



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MACHINE AND INDUSTRIAL DESIGN

AKUSTICKÉ ZKUŠEBNÍ KOMORY

ACOUSTIC TEST CHAMBERS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PETR GAJDOŠ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. IVAN MAZŮREK, CSc.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav konstruování

Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Petr Gajdoš

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Akustické zkušební komory

v anglickém jazyce:

Acoustic test chambers

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Cílem bakalářské práce je podat přehled současného stavu využití akustických komor v ČR pro účely posuzování hlukové emise strojů, doplněný vymezením trendů budoucího vývoje.

Cíle bakalářské práce:

Bakalářská práce musí obsahovat:

1. Úvod
2. Definici základních pojmů
3. Přehled a rozbor existující literatury v dané oblasti
4. Analýzu a zhodnocení získaných poznatků
5. Vymezení trendů budoucího vývoje
6. Souhrnnou bibliografii
7. Závěr

Forma bakalářské práce: průvodní zpráva

Typ práce: rešeršní

Účel práce: pro VV a tvůrčí činnost ÚK

Seznam odborné literatury:

SMETANA C. Hluk a vibrace, Sdělovací technika, Praha, 1998

MAZŮREK, I.; KLAPKA, M.; ROUPEC, J. Noise Reduction of the Differential Sleeve Bearing. Engineering Mechanics. 2009. 16(2). p. 93 - 102. ISSN 1802-1484

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/2010.

V Brně, dne 18.11.2009

L.S.

prof. Ing. Martin Hartl, Ph.D.
Ředitel ústavu

doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je podat ucelený přehled o funkci, stavbě a využití akustických zkušebních komor na území České Republiky s jejich dostupným technickým popisem a kontaktem na tyto zařízení, doplněný vymezením budoucího vývoje.

KLÍČOVÁ SLOVA

Akustické komory, bezdozvukové komory, dozvukové komory, hluk, zvuk, aktivní tlumení

ABSTRACT

The aim of this work is to give a comprehensive overview of the function, construction and use of acoustic test chambers in Czech Republic with the available technical descriptions and contacts of these devices, supplemented by the definition of the future development.

KEYWORDS

Acoustic chambers, anechoic chambers, reverbation chambers, noise, sound, active damping

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

GAJDOŠ, P. Akustické zkušební komory. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 50 s. Vedoucí bakalářské práce doc. Ing. Ivan Mazůrek, CSc.

PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Akustické zkušební komory* vypracoval samostatně pod vedením doc. Ing. Ivana Mazúrka, CSc. a použitou odbornou literaturu a prameny jsem uvedl v literatuře.

21.5.2010

.....

Petr Gajdoš

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat doc. Ing. Ivanu Mazůrkovi Csc. za odborné vedení a pomoc při zpracování bakalářské práce.

1	ÚVOD	12
2	DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ	13
2.1	Zvuk.....	13
2.1.1	Zvuk a hluk.....	13
2.1.2	Vznik hluku	13
2.1.3	Šíření hluku	13
2.1.4	Akustický tlak.....	14
2.1.5	Akustický výkon.....	14
2.1.6	Akustická intenzita	15
2.1.7	Hladiny akustických veličin	16
2.1.8	Typy akustických polí	17
2.2	Zvuková pohltivost.....	18
2.2.1	Zvuková pohltivost.....	18
2.2.2	Činitel zvukové pohltivosti α	18
2.2.3	Ekvivalentní pohltivá plocha A	19
2.2.4	Doba dozvuku T	19
3	PŘEHLED A ROZBOR LITERATURY	20
3.1	Akustické komory	20
3.1.1	Dozvukové komory	20
3.1.2	Bezdozvukové komory	22
3.1.3	Rozdělení bezdozvukových komor	27
3.2	Přehled komor	30
3.2.1	Přehled komor v České Republice.....	30
3.2.2	Přehled komor ve světě.....	30
4	ANALÝZA	33
4.1	Analýza postupu návrhu polobezdozvukové komory	33
4.1.1	Analýza prázdné místnosti	33
4.1.2	Charakterizace akustického obložení	34
4.1.3	Předpoklad akustických vlastností místnosti s obložením	34
5	TRENDY BUDOUCÍHO VÝVOJE.....	35
5.1	Antihluk.....	35
5.2	Tlumení hluku a vibrační pomocí piezoelektrických materiálů	35
5.2.1	Moderní semi-aktivní přístup k tlumení hluku	35
5.2.2	Piezoelektrické materiály a metoda řízení elastických vlastností	35
6	ZÁVĚR	37
7	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	38
8	PŘÍLOHY	39
1.	PETROF – Hradec Králové.....	39
2.	MORAVSKOSLEZSKÝ AUTOMOBILOVÝ KLAST – Ostrava.....	40
3.	VOJENSKÉ ZKUŠEBNÍ KOMORY – Vyškov	41
4.	ČVUT – Praha – ústav techniky prostředí.....	44
5.	HAMU – Praha.....	45
6.	DAIKIN – Brno	46
7.	ROBERT BOSCH – České Budějovice	47
8.	TVM ACOUSTICS – Valašské Meziříčí.....	48
9.	EMERSON MIKULOV	49
10.	EKOLA GROUP – Praha.....	50

1 ÚVOD

Na hladinu hlukových emisí se v současné době klade stále větší důraz. Je tak díky tomu, že již známe důsledky působení hluku na lidský organismus, jež se stal škodlivinou, která provází nejen naše pracoviště ale také veřejná místa, či naše domovy.

Nejde však jen o vysoké hladiny hluku. Stejně tak i hodnoty blízké 20 dB(A) se projevují na většině lidí negativně, a to neklidným a nepříjemným stavem. Hluboké ticho totiž není pro člověka přirozeným prostředím.

Při vysokých hladinách nad 130 dB(A) se hluk projevuje především bolestí hlavy a sluchových orgánů. V případě, že by hluk sílil k hodnotě 160 dB(A), dojde k protržení bubínku na konci zvukovodu.

Negativní účinky se projevují zejména v oblasti sluchového orgánu. Ovšem hluk má za následek projevy i mimosluchového charakteru. Mezi takové patří:

- psychické poruchy, apatie, nervozita a podrážděnost
- neschopnost dostatečné relaxace, nedostatečná hloubka spánku
- zvýšení krevního tlaku a srdeční aktivity
- zhoršení látkové výměny a podráždění vegetativního systému

Z těchto důvodů se provádějí měření hlukových emisí a kroky k potlačení nadměrné hlukové kontaminace našeho okolí. Tato měření se provádějí v akustických zkušebních komorách, kterými se budu zabývat.

Cílem této bakalářské práce je podat ucelený přehled o funkci, stavbě a využití akustických zkušebních komor. Dalším bodem bude pokus o vytvoření seznamu existujících komor na území České Republiky s jejich dostupným technickým popisem a kontaktem na tyto zařízení.

Smyslem vytváření tohoto seznamu je skutečnost budování polobezdozvukové komory na Ústavu konstruování v budově B1 v místnosti 110. Seznam poslouží ke zvážení konkurenceschopnosti budovaného zařízení, a zároveň může pomoci k získání partnerů v tomto oboru.

2 DEFINICE ZÁKLADNÍCH POJMŮ

2

2.1 Zvuk

2.1

2.1.1 Zvuk a hluk

2.1.1

Zvuk je průvodní jev našeho okolí a nazýváme jím mechanické vlnění pružného okolí ve frekvenčním rozsahu lidské slyšitelnosti, což je 16 Hz – 20 kHz (s rostoucím věkem se pásmo slyšitelnosti zužuje).

Hlukem z pravidla nazýváme takový zvuk, který považujeme za nepříjemný, tedy nežádoucí. Obvykle je složen z dílčích tónů o kmitočtech, které nejsou celočíselnými násobky. Definice hluku ovšem neexistuje, pojem nepříjemný zvuk je totiž velice subjektivní. [1]

2.1.2 Vznik hluku

2.1.2

Hluk by jsme z hlediska vzniku mohli rozdělit na dvě základní skupiny:

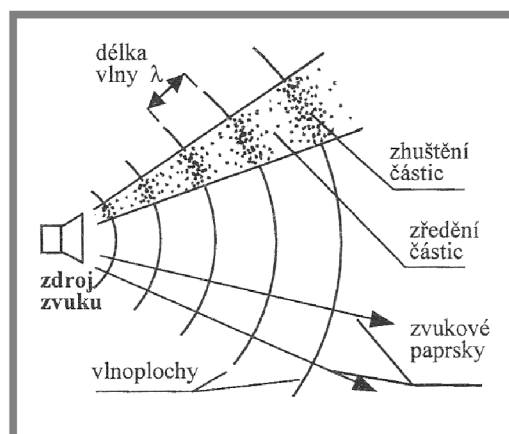
- aerodynamický hluk – Jedná se o hluk, který vzniká v místech neustálého proudění kapaliny či plynu, nebo v oblastech výrazných změn tlaku, způsobující vlnění média.
- mechanický hluk – Hluk vytvářený kmity pevných těles jako jsou stroje či budovy. Plynné nebo kapalné prostředí je rozkmitáno vibrací povrchu pevného tělesa. Akustická energie je závislá na tvaru povrchu a rozměrech kmitajícího tělesa.

2.1.3 Šíření hluku

2.1.3

Hluk se šíří hmotným prostředím pomocí akustické vlny, pohybující se všemi směry od zdroje. Vlnění se pohybuje ve vlnoplochách, což jsou plochy v prostoru, které mají shodné hodnoty akustických veličin. Směr vlnění určuje, zda se jedná o:

- podélné – ve směru akustického paprsku
- příčné – ve směru kolmém na směr akustického paprsku

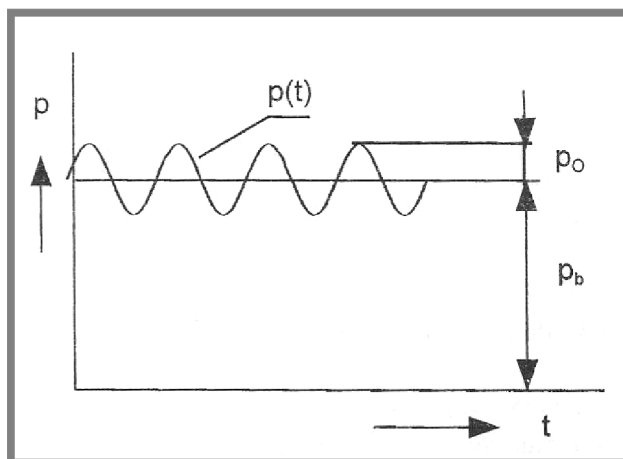


Obr. 1 Vlnění v pružném prostředí [1]

2.1.4 Akustický tlak

Akustickým tlakem nazýváme změnu tlaku, způsobenou kmitáním částic prostředí. Nejnižší akustický tlak, který jsme schopní slyšet se pohybuje okolo $20 \mu\text{Pa}$ a jde o práh slyšitelnosti.

