

Univerzita Pardubice

Dopravní fakulta Jana Pernera

Vliv zpomalovacích prahů na hluk v okolí komunikace

Marek Müller

Bakalářská práce

2016

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2015/2016

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Marek Müller
Osobní číslo: D12369
Studijní program: B3709 Dopravní technologie a spoje
Studijní obor: Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě
Název tématu: Vliv zpomalovacích prahů na hluk v okolí komunikace
Zadávající katedra: Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Zásady pro vypracování:

podle pokynů vedoucího práce

Rozsah grafických prací: podle pokynů vedoucího práce
Rozsah pracovní zprávy: 30-40 stran textu a přílohy
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná
Seznam odborné literatury:

- [1] JANOUŠEK, I., KOZÁK, J., TARABA, O.: Technická diagnostika, SNTL, 1988
[2] Ministerstvo zdravotnictví ČR, Metodický návod ze dne 11. 12. 2001 pro měření a hodnocení hluku mimopracovním prostředím. [online] [cit. 2014-05-11]. Dostupné z: http://www.nrl.cz/metodika/postup_prostredi.php.
[3] KŘIVÁNEK, Vítězslav. CEMTRUM DOPRAVNÍHO VÝZKUMU, v. v. i. Metodika k měření pomocí statické metody při průjezdu a metody malé vzdálenosti. Brno, 2011.
[4] NOVÝ, Richard. Hluk a otřesy. Praha: Vydavatelství ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE: ČVUT Praha, 1993. 190s. ISBN 80-01-00101-6.
[5] KREIDL, M., ŠMÍD, R.: Technická diagnostika, senzory metody- analýza signálu, BEN, Praha 2006
[6] Zpomalovací prahy, Technické podmínky. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz>

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Pavel Kukla, Ph.D.
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání bakalářské práce: 25. února 2016
Termín odevzdání bakalářské práce: 3. června 2016



doc. Ing. Ivo Drahotský, Ph.D.
děkan

L.S.



doc. Ing. Michael Lata, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 25. února 2016

Prohlašuji:

Tuto práci jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Souhlasím s prezenčním zpřístupněním své práce v Univerzitní knihovně.

Tato diplomová práce byla realizována s využitím technologií Výukového a výzkumného centra v dopravě.

V Pardubicích dne 12. 2. 2016

Marek Müller

Poděkování

Rád bych poděkoval svému vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Pavlu Kuklovi Ph.D, za jeho cenné rady, neustálý přísun informací, za připomínky a čas, který mi věnoval. Dále bych chtěl poděkovat své rodině za podporu po celou dobu mého studia.

ANOTACE

Cílem této bakalářské práce je vyhodnotit a popsat, jak působí hlukové emise z dopravních prostředků v kontaktu se zpomalovacími prahy na své nejbližší okolí. Pro splnění tohoto cíle bylo třeba navrhnout vhodnou metodiku měření hluku u zpomalovacích prahů, realizovat měření a výsledky vlivu hlučnosti na okolí vyhodnotit a případně navrhnout opatření pro eliminaci hlukové zátěže.

KLÍČOVÁ SLOVA

Zvuk, hluk, životní prostředí, rizika, metody měření, doprava, lidský sluch, hygienické limity, negativní účinky, metodika, vyhodnocení

TITLE

Effect of speed bumps on road traffic noise levels

ANNOTATION

This paper aims to evaluate and describe effects of noise emissions from means of transport in contact with a speed bump (speed bumper) on their immediate surroundings. To meet this objective, it was necessary to propose a suitable methodology for measuring the noise of speed bumps, carry out measurement and evaluate the impact on noise levels and possibly propose measures for eliminating noise pollution.

KEY WORDS

Sound, noise, environment, risks, methods of measuring, transportation, human hearing, hygienic limit, negative effects, methodology, verification and evaluation.

OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ.....	9
SEZNAM TABULEK	10
ÚVOD.....	11
1 HLUK.....	12
1.1. Základní definice zvuku.....	12
1.2. Základní definice hluku.....	12
1.3. Šíření Rozruchu.....	15
1.4. Odraz, lom a ohyb zvuku	17
1.5. Rychlost zvuku.....	19
1.6. Hlukové emise a imise	20
1.7. Sluchový orgán.....	23
2 ZPOMALOVACÍ PRÁH.....	26
2.1. Využití.....	26
2.2. Krátký zpomalovací práh	26
2.3. Dlouhý zpomalovací práh	27
2.3.1. Lichoběžníkový tvar	28
2.3.2. Stupňovitý tvar.....	28
2.3.3. Vlnový a kruhový tvar.....	29
2.4. Zpomalovací polštář.....	29
2.4.1. Lichoběžníkový	29
2.4.2. Malé kruhové	30
2.5. Oblasti použití	30
3 MAXIMÁLNÍ PŘÍPUSTNÉ LIMITY HLUKU.....	32
3.1. Zákon č. 258/2000 Sb.	32
3.2. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.....	33

4	NÁVRH VHODNÉ METODIKY MĚŘENÍ.....	36
4.1.	Metoda SPB	36
4.2.	Použité přístroje	38
4.3.	Vnější podmínky měření	40
4.3.1.	Okolní terén	40
4.3.2.	Meteorologické vlivy	40
4.4.	Obsah protokolu měření hluku.....	41
5	PRAKTICKÉ MĚŘENÍ HLUKU	42
5.1.	Průběh realizace měření	43
5.2.	Stanoviště č. 1	44
5.3.	Stanoviště č. 2	49
5.4.	Stanoviště č. 3	52
6	ZÁVĚR	55
7	POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE.....	56
8	PŘÍLOHY	59

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Ustálený hluk v závislosti na čase [3].....	14
Obrázek 2 - Přerušovaný hluk v závislosti na čase [3].....	14
Obrázek 3 - Nepravidelný hluk v závislosti na čase [3].....	14
Obrázek 4 - Impulsní hluk v závislosti na čase [3].....	15
Obrázek 5 - Šíření zvukové vlny[6].....	16
Obrázek 6 - Grafické znázornění průběhů výchylek částic[7].....	16
Obrázek 7 - Odraz mechanického vlnění [9].....	17
Obrázek 8 - Lom ke kolmici [11].....	18
Obrázek 9 - Lom od kolmice [11].....	18
Obrázek 10- Ohyb vlnění, Huygensův princip [12].....	19
Obrázek 11 - Porovnání ekvivalentní hodnoty akustického tlaku s průměrnou [17].....	22
Obrázek 12 - Slyšitelné oblasti lidského ucha [18].....	24
Obrázek 13 - Složení sluchového orgánu [19].....	24
Obrázek 14 - Váhové filtry [35].....	25
Obrázek 15 - Krátký zpomalovací práh [20].....	26
Obrázek 16 - Dlouhý zpomalovací práh [20].....	27
Obrázek 17 - Dlouhý lichoběžníkový zpomalovací práh.....	28
Obrázek 18 - Stupňovitý tvar zpomalovacího prahu [23].....	28
Obrázek 19 - Vlnový, kruhový tvar zpomalovacího tvaru [24].....	29
Obrázek 20 - Konstrukce polštářového prahu [20].....	30
Obrázek 21 - Malý kruhový zpomalovací práh [25].....	30
Obrázek 22 - Vzdálenosti umístění mikrofону [30].....	36
Obrázek 23 - Ukázka z měření hluku na stanovišti č. 2.....	37
Obrázek 24 - Zvukoměr 2238 Mediator.....	39
Obrázek 25 - Ukázka zaznamenaných hodnot Mediator 2238.....	44
Obrázek 26 - Ukázka špatného umístění polštářů na stanovišti č. 1.....	45
Obrázek 27 - Mapa všech realizovaných měření na stanovišti č. 1 [33].....	45
Obrázek 28 - Ukázka z druhého termínu měření v ulici Kunětická.....	47
Obrázek 29 - Mapa všech realizovaných měření na stanovišti č. 2 [33].....	49
Obrázek 30 - Ukázka realizace třetího termínu měření v ulici Studentská.....	51
Obrázek 31 - Mapa všech realizovaných měření na stanovišti č. 3 [33].....	52
Obrázek 32 - Ukázka realizace čtvrtého termínu v ulici Prodloužená.....	53

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Rychlost zvuku v závislosti na aktuálním prostředí [5]	20
Tabulka 2 - Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku [27].....	34
Tabulka 3 - Výsledné hygienické limity přehledně [27]	35
Tabulka 4 - Seznam všech měřících míst	42
Tabulka 5 - 1. Protokol z měření na stanovišti č. 1	46
Tabulka 6 - 2. Protokol z měření na stanovišti č. 1	48
Tabulka 7 - 3. Protokol z měření na stanovišti č. 2.	50
Tabulka 8 - 4. Protokol z měření na stanovišti č. 2	51
Tabulka 9 - 5. Protokol z měření na stanovišti č. 3	54

ÚVOD

Jedním z nejzávažnějších globálních problémů konce dvacátého a počátku jednadvacátého století je ochrana životního prostředí. S tím souvisí i problematika hlukové zátěže produkované dopravními prostředky. Vysoká intenzita hluku ve spojení s dlouhodobým působením negativně ovlivňuje jak životní prostředí, tak přímo zdravotní stav a psychiku člověka. Hluk z dopravy je produkován v podstatě dvacet čtyři hodin denně, při cestě do práce nebo ve volném čase, ale i ve spánku. Pouze zdánlivě je méně nebezpečný než třeba emise z výfukových plynů, které jsou v souvislosti s nepříznivým vlivem dopravy na životní prostředí daleko více dokumentovány. Toto je důvod k tomu, abychom životní prostředí i sami sebe chránili před nadměrným hlukem vhodnými ochrannými pomůckami nebo přímo lokalizovali zdroj těchto hluků a ten buď eliminovali, nebo omezili. Mezi seznam zemí s vyspělým průmyslem, a tedy i s výrazným zatěžováním hlukem na své obyvatele se řadí také Česká republika.

Práce se zabývá zjišťováním imisí hluku v okolí zpomalovacích prahů dopravních prostředků, které mají sloužit především jako bezpečnostní prevence pro možnou srážku s chodci. Úvodní kapitoly se zabírají obecnými definicemi zvuku a hluku a uvádějí již podložené skutečnosti o jejich vlastnostech. V práci jsou dále uvedeny konstrukční specifikace jednotlivých druhů zpomalovacích prahů, je převzata a modifikována jednoduchá metodika, pomocí které by bylo možné provést rychlá a důvěryhodná měření ve vybraných lokalitách. Následně jsou uvedeny legislativní skutečnosti pro měření hluku pozemních komunikací.

Experimentální část práce je zaměřena na ověření převzaté modifikované metodiky. Realizace měření hluku proběhla ve více oblastech v okolí Univerzity Pardubice. Byla provedena komparace naměřených hodnot získaných na třech typech zpomalovacích prahů. Porovnávání naměřených hodnot a jejich vyhodnocení je uvedeno v závěru práce.

1 HLUK

1.1.Základní definice zvuku

Zvuk provází lidstvo již od počátků věků. Dokáže člověku zprostředkovávat informace pomocí sluchového aparátu, patří mezi základní dorozumívací se a komunikační prostředky mezi živými tvory. Je součástí každodenního života a působí na každého jednotlivce ve všech prostředích.

Zvuk lze obecně definovat jako mechanické vlnění v látkovém prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Šíření vlnění není spojeno s přenosem látky, jen s přenosem energie. Stručněji lze říci, že zvuk je změna tlaku probíhající rychleji než 20 krát za sekundu. Šíří se nejen vzduchem, ale i kapalinami (např. vodou) a pevnými látkami (např. stěnami domu, stavebními a strojními konstrukcemi, potrubím apod.). Pouze ve vakuu (vzduchoprázdnu) se zvuk nešíří a je dokonalou zvukovou izolací, protože neobsahuje žádné částice. Jeho využití lze uplatnit zejména ve spektrech mimo slyšitelnost lidským uchem, kdy je nazýván ultrazvukem (pokud překračuje horní hranici slyšitelnosti 20 kHz) nebo infrazvukem (překračuje dolní mez slyšitelnosti 20 Hz). Ultrazvuk se využívá v oblasti technické diagnostiky, kdy je zapotřebí zjistit aktuální technický stav objektu bezdemontážním a nedestruktivním způsobem. Lze ho ale také využít ve zdravotnictví, při diagnostice vnitřních orgánů těla nebo při měření hloubek oceánů. Infrazvuk není průmyslově využíván. Ačkoliv je lidským uchem neregistrovatelný už při menších dávkách může člověk pociťovat nevolnost a vibrace, při větších může způsobit například infarkt. Pro objektivní hodnocení zvuku byla zavedena hladina intenzity zvuku $L[\text{dB}]$, protože hlasitost je subjektivní veličina a je vnímána každým jinak. [1]

Je-li zvuk vnímán příznivě, jako například poslech hudby nebo řeč, hovoříme o zvuku. Přesáhne-li však zvuk určitou mez, a má-li nepříznivý nebo rušivý charakter mluvíme o hluku.

1.2.Základní definice hluku

Tuto mez mezi příznivým a nepříznivým zvukem má každý z nás jinou, nedá se přesně stanovit. V jednom případě může mít stejná míra intenzity zvuku příznivý účinek, zatímco v druhém ne.

Z lékařského hlediska se pokládá hluk za zvuk, který působí přímo na dobrou funkci sluchového orgánu. V psychologii je zase hluk definován jako neharmonický zvukový

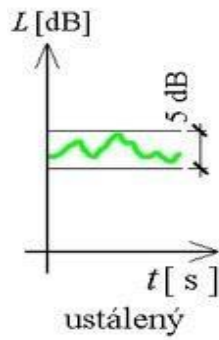
komplex obtěžujícího nebo nepříjemného charakteru. Podle psychologů má také vliv na to, jak člověk přistupuje k návykovým látkám, jako je například alkohol nebo cigarety. Údajně čím větší je intenzita hluku, tím je člověk nervóznější a rychleji pije. Hluk působí negativně na celý lidský organismus. Ve většině případů je podceňován lidmi a naprosto zanedbáván. Aniž by si člověk vůbec uvědomoval možná rizika, je jimi neustále vystaven. Hluk může poškozovat orgány v těle a narušovat celou jeho psychiku. Hlavním faktorem zde, je doba, po kterou je mu člověk vystaven. Zvuk na lidský organismus působí nepřetržitě. Nevýhodou sluchu oproti jiným smyslovým orgánům, je nemožnost si odpočinout. Dlouhodobé působení zvuku může trvale poškodit citlivost sluchových orgánů člověka, může mít vliv na kardiovaskulární systém, psychiku člověka, osvojení řeči a čtení u dětí. Obecně lze říci, že dlouhodobá expozice hluku nad 65 dB je lékaři posuzována jako dlouhodobě nesnesitelná s prokázáním vážných následků na zdraví člověka. [2]

Práce je zaměřena především na hlavní zdroj zvuku současnosti a to na silniční dopravu. Trend se ubírá přesouváním nákladní přepravy ze silnic na železnice nebo vodu, kvůli přijatelnější variantě pro životní prostředí. Podporují se cyklistické stezky a integrované dopravní systémy. Zavádějí se infrastrukturní opatření, jako obchvaty měst a protihlukové bariéry podél silnic.

