

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Stavba energetických strojů a zařízení

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Stanovení hodnot hladiny akustického tlaku hluku vyzařovaného
tepelným čerpadlem vzduch – voda ve vybraných místech

Autor: Václav Waldmann
Vedoucí práce: doc. RNDr. Josef Voldřich, CSc.

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Václav WALDMANN**
Osobní číslo: **S08B0582P**
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Stavba energetických strojů a zařízení**
Název tématu: **Stanovení hodnot hladiny akustického tlaku hluku vyzařovaného tepelným čerpadlem vzduch - voda ve vybraných místech**
Zadávající katedra: **Katedra energetických strojů a zařízení**

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

Máte za úkol:

Provést popis měřicí metody, přesnosti měření, normy pro měření akustického tlaku.

Měření provést v různých směrech:

- od venkovní jednotky, tzn. přímý
- na obě boční strany od zařízení
- nad venkovní jednotkou (bude-li možné)
- mezi stěnou a jednotkou (bude-li možné).

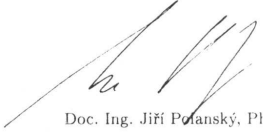
Rozsah grafických prací: schémata měření
Rozsah pracovní zprávy: 30 - 40 stran
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická
Seznam odborné literatury:

- Smetana C.: Měření hluku a chvění, SNTL Praha, 1974
- Smetana C.: Hluk a vibrace, měření a hodnocení, Praha, 1998
- Nový R.: Hluk a chvění, ČVUT, Praha, 1995
- Beran V.: Chvění a hluk, ZČU Plzeň, 2010

Vedoucí bakalářské práce: RNDr. Josef Voldřich, CSc.
Katedra energetických strojů a zařízení
Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Honzík
AC HEATING
Ostatní konzultanti: Bc. Oldřich Kaucký
AC HEATING
Datum zadání bakalářské práce: 3. listopadu 2011
Termín odevzdání bakalářské práce: 25. května 2012


Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.
děkan

L.S.


Doc. Ing. Jiří Polanský, Ph.D.
vedoucí katedry

V Plzni dne 3. října 2011

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni. Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Autorská práva

Podle Zákona o právu autorském. č.35/1965 Sb. (175/1996 Sb. ČR) § 17 a Zákona o vysokých školách č. 111/1998 Sb. je využití a společenské uplatnění výsledku bakalářské práce, včetně uváděných vědeckých a výrobně-technických poznatků nebo jakékoliv nakládání s nimi možné pouze na základě autorské smlouvy za souhlasu autora a Fakulty strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Poděkování

Na prvním místě bych rád poděkoval vedoucímu své bakalářské práce doc. RNDr. Josefu Voldřichovi, CSc., který mi svým ochotným přístupem, radami a připomínkami pomohl při vytvoření této práce. Poté bych chtěl poděkovat i Ing. Kamilu Sedlákovvi, se kterým jsem řešení této práce často konzultoval.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Waldmann	Jméno Václav	
STUDIJNÍ OBOR	2301R016 „Stavba energetických strojů a zařízení“		
VEDOUcí PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) doc. RNDr. Voldřich, CSc.	Jméno Josef	
PRACOVISŤE	ZČU-FST-KKE		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	NEHODÍCÍ ŠKRTNĚTE
NÁZEV PRÁCE	Stanovení hodnot hladiny akustického tlaku hluku vyzařovaného tepelným čerpadlem vzduch – voda ve vybraných místech		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KKE	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

Počet stran (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	59	TEXTOVÁ ČÁST	37	GRAFICKÁ ČÁST	7
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p style="text-align: center;">STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</p> <p style="text-align: center;">ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Bakalářská práce obsahuje data z měření hodnoty akustického tlaku tepelného čerpadla a jejich vyhodnocení. Dále jsou zde popsány vlastnosti zvuku, měřidlo pro měření hluku a popis samotného měření a popis protokolu z měření hodnoty akustického tlaku. Součástí je i přehled norem, které se zabývají měřením hluku.</p>
<p style="text-align: center;">KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p style="text-align: center;">Tepelné čerpadlo, zvukoměr, váhový filtr, hluk, hladina akustického tlaku, komora, měření, protokol.</p>

SUMMARY OF BACHELOR THESIS

AUTHOR	Surname Waldmann	Name Václav	
FIELD OF STUDY	2301R016 „Design of Power Machines and Equipment“		
SUPERVISOR	Surname (inclusive of degree) doc. RNDr. Voldřich, CSc.	Name Josef	
INSTITUTION	ZČU-FST-KKE		
TYPE OF WORK	—DIPLOMA—	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Assess the values of sound pressure level of noise emitted by a heat pump type air - water in selected areas		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Power System Engineering	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------------------	-------------------	--------------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	59	TEXT PART	37	GRAPHICAL PART	7
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION (MAX 10 ŘÁDEK) TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	The Bachelor thesis includes data from measuring of the value of the sound pressure level of a heat pump and their evaluation. Next it describes properties of sound, a device for measuring of the noise and description of the measuring and protocol of measuring of the value of the sound pressure level. It includes summary of the standards. The standards deal with measuring of the noise.
KEY WORDS	Heat pump, noise meter, weighting, noise, sound pressure level, chamber, measuring, protocol.

Obsah

1	Seznam obrázků	11
2	Seznam grafů.....	12
3	Seznam tabulek	12
4	Seznam použitých veličin.....	13
5	Úvod.....	15
6	Základní pojmy	15
6.1	Zvuk.....	15
6.2	Definice zvuku.....	15
2.2.1	Odvození rychlosti zvuku	16
6.2.1.1	Odvození rychlosti zvuku v ideálním plynu	17
6.3	Šíření zvuku.....	19
6.4	Decibel (dB)	19
6.5	Sluchový vjem	21
7	Popis zvuku	22
7.1	Škodlivost hluku při práci.....	23
8	Akustické veličiny.....	23
8.1	Akustický tlak p	23
8.2	Akustická rychlost u	24
8.3	Intenzita zvuku I	24
8.4	Akustický výkon.....	24
9	Hladiny akustických veličin	24
9.1	Hladina akustického tlaku	24
9.2	Hladina akustické rychlosti	24
9.3	Hladina akustického výkonu	24
9.4	Hladina intenzity zvuku.....	25
10	Zdroje hluku	25
10.1	Bodový zdroj	25
10.1.1	Bodový zdroj nultého řádu.....	25
10.1.2	Bodový zdroj prvního řádu	25
10.2	Přímkový zdroj	25
10.3	Plošný akustický zdroj.....	25
11	Zařízení sloužící k měření zvuku	26
11.1	Zvukoměr.....	26
11.1.1	Mikrofon	27

11.1.1.1	Kapacitní mikrofon	28
11.1.1.2	Mikrofon ve zvukovém poli	28
11.1.2	Váhové filtry	29
11.1.3	Dynamické charakteristiky a časové konstanty	29
11.1.4	Impulsový zvukoměr	30
11.1.5	Kalibrace a justace	31
12	Vlivy přítomnosti zvukoměru a operátora ve zvukovém poli	31
12.1	Vlivy prostředí	31
12.1.1	Rychlost proudícího vzduchu	31
12.1.2	Vlhkost	31
12.1.3	Teplota	31
12.1.4	Atmosférický tlak	32
12.1.5	Mechanické chvění	32
13	Bezdozvukové a dozvukové komory a místnosti	32
14	Tepelná čerpadla	32
14.1	Princip tepelného čerpadla	32
14.1.1	Topný faktor	33
15	Popis metody měření	34
15.1	Úvodní část	34
15.2	Normy	34
15.3	Přístrojové vybavení	34
15.4	Měřicí místa	35
15.4.1	Měření ve venkovním prostoru	35
15.4.2	Měření ve venkovním prostoru budov	35
15.4.3	Měření uvnitř budov	35
15.5	Meteorologické vlivy	35
15.6	Akustické údaje	36
15.7	Doba a délka měření	36
15.8	Hluk pozadí	36
15.8.1	Odečítání hladin zvuku	36
15.8.2	Sčítání hladin zvuku	37
15.9	Obsah protokolu	38
16	Protokol	38
17	Závěr	49
18	Literatura	50

19	Seznam příloh.....	51
----	--------------------	----

1 Seznam obrázků

Obr. 1: Šíření tlakového rozruchu od pístu ve válci [3]	16
Obr. 2: Vztah mezi vlnovou délkou a frekvencí vzduchu. [2]	18
Obr. 3: Bílý šum	18
Obr. 4: Zobrazení stupnice akustického tlaku a hladiny akustického tlaku [2]	20
Obr. 5: Oblast slyšení [2]	21
Obr. 6: Křivky stejné hlasitosti pro čisté tóny [2]	21
Obr. 7: Přípustná doba expozice osoby pracující v hlučném prostředí. [1]	23
Obr. 8: Spektrogram [4]	26
Obr. 9: Zvukoměr [2]	27
Obr. 10: Části zvukoměru [4]	27
Obr. 11: Váhové filtry [4]	29
Obr. 12: Vliv časových konstant na vyhodnocení měření [4]	30
Obr. 13: Impuls [4]	30
Obr. 14: Schéma oběhu tepelného čerpadla. [5]	33
Obr. 15: Tepelné čerpadlo vzduch-voda [5]	33
Obr. 16: Odečet hladiny zvuku	37
Obr. 17: Součet hladiny zvuku	38
Obr. 18: Poloha mikrofону pro měření čerpadla AW28	39
Obr. 19: Poloha mikrofону pro měření čerpadla AW19	39
Obr. 20: Poloha mikrofону pro měření čerpadla AW09	40

2 Seznam grafů

Graf 1: Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW28.....	41
Graf 2: Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW19.....	42
Graf 3: Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW09.....	42
Graf 4: Čerpadlo AW28 – 50% výkon - LAeq	43
Graf 5: Čerpadlo AW28 – 100% výkon - LAeq	43
Graf 6: Čerpadlo AW28 s krytem – 50% výkon - LAeq	44
Graf 7: Čerpadlo AW28 s krytem – 100% výkon - LAeq	44
Graf 8: Čerpadlo AW19 zleva – 50% výkon - LAeq.....	45
Graf 9: Čerpadlo AW19 zleva – 100% výkon - LAeq.....	45
Graf 10: Čerpadlo AW19 zprava – 50% výkon - LAeq.....	46
Graf 11: Čerpadlo AW19 zprava – 100% výkon - LAeq.....	46
Graf 12: Čerpadlo AW09 – 50% výkon - LAeq	47
Graf 13: Čerpadlo AW09 – 100% výkon - LAeq	47
Graf 14: Hluk pozadí - LAeq	48

3 Seznam tabulek

Tabulka 1: Celkový přehled	41
Tabulka 2: Hluk pozadí	53
Tabulka 3: Čerpadlo AW28	54
Tabulka 4: Čerpadlo AW28 s použitím krytu proti hluku	55
Tabulka 5: Čerpadlo AW19 měřeno zleva.....	56
Tabulka 6: Čerpadlo AW19 měřeno zprava.....	57
Tabulka 7: Čerpadlo AW09	58

4 Seznam použitých veličin

Veličina	Značka	Jednotka	Znak
hmotnost nenarušené oblasti	m_o	kilogram	kg
hmotnost narušené oblasti	m_n	kilogram	kg
hustota	ρ	kilogram na metr krychlový	kg m^{-3}
plocha	S	čtvereční metr	m^2
rychlost zvuku	a	metr za sekundu	m s^{-1}
čas	t	sekunda	s
rychlost pístu	w	metr za sekundu	m s^{-1}
síla	F	newton	N
tlak	p	pascal	Pa
měrný objem	v	metr krychlový na kilogram	$\text{m}^3 \text{kg}^{-1}$
poissonova konstanta	κ	-	-
individuální plynová konstanta	r	joule na kilogram kelvin	$\text{J kg}^{-1} \text{K}^{-1}$
teplota	T	kelvin	K
vlnová délka	l	metr	m
frekvence	f	hertz	Hz
hladina akustického tlaku	L_p	decibel	dB
referenční hodnota tlaku	p_0	pascal	Pa
akustická rychlost	u	metr za sekundu	m s^{-1}
poloměr	r	metr	m
intenzita zvuku	I	watt na čtvereční metr	W m^{-2}
akustický výkon	W	watt	W
hladina akustické rychlosti	L_u	decibel	dB
referenční hodnota akustické rychlosti	u_0	metr za sekundu	m s^{-1}
hladina akustického výkonu	L_w	decibel	dB
referenční hodnota akustického výkonu	W_0	watt	W
hladina intenzity zvuku	L_I	decibel	dB
referenční hodnota intenzity zvuku	I_0	watt na čtvereční metr	W m^{-2}
úbytek intenzity hladiny akustického tlaku	L_{p2}	decibel	dB
hladina akustického tlaku bodového zdroje	L_{p1}	decibel	dB
výsledná hladina akustického tlaku	L_c	decibel	dB
hladina akustického tlaku měřeného zdroje	L_2	decibel	dB
hodnota korekce	ΔL	decibel	dB
hladina akustického tlaku shodných zdrojů	L	decibel	dB
ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku	L_{Aeq}	decibel	dB
náboj	Q	coulomb	C

napětí	U	volt	V
vzdálenost elektrod	d	metr	m
permitivita vzduchu	$\varepsilon_0 \varepsilon_r$	farad na metr	F m ⁻¹
standardní nejistota tlakoměru	u _{B1}	pascal	Pa
standardní nejistota mikrofonu	u _{B2}	decibel	dB
maximální odchylka tlakoměru	δ_1	kilopascal	kPa
maximální odchylka mikrofonu	δ_2	decibel	dB
hodnota daná výrobcem mikrofonu	δ_{21}	decibel	dB
tlak okolí	p ₂₁	kilopascal	kPa
výsledná standardní nejistota B	u _B	decibel	dB

5 Úvod

Nyní se nacházíme v době, kdy každým rokem dochází k nárůstu cen energií potřebných pro vytápění bytů či obytných domů. Ještě donedávna byl zcela běžný zimní pohled na vesnici, kde se z každého komínu linul bílý kouř. Ve městech se pro vytápění bytů převážně využívaly plynové či elektrické kotle nebo elektrické přímotopy. Díky stoupajícím cenám energií jako je elektřina, plyn či fosilní paliva, lidé hledají nové alternativy vytápění svých bytů či domů. Logickou snahou je minimalizovat náklady za vytápění, ale zároveň nechtějí snižovat svůj životní standart. Proto v této době přichází na řadu zdroje, jako jsou např. tepelná čerpadla. Nejčastějšími typy tepelných čerpadel jsou typ země-voda a typ vzduch voda. Tato práce se zaměřuje na typ tepelného čerpadla vzduch-voda a na naměření a stanovení velikosti akustického tlaku, který emituje do okolí. Znalost akustického tlaku tepelných čerpadel je pro nás důležitá. Pokud by tato hladina byla příliš vysoká, negativně by ovlivňovala život lidí, kteří by žili poblíž tohoto tepelného čerpadla.

Samotná práce je rozdělena do několika částí. Po seznámení se základními pojmy v akustice jsou definovány akustické veličiny a jejich hladiny, dále pak existující zdroje hluku. Další část práce je zaměřena na měřící aparaturu, jež je používána pro měření akustických veličin, obvykle jde o zvukoměr. Poté je práce zaměřena na vlivy přítomnosti zvukoměru a operátora ve zvukovém poli. Dále následuje ukázka škodlivosti hluku při práci. Poté se práce zabývá bezdozvukovými a dozvukovými komorami a místnostmi, načež následuje krátký popis tepelných čerpadel, kterých se tato práce týká. Předposlední bod je zaměřen na popis metody měření a na samotný protokol z měření. Závěru jsou shrnuty všechny zjištěné hodnoty.

