

# 1. ÚVOD

## 1.1 HLUK JAKO FAKTOR ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

Nadměrný hluk zaujímá v řadě faktorů ohrožujících naše životní prostředí stále důležitější místo. V programech ochrany prostředí, které realizují vyspělé státy světa, se řadí hluk ihned za znečištění ovzduší a ochranu povrchových vod. Přestože nikdo nepochybuje o tom, že hluk je zlo, které člověku škodí, je většina lidí zároveň přesvědčena, že konkrétní hluk, který sama produkuje, nebo o jehož vzniku či šíření rozhoduje, ještě není tak závažný, aby bylo třeba se opravdu účinně snažit ho potlačit. Je to pochopitelné, neboť většina hluků s nimiž se setkáváme se neprojevuje bezprostředně bolestí nebo viditelnou poruchou funkce naší tělesné soustavy. Účinek hluku je navíc individuálně různý podle osoby, na kterou působí. V současné době je na škodlivé účinky hluku zaměřena pozornost mnoha odborníků v oblasti zdravotnictví. Stejně tak se měřením a snižováním hluku zabývají stále větší skupiny odborníků různých profesí. Jednou z nejzávažnějších vlastností zvuku a hluku je, že se šíří na poměrně velké vzdálenosti, stovky metrů i více. Přitom se šíří stejně dobře vzduchem i vodou nebo pevnou hmotou, např. konstrukcí stavby. Za určitých podmínek se může akustické vlnění odrážet, lomit a ohýbat. I když např. působí pouze jeden zdroj hluku, může obklopit naše místo pobytu v důsledku uvedených efektů akustická energie tak, že není možno předem určit, kde je zdroj umístěn. To se projevuje zejména v uzavřených a polouzavřených prostorech. V důsledku tohoto jevu působí hluk na každého, kdo je v dosahu akustické energie. Postihuje tedy nejenom toho, kdo zdroj obsluhuje, ale i osoby, které se zdrojem nemají nic společného a pro něž je hluk nežádoucí a zbytečný. Jako výstižný příklad je možné uvést osobní automobil, který často využívá k přepravě jenom jedna osoba. Hlukem tohoto automobilu není exponován pouze jeho uživatel, ale tisíce lidí na ulicích města a v přilehlých obytných budovách. Ve volném terénu může běžný dopravní prostředek svým hlukem zamořit území o ploše několika čtverečních kilometrů.

(6)

## 2. LITERÁRNÍ PŘEHLED

### 2.1 HLUK A VIBRACE

Řada zemí začíná považovat ticho a bezhlučnost za národní bohatství či přírodní zdroje, jejichž hodnotu lze realizovat např. v rehabilitaci pracovní schopnosti člověka, v cestovním ruchu a podobně. Obecně platí, že v období urbanizace a industrializace nepříjemně stoupá zátěž hlukem. Je to významný stresový faktor přispívající k civilizačním chorobám. Každý organismus je totiž schopen existence v určitém rozpětí podmínek, které je u jednotlivých organismů různě široké – ekologická valence. Škodlivé působení hluku na člověka vedlo k legislativním opatřením, jejichž výsledkem je řada zákonů, norem a právních předpisů zajišťujících ochranu lidí před nadměrným hlukem a vibracemi jak v oblasti komunální hygieny, tak i na pracovištích. Hygienický předpis č. 37/77, platný v ČR je ve srovnání s podobnými legislativními předpisy v ES na dobré úrovni. (5)

### 2.2 HLUK

#### 2.2.1 DEFINICE HLUKU

Hlukem rozumíme každý zvuk, který svou intenzitou nepříznivě ovlivňuje pohodu člověka nežádoucími, nepříjemnými nebo škodlivými účinky. Povaha hluku charakterizuje hluk z hlediska časového průběhu a kmitočtového složení.

**Hluk ustálený** - je takový, jehož hladina se nemění o více než 5 dB(A).

**Hluk proměnný** - má větší změny intenzity než 5 dB(A).

**Hluk impulzní** - je tvořen jednotlivými impulzy nebo sledem impulzů 1 až 200 ms dlouhých, s intervaly mezi pulzy delšími než 10 ms.

**Hluk vysokofrekvenční** - může být způsoben neakustickými rušivými vlivy (vítr, vibrace, elektrické a magnetické pole atd.)

Při hodnocení časového průběhu hladin hluku uvažujeme v ustáleném hluku aritmetický průměr z řady odečtů v měřeném časovém intervalu. Průměrná hladina hluku je:

kde  $n$  je celkový počet naměřených hladin,  $L_i$  i-tá naměřená hladina.

Pokud je rozptyl naměřených hodnot větší než 5 dB, tedy jde o hluk proměnný, musíme stanovit energetický průměr:

Pokud tak neučiníme, budou vyšší hladiny podhodnoceny. Obě uvedené hodnoty nerespektují časový faktor působení hluku. Biologické účinky hluku jsou ale závislé na celkové akustické energii, kterou je organismus exponován. Proto byla zavedena **ekvivalentní trvalá hladina hluku**:

kde  $t_i$  je doba trvání i-té naměřené hladiny. Zavedení této hladiny do hodnocení proměnného hluku vyřešilo po fyzikální stránce vyjadřování složité akustické situace jednoduchým způsobem – pomocí jediného čísla. Avšak tato  $L_{ekv}$  může vzniknout z velmi různých průběhů hlukové situace.  $L_{ekv}$  je tedy založena na principu totožné energie skutečného zvuku s proměnnou hladinou a nepřetržitého zvuku s hladinou ekvivalentní, přičemž obě trvají stejnou dobu.

Máme-li porovnat hlukové působení zdrojů hluku, které netrvají stejnou dobu, použijeme **hladinu expozice zvuku SEL** (sound exposure level). Zahrnuje takový způsob integrace celkové akustické energie určitého akustického děje, kdy je jeho energie soustředěna do doby trvání 1 s. SEL je tedy neproměnnou hladinou hluku, jehož působení po dobu 1 s odpovídá akustické energii totožné s energií zkoumaného zvuku s proměnnou hladinou. Snadno nahlédneme, že platí:

$$SEL = L_{ekv} + 10 \log (T/T_0), \quad 2.1$$

kde  $T$  je doba na kterou se vztahuje údaj o ekvivalentní hladině a  $T_0$  je referenční čas 1 s. Známe-li hladinu zvukové expozice pro určitý děj, trvající dobu  $T$ , můžeme vypočítat ekvivalentní hladinu za tutu dobu. Obdobně můžeme postupovat i při výpočtu ekvivalentní hladiny a obdržet  $L_{ekv}$  pouze z činnosti těch zdrojů, o něž máme zájem. Máme tak možnost porovnávat navzájem různé akustické děje s nestejnou dobou trvání

z hlediska celkové dávky akustické energie, porovnávat různé zdroje hluku, hodnotit efekt změny rychlosti dopravního prostředku apod.

Ke zjišťování celkové hlukové expozice, které jsou vystaveny osoby v hlučném prostředí slouží hlukové dozimetry (přístroje k osobnímu nošení s mikrofonem u ucha). Dozimetry vyhodnocují hlukovou expozici v procentech mezní (tj. max. přípustné) v průběhu určitého časového intervalu. Při vyhodnocení se užívají dvě metody lišící se vzájemně způsobem započtení stupně zotavení sluchu v průběhu bezhlučných intervalů. Obě metody používají jako mezní hlukovou expozici takovou, která odpovídá působení hluku s hladinou 90 dB(A) po dobu 8 hodin. (5)

## 2.2.2 Metody vyhodnocování hluku

### 2.2.2.1 Posouzení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, $L_{Aeq,T}$ , pomocí metody vzorkování

Během periody pozorování T se provede sběr určitého počtu nekorelovaných hodnot  $L_{Aeq,Ti}$ , které jsou zde označeny  $L_i$ .

Odhad  $L_{Aeq,T}$

$$L_{Aeq,T} = 10 \lg \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n 10^{0,1L_i} \quad dB = \bar{L} + 0,115 * s^2 \quad 2.2$$

kde :

$$\bar{L} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n L_i \quad \text{je aritmetický průměr v decibelech a} \quad 2.3$$

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (L_i - \bar{L})^2}{n - 1}} \quad \text{směrodatná odchylka v decibelech} \quad 2.4$$

( ČSN ISO 9612)

### 2.2.2.2 Normování ekvivalentní hladiny akustického tlaku A na jmenovitou dobu pracovního dne 8 hod

Pro porovnání expozičních hluků v pracovních dnech o různých dobách trvání je z mnoha důvodů žádoucí normování denní expozice hluku na pracovišti s kratší dobou trvání  $T_e$  na jmenovitou dobu pracovního dne 8 hod. V této mezinárodní normě se časový interval, který pokrývá periodu 8 hod, nazývá  $T_o$ . Normovaná hladina denní expozice hluku se získá pomocí vztahu:

$$L_{EX,8h} = L_{Aeq,T} + 10 \lg \frac{T_e}{T_o} \text{ dB} \quad 2.5$$

### 2.2.2.3 Nejvyšší přípustné hodnoty hluku na pracovištích s jinou než osmihodinovou pracovní směnou

Nejvyšší přípustné hladiny hluku pro jinou denní pracovní dobu  $T$  se stanoví tak, že se ke stanoveným nejvyšším přípustným hladinám pro osmihodinovou pracovní dobu v hluku  $L_{Aeq,8h}$  připočte korekce  $K_T$ , která se stanoví podle vztahu:

$$K_T = 10 \lg \left( \frac{480}{T} \right) \text{ dB} \quad 2.6$$

( Vyhláška ministerstva zdravotnictví č.502/2000 Sb.)