Z hlediska kmitočtového složení a časového průběhu se charakterizují následující povahy hluku:

a) **Hluk ustálený**

Jeho hladina se v daném místě a ve sledovaném časovém úseku v závislosti na čase nemění o více než 5 dB, který je znázorněn na Obrázku č. 1.

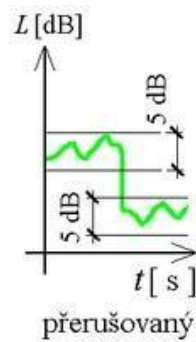


Obrázek 1 - ustálený hluk v závislosti na čase [3]

b) **Hluk Proměnný**

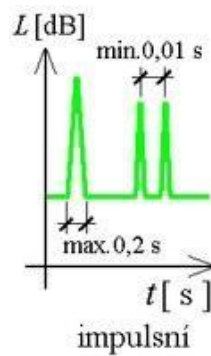
Jeho hladina se v daném místě a ve sledovaném časovém úseku v závislosti na čase mění o více než 5 dB. Tento druh se dělí na:

- Přerušovaný: je hlukem proměnným, který mění náhle hladinu akustického tlaku, jak je znázorněno na obrázku č. 2.



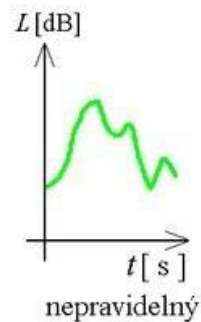
Obrázek 2 - Přerušovaný hluk v závislosti na čase [3]

- Nepravidelný: zde se hladina hluku mění náhodně v čase, viz obrázek č. 3.



Obrázek 3 - Nepravidelný hluk v závislosti na čase [3]

- Impulsní: zvuk je tvořený impulsy, které trvají do 20 ms nebo sledem po sobě následujících impulsů v intervalech, které jsou delší než 10 ms (např. údery kladivem), viz obrázek č. 4.



Obrázek 4 - Impulsní hluk v závislosti na čase [3]

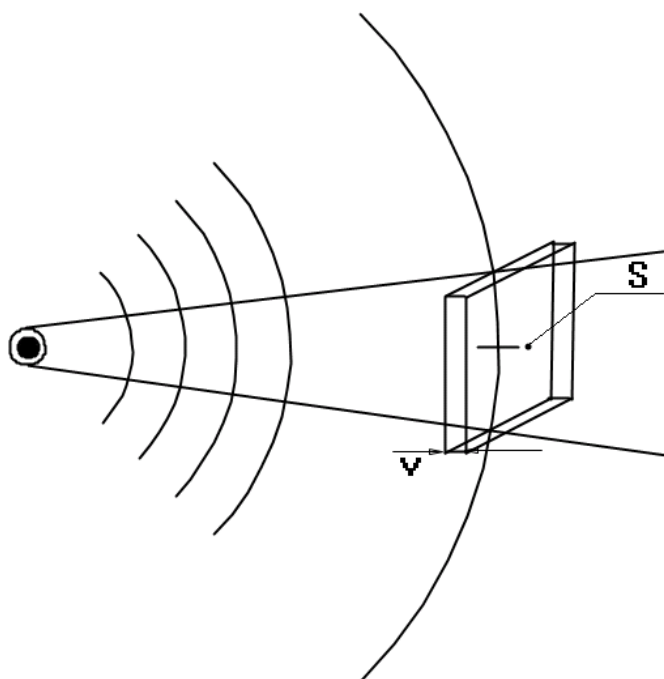
c) Vysokofrekvenční hluk

Tento zvuk je tvořen z výrazných kmitočtových složek v oblasti vyšší než 8 kHz. Tohoto hluku je možné dosáhnout také neakustickými rušivými vlivy, jako jsou např. vítr, elektrické a magnetické pole nebo vibrace atd.

1.3.Šíření Rozruchu

Zdrojem akustického vlnění je těleso, které uvádí částice do mechanického kmitání a tím je vychýlí ze své rovnovážné polohy. Vzniklá energie, se dále přenáší mezi pružnými vazbami k sousedícím částicím. Tento stav se nazývá Rozruch, který se šíří od zdroje ve formě vlnoploch, které si můžeme představit jako vlny na vodní hladině. Jsou to rovnoběžné roviny, na níž leží body, které se dostaly ze zdroje za stejnou dobu. Je-li zdroj zvuku malý, mají vlnoplochy tvar koule, pokud je velký (velká deska) jsou rovinné. Za rovinnou vlnoplochu se mohou pokládat i vlny vzdálené od zdroje tak daleko, že jejich kulový poloměr příliš velký. U rovinného tvaru je konstantní poměr mezi akustickým tlakem a akustickou rychlostí kdežto u kulové naopak. [4],[5]

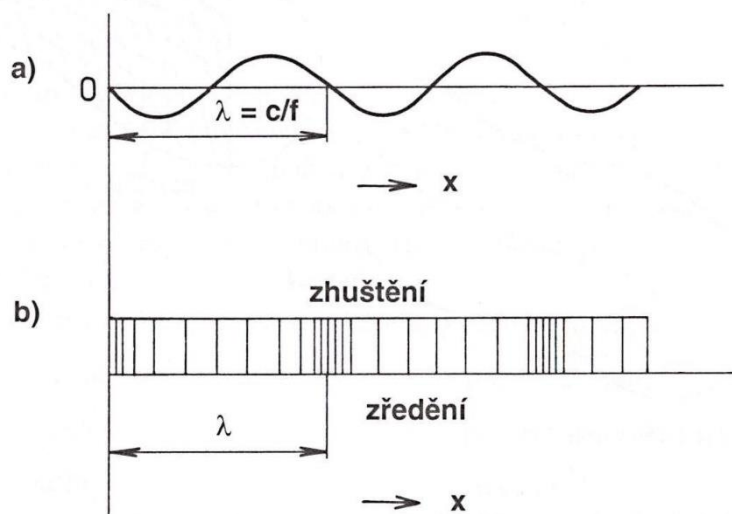
Při vychýlení částice z její rovnovážné polohy může každá nabírat jiný směr, podle směru



Obrázek 5 - Šíření zvukové vlny[6]

vychýlení se dají dělit buďto na vlnění příčné (výchylka je kolmá na spojnici sousedních částic) nebo vlnění podélné (výchylka je ve směru spojnice sousedních částic):

- a) Příčné vlnění je u zvuku spíše výjimečné, dochází k němu v pevných látkách a na povrchu kapalin.
- b) Zvuk se šíří ve většině případů postupným podélným vlněním, kdy je amplituda kmitů rovnoběžná se směrem šíření vlny. V jednotlivých místech může docházet ke zhuštění částic (větší tlak) nebo naopak k jejich zředění (menší tlak)



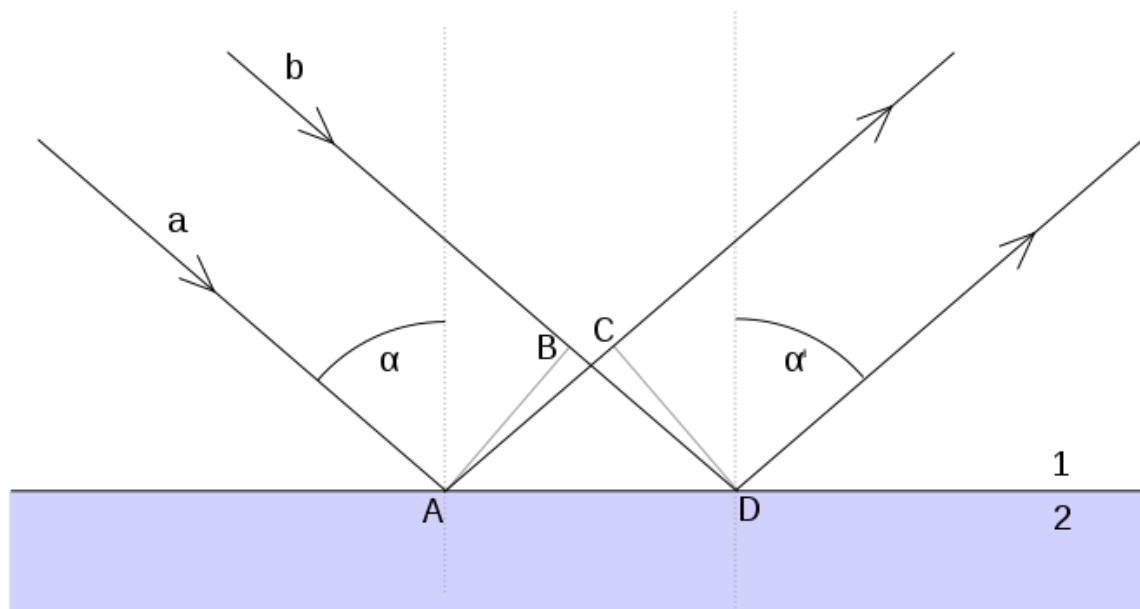
Obrázek 6 - Grafické znázornění průběhů výchylek částic[7]

další významnou veličinou při šíření zvuku je vlnová délka $\lambda = \frac{c}{f}$ [m], která udává vzdálenost dvou sousedních vlnoploch při vyzařování jednoduchého signálu s kmitočtem f [Hz] při rychlosti c [m/s] jinak řečeno vzdálenost dvou sousedních míst o stejném zředění nebo zhuštění. [7]

1.4.Odraz, lom a ohyb zvuku

U přímočarého vlnění, které se šíří od zdroje může nastat více případů, jak může změnit svůj směr. Pokud například budou v šíření stát v cestě dveře, část energie se pohltí do nich a projde do další místnosti, část se odrazí zpět do místnosti, kde se nachází její zdroj. Je tedy zřejmé, že intenzita odraženého vlnění bude menší než intenzita vlnění dopadajícího na dveře. Koeficient pohltivosti α udává schopnost jakou daný objekt pohlcuje energii, jeho velikost je závislá na materiálu objektu a charakteru jeho povrchu. Celková pohlcená energie dveří je dána vztahem $A = S\alpha$ [m²] závisí tedy na koeficientu pohltivosti α a na velikosti pohlcující plochy S [m²]. Jako příklad si představme otevřené okno o ploše 1m², u kterého je $\alpha = 1$, protože zde není nic, co by bránilo vlnění dále v šíření a neodráží se, je jeho celková absorpce rovná jeho ploše tedy $A = 1$ [m²]. Kvůli absorpci zvuku se např. ve zkušebnách pokrývají stěny místnosti kobercem s velkým koeficientem pohltivosti, aby byla velká část energie pohlcena a neodrážela se a tím nezkreslovala nahrávaný zvuk. [8]

Na obrázku č. 7, je ukázáno, jak se odrazí paprsek v kontaktu s nepropustnou plochu.



Obrázek 7 - Odraz mechanického vlnění [9]

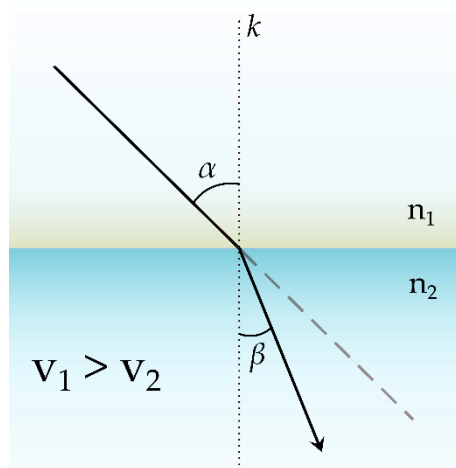
Jak je patrné z obrázku $\alpha' = \alpha$ čili úhel odrazu je roven úhlu dopadu. Platí zde zákon odrazu, který je stejný jak pro mechanické, tak pro elektromechanické vlnění. Z věty o shodnosti trojúhelníků plyne, že trojúhelník **ABD** je shodný s trojúhelníkem **DCA**. [9],[10]

K lomu vlnění dochází, jestliže přechází z jednoho prostředí do druhého, to je způsobeno jinou rychlostí v každém z nich. Platí zde zákon Lomu, který zní: „Úhel odrazu je roven úhlu dopadu, přičemž odražené vlnění zůstává v rovině dopadu. Odražený paprsek zůstává v rovině dopadu (v rovině dané dopadajícím paprskům a kolmicí dopadu) a svírá s kolmicí dopadu úhel odrazu, který je stejně velký jako úhel dopadu.“. [11]

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{v_1}{v_2}$$

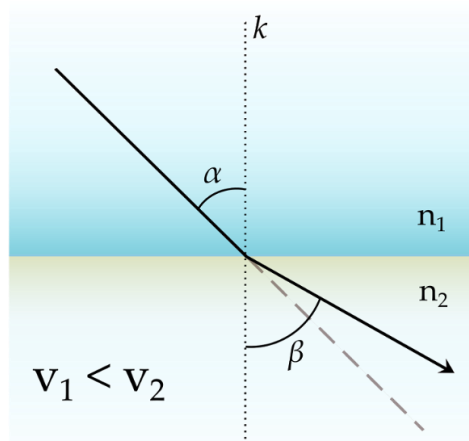
Podle velikosti rychlosti v původním a novém prostředí mohou nastat dva případy změny směru:

1. lom ke kolmici ($\alpha > \beta$) - pokud $v_1 > v_2$



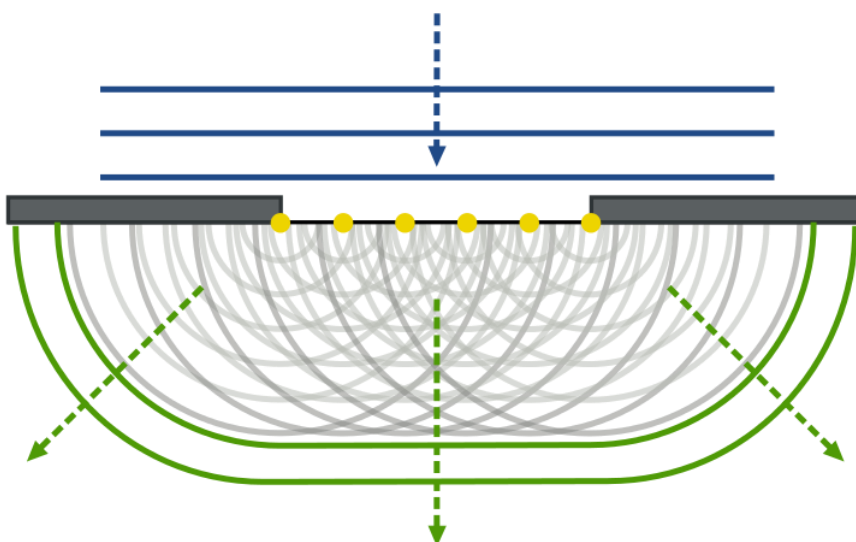
Obrázek 8 - Lom ke kolmici [11]

2. lom od kolmice ($\alpha < \beta$) - pokud $v_1 < v_2$



Obrázek 9 - Lom od kolmice [11]

Pokud vlnění dopadne na nepropustnou překážku malých rozměrů nebo velkou překážku s malým otvorem bude se nacházet i za ní a bude mít jiný směr. Jeho směr se změní podle Huygensova principu, který říká, že každý bod vlnoplochy lze brát za nový zdroj elementárního vlnění, které se šíří ve všech směrech od zdroje. Přičemž nový tvar vlny za malý okamžik později je roven tvaru vnější obálky těchto vln a kolmice na ní určuje nový směr šíření viz obrázek č. 10.



