



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV STAVEBNÍHO ZKUŠEBNICTVÍ

INSTITUTE OF BUILDING TESTING

AKUSTICKÉ EMISE BUDOV

ACOUSTIC EMISSIONS OF BUILDINGS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. JOSEF SMAŽINKA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. OLGA RUBINOVÁ, Ph.D.

BRNO 2020



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	N3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Navazující magisterský studijní program
Studijní obor	3656T025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav stavebního zkušebnictví

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Student	Bc. Josef Smažinka
Název	Akustické emise budov
Vedoucí práce	Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Datum zadání	31. 3. 2019
Datum odevzdání	10. 1. 2020

V Brně dne 31. 3. 2019

doc. Ing. Pavel Schmid, Ph.D.
Vedoucí ústavu

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.
Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1. Právní předpisy ČR
2. České i zahraniční technické normy
3. Odborná literatura
4. Zdroje na internetu

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Cílem práce bude sledování, jak budovy svým technickým vybavením a provozem emitují hluk do venkovního prostoru. Budou vytipovány potenciální zdroje hluku. V rámci práce bude proveden průzkum na reálných budovách, kde bude šíření hluku monitorováno a vyhodnoceno, zda jsou ve venkovním prostoru staveb splněny požadavky vyhlášky. Mohou být navržena opatření pro zlepšení hlukové situace.

STRUKTURA DIPLOMOVÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část závěrečné práce zpracovaná podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (povinná součást závěrečné práce).
2. Přílohy textové části závěrečné práce zpracované podle platné Směrnice VUT "Úprava, odevzdávání, a zveřejňování závěrečných prací" a platné Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání a zveřejňování závěrečných prací na FAST VUT" (nepovinná součást závěrečné práce v případě, že přílohy nejsou součástí textové části závěrečné práce, ale textovou část doplňují).

Ing. Olga Rubinová, Ph.D.
Vedoucí diplomové práce

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá problematikou akustiky s hlavním zaměřením na akustické emise budov. První část práce má za úkol přiblížit čtenáři oblast akustiky jako celku. Dozví se základní pojmy, veličiny a vztahy, které v akustice existují. V druhé části se již konkrétně zaměřuji na zdroje hluku v budovách a jejich blízkém okolí, jaký může mít nadměrný hluk vliv na zdraví, jaké normy musí být splňovány a jak se dá nadměrnému hluku bránit. Poslední část práce je věnování praktickému měření v terénu, které je zaměřeno na skutečné zdroje hluku na území města Brna. Cílem tohoto měření je porovnat hluk vytvářený budovami s ostatními hluky v městském prostředí.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with acoustics with the main focus on acoustic emissions of buildings. The first part of the thesis aims to familiarize the reader with the field of acoustics as a whole. They will learn the basic concepts, quantities and relations that exist in acoustics. In the second part I focus specifically on the sources of noise in buildings and their surroundings, how can excessive noise affect health, what standards must be met and how to prevent excessive noise. The last part is devoted to practical measurements in the field, which is focused on real sources of noise in the city of Brno. The aim of this measurement is to compare the noise generated by buildings with other noises in the urban environment.

KLÍČOVÁ SLOVA

Akustika, budovy, zvuk, hluk, zdraví, emise, imise, zdroj, kmitočet, hladina, limity.

KEY WORDS:

Acoustics, buildings, sound, noise, health, emission, immission, source, frequency, level, limits.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Bc. Josef Smažinka *Akustické emise budov*. Brno, 2020. 11 s., 70 s. příl. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav stavebního zkušebnictví. Vedoucí práce Ing. Olga Rubinová, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 10. 1. 2020

.....
podpis autora
Bc. Josef Smažinka

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucí mé diplomové práce, Ing. Olze Rubinové, Ph.D. za odborné vedení a rady při zpracování této práce.

Obsah

Úvod.....	11
1 Akustika, základní veličiny a pojmy.....	12
1.1 Základní pojmy v akustice	12
1.1.1 Zvuk.....	12
1.1.2 Zvuk šířený konstrukcí	14
1.1.3 Zvuk šířený v reálném prostředí.....	14
1.1.4 Zvuk a jeho fyzikální vlastnosti	14
1.1.5 Hluk	15
1.1.6 Rozsah slyšení	16
1.1.7 Rychlost šíření zvuku.....	16
1.1.8 Perioda a vlnová délka	16
1.1.9 Akustický tlak [Pa].....	17
1.1.10 Akustická rychlost [$\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$].....	17
1.1.11 Akustický výkon [W].....	17
1.1.12 Kmitočet [Hz].....	17
1.1.13 Akustická emise.....	17
1.1.14 Akustická imise	18
1.2 Decibelové stupnice v akustice	18
1.2.1 Jednotka decibel	18
1.2.2 Hladina akustického výkonu L_w [dB].....	18
1.2.3 Hladina akustického tlaku L_p [dB]	19
1.2.4 Vzájemná souvislost decibelových veličin	20
1.2.5 Oktávové kmitočtové pásmo	21
2 Účinky hluku a vibrací na člověka.....	22
2.1 Charakteristika hluku a vibrací.....	22
2.2 Účinky hluku na lidský organismus	22
2.3 Účinky vibrací na člověka.....	24
2.4 Hygienické limity vibrací.....	25
3 Zdroje hluku.....	26
3.1 Rozdělení zdrojů hluku	26
3.2 Urbanistická akustika.....	27

3.2.1	Pozemní komunikace jako zdroj hluku.....	28
3.2.2	Opatření proti hluku z dopravy	28
3.2.3	Stacionární zdroje zvuku v urbanistické akustice	29
3.3	Metody eliminace hluku.....	29
4	Hluk a legislativa	31
4.1	Prostory omezené hygienickými limity	31
4.1.1	Stará hluková zátěž.....	31
4.1.2	Chráněný venkovní prostor	32
4.1.3	Chráněný venkovní prostor staveb	33
4.1.4	Chráněný vnitřní prostor staveb	34
5	Akustika staveb.....	36
5.1	Úvod do akustiky staveb	36
5.2	Šíření zvuku v budovách.....	37
5.2.1	Zdroje zvuku v životním a pracovním prostředí	37
5.2.2	Šíření zvuku ve volném prostoru.....	39
5.2.3	Vliv gradientu větru na šíření zvuku	39
5.2.4	Vliv gradientu teploty na šíření zvuku.....	40
5.2.5	Vliv mlhy a sněhu na šíření zvuku	40
5.2.6	Útlum zvuku ohybem přes překážky	41
5.2.7	Šíření zvuku v uzavřeném prostoru – difúzní zvukové pole.....	41
5.3	Pohlcování zvuku	42
5.3.1	Obklady z pórovitých materiálů.....	42
5.3.2	Kmitající membrány a desky.....	43
5.3.3	Dutinové rezonátory	44
5.3.4	Kombinované konstrukce	44
6	Realizace měření	46
6.1	Podmínky měření.....	46
6.2	Postup měření	46
6.3	Cíl měření.....	47
7	Měřič hluku CEM DT-8850	48
7.1	Vybrané technické parametry měřiče	48
8	Praktické měření hluku.....	49

8.1	Měření technických zařízení budov.....	49
8.1.1	1. měření – Fakultní nemocnice u sv. Anny.....	49
8.1.2	2. měření – pivovar Starobrno.....	51
8.1.3	3. měření – budova „R“, fakulta stavební	54
8.1.4	4. měření – zadní část budovy „R“ fakulty stavební	56
8.1.5	5. měření – ulice Joštova.....	57
8.1.6	6. měření – areál Vlněna	59
8.1.7	7. měření – rekonstrukce bytového domu, ulice Kotlářská.....	61
8.1.8	8. měření – park u Konečného náměstí.....	62
8.1.9	9. měření – Bjornsenův sad.....	63
9	Závěr.....	64
10	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	65
11	SEZNAM ZKRATEK.....	67
12	SEZNAM TABULEK.....	68
13	SEZNAM GRAFŮ A OBRÁZKŮ	69

Úvod

Akustika je vědní obor s velmi širokým záběrem, který má celou řadu podoborů. Obecně se tento obor zabývá hlavně zvukem a jeho šířením. V úvodní části se budu věnovat akustice jako celku. Popíšu základní pojmy a veličiny, bez kterých se v pokročilejší fázi studia člověk neobejde. Následovat bude povídání o rizicích, které se snaží obor akustiky eliminovat nebo alespoň snižovat a jaké by to mělo pro lidský organismus následky, kdyby se tak nedělo. V závěrečné fázi první části se podíváme, jaké zdroje hluku na nás v reálném světě působí a jak jsou limity zdrojů hluku legislativně upraveny.

Po získání prvotních informací bude má práce pomalu ale jistě směřovat k podoboru, který nese název stavební akustika. Zjednodušeně se stavební akustika zabývá zvukem spojeným s budovami. Jedná se především o zvuk, který se šíří z jedné místnosti do druhé v rámci zvuků uvnitř budovy. Popřípadě můžeme budovu posuzovat ve vztahu k jejímu vnějšímu okolí. Tím pádem zkoumáme zvuk, který se šíří z vnitřní části budovy směrem ven a naopak. Konkrétně se v této části práce dozvíme, jak se zvuk v budovách šíří a jakým způsobem se ho snažíme v co největší míře eliminovat.

Praktická část probíhala v terénu. Cílem bylo porovnání hluku, který vytváří budovy s hlukem ostatních znečišťovatelů (především hluk z dopravy). Terénní měření je poté zpracováno v poslední kapitole této práce a jednotlivé výsledky podrobně popsány a zaznamenány v grafech.

1 Akustika, základní veličiny a pojmy

Akustika je obsáhlý vědní obor, zabývající se souhrnně zvukem od jeho vzniku, přenosu prostorem až po vnímání lidskými smysly. Z důvodu rozsáhlosti tohoto oboru, má akustika mnoho podoborů, např.:

- hudební akustika – zkoumá hudbu z hlediska základních fyzikálních vlastností, hudební nástroje či hudební prostory,
- stavební akustika – v různých typech staveb, budov nebo uzavřených prostor zkoumá zvukové jevy a souvislosti,
- prostorová akustika – zkoumá zvuk a jeho šíření v obecném prostoru,
- fyziologická akustika – zkoumá vznik zvuku v lidském hlasovém orgánu a také jeho vnímáním v uchu,
- psychoakustika – zabývá se vnímáním zvuku v mozku,
- elektroakustika – zabývá se záznamem zvuku a šířením zvuku s využitím elektrického proudu. (Bernat, 2002)

1.1 Základní pojmy v akustice

1.1.1 Zvuk

Zvukem nazýváme každé mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat v lidském uchu sluchový vjem. (Vágnerová, 2013)

Zvuk se může šířit pevnými látkami, plyny (především pak vzduchem) i kapalinami formou zvukových vln. V každém z těchto médií se zvukové vlny šíří rozdílným způsobem.

Zvuk vzniká kmitáním částic pružného prostředí, které se pohybují v rozsahu slyšitelných kmitočtů. Nejčastěji se udává rozsah od 16 Hz do 20 kHz. V některých jiných zdrojích je uváděn rozsah 20 Hz – 20 kHz. Částice prostředí mohou kmitat dvěma způsoby. A to buď

ve směru šíření vlnění nebo kolmo k němu. Na základě tohoto faktu dělíme vlnění na příčné a podélné.

- Příčné vlnění – hmotné body kmitají kolmo na směr, kterým vlnění postupuje.
- Podélné vlnění – částice kmitají ve směru, kterým vlnění postupuje.

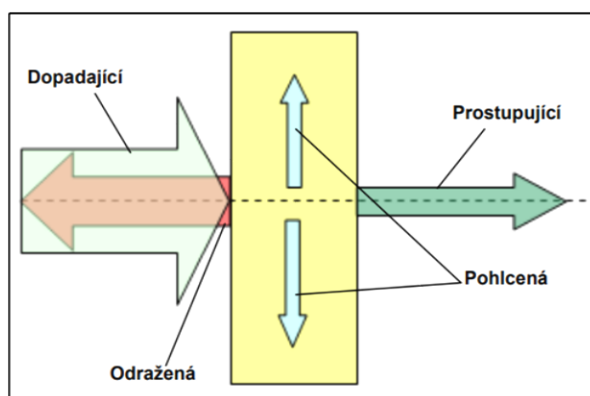
Zvuk je také možné rozdělit na tři pásma podle frekvenčního rozsahu:

- infrazvuk – mechanické vlnění pružného prostředí s frekvencí $f < 16$ Hz,
- slyšitelný zvuk – mechanické vlnění pružného prostředí ve frekvenčním pásmu od 16 Hz do 20 kHz,
- ultrazvuk – mechanické vlnění pružného prostředí s frekvencí $f > 20\,000$ Hz. (14)

U tekutin a plynů se vyskytuje pouze podélné akustické vlnění, protože jsou tyto látky pružné pouze ve smyslu objemové stlačitelnosti.

Elastické materiály vykazují pružnost nejen v tahu a tlaku, ale také ve smyku. Díky těmto vlastnostem se u těchto materiálů může vyskytovat jak vlnění podélné, tak i vlnění příčné. Při kombinaci zmíněných namáhání může vznikat i kmitání ohybové.

Zvuková vlna se šíří prostorem do všech možných směrů v tzv. vlnoplochách, ty se poté, v závislosti na druhu povrchu, odráží od překážek nebo jimi prostoupí dále. Zajímavé je pohlcení části vlny nebo její průnik při dopadu na překážku (viz. obrázek 1).



Obrázek 1 – Zvuková vlna po nárazu do překážky

1.1.2 Zvuk šířený konstrukcí

Jedná se o zvláštní formu přenosu zvuku. Vzniká excitací (fyzikální proces, při kterém dojde ke změně energetického stavu atomu, molekuly nebo iontu na vyšší energetickou hladinu) pevné hmoty. Zjednodušeně se jedná například o údery na stěnu nebo strop. Vzniklá zvuková energie se následně uvolňuje do vzduchu, přenesení se vzduchem a končí v uchu posluchače.

1.1.3 Zvuk šířený v reálném prostředí

Jak již bylo zmíněno v podkapitole 1.1.1, zvuk se od zdroje šíří ve vlnoplochách. Tyto vlnoplochy mají ve volném prostředí zpravidla kulový nebo rovinný tvar. Tento tvar se může změnit například odrazem nebo průchodem překážkou. Za rovinnou vlnoplochu můžeme považovat také kulovou vlnu, pokud byla vytvořena zdrojem zvuku ve velké vzdálenosti a zakřivení vlny již má pouze minimální význam.

Prostor, ve kterém se šíří zvuk, je akustické pole. Podle charakteru zvukových vln pak rozeznáváme různá akustická pole. Tato pole mohou být rovinná, kulová a difuzní (pole, které tvoří vlny různých tvarů).

Při šíření zvuku v reálném prostředí, tedy v prostředí, kde se vyskytují překážky, dochází při dopadu vlny na některou z překážek k různým jevům. Při dopadu navíc dojde k přeměně části zvuku na jinou formu energie (většinou na teplo). Obecně se část akustické energie přemění v teplo, část zvuku se odrazí, část projde skrz překážku, popřípadě se šíří samotnou překážkou dál. Může se také stát, že se zvuk kolem překážky ohne. Také ji může rozkmitat takovým způsobem, že se vlny odečtou a překážka se začne chovat tak, jako by veškerou akustickou energii sama pohlcovala. Mohou nastat i další jevy, ale vše záleží na tom, jaké rozměry, složení a tvar daná překážka má. Také záleží na vlnové délce zvukové vlny a dalších aspektech. (14)

1.1.4 Zvuk a jeho fyzikální vlastnosti

Zvuk, v závislosti na určitých vlastnostech, rozdělujeme na periodický a neperiodický. Mezi neperiodické zvuky můžeme zařadit všechny hluky a šумы, u nichž neprobíhá žádné

opakování určitého úseku. Na rozdíl od periodických zvuků, které jsou základním kamenem hudebních tónů, kde je opakování period primární předpoklad. Velkou část zvuků tvoří zvuky kvaziperiodické. Kvaziperiodické zvuky jsou takové zvuky, které splňují podmínku periodičnosti, jsou však časově omezené. Nebo se jednotlivé periody částečně liší v amplitudě či frekvenci. Příkladem těchto zvuků mohou být dlouhé samohlásky v řeči (Ptáček, 1993).

