

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA

Studijní program M4101 - Zemědělské inženýrství

Studijní obor: Provozně podnikatelský obor

Katedra: Zemědělské, dopravní a manipulační techniky

Vedoucí katedry: doc. Ing. Antonín Jelínek, CSc.

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Téma:

MĚŘENÍ AKUSTICKÉHO TLAKU NA PRACOVIŠTI

Autor: **Lukáš Černý**

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marie Šítková, CSc.**

Rok odevzdání: **2012**

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
Zemědělská fakulta
Akademický rok: 2009/2010

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lukáš ČERNÝ**
Osobní číslo: **Z07532**
Studijní program: **M4101 Zemědělské inženýrství**
Studijní obor: **Provozně podnikatelský obor**
Název tématu: **Měření akustického tlaku a provedení hlukové zkoušky na pracovišti.**
Zadávající katedra: **Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Podle kvalifikovaných odhadů musí v prostředí, kde jsou překračovány hygienické limity hluku, žít statisíce lidí. Je prokázáno, že hluchost prostředí negativně ovlivňuje zdravotní stav obyvatel.

V práci proveďte:

1. Měření akustického tlaku při různých frekvencích na předem zvolených půdorysných místech (místa příjmu) v různých výškách.
2. Měření hodnoty akustického tlaku v různých vzdálenostech od zdroje.
3. Měření akustického tlaku v denních a nočních hodinách.
4. Návrh hlukových bariér pro nepřetržitý provoz hudební produkce tak, aby šířený akustický tlak splňoval přípustné hygienické limity.

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah pracovní zprávy: 50 - 60 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná

Seznam odborné literatury:

- Česko. Nařízení vlády ze dne 15. března 2006 : O ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In Sběrka zákonů. 2006, 51, s. 1842-1854;
- ČSN ISO 1996-1 Akustika - popis, měření a hodnocení hluku prostředí: Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení. Praha: Český normalizační institut, 2004. 25 s.;
- ČSN ISO 1996-2 . Akustika - popis, měření a posuzování hluku prostředí: Část 2: Určování hladin hluku prostředí. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2009. 40 s.;
- ČSN ISO 9612 . Akustika - směrnice pro měření a posuzování expozice hluku v pracovním prostředí. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2000. 28 s.;
- Günther B., Hansen K. H., Veit I. 2008. Technische Akustik - Ausgewählte Kapitel. 8. vyd. Esslingen: Expert Verlag, 2008. 369 s. ISBN 978-3-8169-2788-4;
- Nový, R. 1995: Hluk a chvění, Praha, ČVUT, 389 s., ISBN 80-01-01306-5;
- Smetana, C. a kol. 1998: Hluk a vibrace, měření a hodnocení. Praha: Sdělovací technika, 1998. 188 s. ISBN 80-901936-2-5.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Marie Šístková, CSc.**
Katedra zemědělské dopravní a manipulační techniky

Datum zadání diplomové práce: **19. února 2010**

Termín odevzdání diplomové práce: **30. dubna 2012**


prof. Ing. Miloslav Šoch, CSc.
děkan

JIHOČESKÁ UNIVERZITA
V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH
ZEMĚDĚLSKÁ FAKULTA
studijní oddělení
Studentská 13
370 05 České Budějovice


doc. Ing. Antonín Jelinek, CSc.
vedoucí katedry

V Českých Budějovicích dne 31. března 2010

MĚŘENÍ AKUSTICKÉHO TLAKU NA PRACOVIŠTI

ABSTRAKT

V programech ochrany životního prostředí, které jsou realizovány vyspělými státy je hluk řazen zpravidla za znečištění ovzduší exhalacemi a za ochranu vodních zdrojů. Akustický tlak a vibrace jsou průvodními jevy pracovních procesů všech strojních zařízení – dopravních prostředků, strojů, různých domácích spotřebičů apod. Nelze proto hluk a vibrace zcela z pracovního a životního prostředí úplně odstranit, lze je pouze snížit na přijatelnou hodnotu. Práce je zaměřena na měření akustického tlaku a hledání řešení, jak redukovat hluk.

Klíčová slova: akustický tlak, měření, akustické materiály, hluk

MEASUREMENT OF ACOUSTIC PRESSURE IN THE WORKPLACE

SUMMARY

Acoustic pressure in environment protection programs of developed countries is the one of most important issue after air and water pollution. Acoustic pressure is all around us, such like machines, traffics and some other things. It is not possible to completely stop the noise, but there are some certain ways were used to reduce it up to acceptable limits. The aim of this work is to measure the acoustic noise and find solution to reduce it. The first measurements were done indoor (workplace studio) focused on room acoustic. We measured the acoustic pressure for three heights in different places, but finally the most important results were selected and compared with respect to each others. The next measurements were performed outdoor to collect the results about spread of the noise, which were analyzed with certain limits. The main goal was to find how to safe the human health and maintain peaceful and healthy environmental.

Key words: acoustic pressure, measurement, acoustic materials, noise

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci na téma „Měření akustického tlaku na pracovišti“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě (v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Zemědělskou fakultou JU) elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách.

V Českých Budějovicích dne 25. 4. 2012

.....

Lukáš Černý

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval všem, kteří mi poskytli potřebné informace a pomoc při vypracování této diplomové práce. Především děkuji vedoucí diplomové práce Ing. Marii Šístkové, CSc. za odborné vedení, trpělivost a cenné rady, které mi pomohly při zpracování diplomové práce.

Obsah

| | |
|--|----|
| 1. Úvod | 9 |
| 2. Literární přehled | 10 |
| 2.1.1 Zvuk | 10 |
| 2.1.2 Historie akustiky | 10 |
| 2.2.1 Zvuk a lidský sluch | 10 |
| 2.2.2 Riziko poškození zdraví | 11 |
| 2.2.3 Poškození sluchu | 12 |
| 2.3.1 Vjem | 13 |
| 2.3.2 Obtěžování hlukem | 14 |
| 2.3.3 Nepříjemné účinky hluku | 15 |
| 2.4.1 Hlukové studie | 16 |
| 2.4.2 Směrová charakteristika | 16 |
| 2.5.1 Legislativa | 17 |
| 2.6.1 Prostorová akustika | 18 |
| 2.6.2 Akustické veličiny | 19 |
| 2.6.3 Akustické materiály | 21 |
| 2.6.3 Kmitání | 22 |
| 2.7.1 Šíření vlny v prostoru | 23 |
| 2.7.2 Stojaté vlnění | 24 |
| 2.8.1 Citlivost mikrofону | 24 |
| 2.8.2 Impedance mikrofону | 25 |
| 2.8.3 Dynamické mikrofony | 25 |
| 2.9.2 Použití váhových filtrů | 25 |
| 2.9.3 Zkreslení | 26 |
| 2.9.4 Výška frekvence | 27 |
| 2.9.5 Frekvenční charakteristika | 28 |
| 3. Cíl diplomové práce | 29 |
| 4. Metodika | 30 |
| 4.1 Zpracování dat | 30 |
| 4.2 Účel měření | 31 |
| 4.3 Potřeby pro měření | 31 |
| 4.4 Postup měření | 33 |
| 5. Výsledky a diskuze | 35 |

| | |
|---------------------------------|----|
| 5.1 Venkovní měření..... | 35 |
| 5.2 Další možnosti útlumu | 36 |
| 5.3 Vnitřní měření..... | 37 |
| 6. Závěr..... | 50 |
| 7. Použitá literatura | 51 |
| 8. Přílohy | 54 |
| 8.1 Venkovní měření..... | 54 |
| 8.2 Vnitřní měření..... | 57 |

1. Úvod

Práci se zvukem se věnuji již delší dobu. Od raného věku jsem byl veden ke hře na hudební nástroje, později ozvučování kulturních a společenských akcí, kterým se věnuje dlouhodobě i můj otec. V tomto oboru bych rád pokračoval a využil poznatků z této diplomové práce i v budoucím povolání. Z tohoto důvodu jsem se zaměřil na téma měření akustického tlaku zejména na pracovišti, při kterém vzniká hluk a může obtěžovat okolí.

Zvuk je důležitým poplašným signálem pro člověka, varuje před nebezpečím, podněcuje aktivitu jeho nervového systému, je základem řeči, která odlišila člověka od zvířat. Zvuk a sluch hrají tedy významnou roli v individuální i společenské adaptaci člověka na prostředí. Avšak nadbytek zvuků může mít takovou intenzitu, která neodpovídá lidským schopnostem, únosnosti a přizpůsobení. Navíc nadměrný zvuk může rušit vnímání důležitých zvukových signálů. Tyto příliš časté nebo příliš silné či v nevhodnou dobu se vyskytující zvuky, tj. zvuky, které jsou nežádoucí, obtěžující nebo dokonce škodlivé, označujeme jako hluk. (Havránek et al., 1990).

V současnosti jedna z nejdůležitějších úloh celé společnosti je cílevědomá starost o ochranu a tvorbu životního prostředí. Škodlivé působení hluku na člověka vedlo mnoho vyspělých zemí k legislativním opatřením, jejichž výsledkem je řada zákonů, norem a jiných právních předpisů zajišťujících ochranu lidí před nadměrným hlukem a vibracemi jak v oblasti komunální hygieny, tak i na pracovištích (Nový, 2009).

2. Literární přehled

2.1.1 Zvuk

Za zvuk se obecně považuje každý kmitavý pohyb hmoty v pevném, kapalném a plynném skupenství, který v konečné podobě vyvolává sluchový vjem. Vznik kmitavého pohybu je podmíněn existencí pružných sil. Kmitá-li hmota, resp. soustava hmotných bodů jako celek, jedná se o kmitání. Kmitají-li části soustavy následkem vlastní pružnosti různě a výchylky jednotlivých bodů jsou různé, pak se jedná o vlnění nebo chvění. Za soustavu hmotných bodů lze považovat strunu, tyč, desku, membránu nebo vzdušný sloupec – základní části hudebních nástrojů (Syrový, 2003).

Zvuk a vibrace jsou součástí životního prostředí nejen lidí, ale vlastně všech živých organismů na Zemi. Hluk a vibrace působí negativně na živé organismy (Mišun, 2005).

2.1.2 Historie akustiky

Na počátku historie lidstva byly znalosti o zvuku velice omezené, nicméně z archeologických nálezů je známo mnoho hudebních nástrojů, které obyvatelé dávných kultur používali. V době rozvoje antické kultury již byly známy vlastnosti šíření zvuku na větší vzdálenosti jak dokumentují kvalitní vlastnosti řady dochovaných amfiteátrů (Nový, 2009).

2.2.1 Zvuk a lidský sluch

Zvuk se vytváří tehdy, když určitý předmět (tím může být např. struna ve spojení s deskovou ozvučnicí) kmitá ve slyšitelném frekvenčním pásmu. Pokud se tyto kmity prostřednictvím vzduchu dostanou až k našim uším, způsobí souhlasné rozkmitání ušních bubínků, což náš mozek vyhodnocuje jako zvuk. V normálním prostředí se zvuk pohybuje rychlostí přibližně 340 m za sekundu a způsob jeho šíření se často vysvětluje na příkladu korkové zátky plovoucí ve vodě. Hodíme-li do vody kámen, zátka se houpe nahoru a dolů podle toho, jak se vlní hladina, ale zůstává

jinak na místě, neboť voda samotná se od místa, kam byl vhozen kámen, nikam neposouvá. Stejně je tomu i v případě vzduchu, který se sám o sobě nikam nepohybuje, ale pouze zprostředkovává přenos zvukových vln. Zvukové vlny se od zdroje zvuku šíří všesměrově (kulově) a s rostoucí vzdáleností slábne i akustická energie (síla zvuku). Dvojnásobek určité vzdálenosti od akustického zdroje odpovídá útlumu 6 dB. Narazí-li zvuk na nějakou překážku, dochází částečně k jeho pohlcení a přeměnu na tepelnou energii, částečně k jeho odrazu (část zvuku se rovněž šíří vibracemi např. zdí nebo prochází na druhou stranu). Tepelná energie vznikající pohlcováním je i při dost silných úrovních u zvuku takřka zanedbatelná (Vlachý, 2000).

2.2.2 Riziko poškození zdraví

Jako riziko je označována možnost, že rozhodnutí provést určitou činnost (včetně rozhodnutí se pro nečinnost) povede ke škodě nebo jinému nežádoucímu výsledku. Riziko je tedy neoddelitelnou součástí každého rozhodnutí, pokud toto rozhodnutí má vliv na výsledek činnosti. Tento význam slova riziko by neměl být zaměřován s “obecným” významem ve smyslu nebezpečí či ohrožení. Riziko vede k pocitu ohrožení až po překročení určité individuální míry přijatelnosti rizika. Každá lidská činnost je zdrojem určitého rizika jak pro člověka, tak i pro životní prostředí. S počtem činností se zvyšuje i celkové riziko z nich plynoucí a toto riziko se může stát až neúnosným. Je tedy nutné přijímat opatření, která sníží rizika na přijatelnou míru (Provazník et al., 2000).

Odborným podkladem pro rozhodování o těchto opatřeních je “Hodnocení zdravotních rizik“ (Health Risk Assessment - HRA). Jde o metodický postup vypracovaných americkou Agenturou pro ochranu životního prostředí (US EPA) s cílem zlepšit rozhodovací schopnosti vědců, politiků a dalších činitelů při hodnocení, řízení a identifikaci snižování rizik spojených s lidskými aktivitami (Cohrssen a Covello, 1989).

2.2.3 Poškození sluchu

Extrémně vysoké hladiny akustického tlaku (u dospělých L_{Amax} 130-140 dB, u dětí a predisponovaných osob i nižší) mohou vyvolat akustické trauma, jehož podstatou je poranění bubínku, blanitého labyrintu nebo sluchových kůstek. Při dlouhodobém až celoživotním působení hluku na sluchový aparát dochází k poškození sluchového aparátu, jehož podstatou jsou zprvu přechodné a posléze trvalé funkční a morfologické změny smyslových a nervových buněk Cortiho orgánu vnitřního ucha. Tyto poruchy se zpočátku projevují dočasným zvýšením sluchového prahu. Při dalším působení hluku dochází po určité latenci ke zhoršení sluchu a následnému omezení v porozumění řeči, k tinnitu (sluchové vjemy bez zevního podnětu „šelesty, pískání v uších“) a parakusi (sluchové vjemy jsou vnímány jako přetvořené „ozvěny“). Poškození sluchu je dostatečně prokázáno u pracovní expozice hluku v závislosti na výši ekvivalentní hladiny akustického tlaku a trvání doby expozice. Riziko sluchového postižení existuje i u hluku v mimopracovním prostředí např. u lidí žijících v těsné blízkosti frekventovaného letiště nebo velmi rušných komunikací a při různých činnostech ve volném čase spojených s vyšší hlukovou zátěží (SZU, 2009).

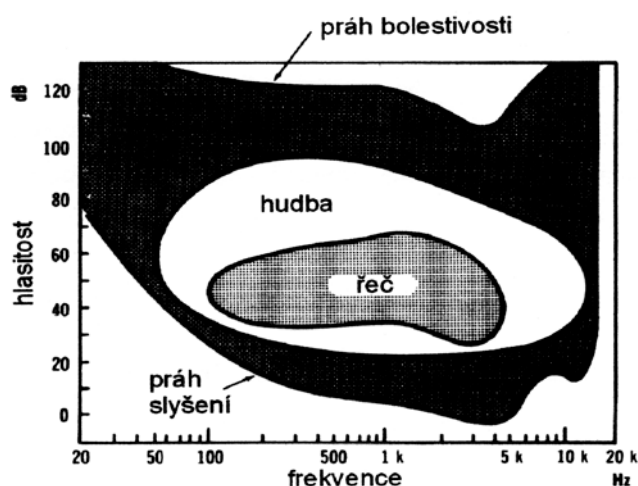
Metoda hodnocení zdravotních rizik zaujímá v současné době důležité místo v ochraně veřejného zdraví. Je používána nejen pro formulaci odborných stanovisek, ale i jako podklad pro správné rozhodnutí. Jednou z metod kvantitního hodnocení rizik je i hodnocení zátěže nemocemi z životního prostředí „environmental burden of disease“ (EBD). Pomocí této metodiky byla v EU zjištěna zátěž nemocemi z hluku v životním prostředí. Většinu zátěže představuje rušení spánku a obtěžování spojené s dopravním hlukem (Theakston, 2011).

Epidemiologické studie prokázaly, že při $L_{Aeq24hod}$ do 70 dB nedochází k poškození sluchového aparátu u více než 95 % exponované populace ani při celoživotní expozici hluku v pracovním a životním prostředí a aktivitách ve volném čase. Nepříznivé ovlivnění výkonnosti hlukem bylo doposud sledováno převážně v laboratorních podmínkách u dobrovolníků vystavených dennímu hluku při vykonávané činnosti. Zvláště citlivá na působení hluku je tvůrčí duševní práce a plnění úkolů spojených s nároky na paměť a pozornost (Berglund et al., 2000).

2.3.1 Vjem

V přirozeném prostředí dochází k vícenásobným odrazům, které přicházejí k našim uším s různým zpožděním (vlivem rychlosti zvuku), v různé barvě (odrazivost rozličných povrchů se mění s frekvencí), v různé fázi a z různých směrů. Tento jev vnímáme jako přirozený dozvuk. Lidský sluch je schopen vnímat zvuk v rozsahu frekvence od 20 Hz do 20 kHz, a i když zde existují určité individuální rozdíly, platí zhruba pravidlo, že za každých deset let věku se horní hranice snižuje zhruba o 1 kHz. Ucho není na všechny frekvence zvukového spektra stejně citlivé (nejcitlivější je v oblasti 2 až 4 kHz), a pokud jde o dynamický rozsah, je schopno pracovat v rozpětí až 140 dB (Vlachý, 2000).