Obrázek 10- Ohyb vlnění, Huygensův princip [12]

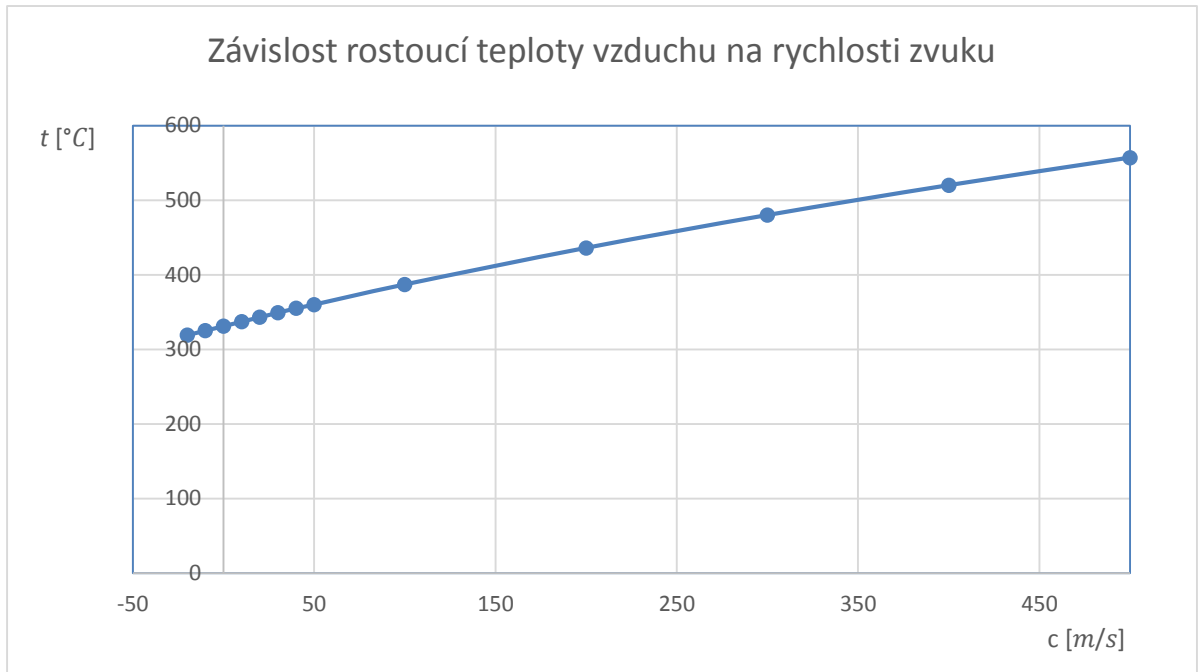
Ohyb je tím větší, čím je vlnová délka podobnější rozměrům otvoru. Proto například nevidíme za roh zdi, ale slyšíme. Je to z důvodu srovnatelnějších rozměrů vlnové délky zvuku $10^{-1}[m]$ oproti světlu $10^{-7}[m]$ s rozměry zdi. [12], [13]

1.5. Rychlost zvuku

Hlavním ukazatelem šíření zvuku v daném prostředí je velikost jeho rychlosti. Již v 17. století se podařilo skoro přesně určit rychlost zvuku francouzskému teologovi Marin Mersenne, který naměřil pomocí pokusu s kanónem 428 m/s . Jednalo se o jednoduchý pokus, při kterém byla známa vzdálenost umístění kanónu a doba která uplyne mezi zaznamenaným zábleskem a zvukem výstřelu. Přičemž bylo zřejmé, že rychlost světla dokáže člověk zaznamenat téměř okamžitě a rychlost zvuku se zpožděním. [14]

Velikost rychlosti jakou se šíří zvuková tlaková vlna je závislá na hustotě prostředí ve kterém se právě nachází $\rho [kg/m^3]$, teplotě $t [^{\circ}C]$, tlaku $p [Pa]$ a u vzduchu i na jeho vlhkosti. Závislost mezi rychlostí zvuku $c [m/s]$ ve vzduchu na teplotě $t [^{\circ}C]$ v Celsiových stupních se dá vypočítat

následujícím způsobem: $c = (331.57 + 0.6t) [m/s]$. Pokud je vzduch bez vlhkosti roste rychlost zvuku téměř lineárně s rostoucí teplotou, jako je graficky znázorněno níže. [15]



Graf 1 - Závislost rostoucí teploty na rychlosti zvuku

V ideálním případě neobsahuje vakuum žádné částice, tudíž se v něm nemůže zvuk dále šířit. Nejrychlejší je zvuk v pevných látkách, dále v kapalných a až v poslední řadě jsou látky plynné. Ukázka velikosti jeho rychlosti na daném prostředí a teplotě je znázorněna v tabulce č. 1. [15]

Tabulka 1 - Rychlost zvuku v závislosti na aktuálním prostředí [5]

Prostředí	c [m/s]	t [°C]
Vzduch	331.8	0
Voda	1500	25
Ocel	5000	20
Led	3250	-4
Sklo	5200	20

1.6. Hlukové emise a imise

Hlukové emise a imise jsou důležité pojmy související s problematikou hluku. Jejich základní rozdíl je v jejich vztahu k okolnímu prostředí. Hlukové emise nemají vliv na své okolí, jejich vztah se váže pouze na zdroj hluku. Zdrojem hluku se rozumí například pracovní stroje nebo

dopravní prostředky. Změřením typických veličin pro jejich hodnocení, získáme nedestruktivním způsobem informace o technickém stavu daného objektu. Naopak hlukové imise znamenají všechen sjednocený hluk od jednoho nebo více zdrojů, který je hodnocen z hlediska vlivu na akustickou kvalitu prostředí. Jinak řečeno slouží k posouzení dopadu na člověka. Tento typ hluku je pro nás důležitý a budeme se jím proto dále zabírat.

Během měření akustických imisí nám stěžejní informace poskytuje hladina akustického tlaku $A - L_p$ [dB], její časový průběh a ekvivalentní hladinu akustického tlaku $A - L_{Aeq,T}$ [dB]. [16]

Dále je uveden souhrn veličin určujících akustické imise, které určují hluk prostředí:

- **Hladina akustického tlaku L_p**

Je dána vztahem: $L_p = 20 \log \left(\frac{p}{p_0} \right)$ [dB]

Přičemž p sledovaný akustický tlak [dB]

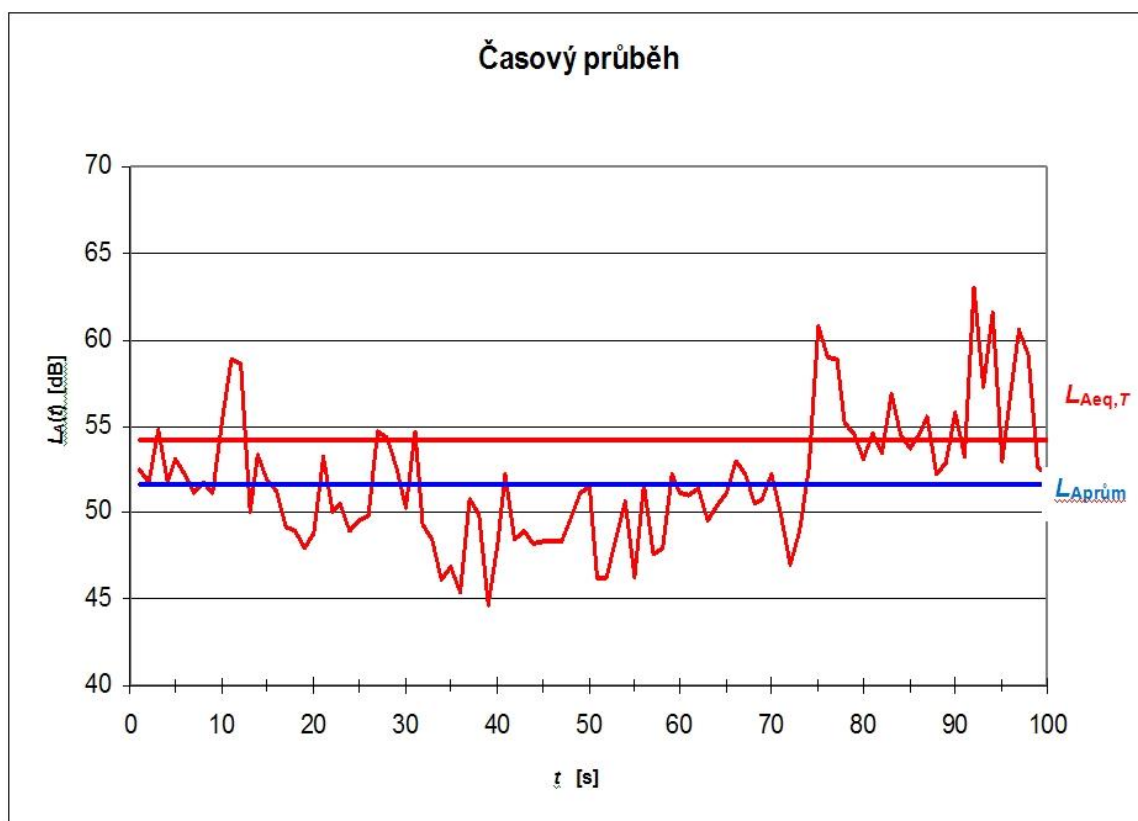
p_0 je referenční akustický tlak [dB] (jeho hodnota u vzduchu je $2 * 10^{-5}$ [Pa])

Lidský sluchový orgán je schopen zaznamenat nejslabší zvukový signál o akustickém tlaku p_0 , navíc rozlišuje tzv. barvu zvuku ta souvisí se schopností rozeznávat zvuky o různých kmitočtech. Z toho je patrné, že vyjadřování hodnot tlaku v Pascalech by bylo často chybové. Proto byla zavedena hladina akustického tlaku, kterou je nutno přiřazovat ke konkrétnímu kmitočtu. V jiném případě by bylo bezvýznamné přiřazovat mu význam, neboť nevypovídá nic o poloze signálu na kmitočtové ose. [16]

- **Ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$**

Hluk proměnný je případ, jehož hladina akustického tlaku $A - L_p$ se v čase a v daném místě mění o více než 5 dB. Značné kolísání hladiny s časem, není možné určit jednočíslně. Proto je zavedena ekvivalentní hladina akustického tlaku $A - L_{Aeq,T}$, která představuje fiktivní ustálenou hladinu akustického tlaku, se stejným účinkem na člověka ve sledovaném období, jako hladina proměnlivá za stejný čas. Negativní účinek proměnného hluku je roven celkové emisi akustické energie za dobu jeho působení T [s]. Jinak řečeno je to v podstatě energetický průměr, s tím rozdílem, že je stanovený na základě sčítání energetických hladin, který je vždy větší než průměr aritmetický, protože na základě pravidla o sčítání hladin, přispívají k výsledné hodnotě

více hodnoty vyšší než hodnoty nižší. Příklad rozdílu mezi průměrnou hladinou (aritmetický průměr) a ekvivalentní hladinou (energetický průměr) je znázorněn v následujícím obrázku.



Obrázek 11 - Porovnání ekvivalentní hodnoty akustického tlaku s průměrnou [17]

Je dána vztahem: $L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{\tau_2 - \tau_1} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{(p_A)^2(\tau)}{(p_0)^2} d\tau \right]$ [dB]

Přičemž $L_{Aeq,T}$ odpovídá časovému interval $T = \tau_2 - \tau_1$ [s]

$p_A(\tau)$ okamžitý akustický tlak A zvukového signálu. [15], [17]

- Hladina expozice zvuku (SEL)

Je hodnota ekvivalentní hladiny přepočtená na dobu 1 s. Výhodou SEL vyjádření je, že pro popis každého jednotlivého případu dostačuje jediný údaj místo udávání ekvivalentní hladiny společně s časem působení. Používáme především v případech, kdy je akustická situace vytvářena jednotlivými oddělenými akustickými událostmi jako například průjezdy vozidel.

Je dána vztahem: $L_{AE} = 10 \log \frac{1}{\tau_0} \int_{\tau_1}^{\tau_2} \frac{(p_A)^2(\tau)}{(p_0)^2} d\tau$ [dB]

Přičemž $\tau_2 - \tau_1$ je měřený časový interval, který zahrnuje podstatný hluk dané situace [s].

τ_0 referenční časový interval [s].

$p_A(\tau)$ okamžitý akustický tlak A zvukového signálu v daném místě prostředí [Pa].

p_0 je referenční hodnota akustického tlaku [dB]. [15]

- **Maximální hladina akustického tlaku L_{Amax}**

Maximální změřená hodnota akustického tlaku A v měřeném časovém úseku [dB].

- **Minimální hladina akustického tlaku L_{Amin}**

Minimální změřená hodnota akustického tlaku A v měřeném časovém úseku [dB].