Jako akustický tlak p [Pa] tedy chápeme odchylku celkového tlaku od tlaku v klidovém stavu při vlnění v daném prostředí. Akustický tlak je potom nasuperponován na barometrický tlak p_b . [1]



Obr. 2 Průběh akustického tlaku [1]

Při vlnění o frekvenci f a fázovém posunu φ má akustický tlak tvar harmonické funkce

$$p_c = p_b + p(t)$$

kde

$$p(t) = p_0 \cdot \cos(\omega t + \varphi) =$$

$$p_0 \cdot \cos(2\pi f t + \varphi)$$

kde: p_0 – amplituda akustického tlaku

φ – fázový posun.

Efektivní hodnota tlaku je

$$p_{ef} = \frac{p_0}{\sqrt{2}} \quad [Pa]$$

2.1.5 Akustický výkon

Akustickým výkonem P [W] nazýváme množství akustické energie, která projde myšlenou plochou za jednotku času. [1]

Akustický výkon je definován vztahem

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v = p \cdot v \cdot S \quad [W]$$

kde: p [Pa] – akustický tlak
 v [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$] – rychlost kmitání částic
 S [m^2] – plocha.

2.1.6 Akustická intenzita

2.1.6

Akustická intenzita, neboli intenzita zvuku, je vektorová veličina určující směr na množství toku akustické energie v daném místě prostředí. Tento vektor je časově průměrovaný součin okamžitého tlaku $\mathbf{p}(\mathbf{t})$ a odpovídající okamžité rychlosti $\mathbf{v}(\mathbf{t})$ kmitajících částic prostředí v témže místě. [1]

$$I = \overline{p(t) \cdot v(t)} \quad [\text{W} \cdot \text{m}^{-2}].$$

Akustická intenzita je vektorovou veličinou, díky tomu určuje směr šíření akustického vlnění, na rozdíl od akustického tlaku, který je veličinou skalární. Akustická intenzita je tedy nulová kolmo na směr vlnění.

V technické akustice se z pravidla měří pouze akustický tlak a nikoliv akustická rychlost. S výhodou tedy využíváme konstantního poměru mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí. [1]

Zavádí se tedy měrný vlnový odpor známý jako impedance \mathbf{Z} [Ns/m^3]

$$Z = \rho \cdot c = \frac{p}{v} \quad [\text{Ns}/\text{m}^3]$$

kde: c [ms^{-1}] – rychlost zvuku.

Akustické zdroje mohou být uvažovány jako bodové zdroje v případě, že jejich rozměry jsou malé v porovnání s jejich vzdáleností od příjemce.

U bodového zdroje se akustická energie šíří rovnoměrně do všech směrů, tím se s rostoucí vzdáleností od zdroje rozprostírá do stále větší plochy. Výstupní výkon zdroje prochází sférickou plochou poloměru \mathbf{r} . [1]

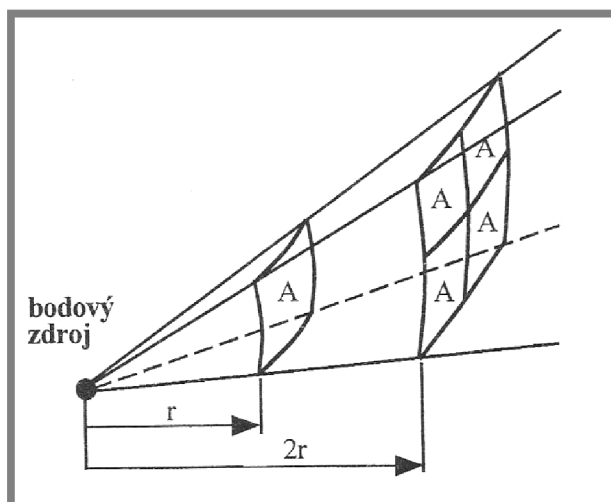
Akustická intenzita této plochy je

$$I_1 = \frac{P}{4\pi \cdot r^2}$$

při poloměru $2\mathbf{r}$ potom

$$I_2 = \frac{P}{4\pi \cdot (2r)^2} = \frac{I_1}{4}$$

Akustická intenzita je tedy inverzně úměrná na čtverci vzdálenosti zdroje od příjemce. Zeslabí se o 6 dB při každém zdvojnásobení vzdálenosti.



Obr. 3 Šíření vlnění prostorem [1]

2.1.7 Hladiny akustických veličin

Člověk registruje akustický tlak, ve velice širokém rozsahu hodnot. Akustický tlak prahu slyšitelnosti se pohybuje okolo $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Tuto hodnotu bereme jako referenční hodnotu, od které byly odvozeny referenční hodnoty dalších akustických veličin. Hodnota akustického tlaku, při kterém začínáme pociťovat bolest je okolo 100 Pa. [1]

Poměr těchto hodnot je potom značný, přibližně 1:1 000 000. Lidské ucho navíc nereaguje na zvukový podnět lineárně, ale jeho vnímání je úměrné logaritmu tohoto podnětu. Proto byla pro akustické veličiny zavedena logaritmická měřítka. Tyto vyjádření akustických veličin se nazývají *hladiny akustických veličin* a jsou definovány vztahy

$$L = \log \frac{A}{A_0} = \text{hodnota porovnávané veličiny} / \text{hodnota referenční}$$

Jejich jednotkou je **bel**. Vzhledem ke značné velikosti této jednotky se používá jednotka desetkrát menší, tedy **decibel** [dB]. [1]

Jednotlivé hladiny akustických veličin jsou definovány:

a) *Hladina akustického výkonu* L_w

$$L_w = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} [dB]$$

kde W [W] – hodnocený akustický výkon

$W_0 = 10^{-12}$ W – referenční výkon

$$L_w = 10 \cdot \log W + 120 [dB]$$

b) *Hladina akustické intenzity* L_I

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} [dB]$$

kde I [W/m^2] – měřená akustická intenzita

$I_0 = 10^{-12}$ W/m^2 – referenční výkon

$$L_I = 10 \cdot \log I + 120 [dB]$$

c) *Hladina akustického tlaku L_p*

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} [dB]$$

kde p [Pa] – akustický tlak v daném bodě akustického prostoru

$p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa – referenční hodnota akustického tlaku

$$L_p = 20 \cdot \log p + 94 [dB]$$

Při každém 10-ti násobném zvýšení akustického tlaku se hladina akustického tlaku zvýší o 20 dB. [1]

2.1.8 Typy akustických polí

2.1.8

Zdroj zvuku ve svém okolí vytváří akustické pole. Toto pole je závislé na činitelích jako:

- umístění zdroje
- tvar vyzařovaných vlnoploch
- velikost a tvar prostoru
- na okolních plochách, překážkách
- pohltivost okolních stěn
- počet zdrojů a jejich rozmístění

Překážka vložená do cesty šířícím se akustickým vlnám ovlivní tvar zvukového pole a tvar jeho vlnoploch. Zvukové vlny se od překážek odrážejí v případě, kdy je délka vlny dopadajícího zvuku kratší než jsou rozměry překážky. [1]

Podle charakteru šířících se vln lze rozdělit akustická pole na:

- *pole přímých vln* – akustická energie se do prostoru šíří postupnými přímými vlnami
- *pole odražených vln* – část energie se odráží zpět od ploch v prostoru

Jako základní typy akustických polí se uvádějí:

- volné akustické pole
- difúzní pole

a) *Volné akustické pole*

Ve volném akustickém poli se akustická energie šíří všemi směry od zdroje rovnoměrně, přitom předpokládáme že se energie šíří neomezeně. [1]

Další vlastnosti volného akustického pole jsou:

- rychlost kmitání částic je ve směru šíření podélných vln
- při zdvojnásobení vzdálenosti od zdroje klesne hodnota akustického tlaku na polovinu a hladiny akustického tlaku a akustické intenzity se sníží o 6 dB

b) Difúzní pole

Difúzní akustické pole má tyto vlastnosti:

- tok energie má ve všech směrech v každém bodě prostoru stejnou intenzitu, která se nemění s pozicí příjemce
- díky mnohonásobnému odrazu je akustický tlak v prostoru rovnoměrně rozložen

Tyto pole se však nikde v přírodě nevyskytují. Z tohoto důvodu se provádí výstavby akustických zkušebních komor, ve kterých je snaha o co největší přiblížení se k výše definovaným polím. [1]

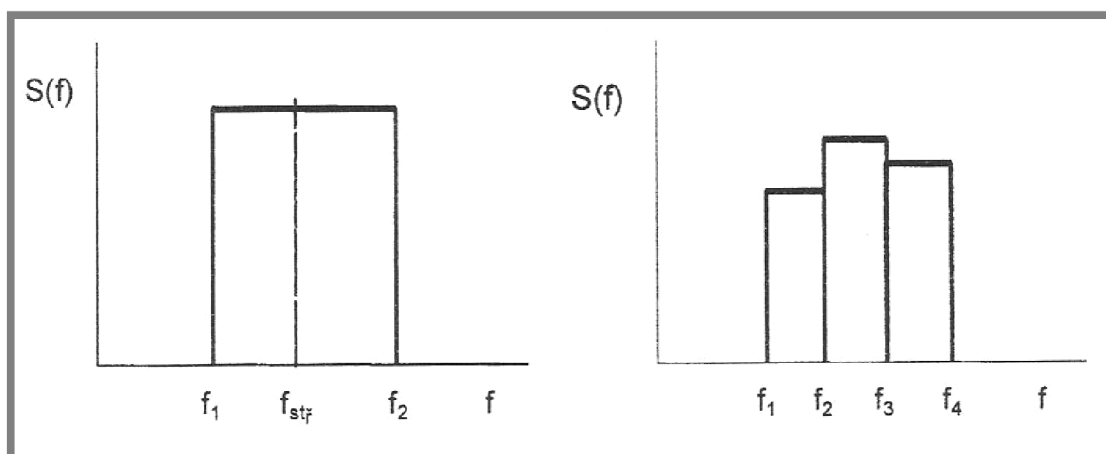
2.2 Zvuková pohltivost

2.2.1 Zvuková pohltivost

K pohlcování zvuku dochází u vláknitých a porézních materiálů prostřednictvím přeměny akustické energie na energii tepelnou. Tato přeměna se uskutečňuje třením molekul vzduchu o vlákna materiálu. Pro pohlcování vzduchu jsou vhodná minerální a skleněná vlákna. [2]

2.2.2 Činitel zvukové pohltivosti α

Tento činitel vyjadřuje poměr pohlcené zvukové energie k dopadající zvukové energii. Pro úplné pohlcení je činitel $\alpha = 1$, naopak při úplném odrazu je $\alpha = 0$. Při měření v akustických komorách dle norem může nabývat činitel α i hodnot větších než 1. To způsobuje tzv. okrajovým efektem. Činitel α je kmitočtově závislý, měření se obvykle provádí v 1/3 oktávových pásmech v rozsahu 100 – 6300 Hz. [1, 2]



Obr. 4 Oktávové pásmo a třetinooktávová pásma [1]

2.2.3 Ekvivalentní pohltivá plocha A2.2.3

Tato plocha je součinem plošného obsahu pohltivého materiálu S [m^2] a činitele zvukové pohltivosti α :

$$A = \alpha \cdot S [m^2]$$

2.2.4 Doba dozvuku T2.2.4

Dobou dozvuku T označujeme čas, za který se hladina akustického tlaku sníží v uzavřeném prostoru po vypnutí zdroje zvuku na 10^{-6} původní hodnoty, tj. o 60 dB.

