



Zdravotně  
sociální fakulta  
Faculty of Health  
and Social Sciences

Jihočeská univerzita  
v Českých Budějovicích  
University of South Bohemia  
in České Budějovice

**Vliv dopravního hluku na zdraví exponované populace**

## **DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Studijní program: **VEŘEJNÉ ZDRAVOTNICTVÍ**

**Autor:** Bc. Jan Divácký

**Vedoucí práce:** RNDr. Jiří Kos

České Budějovice 2017

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci s názvem „**Vliv dopravního hluku na zdraví exponované populace**“ jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby diplomové práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé diplomové práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne

.....

## **Poděkování**

Na tomto místě bych rád poděkoval panu RNDr. Jiřímu Kosovi za odborné vedení a cenné rady při zpracování diplomové práce. Rovněž děkuji panu Ing. Milanu Brychtovi za poskytnutí technické výbavy pro realizaci měření hluku.

# Vliv dopravního hluku na zdraví exponované populace

## Abstrakt

Předložená diplomová práce se zabývá hodnocením vlivu dopravního hluku na zdraví exponované populace. Cíle práce jsou podloženy výsledky Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí (subsystém III), který dlouhodobě monitoruje hluk v komunálním prostředí vybraných aglomerací. Součástí monitorování hlučných lokalit je také dotazníkové šetření, které potvrzuje hypotézu č. 1 „Existuje významná psychosociální vazba u vnímání dopravního hluku, která je mnohdy v rozporu s výsledky měření hluku“.

Práce dále popisuje výsledky orientačního měření vytipovaných hlučných lokalit v porovnání s měřením stejných lokalit v technické třídě přesnosti. Testování orientačního měřidla proběhlo na dopravně vytížených komunikacích města Jihlavy. Měření prokázalo souvislost mezi intenzitou dopravního proudu s orientačně stanovenými hladinami hluku a praktickou využitelností pro řešení podnětů územního plánování nebo územního řízení. Výsledky orientačního měření poukazují na překročení ekvivalentní hladiny hluku pro rušení spánku v noční době ve 3 vytipovaných lokalitách. Překračování ekvivalentních hladin ve dne má charakter obtěžování hlukem.

Naměřené hladiny hluku v denní a noční době způsobené silniční dopravou lze porovnat s doporučeními pro rizika zvýšení incidence vybraných civilizačních chorob publikované Světovou Zdravotnickou Organizací.

## Klíčová slova

Hluk; komunální prostředí; hlukové mapování; monitoring; hygienické limity; zdraví obyvatel

# **The traffic noise influence on the health of the exposed population**

## **Abstract**

This presented diploma thesis deals with evaluation of the traffic noise influence on the health of the exposed population. The objectives of this thesis are based on the results of Environmental Health Monitoring System in the Czech Republic (Subsystem III.), which provides the long-term monitoring of the noise in the municipal environment of the chosen agglomerations. A part of the noisy location monitoring is also the questionnaire survey confirming hypothesis n. 1: “At the traffic noise perceiving, there is an important psychosocial bound, which often stands in opposition to the results of the noise measurements.”

Furthermore, the thesis describes the results of the indicative measurement of the chosen noisy localities in comparison with the same locality measurements in the technical accuracy class. The indicative gauge tests were made on the traffic-busy roads in Jihlava city. The measurement has proved the link between the intensity of the traffic flow and indicatively determined noise levels and practical applicability for the local planning or local controlling incentives solution. The results of the indicative measurements point out to breaking of the equivalent night noise levels for sleep disturbance in three chosen localities. Breaking of the equivalent day noise levels has a nature of the noise annoyance.

The measured road-traffic-caused night and day noise levels may be compared to the recommendations for the risks of increased incidence of selected civilization diseases published by the World Health Organisation.

## **Keywords**

Noise; municipal environment; noise mapping; monitoring; hygienic limits; population health

## Obsah

Úvod .....	8
<b>1 SOUČASNÝ STAV .....</b>	<b>9</b>
1.1 Základní pojmy v akustice .....	9
1.2 Decibelové stupnice v akustice.....	11
1.3 Měření hluku .....	11
1.4 Fyziologická akustika .....	14
1.5 Zdroje hluku v životním prostředí .....	15
1.6 Protihluková opatření.....	17
1.7 Strategické hlukové mapování.....	19
1.7.1 Výsledky strategického hlukového mapování.....	21
1.8 Konstrukce hygienických limitů.....	22
1.8.1 Hygienické limity hluku.....	23
<b>2 ZDRAVOTNÍ ÚČINKY DOPRAVNÍHO HLUKU .....</b>	<b>25</b>
2.1 Specifické účinky hluku .....	27
2.2 Nespecifické účinky hluku .....	28
2.2.1 Vliv dopravního hluku na kardiovaskulární systém.....	29
2.2.2 Vliv dopravního hluku na rušení spánku .....	31
2.2.3 Vliv dopravního hluku na kognitivní funkce u dětí .....	33
<b>3 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY .....</b>	<b>35</b>
<b>4 METODIKA .....</b>	<b>36</b>
<b>5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ HLUKU .....</b>	<b>44</b>
<b>6 DISKUSE.....</b>	<b>70</b>
<b>7 ZÁVĚR .....</b>	<b>75</b>
<b>8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>76</b>
<b>9 PŘÍLOHY .....</b>	<b>83</b>

<b>10 SEZNAM ZKRATEK .....</b>	<b>90</b>
--------------------------------	-----------

## Úvod

Zvukové prostředí je přirozenou a důležitou součástí životního prostředí člověka. Člověk nedokáže žít bez zvukové kulisy, která podněcuje aktivitu CNS a ve formě komunikace umožňuje vlastní seberealizaci. Rozdíl mezi zvukem a hlukem je v zásadě stanoven fyzikální charakteristikou zdroje na straně jedné, a na straně druhé osobností příjemce. Z fyzikální podstaty, bez které nelze charakterizovat zvuk bude významná část populace vnímat zvuky vysoké intenzity působící nepravidelně v čase jako hluk, zatímco stejné zvuky v nižších hladinách budou vnímány jako méně rušivé či dokonce libozvučné. Hluk tedy představuje každý zvuk, který působí na člověka rušivě, obtěžuje ho, nebo dokonce poškozuje jeho zdraví, bez ohledu na intenzitu. Kromě fyzikální podstaty hluku musíme zohlednit samotnou senzitivitu jedince, tzn. pohlaví, věk, funkční stav sluchového orgánu a celkový zdravotní stav, včetně faktorů sociální, ekonomické či kulturní povahy. Zvuky provozované po časově omezený interval, nebo osobou blízkou budou působit méně rušivě, než například neznámý provozovatel hlučné činnosti. V tomto případě hovoříme o psychosociálním působení hluku.

V životním prostředí jsme vystaveni současnému působení jednotlivých zdrojů hluku, které často působí současně, čímž se zejména pro citlivé skupiny obyvatel zvyšuje riziko poškození zdraví. Ze zpráv monitorování životního prostředí představuje dlouhodobě největší zdroj hluku silniční doprava. Alarmující je především nárůst počtu osobních automobilů, kdy kromě hlukové expozice dochází k znečištění ovzduší a znehodnocení krajiny.

Nejobecnější reakcí exponované populace na nárůst silniční dopravy představuje zvýšení počtu stížností v oblasti obtěžování hlukem. Dlouhodobý pobyt v hlučném prostředí způsobuje řadu nespecifických obtíží, které se mohou manifestovat bolestmi hlavy, poruchou soustředěnosti, vyšší únavou během dne a v sociální oblasti zhoršením mezilidských vztahů.

Za dostatečně prokázané nepříznivé zdravotní účinky hluku je v současnosti podle WHO považováno poškození sluchového aparátu, ovlivnění kardiovaskulárního systému, rušení spánku a nepříznivé ovlivnění osvojování řeči a čtení u dětí. Omezené důkazy jsou například pro nepříznivý vliv hluku na činnost hormonálního a imunitního systému, zvýšené riziko obezity či zvýšený počet duševních poruch, kdy hluk pravděpodobně nepřímo vlivem stresové reakce ovlivňuje často multifaktoriální etiologii těchto chorob.



# 1 SOUČASNÝ STAV

## 1.1 Základní pojmy v akustice

Akustika je rozsáhlý vědní obor, zabývající se komplexně zvukem od jeho vzniku, přenosu prostorem až po vnímání sluchem. Tato kapitola a následující se výhradně věnují akustice fyzikální, která zkoumá zákonitosti vzniku a šíření zvuku s využitím matematických a technických postupů. V praxi se však setkáváme i s dalšími podobory akustiky, jako je akustika fyziologická, hudební, psychoakustika či akustika stavební (Dršata a Havlík, 2015).

Z fyzikálního hlediska představuje zvuk mechanické vlnění molekul pružného prostředí, které leží v oblasti lidského sluchu, tzn. 16 Hz až 20 kHz (Smetana et al., 1998). Zvuk vzniká buďto chvěním, tj. vibrací pohybujících se částí stacionárních strojů, rozechvěním pružných součástí dopravních vozidel nebo pulzací plynů a kapalin při obtékání vzduchu kolem kabin letadel, vozidel a podobně (Havránek et al., 1990).

Pokud se zvuk šíří v plynném prostředí, jedná se vždy o vlnění podélné - longitudinální, jelikož částice pružného prostředí kmitají ve směru šíření zvukové vlny. Rychlost šíření zvuku v plynném prostředí, dosahuje při 20 °C přibližně 344 m/s (Beneš et al., 2015). Přitom rychlost zvuku nezávisí pouze na prostředí, ve kterém dochází k jeho šíření, ale také na klimatických podmínkách, jako jsou teplota nebo atmosférický tlak (Beran, 2010). Zvukové vlny se kromě vzduchu mohou šířit stavební nebo strojní konstrukcí, kdy jsou následně vyzářeny do prostředí v podobě vibrací (Provazník et al., 2000).

Zvuk se šíří od zdroje ve vlnoplochách, přitom dochází k pohlcování, odrazům, tlumení či ohybům v šířeném prostředí, a to ve všech jeho směrech. Prostor, ve kterém se zvuk šíří nazýváme akustické pole. Podle charakteru zvukových vln rozlišujeme pole rovinné, kulové a difuzní (Nový, 2009).

Vlivem šíření zvuku v hmotném prostředí dochází ke změnám akustického tlaku  $A$  [Pa], kdy nejvyšší hodnota změny akustického tlaku se nazývá amplituda. Počet změn akustického tlaku za sekundu označujeme jako kmitočet neboli frekvenci, jednotkou je Hertz [Hz]. Tónový zvuk lze charakterizovat pouze jedinou frekvencí, kde průběh změn akustického tlaku v čase je periodický, tj. má tvar funkce sinus (Kaňka, 2010).

Podle řady autorů (Havránek et al., 1990; Rosina a Navrátil, 2000; Murphy a King, 2014) se v komunálním nebo pracovním prostředí s čistě tónovými zvuky téměř nesetkáme, převažují zde zvuky neperiodické (složené), které označujeme jako šum.

K rozkladu takového složeného neperiodického zvuku na příslušné spektrum jednoduchých tónů lze využít kmitočtové analýzy. Pro hygienické účely uvádíme sledovanou akustickou veličinu (akustický tlak, výkon, intenzita) v závislosti na kmitočtu pomocí oktávních pásem, nejčastěji o šířce 1/3 oktávy, z nichž každé je charakterizováno středním kmitočtem (Kaňka, 2010).

Každý reálný zvuk se skládá z řady dílčích signálů. Proto je nutno pracovat se spektry. Spektrum zvuku může být zásadně dvojího druhu. Pokud zvuk ve svém spektru obsahuje široké pásmo frekvencí, jedná se o spektrum spojitě. Na druhé straně pokud jde o periodický zvuk, ve kterém jsou zastoupeny určité tónové frekvence, jedná se o spektrum čárové neboli diskrétní (Havránek et al., 1990). Podle šířky pásma představuje spojitě spektrum širokopásmový zvuk, zatímco spektrum obsahující tónové složky charakterizuje úzkopásmový zvuk (Murphy a King, 2014).

Šíření zvuku je spojeno s přenosem akustické energie, kdy tato energie se označuje jako intenzita. Jinak řečeno, intenzita zvuku je množství energie, které projde při šíření zvuku plochou kolmou na směr šíření za jednotku času. Jednotkou intenzity je  $[W/m^2]$ . Intenzita zvuku je přímo úměrná druhé mocnině akustického tlaku. Zvuková intenzita rovněž vyjadřuje akustický výkon určitého zdroje zvuku (Dršata et al., 2015).

Zdroje zvuku mění svůj akustický výkon  $[L_w]$ , pracují přerušovaně, nebo mění polohu vůči příjemci. Z těchto důvodů je nutné znát průběh a povahu zvuku v čase. Základní rozdělení zvuku podle časového průběhu je na zvuk impulzní a neimpulzní. Impulzní zvuk lze charakterizovat rychlým vzestupem hladiny akustického tlaku  $[L_p]$  a následným poklesem v trvání 200 milisekund, kde interval mezi jednotlivými impulzy je větší než 10 milisekund. Přítomnost impulzů, stejně jako přítomnost tónových složek, snižuje možnost vnímat zvuk nezaujatě a vede k vyšší rušivosti. Pro takový zvuk tedy platí přísnější hygienické limity (Havránek et al., 1990).

Zvuk neimpulzní dále rozdělujeme na ustálený, proměnný a přerušovaný. Jak již bylo řečeno, jen málokterý zvuk v životním prostředí se projevuje jako ustálený, to znamená, že jeho hladina akustického tlaku na daném místě se nemění v závislosti na čase o více než 5 dB. V komunálním prostředí se nejčastěji setkáme s hlukem proměnným, jehož hladina se na daném místě a ve sledovaném čase mění o více než 5 dB. Pokud se hladina akustického tlaku mění skokem v rozsahu větším než 5 dB a v dílčích intervalech je ustálená, hovoříme o hluku přerušovaném (Kaňka, 2010). Rozdělení zvuku podle časového průběhu zobrazuje obrázek číslo 1.

## 1.2 Decibelové stupnice v akustice

Protože lidský sluch je natolik citlivý smyslový analyzátor, že dokáže rozlišit akustický tlak v rozsahu 7 řádů a intenzitu dokonce v rozsahu až 14 řádů, byla by práce s takto velkým číselným rozsahem nepřehledná a vedla by k zbytečným chybám při interpretaci výsledků (Hrnčíř, 2013). Nejenom z těchto důvodů byla do praxe zavedena veličina, kterou označujeme jako hladina  $L$  (dB). Hladina je bezrozměrná veličina daná logaritmickým poměrem veličiny naměřené oproti referenční, kdy jednotkou je bel, respektive jeho desetina decibel (Bencko et al., 2002).

