stavebných dielcov a konštrukcií ako napr. priečok, stien, stropov, dverí, okien a obvodových plášťov.

Meraním vzduchovej nepriezvučnosti deliacich prvkov medzi miestnosťami na stavbách sa zaoberá ČSN 73 0514. Výsledky merania podľa tejto normy poskytujú podklady pre určovanie kvality stavebne akustických opatrení.

Zvukovo izolačné vlastnosti obvodových plášťov alebo ich častí možno v stavebných podmienkach merať niektorým z postupov uvedených v ČSN 73 0515.

Merania kročejovej nepriezvučnosti stropných konštrukcií v laboratórnych podmienkach sa prevádzajú podľa ČSN 73 0516, zatiaľčo ČSN 73 0517 špecifikuje podmienky merania kročejovej nepriezvučnosti stropov na stavbách.

Podľa normy ČSN 73 0518 sa na základe merania kročejovej nepriezvučnosti holého stropu a stropu s podlahou stanoví index zmeny kročejového hluku spôsobený podlahou.

K meracím normám v stavebnej akustike patrí tiež ČSN ISO 354, ktorá stanoví meranie zvukovej pohltivosti v dozvukovej miestnosti. Táto norma sa používa pri stanovení činiteľov zvukovej pohltivosti absorbčných materiálov a konštrukcií, ako i pri stanovení korekčných hodnôt pohltivosti pri meraní zvukovo izolačných vlastností.

2.1.2 Normy pre hodnotenie akustických vlastností

Výsledky meraní zvukovo izolačných vlastností poskytujú hodnoty vo forme spektier, tzv. hodnoty závislé na kmitočtoch. K základným metódam hodnotení patrí postup stanovenia

jednočíselných veličín, ktoré sú váženými priemermi. Váhovú krivku predstáva tzv. smerná krivka.

Špecifikácia jednotlivých veličín, spôsob ich stanovení a hodnoty príslušných smerných kriviek sú uvedené v normách ČSN ISO 717-2 a ČSN ISO 713-3.

Normy pre hodnotenie majú svoj pôvod v normách ISO, čo zaručuje ich kompatibilitu v prevažnej väčšine zemí. Výnimkou je v súčasnej dobe Francúzsko a Španielsko, ich normy pre hodnotenie sa od obvyklých postupov odchyľujú. Nemožno teda priamo zrovnávať všeobecne R_w alebo index hladiny kročeového hluku L_{nw} s hodnotami R_A alebo L_{nAT} .

2.1.3 Požiadavkové normy a normy pre projektovanie

Predpisy a normy, ktoré stanovujú úroveň ochrany proti hluku v budovách, príp. akustických priestoroch, vychádzajú zo spoločenských celosvetovo uznávaných princípov, ktoré rešpektujú mieru ochrany pred rušivými a škodlivými účinkami hluku a súčasne zabezpečujú pohodu prostredia interiéru.

V stavebnej akustike sú viacmenej v jednotlivých krajinách požiadavky na zvukovo izolačné vlastnosti deliacich prvkov značne rozdielne.

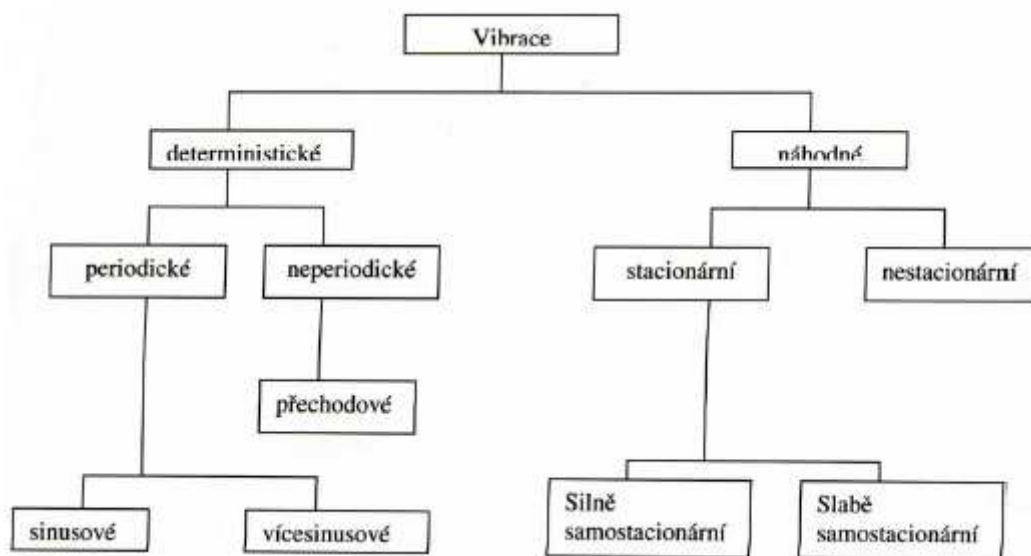
Požiadavky v Českej republike sú stanovené ČSN 73 0532. Pre niektoré kategórie objektov a deliacich prvkov platí, že medzi našimi požiadavkami a požiadavkami v susedných krajinách existuje čiastočná zhoda alebo podobnosť. Všeobecne ale treba počítať s rozdielmi.

Kvantitatívne rozdiely v požiadavkách sú predovšetkým medzi štátmi s rozdielnou úrovňou ekonomiky. Krajiny ekonomicky vyspelé, majú zvukovo izolačné požiadavky v rade prípadov vyššie, alebo stanoví tzv. doporučené hodnoty, ktoré predstavujú značný kvalitatívny rozdiel.

V niektorých krajinách existujú smernice pre výpočet, príp. návrhy noriem, avšak vo všeobecnosti je nutné preukazovať zvukovo izolačné vlastnosti deliacich prvkov na stavbách meraním. Dôvodom je doposiaľ nedostatočná presnosť stanovení nepriezvučnosti v stavebných podmienkach. [1]

3 PROBLEMATIKA VIBRÁCIÍ A RÁZOV

Pod pojmom vibrácia chápeme kmitanie (osciláciu) mechanickej sústavy. Jednoduché kmitanie sa definuje amplitúdou a frekvenciou. Podľa novej názvoslovnej normy ČSN ISO 2041 (nahradzuje ČSN 01 1400) predstavuje vibrácia pohyb pružného telesa alebo prostredia, ktorého jednotlivé body kmitajú okolo svojej rovnovážnej polohy. Veľkosť vibrácie môže byť vyjadrená amplitúdou alebo jej časovými deriváciami, t. j. rýchlosťou, zrychlením alebo ryvom kmitajúceho pohybu (ryv : vektor, udávajúci časovú deriváciu zrychlenia). Z praktických dôvodov a dostupnosti širokej škály akcelerometrov sa najčastejšie používa zrychlenie. Podľa časového priebehu sa vibrácie rozdeľujú do dvoch hlavných kategórií, znázornených v nasledujúcej schéme.



Deterministické vibrácie sú také vibrácie, u ktorých je okamžitá hodnota vibrácií v danom čase určená presne ich časovým priebehom (t. j. záznamom ich okamžitých hodnôt), zaznamenaných skôr, než je daný časový okamih. **Náhodné vibrácie** sú také vibrácie, pre ktoré nemôže byť okamžitá hodnota vibrácií v danom čase určená z ich časového priebehu.

Zvláštnu skupinu kmitaní tvoria **mechanické rázy**, ktoré sú charakteristické náhlou zmenou sily, polohy, rýchlosti alebo zrychlenia, ktorá v sústave vybudí prechodové

vzruchy. Pri prenose vibrácií na človeka, však skôr ako o ráze, hovoríme o **otrasoch** ľudského organizmu.

Veľkosť vibračného signálu ako prejavu kmitavého deja, ide vyjadriť rôznymi veličinami a ich hodnotami. Najdôležitejšia z nich je efektívna hodnota, ktorá má priamy vzťah k energii vibrácií a teda i možným zdravotným rizikám. Impulzivnosť vibrácií sa vyjadruje pomerom špičkovej a efektívnej hodnoty, ktoré definuje tzv. **činiteľ výkmitu**.

V praxi sa hodnoty určujúce veličiny vibrácií vyskytujú v širokom rozsahu, napríklad zrýchlenia od 10^{-6} do 10^4 m. s⁻². Preto sa i v obore vibrácií používajú hladinové vyjadrenia. Prevody medzi hladinovým vyjadrením veličín popisujúcich vibrácie sú v tab. 1, kde sa podobne ako v tab. číselné hodnoty podrobnejšieho stupňovania medzi 100 dB a 120 dB opakujú vo všetkých 20 decibelových krokoch s príslušným rádovým násobiteľom.

Tabuľka 1 : Prepočty hladín zrýchlenia, rýchlosti a sily vibrácií

Hladina L_a, L_v, L_F [dB]	Zrýchlení a [m/s ²]	Rychlost v [m/s]	Síla F [N]
0	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-9}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$
10	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-9}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$
20	$1,00 \cdot 10^{-5}$	$1,00 \cdot 10^{-8}$	$1,00 \cdot 10^{-5}$
30	$3,16 \cdot 10^{-5}$	$3,16 \cdot 10^{-8}$	$3,16 \cdot 10^{-5}$
40	$1,00 \cdot 10^{-4}$	$1,00 \cdot 10^{-7}$	$1,00 \cdot 10^{-4}$
50	$3,16 \cdot 10^{-4}$	$3,16 \cdot 10^{-7}$	$3,16 \cdot 10^{-4}$
60	$1,00 \cdot 10^{-3}$	$1,00 \cdot 10^{-6}$	$1,00 \cdot 10^{-3}$
70	$3,16 \cdot 10^{-3}$	$3,16 \cdot 10^{-6}$	$3,16 \cdot 10^{-3}$
80	0,01	$1,00 \cdot 10^{-5}$	0,01
90	0,0316	$3,16 \cdot 10^{-5}$	0,03162
100	0,1	$1,00 \cdot 10^{-4}$	0,1
101	0,112	$1,12 \cdot 10^{-4}$	0,112
102	0,126	$1,26 \cdot 10^{-4}$	0,126
103	0,141	$1,41 \cdot 10^{-4}$	0,141
104	0,158	$1,58 \cdot 10^{-4}$	0,158
105	0,178	$1,78 \cdot 10^{-4}$	0,178
106	0,200	$2,10 \cdot 10^{-4}$	0,2
107	0,224	$2,24 \cdot 10^{-4}$	0,224
108	0,251	$2,51 \cdot 10^{-4}$	0,251
109	0,282	$2,82 \cdot 10^{-4}$	0,282
110	0,316	$3,16 \cdot 10^{-4}$	0,316
111	0,355	$3,55 \cdot 10^{-4}$	0,355
112	0,398	$3,98 \cdot 10^{-4}$	0,398
113	0,447	$4,47 \cdot 10^{-4}$	0,447
114	0,501	$5,01 \cdot 10^{-4}$	0,501
115	0,562	$5,62 \cdot 10^{-4}$	0,562
116	0,631	$6,31 \cdot 10^{-4}$	0,631
117	0,707	$7,07 \cdot 10^{-4}$	0,707
118	0,794	$7,94 \cdot 10^{-4}$	0,794
119	0,891	$8,91 \cdot 10^{-4}$	0,891
120	1	$1,00 \cdot 10^{-3}$	1
130	3,162	$3,16 \cdot 10^{-3}$	3,162
140	10	$1,00 \cdot 10^{-2}$	10
150	31,6	$3,16 \cdot 10^{-2}$	31,6
160	100	0,1	100

Vibrácie, s ktorými sa najčastejšie stretávame, majú spravidla náhodný charakter a sú zložené z mnohých kmitočtových zložiek. Náhodné vibrácie sa vyjadrujú buď v tvare spektra znázorňujúceho závislosť veľkosti vibrácií na kmitočte, alebo efektívnou hodnotou vibrácií vo vnútri stanoveného pásma kmitočtov. Spektrum vibrácií môže byť čisto spojité alebo kombinované s časovým spektrom. Veľkosť náhodných vibrácií popisuje **spektrálna výkonová** (v prípade rázov – **spektrálna energetická**) **hustota**, ktorá sa vždy vzťahuje na určitú šírku frekvenčného pásma. Presnosť vzájomného prepočtu spektier vibrácií závisí na zvolenej šírke frekvenčného pásma.

3.1 Vplyv vibrácií na človeka

Nebezpečie spočíva hlavne v skutočnosti, že ľudský organizmus prakticky nemá proti pôsobeniu vibrácií a hluku výraznejšie obranné mechanizmy.

Na človeka sa intenzívne vibrácie prenášajú najčastejšie z kmitajúcich častí rôznych strojov a zariadení, ručného náradia, dopravných prostriedkov, sedadiel, pracovných plošín atď. S vibráciami ľudského organizmu sa ale stretávame nielen pri pracovnej činnosti. Nezanedbateľné sú i celkové vibrácie a rázy v budovách. Okrem zdrojov vibrácií, ktoré sa nachádzajú priamo v budove, sú závažné i vibrácie z prevádzky po priľahlých komunikáciách, povrchových lomoch, blízkych priemyselných závodov atď.

Človek vníma mechanické vibrácie pomocou sústavy, ktorá zaisťuje celkovú psychosomatickú citlivosť. Tá je ovplyvnená celou radou faktorov. Jedná sa o komplexný fyziologický a psychologický vnem sprostredkovaný veľkým počtom rôznych receptorov. Dané vzruchy sa prenášajú centrálnou nervovou sústavou do mozgu, kde sa integrujú a kde tiež vzniká subjektívny vnem daný pôsobením vibrácií. Veľkosť subjektívneho vnemu je určený nielen kmitočtom ale i rýchlosťou kmitavého pohybu.

3.2 Štrukturálne tlmenie

Dynamické odozvy a charakteristiky akustických prenosov štruktúr sú určené v podstate tromi parametrami:

- vlastnými frekvenciami
- tvarmi kmitov
- modálnym tlmením

Tlmenie spôsobuje disipáciu energie systému, alebo spôsobuje premenu mechanickej energie pri vibráciách štruktúry na iné formy energie (hlavne tepelnú). Pritom tento dej je nevratný.

Tlmenie u rôznych materiálov sa mení v pomerne širokých medziach. Pre väčšinu kovových materiálov je materiálové tlmenie menšie než sú tlmenia spojované s inými mechanikami ako je trenie u stavebných systémov apod.

Zvýšenie vnútorného tlmenia materiálu má za následok:

- rýchlejší zánik voľných kmitov
- zníženie amplitúd vibrácií v rezonancii
- zníženie hodnoty nárastu vibrácií a tým i hluku pri prechode rezonančných oblastí

3.2.1 Činiteľ vnútorného tlmenia

Tlmiace vlastnosti vrstevnatých sústav sa najčastejšie prezentujú tzv. činiteľom vnútorného tlmenia η . Je definovaný vzťahom:

$$\eta = \frac{I_q}{I} = \frac{E_{dis}}{2\pi E_{celk}} = \frac{E_{Im}}{E_{Re}}$$

kde sú:

I_q, I (W/m^2) – intenzity chvenia štruktúry premenenej na teplo a celková intenzita chvenia

E_{dis}, E_{celk} – disipovaná energia a celková energia systému v priebehu jedného cyklu

E_{Re}, E_{Im} – reálna a imaginárna časť dynamického modulu pružnosti v ťahu materiálu

Pre komplexný modul pružnosti platí vzťah

$$E = E_{Re} + j \cdot E_{Im} = E_{Re} (1 + j \cdot \eta)$$

3.3 Využitie charakteristických vlastností polymérov

Polyméry tvoria technicky veľmi významnú skupinu materiálov, ktoré sa stávajú v mnohých smeroch nepostradateľnými a nenahraditeľnými materiálmi pre celú radu technických a vedeckých projektov, ktoré vyžadujú konstrukčné materiály špeciálnych vlastností so špecifickými technickými parametrami. V porovnaní s kovmi majú nízku

hustotu, nevyžadujú povrchové úpravy, sú odolné proti korózií, majú nízku tepelnú a elektrickú vodivosť a niektoré je možné recyklovať. Z hľadiska znižovania hluku a vibrácií sa javia pozitívne ich viskoelastické vlastnosti, ktoré sa prejavujú tlmiacimi účinkami pri prenose chvenia konštrukcií a na vyžarovanie zvukovej energie kmitajúcimi povrchmi do okolitého prostredia.

Z chemického hľadiska je polymér makromolekula, v ktorej sú pospájané chemickými väzbami jednoduché chemické jednotky v reťazci. Druh primárnych väzieb v polyméri ovplyvňuje pevnosť a ohybnosť polymérneho reťazca a jeho tepelnú stabilitu. Tvar reťazca polymérov sa behom času mení. Zmena konformácie je dej fyzikálny – nedochádza k žiadnym chemickým premenám a porušovaniu väzieb. Rýchlosť konformačných premien závisí na teplote a dobe pozorovania.

Vlastnosti polymérov sú v širokom rozsahu závislé na rade faktorov, predovšetkým však na štruktúre, chemickom zložení, molárnej hmotnosti, konfigurácií a konformácií. Ďalej do značnej miery závisia na teplote, spôsobe výroby a obsahu a druhu prímiesí, nimi ide modifikovať základné polyméry. Polyméry sa môžu vyskytovať v rôznych fyzikálnych stavoch – kryštalickom, sklovitom, kaučukovitom a plastickom. Medzi jednotlivými stavmi existujú tzv. izofázové prechody charakterizované teplotou skelného prechodu, teplotou topenia a teplotou tečenia. V rôznych teplotných fázach má polymér rôzne mechanické vlastnosti, napr. modul pružnosti. Polyméry, ktoré sú kaučukovitého charakteru sa označujú ako pryže, tie ktoré namajú kaučukovitý charakter ako plasty.

Viskoelastické správanie polymérnych látok je dôležitým predpokladom ich použitia na výrobu materiálov a prostriedkov k znižovaniu hluku a vibrácií. Pri šírení zvukovej vlny je polymérna látka vystavená sinusove premenným deformáciách. Viskoelastické správanie polymérnych látok pri dynamickom namáhaní sa matematicky najľahšie vyjadruje zavedením komplexných dynamických veličín.

Komplexná dynamická poddajnosť

$$J^* = J'(\omega) - jJ''(\omega) e^{j\delta}$$

Komplexný dynamický modul

$$G^* = G'(\omega) + jG''(\omega) = G_d(\omega) e^{j\delta}$$

$$E^* = E'(\omega) + jE''(\omega) = E_d(\omega) e^{j\delta}$$

Dynamické veličiny sú u viskoelastických látok obecné funkciami kmitočtu G_d , G' s kmitočtom monotónne rastú, G'' , δ majú v závislosti na kmitočte jednu alebo viac maxim.

Pomer reálnej a imaginárnej zložky dynamických veličín predstavuje stratový činiteľ η

$$\eta = \tan \delta = E''/E' = \omega r,$$

kde r je retardačná doba vyjadrená vzťahom

$$r = \eta'/G'$$

Stratový činiteľ má podstatný vplyv na všetky druhy dynamického namáhania a jeho meranie je dôležitou súčasťou makro i mikroštruktúrálného výskumu materiálov. [2]

4 HLUK AKO DOPROVODNÝ JAV DOPRAVY

Dopravné systémy stále vo väčšej miere zaťažujú svoje okolie nielen splodinami z agregátov, prachom a pod., ale tiež dopravným hlukom.