V běžných místnostech o objemu V [m^3] a ekvivalentní pohltivé ploše A [m^2] můžeme dobu dozvuku určit jako:

$$T = 0,163 \cdot \frac{V}{A} [s]$$

3 PŘEHLED A ROZBOR LITERATURY

3.1 Akustické komory

Akustické zkušební komory jsou zařízení, které usnadňují, v krajním případě umožňují akustická měření. Jejich nezbytnost při akustickém měření spočívá ve složitosti definování volného zvukového pole. Cílem těchto zařízení je:

- Přiblížit se v interiéru vlastnostem volného či difúzního pole.
- Tím vytvořit prostředí, ve kterém známe a dokážeme popsat vztah mezi akustickým výkonem a akustickým tlakem.
- Snížit nebo potlačit průnik zvuků z okolí jako je například doprava či hluk od strojů.

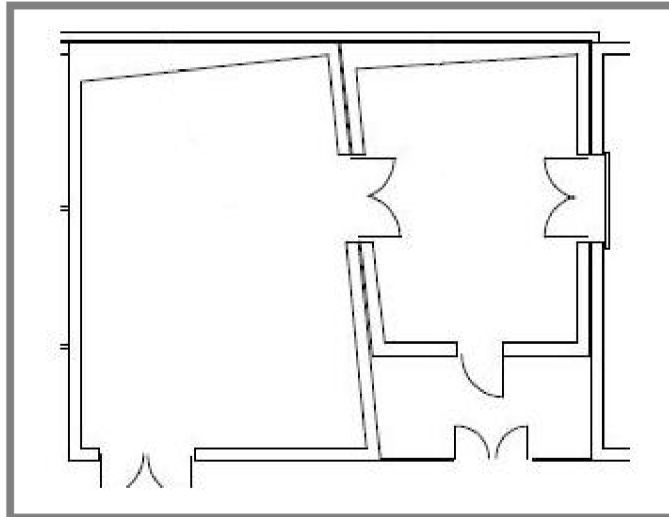
Měření akustického výkonu ve zkušebních komorách můžeme rozdělit do těchto úrovní:

- fyzikální měření – provádí se v bezdozvukových (anechoických), polobezdozvukových (semi-anechoických) nebo dozvukových (reverberačních) komorách
- průmyslové měření – provádí se v polobezdozvukových (semi-anechoických)
- orientační měření – lze jej provádět i v přirozeném prostředí

3.1.1 Dozvukové komory

Dozvukové komory jsou navrženy tak, aby stěny měly co nejmenší hodnotu činitele α , tedy aby měly co nejmenší zvukovou pohltivost.

Geometrie místnosti zajišťuje odraz zvuku do co nejvíce směrů a tím vzniklo difúzní akustické pole. Na obrázku je půdorys velké a malé dozvukové komory na univerzitě Southampton (UK).



Obr. 5 Dozvukové komory v Southampton [18]

Druhá možnost konstrukce komory je zachování obdélníkového půdorysu místnosti a instalace odrazivých ploch. Na obrázku je reverberační komora nabízená firmou EST-LINDGREN.



Obr. 6 Dozvuková komora EST-LINDGREN [19]

V těchto komorách se provádí měření akustického výkonu a měření zvukové pohltivosti. Pro měření pohltivosti s fyzikální přesností musí mít komora objem větší než 125 m^3 , v ideálním případě by však měla mít nad 200 m^3 . Tato velikost neplatí pro měření akustického výkonu. Zde platí zásada, že objem komory by měl být 100krát větší než objem zdroje hluku. [3]

Důvody vedoucí k výstavbě dozvukové komory:

- zjednodušení měření akustického výkonu, často lze použít jediný mikrofon
- umožňuje měření velice tichých zdrojů

Komplikace spojené s provozem dozvukové komory:

- ztráta informace o směrovosti zdroje

Normy používané při měření v dozvukových komorách:

ASTM C423/ISO 354 – měření zvukové pohltivosti v dozvukové místnosti

ISO 3741/3742 – určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - přesné metody pro dozvukové místnosti

3.1.2 Bezdozvukové komory

U bezdozvukových komor je snaha o vytvoření volného akustického pole. Můžeme si ho představit jako místo vysoko nad zemí, kam nedosahuje žádná zvuková kontaminace a zvukové vlny se mohou šířit všemi směry. Toho samozřejmě nelze dosáhnout. Normy anechoických komor jsou pak takové, že komora požadavky splňuje, pokud je při dané frekvenci hlasitost odrazu menší než 20 dB. [3]

3.1.2.1 Konstrukce

Bezdozvukové komory se staví jako „dům v domě“. Stěny, podlaha a stopy jsou vyrobeny z těžkých cihel a betonu, aby se zabránilo proniknutí zvuku do pokoje. Pro zabránění šíření zvuku vzduchem se používají těžké dveře s gumovým těsněním.

Je zapotřebí pečlivé konstrukce aby se zabránilo vedení zvuku strukturou, například vibracím od podloží. Celá vnitřní komora je uložena na pružném podloží (neoprén, gumové úchyty, pružiny) pro snížení vibrací jako u koncertních sálů.



Obr. 7 Uložení komory na pružinách [17]

Konstrukce je velmi náročná, například most vedoucí do komory se upevňuje na vnější zdi, ale na vnitřní už ne, pro zabránění šíření zvuku.

Pro odstranění odrazů od stěn, je každý povrch pokrytý absorpčním materiálem. Vnitřek komory je vyložen klíny, které pohlcují zvuk, což u plně bezdozvukových komor zahrnuje i podlahu. V plně bezdozvukové komoře se chodí se po ocelové síti, která je akusticky transparentní. [17]

Pokud je komora umístěna v lokalitě s nízkou hlukovou kontaminací, může se provést instalace akustických klínů na vnější zeď bez potřeby výstavby vnitřní místnosti.

3.1.2.1.1 Akustické klíny

3.1.2.1.1

Základním stavebním prvkem komor jsou klíny (nebo v Americe často používané jehlany s čtvercovou základnou) z absorpčních materiálů. Optimální tvar klínu je vždy vypočítán pro daný rozměr komory, kdy se vždy jedná o určitý kompromis mezi poznatky o mechanických a akustických vlastnostech porézních materiálů. Tvar klínu ovlivňuje měřitelné pásmo komory. Běžně je délka klínu $\frac{1}{4}$ vlnové délky spodní frekvence. Například pro 100 Hz se užívají klíny s délkou 36“ (915 mm).

Klíny se mohou být vyřezány ze slisovaného absorpčního materiálu a následně potaženy průzvučnou tkaninou, která stabilizuje tvar a zabrání vypadávání vláken. Jiný způsob výroby spočívá ve zhotovení drátové konstrukce klínu, která je poté vyplněna pohltivým materiálem a opatřena potahem jako u řezaných klínů. Drátová konstrukce je samonosná a lehčí. [3]

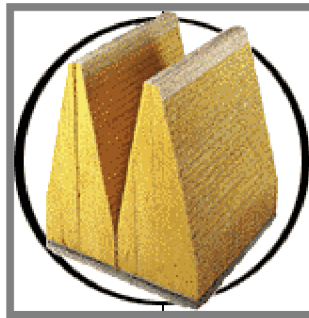


Obr. 8 Akustické obložení bezdozvukové komory v Ostravě

Níže uvedené typy akustických klínů jsou nabízené anglickou firmou ECKEL. V současné době nabízí akustické klíny ze skleněných vláken, pěny a perforované kovové klíny typu EMW, stejně jako klíny nové koncepce E-Element a SuperSoft panely.

3.1.2.1.2 EW Standard Anechoic Wedge

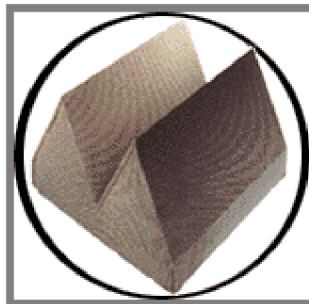
EW Standard Wedge vycházejí z klasického designu založeném na původním geometrickém návrhu, který vytvořil Leo Leroy Beranek a Harvey P. Sleeper Jr. na Harvardu během druhé světové války. Současné E.W. klíny obsahují nejmodernější materiály a prošly konstrukčními úpravami pro zajištění maximálního účinku v co nejširším pásmu měření. [4]



Obr. 9 EW Standard Wedge [4]

3.1.2.1.3 EMW Perforated Metal Anechoic Wedge

Klíny Eckoustic Metallic Wedge představují provedení klasické konstrukce s obalem z perforovaného kovu oproti původnímu tělu z drátu s látkovým obalem. Užitím vysoce transparentní perforované oceli či hliníku je kovový povrch téměř akusticky transparentní. [4]



Obr. 10 EMW Perforated Wedge [4]

3.1.2.1.4 E-Element Anechoic Absorbing Wedge

Užití unikátní geometrie klínů E-Element nabízí nový rozměr v konstrukci bezdozvukových komor, lišící se od konvenčního klínového designu. E-Element je vyroben z několika paralelních ploch s klínovou přední hranou, která je vždy otočena o 90°. To vytváří zvuk pohltivé pole, které je schopné dosáhnout dolní kmitočtové hranice při menší výšce klínu oproti klasické konstrukci. (US Patent #5.780.785) [4]

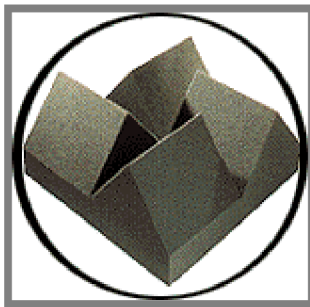


Obr. 11 E-Element Wedge [4]

3.1.2.1.5 Acoustic Foam Anechoic Wedge

3.1.2.1.5

Akustické pěny, (polyuretanové a melaminové) nabízí přijatelné akustické vlastnosti v mnoha aplikacích a může být ekonomičtější cestou než tradiční řešení. Komory s užitím polyuretanové pěny musí kvůli své hořlavosti mít hasicí systém. Správně navržené pěnové komory dobře fungují v mnoha aplikacích. [4]



Obr. 12 Foam Wedge [4]

3.1.2.1.6 SuperSoft Panel Lining / Wedge

3.1.2.1.6

Obložení z panelů SuperSoft pro akustické testovací zařízení bylo vyvinuto, aby vyplnilo „mezeru“ tam, kde není vyžadována úplná bezdozvukovost. [4]



Obr. 13 SuperSoft Wedge [4]

3.1.2.1.7 Dveře

Z důvodů značné hmotnosti a rozměrů akustického obložení jdou jen zřídka použít dveře klasické konstrukce. Tento problém se řeší dveřmi pojízdnými nebo zavěšenými na kolejnici.