Jak uvádí Beran (2010), při počítání s decibely je nutné mít na paměti, že s decibely nelze pracovat, jako s lineárními veličinami. Nulová hladina zvuku neodpovídá absenci zvuku v prostředí, ale je rovna hodnotě prahové. Další odlišnosti platí například pro sčítání a odečítání různých hladin zdrojů zvuku. Kaňka (2010) poukazuje na skutečnost, že pokud dojde k nárůstu hladiny intenzity zvuku o 3 dB, znamená to zdvojnásobení výsledné hladiny zvuku. Při nárůstu hladiny intenzity o 10 dB dojde k desetinásobnému zvýšení a při nárůstu o 20 dB stonásobnému zvýšení hladiny zvuku. Příklady výpočtů hladin zvuku jsou zobrazeny na obr. č. 2.

Z hlediska hodnocení decibelových hladin je důležité rozlišovat mezi zvukovými emisemi a imisemi. Zvukové emise slouží pro vyjádření hladiny akustického výkonu  $[L_w]$  zdrojů zvuku (dopravních prostředků, stacionárních průmyslových zařízení nebo hlasitých hudebních nástrojů) pro příslušné kmitočtové pásmo. Jedná se tedy o technické požadavky charakterizující samotný zdroj zvuku, které deklaruje výrobce zařízení (Liberko, 2004).

Pokud hodnotíme zvukové imise, tzn. škodlivé působení zdrojů zvuku na zdraví, které vyjadřujeme hladinou akustického tlaku  $[L_A]$  v posuzovaném místě, musíme přihlídnout k možnostem ovlivnění zvuku prostředím, ve kterém dochází k jeho šíření (Smetana et al., 1998).

## 1.3 Měření hluku

Měření hluku v mimopracovním prostředí podléhá metodickému návodu (HEM-300-11.12.01-34065) pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí. Metodika stanovuje hodnocení hluku s přihlédnutím k chráněnému prostoru, umístění zvukoměru vůči zdroji hluku, včetně jeho vzdálenosti. Součástí metodiky je také znalost fyzikálních vlastností zdroje hluku, tj. akustický tlak v měřeném místě, frekvenční

složení (přítomnost tónových složek) a časový průběh. Doba měření se volí tak, aby odpovídala průměrné standardní situaci provozu zdroje hluku. Při měření se na měřicím místě zjišťují kromě fyzikálních vlastností zdroje hluku také údaje a veličiny neakustické, a to zejména: topografické situování místa vzhledem k zdroji hluku, možnost šíření hluku od zdroje do měřicího místa, atmosférické podmínky při měření, tzn. rychlost a směr větru, relativní vlhkost, teplota, a další podstatné okolnosti, které by mohly ovlivnit průběh a výsledky měření.

Podmínky měření hluku ze silniční dopravy konkrétně upravuje Manuál pro výpočet hluku z automobilové dopravy (2011) pro Ředitelství silnic a dálnic České republiky. V manuálu nalezneme algoritmus výpočtu hluku z dopravy, včetně intenzity a skladby vozidel v dopravním proudu nebo výpočet korekce pro útlum terénu a zástavby.

K měření hluku v mimopracovním prostředí se používají zvukoměry vyhovující požadavkům technických norem ISO. Měřicí zvukoměry 1. a 2. třídy a pásmové filtry jsou zařazeny ve vyhlášce č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu, jako stanovená měřidla, která podle zákona č. 505/1990 Sb., o metrologii, ve znění pozdějších předpisů, podléhají úřednímu ověření. Všechna stanovená měřidla používaná k měření hluku v mimopracovním prostředí musí být vybavena platným ověřovacím listem.

Před započítáním, v průběhu a po skončení samotného měření se provádí kalibrace zvukoměru. Po ukončení měření se nesmí nastavení přístroje lišit od původně nastavené hodnoty o více než 0,5 dB, je-li odchylka větší, provede se nové nastavení všech přístrojů a nové měření. Akustické kalibrátory musí být vybaveny platným kalibračním listem. Doporučuje se, aby doba platnosti kalibrace nepřekročila 2 roky.

Metodika a přesnost samotného měření musí být zvolena s ohledem na typ a účel konkrétní akustické situace. Zvuk měříme pomocí zvukoměrů, respektive mikrofonů, které převádějí mechanické vlnění na elektrický signál. Mikrofony musejí být citlivé na podněty přicházející ze všech směrů. Podstatnou součástí zvukoměrů jsou váhové filtry. Váhové filtry jsou elektronické obvody, které upravují frekvenční charakteristiku zvukoměru, tak aby výsledná hodnota odpovídala citlivosti lidského sluchu. Váhové filtry (obr. č. 3), jsou mezinárodně značeny A, B, C a D. Naprostá většina hygienických měření používá váhový filtr (A), popřípadě (C), které téměř nahradily ostatní charakteristiky (Beran, 2010). Podle Smetany et al. (1998) je neuvedení frekvenční

charakteristiky (A, B, C, LIN) chybou při interpretaci výsledků, a proto jsou výsledné hladiny ( $L_A$ ) a dB (A) uváděny v protokolu o měření včetně použitého váhového filtru.

Z hlediska časového vážení doporučuje metodický návod (HEM-300-11.12.01-34065) pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, použít časovou charakteristiku Fast (Rychle), která slouží pro hodnocení neimpulzního hluku, tj. ustáleného i proměnného hluku z hlediska posuzování vlivu na zdraví. Pokud měřený zvuk obsahuje impulzní složku, doporučuje se použít časová charakteristika Impulse (I). Výsledné hladiny zvuku [ $L_{AF}$ ,  $L_{AS}$ ,  $L_{AI}$ ] zobrazují dynamické vlastnosti měřícího přístroje (Havránek et al., 1990).

V závislosti na časovém průběhu je nejdůležitější součástí zvukoměrů schopnost přímého odečtení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A [ $L_{eq,T}$ ]. Ekvivalentní hladina akustického tlaku představuje fiktivní ustálenou hladinu akustického tlaku A, která má stejné účinky na člověka během sledovaného časového úseku T, jako proměnlivá hladina akustického tlaku A za stejný čas. Většina hygienických limitů v mimopracovním prostředí používá  $L_{Aeq,T}$  (dB) při stanovení časově proměnných zdrojů hluku jako je hluk ze silniční dopravy. Měření expozice hluku ze silniční dopravy uvnitř obytných prostor vyžaduje kromě  $L_{Aeq,T}$ , zjištění také maximální hladiny akustického tlaku  $L_{Amax}$  (Kaňka, 2010).

Pokud nechceme uvažovat celý časový interval ( $T = 8, 12, 24$  hodin), je výhodné použít hladinu zvukové expozice SEL (Sound Exposure Level), někdy označovanou  $L_{AE}$ , která je vztažena na časový úsek  $T = 1$  s. Způsob udávání hlukových událostí v sekundových hladinách je výhodný při velkém počtu hlukových událostí. Hladina zvukové expozice SEL se využívá například pro leteckou dopravu. Moderní zvukoměry mohou udávat hodnotu SEL přímo jako výsledek měřeného stavu (Beran, 2010).

Mezi další akustické deskriptory užívané při měření zvuku a nastavitelné jako součást zvukoměrné techniky patří hladiny zvuku [ $L_{10}$ ] a [ $L_{90}$ ], se kterými se můžeme nejčastěji setkat v protokolech o měření, kde bývají označovány jako distribuční (procentní) hladina [ $L_{AN}$ ]. Pro lepší představu distribuční hladina  $L_{10,1h} = 65$  dB, znamená, že z celkové doby měření 1 hodiny se nachází 10 % hodnot nad úrovní 65 dB a zbylých 90 % hodnot pod touto úrovní (Murphy a King, 2014). Seznam zvukových deskriptorů je uveden v tabulce č. 1.

## 1.4 Fyziologická akustika

Ve fyziologické akustice uvažujeme tutéž energii jako v akustice fyzikální. Rozdíl nastává v hodnocení. Zatímco ve fyzikální akustice měříme objektivní veličiny (frekvence, intenzita, časový průběh), ve fyziologické akustice je vyhodnocujícím prvkem sluchový aparát. Vnímání zvuku tak do značné míry závisí na funkčním stavu sluchového aparátu a osobním postoji jedince k reprodukovánému zvuku (Rosina a Navrátil, 2000).

Zdravý dospělý člověk dokáže vnímat zvuky v oblasti frekvence 16 Hz - 20 kHz. Nejcitlivější je lidský sluch při intenzitě 1 kHz - 5 kHz, což odpovídá oblasti mluvené řeči. Schopnost rozlišovat různé frekvence se s narůstajícím věkem snižuje obzvláště pro vysoké frekvence (Dršata a Havlík, 2015). Mechanické vlnění o frekvenci nad 16 kHz označujeme jako ultrazvuk. Mechanické vlnění pod slyšitelným spektrem, které člověk již nevnímá, ale měřením lze prokázat, se nazývá infrazvuk. Je prokázáno, že i zvuky mimo slyšitelné spektrum mohou nepříznivě ovlivňovat zdravý a pohodu člověka (Beran, 2010).

Fyzikální vyjádření intenzity zvuku je ve fyziologické akustice nahrazeno subjektivní veličinou hlasitosti, kde jednotkou je fón [Ph]. Prahová intenzita zvuku, tzn. intenzita, kterou zdravý člověk dokáže již slyšet, se nazývá práh slyšení. Prah slyšení odpovídá intenzita zvuku  $10^{-12} \text{ W.m}^{-2}$ , tedy akustický tlak  $20 \mu\text{Pa}$ . Naopak zvuky příliš vysoké intenzity (hlasitosti), které způsobují již bolest, označuje práh bolesti. Prah bolesti odpovídá intenzita zvuku  $10 \text{ W.m}^{-2}$ , tedy akustický tlak  $130 \text{ Pa}$ . Je nutné připomenout, že hlasitost zvuku je subjektivní veličina, která přímo závisí na akustickém tlaku. Rozsah hlasitosti zvuků, které dokáže rozlišit sluchový analyzátor je obrovský, viz kap. 1.2 (Hahn et al., 2007).

K tomu, aby daný zvuk vyvolal sluchový vjem, musí jeho intenzita, resp. akustický tlak překročit určitou prahovou hodnotu. Zvuky o stejné intenzitě však nemusíme vnímat stejně hlasitě, vzhledem k frekvenční závislosti sluchu. Z těchto důvodů se zakreslují křivky stejné hlasitosti (izofóny) pro frekvenci 1kHz (obr. č. 4). Křivky stejné hlasitosti ukazují souvislost frekvenčně nezávislé hladiny zvuku  $L$  v (dB) jako fyzikální veličiny a subjektivní frekvenčně závislé hladiny hlasitosti  $H$  ve fonech (Ph) jako fyziologické veličiny (Beran, 2010). To znamená, že hladiny zvuku a hladiny hlasitosti jsou pro frekvenci 1 kHz stejné (Nový, 2009).

Mimo to platí, že subjektivní hlasitost neroste úměrně s hladinou intenzity, ale zhruba podle Weber-Fechnerova zákona, tzn., roste-li hladina intenzity zvuku řadou geometrickou, subjektivní počitek roste přibližně řadou aritmetickou. Jinak řečeno, velikost počítka je úměrná logaritmu intenzity podnětu. Uvedená vlastnost sluchu umožňuje člověku vnímat i velmi slabé zvukové signály s vysokou citlivostí a zároveň ho chrání před zvukem vysoké intenzity (Kaňka, 2010).

V životním prostředí se setkáváme s hladinami zvuku, které kolísají mezi 25 a 105 dB (Bernard a Doucha, 2008). Hodnoty okolo uvedené dolní hranice se vyskytují např. v zasněženém lese při bezvětrí nebo v tiché místnosti v noci. Spánek by neměl být rušen zvukem nad 45 dB. Zvuk do 50 dB ruší duševní práci vyžadující soustředěnost a přesnost. Již hlasitý hovor vytváří hladinu 70 dB, automobilové signály vyzařují hladiny zvuku kolem 90 dB a práce s pneumatickým kladivem přes 110 dB. Obecně hladiny nad 85 dB v průmyslových provozech mohou způsobit při déletrvajícím expozici poškození sluchu. I ve vzdálenosti několika kilometrů od letiště způsobují proudová letadla hluk přes 80 dB. Zvuky nad 130 dB, jsou spojovány s pocitem bolesti (tab. č. 2) (Rosina et al., 2013).

## **1.5 Zdroje hluku v životním prostředí**

Z mnoha statistických šetření v rámci strategického hlukového mapování, které bylo provedeno u nás i v Evropě, vyplývá, že za hlukovou zátěž populace odpovídá přibližně z 60 % mimopracovní prostředí a ze 40 % pracovní prostředí (Havránek et al., 1990).

V komunálním prostředí představuje dlouhodobě největší zátěž obyvatel hluk ze silniční dopravy (75 – 85 %), kde na hlavních dopravních tazích lze naměřit hodnoty 70-85 dB (Vandasová, 2011). V posledních letech je zaznamenán nepříznivý nárůst osobní automobilové dopravy, který společně s nárůstem těžké nákladní dopravy obtěžuje stále více obyvatel a znehodnocuje životní prostředí. Možné řešení nabízí podpora veřejné hromadné dopravy, kde však v posledních letech rovněž dochází ke snížení podílu na osobní přepravě, s výjimkou železniční dopravy. Mnohem menší podíl na zátěži populace představují železniční a letecká doprava, popřípadě průmyslová a jiná technická výrobní zařízení (Kratina et al., 2015).

Často není příliš vážně brán hluk spojený s volnočasovými aktivitami, který však v kombinaci s profesionální expozicí může snížit čas určený k restituci organismu.

Ohroženou skupinou jsou zejména mladiství, kteří poslouchají hlasitou hudbu a osoby provozující hlučné záliby a sporty. Nadměrný hluk vyvolává v lidském organismu řadu nescifických reakcí. Je pravděpodobné, že snižuje obecnou odolnost vůči zátěži, zasahuje do regulačních pochodů a ovlivňuje pracovní výkonost. Časté jsou rovněž stížnosti na rušení a obtěžování hlukem, které doprovázejí pocity rozmrzelosti. Z dlouhodobého hlediska neřešená expozice hluku v životním prostředí může vést k rozvoji neurotických, psychosomatických i psychických obtíží (Provazník et al., 2000).