Jestliže k našemu sluchu přicházejí dva tóny stejné fyzikální intenzity, ale mají různou frekvenci, nevnímají se stejně hlasitě, ačkoliv rozruch v našem uchu (bubínku) je v obou případech stejný. Tento rozdíl v subjektivních hlasitostech tónu je vyvolán nestejnou citlivostí sluchového orgánu pro různé akustické frekvence. Směrem k horní a dolní mezi slyšení citlivost sluchu klesá. Nejnižší tlakové hodnoty, při nichž ještě ucho dovede postřehnout určitý tón tvoří práh slyšení. Roste-li akustický tlak, vzrůstá fyzikální intenzita a s ní i subjektivní hlasitost. Když tlak dosáhne jisté horní meze a tón je určitého kmitočtu již nesnesitelný, poslech vyvolává pocit bolesti. Tyto mezní hodnoty tlaku zaznamenává křivka (obr. č. 1), kterou nazýváme práh bolesti. Oblast zvuku, ohraničená prahem slyšení a prahem bolestivosti, je sluchové pole. Frekvenční a intenzitní oblast řeči a hudby tvoří jen část celkového sluchového pole (Ballou, 2008).



Obr. č. 1. Citlivost sluchu a sluchové pole

Pokud máme obě uši zdravé, jsme schopni poměrně přesně určit směr, ze kterého zvuk přichází. Děje se tak na základě vnímání rozdílu fáze, intenzity a frekvenčního průběhu signálu mezi levým a pravým uchem. Další nezanedbatelnou vlastností lidského sluchu je efekt maskování jednoho zvuku zvukem jiným. Jistě jste si všimli, že určité zvuky, které mají agresivnější charakter a jsou hlasitější, mohou zcela zakrýt tišší zvuky v nahrávce včetně různých šumů (této relativní nedokonalosti lidského sluchu využívá řada digitálních systémů při kompresi dat). Při vyšších zvukových intenzitách dochází rovněž k určitému zkreslení (ochrana sluchu proti přebuzení), které se projevuje především vnímáním kombinačních kmitočtů (Vlachý, 2000).

Lidský sluch se stejně jako další smyslové orgány dokáže po určité době unavit, otupit, zvyknout si atd., proto jsou při práci se zvukem nutné určité přestávky na odpočinek. Mikrofony jsou sice na rozdíl od lidského sluchu v některých parametrech dokonalejší, musí však splňovat jiná náročná kritéria související se zpracováním zvuku v el. obvodech. Jedním z nejnáročnějších požadavků je převod někdy nepatrného množství akustické energie, bez zkreslení a šumu na značný elektrický signál (Vlachý, 2000).

2.3.2 Obtěžování hlukem

Jako obtěžování je označován psychický stav vznikající při mimovolném vnímání vlivů, ke kterým má jedinec zamítavý postoj a na které reaguje pocitem odporu, podrážděností a v některých případech až psychosomatickými poruchami (Havránek, 1990). Obtěžování hlukem je nejobecnější reakcí lidí na hlukovou zátěž. Vlivem obtěžujícího hluku může docházet ke změnám v chování v souvislosti s bydlením, např. zavírání oken (může negativně ovlivnit kvalitu vnitřního ovzduší bytu), nepoužívání balkónů, psaní petic, stížností, omezení přátelských vztahů, stěhování a ochoty pomoci. Z hlediska zdraví je závažné, že obtěžování spolu s rušením spánku představuje pro organismus stres. Stres je jedním z faktorů, které spolupůsobí při rozvoji kardiovaskulárních a jiných civilizačních onemocnění. Bezpečnost a ochrana zdraví je velkým problémem po celém světě. Úrazy jako zlomené končetiny, poškozený zrak nebo trvalé bolesti zad

je potřeba řešit a přijmout opatření k minimalizaci těchto rizik na pracovišti. Nicméně je překvapivé, že ztráta sluchu způsobné hlukem na pracovišti spadají do široké kategorie nemoci z povolání. Miliony lidí trpí ztrátou sluchu zapříčiněnou hlukem, tedy sníženou kvalitou života (Bksv, 2012).

Míra obtěžování je ovlivněna mnoha faktory. Jsou to jednak fyzikální vlastnosti zvuku (hladina akustického tlaku, délka trvání hluku a rychlost nástupu, přítomnost tónové složky, nízkofrekvenčního hluku a vibrací), dále přítomnost informačního obsahu hluku (řeč, zvuky vnímané jako varovné, neznámé zvuky nebo zvuky s předchozí negativní zkušeností). Dále je obtěžování významně ovlivněno individuálními vlastnostmi příjemce. Uvádí se, že v populaci je cca 10 – 20 % osob vysoce tolerantních vůči hluku a naopak 10 – 20 % osob velmi senzitivních. Pro zbývajících 60 – 80 % populace platí, že se zvyšující se hlučností roste obtěžování (Havránek et al., 1990).

2.3.3 Nepříjemné účinky hluku

Hluk patří v dnešní době k nejrozšířenějším škodlivinám pracovního i životního prostředí a je důvodem stále se zvyšujícího počtu stížností občanů. Při dlouhodobé expozici se hluk uplatňuje jako tzv. chronický stresor a spolupůsobí při patogenezi kardiovaskulárních a jiných civilizačních onemocnění s prokázanou stresovou etiologií. V rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí je od r. 1994 realizován projekt „Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku“. Ze získaných dat lze usuzovat, že celkový trend vývoje hlučnosti v ČR je setrvalý. Pouze v některých městech došlo k nárůstu či poklesu hlučnosti. Tyto změny jsou obvykle způsobeny lokálními změnami dopravního systému nebo nárůstem intenzity dopravy na vedlejších komunikacích.

Nepředpokládá se, že by hluk mohl být přímou příčinou duševních nemocí, ale patrně se může podílet na zhoršení jejich symptomů nebo urychlit rozvoj latentních duševních poruch. Zvýšená citlivost vůči rušivým účinkům hluku může být indikátorem subklinické duševní poruchy. Jsou popisovány i další účinky expozice hluku, jako jsou vlivy na funkci imunitního systému s následnou nižší

odolností vůči infekci, zánětlivá onemocnění či některá onemocnění zažívacího traktu. (Valešová, 2006).

2.4.1 Hlukové studie

Kvalitní výsledky měření hluku nebo hluková studie jsou důležitým podkladem pro schvalování či rozhodování při kolaudačním, územním či stavebním řízení i při řešení stížností občanů. Nejnižší přípustné hodnoty zvukové izolace vnitřních dělicích konstrukcí budov i obvodových plášťů stanoví ČSN 73 0532 Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti prvků. Dodržení požadavků této normy je požadováno obecně závaznými právními předpisy. Hygienická služba nebo stavební úřady proto často potřebují jako podklad pro rozhodnutí výsledek měření stavební vzduchové neprůzvučnosti stěn či stropů oddělujících výrobní či restaurační prostory od obytných místností (Akustika Praha, 2012).

2.4.2 Směrová charakteristika

Měření citlivosti se obvykle provádí v celém pásmu frekvencí v různých úhlech natočení mikrofону a tím se vlastně zjišťuje, jakým způsobem mikrofon reaguje na zvuky, které přicházejí ze směrů mimo jeho osu. Měření probíhá za přísně dodržovaných akustických podmínek tak, že se mikrofon namontuje na otáčivý testovací talíř. V pevné vzdálenosti od otáčivého talíře je umístěn reproduktorový systém, přičemž výstup mikrofону se připojí přes předzesilovač s obvodem pro měření úrovně k zapisovacímu přístroji. Papír, na který se zapisují údaje, se otáčí synchronizovaně s mikrofonom, zatímco zapisovací pero se pohybuje podle výstupní úrovně, která přichází z mikrofonom. Tak je možné zaznamenat citlivost mikrofonom v rozsahu 360 stupňů při různých frekvencích. Výsledky měření jsou zaneseny v kruhovém diagramu /POLAR PATTERN/, který se nazývá směrová charakteristika. Najdeme ji v každé slušné mikrofonní dokumentaci. Protože se předpokládá, že levá a pravá polovina diagramu bude symetrická, využívá se někdy z důvodu větší přehlednosti každá polovina pro jiné kmitočty (Vlachý, 2000).

2.5.1 Legislativa

Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými vlivy č. 272/2011 stanoví

- a) hygienické limity hluku a vibrací na pracovištích, způsob jejich zjišťování a hodnocení a minimální rozsah opatření k ochraně zdraví
- b) hygienické limity hluku pro chráněný venkovní prostor, chráněné venkovní prostory staveb a chráněné vnitřní prostory staveb
- c) hygienické limity vibrací pro chráněné vnitřní prostory staveb
- d) způsob měření a hodnocení hluku a vibrací pro denní a noční dobu

Hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro pracoviště, na němž je vykonávána práce náročná na pozornost a soustředění, a dále pro pracoviště určené pro tvůrčí práci vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 50 dB. Hygienický limit ve stavbách pro výrobu a skladování, kde hluk nevzniká pracovní činností, ale je způsobován větracím nebo vytápěcím zařízením těchto pracovišť vyjádřený ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ se rovná 70 dB.

Hygienické limity hluku v chráněných vnitřních prostorech staveb se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku a maximální hladinou akustického tlaku $A L_{Amax}$. Ekvivalentní hladina akustického tlaku se v denní době stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin v noční době pro nejhlučnější 1 hodinu ($L_{Aeq,1h}$). Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku stanoví pro celou denní ($L_{Aeq,16h}$) a celou noční dobu. V případě hluku z leteckého provozu se hygienický limit v chráněných vnitřních prostorech staveb vztahuje na charakteristický letový den (Nařízení vlády, 2011).

Tab. 1 Venkovní limity hlučnosti
v ČR

| Hluk | den | Noc |
|-----------------------------|------|-----|
| | (dB) | |
| Základní limit mimo dopravu | 50 | 40 |
| Silniční doprava | 55 | 45 |
| Železniční doprava | 55 | 50 |
| Hlavní silnice | 60 | 50 |
| Ochranné pásma drah | 60 | 55 |

Zdroj: Nařízení vlády 272/2011

2.6.1 Prostorová akustika

Posluchač nemusí být nutně odborníkem v oblasti akustiky, aby mu při poslechu řeči nebo hudby bylo zřejmé, že kvalita poslechových podmínek ne vždy odpovídá jeho požadavkům a představám. Rozumí-li většina posluchačů řečníkovi špatně či má například dojem, že jednotlivé hudební nástroje a nástrojové skupiny orchestru zní odděleně, nebo naopak jejich tóny v rychlých pasážích splývají, nesvědčí to o dobré akustice sálu. Kvalitní poslechové podmínky patří k nezbytným předpokladům vhodného prostředí při jakýchkoliv kulturních či společenských událostech, v posluchárnách i učebnách, a jsou jednou z důležitých podmínek dobré návštěvnosti pořádaných akcí. Dobré poslechové podmínky jsou výsledkem správného řešení akustiky uzavřeného prostoru. Podle účelu nově projektovaného či rekonstruovaného sálu je třeba sledovat již ve fázi projektu řadu akustických veličin, jako jsou například doba dozvuku, míra hlasitosti nebo míra jasnosti. Proto zvláště v případě významnějších staveb se používají třírozměrné počítačové simulace šíření zvuku v daném prostoru. Po dokončení stavby jsou vlastnosti sálu ověřovány měřeními. Výsledkem počítačové simulace i měření v různých místech sálu je soubor impulsových odezev, z něhož jsou počítány důležité parametry kvality poslechu. Pro měření v sálech je potřebné vybavení špičkovou technikou a software pro počítačové projektování prostorové akustiky.

Podle předpokládaného využívání prostoru a finančních představ investora se navrhne řešení, obsahující akustická opatření a doporučení, nezbytná pro docílení optimálních poslechových poměrů. Jedná se nejen o koncertní sítě, hudební a činoherní divadla, kina, přednáškové sály, tělocvičny, nahrávací studia apod., ale i o různé společenské a veřejné prostory, jako letištní, nádražní, sportovní, prodejní a jiné veřejné haly (Akustika Praha, 2012).

2.6.2 Akustické veličiny

Akustický tlak 1 Pa lze vyjádřit i v dB (1 Pa = 94 dB SPL, Sound pressure level = úroveň akustického tlaku), zde je ve stručnosti systém jednotek pro měření v akustice:

Akustický tlak [Newton/m², Pascal, mikrobar]

- vyjadřuje zvýšení nebo snížení tlaku oproti klidovému stavu.

$$1\text{N/m}^2 = 1\text{ Pa } 10\mu\text{bar.}$$

Akustický výkon [Watt]

- je energie vyzářená zdrojem za časovou jednotku.

Akustická intenzita [Watt/ m²]

- je množství zvukové energie, která projde plochou 1 m² za 1 sekundu.

Hladina akustického tlaku (decibel)

Výzkum potvrdil, že průměrný práh slyšení začíná pro kmitočet 1 kHz na hodnotě akustického tlaku 2×10^5 Pa. Je-li tato hodnota vyjádřena jako vztažná úroveň 0 dB, je možné i hladinu akustického tlaku vyjádřit v dB. Důvodem pro upřednostnění této jednotky je zejména to, že většina ovládacích prvků a měřících systémů na el. přístrojích má stupnice ocejchované v dB. Tato jednotka je výhodná i z toho důvodu, že 1 dB odpovídá zhruba právě slyšitelné změně v úrovni hlasitosti (závisí to na kmitočtu zvuku a jeho intenzitě). Protože lidský sluch nevnímá všechny kmitočty stejně silně, existují rovněž jednotky pro vyjádření hlasitosti. Ty mají sice

vztah k velikosti akustického tlaku, berou však v úvahu i měnící se citlivost sluchu v celém zvukovém spektru. Základem pro jejich vznik byly rozsáhlé analýzy frekvenčního průběhu lidského sluchu v závislosti na intenzitě zvuku, na jejichž základě byly vytvořeny tzv. Fletcher-Munsovy křivky a později nově korigované křivky ISO (doporučené Mezinárodní organizací pro normalizaci). Vznikly tak další jednotky:

Hladina hlasitosti (fón)

- odpovídá hladině akustického tlaku vyjádřené v dB pouze na referenčním kmitočtu 1 kHz, bere v úvahu různou citlivost sluchu v celém akustickém pásmu.

Hlasitost (son)

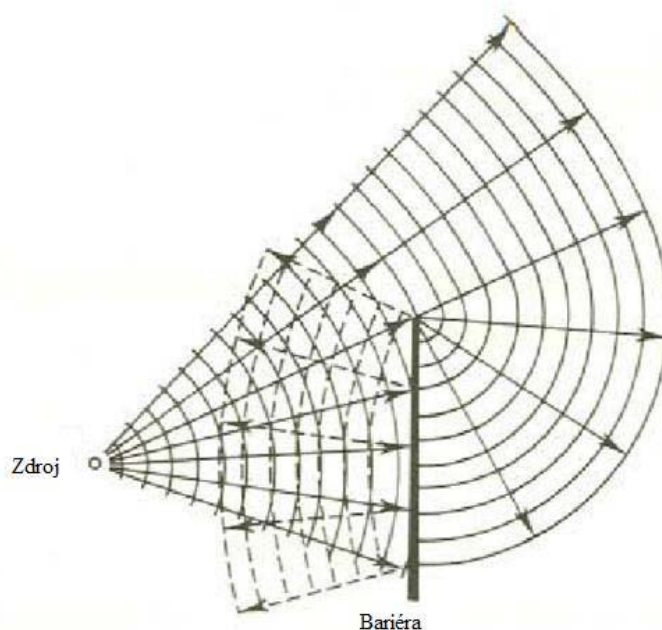
- umožňuje na rozdíl od jednotek pro hladinu hlasitosti jednoduše určit hlasitost několika zvuků najednou.

$$40\text{Ph}=1\text{son}$$

Dalším parametrem, který je možné najít ve specifických údajích daného mikrofону, je elektrický šum. Výrobci jej často označují jako ekvivalent SPL. Jedná se vlastně o úroveň externího zvuku, který by vytvořil stejnou signálovou úroveň na výstupu dokonalého bez šumového mikrofónu. Měření šumu se provádí buď pomocí měřicího přístroje s rovnou frekvenční charakteristikou od 20 Hz do 20 kHz, systémem, který má frekvenční charakteristiku přizpůsobenou průběhu lidského sluchu – tzv. filtr A – weighted (kompenzace rozdílů v citlivosti ucha při různých frekvencích). Druhá metoda přináší obvykle příznivější výsledek. Odečtením šumového ekvivalentu SPL od maximální hodnoty SPL, kterou je mikrofón schopen přenést bez většího zkreslení, dostaneme dynamický rozsah mikrofónu (Vlachý, 2000).

2.6.3 Akustické materiály

Pro snížení a kontrolu hluku ve venkovním prostředí je velmi důležité vybudovat clonu nebo pevnou bariéru mezi zdrojem hluku a pozorovatelem. Tento efekt se nazývá "akustické stínění". Akustické stínění může být dosaženo nejen stěnou, ale také různými překážkami a bariérami, jako jsou stavby, zemní etáže ve vytěžených prostorech nebo terén, který zabrání šíření hluku přímo od zdroje k pozorovateli (Saenz a Stephens, 1986).



Obr. č. 2 – Difrakce vlnění u polorovinné zástěny

Obr. 2 ukazuje vzor difrakce vlnění způsoben polorovinnou zástěnou. V oblasti stínu bariéry, cylindrické vlny se šíří na okraj bariéry v důsledku Heygesova principu. Dopadající vlny na další stranu jsou blokovány touto bariérou.

Akustický design bariéry není snadné vypočítat z důvodu zvukové difrakce okolo bariéry. Pro docílení zvukového pole, mnoho autorů prezentovalo své teorie s různou přesností pro různé zvukové vlny a tvary bariér. Některé spekulativní práce jsou důvodem pro další zkoumání (Brownmann et al., 1969).