Obr. 14 Dveře zavěšené [5]



Obr. 15 Pojízdné dveře [18]

3.1.3 Rozdělení bezdozvukových komor

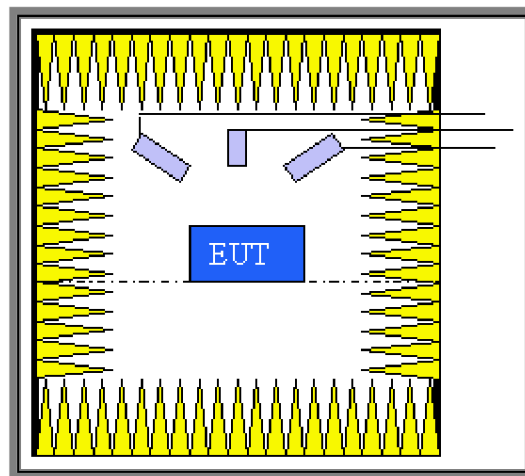
3.1.3

Bezdozvukové komory se dělí na:

a) *Plně bezdozvukové komory*

Používají se především pro akustické měření elektroniky, reproduktorů a jiného zvukového zařízení.

Veškeré zdi včetně stropu a podlahy jsou pokryty akustickou izolací. Podlahu tvoří zvukově transparentní železná síť. Bohužel díky této síti je nemožné provádět měření na strojích s vyšší hmotností. [3]



Obr. 16 Schéma bezdozvukové komory [3]



Obr. 17 Bezdozvuková komora [12]

Na této úrovni přesnosti měření může jakýkoliv zvuk odrazivý povrch představovat značné narušení volného pole. Přestože většina odrazů je účinně potlačena, některé stále zůstávají. Proto normy nařizují kvalifikační test skládající se ze série „draw-away“ testů pro zjištění pásma, ve kterém odražený zvuk nepřesáhne hodnotu 20 dB. [3]

Měřicí plochou u bezdozvukové komory je pole ve tvaru koule neboli sférické mikrofonní pole. To vyžaduje minimálně 20 měřených bodů v bezdozvukové místnosti. Poloměr sférického pole musí být menší než dvojnásobek charakteristické délky testovaného zařízení. Za určitých podmínek je vyžadováno až 40 měřených bodů.

Obvykle se nechává mezi mikrofony a akustickým obložením mezera velikosti $\frac{1}{4}$ vlnové délky, i když v některých případech (například u širokopásmových zdrojů hluku), je možné měřit při menší vzdálenosti mikrofonů od obložení. [3]

Důvody vedoucí k výstavbě bezdozvukové komory:

- zachování informací o směrovosti zdroje
- vysoká přesnost měření

Komplikace spojené s provozem bezdozvukové komory:

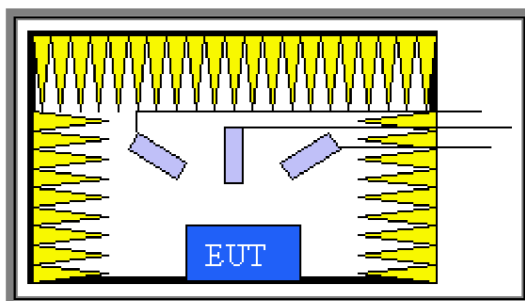
- velké množství mikrofonů

Normy používané při měření v bezdozvukových komorách:

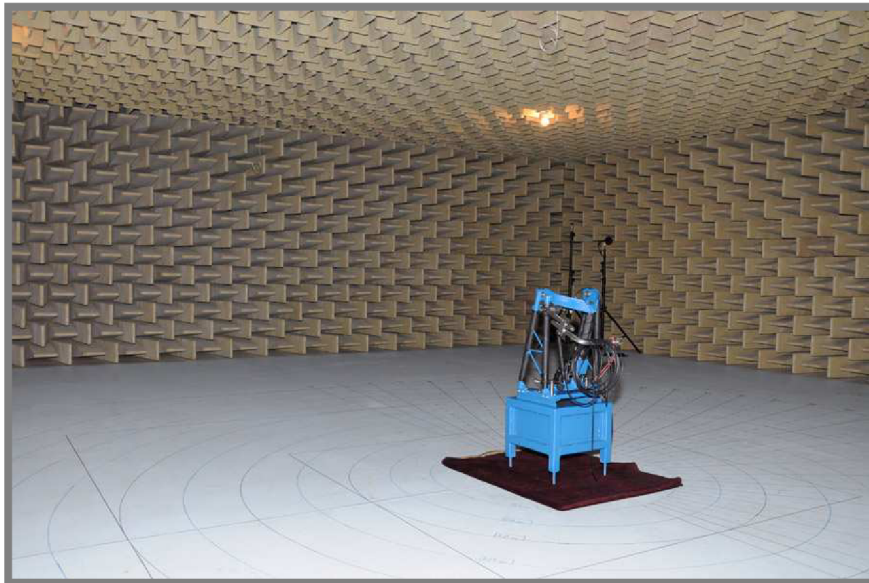
ISO 3745 – určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - přesné metody pro bezdozvukové a polobezdozvukové místnosti

b) Polobezdozvukové komory

Polobezdozvukové komory se od plně bezdozvukových komor odlišují tvrdou podlahou s předepsanou zvukovou odrazivostí. Koeficient α musí dosahovat nejvyšší hodnoty 0,06 a běžně bývá materiálem podlahy beton. Tato podlaha však značně komplikuje kvalifikační měření komory. Musí proto existovat speciální normy pro měření v polobezdozvukových komorách, zohledňující odrazivou plochu. Jedná se zde o jakýsi kompromis mezi bezdozvukovou komorou a běžným průmyslovým interiérem. [3]



Obr. 18 Schéma polobezdozvukové komory [3]



Obr. 19 Polobezdozvuková komora

Pro přesné měření akustického výkonu je zapotřebí alespoň 10 mikrofonů, které vytvoří sférické pole (jen polokulové). Poloměr polokoule musí být menší než dvojnásobek charakteristického rozměru zdroje.

Pro průmyslové měření akustického výkonu, je povoleno měřit v poli tvaru pravoúhlého rovnoběžnostěnu (krabice od bot). Pole více méně konformně obklopuje zdroj ve vzdálenosti (běžně) 1 m. Toto značně snižuje požadavky na velikost komory u vysokých strojů. [3]

Důvody vedoucí k výstavbě polobezdozvukové komory:

- schopnost měření těžkých strojů
- nižší cena než u plně bezdozvukových komor

Komplikace spojené s provozem polobezdozvukové komory:

- ztížené kvalifikační měření způsobené odrazivou podlahou

Normy používané při měření v polobezdozvukových komorách:

- ISO 3744 – určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - technická metoda ve volném poli nad odrazivou rovinou
- ISO 3745 – určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - přesné metody pro bezdozvukové a polobezdozvukové místnosti
- ISO 7779 – měření hluku šířeného vzduchem vyzařovaného zařízeními informační technologie a telekomunikací

3.2 Přehled komor

Tento přehled byl vytvořen především pro pracovníky Ústavu konstruování z důvodu budování polobezdozvukové komory v budově B1, místnosti 110. Seznam by měl pomoci zmapovat konkurenci na poli měření hluku a akustického výkonu.

Informace pro tuto kapitolu pochází většinou z komerčních letáků na oficiálních webových stránkách společností vlastnících komoru, nebo z korespondence s vedením komory.

3.2.1 Přehled komor v České Republice

Během své rešeršní činnosti jsem narazil na níže uvedené bezdozvukové komory. U všech komor se mi podařilo získat kontakt, ale bohužel s technickými daty jsem nebyl zcela úspěšný, protože některé firmy odmítly komunikovat, nebo jejich interní předpisy nepovolují sdělování informací. Bližší informace o komorách jsou pro svoji rozmanitost uvedeny v příloze.

1. PETROF – Hradec Králové
2. MORAVSKOSLEZSKÝ AUTOMOBILOVÝ KLASTR – Ostrava
3. VOJENSKÉ ZKUŠEBNÍ KOMORY – Vyškov
4. ČVUT – Praha
5. HAMU – Praha
6. DAIKIN – Brno
7. ROBERT BOSCH – České Budějovice
8. TVM ACOUSTICS – Valašské Meziříčí
9. EMERSON – Mikulov
10. EKOLA GROUP

3.2.2 Přehled komor ve světě

3.2.2.1 Největší bezdozvuková komora na světě



Obr. 20 Benefield – C-130 Hercules [11]

V Mohavské poušti v srdci Kalifornie je uhnízděný zajímavý akustický fenomén – největší bezdozvuková komora na světě. Nachází se na základně vojenského letectva Edwards. Bezdozvukové zařízení Benefield je významná a raritní část výzkumného centra vojenského letectva. Přestože výzkumné centrum bylo poprvé otevřeno v roce 1951, zařízení Benefield se stalo jeho oporou až v polovině 80. let.



