

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH TECHNOLOGIÍ
ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

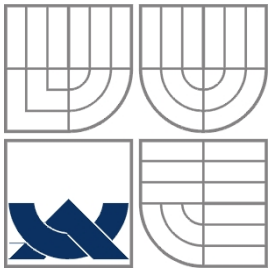
SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA ZVUKŮ V PROSTOROVÉ AKUSTICE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

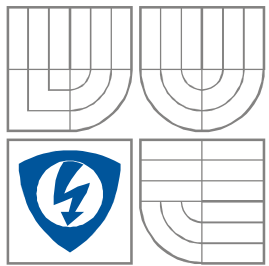
AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN PORT

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH
TECHNOLOGIÍ

ÚSTAV BIOMEDICÍNSKÉHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION
DEPARTMENT OF BIOMEDICAL ENGINEERING

SPEKTRÁLNÍ ANALÝZA ZVUKŮ V PROSTOROVÉ AKUSTICE

SPECTRAL ANALYSIS OF SOUND IN SPACE ACOUSTICS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

Martin Port

AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE

doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

SUPERVISOR

BRNO 2011



VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ V BRNĚ

Fakulta elektrotechniky
a komunikačních technologií

Ústav biomedicínského inženýrství

Bakalářská práce

bakalářský studijní obor
Biomedicínská technika a bioinformatika

Student: Martin Port
Ročník: 3

ID: 119740
Akademický rok: 2010/2011

NÁZEV TÉMATU:

Spektrální analýza zvuků v prostorové akustice

POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:

Prostudujte principy šíření zvuku v prostorové akustice a odpovídající metody měření. Seznamte se se spektrálním analyzátozem Pulse - Bruel Kjaer a proveďte měření hladin zvuku a dozvuku ve zvolené posluchárně FEKT.

Po provedeném měření proveďte spektrální analýzu získaných dat. Výsledky vhodnou formou prezentujte.

DOPORUČENÁ LITERATURA:

- [1] ROZMAN, J., SADOVSKÝ, P., ČERMÁK, D. Diagnostika životního prostředí. VUT FEI, Brno, 2000.
- [2] SMETANA, C. a kol. Hluk a vibrace. Měření a hodnocení. Sdělovací technika, Praha 1998.

Termín zadání: 7.2.2011

Termín odevzdání: 27.5.2011

Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

prof. Ing. Ivo Provazník, Ph.D.
Předseda oborové rady

UPOZORNĚNÍ:

Autor bakalářské práce nesmí při vytváření bakalářské práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do dílech autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení částí druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že svoji bakalářskou práci na téma Spektrální analýza zvuků v prostorové akustice jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této bakalářské práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a/nebo majetkových a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne 27. května 2011

.....
(podpis autora)

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji vedoucímu bakalářské práce **doc. Ing. Jiřímu Rozmanovi, CSc.** Za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé bakalářské práce.

V Brně dne 27. května 2011

.....
(podpis autora)

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou prostorové akustiky a je zaměřena na veličiny popisující hluk. Jsou zde rozebrány metodiky měření hluku v návaznosti na normy platné v České republice. V dalších kapitolách jsou shrnuty limity hluku v pracovním prostředí dané nařízením vlády č.148/2006 Sb, seznámení s analyzátozem PULSE 3560B od firmy Brüel & Kjær. Práce popisuje program LabShop, který je určen k analýze hluku a vibrací. Dále popisuje nejpoužívanější funkce Zvukoměru AL1 NTI. V praktické části bylo úkolem změřit dozvuk, hluk, frekvenční spektra a zakreslit rozložení hluku pomocí hlukových map různých posluchárnách.

KLÍČOVÁ SLOVA

akustika, zvuk, měření hluku, hladina, limity, analyzátor PULSE, PULSE LabShop, Matlab, spektrum, mikrofón, dozvuk, hluková mapa, Zvukoměr.

ABSTRACT

This thesis is an introduction to the problems of acoustics and is focused on the variables describing the noise. The methodology for measuring noise in relation with valid hygiene standards is analyzed in next section. The noise levels at work required by government regulation no. 148/2006 are summarized in a subsequent charter. The next section is an introduction to the analyzer PULSE 3560B from Brüel & Kjar. This work describes a software called Labshop, which is designed to analyze noise and vibrations. It also describes the most common features Acoustilyzer NTI AL1. The practical part was to measure the reverberation, noise, frequency spectrum and plott the distribution of noise with noise maps of various auditoriums.

KEYWORDS

acoustic, sound, noise measuring, level, limits, analyzer PULSE, PULSE LabShop, Matlab, spectrum, microphone, reverberation, noise map, Acoustilyzer.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE DLE ČSN ISO 690:

PORT, M. *Spektrální analýza zvuků v prostorové akustice*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií. Ústav biomedicínského inženýrství, 2011. 45 s., 7 s. příloh. Bakalářská práce. Vedoucí práce: doc. Ing. Jiří Rozman, CSc.

OBSAH

1	Úvod do problematiky	1
2	Poznatky z teorie akustiky	2
2.1	Rozdělení akustiky.....	2
2.2	Zvuk a hluk	3
2.3	Pohltivost uzavřeného prostoru	8
3	Metodika měření hluku a hygienické limity	10
3.1	Metody měření hluku.....	10
3.2	Hygienické limity hluku	13
4	Použité měřicí přístroje	16
4.1	Blokové schéma měřiče zvuku	16
4.2	Analyzátor Pulse Brüel&Kjær	22
4.3	Zvukoměr AL1 NTI.....	25
5	Dosažené výsledky	27
5.1	Měření dozvuku	27
5.2	Měření hluku.....	29
5.3	Měření frekvenčního spektra	33
6	Závěr	40
	Literatura	41
	Seznam obrázků	42
	Seznam tabulek	43
	Seznam zkratk	44
	Seznam příloh	45

1 ÚVOD DO PROBLEMATIKY

Vzrůstání hluku v pracovním a životním prostředí je dnes velice závažným problémem. S otázkou jeho snižování souvisí velmi těsně metody měření hluku a způsoby vyhodnocování. Ani současný stav výzkumu měřicí techniky neumožňuje navrhnout přístroj, který by udávanými hodnotami odpovídal sluchovému orgánu.

Negativní účinky hluku se mohou projevat různě podle fyziologických vlastností osob. Mezi negativní projevy účinků hluku patří např. nespavost, nesoustředění a v nejhorším případě vedou ke ztrátě sluchu. Dlouhodobé vystavování se nadměrnému hluku bývá velmi nebezpečné.

Bakalářská práce je rozdělena do několika kapitol, v nichž je problematika hluku rozebrána. První kapitola je věnována problematice a poznatkům z teorie akustiky, další obsahuje popis metodiky měření hluku a jejich limity v pracovním prostředí dané nařízením vlády č.148/2006 Sb. Dále jsou zde uvedeny základní měřicí přístroje, seznámení s analyzátozem PULSE 3560B od firmy Brüel & Kjær a Zvukoměrem AL1 NTI. Práce popisuje prostředí LabShop a výsledné grafy jsou zpracovány v programovacím prostředí Matlab.

Závěr obsahuje zhodnocení metodiky, vykreslení hlukových mapa místností a jejich zatížením z různých zdrojů. Také zahrnuje měření dozvuku, měření hluku a frekvenčních spekter ve zvolených posluchárnách.

2 POZNATKY Z TEORIE AKUSTIKY

Akustika je vědní obor zabývající se studiem mechanického kmitání a jeho šířením v pružných prostředích. Je spojen se vznikem zvukového vlnění, šíření a vnímání zvuku sluchem.

2.1 Rozdělení akustiky

Akustiku můžeme rozdělit podle řešené problematiky:

Prostorová akustika

Prostorová akustika se zabývá studiem akustických jevů uvnitř budov nebo zcela uzavřených prostorů. Cílem je zajištění dobré srozumitelnosti a slyšitelnosti přenášeného zvuku. Ke sledování podmínek optimální akustičnosti prostoru využívá metody vlnové, geometrické a statistické akustiky. V každém uzavřeném prostoru s protilehlými stěnami kromě postupné vlny vznikají také stojaté vlny. Stojaté vlnění vzniká skládáním (interferencí) dvou postupných vln téhož druhu a kmitočtu, ale opačných směrů šíření. [15]

Stavební akustika

Stavební akustika se zabývá studiem akustických jevů v budovách a jejich okolí s vlivem stavebních konstrukcí. Sleduje eliminační možnosti nežádoucího šíření hluku mimo místnosti. [15]

Urbanistická akustika

Urbanistická akustika se zabývá studiem akustických jevů ve venkovním prostoru z hlediska ochrany vymezených míst před hlukem. Sleduje akustické vlastnosti venkovních zdrojů hluku, intenzitu a jejich složení. Při posuzování zdrojů si všímá jejich vlivu na obytnou či průmyslovou zónu, přičemž přihlíží k vlivům stavebních konstrukcí těchto objektů a k jevům při šíření zvuku v prostředí. [15]

2.2 Zvuk a hluk

Zvuk chápeme jako podélné mechanické vlnění pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu lidské slyšitelnosti odpovídající 16 Hz – 20 kHz a s věkem se pásmo slyšitelnosti zužuje. Zvuk vzniká kmitáním hmoty, která toto kmitání odevzdá hmotným částicím nacházejícím se v prostředí plynném, kapalném a pevném.

Hlukem označujeme každý nežádoucí zvuk, který u nás vyvolává nepříjemně rušivý vjem nebo škodlivý účinek. Jednoznačná definice hluku neexistuje, proto je pojem nepříjemný zvuk dosti subjektivní [7].

Zdroje hluku a prostředí

Za zdroje hluku považujeme ty, ve kterých vzniká akustická energie a z nichž se šíří dále do okolního prostředí.

Typy zdrojů hluku v mimopracovním prostředí:

a) hluk z mobilních zdrojů - zvýšená hluková emise (hladina akustického výkonu a tlaku) v dopravě

A. pozemní,

- silniční,
- železniční,

B. letecká,

C. vodní.

b) hluk stacionárních zdrojů

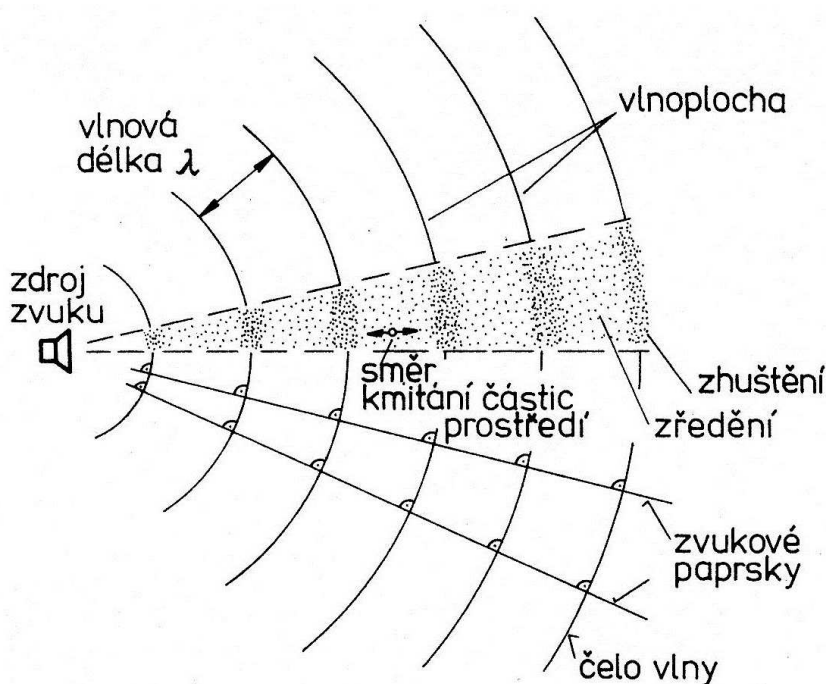
A. technické zdroje jsou stroje a zařízení, u nichž měřením zjišťujeme míru hlukové emise,

B. náhodné zdroje nelze u nich zajistit hlukovou emisi, patří sem hudební produkce, hlasové projevy lidí a zvířat [9].

Podle charakteru hluku v čase můžeme rozdělit hluk v pracovním prostředí na:

- a) **ustálený hluk**, jehož hladina hluku se v daném místě a ve sledovaném časovém úseku v závislosti na čase nemění o více než 5 dB,
- b) **proměnný hluk**, jehož hladina hluku se v daném místě a ve sledovaném časovém úseku v závislosti na čase mění o více než 5 dB,
- c) **vysokofrekvenční hluk** s výraznými složkami v oblasti kmitočtů vyšších než 8 kHz,
- d) **přerušovaný hluk** je proměnný hluk měnící náhle hladinu akustického tlaku a je v průběhu hlučného intervalu ustálený,
- e) **hluk s výraznými tónovými složkami**, jehož spektrum obsahuje tónové (diskrétní) složky a hladiny akustického tlaku jsou o více než 5 dB vyšší než v sousedících kmitočtových oblastech,
- f) **impulzní hluk** vytvářený hluk je jednorázově vysílán do 200 ms nebo v opakujících se časových intervalech do 10 ms [12],[7].

Šíření zvuku



Obrázek č. 1: Šíření zvukové vlny, vlnoplocha a zvukový paprsek (převzato z [9]).

Hluk je forma zvuku šířící se pružným prostředím pomocí zvukové vlny, pohybující se od zdroje všemi směry. Vlnění se šíří vlnoplochami (smyšlené plochy v prostoru), které mají stejné hodnoty akustických veličin. Směr šíření vlnění určuje, zda jde o:

- a) **příčné**, které se šíří ve směru kolmém na směr akustického paprsku,
- b) **podélné** se šíří ve směru akustického paprsku [9].

Akustický tlak

Zvuková vlna se v pružných prostředích chová jako vlna tlaková. Vlnění tedy chápeme jako výchylky tlaku od základní hodnoty atmosférického tlaku v daném prostředí. Tyto výchylky označujeme jako akustický tlak p , jehož jednotkou je 1 Pascal $[Pa]$ [5].

Akustický výkon

Akustický výkon P $[W]$ je množství akustické energie, kterou zdroj vyzáří do okolního prostoru za jednotku času [3].

Akustický výkon je definován vztahem:

$$P = \vec{F} \cdot \vec{v} = F \cdot v = p \cdot v \cdot S \quad [W] \quad (2.1)$$

kde: p $[Pa]$ - akustický tlak,

v $[m \cdot s^{-1}]$ - rychlost kmitání částic,

S $[m^2]$ - plocha,

F $[N]$ - síla.

Intenzita zvuku

Definována jako výkon procházející jednotkovou plochou, kolmou na směr šíření. Je to také součin efektivních hodnot akustického tlaku a akustické rychlosti nebo podíl druhé mocniny akustického tlaku a akustického vlnového odporu prostředí [3]:

$$I = \frac{P}{S} = p \cdot v \cdot F = \frac{p^2}{z} = z \cdot v^2 \quad [W \cdot m^{-2}] \quad (2.2)$$

kde: $z [Pa \cdot s \cdot m^{-1}]$ - akustický vlnový odpor.