Vnímání hluku ze silniční dopravy, jakož to mobilního zdroje, působí na obyvatele přilehlých lokalit mnohdy méně rušivě, než například provoz stacionárního zařízení (průmyslový závod, sportovní stadión, staveniště). Důvodem je podle Kaňky (2010), skutečnost, že hluk spojený se silniční dopravou je územně nejvíce rozšířen a dosahuje obvykle vyšších hladin, oproti hluku ze stacionárních zařízení. Hlavní rozdíl v působení stacionárních zdrojů rušivěji na obyvatele spatřuje Havránek et al. (1990) a Liberko (2004) v možnosti podání stížnosti na konkrétního provozovatele hlučné činnosti.

V Evropské unii je kolem 54 % populace žijících v aglomeracích nad 250 tisíc vystaveno denním hladinám hluku ze silniční dopravy přesahujících 55 dB (Basner et al., 2013). Pokud vezmeme v úvahu všechny možné zdroje hluku z dopravy, zjistíme, že téměř polovina obyvatel EU je vystavena škodlivému působení hluku v chráněném venkovním prostředí. V nočních hodinách je více než 30 % obyvatel vystaveno ekvivalentním hladinám dopravního hluku vyšších než 55 dB, a tím je prokazatelně rušen jejich spánek (EEA, 2014).

Hluk ze silniční dopravy je způsobován mnoha zdroji. Mezi nejvýznamnější řadíme hluk pohonné jednotky (motoru) a třecí kontakt pneumatik s povrchem vozovky. Hluk ze zážehu palivového motoru převažuje při nižších rychlostech vozidel, do 30 km/h u osobních automobilů a do 50 km/h u nákladních. Při rychlosti vozidla nad 60 km/h již převládá hluk odvalováním pneumatik po vozovce. Vysoké rychlosti jsou spojeny s aerodynamickým hlukem způsobeným obtékáním vozidla vzduchem, kdy dochází současně k vibracím pohyblivých součástí karoserie (Murphy a King, 2014).

Okamžitá hlučnost vozidla je dána zejména rychlostí jízdy, otáčkami motoru a výkonovým zatížením vozidla. Rovněž přítomnost těžké nákladní dopravy zvyšuje hlučnost o 7 – 10 dB v závislosti na textuře a povrchu vozovky. Asfaltový povrch snižuje hluk ze silniční dopravy zhruba o 5 a více dB. Naopak nerovný povrch či jiná poškození vozovky v kombinaci s nepříznivými meteorologickými podmínkami hlučnost zvyšují (Havránek et al., 1990).



V posledních letech se vyvíjejí nízkohlučné povrchy vozovek, které pokud jsou vhodně udržovány, dokáží zlepšit hlukovou situaci v rozsahu 3-5 dB. Nevýhodou jsou poměrně vysoké náklady, a proto pořízení samosprávnými celky je vhodné konzultovat s odborníky na dopravu. V případě dopravního značení omezující rychlost, totiž převládá již hluk z pohonné jednotky a výsledný efekt je zanedbatelný (Křivánek et al., 2016). Asi největší změnu v oblasti snižování hluku z dopravy, představuje dynamický rozvoj elektromobilů. V současné době stále převládají klasické benzínové a naftové motory, avšak rozšiřování sítí čerpacích stanic, které mimo jiné nabízejí zásuvky pro dobíjení elektromobilů, znamená významný pokrok vpřed. Mezi odborníky však nenalezneme jednotný souhlas. Odpůrci zastávají názor, že pokud dojde k převaze elektromobilů v dopravním proudu, zvýší se počet dopravních nehod. Člověk má totiž určité zvuky, jako je jízda dopravního vozidla, spojeny s hrozícím se nebezpečím (Murphy a King, 2014).

## 1.6 Protihluková opatření

Problematiku snižování hluku ze silniční dopravy můžeme obecně rozdělit do tří oblastí. První z oblastí představuje snižování hluku v místě jeho šíření, tedy omezení hluku přímo u zdroje. Druhá oblast se zaměřuje na dráhu šíření hluku od zdroje k příjemci. Třetí oblastí je omezení hluku v místě jeho příjmu, tedy v chráněném prostoru staveb (Adamec et al., 2007).

V případech, kdy nelze provést opatření na snížení hluku u zdroje, nebo na dráze šíření, přistupujeme k ochraně jedince v místě jeho bydlení. Taková to opatření označujeme za pasivní a zahrnují zejména úpravu fasády budov. Zvýšením neprůzvučnosti obvodového pláště budovy lze zajistit vyhovující hlukovou situaci alespoň v interiéru. Přitom nejslabším článkem obvodového pláště jsou vždy okna. Správná instalace a výběr protihlukových oken závisí nejen na počtu a tloušťce skel, ale také na jejich vzdálenosti. Při vzdálenosti skel 12 mm je útlum necelých 30 dB, pokud zvýšíme vzdálenost na 42 mm, dosahujeme již útlumu 36 dB. Otázkou potom zůstává zajištění optimálního mikroklimatu uvnitř interiéru (Jokl, 2002).

Za nejúčinnější protihluková opatření z hlediska vynaložených nákladů a technické náročnosti považujeme snížení akustické emise přímo u zdroje hluku nebo v těsném okolí. Taková opatření naopak označujeme za aktivní. V případě snižování hlukové emise u silniční dopravy se jedná o samotnou konstrukci automobilů, jejich navrhovaný

design, ve spojitosti s nízko hlučnými povrchy vozovek. Pokles hlučnosti v dopravě o 3 dB (A) v dopravním proudu znamená snížení počtu vozidel na polovinu. Aktivní opatření proti hluku můžeme dále rozdělit na urbanistická, technická a dopravně-organizační (Kaňka, 2010).

Opatření urbanistická vycházejí zejména z procesu územního plánování. Řeší komplexní vedení dopravních tras z hlediska hlukové zátěže obyvatelstva. Využívají plánování výstavby objízdnych tras mimo centra měst a obytných zón, obzvláště pro těžkou nákladní dopravu. Navrhují soustředění silniční dopravy do koridorů, společných se železniční dopravou. Výhodou v případě výstavby dopravních koridorů je podstatně nižší nákladnost na protihluková opatření a znehodnocení menší části krajiny. V posledních letech můžeme pozorovat, nejenom u nás, ale i ve většině velkých evropských měst, zavádění samotných jízdních pruhů pro dopravní prostředky MHD. Taková to opatření mají posílit využívání MHD na úkor stále rostoucí individuální automobilové dopravy (Kaňka, 2010).

Uplatňování urbanistických opatření při projektování staveb vychází ze znalostí povahy zdroje hluku a respektování fyzikální podstaty šíření hluku. Situování budovy rovnoběžně s komunikací s malými, nejlépe žádnými mezerami, brání pronikání hluku do hloubky obytného prostoru. Objekty takto situované jsou zasaženy hlukem jen z jedné strany, což umožňuje dispoziční řešení obytných místností proti hluku. Při navrhování výškových budov je nutné počítat s odrazem od asfaltových povrchů, a proto je vhodné využití clonicích budov v bezprostřední blízkosti od zdroje hluku. Clonicími budovami mohou být objekty občanského vybavení, sklady, garáže, výroby a jiné objekty vyžadující nižší stupeň ochrany proti hluku (Havránek et al., 1990).

Technická opatření proti hluku jsou zaměřena na přizpůsobení vedení komunikace podmínkám krajiny. Například vedení komunikace v zářezu svahu bude podstatně snižovat hlučnost, než vedení komunikace údolím, kde hluk zasáhne úbočí a prakticky celý nechráněný prostor (Kaňka, 2010).

V případě nemožnosti vést komunikaci v zářezu nebo po estakádě, z nejrůznějších příčin, jako jsou nestabilita podloží či území chráněné krajinné oblasti, se přistupuje k omezení hlučnosti na dráze šíření. K tomuto účelu se využívají protihlukové clony (bariéry), které za sebou vytváří akustický stín (Bernard a Doucha, 2008).

Účinnost bariéry samotné popřípadě v kombinaci se zemním valem je do značné míry závislá na použité konstrukci a netěsnostech jednotlivých prvků stavby. Správně navržená bariéra dokáže zajistit snížení hladiny hluku až o 15 dB (A). V případě mezer

mezi barierou (např. únikové východy) je nutné v dostatečné výšce a délce clonit, jelikož dochází k ohybu a následnému vyzáření hluku za stěnou. Účinnost protihlukové stěny závisí rovněž na výšce a vzdálenosti od zdroje, obecně čím blíže je stěna ke komunikaci postavena, tím vykazuje vyšší útlum (Havránek et al., 1990).

Materiály ze kterých se dnešní protihlukové stěny vyrábějí, musí splňovat minimální požadavky na pohltivost a tlumení hluku. Od těžkých betonových a železobetonových stěn se spíše upouští, vzhledem k tomu, že nemají významnější útlumové vlastnosti, oproti lehkým konstrukcím ze dřeva nebo skla. Navíc pokud použijeme betonové stěny po obou stranách vozovky, dochází vlivem odrazu ke zvýšení hladiny hluku na druhé straně komunikace zhruba o 3 dB (A). Podobný efekt můžeme pozorovat při průjezdu tunelem (Kolb, 2008).

Doplňujícím prvkem zemních valů a protihlukových stěn bývají velmi často pásy zeleně. Z hlediska snížení hlučnosti se jedná v podstatě o zanedbatelný význam, ale z pohledu psychologického, tzn. oddělení zdroje hluku od příjemce, subjektivně zvyšuje účinnost protihlukových opatření. Nejvýznamnější důvodem využití zeleně všude tam, kde je to jen trochu možné, spočívá v pozitivním ovlivnění kvality ovzduší vlivem pohlcování prachových částic. Dalším z důvodů je celkový estetický dojem poskytující lepší splynutí s prostředím (Kolb, 2008).

Poslední skupinu protihlukových opatření označujeme jako dopravně-organizační. Jedná se o omezování maximální rychlosti, udržování povrchů komunikací v dobrém technickém stavu či zajištění plynulosti dopravy s využitím světelné koordinace na křižovatkách (zelená vlna). V nočních hodinách pozorujeme vypínání světelné signalizace, jedná se o stejný efekt, jako v případě zelené vlny (Bernard a Doucha, 2008).

## **1.7 Strategické hlukové mapování**

Součástí politiky EU je snižování počtu obyvatel dlouhodobě exponovaných nadměrným hladinám hluku ze všech zdrojů dopravy (silniční, železniční, letecká) a průmyslu. Z těchto důvodů vznikla Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES (Směrnice END). Směrnice se věnuje hlavním zdrojům hluku v životním prostředí, mimo zdrojů hluku z produkce venkovní hudby, provozování malých stacionárních zařízení nebo hluku ze sousedství a trávení volného času. Překračování hygienických limitů zde řeší příslušné obce s provozovateli hlučných zařízení. Cílem

směrnice END je zjištění míry expozice hluku ve venkovním prostředí s využitím nástrojů hlukového mapování a následným zajištění nápravných opatření v podobě akčních plánů. Povinností ČR je tedy implementovat nařízení evropského parlamentu do národní legislativy, viz novela zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví.

Hlukové mapy si lze jednoduše představit jako mapy městských aglomerací, okolí komunikací, železnic a letišť, v nichž je označeno území, zatížené hlukem (obr. č. 5) Součástí hlukových map jsou i údaje o počtu hlukem zasažených obytných budov, škol, zdravotnických zařízení a obyvatel (SZÚ, 2015).

Obsah hlukových map upravuje vyhláška Ministerstva zdravotnictví č. 523/2006 Sb., o hlukovém mapování, konkrétně příloha č. 2. Vyhláška stanovuje zaznamenat barevná hluková pásma (izofóny) po 5 dB, a to od úrovně hluku 45 dB do 75 dB. Vyhláška rovněž zavádí hlukové ukazatele pro celodenní obtěžování hlukem ( $L_{dvn}$ ), pro který jsou stanoveny tzv. mezní hodnoty (tab. č. 3). V nočních hodinách, tj. od 22 do 06 se zavádí hlukový ukazatel pro noc ( $L_n$ ), který vyjadřuje rušení spánku. Mezní hodnoty hluku představují jakousi obdobu maximálních hygienických limitů, jejichž překročení však není spojeno se sankcemi podle zák. č. 258/2000 Sb. Mezní hodnota je v tomto případě definována jako hodnota hluku, při níž dochází ke škodlivému zatížení životního prostředí. Hlukové mapování se tedy výhradně nezabývá vlivem hluku na zdraví, ale především monitoruje nejvíce zasažené územní celky a navrhuje opatření na zlepšení situace (Bernard a Doucha, 2008).

Na proces SHM navazuje tvorba akčních plánů, které konkrétně zaznamenávají postupy v oblasti územního plánování, plánování dopravních tras, přijímání opatření na snížení hluku, včetně zhodnocení efektivnosti a ekonomických nákladů přijatých opatření. Důležitou součástí tvorby akčních plánů je zapojení veřejnosti a informování o přijatých opatřeních (SZÚ, 2015).

Při interpretaci výsledků SHM je třeba mít na paměti, že jde o odhad hlukové situace na základě výpočtových metod, tj. matematického modelování. Hlukové mapy stejně tak jako výstupy v podobě počtu budov a osob zasažených hlukem a z toho vycházející odhady počtu obtěžovaných a rušených obyvatel ve spánku jsou zatíženy určitou nejistotou (SZÚ, 2015).

### ***1.7.1 Výsledky strategického hlukového mapování***

Strategické hlukové mapy nejsou pořízeny pro celé území České republiky, ale pouze pro zákonem stanovené aglomerace a dopravní infrastrukturu, kde lze přepokládat vyšší hlukovou zátěž obyvatelstva. V České republice proběhlo I. kolo strategického hlukového mapování (SHM) v letech 2006 – 2007, kdy byly vypracovány strategické hlukové mapy pro aglomerace s více než 250 tisíci trvale žijícími obyvateli tj. Praha, Brno, Ostrava a okolí hlavních silnic, po kterých projede více než 6 milionů vozidel za rok, okolí hlavních železničních tratí s více než 60 tisíci průjezdy za rok a okolí letiště Václava Havla v Praze (Kratina et al., 2015).