Obr. 21 Benefield – současné měření více letounů [11]

Bezdozvuková komora umožňuje díky svým rozměrům pozemní testování elektronických bojových systémů na letounech v plné velikosti. Ocelový box o rozměrech 76 m x 80 m x 21 m je uzavřen v kovovém hangáru. Stěny strop a podlaha jsou pokryty 816 000 pyramidovými pěnovými jehlami navrženými k pohlcování rádiových frekvencí. Uprostřed komory se nachází točna s průměrem 48 m schopná otáčení o 360° zatímco drží objekty s hmotností přes 450 tun.



Obr. 22 Benefield – F-22 Raptor [11]

Bezdozvuková komora Benefield je považována za ideální zařízení pro pozemní testování jako zkoumání anomálií spojených s avionikou (elektrickým a elektronickým zařízením letadel), taktickými raketami a jejich nosiči.

V bezdozvukovém zařízení Benefield bylo testováno několik zajímavých strojů jako F-22 Raptor, F-16 Fighting Falcon, MH-47 Chinook, a C-130 Hercules. Dále podporuje měření různých vesmírných zařízení, tanků, satelitů, obrněných vozidel. BMW využila tuto komoru k testování magnetické interference na nadcházející modely 2004 řad 530i, 545i a 645i. [11]

3.2.2.2 Největší evropské bezdozvukové zařízení

Evropská největší bezdozvuková komora pro zkoušení leteckých motorů a ventilátorů v plné velikosti byla zprovozněna v květnu 2004. Komora je součástí centra testování kompresorů CTC-Wildau, které se nachází ve Wildau blízko Berlína (Německo). CTC-Wildau bylo zřízeno v průběhu let 2004-2005 firmou AneCom AeroTest GmbH a stalo se nezávislou institucí, přístupnou všem zákazníkům kompresorového průmyslu.

Bezdozvukové zkušební zařízení bylo speciálně navrženo k uspokojení potřeb pokročilého testování a vyšetřování hluku ventilátorů. Základní konstrukční požadavky byly navrženy ve spolupráci s hlavními výrobci leteckých motorů.



Obr. 23 Největší evropská bezdozvuková komora [13]

V komoře může být testován ventilátor s až 45 palcovým průměrem do výše 12 000 ot./min poháněný elektromotorem s výkonem až 18 MW. Proudění vzduchu je schopné dosáhnout až 200 kg/s. Rozměry objektu jsou 30 m x 35 m x 10 m. Na pokrytí stěn bylo použito čtyřicet tisíc akustických klínů pro potlačení odrazů zvuku mezi 200 Hz až 40 kHz. Systém sběru dat „State-of-the-Art“ umožňuje záznam a sledování až 2 500 parametrů měření v reálném čase. [13]

AneCom AeroTest GmbH
Freiheitstrasse 122
15745 Wildau, Gemrany

Bernt Krautzun
Phone +49 3375 922646
bernt.krautzun@anecom.de

4 ANALÝZA

4

4.1 Analýza postupu návrhu polobezdovukové komory

4.1

Pro analýzu postupu návrhu byla použita dokumentace projektování polobezdovukové komory na Michigan Technological University USA, které proběhlo v roce 2005.

Po změření parametrů prázdné místnosti obvykle následuje důležitý návrh akustické izolace interiéru od vnější kontaminace. Jedná se o zvukovou izolaci řešenou obkladem místnosti, nebo při velkém průniku hluku formou konstrukce „dům v domě“. Důležité je také utlumení vibrací, které se nesou budovou. Ty se tlumí pomocí uložení komory na pružný materiál jak je popsáno v kap. 3.1.2.1.

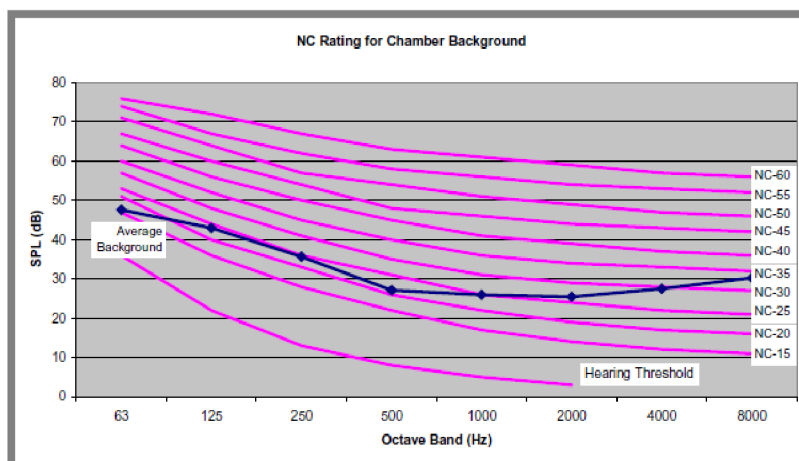
Dokončení komory provází kvalifikační testy, které určí kvalitu komory. Jedná se především o změření prostoru, ve kterém se akustické vlastnosti přibližují volnému poli a o určení frekvenčního rozsahu ve kterém hlasitost odrazu nepřesáhne 20 dB.

Návrh místnosti byl rozdělen do tří fází:

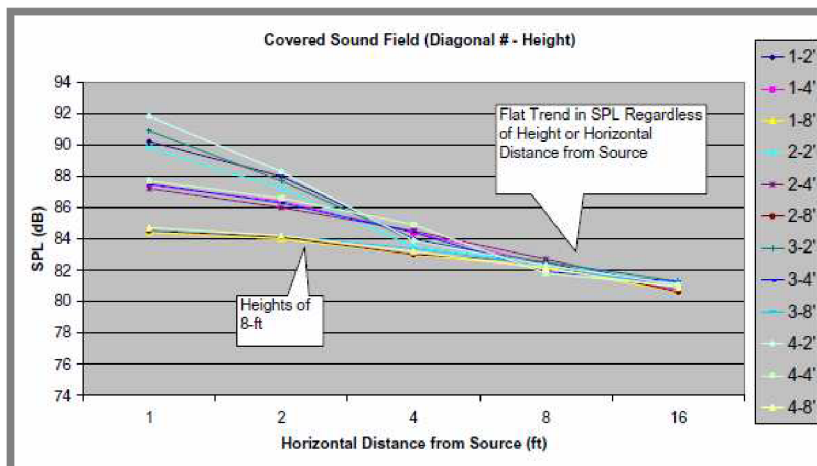
4.1.1 Analýza prázdné místnosti

4.1.1

V této fázi bylo charakterizováno zvukové pole. Z toho důvodu byly provedeny čtyři testy pro určení akustických vlastností místnosti.



Obr. 24 Background SPL Measurements [14]



Obr. 25 Sound Field Measurements [14]

a) *Background SPL Measurements*

Měření hladiny odraženého zvuku. Pro tiché místnosti by se výsledky měli pohybovat v rozsahu NC-15 až NC-20 v rozmezí 63-8000Hz. [14]

b) *NR Measurements*

Měření zvukové pohltivosti místnosti. [14]

c) *Sound Field Measurements*

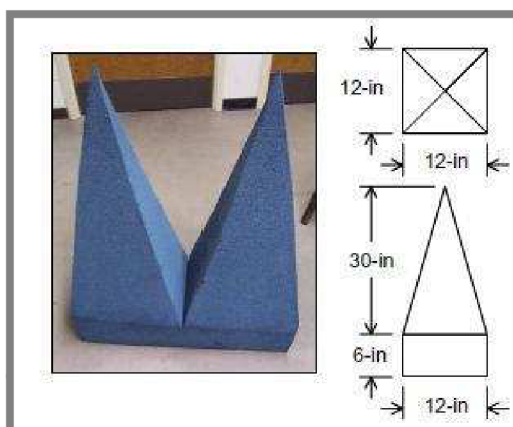
Tyto testy vedly k charakterizování komory dle normy ANSI S1.13-1971. Zdroj hluku byl nastaven na hladinu 90 dB a umístěn do středu místnosti. Bylo provedeno několik měření s různými horizontálními vzdálenostmi mikrofonů od zdroje v několika výškách. [14]

d) *Rverbation Time Measurements*

Měření doby dozvuku. [14]

4.1.2 Charakterizace akustického obložení

Základní úpravou povrchu zdí, dveří a stropů je akustické obložení. V tomto projektu bylo použito absorpčního materiálu zpracovaného do tvaru jehlanů s čtvercovou základnou. [14]



Obr. 26 Akustické absorpční jehlany [14]

4.1.3 Předpoklad akustických vlastností místnosti s obložením

V této fázi se z naměřených charakteristik místnosti a známých vlastností akustického obložení provedla simulace chování dokončené místnosti. [14]

5 TRENDY BUDOUCÍHO VÝVOJE

5

5.1 Antihluk

5.1

„Zařízení tohoto druhu vysílá úplně stejné zvukové vlny jako zdroj hluku, avšak s opačnou fází, takže se s původním zvukem vzájemně vyruší. Dnes se antihluk celkem běžně používá ve sluchátkách pro hlučné prostředí.“ [15]

5.2 Tlumení hluku a vibrací pomocí piezoelektrických materiálů

5.2

„Silniční, železniční a letecká doprava představují jedny z hlavních zdrojů hluku a vibrací, kterým je více či méně vystaven každý člověk.

Řešení problémů s hlukem se proto stává prioritou vlád rozvinutých zemí a předmětem rostoucího počtu čím dále tím více přísnějších regulačních opatření. To klade stále zvyšující se nároky na účinnost a dostupnost pokročilých zařízení pro potlačování hluku a konstrukce takových zařízení představuje velkou výzvu pro odborníky z oblasti akustiky. Jednoduchá, velmi variabilní a poměrně účinná metoda jak potlačovat přenos hluku a vibrací je založena na využití piezoelektrických materiálů.

5.2.1 Moderní semi-aktivní přístup k tlumení hluku

5.2.1

Moderní semi-aktivní přístup k tlumení hluku je založen na odrazu zvukových vln na rozhraní dvou prostředí. Tento jev se dá popsat velmi jednoduše. Dopadne-li zvuková vlna šířící se ve vzduchu na rozhraní s jiným prostředím, část zvukové vlny se odrazí zpět a zbylá část zvukové vlny rozhraním projde. Pokud je rozhraní tvořeno vrstvou z jiného materiálu (např. sklo okenní tabule), potom odraz dopadající zvukové vlny způsobí rozechvění této vrstvy a ta potom funguje jako zdroj hluku pro prostředí za ní.

Veškerý problém s nedostatečnou hlukovou izolací se dá formulovat tak, že sklo okenní tabule nebo tenký plech karoserie automobilu, či trupu letadla nepředstavuje dostatečně odolnou zvukovou bariéru a prošlá zvuková vlna je slyšitelná lidským sluchem. Tato situace se však může poměrně jednoduše změnit s využitím piezoelektrických materiálů a metody aktivního řízení elastických vlastností.