6 Základní pojmy

6.1 Zvuk

Zvuk je součástí každodenního života. Může sloužit jako dorozumívací prostředek mezi jednotlivými lidmi. Může také přinést člověku uspokojení při poslechu hudby či při poslechu dětského smíchu. Zároveň zvuk může být použit pro varovné účely, jako je houkání požární sirény. Nebo může sloužit k detekování případných poruch, jako je například skřípání brzd u aut. V životě se nesetkáváme jen s pozitivními zvuky, ale i s negativními, často nepříjemnými zvuky. Řadu nežádoucích zvuků je možné označit souhrnně jako hluk. To, zda je zvuk nepříjemný, nemusí vycházet jen z jeho fyzikálních parametrů, ale také to může být ze subjektivního pohledu daného posluchače. Řidiči motocyklu se zvuk jeho stroje může náramně líbit, ale ten samý pocit již nenabývají okolní občané. Nemusí se vždy ale jednat jen o hluk hlasitý. Jako nepříjemný hluk se může jevit i praskající podlaha. Nejhorší vlastností zvuku je, že může způsobovat přechodné či trvalé škody. Například při dlouhodobém poslechu hlasité hudby dochází k trvalému poškození sluchu.

6.2 Definice zvuku

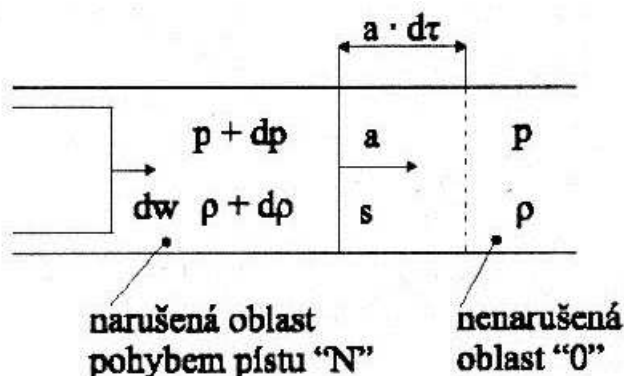
Zvuk je mechanické vlnění v látkovém prostředí. V našem případě se jedná o mechanické vlnění, které se šíří vzduchem. Rychlost šíření zvuku se nechá také definovat jako rychlost šíření malých tlakových poruch. Nejběžnějším přístrojem pro měření změn tlaku je barometr. Změny tlaku jsou způsobeny změnou počasí, ale tyto změny jsou velmi pomalé, takže lidský sluch je nerozezná. Aby byl lidský sluch schopen rozeznat změny tlaku, muselo by se jednat o velmi rychlé změny, které by probíhaly rychleji než dvacetkrát za sekundu. Naopak pro

barometr jsou tyto změny tlaku velmi rychlé a tak je nerozezná. Proto pro měření zvuku to není vhodné měřidlo.

Počet periodicky opakovaných změn tlaku za jednotku času určuje kmitočet zvuku. Jako jednotka se zde užívá Hz (Hertz) s rozměrem 1/s.

2.2.1 Odvození rychlosti zvuku

Rychlost zvuku je nejmenší rychlostí, kterou se v klidném prostředí šíří tlaková změna. Na obr. 1 je zobrazeno potrubí uzavřené pohyblivým pístem, který se začal pohybovat rychlostí dw . Vytváří tím tlakový rozruch ve formě zvýšení tlaku o dp a hustoty $d\rho$. Tento rozruch se rozšířil do oblasti před pístem, kterou nazveme narušenou. Jelikož se rozruch šíří rychlostí zvuku a , posouvá se hranice mezi narušenou a nenarušenou oblastí za čas $d\tau$ o délku $a d\tau$.



Obr. 1: Šíření tlakového rozruchu od pístu ve válci [3]

Nenarušené oblasti ubude elementární objem, ve kterém je látka o hmotnosti dm_o a naopak v narušené oblasti přibude hmotnost dm_n

$$dm_o = \rho S a d\tau,$$

$$dm_n = (\rho + d\rho)S (a - dw)d\tau.$$

Hmoty obou oblastí se musí rovnat

$$dm_o = dm_n,$$

$$\rho S a d\tau = (\rho + d\rho)S (a - dw)d\tau,$$

$$\rho a = \rho a - \rho dw + a d\rho - d\rho dw.$$

Poslední člen rovnice můžeme zanedbat, protože se jedná o velmi malou veličinu oproti ostatním. Tímto postupem obdržíme

$$\rho dw = a d\rho.$$

Z druhého Newtonova zákona vyplývá, že síla je rovna časové změně hybnosti.

$$F = \frac{d(m w)}{d\tau}$$

Síla F je zároveň rovna $S dp$. Jedná se o sílu, která působí na hraniční plochu mezi narušenou a nenarušenou oblastí. Tedy

$$S dp = \frac{\rho S a d\tau dw}{d\tau},$$

$$dp = \rho a dw,$$

$$\rho dw = \frac{dp}{a}.$$

Odtud pak plyne

$$a d\rho = \frac{dp}{a},$$

$$a^2 = \frac{dp}{d\rho}.$$

Jelikož šíření zvuku probíhá velmi rychle, nestačí dojít k žádné výměně tepla mezi narušenou a nenarušenou oblastí. Z toho vyplývá, že šíření zvuku probíhá adiabaticky

$$a = \sqrt{\left(\frac{dp}{d\rho}\right)_s}.$$

6.2.1.1 Odvození rychlosti zvuku v ideálním plynu

Šíření hluku probíhá adiabaticky, bude se vycházet z rovnice adiabaty

$$p v^\kappa = konst.$$

Diferencováním logaritmické rovnice získáme

$$\frac{dp}{p} - \kappa \frac{d\rho}{\rho} = 0,$$

$$\left(\frac{dp}{d\rho}\right)_s = \kappa \frac{p}{\rho} = \kappa p v.$$

Pokud toto dosadíme do rovnice pro rychlost zvuku, dostaneme

$$a = \sqrt{\kappa p v}.$$

Ze stavové rovnice plynů si odvodíme

$$p v = r T.$$

Toto dosadíme do rovnice rychlosti zvuku

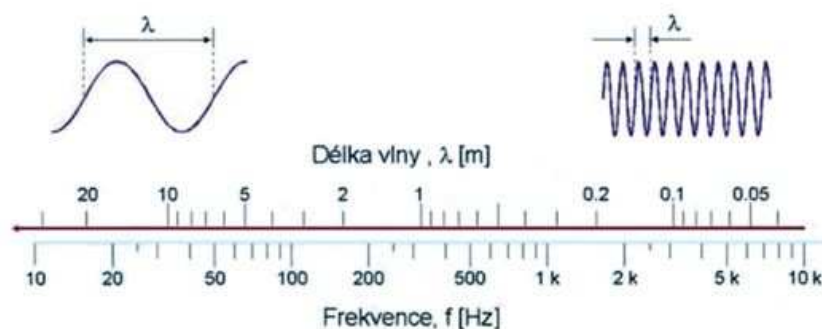
$$a = \sqrt{\kappa r T}.$$

Rychlost zvuku v ideálním prostředí při teplotě 20 °C (293,15 K) je 343 m/s.

Ideální prostředí je takové, kde je chování vzduchu popsáno rovnicemi pro ideální plyn.

Tlakové změny se šíří stlačitelným prostředím od zdroje zvuku ke sluchovým orgánům posluchače. Ze znalosti rychlosti šíření zvuku a jeho kmitočtu je možno vypočítat jeho vlnovou délku. Jedná se o vzdálenost mezi periodicky se opakujícími extrémními tlaky. Viz obr. 2.

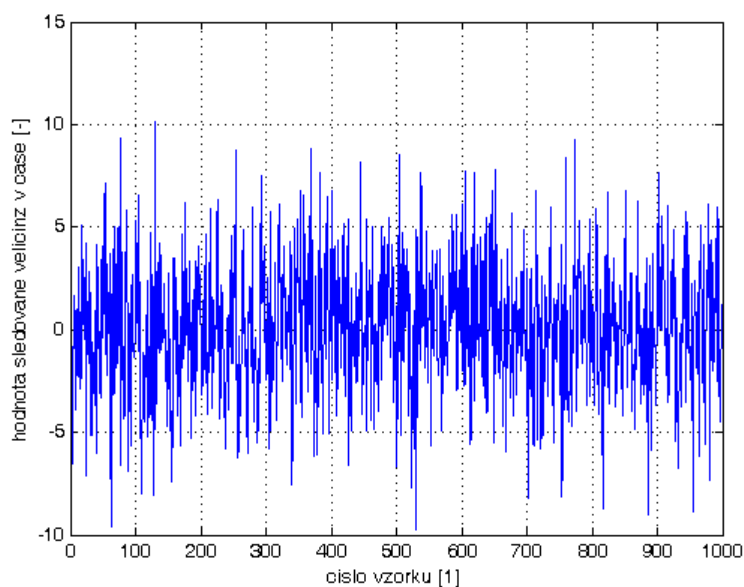
$$\lambda = \frac{a}{f}$$



Obr. 2: Vztah mezi vlnovou délkou a frekvencí vzduchu. [2]

Pomocí tohoto vztahu je možné vypočítat délku vlny s různými kmitočty. Platí, že zvuky s vysokými kmitočty mají malou vlnovou délku a zvuky s nízkým kmitočtem mají velkou vlnovou délku.

V praxi je možno se setkat také s pojmy, jako je čistý tón či bílý šum. Čistý tón se vyskytuje velmi zřídka a jedná se o zvuk, jehož změny tlaku probíhají s jediným kmitočtem. Bílý šum má konstantní výkonovou spektrální hustotu. Bílý šum má stejný výkon v jakémkoliv pásmu o stejné šířce. Například výkon pásma mezi 40 Hz a 60 Hz má stejný výkon jako pásmo mezi 220 Hz a 240 Hz. Příklad záznamu bílého šumu je uveden na obr. 3.



Obr. 3: Bílý šum

6.3 Šíření zvuku

Šíření zvukových vln je možné přirovnat k šíření vln na vodní hladině, do které dopadne kámen. Vlny se šíří rovnoměrně do všech směrů. Vytváří se takzvané vlnoplochy. Rozruch se šíří vlnami a místa, kam až vlnění dorazilo ve stejném okamžiku, nazýváme čelo vlny. Dané směry, kam vlnění postupuje, nazýváme paprsky, které jsou kolmé na vlnoplochy. Rozeznáváme dva druhy vlnění, a to vlnění podélné a vlnění příčné. O tom, jak se budou vlny šířit, rozhoduje především prostředí, ve kterém se šíří. Pokud se vlny šíří v prostředí plynném či kapalném, je toto vlnění podélné. U tuhých látek se může vyskytovat společně s podélným vlněním také vlnění příčné.

Akustické vlnění může mít sinusový průběh. Pokud je to tak, mluvíme o jednoduchém zvuku. Všechny ostatní zvuky, jejichž průběh není sinusový, jsou zvuky složené.

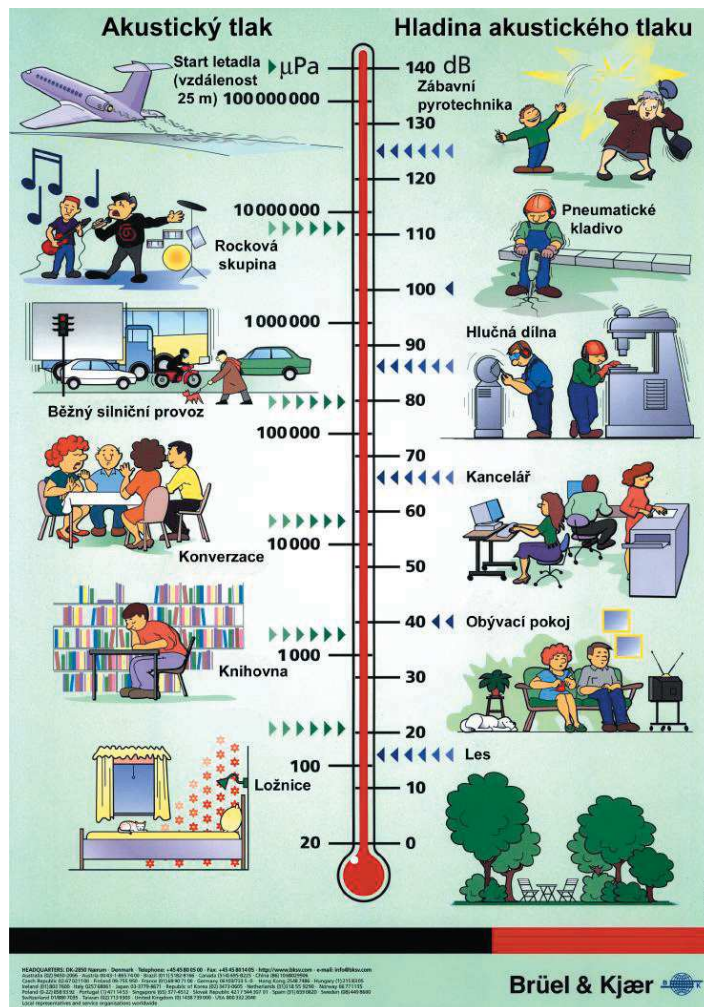
Pokud se zvukové vlně dostane do cesty nějaká překážka, část energie se odrazí, část bude pohlcena a část energie bude přenesena danou překážkou. Kolik energie se pohltí, odrazí či přeneše, záleží především na materiálu překážky, tvaru překážky a na vlnové délce zvuku. Obecně platí, že pokud je překážka větší ve směru šíření než délka zvukové vlny, dojde za touto překážkou výrazně k velkému útlumu. Toto je možno pozorovat i v praxi. Při poslechu hudby z reproduktorů jsou okolní pokoje chráněny zdmi či dveřmi. Zatímco vysoké tóny téměř neproniknou do vedlejších místností, naopak hluboké tóny se šíří téměř nerušeně.

6.4 Decibel (dB)

Jednotka decibel slouží k popisu a hodnocení zvuku. Nejslabší zvuk, který je schopen zaznamenat nepoškozený lidský sluch je charakterizován akustickým tlakem dvaceti milióntin základní jednotky tlaku 1 Pa. Naopak maximální hodnota, kterou je schopen lidský sluch slyšet, je milionkrát větší než nejslabší zvuk. Z tohoto důvodu se nepoužívá k vyjadřování amplitudy zvuku jednotek Pa, ale využívá se logaritmická stupnice a s ní související jednotky (dB). Viz obr. 4. Výpočet hladiny akustického tlaku v decibelech

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0},$$

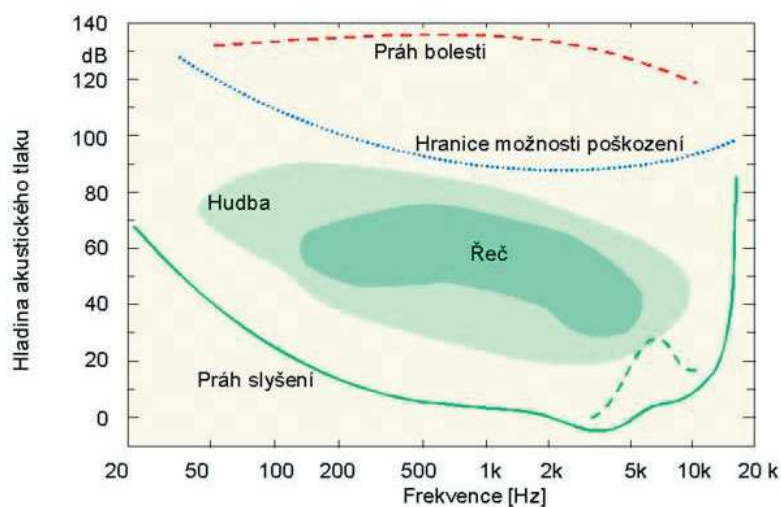
kde $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.