## 2.3 Účinky hluku na člověka

Hluk působí na člověka v podstatě dvojím způsobem. Vyvolává účinky přímým působením na sluchový orgán nebo vyvolává odvozené poruchy fyziologické a psychologické. Příkladem může být zvuk komára v ložnici, který svým účinkem mnohdy překoná hluk startujícího letadla. Ani nezvykle nízká hladina akustického tlaku člověku nesvědčí. Až hladina okolo 30 dB bývá považována za příjemné ticho.

Působí-li hluk dlouhodobě na organismus, pozorujeme již během prvních minut posun sluchového prahu. Organismus se adaptuje a hluk vnímá v menší hlasitosti.

Tento adaptační děj rychle nastupuje a brzo odeznívá. Druhým stupněm je sluchová únava. Svého vrcholu dosahuje po 7 až 10 minutách. Je spojena navíc se změněným rozlišováním frekvenčních změn, hlasitosti a změn maskování. Odeznívá pomaleji, hodiny, někdy i den.

Od hladin 65 dB výše, se začínají již nepříznivě projevovat účinky hluku zejména změnami vegetativních reakcí. Při trvalém pobytu v prostředí, kde hladiny akustického tlaku přesahují 85 dB již vznikají trvalé poruchy sluchu. Současně se ve větší míře projevují účinky na vegetativní systém a celou nervovou soustavu. Degradací proces sluchu obvykle začíná postihem slyšení v kmitočtové oblasti 4 až 6 kHz. Dojde prostě k odumření příslušných buněk, které již nejsou schopny regenerace. K poškození může dojít i krátkodobým akustickým podnětem – třeskem případně výbuchem. Poranění může být i trvalé: šelesty, poranění bubínku, středního ucha a dokonce i labirintu, přímou mechanickou silou např. při explozi. Bolest ve sluchovém orgánu je obvykle spojena s hladinou 130 dB. K protržení bubínku dochází při 160 dB.

### **2.3.1 Vliv hluku na spánek**

Spánek je aktivním zotavovacím procesem pro nervovou soustavu. Je nutný, jinak dochází k poruše funkcí organismu. Hovoří se o čtyřech stádiích spánku. Jejich citlivost na zvukové podněty je rozdílná. Sluchové prahy pro jednotlivá stádia se liší až o 30 dB. Obecně platí, že pro nerušený spánek by neměla  $L_{ekv}$  překročit hodnoty 35 až 37 dB během trvání spánku. Příznivě mohou působit monotónní zvuky jako např. šumění větru, zvuk kapek deště, hukot vody nebo opakující se melodie.

### **2.3.2 Návyk na hluk**

Dlouhodobí obyvatelé hlukem postižených měst jsou obtěžováni přinejmenším stejně, jako na počátku pobytu. Spíše se vliv hluku stupňuje. O návyku lze hovořit u lidí v blízkosti železnic, v koridorech letadel a podobně.

### **2.3.3 Nemocný člověk a hluk**

Klid, ticho a vyšší potřeba spánku jsou základními požadavky léčebných režimů. V mnohých nemocnicích se však  $L_{ekv}$  pohybuje od 40 do 70 dB(A). Impulsní

hladina při zavírání dveří dosahuje velikosti 65 až 85 dB(A) a v mnohalůžkových pokojích bývá během 24 hodin naplněna v průměru 700 krát. Hlučné prostředí v důsledku svého maskovacího účinku mnohdy zabraňuje vyšetření srdce a plic pro které je nutné nepřekročit hladinu 60 dB(A).

### **2.3.4 Děti a hluk**

Děti hluk milují. Křik je sociálním organizátorem. Sluch dětí je třeba chránit. Přibývá poruch sluchu (zejména propadů v audiogramu až o hodnotu 15 dB ) v důsledku hluku. Příkladem mohou být nevhodné hračky – dětské pistole, které ještě ve vzdálenosti 10 cm vytvářejí impulsní hladiny akustického tlaku až 168 dB. Děti vyrůstající v hlučném prostředí mají problém s výslovností neboť vlastně ani neslyší co by měly vyslovovat. V hluku se zhoršuje proces vytváření podmíněných řečových spojů což znesnadňuje výuku jazyků.

### **2.3.5 Hlasitá hudba**

Symfonické orchestry vyvozují  $L_{ekv}$  v průměru okolo 85 dB s dynamikou 40 dB. U rockových orchestrů bývá hladina vyšší, 95 dB při nižší dynamice - 20 dB. Nebezpečí jsou proto vystaveni hudebníci v orchestru, zejména u bicích. U přenosných přehrávačů nejčastěji užívané nastavení vytvářející hladinu 66 dB(A) je bez rizika.

(6)

## **2.4 Vliv dalších faktorů na sluchový orgán**

Byl potvrzen vliv některých antibiotik (neomycin, streptomycin a dalších) na poškození smyslových buněk sluchového orgánu. Podobné účinky lze nalézt u manganu a CO např. z kouření. Pozitivní vliv byl naopak zaznamenán u kyslíku. K přístupu jedů dochází nejčastěji krevním oběhem nebo průsakem ze středního ucha. Děje se tak např. při zánětech, infekčních chorobách a otravách, virových infekcích (spalničky, zarděnky, pásový opar, skvrnitý tyfus), bakteriálních (spála, záškrť, zánět mozko-míšních plen) a parazitárních chorobách (příjice, malárie). Toxicky na sluch působí např.: olovo, arsen, rtuť, kyselina sírová, etylalkohol a chinin.

## 2.5 Přípustné hodnoty hluku

Posuzování hluku v životním prostředí upravuje vyhláška č. 13/1977 Sb.: Ochrana zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací a její příloha: Nejvyšší přípustné hodnoty hluku a vibrací. Předpisy vycházejí ze znalostí o škodlivosti hluku a stanovují nejvyšší přípustné hodnoty pro různá prostředí a podmínky. Podmínky respektují druh vykonávané činnosti, povahu hluku, jeho trvání a další okolnosti.

### 2.5.1 Hluk na pracovišti

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku pro osmihodinovou pracovní dobu (všechny druhy hluku) se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku 85 dB(A) a korekcí na vykonávanou činnost podle tab. 2/8. Korekce označené \* se nahrazují -15 dB, je-li hluk způsobován nevýrobním zařízením (větrací, vyhřívací apod.) nebo proniká-li ze sousedních prostorů. Korekce na impulsní hluk (s počtem impulsů menším než  $20.s^{-1}$ ) se provádí podle doby trvání od 1 s do 4 hod. v rozsahu +45 až 0 dB.

Tab. 2.5.1.1 Korekce pro výpočet hluku a ultrazvuku na pracovišti

Druh činnosti	Nároky	Korekce [dB]
1. Práce koncepční s převahou tvořivého myšlení		- 40
2. Duševní práce velmi náročná, zodpovědná	mimořádné	- 35
	běžné	- 30
3. Duševní práce vyžadující značnou pozornost, soustředěnost	mimořádné	- 25
	běžné	- 20
4. Duševní práce rutinní povahy s trvalou kontrolou sluchem	mimořádné	- 15
	běžné	-10 *
5. Fyzická práce náročná na přesnost a soustředění		-5 *
6. Fyzická práce bez nároků na soustředění		0 *
7. Fyzická práce bez zvláštních nároků na smyslovou činnost		+5 *



## 2.5.2 Hluk ve venkovním prostoru

Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina hluku ve venkovním prostoru (s výjimkou impulsního hluku) se stanoví součtem základní hladiny akustického tlaku 50 dB(A) a korekcí přihlížející k místním podmínkám a denní době v rozsahu -10 až +20 dB, pro přírodní rezervace až výrobní zóny. Nejvyšší ekvivalentní hladina hluku leteckého provozu se stanoví základní hladinou akustického tlaku 65 dB(A) a korekcí, přihlížející k místním podmínkám a denní době od -20 do +10 dB. Nejvyšší přípustná maximální hladina vnitřního hluku dopravních prostředků je stanovena na 80 dB(A), vyjma dálkové hromadné dopravy osob, kde je korekce -5 dB.

(4)

## 2.6 Metody snižování hluku

Nejúčinnější opatření se mohou podnikat především **v oblasti výroby a použití strojů**. Způsoby používané při boji s hlukem je možno rozdělit do několika základních metod.

1. metoda - redukce hluku ve zdroji, je založena na odstranění zdroje hluku nebo na snižování jeho hlučnosti. Tato metoda patří k nejúčinnějším opatřením a vyžaduje mnohem nižší finanční náklady než opatření dodatečná. Bohužel zatím neumíme navrhovat stroje a zařízení zcela bezhlučné.

2. metoda – metoda dispozice je založena na vhodném umístění hlučných strojů a zařízení, hlučných prostorů, průmyslových závodů, letišť, dopravních tepen a to tak, aby hlučné provozy nepříznivě neovlivňovaly akustickou pohodu ve chráněných prostorech jako jsou sídliště, nemocnice, školská zařízení, jesle, rekreační oblasti a podobně.

3. metoda – metoda izolace, spočívá ve zvukovém odizolování zdroje hluku. Metody využívá především stavební akustika, která se zabývá výpočtem, navrhováním a stavbou zvukoizolačních příček, stropů a podobně. Ve strojírenství se používají zvukoizolační kryty zamezující šíření hluku do okolního prostoru.

4. metoda - využívá poznatků prostorové akustiky, zejména z oblasti zvukové pohltivosti, což je vlastnost některých hmot a konstrukcí pohlcovat akustickou energii a přeměňovat jí na teplo.

5. metoda spočívá v používání osobních ochranných pomůcek. Uplatňuje se teprve tehdy, jestliže předchozí uvedené metody nebylo možno použít. Jedná se o tři základní druhy pomůcek:

- Pomůcky, které se zasouvají do zvukovodu, použitelné do 100 dB(A)
- Pomůcky chránící celé vnější ucho, pro rozsah 100 až 120 dB(A)
- Pomůcky chránící celou lebku, pro hladiny nad 120 dB(A).

