

**ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ELEKTROTECHNICKÁ**

KATEDRA ELEKTROENERGETIKY A EKOLOGIE

DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Příprava investiční rozvahy pro odhlučnění daného
pracoviště ve výrobním závodě**

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
Fakulta elektrotechnická
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Veronika KOCHANOVÁ**
Osobní číslo: **E13N0136P**
Studijní program: **N2612 Elektrotechnika a informatika**
Studijní obor: **Technická ekologie**
Název tématu: **Příprava investiční rozvahy pro odhlučnění daného pracoviště
ve výrobním závodě**
Zadávací katedra: **Katedra elektroenergetiky a ekologie**

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


1. Seznamte se s problematikou hluku na pracovišti, platnou legislativou upravující hladiny hluku a s účinky hluku na zdravotní stav zaměstnanců.
2. Popište možnosti snížení hluku ve výrobní hale závodu včetně jejich ekonomické náročnosti.
3. Na určeném pracovišti stanovte hladinu hluku působící na zaměstnance.
4. Připravte investiční rozvalu, ve které budou popsány důsledky jednotlivých protihlukových opatření s důrazem na cenu a míru odhlučnění případně na vliv na provoz ve výrobní hale.
5. Doporučte, které z opatření by bylo pro investici nejvhodnější.

Rozsah grafických prací: podle doporučení vedoucího
Rozsah kvalifikační práce: 30 - 40 stran
Forma zpracování diplomové práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

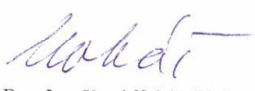
1. Beran, V.: Chvění a hluk, ZČU Plzeň, 2010
2. Motýl, O.: Hluková zátěž, Kancelář veřejného ochránce práv, Praha, 2009
3. Smetana, C.: Měření hluku a chvění, Praha, 1998
4. Havránek, J.: Hluk a zdraví, Praha Avicemum, 1990
5. Materiály poskytnuté zadavatelskou firmou

Vedoucí diplomové práce: Ing. Oldřich Tureček, Ph.D.
Katedra technologií a měření

Datum zadání diplomové práce: 15. října 2015
Termín odevzdání diplomové práce: 16. května 2016


Doc. Ing. Jiří Hammerbauer, Ph.D.
děkan




Doc. Ing. Karel Noháč, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 15. října 2015

Abstrakt

Cílem této diplomové práce je navrhnout opatření pro snížení hluku na pracovišti výrobního závodu. Teoretická část pojednává o fyzikálních vlastnostech zvuku, definuje podmínky, za kterých se zvuk začíná považovat za hluk a seznamuje s možnostmi omezení hluku v pracovním prostředí. Dále se věnuje principu slyšení, vzniku sluchového vjemu a možnostem poškození lidského zdraví nadměrným hlukem. Teoretická část zároveň obsahuje přehled platné legislativy věnující se problematice hluku a ochraně zdraví pracovníků. Během zpracování praktické části diplomové práce bylo provedeno měření na vybraném pracovišti výrobního závodu dle normované metodiky. Výsledky měření posloužily jako podklad pro stanovení potřebného útlumu. Závěrem byla navržena dvě možná řešení pro odhlučnění pracoviště. Finální doporučení bude použito pro přípravu investičního záměru odhlučnění daného pracoviště ve společnosti.

Klíčová slova

Zvuk, hluk, hladina akustického tlaku, sluch, osobní ochranné pomůcky, útlum, protihlukový kryt, akustika, impulzní hluk, měření hluku, hlukoměr, pracovní prostředí, činitel akustické pohltivosti, minerální vlna, odhlučnění, legislativa, hladina hlasitosti, váhové filtry, účinky hluku.

Abstract

The aim of this thesis is to propose possibilities of reduction of noise at factory workplace. Theoretical part is focused on physical attributes of sound, defines conditions that turns sound into noise and introduces the possibilities of noise restriction in the workplace. It also discusses the principles of hearing, formation of auditory perception and risks of damage human health. The theoretical part contains an overview of current legislation dealing with noise and health of workers. There were made measurements of noise on the selected workplace. Results were used as a basis for determination required attenuation of noise. Finally were proposed two possibilities of antinoise solution. These recommendation will be used to prepare an investment balance.

Key words

Sound, noise, sound pressure level, hearing, personal protective equipment, attenuation, acoustic cover, acoustics, impulse noise, noise measurement, sound level meter, working environment, a factor of acoustic absorption, mineral wool, soundproofing, legislation, volume level weighting filters, effects noise.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

Dále prohlašuji, že veškerý software, použitý při řešení této diplomové práce, je legální.

.....
podpis

V Plzni dne 12.5.2016

Bc. Veronika Kochanová

Poděkování

Tímto bych ráda poděkovala svému vedoucímu diplomové práce, panu Ing. Oldřichu Turečkovi, Ph.D. za cenné profesionální rady, připomínky a metodické vedení práce.

Obsah

ÚVOD	9
SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK	10
1 AKUSTIKA A HLUK	11
1.1 AKUSTIKA	11
1.1.1 Zvuk	11
1.1.2 Fyzikální vlastnosti zvuku	11
1.2 HLUK	16
1.2.1 Hluk v pracovním prostředí	16
1.2.2 Legislativa o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku	17
1.2.3 Metodika měření	18
1.2.4 Metody snižování hluku na pracovišti	19
2 VLIV HLUKU NA ORGANISMUS ČLOVĚKA	22
2.1 SLUCHOVÝ VJEM	22
2.2 ÚČINKY HLUKU NA ČLOVĚKA	22
3 NÁVRH OPATŘENÍ PRO SNÍŽENÍ HLUKU NA PRACOVÍŠTI	25
3.1 POPIS PRACOVÍŠTĚ	25
3.2 MĚŘENÍ	27
3.3 IDEOVÝ NÁVRH PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ	34
3.4 NÁVRHY OPATŘENÍ	35
ZÁVĚR	39
SEZNAM LITERATURY A INFORMAČNÍCH ZDROJŮ	40
PŘÍLOHY	1

Úvod

V dnešní době se mnohdy nemáme čas pozastavit nad vnějšími vlivy, které mohou ovlivňovat naše fyzické i psychické zdraví. Jedním z těchto vlivů je i nadměrná expozice hluku, jehož škodlivost byla prokázána ve vztahu s jeho účinky na lidský organismus. V současnosti je expozice hluku ošetřena českou i evropskou legislativou a je předmětem zájmu mnoha institucí. Bohužel, všeobecné povědomí o dopadech hluku na lidský organismus je i v dnešní společnosti poměrně mizivé.

Hluk, jako takový, můžeme definovat jako kmitání pružných těles šířících se od zdroje prostředím. Účinky tohoto šíření na lidský organismus jsou dvojí. Při krátkodobém působení hluku, dochází ke slabým účinkům. Tyto následky mohou odeznít po několika minutách až dnech. V druhém případě mohou být účinky natolik intenzivní, že může dojít k nenávratnému poškození sluchového aparátu nebo ke zhoršení procesu slyšení.

V této práci se zabývám především účinky druhého typu, tedy dlouhodobými. Ty vznikají zejména na pracovištích průmyslových závodů. Zejména v pracovním prostředí je důležité zajistit vhodnou a dostatečnou ochranu sluchu, případně celého pracoviště, pro zajištění bezpečnosti a zdraví samotného pracovníka i jeho okolí. U člověka může nadměrná expozice hluku vyvolat hormonální změny, narušení imunitního systému a existuje i možnost urychlení či samotný projev patogenního děje. Z fyzického hlediska se následky nadměrného hluku na pracovišti posuzují jako nemoc z povolání. Co se týče hlediska psychického, je prokazatelnost těchto následků mnohonásobně těžší.

Dále se zaměřuji na fyzikální podstatu zvuku, hluku a legislativu ošetřující dané hygienické limity pro pracovní prostředí. Dále uvádím fyziologii lidského sluchového aparátu a možné fyzické i psychické následky působení hluku na lidský organismus. Také popisuji měření hluku a přístrojovou techniku použitou pro dané měření.

Cílem mé práce je návrh optimálního řešení odhlučnění konkrétního pracoviště průmyslového podniku v Plzni.

Seznam symbolů a zkratk

ČSN	Česká technická norma
L	Hladina akustického tlaku
EN	Evropská norma
α	Činitel akustické pohltivosti
OOPP	Osobní ochranné pracovní pomůcky
c	Rychlost vlnění
λ	Vlnová délka
A	Celková pohltivost
E	Modul pružnosti prostředí

1 Akustika a hluk

1.1 Akustika

Akustika se zabývá fyzikálními ději spojenými se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a sluchovým vjemem. Jde o jeden z nejstarších fyzikálních oborů.

1.1.1 Zvuk

Zvuky jsou součástí každodenního života. Je to přirozený projev přírodních dějů a životní aktivity. Nejvýznamnější podíl informací o světě vnímá člověk právě sluchem a jde o nejdůležitější poplašné znamení varující před nebezpečím. Zvuk je rovněž podněcujícím signálem aktivity nervového systému člověka a základem řeči, odlišující jej od zvířat.

Podstatou zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí ve frekvenčním pásmu cca 20Hz – 20kHz (20 - 20 000 kmitů za sekundu). Jde o oblast slyšitelnosti lidského sluchového orgánu, a zvuk se šíří konečnou rychlostí cca 340 m.s⁻¹ ve vzduchu. Zvuk je tedy mechanické vlnění šířící se od zdroje libovolným prostředím ve vlnoplochách fázovou rychlostí, která je závislá na fyzikálních vlastnostech prostředí.

1.1.2 Fyzikální vlastnosti zvuku

Akustická rychlost

Podstatou zvuku je mechanické kmitání plynů, kapalin či jiných pružných médií. Kmitající objekt do okolí předá část své energie a ta se vlněním šíří prostorem. Podmínkou vzniku vlnění, je výskyt hmotných částic. Rychlost částice u považujeme za vektor, jelikož má směr pohybu kolmý k ploše dopadající akustické vlny.

$$\vec{u} = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p}{\partial r} \cdot dt, \quad (1.1.)$$

kde ρ je hustota prostředí [kg.m⁻³], p tlak [Pa], r směr pohybu částice shodný se směrem šíření vlnoplochy.

Rychlost částice se také nazývá akustická rychlost. Nesmí však být zaměňována s rychlostí šíření zvuku, kterou značíme c . Pohyb částic v prostoru má za následek vznik v čase proměnných tlakových změn p . Poměr veličin p a u je stálý při postupném vlnění ve volném akustickém poli a závislý pouze na parametrech prostředí.

Rychlost šíření zvuku

Prostředím se šíří vlnění rychlostí c narážením rozkmitaných částic do částic sousedících. Velikost této rychlosti lze stanovit ze vztahu:

$$c = k \cdot \sqrt{\frac{E}{\rho}}, \quad (1.2.)$$

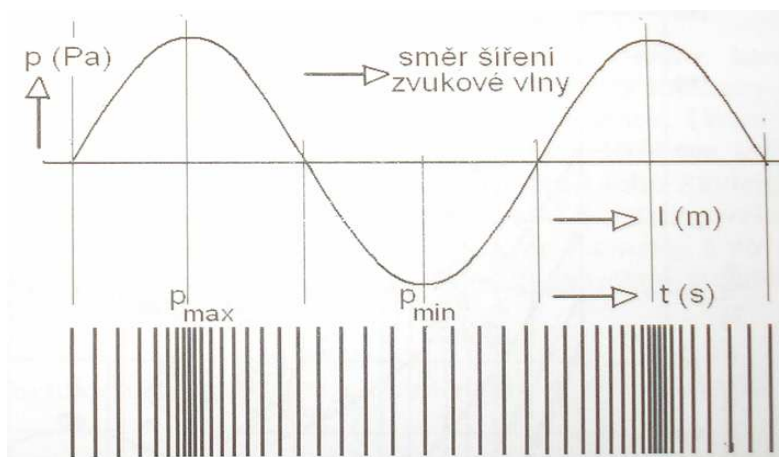
kde k je konstanta, E je modul pružnosti prostředí [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-2}$], ρ je hustota prostředí [$\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$].

Tato veličina je nejčastěji nazývána rychlost zvuku a je udána za teploty 20°C . Pro každé prostředí, ve kterém se zvuk šíří, je jiná. Rychlost šíření zvuku je závislá na teplotě, jak vidíme z rovnice 1.3., kde je teplota označena δ .

$$c = 331,6 \cdot \sqrt{1 + \frac{\delta}{273}} \quad (1.3.)$$

Akustický tlak

Seskupením nebo rozptýlením částic v prostoru dochází ke změnám tlaku, jak je vidět na obrázku č. 1. Bylo experimentálně zjišťováno, jakou nejmenší hodnotu akustického tlaku je lidské ucho schopno zachytit, pokud je systematicky zatěžováno i barometrickým tlakem. Hodnota barometrického tlaku nepodléhá značným změnám v čase a lze ji považovat za stejnosměrnou složku tlakové zátěže. Pomocí změn akustického tlaku byly stanoveny tzv. **prahové křivky slyšitelnosti** a od nich odvozeny mezní hodnoty slyšitelnosti lidského ucha. Za základní údaj se považují hodnoty při frekvenci 1 kHz, kdy má akustický tlak hodnotu 2×10^{-5} Pa a nazýváme ho prahovým akustickým tlakem. Pro tuto frekvenci se stanovují i hodnoty prahové akustické intenzity a akustického výkonu.