Jedným z elementov dopravného hluku na rychlostných dopravných systémoch je hluk vznikajúci pri kontakte pneumatiky a povrchu cesty.

Veľkosť hluku je závislá na rýchlosti vozidla, na vyriešení hlukového spektra pneumatiky pri ich konštrukcii a tvaru, vlastnostiach dezénu a fyzikálnych vlastnostiach pryže behúňov. Ďalším z fenoménov je tiež zaťaženie pneumatiky, stupeň opotrebenia dezénu atď..

Najrozšírenejším a súčasne najrušivejším hlukom v sídelných aglomeráciách je hluk z dopravy. Hluk v denných hodinách vo veľkých mestách vykazuje výrazne kontinuálny charakter bez fenoménu tzv. dopravnej špičky. Hladiny hluku neustále narastajú a dosahujú hodnoty hladín hluku v priemysle. Hluk vozidel cestnej dopravy je spôsobený energetickým zdrojom, t. j. motorom, odvaľovaním kolies po podložke a prúdením vzduchu okolo vozidla i cez chladiaci a ventilačný systém vozidla. K nemu pristupuje ďalší intervalovo sa vyskytujúci šum. Štruktúra a hustota cestnej premávky, hustota osídlenia aj stupeň urbanizácie sú dôležité faktory ovplyvňujúce hladinu hluku. Hluk automobilov, meraný vo vzdialenosti 7,5 m od zdroja, predstavuje pri osobnom automobile 79 dB, pri autobuse 84 dB a nákladnom automobile 91 dB. Pri rýchlosti vozidla zvýšenej na dvojnásobok sa zvyšuje hluk o 8-10 dB. Výsledný hluk závisí aj od ďalších technických parametrov vozidla, stavu vozovky a spôsobu jazdy.

4.1 Dopravný hluk

Všeobecne najzávažnejším a územne najrozšírenejším zdrojom akustickej energie, ktorý ovplyvňuje kvality akustickej situácie vo vonkajšom prostredí, je pozemná doprava.

Najčastejším zdrojom akustickej energie v akustickom exteriéri sú cestné motorové vozidlá. Celý súbor počiatočných a obmedzujúcich podmienok riešenia urbanistickej akustiky je určený dvoma základnými triedami:

- spôsobom prevozu, ktorý určuje emisné akustické parametre zdrojov (vozidiel)
- urbanisticko-morfologickou situáciou

Hladiny akustického tlaku vyvolané cestnou premávkou sú závislé na celkovej úrovni cestnej premávky na sledovanej komunikácii, tak i na determinovaných podmienkach cestnej premávky na komunikácii v bezprostrednom okolí miesta pozorovania. Z toho vyplýva, že celkový algoritmus pre stanovenie hluku cestnej premávky by mal byť zohľadňovaný buď explicitne, alebo implicitne.

4.2 Metodiky pre výpočet hluku z dopravy

4.2.1 Podzemná doprava

Postupy pre výpočet hluku z podzemnej dopravy sa v legislatívne kodifikovanej podobe používajú v Českej republike od roku 1977. Je založená na výpočte hodnôt L_{Aeq} v referenčnej vzdialenosti od dopravnej cesty a na následnom použití korekcií.

Poslednou legislatívne platnou verziou pre výpočet hluku z pozemnej dopravy sú Metodické pokyny pre výpočet hladín hluku z dopravy, ktoré obsahujú samostatné výpočtové postupy pre výpočet hluku z dopravy cestnej, železničnej, trolejbusovej a z prevádzky na parkovacích a odstavných plochách pre osobnú dopravu.

Od roku 1996 sú pre oblasť výpočtu hluku z cestnej dopravy používané novelizované postupy.

4.2.1.1 Výpočet hluku z cestnej dopravy

Celkový postup výpočtu L_{Aeq} cestnej dopravy ide poplat' základnými krokmi:

1. Zadanie vstupných výpočtových parametrov
2. Výpočet L_{Aeq} pre základnú dopravno-urbanistickú situáciu
3. Zohľadnenie obmedzujúcich podmienok riešenia úlohy
4. Výpočet výslednej hodnoty L_{Aeq}

Vstupnými parametrami pre výpočet hladiny hluku z cestnej dopravy sú:

- priemerný počet vozidiel, ktoré prejdú daným profilom komunikácie za 1 hodinu
- podiel nákladných vozidel a autobusov v dopravnom prúde
- výpočtové obdobie
- výpočtová rychlosť
- druh krytu vozovky
- výška posudzovaného bodu nad terénom

Za ďalšie parametre dôležité pre výpočet L_{Aeq} považujeme údaje charakterizujúce urbanistickú situáciu v území. Týmito údajmi sú: lokalizácia a druh zástavby, charakteristika terénu, topografia riešeného miesta, výskyt a lokalizácia zelene atď.

K vyjadreniu špecifických dopravno-urbanistických vlastností slúži korekcia.

4.2.1.2 Výpočet hluku železničnej dopravy

Pre zisťovanie vplyvu železničnej prevádzky na akustické kvality vonkajšieho prostredia sa rozlišujú štyri hlavné druhy generovania akustickej energie:

- jazda vlaku po širšej trati
- činnosť rozhlasových zariadení pre informáciu zamestnancov a verejnosti
- prevádzka na železničných staniach
- prevádzka skúšobien naftových motorov a lokomotiv

Metodicky je spôsob výpočtu L_{Aeq} pre jazdu vlaku po šírej trati na rovnakom princípe ako výpočet cestnej dopravy.

4.2.1.3 Výpočet hluku trolejbusovej dopravy

Základné parametre, ktoré vstupujú do výpočtu L_{Aeq} trolejbusovej dopravy sú:

- druh krytu vozovky
- rýchlosť jazdy trolejbusov v posudzovanej úseku
- priemerná hodinová intenzita trolejbusovej prevádzky

4.2.2 Hluk leteckej prevádzky

Výpočet hluku leteckej prevádzky v okolí letísk je založený na matematických modeloch pohybu lietadiel. Na ich základe sú potom vytvorené počítačové programy, ich aplikáciou je možné získať hlukovú záťaž v okolí letísk vo forme izobar rovnakých hladín.

V Českej republike je základnou metodikou pre výpočet hluku leteckej prevádzky smernica č. 44 k vyhláške MZd ČSR č. 13/1977 Zb.

4.2.3 Meranie dopravného hluku

Zdroj hluku spôsobený dopravou je najviac rozšíreným zdrojom v komunálnom prostredí a zaťažuje najväčšiu časť populácie.

Dopravný hluk delíme na hluk z dopravy:

- podzemnej – cestná, železničná
- leteckej
- vodnej

V súčasnej dobe je najviac rozšírená metodika merania hluku cestnej a leteckej dopravy, lebo je najvýznamnejším zdrojom hluku.

4.2.3.1 Meranie hluku pozemnej dopravy

a) meranie hluku cestnej prevádzky

Meracie postupy a poznatky z merania hluku cestnej dopravy boli zjednotené do metodiky, ktorá bola vydaná Ministerstvom životného prostredia ČR. Postupy obsiahnuté v metodike merania hluku cestnej dopravy sú vhodné pre hodnotenie súčasnej akustickej situácie v okolí komunikácií, pre tvorbu meraných hlukových máp automobilovej dopravy i pre posudzovanie hlukovej situácie jednotlivých objektov rôzneho určenia.

Cieľ merania

Cieľom merania hluku cestnej dopravy je kvantifikovať skutočný vplyv (podiel) cestnej dopravy na akustickú situáciu v danej lokalite. Tieto informácie slúžia predovšetkým pre :

- hodnotenie súčasnej situácie,
- urbanistické riešenie území,
- projektovanie zmien významu a kategórie dopravnej trasy,
- navrhovanie protihlukových opatrení (technických, stavebných, organizačných),
- hodnotenie realizovaných protihlukových opatrení.

Pri meraní je preferovaná vzdialenosť 7,5 m od osi najbližšieho jazdného pruhu komunikácie, pokiaľ cieľ meraní neurčí inak. Nameraná hladina akustického tlaku v referenčnej vzdialenosti 7,5 m je zdrojovou hladinou hluku charakteristickou pre meraný úsek komunikácie.

Určenie presnosti meraní v komunálnom prostredí predstavuje značný problém. Presnosť je ovplyvnená radom faktorov, najmä dobou merania, intenzitou prevozu na meranej komunikácii, intenzitou a charakterom ostatných zdrojov hluku v území, klimatickými podmienkami pri meraniach a triedou presnosti použitých meracích prístrojov.

Z nameraných hodnôt možno zistiť **akustické údaje**. Ekvivalentná hladina akustického tlaku A je základným údajom a je uvádzaná v dB. Medzi **neakustické údaje** patria :

Topografické údaje - poloha mikrofónu, presný popis meracieho miesta, popis komunikácie

Dopravné údaje – intenzita dopravy v priebehu merania, priemerná rýchlosť dopravného prúdu

Klimatické údaje – o teplote vzduchu, o rýchlosti vetra, doplňujúci údaj o barometrickom tlaku a popis počasia

Dopravné inžinierske údaje – popis komunikácie (sklon, druh, kvalita povrchu vozovky), výsledky sčítania dopravy, rýchlosť vozidiel

b) meranie hluku železničnej prevádzky

Ide použiť zrovnateľné meracie postupy ako pri meraní hluku z cestnej dopravy s ohľadom na cieľ a účel. Na rozdiel od hluku z cestnej dopravy má hluk z prevádzky na železnici odlišný charakter.

Pri meraní je preferovaná vzdialenosť 7,5 m, prípadne vzdialenosť 25 m od osi najbližšej koľaje, pokiaľ cieľ merania neurčí inak. Nameraná hladina akustického tlaku v referenčnej vzdialenosti 7,5 m je zdrojovou hladinou hluku charakteristickou pre meraný úsek železničnej trati.

Akustické údaje – zhodné, respektívne obdobné ako u merania cestného hluku

Neakustické údaje – patria sem:

Topografické údaje – presný popis meracieho miesta, poloha mikrofónu, popis tratí

Dopravné údaje – intenzita a skladba vlakov v priebehu merania, priemerná rýchlosť jednotlivých typov vlakov

Klimatické údaje – údaj o teplote vzduchu, rýchlosť vetra, údaj o barometrickom tlaku a popis počasia

c) meranie hluku leteckej prevádzky

Hluk leteckej prevádzky je jedným z dominantných a špecifických druhov hluku v komunálnom prostredí.

Letecký hluk je emitovaný predovšetkým:

1. Preletmi lietadiel – hluk zasahuje širšie okolie letísk, letových ciest atď.

2. Pohybom a prevádzkou lietadiel na letisku

Meranie leteckého hluku má dva základné cieľe:

- a) meranie hluku jednotlivého lietadla – získanie akustických charakteristik lietadla na zemi i za letu
- b) meranie hluku leteckej prevádzky

Cieľom merania hluku lietadiel v komunálnom prostredí je väčšinou kvantifikovať vplyv leteckej prevádzky na akustickú situáciu:

- pre stanovenie hlukovej záťaže územia z hľadiska rušenia hlukom
- pre kontrolu hlukových zón v okolí letísk
- ako podklad k územnému plánovaniu a rozhodovaniu

Akustické údaje – základnými údajmi sú L_{Aeq} a L_{Amax} udávané v dB.

Neakustické údaje:

Topografické údaje – presný popis meracieho miesta vrátane popisu okolia, poloha mikrofónu

Klimatické údaje – údaj o teplote vzduchu, rýchlosť i smer vetra, relatívna vlhkosť, údaj o barometrickom tlaku a popis počasia

Presnosť je ovplyvnená radou faktorov, najmä dobou merania, intenzitou a charakteru leteckej prevádzky, intenzitou a charakterom ostatných zdrojov hluku v území.

5 POŽIADAVKY NA ZVUKOVOIZOLAČNÉ VLASTNOSTI KONŠTRUKČNÝCH MATERIÁLOV

Schopnosť materiálu alebo konštrukcie pohlcovať zvuk je charakteristickým činiteľom zvukovej pohltivosti. Činiteľ zvukovej pohltivosti je vyjadrený ako pomer zvukovej energie W_a pohltenej plochou ku zvukovej energii W_i dopadajúcej na plochu.

5.1 Konštrukčné stavebné a porézne materiály

Konštrukčné stavebné materiály slúžia k zabezpečeniu zvýšenej pohltivosti priestoru. Je možné ich aplikovať ako pri riešení úpravy horizontálnych, tak i vertikálnych konštrukcií alebo v konštrukčnom prvku (kmitajúce dosky, rezonátory apod.).

5.2 Materiály pre úpravu stien

Materiály pre úpravu stien ide rozdeliť do nasledujúcich skupín.

- výrobky z dreva
- keramické a betónové výrobky
- výrobky v kombinácií kovu a lisovaných dosiek
- výrobky z lisovaných minerálnych dosiek

5.2.1 Výrobky z dreva

Drevené výrobky a používajú so zníženým stupňom horľavosti. Najčastejšie nachádzajú uplatnenie v konštrukčnom prvku. Aplikácia týchto výrobkov je vhodná v malých, akustických náročných priestoroch (nahrávacie centrá).

5.2.2 Keramické a betónové výrobky

V skupine keramických a betónových výrobkov sú zaradené prvky, ktoré ide aplikovať mokrým procesom buď v priebehu stavby, alebo pri komplexnej rekonštrukcii priestoru. Akustické vlastnosti (súčinitele pohltivosti) sa zabezpečujú poréznosťou materiálu.

5.2.3 Výrobky z kovu a lisovaných dosiek

Najčastejšie sa používajú v technologických priestoroch pre zníženie hladiny hluku. Tieto výrobky majú spravidla vyššiu požiarňú odolnosť, zníženie potreby na údržbu a odolnosť proti agresívnemu prostrediu.

5.2.4 Výrobky z lisovaných dosiek

V súčasnosti sú najčastejšie používanými materiálmi v univerzálnej aplikácii pre takmer všetky druhy priestoru. Sú vysoko odolné proti pôsobeniu požiaru, agresívnemu prostrediu a mikroorganizmov. Ich nevýhodou je obmedzená mechanická odolnosť a cena. Používajú sa na obklady stavebných konštrukcií.

5.2.5 Výrobky z penových materiálov

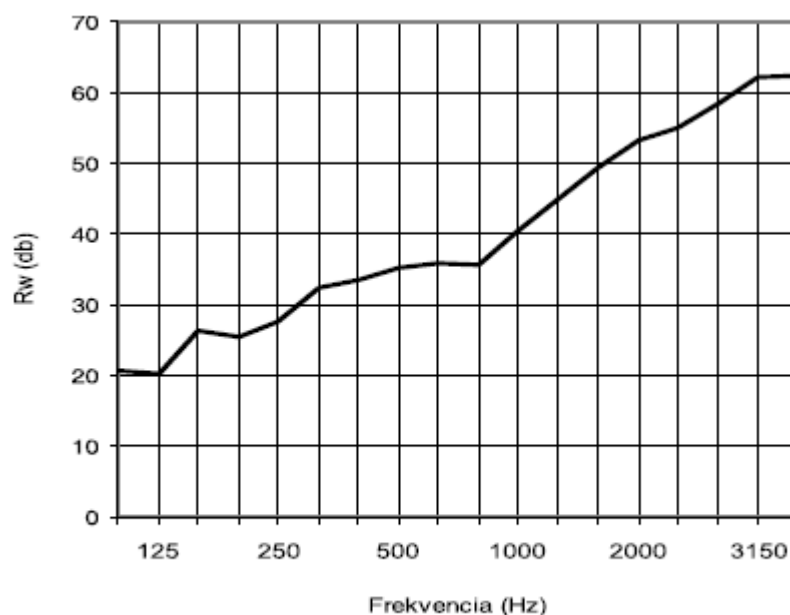
Výrobky z penových materiálov sa uplatňujú ako zvukovo pohltivé hmoty na konštrukciu stien a stropov.

5.2.6 Výrobky na úpravu stien, krytov a potrubí

Výrobky, ktoré spĺňajú požiadavky na zlepšenie zvukovo izolačných vlastností stien, krytov a potrubí, sú vyrobené z vláknitých materiálov.

Sendvičový akustický panel – bol vyvinutý špeciálne pre použitie ako prvok zabezpečujúci svojou nepriezvučnosťou a pohltivosťou zníženie hluku rôznych strojov a

zariadení. Používa sa na výrobu deliacich priečok, ako výplň do protihlukových stien, na výrobu akustických krytov, zásten a pod. Konštrukcia panelu vyrobená z povrchovo upravených komponentov umožňuje jeho použitie i vo vonkajšom prostredí pri dlhodobom zachovaní akustických a statických vlastností panelu. Vzájomné spájanie panelov pomocou rýchloúpinacích zámkov umožňuje realizáciu protihlukových krytov aj na zariadenia vyžadujúce si častejšiu údržbu a teda i potrebu rýchlej a pohodlnej montáže a demontáže krytu. Hrúbka panelu je 77 mm, veľkosť panelu je závislá od celkovej konštrukcie krytu a od nosnej konštrukcie. [1]



Obr. 3. Frekvenčný priebeh vzduchovej nepriezvučnosti

6 PROTIHLUKOVÉ STENY

Jedným z akútnych problémov z hľadiska ochrany životného prostredia je nárast hladiny hluku. Hluk narastá nielen v obytných a priemyselných zónach, ale predovšetkým v okolí dopravných ťahov s automobilovou a železničnou dopravou. Tieto škodlivé akustické vplyvy, ktoré pôsobia na človeka, možno redukovať správnym navrhnutím protihlukových opatrení v podobe protihlukových clôn.

Protihlukové clony, okrem svojej primárnej funkcie ochrany životného prostredia, sekundárne pomáhajú formovať priestor, v ktorom sú osadené. Medzi protihlukové clony patria aj protihlukové steny (PHS).

V súčasnej dobe je hlukové oddelovanie uskutočňované najmä umelými nie prírodnými valmi, porastami a v poslednej dobe protihlukovými stenami, ktoré sú ekonomicky, architektonicky a priestorovo výhodné.

K ďalším výhodám patria:

- vysoká schopnosť absorpcie hluku
- rýchlosť a jednoduchosť montáže bez ohľadu na členitosť terénu
- vysoká trvanlivosť proti poveternostným vplyvom, soli, vode, námraze a hnilobe
- ľahká výmena poškodených častí panelu
- variabilita farebných náterov, prípadne farebných vzorov
- možnosť kombinácie profilov, vytváranie obrazcov a tvarov

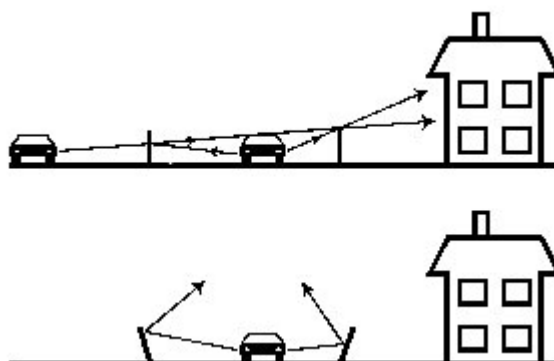
Najčastejším zdrojom vonkajšieho hluku je hluk z dopravy. Spôsob ochrany proti hluku si vyžaduje komplexné a kvalitné riešenie v projektovej dokumentácii – hlukovej štúdiu, ktoré bude špecifické pre dané územie. Projektová dokumentácia musí spĺňať kritériá hlukovej ochrany, preto treba pri navrhovaní riešenia vychádzať z hlukovej štúdie. Výstupom hlukovej štúdie je hluková mapa, v ktorej sa izofónami znázorňuje pôsobenie hluku v riešenom území. Jedným z opatrení, ako dodržať povolené limity hladín hluku, je budovanie protihlukových stien. Rozsah a parametre týchto stien vyplývajú z výpočtov hlukovej štúdie. Z hľadiska hluku sa v praxi používajú dva typy protihlukových stien:

- odrazivé,
- pohltivé

6.1 Odrazivé protihlukové steny

Pri odrazivých materiáloch sledujeme ich nepriezvučnosť a pri pohltivých ich pohltivosť, resp. kategóriu zvukovej pohltivosti a vzduchovej nepriezvučnosti.