Volba ochranné pomůcky je závislá na frekvenčním složení hluku a na povaze práce. V zásadě platí, že tyto osobní pomůcky jsou málo účinné v oblasti nízkých kmitočtů. A právě v této oblasti se začínají uplatňovat **systemy aktivní ochrany proti hluku**. Princip spočívá ve vytvoření naprosto identického hluku v ušní dutině s opačným fázovým posuvem, čímž dojde k potlačení hluku v omezeném prostoru.

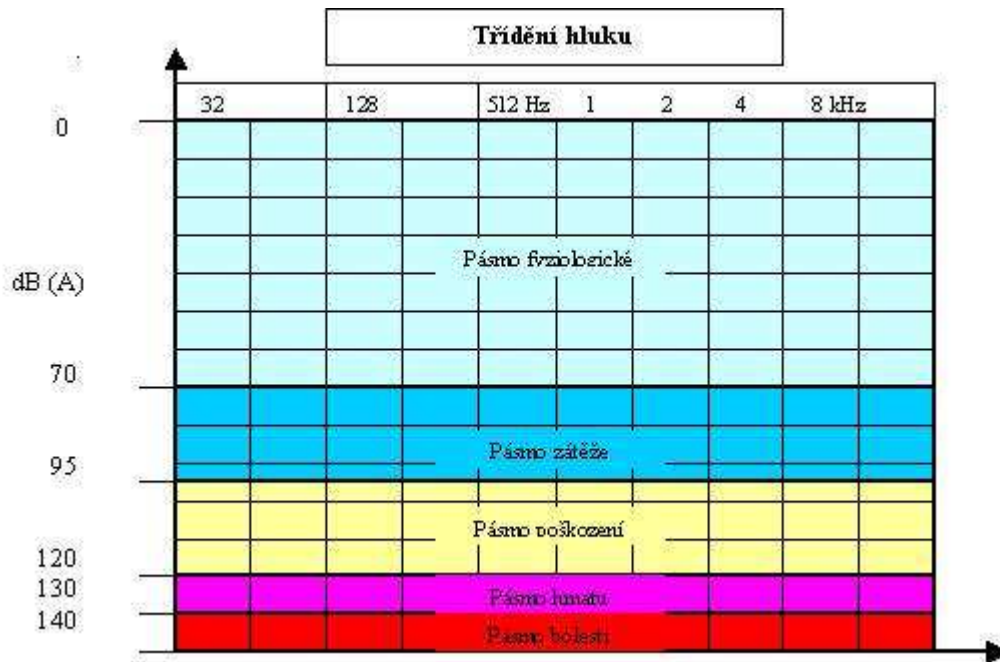
Nejlepších výsledků při snižování hlučnosti se dosáhne při využití vhodné kombinace všech uvedených metod. Svou úlohu zde hraje i cenová dostupnost. Tam, kde byla v projektu opomenuta hluková otázka, se náklady na dodatečná akustická opatření prudce zvyšují a značně překračují částku, která by byla potřebná pro běžný projekt.

Růst hlučnosti se celkem daří omezovat na pracovištích. Nepříznivě se hlučnost vyvíjí ve venkovním prostoru, zejména v ulicích měst a okolí dopravních magistrál.

### 2.6.1 TRÍDĚNÍ HLUKU PODLE PŮSOBENÍ

Hluk (zvuk) podle působení třídíme na:

- Pásmo fyziologické do 69 dB(A)
- 
- Pásmo zátěže 70 - 94 dB(A)
- 
- Pásmo poškození 95 - 119 dB(A)
- 
- Pásmo hmatu 120 - 129 dB(A)
- 
- Pásmo bolesti 130 dB(A) a více



Do 120 dB je považováno působení hluku za specifické, od 120 dB za mechanické. Od 130 dB vznikají hrubé strukturní změny ve vnitřním uchu. Od 170 dB vznikají také hrubé strukturní změny na bubínku a sluchových kůstkách.

Přitom významnou úlohu sehrává frekvence, šíře zvukového spektra, kontinuálnost nebo pulsnost hluku a délka expozice. Nadměrný hluk působí negativně nejen na sluch a popřípadě rovnováhu, ale také na CNS (centrální nervovou soustavu) a vegetativní soustavu a jejich prostřednictvím na zrak, frekvenci tepu, krevní tlak, trávicí ústrojí aj. Hluk snižuje možnost mluvní komunikace a tím zvyšuje hlasovou námahu, nepříznivě ovlivňuje psychiku, stresuje, vyčerpává a stojí v pozadí řady psychosomatických onemocnění. Jinak hluk narušuje koncentraci, pracovní píli, přesnost, výkonnost, sociální vztahy a vede k poruchám spánku a neurotizaci. (Významněji jsou zasaženy ženy a děti.)

(5)

## 2.7 Měření hluku

U všech metod měření hlučnosti je měřen **akustický tlak** vyvolaný neznámým hlukem a udáván svou hladinou  $L_p = 20 \log (p/p_0)$  vztaženou k referenční hodnotě  $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$ .

Pro měření jsou většinou užívány hlukoměry. **Hlukoměr** sestává z měřicího řetězce počínajícího mikrofonom, nejčastěji kondenzátorovým. Následují filtry, zesilovače, detektor a displej. Frekvenční charakteristika je upravována **váhovými filtry**, které ovlivňují měřené veličiny způsobem podobným jako to činí např. lidské ucho. Kromě frekvenčně nezávislého průběhu “*lin*” jsou mezinárodně normalizovány váhové filtry *A*, *B*, *C*, *okt*, odpovídající křivkám hladin stejné hladiny hlasitosti pro 40, 70, 100 fónů [Ph] či středu uvedeného oktávového pásma. Příslušné hladiny potom označujeme písmenem příslušného váhového filtru např.  $L_A$  nebo  $L(A)$  a jednotky dB(A). U pásmových hladin  $L_{\text{okt}}$  případně  $L(\text{okt-500})$  či dB(okt-500) pro oktávové pásmo se středním kmitočtem 500 Hz. Dynamické vlastnosti zvukoměru se volí změnou **časové konstanty**: *S* (slow), *F* (fast) a *I* (impuls). Časové konstanty potom jsou 1 s, 200 a 35 ms pro náběžnou hranu a 2 s pro sestupnou hranu impulsu.

Z hygienického hlediska se místa měření hluku volí tak, aby odpovídala poloze hlavy a asi 20 cm od ucha.

### 2.7.1 Přesnost měření a hodnocení

Měření a hodnocení hluku se provádí ve 3 třídách přesnosti, jako:

- a) podrobné měření a hodnocení—třída přesnosti I—výsledek se od skutečné hodnoty liší o méně než 0,5 dB
- b) běžné měření a hodnocení—třída přesnosti II—výsledek se od skutečné hodnoty liší o méně než 3 dB
- c) přehledové měření a hodnocení—třída přesnosti III—výsledek se od skutečné hodnoty liší o méně než 5 dB

( Němec 1983)

## 2.8 Definice akustiky

Vlnění hmotného prostředí, pokud se o jeho existenci můžeme přesvědčit sluchem, se ve fyzice i v běžném řeči nazývá **zvuk**. Je předmětem studia části fyziky, přesněji nauky o mechanickém vlnění, která se nazývá **akustika**.

### Definice akustiky

Akustika je obor zabývající se fyzikálními ději, které jsou spojeny se vznikem zvukového vlnění, jeho šířením a vnímáním zvuku sluchem.

### 2.8.1 Rozdělení akustiky

Důvody a cíle zájmů o akustiku jsou různé, a právě podle toho se tento obor dá rozdělit na několik částí:

1. **Fyzikální akustika** - studuje způsob vzniku a šíření zvuku. Dále se zabývá jeho odrazem a pohlcováním v různých materiálech.
2. **Hudební akustika** - zkoumá zvuky a jejich kombinace se zřetelem na potřeby hudby.
3. **Fyziologická akustika** - se zabývá vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímáním v uchu.
4. **Stavební akustika** - zkoumá dobré a nerušené podmínky poslouchatelnosti hudby a řeči v obytných místnostech a sálech.
5. **Elektroakustika** - se zabývá záznamem, reprodukcí a šířením zvuku s využitím elektrického proudu.

V akustice se obvykle pojednává i o vzniku, vlastnostech a účinku tzv. **ultrazvuku** (a **infrazvuku**), mechanického vlnění s velmi vysokou (pro infrazvuk nízkou) frekvencí, na kterou už lidské ucho nereaguje.

(4)

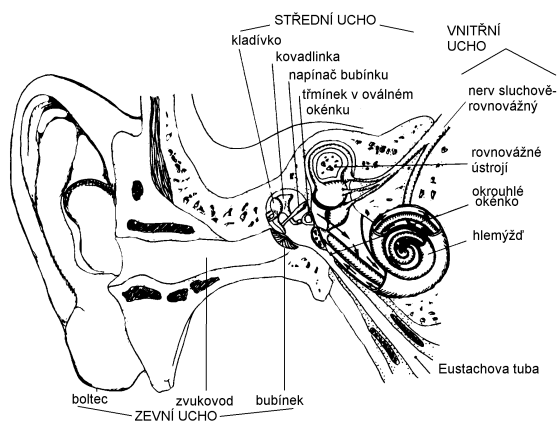
## 2.8.2 Fyziologická akustika

Sleduje zákonitosti mezi zvukovým signálem a jeho obrazem v našem vědomí. Hledá závislost intenzity, frekvence a spektra zvuku na našem vjemu, tj na hlasitosti, výšce a barvě. Zkoumá schopnost slyšení za ztížených podmínek (hluk) a snášení nepřiměřených zátěží.