Obr. č. 1 - Vznik akustického tlaku pohybem částic prostředí [2]

Akustický výkon

Tato veličina není závislá na vnějších podmínkách a to ani na vlivech souvisejících s pozorovatelem. Pro daný zdroj je určující. Energie zvukových vln E je vyzářena zdrojem nebo prošlou plochou nebo dopadající na plochu za jednotku času, což se rovná výkonu přenášenému akustickým vlněním. Zavádí se z důvodu zkrácení hodnocení zdroje pomocí akustického tlaku různými vlivy. Patří mezi ně např. orientace a vzdálenost od posluchače, pohyb posluchače nebo zdroje, teplota a rychlost proudění prostředí, odrazivost prostředí. Akustický výkon je nezávislý na těchto vlivech, je čistě fyzikální vlastností zdroje a tedy absolutním parametrem využívaným při srovnávání akustických zdrojů. Značen je P a vyjádřen je ve Watech.

$$P(t) = \frac{dE}{dt} \quad , \quad (1.4.)$$

kde dE je zmíněná akustická energie, která projde plochou za čas dt .

Akustický výkon lze vyjádřit i součinem akustického tlaku p , plochy vlny S a akustickou rychlostí u .

$$P = p \cdot S \cdot u \quad (1.5.)$$

Akustická intenzita

Jde o vektor, popisující velikost a směr toku energie v uvažovaném místě. Vyjádřena je jako energie za čas (výkon) procházející kolmo jednotkovou plochou. Prakticky se jedná o plošnou hustotu akustického výkonu. Jednou z důležitých vlastností akustické intenzity je schopnost rozlišit, zda se jedná o akustické pole postupné (aktivní) či stojaté (pasivní). Akustickou intenzitu lze tedy vyjádřit následovně:

$$I = p \cdot u = \frac{P}{S} = \frac{p^2}{Z} \quad , \quad (1.6.)$$

kde p je akustický tlak, S je plocha vlny, P je akustický výkon, u je akustická rychlost a Z je vlnový odpor neboli impedance prostředí vyjadřující podíl akustického tlaku a rychlosti vlnění v daném prostředí. Jednotkou intenzity zvuku je $\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$.

Stupnice a jednotky pro hodnocení hluku

Zvuk se prostorem šíří prostřednictvím tlakových změn. Nejdůležitější veličinou, která charakterizuje tuto hodnotu, je tzv. efektivní hodnota tlaku p_{ef} . Soustava SI pro vyčíslení akustického tlaku užívá jednotku Newton na metr čtvereční ($\text{N}\cdot\text{m}^{-2}$) nebo Pascal (Pa). Na základě vyšetřování sluchu skupiny lidí různého věku a pohlaví byly určeny prahové hodnoty akustických veličin. Jejich určení proběhlo při frekvenci 1kHz. Určena byla prahová hodnota akustického tlaku, akustické intenzity a akustického výkonu. Hodnoty jsou uvedeny v následující tabulce č.1.

Tabulka č.1: Prahové hodnoty akustických veličin [2]

p_0	$2 \cdot 10^{-5}$	Pa
I_0	$1 \cdot 10^{-12}$	W/m^2
P_0	$1 \cdot 10^{-12}$	W

V akustice je využívána logaritmická stupnice a to především z důvodu odezvy lidského ucha, která je právě logaritmická, nikoliv lineární. Dalším důvodem pro její použití je zkrácení jinak velkého rozsahu měřených tlaků obvykle představujících rozdíl až 10^7 řádů. Jako jednotka hodnocení hladiny hluku byla stanovena jednotka **1 bel**. Definuje se jako desítkový logaritmus poměru dvou hodnot, kde jako čítec figuruje naměřená hodnota dané veličiny a ve jmenovateli pak její vztažná (referenční) velikost. Pro uvedení v praxi je jednotka 1 bel příliš velká, a proto se přistoupilo k zavedení její desetiny tzv. **decibelu**.

$$L_p = 10 \cdot \log \frac{P}{P_0} \quad (1.7.)$$

$$L_I = 10 \cdot \log \frac{I}{I_0} \quad (1.8.)$$

Akustický výkon vypočteme z rovnice 1.7., kde je P_0 referenční prahová hodnota. Obdobný vztah platí i pro akustickou intenzitu, což vyplývá z rovnice 1.8. Definice decibelu pro akustický tlak bývá často zaměnitelná s označením hladiny pro akustický výkon (malé a velké p). Proto se velmi často setkáváme pro akustický tlak s označením **SPL** (z anglického: Sound Pressure Level).

$$L_p = SPL = 20 \cdot \log \frac{P}{P_0} \quad (1.9.)$$

Pro potřeby měření hluku na pracovišti vyhodnocujeme hodnoty:

- $L_{Aeq,8h}$, $L_{Aeq,T}$ - ekvivalentní hodnoty akustického tlaku. Vypočítávají se jako ustálená hodnota akustického tlaku, mající na člověka během vyhodnocovaného období stejný účinek, jako jeho proměnlivá hodnota.
 - o $L_{Aeq,8h}$ - je akustický tlak, který vzniká při pracovní činnosti.
 - o $L_{Aeq,T}$ - představuje akustický tlak vzniklý nevyrobní činností (klimatizace, větrání apod.).
- L_{Amax} - reprezentuje maximální hodnotu akustického tlaku během sledovaného období. Vyhláškou jsou stanoveny maximální hodnoty, kterých smějí tyto veličiny dosáhnout.

Další stanovované hodnoty reprezentují hlukovou zátěž působící na pracovníka:

- $E_{A,8h}$ - hodnota expozice hluku
- $L_{Aeq,w}$ - průměrná hodnota expozice hluku
- p_{peak} - špičková hodnota akustického tlaku
- $L_{EX,8h}$ - denní hladina expozice hluku

Pracujeme-li s decibely, je třeba mít vždy na paměti, že s nimi nelze zacházet jako s lineárními veličinami. Například nulová hladina hluku nepopisuje stav s absencí hluku, ale stav, kdy je úroveň hluku rovna prahové hodnotě. Další velký rozdíl oproti lineárním veličinám je při sčítání a odčítání, které nelze u decibelů přímo aplikovat. Pokud budu například uvažovat dva zdroje hluku se současnou činností, každý s hladinou $SPL = 60$ dB, pak celková hladina hluku není 120 dB, ale určí se výpočtem jako výsledné působení dvou okamžitých tlaků ze dvou zdrojů. Jednotlivé tlaky označíme $p_1(t)$ a $p_2(t)$ a celkový tlak tedy bude $p_{tot} = p_1(t) + p_2(t)$. Efektivní hodnotu celkového akustického tlaku určíme dle rovnice 1.10.

$$\overline{p_{tot}^2} = \frac{1}{T} \int_0^T [p_1(t) + p_2(t)]^2 dt \Rightarrow \overline{p_{tot}^2} = \overline{p_1^2} + 2\overline{p_1 \cdot p_2} + \overline{p_2^2} \quad (1.10.)$$

V případě dvou na sobě nezávislých zdrojů nedochází k interferencím a lze tedy součin $p_1 \cdot p_2$ položit rovný nule. Dojde tak ke zjednodušení na tvar rovnice 1.11.

$$\overline{p_{tot}^2} = \overline{p_1^2} + \overline{p_2^2} \quad (1.11.)$$

Předpokládáme-li, že zdroje budou identické, pak $p_1 = p_2$ a $p_{tot}^2 = 2 \cdot p_1^2$. Docházíme tedy k závěru, kdy **za současného působení dvou totožných zdrojů, se dosáhne dvojnásobné efektivní hodnoty akustického tlaku**, a dosadíme-li do rovnice SPL, dostáváme:

$$SPL = L_p = 10 \log\left(2 \frac{p_1^2}{p_0^2}\right) = 10 \log\left(\frac{p_1^2}{p_0^2}\right) + 10 \log 2 = 10 \log\left(\frac{p_1^2}{p_0^2}\right) + 3 \quad (1.12.)$$

Platí tedy, že nová hladina hluku = stará hladina hluku + 3 dB. Celkový přírůstek hluku při současné činnosti dvou zdrojů je pouze stěží rozlišitelný lidským uchem.

Tabulka č.2: Subjektivní vjemy [2]

Změna hladiny (dB)	Subjektivní vjem
3	na mezi rozlišení
5	dobře rozlišitelné
10	dvakrát hlasitější

Hladina hlasitosti

Další důležitou veličinou je hladina hlasitosti. Jedná se o subjektivní veličinu, která je závislá na hodnotě akustického tlaku a je vlastností intenzity zvuku o určité frekvenci. Je udávána ve fónech (Ph), od křivky prahové slyšitelnosti 0 Ph až do prahu bolesti, který se pohybuje mezi 120 – 130 Ph. Jednotka fón (Ph) byla stanovena měřením křivek stejné hlasitosti u osob se zdravým sluchovým aparátem. Počet fónů byl přiřazen dle počtu decibelů každé křivce při kmitočtu 1 kHz. Tento kmitočet byl stanoven dle panující shody mezi vědci v použití definované hladiny intenzity zvuku pro prahovou hodnotu, což byl tón o frekvenci právě 1 kHz.

Hladina hlasitosti však nevystihuje dostatečně to, jak sluch vyhodnocuje a porovnává různě hlasité zvuky. Proto došlo k definování hlasitosti jako veličiny v souladu s tím, jak posluchač zvuk posuzuje, vyjádřené v sonech (son). Experimentálně došlo ke stanovení vztahu mezi hlasitostí (značíme N) v sonech a hladinou hluku SPL v dB.

$$N = 2^{\frac{SPL-40}{10}} \text{ [son]} \quad (1.13.)$$

Výraz je obecně platný pro libovolný zvuk a poukazuje na skutečnost, že hlasitost se zdvojnásobí při každém navýšení hladiny hlasitosti SPL o 10 dB.

1.2 Hluk

Zvuk sice může vytvářet pozitivní pocity a navozovat člověku příjemný stav uvolnění a radosti, ale může působit i negativně. Tyto negativní účinky mohou snižovat míru psychické pohody člověka a zároveň přivodit značné fyzické komplikace. Toto nežádoucí působení označujeme jako HLUK.

Hluk definujeme jako jakýkoliv obtěžující či škodlivý nadměrný zvuk, vyskytující se příliš často či v nevhodnou dobu. Jde tedy o akustický signál, negativně ovlivňující zdraví člověka, jeho duševní, fyzickou i sociální pohodu. Měřítkem hluku je člověk samotný, konkrétně jeho fyziologická reakce a prožitek reagující na danou frekvenci hluku. Vnímání hluku je subjektivní záležitostí a nelze proto přesně vytyčit hranice frekvence, které by udávaly, co je ještě únosná míra zvuku a co už je hluk. Největším nebezpečím pro sluch jako smysl je to, že nemá žádný vlastní, účinnější obranný mechanismus, který by ho chránil před vnějšími vlivy.

Nejen hluk, ale i málokterý zvuk můžeme charakterizovat jako ustálený, tedy měnící se v čase v menším rozsahu než 5 dB. Většina zvuků je tedy označována jako proměnné nebo přerušované (změna hladiny skokem).

Zvláštním druhem zvuku proměnného je **impulsní zvuk**. Jde o zvuk, který je charakterizován rychlým vzestupem hladiny akustického tlaku a jeho následným poklesem (do 0,2 s). Interval mezi jednotlivými impulsy je větší než 0,01 s. Hladina tohoto hluku se v průběhu sledovaného období mění, avšak jednotlivé denní expozice hluku se neliší o více než 10 dB v ekvivalentní hladině akustického tlaku. Jde o nejdráždivější formu hluku, které může být člověk vystaven v pracovním prostředí, především z dlouhodobého hlediska. Jde například o údery kladivem, sbíjecí kladiva, příklepové vrtačky, výstřely z pušek apod. [10]:

Škodlivé účinky hluku jsou problémem celého světa, proto pár zajímavých faktů z pracovního lékařství v evropském měřítku [21]:

- míře hluku, která může způsobit škody na zdraví je vystaveno až 40% evropské populace,
- nadlimitním hlukem vyšším než 65dB je zasaženo 100 000 000 obyvatel Evropské unie,
- prozatím vyčíslené škody způsobené nadměrným hlukem se odhadují na 13 - 28 miliard €,
- dlouhodobý vliv dopravního hluku je příčinou 3% všech úmrtí na srdeční selhání v Evropě,
- v našem hlavním městě trpí účinky nadlimitního hluku 7,6 % obyvatel (pře 90 000 lidí),
- v Berlíně žije 200 000 lidí v ulicích s překročenými hlukovými limity,
- v Dánsku je ROČNĚ hospitalizováno 800 - 2200 osob kvůli hluku a díky negativním reakcím těla, stresu a dalším účinkům hluku dojde ročně k 200 - 500 samovolným potratům.

1.2.1 Hluk v pracovním prostředí

Je to především pracovní prostředí, které je příčinou značných poruch sluchového aparátu způsobených škodlivými účinky hluku. Hlukem je ovlivněna i centrální nervová soustava, vegetativní

nervový systém a další základní funkce organismu. Historickým vývojem mechanizace výroby se značně zvýšila četnost pracovních míst v hlučném prostředí a tedy s rizikem poškození sluchu. Automatizací se však zároveň podařilo snížit počty pracovníků, kteří musí být vystaveni vysokým hladinám hluku. Paradoxem dnešní doby je, že se zaměstnavatelé snaží stále snižovat počty zaměstnanců, kteří pracují na rizikových pozicích, ale zároveň zvyšují výkon a účinnost strojů. To však ve většině případů přináší další hluk.