Měrná akustická impedance

Jedná se o konstantu prostředí zvanou akustický vlnový odpor. Mění se s teplotou a tlakem. Charakterizována odporem prostředí vyjádřeného poměrem akustického tlaku a akustické rychlosti [1]:

$$z = \rho \cdot c = \frac{p}{v} \quad [Pa \cdot s \cdot m^{-1}] \quad (2.3)$$

kde: $v [m \cdot s^{-1}]$ - akustická rychlost,

$p [Pa]$ - akustický tlak.

Hladiny akustických veličin

Lidé vnímají akustický tlak v širokém rozsahu hodnot. Hodnota akustického tlaku slyšitelnosti se pohybuje kolem $2 \cdot 10^{-5} Pa$, kterou nazýváme referenční hodnota, od níž byly odvozeny ostatní hodnoty akustických veličin [5].

Lidské ucho nereaguje na zvukový podnět lineárně, avšak jeho vnímání je úměrné logaritmu tohoto podnětu. Proto byla zavedena logaritmická měřítko pro akustické veličiny. Takováto vyjádření akustických veličin se nazývají hladiny akustických veličin a jsou definovány vztahy [5]:

$$L = \log \frac{X}{X_0} \quad (2.4)$$

kde: X - srovnávací hodnota porovnávané veličiny,

X_0 - referenční hodnota.

V praxi se používá pro vyjádření velikosti hladiny hodnota desetkrát menší než je bel, tj. **decibel** $[dB]$ [1].

Jednotlivé hladiny akustických veličin jsou definovány:

Hladina akustického výkonu L_W :

určuje akustický výkon vyzařovaný zdrojem zvuku a je definován vztahem:

$$L_W = 10 \cdot \log \frac{W}{W_0} \quad [dB] \quad (2.5)$$

kde: W [W] - akustický výkon,

W_0 [W] = 10^{-12} W - referenční hodnota akustického výkonu [1].

Hladina akustické intenzity L_I :

je definována vztahem:

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad [dB] \quad (2.6)$$

kde: I [$W \cdot m^{-2}$] - intenzita akustického signálu,

I_0 [$W \cdot m^{-2}$] = 10^{-12} $W \cdot m^{-2}$ - referenční hodnota intenzity zvuku [1].

Hladina akustického tlaku L_P :

$$L_P = 10 \cdot \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \cdot \log \frac{p}{p_0} \quad [dB] \quad (2.7)$$

kde: p [Pa] - efektivní hodnota akustického tlaku,

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

Při každém 10ti násobném zvýšení akustického tlaku se zvýší hladina akustického tlaku o 20 dB [5].

Akustické vlastnosti uzavřených prostorů

Zdroj zvuku vytváří ve svém okolí akustické pole, které je závislé na mnoha činitelích:

- a) na umístění zdroje,
- b) na tvaru vyzařovacích ploch zdroje,

- c) na velikosti a tvaru prostoru,
- d) na okolních plochách a překážkách,
- e) na pohltivosti okolních stěn,
- f) na počtu zdrojů a jejich rozmístění [5].

Tvar akustického pole a vlnoploch ovlivňují překážky, které jsou vkládány do cest šířících se vln. Zvukové vlny se odrážejí od těchto překážek za předpokladu, že délky vln dopadajícího zvuku jsou kratší než rozměry překážek [5].

Podle charakteru šířících se vln lze rozdělit akustická pole:

- a) na pole přímých vln - akustická energie se šíří do prostoru postupnými vlnami,
- b) na pole odražených vln - část akustické energie se odráží od ploch prostoru zpátky.

Základní typy akustických polí:

- a) volné akustické pole - akustická energie se šíří od zdroje do všech směrů rovnoměrně a neomezeně,
- b) difuzní pole - je charakterizováno tokem energie, která má ve všech směrech a v každém bodě prostoru stejnou akustickou intenzitu, nemění se ani s místem příjemce. A kvůli mnohonásobnému odrazu je akustický tlak v prostoru rozložen rovnoměrně [5],[15].

2.3 Pohltivost uzavřeného prostoru

Zvuková pohltivost A

Při dopadu zvukové vlny na konstrukci dochází u porézních a pórovitých látek k pohlcování zvuku prostřednictvím přeměny akustické energie na energii tepelnou. Tato přeměna se uskutečňuje třením molekul vzduchu o konstrukci materiálu [3],[12].

Činitel zvukové pohltivosti α

Zvuk pohlcovaný konstrukcemi zvyšuje činitele pohltivosti, což vede ke snížení hladiny akustického tlaku i dalších zvukových vlastností, např. doby dozvuku. Činitel

pohltivosti α je kmitočtově závislý, měření se provádí na třetinooktávových pásem v rozsahu 125-4000 Hz [3],[12].

Je definován jako:

$$\alpha = \frac{A}{S} \quad [-] \quad (2.8)$$

kde: $A[m^2]$ - zvuková pohltivost uzavřeného prostoru,

$S [m^2]$ - plocha v prostoru daného materiálu [3],[12].

3 METODIKA MĚŘENÍ HLUKU A HYGIENICKÉ LIMITY

3.1 Metody měření hluku

Měření akustických veličin je většinou spojeno se stanovením akustického tlaku. V praxi se používají tyto základní měřící metody:

Stanovení hladiny hlasitosti

Hladina hlasitosti $L_n[Ph]$ je odvozena od frekvenční charakteristiky. Pro přepočítání hladiny hlasitosti z křivek změřených hladin akustického tlaku můžeme využít Stevnsovy a Zwickerovy metody - vyznačují se nižší přesností [10],[12].

Stanovení hladiny akustického tlaku

Nejčastěji se stanovuje pomocí měřicího mikrofónu, za laboratorních podmínek Rayleighovou destičkou. Měří se buď při definovaném frekvenčním průběhu „lin“, nebo s váhovými filtry [10],[12].

Měření zvukoměrem - průběh „lin“

Zaveden pro přímé stanovení hodnoty hladiny akustického tlaku u sinusového signálu nebo u frekvenčního pásma o šíři maximálně 1 oktávy [10],[12].

Měření zvukoměrem - hladina zvuku A

Zavádí kmitočtovou závislost váhového filtru A, která je velmi podobná Slawinově křivce stupně škodlivosti hluku [10],[12].

Měření zvukoměrem - hladina zvuku B

Pozůstatek dřívějších metod snažících se o přímý převod na hlasitost. Dnes se již

prakticky nepoužívá [10],[12].

Měření zvukoměrem - hladina zvuku C

Slouží především k hodnocení hlučnosti pro technické účely. U jednoduchých zvukoměrů nahrazuje průběh „lin” [10],[12].

Měření zvukoměrem - hladina zvuku D

Kmitočtová závislost váhového filtru D napodobuje průběh křivky podle Kryterovy metody a umožňuje určit hladinu rušivosti při měřeních. Využívá se pro vyhodnocování leteckého hluku [10],[12].

Měření zvukoměrem - hladina zvuku G

Kmitočtová závislost váhového filtru G. Dnes je používán k měření infrazvuku [2].

Stanovení rušivosti a hladiny rušivosti

Hodnotí hluk podle intenzity i podle jeho spektrálního složení. Vychází z hodnocení leteckého hluku [10],[12].

Stanovení hladiny akustického výkonu

Vychází z hladin akustického tlaku a jeho výsledná hodnota je udávána v hladině akustického výkonu [10].

Určení třídy hluku

Metoda, kde se změřeným hladinám akustického tlaku v oktávových pásmech přiřazují čísla, vyjadřující třídy hluku, která udávají míru nebezpečnosti pro sluchový orgán [10].

Stanovení hlasitosti podle Stevense

Metoda udávající jednoduchý způsob zpracování objektivně naměřených hodnot ve výslednou hlasitost [10],[12].

Stanovení hlasitosti podle Zwickera

Podobně jako metoda Stevensova udává postup zpracování změřených hladin akustického tlaku v třetinooktávových pásmech pro určení výsledné hlasitosti v sonech [10],[12].

Měření neprůzvučnosti

Neprůzvučnost je vlastnost stavebních konstrukcí propouštět zvuk v zeslabené míře.

Podle druhu rozpoznáváme:

- a) **vzduchovou neprůzvučnost** - dělicích konstrukcí vertikálních a horizontálních (strop, podlaha) stavebních prvků proti zvukům šířícím se vzduchem,
- b) **kročejevou neprůzvučnost** - vzniká nárazem na stavební konstrukci (kročejevý hluk) [8],[15].

Měření doby dozvuku

Dozvuk je děj, který vzniká v uzavřeném prostoru po vypnutí akustického zdroje vlivem mnohonásobných odrazů od stěn pohlcováním energií. To vede k poklesu hladiny akustického tlaku [8],[15].

Dobou dozvuku rozumíme dobu, za kterou poklesne hladina akustického tlaku v místnosti po vypnutí zdroje o 60dB [8],[12],[15].

Na počátku 20. století odvodil Sabine vztah pro výpočet doby dozvuku:

$$T_s = 0,164 \cdot \frac{V}{A} \quad [s] \quad (3.1)$$

kde: $V [m^3]$ - objem místnosti,

$A [m^2]$ - zvuková pohltivost uzavřeného prostoru [1].

3.2 Hygienické limity hluku

V současné době je platným legislativním opatřením, podle kterého se Česká republika řídí v oblasti ochrany zdraví obyvatel před nepříznivými účinky hluku a vibrací Nařízením vlády č. 148 / 2006 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

Nejvyšší přípustné hodnoty hluku na pracovištích

- a) **hodnoty ustáleného a proměnného hluku** se vyjadřují ekvivalentními hladinami hluku L_{Aeq} , pro účely hodnocení se stanovuje normovaná hladina expozice hluku pro běžnou dobu trvání pracovního dne 8 hodin $L_{EX,8h}$. Nejvyšší přípustná normovaná hladina expozice hluku pro běžnou dobu trvání pracovního dne 8 hodin $L_{EX,8h}$, případně normovaná na osmihodinový pracovní den pro týdenní expozici $L_{EX,w}$ se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku A 85 dB(A) a případných korekcí. Velikost korekce je různá, podle druhu vykonávané činnosti [6],[9].
- b) **hodnoty impulsního hluku** se vyjadřují špičkovými hodnotami akustického tlaku C a ekvivalentními hladinami akustického tlaku při časové charakteristice I $L_{Aeq,T}$. Nejvyšší přípustná špičková hodnota akustického tlaku C je 200 Pa. Nejvyšší přípustná špičková hladina akustického tlaku C je 140 dB. Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku A při časové charakteristice I normovaná pro osmihodinovou pracovní dobu se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku A 85 dB a korekcí přihlížejících na druh vykonávané činnosti [6],[9].
- c) **vysokofrekvenční hluk** se vyjadřuje hladinami akustického tlaku $L_{teq,T}$ v třetinooktávových pásmech o středním kmitočtu 8 až 16 kHz. Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku vysokofrekvenčního hluku v třetinooktávových pásmech 8; 10; 12,5 a 16 kHz pro osmihodinovou pracovní dobu se u tohoto hluku stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku v třetinooktávovém pásmu $L_{teq,8h} = 70$ dB a případných korekcí přihlížejících k druhu vykonávané činnosti [6],[9].
- d) **ultrazvuk** se vyjadřuje ekvivalentními hladinami akustického tlaku $L_{teq,T}$ v třetinooktávových pásmech o středním kmitočtu 20 až 40 kHz. Nejvyšší přípustná

ekvivalentní hladina akustického tlaku ultrazvuku pro osmihodinovou pracovní dobu v třetinooktávových pásmech 20, 25, 31,5 a 40 kHz se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku ultrazvuku v třetinooktávových pásmech $L_{req,8h} = 105 \text{ dB}$ a korekcí přihlížejících k druhu vykonávané činnosti [6], [9].

- e) **infrazvuk a nízkofrekvenční hluk** se vyjadřují ekvivalentními hladinami akustického tlaku infrazvuku $L_{req,T}$. Přípustné ekvivalentní hladiny akustického tlaku infrazvuku a nízkofrekvenčního hluku pro osmihodinovou pracovní dobu se stanoví součtem základní hladiny $L_{req,8h} = 116 \text{ dB}$ a korekcí přihlížejících k druhu vykonávané činnosti [6].

Přípustný expoziční limit infrazvuku vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku pro osmihodinovou pracovní dobu v třetinooktávových pásmech 1 až 16 Hz se stanoví součtem základní hladiny $L_{req,8h} = 110 \text{ dB}$ a korekcí přihlížejících k druhu vykonávané činnosti [6].

Přípustný expoziční limit hladiny akustického tlaku nízkofrekvenčního hluku pro osmihodinovou pracovní dobu v třetinooktávových pásmech 20 až 40 Hz se stanoví součtem základní hladiny $L_{req,8h} = 105 \text{ dB}$ a korekcí [6].

Při krátkodobé expozici nízkofrekvenčního hluku nesmí maximální hladiny akustického tlaku infrazvuku v třetinooktávových pásmech 1 až 16 Hz na pracovištích překročit hodnotu $L_{tmax} = 137 \text{ dB}$. V třetinooktávových pásmech 20 až 40 Hz nesmí být překročena hodnota $L_{tmax} = 132 \text{ dB}$ [6].

Limity hluku v obytných a občanských stavbách

Hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ a maximální hladinou akustického tlaku A L_{Amax} . V denní době se stanoví pro 8 souvislých nejhlučnějších hodin a v noční době pro nejhlučnější hodinu. Pro hluk z dopravy na veřejných komunikacích a železnicích a pro hluk z leteckého provozu se stanoví pro celou denní a noční dobu [6].

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku A uvnitř staveb pro bydlení a občanského vybavení je stanovena pro hluky pronikající zvenčí jako součet základní hladiny hluku $L_{Aeq,T} = 40 \text{ dB}$ a korekcí záležejících na využití daného prostoru a denní době. V Tabulce č. 1 jsou tyto korekce uvedeny [6].

Tabulka č. 1: Korekce k_d [dB] přípustných hladin na využití prostor (převzato z [9]).

Druh chráněné místnosti	Denní doba (hod)	Korekce (dB)
Nemocniční pokoje	6 ⁰⁰ - 22 ⁰⁰ hod.	- 5
	22 ⁰⁰ - 6 ⁰⁰ hod.	- 15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	v době používání	- 5
Operační sály	v době používání	0
Obytné místnosti včetně kuchyní, hotelové pokoje	6 ⁰⁰ - 22 ⁰⁰ hod.	0 ^{*)}
	22 ⁰⁰ - 6 ⁰⁰ hod.	- 10 ^{*)}
Přednáškové sítě, učebny a ostatní místnosti škol, předškolních zařízení a školních zařízení, koncertní sítě, kulturní střediska	v době používání	+ 10
Čekárny, vestibuly veřejných úřadoven a kulturních zařízení, kavárny, restaurace	v době používání	+ 15
Prodejny, sportovní haly	v době používání	+ 20

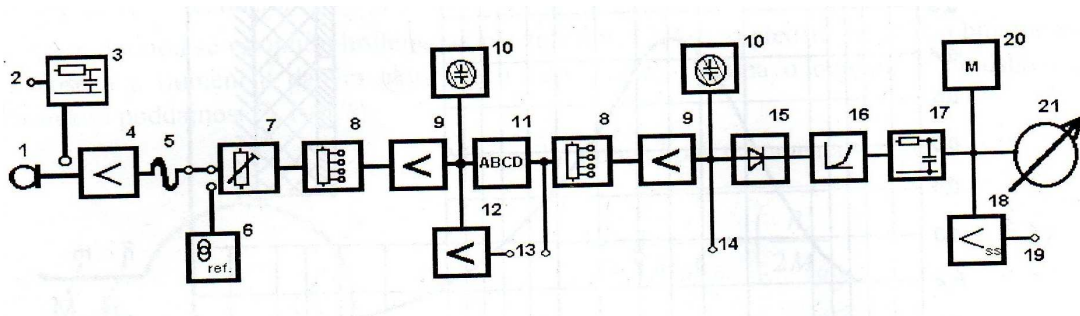
^{*)} Pro hluk z pozemní dopravy je přípustná korekce +5 dB. Má-li hluk výrazné tónové složky, přičítá se korekce -5 dB.