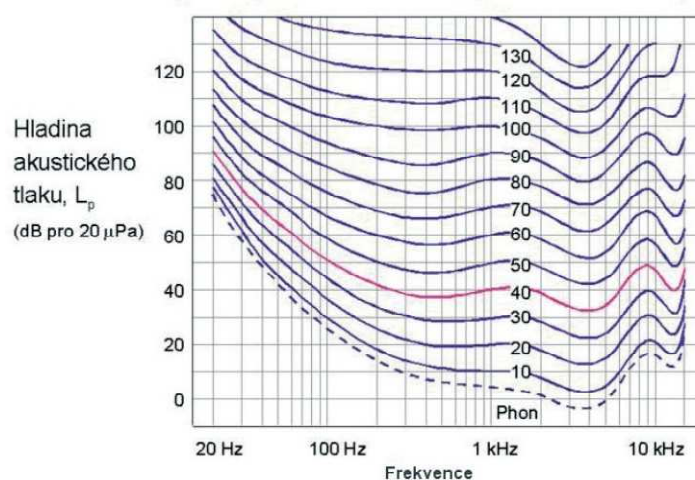
Obr. 4: Zobrazení stupnice akustického tlaku a hladiny akustického tlaku [2]

6.5 Sluchový vjem

Sluchový vjem nezáleží jen na hladině akustického tlaku, ale záleží také na jeho kmitočtu. Tón se může jevit jinak při stejné hladině akustického tlaku a různých kmitočtech (viz obr. 6). Lidský sluchový orgán vnímá hladinu akustického tlaku velice podobně, jako to popisuje křivka váhového filtru A viz obr. 11. Čili v nízkých frekvencích dochází k útlumu. Poté, kolem frekvence 1 kHz, se křivka dostává mírně nad nulu. Toto v praxi znamená, že se zvuk jeví hlasitější, než doopravdy je. Tohoto jevu se využívá i v praxi. Na této frekvenci se nachází zvuky alarmů nebo houkání sirén. Křivka poté opět klesá a dochází k útlumu vyšších frekvencí.



Obr. 5: Oblast slyšení [2]



Obr. 6: Křivky stejné hlasitosti pro čisté tóny [2]

7 Popis zvuku

Zvuk je druhem energie, a proto se zjišťuje jeho škodlivost a nebezpečnost na člověka. Toto nezáleží pouze na jeho intenzitě, ale i na době pohybu v daném prostředí. To se může projevit na člověku ztrátou koncentrace nebo snížením pracovní aktivity. Pokud je sluchový orgán vystaven vyšší hladině hluku dlouhodobě, snaží se adaptovat na tuto hladinu. Dochází tedy k posunu sluchového prahu a sluchový orgán se snaží hluk vnímat s nižší hlasitostí. Již po 7 až 10 minutách v prostředí s vyšší hladinou hluku nastává sluchová únava. Tato únava odeznívá velice pomalu v rámci hodin či dnů. Při delším pobytu v prostředí, kde je hladina akustického tlaku vyšší jak 85 dB, může dojít k trvalému poškození sluchu. Toto poškození se nazývá sluchové trauma. Trpí jím nejčastěji hudebníci, kteří jsou při koncertech obvykle vystavováni vysoké hladině akustického tlaku. K poškození sluchu nemusí dojít jen po vystavení dlouhodobé vysoké hladiny akustického tlaku, ale můžou ho způsobit i krátkodobé podmínky, jako je například výbuch. Na krátký okamžik se hladina akustického tlaku prudce zvýší a výsledkem může být poranění bubínku. Při dosažení hodnoty 130 dB bude pocíťována bolest ve sluchovém orgánu. Pokud hladina akustického tlaku přesáhne hodnotu 160 dB, může dojít k prtržení bubínku. Hluk může mít vliv i na psychiku člověka. Jedná se o nepříjemné pocity, které mohou způsobovat jevy, jako je po ránu bzučící komár.

Lidský sluchový orgán je schopen vnímat zvuk v rozsahu frekvence 16 Hz až 20 kHz. To co je pod či nad touto hranicí, člověk nemůže slyšet. Obecně platí, že každých 10 let života se horní hranice sníží o 1000 Hz. Ve stáří tak tato hodnota klesne z 20 kHz až na 10 kHz. Z toho vyplývá, že nejlepší sluch má člověk, když je dítě.

Do oblasti zvuku, které člověk nemůže vnímat, patří ultrazvuk. Tato složka zvuku je nad slyšitelnou hodnotou. Tudíž se nachází od 20 kHz a více. Nejčastěji se využívá ultrazvuku v lékařství nebo při nedestruktivních zkouškách materiálu. Ultrazvuku také využívají mnohá zvířata pro komunikaci nebo orientaci v prostoru či jej využívají pro lov kořisti.

Další složkou, kterou nemůžeme vnímat, je infrazvuk. Tato složka zvuku je pod slyšitelnou hodnotou. Nachází se v pásmu od 0,1 Hz do 16 Hz. Nejčastěji se tato složka zvuku vyskytuje v přírodě. Je způsobována pohybem rozměrných litosférických desek nebo při zemětřesení či sopečná erupci. Infrazvuk může také způsobovat pootevřené okénko v autě, které tvoří zdroj hluku tohoto kmítočtu. Dlouhodobý pobyt v místech se zvýšenou hodnotou infrazvuku může způsobovat bolest hlavy. Infrahluk je velice těžké utlumit. Je to hlavně z důvodu dlouhé vlnové délky vlny. Musí být použito velmi silných stěn, aby došlo k jeho utlumení.

Vnímání hlasitosti čistých tónů popisuje Weber – Fechnerův zákon. Ten zjednodušeně říká, že akustické veličiny, které se mění řadou geometrickou, vnímá lidské ucho řadou aritmetickou. Z toho vyplývá, že subjektivní síla zvuku roste neúměrně s jeho fyzikální intenzitou. Následuje jednoduché vysvětlení na příkladu. Do každé ruky si vezmeme různé předměty, které jsou ale vizuálně stejné, např. lahve. V každé lahvi bude jiné množství tekutiny. Přesněji, v jedné láhvi bude přesně jednou tolik kapaliny než ve druhé. Pokud tyto lahve zároveň uchopíme do rukou a zvedneme, bude se nám zdát, že jejich hmotnosti se liší jen o málo, ale ne o dvojnásobek.

7.1 Škodlivost hluku při práci

Pro výpočet hluku na pracovišti se vychází z doby, jakou na nás hluk bude působit. Protože hluk, který působí na člověka po dobu například čtyř hodin, je pro člověka škodlivější, než když na něj tento hluk působí pouze jednu hodinu. Z tohoto důvodu se počítá hodnota ekvivalentní hladiny (L_{eq}). Tato hodnota představuje hladinu nepřetržitého zvuku či hluku, která je stejně nebezpečná jako měnící se hladina skutečného zvuku či hluku.

Pro zjištění celkové hlukové expozice se využívají hlukové dozimetry. Tyto dozimetry nosí na sobě osoby vystavené hluku během pracovního dne a vyhodnocují, zda je zvuková expozice v mezích.

Hluk má také vliv i na faunu. Má nepříznivý vliv jak pro lidi, tak i pro zvířata. Toho se ovšem i využívá. Pokud chceme ochránit letiště nebo zásobník vody, využívají se zde různé zdroje hluku. Tyto zdroje hluku jsou pro zvířata nesnesitelné, a tak se snaží nevyskytovat se v jejich blízkosti.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A	Limit pro expozici nechráněného sluchu		
	Hodiny	Minuty	Vteřiny
85 dB	8		
88 dB	4		
91 dB	2		
94 dB	1		
97 dB	-	30	
100 dB	-	15	
103 dB	-	7	30
106 dB	-	3	45
109 dB	-	1	53
↓	↓	↓	↓
130÷140 dB	-	-	< 1

Obr. 7: Přípustná doba expozice osoby pracující v hlučném prostředí. [1]

8 Akustické veličiny

8.1 Akustický tlak p

Akustický tlak představuje slyšitelnou a měřitelnou složku zvuku, která závisí na okolním prostředí. Částice se v pružném prostředí pohybují a díky tomu mohou nastat situace, které vyvolají zvýšení či snížení tlaku. Pokud se částice seskupují, nastává zvýšení tlaku. A naopak, pokud se částice rozptylují, nastává snížení tlaku. Nejnižší hodnota tlaku, kterou je schopen lidský orgán zaznamenat, je hodnota $2 \cdot 10^{-5}$ Pa. Jedná se o hodnotu prahu slyšitelnosti.

8.2 Akustická rychlost u

Akustická rychlost je rychlost, s jakou kmitají částice prostředí, kterým se šíří akustická vlna.

Výpočet akustické rychlosti

$$u = -\frac{1}{\rho} \int \frac{\partial p}{\partial r} dt.$$

8.3 Intenzita zvuku I

Intenzita zvuku je tok akustické energie, která projde kolmo jednotkovou plochou.

Výpočet intenzity zvuku pro rovinné postupné vlnění

$$I = p \cdot u.$$

8.4 Akustický výkon

Akustický výkon nám vyjadřuje míru výstupní zvukové energie. Měří se ve Watech. Zároveň se jedná o základní vlastnost zdroje zvuku.

Výpočet akustického výkonu

$$W = |I| \cdot S.$$

9 Hladiny akustických veličin

9.1 Hladina akustického tlaku

Jak již bylo zmíněno v kapitole 6.4, výpočet hladiny akustického tlaku

$$L_p = 10 \log \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log \frac{p}{p_0},$$

kde $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$.

9.2 Hladina akustické rychlosti

Výpočet hladiny akustické rychlosti

$$L_u = 10 \log \frac{u^2}{u_0^2} = 20 \log \frac{u}{u_0},$$

kde $u_0 = 5 \cdot 10^{-8} m \cdot s^{-1}$.

9.3 Hladina akustického výkonu

Výpočet hladiny akustického výkonu

$$L_W = 10 \log \frac{W}{W_0},$$

kde $W_0 = 10^{-12} W$.

9.4 Hladina intenzity zvuku

Výpočet hladiny intenzity zvuku

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0},$$

kde $I_0 = 10^{-12} \text{W} \cdot \text{m}^2$.

10 Zdroje hluku

10.1 Bodový zdroj

10.1.1 Bodový zdroj nultého řádu

Bodový zdroj nultého řádu je nejjednodušší typ idealizovaného zvukového zdroje. Jedná se o kouli velmi malých rozměrů (až bod), která zvětšuje a zmenšuje svůj objem. Vystupující akustická energie se do izotropního prostoru šíří všemi směry rovnoměrně. Vznikající vlnoplochy mají tvar soustředných kulových ploch. Úbytek intenzity akustického tlaku s rostoucí vzdáleností klesá s druhou mocninou. Příkladem bodového zdroje nultého řádu může být vzdálené letadlo na obloze.

$$L_{p_2} = L_{p_1} - 20 \log \frac{2r}{r}$$

10.1.2 Bodový zdroj prvního řádu

Jedná se o akustický dipól. Jedná se o tuhou kouli, kmitající podél přímky. Nebo se jedná o dvě pružné koule, kmitající stejnou frekvencí v protifázi.

10.2 Přímkový zdroj

Jednotlivé zdroje jsou seřazeny v řadě za sebou do přímky. Jedná se například o železnici, po které projíždí dlouhý vlak nebo dlouhé potrubí, kterým se přepravuje sypký materiál. Intenzita akustického tlaku klesá lineárně se vzdáleností od zdroje.

10.3 Plošný akustický zdroj

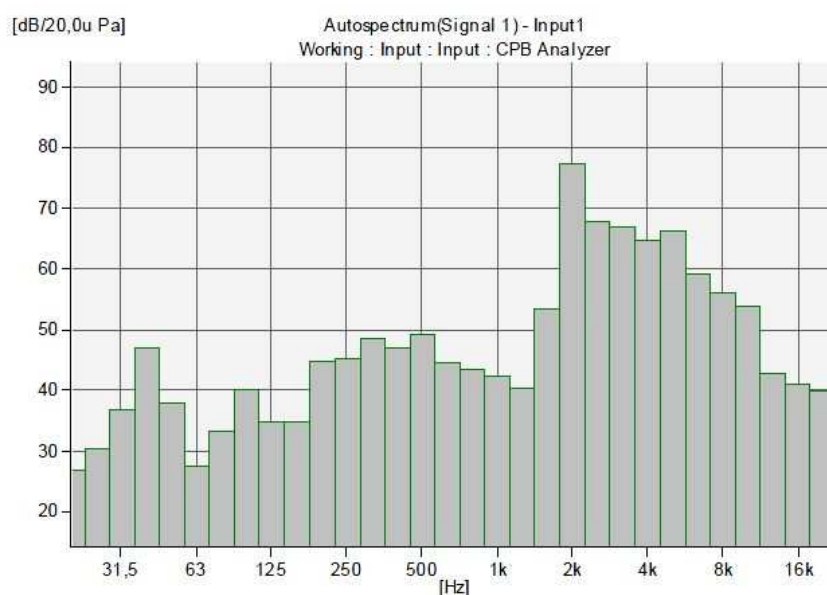
Jedná se o rozměrnou kmitající desku nebo stěnu. K této desce je kolmo přistavěna elementární trubice, kterou postupuje rovinná vlnoplocha. Nedochozí k žádnému úbytku akustické energie.

11 Zařízení sloužící k měření zvuku

11.1 Zvukoměr

Zvukoměr, viz obr. 9, je elektronické měřicí zařízení, které reaguje na zvuk podobně jako lidský sluch. Zvukoměr obsahuje mikrofon, ústrojí pro zpracování signálu a indikační zařízení. Jelikož elektrický signál na výstupu z mikrofonu má velice malé amplitudy, využívá se zde ještě předzesilovače. Signál se dále může zpracovat různými způsoby. Jednou možností zpracování je využití váhových filtrů. Nebo se také může měřit bez váhových filtrů pouze s použitím lineární kmitočtové charakteristiky. Signál dále pokračuje do zesilovače a zpracovává se detektorem. Nakonec signál dorazí do posledního stupně, a to je indikační zařízení. Zde se nám zobrazí hladina akustického tlaku v dB. Pro zobrazení této hodnoty může být využito ručičkové měřidlo, světelný indikátor či číslicový zobrazovač. Schéma částí zvukoměru viz obr. 10.

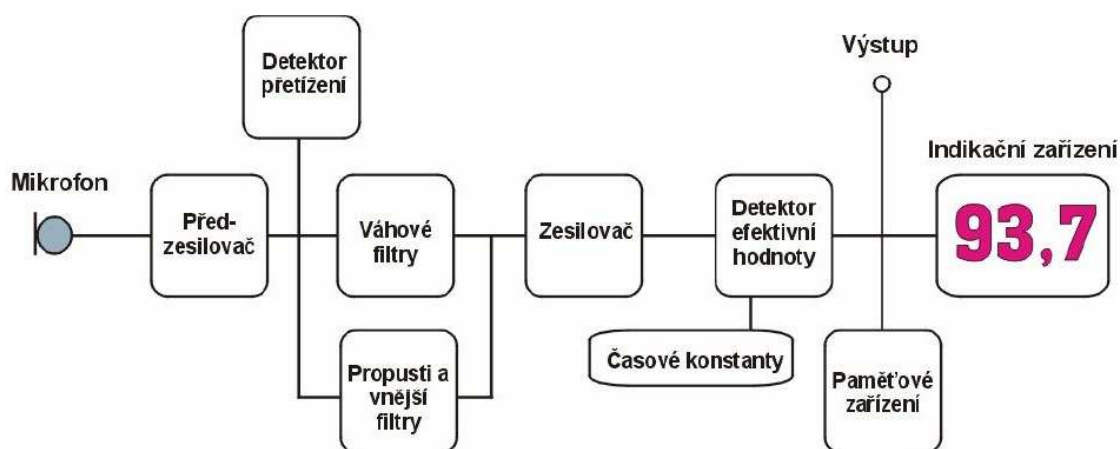
Pro získání podrobnějších informací o složitých zvucích je možné celé rozložení zvuku rozložit na jednotlivá pásma. Tyto pásma se rozkládají na frekvenci od 16Hz do 20 kHz. Šířka těchto pásem obvykle bývá rovna jedné oktávě či třetině oktávy. Akustický signál je možno rozložit na jednotlivé složky. Tímto způsobem bude získáno spektrum zkoumaného akustického signálu. Pokud toto spektrum vyjádříme graficky, získáme spektrogram (viz obr. 8).