Obsahem II. kola SHM bylo zpracování rozsáhlejšího územního celku, konkrétně aglomerací s více než 100 tisíci trvale žijícími obyvateli (Praha, Brno, Ostrava, Plzeň, Ústí nad Labem – Teplice, Liberec, Olomouc) a dále pro všechny hlavní silnice, všechny hlavní železnice a aktualizace hlukových dat pro dvě největší letiště v ČR, tedy letiště Václava Havla v Praze a letiště Tuřany v Brně (Kratina et al., 2015).

Hlavním zdrojem hluku v životním prostředí dlouhodobě zůstává silniční doprava, a to jak v aglomeracích, tak v tranzitních obcích. Hlukové zátěži ze silniční dopravy přesahující stanovené mezní hodnoty, jejichž překročení indikuje potřebu tvorby akčních plánů pro omezení hluku, je u nás dle kompletních výsledků II. kola SHM vystaveno celodenně 264,8 tisíc obyvatel (2,5 % populace ČR) a v nočních hodinách 314,5 tisíc obyvatel (3,0 % populace). Většina osob zasažených hlukem ze silniční dopravy přesahujícím mezní hodnoty žije v městských aglomeracích. V případě celodenního obtěžování hlukem se jedná o 173,7 tisíc obyvatel, tj. 65,6 % celkového počtu obyvatel vystavených nadměrnému hluku, v nočních hodinách jde o 203 tisíc, tj. 64,6 % celkově zasažených obyvatel. Hlukové zátěži nad 50 dB způsobené silniční dopravou je pak celkově celodenně exponováno 3,7 milionu obyvatel (35,4 %). V noci úroveň hluku nad 40 dB zasahuje celkem 3,4 milionu (32,4 %) obyvatel ČR (Kratina et al., 2015)

V aglomeracích je z pohledu hlukové zátěže nejhorší situace v Plzni, kde je 24hodinové hlukové zátěži ze silniční dopravy překračující mezní hodnoty exponováno 9,8 % obyvatel, v noci pak 12,8 % obyvatel. Nepříznivá situace je rovněž v aglomeracích Praha a Brno, kde je hladinám hluku ze silniční dopravy nad mezní hodnoty vystaveno okolo 8 % obyvatel. Příznivější akustické prostředí je v aglomeracích Liberec, Olomouc a Ústí nad Labem/Teplice, kde je podíl obyvatel

žijících v oblastech s překročenými mezními hodnotami pro silniční dopravu pod úrovní průměru ČR. Nižší úrovní celodenní hlukové zátěže ze silniční dopravy nad 50 dB je v aglomeracích exponováno 84,9 % obyvatel, nejvíce pak v aglomeraci Ústí n. Labem/Teplice a Praha (Kratina et al., 2015).

Zvláště ohroženými objekty z hlediska expozice silniční dopravě jsou pak lůžková zdravotnická zařízení, kdy je celkem v 16 případech překročena mezní hodnota pro celodenní obtěžování ( $L_{dvn}$ ) hlukem, v noci počet dosahuje celkem 23 zařízení. Školských zařízení celodenně exponovaných hlukem ze silniční dopravy nad mezní hodnoty je 149, nejvíce pak v Praze (60) a Plzni (31). V Praze jsou navíc 2 školy exponované hluku z letecké dopravy, v Plzni je 14 školských zařízení vystavených nadměrnému hluku z průmyslu (Kratina et al., 2015).

## 1.8 Konstrukce hygienických limitů

Konstrukce hygienických limitů v oblasti hluku je do značné míry komplikovaná rozdílnou senzitivitou exponované populace. V procesu vnímání hluku existují značné interindividuální rozdíly. Jak poukazuje Řiháček (2007) citlivost k hluku narůstá s věkem, kromě toho ženy jsou vnímavější k negativním účinkům hluku a vykazují vyšší stupeň rozmrzelosti. Muži jsou naopak vnímavější, pokud jde o poškození sluchu z důvodu častější expozice vysokým hladinám v pracovním prostředí (Havránek et al., 1990).

Dá se říci, že u každého člověka existuje určitý stupeň senzitivity, respektive tolerance k rušivému účinku hluku, jako významně osobnostně fixovaná vlastnost. V normální populaci se nachází asi 10-20 % vysoce senzitivních osob, stejně jako velmi tolerantních. Pro zbylých 60-80 % populace víceméně platí kontinuální závislost míry obtěžování na intenzitě hlukové zátěže (Liberko, 2004).

Hygienické limity vycházejí z výsledků studií na velkém počtu osob, které prokazují u stejných hladin hluku různého původu rozdílný efekt a naopak rozdílné výsledky při stejných zdrojích i hladinách hluku na různých lokalitách v různých zemích. Z těchto důvodů nemůžeme při konstrukci hygienických limitů posuzovat pouze složku fyzikální, ale musíme také vycházet k celé řadě neakustických faktorů sociální, psychologické a ekonomické povahy (WHO, 1999).

Jak uvádí Havránek (1990) jakýkoliv limit, postavený například na  $L_{Aeq,T}$ , je nezbytná konvence, vyjadřující s přijatelnou pravděpodobností statistickou závislost

skutečné odpovědi lidí na konkrétní hluk a absolutizování takové hranice je vědecky nepodložené.

Hygienické limity tedy nepředstavují absolutní práh ochrany zdraví pro všechny skupiny obyvatel, ale určitý kompromis mezi zdravotními a technickými možnostmi dané společnosti. Například pokud hluk ze silniční dopravy překračuje hygienický limit v chráněném venkovním prostoru staveb ( $L_{Aeq,T} > 55$  dB), neznamená to, že hodnota 54,5 dB je vyhovující pro všechny obyvatele, ani že hodnota 55,5 dB povede k přímému ohrožení zdraví (Kaňka, 2010).

Obecně platí přísnější hygienické limity pro hluk v komunálním prostředí, oproti pracovnímu prostředí, jelikož zde není časově omezena délka expozice. Navíc k rušení a obtěžování dochází v čase, který je určen k odpočinku, včetně období nočního klidu. Významný faktor rovněž představuje používání osobních ochranných pracovních pomůcek na hlučném pracovišti, které zlepšuje hlukové klima samotného pracoviště (Kimáková et al., 2010).

### ***1.8.1 Hygienické limity hluku***

Hygienickým limitům hluku dává co do jejich konstrukce, výpočtů a také měření konkrétní náplň nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, v platném znění nařízení vlády č. 217/2016 Sb., které tak reaguje na novelu zákona č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví. Nařízení vlády stanoví nejvyšší přípustné hodnoty hluku a vibrací pro pracoviště a především pro chráněný venkovní prostor, chráněný venkovní prostor staveb a chráněný vnitřní prostor staveb, vedle toho se zabývá i způsoby měření a hodnocení těchto ukazatelů. Hygienický limit je v tomto předpisu chápán jako nejvyšší přípustná hodnota hluku nebo vibrací stanovená pro místa pobytu osob z hlediska ochrany jejich zdraví před nepříznivými účinky hluku nebo vibrací (Bernard a Doucha, 2008).

Chráněný venkovní prostor definuje zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví, v § 30, ods. 3, jako nezastavěné pozemky, které jsou užívány k rekreaci, lázeňské léčebně rehabilitační péči a výuce, s výjimkou lesních a zemědělských pozemků a venkovních pracovišť.

Chráněným venkovním prostorem staveb se podle téhož zákona rozumí prostor do vzdálenosti 2 m před částí jejich obvodového pláště, významný z hlediska pronikání hluku zvenčí do chráněného vnitřního prostoru bytových domů, rodinných domů, staveb

pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání, staveb pro zdravotní a sociální účely, jakož i funkčně obdobných staveb.

Podle § 12 nařízení vlády č. 272/2011 Sb., v platném znění, nesmí hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněném venkovním prostoru staveb způsobený provozem stacionárních zdrojů překročit v denní době ekvivalentní hladinu akustického tlaku  $L_{Aeq,8h} = 50$  dB, v noční době  $L_{Aeq,1h} = 40$  dB. V případě hluku ze silniční dopravy je při základní korekci hygienický limit hluku v denní době  $L_{Aeq,16h} = 55$  dB, v noční době je nejvyšší přípustná hladina  $L_{Aeq,8h} = 45$  dB. V závislosti na chráněném prostoru a denní a noční době se přičítají korekce (tab. č. 4).

Chráněným vnitřním prostorem staveb se podle odkazu zákona č. 258/2000 Sb., na vyhlášku č. 268/2009 Sb., o technických požadavcích na stavby, rozumí obytné a pobytové místnosti, s výjimkou místností ve stavbách pro individuální rekreaci a ve stavbách pro výrobu a skladování. Pobytová místnost rozumí místnost nebo prostor, které svou polohou, velikostí a stavebním uspořádáním splňují požadavky k tomu, aby se v nich zdržovaly osoby (např. kanceláře, ordinace, výukové prostory, nemocniční pokoje atd.).

Hygienické požadavky na chráněný vnitřní prostor staveb upravuje rovněž nařízení vlády č. 272/2011 Sb., konkrétně § 11. Určujícími ukazateli hluku jsou ekvivalentní hladina akustického tlaku  $L_{Aeq,8h} = 40$  dB, pro zdroje hluku nacházející se mimo obytné prostory a maximální hladina akustického tlaku  $L_{Amax} = 40$  dB, pro zdroje hluku nacházející se uvnitř objektu. Obsahuje-li hluk tónové složky, mimo hluku z dopravy, nebo má-li výrazně informační charakter, přičítá se korekce - 5 dB. V případě noční doby je ekvivalentní hladina akustického tlaku uvnitř objektu  $L_{Aeq,1h} = 30$  dB.

Starou hlukovou zátěží se dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů rozumí hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb, který existoval již před 1. lednem 2001, je působený dopravou na pozemních komunikacích nebo drahách, a překračoval hodnoty hygienických limitů stanovené k tomuto datu (Nařízení vlády č. 502/2000 Sb.) pro chráněný venkovní prostor a chráněný venkovní prostor stavby. Pokud tedy hluk před 1. lednem 2001 nepřekračoval hygienický limit dle tehdy platného NV č. 502/2000 Sb. nelze přiznat institut staré hlukové zátěže (SHZ) a pro tuto komunikaci platí hygienický limit dle současného znění nařízení vlády.

Institut SHZ byl zaveden v analogii s jinými starými ekologickými zátěžemi proto, aby bylo možno dočasně a za stanovených podmínek právně legalizovat nadlimitní stav,



který vznikl v podstatě historicky a spontánně, a na jehož řešení ve smyslu nových předpisů nemá společnost v daný moment dostatečné technické možnosti a finanční prostředky. Pokud tedy hlučnost existující v chráněných prostorech k rozhodnému datu nepřekročila hygienický limit pro (tolerovatelnou) SHZ, pak je tento stav tolerován, a to do té doby, než se prokazatelně zvýší, a to o více než 2 dB. Znamená to, že pokud hladina akustického tlaku existující v chráněných prostorech v okolí dané komunikace k rozhodnému datu nepřekračuje hygienický limit stanovený součtem základní hladiny a korekce pro SHZ (tab. č. 5), pak je tato hodnota hladiny akustického tlaku tolerována.

## **2 ZDRAVOTNÍ ÚČINKY DOPRAVNÍHO HLUKU**

Jako hluk se obecně označuje jakýkoliv zvuk, který je nechtěný, obtěžující nebo dokonce škodlivý pro naše zdraví a to bez ohledu na jeho intenzitu. Expozici hluku v životním prostředí lze tedy označit za bezprahově působící noxu (Liberko, 2004). Analýzu škodlivých účinků hluku na zdraví podává publikace WHO Burden of disease from environmental noise (2011), která poskytuje informace založené na důkazech o zdravotních účincích hluku v životním prostředí. Ke stanovení míry zátěže používá ukazatel DALYs (Disability-adjusted life years = roky života vážené disabilitou). DALYs je tvořen součtem YLLs (Years of life lost = roky ztracené předčasnými úmrtími) a YLDs (Years lost due to disability = roky ztracené životem s disabilitou). Expozice hluku byla zjištěna na základě výsledků hlukového mapování v členských zemích EU, s výjimkou výpočtu pro zhoršení kognitivních funkcí u dětí a tinitus.

Zdravotními účinky hluku v noční době se zabývá publikace WHO Night noise guidelines for Europe (2009), která vychází z kvantitativní analýzy hodnocení rizik ve vztahu dávka-účinek pro dopravní hluk. V noční době tj. v době spánku a fyziologické regenerace jsou za dostatečně prokázané považovány změny fyziologických funkcí (kardiovaskulární aktivita, EEG zaznamenaná aktivita mozku), poruchy spánku a zvýšené užívání léků na spaní. Omezené důkazy jsou pro nepříznivé účinky dopravního hluku na snížení imunity, ovlivnění vývoje plodu a porodní váhy novorozenců nebo poruchy duševního zdraví a častější pracovní úrazy (SZÚ, 2015).

Prozatím jediná epidemiologická studie zabývající se rizikem postmenopauzální rakoviny prsu u žen a dlouhodobou expozicí dopravnímu hluku byla provedena v Dánsku na kohortě 30 000 žen ve věku 54-64 let. Přitom nebyl spolehlivě objasněn mechanismus zvýšené incidence rakoviny prsu a předešlé víceleté expozice dopravnímu

hluku. Podle autorů studie zde hraje protektivní faktor melatonin, jenž je ve snížené míře vyplavován při rušení spánku dopravním hlukem (Belojević a Paunović, 2016).

Provedením metaanalýzy 9 relevantních studií bylo prokázáno zvýšení rizika diabetu 2. typu o 19 % u obyvatel vystavených dlouhodobě hladinám dopravního hluku  $L_{dvn} > 60 - 70$  dB, ve srovnání s obyvateli exponovaným hladinám dopravního hluku pod 60 dB v místech svého bydliště (Dzhambov, 2015).

Nejednotnost výsledků epidemiologických studií ve vztahu k zvýšení rizika zkoumaných neinfekčních onemocnění je dáвана do souvislosti se samotným designem studií, použitím různých hlukových deskriptorů a mnohdy malým počtem provedených studií na reprezentativním vzorku obyvatel (Babisch, 2003).

Pokud přihlédneme k fyzikální podstatě hluku, značná část autorů popisuje zdravotní účinky ve vztahu k intenzitě pomocí „*Lehmannova schématu*“, ve kterém hluk nad 30 dB je nebezpečný pro nervový systém a psychiku člověka, nad 65 dB pro vegetativní nervový systém, nad 85 dB pro sluchový orgán a hluk nad 120 dB může trvale poškodit buňky a tkáně (Jokl, 2002).