4 POUŽITÉ MĚŘICÍ PŘÍSTROJE

4.1 Blokové schéma měřiče zvuku

Zvukoměr

Zvukoměr je elektronické zařízení, které umožňuje měření hladin akustického tlaku. Za předpokladu, že budeme měřit nekoherentní signály, musíme určit výslednou efektivní hodnotu jednotlivých složek. Je třeba zařadit do měřicího řetězce *efektovací obvod*. Výstupní měřidlo je díky své setrvačnosti, schopné sledovat dostatečně rychle změny akustického tlaku, a proto jsou do výstupních obvodů zařazeny *integrační obvody*, stanovující průměrnou hodnotu tlaku v časovém rozmezí. Protože požadujeme měřit hladinu tlaku, musíme ve výstupním obvodu nebo přímo v měřidle zajistit přechod z lineární závislosti na závislost logaritmickou [9].



Obrázek č. 2: Schéma zvukoměru (převzato z [8]).

1-měřicí mikrofon, 2-vstup pro snímač zrychlení, 3-integrační obvod, 4-mikrofonní předzesilovač, 5-mikrofonní kabel pro případné prodloužení, 6-zdroj referenčního signálu pro kalibrování, 7-nastavení zesílení při kalibraci, 8-dělič napětí po 10dB, 9-zesilovač, 10-indikátor přetížení se světelnou diodou, 11-váhové filtry s přepínačem, 12-zesilovač pro připojení externích filtrů, 13-vstupní a výstupní zdířky pro externí filtr, 14-výstup střídavého signálu, 15-usměrňovač, 16-detektor efektivní hodnoty, 17-integrační obvod, 18-stejnosměrný zesilovač, 19-výstup stejnosměrného signálu, 20-paměťový obvod, 21-měřidlo

Mikrofon (měnič)

Mikrofon je akusticko-mechanicko-elektrický měnič, který snímané kmitání vnějšího plynného prostředí převádí na elektrický signál. Je nejvýznamnější součástí zvukoměrné soustavy. Jeho elektrická odezva na mechanické podněty musí být směřovaná v širokém pásmu slyšitelných kmitočtů. Napětí signálů musí být dostatečně velké ve značném dynamickém rozsahu. Mikrofon nesmí neměnit svoje vlastnosti v závislosti na vnějších statických podmínkách - teplotě, tlaku, vlhkosti [9], [15].

Hlavním požadavkem na mikrofon je jeho směrová charakteristika. Mikrofony pro měření v uzavřeném zvukovém poli mají kulovou (všesměrovou) charakteristiku. Naopak pro použití ve volném prostředí je vhodnější, aby snímal pouze určitý směr. Toho lze dosáhnout konstrukčním uspořádáním [8].

K měřicím účelům jsou používány tyto základní typy mikrofonů:

- a) **elektrostatické (kondenzátorové)** se používají kvůli jejich výjimečným vlastnostem: poměrně lehce dosažitelné "lineární" kmitočtové charakteristice v celém slyšitelném rozsahu kmitočtů a jeho stálé citlivosti. Základním principem je ultralehká membrána, která se poddává kmitání vnějšího prostředí, jeho zhušťování a zředování, a tak proti pevné elektrodě mění vzdálenost a tím kapacitu mezi membránou (jako jednou z elektrod) a pevnou (druhou) elektrodou. Kondenzátorem je generováno střídavé napětí, na výstupu je tedy možno odebírat střídavý elektrický signál úměrný akustickému tlaku v širokém pásmu kmitočtů a ve velkém dynamickém rozsahu [15], [16].
- b) **dynamické** se vyrábí v cívkovém či páskovém provedení. Při pohybu vodiče v magnetickém poli se v tomto vodiči indukuje napětí. U páskového mikrofonu je vodičem tenký, pružný hliníkový pásek, který slouží jako membrána. Tyto mikrofony dosahují vyšší citlivosti a užívají se do těžkých provozů [12],[16].
- c) **piezoelektrické** se vyrábějí z keramických materiálů, které svou značně odolné vůči vlhkosti, teplotě a proti mechanickým namáháním. Vyznačují se vysokou citlivostí a méně vyrovnanou frekvenční charakteristikou. Základní princip: akustické vlny působí na membránu přenášející pohyb na střed keramické tyčinky. Tato síla působí na tyčinku, která ji na obou koncích deformuje a způsobuje vznik

elektrického napětí. Při přenosu akustického tlaku membránou na tyčinku je výstupní napětí v dostatečně širokém frekvenčním i dynamickém rozsahu přímo úměrné amplitudám zvukových vln [16].

Ze zmíněných údajů je patrné, že nejvýhodnější parametry pro měření má kondenzátorový mikrofon. Mezi jeho nevýhody patří vysoká cena a menší mechanická odolnost. Proto často bývá nahrazován piezoelektrickým mikrofonem.

Předzesilovač

Vnitřní stavba předzesilovače musí být především uspořádána tak, aby se dosáhlo co nejnižšího tzv. šumového čísla u celého přístroje. Veškeré zesílení by se tedy mělo koncentrovat na vstup a obvody za ním by měly mít zesílení co možná nejmenší, aby nezvedaly šum ze vstupního zesilovače.

Vložky kondenzátorových mikrofonů jsou montovány přímo na předzesilovač, protože vliv rozptylových kapacit musí být co nejmenší a vylučuje se tím možnost indukování signálů do přípojovacího vedení. S ohledem na dosažení frekvenční linearity a zachování dostatečně velkého výstupního napětí musí být vstupní odpor předzesilovače vysoký [16].

Zesilovač

Výstupní napětí z předzesilovače je obvykle velmi malé, a proto je nutné ho zesílit. Útlumová charakteristika zesilovače musí být lineární v rozsahu 20 - 20 000 Hz a fázová charakteristika musí mít odpovídající vlastnosti. Zesílení se kontroluje pomocí cejchových obvodů a nastavuje se před každým měřením na správnou hodnotu. Zesilovače musejí být opatřeny děliči napětí, aby mohli změnit vstupní napětí na hodnotu, kterou mohou bez zkreslení zpracovat [16].

Filtry

Obvody jsou složeny převážně z paralelních a sériových kombinací indukčností, kapacit a popř. odporů. Při vhodném zapojení propouštějí jen tu část elektrického signálu, jehož kmitočty leží v určitém pásmu, ostatní potlačuje. Používají se pásmové filtry oktávové a třetinooktávové. Úzkopásmové propusti, analyzátoři a digitální filtry

nejdou součástí zvukoměru a k měřicímu řetězci se připojují ke speciálním výstupům/vstupům [9], [16].

Křivky váhových filtrů A, B, C a D jsou mezinárodně standardizované v rozsahu kmitočtů 10-20000 Hz. Jejich frekvenční charakteristiky odpovídají přibližně hlasitosti pro 40, 70 a 100 dB. Často se také používá filtr C, který má význam ve velmi hlučném prostředí. Filtr D se využívá při měření letového provozu [8],[12],[15].

a) váhový filtr - průběh "lin"

Zvukoměr, který je doplněn kmitočtovým průběhem "lin" (lineární kmitočtová charakteristika), měří zdánlivě přímo hladinu akustického tlaku. Hladina akustického tlaku je měřena pouze pro jednoduchý, sinusový signál, nebo s určitou zanedbatelnou nepřesností pro pásmo nejvýše šířky 1 oktávy (pak je to hladina akustického tlaku v oktávovém pásmu).

b) váhový filtr A

Zavádí kmitočtovou závislost, která je velmi blízká Slawinově křivce stupně škodlivosti kmitočtů pro sluchový orgán.

c) váhový filtr B

Původně metoda, která se snaží o přímý převod na hlasitost v rozsahu 30-60 dB.

d) váhový filtr C

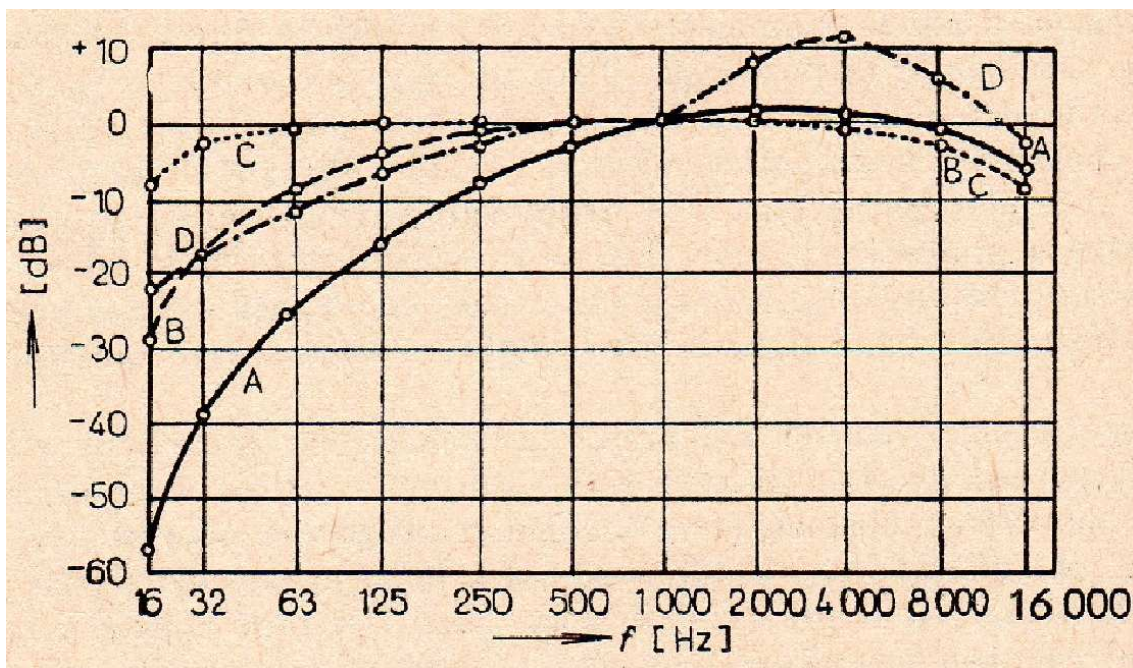
Poněvadž nezavádí významnější kmitočtovou závislost, slouží tato hladina především k hodnocení hlučnosti pro technické potřeby.

e) váhový filtr D

Umožňuje rychle zjistit hladinu rušivosti při orientačních měřeních.

f) váhový filtr G

Tento váhový filtr se již příliš nepoužívá, neboť je navržen pro infrazvuk a podhodnocuje nízkofrekvenční hluk [2],[12].



Obrázek č. 3: Frekvenční charakteristiky váhových filtrů (převzato z [4]).

Integrační obvod

Kromě ustálených zvuků je zapotřebí vyhodnotit i časově proměnné či dokonce zvuky impulzního charakteru, pro určení změn akustického tlaku. Proto musí zvukoměr splňovat některé vlastnosti.

Dynamické vlastnosti:

- a) **S (slow = pomalu)**: vyhodnocuje se průměrná naměřená hodnota za dobu 1000 ms, pomalejší reakce na změny hladiny akustického tlaku,
- b) **F (fast = rychle)**: vyhodnocuje se průměrná hodnota akustického tlaku za dobu 200 ms,
- c) **I (impulse)**: doba měření je 35 ms. Využívá se pro signály s rychle měnící se hladinou akustického tlaku,
- d) **P (peak)**: integrační doba vyhodnocení je 50 ms [8].

„Efektovací obvod“

Další neméně důležitou součástí zvukoměrů jsou tzv. efektovací obvody. Převádí okamžitě naměřené hodnoty akustického tlaku na jeho efektivní hodnotu. Efektováním

se do měřicího procesu dostává jistá nepřesnost. Podle složení akustického spektra a poměru amplitud se připouští u přesných zvukoměrů odchylka 0,1 *dB* příp. u běžných zvukoměrů 0,5 *dB* [12].

Záznamové přístroje

U analogových zařízení najdeme především hladinové zapisovače, záznamový přístroj (magnetofon) nebo u digitálních přístrojů přímo protokolární výpis. Zvláštním případem jsou X-Y zapisovače (plottery), zaznamenávající již částečně zpracované hodnoty [9].

Hladinové zapisovače svým zápisem registrují velikost nebo hladinu vstupního signálu a mají obvody, které vytvoří efektivní hodnotu měřeného signálu. Chybí jim vestavěné obvody, které by napodobovaly dynamické vlastnosti výstupních obvodů zvukoměru [9].

Hladinový analyzátor slouží ke stanovení charakteristiky hladin akustického tlaku časově proměnných zvuků. Analýza se provádí na základě vzorkování akustického signálu v intervalech. Časově proměnné veličiny můžeme charakterizovat aritmetickým průměrem případně střední kvadratickou odchylkou [8],[12].

Magnetofony zaznamenávají signály jak střídavé, tak i stejnosměrné u neopakovatelných událostí. Proto musí být kvalitní a nesmí signál zkreslovat. Více kanálové magnetofony mohou synchronně zaznamenávat několik signálů najednou, což se uplatňuje při jejich mnohabodovém snímání [9].

Nejmodernější jsou digitální záznamy, které umožňují zápis do analogového průběhu nebo časově vzorkovaných hodnot. K tomu slouží programy, které pracují na předem naprogramovaném softwaru podle zvolené měřicí metodiky a umějí protokoly vytisknout i během měření. Typickým zástupcem takových přístrojů - zvukoměrů je dánská firma Brüel & Kjær [9].

Chybovost měření

Pro správný výsledek je nutné znát alespoň přibližnou hodnotu přesnosti měření, chybu, kterou může být výsledek zatížen. U zvukoměrů třídy "přesný" jsou povoleny

odchylky až ± 2 dB (u běžných až ± 4 dB). Tento stav pouze vystihuje možnosti dnešní techniky. Zvukoměr má udávat efektivní hodnotu měřeného signálu, a proto jsou v nich zabudovány tzv. efektovací obvody. Bývají většinou jedním z nejslabších míst zvukoměru. Skutečná efektivní hodnota se může lišit od měřené až o 1,5 dB. Přesnost udání efektivní hodnoty je tím lepší, čím užší je kmitočtové spektrum měřeného signálu. Velmi důležitou hodnotou zvukoměru jako celku je nejnižší měřitelná hladina zvuku. Leží nejméně 5 dB nad hladinou rušivých napětí a udává tak nejnižší hladinu, kterou můžeme při měření považovat za platnou. U starších zvukoměrů s měřidlem rozhoduje u krátkodobých signálů integrační obvody, které charakterizují dynamické vlastnosti s odchylkami až ± 1 dB. Obvod signalizace "přebuditelnosti" musí být schopen nezkráceně zpracovat signály, které jsou o 10 příp. 12 dB vyšší než signál, jehož efektivní hodnota odpovídá plnému rozsahu měřidla [8],[9].