Dále pak můžeme zvuky, respektive tóny, dělit na jednoduché a složené. Další dělení je možné z hlediska průběhu zvuku. Z tohoto hlediska lze zvuky rozdělit na stacionární (ustálené) a nestacionární, tedy neustálené. Stacionární zvuky mají neměnný průběh všech zvukových parametrů po celou dobu trvání zvuku. Tyto zvuky se vyskytují poměrně zřídka a mnohem častěji se jedná o kvazistacionární zvuky, jejichž průběh je poměrně konstantní. Ze všech těchto zvuků se však nejčastěji vyskytují nestacionární zvuky. Jejich charakter je proměnlivý a řadíme do této kategorie třeba i zvuky hudební. (Melka, 2005).

Nejdůležitějšími vlastnostmi zvuku, které ovlivňují naše vnímání, jsou: frekvence kmitání, doba trvání, síla zvuku a spektrální kvalita. Parametry, hodnoty a vztahy těchto vlastností však byly odvozeny ze stacionárních (případně kvazistacionárních) zvuků. Protože u zvuků nestacionárních, ze kterých se z velké části skládá okolní svět a naše prostředí, je výzkum těchto vlastností obtížnější a komplikovanější.

1.1.5 Hluk

Hluk je zvláštní forma zvuku. Fyzikálně jej lze popsat jako nepravidelné či náhodné kmitání. Hlukem je zpravidla označován nepříjemný a nežádoucí zvuk. Tento názor je však do určité míry subjektivní. Důvod je prostý, protože pro někoho tentýž zvuk může být obtěžující, naopak pro někoho může být stejný zvuk přijatelný, ba dokonce příjemný. Za určitých podmínek může být za hluk považována i hudba. Vnímání hluku ovlivňuje velké množství faktorů. Mezi tyto faktory můžeme zařadit informační obsah, dobu trvání, věk, zdravotní stav, postoj posluchače a další.

1.1.6 Rozsah slyšení

Zvuk vnímaný lidským uchem, je kmitočtově závislý. To znamená, že při stejné hladině akustického tlaku budou hluboké tóny vnímány jinak (méně), než tóny střední, které se pohybují v oblasti okolo 1000 Hz a budou také vnímány méně než tóny vysoké. Rozsah slyšení lidského ucha je rovněž omezen tzv. prahem slyšitelnosti (pro nízké hladiny akustického tlaku) a prahem bolesti (pro vysoké hladiny akustického tlaku). Tento rozsah je podrobněji popsán a vysvětlen v podkapitolách níže. Zvýšení hladiny akustického tlaku o 10 dB znamená dvojnásobek vnímané hlasitosti. Stejně tak snížení hladiny akustického tlaku o 10 dB znamená poloviční hlasitost.

1.1.7 Rychlost šíření zvuku

Za běžných podmínek se rychlost šíření zvuku ve vzduchu vypočítá pomocí vzorce $c = 331,8 \text{ m/s} + 0,6 \cdot T \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$, kde T vyjadřuje teplotu vzduchu ve stupních Celsia. Standardizovaná hodnota, která činí hodnotu 340 m/s, pak odpovídá teplotě 13,6 °C. (Vágnerová, 2013)

Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku ve vybraných látkách [zdroj: Svoboda, 2001; Mikulčák, 2003; zpracování: vlastní]

Látka	Rychlost zvuku (m.s ⁻¹)
Suchý vzduch (0 °C)	331
Suchý vzduch (25 °C)	346
Voda (25 °C)	1 500
Beton	1 700
Dřevo (buk, dub)	3 400
Ocel	5 000
Sklo	5 200

1.1.8 Perioda a vlnová délka

„Perioda, resp. doba trvání jednoho cyklu periodického děje, je převrácenou hodnotou její frekvence. Značí se „T“ a fyzikální rozměr má shodný, jako čas –

sekundy. Vlnová délka pak zohledňuje rychlost šíření signálu v prostředí a vyjadřuje, jakou vzdálenost urazí signál za dobu jedné periody. Značí se „ λ “ (lambda) a rozměr má stejný, jako míra vzdálenosti (metr). Jde tedy o součin rychlosti šíření „ c “ a periody „ T ““. (Vágnerová, 2013, str. 5)

1.1.9 Akustický tlak [Pa]

Barometrický tlak neboli normální tlak vzduchu je hodnota přibližně 100 000 Pa, kdežto akustický tlak je veličina o mnoho řádů nižší. Zdravé lidské ucho vnímá akustické tlaky od hodnoty $2 \cdot 10^{-5}$ Pa, což je v porovnání s barometrickým tlakem hodnota téměř zanedbatelná.

1.1.10 Akustická rychlost [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

Jedná se o rychlost, kterou se částice vzduchu pohybují pod působením akustického tlaku kolem své rovnovážné polohy. Tato rychlost se pohybuje v intervalu od $5 \cdot 10^{-8} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (práh slyšitelnosti) až do $1,6 \cdot 10^{-1} \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ (práh bolesti).

1.1.11 Akustický výkon [W]

Jedná se o základní a nejdůležitější veličinu, která popisuje akustické vlastnosti zdroje zvuku. Slouží také jako měřítko celkové akustické energie, kterou daný zdroj vyzařuje nebo která prochází danou plochou.

1.1.12 Kmitočet [Hz]

Jedná se o počet kmitů za vteřinu, které vykoná kmitající hmotný bod. Kmitočet bývá všeobecně označován malým písmenem f . (Vágnerová, 2013)

1.1.13 Akustická emise

Jedná se o zvuk, který je šířený vzduchem a je vyzařovaný přesně daným zdrojem hluku při stanovených pracovních podmínkách. Tímto zdrojem mohou být například stroje nebo

jejich části. Frekvenční a amplitudové pásmo této emise je rozsáhlé od jednotek Hz až po vysoké ultrazvukové frekvence.

1.1.14 Akustická imise

Jedná se o zvuk šířený vzduchem, přijímaný v určitém místě. Toto místo může být například obsluha stroje. (Malý, 2010)

1.2 Decibelové stupnice v akustice

Hladiny akustických veličin se řídí pomocí Weberova – Fechnerova zákona, který zjednodušeně říká: Akustické veličiny, mění se geometrickou řadou, vnímá lidské ucho řadou aritmetickou. Násobky akustického signálu jsou uchem vnímány jako přírůstky. Pro převod z geometrické řady na aritmetickou se používá funkce logaritmus. (Vágnerová, 2013)

1.2.1 Jednotka decibel

Decibel je bezrozměrná jednotka zlogaritmovaného poměru dvou hodnot. Hlavní jednotkou je bel. Tato jednotka je pojmenována po Alexandru Grahamu Bellovi, který je mimo jiné vynálezce telefonu. Decibel je tedy desetina jednotky bel. Tato jednotka vznikla s cílem zpřesnění výpočtů.

Podle Weber – Fechnerova zákona je prokazatelná logaritmická závislost mezi subjektivním vnímáním člověkem a naměřenými akustickými veličinami. Výsledkem této závislosti je to, že pokud zdvojnásobíme původní hodnotu intenzity zvuku posuzovaného zvukového signálu, intenzita zvuku v decibelech vnímaná člověkem se zvýší o logaritmický poměr, nikoliv o polovinu, jak by se na první pohled mohlo zdát. (Malý, 2010)

1.2.2 Hladina akustického výkonu L_w [dB]

Pomocí Weber – Fechnerova zákona lze dokázat logaritmickou závislost mezi subjektivním vjemem člověka a objektivními akustickými veličinami (jak jsme se dozvěděli v minulém odstavci). V technické akustice byl zaveden pojem „hladin“

jednotlivých akustických veličin, jejichž veličinou je „decibel“ [dB]. Velmi důležité je stanovení referenční hodnoty při používání decibelových stupnic. Pro představu, například mezi referenčními hodnotami 1 W a 10^{-11} W je v decibelových stupnicích konstantní rozdíl 110 dB.

Hladina akustického výkonu L_w [dB] je definována vztahem:

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \text{ dB}$$

kde je W – sledovaný akustický výkon,
 W_0 – referenční výkon, $W_0 = 10^{-12}$ W.

Obrázek 2 – Vztah pro výpočet hladiny akustického výkonu

Při zvýšení akustického výkonu o jeden řád dojde ke zvýšení hladiny akustického výkonu o 10 dB.

1.2.3 Hladina akustického tlaku L_p [dB]

Nejslabší zaznamatelný zvukový signál pro nepoškozený lidský sluch odpovídá dvaceti miliontinám základní jednotky tlaku 1 Pa, což je akustický tlak 20 μPa . Jedná se o hodnotu $5 \cdot 10^9$ krát menší než normální barometrický tlak. Změna tlaku o 20 μPa je tak malá, že vyvolává vychýlení membrány lidského sluchového orgánu o hodnotu menší, než je průměr jednoho jediného atomu. Lidskému uchu nedělá problém snášet akustické tlaky více než 10^6 krát větší. Lidský sluchový orgán také rozlišuje tzv. barvu zvuku, což mu dává schopnost rozpoznávat zvuky různých kmitočtů.

U akustického tlaku byla zavedena příslušná hladina, kterou je nutno vždy dodržovat k určitému kmitočtu, popřípadě pásmu kmitočtů. Jinak nemá tento údaj hladiny akustického tlaku žádný význam. A to z důvodu toho, že nevypovídá nic o poloze signálu na kmitočtové ose.

Hladinu akustického tlaku L_p [dB] vypočteme pomocí vztahu:

$$L_p = 20 \log \frac{p}{p_0} \text{ dB}$$

kde je p – sledovaný akustický tlak,

p_0 – referenční akustický tlak, $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$.

Obrázek 3 – Vztah pro výpočet hladiny akustického tlaku

Tato logaritmická stupnice má jako výchozí bod prahovou hodnotu akustického tlaku $p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$, tomu pak odpovídá v decibelové stupnici hodnota 0 dB. Každému zdesateronásobení akustického tlaku v [Pa] odpovídá zvýšení hladiny akustického tlaku o 20 dB.

Akustický výkon i akustický tlak jsou veličiny, které navazují a také úzce souvisejí s teorií vlnění. Každému vlnění připadá určitá frekvence nebo frekvenční rozsah. Proto se u hladin akustického výkonu nebo hladin akustického tlaku nezbytně uvádí kmitočet, respektive rozsah kmitočtů, ke kterému daná hodnota přísluší. Celková hladina akustického tlaku nám dává informaci o celkovém akustickém tlaku, který je vlněním vyvolán v celém slyšitelném frekvenčním rozsahu.

1.2.4 Vzájemná souvislost decibelových veličin

Je nutné odlišovat hladinu akustického výkonu od ostatních hladin, zejména od hladiny akustického tlaku. Hladina akustického výkonu určuje vždy akustický výkon vyzařovaný specifickým zdrojem a je to tedy vlastnost pouze zdroje zvuku. Naopak hladina akustického tlaku určuje akustický děj v kontrolním místě, resp. v místě posluchače. Tato veličina se výrazně mění se vzdáleností a směrem od zdroje, v závislosti na cestě šíření akustické energie, okolním prostředí apod.

1.2.5 Oktávové kmitočtové pásmo

Díky akustickým filtrům lze z měření získat kmitočtové složení zvuku. Tyto filtry propustí od mikrofónu do vyhodnocovaného bloku přístroje pouze signály vyžadované frekvence. V praxi se využívají dva hlavní typy kmitočtové analýzy:

- s konstantní šíří pásma,
- s procentuálně konstantní šíří pásma.

První metoda používá filtry s konstantní šíří pásma propustnosti, která je nezávislá na středním kmitočtu pásma. U druhé metody je šíře pásma propustnosti procentuálně konstantní vzhledem ke střednímu kmitočtu v pásmu.

Stroje vyzařující čisté tóny je vhodné měřit pomocí aparatur, které obsahují kmitočtové filtry konstantní šíře. To kvůli tomu, že obvykle pro další vývoj těchto strojů potřebujeme znát jejich diskrétní složky. Měření hluku sloužící k určení celkové hlučnosti ve většině případů nevyžaduje přesnou znalost spektra (včetně diskrétních složek). V těchto případech pak použijeme kmitočtové filtry, resp. kmitočtová pásma o procentuálně konstantní šířce. To splňují například oktávová pásma. (Vágnerová, 2013)

2 Účinky hluku a vibrací na člověka

2.1 Charakteristika hluku a vibrací

Jak již bylo v této práci zmíněno dříve, jak zvuk, tak i vibrace je šíření vlnění, u kterého uvažujeme prostředí pružné nebo stlačitelné, které je složeno z hmotnostních částic.

Slyšitelné či akustické kmitání je vlnění v kapalném nebo plynném prostředí. A je v běžném životě lidmi vnímáno jako zvuk, respektive hluk. Vlnění uvnitř pevných látek je označováno jako mechanické a pociťujeme jej jako vibraci. (Vaňková, 1995)

Vyjádření hodnot, které určují veličiny vibrací, existuje v praxi velké množství. Lze je určit rychlostí ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), zrychlením ($\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$), silou (N – Newton) a podobně. Dříve byly vibrace brány pouze jako kmitavý pohyb. V dnešní době již víme, že je toto kmitání doprovázeno působením dynamické síly. Dynamické veličiny (rychlost a síla) se navzájem ovlivňují. V neposlední řadě má na vnímání vibrace vliv i povaha expozice. To si můžeme jednoduše představit jako sílu stisku ruky rukojetě. Z důvodu zjednodušení se v oboru vibrací pracuje s hladinovým vyjádřením v jednotkách dB.

2.2 Účinky hluku na lidský organismus

Intenzita je základní parametr, který určuje účinek zvuku. Člověk se necítí dobře nejen při vysokých hladinách akustického tlaku, ale také v prostředí s nepřírozeně nízkou hladinou akustického tlaku. Člověk vnímá různé intenzity přibližně takto:

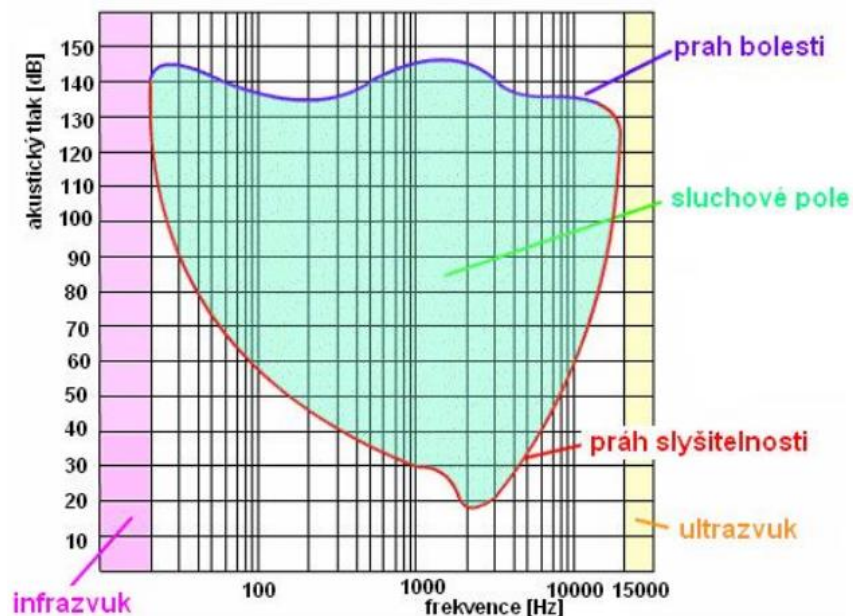
- hodnoty okolo 20 dB jsou většinou lidí považovány za hluboké ticho,
- hladinu 30 dB vnímají lidé jako příjemné ticho,
- u hodnot nad 60 dB se již začínají nepříznivě projevat účinky hluku, například změnami vegetativních reakcí,
- pokud hladina akustického tlaku přesahuje hodnoty 85 dB, vznikají při dlouhodobém pobytu v tomto prostředí trvalé poruchy sluchu. Také se při těchto hodnotách projeví účinky na celou nervovou soustavu,

- při 130 dB již účinky hluku způsobují bolesti v oblasti sluchových orgánů. K protržení bubínku dochází při hladinách cca 160 dB.