Obr. 8: Spektrogram [4]



Obr. 9: Zvukoměr [2]



Obr. 10: Části zvukoměru [4]

11.1.1 Mikrofon

Jedná se o nejdůležitější část celého řetězce. Mikrofon slouží jako převodník změny akustického tlaku na změnu jiné fyzikální veličiny. V současné době se vyskytuje mnoho typů mikrofonů. Každý využívá na zpracování signálu jiný princip. Je možné se setkat s magnetoelektrickými mikrofony nebo s uhlíkovými mikrofony či s elektretovým mikrofonem, který má velkou citlivost a malé rozměry. Nejčastěji se ale využívá mikrofon kapacitní, kterému se také říká mikrofon tlakový.

11.1.1.1 Kapacitní mikrofon

Tento mikrofon se využívá převážně tam, kde jsou kladeny přísné požadavky na časově stálou frekvenční charakteristiku mikrofonu. Zároveň musí být schopen pracovat v širokém frekvenčním pásmu. Musí mít malé rozměry. To je z důvodu, aby nedocházelo k příliš velké deformaci zvukového pole. A nakonec, musí být schopen odolávat vnějším vlivům, jako je změna teploty, vlhkosti a vibrace.

Tento druh mikrofonu funguje na podobném principu jako snímače, které mají proměnlivou vzdálenost mezi dvěma elektrodami. Jedna elektroda je pevná a má kruhový tvar. Nesmí se dotýkat tělesa mikrofonu, proto je od něj izolovaná. Druhá elektroda je tvořena tenkou pružnou kovovou membránou. Prostor mezi elektrodami je velice malý. Tento prostor je vyplněn vzduchem, který zde slouží jako dielektrikum. Když dopadne akustická tlaková vlna na membránu, dojde tím k prohnutí membrány a díky tomu se změní vzdálenost mezi membránou a pevnou elektrodou. Jelikož je na elektrodách udržován konstantní náboj Q , dochází tak ke změně napětí U :

$$U = \frac{Q}{C},$$

za proměnou kapacitu mikrofonu C můžeme dosadit:

$$C = \varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}.$$

Bude získán tak vztah mezi výstupním napětím U a vzdáleností elektrod:

$$U = \frac{Q}{C} = \frac{Q}{\varepsilon_0 \varepsilon_r \frac{S}{d}} = \text{konstanta} \cdot d.$$

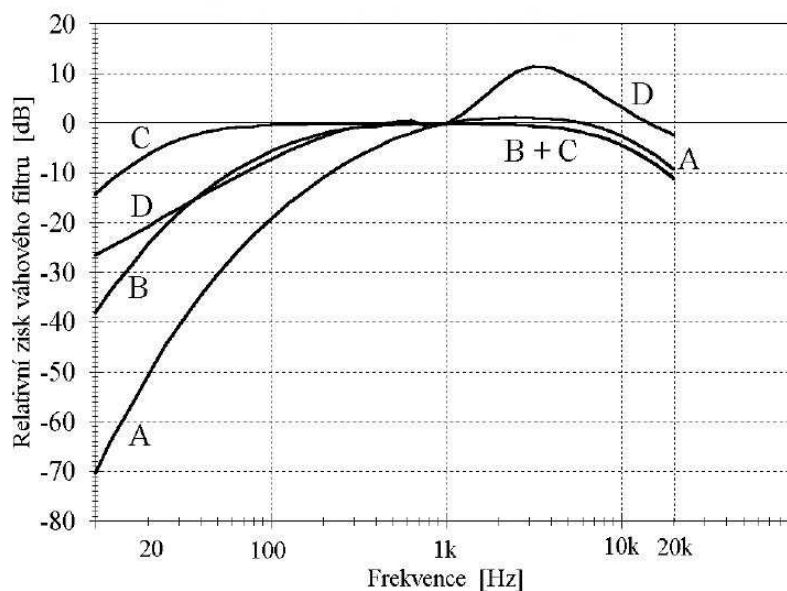
Jsou využity dva způsoby pro udržení konstantního náboje na elektrodách. Jedním z těchto způsobů je využití externí polarizace stejnosměrným napětím, které je přiváděno na elektrody z vnějšího zdroje napětí. Toto polarizační napětí je 120 – 150 V. Druhý způsob je použití polarizovaného mikrofonu. Tento mikrofon má díky tenké vrstvě elektretu, zajištěnou stálost náboje. Elektret je materiál, který má vlastnost udržovat konstantní náboj bez přivádění napětí. Mikrofony s prvním způsobem udržení konstantního náboje na elektrodách se využívají nejčastěji v laboratořích, a to z důvodu nízké pořizovací ceny. Druhý typ se využívá u mikrofonů, které jsou součástí přenosných zvukoměrů. Zde by byla výroba polarizačního napětí velice komplikovaná a zároveň by docházelo ke snížení kapacity baterie. Nikdy nesmí dojít k polarizaci již polarizovaného mikrofonu. Došlo by tak k jeho zničení.

11.1.1.2 Mikrofon ve zvukovém poli

Na přesnost výsledků má vliv i poloha mikrofonu ve zvukovém poli. Podle vlastností a průběhu kmitočtové charakteristiky je možné rozdělit mikrofony pro volné pole, mikrofony pro tlaková měření a mikrofony pro difúzní pole. Volba vhodného mikrofonu bude určena normou, podle které bude provedeno dané měření. Ale obecně platí, že mikrofony pro měření volného pole jsou umístěny pod nulovým úhlem dopadu zvukových vln. Naopak mikrofon pro měření difúzního pole je umístěn pod úhlem 70 – 80° ke směru vektoru šíření zvukových vln.

11.1.2 Váhové filtry

Mezi nejrozšířenější váhové filtry v současnosti patří váhový filtr A, B a C. V současnosti se ale nejčastěji používá váhový filtr A, protože zpracovává naměřené hodnoty podobně, jako lidský sluchový orgán zpracovává hladinu akustického tlaku. Dále se je možno setkat s váhovým filtrem D. Tento filtr se využívá pro měření leteckého hluku (viz obr. 11).



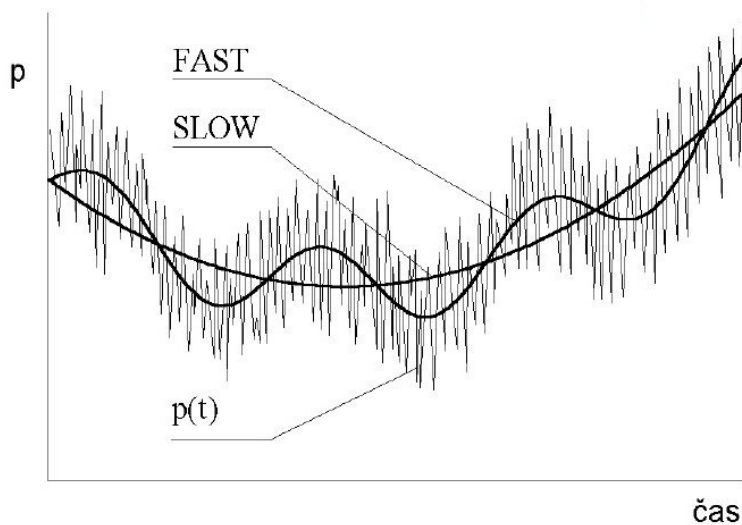
Obr. 11: Váhové filtry [4]

11.1.3 Dynamické charakteristiky a časové konstanty

Při měření zvukoměrem je požadováno, aby daný údaj přesně odpovídal změnám hladiny měřeného signálu. To je občas velmi obtížné, protože hladiny akustických signálů jsou časově proměnné. Při měření může docházet k rychlým změnám hladin signálu a zároveň se to projevuje rychlými změnami indikačního zařízení (ručička analogového měřidla koná kmitavý pohyb). V tuto chvíli je téměř nemožný odečet výsledných hodnot. Proto byly mezinárodními normami stanoveny dvě standardní dynamické charakteristiky měřícího a indikačního zařízení zvukoměrů. Jedná se o časové integrační konstanty označované “rychle“ (Fast) značené “F“ a “pomalu“ (Slow) značené “S“.

Časová konstanta “F“ je krátká (125ms). Vstupní signál se zpracovává každých 125ms. Výsledek každého zpracování je zobrazován na indikačním zařízení. Pokud se bude hladina akustického signálu měnit, na indikačním zařízení se budou hodnoty rychle měnit.

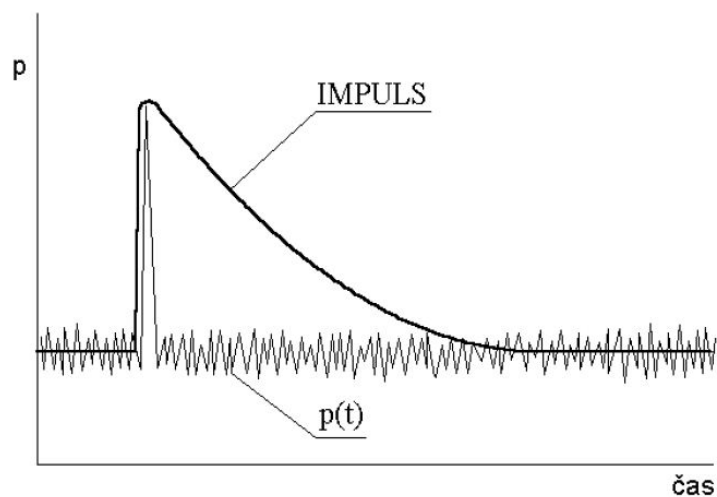
Časová konstanta “S“ je delší (1s). Vstupní signál se zpracovává každou 1s. Výsledek každého zpracování je zobrazován na indikačním zařízení. Pokud se bude hladina akustického signálu měnit, na indikačním zařízení se budou hodnoty měnit pomalu (viz obr. 12).



Obr. 12: Vliv časových konstant na vyhodnocení měření [4]

11.1.4 Impulsový zvukoměr

Pro případ, kdy měřený zvuk obsahuje izolované impulsy, časové konstanty “F“ a “S“ není možno využít, protože nejsou dostatečně krátké. K měření krátkodobých impulsů se využívá časová konstanta “impuls“ (Impulse) značená “I“, která trvá 35ms a je dostatečně krátká, aby umožnila měření a zpracování impulsu. Viz obr. 13.



Obr. 13: Impuls [4]

11.1.5 Kalibrace a justace

Jelikož zvukoměry patří z většiny do kategorie přesných měřících přístrojů, musí být pravidelně kalibrovány. Pro přesné kalibrování se využívá například pistonfon a akustický kalibrátor. V podstatě se jedná o zdroje zvuku, které mají přesně definovanou hladinu akustického tlaku a kmitočet. Nejčastěji se využívá pistonfonu o hladině akustického tlaku 94 dB a kmitočtu 1000 Hz, ale můžeme se také setkat s pistonfonem, který bude mít hladinu akustického tlaku 124 dB a kmitočet 250 Hz. Zvukoměr se při kalibrování nastavuje tak, aby hodnota na měřidle přesně odpovídala hodnotě cejchovacího zařízení. Pokud zvukoměr kalibrujeme, musí se vyhotovovat kalibrační list. Kalibrace se provádí jednou za dva roky. Pokud je zvukoměr kontrolován před samotným měřením, tak této kontrole se říká justace. K justaci zvukoměru se využívá také pistonfonů, ale nemusí se vypracovávat žádný kalibrační list. Justace by se měla dělat minimálně na začátku a na konci daného měření.

12 Vlivy přítomnosti zvukoměru a operátora ve zvukovém poli

Přítomnost zvukoměru a operátora ve zvukovém poli může ovlivňovat samotné měření. Operátor, který měří, si často ani neuvědomí, že jeho tělo způsobuje odrazy, které se neblaze projevují na velikosti měřeného akustického tlaku. Proto pokud se měří se zvukoměrem, musí být zvukoměr umístěn minimálně na délku natažené paže, tím minimalizujeme nežádoucí odrazy. Nebo zvukoměr může být umístěn na stativ. Co se týče snížení nežádoucích odrazů vlivem samotného zvukoměru, začaly se vyrábět zvukoměry, které mají kuželovitou část. Další možností zlepšení přesnosti je použití ohebného mikrofonního nástavce. Jiným řešením, jak předejít nežádoucím odrazům, je využít montáže mikrofonu ve větší vzdálenosti od zvukoměru a operátora. K tomuto účelu slouží speciální kabel.

12.1 Vlivy prostředí

12.1.1 Rychlost proudícího vzduchu

Proudící vzduch, který nám působí na membránu během měření, je velmi nežádoucí. Díky němu by naměřené hodnoty byly neplatné, jelikož by byly mnohem větší než skutečné hodnoty. Vliv větru můžeme ale úplně eliminovat použitím kulového krytu na mikrofon. Tento kryt je zhotoven z pěnového polyuretanu. Nejenže kryt zabraňuje nežádoucímu vlivu větru, ale také mikrofon chrání proti prachu a nečistotám. Při venkovních měřeních je tento kryt podmínkou. Jistou nevýhodou je nežádoucí útlum akustického signálu.

12.1.2 Vlhkost

Relativní vlhkost do hodnoty 90% nemá na mikrofon žádný vliv. Ale i tak je třeba dbát na to, aby na mikrofon nepršelo či nesněžilo. Jako kryt můžeme opět využít chránič proti větru. Pokud bychom ale pracovali dlouhodobě v prostředí s vysokou vlhkostí, využívají se kryty proti dešti a zároveň také osoušeče.

12.1.3 Teplota

Zvukoměry obecně měří v teplotním rozsahu od -10°C do $+50^{\circ}\text{C}$. Takže teplota na samotné měření má minimální vliv. Jen se musíme vyhnout rychlým a velkým změnám teploty, protože by mohlo docházet ke kondenzaci vodních par uvnitř mikrofonu.

12.1.4 Atmosférický tlak

Pokud bude docházet ke změně tlaku v rozmezí $\pm 10\%$, jedná se o zanedbatelné změny na citlivost mikrofону. Došlo by ke změně menší než ± 0.2 dB. Pouze ve vysokých nadmořských výškách by mohlo docházet ke změně citlivosti v oblasti vysokého kmitočtu. Atmosférický tlak by musel být brán v úvahu a musela by být provedena jeho oprava.

12.1.5 Mechanické chvění

Sice jsou mikrofóny i zvukoměry jsou poměrně málo citlivé na mechanické chvění, ale pokud je možnost, zvukoměr by zbytečně neměl být vystavován zdrojům, které mají silné mechanické chvění a silné rázy. Toto silné mechanické chvění a silné rázy by mohly rozkmitat membránu, která je uvnitř mikrofónu. Naměřené hodnoty hladiny akustického tlaku by neodpovídaly skutečnosti.

13 Bezdozvukové a dozvukové komory a místnosti

Pod pojmem bezdozvukové komory a místnosti je možné si představit měření zvuku ve volném prostoru. Takovéto podmínky by byly ale pouze splněny jen na nějakém velmi tenkém a vysokém stožáru ve venkovním prostoru nebo v tichých bezodrazových a bezdozvukových komorách. Tyto místnosti mají pokryté stěny, strop i podlahu materiálem pohlcujícím zvuk. V těchto místnostech se může provádět měření v jakémkoliv místě bez nebezpečí vlivu odražených zvukových vln.