4.2 Analyzátor Pulse Brüel & Kjær

Analyzátor PULSE

Analyzátor PULSE 3560B obsahuje jeden výstup a pět vstupů pro připojení snímačů měřících dynamické veličiny (veličiny popisující hluk a vibrace). Slouží k měření, analýz hluku a vibrací. Cílem bylo vytvoření kvalitního analyzátoru založeného na bázi osobního počítače. [11], [14].

PULSE LabShop

Prostředí PULSE LabShop verze 10.2.0.44 slouží jako vyhodnocovací zařízení. Program umožňuje pracovat v reálném čase, sledovat výsledky měření a analýzy hned po změření. PULSE LabShop podporuje multianalýzu (zpracování dat několika způsoby najednou). Pro jednotlivé měření je možnost uložit vlastní projekt, kde jsou uchovány informace o nastavení parametrů měření s koncovkou .pls. Software provádí současně **FFT** analýzu a **CPB** analýzu, což umožňuje měřené signály zaznamenávat pro pozdější zpracování. Program však neumožňuje měření bez hardwarového klíče, který se zasouvá do **USB** portu **PC** [14].

Nastavení programu LabShop

Nastavení popisuje jednoduché měření v systému PULSE a blíže seznamuje s jednotlivými součástmi softwaru.

A. Panel úloh

Úlohy (**Tasks**) slouží k ukládání nastavení pracovní plochy (rozložení oken, grafů,...) a zjednodušují měření. Tyto úlohy se dají pro větší přehlednost třídit do skupin úloh (**Task Groupe**) a do karet úloh (**Task Bar**). V novém projektu se musí **panel úloh** nejprve zobrazit zaškrtnutím položky **Task Bar** v menu **View**. Zobrazí se panel úloh s jednou kartou (**Main**) a jednou skupinou (**Task List**). Všechny položky je možné libovolně přejmenovat [14].

B. Nastavení měření

Většina nastavení se skládá z následujících procedur [14]:

1. Nastavení snímačů - provádí se v konfiguračním organizátoru (**Configuration organiser**, dále jen **CO**). Zobrazení **CO**:
V menu **Organiser/Configuration organiser**) nebo pomocí klávesové zkratky **<Ctrl+1>**,
2. Nastavení měření a analýzy - naměření dat - pomocí organizátoru měření (**Measurement organiser**, dále jen **MO**) **<Ctrl+2>**,
3. Nastavení funkcí - zpracování dat - pomocí organizátoru funkcí (**Function organiser**, dále jen **FO**) **<Ctrl+3>**,
4. Zobrazení výsledků - v organizátoru zobrazení (**Display organiser**, dále jen **DO**) **<Ctrl+4>**,
5. Zpracování výsledků - organizátor reportů (**Report organiser**, dále jen **RO**) **<Ctrl+8>**.

C. Nastavení 2D grafů

Jednotlivé grafy lze zobrazit poklepáním přímo na funkci v **FO** nebo v **DO** poklepáním na dané položky. Okno nastavení grafu lze zobrazit kliknutím pravého tlačítka myši v grafu a výběrem položky **Properties** [14].

Na záložce **Function** je možné změnit zobrazenou funkci výběrem skupiny funkcí nebo měnit souřadnice zobrazených dat (např.: amplituda, fáze, ...), jednotky zobrazení (efektivní hodnoty, výkon, ...), aplikovat vážení filtry a derivaci/integraci signálu. Další možností je změna zobrazení křivky (menu **Graph Type**). Pro 2D grafy se používají převážně **Curve**, **Curve (Step)**, **Bar** a **Line** [14].

D. Kontinuální data, 3D grafy

V programu PULSE 3D grafy zobrazují vývoj měřené veličiny v čase. Před vlastním zobrazením 3D grafů se musí nastavit **multi-bufer** (kam se budou data ukládat) a **trigry** (kdy se data začnou ukládat a jak často se budou ukládat) [14].

E. Export dat, reporty

Data lze z PULSE exportovat různými způsoby:

1. Pro tisk grafu stačí graf označit a v menu **File** vybrat položku **Print preview**,
2. Kopírování grafů do wordu se provede jednoduše pomocí klávesových zkratk <Ctrl+C> a <Ctrl+V> (daný graf musí být označen),
3. V **FO** nebo **MO** lze data ukládat do speciálních formátů (soubor ASCII, binární soubor, ...) kliknutím pravým tlačítkem myši na data určená k uložení a výběrem položky **Save**.
4. Do Excelu se data vkládají dynamicky - při měření se budou data automaticky ukládat do Excelu. Toto propojení se nastaví tak, že se v excelu vybere v menu **Úpravy** položka **Vložit jinak** a v zobrazeném okně se zaškrtně možnost **Vložit propojení**. Perioda obnovení dat se nastaví v PULSE v menu **Tools/Ole links** [14].

F. Spouštění měření

Pokud je vše nastaveno a připraveno k měření je potřeba měření spustit. To se provede kliknutím na tlačítko **Start** nebo pomocí klávesy <F5>. Měření se zastaví kliknutím na tlačítko **Stop** nebo klávesou <F6>. Pokud má měření pokračovat a nezačínat od začátku použije se tlačítko **Proceed** nebo klávesová zkratka <Shift+F5> [14].

4.3 Zvukoměr AL1 NTI

Zvukoměr je přenosné zařízení s velkým množstvím funkcí pro akustická měření a sledování hladiny akustického tlaku na koncertech, v prostorové akustice apod. Zvukoměr umožňuje měření akustického tlaku dle platných norem DIN 15905-5 a SLV 2007 [13].

Toto zařízení má mnoho funkcí a některé z nich jsou zde uvedeny:

- A. RTA (Real Time Analyzer)** - vyznačuje se vysokou rychlostí měření s volitelným kmitočtovým pásmem frekvenčního rozsahu. Uložená spektra mohou být průměrována nebo kombinována pomocí dostupných matematických funkcí.
- B. Zoom FFT** - zajišťuje extrémně rychlé měření s rozlišením až $0,7 \text{ Hz}$ v celém frekvenčním rozsahu. Režim je ideální nástroj pro vizualizaci hřebenových filtrů a účinků v úzkém pásmu. Umožňuje funkci podrobného kurzoru na obrazovce a ukládání dat.
- C. Doba zpoždění** - funkce pro měření nastavení reproduktorů, která se provádí mezi elektrickým vstupem AL1 a vestavěným mikrofonom. Automatický výpočet rozdílu zjednodušuje ověření správného zpoždovacího opatření pro větší haly a hlediště.
- D. Elektrická měřicí funkce** - kromě ověřování polarit u reproduktorů a systémů obsahuje základní funkce pro měření elektrické úrovně RMS a zkreslení. Inteligentní funkce, jako je „bilanční ukazatel“ (ihned zobrazuje vyvážený/nevyvážený stav připojených signálů), podporuje rychlé ladění audio systémů.
- E. RT60, dozvuk** - funkce sloužící pro měření doby dozvuku nebo ozvěn v oktávových pásmech ($63 \text{ Hz} - 8 \text{ kHz}$). Výsledky jsou zobrazeny pomocí ukazatelů [13].

Toto zařízení využívá pro získání zvukových signálů mikrofón. NTI nabízí dva mikrofóny:

- A. MiniSPL** - je ideálním doplňkem pro Zvukoměr AL1. Je to velice přesný a snadno ovladatelný mikrofón pro dostupná měření. Podporuje dlouhé kabelové připojení

mezi analyzátozem a mikrofonem, až na několik stovek metrů. Používá se ve spojení s PC jako měřicí systém s kvalitní zvukovou kartou.

- B. M2010** - Tento mikrofon je určen pro přesné měření zvuku. Je vhodný zejména pro aplikace ve vymezeném prostoru. Tento mikrofon je optimalizován pro měření v oblasti těchto frekvencí 20 Hz – 20 kHz [13].



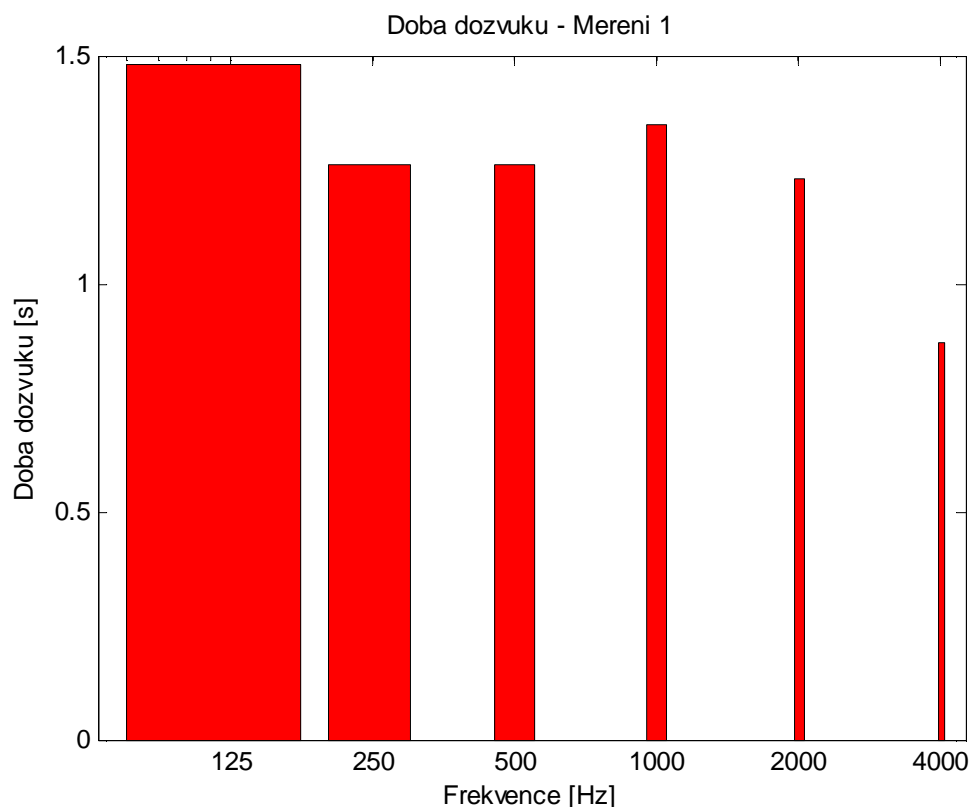
Obrázek č. 4: Zvukoměr AL1 NTI s mikrofonem MiniSPL (převzato z [13]).

5 DOSAŽENÉ VÝSLEDKY

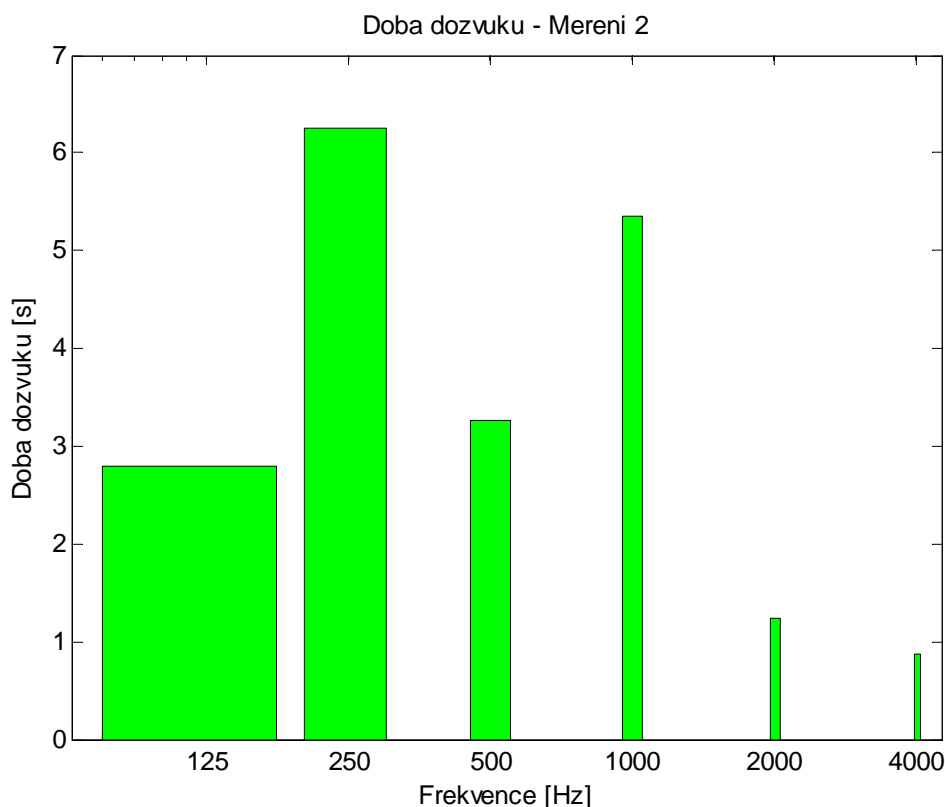
Bylo provedeno základní měření hladin zvuku a dozvuku v místnostech pomocí Zvukoměru AL1 NTI a multianalýzátoru PULSE 3560B a naměřené hodnoty byly zpracovány v programovacím prostředí MATLAB.

5.1 Měření dozvuku

Doba dozvuku je čas, za který klesne hladina akustického tlaku o 60 dB od okamžiku, kdy je vypnut zdroj zvuku. Doba dozvuku byla měřena na dvou různých místech v laboratoři E-237. První měření bylo provedeno uprostřed této místnosti viz Obrázek č. 5 a druhé asi o 1 metr dále od prvního měření směrem k zadní stěně učebny viz Obrázek č. 6.



Obrázek č. 5: Doba dozvuku - Měření 1.



Obrázek č. 6: Doba dozvuku - Měření 2.

Jako zdroj hluku s bílým šumem impulsního (krátkodobého) charakteru postačil pryžový balónek naplněný vzduchem. Měření bylo provedeno Zvukoměrem AL1 NTI, který má funkci s názvem RT60 popsanou již v kapitole 4.3. Tato funkce umožňuje změřit dobu dozvuku v oktávových pásmech (63 Hz – 8 kHz). Bylo měřeno pouze na kmitočtech 125 Hz, 250 Hz; 500 Hz; 1000 Hz; 2000 Hz a 4000 Hz. Mikrofon byl umístěn ve výšce 160 cm nad zemí a byl otočen směrem ke zdroji.