V dnešní době existuje mnoho legislativních opatření, ochranných pomůcek, povinností zaměstnavatelů i zaměstnanců, které mají zabezpečit správné pracovní podmínky.

Z profesionálního pohledu je sluch trvale ovlivněn posunem prahu slyšení v oblasti frekvence 4000 - 6000 Hz. K poškození sluchu může dojít dlouhodobým působením nebo jediným impulsem. V dnešní době jsou nejnebezpečnějšími impulsní hluk, vysokofrekvenční hluk a ultrazvuk.

1.2.2 Legislativa o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku

V České republice se problematikou hluku a jeho účinky zabývá několik právních předpisů:

- zákon č. **258/2000 sb.** o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů,
- nařízení vlády č. **272/2011 sb.** o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací,
- směrnice Evropského parlamentu a Rady **2003/10/ES** o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (hlukem).

Zákon č. 258/2000sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů je v některých detailech novelizován poměrně často, avšak nejdůležitějším doplňujícím právním předpisem je nařízení vlády č. 272/2011 sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, vydané podle § 108 odst. 3 zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. Je prováděcím právním předpisem tohoto zákona a zároveň ruší předchozí nařízení vlády č.148/2006 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací ze dne 15. 3. 2006.

Normativní požadavky v pracovním prostředí

Této diplomové práce se týká především §3, který se zabývá ustáleným a proměnným hlukem. Dále se pak impulsního hluku týká §4. Znění paragrafů je následující [4]:

§3 Ustálený a proměnný hluk

1. Přípustný expoziční limit ustáleného a proměnného hluku při práci vyjádřený
 - a) ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 85 dB, nebo
 - b) expozicí zvuku $A E_{A,8h}$ se rovná $3640 Pa^2s$, pokud není dále stanoveno jinak.
2. 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.
3. Hygienický limit ustáleného a proměnného hluku pro pracoviště ve stavbách pro výrobu a skladování, s výjimkou pracovišť uvedených v odstavci 2, kde hluk nevzniká pracovní činností vykonávanou na těchto pracovištích, ale je způsobován větracím nebo vytápěcím zařízením těchto pracovišť vyjádřený ekvivalentní

hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ se rovná 70 dB.

4. Hodnocení ustáleného a proměnného hluku podle průměrné expozice se provádí, pokud pracovní doba ve sledovaném období je proměnná nebo když se hladina hluku v průběhu sledovaného období mění, avšak jednotlivé denní expozice hluku se neliší o více než 10 dB v $L_{Aeq,8h}$ od výsledků opakovaných měření a při žádné z expozic není překročena hladina akustického tlaku L_{Amax} 107 dB.

5. Průměrná expozice hluku $L_{Aeq,w}$ se určí podle vztahu

$$L_{Aeq,w} = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{5} \left(\sum_{k=1}^n 10^{0,1 \cdot (L_{Aeq,8h})_k} \right) \right] \quad (1.16.)$$

kde n je počet směn během sledovaného období a $L_{Aeq,8h}$ je ekvivalentní hodnota akustického tlaku osmihodinové pracovní směny.

§4 Impulsní hluk

1. Přípustný expoziční limit impulsního hluku vyjádřený

a) ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,8h}$ se rovná 85 dB, nebo

b) expozicí zvuku $A E_{A,8h}$ se rovná 3640 Pa²s.

2. Přípustný expoziční limit impulsního hluku vyjádřený

a) špičkovým akustickým tlakem $C p_{Cpeak}$ se rovná 200 Pa, nebo

b) hladinou špičkového akustického tlaku $C L_{Cpeak}$ se rovná 140 dB.

3. Pro pracoviště podle § 3 odst. 2 a 3 platí hygienický limit impulsního hluku obdobně.

4. Hodnocení impulsního hluku podle průměrné expozice se použije, pokud pracovní doba ve sledovaném období je proměnná nebo když se hladina hluku v průběhu sledovaného období mění, avšak jednotlivé denní expozice hluku se neliší o více než 10 dB v ekvivalentní hladině akustického tlaku A od výsledků opakovaných měření a při žádné z expozic není překročena hladina maximálního akustického tlaku $A L_{Amax}$ 107 dB.

5. Výpočet průměrné týdenní expozice impulsního hluku se stanoví podle § 3 odst. 5.

1.2.3 Metodika měření

Při posuzování hluku na pracovištích se rozlišují měření hluku na pracovním místě, měření hluku v pracovním prostoru a měření hlukové zátěže jednotlivce. Měření na pracovním místě se provádí v případech, kdy se pracovník zdržuje převážně na jednom pracovním místě a zbývající expozice hluku je nepodstatná. Měření hluku v pracovním prostoru se uskutečňuje v případech, kdy je v pracovním prostoru rozmístěno větší množství obdobných zdrojů hluku a lidé při práci mění pracovní místa. Přímé měření hlukové zátěže jednotlivce se provádí v případech, kdy pracovník mění často pracovní místo a hluk na jednotlivých místech je značně rozdílný. Pro přímé měření hlukové zátěže se používají osobní hlukové expozimetry.

Citlivost sluchu není v závislosti na kmitočtu slyšitelného zvuku konstantní. Nejvyšší citlivost je v rozsahu kmitočtů 1 kHz až 4 kHz. Směrem ke krajním slyšitelným kmitočtům vně tohoto rozsahu pak citlivost sluchu výrazně klesá. Proto byly stanoveny kmitočtové váhové funkce označené A a C, které odpovídají kmitočtové závislosti fyziologie slyšení při středních a vysokých úrovních zvuku. Do měřicích

řetězce zvukoměru se vždy zařazuje váhový filtr A nebo C a výsledkem měření je pak hladina akustického tlaku A nebo C označená L_{pA} [dB]. Vlastní metody měření a hodnocení hluku a vibrací jsou obsaženy v českých technických normách ČSN ISO 1999, ČSN ISO 9612 a ČSN ISO 7196. Požadavky na zvukoměry jsou upraveny českými technickými normami ČSN EN 61672-1, -2 a -3.

K měření hluku v pracovním prostředí se používají konvenční zvukoměry vyhovující požadavkům ČSN IEC 651 a integrující - průměrující zvukoměry vyhovující požadavkům ČSN EN 60804 + A2. Všechna stanovená měřidla, používaná k měření hluku v pracovním prostředí, musí být vybavena platným ověřovacím listem. Akustické kalibrátory a pistonfony, používané k měření, musí být vybaveny kalibračním listem, jehož datum vydání není starší než 2 roky. Standardní metody měření hluku v pracovním prostředí se řadí do tří tříd přesnosti, přičemž výsledky měření se uvádějí včetně přidružených nejistot. Přesnost měření hluku vyplývá z třídy přístrojů a přesnosti použitých metod. Nejpřesnější jsou referenční měření hluku v 1. třídě přesnosti, kdy je celková nejistota do 1,6 dB včetně. V 2. třídě přesnosti se nejistota nachází v pásmu od 1,6 dB do 3 dB včetně. Nejméně přesná provozní měření hluku ve 3. třídě přesnosti pak vykazují nejistotu v pásmu od 3 dB do 8 dB včetně. Během měření byl použit hlukoměr s třídou přesnosti 1.

Důležitým faktorem je volba měřicího místa. Norma definuje několik velikostí odstupů. Vzdálenost mezi dvěma polohami mikrofonu nesmí být menší než 0,7 m, vzdálenost mezi mikrofonem a obvodovými stěnami nesmí být menší než 0,5 m a vzdálenost mezi mikrofonem a zdrojem zvuku menší než 1 m. Poloha mikrofonu by se měla pohybovat mezi 1,2 m až 1,5 m nad podlahou. Orientace mikrofonu se volí podle směru šíření zvuku. Směrem ke zdroji a nastavený na čelní úhel dopadu, se mikrofon umísťuje v případě, že je zdroj hluku znám. Svisle vzhůru a nastavený na náhodný úhel dopadu, se mikrofon umísťuje v případě, že zdroj hluku není znám. [20]

Měřicí místa a jejich počet se volí s ohledem na charakter akustického pole a využití místnosti. Měří se v místě předpokládaného pobytu osob. Délka měření se volí tak, aby v jeho průběhu byly zachyceny všechny typické hlukové situace, které se v místě vyskytují. Pokud během měření není zapojen korekční filtr A nebo C je nutné následně provést korekci naměřených hodnot dle patřičných koeficientů stejně, jako je provedena korekce u naměřených hodnot praktické části této diplomové práce.

1.2.4 Metody snižování hluku na pracovišti

Při omezování expozice hluku je potřeba se soustředit především na úpravu oblasti výroby a strojů. Opatření typu „zdržovat se v hlučném prostoru pouze po nezbytně nutnou dobu“ se v pracovním prostředí dá aplikovat pouze do určité míry a to v minimálním rozsahu. Je proto potřeba učinit i další opatření.

Základní metody snižování hluku lze rozdělit následovně [15] :

1. metoda – *Redukování hluku ve zdroji*

Krom odstranění samotného zdroje hluku lze omezit hlučnost daného stroje. Opatření omezení hluku ve zdroji musí být zohledněna již při konstrukci stroje či technologie, následná dodatečná opatření jsou drahá a málo účinná. Díky technickému vývoji strojů se hluk strojů zvyšoval s požadavky rostoucího výkonu a nižší hmotnosti a hlučnost stroje se v minulosti stala i známkou kvality.

2. metoda – *Metoda dispozice*

Tato metoda se zakládá na vhodném umístění zařízení a strojů v daném pracovním prostředí, případně oddělení celých hlučných prostorů od chráněných a méně hlučných. Toto opatření je nejlepší zohlednit také již při počátcích výroby nejlépe při územním plánování a projekci daného závodu, dopravních tepen, letišť atd. Hluk z těchto prostorů totiž nemusí ovlivňovat pouze pracovníky daných podniků nebo uživatele, ale vysílané zvuky a hluk může značně ovlivňovat okolí těchto budov a komunikací (školy, nemocnice atd.)

3. metoda – *Metoda izolace*

Izolační metoda se využívá především ve stavební akustice a spočívá v odizolování hlučného zařízení nebo celého hlučného prostoru. Ve strojírenství se tato metoda využívá, pokud již není možnost efektivního snížení hluku přímo ve zdroji. Navrhují se tedy izolační kryty, zástěny, apod. Jejich cílem je bránit šíření hluku do okolních prostor.



Obr. č. 2 – Izolační kryt výrobního stroje s možností přístupu [16]

4. metoda – *Aplikace poznatků prostorové akustiky*

Prostorová akustika sleduje především zvukovou pohltivost, což je vlastnost některých konstrukcí, materiálů a hmot. Jak již pojmenování vlastnosti naznačuje, hlavním úkolem opatření je pohlcovat akustickou energii a měnit ji na tepelnou. Využití této metoda nachází v akusticky náročných prostorech při snižování hluchnosti uvnitř prostoru.



Obr. č. 3 – Izolace stěn proti hluku pomocí lehkých dutých cihel [16]

5. metoda – *Používání osobních ochranných pomůcek*

Tato metoda se uplatňuje při neúspěchu, nemožnosti realizace opatření nebo nedostatečném odhlučnění z předcházejících metod snižování expozice hluku. Tyto ochranné pomůcky jsou různé ucpávky zvukovodu, sluchátkové chrániče či speciální přilby. Zaměstnavatel je povinen zajistit ochranné pomůcky všem pracovníkům, kteří se v nadměrně hlučném prostředí zdržují, nařídit jejich užívání a poučit je o jejich užívání a následcích při neuposlechnutí.



Obr. č. 4 – Používání ochranných pomůcek spolu s výstražným značením [12]

Nejlepšího výsledku omezení expozice hluku ovšem samozřejmě dosáhneme kombinací těchto metod v maximální možné míře s co nejnižším ekonomickým zatížením podniku.

2 Vliv hluku na organismus člověka

Hluk je jedním z faktorů, u kterého byl prokázán epidemiologický vztah expozice a jeho účinků na lidské zdraví. V dnešní moderní společnosti jde o jeden z prvořadých problémů životního prostředí, kdy tento škodlivý zvuk může rušit vnímání jiných důležitých signálů.

2.1 Sluchový vjem

Lidské ucho je složitá soustava, velmi citlivý přijímač reagující i na sebemenší změny akustického tlaku. Dochází v něm k zachycování a zpracování zvukových signálů, které jsou přeměněny na nervové vzruchy. Z anatomického hlediska se sluchové ústrojí dělí na vnější, střední a vnitřní ucho.

Podstatou sluchu je transformace mechanických zvukových vln na elektrické signály. Je jedním z našich pěti smyslů založených na zpracování a vedení (percepci) akustických podnětů.