## 2.8.3 Mechanismus slyšení

Sluchový orgán se skládá z částí periferní (zevní, střední a vnitřní ucho) a části centrální (spojené s periferní částí sluchovým nervem). **Zevní ucho** spojuje okolní prostor s bubínkem, který tvoří překážku ve zvukovodu. Rezonance této dutiny se pohybuje v okolí frekvence 4 kHz, čímž dochází ke zvýraznění hladiny akustického tlaku až o 10 dB. Chvění bubínku se mechanicky přenáší prostřednictvím **středního ucha**, (kladívko, kovadlinka, třmínek a napínač bubínku) do **ucha vnitřního** – hlemýždě. Součástí středního ucha slouží jako převodové ústrojí (transformace impedance) kmitů vzduchu na kmity kapaliny hlemýždě. Impedanci mění i středoušní svaly (zvyšují napětí bubínku a membrány okénka v hlemýždi). K reflexnímu stahu dochází při překročení hladiny 70 dB s nejkratší časovou konstantou přibližně 30 ms (30-150 ms). Uvedený mechanismus regulace přenosu do vnitřního ucha je funkční pro nízké tóny – do 1 kHz. Proto například "krátké" impulsy procházejí. Podráždění vnitřního ucha nastává kromě přenosu přes střední ucho též kostním vedením. Práh slyšení je pro tuto cestu o 40 dB vyšší.

Obr. 2.3.3.1 Řez sluchovým orgánem



**Vnitřní ucho** spočívá v kostěném pouzdru spánkové kosti. Má dva smyslové orgány: vestibulární ústrojí a vlastní ústrojí v labyrintové kapalině – hlemýžď. Hlemýžď obsahuje dva tekuté prostory oddělené basiální membránou trojúhelníkového tvaru, na které je Cortiho orgán. Sestává asi z 20 000 vláskových buněk ve kterých probíhá frekvenční analýza zvuku. Zvuky s rozličnou frekvencí zaznamenává membrána vnitřního ucha jako maximální záchvěvy v různých vzdálenostech od oválného okénka. Komplexní frekvenční analýza je však podrobnější než by bylo možno zjistit z rozložení maxim podél basiální membrány v uvedeném ušním závitku. Detailní analýza probíhá v samotném nervovém systému. Tvar a amplituda nervových impulsů vznikajících podél basiální membrány jsou nezávislé na budící amplitudě zaznamenané membránou. Amplituda určuje jen počet nervových impulsů. Jakmile nerv vede vzruch, je po určitou dobu blokován proti dalšímu vzruchu a po tu dobu je necitlivý. Při maximálním vzruchu bylo zaznamenáno až 150 impulsů za 1 sekundu. K vytvoření alespoň jednoho impulsu je zapotřebí určité hladiny vzrušení. Vysvětluje se tak existence práhu slyšení. Zhruba odpovídá referenční hodnotě akustického tlaku 20  $\mu\text{Pa}$ . Při zvyšování hladiny tlaku zvuku dospějeme k hladinám, při nichž dochází k pocitu bolesti – práh bolesti. Rozsah slyšitelnosti zvuku je proto u ucha omezen prahem slyšení a prahem bolesti v rozsahu kmitočtů zhruba 20 Hz až 20 kHz. Rozlišení frekvencí odpovídá 0,2 Hz.

Podráždění je z basiální membrány nesené ve složité struktuře nervu sluchově rovnovážného kde dochází k interakci signálů z obou uší. Konečné vyhodnocení nastane ve sluchové oblasti velkého mozku. Adaptace vnitřního ucha se uskutečňuje změnou prahu podráždění smyslových buněk.

V **centrální sluchové oblasti** dojde tedy k vyhodnocení **intenzity, frekvence, fáze** akustického podnětu, k porozumění tedy k psychologickému uvědomění počítka.

Ucho je alarmujícím orgánem. Sluchové podněty jsou biologicky účinnější než zrakové. Nemáme prakticky žádnou možnost vyřadit sluch z činnosti jako je tomu např. u oka. Mechanismy ovlivňující hlasitost působí jen krátkou dobu. Potom se sluch vrací ke své původní citlivosti, pokud nebyl poškozen.

(5)

#### 2.8.4 Hlasitost

Hlasitost je mírou subjektivního vjemu, který souvisí s intenzitou zvuku. Podle Weber-Fechnerova zákona platí mezi popudem (intenzitou zvuku) a počítkem (hlasitostí) vztah:

$$H = konst. \log (I/I_0) \quad 2.7$$

kde  $I$  ( $\text{W}/\text{m}^2$ ) je intenzita vnímaného zvuku,  $I_0$  ( $\text{w}/\text{m}^2$ ) je referenční intenzita zvuku. Konstanta úměrnosti závisí především na frekvenci tónu. Pro tón o kmitočtu 1 kHz platí:

$$H = 10 \log (I/I_0) \quad 2.8$$

Stoupá-li popud řadou geometrickou (násobky), stoupá počitek řadou aritmetickou (stálý rozdíl). Hlasitost tónů jiných frekvencí byla stanovena subjektivním srovnáním hlasitosti těchto tónů s tónem referenčním 1 kHz. Tak byly získány křivky stejných hladin hlasitosti, které udávají jaký akustický tlak způsobí na různých frekvencích stejný vjem hlasitosti jako referenční čistý tón 1 kHz. Nový takto získaný frekvenčně nezávislý stupeň byl nazván 1 fón [Ph], obr. 3/8. Hladina hlasitosti ve fónech nevyjadřuje zcela správně subjektivní změny hlasitosti. Proto byla experimentálně stanovena ryze subjektivní stupnice hlasitosti s jednotkou 1 son.

#### 2.8.5 Maskovací účinek zvuku

Je-li ucho vystaveno současně dvěma zvukům, potom silnější, maskující, převládne a potlačí slabší. Dojde tak k posunutí prahu slyšení silnějším zvukem. Tento jev závisí na rozdílu frekvencí mezi oběma zvuky. Posunutí prahu slyšení je největší okolo kmitočtu maskujícího tónu a je rozdílné pro čisté tóny a pro zvuky širokopásmové.

Např. tón o kmitočtu 8 kHz a hladině akustického tlaku 35 dB (v obr. 4/8 označený kroužkem), bude slyšet, když maskovací zvuk o kmitočtu 1,2 kHz bude mít hladinu akustického tlaku nižší než 100 dB. Zvuk např. o hladině akustického tlaku 60 dB a kmitočtu 2 kHz může být slyšet, je-li hladina akustického tlaku maskujícího zvuku 80

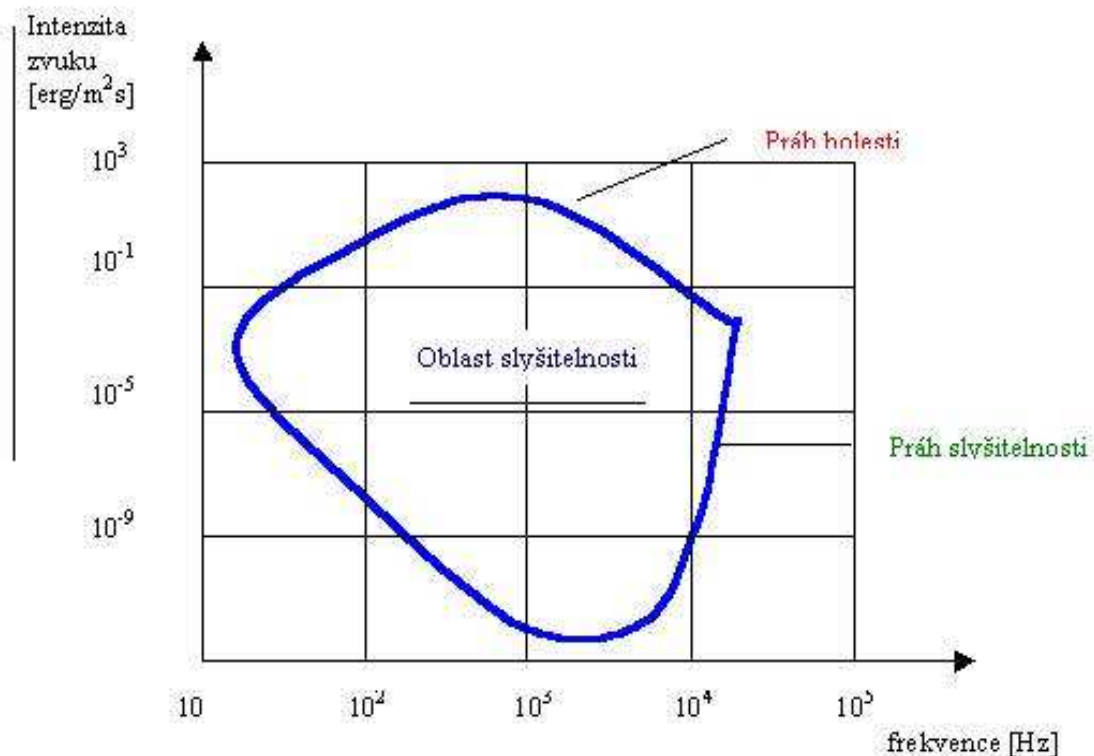


dB. Kdyby se tato hladina zvýšila na 90 dB, zvuk by přestal být slyšen. Kdybychom pokus opakovali v oblasti kmitočtů nižších než 1,2 kHz, maskovací efekt bychom téměř nenalezli, protože křivky maskujícího zvuku jsou velmi strmé.

Mnohdy nastane případ, že na sluchový orgán dopadá současně zvuk přímý a zvuk odražený od nějaké překážky. Nechť tento odražený zvuk je časově opožděn vlivem delší prošlé dráhy. Je-li toto zpoždění menší než 50 ms, oba zvuky splynou v jeden aniž by se to projevilo jako rušení. Je-li však časové zpoždění v rozsahu 50 až 100 ms, dochází k tzv. směšování zvuku. Následkem je snížení srozumitelnosti řeči. Při zpoždění větším než 100 ms vnímá ucho oba zvuky odděleně a vzniká ozvěna.