Spektrální složení hluku rozděluje hluk podle šířky pásma, kdy širokopásmový hluk má výraznější účinky na oběhové funkce a další účinky, zprostředkované přes podkoří. Naproti tomu úzkopásmový hluk, respektive tónový hluk má pronikavější účinky na sluchové ztráty a způsobuje vyšší subjektivní rušivost (Bencko et al., 2002).

Rovněž zvuky vyšší intenzity, s tónovými složkami, přerušované v čase jsou biologicky škodlivější po příjemce, než zvuky tiché a ustálené (Havránek et al., 1990).

Vyjádření škodlivého působení hluku na zdraví bez fyzikální parametrizace, jak již bylo řečeno, není v podstatě možné. Kromě fyzikálních vlastností hluku, o něž se opírá snižování hluku v životním prostředí v podobě protihlukových opatření a hodnocení nepříznivých účinků na zdraví, jsou zde psychosociální proměnné. Emocionální hodnocení zdroje hluku značně přispívá ke vzniku rozmrzelosti. Dopravní hluk, který interferuje s nějakou činností (čtení, komunikace, spánek) bude obecně vnímán jako škodlivější, i v případě dodržení hygienických limitů, než například hluk, jehož jsme samy zdrojem (stavební úprava domácnosti). Dlouhodobá neřešená hluková expozice vede k nepříznivému ovlivnění pohody, kdy dochází k pocitům nervozity, hněvu, napětí a úzkosti. Senzitivní jedinci reagují na dopravní hluk větším vzrušením a poplašnou reakcí, silnější vazokonstrikcí, rychlejším tepem, častěji udávají zdravotní problémy a depresi (Řiháček, 2007).

Pro subjektivní působení dopravnímu hluku byly zavedeny diferencované pojmy jako rušení (disturbance), při němž hluk interferuje s nějakou činností (spánek, duševní práci, řečovou komunikací apod.). Rozmrzelost (annoyance) pro pocit nepohody, vznikající působením hluku a prožívaný negativně hlukem postiženým člověkem nebo skupinou. Hlučnost (noisiness) jako subjektivní hodnocení pocitu s nepatřičností hluku v konkrétním prostředí. Obtěžování (nuisance) pro nepřipustné ovlivňování životního prostředí, případně osobních či skupinových práv (Adamec et al., 2007).

## **2.1 Specifické účinky hluku**

Poškození sluchového aparátu projevující se sluchovou ztrátou je dostatečně prokázáno u pracovní expozice hluku v závislosti na výši hladiny hluku a trvání expozice. V zemích EU je zhruba 25 % populace vystaveno v pracovním prostředí  $L_{Aeq,8h}$  nad 85 dB (A), což představuje závažné riziko pro poškození sluchového aparátu. Ztráty sluchu způsobené expozicí hluku jsou častější pro technická a průmyslová odvětví. U pracovníků, kteří vykazovali ztráty sluchu, byl rovněž pozorován tinitus, v závislosti na věku. Objektivní posouzení sluchových ztrát v souvislosti s vykonávanou prací lze hodnotit jako nemoci z povolání (Domingo-Pueyo et al., 2016).

Riziko sluchového postižení však existuje i u hluku v mimopracovním prostředí, zejména u vnímavých jedinců, při různých činnostech spojených s vyšší hlukovou zátěží. Z fyziologického hlediska jsou podstatou poškození zprvu přechodné a posléze trvalé funkční a morfologické změny smyslových a nervových buněk Cortiho orgánu vnitřního ucha (Fonseca, V. Ribas et al., 2016). Epidemiologické studie prokázaly, že u více než 95 % exponované populace nedochází k poškození sluchového aparátu ani při celoživotní expozici hluku v životním prostředí a aktivitách ve volném čase do 24 hodinové ekvivalentní hladiny akustického tlaku  $L_{Aeq,24h} = 70$  dB (WHO, 1999).

Při nárazovém působení vysokých hladin akustického tlaku hrozí akutní akustické trauma s poškozením bubínku a struktur středního a vnitřního ucha při hodnotách akustického tlaku nad 130 dB. Prah bolestivosti je udáván u zdravých osob mezi 110 – 130 dB, avšak vykazuje značnou individuální variabilitu. Prah nepříjemného vnímání hluku je mezi 80 – 100 dB. V některých případech, jako jsou např. zánětlivá onemocnění bubínku a středního ucha, nebo Meniérova choroba, však práh bolestivého vnímání hlukových impulsů může být i nižší. Toto platí i u osob používajících některé

typy naslouchadel. K prevenci akutních sluchových poškození by hodnoty maximální hladiny akustického tlaku  $L_{Amax}$  měly být nižší, než 110 dB (WHO, 1999).

## **2.2 Nespecifické účinky hluku**

Nespecifické systémové účinky hluku na lidské zdraví jsou dávány do souvislosti nejenom se zdravotními potížemi, ale také s poruchami v oblasti psychosociální. V současné době je hodnocení vlivu nespecifických účinků expozice hluku ze silniční dopravy potvrzeno dostatečným množstvím odporných publikací na základě epidemiologických studií (EEA, 2010).

Nejobecnější reakce na dopravní hluk se odehrává v oblasti obtěžování. Uplatňuje se zde jak emoční složka vnímání, tak složka poznávací pro rušení hlukem při různých činnostech. Dlouhodobé působení hluku způsobuje celou řadu negativních emočních stavů, mezi které patří pocity rozmrzelosti, nespokojenosti, podrážděnosti, až po deprese, úzkost a celkové vyčerpání. Tyto pocity se odvíjí nejenom od fyzikální charakteristiky zdroje hluku, místa a času expozice, ale závisí i na osobnosti příjemce a jeho zdravotním stavu. Přitom nejvíce ohroženou skupinu tvoří senioři a děti, gravidní ženy, lidé pracující na hlučném pracovišti, směnoví zaměstnanci, osoby po prodělání ušního onemocnění, osoby s kardiovaskulárním onemocněním, duševně nemocní a další skupiny obyvatel. Nejedná se tedy o zanedbatelný počet obyvatel vzhledem k rozložení v populaci (Vandasová a Fialová, 2015).

Negativní účinky hluku v oblasti emocionální rovněž závisí na postoji jedince vůči zdroji hluku, kdy osoba blízká působí nižší rozmrzelost, než neznámý provozovatel hlučné činnosti. Nižší rozmrzelost rovněž způsobuje hluk, u nějž je předem známo, že bude trvat po určitou vymezenou dobu. Asi nejhůře je pociťován dopravní hluk v nočních hodinách, kdy při dlouhodobé trvalé expozici jsou pozorovány změny v oblasti chování, vyjádřené zavíráním oken, nepoužíváním balkonů, stěhováním do tišších lokalit, nebo podáváním stížností na překračování hygienických limitů (Rylander, 2006).

U obyvatel zasažených hlukem pozorujeme z dotazníkových šetření v rámci „*Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí*“ (2007) významné zhoršení komunikace řeči v nejhlučnějších lokalitách, s použitím hlukového deskriptoru pro celodenní obtěžování hlukem ( $L_{dvn}$ ) > 70 dB. Výsledkem je negativní hodnocení zdravotního stavu, kdy respondenti na šestibodové škále uvádějí v závislosti na hlučné lokalitě obtíže při komunikaci a porozumění řeči, vedoucí

k problémům v mezilidských vztazích, k nejistotě a zvýšenému množství stresových reakcí. Výskyt je významně vyšší v nejhlučnějších lokalitách (obr. č. 6), kde hluk způsobuje narušení komunikace mezi lidmi u 32 % respondentů a u 40 % respondentů, jejichž byt má okna obytných místností situovaná do ulice. V nejnižších lokalitách uvedlo tento problém pouze 8 % respondentů. Rovněž dochází v závislosti na lokalitě k rušení spánku, které může vést ke zvýšenému užívání léků na spaní s jejich nežádoucími účinky.

Pokud časová expozice hluku přesáhne kompenzační mechanismy organismu, může dojít, obzvláště u senzitivních jedinců, k rozvoji celé řady patologických stavů. Důvodem je nejspíše nespecifický stresující faktor hluku, který vede ke změnám fyziologických, biochemických a morfologických funkcí organismu. Za spolehlivě prokázané nepříznivé účinky hluku, vycházející z celé řady epidemiologických studií, lze považovat účinky na kardiovaskulární systém, rušení spánku, zhoršení kognitivních funkcí u dětí a samozřejmě specifické poškození sluchu (WHO, 2011).

Mezi další zdravotní účinky vyvolané akutní reakcí na hlukovou zátěž považujeme, zvýšení krevního tlaku a tepové frekvence, vylučování kortikoidů, zvýšení hladiny glukózy v krvi a změny hladiny některých minerálů v séru. Změny těchto vegetativních funkcí jsou spíše dávány do souvislosti se stresujícím dopadem hluku, než jeho přímým působením (Hrnčíř, 2013).

Určení jednoznačného podílu hlukové zátěže v etiopatogenezi vybraných civilizačních onemocnění není možné bez bližšího epidemiologického a statistického šetření. Důvodem je multifaktoriální etiologie, kdy na vzniku a rozvoji těchto nemocí má významný vliv nejenom délka expozice v hlučném prostředí, ale také sociální a pracovní prostředí, včetně životního stylu jedince (Lekaviciute a Sobotova, 2013).

### ***2.2.1 Vliv dopravního hluku na kardiovaskulární systém***

Z celé řady epidemiologických studií, které proběhly za posledních 20 let, byla prokázána asociace mezi dlouhodobou expozicí hluku z pozemní a letecké dopravy a zvýšeným počtem kardiovaskulárních onemocnění u dětí a dospělých. Nepříznivé účinky hluku z železniční dopravy na kardiovaskulární systém nejsou prozatím spolehlivě ověřeny vzhledem k omezenému počtu studií (WHO, 2011).

Dopravní hluk působí jako nespecifický stresor, který aktivuje autonomní nervový systém a endokrinní systém. Výsledkem jsou dočasné změny fyziologických funkcí, prokázané laboratorními metodami změnou průtoku krve, krevního tlaku,

vazokonstrikce, srdeční frekvence, hladiny krevních lipidů, glukózy, vápníku a hořčiku a faktorů krevní srážlivosti. Podkladem takových to nefyziologických změn je zvýšené vyplavování stresových hormonů, a to zejména katecholaminů, adrenalinu, noradrenalinu a kortizolu (Babisch, 2003). Předpokládá se, že po dlouhodobé expozici dopravnímu hluku mohou u senzitivních jedinců tyto funkční změny a dysregulace vést ke zvýšenému riziku kardiovaskulárních onemocnění, včetně hypertenze, arteriosklerózy a infarktu myokardu (WHO, 2011).

Dlouhodobá expozice vysokým hladinám hluku v laboratorních podmínkách vedla u pokusných zvířat k poškození cévní stěny a zhoršení srdeční funkce (Ising et al., 1979). Experimentální studie Ising, H. a Braun C. (2000) u dobrovolníků poukazuje na zvýšení krevního tlaku spojené s vyplavováním kortizolu a adrenalinu při krátkodobé expozici (20 s) hladinám  $L_{\max}$  nad 105 dB, simulující v audiometrické komoře přelet vojenského letounu. Studie případů a kontrol, která byla zaměřena na vyplavování stresových hormonů působením hluku ze silniční dopravy v nočních hodinách, testovala skupinu obyvatel žijících v okolí rušné komunikace ( $L_{Aeq}$  69 dB) a kontrolní skupinu obyvatel žijících v tiché lokalitě ( $L_{Aeq} < 45$  dB). Z výsledku ani jedné skupiny není pozorován vzestup adrenalinu, avšak došlo k signifikantnímu zvýšení vyplavování noradrenalinu oproti kontrolní skupině. Otevřená okna způsobila v závislosti na hladinách hluku zvýšené vyplavování kortizolu, zejména u mužů.

Na základě výsledků epidemiologických studií konstatovala WHO ve směrnici pro komunální hluk z roku 1999, že kardiovaskulární účinky jsou předpokládány při dlouhodobé expozici ekvivalentní hladině akustického tlaku  $L_{Aeq,24h}$  v rozmezí 65 – 70 dB a více, pokud jde o letecký nebo dopravní hluk. Avšak tato asociace je slabá a je poněkud silnější pro ischemickou chorobu srdeční než pro hypertenzi (WHO, 1999).

Výsledky novějších epidemiologických studií v podobě metaanalýzy sledující vztah mezi silničním hlukem a kardiovaskulárním rizikem (infarkt myokardu) neprokázaly přítomnost zvýšeného rizika při denních expozičních hladinách  $L_{Aeq,16h} < 60$  dB. Zvýšené riziko bylo nalezeno až pro hladiny  $L_{Aeq,16h} > 60$  dB. Hodnotu  $L_{Aeq,16h} = 60$  dB považuje tato studie za hraniční i pro riziko ischemické choroby srdeční. Ve většině studií byla použita jako hlukový deskriptor ekvivalentní hladina akustického tlaku v denní době  $L_{Aeq,6-22h}$ , popř. 24hodinová  $L_{dn}$  nebo  $L_{dvn}$  (Babisch, 2008).

Zvýšené riziko ICHS bylo nalezeno ve většině studií při hlukové expozici  $L_{Aeq,6-22h} > 60$  dB, i když zřídka vyšlo statisticky významné. Ve většině studií je relativní riziko (RR) = 1,1 – 1,5 pro hlukovou zátěž nad 65 – 70 dB a ještě se zvyšuje při

zohlednění délky expozice, orientace oken a zvyklosti otevírání oken. Vyšší je též u lidí, kteří se cítí být hlukem obtěžováni. Pozitivně vychází i vztah mezi hlukovou expozicí a spotřebou léků, jak kardiovaskulárních, tak hypnotik a sedativ. Existuje tedy kauzální vztah mezi dlouhodobou expozicí silniční a letecké dopravě a zvýšením rizika kardiovaskulárního onemocnění v podobě infarktu myokardu nebo ischemické choroby srdeční (Babisch, 2008).