5.2.2 Piezoelektrické materiály a metoda řízení elastických vlastností

5.2.2

Piezoelektrické materiály je jistá třída dielektrických materiálů vyznačující se tzv. přímým a inverzním piezoelektrickým jevem. Přímý piezoelektrický jev nastane v případě, že se působením mechanické síly na piezoelektrickou destičku vytvoří na elektrodách destičky elektrický náboj, který je přímo úměrný působícímu mechanickému napětí.

Inverzní piezoelektrický jev nastane, přivedeme-li elektrické napětí na elektrody piezoelektrické destičky, a ta se deformuje přímo úměrně přiloženému elektrickému napětí. Piezoelektrického jevu je možno využít k aktivnímu řízení elastických vlastností materiálů.

Působíme-li mechanickou silou F na elastický materiál, vytvoříme v něm deformaci. V piezoelektrickém materiálu se navíc vlivem mechanické síly F vytvoří

na elektrodách náboj Q . Náboj Q je přiveden do aktivního elektronického obvodu, který řídí elektrické napětí V na elektrodách piezoelektrika.

Celková deformace piezoelektrické destičky je rovna součtu deformace dané Hookeovým zákonem $D_{x\text{elast}}$ a deformace dané inverzním piezoelektrickým jevem $D_{x\text{piezo}}$. Pokud se v součtu oba dva příspěvky k deformaci navzájem vyruší, je celková deformace piezoelektrické destičky nulová i při nenulové působící síle. To odpovídá situaci, kdy efektivní elastická tuhost destičky dosahuje nekonečných hodnot. Tohoto stavu je možné velmi výhodně využít v systémech pro potlačení přenosu hluku.

Pro dosažení potřebného útlumu hluku pomocí konvenčních metod je třeba kombinace pasivního i aktivního přístupu. Tuto nevýhodu elegantně odstraňuje moderní semi-aktivní tlumení hluku pomocí piezoelektrických materiálů, neboť tato metoda využívá jednak příspěvek díky pasivnímu tlumení přenosu sluku a jednak dodatečný příspěvek daný činností aktivního elektronického obvodu. Další významnou výhodou semi-aktivního přístupu je široká frekvenční oblast, ve které lze dosáhnout efektivního tlumení přenosu hluku. V případě tlumení hluku byly realizovány experimentální zvukově-izolační systémy pracující ve frekvenčních oblastech kolem 1,6 kHz a kolem 3 kHz. Extrémní demonstrací velkého potenciálu této metody jsou práce Imota et al. a Tahary et al., kteří realizovali systém pro potlačení přenosu vibrací o 40 dB v široké frekvenční oblasti od 1 do 100 kHz.“ [16]

6 ZÁVĚR

Akustické komory jsou specializovaná pracoviště pro měření akustických vlastností strojů a staly se dnes již nedílnou součástí moderního průmyslu.

Cílem mé bakalářské práce bylo podání přehledu o využití akustických komor na území České republiky, na základě vlastní rešeršní činnosti. Z toho vyplývá, že uvedený seznam komor nemusí být kompletní, protože je zde možnost, že firmy, které nenabízí pronájem komory, nezmiňují její existenci ve veřejně dostupných materiálech.

Většina informací ohledně technických dat byla uvedena na oficiálních webových stránkách daných společností, nebo mi byly poskytnuty vedením zkušební komory. Pouze ve třech případech se mi získání technických parametrů či bližšího popisu nezdařilo. U firmy DAIKIN byl tento neúspěch zapříčiněn interním nařízením japonské mateřské společnosti a v případech společností TVM ACOUSTIC a EKOLA GROUP odmítnutím komunikace.

Během práce na přehledu komor jsem došel ke zjištění, že v České republice se nečastěji využívají zkušební komory pro měření hlukových parametrů klimatizací a kompresorů, pro měření v hudebním průmyslu, nebo slouží akademickým účelům vzdělávacích institucí. Veškeré zkušební komory, na které jsem během své práce narazil byly bezdozvukové nebo polobezdozvukové s akustickým obložení ve tvaru klínů, které převážně dodávala firma TAPLA – RPF.

Mezi nejvýznamnější trendy budoucího vývoje patří tzv. antihluk což je metoda tlumení hluku pomocí vysílání zvuku stejné frekvence, ale opačné fáze proti zdroji daného hluku, především se ale jedná o nový moderní semi-aktivní přístup k tlumení hluku pomocí piezometrických materiálů, na kterém pracuje vývojová skupina Technické univerzity v Liberci.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] MIŠUN, V. *Vibrace a hluk*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2005. 177 s. ISBN: 80-214-3060-5
- [2] Analysis Precision [online]. 10 [cit. 2010-02-01]. SLOVNÍK POJMŮ. Dostupné z WWW: <<http://www.analysisprecision.cz/>>
- [3] National Industries [online]. 2006-11-15 [cit. 2010-03-02]. Acoustic Test Chambers and Environments. Dostupné z WWW: <<http://www.ni.com>>
- [4] ECKEL Noise Control Technologies [online]. 2010 [cit. 2010-03-12]. Anechoic Chamber Wedges. Dostupné z WWW: <<http://www.eckel.ca>>
- [5] TALPA - RPF, s.r.o. [online]. [cit. 2010-02-03]. Bezdozvukové komory - TALPA - RPF, s.r.o. Dostupné z WWW: <<http://www.talparpf.cz/>>
- [6] Petrof - klavíry a pianina [online]. 2007 [cit. 2010-02-07]. Bezodrazová místnost. Dostupné z WWW: <<http://www.petrof.cz>>
- [7] MORASVSKOSLEZSKÝ AUTOMOBILOVÝ KLASTR [online]. 2008-10-22 [cit. 2010-02-05]. Hluková laboratoř. Dostupné z WWW: <<http://www.autoklastr.cz/>>
- [8] VOP-026 Šternberk [online]. 2010 [cit. 2010-02-03]. Zkušebnictví. Dostupné z WWW: <<http://www.vop.cz/>>
- [9] České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav techniky prostředí [online]. 2010-03-01 [cit. 2010-03-01]. HLUKOVÁ LABORATOŘ. Dostupné z WWW: <<http://utp.fs.cvut.cz/>>
- [10] Akademie múzických umění v Praze [online]. 2009-1-04 [cit. 2010-02-09]. Výzkumné centrum hudební akustiky. Dostupné z WWW: <<http://www.amu.cz/>>
- [11] Audio Junkies [online]. 2007-08-22 [cit. 2010-05-19]. He World's Largest Anechoic Chamber. Dostupné z WWW: <<http://www.audiojunkies.com/>>
- [12] National Metrology Institute of Japan [online]. 2000 [cit. 2010-03-15]. Anechoic chambers. Dostupné z WWW: <<http://www.nmij.jp/english/>>
- [13] Europe's Largest Aero Acoustic Test Facility for Aero Engine Fans : The Development and Operation of the AneCom AeroTest Anechoic Chamber. 26th AIAA Aeroacoustics Conference [online]. 2005-05-23, 2005-3050, [cit. 2010-03-21]. Dostupný z WWW: <<http://pdf.aiaa.org>>
- [14] Michigan Tech [online]. 2005-10-17 [cit. 2010-03-15]. Design and Analysis of a Hemi-Anechoic Chamber at Michigan Technological University. Dostupné z WWW: <<http://www.mtu.edu/>>
- [15] Lukáš Visingr [online]. 2008 [cit. 2010-03-25]. Blue Thunder. Dostupné z WWW: <lvisingr.czweb.org>
- [16] EnviWeb [online]. 2009-07-21 [cit. 2010-04-08]. Moderní trendy v tlumení hluku a vibrací pomocí piezoelektrických materiálů. Dostupné z WWW: <<http://www.enviweb.cz/>>
- [17] The Acoustical Society of America [online]. 2009-10 [cit. 2010-04-04]. DESIGNING AND BUILDING A LOW-NOISE HEMI-ANECHOIC CHAMBER. Dostupné z WWW: <<http://asa.aip.org/>>
- [18] Consultants in Noise, Vibration and Acoustics [online]. 2005-08-25 [cit. 2010-03-10]. An Information Booklet about the Test Laboratories. Dostupné z WWW: <http://www.isvr.co.uk/>
- [19] ETS-Lindgren [online]. 2009 [cit. 2010-03-16]. Reverberation Chamber. Dostupné z WWW: <<http://www.ets-lindgren.com>>>

8 PŘÍLOHY

8

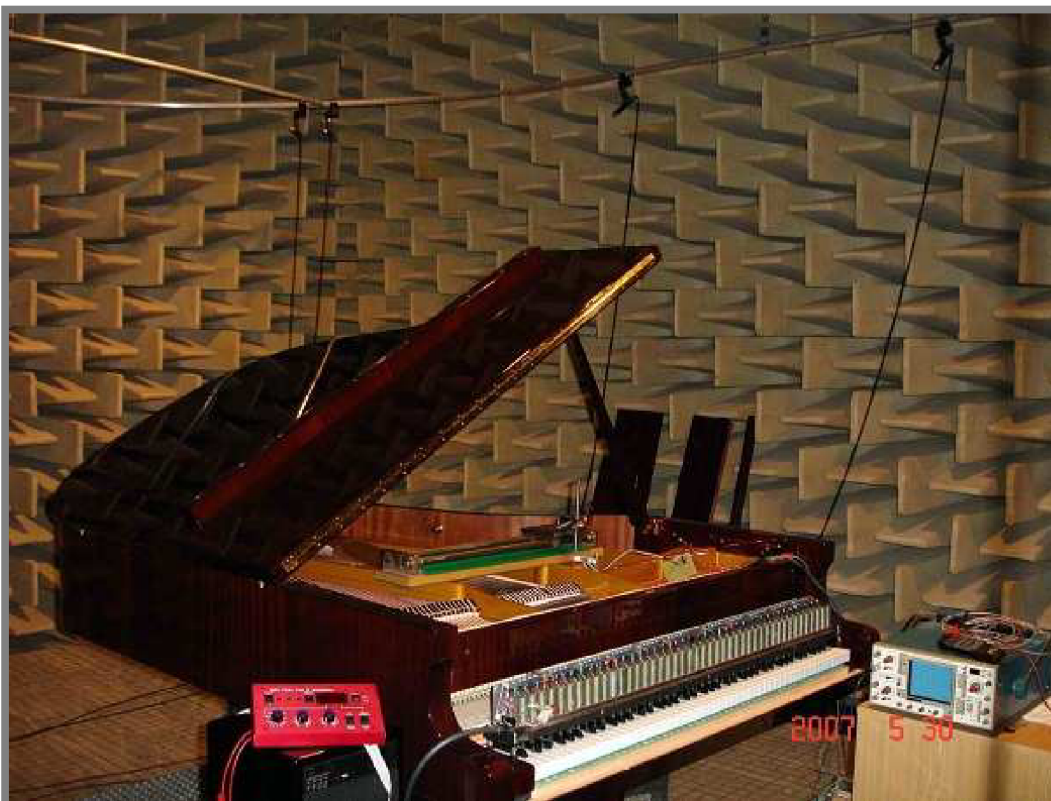
1

1. PETROF – Hradec Králové

„Parametry bezdozvukové komory ve firmě Petrof, spol. s r. o. splňují normy ISO 3745-77 a umožňují měřit zvuk, hluk, šum a vibrace. Budova je postavena metodou „dům v domě“ s bezbariérovým přístupem.