Výpočet průměrné doby dozvuku:

$$T_{r1} = \frac{T_{f500Hz} + T_{f1000Hz} + T_{f2000Hz}}{3} = \frac{1,26 + 1,35 + 1,23}{3} = \underline{\underline{1,28s}} \quad (5.1)$$

$$T_{r2} = \frac{T_{f500Hz} + T_{f1000Hz} + T_{f2000Hz}}{3} = \frac{3,26 + 5,35 + 1,23}{3} = \underline{\underline{3,283s}} \quad (5.2)$$

Naměřené hodnoty pro výpočet průměrné doby dozvuku jsou uvedeny v Příloha A.

5.2 Měření hluku

Pro měření hluku bylo stanoveno několik alternativ. Akustický tlak byl měřen ve dvou různých místnostech. Bylo změřeno rozložení zvukového pole v tiché laboratoři E-237 a posluchárně E-339. Dále byl změřen hluk při zapojené ruční vrtačce a následně porovnán v obou místnostech. Hodnoty pro vytvoření hlukových map jsou uvedeny Příloha B.

Měření rozložení hluku v laboratoři E-237

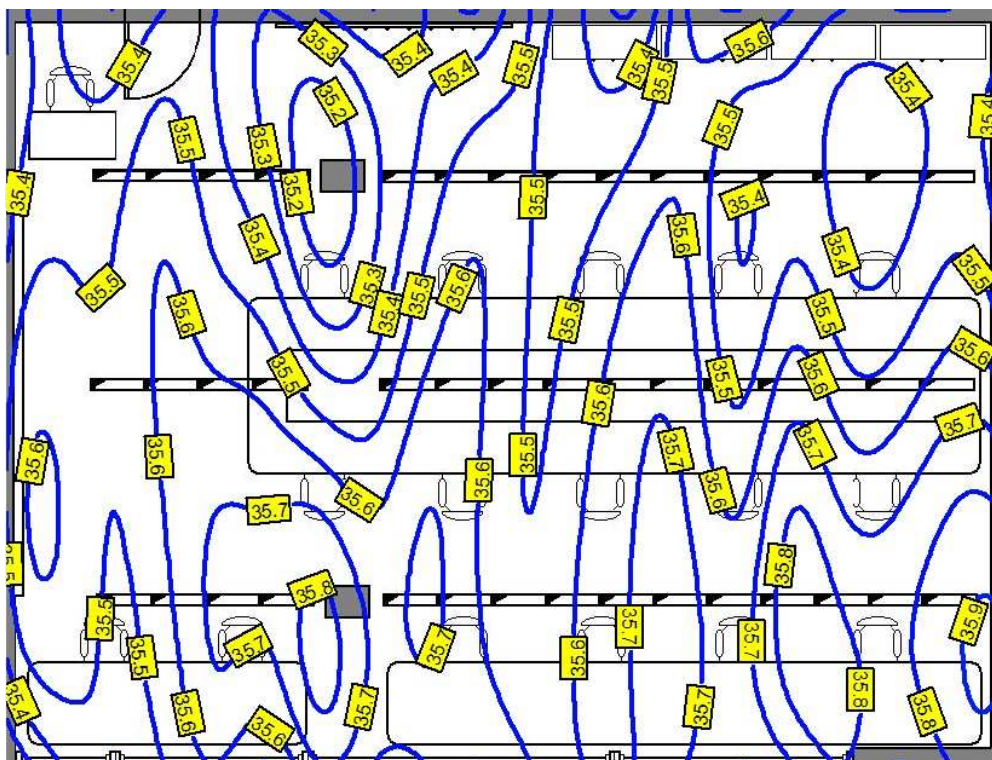
Měření bylo provedeno pomocí Zvukoměru AL1 NTI, což umožňovalo snadnou manipulaci při jeho přemístování. Bylo zvoleno 80 měřících míst rovnoměrně rozmístěných po učebně. Při měření byl mikrofon vždy ve výšce 160 cm nad zemí. Ve všech měřených místech byl mikrofon natočen ke zdroji hluku. Akustický tlak byl změřen pomocí váhového filtru typu A. Doba měření byla v každém bodě přibližně 10 s, kvůli ustálení hodnot akustického tlaku.

Pokud je hodnota hluku pozadí podobná úrovni hluku měřeného zdroje, tak je nutné provést korekci změřené hodnoty. Tím se získá skutečná hodnota hluku měřeného zvukového zdroje. Korekce se provádí, jestliže rozdíl mezi hodnotou akustického tlaku zvukového zdroje a hlukem vykonané pozadí je menší než 3 dB.

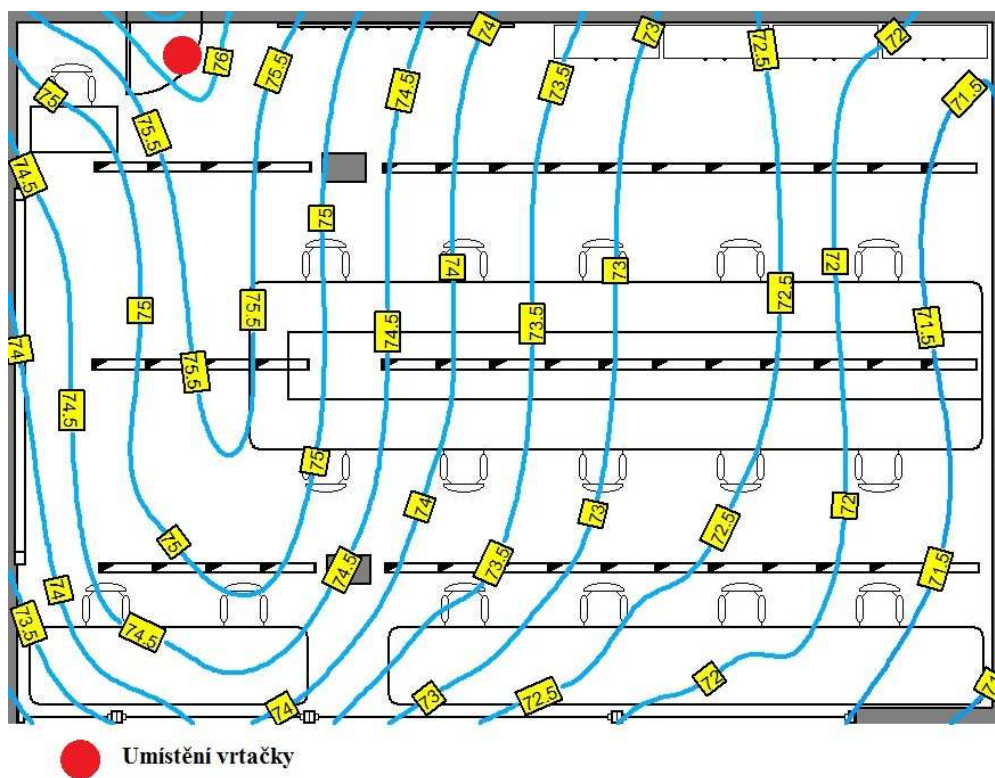
Naměřené hodnoty byly zpracovány v programovém prostředí MATLAB a následně byly vytvořeny hlukové mapy zvukového rozložení tichých místností a se zdrojem hluku, který byl vytvořený vrtačkou viz. Obrázky č. 7 a 8.

V prvním případě byla proměřena hlučnost v laboratoři E-237. Měřili jsme hladinu akustického tlaku pomocí zvukoměrů v místnosti se zataženými žaluziemi, proto se hluk odrazil od oken. Následně jsme vykreslili pomocí programu MATLAB zvukové mapy učebny pro jednotlivé situace. Tato učebna není akusticky pojednána, proto vyjadřují izolinie odraz stěn od dveří. Hodnota akustického tlaku se pohybovala v rozmezí od 35,2 dB až do 35,9 dB a rostla směrem od tabule k zadní stěně učebny. Maximální rozdíl hodnot akustického tlaku byl 0,7 dB.

V druhém případě byla také proměřena hlučnost v laboratoři E-237 a z hlukové mapy lze vyčíst, že největší akustický tlak byl v rohu místnosti se zdrojem hluku vykonaným vrtačkou. V této místnosti bylo mnoho překážek jako sloupy a lavice, které způsobily to, že se zvuk šířil v těchto místech o poznání hůře.



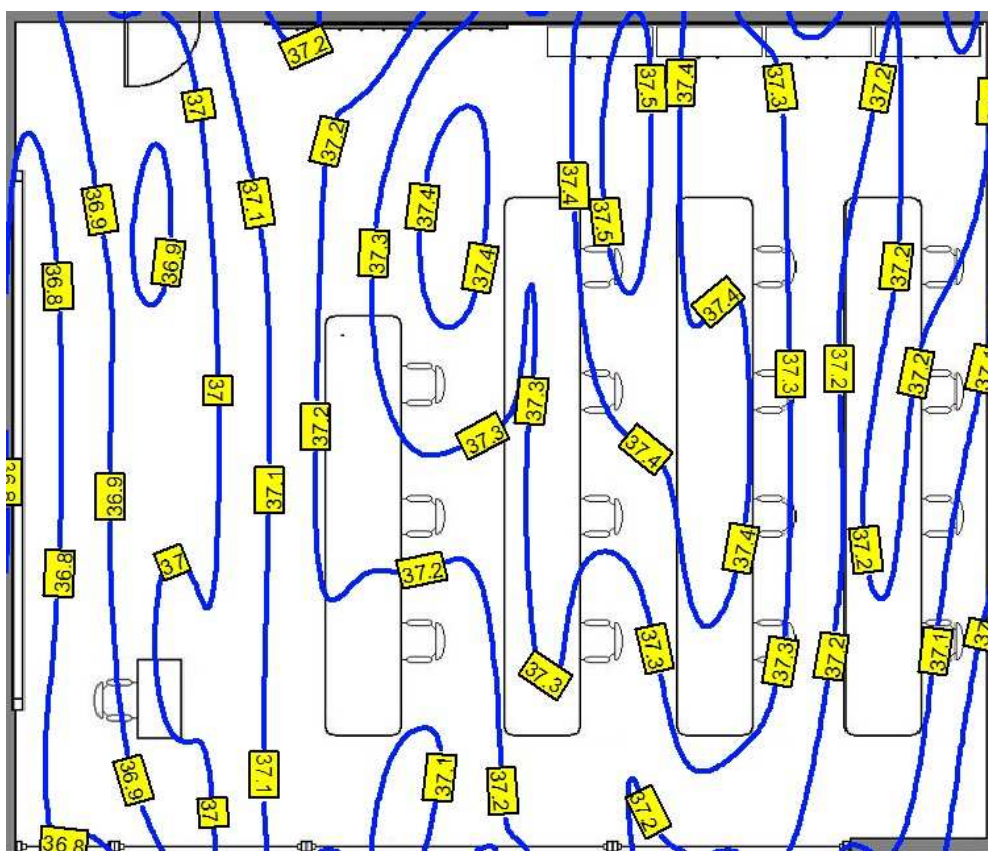
Obrázek č. 7: Hluková mapa v tiché laboratoři E-237.



Obrázek č. 8: Hluková mapa se zdrojem hluku vrtačkou v laboratoři E-237.

V oblasti zdroje hluku vrtačky dosahovaly hodnoty hluku u dveří učebny 76,6 dB. Hodnota akustického tlaku se pohybovala v rozmezí od 70,2 dB až do 76,6 dB a rostla směrem od tabule k zadní stěně učebny. Maximální rozdíl hodnot akustického tlaku byl 6,4 dB. Přípustné hodnoty ekvivalentní hladiny podle norem v pracovním prostředí je stanovena na $L_{Aeqp} = 85$ dB. Z hlukové mapy lze vidět, že při vrtání v žádném místě nedocházelo k překročení limitu.

Měření rozložení hluku v posluchárně E-339

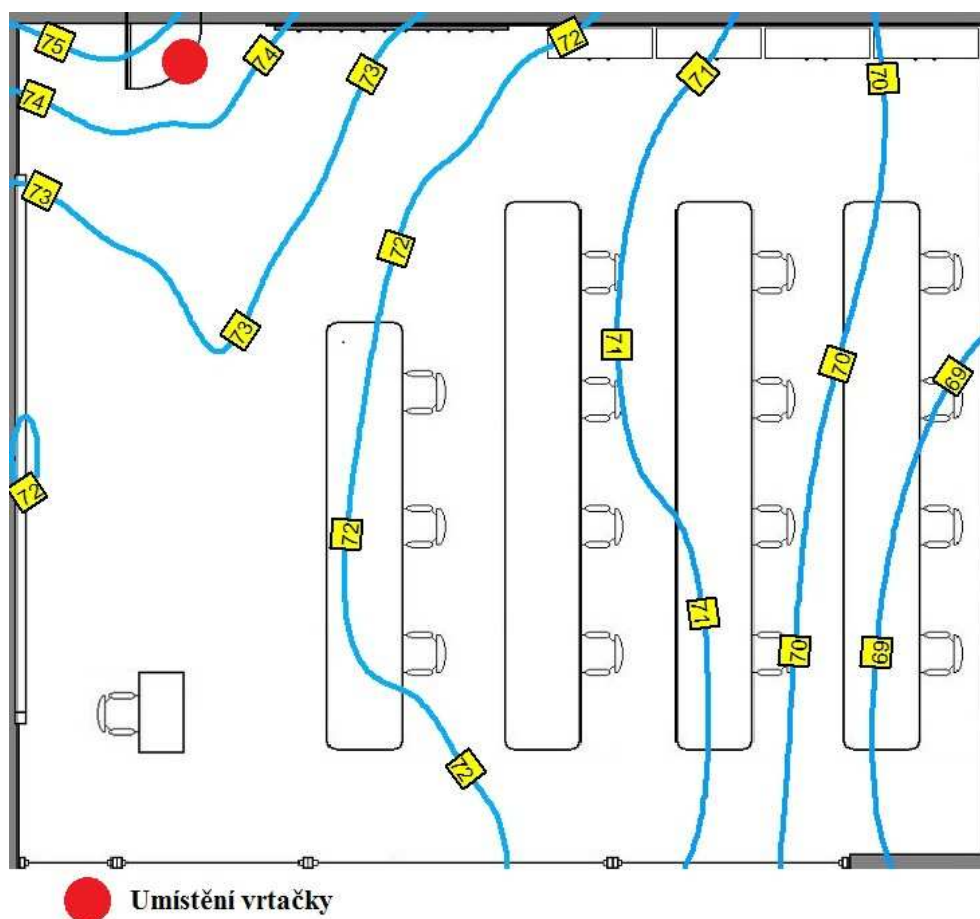


Obrázek č. 9: Hluková mapa v tiché posluchárně E-339.

V prvním případě (viz Obrázek č. 9) byla proměřena hlučnost v přednáškové aule 339. Tato místnost byla akusticky pojednána. Akustický tlak zde byl na straně u dveří nepatrně vyšší než hodnoty naměřené na straně s oknem. To je způsobeno tím, že stěny mohou pohlcovat nebo více odrážet zvuk a mají menší akustickou pohltivost plochy než sklo v okně. Hodnota akustického tlaku byla rovnoměrně rozprostřena po celé aule a pohybovala se v rozmezí od 36,7 dB do 37,5 dB. Rozdíl hodnot akustického tlaku byl

0,9 dB. Zvuk se v místnosti rozkládá rovnoměrně a akustika místnosti je vhodná pro funkci přednáškové místnosti.