Rovněž přibývá evidence zabývající se vztahem mezi hlukem ze silniční a letecké dopravy a rozvojem hypertenze. Uvádí to ve svém článku Davies a Kamp (2012), kteří ověřovali lékařské diagnózy u kohorty 1953 dospělých osob žijících v rušných lokalitách. Dlouhodobá expozice hluku (více než 10 let) hladinám 56-70 dB (A), vedla k 1,9 násobnému zvýšení rizika vzniku hypertenze na hladině významnosti (95% CI-1,1-3,5). U mužů a žen nad 65 let bylo riziko dokonce 3,8x vyšší oproti neexponované populaci.

Z hlediska vztahu noční hlukové expozice ke kardiovaskulárnímu riziku dosud nejsou shromážděny zcela prokazatelné důkazy. Důvodem je malý počet studií používajících jako hlukový deskriptor  $L_{\text{night}}$ . Podle experimentů u pokusných zvířat i existujících studií však lze předpokládat, že právě noční hluk má silnější vztah k tomuto riziku, nežli hluk denní, což indikují i výsledky nejnovějších epidemiologických studií jak pro silniční, tak i letecký hluk. WHO uvádí pro noční hlukovou expozici prahovou hodnotu hlukové zátěže pro riziko hypertenze a infarktu myokardu 50 dB  $L_{\text{night}}$  s poznámkou, že toto riziko je podmíněno i denním hlukem. Odvození této prahové hodnoty ovšem více méně vychází ze studií denní hlukové expozice ( $L_{\text{day}}$ ) nebo 24 hodinové expozice ( $L_{\text{dvn}}$ ) s hodnotou NOAEL 60 dB a předpokladu, že noční hladina hluku je u hluku ze silniční dopravy cca o 10 dB nižší (WHO, 2009).

### ***2.2.2 Vliv dopravního hluku na rušení spánku***

Spánek je základní biologickou potřebou každého člověka a v případě spánkové deprivace hrozí závažné poškození nejenom fyziologických, ale také psychických funkcí. Délka spánku se pohybuje v závislosti na věku v průměru kolem 7,5 hodiny, avšak skutečná délka je kratší (WHO, 2009).

Rušení spánku dopravním hlukem způsobuje objektivně prodloužení délky usínání, časté noční buzení, redukci fáze REM spánku a zkrácení celkové doby určené pro spánek. Subjektivní hodnocení rušení spánku využívá dotazníkového šetření, které se zaměřuje na rušivé působení hluku během předešlé noci. Z hlediska konkrétního

diagnostikování spánkové poruchy lze využít spánkový polygraf, který zaznamenává elektrické potenciály mozku (EEG), pohyby očí a mimovolní pohyby těla, zatímco svalové napětí snímají přiložené elektrody. Nevýhodou takového vyšetření jsou vysoké náklady a obtížné provedení měření na velkém souboru obyvatel (Murphy a King, 2014).

Průřezová studie zabývající se rušením spánku u obyvatel městských částí v okolí mezinárodního letiště v Soulu prokázala na subjektivní škále pomocí standardizovaného dotazníku u více než 3000 respondentů, vyšší index insomnie (nespavosti), ale také zvýšené riziko pro hypersomnii (zvýšené spavosti) během dne. S využitím modelu mnohonásobné logistické regrese bylo potvrzeno 3,26 x vyšší riziko insomnie u obyvatel zasažených hlukem přistávajících a vzletajících dopravních letadel na hladině významnosti (CI 95 %), oproti obyvatelům tichých lokalit. Pro komplexní vyhodnocení kvality spánku studie zahrнула mimo jiné demografické, socioekonomické a geologické proměnné. Přitom ženy vykazovaly signifikantně vyšší riziko rušení spánku (OR = 1,51), než muži a OR se zvyšovalo s věkem (Kwak et al., 2016).

Jak vyplývá z průřezové studie, letecká doprava se významnou měrou podílí na rušení kvality spánku u exponovaných obyvatel. Narušení fyziologické struktury spánku, může vést k rozvoji celé řady spánkových poruch, včetně spánkové apnoe nebo insomnie. Poruchy spánku, respektive jimi způsobené zkrácení celkové délky spánku je dáváno do příčinné souvislosti se vznikem obezity, diabetu, kardiovaskulárních chorob a zvýšené úmrtnosti (Grandner et al., 2012).

Současně panují nejasnosti, zda ustálený hluk způsobuje rušení spánku ve stejné míře, jako hluk proměnný. Kageyama (2016) považuje proměnný hluk za více rušivý pro spánek, i když dosahuje stejné  $L_{Aeq}$  jako hluk ustálený. Podle WHO k narušení spánku vede jak ustálený, tak i proměnný hluk. WHO ve směrnici pro noční hluk doporučuje jako jednotný hlukový deskriptor  $L_{night}$ . Pro různé účinky stanovuje prahové hladiny hluku, od kterých se účinky začínají objevovat nebo začínají být závislé na úrovni expozice. Na základě zhodnocení prokázaných i předpokládaných nepříznivých účinků noční hlukové expozice WHO (2009) doporučuje 40 dB jako cílovou hodnotu  $L_{night}$  k ochraně obyvatel včetně citlivých skupin populace. Z hlediska metodiky hodnocení rizik je tato hladina hluku považována za LOAEL, tedy úroveň expozice, při které se již nepříznivý vliv začíná projevovat. Za NOAEL, tedy úroveň expozice, do které se nepříznivé účinky neprojeví, je považována  $L_{night}$  30 dB. V rozmezí 30 – 40



dB bylo prokázáno ovlivnění spánku ve více ukazatelích, avšak jen mírné úrovně a nebylo prokázáno, že by mělo nepříznivé účinky na zdraví (WHO, 2009).

Další prahové hladiny  $L_{\text{night}}$  jsou stanoveny například pro užívání sedativ a léků na spaní hodnotou 40 dB. Pro objektivně prokázanou zvýšenou frekvenci pohybů ve spánku, subjektivní pocit rušení spánku a problémy s nespavostí je prahová hladina hluku 42 dB. A za neúplně prokázané účinky udává WHO prahovou hodnotu hluku 60 dB pro psychické poruchy (WHO, 2009).

Hluková expozice v rozmezí  $L_{\text{night}}$  40 – 55 dB již vyvolává nepříznivé zdravotní účinky a ovlivňuje život mnoha lidí. Jako prozatímní cíl pro státy, ve kterých nelze v krátké době dosáhnout hodnoty 40 dB, doporučila WHO  $L_{\text{night}}$  55 dB, která ovšem nechrání před nepříznivými účinky hluku citlivé skupiny populace. Hodnotu  $L_{\text{night}}$  nad 55 dB považuje WHO za zvýšené riziko pro veřejné zdraví (WHO, 2009).

Podstatným faktorem při odvození těchto hodnot hlukové expozice je zásada, že má být umožněn spánek s pootevřeným oknem ložnice, neboť při zavřených oknech se sice u obyvatel snižuje rušivý vliv venkovního hluku, ale zvyšuje se rušení spánku vlivem nedostatečného větrání. Tato skutečnost vychází z průměrných údajů o způsobech a zvyklostech větrání ložnic a výsledků současného měření venkovního a vnitřního hluku a uvažuje průměrné snížení vnitřního hluku vůči venkovnímu až o 21 dB (WHO, 1999).

### ***2.2.3 Vliv dopravního hluku na kognitivní funkce u dětí***

Děti představují z hlediska expozice dopravnímu hluku obzvláště citlivou populační skupinu. Experimentální a epidemiologické studie zařazené v publikaci WHO (2011) se zaměřují především na kvantifikaci zhodnocení kognitivních funkcí u dětí ve školním prostředí. Zatím spolehlivě nebyl prokázán účinek různých zdrojů dopravního hluku na zhoršení kognitivních funkcí.

O bližší objasnění se pokusil ve svém experimentu na školních dětech ve věku 12-14 let Hygge (2003), který pozoroval schopnost vybavit si a rozpoznat určený text, který děti obdrželi před 1 týdnem v tichém a hlučném prostředí třídy. V hlučné třídě byly reprodukovány jednotlivé i kombinované zvuky  $L_{\text{eq}}$  55-66 dB (A) po dobu 15 minut, charakterizující zdroje letecké, silniční a železniční dopravy. Z výsledků je patrný jasný nepříznivý vliv na schopnost vybavení si požadovaného textu a menší, ale stále signifikantní vliv na rozpoznání textu.

Nepříznivý vliv hluku na proces osvojení řeči a čtení u školních dětí uvádí jako jeden z prokázaných účinků hluku již směrnice WHO pro komunitní hluk z roku 1999. Jako prahová hladina hlukové expozice je zde uvedena venkovní ekvivalentní hladina akustického tlaku během výuky  $L_{Aeq,T}$  70 dB, která se týkala především škol exponovaným vysokým hladinám hluku z přilehlých letišť.

Mezinárodní studie RANCH (Road Traffic and Aircraft Noise Exposure and Children's Cognition and Health), realizovaná v letech 2001–2003 u dětí ve věku 9–10 let z 89 škol z okolí tří velkých evropských letišť, prokázala lineární vztah mezi expozicí leteckému hluku (vyjádřenému v  $L_{Aeq,16h}$ ) a zhoršením osvojením čtení, tzn. porozumění čtenému textu, i při podstatně nižší úrovni hlukové zátěže, nežli se z předešlých studií předpokládalo. Podle tohoto vztahu dochází při zvýšení expozice hluku o 5 dB ke zpoždění schopnosti čtení u dětí o 1–2 měsíce. Na rozdíl od jiných studií nebyl tento vztah nalezen pro hluk ze silniční dopravy, což se ale vysvětluje nižší úrovní hlukové expozice z tohoto zdroje. Dodatečným šetřením se zjistilo, že noční hluk v místě bydliště dětí, nezhoršuje vliv denního hluku ve škole (WHO, 2011).

Monitorování hlukové situace v okolí škol často zastiňuje nevhodné akustické podmínky uvnitř samotné školy. Problémy s porozuměním mluvené řeči mohou být způsobeny v učebnách provozem výtahů, ventilačních zařízení a topení nebo nevhodným situováním tříd kolmo ke směru komunikace. Problémy s akustikou ve třídách mají zejména budovy projektované v 60. a 70. letech minulého století, ve kterých se neúměrně prodlužuje doba dozvuku. Nesprávná architektura školní budovy, včetně tříd, způsobuje zhoršení porozumění mluvené řeči, přičemž slova ztrácejí svůj význam (Schneider, 2005). Podle WHO by pro dostatečně srozumitelné vnímání složitějších zpráv a informací měl být rozdíl mezi hlukovým pozadím a hlasitostí vnímané řeči nejméně 15 dB. Při průměrné hlasitosti řeči 50 dB by tak nemělo hlukové pozadí v místnostech převyšovat 35 dB (WHO, 1999).

### 3 CÍLE PRÁCE A HYPOTÉZY

**Cíl 1:** Statisticky vyhodnotit trendy hlukové zátěže za 20ti leté období v monitorovaných lokalitách.

**Cíl 2:** Vytipovat a orientačním měřením potvrdit výskyt lokalit v sídle extrémně zatížených hlukem a charakterizovat proměnlivost hlukové zátěže během 24hodinového intervalu.

**Cíl 3:** Na podkladech dřívějších dotazníkových studií definovat hlavní formy obtěžování dopravním hlukem se zaměřením na psychosociální podmíněnost obtěžování.

**Hypotéza 1:** Existuje významná psychosociální vazba u vnímání dopravního hluku, která je mnohdy v rozporu s výsledky měření hluku.

**Hypotéza 2:** Orientační měření hluku je dostatečné pro kvantifikaci míry obtěžování či rušení spánku hlukem.

## 4 METODIKA

### Cíl 1:

K naplnění tohoto cíle byla zvolena sekundární analýza dat, která vychází z výstupů jednotlivých ročníků Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí. Systematický monitoring rizikových faktorů životního prostředí a jeho vyhodnocování na lidské zdraví je nedílnou součástí hodnocení zdravotních rizik populace. Cílem sledování rizikových faktorů, včetně hlukové zátěže obyvatelstva (subsystém III), je vytvořit validní informace pro rozhodování státní správy a samosprávy v oblasti politiky veřejného zdraví, a v rámci řízení a kontroly zdravotních rizik. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí vznikl v roce 1994 a od té doby je nepřetržitě realizován v krajských a dalších městech, v nichž žije celkem přes 3,5 milionu obyvatel. Představuje rozsáhlý soubor pravidelných činností zaměřených na sledování přímých cest expozice kontaminantů a na odhad vyplývajících zdravotních dopadů a rizik. Data jsou sbírána zčásti hygienickou službou (zdravotními ústavy) a zčásti dalšími spolupracujícími organizacemi.

Expozice hluku je nedílnou součástí životního prostředí, avšak oproti znečištění ovzduší či kontaminaci pitné vody, nepředstavuje kromě nadměrné expozice vysokým hladinám hluku v pracovním prostředí, okamžitý dopad na lidské zdraví. Hluk se jako rizikový faktor liší od ostatních monitorovaných veličin rozdílným rozložením v prostoru. Jedná se zejména o značné gradienty změn intenzit hlučnosti v jednom místě. Subsystém III je stále realizován ve 21 městě, z toho v Praze ve 3 obvodech. Obsahuje fyzikální měření úrovně hluku a zdravotní průzkum samostatným dotazníkem. V každém městě, kde probíhá monitorování, jsou vybrány 2 základní lokality, jedna odpovídá hlučné a druhá tiché části města. Přístrojové vybavení všech spolupracujících stanic bylo stejné a měření probíhá podle jednotné metodiky.

Výběr základních hlučných a tichých lokalit byl proveden tak, aby bylo možné opakovaným měřením hluku z jednoho místa sledovat hlučnost celé lokality a z toho plynoucí hlukovou expozici obyvatel s přesností vyšší než 2 dB  $L_{Aeq}$ . Tak je možné zaznamenávat také změny v intenzitě dopravy, protože při vyjadřování hlučnosti ekvivalentní hladinou akustického tlaku nastane změna o 3 dB při poklesu na polovinu či při zdvojnásobení počtu hlučných událostí, resp. intenzity dopravy. Dalším z kritérií

bylo stanovit minimální počet obyvatel majících trvalý pobyt v hlučných lokalitách, kdy pro kvantitativní hodnocení dat byl nezbytný minimálně počet 300 obyvatel. Pravděpodobně nejobtížnějším zavádějícím faktorem v hodnocení hlukové zátěže obyvatelstva je vyloučení možného spolupůsobení ostatních rizikových faktorů, kterým jsou obyvatelé v životním prostředí běžně exponováni. Jedná se například o prachové částice ( $PM_{10}$  a  $PM_{2,5}$ ) či výfukové plyny dopravních vozidel.