Zůstává problém, jak zjednodušit a použít řešení na existující bariéry komplikovaných tvarů pro snižování hluku. Některé odhady jsou vhodné pro praktické výpočty pro konstrukci bariéry a snížení hluku. Hluku se věnuje stále větší

pozornost jako jednomu z problémů životního prostředí. Hluk se zvyšuje s hustotou obyvatelstva stejně jako znečištění ovzduší a vody. V městských oblastech se jedná o ohrožení kvality života. Ztráta sluchu způsobená hlukem je velkým zdravotním problémem pro miliony lidí pracujících v prostředí s vysokou hladinou akustického tlaku. Kromě ztráty sluchu se jedná i o další poruchy lidského zdraví jako fyziologické a psychologické účinky, např. nespavost či poruchy řeči. Naštěstí pro životní prostředí i ty nejhluchnější stroje převádí jen malou část jejich celkové energie do zvuku. Např. tryskové letadlo může způsobit kilowattu akustického výkonu, ale je to méně než 0,02 % svého mechanického výkonu. Auta vydávají 0,001 % z výkonu jako hluk. Při tomto velkém počtu strojů je potřeba minimalizovat zvukové výstupy a přijmout opatření, aby se hluk nerozšiřoval do životního prostředí. Nejlepším řešením je snižovat hluk u zdroje, je ale možné blokovat přenos tohoto hluku mezi zdrojem a příjemcem. Snižování hluku ve školách, který narušuje výuku se věnuje zvýšená pozornost akustiků a vládních úředníků (Sleep, 2003).

Hluk je možné měřit přímo u zdroje, na cestě mezi zdrojem a posluchačem nebo u posluchače. Pokud hluk může být kontrolován dostatečně u zdroje, je nutné uvážit trasu mezi zdrojem a posluchačem a také zvážit umístění protihlukových opatření. Možnosti pro snížení hluku u zdroje jsou všeobecně známé. Nejčastěji se jedná o ekonomické nebo logistické problémy, které nedovolují protihlukové opatření. Vzhledem k mnoha mylným představám je vhodné prodiskutovat dále některé možnosti. S ohledem na hlasitost venkovních zdrojů by budovy měly být umístěny co nejdále od rušných ulic nebo železničních tratí, využívat krytí od ostatních budov a topografické rysy daného prostředí. Je-li umístění stavby nevyhnutelné v blízkosti hlučných staveb, měla by být věnována zvláštní pozornost návrhu čelící straně hluku, zejména z hlediska oken a dveří atd. Nejčastějším zdrojem hluku jsou mechanické jednotky. Bariéry jsou porovnávány v uzavřeném prostoru při otevření alespoň jedné strany (Rossing, 2007).

2.6.3 Kmitání

Jako kmitání (oscilace, kmity) je označován takový pohyb, při kterém se hmotný bod nebo celá soustava hmotných bodů střídavě pohybuje kolem své rovnovážné klidové polohy. Kmitání však nesouvisí pouze s pohybem hmotných

bodů ale obecně představuje každý fyzikální děj, u něhož se v závislosti na čase střídavě mění velikost některé charakteristické veličiny, např. elektrického napětí, proudu, odporu, magnetického světelného toku atd. Fyzika rozlišuje dva základní typy pohybu: po přímce (přímočarý) a po křivce (kruhový, eliptický) Oba tyto pohyby lze jako kmitání přímo interpretovat. V případě rovnoměrného kruhového pohybu se bod X pohybuje na kružnici konstantní rychlostí a celý děj se ve všech projevech po proběhnutí jedné otáčky pravidelně – periodicky opakuje. Boční pohled na tento kruhový pohyb budou představuje opakující se nerovnoměrný přímočarý pohyb, rep. netlumené harmonické kmitání bodu X. Časovým rozvojem harmonického kmitání je křivka sinusového průběhu (Syrový, 2003).

2.7.1 Šíření vlny v prostoru

Od zdroje kmitavého pohybu se šíří do okolí všemi směry postupné vlnění. Na šíření vlnění má podstatný vliv jakost prostředí. Prostor, které má všude stejné vlastnosti se nazývá stejnorodé neboli homogenní. Mění-li se vlastnosti i prostředí od místa k místu jde o nestejnorodé (heterogenní). Prostor, v němž se vlnění šíří v různých směrech různou rychlostí se nazývá anizotropní. Prostor, v němž se vlnění šíří v různých směrech stejnou rychlostí se nazývá izotropní.

V izotropním prostředí se tedy vlnění rozšíří ze zdroje všemi směry za dobu t do vzdálenosti $r = v \cdot t$, a vyplňuje kulovou plochu. Množina bodů kmitajících v téže fázi se nazývá vlnoplocha. Směr, v němž vlnění postupuje, se nazývá paprsek. V prostředí izotropním je tedy vlnoplocha plocha kulová a paprsek normála této plochy. Protože v daném případě jsou všechny vlnoplochy soustředné koule, nazýváme tuto vlnu kulovou. V prostředí anizotropním, kde vlnoplocha má tvar rozdílný od plochy kulové, paprsek a směr normály obecně nesplývají a vlnoplocha je obecná nekulová plocha (Hlavička, 1978).

Pokud je vzdálenost od bodového zdroje velká, mají vlnoplochy kulové plochy o velkém poloměru, takže je lze s dostatečnou přesností v prostoru odpovídajícím výseku s malým středovým úhlem nahradit rovnoběžnými rovinami, jež se posouvají ve směru společné kolmice fázovou rychlostí v . Jedná se o rovinné

vlny. Prostor, v němž se šíří jakýkoli druh vln, nazýváme obecně vlnové pole (Ballou, 2008).

2.7.2 Stojaté vlnění

Stojaté vlnění vzniká skládáním dvou postupných vlnění stejné amplitudy a vlnové délky, které se šíří proti sobě, např. skládáním vlny postupující ke konci řady bodové s vlnou odraženou na jejím konci.

Zásadní rozdíl mezi vlněním postupným a stojatým je, že při postupném vlnění kmitají všechny body řady se stejnou amplitudou, avšak s různou fází, tj. každý následující bod kmitá o něco později než bod předcházející. Při stojatém vlnění kmitají všechny body se stejnou fází o stejné vlnové délce ve všech bodech, s opačnou fází v bodech vzdálených o půl vlnové délky. Amplitudu mají však různou, periodicky závislou na poloze bodu. Některé body mají trvale amplitudu největší jiné mají amplitudu rovnou trvale nule. (Hlavička, 1978).

Podle docentky Mechlové (1999) vzniká stojaté vlnění superpozicí dvou postupných vln se stejnou frekvencí, které se šíří v navzájem opačných směrech, a jejichž amplitudy jsou vyjádřeny touž funkcí souřadnic, popř. polohového vektoru. Jsou-li obě vlny příčnými vlnami, mají též stejnou polarizaci.

2.8.1 Citlivost mikrofону

Citlivost mikrofónů se určuje na základě měření výstupní úrovně signálu pro určitý zvukový tlak. Systém měření spočívá v umístění mikrofónu v akustickém poli o konstantní úrovni akustického tlaku 1 Pascalu (10 mikrobarů), přičemž se měří výstupní napětí mikrofónu SPL. Měření se provádí v otevřeném obvodu, tzn. že výstup mikrofónů není nijak zatěžován (vysoko impedanční měření systém). Čím vyšší je citlivost mikrofónu, tím je lepší odstup užitečného signálu od šumu, protože při vyšším signálu není zapotřebí tak velké zesílení vstupního kanálu mixážních pultu. Běžné studiové mikrofóny mívají citlivost 1 - 10mV/Pa (Vlachý, 2000).

2.8.2 Impedance mikrofonu

Mikrofony se konstruují buď jako vysokoimpedanční (5 – 10 kOhm) nebo nízkoimpedanční (150 - 600 Ohm). U některých typů se impedance výrazně mění s frekvencí, proto se ve specifických údajích často uvádí i to, při jaké frekvenci je hodnota udávána (většinou 1 kHz). Tento údaj bývá někdy ještě doplněn doporučenou minimální zatěžovací impedancí, která bývá o něco vyšší. Vysokoimpedanční mikrofony dávají sice silnější signál, jsou však náchylnější na elektromagnetická rušení a jsou daleko více ovlivňovány kapacitou kabelu. Proto se využívají spíše pro domácí komerční přístroje nebo jiné neprofesionální aplikace, kde postačí relativně krátké kabely (2 - 3 m). Výhodou je možnost použití jednoduššího mikrofonního předzesilovače, vzhledem k vyšší signálové úrovni. V profesionální technice se používají výhradně nízkoimpedanční typy. Protože u mikrofonů se nejedná o výkonové přizpůsobení, ale o přenos maximálního napětí, může mít mikrofonní předzesilovač vstupní impedanci až 10 x vyšší. Větší impedance mikrofonního vstupu je výhodnější i z hlediska uplatňování impedance kabelu.

2.8.3 Dynamické mikrofony

Princip konstrukce dynamického mikrofonu se v mnohém podobá konstrukci reproduktoru. Základem systému je lehká kruhová membrána vyrobená z tenké plastické hmoty, mechanicky spojená s cívkou z velmi jemného drátu, která se pohybuje v mezeře permanentního magnetu. Membrána, kmitající podle změn akustického tlaku, převádí tyto kmity na cívku, pohybem vodiče v magnetickém poli vzniká v závitech cívky elektrický proud. Jak víme, je tento proud velice slabý, a proto se zesiluje na potřebnou úroveň např. mikrofonním předzesilovačem (Vlachý, 2000).

2.9.2 Použití váhových filtrů

Měření fyzikálních veličin hluku nerespektuje frekvenční závislosti působící na vnímání lidského sluchu. Pro přiblížení měřených veličin vlastnostem sluchového

orgánu byly proto do zvukových soustav zařazeny tzv. váhové filtry, které napodobují frekvenční charakteristiku měřicího řetězce vybrané hladině hlasitosti. Váhové filtry mají jako elektrické obvody zařazené do měřících cest zvukoměrů zrcadlově přetransformované průběhy hladin hlasitosti, tzn. že pokles citlivosti sluchu směrem k nižším frekvencím musí odpovídat poklesu hodnoty měřené veličiny (ČSN EN ISO 9612, 2010).

Zvukoměr – průběh „lin“

Zvukoměr, který je doplněn o frekvenční průběh „lin“ měří zdánlivě přímo hladinu akustického tlaku. Tato hladina je měřena pouze pro jednoduchý, sinusový signál, nebo s určitou zanedbatelnou nepřesností pro pásmo nejvýše šířky jedné oktávy. Mohou vznikat odchylky 3 dB při měření v celém rozsahu akustických kmitočtu.

Hladina zvuku A

Jedná se o starší metodu, která má svůj význam. Spočívá v zavedení frekvenční závislosti, která přímo určuje stupeň škodlivosti kmitočtu pro sluchový orgán.

Hladina zvuku C

U této hladiny není zavedena významnější frekvenční závislost. Z tohoto důvodu slouží hladina C k hodnocení hlučnosti pro technické účely. U jednodušších zvukoměrů nahrazuje průběh „lin“ (ČSN EN ISO 9612, 2010).

2.9.3 Zkreslení

U kvalitních monitorů je minimální harmonické zkreslení signálu naprostou samozřejmostí, a protože je sluch citlivý na zkreslení především na výškách

a vyšších středech, závisí čistota zvuku především na kvalitě tweeteru (vysokofrekvenčního reproduktoru). Vyšší citlivost budičů je většinou na úkor toho, že se zvyšuje zkreslení, proto má většina reproduktorů, které se používají ve studiových monitorech, relativně malou citlivost.

Při vyšších vybuzení reprosoustavy narůstá nejen zkreslení způsobené samotnými reproduktory, ale i nežádoucí rezonance, které vznikají vlivem konstrukce boxu. Obdobně jako u frekvenční charakteristiky, je i u harmonického zkreslení nezbytné udávat podmínky, za jakých údaj platí, v daném případě výkon a frekvenční pásmo. Dobré monitory by měly mít zkreslení ve frekvenčním pásmu nad 200 Hz pod 1 % při výkonu, který odpovídá normální úrovni poslechu. Často se uvádí zkreslení při výkonu 1 W. Z hlediska věrnosti poslechu je u kvalitních mikrofonů důležité minimální harmonické zkreslení i ve spodních pásmech, i když toto zkreslení není patrné. U domácích reprosoustav se často harmonické zkreslení na basech ještě podporuje, protože se tak dosáhne větší průraznosti na hloubkách, to však nemá s kvalitním poslechem nic společného (Vlachý, 2000).

Dle Mechlové et al. (1999) je akustický tlak rozdíl mezi okamžitým celkovým tlakem prostředí a jeho statickým tlakem při šíření zvukového vlnění tímto prostředím.

2.9.4 Výška frekvence

Vzhledem k tomu, že absolutní výšku tónu většinou nedokážeme přímo určit sluchem, zavádíme relativní výšku tónu. Je dána poměrem frekvence daného tónu k frekvenci tónu základního. Jako základní tón byl v hudební akustice mezinárodní dohodou hudebníků ve Vídni z roku 1885 stanoven tón o frekvenci 435 Hz, avšak nyní je to tón o frekvenci 440 Hz. Je označován jako komorní a. V technické praxi se jako základní tón používá tón o frekvenci 1 kHz tzv. referenční tón. O tom, že výška zvuku závisí na frekvenci se můžeme přesvědčit u sirén, jejichž konstrukcí se zabývali už Galileo Galilei a Robert Hooke. Např. siréna Savartova se skládá z několika ozubených kotoučů otáčivých na společné ose. Jestliže k zubům roztočené sirény přidržíme kartonový papír, vzniká zvuk tím vyšší, čím rychleji se siréna otáčí nebo čím více zubů má příslušný kotouč. Siréna Seebeckova se skládá

z papírového nebo mosazného kotouče, na kterém jsou v soustředných kružnicích vyřezány stejně vzdálené otvory. Zvuk vzniká tím, že se za rovnoměrného otáčení sirény fouká zúženou trubicí proti otvorům určité kružnice. Frekvence zvuku je tím vyšší, čím rychleji se otáčí nebo čím více otvorů je v použité kružnici (Techmania, 2012).

2.9.5 Frekvenční charakteristika

Ideální monitor by měl přenášet bez větších výchylek frekvence již od 30 Hz až do 20 kHz, a i od menších reprosoustav se očekává, že fungují dobře již od 50 Hz i níž. Pozvolný přirozený pokles na basech je většinou daleko vhodnější, než umělé zdůrazňování určitého spodního pásma (bass-reflexový otvor), pod kterým účinnost reprosoustavy prudce klesá. Čím je místnost menší, tím je méně žádoucí, aby monitor přenášel i velmi hluboké frekvence. Velká reprosoustava, která funguje i pod 50 Hz, může v takovém malém prostoru přinášet více škody než užítku, a poslech může být natolik „matoucí“, že se jen těžko dá určit, co se ve spodním pásmu děje. Z tohoto důvodu jsou pro tyto prostory vhodnější monitory pro blízký poslech. Pro monitory, jež nejsou schopné přenášet úplně hluboké pásmo, je nezbytná občasná kontrola na kvalitní profesionální sluchátka nebo porovnání smíchané určitého záznamu na různých zařízeních.

Pokud je možnost srovnat si různé frekvenční průběhy, často se objevuje zejména u laciných reproboxů křivka s frekvenčním průběhem znázorněna jako téměř ideální, zatímco u nejdražších monitorů je průběh plný drobných „děr“ a „špiček“. Není to ale v žádném případě tím, že obyčejný monitor by měl lepší frekvenční průběh. Vše je závislé na tom, s jakou rozlišitelností je křivka zaznamenaná. Kdyby byl průběh domácích (obyčejných) reprosoustav prezentován tak podrobně, jak je tomu u kvalitních monitorů, nebylo by tolik pořízených těchto reproduktorů. Sluch je celkem dost tolerantní, neboť tyto drobné rezonance a výchyly nemají na subjektivní poslech žádný katastrofický dopad, i když ovlivňují to, že každý monitor zní úplně jinak.

Je-li ve specifických údajích o reproduktorové soustavě napsáno, že má rovný průběh např. od 25 Hz až do 20 kHz, je nutné vzít do úvahy, v jakém tolerančním

pásmu je tento údaj uváděn, jinak je tato informace bezcenná. Kvalitní monitory by se měly vejít do tolerance 3 dB v pásmu 60 Hz až 20 kHz. Po spodní akustické pásmo se občas uvádí údaj, jakou nejnižší frekvenci jsou monitory schopné přenést pro určitý definovaný pokles např. 35 Hz je -6dB.

Průběh monitoru ve vrchních částech akustického pásma je ovlivňován především kvalitou vysokotónového reproduktoru – tweeter. Pro kvalitní monitory se nejčastěji využívají typy s kopulovitou membránou z měkkého materiálu, které nedosahují takové účinnosti jako výškové systémy pro živé aplikace, mají však mnohem vyrovnanější průběh a celkově věrnější zvuk (2000, Vlachý).

3. Cíl diplomové práce

Hlavním cílem této diplomové práce Měření akustického tlaku na pracovišti je za pomoci měřicí techniky provést monitoring zátěže hluku na pracovištích a jeho okolí na předem zvolených místech. Změřené ekvivalentní hladiny porovnat s legislativou a navrhnout takové řešení, aby šířený akustický tlak splňoval přípustné hygienické limity.

4. Metodika

Měření akustického tlaku bylo provedeno na dvou místech dle účelu měření. Venkovní měření bylo provedeno v obci Holkov. Vnitřní měření probíhalo na pracovišti v Českých Budějovicích.

4.1 Zpracování dat

Data byla zpracována v programu Microsoft Excel 2007 a Statistica 10.0. Výstupní data ze zvukového analyzátoru BZ5503 Utility software for hand-held analysers. Grafické znázornění výsledků a analýz bylo provedeno pomocí programu Microsoft Excel 2007 a Statistica 10.0.

U získaných hodnot byly vypočteny následující základní statistické charakteristiky:

\bar{x} ... průměrná hodnota

s_x ... směrodatná odchylka

min ... minimální hodnota

max ... maximální hodnota

Pro srovnání změn hodnot akustického tlaku LZQ v různých výškách byl použit párový t-test vyhodnocovaný na hladině významnosti:

$P > 0,05$ statisticky nevýznamné

$P \leq 0,05$ (*) statisticky významné

$P \leq 0,01$ (**) statisticky velmi významné

$P \leq 0,001$ (***) statisticky vysoce významné

.