Pri odrazivej stene dochádza k odrazu hluku a jeho ďalšiemu šíreniu do priestoru. Odrazený hluk je hluk vychádzajúci z imaginárneho zdroja, umiestneného v tej istej vzdialenosti od steny ako zdroj, ale na opačnej strane komunikácie. Aj keď sa imaginárny zdroj nachádza ďalej od príjemcu ako skutočný zdroj, treba s ním počítať a overiť potrebu tienenia imaginárneho zdroja hluku. Pri vysokých vozidlách vznikajú odrazy hluku medzi objektmi vozidiel a súbežnou stenou, pričom ich môžu redukovať akustické vlastnosti steny. Zníženie akustických vlastností reflexnej steny pri prejazde akéhokoľvek vozidla pozdĺž nej výrazne ovplyvňuje nárast špičkových hladín hluku (vzdialenosť medzi vozidlom a stenou nerozhoduje), na ktoré je však ekvivalentná hladina hluku L_{Aeq} citlivá. Obnovenie akustických vlastností steny dosiahneme použitím vrstvy absorbujúcej hluk, a to aj v takom prípade, ak je objekt vozidla vyšší ako stena.



Obr.4. Model steny pre odrazený zvuk

6.2 Steny s pohltivou úpravou

V súčasnosti je trendom v čo najväčšej miere používať protihlukové steny s pohltivou úpravou, ktorá absorbuje zvuk čo najbližšie od zdroja hluku. Najmä v mestách sa vyžaduje hluk minimalizovať, a nie odrážať ho ďalej do priestoru. Existujú dve hlavné skupiny mechanizmov absorpcie zvuku, ktoré sa využívajú pri stenách pohlcujúcich hluk. Väčšina

absorpčných stien má permeabilnú vrstvu materiálu, ktorá čelí dopadajúcemu hluku. Prietokový odpor pórovitého materiálu spôsobuje, že akustická energia zvukových vln sa rozptyľuje vo vnútri materiálu a nakoniec sa transformuje na tepelnú energiu. Hovoríme o sendvičových skladaných výplňových paneloch. Mechanizmus druhej skupiny je založený na princípe Helmholtzovho rezonátora, keď dopadajúca zvuková vlna vstupuje do série dutín v stene cez malé diery alebo úzke otvory, kde je absorbovaná. Najsilnejšie pohltivé materiály, ako napríklad minerálna vlna, sú chránené a uzavreté v obale (puzdre), ktorého plocha vystavená zvuku je perforovaná. Tieto puzdrá môžu byť vyrobené z dreva, ocele, hliníka, keramiky alebo recyklovaného plastu.



Obr. 5. Clona s absorpčným materiálom

Celkové vlastnosti vertikálnej steny sa všeobecne riadia rozptylom zvuku na jej hornom okraji. Tieto vlastnosti možno vylepšiť prídavnými zariadeniami. V súčasnosti sú na trhu dostupné viaceré vhodné riešenia prídavných zariadení na zníženie hluku z cestnej dopravy. Účinok zariadenia primárne závisí od difraktovanej (rozplývanej) energie.

Vo všeobecnosti zahŕňajú zvukovo absorbujúce prvky, ako napr.:

- steny s mnohonásobnými difrakčnými okrajmi,
- fázovo interferenčné zariadenia (napr. oktagonálny redukovač),
- žiarovkovo-hubové (hruškovité) formy,
- steny v tvare Y, T,
- valcové hlavice.

Účinnosť steny závisí od konštrukčných prvkov, materiálu, ako aj od efektívnej výšky, dĺžky a umiestnenia steny v teréne. Čím je zdroj od príjemcu menej viditeľný (uhol krytia), čím vyššia je tzv. efektívna výška prekážky a čím hlbšie v oblasti zvukového tieňa sa posudzované miesto nachádza, tým rastie účinnosť steny.

Vo voľnej krajine možno použiť ochranu zemným valom. Zemné valy je vhodné navrhovať ako protihlukovú ochranu v prípade, ak možno využiť prebytočný materiál pri stavbe cestnej komunikácie. Vyžadujú však väčší priestor – záber pozemku, ako aj steny, avšak na druhej strane majú nižšie náklady na údržbu, ich životnosť nie je limitovaná a po vysadení vegetácie sa dobre adaptujú v prostredí.

6.3 Konštrukcia

Protihlukovú stenu tvoria základy, nosné a výplňové prvky. Murované výplne z tehál a tvárnic alebo bloky sú osadené medzi stĺpiky rôznych profilov a materiálu a dimenzujú sa v statickom výpočte.

Podľa použitého výplňového materiálu ďalej rozlišujeme protihlukové steny:

- betónové, železobetónové,
- kovové, kovové s plášťom z profilovaných plechov,
- hliníkové,
- murované z tehál a tvárnic,
- z priehľadného materiálu (bezpečnostné sklo, akryláty, polykarbonáty a pod.),
- z nepriehľadných recyklovaných plastov s pohltivou vložkou,
- celodrevené s pohltivou vložkou, cementotrieskové,
- celozelené alebo čiastočne zazelenené,
- z iných materiálov.

6.4 Funkčnosť a bezpečnosť

Pri navrhovaní PHS treba klásť dôraz najmä na ich funkčnosť a bezpečnosť. Stáva sa, že pri nesprávnom návrhu alebo realizácii vznikajú nedostatky, ktoré aj pri použití vhodného materiálu s dobrými vlastnosťami môžu značne ovplyvniť a znížiť požadovanú kvalitu a parametre navrhovanej steny. Sú to škáry, nedostatočne utesnené spoje zvislých konštrukčných prvkov – stĺpov s výplňovým materiálom PHS alebo styky daného podkladu s výplňou steny. Protihlukové steny musia rešpektovať požiadavky bezpečnej premávky na cestných komunikáciách, ako je bezpečnosť pri náraze vozidiel, dynamické zaťaženie pri odpratávaní snehu a pod. Ďalšou podmienkou je dostatočná stabilita, tvarová a rozmerová stálosť, odolnosť proti deformáciám, nárazom kameňov, opotrebovaniu a

starnutiu.

Ich farebnosť by mala byť stála, odolná proti poveternostným vplyvom, emisiám produkovaných motorovými vozidlami a proti posypom, ktoré sa používajú pri zimnej údržbe ciest. Jednoduchá údržba je jedným z významných faktorov pri výbere materiálov a konštrukcií.

Rozlišujeme tri základné polohy umiestnenia PHS:

- v extraviláne, na otvorených priestranstvách – na vidieku,
- v intraviláne, v mestách a obciach v priamom styku s obyvateľstvom,
- na hranici intravilánu a extravilánu, na výjazdoch z miest a obcí a medzi obcami v husto osídlených oblastiach

6.5 Extravilán

Na otvorených priestranstvách, kde cestné komunikácie pretínajú krajinu, sa konštrukciami a materiálovým riešením treba prispôbiť okolitej krajine. Vhodné sú prírodné materiály v kombinácii so zeleňou, ktoré nepôsobia rušivo, ale naopak, stávajú sa trvalou súčasťou krajiny. V miestach, kde vo vedení PHS prevláda línia, je dôležité vyhnúť sa rovnováhe v osi symetrie, ktorá na vodiča pôsobí monotónne a únavne. Významným faktorom je aj rýchlosť pohybu úmerná dĺžke vnímania. V takomto prípade je vhodné uskutočniť zmenu každých 150 až 300 metrov, využiť rytmus, gradáciu, prípadne akcent, či už zmenou materiálu, alebo farbou. PHS tak možno vnímať ako celok, ktorý pôsobí dynamicky a udržuje aktívnu pozornosť vodiča.

Použitie rytmu a gradácie s vyústením do akcentu má nielen estetický, ale aj funkčný charakter. Upozorňuje na zmenu smeru, odbočenie, spomalenie rýchlosti či na líniovú prekážku.

Farby v prípade umiestnenia PHS na rýchlostných komunikáciách alebo diaľniciach by nemali byť sýte a výrazné, ale jemnejšie v studených odtieňoch, ktoré pôsobenie steny potlačia. Dôležitým pravidlom pri návrhu PHS je, aby vodič nebol zbytočne rozptyľovaný, najmä počas dlhej a náročnej jazdy.

6.6 Intravilán

V mestách a obciach v priamom styku s obyvateľstvom, kde sa protihluková stena stáva súčasťou mestského prostredia a dotvára ho, sa pri návrhu PHS kladie dôraz na kritériá hlukovej ochrany. V intraviláne sa preto tvorba PHS orientuje na pohltivé materiály. Tieto materiály musia spĺňať hodnoty vzduchovej nepriezvučnosti a zvukovej pohltivosti, pričom hluková štúdia presne udáva výšky v jednotlivých úsekoch PHS. Pri návrhu tak nemožno využiť rôznorodé materiály a estetické hľadisko sa redukuje iba na farebné riešenie. Stáva sa, že investor definuje len určitého dodávateľa materiálu a typ výrobku, výsledkom čoho je z estetického hľadiska nie vždy najvhodnejšia realizácia PHS. V mestskom prostredí sa uprednostňujú živé farby, najmä v rôznych odtieňoch žltej, červenej, oranžovej, modrej a zelenej, ktoré podnecujú, aktivizujú vnemy a korešpondujú so životom v meste, s jeho dynamikou, výškou budov a ich farebnosťou. V mestskom prostredí je návrh PHS z hľadiska funkčnosti náročnejší, keďže cestné komunikácie tvoria mimoúrovňové križovania, mosty, premostenia alebo estakády. Zo statického hľadiska nie je vždy žiaduce zvyšovať zaťaženie z pôsobenia bariérových PHS, napr. na mostných objektoch a estakádach. Preto sa ustupuje od použitia ťažkých, stenových pohltivých materiálov a hľadajú sa iné materiálové a tvarové riešenia. Aby tieto steny pri použití pohltivých materiálov nepôsobili ťažkopádne a bariérové, pristupuje sa (ak to dovoľuje hluková štúdia) k riešeniu PHS kombináciou odrazivých a pohltivých materiálov alebo sa použijú len odrazivé materiály. Tie sú konštrukčne aj hmotovo jednoduchším riešením, sú subtilnejšie a v prostredí pôsobia vzdušnejšie. Konštrukcie tvoria klasické oceľové stĺpiky s výplňou z priehľadných materiálov, na ktoré sa najčastejšie používajú polymetylmakrylátové (PMMA) dosky. Je to materiál, ktorý spĺňa požiadavky vzduchovej nepriezvučnosti, je odolný proti UV žiareniu, nárazom kameňov, zaťaženiu vetrom, je tvarovo stály a patrí do triedy ťažko horľavých materiálov. Kvôli ochrane naletujúceho vtáctva sa vyrábajú v rôznych farebných odtieňoch, prípadne s pruhmi na povrchu alebo so zaliatymi pružnými vláknami. Pri použití odrazivých materiálov sa farebné riešenie sústreďuje na zvislé nosné prvky, ktoré tvoria oceľové stĺpiky, a na ich farebné a tvarové vyhotovenie.

6.7 Na hranici

V okrajových častiach miest a obcí – na ich výjazdoch – sa využívajú kombinácie dvoch predchádzajúcich princípov, tak z hľadiska psychologického pôsobenia, ako aj z hľadiska materiálového a konštrukčného riešenia. Väčšinou sa územia s prevládajúcou funkciou bývania striedajú s priemyselnými a výrobnými areálmi, kde PHS tvoria hranicu medzi jednotlivými funkciami. Toto rozhranie dopĺňajú vegetačné celozelené alebo čiastočne zazelenené steny, preto pri návrhu zohráva zeleň významnú funkciu. Na vegetačných protihlukových bariérach pomáha vytvárať pohltivú zložku konštrukcie. Pri iných typoch stien je dotvorením, ktoré výrazne prispieva k začleneniu technického diela do prostredia.

Na slovenský trh sa v súčasnosti dostávajú nové certifikované materiály, ktoré svojimi parametrami spĺňajú nielen funkčné a bezpečnostné hľadiská, ale vďaka materiálovému a farebnému riešeniu rozširujú možnosti pri tvorbe protihlukových stien. [4]

6.8 Zhrnutie

Cieľom teoretickej časti tejto štúdie bolo zoznámenie sa s problematikou hluku, jeho vplyvmi na ľudský organizmus, preštudovanie teórie konštrukčných materiálov, ich zvukovoizolačných vlastností, z ktorých pozostávajú protihlukové steny. Vďaka získaným poznatkom je našim cieľom navrhnúť niekoľko spôsobov riešení, ktoré budú možné sledovať zvukovú pohltivosť pri uskutočňovaní merania. V súčasnej dobe sa protihlukové steny používajú k oddeľovaniu hluku, predovšetkým pre svoju ekonomickú výhodosť.

II. PRAKTICKÁ ČASŤ

7 STANOVENIE CIEĽOV V PRAKTICKEJ ČASTI

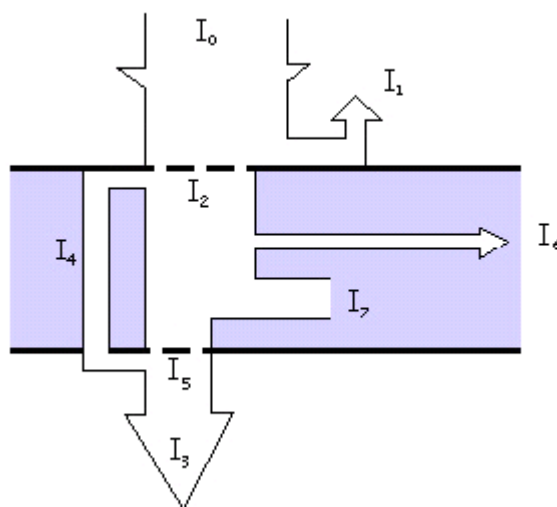
Cieľom tejto diplomovej práce je zistiť zvukovú pohltivosť u vybraných materiálov a konštrukčný návrh zvukovoizolačného panelu.

Meranie budem vykonávať na Kundtovej impedančnej trubici. Na vyhodnotenie bude slúžiť program Microsoft Excel.

8 MERANIE ZVUKOVEJ POHLTIVOSTI MATERIÁLOV

Nadmerný hluk ma negatívny vplyv na zdravie človeka, bezpečnosť a pod. Jedna z možností eliminácie nadmerného hluku spočíva v schopnosti niektorých materiálov a konštrukcií pohlcovať akustickú energiu a transformovať ju na tepelnú energiu. Pohltivosť zvuku je charakterizovaná činiteľom zvukovej pohltivosti, jej veľkosť plynie z energetickej bilancie, ktorá je znázornená na obr. 6. Pri dopade zvukovej vlny na nejakú prekážku (napr. povrch steny) sa časť zvukovej vlny odrazí a časť pohltí. Okrem toho môže ešte časť zvukovej vlny prejsť do priestoru za stenou. Akustický výkon dopadajúci na 1m^2 povrchu steny (tj. intenzita zvuku vlny dopadajúca na prekážku) I_0 sa rozdelí na nasledujúce zložky:

- I_1 – intenzita zvuku vlny odrazenej
- I_2 – intenzita zvuku vlny pohltenej
- I_3 – intenzita zvuku vlny vyžarenej za stenu celkom
- I_4 – intenzita zvuku vlny prejdenej za stenu otvormi a pórmí
- I_5 – intenzita zvuku vlny, ktorú stena vyžarí v dôsledku svojho ohybového kmitania do druhého polopriestora
- I_6 – intenzita zvuku vlny, ktorá je vedená vo forme chvenia do ostatných častí konštrukcií
- I_7 – intenzita zvuku premenená v stene na teplo



Obr. 6. Energetická bilancia pri dopade zvukovej vlny na stenu

Činitel' zvukovej pohltivosti α ako bezrozmerná veličina je definovaná pomerom:

$$\alpha = \frac{I_2}{I_0}$$

Zo zákona zachovania energie je zrejmé, že veľkosť činiteľa zvukovej pohltivosti leží v intervale $\alpha \in \langle 0, 1 \rangle$. Materiál, u ktorého dochádza k úplnému pohlteniu všetkej dopadajúcej akustickej energie, je charakterizovaný činiteľom zvukovej pohltivosti $\alpha = 1$. Ako najvhodnejšie materiály pre pohlcovanie zvuku sú všeobecne doporučované najmä materiály s poréznu alebo vlákniťou štruktúrou. Naopak v prípade dokonalého odrazu dopadajúceho akustického vlnenia od povrchu materiálu je tento materiál charakterizovaný činiteľom zvukovej pohltivosti $\alpha = 0$. Okrem druhu materiálu závisí veľkosť činiteľa zvukovej pohltivosti najmä na frekvencii dopadajúceho akustického vlnenia, ďalej na hrúbke materiálu, pórovitosti, teplote apod.

Činitel' zvukovej pohltivosti je definovaný pomerom intenzity zvuku vlny pohltenej v danom materiáli k intenzite zvuku dopadajúcej vlny na daný materiál.

Z energetickej bilancie ide ďalej definovať činitel' zvukovej odrazivosti β , činitel' zvukovej priezvučnosti τ a činitel' tepelnej premeny ε , ktoré sú definované rovnicami:

$$\beta = \frac{I_1}{I_0}$$

$$\tau = \frac{I_3}{I_0}$$

$$\varepsilon = \frac{I_7}{I_0}$$

Uvedené činitele zvuku sú bezrozmerné veličiny podobne ako činitel' zvukovej pohltivosti a ich veľkosť sa tiež môže teoreticky pohybovať od 0 do 1. Zo zákona zachovania energie musí platiť:

$$\alpha + \beta = 1$$

Súčet činiteľa zvukovej pohltivosti a činiteľa zvukovej odrazivosti je rovný 1.