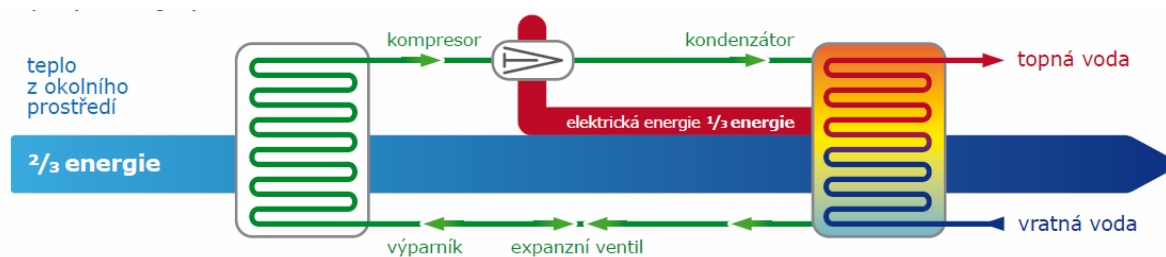
Opakem jsou dozvukové komory a místnosti. Vnitřní stěny jsou navzájem neparalelní. Tyto stěny jsou pokryté velmi tvrdým a hladkým materiálem. Díky tomu se docílí největší možné odrazivosti. Zde je možno měřit akustický výkon, ale měření akustického tlaku je zde vyloučeno, a to z důvodu velkého množství odrazů zvukových vln.

14 Tepelná čerpadla

14.1 Princip tepelného čerpadla

Tepelné čerpadlo funguje na podobný princip jako lednička, kterou je vybavena většina domácností. S tím rozdílem, že v ledničce se teplo odebírá ve vnitřním prostoru, dochází tak k ochlazení tohoto prostoru a pak se ohřívá prostor v zadní části ledničky. U tepelných čerpadel je to přesně obráceně. Využívá se zde mnohem většího výkonu. Teplo se odebírá z venkovního prostředí a je předáváno do topné soustavy objektu. V dnešní době můžeme tepelná čerpadla rozlišit na tři typy. Prvním je typ země-voda. Zde se tepelná energie odebírá pomocí hloubkových vrtů nebo kolektorů. Dále je to typ voda-voda. Zde se tepelná energie odebírá ze studní či tepelného toku. A jako o posledním mluvíme o typu vzduch-voda. Zde se tepelná energie odebírá ze vzduchu za pomoci výparníků s ventilátorem.

Dnes se velmi často vyhledává jako tepelný zdroj právě typ čerpadla vzduch-voda. Toto čerpadlo má mnohem nižší pořizovací cenu než např. tepelné čerpadlo typu země-voda. Tepelné čerpadlo vzduch-voda dosahuje dobré schopnosti odebírat teplo z okolního prostředí i při teplotách -20 °C.



Obr. 14: Schéma oběhu tepelného čerpadla. [5]

14.1.1 Topný faktor

Jedná se o velice důležitou vlastnost tepelného čerpadla. Topný faktor udává účinnost daného tepelného čerpadla. Jedná se o poměr mezi vyrobeným teplem a spotřebovanou elektrickou energií. Díky tomu platí, že čím má dané tepelné čerpadlo vyšší topný faktor, tím je jeho provoz levnější. Každé tepelné čerpadlo má jinou hodnotu topného faktoru. O této hodnotě také velmi rozhoduje zdroj, ze kterého tepelné čerpadlo získává tepelnou energii. Nejvyšší topný faktor a nejstálější je možné získat u tepelného čerpadla země-voda. Zde se topný faktor pohybuje okolo hodnot 4,8. Topný faktor tepelného čerpadla vzduch-voda velmi záleží na hodnotě venkovní teploty. Jelikož se venkovní teplota se v průběhu roku mění, mění se také topný faktor těchto čerpadel. Pokud se teploty pohybují nad nulou např. okolo 10°C může topný faktor dosahovat vysoké hodnoty, jako je to u tepelných čerpadel země-voda. Pokud se ale teplota pohybuje kolem nuly, topný faktor může dosahovat hodnoty např. 2,9. Dále pokud je teplota ještě nižší, může se topný faktor pohybovat okolo hodnoty 2. Proto se u tepelných čerpadel typu vzduch-voda udává průměrná hodnota topného faktoru za celý rok. Obecně tedy platí, že čím bude menší teplotní spád, tím má tepelné čerpadlo levnější provoz.



Obr. 15: Tepelné čerpadlo vzduch-voda [5]

15 Popis metody měření

15.1 Úvodní část

Pro stanovení hodnoty akustického tlaku tepelného čerpadla byl využit metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí HEM – 300 – 11.12.01 – 34065. Tento návod stanovuje způsob měření a hodnocení hladin hluku ve stavbách pro bydlení, ve stavbách občanského vybavení a ve venkovním prostoru pro účely hodnocení jejich vlivu na zdraví obyvatelstva podle Nařízení č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

15.2 Normy

Nařízení č. 148/2006 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

ČSN ISO 1996-1:1992, Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 1: Základní veličiny a postupy

ČSN ISO 1996-2:1992, Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 2: Získávání údajů souvisejících s využitím území

ČSN ISO 1996-3:1993, Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 3: Použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku

ČSN ISO 3382, Akustika - Měření doby dozvuku místností a sálů s uvedením jiných akustických parametrů

ČSN ISO 9613-2, Akustika - Útlum při šíření zvuku ve venkovním prostoru. Část 2: Obecná metoda výpočtu

ČSN IEC 651, Zvukoměry

ČSN EN 60804 + A2, Elektroakustika - Integroující-průměrující zvukoměry

ČSN EN 60942, Elektroakustika - Akustické kalibrátory

ČSN EN 61260, Elektroakustika - Oktávové a zlomkooktávové filtry

ČSN 730527, Akustika - Projektování v oboru prostorové akustiky - Prostory pro kulturní účely - Prostory ve školách - Prostory pro veřejné účely

ČSN 730532, Akustika - Ochrana proti hluku v budovách a související akustické vlastnosti stavebních výrobků - Požadavky

15.3 Přístrojové vybavení

Zvukoměry, které se využívají k měření, musí vyhovovat normě ČSN IEC 651. Tato norma rozděluje zvukoměry do čtyř tříd. Jedná se o třídy 0, 1, 2, 3. Pro naše měření akustického tlaku tepelného čerpadla vyhovuje třída zvukoměru 1.

Při měření akustického tlaku budeme využívat v souladu s normami ČSN ISO 1996-1,2,3 umístění zvukoměru na stativ, kde obsluha tohoto přístroje musí být minimálně 50 cm za zvukoměrem, aby nedocházelo k odrazům od obsluhy.

15.4 Měřicí místa

Při stanovení měřicích míst je respektováno ustanovení ČSN ISO 1996-1, odst. 5.2.3 a ČSN ISO 1996-2, odst. 5.3.2.

15.4.1 Měření ve venkovním prostoru

Při měření hluku ve venkovních prostorech se může měřit na jednom či více místech. Místa se vybírají taková, kde se zdržuje největší počet lidí či se jedná o místo, kde jsou lidé nejvíce rušeni hlukem. Anebo se jedná o místo, které je rozhodující pro šíření hluku do chráněného prostoru. Mikrofon se pak umísťuje nejméně 3,5 metru před odrazivou plochu a 3 metry nad terén.

15.4.2 Měření ve venkovním prostoru budov

Při měření ve venkovním prostoru budov se mikrofon umísťuje 2 metry, nejméně však 1 metr od fasády a 1.2 až 1.5 metru nad zemí. Přednostně se měří před středem zavřeného okna. Za zavřené okno se považuje i maximálně přivřené okno, kterým prochází jednoduchá tyč s mikrofonem. Tato skutečnost se ale musí poznamenat do protokolu o měření.

15.4.3 Měření uvnitř budov

Měřicí místo uvnitř budovy se volí 1.2 metru až 1.5 metru nad podlahou a mikrofon směřuje:

- a) ke zdroji, pokud je známý směr šíření hluku. Zvukoměr je nastaven na čelní úhel dopadu.
- b) svisle vzhůru, pokud je neznámý směr šíření hluku. Zvukoměr se nastaví na náhodný úhel dopadu.

Okna i dveře musí být zavřeny a musí být také zajištěno, aby nevznikaly žádné další hluky, jako je například chůze po budově, hovor atd.

Pokud budeme provádět měření v místnosti, která není zařízena a vybavena, od naměřených hodnot odečteme 1dB. Pokud je místnost vybavena dlažbou či jiným materiálem, který odráží hluk, odečteme 2 dB. Toto se provádí z důvodu, že bude-li místnost posléze vybavená, dochází k útlumu vlivem koberců a nábytku. Při volbě měřicího místa je nutné předpokládat budoucí pohyb osob a rozložení nábytku. Respektujeme nepřemístitelnost postelí a skříní a naopak přemístitelnost židlí a křesel.

V budovách sloužících pro ubytování osob a zařízení občanského vybavení se volí místo, kde se vyskytuje nejvíce osob. Pokud se těchto míst nachází v budově víc, vybereme to, ve kterém zjistíme nejvyšší hladinu akustického tlaku. V místnostech, kde nemůžeme s určitostí zvolit místa předpokládaného výskytu nejvíce osob, zvolíme alespoň tři místa vzdálená jeden metr od obvodových stěn.

15.5 Meteorologické vlivy

Meteorologické podmínky pro měření stanovují normy ČSN ISO 1996-1 v odstavci 5.3 a v ČSN ISO 1996-3 v odstavci 4.2.5.

Povrch silnic musí být suchý. Povrch země nesmí být pokryt sněhem a nesmí být pokryt ani ledem, ani nesmí být zmrzlý či nasáklý vodou. Měření nesmí probíhat během teplotní inverze.

Rychlost proudícího vzduchu musí být měřena a uváděna do protokolu o měření. Pokud rychlost proudícího vzduchu překročí hranici 5 m/s, nesmí být měření prováděno. Pokud se nejedná o výjimku, jako je například měření akustického tlaku u větrných elektráren.

15.6 Akustické údaje

Hladina akustického tlaku se měří v dB za použití váhového filtru A a dynamické charakteristiky "F". Při měření vycházíme z norem ČSN ISO 1996 - 1, ČSN ISO 1996 - 2 a ČSN ISO 1996-3. K výsledku měření musíme ještě přidat výpočet nejistoty měření.

Maximální hladinu $L_{p_{Amax}}$ můžeme získat dvojím způsobem.

- Přímým odečtením $L_{p_{Amax}}$ z přístroje.
- Odečtením $L_{p_{Amax}}$ při následném vyhodnocení z časového záznamu.

15.7 Doba a délka měření

Doba měření se volí obecně tak, aby odpovídala průměrné standardní situaci provozu zdroje hluku. Volí se tak, aby byly zachyceny veškeré děje, které daný zdroj hluku vydává.

15.8 Hluk pozadí

Při hodnocení hlučnosti prostředí se neměří jen jednotlivé zdroje, ale měří se například také kombinace zdrojů. Přispívat do měření mohou i odražené zvukové vlny od stěny či stropu nebo od jiných předmětů. Hluk různých pracovišť můžeme obecně nazvat hlučností pracovního prostředí. Takovýto hluk se měří přímo na pracovišti a při hodnocení zvukové zátěže osob se nebere zřetel na to, kde se přesně daná osoba vyskytuje. Zda je přímo u zdroje, či je ve větší vzdálenosti od zdroje. Výsledky měření mohou být pak použity pro snižování hlučnosti prostředí anebo pro zjištění zvukové zátěže uší osob.

15.8.1 Odečítání hladin zvuku

Hluk pozadí je schopen ovlivnit samotné měření. Zejména pokud je hladina hluku pozadí blízká hladině hluku měřeného zdroje. Obecně platí, že rozdíl hladiny měřeného zdroje od hladiny okolí musí být minimálně 3dB. Pokud by byl tento rozdíl menší, hluk pozadí by znemožňoval měřit hluk zdroje. Naopak pokud bude rozdíl větší než 10 dB, výsledek bude možné považovat za dostatečně přesný a korigovat nebude potřeba. Pokud bude rozdíl mezi 3 dB až 10 dB bude muset být provedena korekce výsledného měření. K tomu poslouží tabulka nomografu.

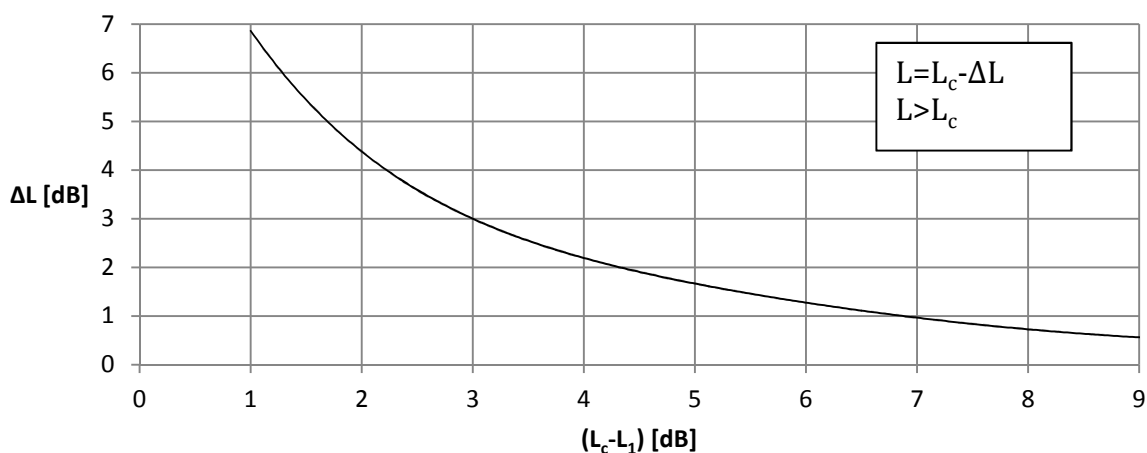
Výpočet výsledné hladiny akustického zvuku při odečítání hladin

$$L_c = 10 \log(10^{0,1L} + 10^{0,1L_n}),$$

$$L = L_c - \Delta L_n.$$

Odečet hladiny zvuku je graficky znázorněn na obr. 16.

Odečet hladiny zvuku



Obr. 16: Odečet hladiny zvuku

15.8.2 Sčítání hladin zvuku

Budou-li výsledky individuálního měření dvou zdrojů hluku, je třeba určit celkovou hladinu hluku, jaké tyto zdroje způsobují. Hladiny nemohou být aritmeticky sečteny, ale je možné opět využít pro zjištění korekce tabulku nomografu.

Výpočet výsledné hladiny akustického zvuku při sečítání hladin

$$L_C = 10 \log \sum_{i=1}^n + 10 \frac{L_i}{10}$$

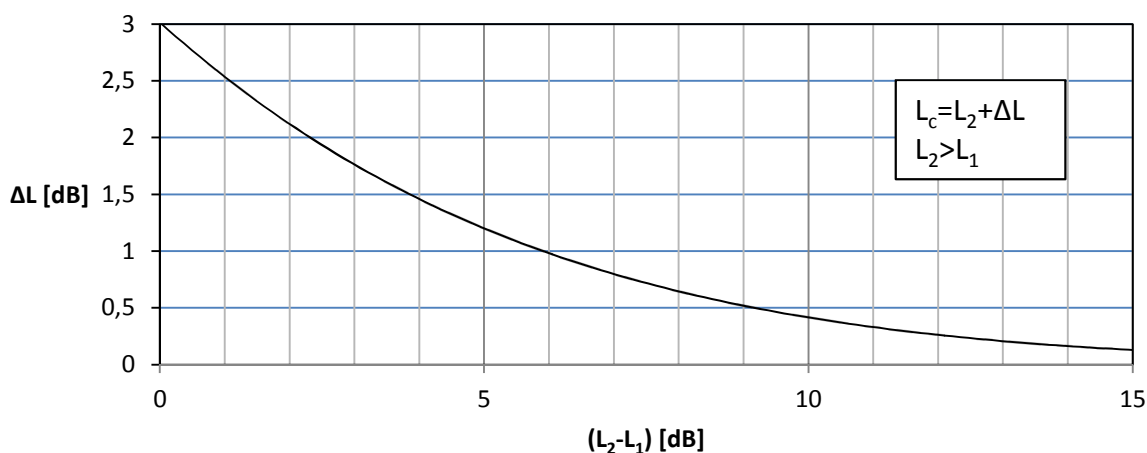
Pokud se bude jednat o součet shodných hladin, můžeme použít zjednodušený vzorec

$$L_C = L + 10 \log(n).$$

Dva shodné zdroje zvýší původní hladinu akustického tlaku o 3 dB.