Nadměrný hluk také ovlivňuje kvalitu a produktivitu práce. A to negativním způsobem. Navíc také velkou měrou ohrožuje její bezpečnost. Z toho vyplývá, že hluk patří k významným enviromentálním faktorům.

Vjem zvukového signálu je dán souborem subjektivních veličin, mezi které patří například výška tónu, hlasitost zvuku, barva zvuku a podobně. Tyto subjektivní veličiny jsou přímým obrazem veličin objektivních a zároveň fyzikálních – frekvence, amplitudy, intenzity a časového průběhu zvukového signálu.

Sluchový vjem závisí na intenzitě zvuku a jeho frekvenci. Výsledný vjem je do jisté míry ovlivněn také tím, zda posloucháme zvuk s jednou frekvencí nebo směsí frekvencí. Zvuky, které u člověka způsobí sluchový vjem, lze zařadit do tzv. sluchového pole, viz. obrázek 4.



Obrázek 4 – Graf sluchového pole

Pro každého člověka je tvar sluchového pole, které vidíme na obrázku 4, individuální. Ze spodní strany je tento graf vymezen křivkou popisující práh slyšitelnosti (zvuky pod tímto prahem člověk neslyší), z horní strany je pak graf ohraničen křivkou prahu bolesti (zvuky nad touto křivkou již vyvolávají bolestivý vjem a mohou vést k poškození sluchového orgánu či narušení psychiky člověka). Citlivost sluchu dosahuje maxima v oblasti mezi 500 až 4000 Hz, pro nižší i vyšší frekvence pak tato citlivost prudce klesá.

Nebezpečí zvuku, respektive hluku, spočívá v tom, že organismus člověka nemá téměř žádné přirozené obranné schopnosti proti působení akustických signálů ovlivňující jeho zdraví. Například oči může člověk zavřít, oproti tomu ucho žádnou takovou obrannou funkcí nedisponuje.

Lidské ucho je schopné vnímat zvuk v rozsahu kmitočtů od 20 Hz až do 20 kHz. Z toho vyplývá, že k tomu, aby byl zvuk slyšitelný, musí jeho intenzita překročit určitou, frekvenčně závislou, prahovou hodnotu. Při zvyšování intenzity zvuku dospějeme k takovým hodnotám akustické intenzity zvuku, při nichž u člověka postupně dochází k nárůstu pocitu bolesti. Všechny slyšitelné zvuky tedy najdeme mezi prahem slyšení a prahem bolesti. (14)

2.3 Účinky vibrací na člověka

Pokaždé, když vystavíme jedince intenzivním vibracím, vzniká negativní reakce lidského organismu. Stejně jako u zvuku, tak i při dlouhodobém působení vibrací, může dojít k trvalým zdravotním následkům. Nejčastěji se jedná o onemocnění cév, nervů nebo třeba pohybového aparátu či páteře. V dnešní době patří mezi největší zdravotní rizika vibrace přenášené na horní končetiny při manipulaci a práci s vibrujícími stroji. Vystaveny vibracím jsou nejčastěji osoby, které používají k práci motorová zařízení (motorové pily, vrtačky, sbíječky apod.).

S aktuálním trendem rozšiřování měst a urbanizací se zvyšuje i četnost infrastruktury uvnitř měst, čímž dochází k nárůstu počtu stížností obyvatel na nadměrné vibrace v budovách. Člověk vibrace a rázy vnímá soustavou, která má vliv na psychosomatickou

citlivost v lidském těle. Vibrace způsobují nesoustředěnost nebo mohou ovlivňovat kvalitu spánku. (Jandák, 2007)

2.4 Hygienické limity vibrací

Hygienickým limitům hluku se věnuji v této práci později a dal jsem tomuto tématu prostor v kapitole 4. Především z toho důvodu, že limity hluku jsou poněkud výraznějším, obsáhlejším a v celkovém ohledu nejspíš důležitějším tématem. Navíc vibračním limitům jsou věnovány pouze dva paragrafy páté části nařízení vlády č. 272/2011 Sb., které si v této podkapitole zmíníme.

Jak již bylo zmíněno, hygienické limity vibrací najdeme v páté části (Vibrace v chráněných vnitřních prostorech a na pracovištích) nařízení vlády, v paragrafu 18 a 19. Tato část udává maximální hodnoty vibrací ve vnitřních prostorech staveb a na pracovištích. Tyto paragrafy zní:

„§ 18 (1) Hygienický limit vibrací v chráněných vnitřních prostorech staveb vyjádřený průměrnou váženou

a) hladinou zrychlení vibrací $L_{aw,T}$ se rovná 75 dB, nebo

b) hodnotou zrychlení vibrací $a_{ew,T}$ se rovná 0,0056 m/s².

(2) Hygienické limity vibrací uvedené v odstavci 1 v chráněných vnitřních prostorech staveb se vztahují na horizontální a vertikální vibrace v místě pobytu osob a k době trvání vibrací T.

(3) Korekce hygienického limitu podle odstavce 1 jsou v závislosti na typu prostoru, denní době a povaze vibrací upraveny v příloze č. 5 k tomuto nařízení.

§ 19 Při hodnocení vibrací, které pronikají na pracoviště, se při stanovení jejich hygienického limitu a jeho korekcí postupuje podle § 18.“ (9)

3 Zdroje hluku

3.1 Rozdělení zdrojů hluku

Za zdroje hluku můžeme považovat předměty nebo vymezené oblasti prostředí, ze kterých se do okolí šíří akustické vlnění. Charakter tohoto akustického vlnění v okolí zdroje hluku je závislý především na velikosti daného zdroje. Z tohoto hlediska rozlišujeme:

- bodový zdroj – vlnění zdroje se šíří v kulových plochách,
- přímkový zdroj – převažuje jeden rozměr zdroje a vlnoplochy mají tvar válce,
- plošný zdroj – vlnoplochy tohoto zdroje jsou rovinné.

Bodový zdroj zvuku je v normách definován jako zdroj, jehož rozměry jsou velmi malé ve srovnání s vlnovou délkou vyzařovaného zvuku. V praxi je však spíše důležitá vzdálenost mezi zdrojem a místem příjmu zvuku. Je-li tato vzdálenost větší alespoň 1,5násobně, než je největší rozměr zdroje zvuku, lze již tento zdroj považovat za bodový.

Další možností, jak rozdělit zdroje hluku, je členění na zdroje stacionární a mobilní. Stacionární zdroje, kam řadíme zdroje především z průmyslových závodů, provozoven, hřišť, stadionů, stavenišť apod. jsou zpravidla posuzovány z hlediska jejich hlučnosti přísněji, pokud jde o srovnání se zdroji mobilními (doprava, zemědělské stroje apod.). Toto posuzování je ovlivněno za prvé rozdílnou reakcí obyvatelstva na tyto zdroje a za druhé je u stacionárních zdrojů více možností použít účinnější opatření proti hluku.

Dále můžeme hlukové zdroje rozdělit z hlediska časového. Tyto zdroje tedy dělíme na ty, které působí trvale a ty, které působí po časově omezenou dobu. (Kaňka, 2009)

Souhrnně můžeme za hluk obtěžující životní prostředí (nebo také škodlivý zvuk vytvořený lidskou činností) považovat:

- hluk vytvářený dopravními prostředky,
- hluk vytvářený silniční dopravou,
- hluk vytvářený železniční dopravou,

- hluk vytvářený leteckou dopravou,
- hluk vytvářený stacionárními a mobilními zdroji,
- hluk uvnitř budov,
- hluk ze sousedství – restaurace, diskotéky, kavárny, domácí zvířata a podobně.

Tyto jednotlivé oddíly hluku můžeme ještě začlenit do dalšího rozdělení. Oddíly patřící do první skupiny, která se nazývá zdroje hluku z mobilních zdrojů, jsou: dopravní prostředky, silniční doprava, železniční doprava, letecká doprava, podzemní doprava a v neposlední řadě doprava vodní. Druhá skupina neboli zdroje hluku ze stacionárních zdrojů, zahrnuje souhrnně technické zdroje a náhodné zdroje. (Smetana, 1998)

3.2 Urbanistická akustika

Urbanistická akustika zkoumá a studuje akustické jevy ve venkovním prostoru z hlediska ochrany vymezených míst (zejména v okolí budov) před hlukem. Pozoruje akustické vlastnosti venkovních zdrojů hluku a venkovního prostředí, přičemž přihlíží k různým vlivům, například stavebních konstrukcí a objektů, terénních útvarů a porostů a podobně. Cílem urbanistické akustiky je vytvoření přijatelného akustického stavu venkovního prostoru a vytvoření ideálního prostředí pro život obyvatel.

Z velkého množství statistických šetření provedených v minulosti u nás i v zahraničí se dozvíme, že dominujícím zdrojem hluku v exteriéru z hlediska podílu na hlukové expozici obyvatelstva je doprava na pozemních komunikacích (až 60 %). Je tomu tak i přes to, že v porovnání s nepohyblivými zdroji je tolerance obyvatelstva k hluku z dopravy vyšší, jak bylo zmíněno v předchozí podkapitole. Důvod je takový, že hluk z dopravy dosahuje významně vyšších hodnot, a především je územně nejvíce rozšířen. Důsledkem mobility zdrojů pak proniká hluk z dopravy snáze do hloubky chráněných území (obytných, rekreačních, lázeňských apod.). Po hluku z pozemních komunikací následuje hluk železniční dopravy (10 %) a letecký hluk (8 %). Hluk provozoven a průmyslový hluk (7 %) je až na čtvrtém místě. Stavební hluk a hluk budov se pak nachází na pátém místě (5 %). Následují pak hluky ze sousedství a aktivit spojených

s užíváním volného času (3 %). Dále pak následují zdroje méně významné, které již nemají téměř žádný význam.

3.2.1 Pozemní komunikace jako zdroj hluku

Pozemní komunikaci s hustým provozem můžeme charakterizovat jako přímkový (liniový) zdroj zvuku. Jako kritérium mohutnosti tohoto zdroje nepoužíváme hladinu akustického výkonu, ale ekvivalentní hladinu akustického tlaku. A to ve vzdálenosti 7,5 m od osy krajního jízdního pruhu komunikace ve výšce 1,5 m nad terénem za předpokladu, že komunikace je přímá a nekonečně dlouhá.

Protože existují dva limity hluku – denní a noční – (viz. kapitola 4) a také provoz na komunikaci je v noci odlišný od provozu v denní době, je nutno výpočet pro tento typ hlukového zatížení provádět odděleně pro denní a pro noční dobu.

3.2.2 Opatření proti hluku z dopravy

Na tomto místě je vhodné připomenout všeobecné pravidlo, tedy nejen při opatření vůči hluku z dopravy, o výhodnosti akustických opatření prováděných na zdroji zvuku a v jeho blízkosti. Těmto opatřením se říká aktivní, zatímco u opatření prováděných jen v místě příjmu zvuku mluvíme o pasivní ochraně, při které se rezignuje na ochranu venkovního prostoru a zvýšením neprůzvučnosti obvodového pláště budovy se zachová vyhovující hluková situace alespoň v interiéru. Jelikož je chráněn pouze interiér, považují se pasivní opatření proti hluku z dopravy za nouzová, často však, zejména v místech vysoké koncentrace zástavby a dopravy, jsou tato opatření jediná možná. Jinak se vždy, pokud to okolní podmínky dovolí, dává přednost aktivním opatřením. Tato opatření můžeme rozdělit takto:

- urbanistická,
- technická,
- dopravně-organizační a legislativní.

3.2.3 Stacionární zdroje zvuku v urbanistické akustice

Jak již bylo řečeno dříve, nařízení vlády č. 272/2011 Sb. hodnotí stacionární zdroje zvuku přísněji v porovnání se zdroji mobilními. Vyplývá to ze skutečnosti, že stacionární zdroje jsou občany méně tolerovány, protože mají zpravidla konkrétního provozovatele, na kterého je možno si stěžovat. Podobně přísnému, možná i stejně přísnému hodnocení však podléhá i hluk z dopravy, pokud se odehrává na neveřejné komunikaci. Jako neveřejnou komunikaci si můžeme představit například příjezdovou cestu ke garážím nebo například neveřejnou komunikaci v areálu průmyslového závodu.

Nejčastějšími stacionárními zdroji zvuku pro venkovní prostor jsou hlučná zařízení umístěná na budovách nebo v jejich bezprostředním okolí. Mezi tato zařízení patří především kondenzační jednotky chlazení, vyústění vzduchotechniky, technologická zařízení výroben umístěná ve venkovním prostoru a podobně. Hlučnost těchto zdrojů je dána hladinou akustického výkonu. Z jejich umístění vzhledem k okolním plochám odrážejícím zvuk vyplývá hodnota činitele směrovosti a k výpočtu hladin akustického tlaku ve chráněných místech lze použít vztah pro bodový zdroj zvuku, kde se vzdálenost mezi zdrojem a posuzovaným místem zkrátí o 1,5násobek největšího rozměru zdroje. Hlučné provozovny vyzařují zvuk, kde o hodnotě hladiny vyzářeného akustického výkonu rozhoduje i neprůzvučnost obvodového pláště. (Kaňka, 2009)

3.3 Metody eliminace hluku

Existuje pět základních metod, jak lze zvuk eliminovat, popřípadě redukovat:

- Metoda redukce hluku ve zdroji – tato metoda počítá s úplným odstraněním zdroje hluku nebo se snížením jeho hlučnosti. Snížení hlučnosti můžeme dosáhnout například tlumením vibrací strojních zařízení.
- Metoda dispozice – už z názvu této metody vyplývá, že se bude jednat o vhodné umístění hlučných strojů a zařízení od chráněných a méně hlučných prostorů. Této metody se využívá v praxi například při územním plánování, projektování průmyslových zón, dopravních komunikací a podobně. A to takovým způsobem, aby hlučné stroje a provozny neměly negativní vliv na akustickou pohodu v chráněných prostorech (školy a školky, sídliště, nemocnice apod.).