8.1 Princípy metódy merania činiteľa zvukovej pohltivosti

Meranie činiteľa zvukovej pohltivosti sa realizuje na Kundtovej impedančnej trubici metódou prenosovej funkcie (vid' obr. 7) podľa normy ČSN ISO 10534-2. Na jednom konci trubice T je umiestnená skúmaná vzorka VZ, na druhom konci je umiestnený reproduktor R, ktorý je napájaný generátorom signálu GS. Signál je následne zosilovaný v zosilovači Z. Na trubici sú umiestnené dva mikrofóny M_1 a M_2 rovnakého druhu pre meranie akustických tlakov. Namerané veličiny sú použité pre ďalšie spracovanie v systéme kmitočtovej analýzy SKA. Činiteľ zvukovej pohltivosti pri kolmom dopade akustického vlnenia sa potom určí z rovnice:

$$\alpha = 1 - |r|^2 = 1 - r_r^2 - r_i^2,$$

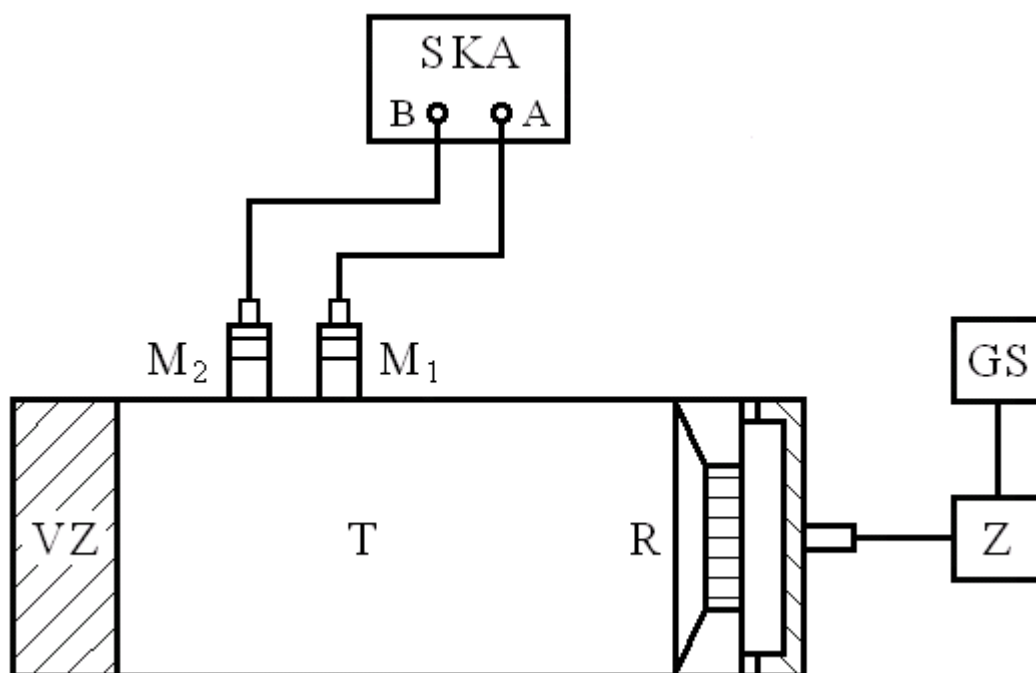
kde r je činiteľ odrazu akustického tlaku, r_r – reálna zložka činiteľa odrazu akustického tlaku, r_i – imaginárna zložka činiteľa odrazu akustického tlaku. Činiteľ odrazu akustického tlaku je daný rovnicou:

$$r = \frac{H_{12} - H_I}{H_R + H_{12}} * e^{2k_0 * x_1} * i,$$

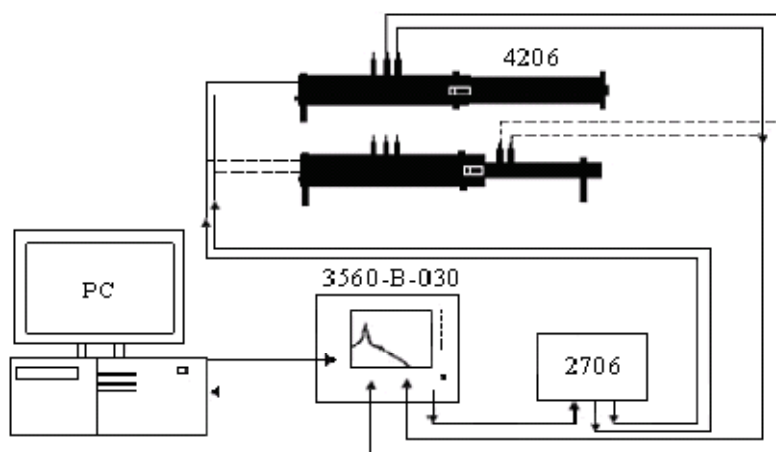
kde H_{12} je prenosová funkcia medzi miestami 1 a 2, H_I – prenosová funkcia pre samotnú dopadajúcu vlnu, H_R – prenosová funkcia pre samotnú odrážajúcu sa vlnu, k_0 – komplexné vlnové číslo, x_1 - vzdialenosť medzi vzorkou a vzdialenejším mikrofónom od nej (v tomto prípade od mikrofónu M_1), i – imaginárna jednotka.

Schéma meracej aparatury pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti je uvedená na obr. 8. Táto aparatura pozostáva z Kundtovej impedančnej trubice Bruel & Kjar typu 4206, trojkanálového PULSE multianalyzátora Bruel & Kjar typu 3560-B-030, zosilovača Bruel & Kjar typu 2706 pre zosilenie vstupného signálu a počítača PC pre ukladanie nameraných dát. Kundtova impedančná trubica sa skladá z dvoch častí – z dvoch trubíc malého a veľkého priemeru. Veľká trubica o priemere $d = 100$ mm je vhodná pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti pri malých frekvenciách a používa sa vo frekvenčnom rozsahu $f = (0 \div 1600)$ Hz. Malá trubica o priemere $d = 30$ mm je vhodná pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti pri väčších frekvenciách a meria pri frekvenciách $f = (0 \div 6400)$ Hz. Je teda zrejmé, že pri frekvenciách $f = (0 \div 1600)$ Hz sa jedna o prechodovú oblasť medzi oboma trubicami. Z tohto dôvodu sa veľká trubica používa pre priame meranie akustických veličín pri frekvenciách $f = (0 \div 500)$ Hz. Malá trubica meria priamo akustické veličiny pri

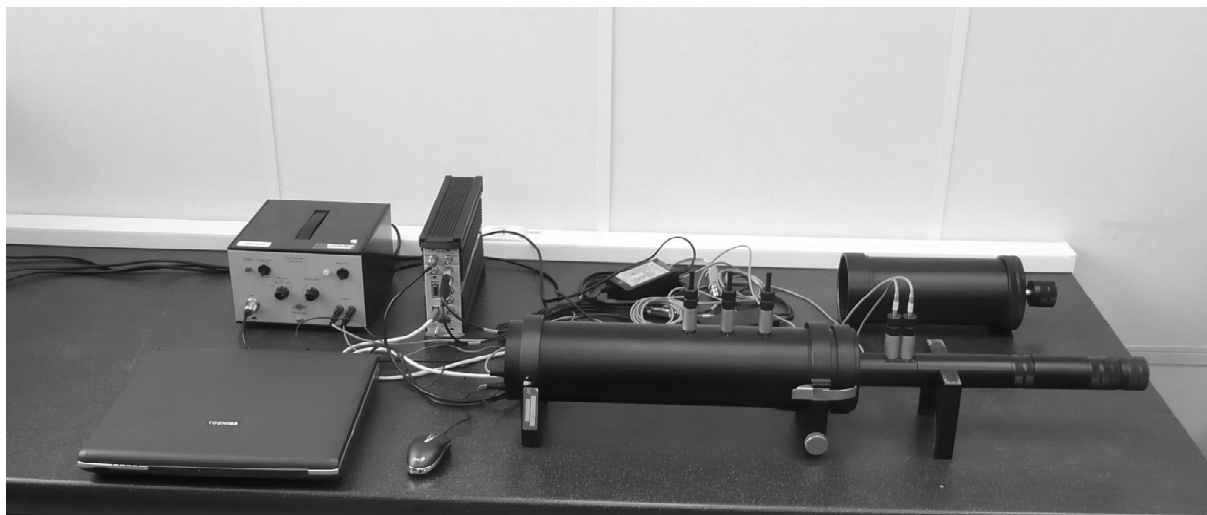
frekvenciach $f \geq 1600$ Hz. Namerané data akustických veličín v prechodovej oblasti, tzn. Pri $f = (500 \div 1600)$ Hz, sa získajú výpočtom z hodnôt príslušných akustických veličín získaných meraním na malej a veľkej Kundtovej trubici. Výsledkom merania sú frekvenčné závislosti činiteľa zvukovej pohltivosti pri frekvenciách $f = (0 \div 6400)$ Hz s frekvenčným krokom $\Delta f = 2$ Hz.[5]



Obr. 7. Princíp merania činiteľa zvukovej pohltivosti v Kundtovej impedančnej trubici



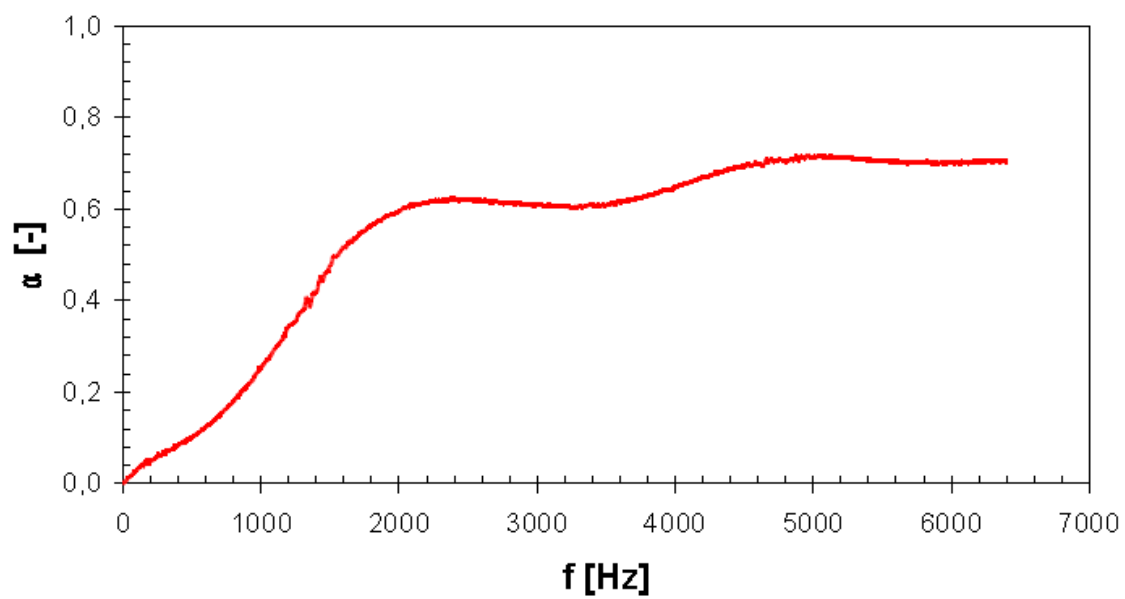
Obr. 8. Schéma zapojenia meracej aparatury pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti



Obr. 9. Meracia aparátúra pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti



Obr.10. Bočný pohľad na Kundtovú impedančnú trubicu



Obr. 11. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti

9 PRÍPRAVA VZORIEK NA MERANIE

Gumárenská drť bola dodaná z firmy Barum Continental s. r. o. Ostatné vzorky som si zadovážil samostatne.



Obr. 12. Vzorka keramzitu



Obr. 13. Vzorka gumárenskej drte



Obr. 14. Vzorka pilín



Obr. 15. Cement 32,5

Na uskutočňovanie merania som potreboval formu z drevotriesky o priemere 98 mm, výšky 25 mm.



Obr. 16. Forma o priemere 98 mm

Formu z drevotriesky som zaplnil odváženým množstvom vzorky.



Obr. 17. Digitálna váha firmy Denver Instrument

Presnosť digitálnej váhy je 0,1 g.

10 MERANIE

Postup merania:

Navážil som si potrebné množstvo vzoriek. Formu som oblepil páskou. Vzorky som vložil do pripravenej formy a zamiešal. Spodok formy bol vyplnený cementom a pieskom v pomere 1:1. Vzorky som vo forme vysušil a po vysušení som ich vytiahol. Meranie som vykonal pre každý materiál samostatne a s kombináciou medzi materiálmi.



Obr. 18. Forma keramzit



Obr. 19. Forma piliny – gum. drť



Obr. 20. Forma keramzit – piliny



Obr. 21. Forma keramzit – gum. drť – piliny



Obr. 22. Forma gum. drť



Obr. 23. Forma piliny

Po vytiahnutí z formy a dôkladnom vysušení vzoriek sa meranie uskutočňovalo na Kundtovej impedančnej trubici.

Postup merania na Kundtovej impedančnej trubici:

- zapnutie programu C:/EF_absorpce.pls
- po zapnutí programu sa nastavilo v menu „Project Setup” meranie pre veľkú trubicu.

Potom sa previedla kalibrácia prenosovej funkcie pre veľkú trubicu.

- Pred kalibráciou veľkej trubice sa nastavilo pomocou otočného kolieska na trubici funkcia

„Linear” a do trubice sa vložil kalibračný filter o priemere 100 mm. Pri vlastnej kalibrácii

sú najprv snímače akustických tlakov v zámenenej polohe (tzn. snímač A je pripojený ku vstupu 3 a snímač B je pripojený ku vstupu 2). Spustila sa kalibrácia. Po jej uskutočnení sa

prehodili mikrofóny do normálnej polohy (tzn. snímač A je pripojený ku vstupu 2 a snímač

B ku vstupu 3) a uskutočnila sa ďalšia časť kalibrácie. Výsledkom bola frekvenčná závislosť prenosovej funkcie

- po uskutočnení kalibrácie sa pomocou prenosových funkcií uskutočnila kontrola úspešnosti

kalibrácie

- v menu „Measurement” som uskutočnil meranie frekvenčných závislosti činiteľa zvukovej

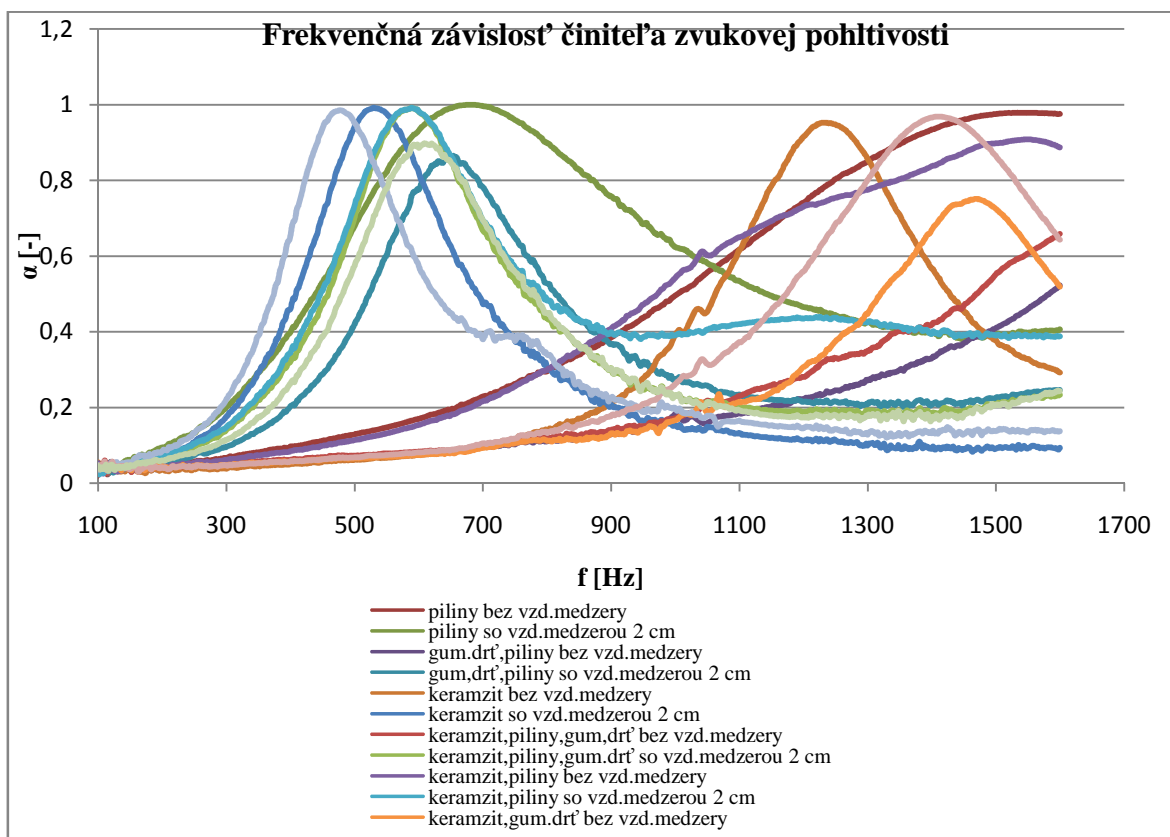
pohltivosti. Najprv som zadal názov a vložil vzorky materiálov do trubice. Medzeru som vyplnil mod.hmotou. Meranie som spustil tlačidlom „Measurement”. Meranie som vykonal

na každom materiáli bez vzduchovej medzery a so vzduchovou medzerou 2 cm.

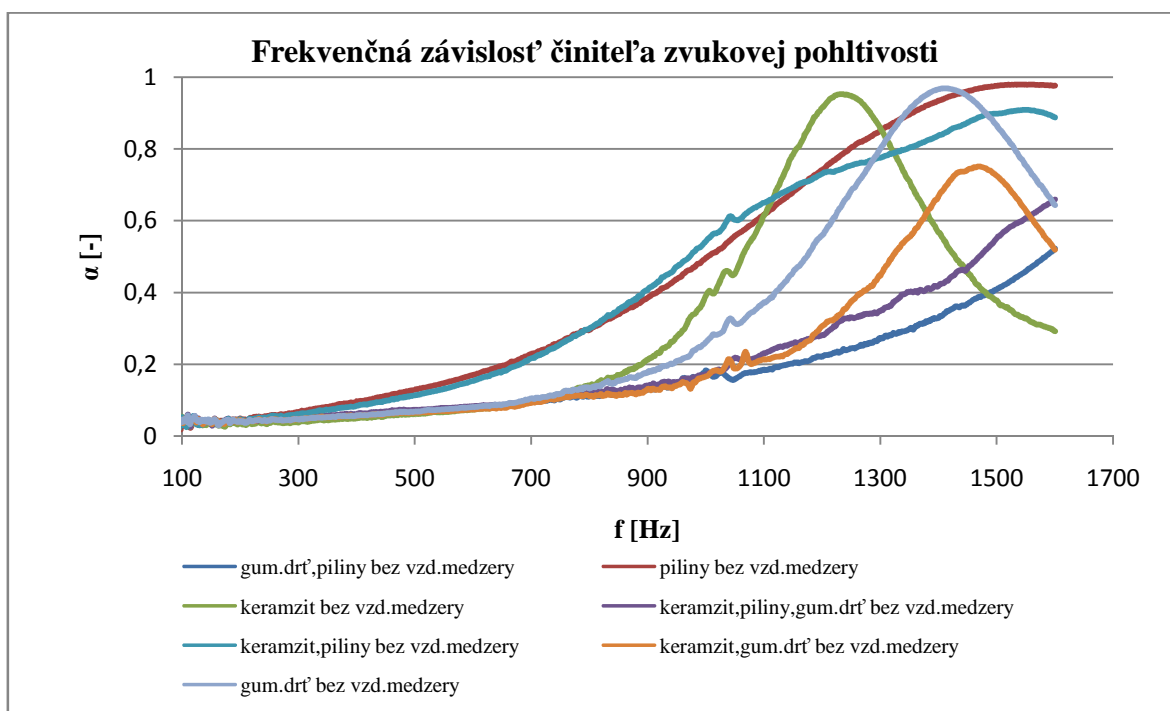
- po skončení merania som si označil všetky krivky. Na každú krivku som postupne klikol pravým tlačidlom myši a uložil namerané data príkazom „Save Active Curve” pomocou textových súborov

- v programe Excel s využitím textových súborov som zostrojil grafické závislosti činiteľa zvukovej pohltivosti na frekvenciách.