Analýza vývoje hluku v letech 1994 - 2006 byla provedena na základě výsledků měření hluku ve 38 lokalitách v 19 městech (v každém městě ve dvou lokalitách s různou hlučností) a to pro hlukové ukazatele  $L_d$  (den 6:00–18:00 hod.),  $L_v$  (večer 18:00–22:00 hod.),  $L_n$  (noc 22:00–6:00 hod.) a  $L_{dvn}$  (den-večer-noc), uvedené ve Vyhlášce o hlukovém mapování č. 523/2006 Sb. Velikost změny hlukových ukazatelů byla vyjádřena jako změna za dobu deseti let měření v průběhu sledovaného období. Testována byla hypotéza, zda jsou v dané lokalitě hodnoty hlukových ukazatelů ve sledovaném období konstantní a jejich kolísání je možno považovat za náhodné odchylky. V opačném případě bylo předpokládáno, že dochází k nárůstu nebo poklesu hodnoty hlukových ukazatelů.

Významnost zjištěného nárůstu resp. poklesu byla testována statistickou metodou lineárního regresního modelu. Testy byly prováděny na hladině významnosti  $p = 0,05$ . Za věcně významné změny byly považovány změny větší než 2 dB za 10 let. V polovině všech hodnocených lokalit nebyl ve sledovaném období zjištěn žádný vývoj celodenní (den-večer-noc) hlukové situace, naměřené hodnoty tam náhodně kolísaly. V polovině lokalit byl prokázán statisticky významný vzestup (11 lokalit) či pokles (8 lokalit) hlukového ukazatele pro den-večer-noc. K významnému vzestupu o více než 2 dB došlo v osmi lokalitách, k významnému poklesu většímu než 2 dB ve třech lokalitách.

Celkově nebyl zjištěn významný rostoucí ani klesající trend vývoje hlučnosti, neboť průměrná změna za deset let ukazatele  $L_{dvn}$  ve sledovaných lokalitách činí celkem 0,8 dB a není statisticky významná. Je třeba vzít v úvahu, že lokality určené pro sledování dopadů hluku v životním prostředí na zdraví byly vybrány uvnitř měst v oblastech s ukončenou zástavbou, kde až na výjimky nedochází k významnému stavebnímu rozvoji.

Tab. č. 7 Vývoj hlukových ukazatelů v letech 1994–2006

Město City	Lokalita 1* / Locality 1*				Lokalita 2 / Locality 2			
	$L_d / L_d$	$L_v / L_e$	$L_n / L_n$	$L_{dvn} / L_{den}$	$L_d / L_d$	$L_v / L_e$	$L_n / L_n$	$L_{dvn} / L_{den}$
Brno	0	0	0	0	0	P	0	P
České Budějovice	0	0	P	–	0	0	0	0
Děčín	+	0	0	+	0	0	0	0
Havlíčkův Brod	+	V	V	V	0	0	V	0
Hradec Králové	0	0	0	0	0	0	0	0
Jablonec	0	0	0	0	P	0	0	–
Jihlava	P	0	0	0	0	0	0	0
Kladno	V	V	V	V	0	0	V	V
Kolín	V	V	V	V	0	0	0	0
Liberec	P	0	0	0	V	V	V	V
Olomouc	0	+	+	+	0	0	0	0
Ostrava	0	0	0	0	P	0	0	–
Plzeň	–	0	0	–	0	0	0	0
Praha 3	P	P	–	P	0	0	0	0
Příbram	–	–	P	–	V	V	V	V
Ústí nad Labem	V	V	V	V	0	0	0	0
Ústí nad Orlicí	0	V	0	0	0	0	0	0
Znojmo	P	0	0	P	V	0	0	V
Ždár nad Sázavou	–	0	0	0	+	0	0	+

**Zdroj:** Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí, 2008.

**Poznámky:**

- \* lokalita 1 je v každém městě hlučnější než lokalita 2
- + statisticky významný vzestup na hladině významnosti  $p = 0,05$
- statisticky významný pokles na hladině významnosti  $p = 0,05$
- 0 náhodné kolísání hodnot
- V statisticky významný vzestup na hladině významnosti 0,05 a zároveň nad 2 dB/10 let
- P statisticky významný pokles na hladině významnosti 0,05 a zároveň nad 2 dB/10 let

## Cíl 2:

K naplnění tohoto cíle bylo provedeno orientační měření hlukoměrem značky CEL- 440 (obr. č 7), pro lokality nejvíce zasažené dopravním hlukem ve městě Jihlava. Stanovení hluku ze silniční dopravy se zaměřovalo na chráněný venkovní prostor staveb nacházejících se v bezprostřední blízkosti komunikací I. třídy (ul. Jiráskova, Dvořákova a Znojemská). Celkem bylo vytipováno 6 měřících míst (M1 až M6), kdy kromě M1 (školské zařízení) zahrnuje měření i noční dobu.

Před započítáním měření byla provedena kalibrace přístroje, kdy uváděná nejistota měření byla stanovena se směrodatnou odchylkou  $\sigma = 3$  dB. Samotný rozsah měření byl zvolen ve 3 intervalech pro den (od 6:00 do 22:00) a 1 intervalu pro noc (od 22:00 do 6:00) v délce 60 minut. Doba měření vychází z platné metodiky pro výpočet hluku z automobilové dopravy (2011) a výsledné hodnoty byly porovnány s protokolem měření hlučnosti (2008/401/JI-HP). Pro všechna měření byl použit váhový filtr A, který nejlépe odpovídá citlivosti lidského sluchu. Rovněž byla nastavena časová charakteristika F (Fast), která odpovídá proměnnému zdroji hluku v podobě silniční dopravy. Mikrofon byl na všech místech měření situován kolmo ke směru komunikace, ve vzdálenosti 2 m před fasádou chráněného objektu, upevněn pomocí stativu ve výšce  $\pm 1,6$  m. Napájení zajištěno bez kabeláže bateriemi typu AA.

Součástí měření hlukové situace bylo také provedení sčítání dopravy rozdělené do krátkodobých 15 minutových intervalů odpovídajících délce 60 minut. Sčítány byly jednotlivé dopravní proudy v definovaných kategoriích (osobní automobily, lehké nákladní automobily, těžké nákladní automobily, autobusy, motocykly). Vzhledem k vysokému počtu vozidel byla zvolena metoda videozáznamu na mobilní zařízení, které bylo upevněno s hlukoměrem na stativu. Výsledky intenzit dopravy ve vztahu k naměřeným hladinám hluku pro jednotlivá sídla jsou zpracována v programu Microsoft Excel (2010) pomocí spojnicových grafů.

Pro účely měření byly rovněž zaznamenány meteorologické podmínky, tj. údaje o teplotách, srážkách, proudění, tlaku a vlhkosti vzduchu, které byly zpracovány z internetového portálu In-počasí.cz. pro nejbližší místa měření.

Přesný popis míst měření umožňuje přiložená fotodokumentace. První fotografie vždy zobrazuje pozici mikrofonu (čelní pohled) vzhledem k chráněnému venkovnímu prostoru stavby. Druhá fotografie (boční pohled) zohledňuje polohu komunikace.

### Cíl 3:

Definování hlavních forem obtěžování dopravním hlukem u exponované populace vychází z výsledků dotazníkového šetření v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí. Respondenti dotazníkových šetření vyjadřovali míru obtěžování doma během dne určitým typem zdroje hluku na šestibodové škále s krajními hodnotami „silně“ a „vůbec ne“. Za přítomnost silného obtěžování hlukem byly považovány stupně 5 a 6 této šestibodové škály (kategorie 2), středního obtěžování stupně 3 a 4 (kategorie 1) a slabého stupně 2 a 1 (kategorie 0). Individuální obtěžování z jednotlivých zdrojů dopravy (automobilová osobní, nákladní, motocyklová, autobusová, tramvajová, železniční, letecká) byly pro zkoumání vztahu onemocnění a hluku sumarizovány následujícím způsobem.

Osobní, nákladní a motocyklová doprava byly vytipovány jako nejvíce obtěžující zdroje dopravního hluku podle nejvyšší průměrné míry obtěžování a rozptýlenosti počtu osob (měřenou entropií) v jednotlivých kategoriích míry obtěžování. Ostatní dopravní zdroje (autobusová, tramvajová, železniční a letecká doprava) se vyskytují pouze v některých ze sledovaných lokalit, proto byla pro každého respondenta použita hodnota nejvíce obtěžujícího zdroje hluku. Míra obtěžování jedince dopravním hlukem (skóre) byla popsána jako součet čtyř hodnot: hodnoty obtěžování osobními automobily, nákladními automobily a motocykly, a dále hodnoty maxima z ostatních dopravních zdrojů. Tento součet může nabývat hodnot od 0 do 8. Za silně obtěžované byly v sumarizovaném zpracování považovány osoby s celkovým skóre 7 či 8. Jde tedy o jedince, kteří uvedli alespoň tři různé zdroje dopravního hluku, jímž jsou silně obtěžováni. Za slabě obtěžované byly považovány osoby se skóre 0, 1 nebo 2.

Skóre obtěžování dopravním hlukem je statisticky významně asociované s hlučností lokality. V hlučných lokalitách (nad 70 dB) je silně obtěžováno dopravním hlukem (stupeň 7 a 8) 35 % respondentů, ve středně hlučných lokalitách (55–70 dB) 17 % a v tichých lokalitách (pod 55 dB) pouze 1 % respondentů. Metodou lineárního regresního modelu byly zjištěny dlouhodobé trendy vývoje hluku v jednotlivých sledovaných lokalitách systému monitorování.

Podobné rozdělení obtěžovaných (hlukem ze souhrnně silniční, železniční, letecké dopravy) bylo zjištěno ve studii LARES zahrnující zhruba 8 tisíc respondentů v 8 evropských městech. Otázka se vztahovala k míře obtěžování hlukem doma v



posledních 12 měsících. Slabě obtěžovaných respondentů bylo 48 %, středně 38 % a silně 14 %.

## Hypotéza 1

Z výsledků dotazníkového šetření s názvem „Hluk a zdraví“ v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí (1998), který se konal v období 1994 - 1995 a 1996 – 1997 na reprezentativním vzorku 3 335 mužů a 4 408 žen byla statisticky potvrzena psychosociální závislost mezi vnímáním hluku ze silniční dopravy a zvýšením incidence pro některé civilizační choroby. Psychosociální podmíněnost zahrnovala faktory socioekonomické, demografické a zdravotní povahy, které mají významný vliv k multifaktoriálním příčinám sledovaných civilizačních chorob.

Komplexní analýzou s využitím metod faktorové analýzy, analýzy rozptylu a logistické regresní analýzy byly nalezeny některé další významné vztahy. Je to zejména, u starších věkových skupin, pozitivní korelace (s rostoucí hlučností roste významně i hodnocený ukazatel) mezi denní hlučností a lithiázami (u žen) a hypertenzí a vředovou nemocí trávicího traktu (u mužů). Subjektivní hodnocení vlastního zdravotního stavu pozitivně koreluje s denní hlučností velmi významně ( $p < 0,01$ ). Analýza dále potvrdila, že většina ostatních ukazatelů, kde byla prokázána statisticky významná závislost k hladině hlučnosti, případně k lokalitám označeným jako hlučné a tiché, patří do skupiny charakterizující prostředí domů či bytů respondentů. Stavební a hluková charakteristika domu a zejména prostředí bytů ve většině případů pozitivně koreluje s údaji probandů charakterizujících jejich vztah k hlučnosti.

Rozdíl mezi muži a ženami v obtěžování hlukem byl na hranici statistické významnosti ( $p = 0,07$ ). Z hlediska psychosociální podmíněnosti vykazovaly osoby starší 60 let vyšší stupeň vnímavosti, než osoby v nejmladší věkové kategorii 30 let. Posouzení vztahu mezi věkem a obtěžováním vyžaduje použití pokročilejších statistických metod a zjištění možného vlivu dalších proměnných (rodinný stav, délka pobytu v domácnosti, zdravotní stav).

Z demografických faktorů byla statisticky prokázána asociace mezi dosaženým vzděláním a udávanou mírou obtěžování dopravním hlukem. Vyšší senzitivitu uváděli obyvatelé hlučných lokalit s vyšším vzděláním, oproti obyvatelům se základním vzděláním, při porovnání stejných hladin hluku z automobilové dopravy. Také osoby v manželství uváděli častější míru obtěžování dopravním hlukem v lokalitách nepřekračujících hygienické limity.

## Hypotéza 2

Orientační měření hluku stanovilo ekvivalentní hladiny pro noční dobu, které ve vztahu k výše uvedenému textu, reprezentují úroveň vedoucí k rušení spánku. Ověření platnosti hypotézy orientačního měření ve vztahu k rušení spánku dopravním hlukem není statisticky možné. Naměřené hodnoty ekvivalentních hladin nočního hluku byly proto alespoň porovnány s protokolem měření hlučnosti (2008/401/JI-HP), který popisuje stejné lokality v technické třídě přesnosti. Důvodem nemožnosti vyhodnotit hypotézu č. 2 byl nedostatečný počet naměřených dat, kdy validní vyhodnocení vyžaduje delší časový úsek měření a jeho větší četnost.