Hovoříme-li o srozumitelnosti řeči je vhodné ilustrovat její pokles v závislosti na hladině akustického tlaku hluku pozadí. Platí také, že vyšší frekvence spektra řeči (formanty), jsou pro srozumitelnost velmi podstatné. Mnohdy jsme svědky pravého opaku, zdůraznění nízkých kmitočtů – tzv. nádražní jev.

## 2.8.6 Práh slyšitelnosti a práh bolesti



Prahem slyšitelnosti rozumíme nejnižší průměrnou hladinu akustického tlaku zvuku vnímanou osobami ve věku 18 až 25 let s normálním sluchem. Pro zvuk o kmitočtu 1 kHz je tato hodnota posunuta o 4,2 dB proti vztažné hodnotě 0 dB. Pro čisté tóny, šum a řeč se prahy slyšitelnosti poněkud liší.

Práh bolesti nastává při hladinách akustického tlaku 130 až 140 dB. Velká intenzita zvuku podráždí nejen smyslové buňky vnitřního ucha vzdušnou cestou ale i přímým vedením kostí. Hmatový práh je 120 dB.

(5)

### **2.8.6.1 Impulsní zvuky**

Ucho reaguje na průměrnou akustickou energii za určitý čas. Má tedy integrační charakter. Proto při vnímání impulsních hluků se práh jejich slyšitelnosti snižuje přibližně o 3 dB pro každé jejich dvojnásobné prodloužení. Děje se tak až do délky impulsu 200 ms. Nejkratší časová konstanta (sledování rychlosti změn podnětů) sluchového orgánu je 2 ms.

### **2.8.6.2 Výška tónu**

Výška tónu je odrazem frekvence zvuku ve vědomí. Je závislá na frekvenci ale není s ní totožná. Závisí na intenzitě zvuku. Hovoříme potom o subjektivní výšce tónu dané frekvencí čistého tónu, který má při subjektivním posouzení stejnou výšku. Vjem zvuku není vymezen jen hlasitostí a výškou ale ještě třetím faktorem – zabarvením. Zabavení závisí na harmonickém složení zvuku. Snadno rozlišíme stejný tón zahrany na housle a klavír. Mnoho práce se věnovalo snaze umožnit měření nebo výpočet tohoto jevu. Měření prokázala existenci “kritických pásem” frekvencí a také určité příbuzenství mezi těmito pásmy a dříve zmíněnými vibračními maximy na basiální membráně hlemýždě. Na základě těchto poznatků byl rozdělen hlavní rozsah slyšitelných kmitočtů na 24 kritických pásem. Jedno kritické pásmo odpovídá vzdálenosti 1,3 mm podél basiální membrány. V rozsahu jednoho kritického pásma je hlasitost úměrná efektivní hodnotě akustického tlaku, zatímco hlasitost rozličných pásem se sčítá dohromady podle jakéhosi zvláštního schématu. Z fyzikálního hlediska je barva zvuku určena tvarem spektra akustického signálu.

Přivedeme-li na sluchový orgán čistý tón, bude v důsledku nelinearity “vnímaný signál” kromě základního tónu obsahovat i harmonické složky (**aurální tóny**), včetně tónů kombinačních.

### **2.8.6.3 Směrová charakteristika ucha**

Sluchové ústrojí má také význačnou směrovou charakteristiku danou umístěním a tvarem boltce ucha. Při směrové lokalizaci zdroje zvuku se uplatňuje jak vlastní směrový účinek, tj. rozdíl intenzity zvuku dopadajícího na jedno i druhé ucho, tak i časový rozdíl mezi dopadem zvuků a tím i rozdíl jejich fází. Citlivost ucha ke změně fáze je pozoruhodná: na 1 kHz je zjištělá diference 10 až 15  $\mu$ s.

Při určování směru zvukového zdroje se uplatňuje tzv. Haasův efekt – jev priority. Ucho určí místo zdroje podle směru, ze kterého bylo zasaženo první vlnoplochou. Další vlny mohou dopadat na ucho s hladinou o 7 až 10 dB vyšší a se zpožděním 30 až 50 ms aniž by korigovaly původní směrový vjem.

### **2.8.6.4 Audiometrie**

Audiometrie je diagnostickou metodou hodnocení kvality sluchu. Grafický záznam prahu slyšení testované osoby je ztrátovým audiogramem, který udává o kolik dB je sluchový práh posunut oproti normě. Sluchový práh se obvykle určuje pro čisté tóny a to jak pro vzdušné, tak i pro kostní vedení. Změřené průběhy sluchových prahů jsou základními údaji pro hodnocení sluchové poruchy. Osoba s normálním sluchem má křivku sluchového prahu na audiogramu v mezích 0 až 10 dB v celém frekvenčním rozsahu. Audiogram osoby s profesionální nedoslýchavostí (20 let práce v hluku) vykazuje propad s maximem až o 50 dB v oblasti vyšších frekvencí. Kromě prahové audiometrie čistými tóny se pro zpřesnění diagnózy užívá i šumová audiometrie.

(4)

## 2.9 Vibrace

Vibracemi rozumíme kmitavý pohyb těles nebo mechanického kontinua. Pro vibrace vnímané lidským organismem je používán termín chvění. Hluk a chvění spolu úzce souvisí, vzájemně se podmiňují. Příčinou obou jsou střídavé síly vznikající v důsledku vůlí a nepřesností při rotačních pohybech strojních zařízení, při pohybu dopravních prostředků, při činnosti nejrůznějších pracovních nástrojů. Kromě zdrojů vibrací, které jsou přímo či nepřímo vázány na technologickou činnost člověka setkáváme se v přírodě s vibracemi vyvolanými posuvy v zemské kůře – zemětřesením, nebo působením větru na nejrůznější konstrukce.

Účinky vibrací lze posuzovat z jejich amplitudy, časového průběhu, frekvence či spektra. Nejčastěji měřenou veličinou je **zrychlení**.

Vibrace, se kterými se setkáváme, mají zpravidla náhodný charakter a jsou tvořeny z mnoha kmitočtových složek. Vibrace se proto vyjadřují buď ve tvaru spektra znázorňujícího závislost velikosti vibrací na kmitočtu, nebo efektivní hodnotou vibrací uvnitř stanoveného pásma kmitočtů. Při měření vibrací přenášených na člověka jsou totiž rozhodující jen určité kmitočtové oblasti. Dostáváme se tak k ekvivalentní hodnotě zrychlení za danou dobu,  $a_{ekvT}$ . Naprosto analogicky jako u hluku je definována ekvivalentní hladina vibrací  $L_{aekv}$  za příslušnou dobu. Často se také používá dávka (zátěž) vibrací  $E_{aT}$  definována jako určitý časový integrál z kvadrátu zrychlení vibrací. Integrační mezí je doba na kterou se vztahuje údaj o vibrační expozici a dosazované zrychlení odpovídá kmitočtové korekci pro daný způsob přenosu a směr vibrací.

Experimentálně byly ověřeny **křivky stejné vnímatelnosti vibrací**, které jsou obdobou křivek stejné hladiny hlasitosti. Staly se podkladem pro určení maximálních přípustných hodnot při působení na lidský organismus.

### 2.9.1 Vliv vibrací na lidský organismus

Vnímání vibrací je ovlivněno celou řadou faktorů. Jedná se o komplexní fyziologický a psychologický vjem zprostředkovaný celou řadou receptorů. Dané vzruchy se přenášejí centrální nervovou soustavou do mozku, kde se integrují a kde také vzniká subjektivní vjem. Velikost vjemu je určena nejen kmitočtem ale i rychlostí resp. zrychlením kmitavého pohybu.

Vjem vibrací na kmitočtech nižších než 15 Hz je dán funkcí vestibulárního aparátu. Ten určuje odezvu člověka na lineární nebo úhlové zrychlení hlavy a celkové vibrace těla a jeho polohu v prostoru. Vjem vibrací na nízkých kmitočtech je zprostředkován také receptory, které jsou v kloubech, šlachách a svalech. Vibrace o kmitočtech vyšších než 15 Hz jsou vnímány pomocí receptorů na tlak, které se nacházejí v měkkých tkáních a kůži.

Expozice intenzivním vibracím je spojena s nepříjemným subjektivním vjemem nepohody, který může být posuzován jak z fyziologického tak i z psychologického hlediska. Dlouhodobá expozice pak může vyvolat trvalé poškození zdraví. Místní vibrace přenášené na ruce vyvolávají poškození několika systémů. Nejvíce jsou zasaženy periferní cévy, nervy horních končetin a svalově-kloubní aparát. V závažných případech trvalého poškození rukou se přiznává nemoc z povolání. Při delší expozici vibracím jsou průvodním jevem příznaky změn v centrálním nervovém systému. Nejsnadněji pozorovatelné jsou tzv. bílé prsty způsobené expozicí vibracím.

Nepříznivý a mnohdy i škodlivý účinek vibrací na člověka je závislý na způsobu jejich přenosu ze zdroje na člověka a na vedení v organismu samotném. Důležitou úlohu zde hraje i individuální tělesná konstituce a zručnost objektu.

Podle způsobu přenosu rozlišujeme vibrace přenášené na celý organismus nebo jen lokálně: na ruce, hlavu, páteř a trup. Pro posouzení směrových účinků vibrací byly stanoveny soustavy souřadnic lidského těla a ruky ve kterých se vibrace měří. Podle toho pak vibrace dělíme na horizontální a vertikální. Akutní poškození vznikají v důsledku rezonančního kmitání dutin organismu nebo jeho části, zejména trupu a žaludku. Zvláště škodlivá jsou pásma frekvencí:

2 - 6	Hz	....	pro sedící osobu
4 - 12	Hz	....	pro stojící osobu
12 - 30	Hz	....	pro hlavu
30 - 90	Hz	....	pro oční bulbus, centrální nerv. soustavu a cévy
400 - 600	Hz	....	pro rezonanci lebky.