- Metoda izolace – cílem této metody je odizolování zdroje hluku, zařízení nebo celého hlučného prostoru od chráněného prostoru pomocí zvukoizolačních příček, stropů, krytů a podobně.
- Metoda využívající zvukovou pohltivost materiálů – její princip spočívá ve schopnosti specifických materiálů a konstrukcí pohlcovat akustickou energii a přeměnit ji na energii tepelnou. Můžeme ji aplikovat především při snižování hlučnosti uvnitř místností.
- Metoda využívající osobní ochranné pomůcky – mezi tyto pomůcky můžeme zařadit například sluchátka, přilby nebo třeba zátky do ucha. Tato metoda je považována jako poslední možnost, pokud z určitých důvodů nelze použít žádnou z předchozích metod nebo pokud použitím předchozích metod nedojde k dostatečnému snížení hlukového zatížení člověka.

Nejúčinnějších výsledků v boji proti hluku dosáhneme vhodnou kombinací výše zmíněných metod eliminace hluku.

4 Hluk a legislativa

Hygienické limity jsou stanoveny pro všechny známé a objektivně měřitelné faktory, které mohou mít negativní vliv na zdraví člověka. Tyto hygienické limity jsou nejen pro hluk, ale také pro vibrace v České republice (včetně Prahy) stanoveny v Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací ve znění pozdějších předpisů. Od vydání tohoto nařízení roku 2011 docházelo postupně k novelizaci, přičemž nejnovější změny platí od 1. ledna roku 2019.

4.1 Prostory omezené hygienickými limity

Prostory, ve kterých je nutné dodržovat hygienické limity, jsou:

- chráněný venkovní prostor,
- chráněný venkovní prostor staveb,
- chráněný vnitřní prostor staveb,
- pracoviště.

4.1.1 Stará hluková zátěž

Ještě před tím, než začneme s teorií chráněných prostorů, je nutné si ujasnit co je to tzv. stará hluková zátěž. Její znalost je důležitá z toho důvodu, že ji najdeme v limitních tabulkách, které se nacházejí v nařízení vlády a také v této podkapitole.

Touto hlukovou zátěží se rozumí stav hlučnosti, který byl způsobován silniční a železniční dopravou a nastal před koncem roku 2000. Jedná se o speciální limit, který byl stanoven proto, aby se převážně v okolí hlavních silnic dosáhlo snadného splnění limitu bez nutnosti zásadních stavebních úprav nebo nákladných investic. I přes to, že tento limit je nastaven na 70 dB, dochází velmi často k jeho překračování. Jedná se tedy o hazardní hru se zdravím obyvatel, jelikož hluk nad 70 dB má trvalé negativní účinky na zdraví.

4.1.2 Chráněný venkovní prostor

Za chráněný venkovní prostor jsou považovány nezastavěné pozemky, které jsou využívány k rekreaci, výuce a lázeňské léčebné a rehabilitační péči. Za chráněný venkovní prostor nejsou považovány pozemky, které jsou využívány pro zemědělskou činnost, lesy a venkovní pracoviště. Pro názornější představu může posloužit obrázek 5 na kterém je chráněný venkovní prostor vyznačen světle zelenou barvou:



Obrázek 5 – Příklad chráněného venkovního prostoru (značen světle zeleně) (13)

Doba	Chráněný prostor	Hygienický limit hluku [dB]			
		1	2	3	4
Denní i noční	Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	50	50	55	65
	Chráněný ostatní venkovní prostor	50	55	60	70

1) Použije se pro hluk z provozu stacionárních zdrojů a hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakové práce, zejména rozřaďování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravy vozů. Pro hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakové práce, které byly uvedeny do provozu přede dnem 1. listopadu 2011, se přičítá pro noční dobu další korekce +5 dB.

2) Použije se pro hluk z dopravy na dráhách, není-li dále uvedeno jinak, na silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a účelových komunikacích ve smyslu § 7 odst. 1 Zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.

3) Použije se pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích. Použije se pro hluk z dopravy na dráhách v ochranném pásmu dráhy. Použije se pro hluk z dopravy na tramvajových a trolejbusových drahách vedených po silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy.

4) Použije se pro stanovení hodnoty hygienického limitu staré hlukové zátěže.

Obrázek 6 – Tabulka limitních hodnot pro chráněný venkovní prostor (13)

4.1.3 Chráněný venkovní prostor staveb

Za chráněný venkovní prostor staveb je považován prostor do 2 metrů od obvodového pláště bytových a rodinných domů, dále pak staveb pro zdravotní a sociální účely a také staveb pro školní a předškolní výchovu. Tento prostor je významný především z hlediska pronikání hluku z okolí budovy do chráněného vnitřního prostoru výše zmíněných staveb. Chráněný venkovní prostor staveb je zaveden také z důvodu zajištění ochrany vnitřního prostoru budov. A to včetně možnosti větrání. Není tak určen k ochraně osob pobývajících v blízkosti budov (např. chodců nebo obyvatel budovy pobývajících například na balkoně), jak by se mohlo na první pohled zdát. Na obrázku 7 je pak pro představu tento prostor vyznačen červenými čarami po obvodě jednotlivých staveb, které spadají do této kategorie.



Obrázek 7 – Příklad chráněného venkovního prostoru staveb (značen červeně) (13)

Doba	Chráněný prostor	Hygienický limit hluku [dB]			
		1	2	3	4
Denní	Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	45	50	55	65
	Chráněný venkovní prostor ostatních staveb	50	55	60	70
Noční, železniční doprava	Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	40	45	50	60
	Chráněný venkovní prostor ostatních staveb	45	50	55	65
Noční, ostatní	Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	35	40	45	55
	Chráněný venkovní prostor ostatních staveb	40	45	50	60

1) Použije se pro hluk z provozu stacionárních zdrojů a hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakové práce, zejména rozřaďování a sestavu nákladních vlaků, prohlídku vlaků a opravy vozů. Pro hluk ze železničních stanic zajišťujících vlakové práce, které byly uvedeny do provozu přede dnem 1. listopadu 2011, se přičítá pro noční dobu další korekce +5 dB.

2) Použije se pro hluk z dopravy na dráhách, není-li dále uvedeno jinak, na silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a účelových komunikacích ve smyslu § 7 odst. 1 zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů.

3) Použije se pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích. Použije se pro hluk z dopravy na dráhách v ochranném pásmu dráhy. Použije se pro hluk z dopravy na tramvajových a trolejbusových drahách vedených po silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy.

4) Použije se pro stanovení hodnoty hygienického limitu staré hlukové zátěže.

Obrázek 8 – Tabulka limitních hodnot hluku v chráněném venkovním prostoru staveb
(13)

4.1.4 Chráněný vnitřní prostor staveb

Do chráněného vnitřního prostoru staveb patří obytné místnosti a místnosti ve školách a zdravotnických zařízeních. Mezi tyto prostory neřadíme místnosti ve stavbách pro individuální rekreaci a ve stavbách, které jsou určeny k výrobě a skladování. V chráněných vnitřních prostorech stavby jsou hygienické limity hluku stanoveny jak pro hluk, který proniká do budovy vzduchem zvenčí, tak i pro hluk, který se šíří uvnitř budovy z jednotlivých zdrojů. Chráněný vnitřní prostor staveb je na obrázku 9 vyznačen fialově.
(13)



Obrázek 9 – Příklad chráněného vnitřního prostoru staveb (značen fialově) (13)

Chráněný prostor	Doba pobytu	1	2	3
Nemocniční pokoje	6.00-22.00	40	35	–
	22.00-6.00	25	20	–
	7.00-21.00*	–	–	55
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání 7.00-21.00*	35	30	–
		–	–	50
Obytné místnosti	6.00-22.00	40	35	–
	22.00-6.00	30	25	–
	7.00-21.00*	–	–	55
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	po dobu používání 7.00-21.00*	45	40	–
		–	–	60
<p>1) Platí pro hluk bez tónových složek a hluk bez informačního charakteru pronikající vzduchem zvenčí a pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu. Dále platí pro hluk šířící se ze zdrojů uvnitř objektu. Za hluk ze zdrojů uvnitř objektu, s výjimkou hluku ze stavební činnosti, se pokládá i hluk ze zdrojů umístěných mimo tento objekt, který do tohoto objektu proniká jiným způsobem než vzduchem, zejména konstrukcemi nebo podložím.</p> <p>2) Platí pro hluk s tónovými složkami, s výjimkou hluku z dopravy na pozemních komunikacích, a hluk s výrazně informačním charakterem.</p> <p>3) Platí pro hluk ze stavební činnosti uvnitř objektu, platí pouze v pracovních dnech v uvedeném časovém rozmezí (*).</p>				

Obrázek 10 – Tabulka limitních hodnot hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb

(13)

5 Akustika staveb

Akustika staveb je obor, jehož prioritním cílem je ochrana budov a jejich prostor před nadměrným hlukem a vibracemi. Neméně důležitou součástí tohoto oboru je zajišťování optimálních akustických vlastností prostorů v návaznosti na jejich budoucí užívání.

5.1 Úvod do akustiky staveb

Hluk vytvořený zdrojem uvnitř budovy, kterým je ve většině případů činnost člověka a činnost technických zařízení, se šíří vzduchem nebo konstrukcemi. Vzduchem se může šířit například mluvená řeč nebo hudba. Konstrukcemi se pak šíří hluk způsobený například chůzí osob, pádem předmětů, činností člověka, přenosem vibrací od strojního zařízení a podobně. V neposlední řadě existují zdroje, jejichž hluk se šíří jak vzduchem, tak i vibrací do konstrukce. Mezi tyto zdroje nejčastěji patří výtahy a vzduchotechnická zařízení.

Hlukem vytvořeným v okolí budov bývá nejčastěji doprava a výroba. Účinek těchto zdrojů se posuzuje v chráněném venkovním prostoru stavby a chráněném vnitřním prostoru stavby. Venkovní prostor stavby většinou chráníme tak, že zajistíme dostatečnou vzdálenost stavby od zdroje hluku, regulací provozu nebo pomocí konstrukčních opatření. Jako konstrukční opatření si můžeme představit například výstavbu protihlukové stěny. Vnitřní prostor staveb můžeme chránit pomocí již zmíněných opatření, která můžeme doplnit dostatečnou neprůzvučností obvodového pláště.

Výše zmíněnou problematikou se zabývá prostorová akustika, jejíž cílem je zajištění optimálních akustických vlastností ve vnitřním prostoru staveb. Mezi tyto vlastnosti můžeme zařadit například optimální dobu dozvuku, která velkou měrou ovlivňuje srozumitelnost řeči v přednáškových sálech nebo kancelářích. Dále se může jednat o zajištění optimální poslechové kvality v místě posluchače v koncertních halách.

5.2 Šíření zvuku v budovách

V této podkapitole využijeme pojmy, které byly v této práci již zmíněny. Jedná se především o pojmy: bodový zdroj (podkapitola 3.1), hladina akustického tlaku a hladina akustického výkonu (podkapitola 1.2), akustické imise a emise (podkapitola 1.1) a akustický výkon (podkapitola 1.1). Zmíněné pojmy si v této kapitole ještě více rozšíříme.

5.2.1 Zdroje zvuku v životním a pracovním prostředí

Veličiny, které mají za úkol charakterizovat zvuk v místě jeho příjmu, jsou veličiny akustické imise. Těmito veličinami jsou:

- L [dB] – hladina akustického tlaku (ve většině případů se udává v oktávních pásmech),
- L_A [dB] – hladina akustického tlaku A,
- L_{Aeq} [dB] – ekvivalentní hladina akustického tlaku A.

Tyto veličiny akustické imise mají úplnou prioritu při hodnocení vlivu hluku na člověka a jeho zdraví a celkově při ochraně lidí před hlukem. Jiná kritéria by se neměla používat. Jediná výjimka nastává v případě, že se jedná o nedefinovatelný zvuk v budovách, kdy je ochrana uživatelů budov zajištěna limity veličin zvukové izolace. Hodnotu veličin akustické imise lze předpovědět výpočtem, ke kterému jsou potřebné údaje o zdroji hluku. Tyto údaje jsou poskytovány veličinami akustické emise:

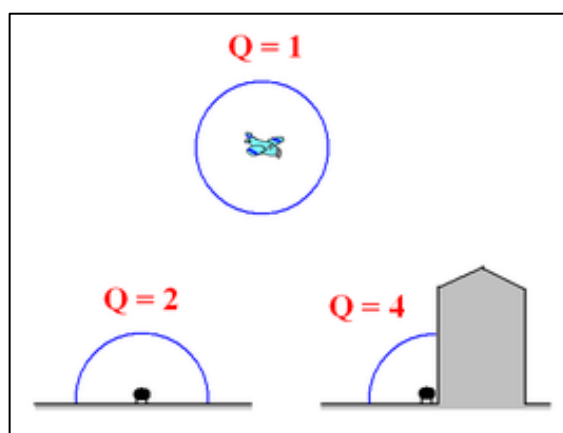
- L_W [dB] – hladina akustického výkonu,
- Q [-] – činitel směrovosti.

Jak již bylo zmíněno dříve, akustický výkon je množství energie, kterou zdroj vyzařuje do okolního prostoru za jednotku času. Pokud akustický výkon vyjádříme v logaritmické míře, nazývá se tento výkon hladina akustického výkonu (L_W). Tato hladina může být označována také L_P [dB].

Hladina akustického výkonu různých zdrojů hluku se udává převážně v oktávních pásmech nebo jednočíselně jako L_{WA} [dB] (to znamená s použitou korekcí váhového

filtru zvukoměru). Jednočíselný údaj však neposkytuje žádné informace o kmitočtovém složení vyzařovaného zvuku a slouží proto spíše jako velmi hrubá orientace. Podobně jsou na tom údaje o zdroji zvuku, které jsou vyjádřeny pomocí veličin akustické imise, například pomocí hodnot hladin akustického tlaku změřených v jeho okolí. Tyto údaje můžeme považovat za věrohodné pouze tehdy, pokud je přesně známý i charakter okolí. To znamená, že víme, o jaké prostředí se jedná, jaká je vzdálenost od zdroje, za jakých podmínek se měřilo apod.

Důležitou proměnnou je činitel směrovosti Q [-]. Jedná se o bezrozměrné číslo, které charakterizuje směrové vyzařování zvuku zdrojem. Tato hodnota je závislá na odrazových plochách, které se vyskytují v blízkosti zdroje zvuku. Nejčastěji je zdroj zvuku umístěn na terénu. V tom případě je zvuk vyzařován do poloprostoru a činitel směrovosti se přibližně rovná hodnotě 2. Jestliže se zvuk šíří neomezeně do všech směrů, pak $Q = 1$. Pokud se zdroj nachází u paty stavebního objektu, je zvuk vyzařován přibližně do 1/4 prostoru, to znamená, že $Q = 4$. Pro představu slouží obrázek 9.



Obrázek 11 – typické hodnoty činitele Q [-]
(12)

Častými zdroji zvuku v pracovním a životním prostředí jsou stroje a technická zařízení budov. Hodnota jejich akustického výkonu nezávisí pouze na jejich konstrukčním uspořádání, ale bude se měnit i v závislosti na technickém stavu, údržbě a seřízení. Jelikož však k vyjádření akustických veličin používáme decibelovou stupnici, nebudou mít tyto okolnosti na přesnost úvah a výpočtů takový vliv, jaký by se na první pohled mohl zdát. Jako důkaz slouží fakt, že zvýšení (respektive snížení) o jeden decibel vyžaduje zvýšení

akustického výkonu zdroje o více než 25 % respektive 20 % při jeho snížení. Proto pak snahy o změnu nepříznivého stavu hlukové situace pouhým seřízením stroje (např. ventilátoru, čerpadla apod.) popřípadě jeho výměnou za jiný stejného typu bývají neúspěšné.