Proces slyšení neboli sluchového vnímání začíná u vnějšího ucha. Vnější ucho přijme přes boltec zvukové vlny a ty dále pokračují zvukovodem ke střednímu uchu. Zvuková vlna se dostane k bubínku a ten je jejím působením přiveden ke kmitání. Kmity bubínku se přenesou středoušními kůstkami, kde dojde díky kloubnímu spojení rovněž k pohybu a třmínek přenáší vzruch k okénku vnitřního ucha, které je pokryto blánou – basální membránou. Rozkmitáním této blány se vlny dostanou do kostěného labyrintu, kde je rozkmitána tekutina perilymfa a kmity se přenášejí dál do blanitého hlemýžďe a tím do endolymfy. Zde se změni kmity na nervový vzruch, který je díky Cortiho orgánu a jeho vláskovým buňkám (receptorům) veden sluchovým nervem do mozkové kůry a sluchového centra ve spánkovém laloku – tím vzniká **sluchový vjem**.

2.2 Účinky hluku na člověka

Základním cílem účinku hluku je aktivace, která pomáhá usnadňovat adaptaci na jinou zátěž. Pokud je však míra intenzity podnětu překročena, zvukové podněty přecházejí v zátěž, vyvolávající stres či bolest, a jsou následovány charakteristickou nespecifickou adaptační reakcí.

Změny sluchového analyzátoru způsobené hlukem mohou být dvojího druhu:

- **Reverzibilní** neboli zpočátku vratné změny jsou označovány i jako *sluchová únava*, projevující se dočasným zvýšením prahu slyšení. Rehabilitace z těchto účinků může trvat několik minut, hodin i dní.
- **Ireverzibilní** neboli nenávratné změny vznikají při opakovaném či dlouhodobém působení hluku, jelikož buňky ztrácejí svou citlivost na vzruchy z vnějšího prostředí a tím zanikají. Je-li hluk kombinován s dalšími vlivy (vibrace, toxické látky,...), smyslové buňky zanikají rychleji a ve větším množství. Nejhorší je však skutečnost, že tyto buňky nemají schopnost regenerace, proto jsou tato rozsáhlá poškození sluchu nevratná a buňky nenahraditelné.

Ke ztrátě sluchu však dochází i samovolně a to během celého života. S přibývajícím věkem, ubývá funkčních smyslových buněk a dochází tak ke snížení citlivosti - ostrosti sluchu.

Škodlivost působení hluku je závislá na dvou základních fyzikálních parametrech. Jde o hladinu intenzity zvuku, frekvenční složení a o časové parametry, především nástup, trvání, opakování a odeznění daného zatěžujícího zvuku. [20]

Specifické a systémové účinky hluku

Hluk může ovlivňovat rozsáhlé spektrum funkcí organismu. Příčinou toho je dvojitý zpracování průchodu akustického podnětu nervovými drahami a centry. Je zpracováván jako specifická informace i nespecifické podráždění, které přispívají k regulaci nervového systému. Účinky hluku můžeme proto rozdělit na specifické neboli přímé a na nespecifické neboli systémové.

a) Specifické účinky

Tyto negativní účinky hluku působí přímo na sluchové ústrojí a projevují se poruchou činnosti sluchového analyzátoru. Poruchy, týkající se specifických účinků hluku:

- sluchová adaptace, sluchová únava, ztráta sluchu – jde o dočasné, krátkodobé nebo trvalé poruchy sluchového aparátu, zvýšeného prahu slyšení – a akustické trauma,
- periferní a centrální maskování užitečných signálů rušivým hlukem – poruchy srozumitelnosti a přenosu akustického podnětu a informace,
- motorické poruchy – vznikají přenosem podráždění zvukovou vlnou na polokruhovitě kanálky rovnovážného ústrojí.

b) Systémové účinky

Systémové účinky hluku se projevují změnami funkce některých oddílů centrální nervové soustavy, avšak v jiných, než ve sluchovém orgánu a sluchovém centru. Nezáleží však na tom, zda akustická informace prošla zvukovodem – sluchovou dráhou – či po nervových vláknech.

Poruchy, týkající se systémových účinků hluku, které lze rozlišit dle ovlivnění jednotlivých funkcí a systémů organismu člověka:

- změny hormonálních hladin a jejich metabolitů na úrovni imunitních procesů – neurohumorální regulace,
- zvýšení svalového tonu, vlivněji placenty, motilita zažívacích orgánů, změna tlakových poměrů toku krve – neurovegetativní regulace,
- změna biochemických reakcí – hospodaření se živinami (vápník, hořčík),
- ovlivnění kvality a délky spánku, změny v usínání, zpomalené obranné a další reflexy – regulace podráždění a útlum centrální nervové soustavy,
- zhoršení prostorové koordinace těla, změna smyslově motorických funkcí – ovlivnění motorických funkcí, zhoršení smyslového vnímání prostoru a barev.

Komplexní systémové účinky zapříčiňující tzv. zvláštní stav organismu:

- nepřiměřená zátěž podnětů – snížená výkonnost, únava, nespecifické somatické příznaky,
- emocionální nevyrovnanost – rozmrzelost, citlivost, chaotičnost, stavy úzkosti,
- poruchy sociálních interakcí – nesnášenlivost, porucha kooperativního jednání,
- urychlení nebo spuštění patogenetického děje. [8]

3 Návrh opatření pro snížení hluku na pracovišti

3.1 Popis pracoviště

Praktická část této diplomové práce se týká návrhu řešení odhlučnění pracoviště ve výrobní hale společnosti, zabývající se odvětvím těžkého průmyslu v energetice. Hala je rozdělena na několik polí pomocí uliček.

Pracoviště, jehož se týká diplomová práce, je zaměřeno na klepání labyrintových plechů, které je prováděno pomocí pneumatického kladiva na upínací kostce. Tato činnost je obecně hodnocena jako velmi hlučná. Hluk, vznikající při této činnosti, je charakterizován jako impulsní. Nejedná se však o soustavnou činnost, kterou pracovník provádí po celou pracovní dobu, celý pracovní měsíc a více. Pracovník je během výkonu činnosti chráněn použitím osobních ochranných pomůcek. Problémem je však hluk, šířící se do prostoru výrobní haly.



Obr. č. 5 – Pracovník během rozklepávání labyrintových plechů

V současné době má kolem sebe pracovník umístěny tři mobilní zástěny ve tvaru písmene „U“. Dolní část zástěn, do výšky 1 m, je z plechu o tloušťce 1 - 1,5 mm, strana, přivrácená ke zdroji hluku, je hladká a odrazivá. Zbývající část do výšky 2 m je z plexiskla, umístěného v rámu. Tento typ zástěn je vysoce odrazivý a z hlediska omezení šíření hluku do prostoru haly jde o nevyhovující řešení.

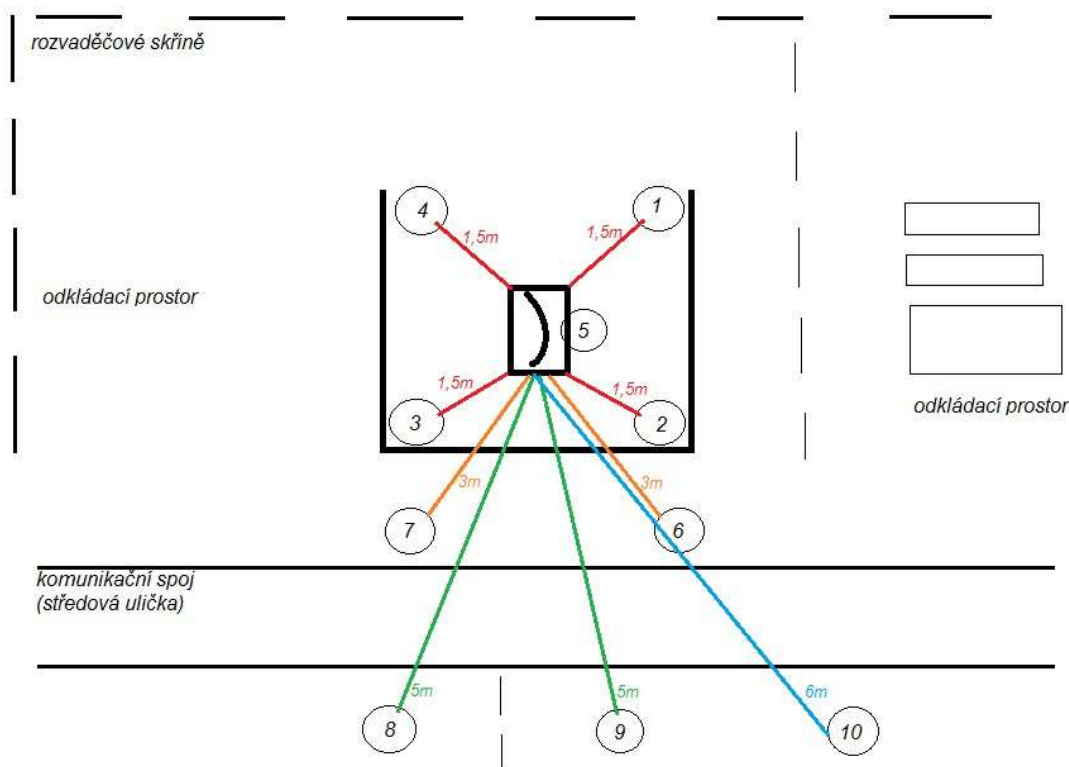


Obr. č. 6 – Současná podoba provizorního odhlučnění

3.2 Měření

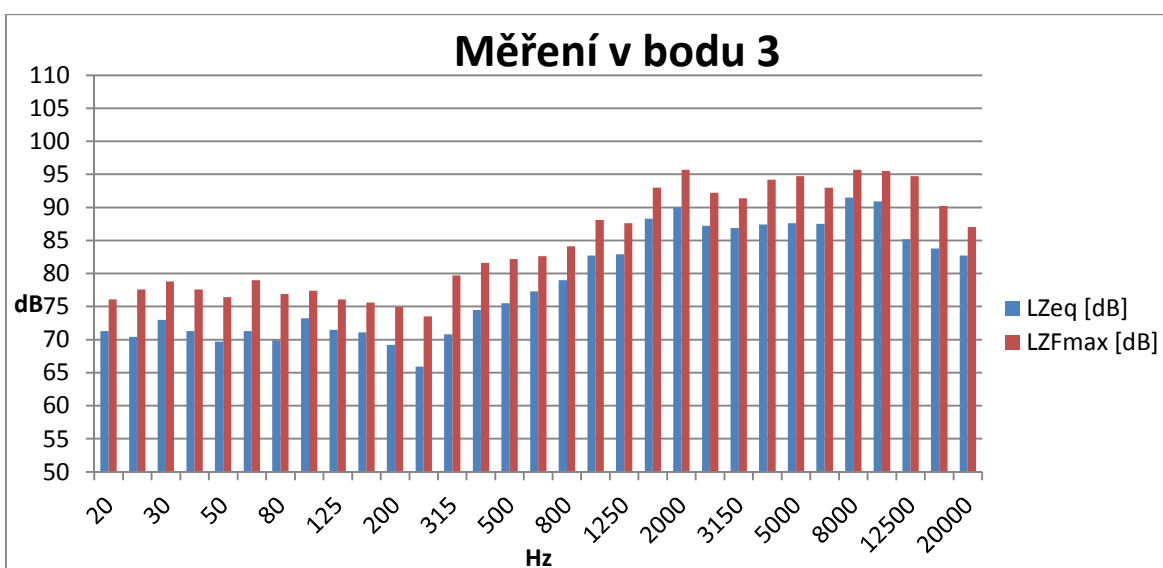
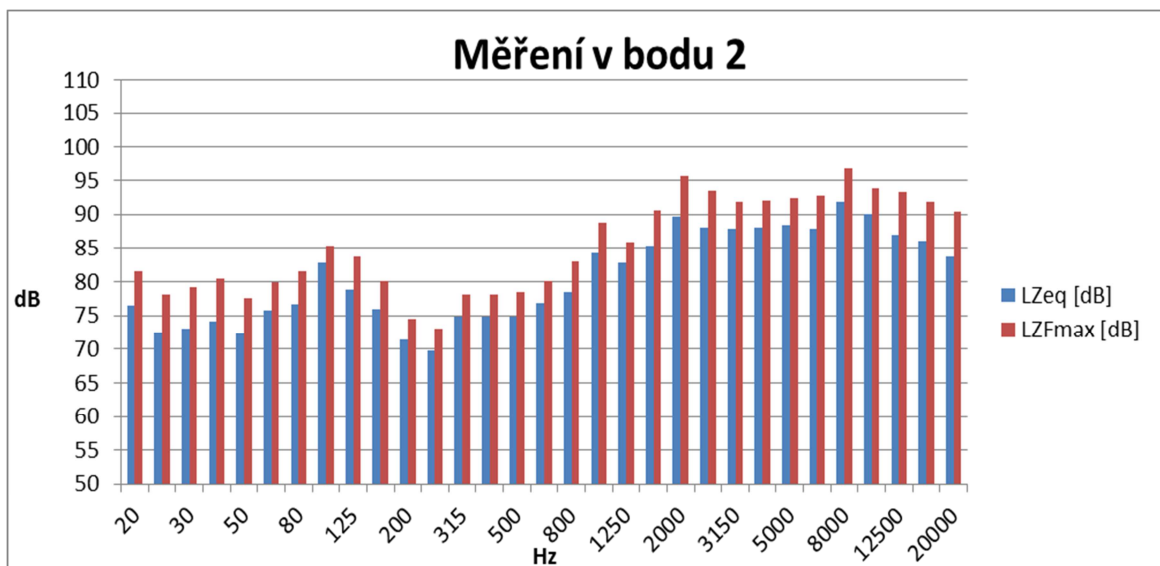
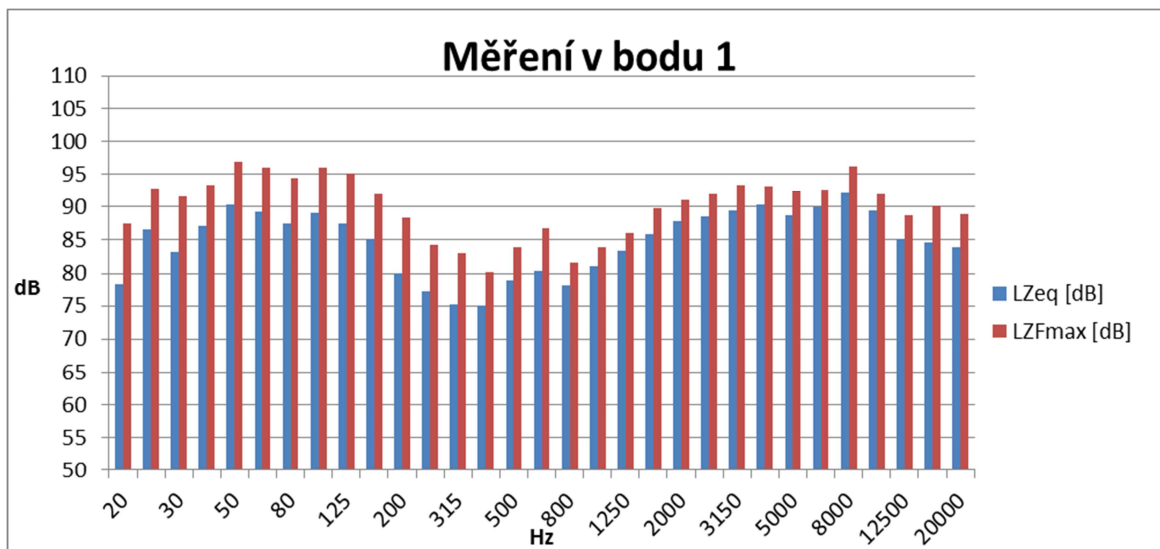
Měření hluku bylo provedeno v deseti bodech v okolí zdroje hluku a každé trvalo 30 vteřin. Tato doba měření byla stanovena jako reprezentativní pro dobu trvání pracovní činnosti z již zmíněného důvodu, že se tato činnost neprovádí po celou pracovní dobu. Místa měření byla vybrána s ohledem na samotného pracovníka i možný pohyb a práci dalších zaměstnanců (po konzultaci s vedoucím pracovníkem firmy).