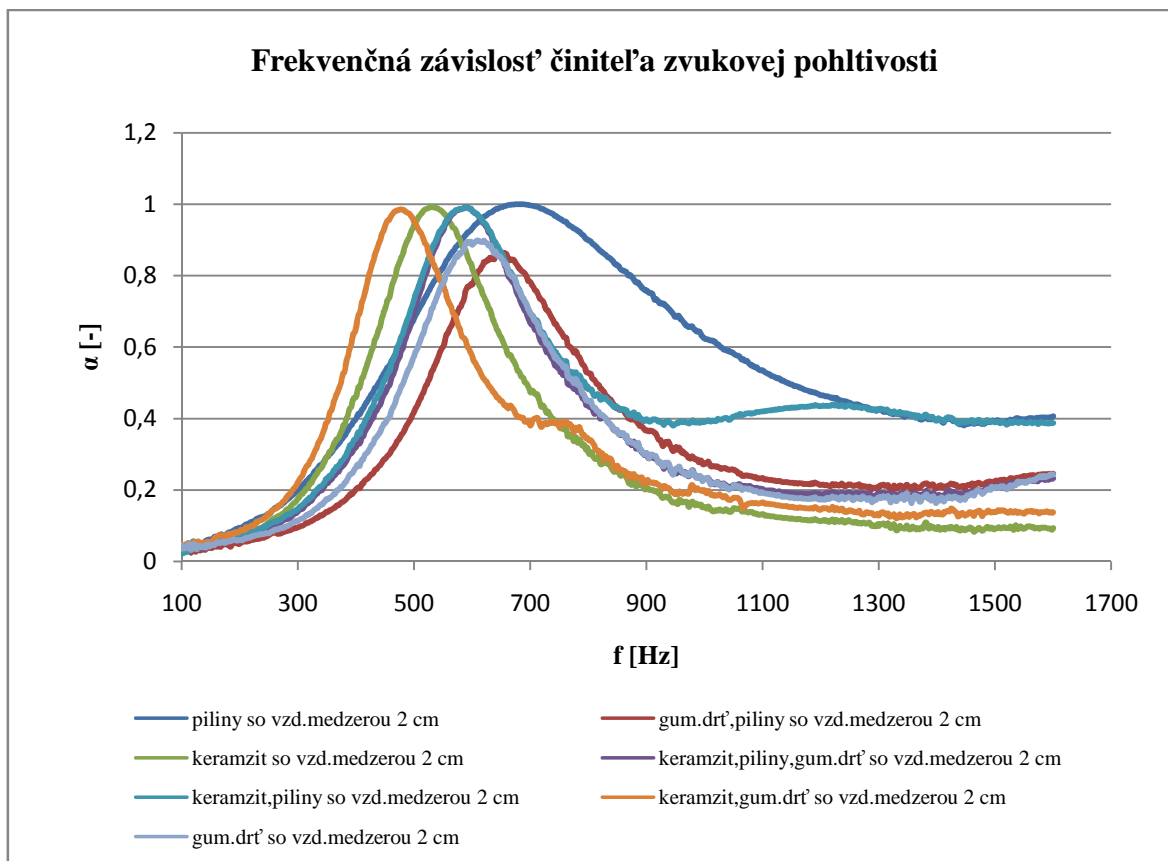
11 VYHODNOTENIE NAMERANÝCH VÝSLEDKOV



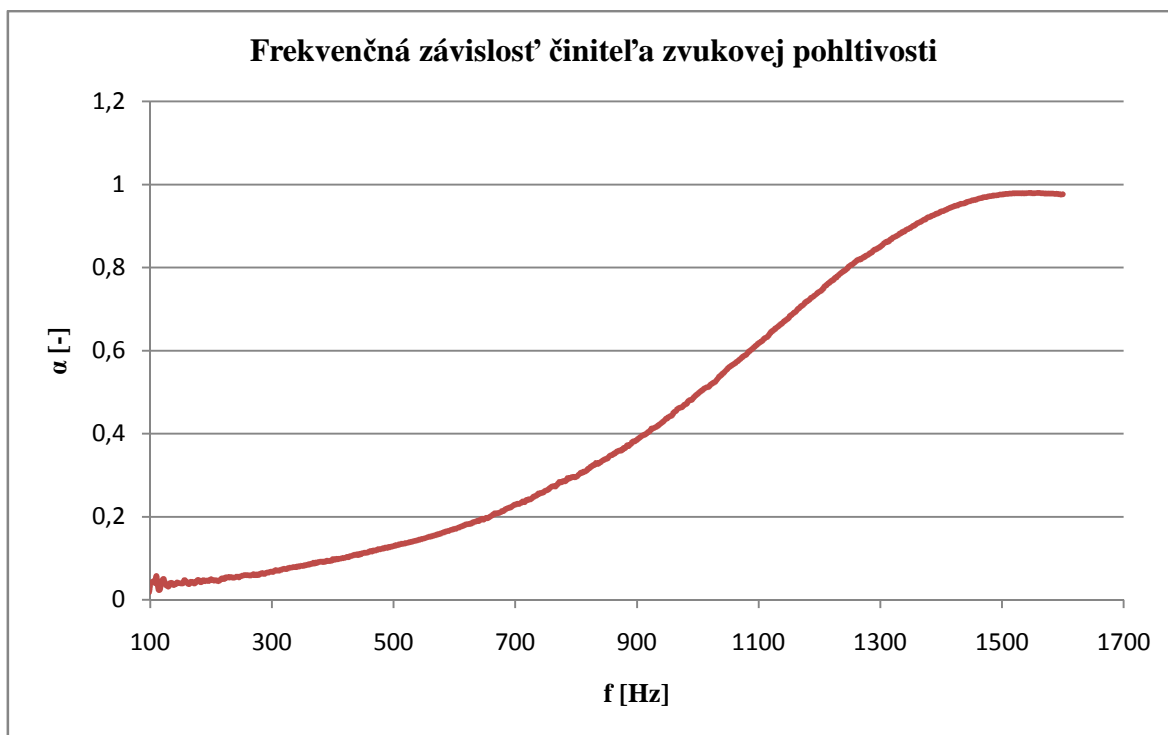
Obr. 24. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti



Obr. 25. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti materiálov bez vzd.medzery



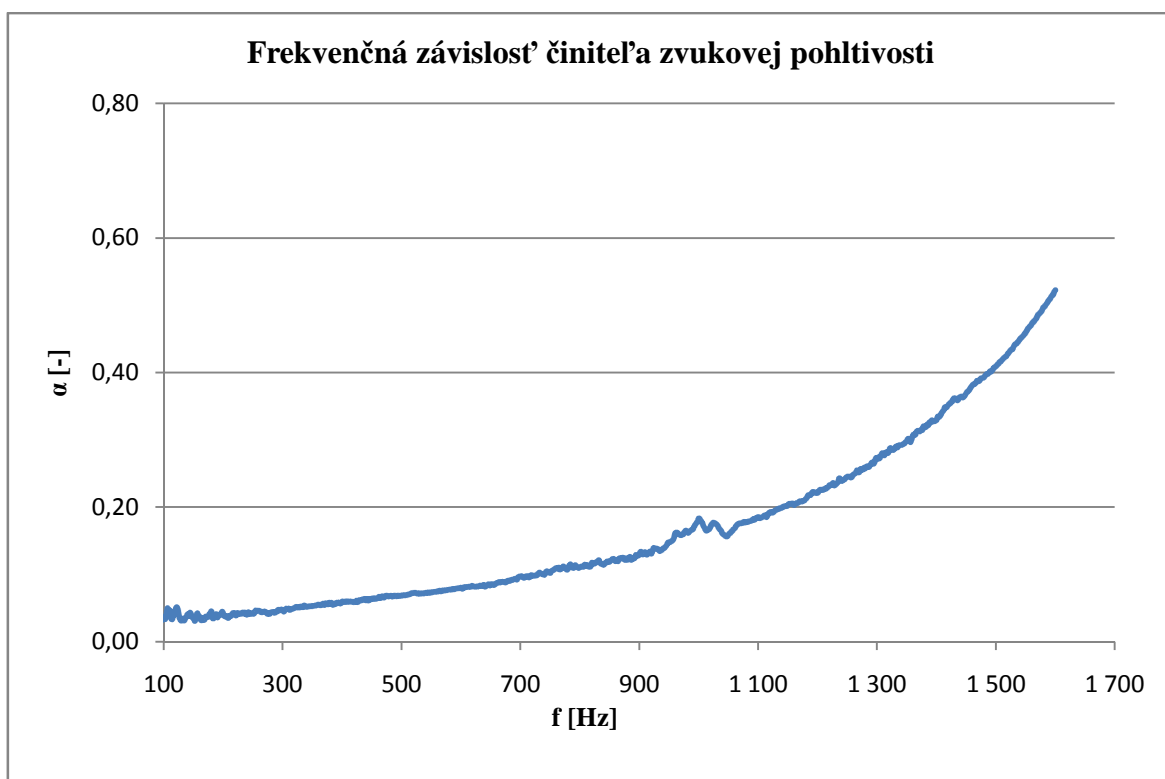
Obr. 26. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti materiálov so vzd.medzerou 2 cm



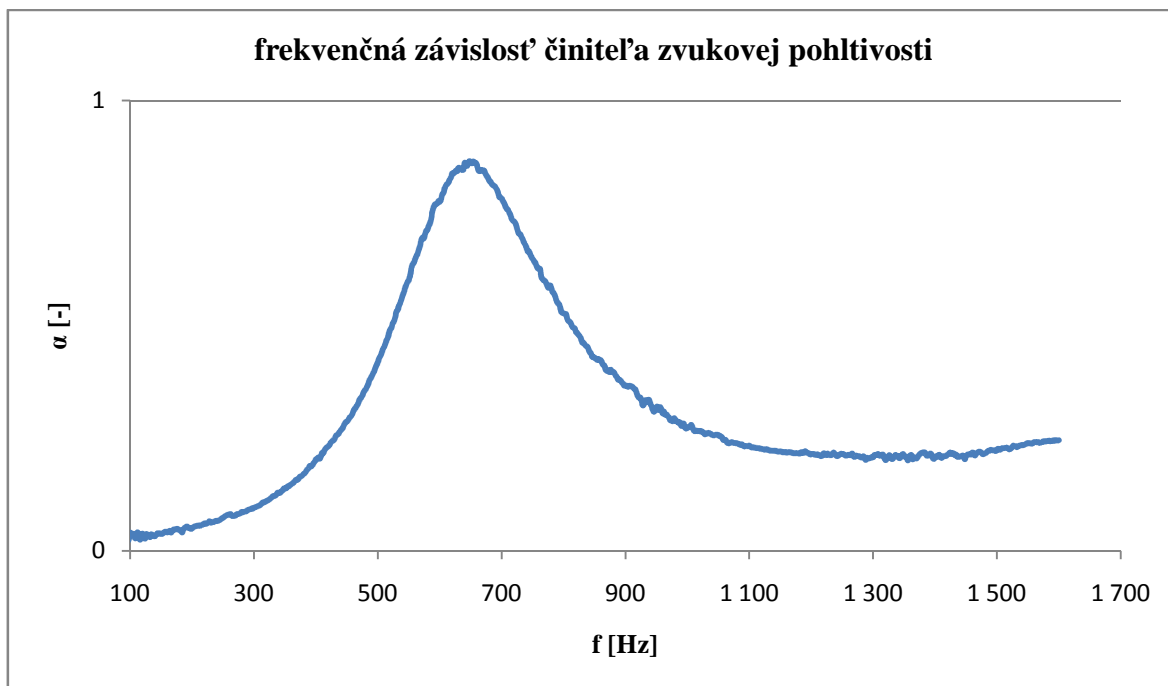
Obr. 27. Piliny – cement bez vzduchovej medzery



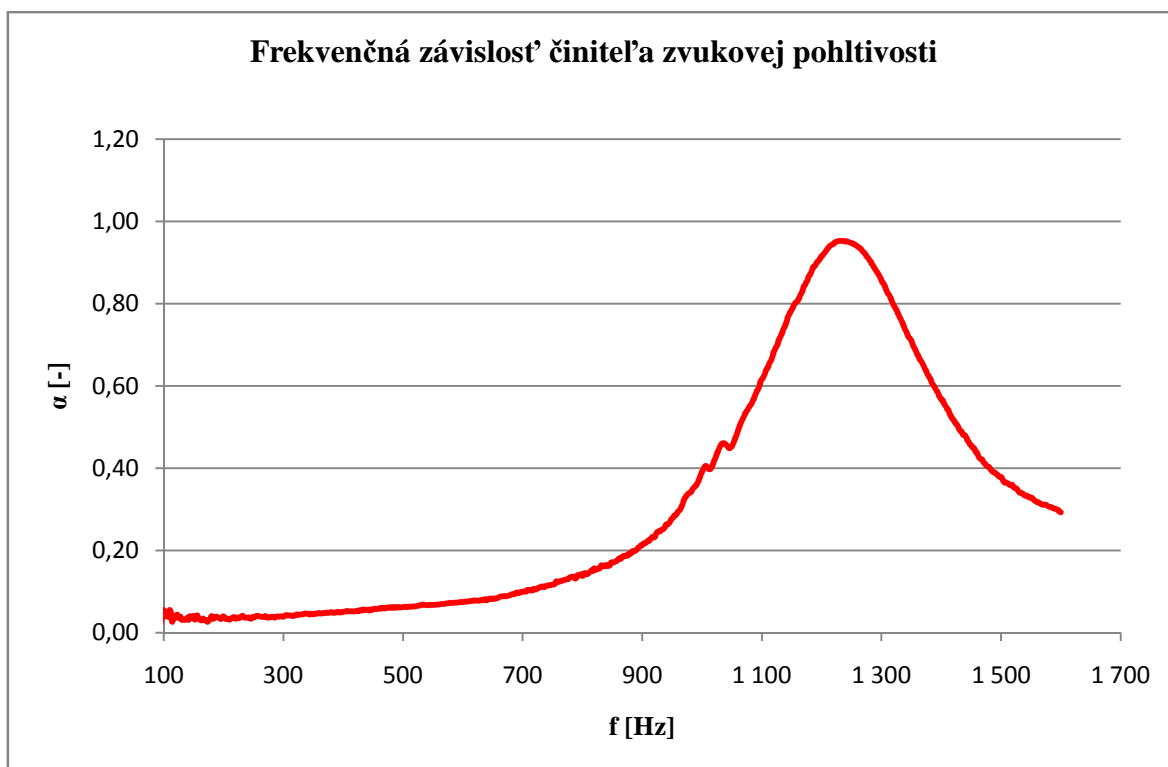
Obr. 28. Piliny – cement so vzduchovou medzerou 2 cm



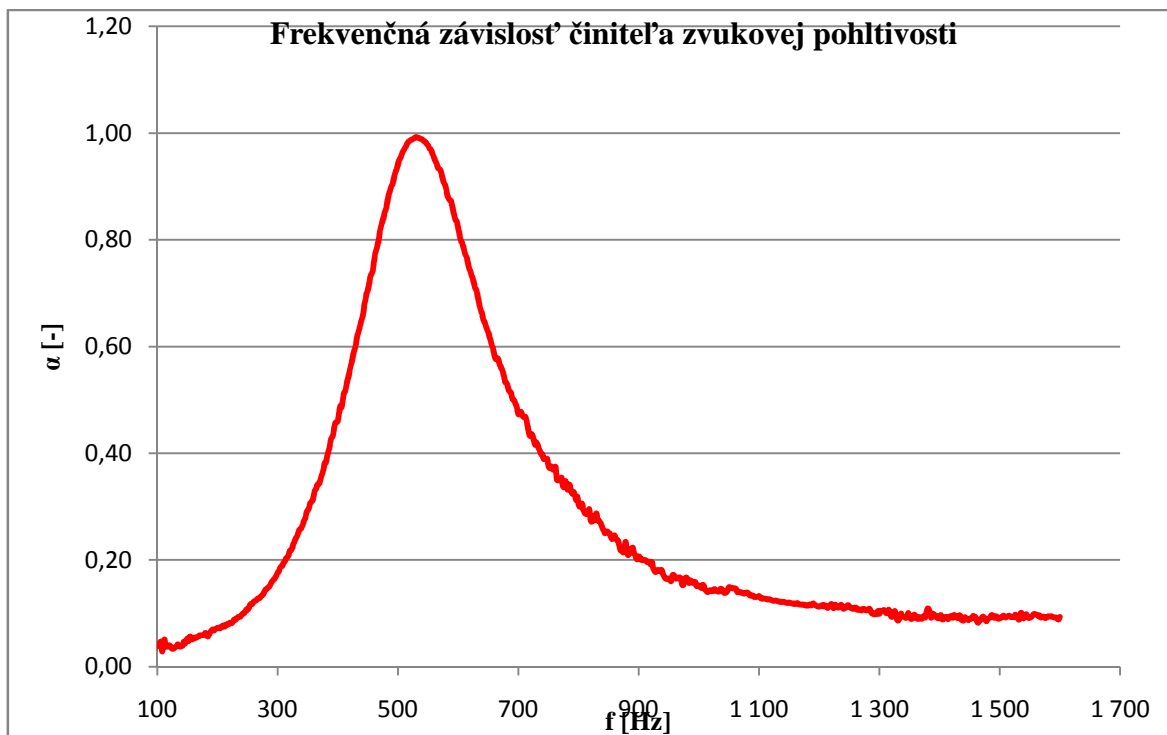
Obr. 29. Gumárenská drť – piliny – cement bez vzduchovej medzery