Výrazného snížení hlučnosti tedy dosáhneme pouze složitějšími cestami. Mezi ně můžeme zařadit promyšlenou změnu konstrukce stroje nebo celé koncepce technologického procesu. Pod těmito změnami si můžeme například představit výměnu valivých ložisek za kluzná, nahradit nýtování svařováním nebo nahradit rázy při technologickém procesu plynulými pohyby. Jelikož je akustický výkon úměrný ploše, která při chvění vyzařuje hluk, je omezení těchto ploch další možností snížení akustického výkonu celého zařízení. Omezení ploch znamená pružné oddělení nosné konstrukce a krytu stroje od vlastního zdroje kmitání.

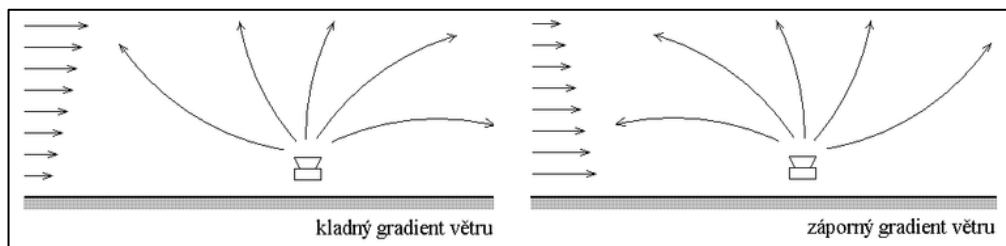
Celou problematiku snižování hluku lze rozdělit do tří základních oblastí. Do první oblasti patří problémy, které se vztahují ke zdroji zvuku. Druhá oblast zahrnuje cesty šíření zvuku od zdroje k příjemci. Třetí oblastí je člověk a jeho specifický způsob vnímání a prožívání hlukové situace.

5.2.2 Šíření zvuku ve volném prostoru

Při šíření zvuku ve volném prostoru se akustický výkon s rostoucí vzdáleností od zdroje rozprostírá a tím se snižuje jeho intenzita. Toto tvrzení však platí pouze pro zdroje bodové a přímkové, pro zdroje plošné neplatí. Od bodových zdrojů se zvuk šíří v kulových vlnoplochách.

5.2.3 Vliv gradientu větru na šíření zvuku

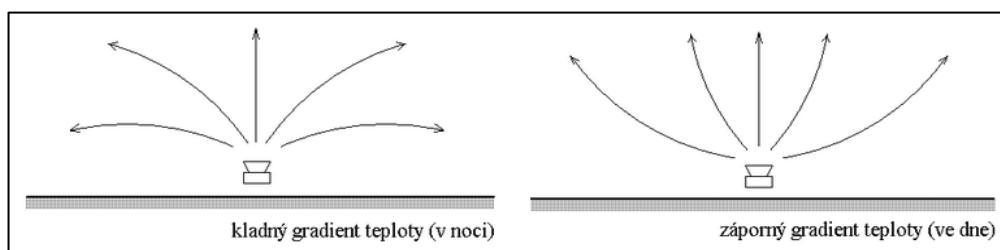
Jelikož rychlost větru je vždy řádově nižší oproti rychlosti zvuku, nemá vítr sám o sobě na šíření zvuku vliv. Šíření zvuku však může být ovlivněno tzv. gradientem rychlosti větru (změnou rychlosti v závislosti na výšce nad terénem). Kladný gradient může být příčinou zesílení přenosu zvuku. Při záporném gradientu se útlum ani zesílení neprojevuje.



Obrázek 12 – útlum zvuku vlivem gradientu větru (12)

5.2.4 Vliv gradientu teploty na šíření zvuku

Se zvyšující se teplotou stoupá i rychlost zvuku. Tento účinek je podobný účinku gradientu větru. Při kladném gradientu teploty, který nastává především v noci, a pokud je teplota ve vyšších vrstvách atmosféry vyšší než u zemského povrchu, se zvukové vlny ohýbají směrem k zemskému povrchu a může dojít k zesílení přenosu. Záporný gradient pak nastává především ve dne a vlny se ohýbají od terénu a vytváří se zvukový stín.



Obrázek 13 – útlum zvuku vlivem gradientu větru (12)

5.2.5 Vliv mlhy a sněhu na šíření zvuku

Při přenosu zvuku na větší vzdálenosti (stovky metrů) dochází k útlumu atmosférickou absorpcí. Zvláštním případem atmosférické absorpce je útlum zvuku mlhou, kdy při husté mlze dochází ke specifickému útlumu v závislosti na kmitočtu. Dalším případem je sněhová pokrývka. Ta mění pohltivost zemského povrchu a tím snižuje účinnost zvukových vln odražených od této pokrývky.

Atmosférická absorpce, útlum vlivem gradientu větru a teploty, útlum vlivem mlhy a sněhu. Jedná se o jevy atmosféry, se kterými nelze počítat při hodnocení zvuku

a v akustických výpočtech se obvykle zanedbávají. Někdy však mohou vysvětlovat rozdílný výsledek měření zvuku oproti výsledku teoretického výpočtu.

5.2.6 Útlum zvuku ohybem přes překážky

Každá překážka, která stojí v cestě při šíření zvuku, a jejíž rozměry převyšují vlnovou délku, vytváří zvukový stín. V tomto stínu lze pozorovat snížení intenzity zvuku oproti stavu volného šíření zvukových vln bez překážky. Útlum intenzity zvuku je závislý na poloze zdroje zvuku, na poloze a geometrickém tvaru překážky, na poloze pozorovatele za překážkou a na vlnové délce zvuku. Vlastnosti a vznik zvukového stínu lze vysvětlit pomocí teorie ohybu vlnění. Tato teorie platí pro každé vlnění. Její princip zní takto: Každý bod vlnoplochy je elementárním zdrojem vlnění. Výsledná vlnoplocha má tvar obálky dílčích vlnoploch. Tento princip vysvětluje pouze tvar vlnoploch za překážkou, nikoliv však jejich intenzitu.

5.2.7 Šíření zvuku v uzavřeném prostoru – difúzní zvukové pole

V uzavřeném prostoru (v případě budov místnosti) dochází k odrazu akustické energie od stropu, stěn a podlahy zpět směrem ke zdroji. Tím dochází ke zvýšení hladiny akustického tlaku v porovnání se stavem, který by vznikl ve volném prostoru. Velkou roli hraje pohltivost zvuku povrchů, které ohraničují místnost, respektive uzavřený prostor.

Při dopadu zvuku o určitém akustickém výkonu na překážku, se část výkonu odrazí a část pohltí. Pohlcený výkon se následně rozdělí na část, která se ztratí (je odvedena konstrukcí nebo dojde k přeměně na jiný druh energie) a část, která projde skrz stěnu a je vyzářena do vedlejšího prostoru. Díky této teorii lze definovat tři činitele. Činitele prostupu, pohltivosti a odrazu. Tito činitelé jsou bezrozměrná čísla, která nabývají hodnot od 0 do 1.

Představa difúzního zvukového pole je zjednodušeným modelem reálných podmínek šíření zvuku v místnostech (uzavřených prostorech). Difúznost reálných uzavřených prostorů je totiž vždy do jisté míry narušena. Toto zjednodušení je obvykle dostačující pro výpočet zatížení uživatelů budov hlukem. Pokud se však jedná o sledování kvality

zvuku v auditoriích (kina, divadla, přednáškové sítě apod.), je nutné získat podrobnější popis zvukového pole, kterým se zabývá prostorová akustika.

5.3 Pohlcování zvuku

Formou obkladu lze zvýšit činitel pohltivosti stropu nebo stěn, což má za následek nejen snížení hladiny akustického tlaku v poli odražených vln, ale i změnu důležitých akustických vlastností místnosti v důsledku zvýšení celé její zvukové pohltivosti. Zvuk pohlcující obklad není jen stavebním materiálem, ale je také konstrukcí, o jejíž vlastnostech rozhoduje i odsazení obkladu od povrchu, který je obkládán.

Činitel pohltivosti [-] vybraných běžných povrchů můžeme sledovat v tabulce 2.

Tabulka 2: Činitel pohltivosti [-] vybraných běžných povrchů [zdroj: -, zpracování vlastní]

Konstrukce (tloušťka [mm] / odsazení [mm])	Kmitočet f [Hz]					
	125	250	500	1 000	2 000	4 000
Beton hutný	0,010	0,016	0,019	0,023	0,035	0,050
Beton vylehčený	0,200	0,220	0,230	0,250	0,210	0,260
Dřevotřísková deska (20/50)	0,300	0,250	0,100	0,080	0,050	0,040
Koberec kokosový (6/0)	0,170	0,060	0,110	0,190	0,370	0,800
Linoleum (-/0)	0,020	0,025	0,030	0,035	0,040	0,040

Zvuk pohlcující konstrukce lze z hlediska konstrukčního uspořádání a principu funkce dělit na:

- porézní konstrukce,
- kmitající membrány a desky,
- dutinové rezonátory,
- kombinované konstrukce.

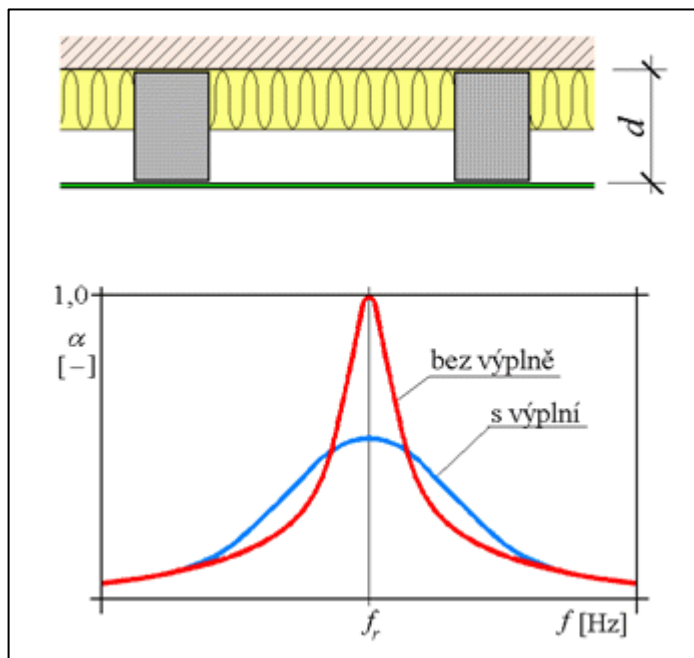
5.3.1 Obklady z pórovitých materiálů

Tyto materiály disponují vysokou pórovitostí a jejich kostru tvoří vlákna nebo ztuhlá pěna. Tyto póry musí být navzájem propojené a otevřené do volného prostoru. Využívají

se především rohože a desky z minerálních nebo organických vláken. Například pěnový polystyrén a materiály podobného typu nejsou pro tyto účely vhodné z důvodu uzavřenosti jejich pórů. Porézní pohlcovače jsou nejvíce účinné v době, kdy je pórovitý materiál přítomen alespoň 1/4 vlnové délky zvuku od tvrdého povrchu stropu nebo stěny. Z tohoto důvodu pohlcují především ve vysokých kmitočtech, kde je vlnová délka malá.

5.3.2 Kmitající membrány a desky

Pod pojmem kmitající membrána si lze představit tenkou desku nebo fólii připevněnou na dřevěný případně kovový rošt, který určuje tloušťku vzduchové dutiny mezi pevným povrchem a membránou. Membrány mohou být vyrobeny například z koženky, novodurové fólie, polyetylenové fólie apod. Tyto konstrukce pohlcují zvuk v relativně úzkém pásmu zpravidla nízkých kmitočtů. Tím se tyto konstrukce stávají vhodným doplňkem porézních pohlcovačů, které jsou naopak vysoce účinné u vyšších kmitočtů. Výhodou kmitajících membrán je hladký a rovný povrch. Pokud není membrána odolná vůči poškození, kryje se řídkým pletivem nebo mřížovinou. Toto krytí by však nemělo bránit jejímu kmitání. Činitele pohltivosti lze výrazně zvýšit pomocí výplně viz. o

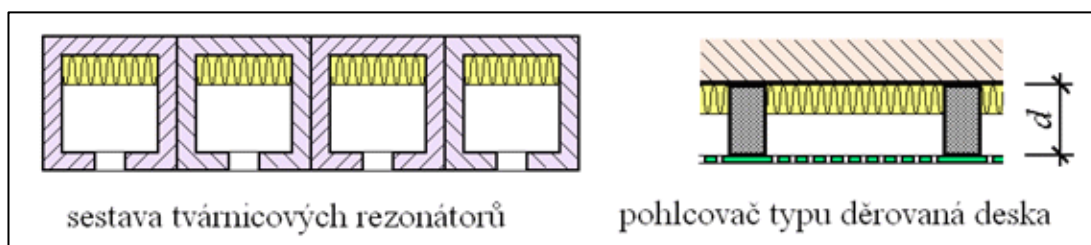


Obrázek 14 – Schéma konstrukce pohlcovače typu kmitající membrána a typický průběh závislosti činitele pohltivosti [-] na kmitočtu (12)

5.3.3 Dutinové rezonátory

Pohlcování zvuku dutinovými rezonátory je založeno na stejném principu jako kmitající membrány a desky, tedy na principu rezonance. V tomto případě jsou však kmitajícím prvkem částice vzduchu v otvoru spojujícím vzduchovou dutinu s vnějším prostředím. Rozměry vzduchové dutiny a rozměry a tvar spojovacího otvoru určují rezonanční kmitočet. Závislost činitele pohltivosti okolo rezonančního kmitočtu je podobná jako u pohlcovačů typu kmitající membrána. Vhodné, podobně jako u předchozích typů, je pásmo pohlcování rozšířit vložení pórovitého materiálu do dutiny.

Dutinové rezonátory byly lidmi využívány již ve starověku. Svědčí o tom nálezy v antických chrámech a amfiteátrech. V dnešní době se využívají tvárnice rezonátory, kde rezonanční systém tvoří speciální tvárnice nebo keramický prvek a děrovaná deska, u kterých lze rezonanční kmitočet regulovat volbou velikosti a hustoty otvorů a také tloušťkou odsazení děrované desky od pevného podkladu. Rozdíl mezi deskami kmitajícími a deskami děrovanými je ten, že děrované desky jsou připevněny k nosnému roštu pevně. Obklady typu děrovaná deska jsou vyráběny z tvrdé dřevovláknité desky, ocelových nebo hliníkových plechů, sádkartonu apod.



Obrázek 15 – Schéma konstrukce tvárnice rezonátorů a pohlcovače typu děrovaná deska (12)

5.3.4 Kombinované konstrukce

Kombinovanými konstrukcemi jsou myšleny vícenásobné rezonanční soustavy, které jsou tvořeny několika rezonančními prvky řazenými za sebou a akustická tělesa. Akustická tělesa jsou prostorové útvary vyrobené většinou z pórovitého materiálu, který je krytý pletivem nebo tkaninou a mají tvar jednoduchých geometrických těles. Tyto předměty se zavěšují pod stropní konstrukci. U kombinovaných pohlcovačů získáváme

nejlepší efekt. Tímto efektem jsou myšleny nejvyšší hodnoty činitele pohltivosti v rozsahu co možná nejširšího pásma kmitočtů. (Kaňka, Nováček, 2019)

6 Realizace měření

6.1 Podmínky měření

Praktická měření probíhala v období od konce června do konce října v různých podmínkách, aby měření bylo co nejpřesnější a co nejvíce objektivní. I při výběru co nejlepších podmínek pro měření nebylo vždy možné dosáhnout podmínek ideálních, a ne vždy toto měření probíhalo podle všech norem. Důvodem byly především omezené technické možnosti a také nemožnost ovlivnění určitých aspektů. Mezi tyto aspekty bych zařadil především vliv lidí a dopravy během měření. Z těchto důvodů jsou jednotlivá měření pouze ukázkou práce s hlukoměrem a jeho využití v terénu pro potřeby vypracování této diplomové práce. Proto tyto hodnoty a závěry nelze použít jako podklad pro jakékoliv profesionální vyhodnocení, veřejné tvrzení nebo prohlášení.