Fyziologicky se vibrace, působící na organismus, projevují: ztrátou rovnováhy, snížením zrakové ostrosti, obtížemi při soustředění, kinetózou (stav organismu vzniklý působením rychlosti), vazoneurózou (cévohybné funkční onemocnění z poruchy nervové činnosti) a potížemi při dýchání.

(5)

## 2.9.2 Ultrazvuk

Z hygienického hlediska se účinek ultrazvuku na organismus hodnotí ze změřených průměrných hladin akustického tlaku v třetinooktávových pásmech na středních frekvencích 25 – 31,5 – 40 kHz. V rozsahu těchto frekvencí pracuje převážná část výkonových průmyslových ultrazvukových zařízení, určených pro čištění, vrtání broušení, svařování a podobně. V průmyslové praxi se užívají ultrazvukové defektoskopy při nedestruktivním zkoušení materiálů. Tato zařízení pracují na frekvencích 1 – 20 MHz obvykle v impulsním provozu. Výkon vyzařovaného ultrazvuku je závislý na požadované hloubce měření v materiálu.

V lékařských aplikacích je ultrazvuk využíván v terapii a diagnostice. V terapii se jedná o oblast fyzioterapie, inhalační techniky, chirurgie a destrukce kamenů v některých orgánech. Užívané pracovní frekvence jsou 0,5 – 5 MHz. Převážně je zde aplikován spojité ultrazvuk. V diagnostice dosahují vynikajících výsledků zobrazovací systémy, které neinvazivním způsobem umožňují diagnostikovat téměř všechny orgány v těle (vyjma plic a žaludku). Užívané frekvence obvykle impulsního ultrazvuku jsou ve frekvenčním pásmu 1 – 20 MHz.

## 2.9.3 Biologické účinky ultrazvuku

Projevují se v aktivních interakcích ultrazvukové energie s biologickým systémem. Dělíme je na primární – dané mechanickým působením ultrazvukového pole a na sekundární způsobované jinými druhy energie v něž se ultrazvuková energie transformovala (tepelná, chemická apod.). Podle způsobu interakce hovoříme o působení přímém – projevujícím se během aplikace a nepřímém – zprostředkovaném fyzikálně, chemicky nebo reflexně. Z hlediska mechanismu působení můžeme biologické účinky rozdělit na kavitační, tepelné, mechanické a chemické.

Specifičnost biologického působení ultrazvuku spočívá v komplexnosti jeho účinků, které podle velikosti dávky mohou být inhibiční (vratné i nevratné), ale i stimulační.

#### 2.9.4 Nejvyšší přípustné hodnoty

Nejvyšší přípustné hodnoty akustického tlaku pro průmyslové aplikace ultrazvuku se stanoví základní hladinou 105 dB s korekcí přihlížející k druhu vykonávané práce dle tab. 2/8. V lékařských aplikacích jsou respektovány maximální přípustné dávky z hlediska možných biologických účinků. Aplikovaný výkon ultrazvuku v terapii nesmí překročit  $30 \text{ kW.m}^{-2}$  při maximální expoziční době 15 min. Nejvyšší přípustná hodnota výkonu v diagnostice je  $1 \text{ kW.m}^{-2}$  při expozici do 500 s. Celková dávka má být nižší než  $10^5 \text{ J.m}^{-2}$ .

(5)

#### 2.9.5 Infrazvuk

Přírodními zdroji infrazvuku jsou např. zemětřesení a erupce vulkánů. Vichřice a větry případně motory letadel dokáží vybudit infrazvukové rezonance prostor mezi bloky domů. Dále jsou to točivé vibrující stroje, které vybudují infrazvukové rezonance místností (kompresory, ventilátory).

Známé jsou studie firmy Bruel & Kjaer z oblasti letiště Heatrow. Bylo konstatováno ovlivnění psychiky obyvatel přilehlých sídlišť, sklon k sebevraždám, rozladěnost, nevolnost, dezorientace, zvýšená unavitelnost, poruchy spánku a to již při hladinách infrazvuku kolem 65 dB. Účinky na posun sluchového práhu se dostavily až při hladinách 137 dB a expozicích delších než 3 minuty. Pocit tlaku až bolesti v uchu vyvolávaly hladiny 140 – 160 dB v závislosti na frekvenci 20 – 2 Hz. Ohrožení života je spojováno s překročením hladin akustického tlaku 170 – 180 dB ve frekvenčním pásmu 0,1 – 100 Hz.

(5)

### 3. CÍL PRÁCE

Cílem této závěrečné bakalářské práce je měřením zjistit, jakým hodnotám imisních hladin hluku jsou vystaveni lidé při obsluze traktoru. Toto měření nemá za cíl zjišťovat hodnoty, které jsou udávány od výrobců, kde jsou traktory testovány bez zatížení, případně je zatížení uměle simulováno. Při měřeních, která jsou cílem a výsledkem této práce, jsou údaje získávány při skutečném pracovním zatížení traktorů. Při posuzování výsledků nebude možné přesně srovnávat hodnoty naměřené u jednotlivých značek a typů traktorů. Není totiž možné zajistit naprosto shodné a rovnocenné podmínky, jako je například stáří a opotřebení traktorů a strojů s nimi spojených. Dále není možné zajistit pracovní činnost ve stejných půdních a terénních podmínkách pro jednotlivá měření. Je zřejmé, že hlavním ukazatelem pro srovnání budou nejvyšší přípustné hodnoty imisních hladin hluku na pracovišti ( kabina traktoru ) a celkové doby, po kterou je obsluha traktoru vystavena působení hluku při dané pracovní činnosti (orbě).



## **4.METODIKA**

### **4.1 Popis použité techniky**

Měření bylo provedeno za použití impulsivního zvukoměru, který vlastní Katedra zemědělské techniky, Zemědělské fakulty, Jihočeské university v Českých Budějovicích. Měřicí technika se skládá z kondenzátorového mikrofonu, zvukoměru, zesilovače, digitizeru a přenosného počítače.

#### **4.1.1 Mikrofon**

Mikrofon je typu MK 102, vyráběný západoněmeckou firmou RFT. Kalibrace mikrofonu je prováděna pravidelně dle ČSN.

#### **4.1.2 Zvukoměr**

Zvukoměr je od německé firmy ROBOTROM, typové označení je 00023. Ověření zvukoměru bylo prováděno současně s mikrofonem.

#### **4.1.3 Zesilovač**

Příslušenstvím zesilovače jsou v něm integrované ostatní části měřícího řetězce. Jedná se tedy o předzesilovač, pásmové filtry, hladinový zapisovač a měřidlo.

#### **4.1.4 Převodník**

Pro spojení zvukoměru s počítačem je použit analogový převodník. Úkolem převodníku je převod výstupních dat ze zesilovače na data používaná počítačem.

#### **4.1.5 Přenosný počítač**

Pro přímé zaznamenávání hodnot se používá přenosný počítač SIEMENS NIXDORF, PSD 3 N<sub>SX</sub>/20, 200MHz, kde je nainstalovaný program pro měření hluku.

Měřicí technika byla ověřena Českým metrologickým institutem v Brně v květnu 2006.

## **4.2 Postup měření**

### **4.2.1 Nastavení zvukoměru**

Každé měření začíná sestavením a propojením kabelů jednotlivých přístrojů měřící soupravy.

- a) Kontrola funkčnosti prvků.
- b) Provozní kontrola-kalibrace zvukoměru, popř. dokalibrování pomocí kalibračního šrouby.
- c) Nastavení váhového filtru, pro naše měření byla použita poloha „A“, která měří přímo hladinu akustického tlaku. (max. měřicí odchylka 3 dB)
- d) Nastavení zvoleného rozsahu měření v dB
- e) Nastavení kmitočtu filtru pro člověka 8 kHz.
- f) Spuštění programu v počítači.-1) délka měření
  - 2) počet měření za sekundu
  - 3) kmitočet filtru
  - 4) zvolený rozsah decibel

### 4.3 Vlastní měření

Měření jsem prováděl v zemědělské společnosti AGRUP Dub a.s. na Prachaticku.

Po nastavení zvukoměru jsem umístil měřicí přístroj do kabiny vybraného traktoru. Mikrofon měřicího přístroje jsem připevnil na hlukové ušní klapky a umístil jsem je na hlavu obsluhy traktoru. Směrem tak, aby osa citlivosti nebo výrobcem předepsaný směřovaly k hlavnímu zdroji hluku. Mikrofon ani měřicí přístroj nesmí být při měření vystaven nadměrným otřesům, vibracím, magnetickým nebo elektrickým polím, nadměrné teplotě nebo chladu a nadměrné vlhkosti.

Po umístění měřicího přístroje do kabiny traktoru jsem nejprve změřil hlukové pozadí při zavřených dveřích a oknech traktoru. Hlukové pozadí jsem měřil po dobu 60 sekund s počtem měření 2 za sekundu, při kmitočtu 8 kHz.

Po změření hlukového pozadí jsem měřil imisní hladinu hluku v kabině traktoru při běhu naprázdno, po dobu 60 sekund s počtem měření 2 za sekundu, při kmitočtu 8 kHz.

Po naměření imisní hladiny hluku v kabině traktoru při běhu na prázdnou, jsem měřil imisní hladinu hluku během pracovní operace ( orby ) v kabině traktoru, po dobu 60 sekund s počtem měření 2 za sekundu, při kmitočtu 8 kHz.

Hluk jsem vyhodnocoval podle vzorců (str. 4 a 5)

#### **4.4 Charakteristika společnosti AGRUP Dub a.s.**

Společnost AGRUP Dub a.s. se nachází přibližně 14 km od Prachatic. Průměrná nadmožská výška je udávána 400 m.n.m. Průměrná roční teplota je 7,22 °C a úhrn ročních srážek činí 660mm/m<sup>2</sup>.