- **Hladina akustického výkonu L_w**

Je dána vztahem $L_w = 10 \log \frac{W}{W_0}$ [dB]

Přičemž W je sledovaný akustický výkon [W]

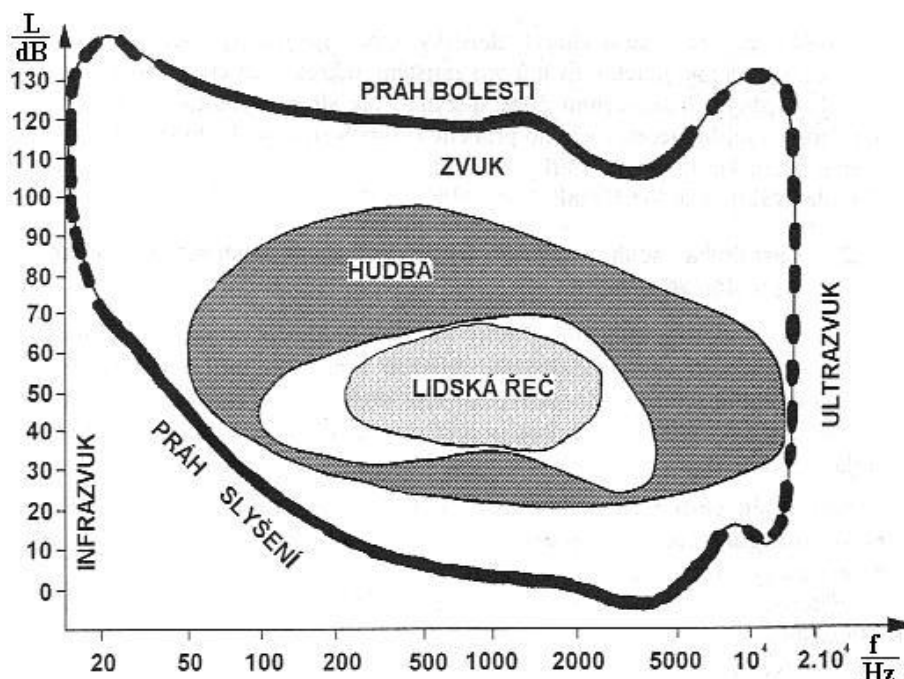
W_0 referenční akustický výkon, $W_0 = 10^{-12}$ [W]

Každému zvýšení akustického výkonu o jeden řád odpovídá zvýšení hladiny akustického výkonu o 10 dB. [15]

1.7. Sluchový orgán

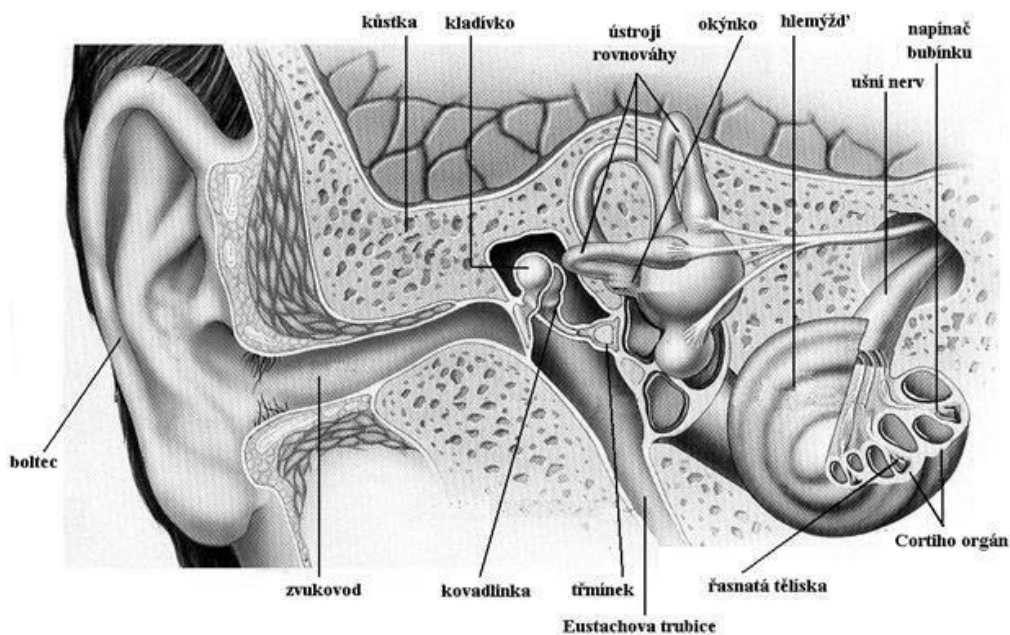
Lidské ucho je velmi složitý orgán v našem těle a k jeho správné funkci je zapotřebí i správné funkce našeho organismu, hlavně jeho nervů. Umožňuje nám rozlišování pestré škály zvuků, od kmitání tuhých těles až po proudění vody. Jak bylo již výše uvedeno, zvuk je vlastně změna tlaku, která probíhá rychleji než 20krát za sekundu, tato změna za sekundu rozpoznatelná lidským uchem určuje kmitočet [frekvenci] zvuku a jednotkou je 1 Hz [Hertz]. Kmitočtový rozsah vnímání zvuku je u zdravého člověka okolo 20 Hz až 20 kHz. Se stářím člověka se kmitočtové spektrum snižuje na cca 15kHz.

Na obrázku č. 12 je zobrazeno slyšitelné pásmo, které je schopno lidské ucho zachytit. Je ohraničeno tzv. prahem slyšitelnosti 0 [dB] a prahem bolesti 140 [dB]. Jak je patrné z obrázku nejcitlivější je ucho okolo 2-5 kHz. [18]



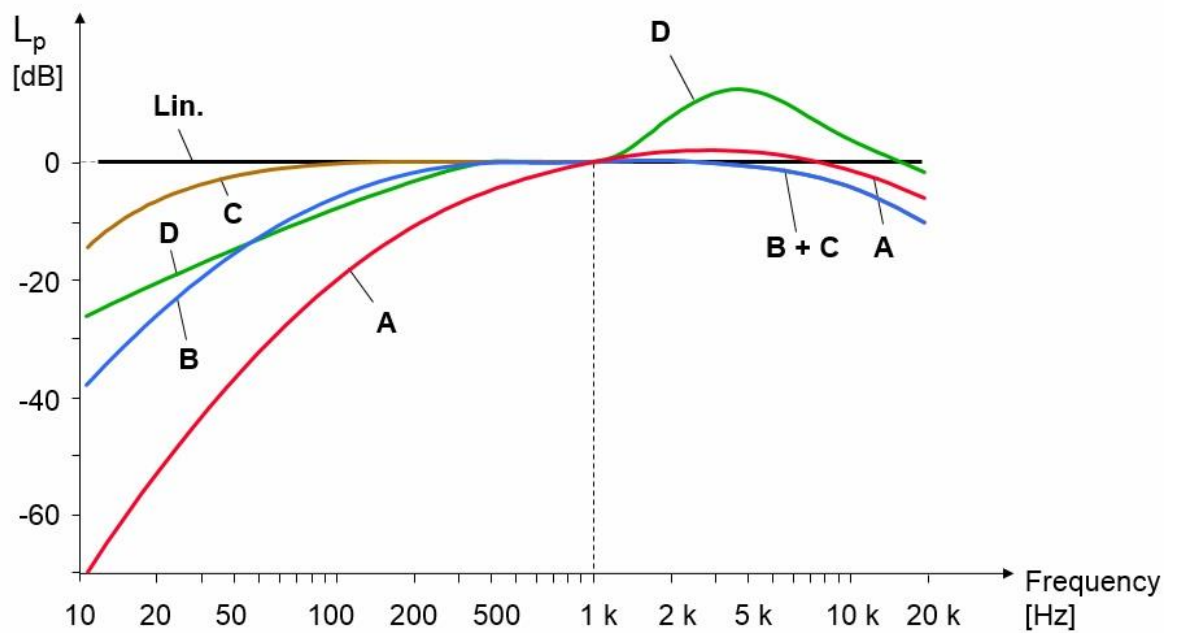
Obrázek 12 - Slyšitelné oblasti lidského ucha [18]

Sluchový vjem vznikne, jakmile akustické vlny projdou zvukovodem, dopadnou na bubínek, který rozkmitají. Chvění bubínku se mechanicky přenáší prostřednictvím středního ucha do ucha vnitřního. Vnitřní ucho představuje další odpor pro vedení zvuku. Vnímání zvuku nervy nastává podél basální membrány ušního závitku, kterému se říká hlemýžď. Zde také probíhá frekvenční analýza zvuku. Zvuky s rozličnou frekvencí zaznamenává membrána vnitřního ucha jako maximální záchvěvy v různých vzdálenostech od oválného okénka. Schéma lidského ucha je znázorněno na následujícím obrázku č. 13. [19]



Obrázek 13 - Složení sluchového orgánu [19]

Jelikož má sluchový orgán jinou citlivost při různých frekvencích, dochází z toho důvodu ke zkreslení při vnímání zvuku. Pro korigování hladiny akustického tlaku příslušných frekvencí, se využívá váhových filtrů (A, B, C, D) viz obrázek 14. Zvukoměr má za úkol prostřednictvím mikrofonu převést změny akustického tlaku na elektrický signál, váhové filtry jsou vřazeny do příslušných obvodů zvukoměru. Váhové filtry jsou tedy využity z důvodu přepočítání skutečných naměřených hodnoty hladin zvuku odpovídající necitlivosti lidského sluchu při různých frekvencích.



Obrázek 14 - Váhové filtry [35]

Pro měření hluku v životním prostředí se využívá váhového filtru A. Jak je patrné z předchozího obrázku, tento typ filtru tlumí frekvence pod 1 kHz a na frekvenci 10 Hz je signál utlumen o 70 dB.

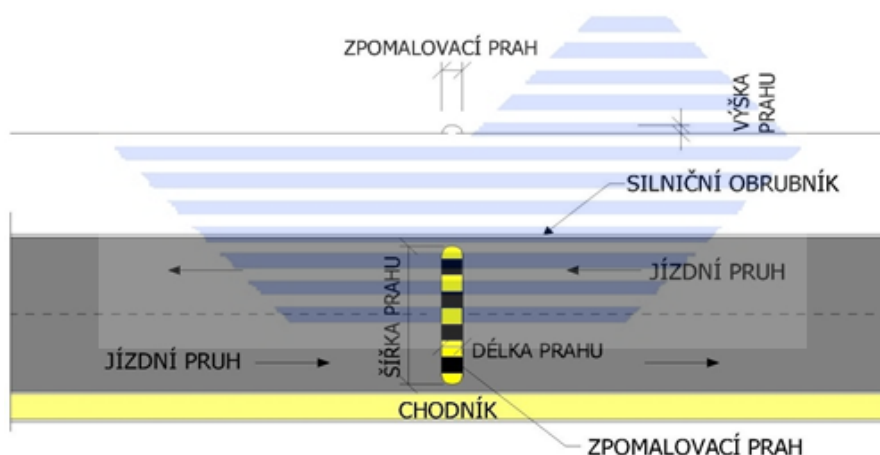
2 ZPOMALOVACÍ PRAH

2.1. Využití

Je uměle vytvořené vyvýšení pozemní komunikace, které slouží především jako preventivní opatření pro možnou srážku s chodci nebo cyklisty. Jde o stavebně-technické opatření pro snížení rychlosti na místních komunikacích. Zvýšení vozovky nutí řidiče silničního vozidla v kombinaci s dopravním značením snížit rychlost a zároveň zvýšit opatrnost. Používají se zejména tam, kde je nutné zdůraznit maximální dovolenou rychlost, která je v dané oblasti bezpečná pro své okolí. Většinou se nacházejí, v místech s velkým výskytem dětí tzn. u škol, pěších zón nebo v místech výskytu častých dopravních nehod, naopak nesmějí být použity na dálnicích. Jejich kladný vliv sebou nese ale i své zápory. Jedním z nich je zvýšení opotřebení nápravy silničních vozidel, dalším může být zvýšení akustických emisí ve svém okolí nebo zvýšení výfukových emisí z důvodu zpomalení vozidla a jeho opětovného rozjezdu.

2.2. Krátký zpomalovací práh

Jejich základní provedení je uvedeno ve vyhlášce č.30/2001 Sb., krátký práh je tvořen demontovatelnými díly, které jsou zpravidla žlutočerné. Je to umělé prudké zvýšení vozovky, které se na rozdíl od dlouhých zpomalovacích prahů stavebně nedělá. Zásadní parametr pro krátký práh je jeho výška, která musí být v rozsahu 30 – 80 mm a je závislá na délce prahu a maximální povolené rychlosti. Pro práh o šířce 0,8 m je doporučena výška 50 mm, v případě šířky 1,0 m je to výška 80 mm. Při montáži je důležité nezapomenout na mezeru mezi prahem a obrubníkem o velikosti 0,5 m – 1,0 m kvůli cyklistům. [20], [21]



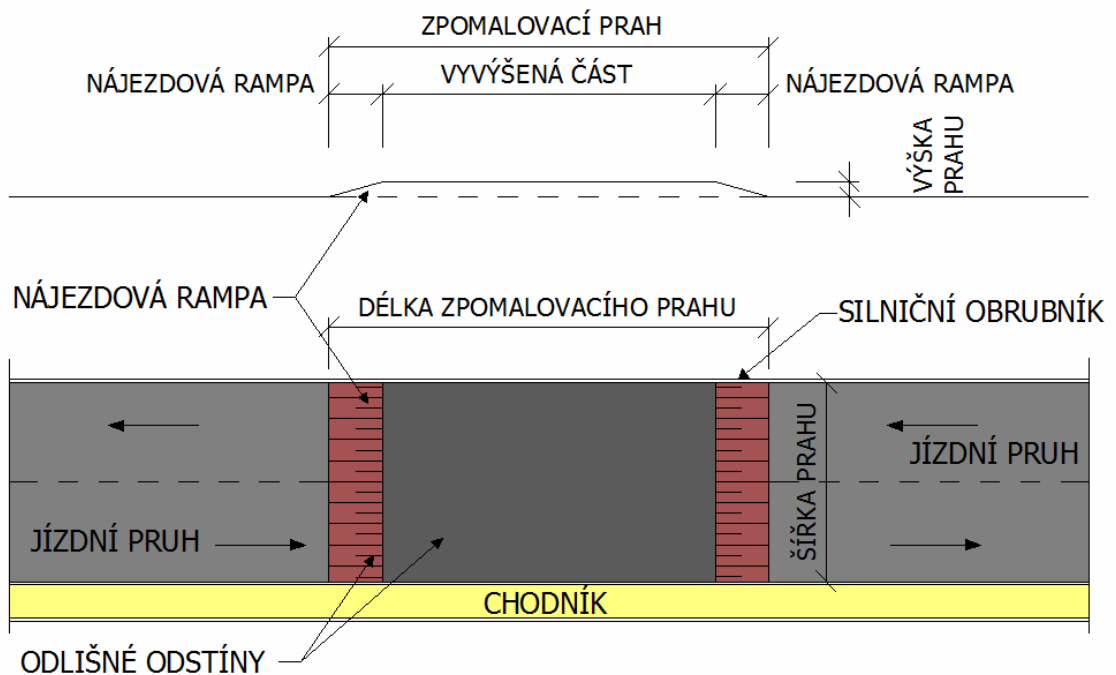
Obrázek 15 - Krátký zpomalovací práh [20]

Společnost BREVA Servis s.r.o. uvádí pro montáž plastových prahů pomocí nylonových hmoždinek a nerezových šroubů o výšce 60 mm nominální rychlost 10 km/h při délce 500 mm a šířce 430 mm. [22]

2.3.Dlouhý zpomalovací práh

Provádí se jako stavební zvýšení samotné vozovky. Nájezd tvoří pozvolně šikmá plocha, která oproti krátkým prahům méně strmá. Na úkor toho se nedá nic lehce demontovat nebo měnit. Velmi časté je použití s integrovaným přechodem pro chodce nebo místem pro přecházení. Konstrukční provedení jednotlivých prahů závisí na jejich konkrétním využití. Maximální rozpětí délky dlouhého zpomalovacího prahu je 5 m – 15 m. Délka je tvořena ze samotného prahu a nájezdové plochy. V kombinaci s přechodem pro chodce, je dále podřízena i šířce přechodu.