6.2 Postup měření

Všechna měření probíhala v Brně v exteriéru budov. Cílem měření bylo zjištění hlukových emisí emitovaných zvoleným zdrojem. Prvním úkolem každého měření bylo vytipování určitého zdroje hluku. Poté jsem si určil stanoviště, na kterých budu měření provádět. Na těchto stanovištích jsem následně po dobu jedné minuty prováděl měření hladiny akustického tlaku. Po uplynutí jedné minuty jsem si zapsal nejvyšší a nejnižší naměřenou hodnotu dosaženou během měření. Tuto operaci jsem prováděl na každém stanovišti třikrát a následně naměřené nejnižší a nejvyšší hodnoty z každého měření zprůměroval, aby hodnoty byly co nejpřesnější. Stanoviště jsou vyznačena na zjednodušené situaci u každého měření. Tyto hodnoty jsem poté zaznamenal do grafu. V prvních pěti měřeních jsem svou pozornost zaměřil na technická zařízení budov. Šesté a sedmé měření probíhalo při výstavbě budovy, respektive při její rekonstrukci. A to z důvodu vznikajících nezanedbatelných hlukových emisí při těchto pracích. A jelikož jsem se měření snažil lehce přiblížit svému studijnímu oboru, tedy městskému inženýrství, pro osmé a deváté měření jsem zvolil lokality, kde převažuje hluk z dopravy a působení lidí. Hodnoty z těchto měření mají sloužit především k porovnání a zjištění,

do jaké míry budovy ovlivňují své okolí a život ve městě v porovnání se zmiňovanými producenty hlukových emisí, tedy lidmi a dopravou.

6.3 Cíl měření

Primárním cílem mého měření bylo zjistit, jak velké hlukové emise vytváří budovy, respektive jejich technická zařízení a jestli tato technická zařízení splňují hygienické limity dané nařízením vlády v chráněných prostorech. Sekundárním cílem bylo již zmiňované porovnání jednotlivých zdrojů hluku.

7 Měřič hluku CEM DT-8850

K měření mi byl zapůjčen, prostřednictvím vedoucí práce, digitální měřič hluku s názvem CEM DT-8850 s parametry uvedenými v tabulce.

7.1 Vybrané technické parametry měřiče

Tabulka 3: Vybrané technické parametry měřiče hluku [zdroj: –, zpracování: vlastní]

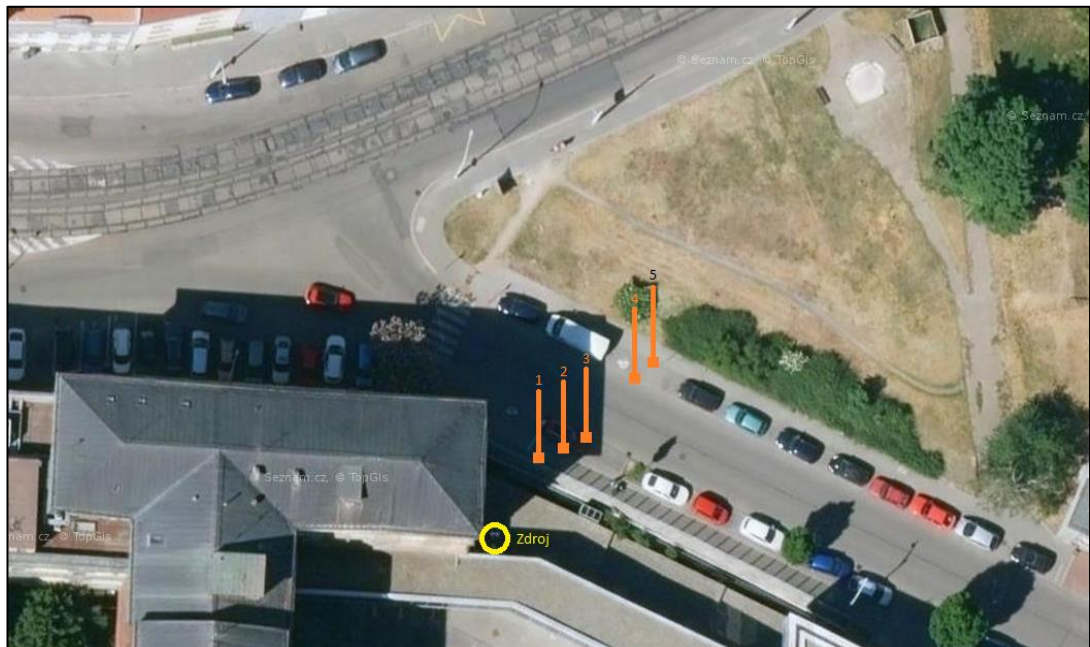
Výrobek vyhovuje standardům	IEC651 typ 2
Frekvenční rozsah	31,5 Hz až 8 kHz
Rozsah měření	35 až 130 dB
Mikrofon	½ palcový elektretový mikrofon
Rozlišení	0,1 dB
Úrovňový rozsah	Lo: 35 až 100 dB; Hi: 65 až 130 dB
Přesnost	+ 1,5 dB
Dynamický rozsah	65 dB

8 Praktické měření hluku

8.1 Měření technických zařízení budov

8.1.1 1. měření – Fakultní nemocnice u sv. Anny

První měření probíhalo na ulici Anenská vedle Fakultní nemocnice u svaté Anny. Zdrojem hluku byla kondenzační jednotka (viz. obrázek 17), která se nacházela ve vzdálenosti 7 metrů od přilehlého chodníku. Pro zjištění vlivu na okolí jsem si určil pět stanovišť, na kterých jsem následně měřil hladinu akustického tlaku.



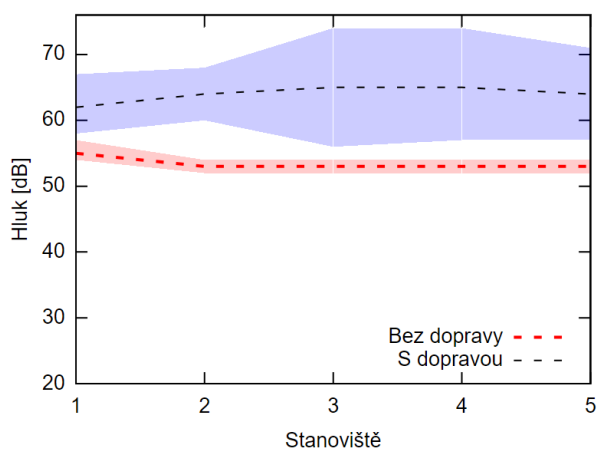
Obrázek 16 – Situace měření u Fakultní nemocnice u sv. Anny

Stanoviště číslo 1 se nacházelo v nejbližším možném místě k danému zdroji, tedy u plotu nemocnice. Zde jsem naměřil hodnotu čistě ze zařízení bez vlivu dopravy v rozmezí 54–57 decibelů. Druhé stanoviště bylo na hranici chodníku a přilehlého podélného parkoviště. Zde již hodnoty postupně klesají na hodnotu od 52 do 54 decibelů. Na zbylých třech stanovištích, bez působení dopravy, byly naměřeny hodnoty stejné, jako u stanoviště číslo 2. Lze tedy usoudit, že hluk z technického zařízení ovlivňoval pouze první stanoviště.



Obrázek 17 – kondenzační jednotka

Na grafu 1 jsou znázorněny intervaly naměřených hodnot na jednotlivých stanovištích a jsou spojeny pro vykreslení přibližného průběhu hladin akustického tlaku mezi stanovišti. V grafu je také znázorněn vliv dopravy, který slouží pro porovnání s měřeným zdrojem.

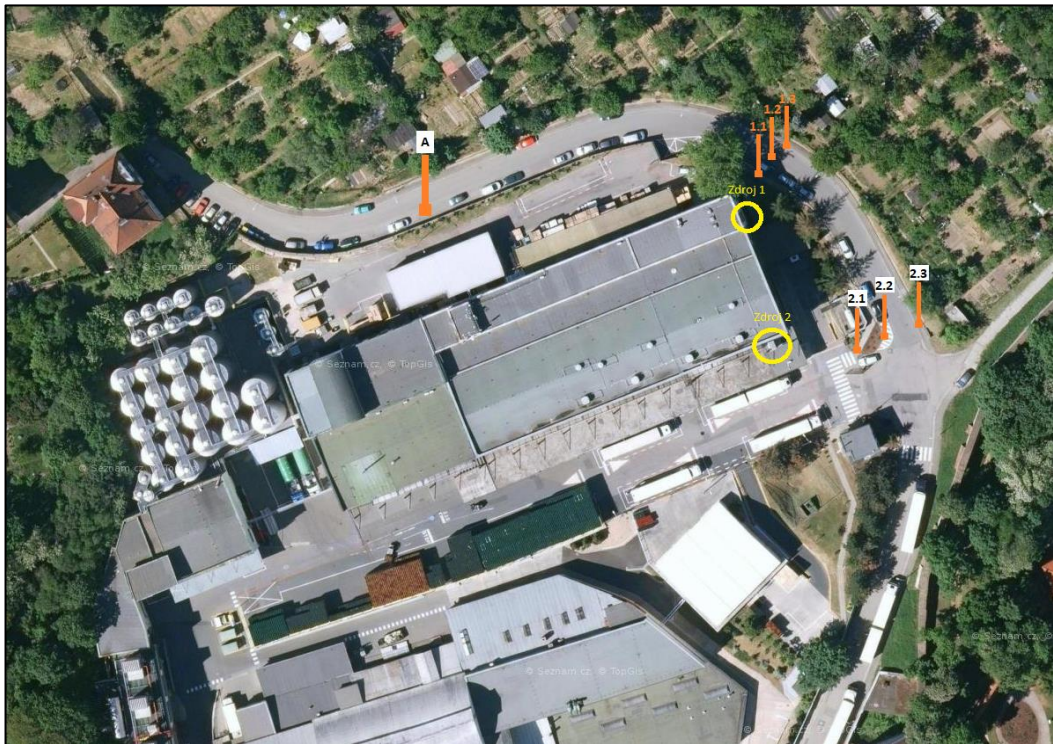


Graf 1 – hodnoty hluku na jednotlivých stanovištích prvního měření

Toto měření bylo do značné míry ovlivněno vzdáleností prvního stanoviště od zdroje. Ze situace však vyplývá, že limitní norma chráněného venkovního prostoru staveb není dodržena. Jelikož její maximální hodnota pro denní dobu a zdravotnická zařízení je 45 dB od stacionárních zdrojů. Hodnota tohoto zdroje tuto hodnotu prokazatelně překračuje.

8.1.2 2. měření – pivovar Starobrnno

Druhé měření probíhalo u pivovaru Starobrnno. Zde se nacházely dva poměrně výrazné zdroje hluku. Opět se jednalo o vzduchotechnická zařízení, která s největší pravděpodobností slouží k chlazení a větrání výrobní haly. V situaci můžeme vidět oba zdroje vyznačeny žlutými kruhy. Společně s nimi jsem si zvolil jedno stanoviště, které je označeno písmenem A. Toto stanoviště má za úkol sloužit jako ukazatel obecné hladiny akustického tlaku v této oblasti.



Obrázek 18 – Situace měření u pivovaru Starobrnno

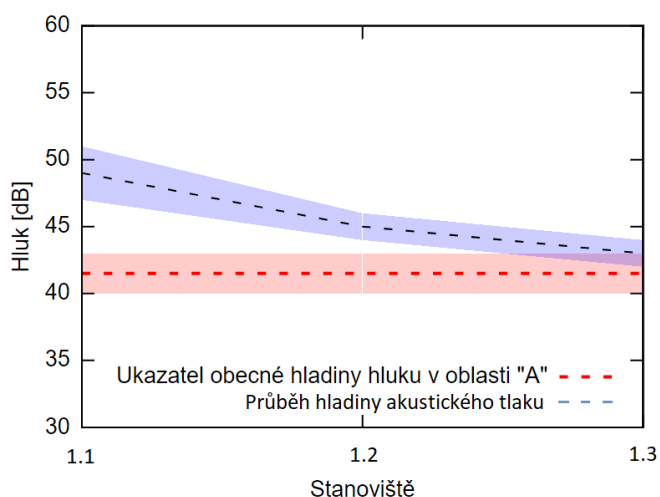
Na stanovišti A jsem naměřil hladinu akustického tlaku v rozmezí 40–43 decibelů. Jednalo se o oblast bez působení zdrojů hluku (lidí, dopravy nebo technických zařízení).

U zdroje číslo 1 (viz. obrázek 19), jsem si zvolil tři stanoviště. Stanoviště 1.1 bylo opět nejbližší ke zdroji ve vzdálenosti 7 až 8 metrů. V tomto místě se pohybovaly hodnoty hladiny hluku od 47 do 51 decibelů. Poté jsem se přesunul o 3 metry dále na stanoviště 1.2. Zde jsem naměřil hodnoty 44–46 decibelů. Na posledním stanovišti 1.3 ovlivňoval

zdroj své okolí minimálně, kdy se hodnoty blížily číslům ze stanoviště A. Tyto hodnoty byly 42-44 decibelů a vzdálenost od zdroje byla přibližně 14 metrů.



Obrázek 19 – zdroj 1, VZT jednotka

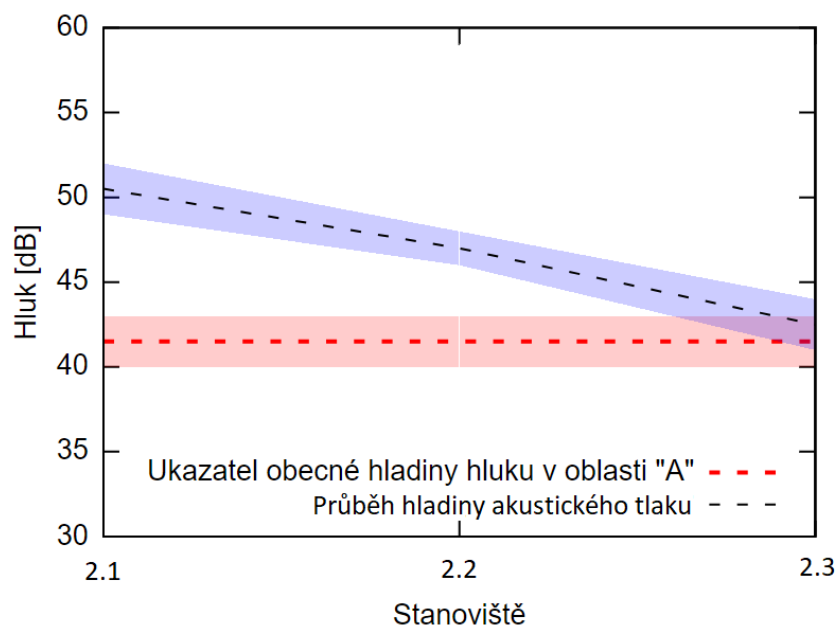


Graf 2 – Průběh měření na jednotlivých stanovištích u zdroje 1, při druhém měření

Stejnou metodou, jako u prvního zdroje, jsem hluk měřil i u zdroje druhého (viz. obrázek 20). Na prvním stanovišti 2.1, vzdáleném přibližně 11 metrů, produkoval zdroj hluk v rozmezí od 49 do 52 decibelů. O 4 metry dále to byly hodnoty od 46 do 48 decibelů. Na posledním stanovišti 2.3, vzdáleného 6 metrů od předchozího, se hodnoty opět blížily úrovni hodnot stanoviště A. Tyto hodnoty se pohybovaly v rozmezí 41-44 decibelů.