Pro analýzu odlišnosti hodnot akustického tlaku LZQ mezi jednotlivými rohy ve stejných výškách byl použit dvou výběrový t-test vyhodnocovaný na hladině významnosti:

$P > 0,05$ statisticky nevýznamné

$P \leq 0,05$ (*) statisticky významné

$P \leq 0,01$ (**) statisticky velmi významné

$P \leq 0,001$ (***) statisticky vysoce významné

Pro analýzu shodnosti rozptylů parametru LZQ byl použit F- test vyhodnocovaný na hladině významnosti:

$P > 0,05$ statisticky nevýznamné

$P \leq 0,05$ (*) statisticky významné

$P \leq 0,01$ (**) statisticky velmi významné

$P \leq 0,001$ (***) statisticky vysoce významné

Hodnoty rozptylů všech porovnávaných míst byly homoskedascivní (shodné).

Z tohoto důvodu nejsou uvedeny hodnoty F-testu analyzujícího shodnost rozptylů.

4.2 Účel měření

Měření akustického tlaku při různých frekvencích na předem zvolených místech příjmu v různých výškách a zjištění nežádoucích frekvencí.

4.3 Potřeby pro měření

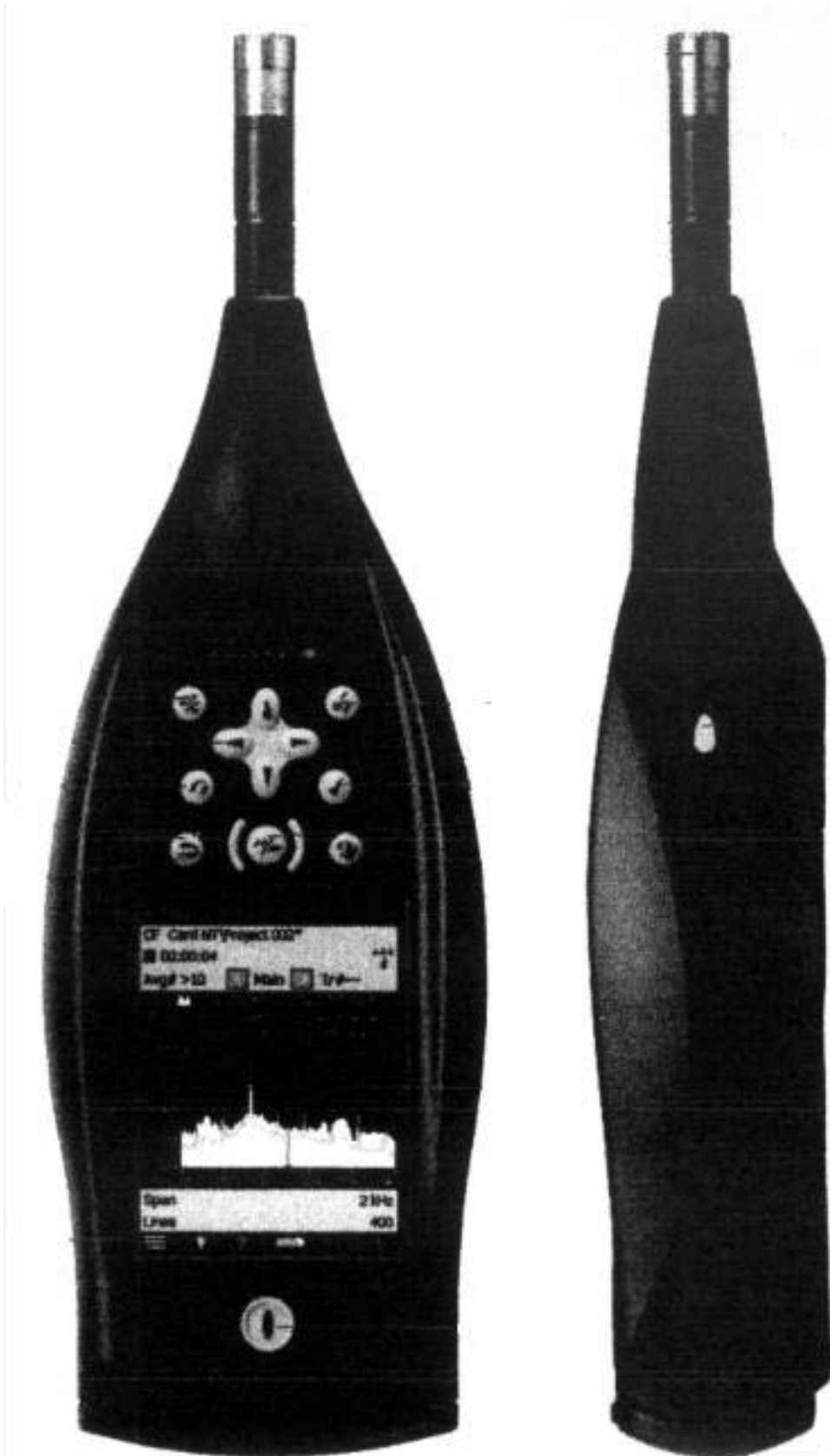
Venkovní měření:

PA systém EAW, zesilovače Lab Gruppen, signálové procesory XTA, mixážní pult, cd přehrávače Pioneer, kabelová a měřicí technika.

Vnitřní měření

Pro získání přesných dat je potřeba kvalitní vybavení. Jedná se o zdroj a snímač, který by měly mít vyrovnanou frekvenční charakteristiku v co nejširším zvukovém spektru.

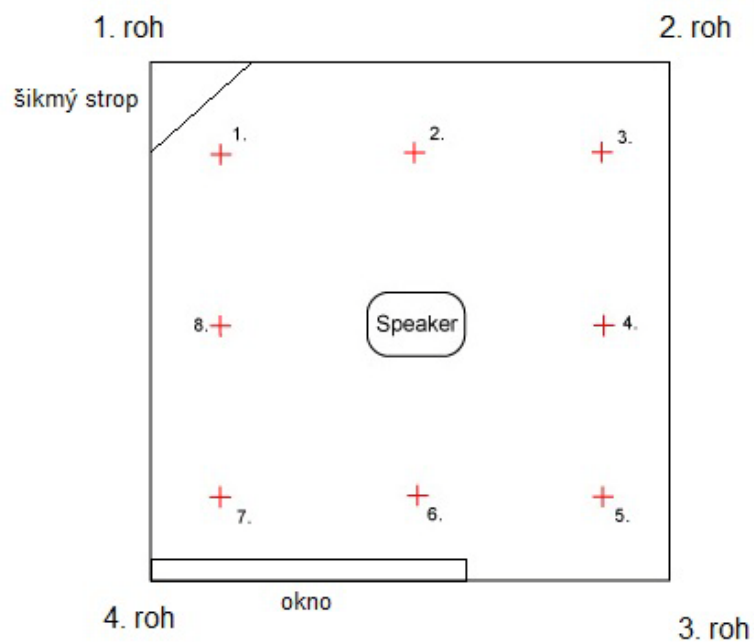
1. Snímač zvuku: Brüel & Kjaer 2270, který slouží jako zvukoměr, provádí frekvenční analýzu v reálném čase a slouží jako záznamové zařízení.
2. Zdroj zvuku (monitor): Aktivní reproduktor Genelec 1032A.
3. Generátor: Generátor sinusového signálu a bílého šumu je součástí softwaru ProTools.
4. Vodiče: Symetrické vedení signálu s nízkou hladinou šumu a brumu.



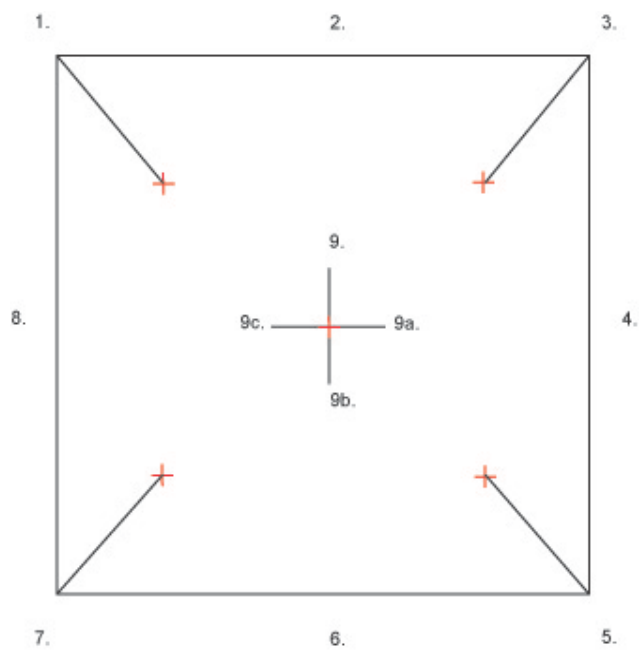
Obr. 3 Měřící přístroj BK 2270

4.4 Postup měření

Venkovní měření bylo provedeno v Holkově kde byl přístroj zkalibrován v prostoru při frekvenci 1 kHz a poté se měřilo ve vzdálenosti 150 m u nejbližšího objektu. Vnitřní měření bylo provedeno v nahrávacím studiu Prodigy sound, v místnosti která byla vytlumená absorbčními a difúzními materiály. Pod stropem je zavěšen minerální podhled Eurocoustic Tonga 25 mm, na stěnách je kombinace minerálních panelů Eurocoustic Panorama a kmitajících panelů (mdf 6 mm, vzduchový polštář 60 mm, minerální vlna 40 mm). Nejdříve byla místnost změřena a bylo navrženo 9 rovnoměrných bodů. Měření bylo rozděleno na 2 části. Nejdříve se postupovalo měřením, kdy reproduktor byl společně s mikrofonem na posuvném vozíku ve vzdálenosti 1 m od sebe a projíždělo se všemi body z vnější strany, tzn. reproduktor byl u zdi a mikrofon u středu. Vždy se měřilo ve třech výškách: ve 100 cm, 120 cm a 180cm. V první a třetí výšce se měřilo celkem v osmi bodech, tzn. ve všech rozích a ve středu ze 4 stran. Místnost jsem znázornil na obr. č. 5, kde jednotlivé body jsou červeně (tyto body jsou místem mikrofonu). Přímkou, které vyznačují vozík s reproduktorem a mikrofonem jsou černě. Ve druhé části měření se dal reproduktor doprostřed místnosti (bod 9) a procházely se ostatní body od 1 až 8, přičemž reproduktor se vždy natačel daným směrem k mikrofonu viz obr. č. 4.



Obr. č. 4 - Zobrazené Měřené body – střed



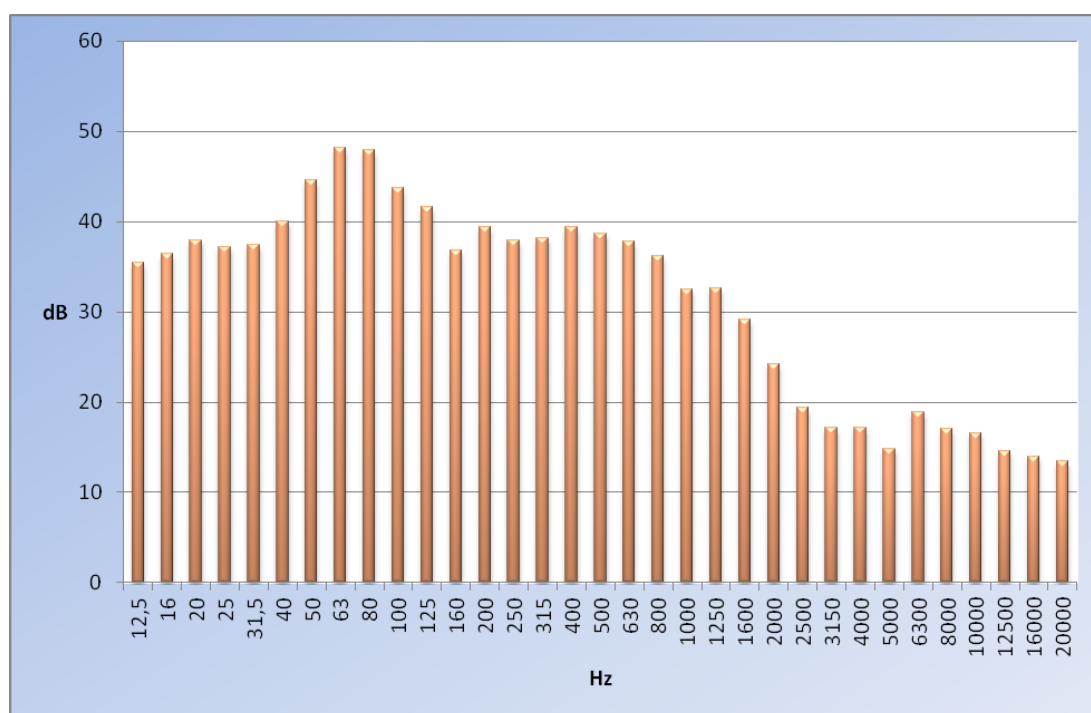
Obr. č. 5 Zobrazené měření – zeď

5. Výsledky a diskuze

5.1 Venkovní měření

Měření bylo provedeno v Holkově, nejdříve byl přístroj zkalibrován a poté se měřily hodnoty u nejbližším objektu, který je vzdálen 150 m od zdroje hluku.

Graf č. 1 Měření akustického tlaku v Holkově



Na grafu č. 1 je vidět, že při měření hluku jsou problematické nízké frekvence. Na ose x je slyšitelné spektrum v Hz a na ose y jsou decibely. Jedná se o basové frekvence do 150 Hz, které mají dlouhou vlnovou délku. Měřicí přístroj naměřil hodnoty 45,5 dB přičemž noční limity pro hluk mimo dopravu činí 40 dB z čehož plyne, že musíme snížit tyto nízké frekvence, aby byly splněny noční limity hluku.

5.2 Další možnosti útlumu

Je několik možností, jak chránit sluch a to pomocí akustických materiálů nebo přímé ochrana sluchu. Chránit sluch můžeme pomocí akustických materiálů u zdroje nebo u příjemce. Akustické materiály se mohou používat i v laboratořích pro zobrazování, snímání nebo nahrávání. Tyto materiály se mohou rozdělit na absorpční, difúzní a basové pasti. Absorpční materiály se vyrábějí především z měkkých materiálů, především pěn nebo skelné vaty a přijímají hluk. Difúzní materiály jsou z tvrdých materiálů jako dřevo, plast, cihly. Tyto materiály odrážejí hluk danými směry. Další variantou jsou basové pasti, které se využívají především v rozích na odstranění nízkých frekvencí do 150 Hz, které mají delší vlnovou délku. Mezi další možnosti jak chránit sluch je používání ochranných pomůcek tzv. „špuntů“ (molitanových ucpávek) do uší. Je možné použít klasické ucpávky které jsou vhodné do velmi hlučného zejména průmyslového prostředí. Druhou možností je využití redukčních omezovačů hluku (ucpávek do uší), které pouze utlumují určité frekvence o zvolené množství decibelové úrovně hluku. Princip spočívá v přesných odlitcích uší, do kterých se dají vkládat výměnné filtry. Tyto filtry se mohou rozdělit do několika skupin podle využití a to na nízký útlum - 10 dB, který je vhodný pro pracovníky v prostředí s nižší hladinou akustického tlaku a chtějí mít akustické prostředí pod kontrolou např. zvukaři, lékaři a technici na speciálních pracovišti. Další možností je využití filtru - 15dB. Tento filtr má nejvíce lineární zvuk, používá se v technických oborech u pracovníků a hudebníků. Nejvíce tlumící filtr snižuje hladinu hluku až o 25 dB. Tyto odlitky lze dále použít pro jakoukoliv komunikaci v hlučném prostředí – záchranná služba, sportovní rozhodčí, bezpečnostní služby atd. Všeobecně se tento způsob označuje jako tzv. in-ear systém, kdy místo filtru se do odlitku vloží miniaturní sluchátko a do tohoto odposlechového systému se pomocí drátové nebo bezdrátové komunikace přivede požadovaný signál, aniž by uživatel byl rušen okolním hlukem.

5.3 Vnitřní měření

1. Nejdříve jsou znázorněny popisné statistiky

Tab. č. 2 - Popisné statistiky jednotlivých rohů v různých výškách

| Proměnná | Průměr | Minimum | Maximum | Sm. Odch. |
|------------|--------|---------|---------|-----------|
| výška (cm) | (dB) | | | |
| Roh1-100 | 35,34 | 28,57 | 43,61 | 4,46 |
| Roh2-100 | 30,22 | 20,24 | 37,07 | 4,97 |
| Roh3-100 | 29,78 | 20,07 | 35,78 | 4,58 |
| Roh4-100 | 33,88 | 26,56 | 38,49 | 3,70 |
| Roh1-120 | 30,04 | 19,80 | 38,13 | 4,46 |
| Roh2-120 | 32,16 | 25,32 | 38,86 | 4,71 |
| Roh3-120 | 32,39 | 24,29 | 38,99 | 4,64 |
| Roh4-120 | 31,81 | 23,98 | 38,69 | 4,71 |
| Roh1-180 | 31,75 | 25,47 | 37,11 | 3,45 |
| Roh2-180 | 32,43 | 23,86 | 37,21 | 4,37 |
| Roh3-180 | 32,44 | 25,24 | 37,01 | 3,47 |
| Roh4-180 | 28,59 | 21,32 | 36,17 | 5,37 |

2. Porovnání výšek místnosti v rámci rohů „výška 100-120-180 cm“. Zde jsou porovnávány ekvivalentní hodnoty akustického tlaku LZQ pro frekvenci od 12,5 Hz do 315 Hz – jedná se o „basové“ spektrum. Z těchto výsledku se interpretuje P-value – viz metodika, používá se závislý párový t-testem. Dále je spočítáno, kolik je rozdíl mezi jednotlivými výškami. Jedná se o vždy o porovnání výšky v rámci jednoho bodu.