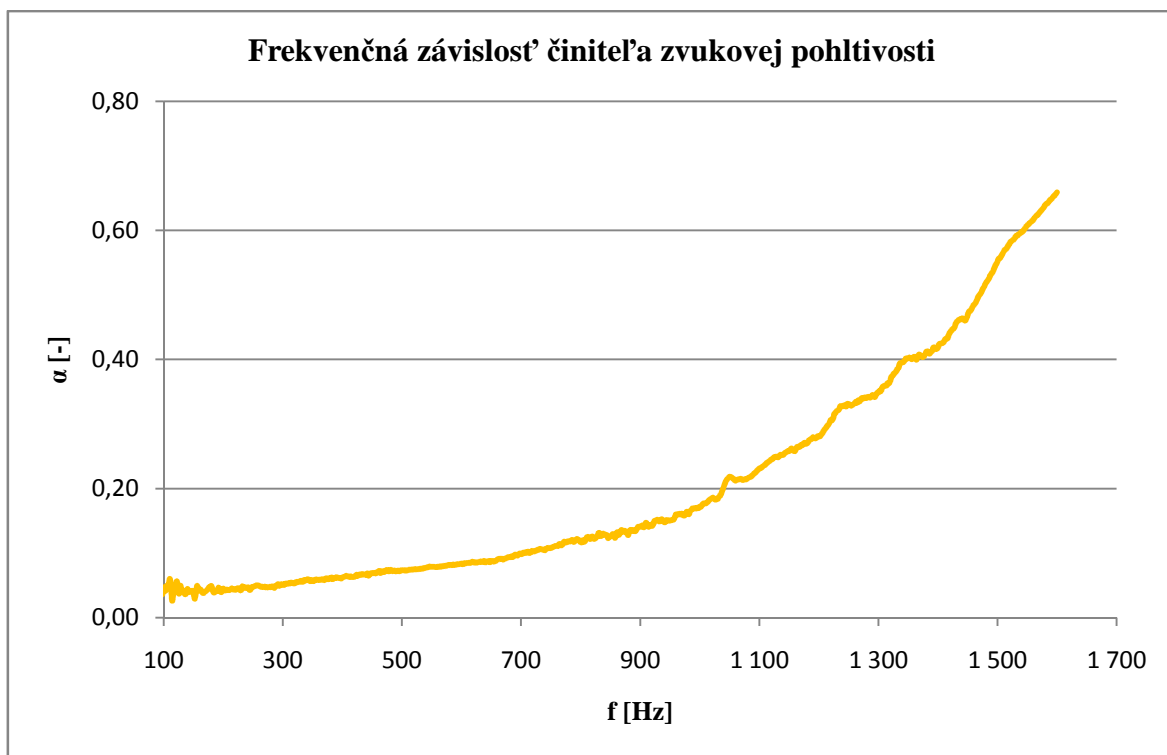
Obr. 30. Gumárenská drť – piliny – cement so vzduchovou medzerou 2 cm



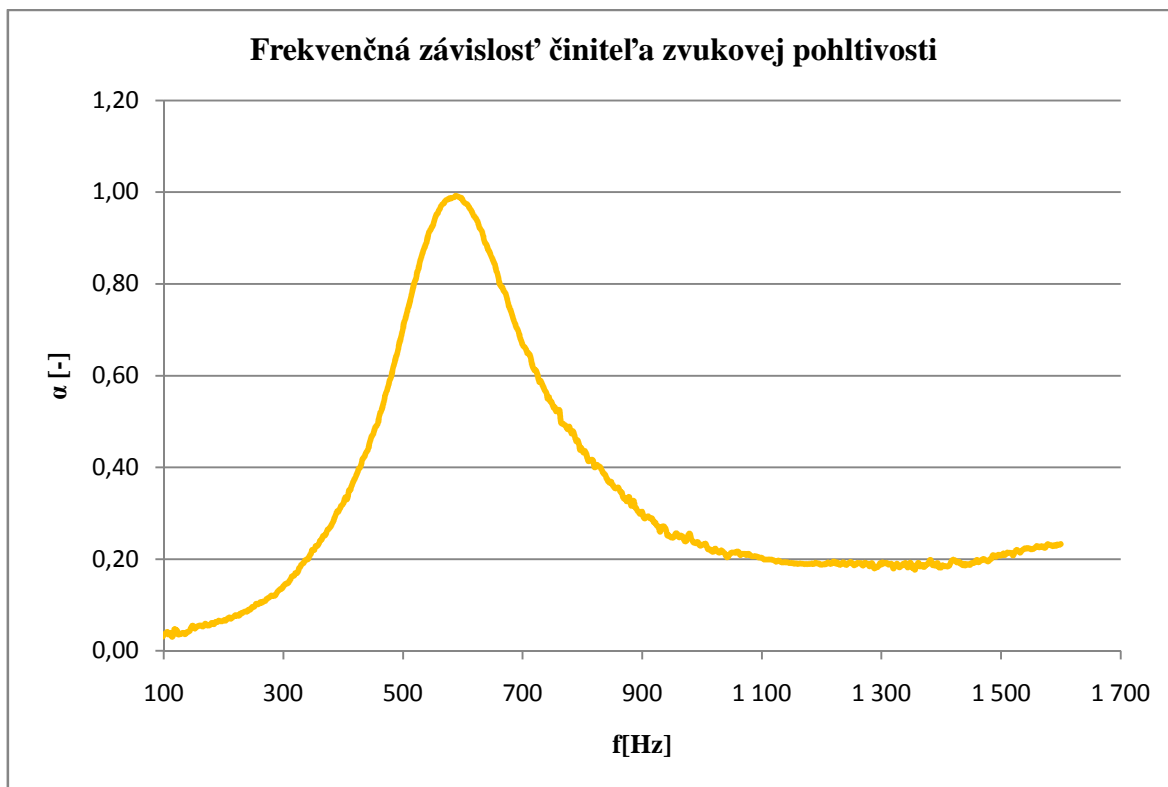
Obr. 31. Keramzit – cement bez vzduchovej medzery



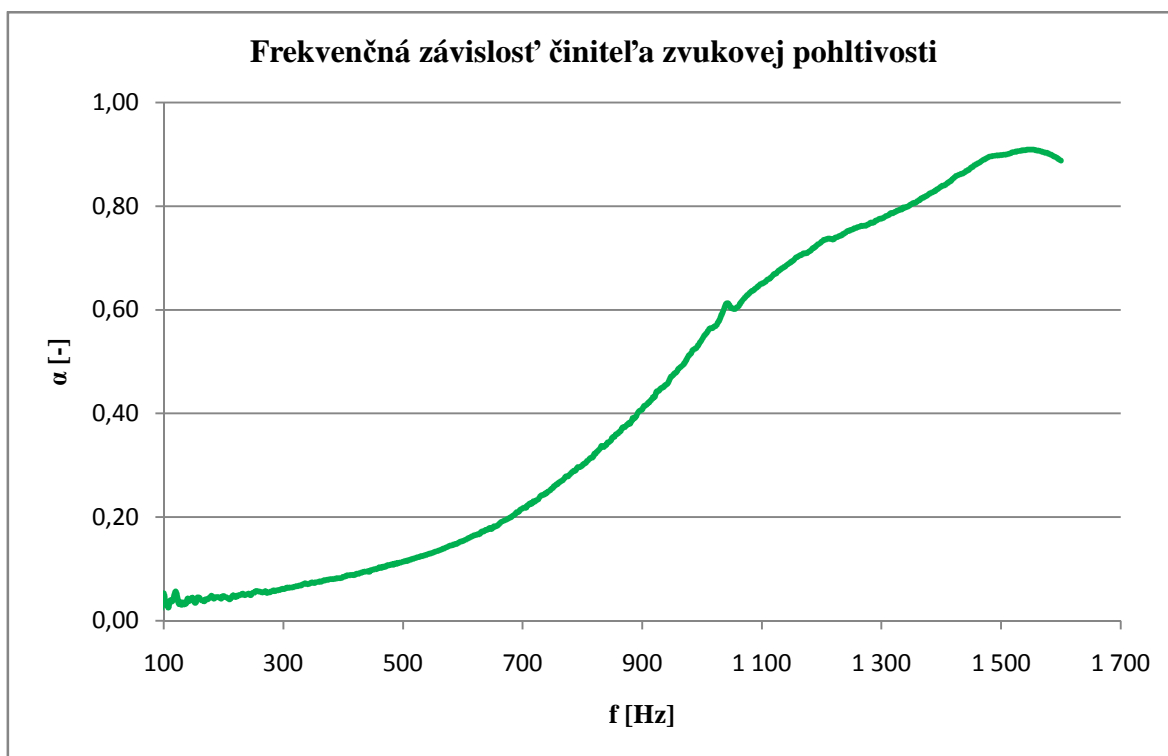
Obr. 32. Keramzit – cement so vzduchovou medzerou 2 cm



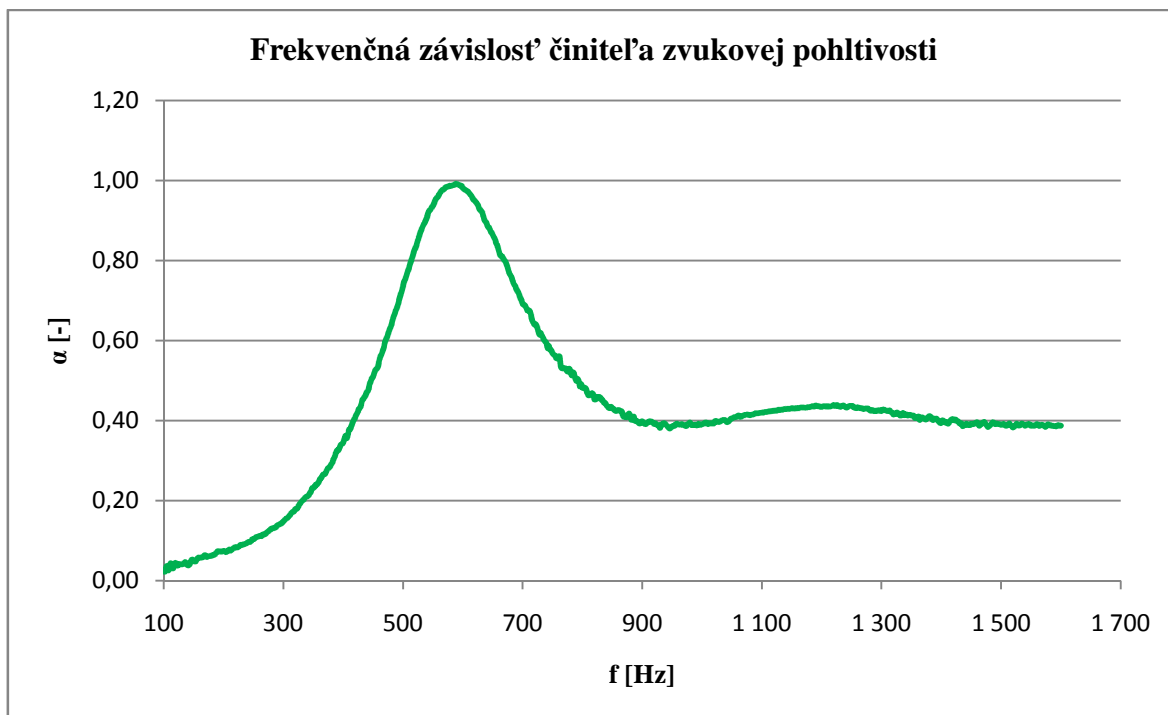
Obr. 33. Keramzit – gumarenská drť – cement – piliny bez vzd. medzery



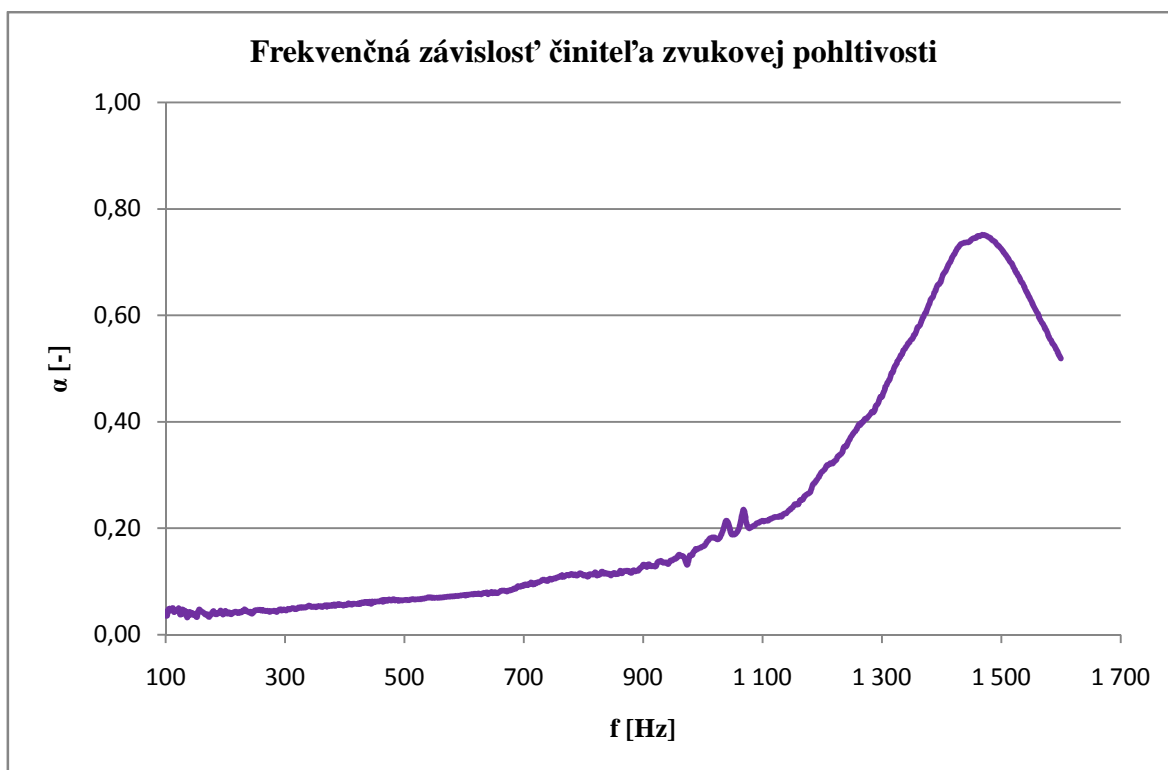
Obr. 34. Keramzit – gumarenská drť – cement – piliny so vzd. medzerou 2 cm



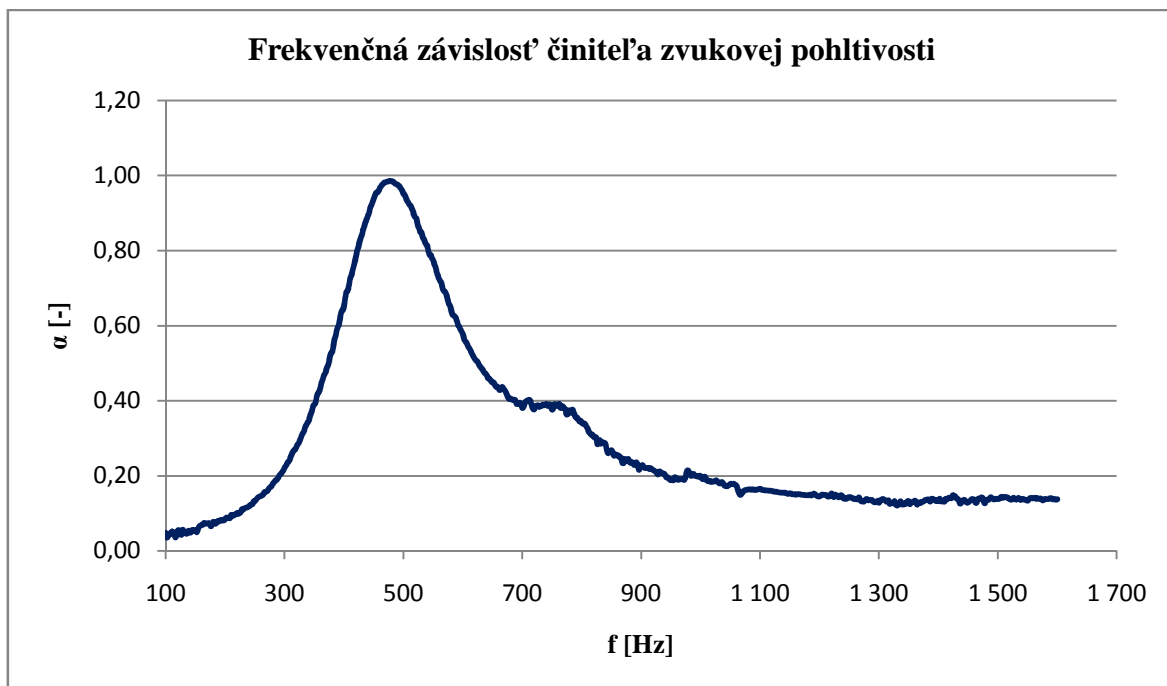
Obr. 35. Keramzit – piliny – cement bez vzduchovej medzery



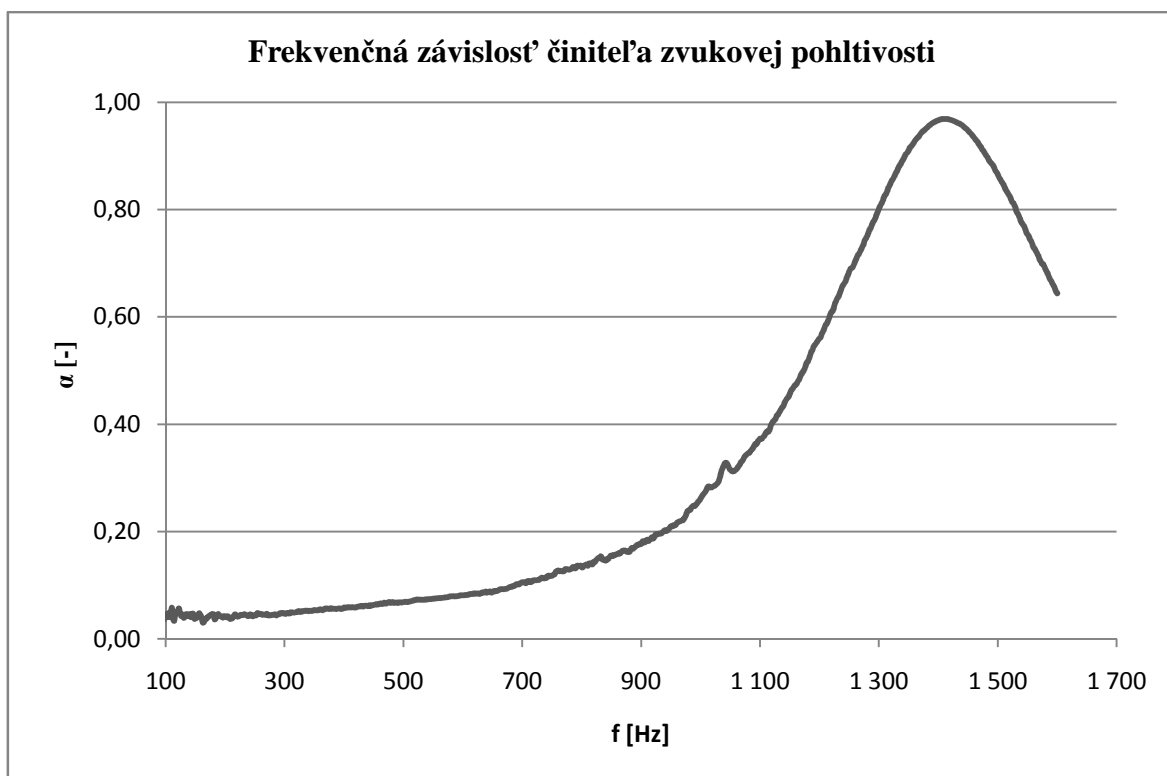
Obr. 36. Keramzit – piliny – cement so vzduchovou medzerou 2 cm