Obrázek 20 – Zdroj 2, kondenzační jednotka + ventilace

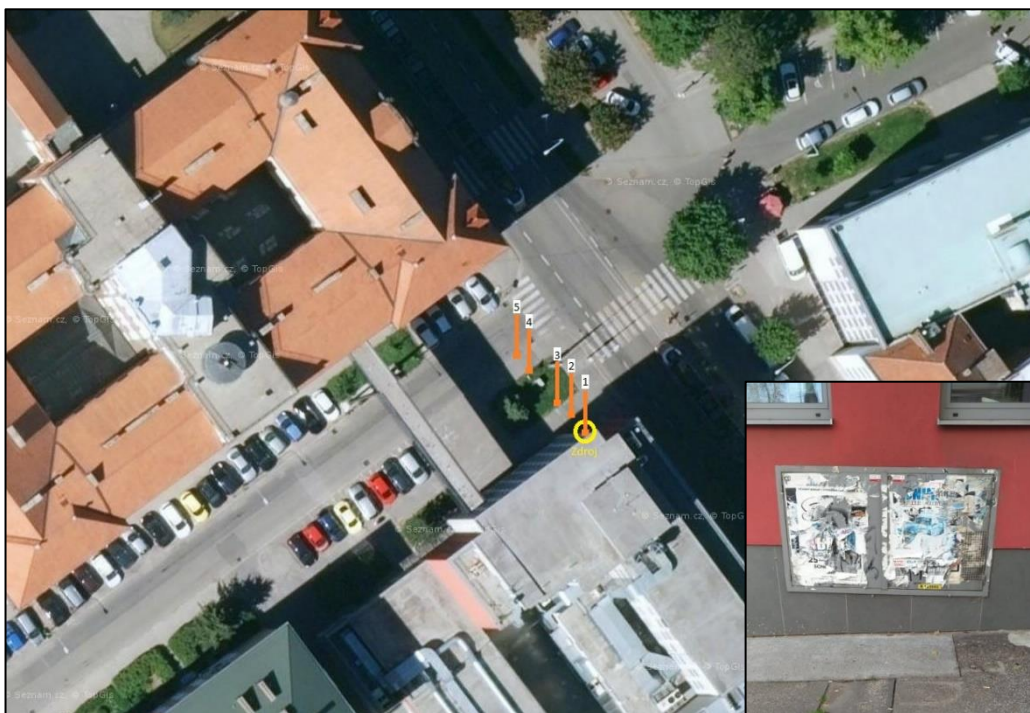


Graf 3 - Průběh měření na jednotlivých stanovištích u zdroje 2, při druhém měření

V tomto měření technická zařízení své okolí zatěžovala minimálně. Navíc není v blízkosti žádný chráněný prostor, a proto tohle měření sloužilo pouze orientačně. Zajímavé je také sledovat, jak se průběh grafu každého měření podobá.

8.1.3 3. měření – budova „R“, fakulta stavební

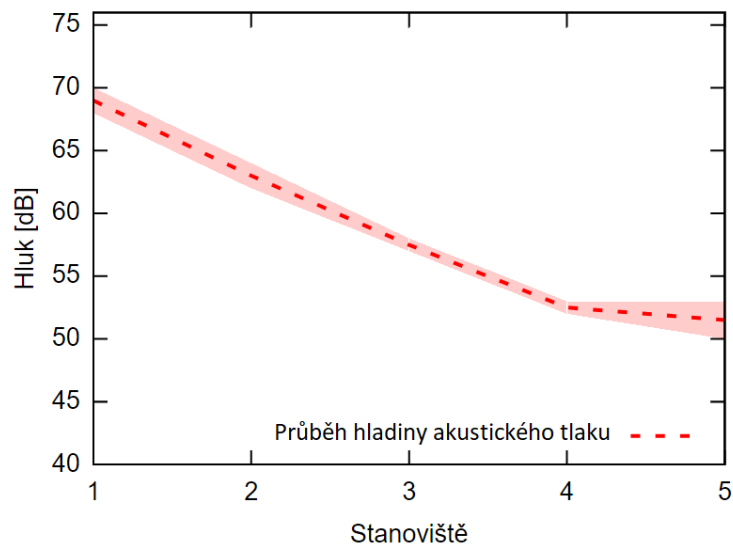
Další vzduchotechnické zařízení, ovlivňující své okolí, se nachází na fasádě budovy „R“ neboli menzy fakulty stavební. Toto zařízení se nachází v těsné blízkosti přilehlého chodníku. Díky tomu mohlo měření probíhat na více stanovištích a hodnoty se na každém z nich lišily, jelikož jsem nezačínal měření v určité vzdálenosti od zdroje, jako tomu bylo u měření 1 a 2. Dále jsem měření prováděl v den státního svátku, aby toto měření bylo co nejméně zkresleno přílehlou dopravou a hlukem od lidí, jejichž pohyb a výskyt je zde během dne značný. Jedinou komplikací je to, že zdroj je schovaný za ochrannými dvířky, a tudíž nešlo přesně určit, o jaké VZT zařízení se jedná. Díky okolnostem, umístění a chvíli přemýšlení lze však dojít k závěru, že se s největší pravděpodobností jedná o vyústění ventilace z přilehlé restaurace, případně menzy.



Obrázek 21 – Situace měření u budovy „R“ a detail zdroje v pravém dolním rohu

První stanoviště, označeno číslem 1, se nacházelo v úplné blízkosti zdroje. Naměřené hodnoty se pohybovaly v intervalu od 68 do 70 decibelů. Druhé stanoviště (ozn. 2), vzdálené přibližně 1,5 metru, dosahovalo na hodnoty od 62 do 64 decibelů. Na hranici chodníku a přilehlé zeleně, ve vzdálenosti přibližně 3 metry od zdroje, se nacházelo třetí stanoviště (ozn. 3). Zde se hodnoty pohybovaly v rozmezí 57 až 58 decibelů. Čtvrté

stanoviště (ozn. 4), vzdálené přibližně 5 metrů od stanoviště předchozího, vykazovalo hodnoty od 52 do 53 decibelů. Na pátém stanovišti (ozn. 5) o dva metry dále se již hodnoty přestávaly měnit a dosahovaly hodnot přibližně 50-53 decibelů. Hodnoty stejné, jako na pátém stanovišti, jsem naměřil i na druhé straně ulice. Z toho vyplývá, že zde již zdroj hluku s největší pravděpodobností nepůsobil.

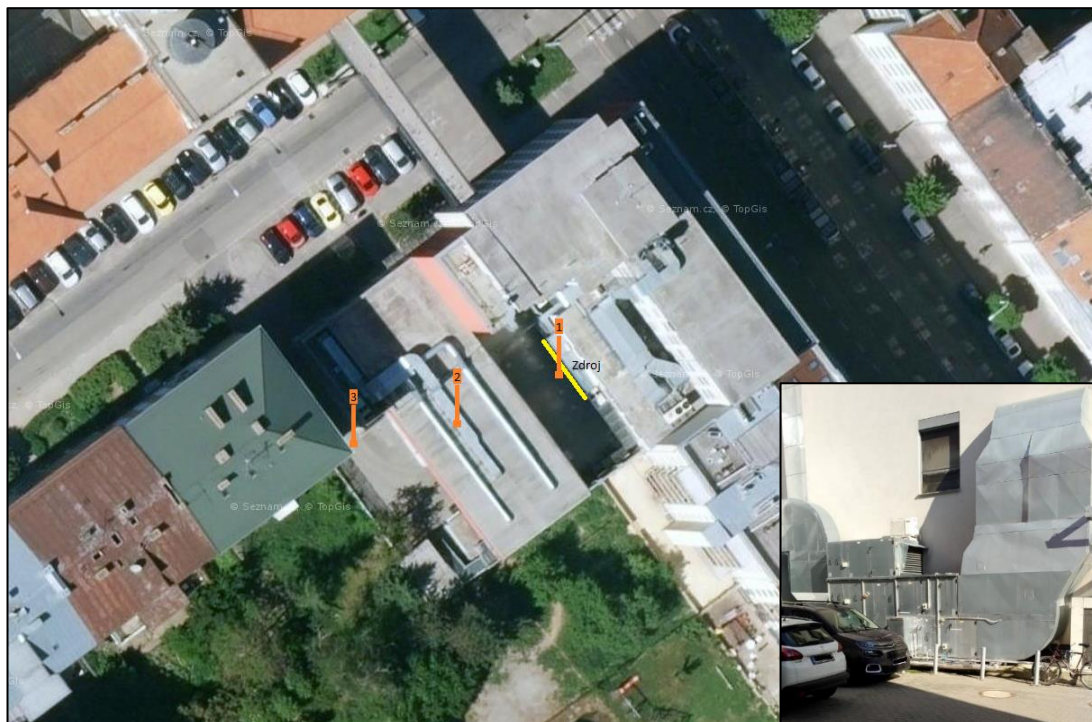


Graf 4 – Průběh na jednotlivých stanovištích 3. měření

Opět se graf velmi podobá těm z předchozích měření. Zdroje většinou ve vzdálenosti od 8 do 10 metrů přestanou mít v městském prostředí jakýkoliv vliv.

8.1.4 4. měření – zadní část budovy „R“ fakulty stavební

Čtvrté měření probíhalo, stejně jako předchozí, u budovy „R“ fakulty stavební. Tentokrát však měření probíhalo na nádvoří této budovy. V tomto měření jsem zkoumal, jestli daná vzduchotechnická jednotka může mít vliv na okolní obytné budovy.



Obrázek 22 – Situace měření u zadní části budovy „R“ fakulty stavební, vpravo dole opět vidíme zdroj hluku

Opět jsem začal měřením v těsné blízkosti zdroje hluku. Tato hodnota nebyla ovlivněna žádnými vnějšími vlivy, a proto byla konstantní 66 decibelů. Druhé měření probíhalo uprostřed, tedy mezi obytnou budovou a zdrojem hluku. Zde byla naměřena hodnota 55 decibelů. Třetí měření probíhalo u fasády přilehlé obytné budovy, zde jsem naměřil hodnotu 48 decibelů. Tato hodnota tedy nepřekračuje limity normy pro stacionární zdroje.

Problém s touto VZT jednotkou by dle mého názoru nastal, pokud bych měl možnost měřit hodnoty u fasády sousedního domu. Myšlen je bytový dům, který se nachází na situaci jihovýchodně od budovy „R“. Tyto hodnoty by dle mého propočtu překračovaly hygienické normy. Nicméně by tyto limity byly překročeny pouze minimálně.

8.1.5 5. měření – ulice Joštova

Poslední měření zaměřené na stacionární zdroje a vzduchotechnická zařízení probíhalo na ulici Joštova. Zde jsem použil opět metodu stanovišť. Toto měření bylo značně ovlivněno rušnou tramvajovou dopravou a výskytem velkého počtu lidí. Tento fakt můžeme vyčíst z grafu. Proto jsem opět zvolil měření v den a hodinu, kdy byla doprava a počet lidí co nejmenší. A tímto se pokusil o co nejobektivnější měření.

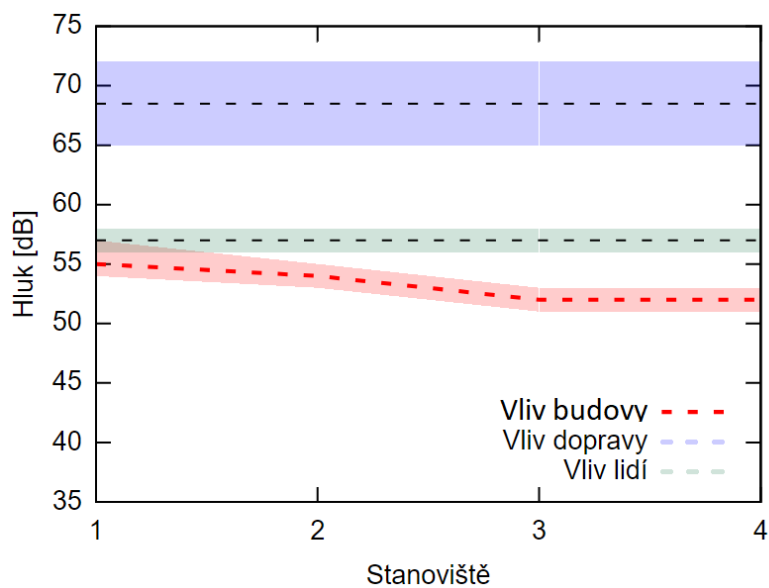


Obrázek 23 – Situace měření na ulici Joštova, vlevo dole zdroj hluku

První měření probíhalo klasicky co nejbližší zdroji. Zde se hodnota pohybovala v rozmezí 54 až 57 decibelů. Na druhém stanovišti, přibližně 1,5 metru od zdroje, se hodnota pohybovala v rozmezí 53-55 decibelů. O dalšího 1,5 metru dále, se již hodnota ustálila na 51-53 decibelech. Tuto hodnotu jsem naměřil i na dalších místech. Lze tedy usoudit, že vliv zdroje byl přibližně do vzdálenosti 2 až 3 metrů v jeho okolí.

Pokud bychom uvažovali průměrný den v okolí tohoto zdroje, hodnoty se v této oblasti pohybují v rozmezí 56–58 decibelů (vliv lidí). Dosahují však i hodnot od 65 do 72 decibelů a to při průjezdu, zastavení a rozjíždění tramvají, obecně tedy vlivem dopravy. Dalším aspektem tohoto zdroje je roční období. V zimním období bychom mohli tento zdroj hluku úplně zanedbat, naopak v období teplých jarních, letních a podzimních dnů je tato ventilace značným znečišťovatelem okolního prostředí, co se týče hlukové zátěže.

I přes to, že měření bylo ovlivňováno mnoha faktory, můžeme alespoň tento hluk budovy porovnat s hlukem dopravy a hlukem způsobeným lidmi. Toto porovnání jde dobře vidět na následujícím grafu 5:



Graf 5 – Srovnání tří zdrojů hluku na měřeném místě

8.1.6 6. měření – areál Vlněna

Šesté měření probíhalo u výstavby jedné z kancelářských budov nově vznikajícího komplexu Vlněna. Na situaci nelze budovu vidět, jelikož její výstavba byla zahájena až po pořízení leteckých snímků dané lokality. Budovu však můžeme vidět na fotkách níže. Jak již bylo zmíněno v úvodu, hluk z výstavby převyšuje ve většině případů hluk z provozu. To jsem se snažil dokázat tímto měřením.



Obrázek 24 – Situace 6. měření, areál Vlněna

První měření označené číslem 1 probíhalo před budovou v blízkosti práce bagrů. Hodnoty zde naměřené dosahovaly až 70 decibelů. Celková vzdálenost stanoviště, na kterém bylo měření provedeno, byla přibližně 15 metrů od stavebních strojů. Na stanovišti číslo 2, které již bylo znatelně dál od pracovních strojů, dosahovaly hodnoty hluku od 62 do 68 decibelů. Na stanovišti číslo 3, které se nacházelo přibližně o 10 metrů dál od budovy než původní dvě, jsem naměřil hodnoty pohybující se od 56 do 63 decibelů. Poslední dvě měření jsem provedl po dalších 10 metrech. Zde už hodnoty zůstávaly téměř stejné v intervalu od 53 do 59 decibelů.