Součet hladiny zvuku je graficky znázorněn na obr. 17.

Součet hladiny zvuku



Obr. 17: Součet hladiny zvuku

15.9 Obsah protokolu

Protokol z měření hodnoty akustického tlaku musí obsahovat tyto údaje:

- 1) Osoby, které prováděly dané měření.
- 2) Název společnosti, která si dané měření objednala.
- 3) Datum a čas měření.
- 4) Jaké byly použity měřicí a výpočtové metody.
- 5) Jaké byly použity přístroje a jejich výrobní čísla.
- 6) Informace o cejchování, jaká byla použita cejchovací metoda.
- 7) Nákres polohy měřeného objektu a vyznačení polohy mikrofону.
- 8) Nákres umístění měřících míst.
- 9) Výsledky všech akustických měření, včetně nejistoty, týkající se měřeného zdroje i hluku pozadí.
- 10) Popis měřeného hluku.
- 11) Další významné činitele hluku, kteří nebyli předmětem měření.

16 Protokol

Osoby, které prováděli dané měření:

Václav Waldmann

Název společnosti, která si dané měření objednala:

AC Heating

Datum a čas měření:

Dne 4.února 2012 od 21:00 do 0:30

Jaké byly použity měřicí a výpočtové metody:

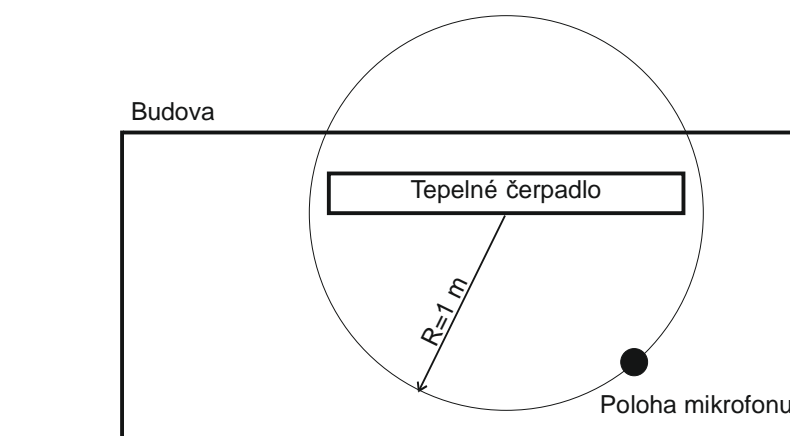
Při měření jsem se řídil podle metodického návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovních prostředích HEM-300-11.12.01-34065.

Jaké byly použity přístroje a jejich výrobní čísla:

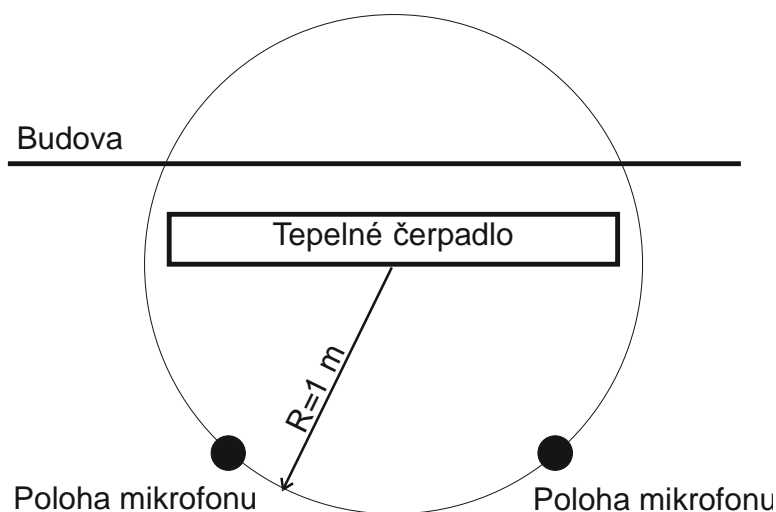
Pro měření byl použit zvukoměr Brüel & Kjær typ 2250, který byl zapůjčen z firmy Škoda Power s.r.o. Dále byl použit teploměr pro naměření teploty okolí a tlakoměr, kterým byl měřen atmosférický tlak.

Informace o cejchování, jaká byla použita cejchovací metoda:

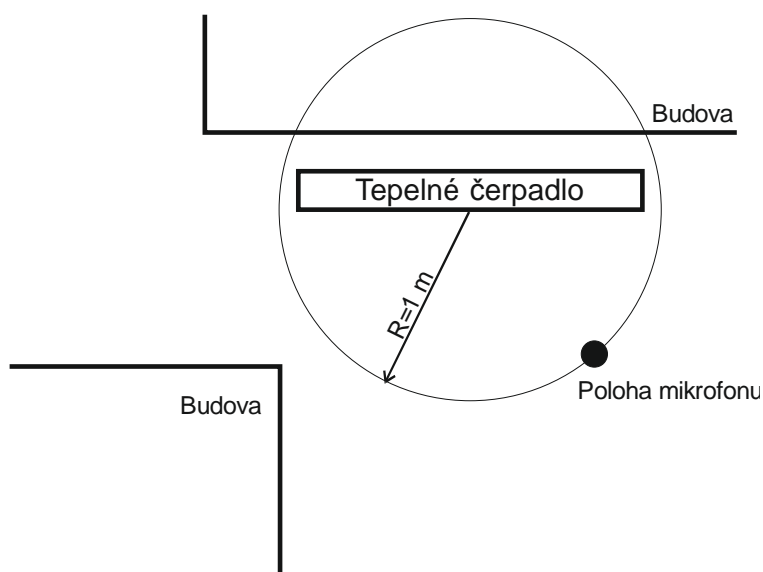
Před každým měřením byla provedena justace přístroje.

Nákres polohy měřeného objektu a vyznačení polohy mikrofonu a nákres umístění měřících míst:

Obr. 18: Poloha mikrofonu pro měření čerpadla AW28



Obr. 19: Poloha mikrofonu pro měření čerpadla AW19



Obr. 20: Poloha mikrofonu pro měření čerpadla AW09

Výsledky všech akustických měření, včetně nejistoty, týkající se měřeného zdroje i hluku pozadí:

Výpočet nejistoty měření

Jako zdroje nejistot byly určeny tlakoměr a mikrofon.

Pro výpočet bude použita pouze standardní nejistota typu B. Standardní nejistota typu A nebude počítána, protože se nejedná o opakované měření.

- 1) Výpočet standardní nejistoty B pro tlakoměr

$$u_{B1} = \frac{\delta_1}{\sqrt{3}} = \frac{0,1}{\sqrt{3}} = 0,058 .$$

- 2) Výpočet standardní nejistoty B pro mikrofon (vliv tlaku)

$$\begin{aligned} \delta_{dov2} &= \delta_2 + \delta_{21} \cdot p_2, \\ \delta_{dov2} &= 0,01 - 0,01 \cdot 98,7, \\ \delta_{dov2} &= -0,977, \\ u_{B2} &= \frac{\delta_{dov2}}{3} = \frac{-0,977}{3} = -0,326 . \end{aligned}$$

- 3) Výpočet výsledné standardní nejistoty B

$$\begin{aligned} u_B &= \sqrt{u_{B1}^2 + u_{B2}^2}, \\ u_B &= \sqrt{0,058^2 + (-0,326^2)}, \\ u_B &= 0,331 . \end{aligned}$$

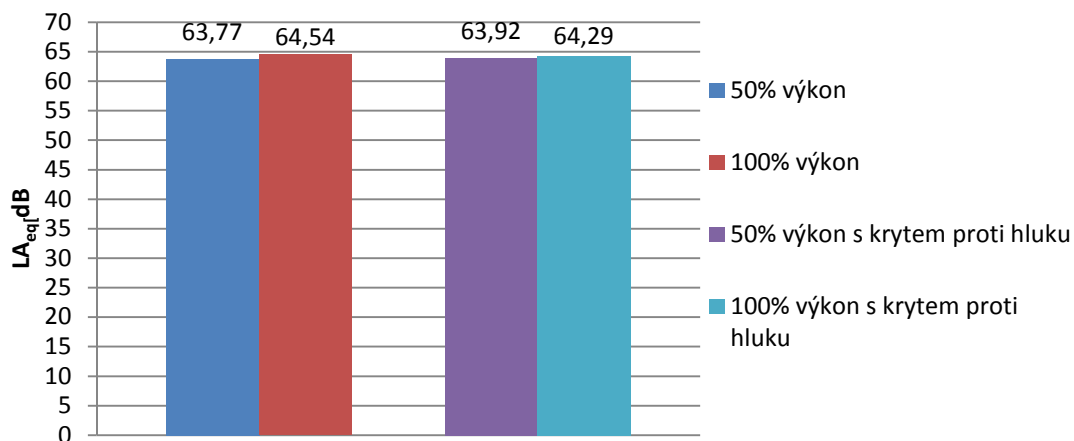
Nejistota měření dosahuje hodnoty $\pm 0,33$ dB.

Naměřené hodnoty

Celkový přehled				
Typ čerpadla	Výkon [%]	Pozice mikrofonu [zleva/zprava]	LAeq $\pm 0,33$ [dB]	Poznámka
-	-	-	38,89	hluk pozadí
AW28	50	zprava	63,77	-
AW28	100	zprava	64,54	-
AW28	50	zprava	63,92	s krytem proti hluku
AW28	100	zprava	64,29	s krytem proti hluku
AW19	50	zleva	59,59	-
AW19	100	zleva	60,92	-
AW19	50	zprava	58,42	-
AW19	100	zprava	59,65	-
AW09	50	zprava	59,76	-
AW09	100	zprava	60,64	-

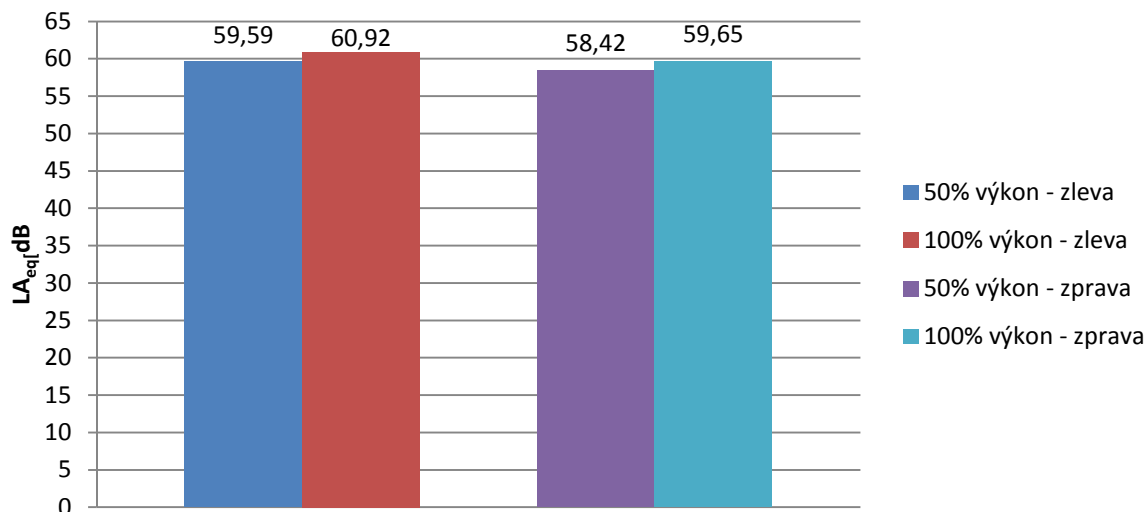
Tabulka 1: Celkový přehled

Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW28 [dB]



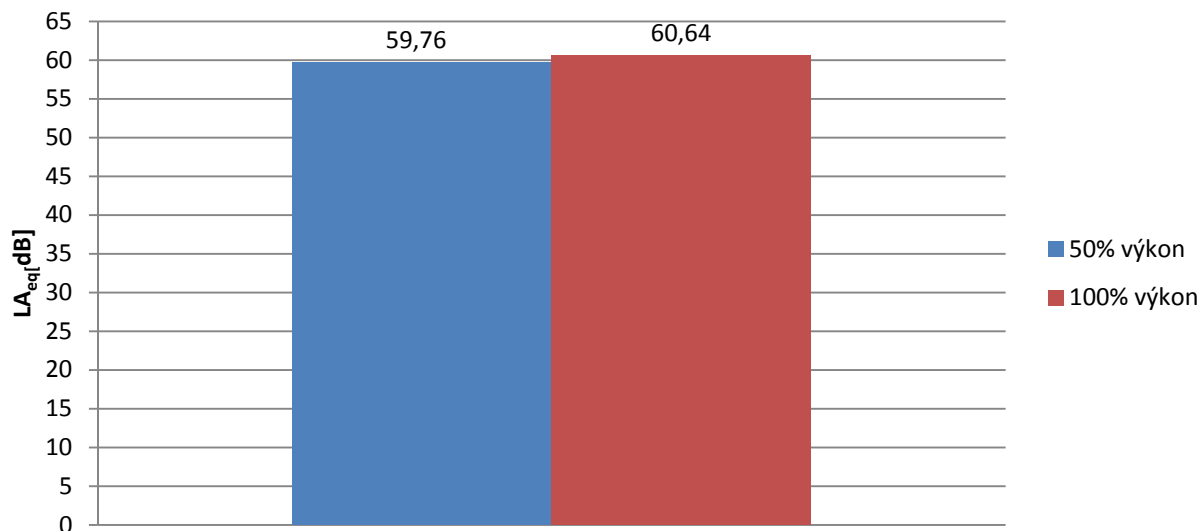
Graf 1: Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW28

Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW19 [dB]



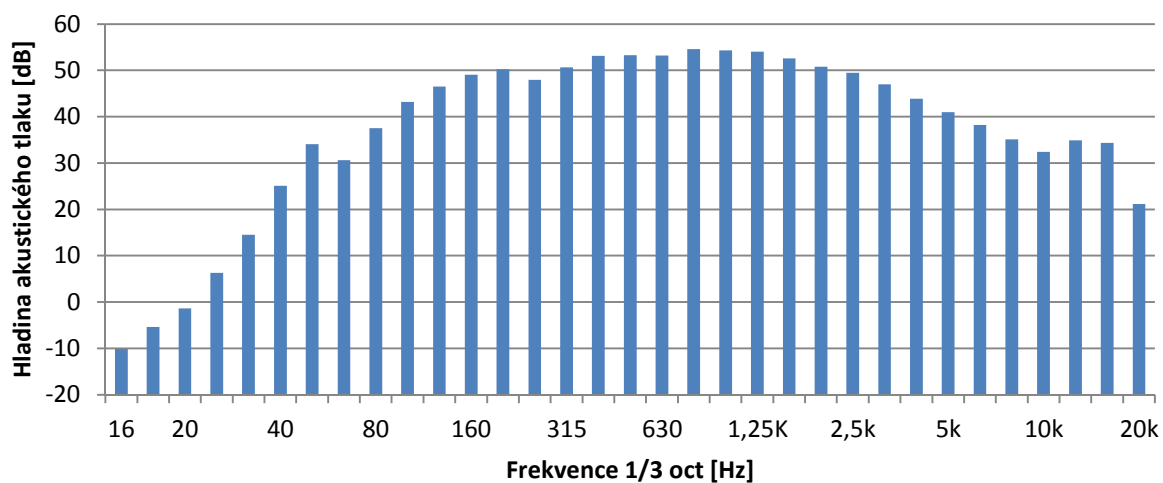
Graf 2: Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW19

Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW09 [dB]