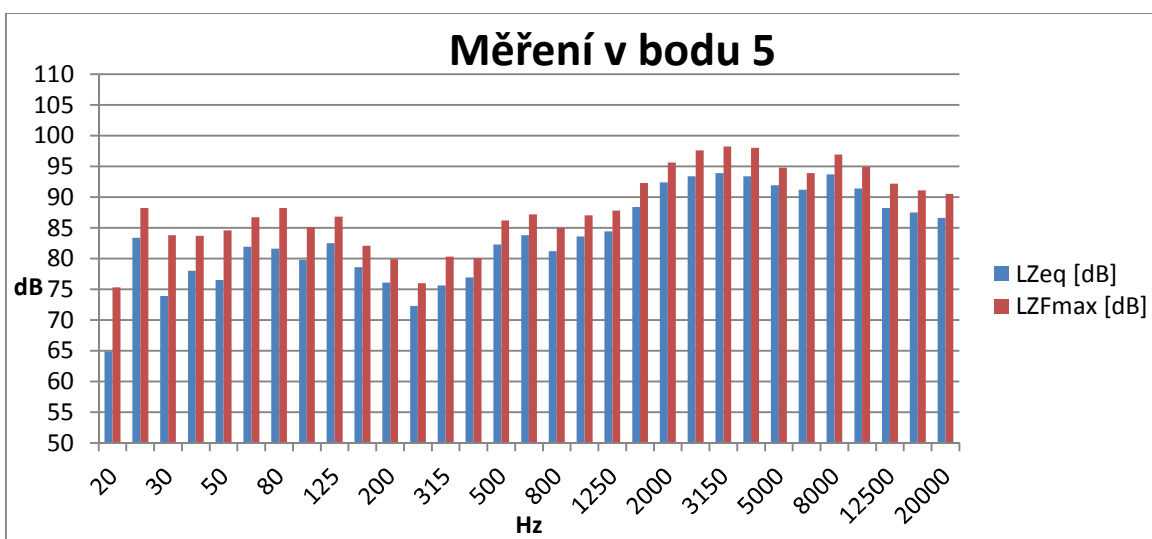
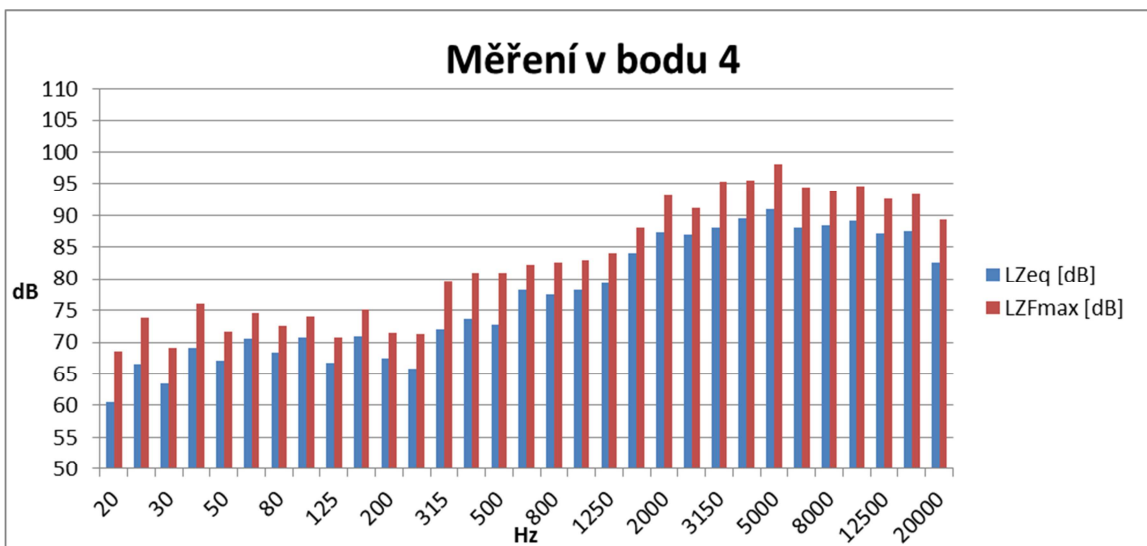
K měření byl použit zvukoměr NTi Audio XL2 – analyzátor pro akustiku zapůjčený Západočeskou univerzitou v Plzni. Přístroj byl umístěn ve výšce 1,2 m nad zemí a ve vzdálenostech znázorněných v obrázku č. 7. Měření bylo realizováno ve frekvenčním pásmu 20 Hz – 20 kHz a nebyl zde použit váhový filtr. Hodnoty jsou znázorněny v třetinooktávových pásmech.



Obr. č. 7 – Grafické znázornění měřících bodů

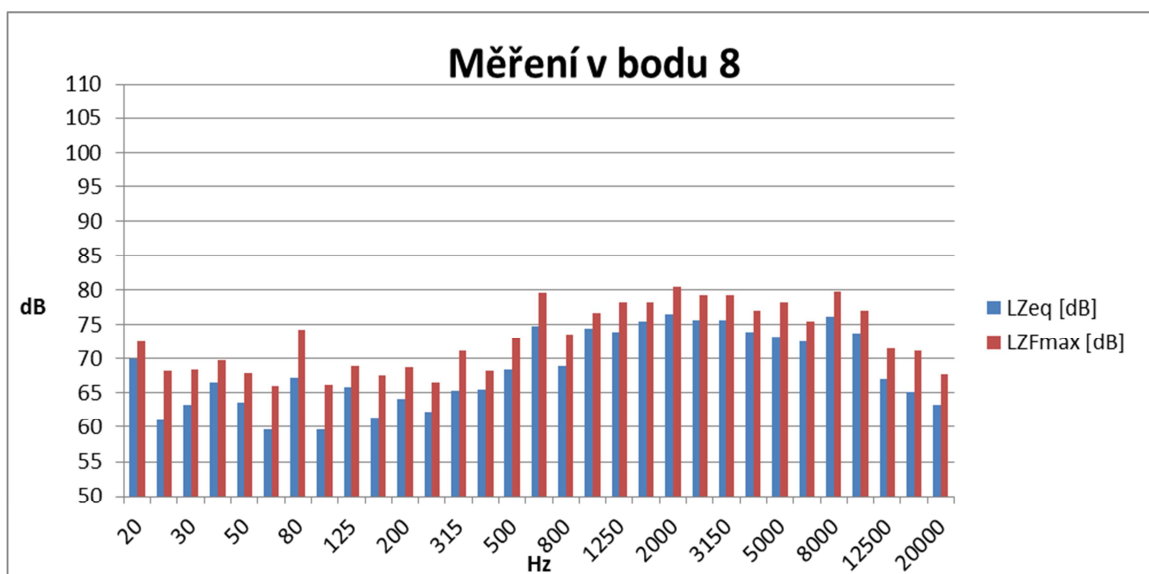
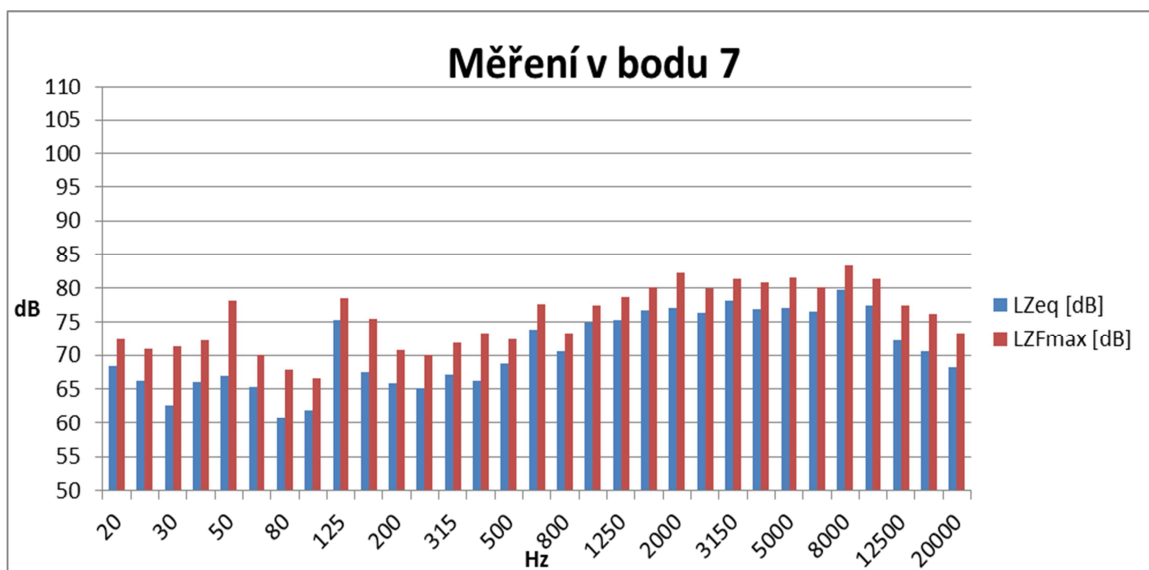
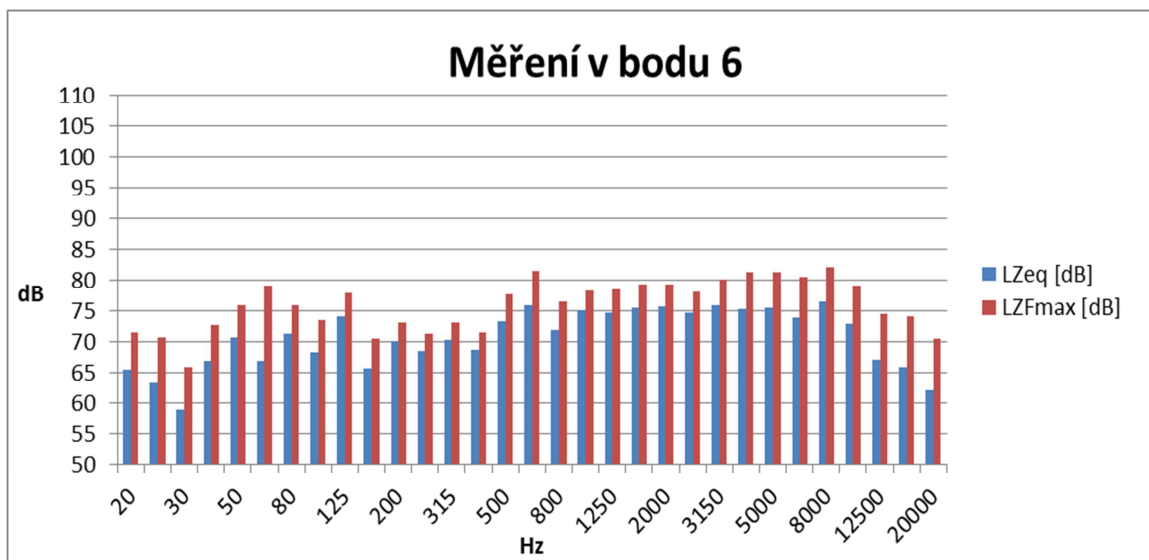
Jak je patrné z nákresu, prvních pět měření bylo provedeno uvnitř mobilních zástěn, tedy ve vysílacím prostoru. Z měření byly získány hodnoty akustického tlaku a ty jsou graficky znázorněny v následujících grafech:

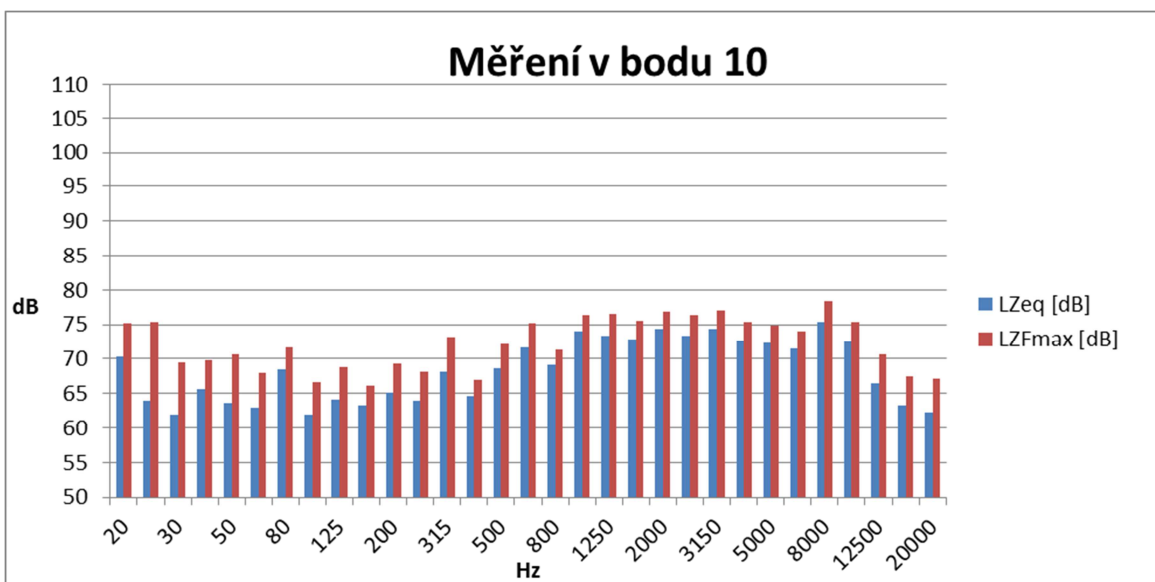
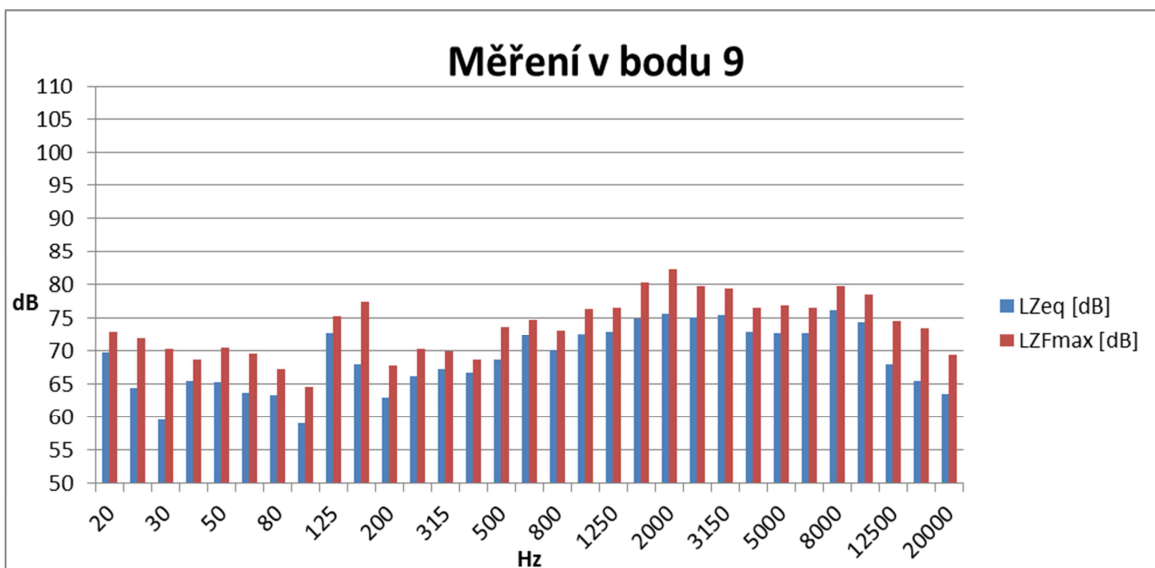




Grafy č. 1 až 5 – Frekvenční spektrum L pro měření v bodech 1 až 5

Měření v bodech 6 - 10 probíhalo již z vnější strany zábran směrem ke středové uličce. Naměřené hodnoty akustického tlaku jsou vyobrazeny v následujících grafech:





Grafy č. 6 až 10 – Frekvenční spektrum L pro měření v bodech 6 až 10

Měřicí body 6 až 10 se označují jako přijímací prostor. Na základě výsledků měření je potřeba stanovit útlum pro body 6 a 7, ve kterých je hladina hluku největší. V tabulce č. 4 jsou uvedeny průměrné hodnoty akustického tlaku v bodech 6 a 7 po korekci váhovým filtrem A, který odpovídá lidskému uchu. Pro potřeby výpočtu nám postačí omezit se pouze na frekvenční pásmo 0,1 – 10kHz.

Tabulka č. 4 – Vypočtené průměrné hodnoty v bodech 6 a 7

f [Hz]	Průměrné hodnoty bez váhového filtru A		korekční hodnoty [dB]	Průměrné hodnoty s koeficientem váhového filtru A	
	L_{max} pro 6. a 7.	L_{eq} pro 6. a 7.		L_{Amax} pro 6. a 7.	L_{Aeq} pro 6. a 7.
100	71,3	66,2	-19,1	52,2	47,1
125	78,2	74,7	-16,1	62,1	58,6
160	73,6	66,6	-13,4	60,2	53,2
200	72,1	68,4	-10,9	61,2	57,5
250	70,7	67,1	-8,60	62,1	58,5
315	72,5	69,0	-6,6	65,9	62,4
400	72,4	67,7	-4,8	67,6	62,9
500	75,8	71,6	-3,2	72,6	68,4
630	79,9	74,9	-1,9	78,0	73,0
800	75,1	71,2	-0,8	74,3	70,4
1000	77,9	75,0	0,0	77,9	75,0
1250	78,6	75,0	0,6	79,2	75,6
1600	79,7	76,1	1,0	80,7	77,1
2000	80,9	76,4	1,2	82,1	77,6
2500	79,1	75,6	1,3	80,4	76,9
3150	80,7	77,1	1,2	81,9	78,3
4000	81,1	76,1	1,0	82,1	77,1
5000	81,4	76,3	0,5	81,9	76,8
6300	80,3	75,4	-0,1	80,2	75,3
8000	82,7	78,4	-1,1	81,6	77,3
10000	80,3	75,7	-2,5	77,8	73,2

Výsledná hladina akustického tlaku se stanovuje součtem dílčích hladin pro jednotlivé frekvence dle následující rovnice:

$$L_I = 10 * \log \sum_{i=1}^n (10^{0,1 * L_i}) \quad (3.1.)$$

Dosažením do této rovnice se dostáváme k výsledným hodnotám hladin akustického tlaku, uvedených v tabulce č. 5:

Tabulka č. 5 – Výsledné hodnoty L v bodech 6 a 7

Výsledná L bez váhového filtru A		Výsledná L s váhovým filtrem A	
L_{\max} pro 6. a 7.	L_{eq} pro 6. a 7.	$L_{A\max}$ pro 6. a 7.	$L_{A\text{eq}}$ pro 6. a 7.
91,9 [dB]	87,7 [dB]	91,6 [dB]	87,4 [dB]

Tím jsme tedy získali hladinu hluku v přijímacím prostoru převáženou váhovým filtrem A, což bylo naším cílem.

3.3 Ideový návrh protihlukových opatření

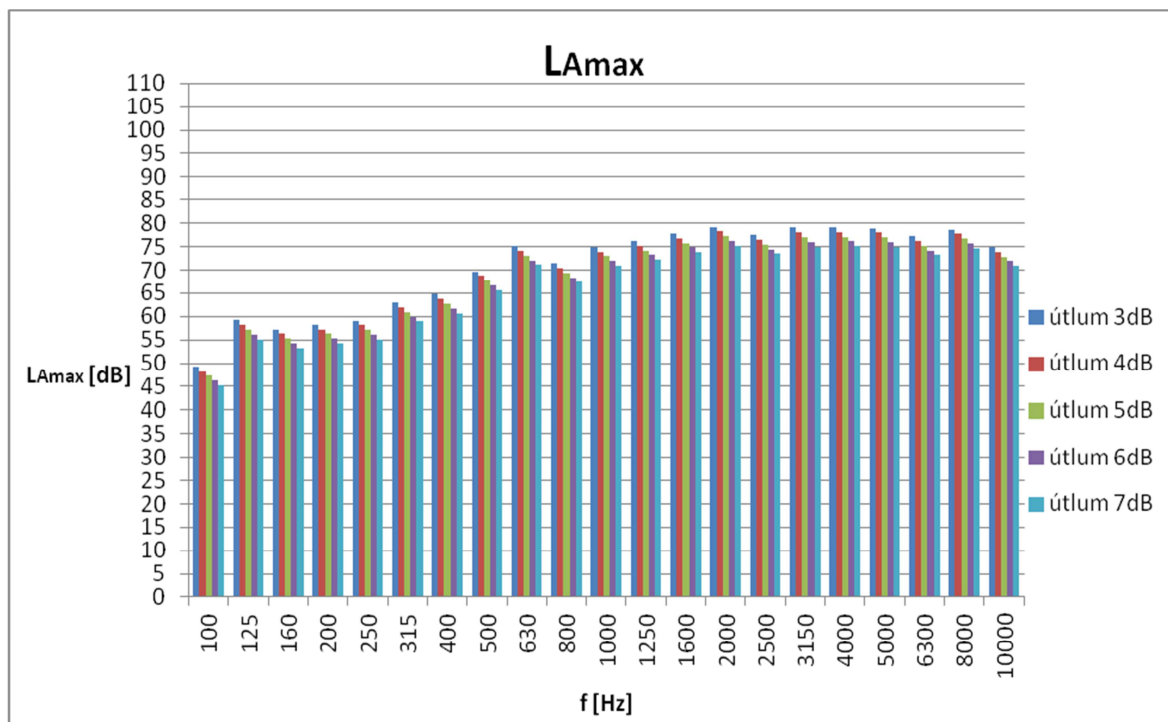
Abychom mohli stanovit možná protihluková opatření a přiblížili se jejich návrhu, je nutné, abychom nejprve zjistili, jaký charakter musí takového opatření vůbec mít. Z tohoto důvodu je potřeba určit nutný útlum (neboli neprozvučnost), který dané opatření musí splňovat a garantovat tak utlumení hluku v přijímacím prostoru pod hranici hygienického limitu 85 dB.

Následující tabulka zobrazuje, jak se změní výsledná hladina hluku v přijímací oblasti měřících míst 6 a 7 pro různé varianty útlumu hluku. Výpočet byl proveden pouze pro maximální hodnoty korigované váhovým filtrem A.

Tabulka č. 6 – Vliv útlumu na L_{Amax}

f [Hz]	útlum 0dB	útlum 3dB	útlum 4dB	útlum 5dB	útlum 6dB	útlum 7dB	útlum 8dB	útlum 9dB	útlum 10dB
100	52,2	49,2	48,2	47,2	46,2	45,2	44,2	43,2	42,2
125	62,1	59,1	58,1	57,1	56,1	55,1	54,1	53,1	52,1
160	60,2	57,2	56,2	55,2	54,2	53,2	52,2	51,2	50,2
200	61,2	58,2	57,2	56,2	55,2	54,2	53,2	52,2	51,2
250	62,1	59,1	58,1	57,1	56,1	55,1	54,1	53,1	52,1
315	65,9	62,9	61,9	60,9	59,9	58,9	57,9	56,9	55,9
400	67,6	64,6	63,6	62,6	61,6	60,6	59,6	58,6	57,6
500	72,6	69,6	68,6	67,6	66,6	65,6	64,6	63,6	62,6
630	78,0	75,0	74,0	73,0	72,0	71,0	70,0	69,0	68,0
800	74,3	71,3	70,3	69,3	68,3	67,3	66,3	65,3	64,3
1000	77,9	74,9	73,9	72,9	71,9	70,9	69,9	68,9	67,9
1250	79,2	76,2	75,2	74,2	73,2	72,2	71,2	70,2	69,2
1600	80,7	77,7	76,7	75,7	74,7	73,7	72,7	71,7	70,7
2000	82,1	79,1	78,1	77,1	76,1	75,1	74,1	73,1	72,1
2500	80,4	77,4	76,4	75,4	74,4	73,4	72,4	71,4	70,4
3150	81,9	78,9	77,9	76,9	75,9	74,9	73,9	72,9	71,9
4000	82,1	79,1	78,1	77,1	76,1	75,1	74,1	73,1	72,1
5000	81,9	78,9	77,9	76,9	75,9	74,9	73,9	72,9	71,9
6300	80,2	77,2	76,2	75,2	74,2	73,2	72,2	71,2	70,2
8000	81,6	78,6	77,6	76,6	75,6	74,6	73,6	72,6	71,6
10000	77,8	74,8	73,8	72,8	71,8	70,8	69,8	68,8	67,8

L_{Amax} prům [dB]	91,6	88,6	87,6	86,6	85,6	84,6	83,6	82,6	81,6
----------------------------	------	------	------	------	------	-------------	------	------	------



Graf č. 11 – Snížení L_{Amax} v závislosti na útlumu

Dle platné legislativy je maximální dovolená hladina akustického tlaku 85 dB. Při pohledu do grafu a tabulky je patrné, že je třeba nejvíce tlumit střední frekvence v pásmu 1 – 10 kHz a to o 7 dB. Při této hodnotě útlumu bude v přijímacím prostoru hladina hluku pod 85 dB a bude vyhovující pro hygienické a bezpečnostní předpisy.