Velikost nájezdové plochy je závislá na jejím sklonu a výšce prahu. Její sklon má zásadní vliv na rychlost silničních vozidel, délka nikoliv. Očekávali se i využívání společně s vozidly hromadné dopravy je nutné volit menší sklon nájezdové plochy, většinou od 1:20 až po 1:40. U výstavby nových komunikací se doporučuje výška prahu 75 – 150 mm. [20],[21]



Obrázek 16 - Dlouhý zpomalovací práh [20]

Provedení dlouhých zpomalovacích prahů se může lišit rozměry, ale i svým tvarem. Základní rozdělení dle tvaru prahu je následující:

2.3.1. Lichoběžníkový tvar

V drtivé většině případů se používá právě tento druh dlouhého zpomalovacího prahu. Dá se totiž snadno kombinovat s přechodem pro chodce a to z toho důvodu, že vrchní plocha prahu je rovnoběžná s vozovkou a je přimknutá k obrubníku. V experimentální části budou realizována měření právě tohoto typu prahu s integrovaným přechodem pro chodce i bez něj. [20]



Obrázek 17 - Dlouhý lichoběžníkový zpomalovací práh

2.3.2. Stupňovitý tvar

Tento tvar je na rozdíl od ostatních, které jsou často z asfaltu, tvořen kamennými obrubníky nebo dlažbou. Má-li poslední stupeň délku nejméně 3 m, lze opět kombinovat s místem pro přecházení nebo přechodem pro chodce. [20]



Obrázek 18 - Stupňovitý tvar zpomalovacího prahu [23]

2.3.3 Vlnový a kruhový tvar

Vlnový tvar lze vytvořit složením dvou kruhových tvarů, tento druh je méně využívaný a setkáte se s ním jen zřídka. Prodloužením rovného úseku o 3 m lze docílit opět vhodného místa pro přecházení. Doporučená délka má rozpětí 3,5 – 4,5 m. [20]



Obrázek 19 – Vlnový, kruhový tvar zpomalovacího tvaru [24]

2.4. Zpomalovací polštář

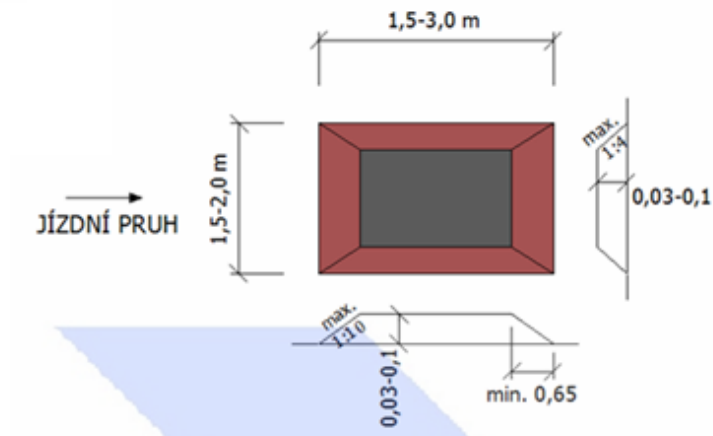
Výhodou tohoto typu zpomalovacích prahů je možnost zpomalení pouze cílené skupiny vozidel. Zvolením vhodného umístění a správné šířky polštáře, lze zpomalit například pouze osobní vozidla, vozidla hromadné dopravy přitom můžou projet bez snížení rychlosti. To je umožněno jinou vzdáleností rozchodu kol u každého typu z nich. Základním pravidlem proto je vhodně je kombinovat rozměry s umístěním tak, aby nebylo možné jeho objetí. Polštář může být tvořen jak z demontovatelných dílů, tak stavebním zvýšením vozovky.

Tvary polštářů mohou být následující:

2.4.1. Lichoběžníkový

Polštář může být konstrukčně řešen jak z prefabrikátu, tak stavebně. Rozměry jsou zvoleny tak, aby byl řidič nucen najet alespoň jedním kolem na práh, a musí plnit následující kritéria:

- Šířka v jednom jízdním pruhu v rozmezí 1,5 – 2,0 m
- Délka 1,5 – 3,0 m
- Výška zpomalovacího polštáře 30 – 80 mm (doporučuje se 70 mm)
- Maximální sklon nájezdové rampy ve směru jízdy 1:10
- Boční maximální sklon 1:4 [20], [21]



Obrázek 20 – Konstrukce polštářového prahu [20]

Při praktickém měření, budou probíhat měření na tomto typu prahu.

2.4.2. Malé kruhové

Dělají se pouze z prefabrikátů. Jejich doporučený průměr je v rozmezí 400 – 500 mm a výška 30 – 60 mm dle maximální dovolené rychlosti. Vzdálenost mezi jednotlivými polštáři se doporučuje 0,8 – 1,0 m. Upevňují se pomocí kotevnicích elementů. [20],[21]



Obrázek 21 - Malý kruhový zpomalovací práh [25]

2.5. Oblasti použití

Nesprávné umístění prahu v kombinaci s velkou rychlostí vozidla by mohlo vést k nešťastné události. Proto je nutné stanovit kritéria použití a vyvarovat se možné nehodě. Zpomalovací prahy nelze použít především na dálnicích, silnicích a místních komunikacích funkční skupiny A (rychlostní) a B (sběrné). Naopak použít je lze na místních komunikacích skupiny C (obslužné).

Dále jsou uvedena konkrétní oblasti použití pro jednotlivé druhy prahů:

Krátký zpomalovací práh je využit pouze na výše uvedených pozemních komunikacích, především pak:

- Při zklidňování dopravy na stávajícím stavu nebo rekonstrukci pozemní komunikace
- V pěší nebo obytné zóně a v zóně s dopravním omezením
- Lze ho využít také jako dočasné řešení před provedením stavebního opatření
- Při výstavbě okružních křižovatek může nahrazovat ostrov

Dlouhý zpomalovací je využit pouze na výše uvedených pozemních komunikacích, především pak:

- V obytných a pěších zónách
- V zónách s dopravním omezením
- V mezikřižatkových úsecích místních komunikací

Polštáře je možné použít stejnými uvedenými způsoby. Dále v místech jako dlouhé prahy (polštáře lichoběžníkové) a jako krátké prahy (kruhové polštáře). [20], [21]

3 MAXIMÁLNÍ PŘÍPUSTNÉ LIMITY HLUKU

V současnosti je silniční doprava jedním z nejrychleji se rozvíjejících oborů produkovaných lidskou činností. Je proto zřejmé, že legislativa musí obsahovat široké spektrum limitních hodnot, které slouží k minimalizaci zdravotních rizik a negativních dopadů na životní prostředí. Hluk ze silničních vozidel lze rozdělit do dvou skupin, podle toho na koho působí. Do první skupiny patří hluk vnitřní, který má přímý vliv na cestující uvnitř vozidla. Je vyvolán pohybem vozidla nebo jeho uvedením do provozu. Může pocházet například od motoru, rezonancí části karosérie, špatným podvozkem. Čím je menší počet těchto zdrojů, tím větší je pohodlí a komfort pro cestující uvnitř. Do druhé skupiny spadá hluk vnější, který znepříjemňuje život lidem žijících podél pozemních komunikací. Je závislí třeba na konkrétním typu vozovky, hustotě dopravy nebo vzdálenosti od komunikace. Zdrojem může být jak aerodynamický hluk od styku vzduchu s povrchem vozidla nebo valivý hluk od styku pneumatiky s vozovkou. Například v příměstských oblastech nebo sídlišťích může obtěžovat své okolí a být důvod k tomu ho začít řešit.

Právě hygienické předpisy a normy vnějšího hluku, které stanovují, maximální přípustné hodnoty podél komunikace budeme dále rozebírat.

3.1. Zákon č. 258/2000 Sb.

Tento předpis je jedním ze stěžejních předpisů pro oblast ochrany před nadměrným hlukem. Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů ze dne 14. července 2000 stanovuje povinnosti a práva fyzických a právnických osob v oblasti ochrany a podpory veřejného zdraví. Dále uděluje úkoly státních orgánů v této oblasti vyplývající z nařízení Evropské unie s cílem snižování hluku z hlediska dlouhodobého průměrného hlukového zatížení životního prostředí.

Tento zákon má široký kontext, přímo problematice hluku je věnován díl 6. Celá problematika je shrnuta do pěti paragrafů a je zkombinována s problematikou vibrací, jelikož s ní úzce souvisí. Protože je však tato práce zaměřena na hluk, dále budou vibrace vynechány.

První paragraf s označením (§ 30) ukládá povinnost všem osobám, které používají nebo provozují stroje a zařízení, jež jsou zdrojem hluku, aby nepřesahovali hygienické limity. Jsou povinni to zajistit technickými, organizačními a dalšími opatřeními. Za zdroj hluku zákon

označuje stroje a zařízení, která jsou zdrojem hluku, letiště, pozemní komunikace, dráhu a další objekty, jejichž provozem vzniká hluk.

V druhém odstavci prvního paragrafu (§ 30) je zase uvedeno za, co je považován hluk, je to zvuk, který překračuje hygienické limity a je pro zdraví člověka škodlivý. Dále je definován chráněný venkovní prostor. Překročení limitů je možné pouze v případě, že je z vážných důvodů nemožné limity dodržet a to na základě povolení příslušného orgánu ochrany veřejného zdraví. Musí se však prokázat, že hluk má rozumně dosažitelnou míru a nedosahuje extrému. Tuto míru si může každý vyložit jinak, a proto je to přesněji vysvětleno v druhém paragrafu (§ 31): „Rozumně dosažitelnou mírou se rozumí poměr mezi náklady na protihluková nebo anti-vibrační opatření a jejich přínosem ke snížení hlukové nebo vibrační zátěže fyzických osob stanovený i s ohledem na počet fyzických osob exponovaných nadlimitnímu hluku nebo vibracím”. [26]

Třetí paragraf (§ 32a) říká, že měření hluku podle tohoto zákona může provádět pouze osoba s osvědčením o akreditaci nebo držitel autorizace podle (§ 83c). Poslední paragraf (§ 34) dělí z hlediska měření a hodnocení hluku a vibrací den na denní a noční dobu. [26]

3.2. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Toto nařízení o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací upravuje konkrétní hygienické limity pro chráněný venkovní prostor staveb, chráněný vnitřní prostor staveb, chráněný venkovní prostor a pracoviště. Limitní hodnoty jsou pro každý prostor rozdílné. Například limity pro chráněné vnitřní prostory staveb, jsou stanoveny jako maximální jednorázová hodnota nebo ekvivalentní hladina hluku. Podle (§ 12) s výjimkou vysokoenergetického impulsního hluku se jeho hodnoty vyjadřují tzv. ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$. Ve dne se stanovují pro 8 souvislých nejhlučnějších hodin ($L_{Aeq,8h}$). V noci zase jenom pro jednu hodinu, která je nejhlučnější ($L_{Aeq,1h}$). Pro hluk ze silničních komunikací s výjimkou účelových komunikací a železniční dráhy a dále pro hluk vyprodukovaný leteckým provozem se stanoví ekvivalentní hladina akustického tlaku pro celých 24 hod. Pro denní dobu 16 hodin ($L_{Aeq,16h}$) pro noční 8 hodin ($L_{Aeq,8h}$). To je u vnitřních i vnějších prostorů stejné. S výjimkou leteckého provozu a impulsního hluku, se hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A , v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru, vypočte součtem základní hladiny akustického tlaku A . Výsledkem je 50 dB, to však není konečná hodnota, zřetel musí být brán také na korekci, která je v příloze č. 3 k tomuto nařízení, její hodnota závisí na aktuální době a typu prostoru.

Tabulka 2 - Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku [27]

Druh chráněného prostoru	Korekce [dB]			
	1)	2)	3)	4)
Chráněný venkovní prostor staveb lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	-5	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor lůžkových zdravotnických zařízení včetně lázní	0	0	+5	+15
Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor	0	+5	+10	+20

V noci se přičítá navíc korekce -10 dB pro chráněný venkovní prostor staveb, s výjimkou hluku z dopravy na drahách železnic, na které se použije korekce -5 dB. Korekce č. 1 je pro zdroje, které nepocházejí z dopravy, jako například hluk z veřejné produkce hudby.

Korekce č. 2 je použita v případě, že je produkována dopravou na silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a dráhách.

Následující korekce č. 3 se využije v případě, jedná-li se o silnice I. a II. třídy, místní komunikace I. a II. třídy, a pokud je tento hluk dominantní vůči hluku z ostatních typů komunikací. Tato korekce je ještě použita pro ochranné pásmo drah.

Korekce č. 4 je použita v případě v případě staré hlukové zátěže na pozemních komunikacích s výjimkou účelových komunikací a dráhách uvedených v bodu 2) a 3). Tato Korekce je v platnosti i po položení nového povrchu vozovky nebo její rekonstrukci, nesmí však dojít ke zhoršení stávající hlučnosti. Je použita i v případě krátkodobých objízdných tras. S touto korekcí souvisí i pojem „stará hluková zátěž“. Starou hlukovou zátěží se rozumí stav hlučnosti způsobený silniční a železniční dopravou, který nastal před koncem roku 2000. Speciální limit pro starou hlukovou zátěž byl stanoven proto, aby se především v okolí hlavních silnic dosáhlo snadného splnění limitu bez nutnosti zásadních stavebních úprav a nákladných investic.

Ze začátku se může zdát, že legislativa není jednoznačná a je nepřehledná. Stanovuje však jednoznačně dané hygienické limity, o které se může kdokoli jimi postižený opřít.