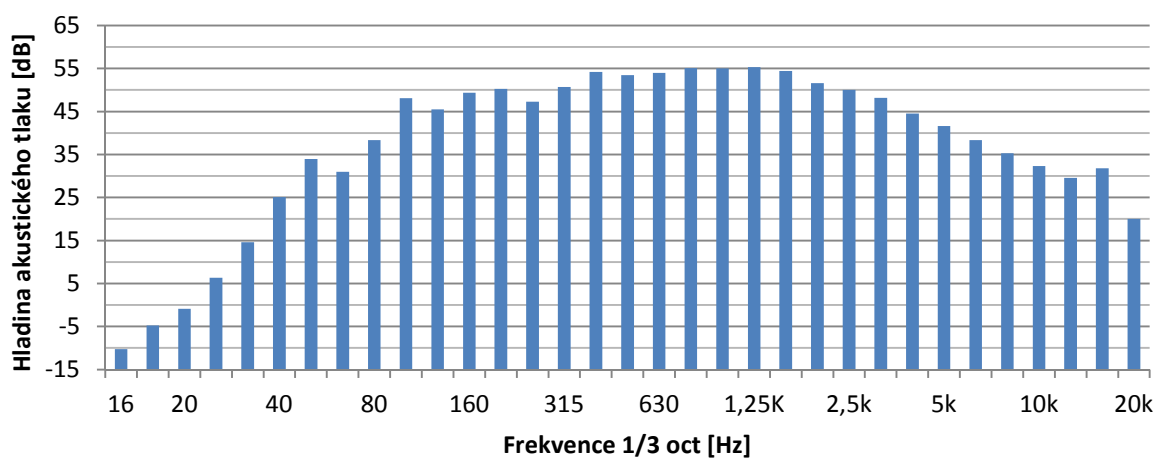
Graf 3: Ekvivalentní hodnota hladiny akustického tlaku čerpadla AW09

Čerpadlo AW28 - 50% výkon - LAeq



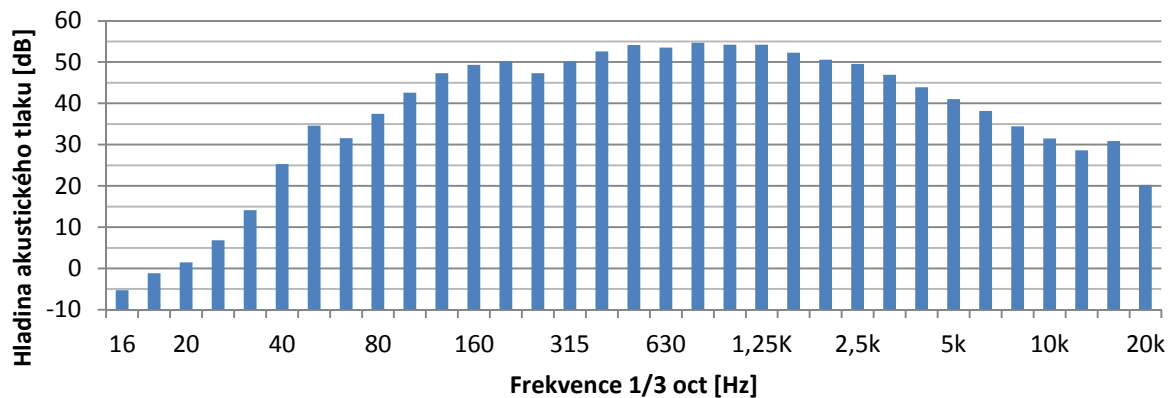
Graf 4: Čerpadlo AW28 – 50% výkon - LAeq

Čerpadlo AW28 - 100% výkon - LAeq



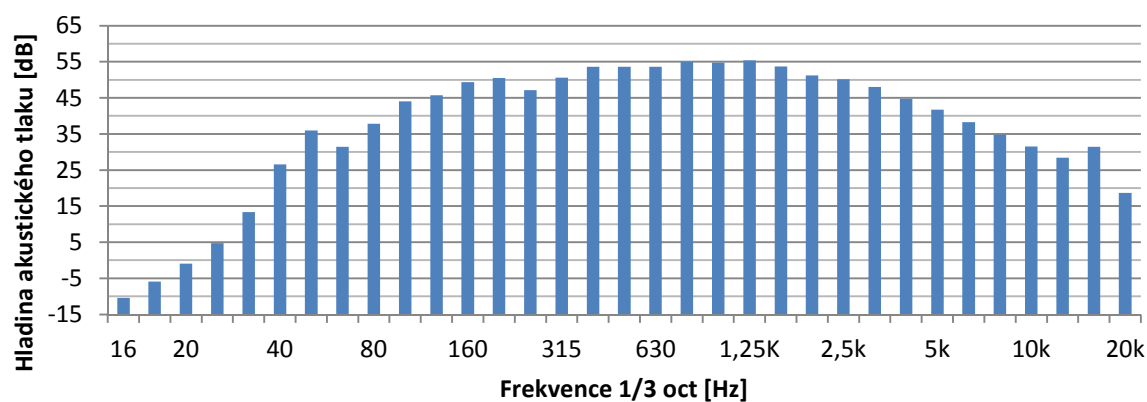
Graf 5: Čerpadlo AW28 – 100% výkon - LAeq

Čerpadlo AW28 s krytem - 50% výkon - LAeq



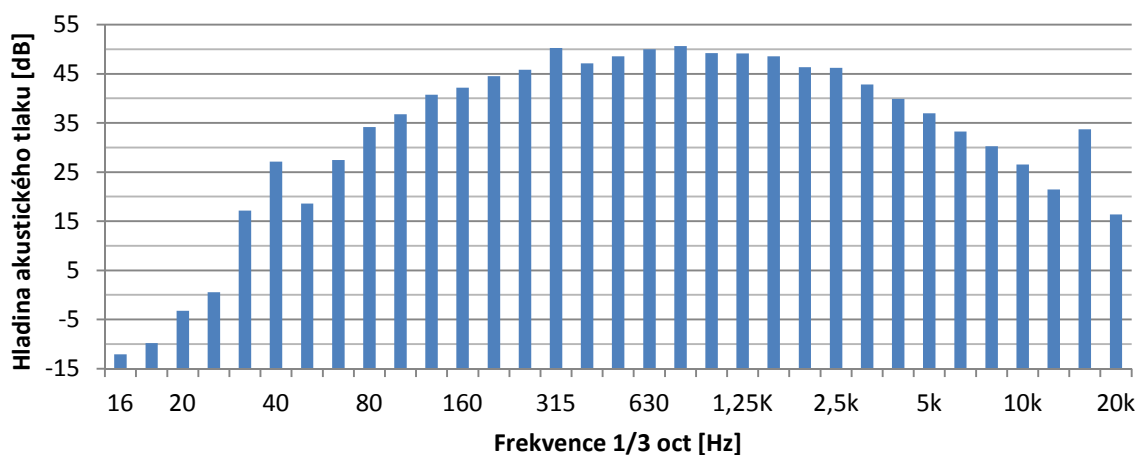
Graf 6: Čerpadlo AW28 s krytem – 50% výkon - LAeq

Čerpadlo AW28 s krytem - 100% výkon - LAeq



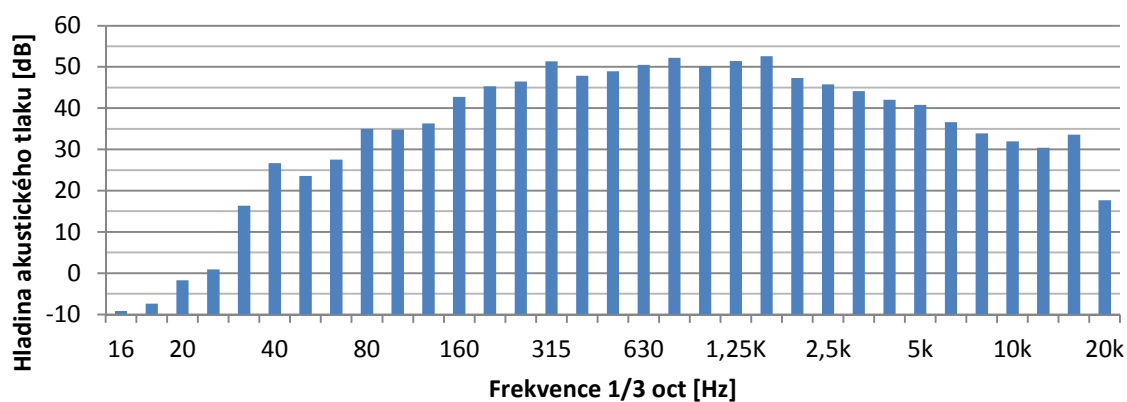
Graf 7: Čerpadlo AW28 s krytem – 100% výkon - LAeq

Čerpadlo AW19 zleva - 50% výkon - LAeq



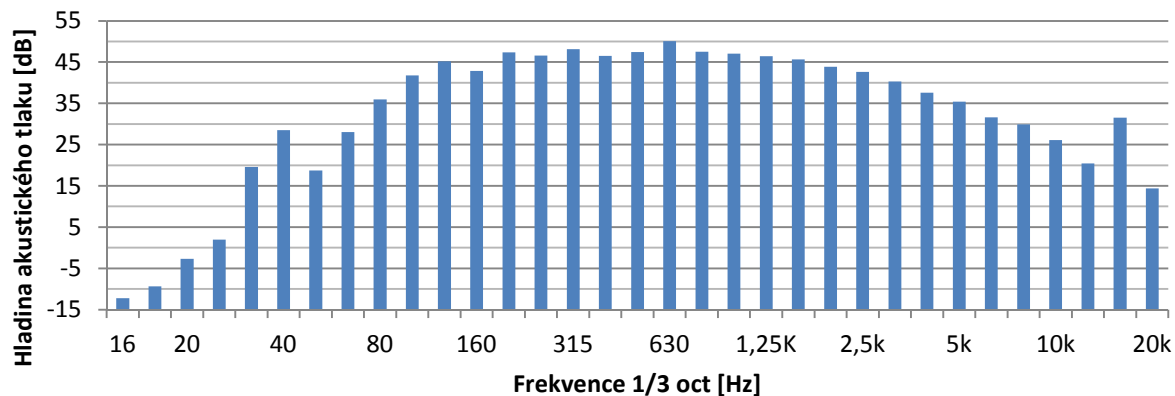
Graf 8: Čerpadlo AW19 zleva – 50% výkon - LAeq

Čerpadlo AW19 zleva - 100% výkon - LAeq



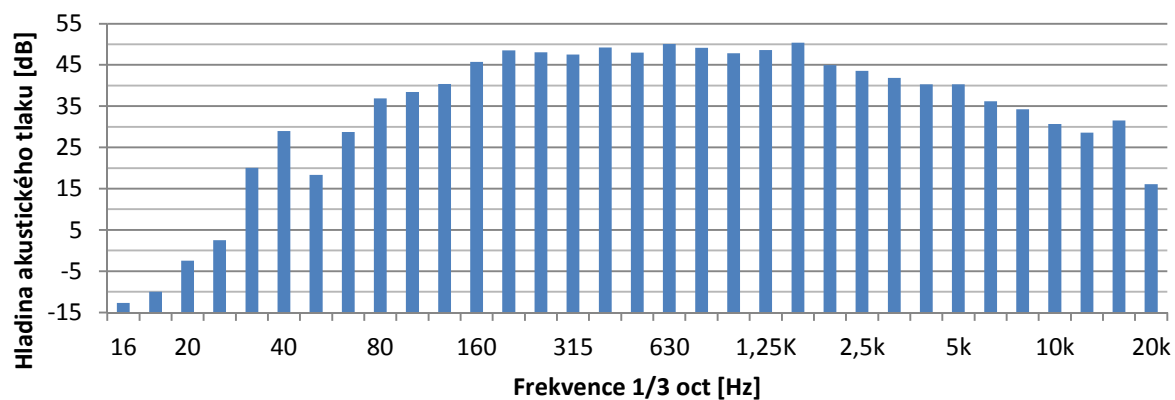
Graf 9: Čerpadlo AW19 zleva – 100% výkon - LAeq

Čerpadlo AW19 zprava - 50% výkon - LAeq



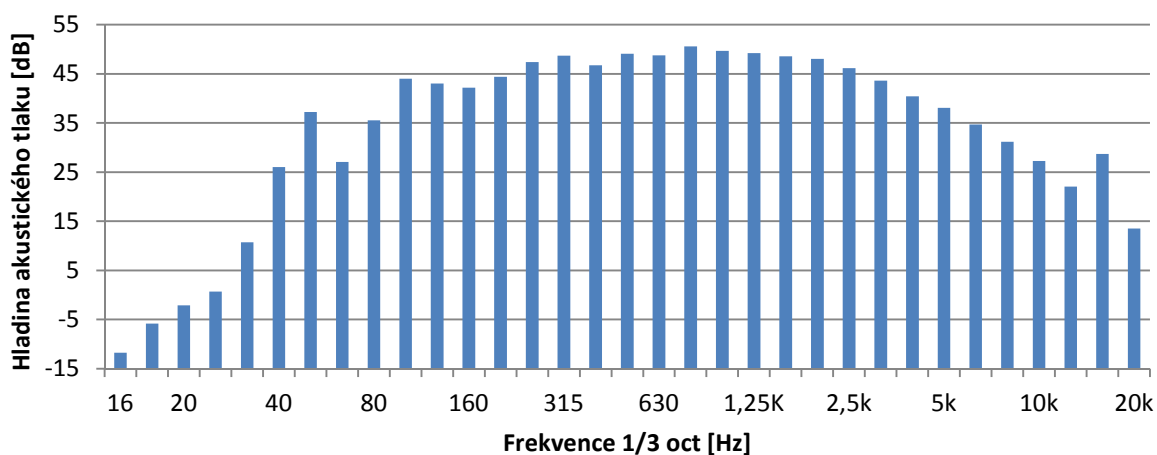
Graf 10: Čerpadlo AW19 zprava – 50% výkon - LAeq

Čerpadlo AW19 zprava - 100% výkon - LAeq



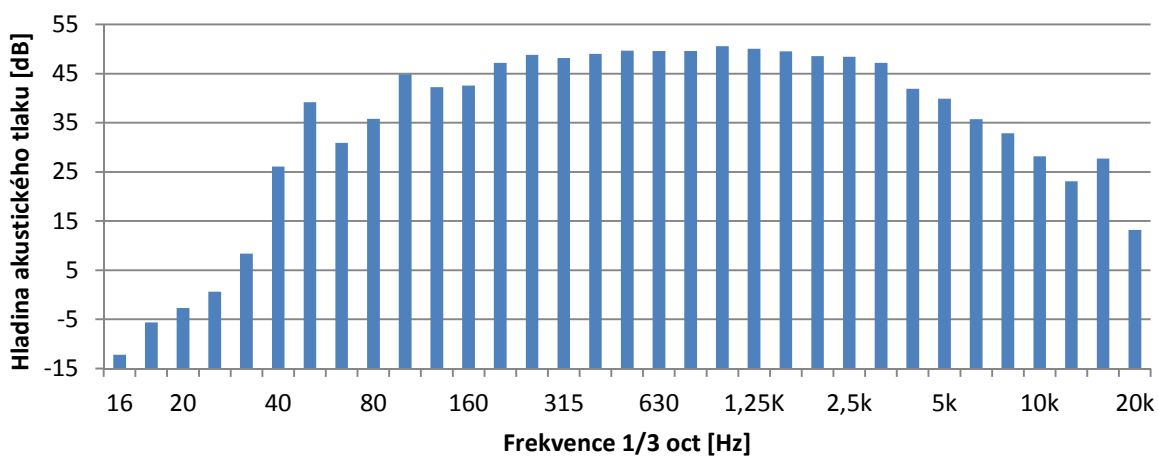
Graf 11: Čerpadlo AW19 zprava – 100% výkon - LAeq