V druhém případě (viz Obrázek č. 10) byla také proměřena hlučnost v posluchárně E-339 a z hlukové mapy lze vyčíst, že největší akustický tlak byl v rohu místnosti se zdrojem hluku způsobený provozem vrtačky. V oblasti zdroje hluku způsobený provozem vrtačky dosahovaly hodnoty hluku u dveří učebny 76,6 dB. Hodnota akustického tlaku se pohybovala v rozmezí od 68,2 dB až do 75,8 dB a rostla směrem od tabule k zadní stěně učebny. Maximální rozdíl hodnot akustického tlaku byl 7,6 dB. Přípustná hodnota ekvivalentní hladiny podle norem v pracovním prostředí je stanovena na $L_{Aeqp} = 85$ dB.

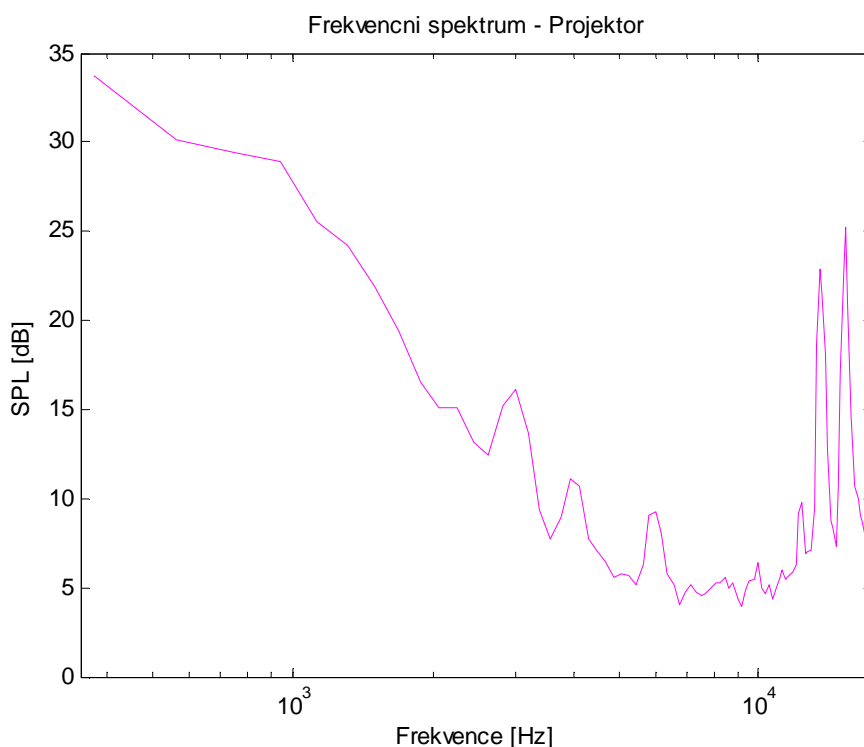


Obrázek č. 10: Hluková mapa se zdrojem hluku vrtačkou v posluchárně E-339.

5.3 Měření frekvenčního spektra

Měření frekvenčního spektra Zvukoměrem AL1 NTI

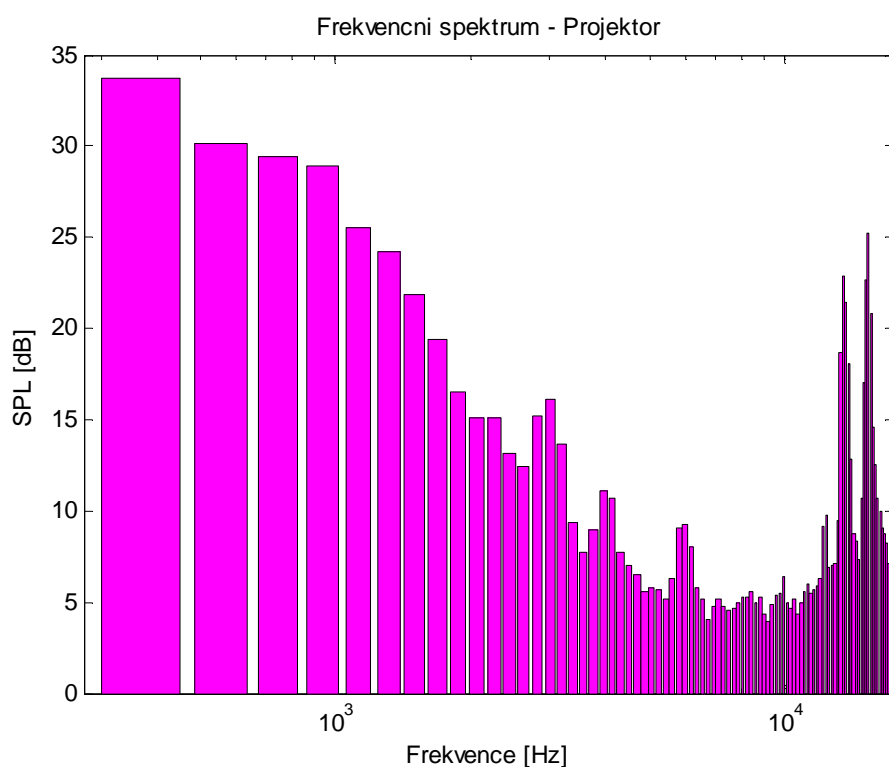
Byla změřena frekvenční spektra projektoru a větráčku PC ve zvolené laboratoři E-237, kde byla změřena frekvenční spektra Zvukoměrem AL1 NTI s mikrofonem MiniSPL. Akustický tlak byl změřen pomocí váhového filtru typu A. Při měření byl mikrofon dle normy umístěn nejméně 10 cm od ucha pracovníka a vždy ve výšce 160cm nad zemí. Ve všech měřených místech byl mikrofon natočen ke zdroji hluku. Významnější pro posouzení bylo znázornění frekvenčního spektra vyjádřeného spojitými grafy viz. Obrázky č. 11 a 13 při zapnutém projektoru a při zapnutém větráčku PC, než jak tomu bylo u sloupcových grafů vyobrazených na Obrázcích č. 12 a 14. Hodnoty pro měření frekvenčních spekter jsou uvedeny v Příloha C.



Obrázek č. 11: Frekvenční spektrum zapnutého projektoru.

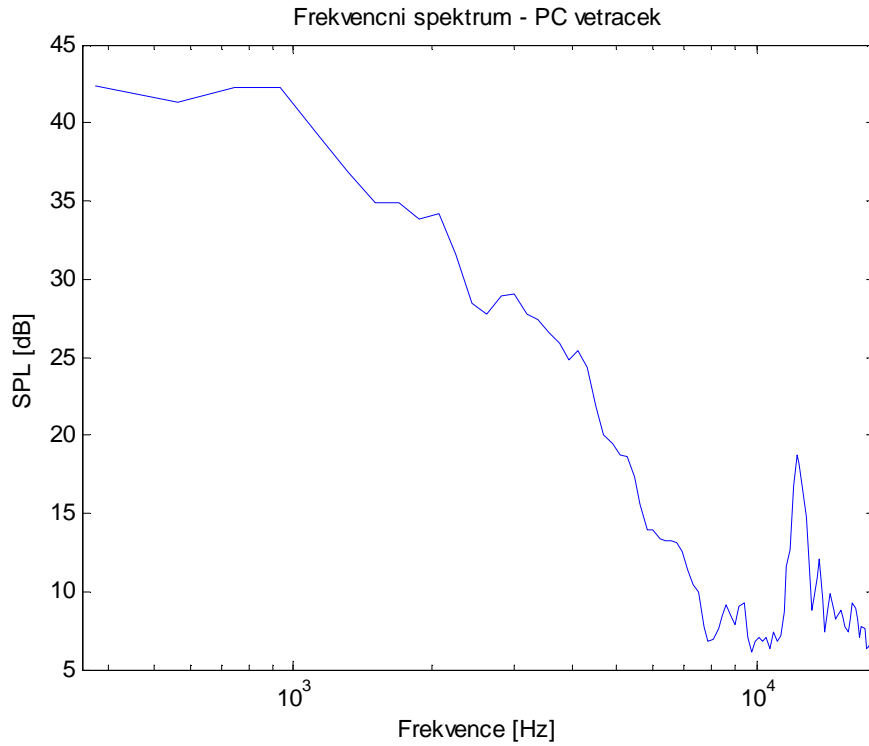
Interpretace naměřených hodnot pro frekvenční spektrum zapnutého projektoru viz. Obrázky č. 11 a 12: rozsah frekvenční analýzy byl nastaven v rozmezí od 375 Hz do 17625 Hz. Na frekvencích 3 Hz, 4 kHz a 6 kHz bylo možné vidět vrcholy frekvenční

charakteristiky a další výrazné vrcholy se nacházely na frekvenci v rozmezí od 15 - 16 kHz. Na frekvencích v rozsahu od 375 Hz - 14 kHz docházelo k poklesu frekvenční charakteristiky. V neposlední řadě docházelo ke kolísání charakteristiky frekvenčního spektra zapnutého projektoru, v důsledku čehož laboratoř E-237 nebyla správně akusticky upravena. Také to mohlo být způsobeno nevhodným umístěním projektoru právě v této učebně.

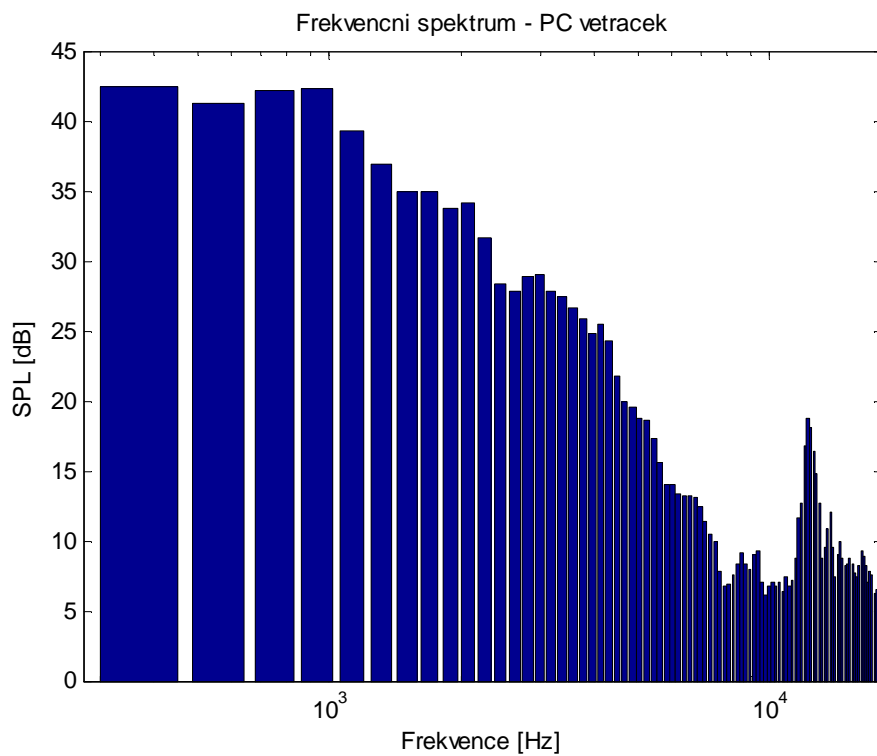


Obrázek č. 12: Frekvenční spektrum zapnutého projektoru - sloupcový graf.

Interpretace naměřených hodnot při zapnutém větráčku **PC** viz. Obrázky č. 13 a 14: rozsah frekvenční analýzy byl nastaven v rozmezí od 375 Hz do 17625 Hz stejně jako v předešlém případě. Na frekvenci 950 Hz, 12 kHz a 14 kHz je možné pozorovat množství vrcholů frekvenční charakteristiky překračující toleranční pásmo. Naopak na frekvenci 500 Hz, v rozsahu 1 - 11 kHz a 15 kHz je možné sledovat poklesy frekvenční charakteristiky. Při měření docházelo ke změnám tvaru frekvenční charakteristiky spektra zapnutého větráčku **PC**, v důsledku čehož místnost nebyla stejně jako v předešlém případě správně akusticky pojednána.



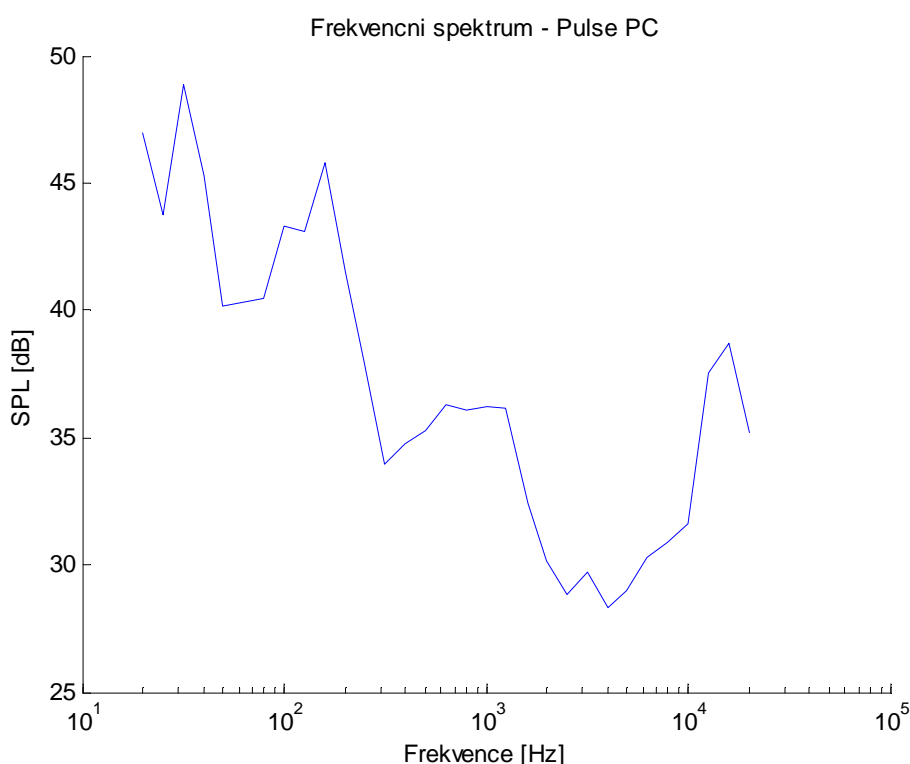
Obrázek č. 13: Frekvenční spektrum při zapnutém větráčku PC.



Obrázek č. 14: Frekvenční spektrum při zapnutém větráčku PC - sloupcový graf.

Měření frekvenčního spektra multianalyzátorem PULSE B&K

Byla změřena frekvenční spektra projektoru a **PC**. Ke snímání zvukového pole byl použit kondenzátorový mikrofon TYPE 4189-A-021. Tento mikrofon byl připojen k systému PULSE B&K 3560B. Takto sestavený systém umožňuje propojení až šesti kanálů k běžně užívaným **PC** prostřednictvím síťového kabelu. Změřené hodnoty byly vyhodnocovány pomocí softwaru Labshop PULSE nainstalovaným v **PC**. Výsledky byly zpracovány v programovacím prostředí MALAB. Hodnoty pro měření frekvenčních spekter jsou uvedeny v Příloha C.