3.4 Návrhy opatření

Nejjednodušším a nejlevnějším opatřením je využití osobních ochranných pomůcek, tedy ucpávek do uší, jejichž cena se při velkoodběru pohybuje v rámci korun za kus. Vzhledem k nepravidelnosti výkonu práce na daném pracovišti a zvýšenému pohybu osob v okolí, vyplývá z tohoto opatření několik problémů. Nastávala by situace, kdy pracovník musí použít OOPP i při pouhém procházení okolo inkriminovaného pracoviště. Tím by docházelo k potenciálnímu ohrožení pracovníků, kteří by nemuseli být schopni reagovat na pokyny obsluhy jeřábu, který v této oblasti velmi často pracuje. Právě z důvodu nutnosti použití OOPP pro všechny osoby, pohybující se po výrobní hale, je tento způsob nevhodným.

Je tedy nutné navrhnout odhlučnění daného pracoviště. Pro výběr vhodného materiálu je důležitým faktorem tzv. činitel zvukové pohltivosti α . Jedná se o bezrozměrnou veličinu, která udává poměr mezi intenzitou zvuku, pohlcenou v materiálu, a intenzitou zvuku na materiál dopadající. Pro izolační materiály jsou definovány hodnoty tohoto činitele pro jednotlivé frekvence. Na základě hodnot, získaných měření, byla jako izolační materiál vybrána deska z minerální vlny tloušťky 100mm, která má právě v pásmu 1 kHz a více činitel pohltivosti roven 1.

Tabulka č. 7 – Hodnoty činitele pohltivosti α pro vybrané materiály

oktávové pásmo (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
beton	0,02	0,02	0,02	0,02	0,03	0,04
sádkartón na sloupcích	0,2	0,15	0,1	0,08	0,05	0,05
okna	0,35	0,25	0,18	0,12	0,07	0,04
50-mm deska z minerální vlny	0,2	0,65	1,0	1,0	1,0	1,0
100-mm deska z minerální vlny	0,45	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0

Po konzultaci s vedoucím pracovníkem společnosti, byly vzneseny následující požadavky a parametry, ke kterým je nutné přihlídnout při návrhu odhlučňovacího krytu:

- Protihluková kabina s možností přemístění po dílně pomocí jeřábu apod. (mobilní)
- Kabina bude umístěna v dílně.
- Vnitřní rozměry cca 200 x 200 cm, výška 250 cm.
- Uvnitř kabiny prostor pro upínací kostku 60 x 90 cm a paletu s materiálem (124 x 84cm).
- Průchod min 100 x 200 cm, bez zámků.
- Nucená výměna vzduchu min. 70 m³/hod.
- **Akustická garance v okolí kabiny ve vzdálenosti 1m – pod přípustným hlukovým limitem 85 dB.**
- Případné vybavení kabiny:
 - rozvaděč 230V 16A,
 - osvětlení vnitřního prostoru zářivkou + vypínač,
 - rychlospojka pro napojení tlakového vzduchu případně průchodka pro tlakovou hadici,
 - zásuvka 230 V.

V úvahu lze tedy vzít následující možnosti řešení akustického krytu:

1. Akustická kabina

Prvním návrhem řešení je kompletní akustický kryt, složený z nosné konstrukce a stěn z již zmíněné akusticky pohltivé minerální vlny. Součástí krytu musí být veškeré zařízení včetně dveří, oken, elektroinstalace, osvětlení, přívodu tlakového vzduchu pro pneumatické kladivo, ventilace pro zajištění požadované výměny vzduchu min 70m³/hod dle hygienických limitů apod. Vzhledem k potřebě zavážet dovnitř materiál přináší další náklady instalace velkých akustických dveří.

Stanovení parametrů kabiny:

Vycházíme z požadavků na rozměry kabiny, tedy 2,2 x 2,2 m v půdorysu. Výška kabiny se volí několikanásobně větší než vlnová délka zvuku. Pro frekvenci 1 kHz platí:

$$\lambda = \frac{c}{f} = \frac{340}{1000} = 0,34m \quad (3.2)$$

Vzhledem k maximální dovolené výšce byla zvolena výška 2,7 m, což odpovídá osminásobku vlnové délky.

Ze stanovených rozměrů (2,2; 2,7; 2,2 m) a zvoleného materiálu lze stanovit celkovou zvukovou pohltivost A dle vztahu:

$$A = \sum \alpha_x * S_x \quad (3.3)$$

Pro minerální vlnu $\alpha = 1$. Výsledná pohltivost kabiny je tedy:

$$A = 1 * 4 * 2,2 * 2,7 + 1 * 2,2 * 2,2 = 28,8m^2 \quad (3.4)$$

Ze získané hodnoty pohltivosti lze stanovit hodnotu akustického tlaku v přijímacím prostoru ze vzorce:

$$L_p = L_v + 10 \log\left(\frac{4}{A}\right) \quad (3.5)$$

Celkový útlum lze stanovit jako:

$$\Delta L = L_v - L_p \quad (3.6)$$

Dosažením lze vypočítat útlum ze vztahu:

$$\Delta L = 10 \log\left(\frac{4}{A}\right) = 10 \log\left(\frac{4}{28,8}\right) = -8,6dB \quad (3.7)$$

Navrhovaná varianta tedy splňuje požadovanou hodnotu útlumu minimálně 7dB. Tato varianta představuje nejefektivnější, ale zároveň finančně nejnáročnější řešení. Odhadnout cenu jakéhokoliv řešení je problém, jelikož při oslovení tří firem se částky diametrálně liší až několikanásobně. Průměrný odhad realizace této varianty odhlučnění pracoviště činí cca 300.000 Kč.

2. Akustické mobilní zástěny

Pro návrh mobilních zástěn bez zastřešení použijeme stejný výpočet jako při návrhu akustické kabiny u varianty č. 1 s drobnými úpravami.

Stanovení parametrů kabiny:

Vlnovou délku jsme určili již při řešení varianty č. 1. Vlnová délka pro frekvenci 1 kHz je tedy $\lambda = 0,34m$.

Výška zástěn je určena jako mnohonásobek vlnové délky pro dostatečné odhlučnění. Osminásobek vlnové délky, jako v předchozím případě, by měl být dostačující:

Ze stanovených rozměrů (2,2; 2,7; 2,2 m) a materiálu lze stanovit celkovou pohltivost A.

$$A = \sum \alpha_x * S_x \quad (3.8)$$

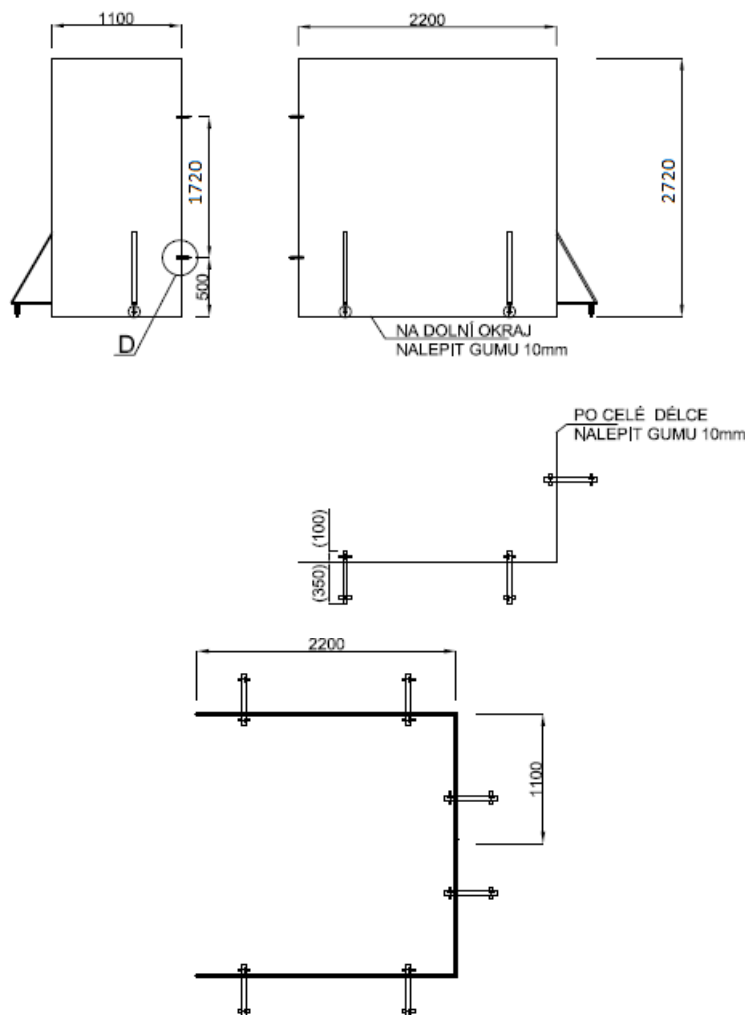
Pro minerální vlnu $\alpha = 1$. Výslednou pohltivost zástěn bez střechy získáme ze vztahu:

$$A = 1 * 4 * 2,2 * 2,7 = 23,9m^2 \quad (3.9)$$

Ze získané hodnoty pohltivosti lze vypočítat úbytek dosažením do vzorce:

$$\Delta L = 10 \log\left(\frac{4}{A}\right) = 10 \log\left(\frac{4}{23,9}\right) = -7,8dB \quad (3.10)$$

I pro toto řešení je splněna podmínka minimálního útlumu 7dB. Návrh odhlučnění předpokládá použití mobilních zástěn s kolečky s možností pevného spojení pomocí spon. Pro usnadnění manipulace a případnou možnost skladování, navrhuji sestavit kabinu ze dvou mobilních částí tvaru „L“ a jedné rovné deskové, která poslouží jako dveře. Osvětlení pracovního prostoru bude řešeno jako mobilní, stejně tak, jako přípojky na rozvodnou síť a tlakový vzduch.



Obr. č. 8 – Výkres nově navrhovaného odhlučnění pomocí systému zástěn

Vnější část bude plechová. Vnitřní stěna kabiny bude obložena absorpčními panely, z již zmíněné minerální vlny, tloušťky 100mm. Vzhledem k probíhající činnosti uvnitř kabiny je nutné přes izolační materiál položit desku děrovaného plechu tloušťky 1 mm. Ten poslouží jako mechanická ochrana izolačního materiálu před poškozením.

Opět nelze přesně určit cenu tohoto řešení z důvodu diametrálních rozdílů nabídek firem. Po konzultaci by se odhadovaná cena tohoto opatření mohla pohybovat okolo 100.000 Kč včetně prací. Z ekonomického hlediska i splnění požadavků společnosti se dle mého názoru jedná o nejlepší řešení odhlučnění daného pracoviště.

Závěr

Cílem práce bylo seznámit se s problematikou hluku na pracovišti, jeho vlivem na zdraví pracovníků a možnostmi jeho eliminace. V úvodu seznamuje s fyzikální podstatou zvuku a základními veličinami. Dále pak osvětluje způsob vnímání zvuku sluchovým aparátem a nebezpečí, která může přinášet zvýšená hladina hluku. Stručně jsou shrnuty i legislativní předpisy a metodika měření zabývající se hlukem.

V praktické části je řešeno odhlučnění pracoviště výroby labyrintových plechů ve strojírenském podniku. Na určeném pracovišti proběhla série měření za účelem stanovení hladiny hluku v místě výkonu činnosti a také hladiny hluku, která se šíří do prostoru a ovlivňuje další pracovníky. Z výsledků měření je patrné, že pro dodržení zákonných limitů je nutné navrhnout odhlučnění s minimálním útlumem 7 dB pro střední frekvence v pásmu 1 – 10 kHz.