Celková rozloha zemědělské půdy,na které společnost AGRUP Dub a.s. hospodaří je 1150 ha, orná půda tvoří 950 ha a 200 ha luk V rostlinná výroba je zaměřena především na produkci obilovin,olejnin, silážní kukuřice.

Živočišná výroba je zaměřena na výkrm skotu ( jatečných býků ).

Společnost má 13 stálých zaměstnanců + 3 sezónní zaměstnance.

## 5. Výsledky měření

V této kapitole jsou zpracovány výsledky mého měření.

### 5.1 Traktor Zetor 16145 + 5 radličný pluh PHX

Při měření imisní hladiny hluku u traktoru Zetor 16145 + 5 radličný pluh PHX, bylo jako první změřeno hlukové pozadí. Při frekvenci 8 kHz činila jeho střední hodnota 45,558 dB. Při pracovním zatížení bylo při 8 kHz naměřeno minimálně 70,00914 dB, maximálně 84,66151 dB a střední hodnota 80,77391 dB. (Viz. graf č.5.1.1. a tab. č.5.1.1)

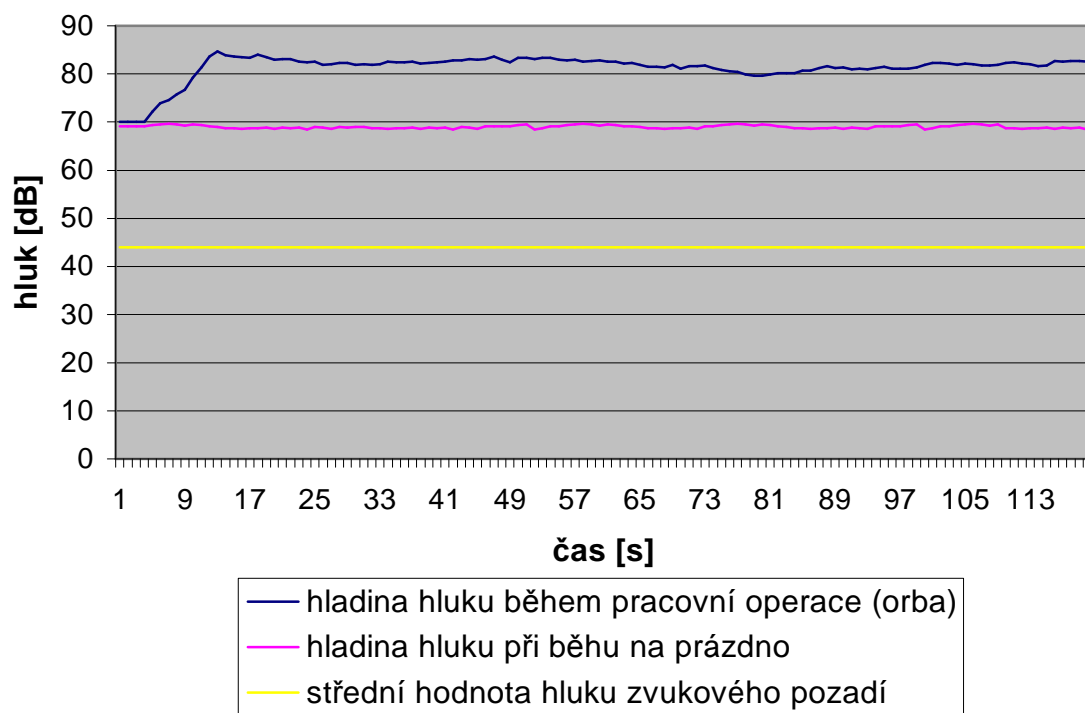
**Tab. č.5.1.1 Naměřené hodnoty při 8 kHz Zetor 16145 + 5 radličný pluh PHX**

Střední hodnota zvukového pozadí	45,558 dB
Maximální hodnota při prac. nasazení	84,66151 dB
Minimální hodnota při prac. nasazení	70,00914 dB
Střední hodnota při prac. Nasazení	80,77391 dB

**Tab č.5.1.2 Naměřené hodnoty při běhu na prázdko Zetor 16145**

Maximální hodnota při běhu na prázdko	69,63343 dB
Minimální hodnota při běhu na prázdko	68,51193 dB
Střední hodnota při běhu na prázdko	69,01698 db

**Graf č. 5.1.1 Zetor 16145 + 5 radličný pluh PHX**



## 5.2 Traktor John Deere 7810 + 5 radličný pluh PHX

Při měření imisní hladiny hluku u traktoru John Deere 7810 + 5 radličný pluh PHX, bylo jako první změřeno hlukové pozadí. Při frekvenci 8 kHz činila jeho střední hodnota 38,44523 dB. Při pracovním zatížení bylo při 8 kHz naměřeno minimálně 68,99262 dB, maximálně 79,64669 dB a střední hodnota 70,36248 dB. (Viz. graf č.5.2.2. a tab. č.5.2.3)

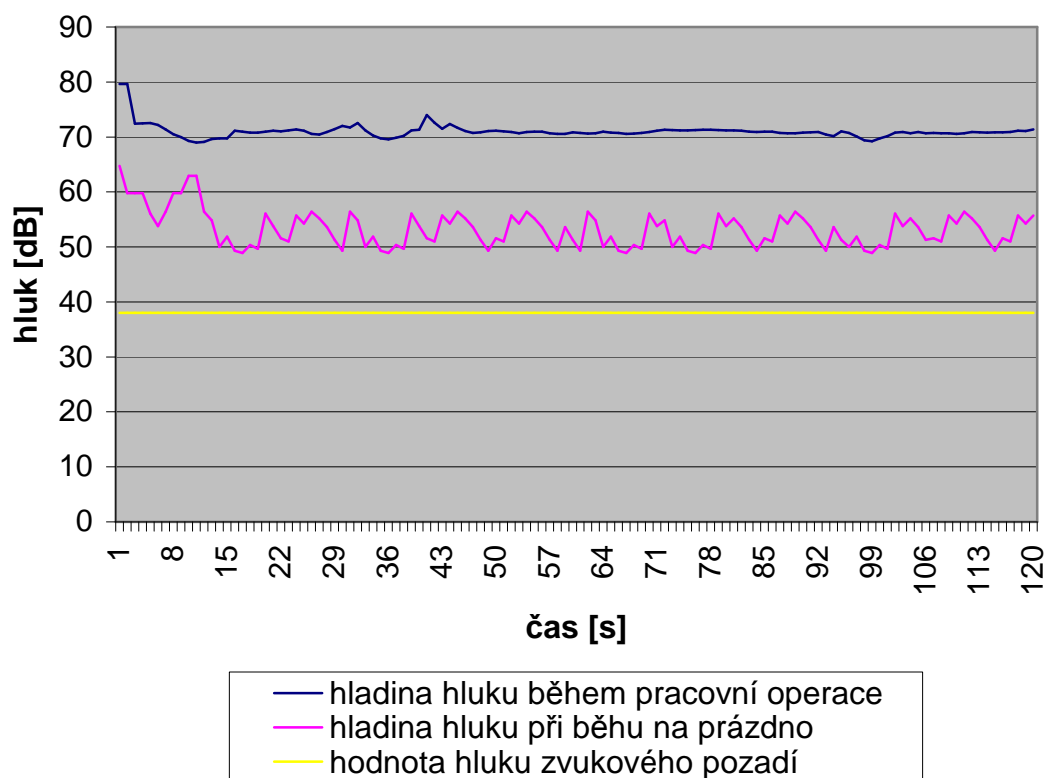
**Tab.č.5.2.3 Naměřené hodnoty při 8 kHz John Deere 7810 + 5 radličný pluh PHX**

Střední hodnota zvukového pozadí	38,44523 dB
Maximální hodnota při prac. nasazení	79,64669 dB
Minimální hodnota při prac. nasazení	68,99262 dB
Střední hodnota při prac. nasazení	70,36248 dB

**Tab.č.5.2.4 Naměřené hodnoty při běhu na prázdko John Deere 7810**

Maximální hodnota při běhu na prázdko	71,71465 dB
Minimální hodnota při běhu na prázdko	49,30635 dB
Střední hodnota při běhu na prázdko	54,92661 dB

Graf č. 5.2.2. John Deere 7810 + 5 radičný pluh PHX





### 5.3 Traktor Case Magnum 310 + 7 radličný pluh OVERUM

Při měření imisní hladiny hluku u traktoru Case Magnum 310 + 7 radličný pluh OVERUM, bylo jako první změřeno hlukové pozadí. Při frekvenci 8 kHz činila jeho střední hodnota 34,2312 dB. Při pracovním zatížení bylo při 8 kHz naměřeno minimálně 66,8277 dB, maximálně 71,7857 dB a střední hodnota 69,70238 dB. (Viz. graf č.5.2.3. a tab. č.5.3.5)

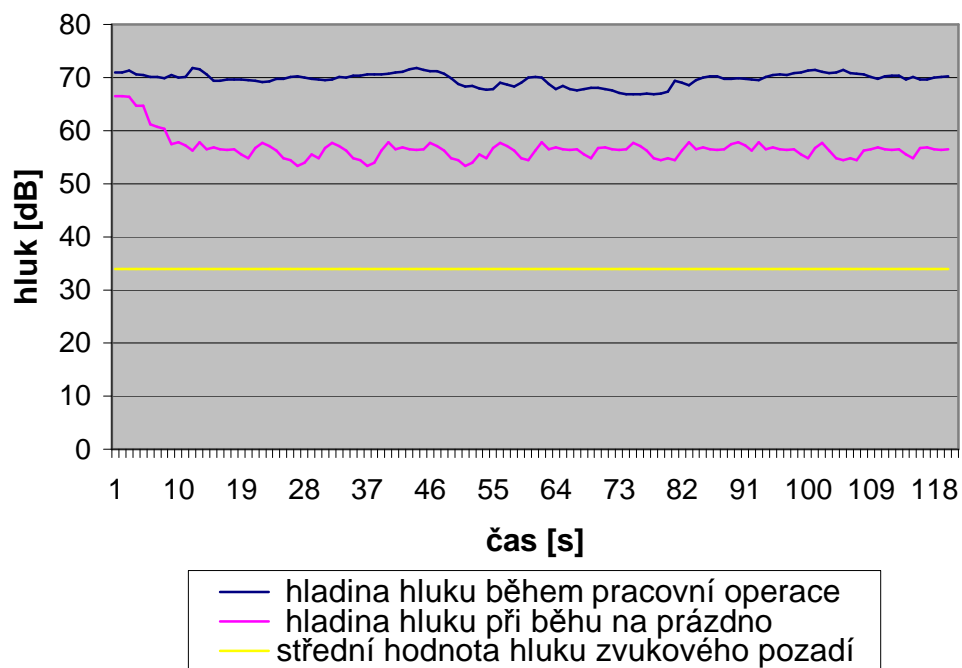
**Tab.č.5.3.5 Naměřené hodnoty při 8 kHz Case Magnum 7810 + 7 radličný pluh OVERUM**