Vnitřní části bezdozvukové komory tvoří železobetonový monolit, jehož stěny jsou 30 cm silné s vnitřními rozměry prostoru 8,6 m x 7,1 m x 6,6 m. Tento monolit je uložen na pružinách. Hmotnost monolitu osazeného absorpčními klíny je cca 300 tun a společně s poddajností odpružení má rezonanci přibližně na kmitočtu 5,5 Hz. Klíny mají délku 1 m a rozměry základny jsou 24 cm x 24 cm. Pohltivé klíny jsou vyříznuty vodním paprskem o objemové hmotnosti $100 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a jsou potaženy velmi tenkou silonovou pleteninou. Místnost je osazena 4180 klíny na všech 4 stěnách včetně stropu a podlahy o celkové váze cca 15 tun. Čistý objem místnosti mezi břity pohltivých klínů je tedy zhruba 160 m^3 . Kromě lankové pochozí sítě jsou od vchodu do středu komory instalovány pochozí rošty, které zaujímají uprostřed bezdozvukové místnosti plochu 3 m x 2 m. Rošty jsou vyjímatelné a umožňují měřit i poměrně těžké zařízení o hmotnosti přes 500 kg, při rozměrech vstupu do bezdozvukové komory - š.1620 mm, v. 1950 mm.

Bezdozvuková místnost je využívána především firmou Petrof a pro akustické měření u firem, které potřebují proměřit akustické parametry. Bezdozvuková místnost nemá problémy s vibracemi díky své stavební konstrukci – dolní mezní kmitočet je 80 Hz.“ [6]



Obr. 27 Polobebezdozvuková komora ve firmě PETROF [6]

2. MORAVSKOSLEZSKÝ AUTOMOBILOVÝ KLAST – Ostrava

„Výzkumná experimentální hluková laboratoř je projekt, který vznikl spoluprací Moravskoslezského automobilového klastru a Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava. Srdcem projektu je polobezdozvuková komora, která byla vybudována na půdě Vysoké školy báňské - Technické univerzity Ostrava, a je ojedinělým zařízením tohoto druhu v celém moravskoslezském regionu a jeho širokém okolí.

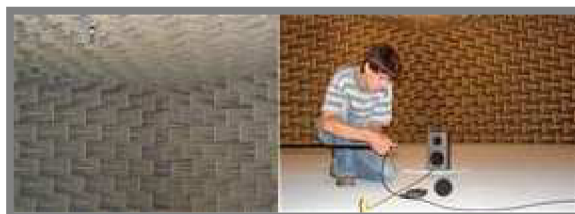
HLUKOVÁ LABORATOŘ NABÍZÍ:

- vícekanálová měření všech běžných akustických veličin (akustický tlak, intenzita, výkon)
- normalizovaná měření na objektech do rozměrů 1,1 m x 1,1 m x 1,1 m
- pro informativní měření je velikost měřeného objektu limitována rozměry vstupu do komory 1,25 m x 2 m
- měření hluku v kombinaci s měřením vibrací
- návrh a tvorbu metodiky pro vybrané aplikace, zajištění měření včetně zpracování výsledků
- akustický design
- měření hluku mimo prostory laboratoře
- využití vědeckého potenciálu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava

TECHNICKÉ VYBAVENÍ POLOBEZDOZVUKOVÉ KOMORY:

- pro měření jsou používány výlučně špičkové měřicí přístroje fy Brüel & Kjaer
- hluková laboratoř je vybavena analyzátořem s 8 kanály pro vlastní měření
- k dispozici jsou zásuvky 230V/50Hz pro napájení měřených objektů a zařízení, dále 12V/10A/AC/DC a 24V/10A/AC/DC, pro napájení elektrických zařízení automobilového průmyslu
- komora dále nabízí přívod a odvod vody pro provozní měření hluku na „bílém zboží“

Výzkumnou experimentální hlukovou laboratoř naleznete ve druhém poschodí nové menzy v areálu Vysoké školy báňské – Technické univerzity Ostrava. Ve stejném areálu sídlí i Centrum pokrokových inovačních technologií a vedení Moravskoslezského automobilového klastru.“ [7]



Obr. 28 Polobezdozvuková komora v Ostravě [7]

3. VOJENSKÉ ZKUŠEBNÍ KOMORY – Vyškov

Měřicí zařízení ve Vyškově patří Armádě České republiky. Vojenská měření se zabývají spíše elektromagnetickými vlnami, nicméně tyto komory díky použitým materiálům a geometrii vnitřního obložení splňují podmínky kladené na bezdozvukové místnosti. Bohužel se mi nepodařilo získat akustické parametry komor.

Polobezdozvuková hala EMC

„Hala je určena k měření vedených i vyzařovaných elektromagnetických emisí podle civilních a vojenských norem, včetně měření a vyhodnocování podle norem TEMPEST. Dále je možno provádět měření podle leteckých, automobilních a drážních norem včetně speciálních metod dle požadavků zákazníka. Hala je vybavena pro měření elektromagnetického útlumu a účinnosti elektromagnetického stínění v širokém kmitočtovém spektru.

V rámci ČR a SR jako jediná umožňuje provádění zkoušek rozměrných a těžkých zařízení.

K dispozici jsou 10 m a 3 m měřicí místa, která splňují všechny požadavky normy ČSN EN 55016-1-4. Maximální normalizovaný útlum měřicích míst (NSA) je ± 4 dB v kmitočtovém rozsahu 30 MHz až 1 GHz.

Uniformita pole pro 1 m a 3 m měřicí místa splňuje požadavky normy EN 61000-4-3:2002/A1:2002, článek 6.2. Pro kmitočtový rozsah 1 – 18 GHz je parametr SVSWR, dB < 6 dB.

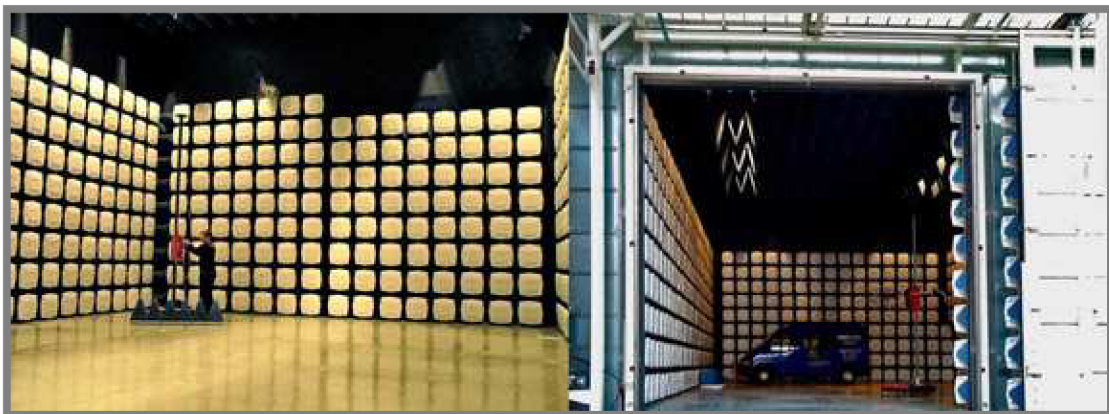
Anténní stožár umožňuje změnu polarizace měřicí antény v horizontální a vertikální rovině a změnu výšky antény 1 až 4 m.“ [8]

Základní TTD:

Rozsah měření:	20 Hz – 40 GHz
Vnější rozměry:	18,88 m x 11,68 m x 8,72 m
Vnitřní rozměry:	16,80 m x 9,60 m x 7,50 m
Vstupní vrata:	5 m x 5 m
Boční dveře:	2 m x 1,5 m
Únosnost podlahy:	15 000 kg/m ²
Točna:	průměr 3 m, nosnost 4 000 kg
Odsávání výfukových plynů vozidel	
Přívod a odvod vody	
Přívod stlačeného vzduchu	
Filtry:	tří a jednofázové – $I_{\max} = 200$ A
Monitorovací TV systém	
Vf průchodky a vlnovody	
Stíněný prostor pro obsluhu:	4,96 m x 3,04 m x 3,44 m
Stíněný prostor pro zkoušky vedených emisí:	7,04 m x 4,96 m x 3,44 m
Elektromagnetický útlum - magnetické pole:	od 10 kHz = 80 dB od 100 kHz = 100 dB
Elektromagnetický útlum - elektrické pole:	10 kHz až 20 GHz = 120 dB 20 GHz až 40 GHz = 100 dB

Laboratoř elektromagnetické odolnosti (EMS) provádí akreditované zkoušky v laboratoři nebo na místě instalace proti působení:

- elektrostatického výboje (kontaktní výboj max. ± 15 kV, vzdušný výboj max. ± 30 kV)
- vf elektromagnetického pole (v rozsahu 1 MHz - 18 GHz, intenzita 150 V/m)
- rychlých přechodových jevů (max. amplituda $\pm 4,4$ kV)
- rázového impulzu (max. amplituda ± 6 kV)
- rádiového rušení šířeného vedením (v rozsahu 10 Hz - 150 kHz - 230 MHz - 400 MHz, max. 30 V)
- magnetického pole síťového kmitočtu (max. intenzita 1000 A/m)
- pulzního magnetického pole (max. intenzita 1000 A/m)
- tlumených kmitů magnetického pole (max. intenzita 1000 A/m)
- oscilačních vln (max. amplituda ± 4 kV)
- poklesů a výpadků napájecího napětí (do 16 A)
- pomalé změny napětí (1 i 3 fázové do 16 A)
- změny kmitočtu (0 - 400 Hz)
- nukleárního elektromagnetického impulzu (NEMP) - 50 kV/m
- výkonových elektromagnetických polí (HPM)
- ultraširokopásmových signálů (UWB)