Na základě výsledků měření bylo zadávající společností dodatečně specifikováno několik upřesňujících požadavků na protihluková opatření, ke kterým muselo být během návrhů řešení přihlédnuto. Z toho důvodu se jako nejlepší možnost jeví odhlučnění mobilními protihlukovými zástěnami, které jsou v případě potřeby snadno postaveny i přemístěny. Na závěr bylo nutné zhodnotit ekonomickou náročnost jednotlivých opatření. Vzhledem k diametrálním rozdílům nabídek jednotlivých firem, nelze s přesností určit náklady. Navrhnuta byla ideová řešení, která byla orientačně vyčíslena. Na základě porovnání jednotlivých návrhů z hlediska náročnosti i nutné finanční investice, byl stanoven průměr možné ceny nejlepšího řešení protihlukového opatření na cca 100.000 Kč, což je pro danou společnost akceptovatelná cena.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BARTLOVA, A. *Negativní působení hluku a jeho prevence*. Brno: Masarykova univerzita, 2006. 59 s. Vedoucí diplomové práce Doc. MUDr. Šimůnek Jan, CSc.
- [2] BERAN, V. *Chvění a hluk*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010. 202 s. ISBN 978-80-7043-916-6.
- [3] ČERNÝ, L. *Měření akustického tlaku na pracovišti*. České Budějovice – Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, 2012. 59 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Marie Šistková, CSc.
- [4] Česko. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. ze dne 24. srpna 2011 *o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací*. In Sběrka zákonů, Česká republika. 2011, částka 97, s 3338 – 3351.
- [5] Česko. Zákon č. 258/2000 Sb. ze dne 14. července 2000 *o ochraně veřejného zdraví a související předpisy*. In Sběrka zákonů, Česká republika. 2000, částka 74, s 3622 – 3662.
- [6] ČIHÁK, R. *Anatomie 3*. Praha: Grada, 2004. 692 s. ISBN 978-80-247-1132-4.
- [7] EVROPSKA UNIE. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2003/10/ES ze dne 6. února 2003 *o minimálních požadavcích na bezpečnost a ochranu zdraví před expozicí zaměstnanců rizikům spojeným s fyzikálními činiteli (hlukem)*. In Úřední věstník Evropské unie, Belgie. 2003, s. 300 – 306.
- [8] HAVRANEK, J. *Hluk a zdraví*. Praha: Avicem, 1990. 278 s. ISBN 80-201-0020-2.
- [9] JANDAK, Z. *Hluk v pracovním prostředí* [online]. Praha: Statní zdravotnický ústav, 2007 [cit. 2016-01-22]. Dostupný z WWW: <<http://www.szu.cz/tema/pracovniprostredi/hluk-v-pracovnim-prostredi>>.
- [10] KAŇKA, J.; *Působení hluku v čase* [online]. Praha: TZB-info s.r.o. 2001-2016 [cit. 2016-03-21] Dostupný z WWW: <<http://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb/218-pusobeni-zvuku-v-case-ekvivalentni-hladina>>.
- [11] KAZDA, J. *Nebezpečí impulsního hluku v pracovním prostředí* [online]. Praha: Stavební technika, 2009-05-15 [cit. 2016-03-28]. Dostupný z WWW: <<http://stavebnitechnika.cz/clanky/nebezpeci-impulsniho-hluku-v-pracovnim-prostredi/>>.
- [12] KOCHANOVÁ, V. *Měření hluku na pracovištích průmyslového podniku a aktualizace hlukové mapy*. Opava: Slezská univerzita v Opavě, 2013. 87 s. Vedoucí diplomové práce Ing. Miroslav Vala, CSc.

- [13] MEDVECOVA, I. *Základy akustiky* [online]. Praha: Greif-akutika, s.r.o., 2011-11-01 [cit. 2013-02-18, 2015-10-05]. 37 s. Dostupný z WWW: <<http://www.greif.cz/download/its075-zaklady-akustiky-prirucka-pro-zacatecniky.pdf>>.
- [14] NĚMEC J.; RANSDORF J.; ŠNĚDRLE M. *Hluk a jeho snižování v technické praxi*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1970. 338 s. ISBN 04-222-70.
- [15] NOVY, R. *Hluk a chvění*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1995. 389 s. ISBN 80-01-01306-5.
- [16] *Odhlučnění a protihlukové kryty* [online]. Praha: ROMAN s.r.o. [cit. 2016-03-21] Dostupný z WWW: <<http://www.romansro.cz/odhlucneni.html>>.
- [17] REICHL, J.; VŠETIČKA, M. *Encyklopedie fyziky* [online]. 2006-2013 [cit. 2015-10-27]. Dostupný z WWW: <<http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/152-zvukove-vlneni>>.
- [18] SCHAUER, P. *Vybrané statě z akustiky* [online]. Brno: Masarykova univerzita, 2008 [cit. 2015-10-08]. 23 s. Dostupný z WWW: <http://fyzika.fce.vutbr.cz/doc/vyuka_schauer/vybrane_state_z_akustiky.pdf>.
- [19] SMETANA, C. *Měření hluku a chvění*. Praha: Statní nakladatelství technické literatury, 1974. 211 s. ISBN 04-526-74.
- [20] SVAČINA, J. *Metodická opatření – Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v pracovním prostředí a vibrací*. Praha: Státní zdravotnický ústav, 26.4.2001 [cit. 2016-04-21]. Dostupný z WWW: <http://apps.szu.cz/cekz/dokumenty/autorizace/hluk_v_prac_prostredi_a_vibrace.pdf>.
- [21] ŠTĚTINA J.; RAMIK P.; JAROŠ, M. *Virtuální laboratoř – měření: Přístrojová technika pro měření hluku*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2003 [cit. 2015-10-19]. Dostupný z WWW: <ottp.fme.vutbr.cz/skripta/vlab/mereni/Ka05-04.htm>.
- [22] VLACHOVA, M.; KAŽA, J. *Akustika* [online]. Plzeň: Edutorium - Techmania science centrum, 2008 [cit. 2015-10-08]. Dostupný z WWW: <http://www.techmania.cz/edutorium/art_exponaty.php?mn1=100&mn2=431&xkat=fyzika&xser=416b757374696b61h>.

Přílohy

Naměřené hodnoty

Hodnoty naměřené ve vysílacím prostoru pracoviště uvnitř provizorních zástěn v měřicích bodech 1 - 5.

Hodnoty jsou uvedeny ve třetinooktávových pásmech od 20 Hz do 20 kHz.

f [Hz]		1. měření		2. měření		3. měření		4. měření		5. měření	
		L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]
20	[dB]	87,4	78,3	81,6	76,4	76,1	71,3	68,6	60,6	75,3	64,9
25	[dB]	92,8	86,6	78,0	72,4	77,6	70,4	73,9	66,6	88,2	83,4
30	[dB]	91,5	83,2	79,2	73,1	78,8	73,0	69,2	63,5	83,8	73,9
40	[dB]	93,4	87,1	80,4	74,1	77,6	71,3	76,1	69,2	83,7	78,0
50	[dB]	96,9	90,4	77,6	72,3	76,4	69,7	71,6	67,1	84,6	76,5
63	[dB]	96,0	89,3	79,8	75,8	79,0	71,3	74,5	70,5	86,7	81,9
80	[dB]	94,4	87,4	81,5	76,6	76,9	69,9	72,6	68,3	88,2	81,6
100	[dB]	96,0	89,0	85,4	82,7	77,4	73,2	74,1	70,7	85,1	79,8
125	[dB]	95,2	87,5	83,6	78,8	76,1	71,5	70,7	66,8	86,8	82,5
160	[dB]	92,0	85,2	80,0	75,9	75,6	71,1	75,1	71,0	82,1	78,6
200	[dB]	88,4	80,0	74,5	71,4	74,9	69,2	71,5	67,4	79,9	76,1
250	[dB]	84,2	77,2	73,1	69,7	73,5	65,9	71,3	65,8	76,0	72,3
315	[dB]	83,1	75,2	78,1	74,8	79,7	70,8	79,7	72,1	80,3	75,6
400	[dB]	80,2	75,1	78,0	74,9	81,6	74,5	81,0	73,6	80,1	76,9
500	[dB]	83,9	78,9	78,4	74,9	82,2	75,5	80,9	72,8	86,2	82,3
630	[dB]	86,7	80,4	80,1	76,8	82,6	77,3	82,2	78,2	87,2	83,8
800	[dB]	81,6	78,1	82,9	78,4	84,1	79,0	82,6	77,4	85,0	81,2
1000	[dB]	83,9	81,0	88,8	84,2	88,1	82,7	82,9	78,2	87,0	83,6
1250	[dB]	86,1	83,3	85,8	82,7	87,6	82,9	84,0	79,4	87,8	84,4
1600	[dB]	89,7	85,8	90,6	85,3	93,0	88,3	88,1	84,1	92,3	88,4
2000	[dB]	91,0	87,9	95,6	89,7	95,7	90,0	93,1	87,4	95,6	92,4
2500	[dB]	92,0	88,6	93,5	88,0	92,2	87,2	91,2	87,0	97,6	93,4
3150	[dB]	93,3	89,5	91,9	87,8	91,4	86,9	95,4	88,1	98,2	93,9
4000	[dB]	93,2	90,4	92,0	88,0	94,2	87,4	95,5	89,6	98,0	93,4
5000	[dB]	92,5	88,7	92,3	88,3	94,7	87,6	98,0	91,0	94,8	91,9
6300	[dB]	92,7	89,9	92,7	87,8	93,0	87,5	94,5	88,1	93,9	91,2
8000	[dB]	96,1	92,1	96,9	91,9	95,7	91,5	93,9	88,5	96,9	93,7
10000	[dB]	91,9	89,4	93,9	90,1	95,5	90,9	94,6	89,2	94,9	91,4
12500	[dB]	88,8	85,2	93,2	86,9	94,7	85,2	92,7	87,2	92,2	88,2
16000	[dB]	90,1	84,7	91,8	86,0	90,2	83,8	93,4	87,5	91,1	87,5
20000	[dB]	88,9	83,9	90,3	83,6	87,0	82,7	89,3	82,6	90,5	86,6

Hodnoty naměřené v přijímacím prostoru z vnější strany provizorních zástěn pracoviště. Jde o měřicí body 6 - 10. Hodnoty jsou uvedeny ve třetinooktávových pásmech od 20 Hz do 20 kHz.

f [Hz]		6. měření		7. měření		8. měření		9. měření		10. měření	
		L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]	L _{ZFmax} [dB]	L _{Zeq} [dB]
20	[dB]	71,5	65,5	72,4	68,4	72,5	69,9	72,9	69,7	75,2	70,4
25	[dB]	70,8	63,4	70,9	66,3	68,3	61,1	71,8	64,4	75,3	64,0
30	[dB]	66,0	58,9	71,2	62,7	68,5	63,2	70,2	59,6	69,5	62,0
40	[dB]	72,8	67,0	72,2	66,0	69,8	66,5	68,7	65,5	69,9	65,6
50	[dB]	76,0	70,7	78,1	66,9	67,9	63,6	70,5	65,3	70,7	63,7
63	[dB]	79,2	66,9	70,0	65,3	66,0	59,6	69,6	63,7	68,0	63,0
80	[dB]	75,9	71,3	67,9	60,9	74,2	67,2	67,2	63,4	71,7	68,4
100	[dB]	73,6	68,4	66,6	61,9	66,1	59,7	64,5	59,1	66,6	61,9
125	[dB]	78,0	74,2	78,5	75,2	69,0	65,9	75,3	72,8	68,9	64,1
160	[dB]	70,6	65,7	75,4	67,4	67,6	61,4	77,5	67,9	66,2	63,3
200	[dB]	73,2	70,1	70,8	65,9	68,7	64,1	67,8	63,0	69,4	65,2
250	[dB]	71,3	68,5	70,0	65,1	66,5	62,3	70,2	66,1	68,2	63,9
315	[dB]	73,1	70,4	71,8	67,2	71,2	65,4	69,9	67,3	73,2	68,2
400	[dB]	71,5	68,8	73,3	66,3	68,3	65,5	68,6	66,7	66,9	64,7
500	[dB]	77,8	73,3	72,4	68,8	73,0	68,5	73,6	68,6	72,1	68,6
630	[dB]	81,5	75,9	77,6	73,8	79,6	74,7	74,8	72,4	75,2	71,7
800	[dB]	76,5	71,9	73,3	70,5	73,6	69,0	73,2	70,1	71,4	69,2
1000	[dB]	78,4	75,2	77,4	74,9	76,6	74,5	76,4	72,6	76,4	74,0
1250	[dB]	78,6	74,8	78,6	75,2	78,3	74,0	76,6	73,0	76,5	73,4
1600	[dB]	79,4	75,6	80,1	76,7	78,3	75,4	80,3	75,0	75,6	72,9
2000	[dB]	79,3	75,7	82,2	77,1	80,5	76,5	82,3	75,6	76,9	74,3
2500	[dB]	78,1	74,7	80,0	76,4	79,2	75,6	79,8	75,1	76,3	73,4
3150	[dB]	80,2	75,9	81,3	78,1	79,2	75,7	79,3	75,5	77,0	74,3
4000	[dB]	81,3	75,4	80,9	76,8	77,0	73,9	76,6	73,0	75,3	72,7
5000	[dB]	81,3	75,5	81,6	77,0	78,2	73,2	76,9	72,7	74,8	72,3
6300	[dB]	80,5	73,9	80,1	76,6	75,4	72,5	76,5	72,7	74,0	71,5
8000	[dB]	82,2	76,6	83,3	79,8	79,8	76,2	79,8	76,1	78,3	75,4
10000	[dB]	79,1	72,9	81,3	77,4	77,1	73,8	78,5	74,4	75,4	72,5
12500	[dB]	74,5	67,1	77,4	72,1	71,6	67,0	74,5	67,9	70,6	66,4
16000	[dB]	74,2	65,9	76,2	70,6	71,1	65,1	73,5	65,5	67,5	63,3
20000	[dB]	70,5	62,1	73,3	68,3	67,7	63,3	69,3	63,5	67,1	62,3