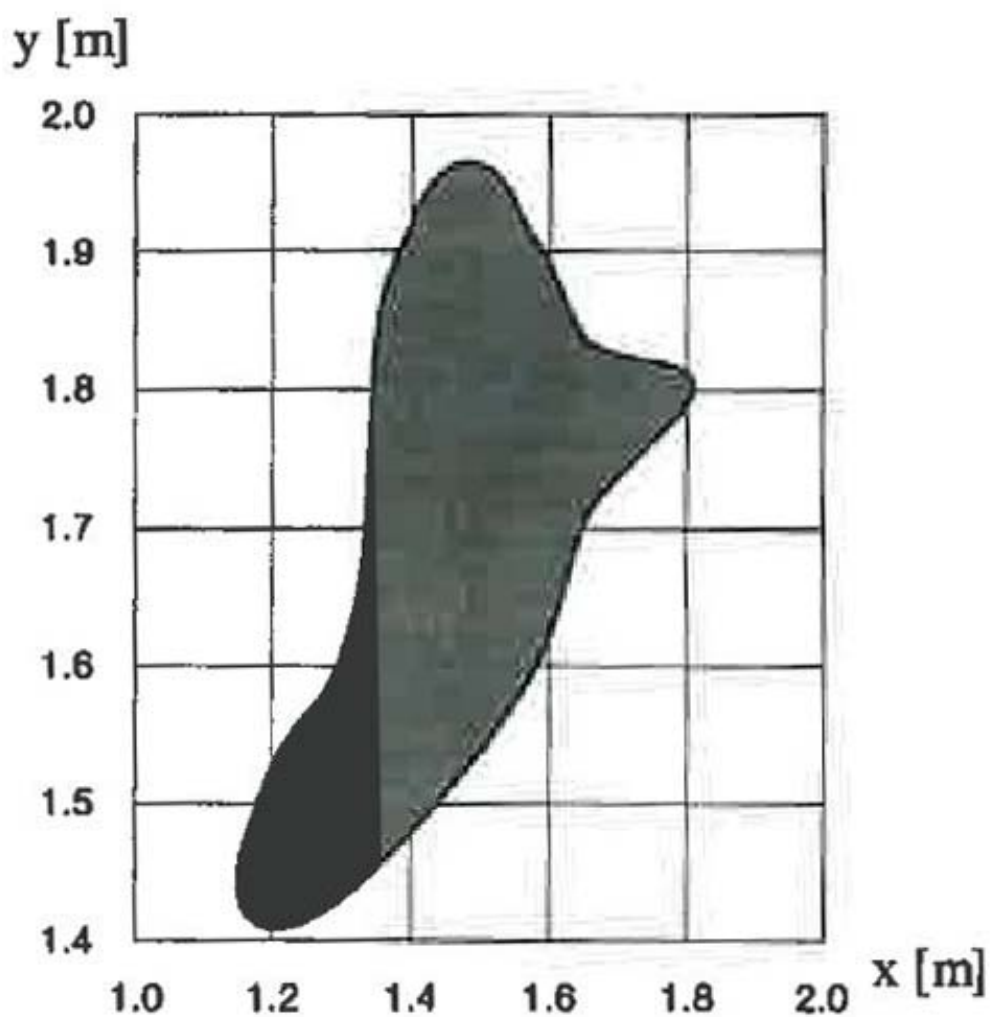
3. Dále se jedná o porovnání jednotlivých rohů mezi sebou při stejné výšce opět pro nízké frekvence do 315 Hz. Zde se používá nezávislý párový t-test.

Ve vnitřním měření se vycházelo z dat nízkých frekvencí do 300 Hz. Podle Misnera (2001) jsou se jedná o základní nízké frekvence zatímco Ballou (2008) označuje toto pásmo již jako nižší středy.

Dále je možné porovnat poměry dané místnosti 1 : 1,7 : 2,01 (výška 3,2 m, šířka 5,7 m a délka 6,42 m) s optimálními rozměry, které jsou :

1 : 1,28 : 1,54 nebo 1 : 1,6 : 1 : 2,33.

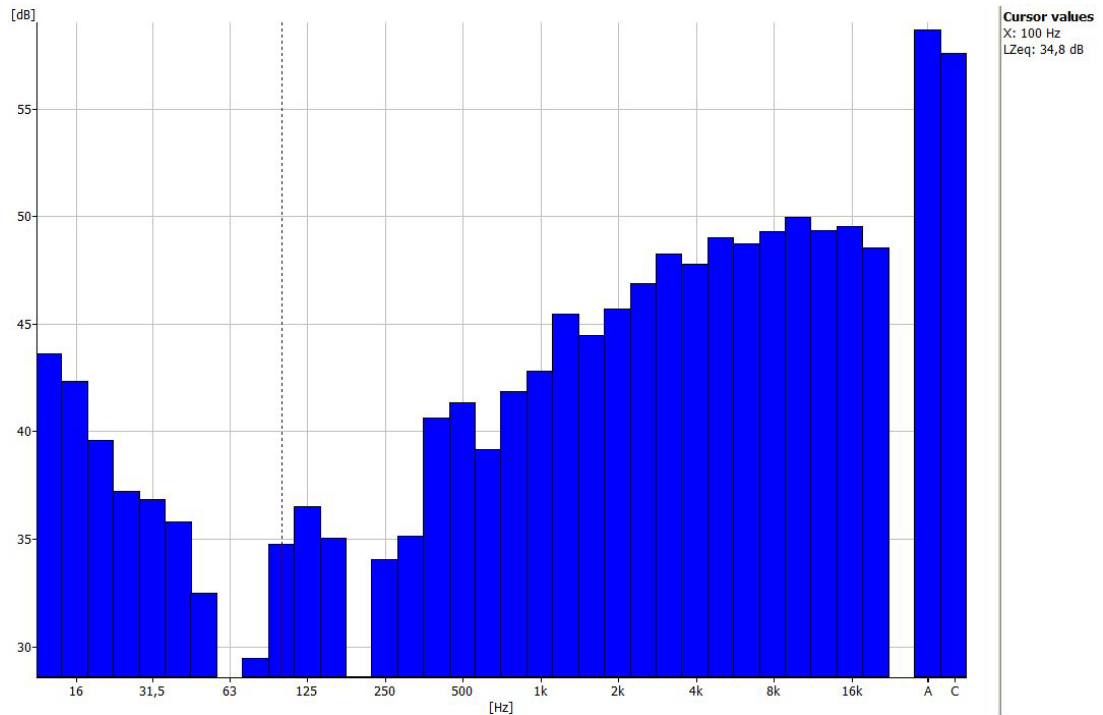
Na obr. č. 6 jsou vhodné poměry jednotlivých rozměrů pravouhlé místnosti vzhledem k jednotkové výšce (Ballou, 2008).



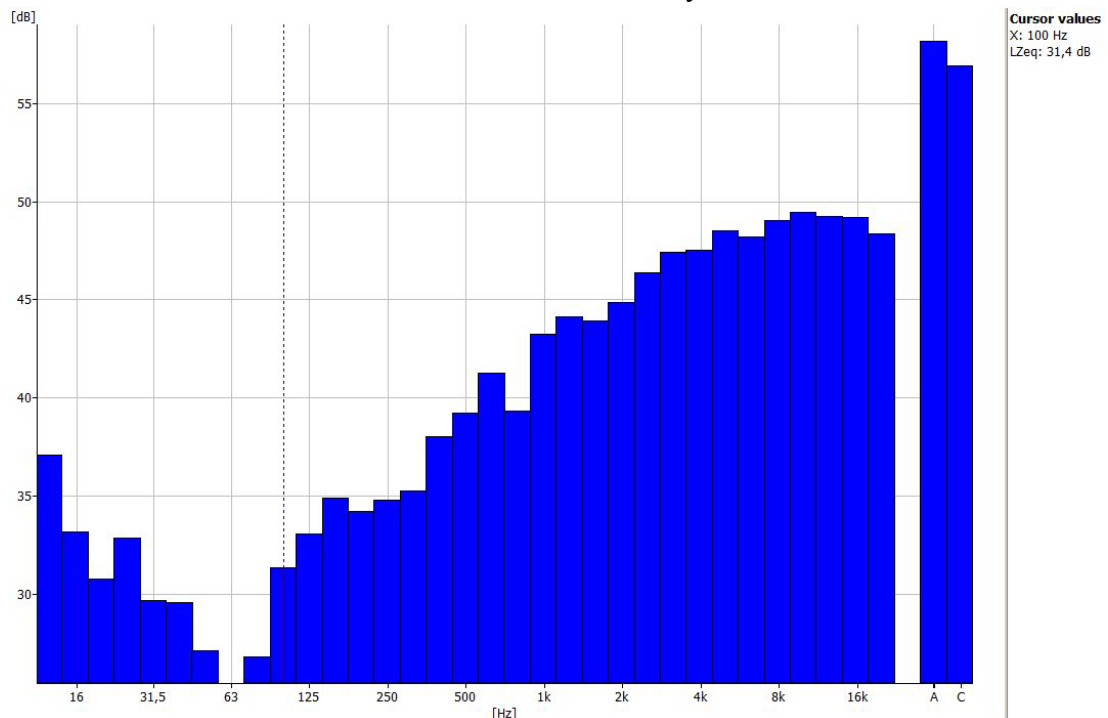
Obr. č. 6 Boltův graf

1. Porovnání výšek v rámci rohu – t-test pro závislé vzorky

Graf č. 2 - Měření v rohu č. 1 ve výšce 100 cm

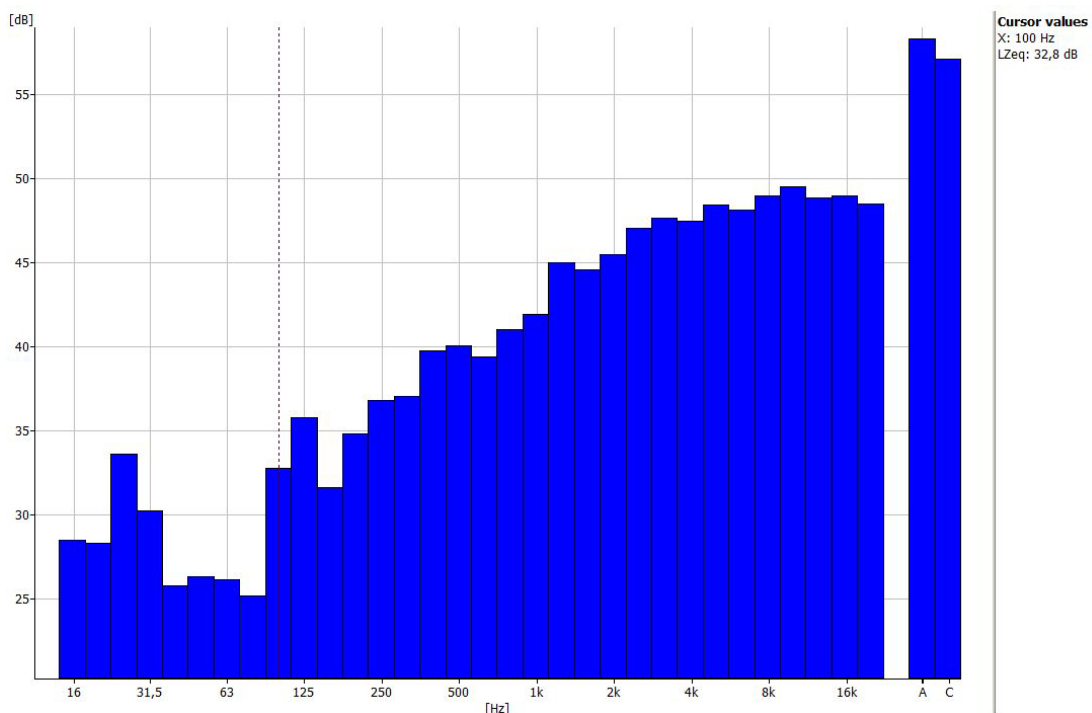


Graf č. 3 – Měření akustického tlaku v rohu č. 1 ve výšce 180 cm

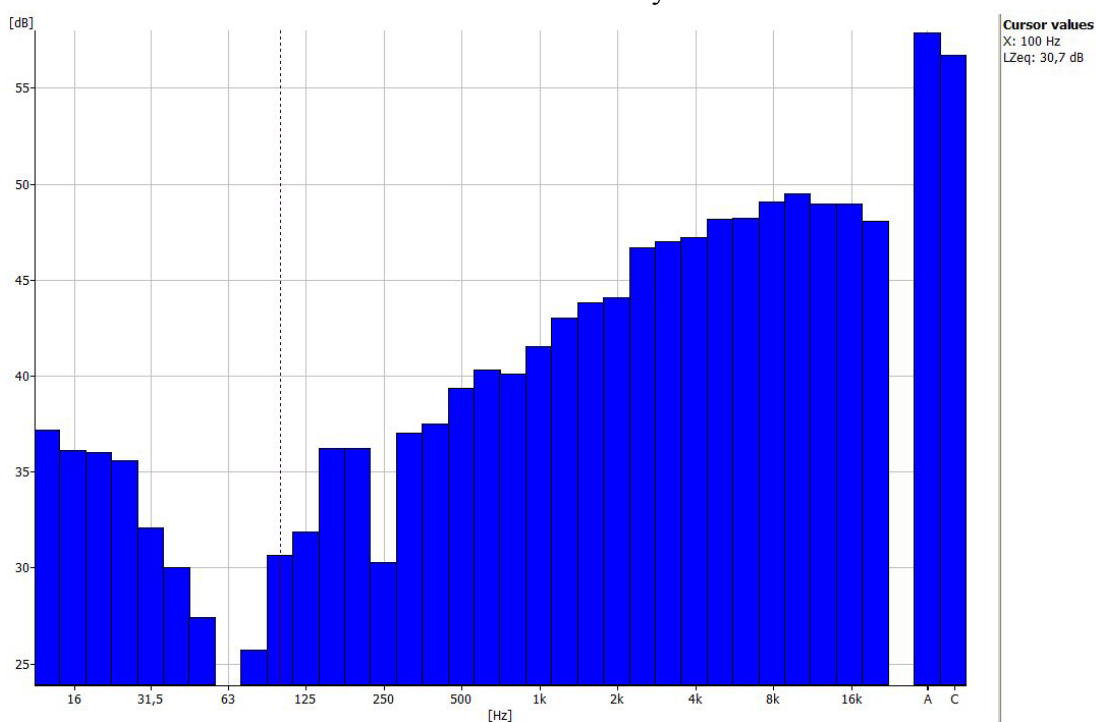


Pomocí t-testu pro závislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 (bod 1) se liší mezi výškou 100 cm a 180 cm o 3,97 dB ($P = 0,003557$; $P \leq 0,01$) Jedná se o vyhodnocení statisticky velmi významné. Rozdíl může být způsoben zešíkmením stropu v rohu č. 1.

Graf č. 4 – Měření akustického tlaku v rohu č. 2 (bod 3) ve výšce 100 cm

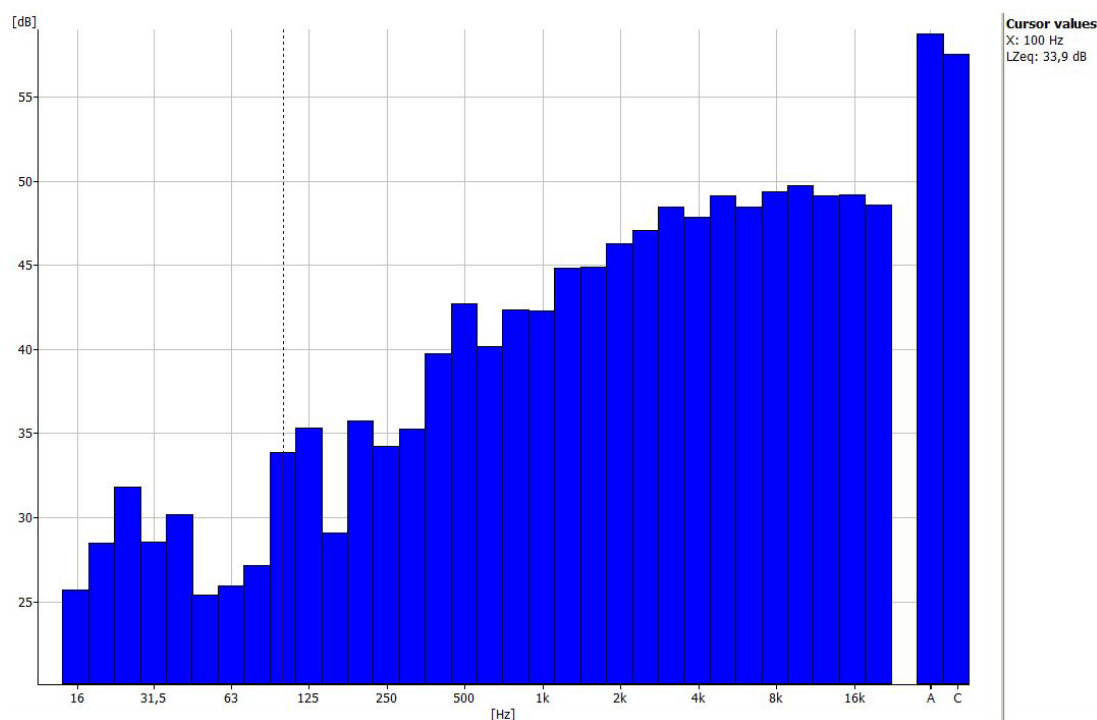


Graf č. 5 – Měření akustické tlaku v rohu č. 2 ve výšce 180 cm

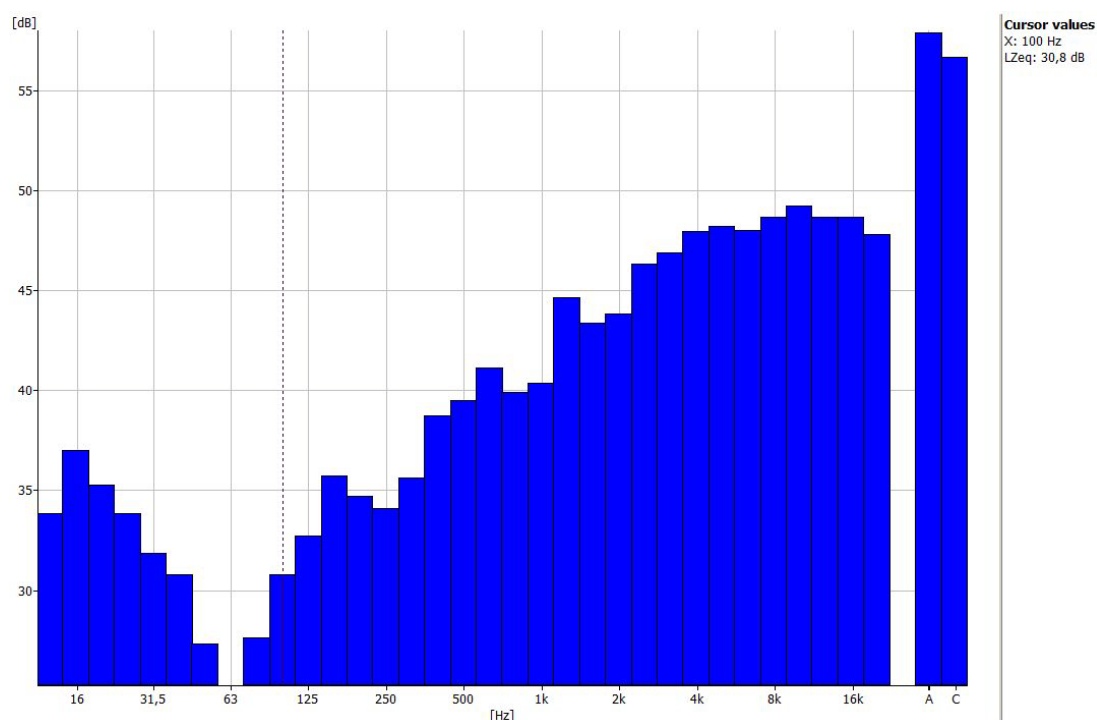


Pomocí t-testu pro závislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 2 (bod 3) se liší mezi výškou 100 cm a 180 cm o 2,21 dB ($P = 0,153256$; $P > 0,05$). Jedná se o hodnocení statisticky nevýznamné.