Obr. 29 Vojenské komory ve Vyškově [8]

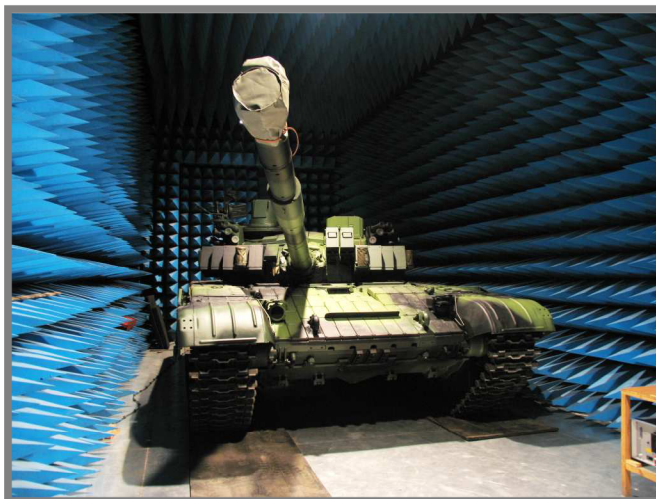
V oblasti nf EMC provádí laboratoř měření:

- rušení v distribučních sítích - harmonické
- rušení v distribučních sítích - kolísání napětí („flicker“) - do 75 A

divize VTÚO Brno
VOP-026 Šternberk, s.p.
Divize VTÚO Brno
Veslařská 230
637 00 Brno
Tel.: 543 562 111
Fax: 543 562 100
vtuo@vop.cz

divize VTÚPV Vyškov
VOP-026 Šternberk, s.p.
Divize VTÚPV Vyškov
V. Nejedlého 691
682 03 Vyškov
Tel.: 517 303 100
Fax: 517 303 105
vtupv@vtupv.cz

Ing. Vladimír Váňa
V. Nejedlého 691
Vyškov, 682 03
tel: +420 517 303 631
mobil: +420 603 705 329
email: v.vana@vtupv.cz
<http://www.vop.cz/>



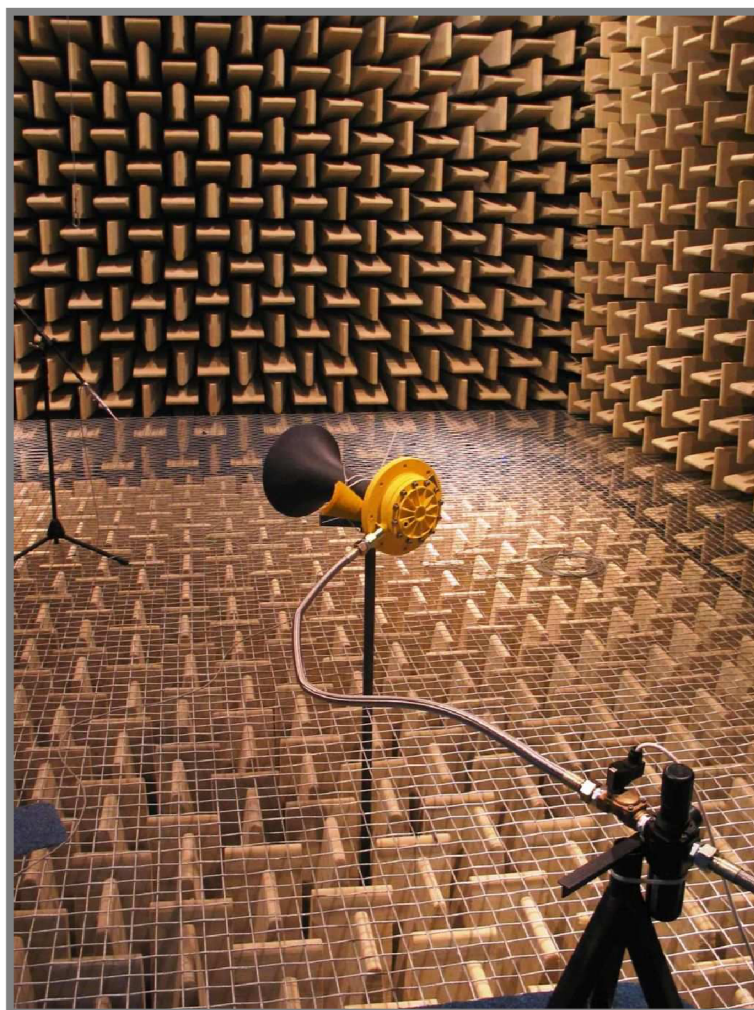
Obr. 30 T-72 M4 CZ při měření ve zkušební komoře [8]

4. ČVUT – Praha – Ústav techniky prostředí

„Hluková laboratoř ústavu umožňuje měření hlukových parametrů klimatizačních zařízení, jako jsou vzduchotechnické jednotky, ventilátory, škrťací elementy, distribuční prvky aj. Dále prvků pro systémy vytápění, jako jsou zdroje tepla (kotle), regulační ventily, otopné plochy atd.

Laboratoř (bezdozvuková komora) má rozměry 5,5 m x 5,5 m x 3,5 m. Vstupní otvor 1,6 m x 1,8 m. Stěny spolu se stropem jsou pokryty materiálem absorbujícím zvukovou energii. Obklad stěn je možno upravovat a měřit se dvěma nebo třemi odrazivými plochami.

Běžně jsou prováděna měření dle řady norem ČSN ISO 3740 Stanovení akustických výkonů zdrojů hluku.“ [9]



Obr. 31 Polobezdozvuková komora ČVUT [9]

5. HAMU – Praha

Na půdě Hudební a taneční fakulty Akademie múzických umění v Praze se nachází plně bezdozvuková komora o vnitřních rozměrech 5,26 m x 3,75 m x 2,25 m s „cut-off“ frekvencí 125Hz. Podlaha je řešena transparentní pochozí sítí. Komora odpovídá normě ISO 3745 a je možný pronájem. [10]

Adresa a kontakt:

Zvukové studio HAMU
Malostranské náměstí 13
Praha 1 - Malá strana 118 00
tel./fax: 257 532 641
e-mail: zvuk@hamu.cz



Obr. 32 Polobezdozvuková komora HAMU [10]

6. DAIKIN – Brno

Firma DAIKIN vlastní dvě bezdozvukové komory, které využívají k testování kompresorů a klimatizace. Bohužel mi byli schopni sdělit jen velmi omezené informace kvůli interním regulím zadávanými mateřskou společností DAIKIN v Japonsku.

Obě komory jsou postaveny jako „dům v domě“ s použitím lehkých absorpčních materiálů.

Adresa a kontakt:

Daikin Device Czech Republic s.r.o.
Švédské valy 2
Brno 627 00

Vladimír Langer
Supervisor
GA Department
vladimir.langer@grp.daikin.co.jp

7. ROBERT BOSCH – České Budějovice

Komora, o vnějších rozměrech 7,5 m x 6,5 m x 3,5 m je konstruována jako samostatný vestavek v prostoru skladu. Základ tvoří vnější a vnitřní rám z ocelových 4-hranných profilů 50 mm, které jsou uloženy na pryžové izolaci, bránící přestupu vibrací z podlahy do stěn komory. Vnitřní i vnější plášť tvoří vždy dvě vrstvy sádkartonových desek tl. 12 mm, mezi nimiž je vrstva z ocelového pozinkovaného plechu tl. 1 mm. Uvnitř rámu je izolace z minerální vlny. Podlahu komory navrhli projektanti jako plovoucí, tj. dvě vrstvy dřevotřískových desek s cementovým pojivem, položené na vrstvě minerální vlny. Zvukovou izolaci uvnitř komory tvoří akustické tlumící klíny o délce 650 mm, upevněné na nosné konstrukci na stěnách a stropě komory. Vnitřní prostor komory se tak zmenšil na 6 m x 5 m x 2,7m. Větrání je zajištěno příčným prouděním vzduchu. Jelikož při měření hluku je nutné větrání místnosti vypínat, je místnost s ohledem na nebezpečí výbuchu opatřena sledováním palivových par s nouzovým spouštěním větrání.

Polobezdozvuková komora je způsobilá měřit v rozsahu 125–10000 Hz v souladu s ČSN ISO 3744.



Obr. 33 Polobezdozvuková komora ROBERT BOSCH

8. TVM ACOUSTICS – Valašské Meziříčí

Firma TVM Acoustics se zabývá výrobou široké škály reproduktorů. Dá se tedy jen odhadovat, jaký typ bezdozvukové komory vlastní, protože firma odmítla komunikovat. Kontakt se mi nepovedlo navázat ani po opakovaném pokusu.

Adresa a kontakt:

TVM spol s.r.o.
Hemy 12
757 01 Valašské Meziříčí
www.tvm-valmez.cz
tvm@tvm-valmez.cz

9. EMERSON MIKULOV

Technologický projekt bezdozvukové místnosti s odrazivou podlahou (polobezdozvuková místnost) byl zadán Moravskoslezskému automobilovému klastru o.s., Podnikatelskému inkubátoru VSB-TU Ostrava, který následně projekt realizoval. Firma TALPA-RPF s.r.o. dodala a instalovala akustický obklad, absorpční klíny.

Polobezdozvuková místnost je v souladu s ČSN EN ISO 3745 Akustika - Určování hladin akustického výkonu zdrojů hluku pomocí akustického tlaku - Přesné metody pro bezdozvukové a polobezdozvukové místnosti.

Velikost komory před instalací klínů byly 7,4 m x 6,8 m, hloubka absorpčního obkladu 880 mm dovoluje dosáhnout dolního mezního kmitočtu třetiny oktávy se středním kmitočtem 125Hz.

Firma EMERSON komoru využívá pro měření kompresorů, kondenzačních a klimatizačních jednotek. Pronájem komory neprovádí.

Informace poskytl pan Pavel Müller. Pro další informace jsem byl odkázán na pana Romana Hájka.

Adresa a kontakt

Emerson Climate Technologies s.r.o.
K Vápence 14/1633
Mikulov na Moravě 692 01

Pavel Müller
774 008 887
Pavel.Mueller@emerson.com

Roman Hájek
Roman.Hajek@Emerson.com

10. EKOLA GROUP – Praha

Firma EKOLA GROUP opakovaně neodpověděla na zaslané e-maily.

EKOLA group, spol. s r.o

Adresa : Mistrovská 4, 108 00 Praha 10

Telefon : 274 784 927-9

Fax : 274 772 002

Záznamník : 222 725 118

Mobil : 602 375 858, 777 045 858

Email : ekola@ekolagroup.cz