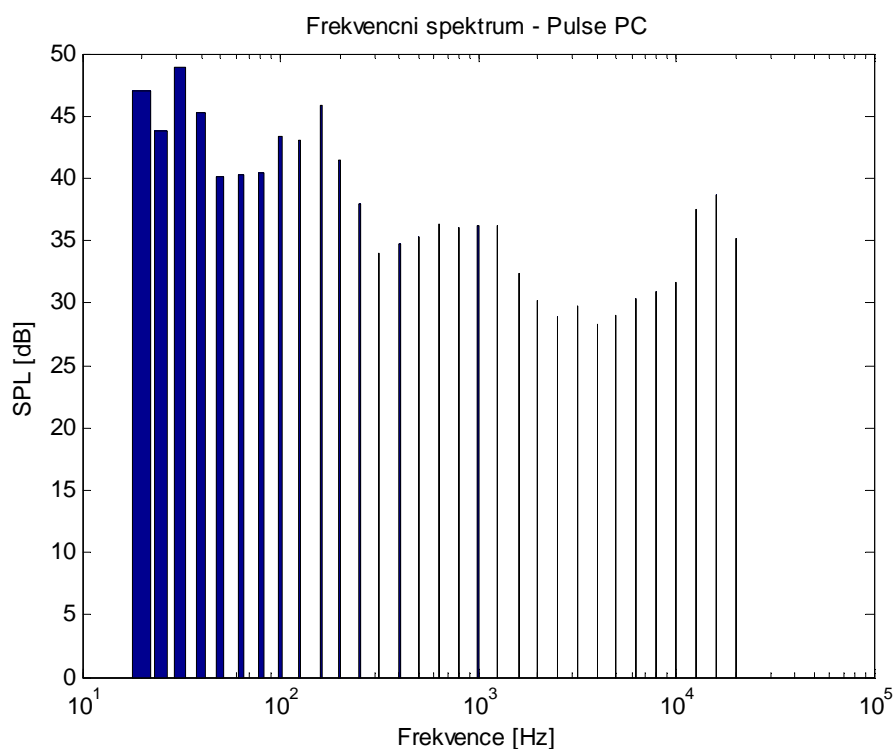


Obrázek č. 15: Frekvenční spektrum zapnutého PC - spojité graf.

Pro měření byl zpřístupněn příslušný kanál v programu Labshop PULSE a následně byl zkalibrován mikrofon tak, aby byl po zapojení aktivní. Také byl vytvořen panel, který umožňuje rychlou Fourierovu transformaci (**FFT**) a zobrazuje na displeji spektrum vstupního signálu. Rozsah frekvenční analýzy byl přednastaven na 20 - 20000 Hz. Dále bylo přednastaveno lineární průměrování po 30 úsecích (časový úsek v délce trvání 10 s umožňuje vypočítat jejich průměrné spektrum).

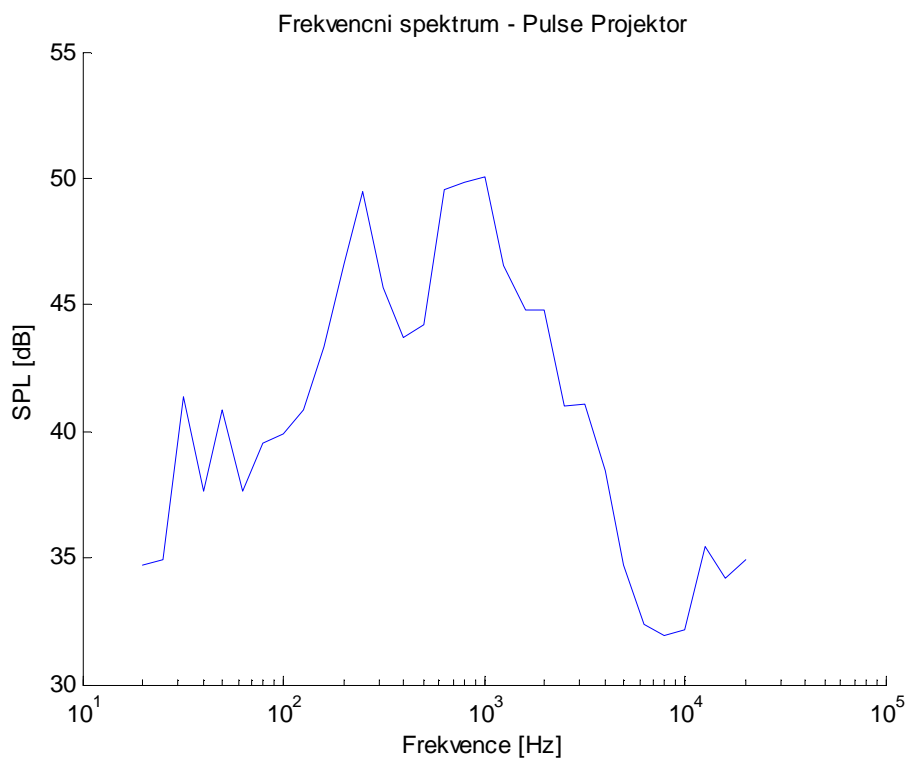
Interpretace naměřených hodnot frekvenčního spektra zapnutého **PC** viz. Obrázky

č. 15 a 16: rozsah frekvenční analýzy byl nastaven v rozmezí od 20 Hz do 20 kHz stejně jako v předešlých případech. Na frekvenci 32 Hz, 160 Hz, 600 Hz a 16 kHz bylo možné pozorovat množství převýšení frekvenční charakteristiky překračující toleranční pásmo. Naopak na frekvenci 25 Hz, 50 Hz, 300 Hz a 2500 Hz bylo možné sledovat poklesy frekvenčních charakteristik. Při měření docházelo ke změnám charakteristiky frekvenčního spektra zapnutého PC, v důsledku čehož místnost nebyla stejně jako v předešlém případě správně akusticky upravena.

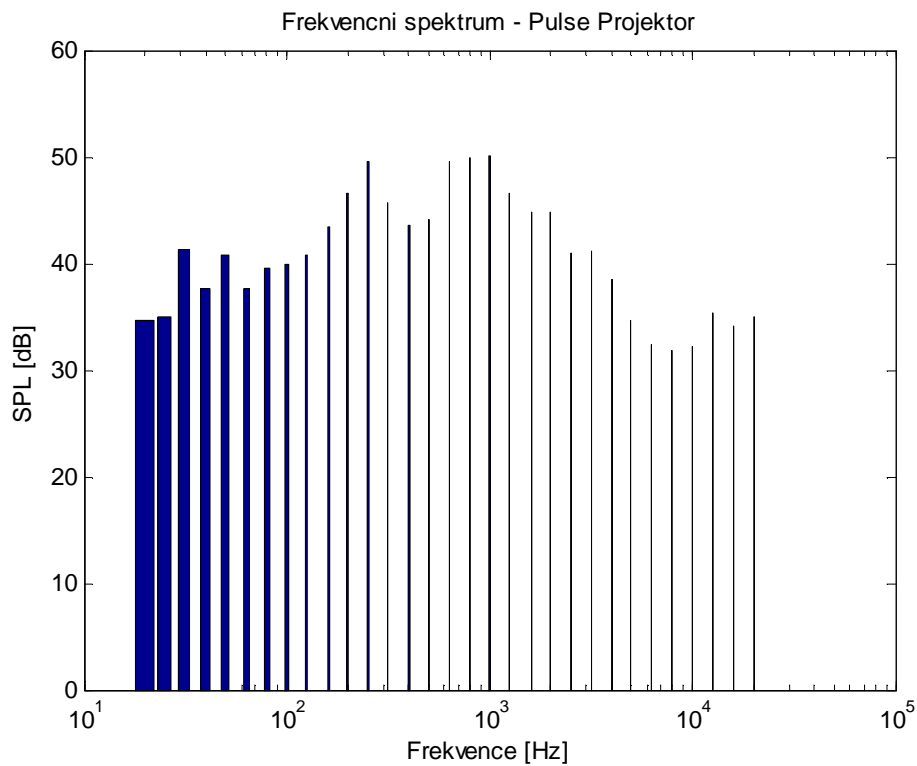


Obrázek č. 16: Frekvenční spektrum zapnutého PC.

Interpretace naměřených hodnot viz Obrázky č. 17 a 18: frekvenční rozsah spektrální analýzy byl nastaven v rozmezí od 20 Hz do 20 kHz stejně jako v předešlých případech. Na frekvenci 32 Hz, 50 Hz, 250 Hz, 1000 Hz a 13000 kHz bylo možné pozorovat množství převýšení frekvenční charakteristiky překračující toleranční pásmo. Na frekvenci 40 Hz, 63 Hz, 400 Hz a 8000 Hz bylo možné sledovat poklesy frekvenčních charakteristik. Při měření docházelo ke změnám frekvenční charakteristiky spektra zapnutého projektoru v laboratoři E-237, v důsledku čehož místnost nebyla stejně jako v předešlých případech správně akusticky pojednána.



Obrázek č. 17: Frekvenční spektrum projektoru - spojitý graf.



Obrázek č. 18: Frekvenční spektrum projektoru.

Program PULSE umožňoval exportovat výstupní data přímo do programu Microsoft Excel. Naměřené charakteristiky bylo možné prohlížet se zobrazením aktuálních hodnot na jakémkoliv počítači bez nutnosti instalace vlastního programu PULSE Labshop. Všechny grafy získané z tohoto měření byly ukládány do souboru s příponou .xls.

6 ZÁVĚR

Bakalářská práce se v úvodní části zabývá metodikou měření hluku a hygienických limit hluku v pracovním prostředí. Popsaná metodika měření vychází z technických norem platných v České republice o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací dle nařízení vlády č. 148/2006 Sb.

V další části textu jsou popsány měřicí přístroje. Podrobné nastavení měření hluku pomocí softwaru PULSE LabShop, který je určen k analýze hluku a vibrací.

Výsledky měření mohou být zásadně ovlivněny jak použitou přístrojovou technikou, tak metodikou měření. V mezinárodních normách jsou stanoveny zásady a podmínky měření, které je třeba dodržovat.

V dalších kapitolách jsou popsány měřicí přístroje multianalyzátor PULSE 3560B od firmy Brüel & Kjær s hardwarovým vybavením a Zvukoměr AL1 NTI se dvěma mikrofony pro využití v praxi. Výsledky měření byly zpracovány a popsány v kapitole 4. Použité měřicí přístroje spolu s blokovým schématem měřiče zvuku.

Vlastní měření spočívalo v zakreslení hlukových map zvukového rozložení pro zvolené posluchárny bez zdroje hluku tj. v tiché místnosti a se zdrojem hluku při použití vrtačky. Také byla změřena doba hluku, kde byl jako zdroj hluku použit impulzní bílý šum vygenerovaný propíchnutím - nafukovacího balónku. Byla provedena spektrální analýza hluku generovaného projektorem a větráčkem PC.

Výsledky měření byly porovnány s hygienickými limity hluku v pracovním prostředí platnými v České republice. Zadání bakalářské práce bylo v plném rozsahu splněno.

LITERATURA

- [1] DOŇAŤÁKOVÁ, D., BERKA, P. *Akustika. Návod y pro cvičení*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001. 71 s. ISBN 80-214-1845-1.
- [2] JIRÁSKA, A. *Hluk větrných elektráren*. [cit. 2011-04-15].
<<http://www.zupu.cz/zajimavosti/soubory/hluk-vetrnych-elektren.pdf>>.
- [3] KAŇKA, J. *Stavební fyzika I - Akustika budov*. Praha: Nakladatelství ČVUT, 2007. 120 s. ISBN 978-80-01-03664-8.
- [4] KOLMER, F., KYNCL, J. *Prostorová akustika*. Praha: SNTL, 1980. 244 s.
- [5] MIŠUN, V., *Vibrace a hluk*. Brno: PC-DIR Real, s.r.o., 1998. 177 s. ISBN 80-214-1262-3
- [6] Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací č. 148/2006 Sb. [cit. 2010-11-23]. <<http://www.tzb-info.cz/pravni-predpisy/zakon-c-258-2000-sb-a-souvisejici-predpisy>>.
- [7] ROZMAN, J., SADOVSKÝ, P., ČERMÁK, D. *Diagnostika životního prostředí*. VUT FEI, Brno, 2000.
- [8] SCHAUER, P. *Akustika*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 57 s. ISBN 80-214-2069-3
- [9] SMETANA, C. a kol. *Hluk a vibrace. Měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5
- [10] SMETANA, C. *Měření hluku a chvění*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1974. 211 s.
- [11] Software PULSE pro oblasti měření a analýzy hluku a vibrací. [cit. 2010-11-20] <<http://bksv.com/Products/PULSEAnalyzerPlatform/WhatIsPULSE.aspx#>>.
- [12] ŠŤASTNÍK, S., ZACH, J., *Stavební akustika a zvukoizolační materiály*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2002. 210 s. ISBN 80-214-2117-7
- [13] Technická dokumentace zvukoměru Akustylizér AL1 NTI & MiniSPL. [cit. 2011-04-15]. <<http://www.nti-audio.com/>>.
- [14] Technická příručka systému PULSE 3650B. *PULSE - Getting Started.*, 2003.
- [15] VAVERKA, J., KOZEL, V., LÁDYŠ, L., LIBERKO, M., CHYBÍK, J. *Stavební fyzika I. - Urbanistická, stavební a prostorová akustika*, Brno: Nakladatelství VUTIUM, 1998. 343 s. ISBN 80-214-1283-6
- [16] ZADRAŽIL, O. a kol. *Měření hluku a chvění I. díl*. Praha, 1983. 134 s.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek č. 1: Šíření zvukové vlny, vlnoplocha a zvukový paprsek (převzato z [9]).....	4
Obrázek č. 2: Schéma zvukoměru (převzato z [8])	16
Obrázek č. 3: Frekvenční charakteristika váhových filtrů (převzato z [4])	20
Obrázek č. 4: Zvukoměr AL1 NTI s mikrofonem MiniSPL (převzato z [13]).....	26
Obrázek č. 5: Doba dozvuku - Měření 1	27
Obrázek č. 6: Doba dozvuku - Měření 2	28
Obrázek č. 7: Hluková mapa v tiché laboratoři E-237.....	30
Obrázek č. 8: Hluková mapa se zdrojem hluku vrtačkou v laboratoři E-237.....	30
Obrázek č. 9: Hluková mapa v tiché posluchárně E-339	31
Obrázek č. 10: Hluková mapa se zdrojem hluku vrtačkou v posluchárně E-339	32
Obrázek č. 11: Frekvenční spektrum zapnutého projektoru.....	33
Obrázek č. 12: Frekvenční spektrum zapnutého projektoru - sloupcový graf.....	34
Obrázek č. 13: Frekvenční spektrum při zapnutého větráčku PC	35
Obrázek č. 14: Frekvenční spektrum při zapnutého větráčku PC - sloupcový graf	35
Obrázek č. 15: Frekvenční spektrum zapnutého PC - spojitý graf.....	36
Obrázek č. 16: Frekvenční spektrum zapnutého PC.....	37
Obrázek č. 17: Frekvenční spektrum projektoru - spojitý graf.....	38
Obrázek č. 18: Frekvenční spektrum projektoru.....	38