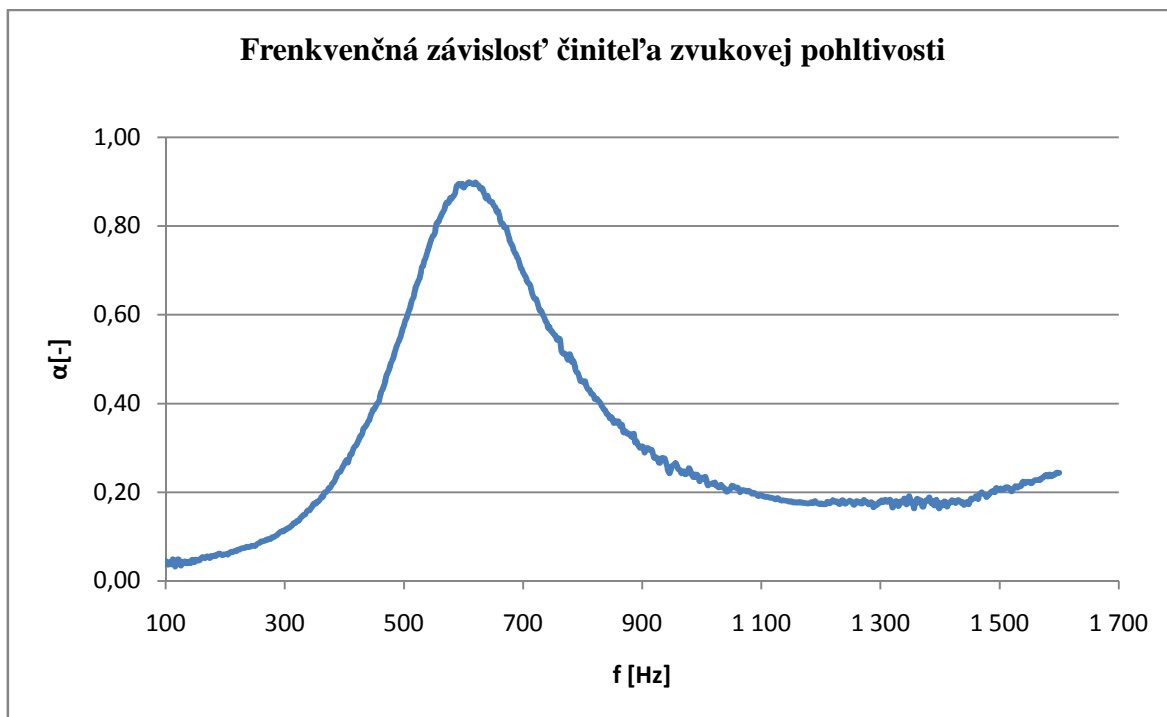
Obr. 37. Keramzit – gumárenská drť – cement bez vzduchovej medzery



Obr. 38. Keramzit – gumárenská drť – cement so vzduchovou medzerou 2 cm



Obr. 39. Gumárenská drť – cement bez vzd. medzery



Obr. 40. Gumárenská drť – cement so vzd. medzerou 2 cm

Tab. 2. Optimálna zvuková pohltivosť materiálov bez vzduchovej medzery

Materiál vzorku	Činiteľ zvukovej pohltivosti α	Rozsah frekvencie f [Hz]
1. vzorka - piliny	0,4	900 - 1600 Hz
2. vzorka – gum. drť - piliny	0,4	1500 - 1600Hz
3. vzorka - keramzit	0,4	1000 – 1500 Hz
4. vzorka – gum. drť – piliny - keramzit	0,4	1300 - 1600 Hz
5. vzorka – keramzit - piliny	0,4	900 - 1600 Hz
6. vzorka – keramzit – gum. drť	0,4	1250 - 1600 Hz
7. vzorka – gum. drť	0,4	1100 - 1600 Hz

Tab. 3. Optimálna zvuková pohltivosť materiálov so vzduchovou medzerou 2 cm

Materiál vzorku	Činiteľ zvukovej pohltivosti α	Rozsah frekvencie f [Hz]
1. vzorka - piliny	0,4	400 – 1600 Hz
2. vzorka – gum. drť - piliny	0,4	500 – 900 Hz
3. vzorka - keramzit	0,4	370 - 770 Hz
4. vzorka – gum. drť – piliny - keramzit	0,4	450 – 850 Hz
5. vzorka – keramzit - piliny	0,4	400 – 1100 Hz
6. vzorka – keramzit – gum. drť	0,4	350 – 800 Hz
7. vzorka – gum. drť	0,4	450 – 850 Hz

Materiály, ktoré majú činiteľ zvukovej pohltivosti α pod 0,4 sa považujú za zvukovo nepohltivé. Optimálna zvuková pohltivosť je okolo 0,4. Materiály so vzduchovou medzerou majú zvukovú pohltivosť lepšiu než materiály bez vzduchovej medzery ako ukazujú aj priebehy grafov. Zvuková medzera za vzorkami ukazuje posun hodnôt α smerom k nižším hodnotám frekvencie.

12 NÁVRH ZVUKOVOIZOLAČNÉHO PANELA

Na základe nameraných hodnôt som navrhol niekoľko variantov protihlukovej steny. Ide o protihlukovú stenu o rozmere 2500 mm x 5000 mm, ktorá sa skladá z dosiek o rozmeroch 600 x 600 mm. Jednotlivé dosky pozostávajú z pilín, gumárenskej drte a keramzitu zmiešaných s cementom. Kombináciou jednotlivých materiálov mi vznikli nasledujúce varianty protihlukových bariér.

Tab. 4. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta A

Materiál	Zastúpenie materiálu v jednotlivých doskách v %								
	1 – 1a	50	25	25	50	25	25	50	25
2 – 2a	25	50	25	25	50	25	25	50	25
3 – 3a	25	25	50	25	25	50	25	25	50

Tab. 5. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta A

Materiál	Frekvencia materiálu v jednotlivých doskách v Hz								
	1	900- 1600	900- 1600	900- 1600	900- 1600			900- 1600	900- 1600
1a	400- 1600			400- 1600	400- 1600	400- 1600	400- 1600		
2	1000- 1500	1000- 1500			1000- 1500	1000- 1500	1000- 1500	1000- 1500	
2a		370- 770	370- 770	370- 770	370- 770			370- 770	370- 770
3			1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600				1100- 1600
3a	400- 850	450- 850	450- 850			450- 850	450- 850	450- 850	450- 850

Tab. 8. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta C

Materiál	Zastúpenie materiálu v jednotlivých doskách v %								
	1 – 1a	25	50	25	75	25	0	75	25
2 – 2a	75	25	0	0	25	75	25	50	25
3 – 3a	0	25	75	25	50	25	0	25	75

Tab. 9. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta C

Materiál	Frekvencia materiálu v jednotlivých doskách v Hz								
	1		900- 1600	900- 1600	900- 1600	900- 1600		900- 1600- 2x	
1a	400- 1600	400- 1600		400- 1600- 2x			400- 1600	400- 1600	
2	1000- 1500- 2x					1000- 1500- 2x		1000- 1500	1000- 1500
2a	370- 770	370- 770			370- 770	370- 770	370- 770	370- 770	
3		1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600			1100- 1600	1100- 1600
3a			450- 850- 2x		450- 850	450- 850			450- 850- 2x

Tab. 10. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta D

Materiál	Zastúpenie materiálu v jednotlivých doskách v %								
1 – 1a	25	25	25	25	25	25	25	25	25
2 – 2a	50	50	50	50	50	50	50	50	50
3 – 3a	25	25	25	25	25	25	25	25	25

Tab. 11. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta D

Materiál	Frekvencia materiálu v jednotlivých doskách v Hz								
1	900- 1600	900- 1600	900- 1600	900- 1600	900- 1600	900- 1600	900- 1600-	900- 1600	900- 1600
1a									
2									
2a	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x	370- 770- 2x
3	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600	1100- 1600
3a									

Tab. 12. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta E

Materiál	Zastúpenie materiálu v jednotlivých doskách v %								
1 – 1a	0	25	0	25	0	25	0	25	0
2 – 2a	0	75	0	75	0	75	0	75	0
3 – 3a	100	0	100	0	100	0	100	0	100

Tab. 13. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta E

Materiál	Frekvencia materiálu v jednotlivých doskách v Hz								
	1		900- 1600				900- 1600		
1a				400- 1600				400- 1600	
2		1100- 1500		1100- 1500- 2x		1100- 1500		1100- 1500- 2x	
2a		370- 770- 2x		370- 770		370- 770- 2x		370- 770	
3	1100- 1600- 2x		1100- 1600- 2x		1100- 1600- 2x		1100- 1600- 2x		1100- 1600- 2x
3a	450- 850- 2x		450- 850- 2x		450- 850- 2x		450- 850- 2x		450- 850- 2x

V tabuľkách sú uvedené frekvenčné rozsahy jednotlivých materiálov pri zvukovej pohltivosti 0,4. 1 stĺpec v tabuľke zodpovedá 1 stĺpcu rozloženia materiálu protihlukovej steny uvedenej v prílohách. Protihluková stena je zložená s materiálov bez vzd. medzery a so vzd. medzerou 2 cm.

13 EKONOMICKÉ ZHODNOTENIE

Protihlukové steny majú okrem výhod uvedených v mojej diplomovej práci aj ekonomické zvýhodnenia. Na základe dlhodobého sledovania vývinu cien jednotlivých stavebných materiálov, z ktorých protihlukové bariéry pozostávajú, som dospel k týmto záverom:

Tab. 14. Cenník vybraných stavebných materiálov

POLOŽKA	CENA ZA KG V CENTOCH
Gumárenská drť	80
Piliny	3
Keramzit	30
Cement	8

Ceny uvedené v tabuľke sú priemernými hodnotami. Z uvedeného vyplýva a na základe mojej praktickej skúsenosti môžem potvrdiť, že ekonomicky najvýhodnejšími sú protihlukové steny vyrobené zmiešaním pilín a cementu. Cieľom je najmä finančná úspora. Finančne najmenej výhodným sa ukazujú protihlukové steny skladajúce sa z gumárenskej drte.

ZÁVER

Pre pochopenie problematiky protihlukových bariér bola spracovaná teoretická časť, v ktorej sa riešila podstata vzniku hluku, jeho vplyvmi na ľudský organizmus, oboznamovala nás s teóriou konštrukčných materiálov, ako aj ich zvukoizolačnými vlastnosťami. Ozrejmila nám i problematiku výstavby protihlukových stien.

Na základe predkladanej štúdie boli upresnené ciele práce a metóda riešenia experimentu, ktorý spočíval v sledovaní zvukovej pohltivosti jednotlivých konštrukčných materiálov protihlukových clôn.

K dosiahnutiu stanoveného cieľa bolo potrebné vytvoriť si jednotlivé vzorky pozostávajúce z konštrukčných materiálov (keramzit, gumárenská drť, piliny). Tie boli podkladom pre sledovanie zvukovej pohltivosti. Meranie bolo vykonané na Kundtovej impedančnej trubici. Výsledkom boli grafické priebehy frekvenčnej závislosti materiálov na zvukovej pohltivosti. Namerané hodnoty bolo potrebné spracovať v programe Microsoft Excel.

Prostredníctvom získaných výsledkov sa navrhlo niekoľko variantov zvukovoizolačného panela. Z týchto výsledkov je zrejmé, že lepšiu zvukovú pohltivosť majú materiály so vzduchovou medzerou, čo aj dokazujú jednotlivé priebehy grafov, uvedené v praktickej časti práce. Skutočná zvuková pohltivosť jednotlivých panelov je zrovnateľná iba experimentami s hotovými panelmi v dozvukovej komore. Dozvuková komora je k dispozícii v Zlíne - Loukách na experimentálnom pracovisku Výskumného ústavu stavebného Praha. Cena meraní sa pohybuje v rozmedzí 28 – 40 tisíc Kč. podľa rozsahu požadovaných výsledkov.

Z ekonomického hľadiska sa za finančne najvýhodnejšie považuje realizácia protihlukových bariér pozostávajúcich z drevocementových dosiek.

ZOZNAM POUŽITEJ LITERATÚRY

- [1] Vaverka J., Václav K., Libor L., Miloš L., Jozef Ch., Stavební fyzika 1, urbanistická, stavební a prostorová akustika, VUT Brno, 1998, VITIUM, ISBN 80-214-1283-6
- [2] Briš P., Habilitační práce, Vysoká škola baňská – Technická univerzita Ostrava, 2003
- [3] Holub J., Pryž jako konstrukční materiál, Praha 1967, SNTL, 04-611-67
- [4] www.asb.sk
- [5] www.fyzika.ft.utb.cz

ZOZNAM POUŽITÝCH SYMBOLOV A SKRATIEK

v	Rýchlosť zvuku	[m/s]
I	Intenzita zvuku	[W.m ⁻²]
p	Akustický tlak	[Pa]
L	Hlasitosť	[dc]
F	Frekvencia	[Hz]
A	Váhový filter	
E _A	Zvuková expozícia	[Pa ² s]
Zb.	Zbierka zákonov	
η	Činiteľ vnútorného tlmenia	
PMMA	Polymetylmetaakrylát	
PHS	Protihluková stena	
α	Činiteľ zvukovej pohltivosti	
β	Činiteľ zvukovej odrazivosti	
ε	Činiteľ tepelnej premeny	
τ	Činiteľ zvukovej priezvučnosti	
napr.	napríklad	
tzv.	takzvané	
tj.	to jest	
cca	približne	
apod.	a podobne	

ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1. Závislosť zvuku na akustickom tlaku a akustickej intenzite.....	12
Obr. 2. Prevod pomeru akustických intenzít a akustických tlakov na decibely.....	13
Obr. 3. Frekvenčný priebeh vzduchovej nepriezvučnosti.....	37
Obr. 4. Model steny pre odrazený zvuk.....	39
Obr. 5. Clona s absorpčným materiálom.....	40
Obr. 6. Energetická bilancia pri dopade zvukovej vlny na stenu.....	48
Obr. 7. Princíp merania činiteľa zvukovej pohltivosti v Kundtovej impedančnej trubici..	51
Obr. 8. Schéma zapojenia meracej aparatury pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti....	51
Obr. 9. Meracia aparatura pre meranie činiteľa zvukovej pohltivosti.....	52
Obr. 10. Bočný pohľad na Kundtovú impedančnú trubicu.....	52
Obr. 11. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti.....	53
Obr. 12. Vzorka keramzitu.....	54
Obr. 13. Vzorka gumárenskej drte.....	54
Obr. 14. Vzorka pilín.....	55
Obr. 15. Cement 32,5.....	55
Obr. 16. Forma o priemere 98 mm.....	56
Obr. 17. Digitálna váha firmy Denver Instrument.....	56
Obr. 18. Forma keramzit.....	57
Obr. 19. Forma piliny – gum. drť.....	57
Obr. 20. Forma keramzit – piliny.....	58
Obr. 21. Forma keramzit – gum. drť – piliny.....	58
Obr. 22. Forma gum. drť.....	58
Obr. 23. Forma piliny.....	59
Obr. 24. Frekvenčná závislosť činiteľ zvukovej pohltivosti.....	61

Obr. 25. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti materiálov bez vzd.medzery	61
Obr. 26. Frekvenčná závislosť činiteľa zvukovej pohltivosti mat. so vzd.medzerou 2 cm.	62
Obr. 27. Piliny – cement bez vzduchovej medzery.....	62
Obr. 28. Piliny – cement so vzduchovou medzerou 2 cm.....	63
Obr. 29. Gumárenská drť – piliny – cement bez vzduchovej medzery.....	63
Obr. 30. Gumárenská drť – piliny – cement so vzduchovou medzerou 2 cm.....	64
Obr. 31. Keramzit – cement bez vzduchovej medzery.....	64
Obr. 32. Keramzit – cement so vzduchovou medzerou 2 cm.....	65
Obr. 33. Keramzit – gumarenská drť – cement – piliny bez vzd. medzery.....	65
Obr. 34. Keramzit – gumarenská drť – cement – piliny so vzd. medzerou 2 cm.....	66
Obr. 35. Keramzit – piliny – cement bez vzduchovej medzery.....	66
Obr. 36. Keramzit – piliny – cement so vzduchovou medzerou 2 cm.....	67
Obr. 37. Keramzit – gumárenská drť – cement bez vzduchovej medzery.....	67
Obr. 38. Keramzit – gumárenská drť – cement so vzduchovou medzerou 2 cm.....	68
Obr. 39. Gumárenská drť – cement bez vzd. medzery.....	68
Obr. 40. Gumárenská drť – cement so vzd. medzerou 2 cm.....	69

ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1. Prepočty hladín zrýchlenia, rýchlosti a sily vibrácií.....	23
Tab. 2. Optimálna zvuková pohltivosť materiálov bez vzduchovej medzery.....	69
Tab. 3. Optimálna zvuková pohltivosť materiálov so vzduchovou medzerou 2 cm.....	70
Tab. 4. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta A.....	71
Tab. 5. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta A.....	71
Tab. 6. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta B.....	72
Tab. 7. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta B.....	72
Tab. 8. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta C.....	73
Tab. 9. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta C.....	73
Tab. 10. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta D.....	74
Tab. 11. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta D.....	74
Tab. 12. Pokrytie plochy protihlukovej steny materiálmi, varianta E.....	74
Tab. 13. Uloženie materiálu podľa frekvencie, varianta E.....	75
Tab. 14. Cenník vybraných stavebných materiálov.....	76

ZOZNAM PRÍLOH

Príloha P I: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY

Príloha P II. VÝKRES UKOTVENIA PROTIHLUKOVEJ STENY

Príloha P III: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA A

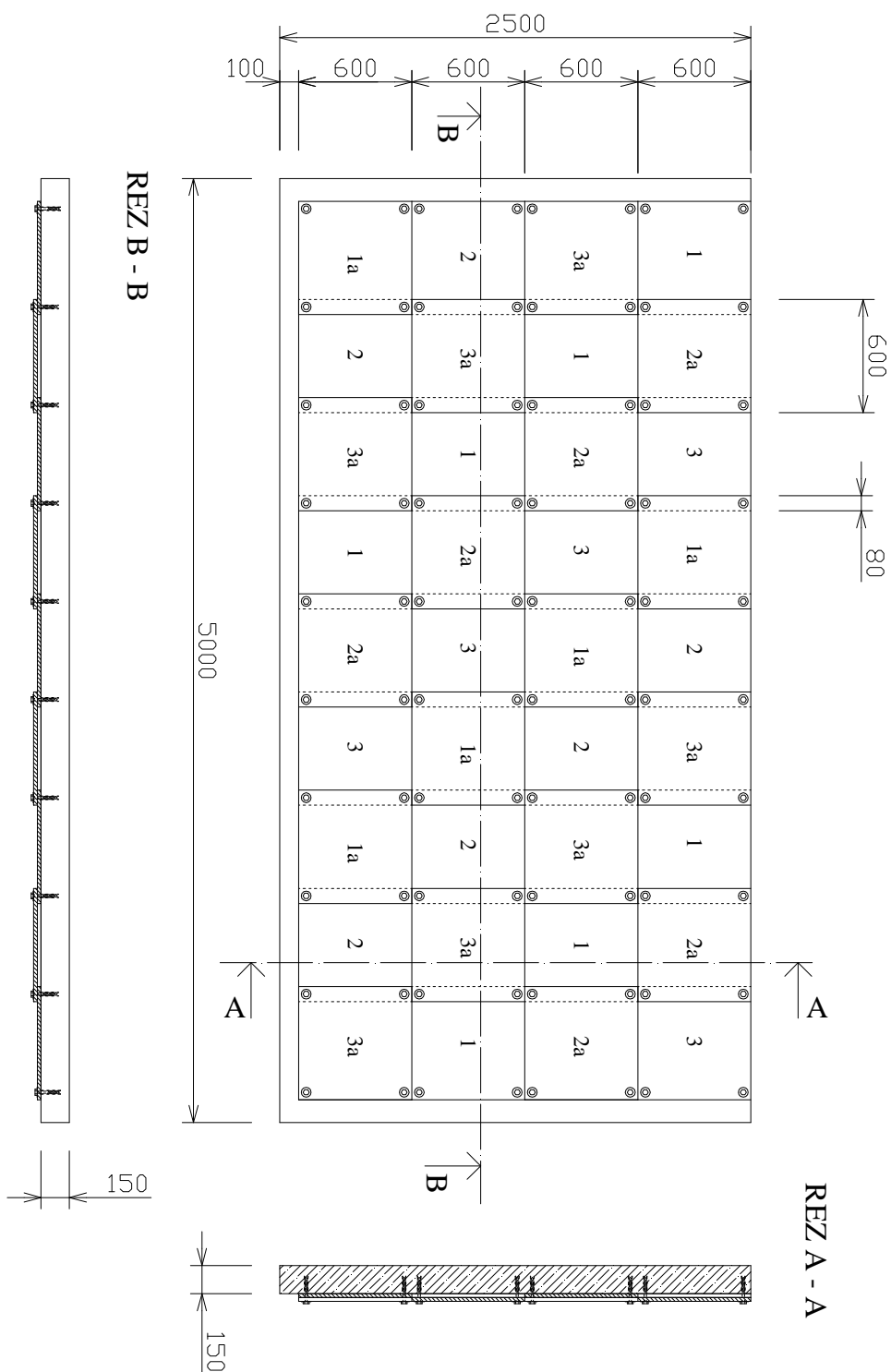
Príloha P IV: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA B