Tabulka 3- Výsledné hygienické limity přehledně [27]

Chráněný venkovní prostor ostatních staveb a chráněný ostatní venkovní prostor	den (6:00-22:00)	noc (22:00-6:00)
základní limit	50 dB	40 dB
pro hluk ze silniční dopravy (místní komunikace)	55 dB	45 dB
pro hluk z železniční dopravy	55 dB	50 dB
pro hluk z hlavních silnic	60 dB	50 dB
pro hluk v ochranných pásmech drah	60 dB	55 dB
pro starou hlukovou zátěž	70 dB	60 dB
pro starou hlukovou zátěž u železničních drah	70 dB	65 dB

Pro nově vybudované komunikace je samozřejmě daleko snazší dodržet tyto limity. Největší problém je u historických budov, které jsou umístěny přímo u hlavních silnic a produkují nejvíce hlukových emisí. [27]

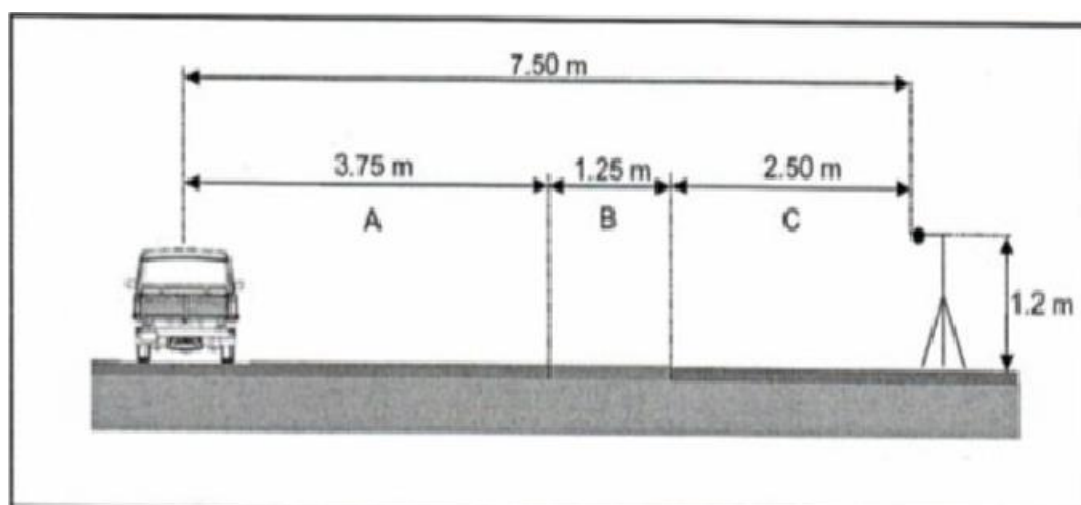
Protože naměřené hodnoty byly získány pomocí upravené metodiky a při různé intenzitě provozu, není možné je porovnávat s limitními hodnotami v uvedené legislativě. Technické normy související s hlukem jsou uvedeny v příloze.

4 NÁVRH VHODNÉ METODIKY MĚŘENÍ

Cílem této práce je navrhnout vhodnou metodiku měření hluku u zpomalovacích prahů, realizovat podle této metodiky měření a zhodnotit jejich vliv na své okolí, popřípadě navrhnout opatření pro snížení hluku. Při návrhu metodiky měření se ukázalo, že metodika, kterou navrhnul v diplomové práci kolega ing. Miloš Horák [29], se osvědčuje po určitých modifikacích i při měření hlukové zátěže dopravních prostředků v kontaktu se zpomalovacími prahy. Metodika byla tedy převzata a následně upravena.

4.1. Metoda SPB

Základním podkladem pro měření touto metodou je již uvedená norma ČSN ISO 11819-1, část 1. Tato část normy se soustředí na měření hluku statickou metodou při průjezdu označovanou jako metoda SPB. Druhá část normy, je zaměřena na metodu měření valivého hluku označována jako CPX, která je využívána hojněji. CPX je vhodná pro přesný srovnávací monitoring hlučnosti povrchů komunikací, popřípadě pro dlouhý časový monitoring. Měří však pouze hluk vzniklý odvalováním pneumatiky, nebere v potaz další akustické vlastnosti vozovky. Z tohoto důvodu, lepší dostupnosti stacionárního zvukoměru a menší technické náročnosti byla zvolena statická metoda SPB. Je vhodnější pro hodnocení vlivu hluku šířícího se v okolí komunikace. Na druhou stranu metoda SPB vyžaduje vyšší časovou a organizační náročnost. Vzdálenosti umístění mikrofону jsou podle normy 7,5 m od přilehlého jízdního pruhu a 1,2 m nad rovinou přilehlé komunikace. Přesnější vysvětlení je graficky znázorněno na obrázku č. 22



Obrázek 22- Vzdálenosti umístění mikrofону [30]

Přesné dodržení vzdálenosti 7,5 m od osy přilehlého jízdního pruhu však není ve většině případů možné, špatné okolní podmínky komunikace brání umístění mikrofonu. Důležité je stanovit si konstantní vzdálenost, u které místní podmínky ve všech případech dovolují umístění mikrofonu. V našem případě je to 1,6 m od přilehlého jízdního pruhu, který se nachází přímo vedle zpomalovacího prahu, tuto vzdálenost zachovat při všech měřeních konstantní. Volbou této hodnoty bude zjištěna i hladina ekvivalentního akustického tlaku působícího na chodce, protože v přibližně stejné vzdálenosti se většina chodců nachází. Nedodržení vzdálenosti 7,5 m nebude mít významný vliv na prováděná měření, protože měření bude pouze orientační. Získané údaje budou srovnávány především mezi sebou, proto je důležité zachovat konstantní vzdálenost ve všech případech. Noremní výška 1,2 m nad rovinou přilehlé komunikace je dodržena. Ukázka z měření je na obrázku č. 23.



Obrázek 23 - Ukázka z měření hluku na stanovišti č. 2

Podle normy by měla být vozidla dělena do kategorií (osobní, těžká dvounápravová a těžká vícenápravová vozidla). Do měření nebudou zahrnuta nákladní vozidla s celkovou převyšující hmotností 3500 kg, pracovní stroje (bagry, traktory), policejní vozidla nebo vozy záchranné služby se zapnutými majáky nebo jakákoliv jiná vozidla výrazně převyšující svou hlučností ostatní vozidla. Toho lze docílit uvedením měřicího mikrofonu do režimu "Pause" (neměří). Dle normy ČSN ISO 11819-1 by tak mělo být učiněno nejpozději 25,9 m před středem měřicího přístroje, mikrofon by měl být uveden zpátky do měřicího režimu 35,9 m za jeho středem. Norma obsahuje informaci 20 m v souvislosti s odrazivým materiálem. To znamená jakýkoliv

objekt, který se dostane, do této vzdálenosti již ovlivňuje dané měření. Vzhledem k umístění mikrofonu pouze 1,6 m od osy přilehlého jízdního pruhu, je pomyslná vzdálenost prodloužena o 5,9 m. Vozidla městské hromadné dopravy (autobusy, trolejbusy) jsou do měření započítána, protože jsou nedílnou součástí dopravy v Pardubicích a to prakticky 24 hodin denně.

Hlavní měřené veličiny jsou minimální hodnota akustického tlaku L_{AMIN} , maximální hodnota akustického tlaku L_{AMAX} , ekvivalentní hodnota akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ [dB]. Protože je práce zaměřena na zpomalovací prahy, porovnávací hodnota akustického pozadí bude zjištěna v jiném úseku stejné ulice bez zpomalovacích prahů, je zvolen v dostatečné vzdálenosti, aby hodnoty pozadí nebyly ovlivněny prahy. Při metodě SPB je jako pozadí brána hodnota L_{AMIN} , pozadí pro naši zvolenou metodu bude pozadí ekvivalentní hladina $L_{Aeq,T}$ bez prahů. Podmínka o rozdílu min 10 dB mezi hodnotou pozadí a ekvivalentní hladinou proto nemusí být dodržena. Vzhledem k počtu měření, byla doba uskutečnění jednotlivých měření stanovena na 10 minut, pro co nejrychlejší realizaci. Jelikož se nejedná o hygienické měření, ale pouze orientační, dvojitá realizace měření na každém ze stanovišť je dostačující. Všechny stanoviště se nacházejí ve městech, vycházejí tedy z předpokladu dodržení maximální rychlosti 50 km/h, proto nebude rychlost vozidel zaznamenávána. Přejezdová rychlost přes prah má ještě mnohem menší hodnotu (cca 20 km/h), nominální rychlost se udává od 10 - 30 km/h v závislosti na typu konkrétního prahu, je tedy menší než maximální rychlost ve městě. Čas a termín měření byl volen tak, aby byla zachycena co největší intenzita provozu. Všechny měření tedy probíhaly v denní dobu a pracovní dny v týdnu (pondělí až pátek).

4.2. Použité přístroje

Pro měření hladin akustického tlaku byl použit zvukoměr 2238 Mediator od výrobce Brüel & Kjaer. Podle údajů od výrobce je tento přístroj ideální pro použití v oblasti životního prostředí. Je to snadno ovladatelný základní zvukoměr třídy I, který splňuje příslušné platné normy. Ve venkovním prostředí musí být použit ochranný kryt z molitanu proti větru. Dalším důležitým faktorem je zajistit, aby nebyl zvukoměr vystaven extrémním vnějším vlivům. Například velké vibrace, extrémně vysoká nebo nízká teplota, elektrická nebo magnetická pole mohou mít rušivý vliv na výsledek měření. Před začátkem každého měření, je za potřeby přístroj kalibrovat a to před a po každém měření, aby rovněž nedošlo ke zkreslení hodnot. Po skončení se zkontroluje stav přístrojů a jejich nastavení, které může být rozdílné o maximálně 0,5 dB od původně nastavených hodnot. Ke kalibraci slouží příslušné akustické kalibrátory, které musí odpovídat příslušné normě. Na obrázku č. 24 je ukázán použitý měřicí přístroj.



Obrázek 24 - Zvukoměr 2238 Mediator

Dále jsou uvedeny všechny důležité vlastnosti zvukoměru 2238 Mediator:

- Pro měření v oblasti životního prostředí
- Pro měření v pracovním prostředí
- Frekvenční analýzy zvuku
- Váhový filtr typu A
- Hodnocení pro použití chráničů sluchu
- Snižování hluku
- Hodnocení hluku výrobků
- Obecné měření zvuku ve třídě 1
- Splňuje normy IEC 60651 typ 1, IEC 60804, IEC/EN 61672 třída 1
- Dynamický rozsah 80 dB
- Dva RMS detektory, jeden špičkový detektor
- Paměť 2 Mb pro uložení až 511 měření
- Sériové rozhraní pro spojení s PC (RS232)
- Možnost změny funkcí pomocí interních program

- 1/1 – 1/3 oktávové kmitočtové pásmo
- Vnitřní hodiny
- Poloautomatická kalibrace se záznamem 20 kalibrací [31]

Pro vyměření normované vzdálenosti 1,6 m od přilehlého jízdního pruhu a výšky umístění zvukoměru 1,2 m byl využit metr s rozsahem 5 m. Ke kontrole povětrnostních podmínek byl použit anemometr s integrovaným teploměrem, který dokáže měřit rychlost proudění vzduchu a jeho teplotu. Pro záznam projíždějících aut a následný výpočet intenzity provozu byla použita videokamera umístěna na stativu.

4.3. Vnější podmínky měření

4.3.1. Okolní terén

Nevýhodou metody SPB, je ovlivnění výsledků okolním terénem. Jeho vliv souvisí zejména s šířením hluku do svého okolí. Zvolené místo má významný vliv na výslednou hladinu hluku. Zvukové vlny mohou být buď pohlceny (pokles intenzity zvuku) nebo odraženy v závislosti na geometrických tvarech a fyzikálních vlastnostech povrchu. Překážky nebo zástavby jsou dalším faktorem hrajícím svoji roli v absorpci a odrazu. Podle normy ČSN ISO 11819-1, část 1. musí být zkoušená část povrchu rozlehlá nejméně 30 m na obě strany od měřícího zařízení, testovaný úsek by měl být v celé své délce homogenní, vozovka musí být přímá a vodorovná v dobrém stavu. Neměla by být také znečištěna (například listím). [15]

4.3.2. Meteorologické vlivy

Klimatické podmínky v praxi představují určité ztráty při přenosu energie oproti ideálnímu prostředí. Vlhkost vzduchu je jedním z méně významných představitelů útlumu zvuku, největší útlum zvukové vlny je při cca 10 – 20 % relativní vlhkosti vzduchu při ideální teplotě 20 °C. Jelikož pohyb vzduchu v atmosféře je neustálý, měl by být brán zřetel také na rychlost větru, která by neměla přesáhnout 5 m/s. Další vlivy na šíření akustické energie jsou mlha, déšť nebo sníh. Vlivem povětrnostních podmínek je těžké reprodukovat měření a přesvědčit se o správnosti naměřených hodnot, proto je v technické literatuře velice málo informací o tomto faktoru. Přibližný útlum hustou mlhou může být cca až 30 dB/km. Následkem dopadu deště nebo sněhu, je však zároveň změna akustických vlastností povrchu vozovky. Produkovaný hluk ve styku pneumatiky s deštěm či sněhem, je jiný oproti suché vozovce. Zároveň sněhová nebo dešťová pokrývka vozovky, má jiné tlumící vlastnosti zvuku. Proto je

nutné zajistit, aby byl při měření povrch vozovky suchý. Poslední vliv na ztráty přenosu energie je teplota. Ideálním případem je teplota 20 °C, nevýrazné kolísání okolo této teploty nemá významný vliv výsledné hodnoty z měření. Dostane-li se však teplota pod 5 °C, nesmí být měření uskutečněno. Výše uvedené vlivy je nutné při každém prováděném měření kontrolovat, při překročení jednoho z limitů těchto vlivů nebo při zpozorování deště či sněhu, nelze měření provádět. [15]

4.4. Obsah protokolu měření hluku

Výstupem z každého měření by měla být pečlivá dokumentace, která by měla obsahovat následující informace:

- Konkrétní místo a čas
- Identifikaci instituce provádějící měření vč. jména osob a jejich způsobilosti
- Použité měřicí vybavení a údaje o jeho kalibraci
- Použité měřicí a výpočtové metody (u nestandardních metod přesně popsat)
- Popis měřicích míst
- Umístění mikrofonu
- Stav okolního terénu
- Výsledek měření hluku pozadí
- Měřicí časové intervaly
- Popis technických parametrů zdroje hluku, ale i konkrétní měřené činnosti
- Počty projetých vozidel
- Naměřené konečné hodnoty včetně výpočtů a nejistoty měření
- Odkaz na konkrétní výpočet nejistoty měření
- Meteorologické podmínky při měření (Vlhkost, teplota, rychlost větru atd.)
- Další zdroje hluku, které nebyly cílem měření

Jelikož je měření pouze orientační a realizováno v provozních podmínkách, nemusí protokol obsahovat všechny výše uvedené informace. Nezbytnou podmínkou je však uvedení stěžejních údajů, pro zhodnocení měření. [32]