Graf č. 6 – Měření akustického tlaku v rohu č. 3 (bod 5) ve výšce 100 cm

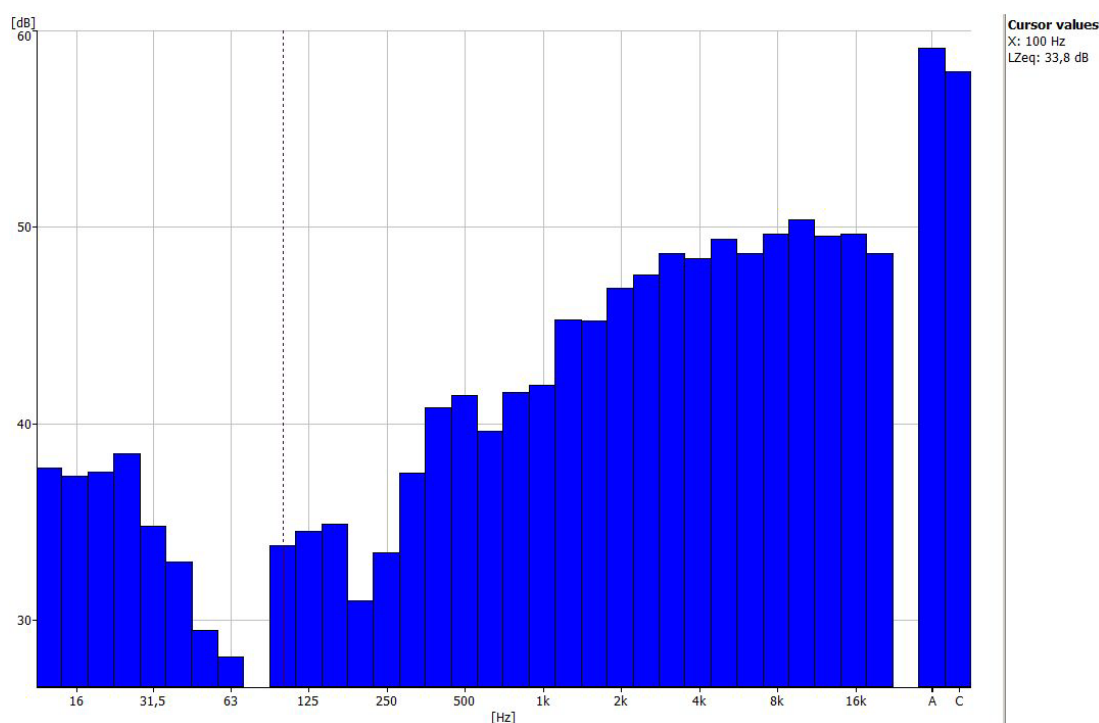


Graf č. 7 – Měření akustického tlaku v rohu č. 3 (bod 5) ve výšce – 180 cm

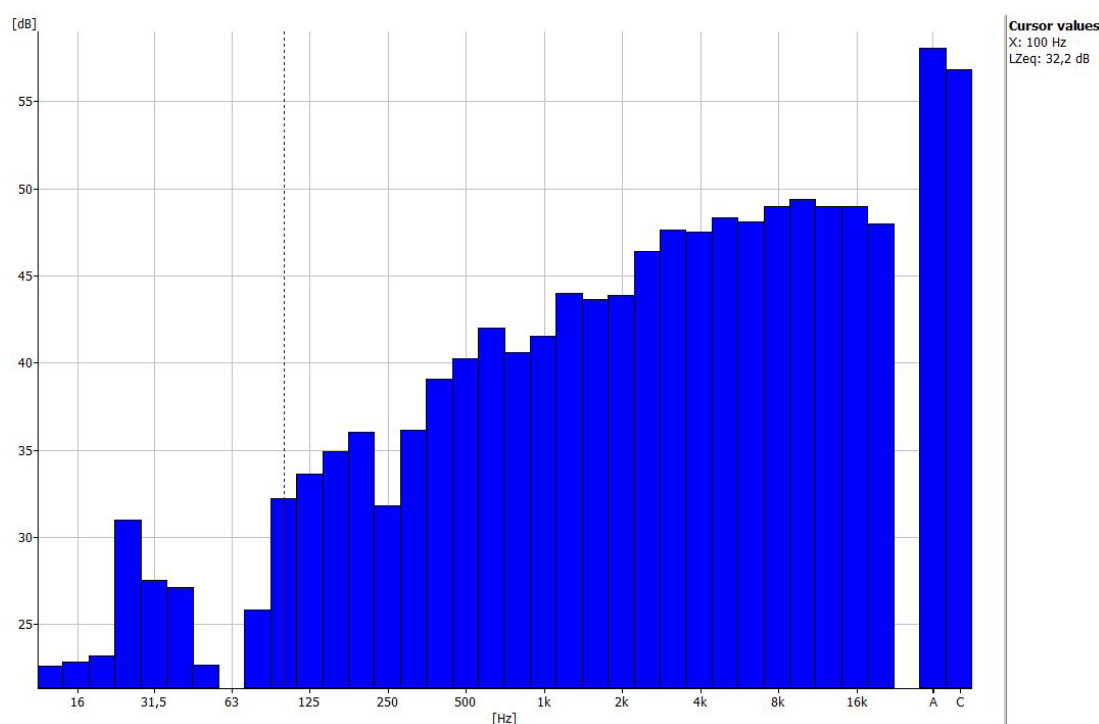


Pomocí t-testu pro závislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 3 (bod 5) se liší mezi výškou 100 cm a 180 cm o 2,6606 dB ($P = 0,055262$; $P > 0,05$). Jedná se o hodnocení statisticky nevýznamné.

Graf č. 8 – Měření akustického tlaku v rohu č. 4 (bod 7) ve výšce 100 cm



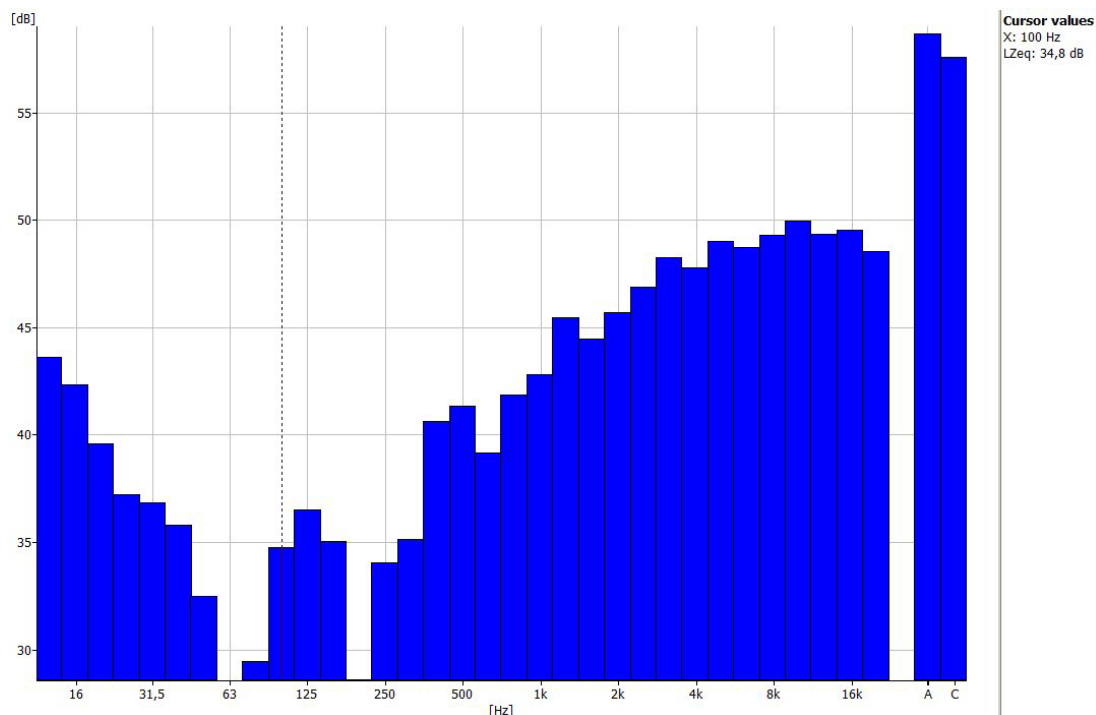
Graf č. 9 – Měření akustického tlaku v rohu č. 4 (bod 7) ve výšce – 180 cm



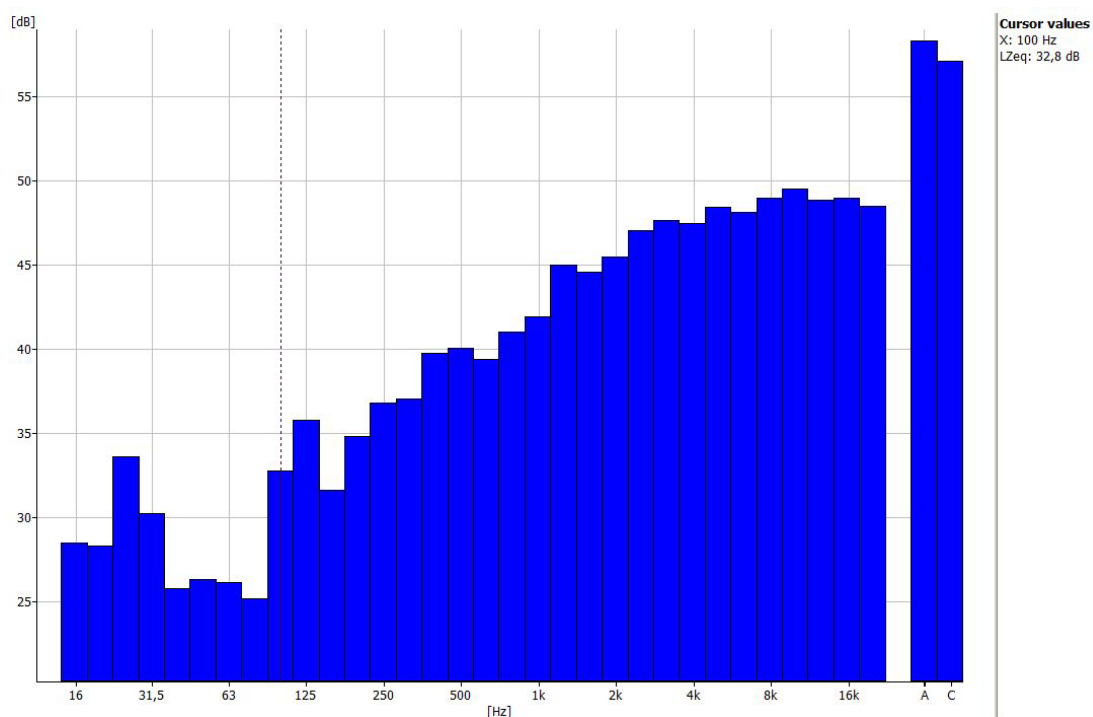
Pomocí t-testu pro závislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 4 (bod 7) se liší mezi výškou 100 cm a 180 cm o 5,285333 dB ($P = 0,003958$; $P \leq 0,01$). Jedná se o hodnocení statisticky velmi významné. Rozdíl může být způsoben skleněným oknem u rohu č. 4.

2. Porovnání jednotlivých rohů mezi sebou

Graf č. 10 - Měření akustického tlaku v rohu 1 ve výšce 100 cm

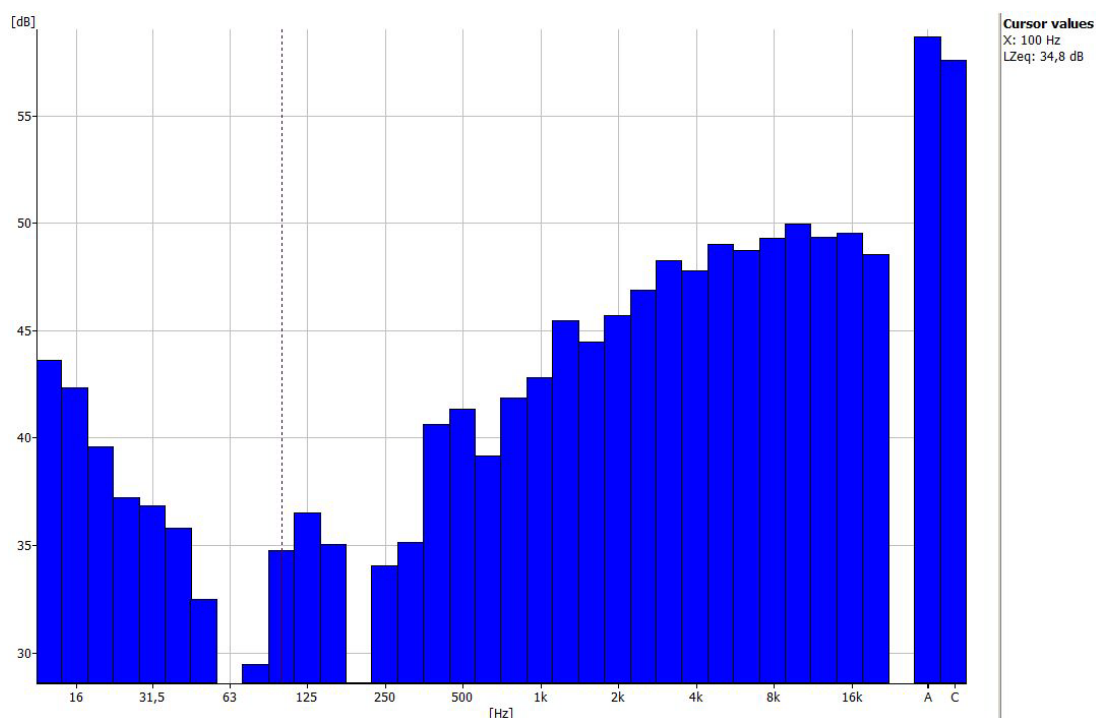


Graf č. 11 - Měření akustického tlaku v rohu 2 ve výšce 100 cm

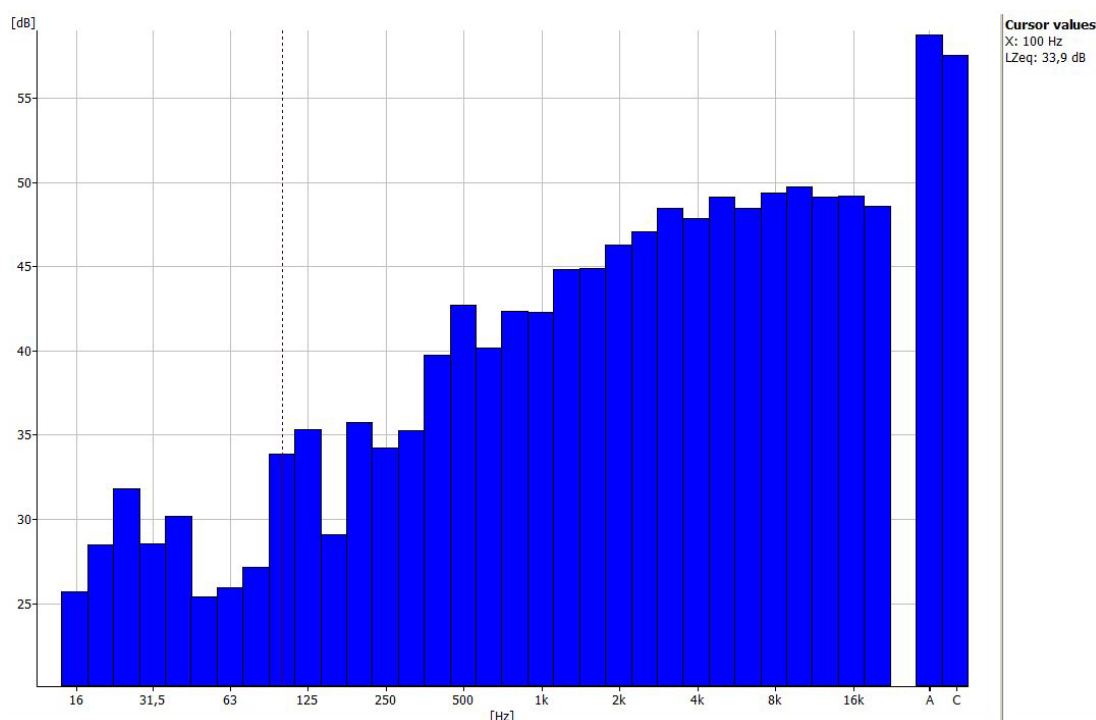


Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 se liší od rohu číslo 2 ve výšce 100 cm o 5,12dB ($P = 0,0060$; $P \leq 0,01$). Jedná se o vyhodnocení statisticky velmi významné. Rozdíl může být způsoben zešíkmením stropu v rohu č. 1.