Čerpadlo AW09 - 50% výkon - LAeq



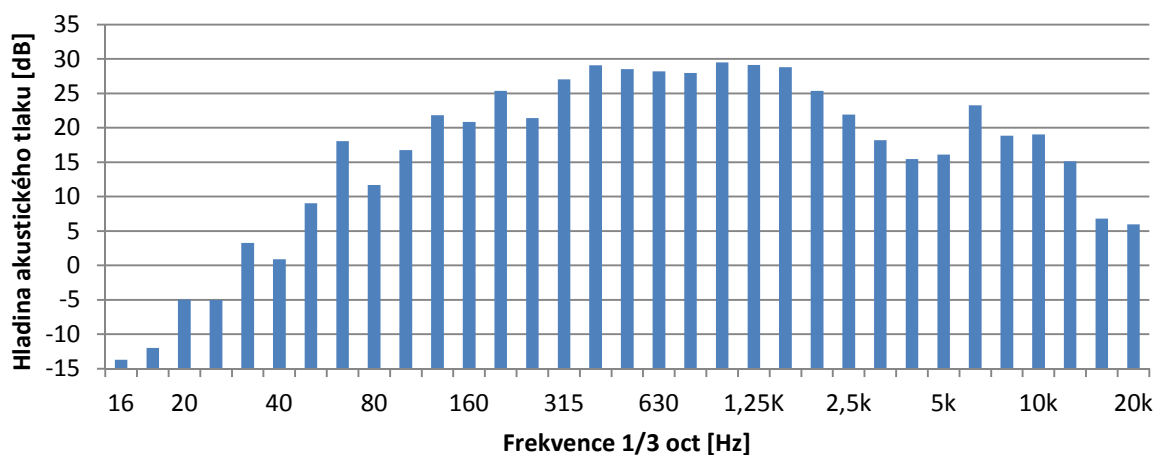
Graf 12: Čerpadlo AW09 – 50% výkon - LAeq

Čerpadlo AW09 - 100% výkon - LAeq



Graf 13: Čerpadlo AW09 – 100% výkon - LAeq

Hluk pozadí - LAeq



Graf 14: Hluk pozadí - LAeq

Meteorologické podmínky během měření:

-14°C, 987 mbar

Popis měřeného hluku:

Měřila se tři různá tepelná čerpadla. Typ AW28, AW19 a AW09. Na typu čerpadla AW28 byl pak také testován kryt proti hluku. Hladina akustického tlaku byla zkoumána u čerpadla AW19 z levé a pravé strany. U čerpadel AW28 a AW09 byl hluk zkoumán pouze z pravé strany, protože nebylo možné umístit mikrofon na stranu levou. Z přímého směru měření nemohlo probíhat. Mikrofon by byl vystaven proudícímu vzduchu o velké rychlosti a zároveň by teploty přímo v proudu by byly mnohem nižší než provozní podmínky mikrofonu. Čerpadla byla měřena při 50% a 100% výkonu. Zvukoměr byl umístěn na stativu ve vzdálenosti jeden metr od tepelného čerpadla a ve výšce 1,5 metru nad zemí.

Další významné činitele hluku, které nebyly předmětem měření:

Během měření se nevyskytly žádné další činitele hluku. Jelikož měření probíhalo v noci, hladina akustického tlaku pozadí byla o více jak o 10 dB nižší než hodnoty ekvivalentních akustických tlaků čerpadel. Nemusela být proto prováděna korekce na vliv akustického tlaku okolí.

17 Závěr

Experimentálně byla zjištěna hladina akustického tlaku třech typů tepelných čerpadel. Jednalo se o čerpadla typu AW28, AW19 a AW09. Měření byla vždy prováděna u každého typu pro 50% výkon a pro 100% výkon. Čerpadla nemohla být měřena z čelního směru, protože proudící vzduch z ventilátorů čerpadel by ovlivňoval naměřené hodnoty. Proto bylo zvoleno řešení, měřit hladinu akustického tlaku mimo tento proud a to vlevo či vpravo od proudícího vzduchu. Měření na bocích nebylo možné uskutečnit z důvodu nedostatku místa kolem čerpadel. Zvukoměr by tím pádem nemohl být umístěn ve vzdálenostech stanovených normou a toto měření by bylo neplatné.

Měření probíhalo podle metodického návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovních prostředích HEM-300-11.12.01-34065.

Zvukoměr byl umístěn jeden metr od tepelného čerpadla ve výšce 1,5 metru. Tuto konstantní výšku zabezpečoval stativ, na kterém byl zvukoměr umístěn. Před samotným měřením hodnoty akustického tlaku tepelných čerpadel byla naměřena hodnota akustického tlaku okolního prostředí. Nejvýkonnější čerpadlo typu AW28 bylo měřeno zprava. Dále byl u tohoto typu čerpadla testován kryt proti hluku a byla zjišťována hladina akustického tlaku bez a s tímto krytem. Tepelné čerpadlo typu AW19 bylo měřeno z obou stran jak zleva tak zprava. Nejmenší typ tepelného čerpadla AW09 byl měřen zprava. Výsledkem měření byl graf třetinooktávového pásma. Tyto výsledky měření jsou uvedeny v grafech nebo tabulkách.

Pro měření hladiny akustického tlaku byl využíván akustický filtr typu „A“. Tento typ filtru byl využit proto, že uvažuje stejný útlum v nižších a vyšších frekvencích jako lidský sluchový orgán.

Dále byla vyhodnocena pro jednotlivé stavy hladina ekvivalentního akustického tlaku. Hladina ekvivalentního akustického tlaku pro typ tepelného čerpadla AW28 dosahovala hodnoty při 50% výkonu $63,77 \pm 0,33$ dB a při 100% výkonu $64,54 \pm 0,33$ dB. Zvýšením výkonu se tedy měřená hodnota zvýšila o 0,77 dB. Při použití krytu proti hluku byla naměřena hladina ekvivalentního akustického tlaku při 50% výkonu $63,92 \pm 0,33$ dB a při 100% výkonu $64,29 \pm 0,33$ dB. Zvýšením výkonu se tedy měřená hodnota zvýšila o 0,37 dB. Pokud porovnáme tyto naměřené hladiny ekvivalentního akustického tlaku při daných výkonech, můžeme si všimnout, že nedošlo k žádnému většímu úbytku hladiny ekvivalentního akustického tlaku. Toto mohl způsobit fakt, že kryt proti hluku byl montován přes kompresor tepelného čerpadla. Ale největší podíl na hladině akustického tlaku čerpadla měly ventilátory. Bohužel kryt přes tyto ventilátory nezasahoval, a tak naměřené hodnoty bez krytu jsou velmi podobné hodnotám naměřených s krytem.

Typ čerpadla AW19 byl měřen při výkonech 50% a 100% jak zleva, tak zprava. Při měření zleva hodnota ekvivalentního akustického tlaku byla při 50% výkonu $59,59 \pm 0,33$ dB a při 100% výkonu $60,92 \pm 0,33$ dB. Zvýšením výkonu se tedy měřená hodnota zvýšila o 1,33 dB. Při měření zprava hodnota ekvivalentního akustického tlaku byla při 50% výkonu $58,42 \pm 0,33$ dB a při 100% výkonu $59,65 \pm 0,33$ dB. Zvýšením výkonu se tedy měřená hodnota zvýšila o 1,23 dB. Pokud porovnáme naměřené hodnoty zleva a zprava, tak hodnoty získané z měření zleva dosahují vyšších hodnot. Toto opět může způsobovat fakt, že na tepelném čerpadle jsou ventilátory konstruovány vlevo. Díky tomu jsou naměřené hodnoty zleva poněkud vyšší než naměřené hodnoty zprava.

Na závěr byl měřen typ čerpadla AW09. Měření probíhalo pouze z pravé strany při 50% a 100% výkonu tepelného čerpadla. Naměřená hladina ekvivalentního akustického tlaku byla

při 50% $59,76 \pm 0,33$ dB a při 100% $60,64 \pm 0,33$ dB. Zvýšením výkonu se tedy měřená hodnota zvýšila o 0,88 dB.

Naměřená hladina ekvivalentního akustického tlaku okolí byla $38,89 \pm 0,33$ dB. Jelikož je tato hladina je o více jak o 10 dB nižší než hodnoty ekvivalentních akustických tlaků čerpadel, nemusí být prováděna korekce na vliv okolí.

18 Literatura

- [1] www.auris-audio.cz
- [2] *Nebezpečný hluk*. Praha: Výzkumný ústav bezpečnosti práce.
- [3] Mareš, R. *Kapitoly z termomechaniky*. Plzeň, 2009.
- [4] Němeček, P. *Akustická diagnostika*.
- [5] www.ac-heating.cz/.
- [6] Beran, V. *Chvění a hluk*. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2010
- [7] Smetana, C. *Měření hluku a chvění*. Praha: SNTL, 1974.
- [8] Smetana, C. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Praha, 1998
- [9] Nový, R. *Hluk a chvění*. ČVUT, Praha, 1995

19 Seznam příloh

PŘÍLOHA Č. 1 – Naměřené hodnoty hladiny akustického tlaku

PŘÍLOHA č. 1

Naměřené hodnoty hladiny akustického tlaku

Hluk pozadí - LAeq	
Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]
16	-13,72
18	-12
20	-4,98
25	-5
31,5	3,27
40	0,91
50	9,03
63	18,05
80	11,69
100	16,77
125	21,85
160	20,86
200	25,35
250	21,42
315	27,03
400	29,11
500	28,53
630	28,19
800	27,97
1000	29,53
1250	29,13
1600	28,81
2000	25,38
2500	21,92
3150	18,22
4000	15,46
5000	16,12
6300	23,26
8000	18,86
10000	19,04
12500	15,14
16000	6,78
20000	5,98

Tabulka 2: Hluk pozadí

Čerpadlo AW28 - 50% výkon - LAeq		Čerpadlo AW28 - 100% výkon - LAeq	
Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]	Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]
16	-10,15	16	-10,26
18	-5,4	18	-4,79
20	-1,35	20	-0,87
25	6,33	25	6,34
31,5	14,54	31,5	14,59
40	25,11	40	25,11
50	34,05	50	33,94
63	30,63	63	31
80	37,5	80	38,32
100	43,21	100	48,11
125	46,49	125	45,47
160	49,07	160	49,33
200	50,23	200	50,29
250	47,95	250	47,25
315	50,66	315	50,7
400	53,17	400	54,21
500	53,25	500	53,48
630	53,24	630	53,97
800	54,58	800	55,07
1000	54,28	1000	55,02
1250	54,01	1250	55,35
1600	52,57	1600	54,43
2000	50,82	2000	51,63
2500	49,45	2500	50,07
3150	46,97	3150	48,2
4000	43,85	4000	44,52
5000	40,99	5000	41,66
6300	38,22	6300	38,38
8000	35,12	8000	35,32
10000	32,39	10000	32,3
12500	34,91	12500	29,55
16000	34,36	16000	31,83
20000	21,15	20000	20

Tabulka 3: Čerpadlo AW28

Čerpadlo AW28+kryt - 50% výkon - LAeq		Čerpadlo AW28+kryt - 100% výkon - LAeq	
Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]	Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]
16	-5,31	16	-10,45
18	-1,15	18	-5,95
20	1,51	20	-0,91
25	6,81	25	4,76
31,5	14,09	31,5	13,37
40	25,26	40	26,56
50	34,6	50	35,99
63	31,54	63	31,41
80	37,5	80	37,86
100	42,55	100	43,99
125	47,31	125	45,73
160	49,3	160	49,39
200	50,27	200	50,52
250	47,29	250	47,17
315	50,2	315	50,55
400	52,62	400	53,64
500	54,18	500	53,6
630	53,49	630	53,63
800	54,66	800	54,96
1000	54,25	1000	54,8
1250	54,22	1250	55,38
1600	52,31	1600	53,7
2000	50,6	2000	51,22
2500	49,59	2500	50,13
3150	46,94	3150	48,01
4000	43,92	4000	44,73
5000	41,04	5000	41,75
6300	38,15	6300	38,25
8000	34,41	8000	34,76
10000	31,48	10000	31,56
12500	28,65	12500	28,46
16000	30,85	16000	31,39
20000	20,25	20000	18,64

Tabulka 4: Čerpadlo AW28 s použitím krytu proti hluku

Čerpadlo AW19 - 50% výkon - LAeq		Čerpadlo AW19 - 100% výkon - LAeq	
Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]	Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]
16	-12,1	16	-9,17
18	-9,82	18	-7,4
20	-3,26	20	-1,71
25	0,54	25	0,89
31,5	17,18	31,5	16,37
40	27,14	40	26,69
50	18,56	50	23,55
63	27,46	63	27,53
80	34,14	80	34,97
100	36,77	100	34,8
125	40,76	125	36,29
160	42,15	160	42,74
200	44,5	200	45,28
250	45,82	250	46,46
315	50,26	315	51,34
400	47,13	400	47,84
500	48,53	500	48,91
630	49,99	630	50,53
800	50,65	800	52,19
1000	49,18	1000	50,16
1250	49,15	1250	51,42
1600	48,58	1600	52,57
2000	46,31	2000	47,35
2500	46,21	2500	45,73
3150	42,79	3150	44,12
4000	39,91	4000	42,05
5000	36,98	5000	40,82
6300	33,26	6300	36,58
8000	30,24	8000	33,87
10000	26,52	10000	31,96
12500	21,44	12500	30,41
16000	33,73	16000	33,59
20000	16,36	20000	17,65

Tabulka 5: Čerpadlo AW19 měřeno zleva

Čerpadlo AW19 - 50% výkon - LAeq		Čerpadlo AW19 - 100% výkon - LAeq	
Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]	Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]
16	-12,24	16	-12,71
18	-9,34	18	-10
20	-2,71	20	-2,5
25	1,94	25	2,51
31,5	19,57	31,5	20,02
40	28,51	40	28,96
50	18,73	50	18,35
63	28,06	63	28,75
80	35,95	80	36,88
100	41,74	100	38,43
125	45,19	125	40,35
160	42,89	160	45,69
200	47,33	200	48,55
250	46,61	250	48,02
315	48,15	315	47,55
400	46,51	400	49,19
500	47,47	500	48,01
630	50,05	630	50,05
800	47,54	800	49,13
1000	47,08	1000	47,82
1250	46,43	1250	48,63
1600	45,65	1600	50,39
2000	43,83	2000	44,98
2500	42,63	2500	43,58
3150	40,28	3150	41,88
4000	37,6	4000	40,3
5000	35,41	5000	40,28
6300	31,57	6300	36,17
8000	29,88	8000	34,25
10000	26,13	10000	30,65
12500	20,4	12500	28,55
16000	31,55	16000	31,56
20000	14,41	20000	16,05

Tabulka 6: Čerpadlo AW19 měřeno zprava

Čerpadlo AW09 - 50% výkon - LAeq		Čerpadlo AW09 - 100% výkon - LAeq	
Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]	Frekvence 1/3 oct [Hz]	Hladina akustického tlaku [dB]
16	-11,8	16	-12,21
18	-5,85	18	-5,65
20	-2,14	20	-2,71
25	0,7	25	0,6
31,5	10,69	31,5	8,33
40	25,99	40	26,06
50	37,21	50	39,19
63	27,04	63	30,89
80	35,54	80	35,78
100	44,02	100	44,81
125	42,99	125	42,23
160	42,2	160	42,54
200	44,4	200	47,19
250	47,41	250	48,79
315	48,66	315	48,18
400	46,75	400	48,98
500	49,1	500	49,67
630	48,72	630	49,62
800	50,56	800	49,58
1000	49,66	1000	50,56
1250	49,23	1250	50,06
1600	48,53	1600	49,54
2000	48,04	2000	48,52
2500	46,16	2500	48,41
3150	43,62	3150	47,18
4000	40,43	4000	41,89
5000	38,07	5000	39,92
6300	34,69	6300	35,71
8000	31,16	8000	32,86
10000	27,24	10000	28,13
12500	22,01	12500	23,11
16000	28,66	16000	27,7
20000	13,49	20000	13,19

Tabulka 7: Čerpadlo AW09