SEZNAM TABULEK

Tabulka č.1: Korekce k_4 [dB] přípustných hladin na využití prostor (převzato z [9]) 15

SEZNAM ZKRATEK

FFT	Fast Fourier Transform (rychlá Fourierova transformace)
CPB	Constant Percentage Bandwidth (transformace s konstantní relativní šířkoupásmo)
PC	Personal Computer (osobní počítač)
USB	Universal Serial Bus (univerzální sériová sběrnice)
CO	Configuration organiser (konfigurační organizátor)
MO	Measurement organiser (organizátor měření)
FO	Function organiser (organizátor funkcí)
RO	Report organiser (organizátor reportů)

SEZNAM PŘÍLOH

A	Výpočet doby dozvuku	46
B	Hlukové mapy	47
C	Měření frekvenčního spektra.....	50

PŘÍLOHA A

Zdrojové kódy – Výpočet doby dozvuku

Výpočet doby dozvuku – Měření 1:

```
f = [125 250 500 1000 2000 4000]
AVRG = [1.48 1.26 1.26 1.35 1.23 0.87]
figure (1)
bar(f,AVRG,'r')
set(gca,'XLim',[65 4500])
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('Doba dozvuku [s]') % popis osy y
title('Doba dozvuku - Mereni 1') % nazev grafu
hold off
```

Výpočet doby dozvuku – Měření 2:

```
f2 = [125 250 500 1000 2000 4000]
AVRG2 = [2.8 6.26 3.26 5.35 1.23 0.87]
figure (2)
bar(f2,AVRG2,'g')
set(gca,'XLim',[65 4500])
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('Doba dozvuku [s]') % popis osy y
title('Doba dozvuku - Mereni 2') % nazev grafu
hold off
```

PŘÍLOHA B

Zdrojové kódy – Hlukové mapy

Hluková mapa v tiché laboratoři E-237:

```
mapa = imread('mapa.jpg');
imagesc(mapa);
axis off;
Lp=[35.3 35.4 35.3 35.4 35.4 35.3 35.4 35.5 35.4 35.3 35.5 35.4 35.3
35.6 35.7 35.6 35.5 35.5 35.5 35.5;...
    35.4 35.5 35.5 35.6 35.5 35.4 35.2 35.3 35.5 35.6 35.5 35.5 35.6
35.6 35.4 35.5 35.4 35.4 35.5 35.4;...
    35.5 35.6 35.5 35.6 35.7 35.7 35.7 35.6 35.7 35.6 35.5 35.6 35.7
35.7 35.6 35.8 35.7 35.7 35.8 35.8;...
    35.2 35.4 35.5 35.5 35.6 35.5 35.7 35.6 35.6 35.7 35.6 35.6 35.7
35.7 35.6 35.7 35.8 35.7 35.8 35.8
    ];
Lp = interp2(Lp,4,'spline');

ha = image(mapa);

hold on;

XSize = get(ha,'XData');
YSize = get(ha,'YData');

LpSize = size(Lp);

Y = linspace(1,YSize(2),LpSize(1));
X = linspace(1,XSize(2),LpSize(2));
[C,h]=contour(X,Y,Lp,'LineWidth',3); %znazorneni matice pomoci
isolinií
text=clabel(C,h,'LabelSpacing',120,'FontSize',12); %pridani popisku k
isoloniím
set(text,'BackgroundColor','y','Edgecolor','black','LineWidth',2);
colormap('jet');
axis off;
```

Hluková mapa se zdrojem hluku vrtačkou v laboratoři E-237:

```
mapa = imread('mapa.jpg');
imagesc(mapa);
axis off;
Lp=[75.3 75.7 76.1 76.6 76.1 75.8 75.3 74.9 74.5 74.1 73.8 73.5 73.1
72.9 72.6 72.3 72.2 72.1 71.8 71.7;...
    74.1 74.5 74.8 75.3 75.8 75.3 75.0 74.6 74.2 73.8 73.5 73.2 72.9
72.8 72.7 72.4 71.9 71.6 71.4 71.4;...
    73.7 74.3 74.9 75.1 75.4 75.3 74.9 74.5 74.0 73.8 73.4 73.1 72.8
72.7 72.5 72.3 72.0 71.7 71.5 71.3;...
    72.8 73.2 73.5 73.8 74.1 73.9 73.6 73.1 72.8 72.5 72.3 72.2 71.9
71.8 71.7 71.8 71.5 71.2 71.0 70.8
    ];
```

```

Lp = interp2(Lp,4,'spline');

ha = image(mapa);

hold on;

XSize = get(ha,'XData');
YSize = get(ha,'YData');

LpSize = size(Lp);

Y = linspace(1,YSize(2),LpSize(1));
X = linspace(1,XSize(2),LpSize(2));
[C,h]=contour(X,Y,Lp,'LineWidth',3); %znazorneni matice pomoci
isolinii
text=clabel(C,h,'LabelSpacing',120,'FontSize',12); %pridani popisku k
isoloniim
set(text,'BackgroundColor','y','Edgecolor','black','LineWidth',2);
colormap('jet');
axis off;

```

Hluková mapa v tiché posluchárně E-339:

```

mapa = imread('mapa.jpg');
imagesc(mapa);
axis off;
Lp=[36.9 36.9 37.0 37.0 37.1 37.2 37.2 37.1 37.2 37.3 37.4 37.4 37.5
37.4 37.3 37.3 37.3 37.2 37.3 37.2;...
    36.8 36.8 36.9 36.9 37.0 37.1 37.2 37.3 37.4 37.4 37.3 37.4 37.5
37.4 37.4 37.3 37.2 37.2 37.2 37.1;...
    36.8 36.8 36.9 37.0 37.0 37.1 37.2 37.2 37.2 37.2 37.3 37.3 37.3
37.4 37.4 37.3 37.2 37.2 37.1 37.0;...
    36.7 36.8 36.8 36.9 37.0 37.1 37.1 37.1 37.1 37.2 37.2 37.3 37.2
37.2 37.2 37.2 37.1 37.1 37.0 37.0
];
Lp = interp2(Lp,4,'spline');

ha = image(mapa);

hold on;

XSize = get(ha,'XData');
YSize = get(ha,'YData');

LpSize = size(Lp);

Y = linspace(1,YSize(2),LpSize(1));
X = linspace(1,XSize(2),LpSize(2));
[C,h]=contour(X,Y,Lp,'LineWidth',3); %znazorneni matice pomoci
isolinii
text=clabel(C,h,'LabelSpacing',120,'FontSize',12); %pridani popisku k
isoloniim
set(text,'BackgroundColor','y','Edgecolor','black','LineWidth',2);
colormap('jet');
axis off;

```


Hluková mapa se zdrojem hluku vrtačkou v posluchárně E-339:

```
mapa = imread('mapa.jpg');
imagesc(mapa);
axis off;
Lp=[75.2 75.6 75.8 75.2 74.6 74.2 73.8 73.3 73.0 72.6 72.3 72.1 71.8
71.5 71.0 70.8 70.4 69.8 69.4 69.2;...
    72.3 72.4 72.7 72.9 73.2 72.9 72.6 72.1 71.7 71.6 71.3 71.2 70.9
70.6 70.5 70.3 70.1 69.7 69.3 69.1;...
    72.1 72.2 72.4 72.4 72.4 72.3 72.1 71.9 71.8 71.7 71.6 71.4 71.2
71.1 70.6 70.1 69.6 68.9 68.4 68.2;...
    72.2 72.4 72.5 72.4 72.3 72.3 72.4 72.4 72.2 72.1 71.9 71.6 71.3
71.0 70.5 69.9 69.4 69.0 68.5 68.4
];
Lp = interp2(Lp,4,'spline');

ha = image(mapa);

hold on;

XSize = get(ha,'XData');
YSize = get(ha,'YData');

LpSize = size(Lp);

Y = linspace(1,YSize(2),LpSize(1));
X = linspace(1,XSize(2),LpSize(2));
[C,h]=contour(X,Y,Lp,'LineWidth',3); %znazorneni matice pomoci
isolinii
text=clabel(C,h,'LabelSpacing',120,'FontSize',12); %pridani popisku k
isoloniim
set(text,'BackgroundColor','y','Edgecolor','black','LineWidth',2);
colormap('jet');
axis off;
```

PŘÍLOHA C

Zdrojové kódy - Měření frekvenčního spektra

Měření frekvenčního spektra Zvukoměrem AL1 NTI:

```
f3 = [375.00 562.50 750.00 937.50 1125.00 1312.50 1500.00 1687.50
1875.00 2062.50 2250.00 2437.50 2625.00 2812.50 3000.00 3187.50
3375.00 3562.50 3750.00 3937.50 4125.00 4312.50 4500.00 4687.50
4875.00 5062.50 5250.00 5437.50 5625.00 5812.50 6000.00 6187.50
6375.00 6562.50 6750.00 6937.50 7125.00 7312.50 7500.00 7687.50
7875.00 8062.50 8250.00 8437.50 8625.00 8812.50 9000.00 9187.50
9375.00 9562.50 9750.00 9937.50 10125.00 10312.50 10500.00 10687.50
10875.00 11062.50 11250.00 11437.50 11625.00 11812.50 12000.00
12187.50 12375.00 12562.50 12750.00 12937.50 13125.00 13312.50
13500.00 13687.50 13875.00 14062.50 14250.00 14437.50 14625.00
14812.50 15000.00 15187.50 15375.00 15562.50 15750.00 15937.50
16125.00 16312.50 16500.00 16687.50 16875.00 17062.50 17250.00
17437.50];
SPL3 = [33.7 30.1 29.4 28.9 25.5 24.2 21.8 19.4 16.5 15.1 15.1 13.1
12.4 15.2 16.1 13.7 9.4 7.7 9.0 11.1 10.7 7.7 7.0 6.5 5.6 5.8 5.7 5.2
6.3 9.1 9.3 8.0 5.8 5.2 4.0 4.8 5.2 4.8 4.6 4.7 5.0 5.3 5.3 5.6 5.0
5.3 4.3 3.9 4.9 5.4 5.5 6.4 5.0 4.7 5.2 4.3 5.0 5.6 6.0 5.5 5.7 5.9
6.3 9.2 9.8 6.9 7.0 7.1 9.5 18.7 22.9 21.4 18.1 12.8 8.7 8.3 7.3 10.7
17.0 22.7 25.2 20.8 14.6 12.5 10.7 10.0 9.1 8.7 8.2 7.1 5.1 5.7 ];
hold on
figure (3)
plot(f3,SPL3,'m')
set(gca,'XLim',[350 17500])
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - Projektor') % nazev grafu
figure (4)
bar(f3,SPL3,'m')
set(gca,'XLim',[275 17500])
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - Projektor') % nazev grafu
f4 = [375.00 562.50 750.00 937.50 1125.00 1312.50 1500.00 1687.50
1875.00 2062.50 2250.00 2437.50 2625.00 2812.50 3000.00 3187.50
3375.00 3562.50 3750.00 3937.50 4125.00 4312.50 4500.00 4687.50
4875.00 5062.50 5250.00 5437.50 5625.00 5812.50 6000.00 6187.50
6375.00 6562.50 6750.00 6937.50 7125.00 7312.50 7500.00 7687.50
7875.00 8062.50 8250.00 8437.50 8625.00 8812.50 9000.00 9187.50
9375.00 9562.50 9750.00 9937.50 10125.00 10312.50 10500.00 10687.50
10875.00 11062.50 11250.00 11437.50 11625.00 11812.50 12000.00
12187.50 12375.00 12562.50 12750.00 12937.50 13125.00 13312.50
13500.00 13687.50 13875.00 14062.50 14250.00 14437.50 14625.00
14812.50 15000.00 15187.50 15375.00 15562.50 15750.00 15937.50
16125.00 16312.50 16500.00 16687.50 16875.00 17062.50 17250.00
17437.50 17625.00];
SPL4 = [42.4 41.3 42.2 42.3 39.3 36.9 34.9 34.9 33.8 34.2 31.6 28.4
27.8 28.9 29.0 27.8 27.4 26.6 25.9 24.8 25.4 24.3 21.8 20.0 19.5 18.7
```

```

18.6 17.3 15.6 14.0 14.0 13.4 13.2 13.2 13.1 12.5 11.4 10.4 10.0 7.8
6.8 6.9 7.6 8.4 9.1 8.3 7.9 9.0 9.3 7.1 6.1 6.8 7.1 6.8 7.0 6.4 7.4
6.8 7.2 8.7 11.6 12.7 16.8 18.7 18.1 16.4 14.8 12.7 8.8 9.5 10.9 12.1
9.5 7.4 9.0 9.9 8.8 8.2 8.4 8.8 8.3 7.7 7.4 8.2 9.3 8.9 8.2 7.0 7.8
7.6 6.3 6.5 6.7]
figure (5)
plot(f4, SPL4)
set(gca,'XLim',[350 18000])
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - PC vetracek') % nazev grafu
figure (6)
bar(f4,SPL4)
set(gca,'XLim',[275 18000])
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
title('Frekvencni spektrum - PC vetracek') % nazev grafu
hold off

```

Měření frekvenčního spektra multianalýzátorem PULSE B&K:

```

clear all
close all
f5 = [20.0 25.0 31.5 40.0 50.0 63.0 80.0 100.0 125.0 160.0 200.0
250.0 315.0 400.0 500.0 630.0 800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0
3150.0 4000.0 5000.0 6300.0 8000.0 10000.0 12500.0 16000.0 20000.0];
SPL5 = [46.96 43.76 48.87 45.26 40.14 40.34 40.48 43.32 43.11 45.83
41.46 37.98 33.94 34.75 35.30 36.29 36.04 36.21 36.14 32.45 30.18
28.82 29.72 28.29 29.02 30.28 30.88 31.64 37.56 38.69 35.18];
figure (9)
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - Pulse PC') % nazev grafu
hold on
plot(f5, SPL5)
figure (10)
bar(f5,SPL5)
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - Pulse PC') % nazev grafu
hold off
f6 = [20.0 25.0 31.5 40.0 50.0 63.0 80.0 100.0 125.0 160.0 200.0
250.0 315.0 400 500.0 630.0 800.0 1000.0 1250.0 1600.0 2000.0 2500.0
3150.0 4000.0 5000.0 6300.0 8000.0 10000.0 12500.0 16000.0 20000.0];
SPL6 = [34.69 34.93 41.38 37.62 40.86 37.65 39.54 39.93 40.82 43.35
46.64 49.51 45.67 43.68 44.20 49.57 49.86 50.05 46.55 44.80 44.77
41.01 41.11 38.47 34.71 32.36 31.92 32.18 35.41 34.18 34.94]
figure (11)
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - Pulse Projektor') % nazev grafu
hold on

```

```
plot(f6, SPL6)
figure (12)
bar(f6,SPL6)
set(gca,'xscale','log') %zlogaritmovani osy x
xlabel('Frekvence [Hz]') % popis osy x
ylabel('SPL [dB]') % popis osy y
title('Frekvencni spektrum - Pulse Projektor') % nazev grafu
hold off
```