5 PRAKTICKÉ MĚŘENÍ HLUKU

Uvedené výsledky a hodnocení provedených měření, lze využít pouze jako hodnoty a závěry především orientační. Nelze je využít jako podklad v podobě přesné dokumentace hygienických hodnot, například pro soudní spory nebo jiné závažné tvrzení. To především z důvodu malé přesnosti měření. Pro takovou dokumentaci, by bylo zapotřebí volit mnohem delší časové úseky jednotlivých měření a dodržet veškeré detaily uvedené v normě. V následující tabulce č. 4 je uveden seznam všech měřících míst:

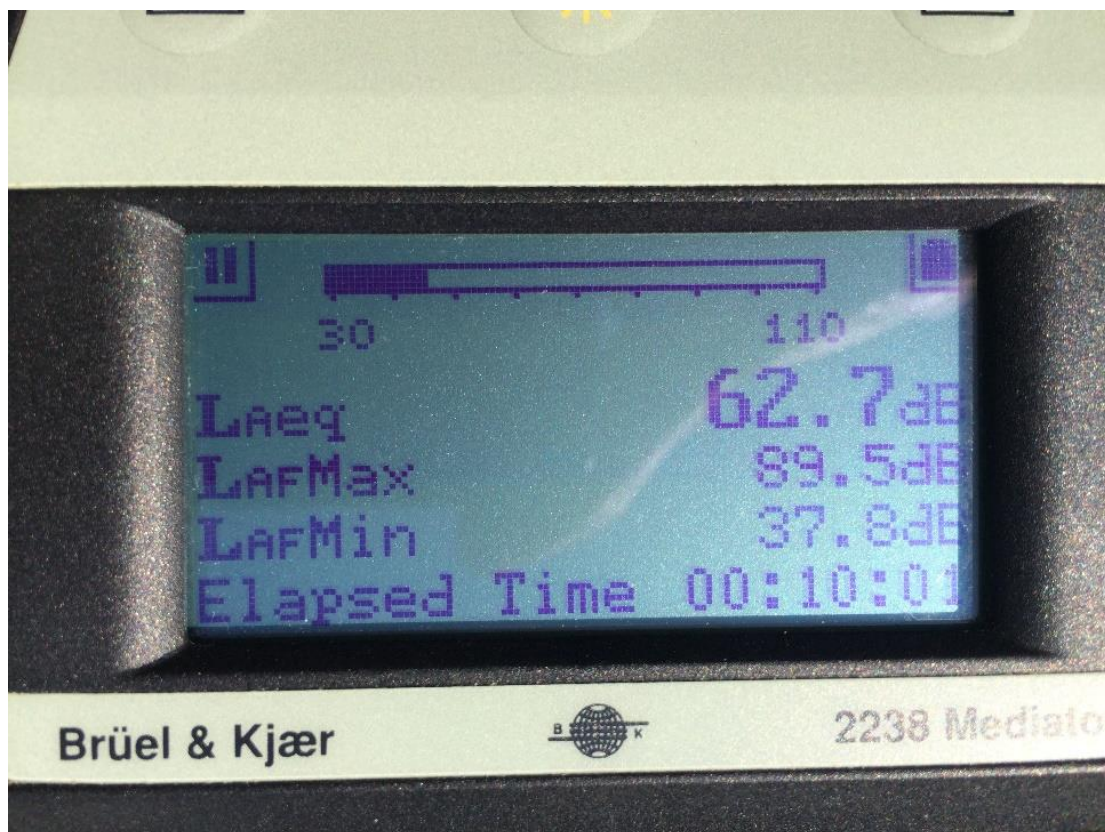
Tabulka 4 - seznam všech měřících míst

Seznam stanovišť	Číslo měření	Typ zpomalovacího prahu	Datum realizace měření	Časový úsek měření
Stanoviště č. 1 Ulice Kunětická	Měření č. 1	Polštář	5. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 2	Lichoběžník bez přechodu	5. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 3	Pozadí	5. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 4	Pozadí	13. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 5	Lichoběžník bez přechodu	13. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 6	Polštář	13. 4. 2016	10 minut
Stanoviště č. 2 Ulice Studentská	Měření č. 7	Lichoběžník s přechodem	13. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 8	Pozadí	13. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 9	2. Lichoběžník s přechodem	19. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 10	2. Lichoběžník s přechodem	19. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 11	Pozadí	19. 4. 2016	10 minut

	Měření č. 12	1. Lichoběžník s přechodem	19. 4. 2016	10 minut
Stanoviště č. 3 Ulice Prodloužená	Měření č. 13	Lichoběžník s přechodem	19. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 14	Pozadí	19. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 15	Lichoběžník s přechodem	26. 4. 2016	10 minut
	Měření č. 16	Pozadí	26. 4. 2016	10 minut

5.1. Průběh realizace měření

Před začátkem samotného měření, bylo nutné kalibrovat měřicí přístroj a ověřit jeho funkčnost. Následoval výběr vhodného stanoviště, přeprava a uvedení do chodu měřících přístrojů. Dále proběhla kontrola teploty vzduchu teploměrem, rychlosti větru anemometrem a naposledy vizuální kontrola povrchu vozovky. Při souladu všech vnějších vlivů s výše uvedenými podmínkami, byly metrem odměřeny vzdálenosti umístění mikrofону. Na zvukoměr byla umístěna molitanová krytka proti větru. Současně byla zaznamenána okamžitá rychlost větru, teplota, datum a čas. S umístěním zvukoměru probíhalo také vhodné umístění videokamery pro zřetelný záznam intenzity provozu. Měřeny byly tedy již uvedené veličiny minimální hodnota akustického tlaku L_{AMIN} , maximální hodnota akustického tlaku L_{AMAX} , ekvivalentní hodnota akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ [dB]. Zaznamenané veličiny jsou uvedeny na obrázku č. 25.



Obrázek 25 - Ukázka zaznamenaných hodnot Mediator 2238

Jednotlivá měření probíhala přesně odměřených 10 minut. Při výskytu nákladních vozidel s celkovou převyšující hmotností 3500 kg, pracovních strojů nebo vozidel se zapnutými majáky, bylo měřidlo uvedeno do režimu “Pause” s dostatečným předstihem. Po skončení měření bylo veškeré vybavení složeno a přeneseno na další stanoviště, kde byl postup stejný.

5.2. Stanoviště č. 1

První stanoviště se nachází v ulici Kunětická v Pardubicích, 400 metrů od Univerzity Pardubice, přesné GPS souřadnice místa jsou 50° 3' 11.9240955" N, 15° 46' 16.3631344" E. [34] Toto místo bylo vytipováno, kvůli stížnosti lidí bydlících vedle zpomalovacích prahů na vysokou hlučnost. Dalším důvodem byla dobrá dostupnost z univerzity a především fakt, že se zde nacházejí dva odlišné druhy zpomalovacích prahů. První měření tedy probíhalo na zpomalovacích polštářích, druhé pak na dlouhém lichoběžníkovém prahu a naposledy byla zjištěna hlučnost projíždějících aut bez prahu (tedy pozadí). Následující tři měření proběhly

v dalším termínu v opačném pořadí. Ne vždy se však umístění polštářů v kombinaci s rozměry povedou a splní svůj účel, viz obrázek č. 26.



Obrázek 26 - Ukázka špatného umístění polštářů na stanovišti č. 1

Vzhledem k tomu, že je možné realizovat zpomalovací prahy pouze na obslužných komunikacích (typu C), je proto těžké zachytit co největší intenzitu provozu. Celkem bylo tedy na tomto stanovišti č. 1 realizováno šest měření během dvou termínů, jejich rozmístění je ukázáno následujícím obrázkem č. 27.



Obrázek 27 – Mapa všech realizovaných měření na stanovišti č. 1 [33]

První termín měření

První termín, během kterého proběhla tři měření na stanovišti č. 1 v řadě za sebou, byl realizován 5. dubna 2016 v 7:30 hodin. Teplota vzduchu byla 14 °C a vítr dosahoval maximální rychlosti 2 m/s. V místě nebyla registrována viditelná mlha nebo déšť, které by mohly ovlivnit výsledné měření. Povrch vozovky byl nenarušený, suchý a bez jakékoliv známky znečištění. Všechny podmínky okolního terénu byly splněny. Stanovený čas měření vycházel z předpokladu myšlenky vyšší intenzity dopravy. Myšlenka byla založena na jednoduché úvaze, a to předpokladu, že většina lidí vyjíždí do škol nebo zaměstnání před 8:00 hodinou. Během prvních dvou měření byl čas pozastaven na cca (1min) z důvodu průjezdu těžkého nákladního vozidla.

1. Protokol z měření

Tabulka 5 - 1. Protokol z měření na stanovišti č. 1

Ulice Kunětická	1. Měření	2. Měření	3. Měření
Datum	5. dubna 2016	5. dubna 2016	5. dubna 2016
Typ zpomalovacího prahu	Polštář – lich.	Lich. bez přechodu	Pozadí
Délka měření	10 min. (7:30 – 7:41)	10 min. (7:45 – 7:56)	10min. (8:05 – 8:15)
Intenzita provozu	17	14	16
Použitý měřicí přístroj hluku	Zvukoměr 2238 Mediator (výrobce Brüel & Kjaer)		
Použitý váhový filtr	A		
Předpokládaná rychlost vozidel	cca 20 km/h	cca 20 km/h	cca 20 km/h
Teplota/ rychlost vzduchu	14°C/ (2 m/s)	14°C/ (2 m/s)	14°C/ (2 m/s)
Max. akustická hladina/ Min.	81,9/43,1	81,8/40,6	84,5/40,6
Ekvivalentní hladina	60,7	58,8	62,4

Druhý termín měření

Druhý termín byl po dohodě s vedoucím bakalářské práce stanoven na 13. duben 2016. Měření započalo v 14:15 hodin na prvním stanovišti, protože se výše uvedená úvaha vzhledem k počtu projetých vozidel neukázala jako příliš efektivní, čas byl proto posunut o několik hodin později s předpokladem vyšší intenzity dopravy. Teplota vzduchu dosahovala 23 °C, bylo jasno bez mraku a vítr dosahoval rychlosti 1 m/s. Žádné změny ohledně okolního terénu nebyly registrovány. Během druhého termínu proběhl přesun mezi stanovišti 1 a 2. Celkem tedy během tohoto termínu bylo realizováno pět měření, tři měření na stanovišti č. 1 a dvě měření na stanovišti č. 2.



Obrázek 28 - Ukázka z druhého termínu měření v ulici Kunětická

2. protokol z měření

Tabulka 6 - 2. Protokol z měření na stanovišti č. 1

Ulice Kunětická	4. Měření	5. Měření	6. Měření
Datum	13. dubna 2016	13. dubna 2016	13. dubna 2016
Typ zpomalovacího prahu	Pozadí	Lich. bez přechodu	Polštář – lich.
Délka měření	10 min. (14:15 – 14:25)	10 min. (14:30 – 14:40)	10min. (14:45 – 14:55)
Intenzita provozu	31	27	19
Použitý měřicí přístroj hluku	Zvukoměr 2238 Mediator (výrobce Brüel & Kjaer)		
Použitý váhový filtr	A		
Předpokládaná rychlost vozidel	cca 20 km/h	cca 20 km/h	cca 20 km/h
Teplota/ rychlost vzduchu	23°C/ (1 m/s)	23°C/ (1 m/s)	23°C/ (1 m/s)
Max. akustická hladina/ Min.	79,2/33,2	78,2/35,7	89,5/37,8
Ekvivalentní hladina	58,5	58,1	62,7

Zhodnocení stanoviště č. 1

Z naměřených hodnot, které jsou uvedeny v předchozích dvou protokolech, je patrné, že intenzita provozu nebyla příliš velká. Uvádí se, že při zvýšení intenzity dopravy na dvojnásobek, by měla být původní ekvivalentní hladina zvýšena o 3 dB. To by se potvrdilo například u naměřeného pozadí, kde byla intenzita provozu při druhém měření téměř dvojnásobná a ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ zvýšena téměř o 4 dB. Zřetel však musí být brát na maximální hodnotu akustického tlaku L_{AMAX} , která má při tak malém provozu velký vliv na ekvivalentní hladinu. Stačí tedy průjezd staršího hlučnějšího vozidla a výsledná ekvivalentní hodnota je výrazně ovlivněna. Dále je vidět z měření č. 1 a č. 2, že polštářový typ prahu měl větší ekvivalentní hladinu než lichoběžníkový typ, při zachování stejné intenzity provozu a maximální hladiny akustického tlaku. Na druhou stranu v prvním termínu realizace, byla ekvivalentní hladina pozadí větší než u polštářového prahu, z důvodu výrazně větší maximální hladiny tlaku pozadí. Posledním srovnáním měření č. 4 (pozadí) a měření č. 5 (lich

bez přechodu) se utvrzujeme v tom, že výsledná ekvivalentní hladina prahu při cca stejné intenzitě dopravy a maximální hladině tlaku, je téměř shodná.

5.3. Stanoviště č. 2

Druhé stanoviště bylo zvoleno zejména, protože se nachází přímo před Dopravní fakultou Jana Pernera v ulici Studentská. Přičemž je to navazující silniční komunikace na nejvytíženější pozemní komunikaci v Pardubicích, která prochází centrem města, ulici Hradecká. Dalo se tedy z těchto důvodů předpokládat větší hustota provozu a o to efektivnější měření. GPS souřadnice jsou následující 50° 2' 54.2536441" N, 15° 46' 8.0010796" E. [34] Dalším důvodem byl výskyt dvou lichoběžníkových zpomalovacích prahů s integrovaným přechodem pro chodce. S odstupem týdne zde ve dvou termínech proběhlo celkem tedy 6 měření. Na obrázku č. 29 je mapka a pořadí všech měření realizovaných na tomto stanovišti.



Obrázek 29 – Mapa všech realizovaných měření na stanovišti č. 2 [33]

3. protokol z měření

Tabulka 7- 3. Protokol z měření na stanovišti č. 2.

Ulice Studentská	7. Měření	8. Měření	9. Měření
Datum	13. dubna 2016	13. dubna 2016	19. dubna 2016
Typ zpomalovacího prahu	1. Lich. s přechodem	Pozadí	2. Lich s přechodem
Délka měření	10 min. (15:15 – 15:25)	10 min. (15:28 – 15:38)	10min. (7:44 – 7:45)
Intenzita provozu	78	70	67
Použitý měřicí přístroj hluku	Zvukoměr 2238 Mediator (výrobce Brüel & Kjaer)		
Použitý váhový filtr	A		
Předpokládaná rychlost vozidel	cca 20 km/h	cca 20 km/h	cca 20 km/h
Teplota/ rychlost vzduchu	23°C/ (1 m/s)	23°C/ (1 m/s)	17°C/ (3 m/s)
Max. akustická hladina/ Min.	76,9/44,0	81,6/46,0	74,9/47,2
Ekvivalentní hladina	61,1	61,5	58,7

Třetí termín měření

Za necelý týden 19. dubna 2016, proběhnul třetí termín, opět složený celkem z šesti měření. Znovu došlo k přesunu mezi stanovišti, tentokrát mezi stanovištěm č. 2 a č. 3. Doba přesunu trvala cca 30 minut, podmínky se při příchodu na další místo realizace nezměnily. Začátek měření byl ve 9:03 hodin. Teplota okolního vzduchu dosahovala 17 °C a rychlost větru byla zaznamenána okolo 3 m/s. Podmínky suché, čisté vozovky a dobré viditelnosti byly splněny.