Príloha P V: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA C

Príloha P VI: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA D

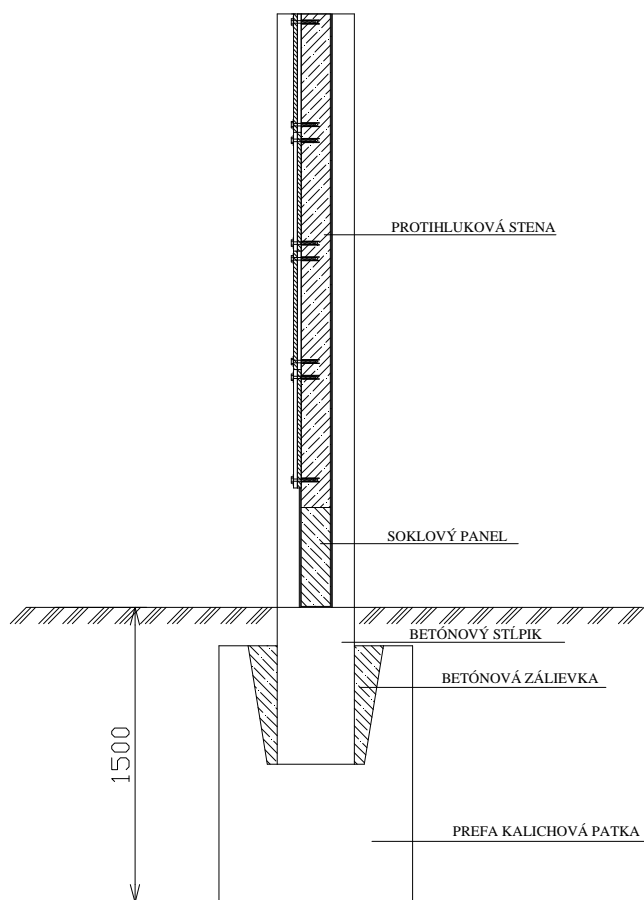
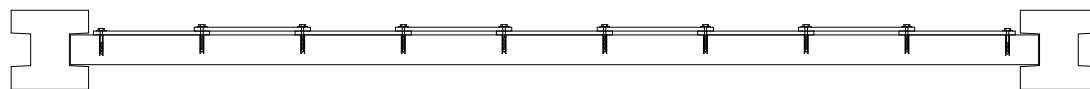
Príloha P VII: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA E

PRÍLOHA P I: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY



UTB Zlín	Vypracoval: František Židek
Dátum: 05.05.2010	Názov výkresu: Protihluková stena

PRÍLOHA P II: VÝKRES UKOTVENIA PROTIHLUKOVEJ STENY

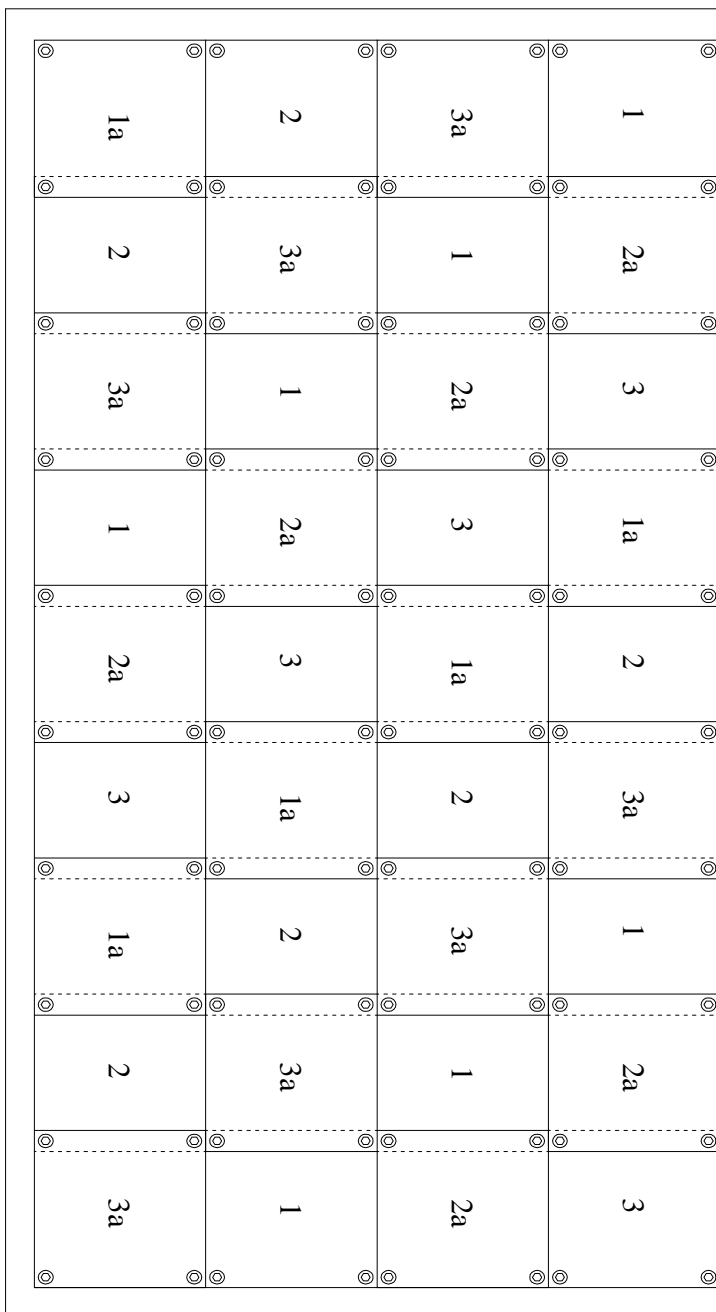


UTB Zlín	Vypracoval: František Židek
Dátum: 05.05.2010	Názov výkresu: Ukotvenie prot. steny

PRÍLOHA P III: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA A

LEGENDA MATERIÁLU:

- 1 - DOSKA (PILINY + CEMENT)
 2 - DOSKA (KERAMZIT + CEMENT)
 3 - DOSKA (GUM. DRŤ + CEMENT)
- 1a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (PILINY + CEMENT)
 2a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (KERAMZIT + CEMENT)
 3a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (GUM. DRŤ + CEMENT)

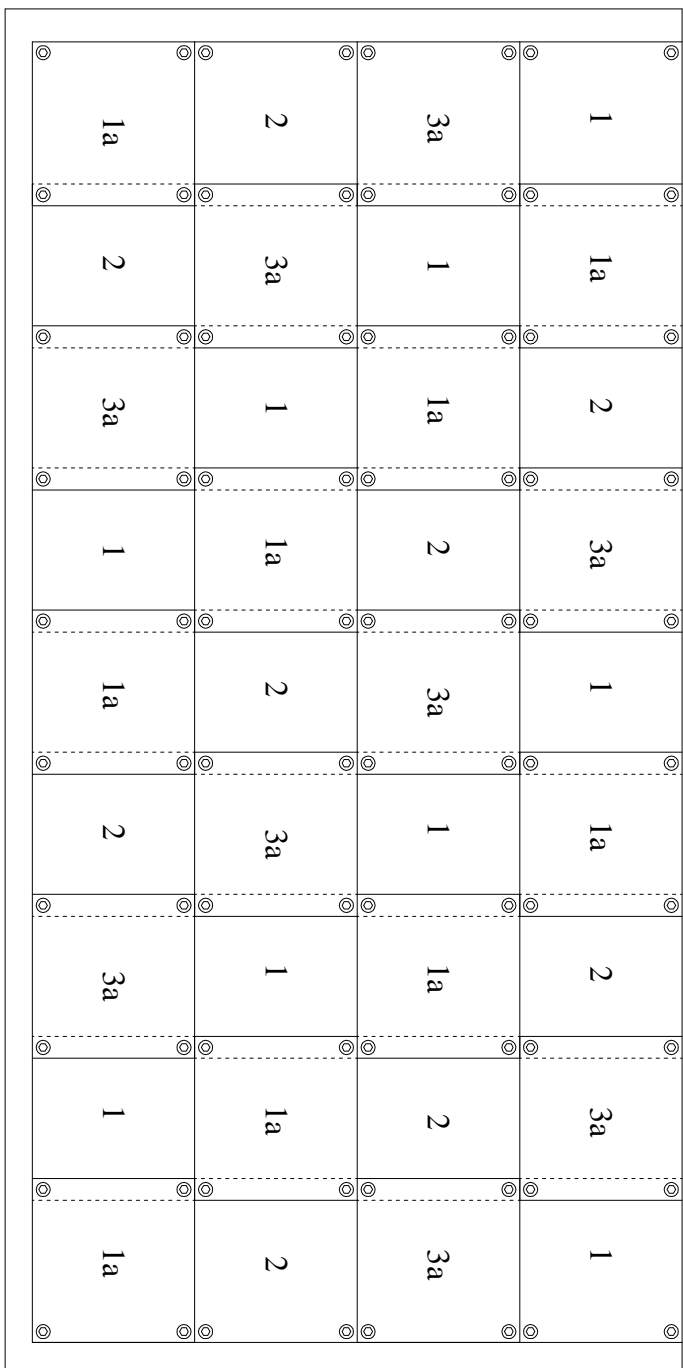


UTB Zlín	Vypracoval: František Židek
Dátum: 05.05.2010	Názov výkresu: Varianta A

PRÍLOHA P IV: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA B

LEGENDA MATERIÁLU:

- 1 - DOSKA (PILINY + CEMENT)
- 2 - DOSKA (KERAMZIT + CEMENT)
- 3 - DOSKA (GUM. DRŤ + CEMENT)
- 1a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (PILINY + CEMENT)
- 2a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (KERAMZIT + CEMENT)
- 3a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (GUM. DRŤ + CEMENT)

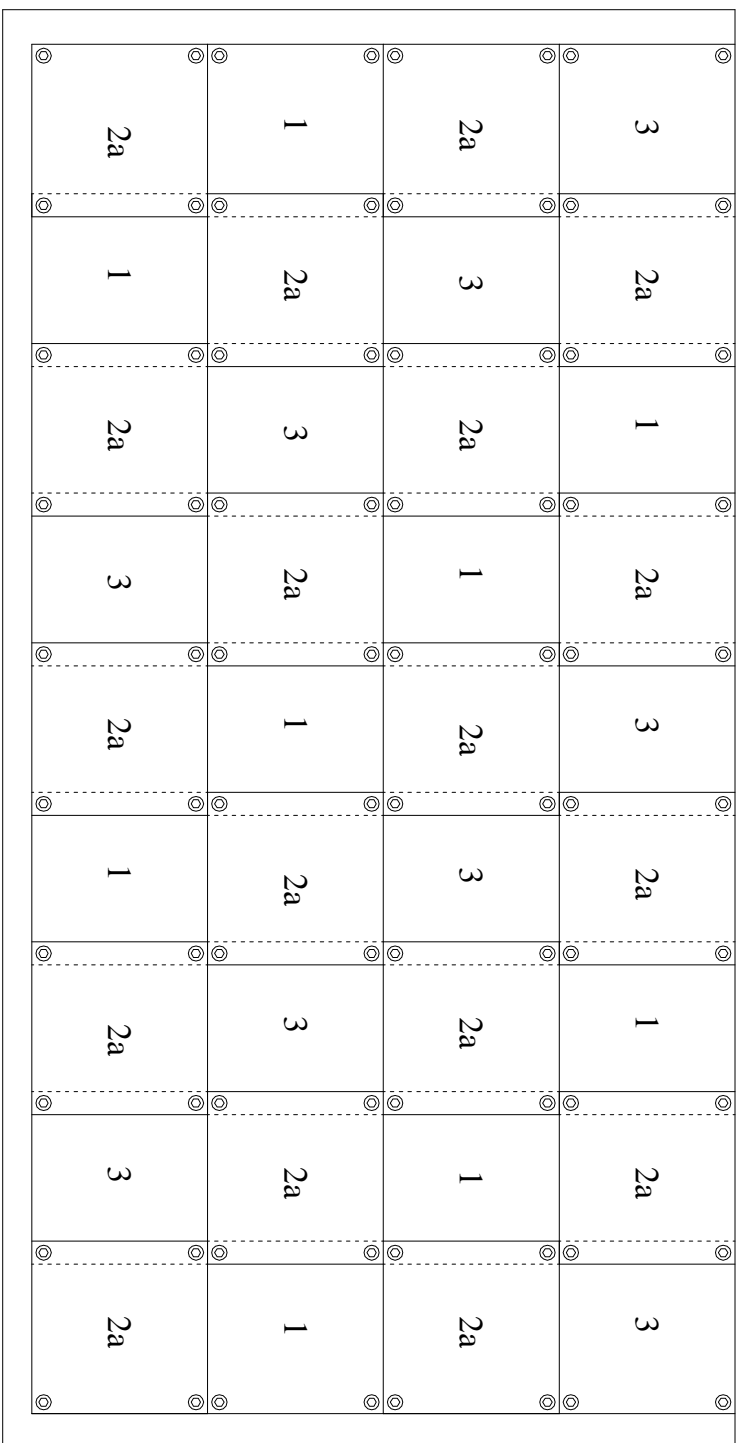


UTB Zlín	Vypracoval: František Židek
Dátum: 05.05.2010	Názov výkresu: Varianta B

PRÍLOHA P VI: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA D

LEGENDA MATERIÁLU:

- 1 - DOSKA (PILINY + CEMENT)
- 2 - DOSKA (KERAMZIT + CEMENT)
- 3 - DOSKA (GUM. DRŤ + CEMENT)
- 1a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM(PILINY + CEMENT)
- 2a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (KERAMZIT + CEMENT)
- 3a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (GUM. DRŤ + CEMENT)

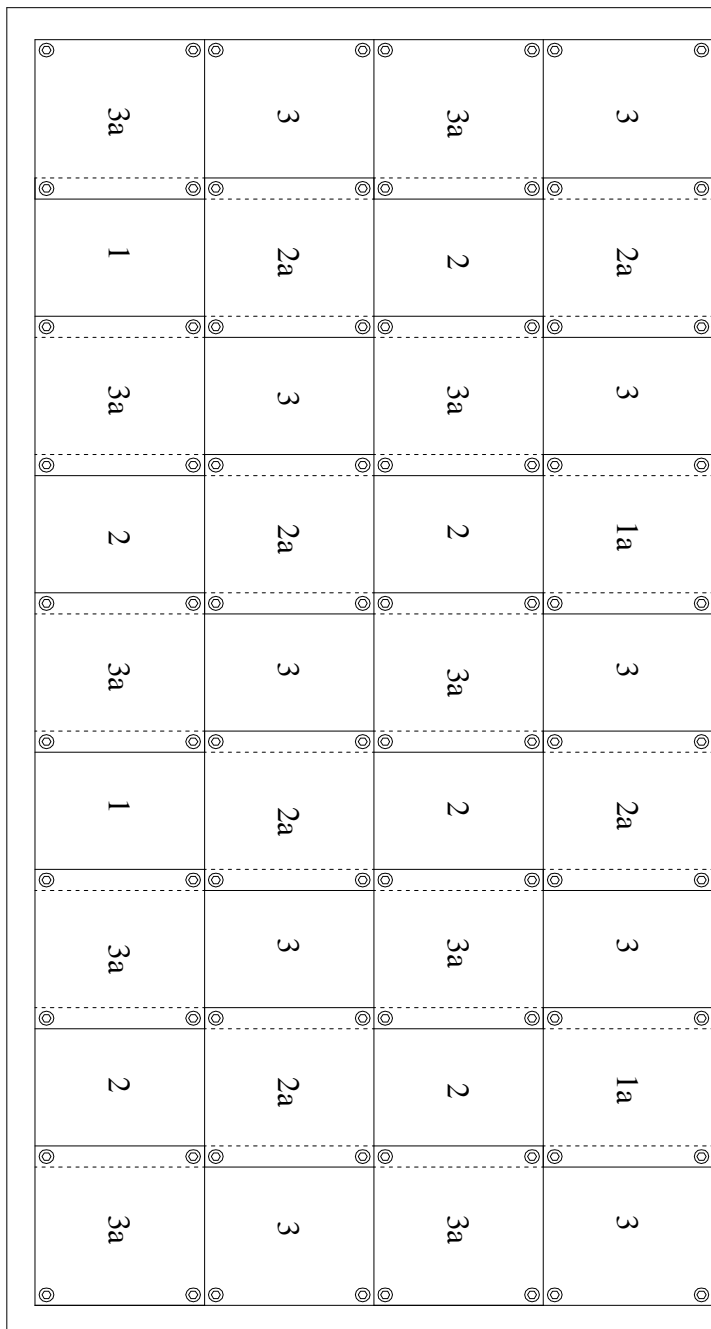


UTB Zlín	Vypracoval: František Židek
Dátum: 05.05.2010	Názov výkresu: Varianta D

PRÍLOHA P VII: VÝKRES PROTIHLUKOVEJ STENY, VARIANTA E

LEGENDA MATERIÁLU:

- 1 - DOSKA (PILINY + CEMENT)
- 2 - DOSKA (KERAMZIT + CEMENT)
- 3 - DOSKA (GUM. DRŤ + CEMENT)
- 1a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM(PILINY + CEMENT)
- 2a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (KERAMZIT + CEMENT)
- 3a - DOSKA SO VZDUCH. MEDZEROU 20 MM (GUM. DRŤ + CEMENT)



UTB Zlín	Vypracoval: František Židek
Dátum: 05.05.2010	Názov výkresu: Varianta E