Střední hodnota zvukového pozadí	34,2312 dB
Maximální hodnota při prac. nasazení	71,7857 dB
Minimální hodnota při prac. nasazení	66,82777 dB
Střední hodnota při prac. nasazení	69,70238 dB

**Tab.č.5.3.6 Naměřené hodnoty při běhu na prázdko Case Magnum 310**

Maximální hodnota při běhu na prázdko	69,96544 dB
Minimální hodnota při běhu na prázdko	50,3641 dB
Střední hodnota při běhu na prázdko	58,11918 dB

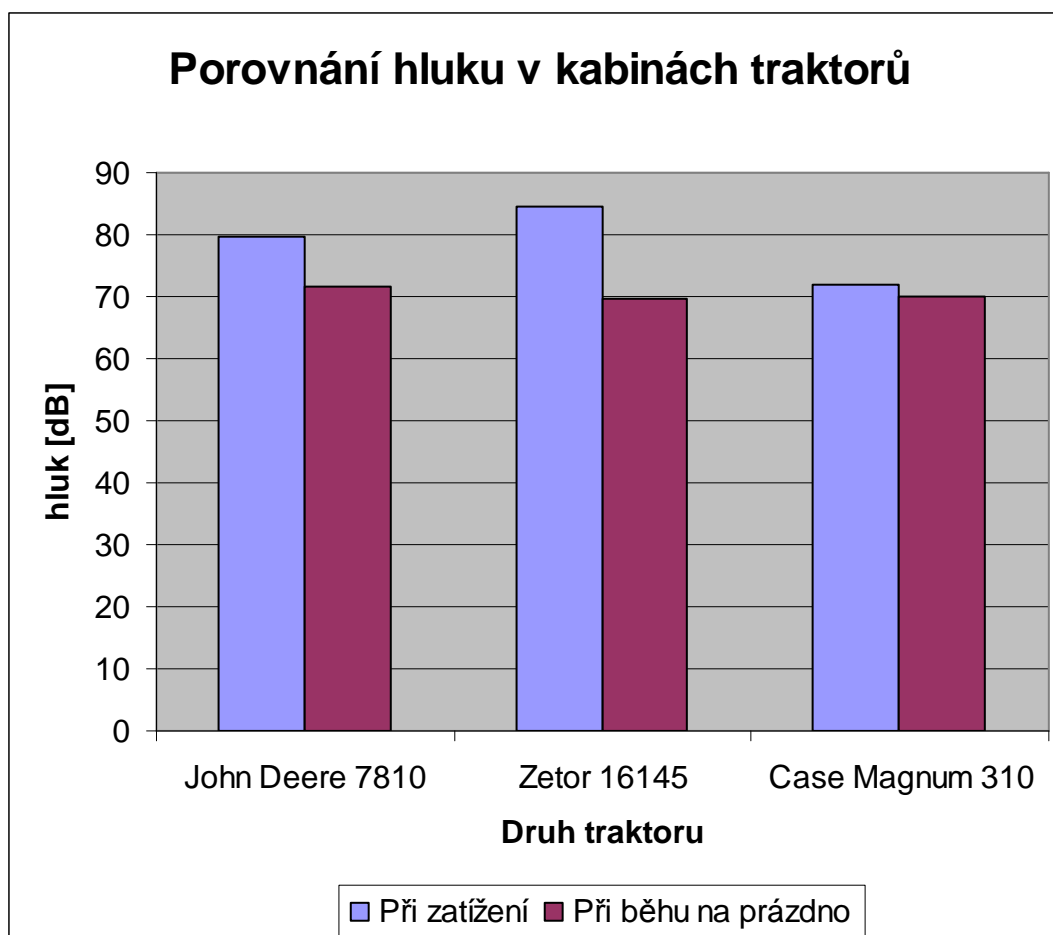
**Graf č. 5.2.3. Case Magnum 310 + 7 radličný pluh  
OVERUM**



### 5.3.7 Technické parametry traktorů a průměrná hodnota hluku za 7 hod. směnu

Typ traktoru	Výkon kW/PS	Rok výroby	Doba působení hluku za 7 hod. směnu (dB)
Zetor 16145	160/208	1991	81,35733
John Deere 7810	190/247	1997	71,02622
Case Magnum 310	220/286	2006	69,70236

Graf č.3 Porovnání hluku v kabinách jednotlivých traktorů



## **6. Diskuse**

### **6.1 Case Magnum 310 v kombinaci se 7 radličným pluhem Overum**

Z dosažených výsledků je patrné, že obsluha tohoto traktoru je vystavována při orbě nejnižší hlukové zátěži. Nejvyšší naměřená hodnota imisní hladiny hluku při orbě činila 71, 857 dB a střední hodnota se pohybuje okolo 58, 11918 dB. Tyto hodnoty se pohybují při dolní hranici pásma zátěže ( pásmo zátěže 70 – 94 dB ). Při měření na frekvenci 8 kHz není patrný žádný větší nárůst a ni pokles ( viz. graf číslo 3 ).

### **6.2 John Deere 7810 v kombinaci s 5 radličným pluhem PHX**

Z dosažených výsledků je patrné, že obsluha tohoto traktoru je vystavována při orbě maximální imisní hladině hluku 79, 64669 dB a střední hodnota s pohybuje okolo 70, 36248 dB. Tyto hodnoty částečně spadají do pásma zátěže ( pásmo zátěže 70 – 94 dB ). Při měření na frekvenci 8 kHz průběh hluku nezaznamenával velké odchylky, až na oblast mezi 41 a 47 sekundou, kdy byl patrný nárůst, zřejmě způsobený přeřazením na nižší převodový stupeň, v důsledku čehož došlo ke zvýšení otáček motoru ( viz. graf číslo 2 ).

### **6.3 Zetor 116145 v kombinaci s 5 radličným pluhem PHX**

Z dosažených výsledků je patrné, že obsluha tohoto traktoru je vystavována vyšší hlukové zátěži. Nejvyšší naměřená imisní hodnota hluku činila 84, 66151 dB a střední hodnota se pohybuje okolo 80, 77391 dB. Tyto hodnoty se pohybují v horní polovině pásma zátěže ( pásmo zátěže 70 – 94 dB ). Při měření na frekvenci 8 kHz je patrný nárůst hluku mezi 5 až 15 sekundou, což by mohlo být způsobeno najížděním do brázdy a zvyšováním otáček motoru ( viz. graf číslo 1 ).

## 7. Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se zabýval problematikou „Hlukové zátěže obsluhy v kabině traktoru odlišné výkonnostní třídy,“. Měření bylo prováděno v traktorech: CASE MAGNUM 310 (rok výroby 20006) v kombinaci se 7 radličným pluhem OVERUM, JOHN DEERE 7810 (rok výroby 1997) v kombinaci s 5 radličným pluhem PHX, ZETOR 161 45 (rok výroby 1991) v kombinaci s 5 radličným pluhem PHX. Měření byla prováděna při orbě.

Měřením bylo zjištěno, že největšímu působení hluku je vystavována obsluha traktoru ZETOR 161 45. To je způsobeno jednak stářím traktoru ( netěsnosti na dveřích a oknech kabiny ) a také jeho značným opotřebením. V době výroby traktoru ZETOR 161 45 nebyla ještě technika v odhlučňování kabin traktorů na takové úrovni jako dnes a na odhlučení kabin traktorů nebyly kladeny takové požadavky jako je tomu v dnešní době. Vzhledem k tomu, že snižování hluku je všeobecně značně problematické, nemělo by být opomíjeno používání osobních ochranných pomůcek. Jako jsou ušní zátky a sluchátkové chrániče, které tlumí hluk až o 33 dB. Právě tyto ochranné pomůcky jsou určeny pro pracoviště s hlukovou hladinou do 100 dB.

Naopak nejnižšímu působení hluku je vystavována obsluha traktoru CASE MAGNUM 310, což je dáno tím, že tento traktor byl vyroben v roce 2006 a je minimálně opotřebený a řadí se mezi špičku v odhlučnění kabiny a jízdních vlastnostech v současné době.

U traktoru John Deere byla minimálně překročena hladina hlukové zátěže, což se dalo očekávat vzhledem ke kvalitě a stáří traktoru.

## 8. Seznam použité literatury

1. ČSN ISO 9612 Akustika – směrnice pro měření a posuzování expozice hluku v pracovním prostředí
2. NĚMEC, Jaroslav- ZDRAŽIL, Oldřich- KOZÁK, Jan.: Měření hluku a chvění I díl, Praha, Dům techniky ČSTVS 1983, 134 s.
3. [www.Wikpide.cz](http://www.Wikpide.cz)
4. [www.szu.cz](http://www.szu.cz)
5. [www.enwieb.cz](http://www.enwieb.cz)
6. Vyhláška ministerstva zdravotnictví č.502/2000 Sb.)