Obrázek 30 - Ukázka realizace třetího termínu měření v ulici Studentská

Tabulka 8 - 4. Protokol z měření na stanovišti č. 2

Ulice Studentská	10. Měření	11. Měření	12. Měření
Datum	19. dubna 2016	19. dubna 2016	19. dubna 2016
Typ zpomalovacího prahu	2. Lich s přechodem	Pozadí	1. Lich. s přechodem
Délka měření	10 min. (7:50 - 8:00)	10 min. (8:05 - 8:15)	10min. (8:20 - 8:30)
Intenzita provozu	40	53	57
Použitý měřicí přístroj hluku	Zvukoměr 2238 Mediator (výrobce Brüel & Kjaer)		
Použitý váhový filtr	A		
Předpokládaná rychlost vozidel	cca 20 km/h	cca 20 km/h	cca 20 km/h
Teplota/ rychlost vzduchu	17°C/ (3 m/s)	17°C/ (3 m/s)	17°C/ (3 m/s)
Max. akustická hladina/ Min.	84,5/43,7	74,5/43,2	82,5/45,9
Ekvivalentní hladina	61,6	57,9	61,9

Zhodnocení stanoviště č. 2

Počet zaznamenaných vozidel byl větší než na prvním stanovišti. Hustota provozu, ale není stále ideální, v porovnání například s ulicí Hradecká, kde se hodnoty pohybují okolo 300 vozidel za 10 minut a hodnoty z měření tak dosahují větší přesnosti. [29] Prahy s integrovaným přechodem pro chodce byly vybrány, za předpokladu větší hlučnosti v důsledku úplného zastavení vozidla kvůli chodci. Porovnáním hodnot tohoto prahu z měření č. 12 s pozadím (bez prahu) měření č. 8, při téměř stejné maximální hladině tlaku L_{AMAX} a cca stejné intenzitě dopravy, jsou ekvivalentní hladiny $L_{Aeq,T}$ téměř opět shodné. Při srovnání stejného typu lichoběžníkového prahu bez přechodu pro chodce na stanovišti č. 1 s přechodem pro chodce na stanovišti č. 2, docházíme k závěru, že většina prahů s přechodem pro chodce má cca o 2 – 3 dB vyšší ekvivalentní hladinu. To je zde ovšem způsobeno někdy až více jak dvojnásobnou intenzitou vozidel.

5.4. Stanoviště č. 3

Prodloužená ulice, kde bylo umístěno stanoviště č. 3, se nachází cca 1,5 km od Univerzity Pardubice. GPS souřadnice zvoleného místa jsou $50^{\circ} 2' 53.980823''$ N, $15^{\circ} 45' 21.0731506''$ E. [34] Je zde umístěn při příjezdu z poměrně vytižené komunikace ulice Bělehradská, lichoběžníkový zpomalovací práh s přechodem pro chodce. Práh se nachází přímo vedle místní základní školy, z důvodu zmírnění rychlosti vozidla a zvýšené pozornosti, vzhledem k velkému výskytu dětí. Na obrázku č. 31 je ukázáno rozmístění a pořadí proběhlých měření.



Obrázek 31 - Mapa všech realizovaných měření na stanovišti č. 3 [33]

Čtvrtý termín měření

Poslední termín byl dohodnut na 26. dubna 2016. Celková dvě měření proběhla pouze na stanovišti č. 3. V 7:38 hodin se začalo, obě měření následovala hned po sobě. Tento čas byl zvolen, protože se předpokládala vyšší intenzita provozu. Bylo jasno, sucho, teplota dosahovala 11 °C, rychlost větru 1 m/s. Nebylo zaznamenáno jakékoliv výrazné narušení okolního terénu.



Obrázek 32 - Ukázka realizace čtvrtého termínu v ulici Prodloužená

5. Protokol z měření

Tabulka 9 - 5. Protokol z měření na stanovišti č. 3

Ulice Prodloužená	13. Měření	14. Měření	15. Měření	16. Měření
Datum	19. dubna 2016	19. dubna 2016	26. dubna 2016	26. dubna 2016
Typ zpomalovacího prahu	Lich. s přechodem	Pozadí	Lich. s přechodem	Pozadí
Délka měření	10 min. (9:05 - 9:15)	10 min. (9:20 - 9:30)	10min. (7:38 - 7:48)	10min. (7:49 - 7:59)
Intenzita provozu	40	32	59	57
Použitý měřicí přístroj hluku	Zvukoměr 2238 Mediator (výrobce Brüel & Kjaer)			
Použitý váhový filtr	A			
Předpokládaná rychlost vozidel	cca 20 km/h	cca 20 km/h	cca 20 km/h	cca 20 km/h
Teplota/ rychlost vzduchu	23°C/ (3 m/s)	23°C/ (3 m/s)	11°C/ (1 m/s)	11°C/ (1 m/s)
Max. akustická hladina/ Min.	77,2/43,9	73,4/42,5	74,1/44,4	79,8/44,3
Ekvivalentní hladina	58,3	56,9	59,8	60,1

Zhodnocení stanoviště č. 3

Zajímavé porovnání na tomto stanovišti vidíme u měření č. 14 (pozadí) s č. 15 (lich. s přechodem). Maximální hladina akustického tlaku L_{AMAX} zde dosahuje přibližně stejných hodnot, přitom intenzita provozu je téměř dvojnásobná a výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ je cca o 3 dB větší. Potvrzuje se nám tedy již zmíněná teorie o dvojnásobné intenzitě provozu. Z uvedených hodnot je patrné, že maximální hladina akustického tlaku má stále velký vliv na hodnotu ekvivalentní hladiny. Příkladem může být měření č. 16 (pozadí), kde je maximální hladina tlaku největší, zároveň je tedy i největší ekvivalentní hodnota akustického tlaku. To nás opětovně usvědčuje v tom, že hustota provozu na této komunikaci nebyla ideální a výsledná ekvivalentní hladina je lehce ovlivněna hlučnějším vozidlem.

6 ZÁVĚR

Z realizace převzaté a modifikované metodiky měření, jsou patrná následující fakta. Ve většině případů měla ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ daného prahu, za podmínky stejné intenzity provozu a maximální hladiny akustického tlaku L_{AMAX} , stejnou hodnotu jako měřený úsek bez prahu. Samotný zpomalovací práh tedy neměl výrazný vliv na výslednou ekvivalentní hladinu hluku. Při zachování stejných podmínek se ukázalo, že zpomalovací lichoběžníkový polštář, má větší vliv na své okolí, než dlouhý lichoběžníkový práh bez přechodu pro chodce. Dalším zjištěným faktem je, že při takto malé intenzitě dopravy hraje větší roli, než výskyt daného prahu, právě samotná intenzita vozidel, která při dvojnásobném množství zvýší výslednou ekvivalentní hladinu akustického tlaku cca o 3 dB. Vzhledem k malému počtu projetých vozidel je největším představitelem ovlivnění výsledné ekvivalentní hladiny akustického tlaku, maximální hladina akustického tlaku. Jinak řečeno vozidlo ve špatném technickém stavu, které při kontaktu se zpomalovacím prahem může vyvolat větší hlučnost než bez něj. Převzatá metodika je použitelná pro komparaci jednotlivých druhů prahů. Není však vhodná pro přesné hodnocení vlivu na své okolí vzhledem k výskytu prahů na méně frekventovaných silnicích. Za potřebí by bylo volit delší časové úseky jednotlivých měření a dodržení přesně stanovených vzdáleností daných legislativou.

7 POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] Zvuk. *Wikipedie* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Zvuk>
- [2] Hluk. *SZU* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>
- [3] Hluk. *Stavba.tzb-info* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/tema/zivotni-prostredi/zdravotni-ucinky-hluku>
- [4] Šíření vlnění. *Studopory* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: http://www.studopory.vsb.cz/studijnimaterialy/Fyzikaprobakalare/PDF/1_8_3_akustika.pdf
- [5] Šíření mechanického vlnění. *Wikiskripta* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: http://www.wikiskripta.eu/index.php/%C5%A0%C3%AD%C5%99en%C3%AD_akustick%C3%A9ho_vln%C4%9Bn%C3%AD
- [6] Šíření mechanického kmitání. *Wikiwand* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: http://www.wikiwand.com/cs/Z%C3%A1kladn%C3%AD_akustick%C3%A9_veli%C4%8Diny
- [7] SMETANA, Ctírad. *Hluk a vibrace*. Praha: Sdělovací technika, 1998, 188 s. ISBN 80-901936-2-5.
- [8] Absorpce zvuku. *Fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/197-odraz-zvuku-pohlcovani-zvuku.com/main.article/view/197-odraz-zvuku-pohlcovani-zvuku>
- [9] Odraz vlnění. *Wikipedia* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Odraz_vln%C4%9Bn%C3%AD
- [10] Odraz vlnění. *Fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/184-odraz-vlneni>
- [11] Lom zvuku. *Fyzika007* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.fyzika007.cz/mechanicke-kmitani-a-vlneni/lom-vlneni>
- [12] Ohyb vlnění. *Wikipedia* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Huygens%C5%AFv_princip
- [13] Ohyb vlnění. *Fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/172-ohyb-vlneni>
- [14] Rychlost zvuku. *Fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/189-rychlost-zvuku>
- [15] NOVÝ, Richard. *Hluk a Chvění*. Praha: České vysoké učení technické, 2009, 400 s. ISBN 978-80-01-04347-9.

- [16] VAŇKOVÁ, Marie a kolektiv. Hluk, vibrace a ionizující záření v životním a pracovním prostředí: část II. 1. Vyd. Brno: VUT v Brně, 1996, 161 s. ISBN 80-214-0818-9.
- [17] Ekvivalentní hladina s průměrnou. *Khshk* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_17__ekvivalentn_hladina_akustickho_tlaku.html
- [18] Sluchové pásmo. *Fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/210-weber-fechneruv-psychofyzikalni-zakon>
- [19] Sluchový orgán. *Fyzika.jreichl* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/201-stavba-a-popis>
- [20] Zpomalovací práh. *Pjpk* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.pjpk.cz/TP%2085.pdf>
- [21] Zpomalovací práh. *Fce.vutbr* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.fce.vutbr.cz/PKO/novak.m/bm03/prednasky/10.pdf>
- [22] Bréva. *Deskovepodlahy* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.deskovepodlahy.cz/retardery-zpomalovaci-prahy-zpomalovaci-polstare/498-zpomalovaci-prah-prubezny-232.html>
- [23] Stupňovitý. *Cmadz* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: http://www.cmadz.cz/projednavane-predpisy/files/TP_85-2_navrh-na_poslani.pdf
- [24] Vlnový dlouhý práh. *Bystrcnik* [online]. [cit. 2016-05-30]. Dostupné z: <http://www.bystrcnik.cz/category/informace/page/21/>
- [25] Malý kruhový zpomalovací práh. *Jip-praha* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://www.jip-praha.cz/sluzby/zpomalovaci-prahy.html>
- [26] 258/2000 Sb. *Zakonyprolidi* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2000-258>
- [27] Předpis č. 272/2011 Sb. *Zakonyprolidi* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-272>
- [28] Technické normy. *Csonlinefirmy* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://www.technickenormy.cz/>
- [29] Miloš Horák. *Dspace.upce* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/55932/Hor%C3%A1kM_Hluk%20komunikac%C3%AD_PK_2014.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- [30] ČSN ISO 11819-1. Akustika – Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk: Část 1: Statická metoda při průjezdu. ČNI Praha: ČNI Praha, 2000.

- [31] Zvukoměr 2238 Mediator. *Spectris* [online]. [cit. 2016-05-31]. Dostupné z: <http://mereni-a-analyza-signalu-hluku-a-vibraci.spectris.cz/zvukomery/zvukomer-2238-mediator/>
- [32] Protokol měření hluku. *Nrl* [online]. [cit. 2016-06-01]. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/Home/Page/Metodicky-n%C3%A1vod-nrl>
- [33] Mapy měření. *Google mapy* [online]. [cit. 2016-06-01]. Dostupné z: <http://www.nrl.cz/Home/Page/Metodicky-n%C3%A1vod-nrl>
- [34] GPS. *Mapy* [online]. [cit. 2016-06-01]. Dostupné z: <http://mapa.cz/gps-souradnice-m41>
- [35] Váhové filtry. *Portal upce* [online]. [cit. 2016-06-02]. Dostupné z: <https://portal.upce.cz>

8 PŘÍLOHY

Dále je uveden seznam technických norem souvisejících s hlukem:

- ČSN EN ISO 7029. Akustika – Práh slyšení zvuku vedeného vzduchem, s ohledem na věk a pohlaví otologicky normálně vyvinutých osob
- ČSN EN ISO 9612. Akustika – Určení expozice hluku na pracovišti – Technická metoda.
- ČSN 01 1601 Akustika - Kmitočty pro měření
- ČSN ISO 11819-1, 2 Akustika - Měření vlivu povrchů vozovek na dopravní hluk
 - Část 1: Statická metoda při průjezdu (SPB)
 - Část 2: Metoda měření valivého hluku (CPX)
- ČSN ISO 1996-1 (011621) Akustika - Popis, měření a hodnocení hluku prostředí - Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení.
- ČSN ISO 1996-2 Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 2: Získávání údajů souvisejících s využitím území
- ČSN ISO 1996-3 Akustika - Popis a měření hluku prostředí. Část 3: Použití při stanovení nejvyšších přípustných hodnot hluku
- ČSN EN ISO 11690-1. Akustika – Doporučené postupy pro navrhování pracovišť a nízkým hlukem vybavenými stroji a zařízeními – Část 1: Strategie snižování hluku
- ČSN EN ISO 11690-2. Akustika – Doporučené postupy pro navrhování pracovišť a nízkým hlukem vybavenými stroji a zařízeními – Část 2: Opatření ke snižování
- ČSN ISO 4869-1. Akustika. Chrániče sluchu. Část 1: Subjektivní metoda měření vloženého útlumu.
- ČSN ISO 4869-2. Akustika. Chrániče sluchu. Část 2: Odhad hladin akustického tlaku A za nasazeným chráničem sluchu. [28]