Graf č. 12 - Měření akustického tlaku v rohu 1 ve výšce 100 cm

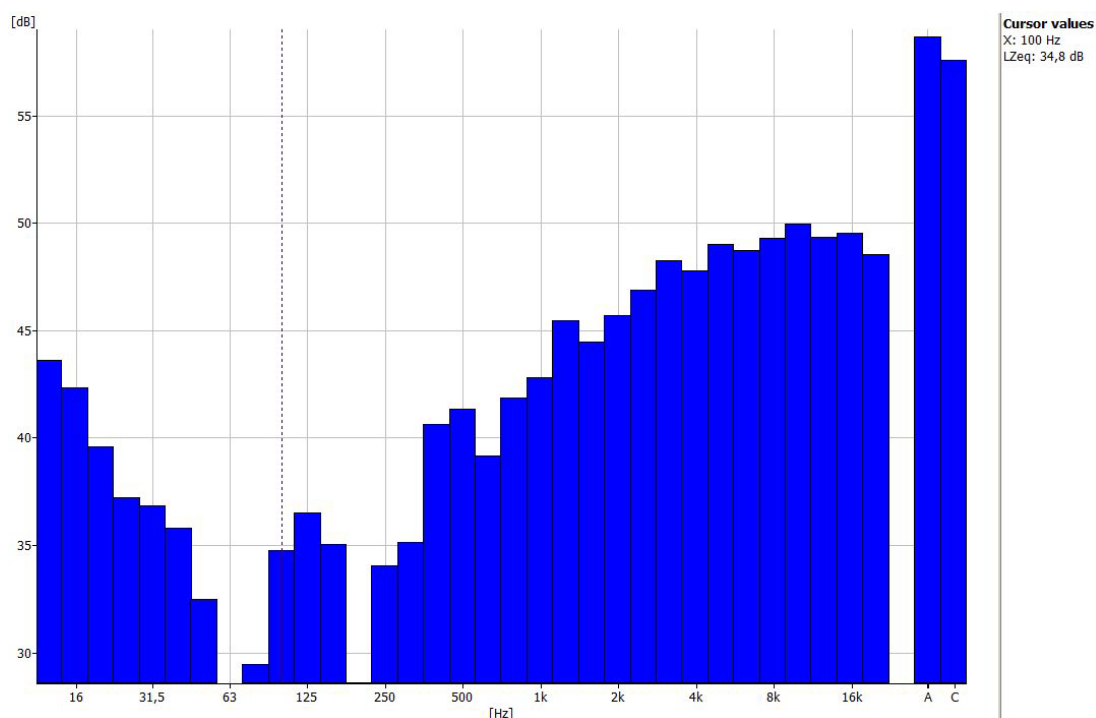


Graf 13 - Měření akustického tlaku v rohu 3 (bod 5) ve výšce 100 cm

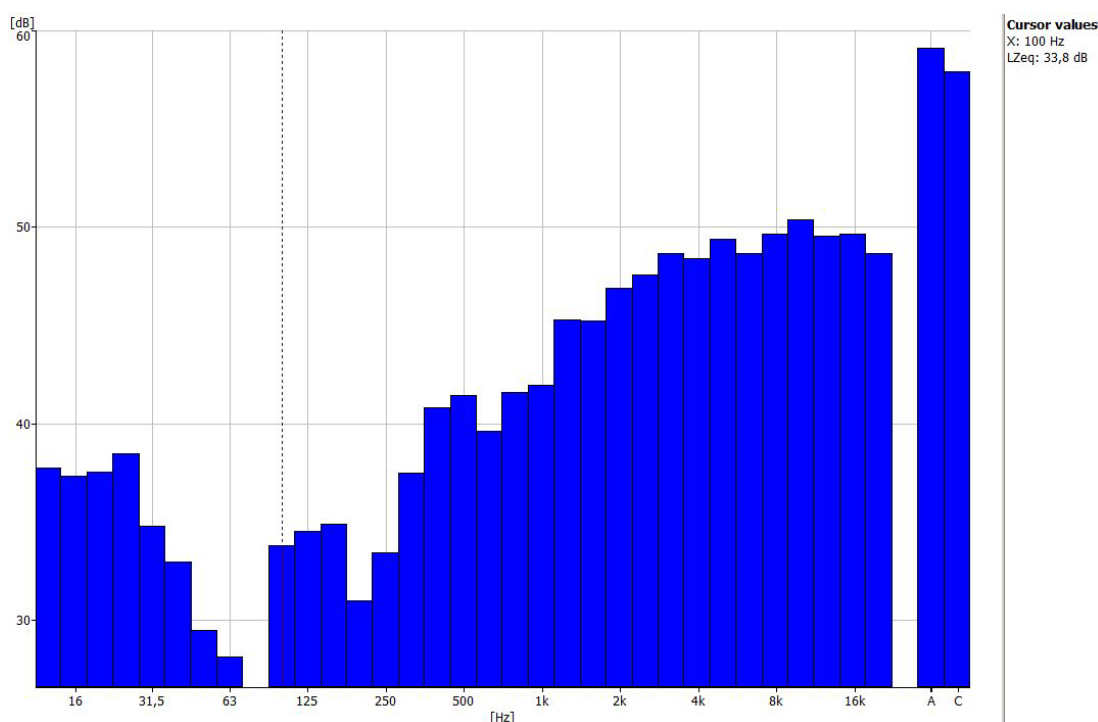


Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 se liší od rohu číslo 3 ve výšce 100 cm o 5,55dB ($P = 0,0022$; $P \leq 0,01$). Jedná se o vyhodnocení statisticky velmi významné. Rozdíl může být způsoben opět zešikmením stropu v rohu 1.

Graf č. 14 - Měření akustického tlaku v rohu 1 ve výšce 100 cm

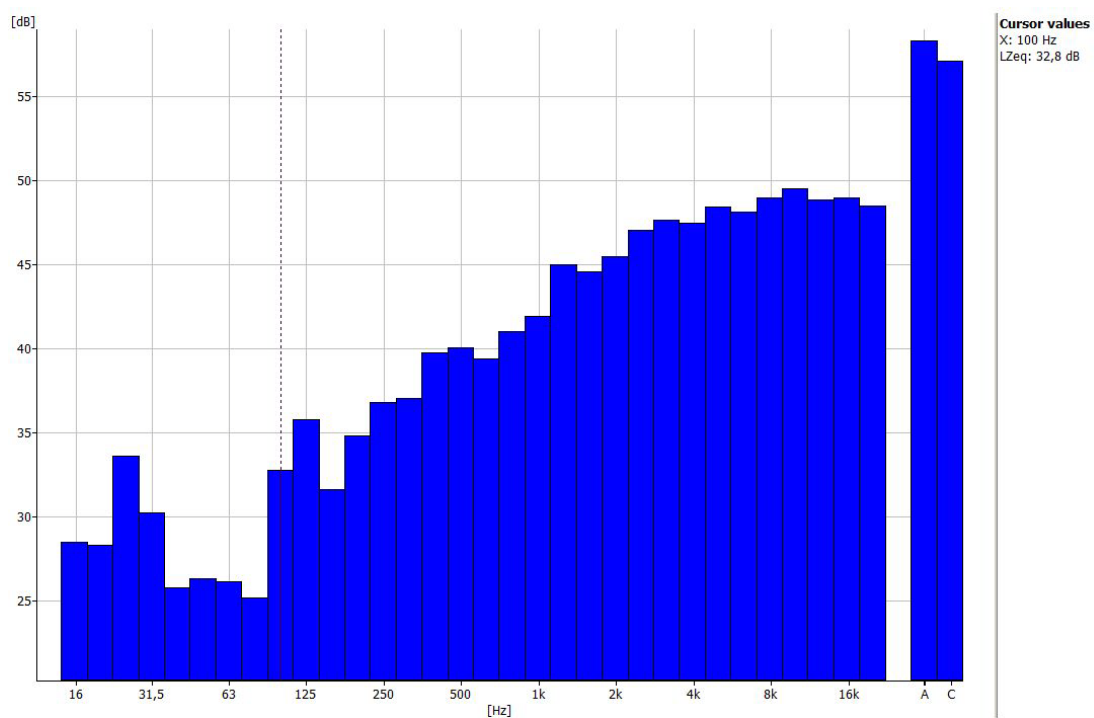


Graf č. 15 - Měření akustického tlaku v rohu 4 ve výšce 100 cm

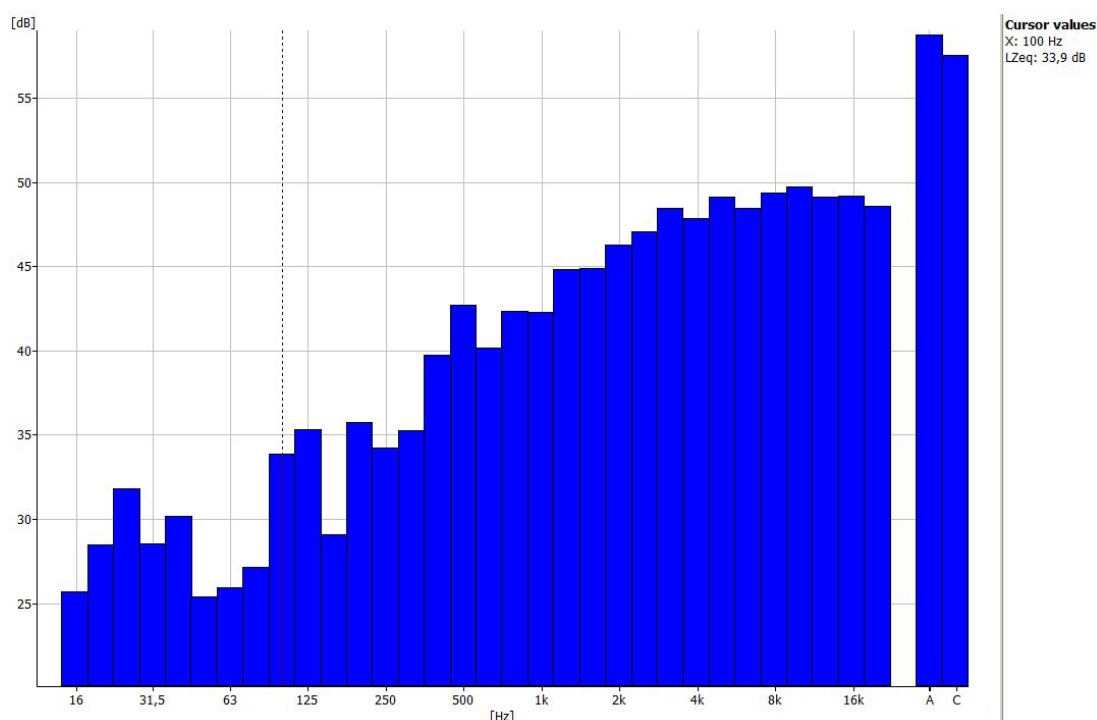


Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 se liší od rohu číslo 4 ve výšce 100 cm o 1,46 dB ($P = 0,3374$; $P > 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky nevýznamné. Malý rozdíl může být způsoben kombinací skleněného okna u rohu č. 4 a zešíkmením stropu v rohu 1.

Graf č. 16 - Měření akustického tlaku v rohu č 2 (bod 3) ve výšce 100 cm

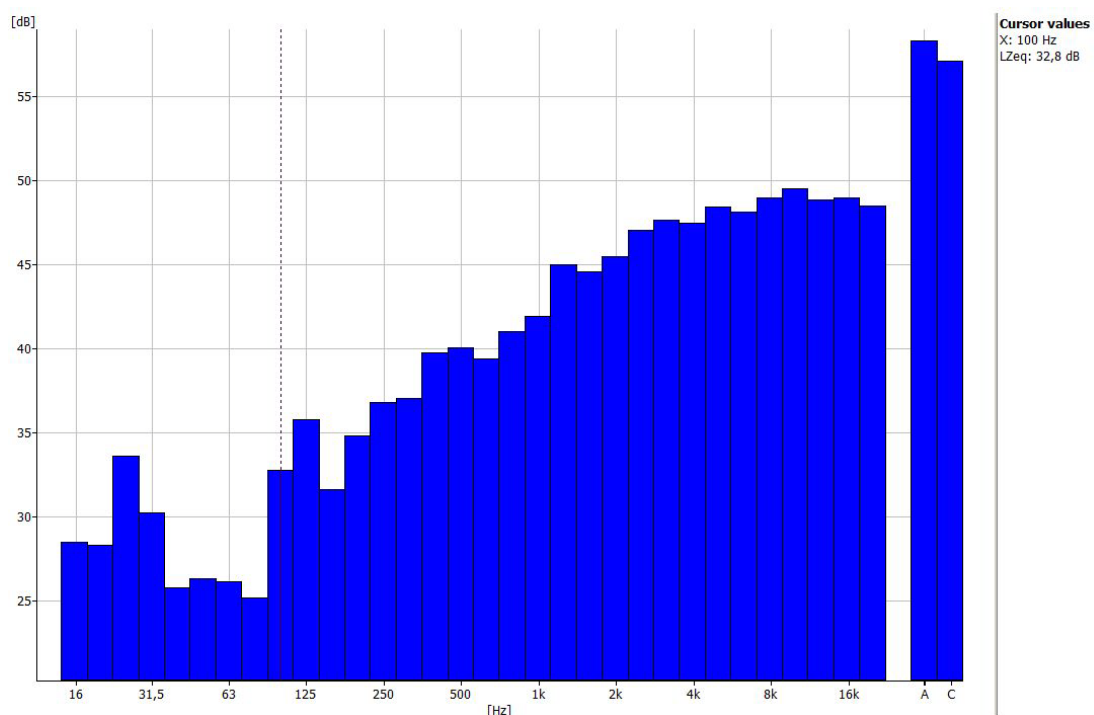


Graf č. 17 - Měření akustického tlaku v rohu 3 (bod 5) ve výšce 100 cm

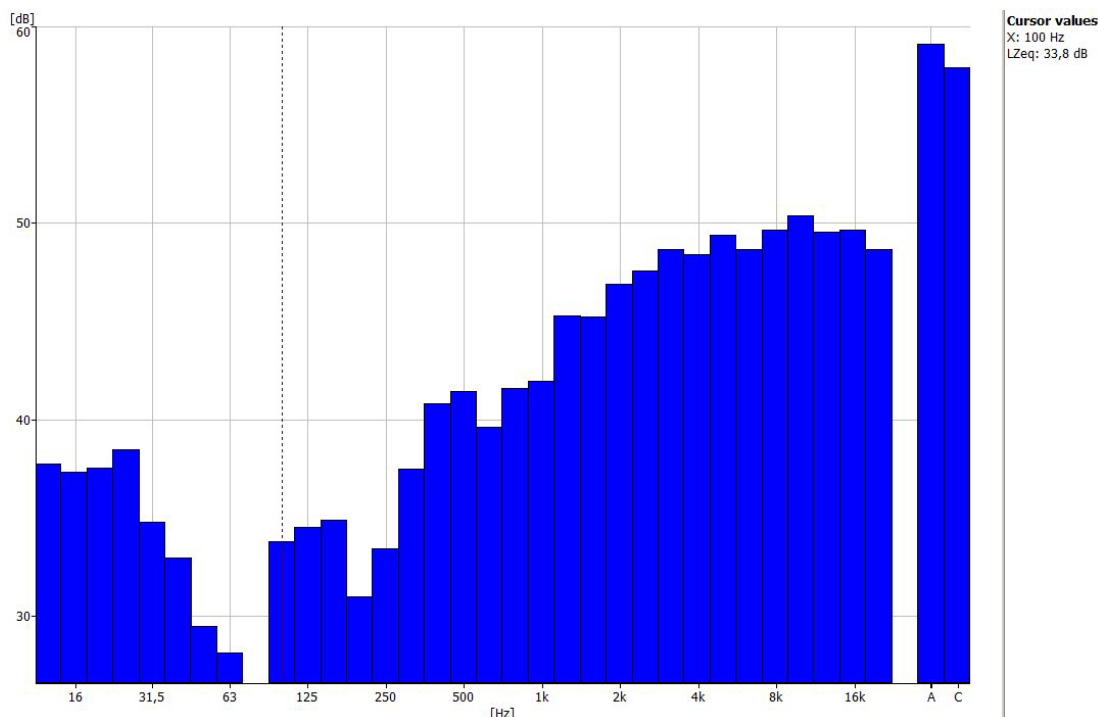


Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 2 se liší od rohu číslo 3 ve výšce 100 cm o 0,43 dB ($P = 0,8056$; $P > 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky nevýznamné. V rohu č. 2 a 3 není žádný půdorysný prvek, který by narušil akustiku.