Obrázek 25 – Primární zdroj hluku v okolí budovy, těžké pracovní stroje

Toto měření dokazuje, že při výstavbě proniká do okolí více hluku než při standardním provozu budov. Tento hluk působí do větší vzdálenosti než hluk ze stacionárních zdrojů. Důkazem může být to, že když jsme se u stacionárních zdrojů vzdálili přibližně 10 metrů, hluk z těchto zdrojů jsme již téměř nepocíťovali. Oproti tomu, hluk z výstavby si drží vysokou hladinu akustického tlaku i při vzdálenostech větších než 15 metrů.

8.1.7 7. měření – rekonstrukce bytového domu, ulice Kotlářská

Sedmé měření probíhalo na ulici Kotlářská u Konečného náměstí. Tentokrát jsem se zaměřil na hluk z rekonstrukce budovy. Tento hluk se v průběhu měření dost měnil a tudíž je výsledný interval celkem velký. Důvod je takový, že oproti předchozímu měření, hluk nebyl konstantní, jelikož se na stavbě nenacházely těžké stroje, které by pracovaly nepřetržitě. Při rekonstrukci vznikala hluk především z úderů kladivem, řezání, broušení apod. Myslím si, že jsou tyto zvuky typické pro každou rekonstrukci a místo je tedy zvoleno správně.

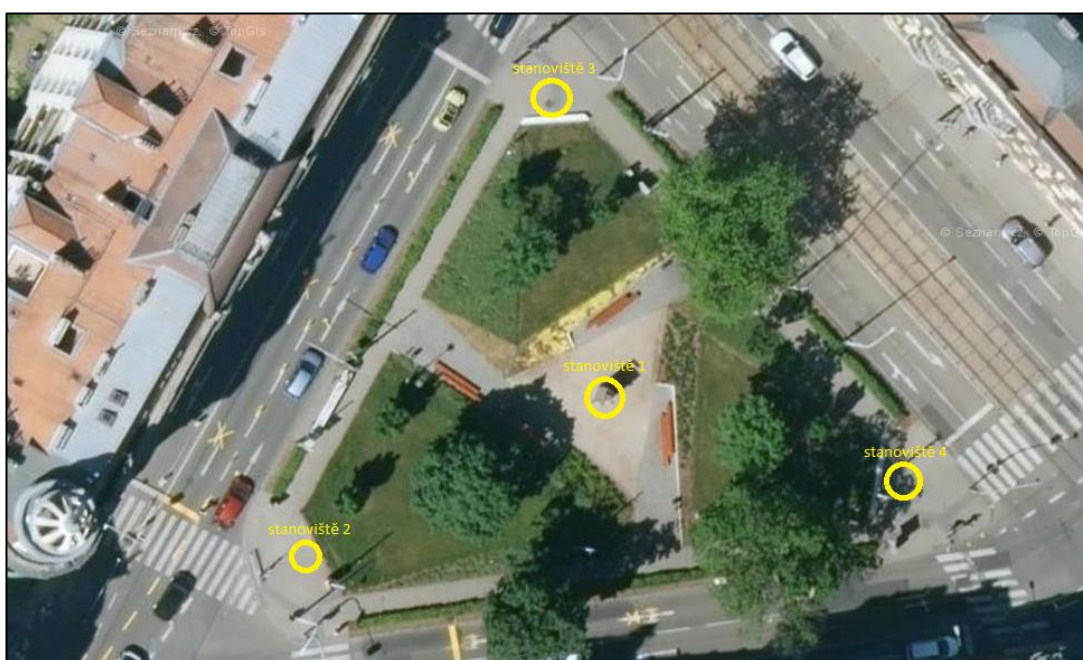


Obrázek 26 – Situace 7. měření, ulice Kotlářská

U měření jsem zvolil pouze dvě stanoviště, především z důvodu omezenosti prostoru. Jedno přímo u staveniště a druhé na protějším chodníku. Na stanovišti číslo 1 se hluk pohyboval od 54 do 66 decibelů. Nejvyšších hodnot bylo dosaženo při již zmiňovaných pracovních činnostech. Na stanovišti číslo 2 se hodnoty pohybovaly v intervalu 54–64 decibelů. Opět se však jedná o místo, kde je velkým faktorem doprava, která zde hluk z rekonstrukce bez problému přehluší.

8.1.8 8. měření – park u Konečného náměstí

Následující dvě měření mají demonstrovat vliv dopravy a ukázat hodnoty, kterých může okolí tohoto zdroje dosahovat v porovnání s hlukem budov. Měření probíhala stejným způsobem jako v předchozích případech. Oblast jsem si rozdělil na dva typy míst. Prvním typem jsou místa, která slouží pro pohyb lidí a přesun z bodu A do bodu B, tedy chodníky (stanoviště 2, 3 a 4). Druhým typem jsou odpočinková či rekreační místa (stanoviště 1 a přilehlé lavičky), která lze považovat za chráněný venkovní prostor a lze na ně tedy vztahovat hygienické limity.



Obrázek 27 – Situace 8. měření, park u Konečného náměstí

Na stanovištích 3 a 4 byly naměřeny téměř totožné hodnoty, které se pohybovaly od 62 do 71 decibelů. Na stanovišti číslo 2 nedosahovaly hodnoty tak vysokých čísel, protože zde nepůsobil vliv tramvajových vozidel. Tyto hodnoty začínaly shodně na 62 decibelech, jejich horní hranice však činila nanejvýš 67 decibelů.

Na stanovišti číslo 1 a také na přilehlých lavičkách byly naměřené hodnoty nižší. Pohybovaly se v rozmezí 54–62 decibelů. Tyto hodnoty však pro odpočinkové zóny vyhovující nejsou. Když použijeme nejvyšší možné limitní hodnoty pro hluk z dopravy, získáme limit 60 dB, který je na těchto místech velmi často překračován.

8.1.9 9. měření – Bjornsenův sad

Druhé měření pro zjištění a porovnání hodnot hlukových emisí budov, tentokrát k emisím dopravním a lidským. K měření posloužilo odpočinkové a rekreační místo Bjornsenův sad. Jednalo se tedy opět o chráněný venkovní prostor.



Obrázek 28 – Situace 9. měření, Bjornsenův sad

Všechna vyznačená stanoviště podléhají hluku z dopravy. K tomu navíc u stanovišť 5, 6, 7, 8 a 9 působí také hluková zátěž od lidí. Všechna místa se dokázala v určitých intervalech dostat pod hranici 50 decibelů. Přesněji 46 decibelů. Problém však nastal při dopravní zátěži. Na to nejvíce doplatila stanoviště 1 až 4, která se díky tomuto zatížení dostala na hodnoty 68 decibelů. V místech vzdálenějších od ulic se sice hluk z dopravy snížil, naopak však rostl hluk od lidí. Ty nedosahovaly zdaleka takových hodnot jako ty dopravní. Jejich maxima se pohybovala v rozmezí 54-56 decibelů.

Nejvíce byla imisemi zatížena stanoviště 2 a 4. Především z důvodu přilehlých tramvajových zastávek, kdy tramvaje produkují nejvíce hluku při rozjíždění a brždění. Na těchto stanovištích opět nebyly splněny hygienické limity dané nařízením vlády.

9 Závěr

Dle mých poznatků se dá říct, že budovy samy o sobě hluk nevytváří. Vytváří jej však zprostředkovaně. Nejčastěji prostřednictvím technických zařízení během svého provozu. Tuto skutečnost lze přenést také na výstavbu budov, respektive jejich rekonstrukce. Kdy budovy zprostředkovaně emitují hluk do venkovního prostoru prostřednictvím těžkých stavebních strojů a techniky na stavbách.

Během průzkumu a měření technických zařízení budov v terénu jsem došel k závěru, že hluk produkovaný budovami, respektive jejich technickými zařízeními je ve větších městech zanedbatelný v porovnání s ostatními hlavními emitenty hluku. Mezi tyto hlavní emitenty řadíme silniční a železniční dopravu. Dalším faktem je, že většina technických zařízení ve venkovním prostoru je dispozičně vhodně řešena (např. umístěním na střechy budov), a tudíž najít nějaký nevyhovující zdroj pro venkovní prostor je docela obtížné. Oproti tomu hluk z dopravy se vyskytuje v mnohem větší míře a v řádově vyšších hodnotách.

Pokud by však měření probíhalo v interiéru budov, troufám si říct, že by se tyto nevyhovující zdroje hledaly snáze. Jiných výsledků bychom se mohli dopracovat také v menších městech, popřípadě na vesnicích. Zde již zřídka působí železniční doprava a silniční doprava zde není tak frekventovaná. Oproti tomu se zde mohou vyskytovat průmyslové závody či zemědělská družstva, která dokážou svými rozsáhlými technickými zařízeními tento hluk hravě překonat.

Na základě mých poznatků a měření lze souhrnně říct, že ve větších městech hluk dopravy (ať už silniční nebo železniční) překračuje hluk budov znatelným způsobem. S klesajícím počtem obyvatel a řidší dopravní sítí se tato situace může vyrovnávat. Při specifických okolnostech zmíněných v předchozím odstavci se může tato situace dokonce obrátit.

10 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

Odborné publikace:

- [1] KAŇKA, Jan. *Akustika stavebních objektů*. Brno: ERA, 2009. Technická knihovna (ERA). ISBN 978-80-7366-140-3.
- [2] MALÝ, Stanislav, KRÁL, Miroslav a HANÁKOVÁ, Eva. *ABC ergonomie*. 1. vyd. Praha: Professional Publishing, 2010. 386 s. ISBN 978-80-7431-027-0.
- [3] MELKA, A. *Základy experimentální akustiky*. Praha: Akademie múzických umění v Praze, 2005.
- [4] MIKULČÁK, J. *Matematické, fyzikální a chemické tabulky pro střední školy*. Praha: Prométheus, 2003. 206 s.
- [5] PTÁČEK, M. *Úvod do fonetické akustiky*. Praha: Karolinum, 1993.
- [6] SMETANA, Ctirad a kol, 1998. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. 1. Praha: Sdělovací technika. ISBN 80-901-9362-5.
- [7] SVOBODA, E. et al. *Přehled středoškolské fyziky*. Olomouc: Prométheus, 2001. 497 s.
- [8] VAŇKOVÁ, Marie a kol, 1995. *Hluk, vibrace a ionizující záření v životním prostředí a pracovním prostředí*. 1. Brno: PC-DIR. ISBN 80-214-0695-X.

Zákony a normy:

- [9] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., Nařízení vlády o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: *Sbírka zákonů Česká republika*. 2011, částka 97. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272#cast5>

Internetové zdroje:

- [10] BERNAT, Petr, 2002. *Akustika, vznik a šíření zvuku, frekvenční analýza a syntéza, sluchový vjem zvukového signálu*, [online]. 2002 [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: http://www.anatomie-varhan.cz/texty/varhany/anatomie/pistaly_akustika.htm
- [11] JANDÁK, Zdeněk, *Vibrace přenášené na člověka, Státní zdravotní ústav* [online]. 2007 [cit. 2019-12-20]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/pracovni-prostredi/vibrace-prenasene-na-cloveka>

- [12] KAŇKA, Jan, NOVÁČEK, Jiří, *Akustika staveb*, tzbinfo [online]. 2019 [cit. 2019-12-29]. Dostupné z: <https://stavba.tzb-info.cz/akustika-staveb>
- [13] PEŠTA, Jan, Zwiener, Viktor, *Hlukové limity a měření hluku*, Atelier DEK [online]. 2019 [cit. 2019-12-26]. Dostupné z: <https://atelier-dek.cz/hlukov%C3%A9-limity-m%C4%9B%C5%99en%C3%AD-hluk-%E2%80%93-stav-po-1-lednu-2019-894>
- [14] *Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně*, 2020 [online]. UTB. [cit. 2020-01-04]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_02.pdf
- [15] VÁGNEROVÁ, Monika, 2013. *Základy akustiky*. In: grief.cz [online]. 13. 5. [cit. 2019-12-15]. Dostupné z: <http://www.greif.cz/download/its075-zaklady-akustiky-prirucka-pro-zacatecniky.pdf>

11 SEZNAM ZKRATEK

apod.	a podobně
např.	například
tzv.	takzvaný
viz.	odkaz na další zdroj
ozn.	označení

12 SEZNAM TABULEK

<i>Tabulka 1: Rychlost šíření zvuku ve vybraných látkách</i>	16
<i>Tabulka 2: Činitel pohltivosti [-] vybraných běžných povrchů.....</i>	42
<i>Tabulka 3: Vybrané technické parametry měřiče zvuku.....</i>	48

13 SEZNAM GRAFŮ A OBRÁZKŮ

Grafy

Graf 1 – hodnoty hluku na jednotlivých stanovištích prvního měření.....	50
Graf 2 – Průběh měření na jednotlivých stanovištích u zdroje 1, při druhém měření.....	52
Graf 3 – Průběh měření na jednotlivých stanovištích u zdroje 2, při druhém měření.....	53
Graf 4 – Průběh na jednotlivých stanovištích 3. měření.....	55
Graf 5 – Srovnání tří zdrojů hluku na měřeném místě.....	58

Obrázky

Obrázek 1 – Zvuková vlna po nárazu do překážky měření.....	13
Obrázek 2 – Vztah pro výpočet hladiny akustického výkonu	19
Obrázek 3 – Vztah pro výpočet hladiny akustického tlaku	20
Obrázek 4 – Graf sluchového pole	23
Obrázek 5 – Příklad chráněného venkovního prostoru (značen světle zelené)	32
Obrázek 6 – Tabulka limitních hodnot pro chráněný venkovní prostor	32
Obrázek 7 – Příklad chráněného venkovního prostoru staveb (značen červeně)	33
Obrázek 8 – Tabulka limitních hodnot hluku v chráněném venkovním prostoru staveb	34
Obrázek 9 – Příklad chráněného vnitřního prostoru staveb (značen fialově) ..	35
Obrázek 10 – Tabulka limitních hodnot hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb	35
Obrázek 11 – typické hodnoty činitele Q [-]	38
Obrázek 12 – útlum zvuku vlivem gradientu větru	40
Obrázek 13 – útlum zvuku vlivem gradientu větru	40
Obrázek 14 – Schéma konstrukce pohlcovače typu kmitající membrána a typický průběh závislosti činitele pohltivosti [-] na kmitočtu	43
Obrázek 15 – Schéma konstrukce tvárniceových rezonátorů a pohlcovače typu děrovaná deska	44
Obrázek 16 – Situace měření u Fakultní nemocnice u sv. Anny	49
Obrázek 17 – kondenzační jednotka	50

Obrázek 18 – Situace měření u pivovaru Starobrno	51
Obrázek 19 – zdroj 1, VZT jednotka	52
Obrázek 20 – Zdroj 2, kondenzační jednotka + ventilace	53
Obrázek 21 – Situace měření u budovy „R“ a detail zdroje v pravém dolním rohu	54
Obrázek 22 – Situace měření u zadní části budovy „R“ fakulty stavební, vpravo dole opět vidíme zdroj hluku	56
Obrázek 23 – Situace měření na ulici Joštova, vlevo dole zdroj hluku	57
Obrázek 24 – Situace 6. měření, areál Vlněna	59
Obrázek 25 – Primární zdroj hluku v okolí budovy, těžké pracovní stroje	60
Obrázek 26 – Situace 7. měření, ulice Kotelářská	61
Obrázek 27 – Situace 8. měření, park u Konečného náměstí	62
Obrázek 28 – Situace 9. měření, Bjornsenův sad	63