Graf č. 18 - Měření akustického tlaku v rohu č 2 (bod 3) ve výšce 100 cm

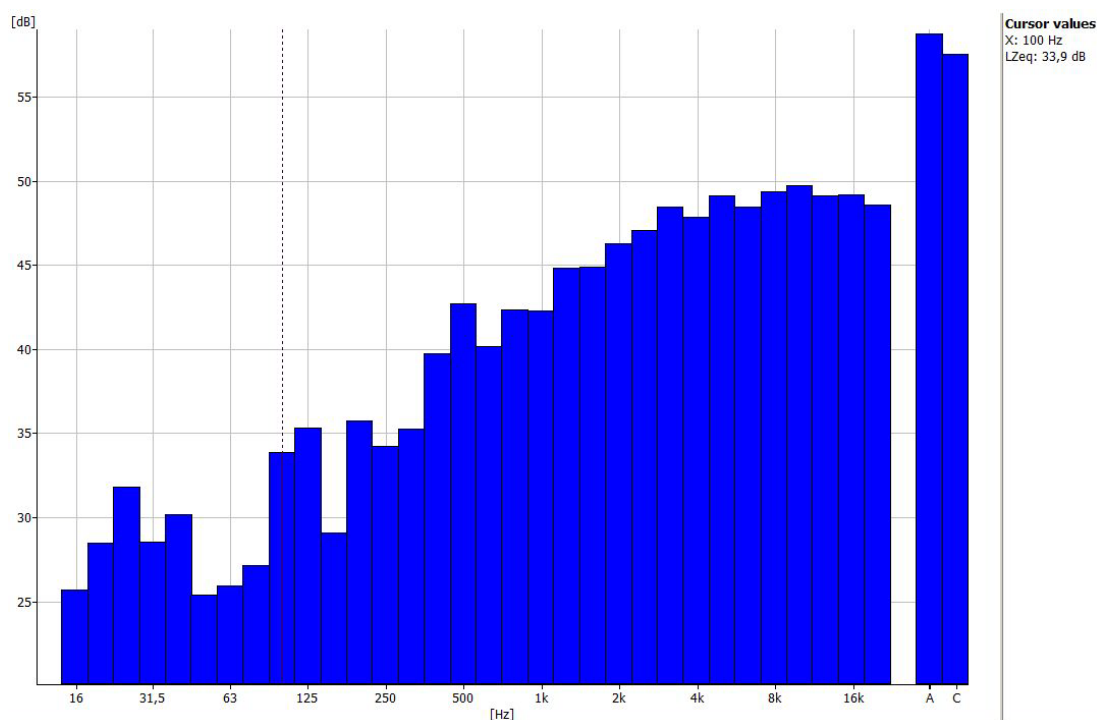


Graf č. 19 - Měření akustického tlaku v rohu 4 ve výšce 100 cm

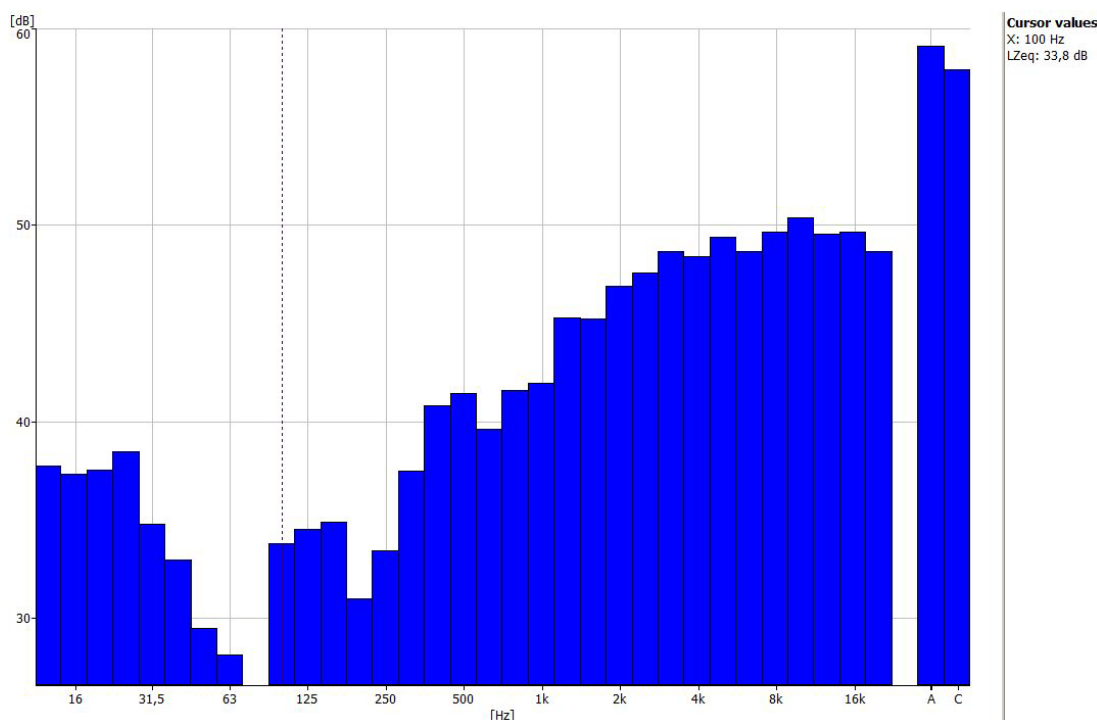


Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 2 se liší od rohu číslo 4 ve výšce 100 cm o 3,66 dB ($P = 0,0299$; $P \leq 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky významné. Rozdíl může být způsoben skleněným oknem u rohu č. 4.

Graf č. 20- Měření akustického tlaku v rohu 3 (bod 5) ve výšce 100 cm



Graf č. 21 - Měření akustického tlaku v rohu 4 (bod 7) ve výšce 100 cm



Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 3 se liší od rohu číslo 4 ve výšce 100 cm o $-4,09$ dB ($P = 0,0118$; $P \leq 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky významné. Rozdíl může být způsoben skleněným oknem u rohu č. 4.

Tab. č. 3 - Porovnání jednotlivých rohů mezi sebou

| Porovnání | Ø 1 (dB) | Ø 2 (dB) | Rozdíl (dB) | P value | Významnost |
|-----------------------|----------|----------|-------------|---------|------------|
| Roh1-100 vs. Roh2-100 | 35,34 | 30,22 | 5,12 | 0,0060 | ** |
| Roh1-100 vs. Roh3-100 | 35,34 | 29,78 | 5,55 | 0,0022 | ** |
| Roh1-100 vs. Roh4-100 | 35,34 | 33,88 | 1,46 | 0,3374 | |
| Roh2-100 vs. Roh3-100 | 30,22 | 29,78 | 0,43 | 0,8056 | |
| Roh2-100 vs. Roh4-100 | 30,22 | 33,88 | -3,66 | 0,0299 | * |
| Roh3-100 vs. Roh4-100 | 29,78 | 33,88 | -4,09 | 0,0118 | * |

Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 se liší od rohu číslo 2 ve výšce 100 cm o 5,12dB ($P = 0,0060$; $P \leq 0,01$). Jedná se o vyhodnocení statisticky velmi významné. Rozdíl může být způsoben zešíkmením stropu v rohu č. 1.

Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 se liší od rohu číslo 3 ve výšce 100 cm o 5,55dB ($P = 0,0022$; $P \leq 0,01$). Jedná se o vyhodnocení statisticky velmi významné. Rozdíl může být způsoben opět zešíkmením stropu v rohu 1.

Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 1 se liší od rohu číslo 4 ve výšce 100 cm o 1,46 dB ($P = 0,3374$; $P > 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky nevýznamné. Malý rozdíl může být způsoben kombinací skleněného okna u rohu č. 4 a zešíkmením stropu v rohu 1.

Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 2 se liší od rohu číslo 3 ve výšce 100 cm o 0,43 dB ($P = 0,8056$; $P > 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky nevýznamné. V rohu č. 2 a 3 není žádný půdorysný prvek, který by narušil akustiku.

Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 2 se liší od rohu číslo 4 ve výšce 100 cm o 3,66 dB ($P = 0,0299$; $P \leq 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky významné. Rozdíl může být způsoben skleněným oknem u rohu č. 4.

Pomocí t-testu pro nezávislé vzorky bylo zjištěno, že akustický tlak v rohu č. 3 se liší od rohu číslo 4 ve výšce 100 cm o -4,09 dB ($P = 0,0118$; $P \leq 0,05$). Jedná se o vyhodnocení statisticky významné. Rozdíl může být způsoben skleněným oknem u rohu č. 4.

6. Závěr

Cílem této diplomové práce bylo s pomocí měřicí techniky provést monitoring zátěže hluku na pracovištích a nepříznivého šíření do jeho okolí. Změřené ekvivalentní hladiny v daných prostředích byly porovnávány s příslušnou legislativou. Z venkovního měření je patrné, že se překračují normované limity, které jsou stanoveny pro noční dobu a dané prostředí 40 dB. Jednalo se zejména o nízké frekvence, které mají dlouhou vlnovou délku a šíří se všemi směry. Naměřené hodnoty byly 45,5 dB ve frekvenci do 150 Hz. Pro splnění stanovených nočních limitů bylo nutné tuto zvýšenou část zvukového spektra eliminovat (snížením intenzity hluku v tomto pásmu nebo navržením vhodným protihlukovým opatřením, např. akustickou bariérou). Další měření probíhalo uvnitř na pracovišti. Měřilo se ve třech výškových úrovních na předem zvolených místech. Pro vyhodnocení měření byly vybrány naměřené hodnoty, zejména v rohových částech místnosti a výsledky byly mezi sebou porovnávány. Jako metoda pro vyhodnocení akustického tlaku dle výšky byl použit párový t-test, který prokázal, že některé rozdíly jsou statisticky velmi významné. Měřením se prokázalo, že podle předpokladu rozdílnost výsledků byla ovlivněna nepravidelným tvarem místnosti (šikmost stropu), nepravidelné rozmístěním akustických a tlumících materiálů a různá členitost stěn (okna, dveře).

Výsledky měření, které byly získány při zpracování této diplomové práce, budou použity v budoucnu k praktickému využití (např. návrh stavebně technického opatření jako hluková bariéra u vnějších prostorů a zdokonalení tlumících akustických materiálů, případně návrhu tzv. basových pastí (pro omezení nízkých frekvencí u vnitřních prostorů).

7. Použitá literatura

BALLOU, Glen. *Handbook for sound engineers*. 4th ed. Boston: Focal Press, c2008, 1777 s. ISBN 978-024-0809-694.

BENCKO, Vladimír. *Hygiena: učební texty k seminářům a praktickým cvičením. 2.*, přeprac. vyd. Praha: Karolinum, 1998, 185 s. ISBN 80-718-4551-5.

BERGLUND, Birgitta. et al. *Guidelines for community noise*. Singapore: Institute of Environmental Epidemiology, Ministry of the Environment, 2000. ISBN 99-718-8770-3.

BOWMAN, J, Thomas B SENIOR, P USLENGHI a J ASVESTAS. *Electromagnetic and acoustic scattering by simple shapes*. Amsterdam: North-Holland Pub. Co., 1970, 728 s. ISBN 07-204-0152-6.

COHRSEN, John J a Vincent T COVELLO. *Risk analysis: a guide to principles and methods for analyzing health and environmental risks*. Springfield, VA: For sale by the National Technical Information Service, c1989, 407 s. ISBN 09-342-1320-8.

HAVRÁNEK, Jiří. et al. *Hluk a zdraví. 1. vyd.* Praha: Avicenum, 1990, 278 s. ISBN 80-201-0020-2.

HLAVIČKA, Alois. *Fyzika pro pedagogické fakulty I. 1. vyd.* Praha: SPN, 1978, 742 s

LARA SÁENZ, A a R STEPHENS. *Noise pollution: effects and control*. New York: Published on behalf of the Scientific Committee on Problems of the Environment (SCOPE) of the International Council of Scientific Unions (ICSU) by J. Wiley, c1986, 446 s. SCOPE report, 24. ISBN 04-719-0325-6.

MECHLOVÁ, Erika a Karel KOŠTÁL. *Výkladový slovník fyziky: pro základní vysokoškolský kurz*. Ilustrace Radek Krpec. Praha: Prometheus, 1999, 588 s. ISBN 80-719-6151-5.

NOVÝ, R. *Hluk a chvění*. Praha, 1995, 389 s. ISBN 80-010-1306-5.

PROVAZNÍK, Kamil. *Manuál prevence v lékařské praxi 8: základy hodnocení zdravotních rizik*. 1. vyd. Praha: Státní zdravotní ústav, 2000, 158 s. ISBN 80-707-1161-2.

ROSSING, Thomas D. *Springer handbook of acoustics*. New York, N.Y.: Springer, c2007, 1182 s. ISBN03-873-3633-8.

SLEEP, B. *Classroom acoustics*. Melville: Acoustical Society of America, 2003.

SYROVÝ, Václav. *Hudební akustika*. 1. vyd. Praha: Akademie múzických umění, 2003, 427 s. ISBN 80-733-1901-2.

VLACHÝ, Václav. *Praxe zvukové techniky*. Praha: Muzikus, 1995, 257 s. ISBN 80-901-5376-3

THEAKSTON, Frank. *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. Copenhagen: World Health Organization, Regional Office for Europe, 2011. ISBN 92-890-0229-8.

ČSN EN ISO 9612. *Akustika - Určení expozice hluku na pracovišti - Technická metoda*. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010

AKUSTIKA PRAHA. *Prostorová akustika* [online]. 2012 [cit. 2012-04-27]. Dostupné z: <http://www.akustika.cz/132-prostorova-akustika.html>

BRUEL & KJAER. *BK product 2270* [online]. 2012 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.bksv.com/Library/Search%20Resources.aspx#>

EDITORIUM. *Techmania science center* [online]. 2008 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?mn1=100&mn2=431&xkat=fyzika&xser=416b757374696b61

STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV. *Zdravotní účinky hluku* [online]. 2011 [cit. 2012-04-25]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>

VALEŠOVÁ. *Škodlivý vliv hluku na lidský organismus* [online]. 2006 [cit. 2012-04-18]. Dostupné z: http://www.prolekare.cz/prakticky-lekar-clanek/skodlivy-vliv-hluku-na-lidsky-organismus-5317?confirm_rules=1

8. Přílohy

8.1 Venkovní měření



Foto 1 Venkovní měření v Holkově (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 2 Zdroj Pioneer CDJ 400 a CDM 600 (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 3 Měření na Letním parketu v Holkově (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 4 Venkovní měření v Holkově, Pa systém EAW (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 5 Zesilovače Lab Gruppen a signálové procesory XTA (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 6 PA Systém EAW (Foto: Miroslav Zeman)

8.2 Vnitřní měření



Foto 7 Měřicí přístroj BK 2270 a reproduktor Genelec (Foto: Miroslav Zeman)

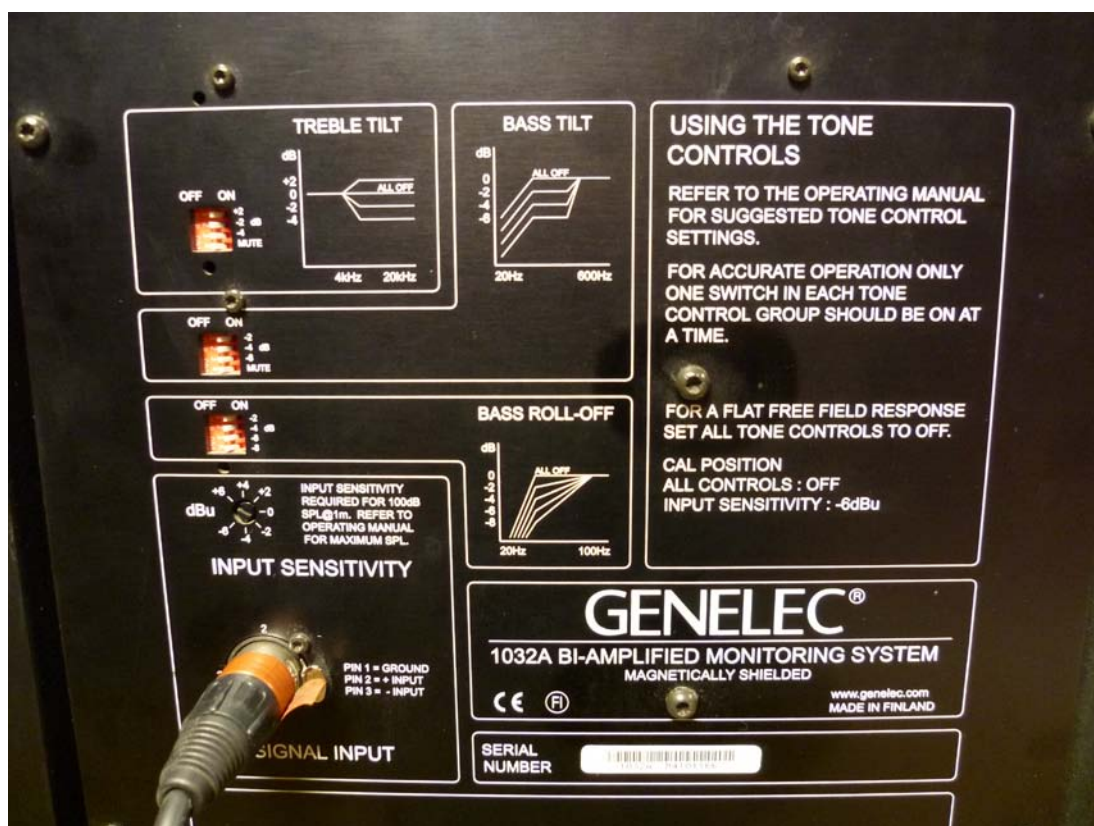


Foto 8 Reproduktor Genelec (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 9 Měření ve výšce 100 cm (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 10 Měření ve výšce 180 cm (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 11 Měření v rohu č. 2 ve výšce 180 cm (Foto: Miroslav Zeman)



Foto 12 Měření ve výšce 180 cm (Foto: Miroslav Zeman)