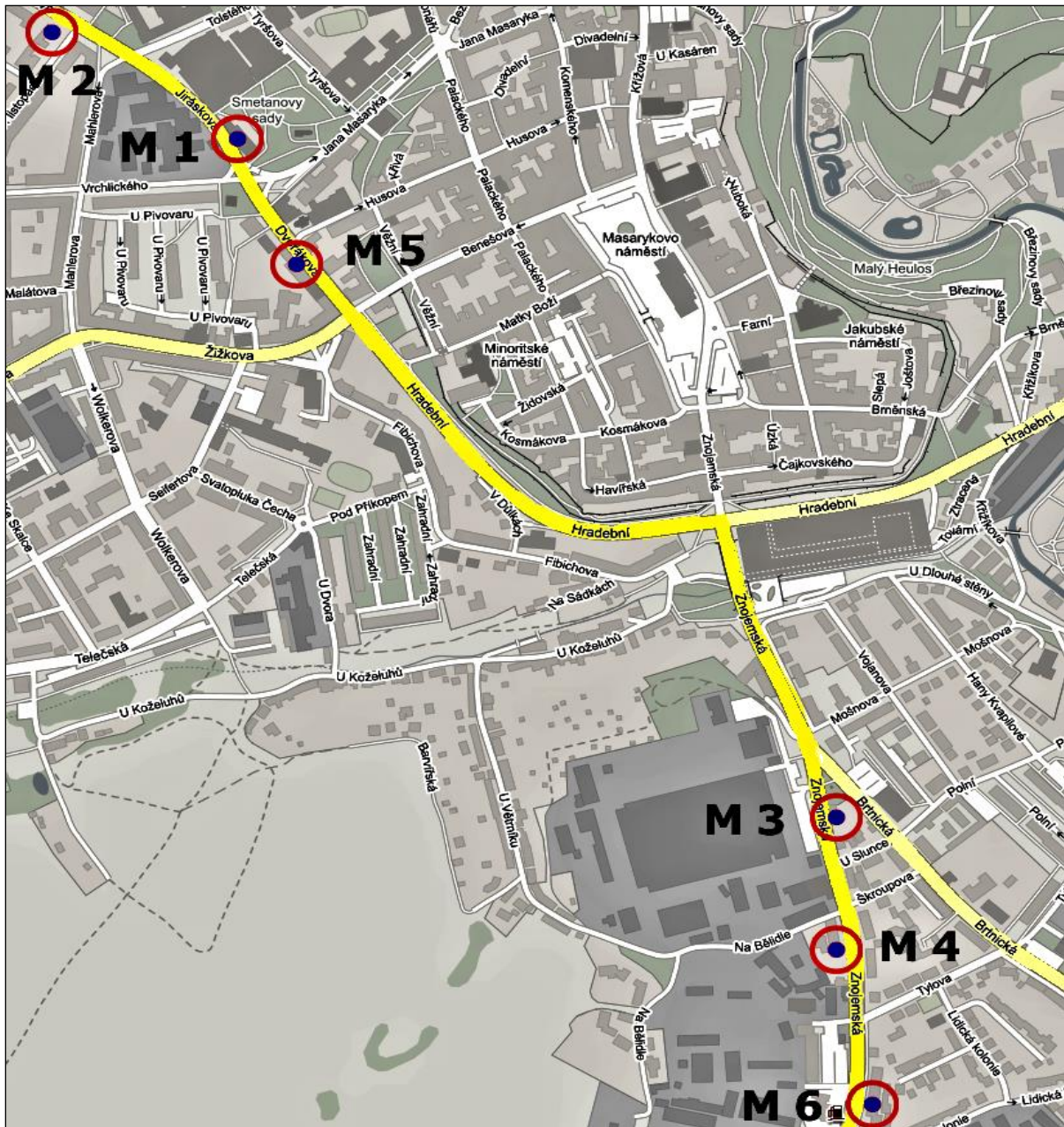
Výsledky orientačního měření a technického měření zobrazuje tab. č. 8, včetně porovnání s hygienickými limity v noční době pro hluk z dopravy. Orientačním měřením bylo potvrzeno překročení hygienického limitu v noční době podle zákona č. 272/2011 Sb. v místech měření M3, M5 a M6, v dalších místech M2 a M4 se nacházely hodnoty v pásmu nejistoty. Technické měření naopak potvrdilo dodržení hygienického limitu pro sídla M4 a M6, v případech M2 a M3 se nacházely výsledky měření v pásmu nejistoty. Ve stejné třídě přesnosti byly překročeny ekvivalentní hladiny v lokalitách M1 a M5 pro noc.

Tab č. 8

Měřicí místo		Denní doba	Orientační měření $\sigma = 3$ dB	Porovnání s hygienickým limitem hluku	Technické měření $\sigma = 2$ dB	Porovnání s hygienickým limitem hluku
M1	Manažerská akademie Jiráskova č. p. 2	NOC	/	NESTANOVENO	$64,8 \pm 2,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>
M2	Rodinný dům Jiráskova č. p. 7	NOC	$62,3 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření	$59,6 \pm 2,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
M3	Bytový dům Znojemská č. p. 55	NOC	$63,3 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>	$58,8 \pm 2,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
M4	Bytový dům Znojemská č. p. 72	NOC	$59,1 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření	$54,1 \pm 2,0$	<b>Prokazatelně dodržen</b>
M5	Bytový dům Dvořákova č. p. 7	NOC	$68,4 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>	$63,1 \pm 2,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>
M6	Bytový dům Znojemská č. p. 103	NOC	$63,7 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>	$53,8 \pm 2,0$	<b>Prokazatelně dodržen</b>



Zdroj: Vlastní výzkum

## 5 VÝSLEDKY MĚŘENÍ HLUKU



Obr. č. 8 Mapa míst měření dopravního hluku ve městě Jihlava

Zdroj: Mapy.cz (upraveno)

-  Místo měření hluku
-  Místo sčítání dopravy

Tab. č. 9 Naměřené hladiny hluku

<b>M 1</b>	<b>Chráněný venkovní prostor stavby - Jiráskova č.p. 2, Jihlava (Manažerská akademie)</b>										
	<b>Datum: 13. 09. 2016</b>										
<b>Čas Od - do</b>	<b>L<sub>Zpeak</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmax</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmin</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AE</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>EP,d</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF10,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF50,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF90,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF99,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>
9:00 - 10:00	86	81,3	56,2	106	70,5	74	69	61	57,5	70,5	<b>70,5</b>
13:00 - 14:00	86	81,9	55,9	106,4	70,9	75,5	69,1	62	58,3	71,3	<b>71,3</b>
17:00 - 18:00	86	82,5	54,9	105,7	70,2	74	69	61	57,1	70,2	<b>70,2</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**Poznámky:**

**L<sub>Zpeak</sub>** = Nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku

**L<sub>AFmax</sub>** = Maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AFmin</sub>** = Minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AE</sub>** = Hladina hlukové expozice (SEL)

**L<sub>EP,d</sub>** = Dávka hluku vztažená k zvolenému časovému intervalu

**L<sub>AF10,T</sub>** = Distribuční (procentní) hladina akustického tlaku

**L<sub>Aeq,T</sub>** = Ekvivalentní hladina akustického tlaku

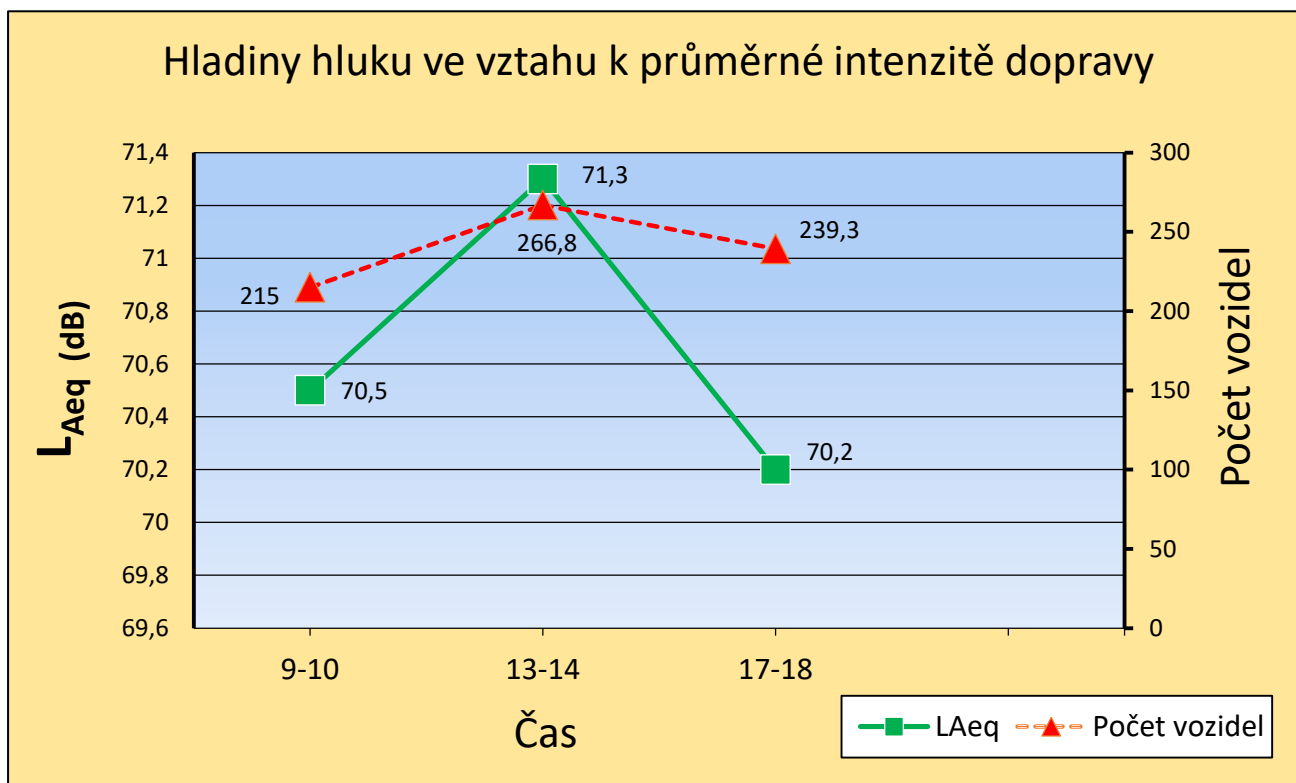
Tab. č. 10 Sčítání vozidel

<b>M 1</b>	<b>Komunikace I/38 úsek ulice Jiráskova č.p. 2, Jihlava</b>																				
	<b>Datum: 13. 09. 2016</b>																				
<b>Čas Od - do</b>	<b>intenzita dopravy - směr A</b>							<b>intenzita dopravy - směr B</b>							<b>intenzita dopravy - směr A + B</b>						
	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>
09:00-09:15	88	14	10	1	1	2	<b>116</b>	95	13	10	1	2	0	<b>121</b>	183	27	20	2	3	2	<b>237</b>
09:15-09:30	107	7	3	2	3	0	<b>122</b>	95	4	11	3	2	0	<b>115</b>	202	11	14	5	5	0	<b>237</b>
09:30-09:45	79	6	4	3	3	1	<b>96</b>	93	1	5	1	1	1	<b>102</b>	172	7	9	4	4	2	<b>198</b>
09:45-10:00	88	4	4	3	1	0	<b>100</b>	82	4	2	1	1	1	<b>91</b>	170	8	6	1	2	1	<b>188</b>
13:00-13:15	110	2	8	3	3	1	<b>127</b>	104	8	5	3	3	2	<b>125</b>	214	10	13	6	6	3	<b>252</b>
13:15-13:30	134	4	5	1	4	1	<b>149</b>	112	5	8	2	3	3	<b>133</b>	246	9	13	3	7	4	<b>282</b>
13:30-13:45	111	7	2	3	5	4	<b>132</b>	127	3	6	0	4	1	<b>141</b>	238	10	8	3	9	5	<b>273</b>
13:45-14:00	108	7	3	4	4	1	<b>127</b>	113	4	7	3	3	3	<b>133</b>	221	11	10	7	7	4	<b>260</b>
17:00-17:15	123	0	0	0	2	2	<b>127</b>	131	2	2	0	3	2	<b>140</b>	254	2	2	0	5	4	<b>267</b>
17:15-17:30	95	2	1	1	3	2	<b>104</b>	112	0	1	1	4	1	<b>119</b>	207	2	2	2	7	3	<b>223</b>
17:30-17:45	110	3	1	2	4	3	<b>123</b>	97	3	1	0	2	0	<b>103</b>	207	6	2	2	6	3	<b>226</b>
17:45-18:00	104	0	0	4	2	5	<b>115</b>	117	0	1	2	3	3	<b>126</b>	221	0	1	6	5	8	<b>241</b>
<b>Celkem</b>	1257	56	41	27	35	22	<b>1438</b>	1278	47	59	17	31	17	<b>1449</b>	2535	103	100	41	66	39	<b>2884</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**OA** = osobní automobily**TNA** = těžké nákladní automobily**BUS** = autobusy a trolejbusy**LNA** = lehké nákladní automobily**NS** = nákladní soupravy**M** = motocykly

Graf. č. 1



Zdroj: Vlastní výzkum

Ekvivalentní hladiny hluku relativně stabilní s maximální hladinou 82,5 dB v časovém intervalu 17-18 hodin. Ve stejném intervalu zaznamenán nepatrný pokles intenzity dopravy. Chráněný objekt odpovídá školskému zařízení, tedy nejsou měřeny noční hladiny hluku.

Tab. č. 11

<b>M 1</b>	<b>Meteorologické podmínky</b>				
	<b>Datum: 13. 09. 2016</b>				
<b>Čas</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Srážky (mm)</b>	<b>Tlak (hPa)</b>	<b>Proudění (km/h)</b>	<b>Vlhkost (%)</b>
9:00 - 10:00	19,5	0	1026,4	4	69
13:00 - 14:00	28,6	0	1025,1	6	38
17:00 - 18:00	31,9	0	1023,1	7	26

Zdroj: In-počasí.cz





Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek č. 9 Chráněný venkovní prostor stavby - Jiráskova č.p. 2, Jihlava (Manažerská akademie). Umístění mikrofonu 2 m před fasádou stavby, ve výšce 1,6 m, kolmo ke komunikaci.



Tab č. 12 Naměřené hladiny hluku

<b>M 2</b>	<b>Chráněný venkovní prostor stavby rodinného domu - Jiráskova č.p. 7, Jihlava</b>										
	<b>Datum: 20. 09. 2016</b>										
<b>Čas Od - do</b>	<b>L<sub>Zpeak</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmax</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmin</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AE</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>EP,d</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF10,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF50,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF90,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF99,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>
9:00 - 10:00	102,9	85	50,2	103	58,4	71	64	55	52	67,5	<b>67,5</b>
13:00 - 14:00	106	100,4	48,4	106,3	61,7	71	64	55	52,5	70,7	<b>70,7</b>
17:00 - 18:00	103,9	80,8	47,6	102	57,4	70,5	63,5	54	51	66,4	<b>66,4</b>
22:00 - 23:00	106	86,7	34,4	97,9	53,3	66,5	56	43,5	37	62,3	<b>62,3</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**Poznámky:**

**L<sub>Zpeak</sub>** = Nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku

**L<sub>AFmax</sub>** = Maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AFmin</sub>** = Minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AE</sub>** = Hladina hlukové expozice (SEL)

**L<sub>EP,d</sub>** = Dávka hluku vztažená k zvolenému časovému intervalu

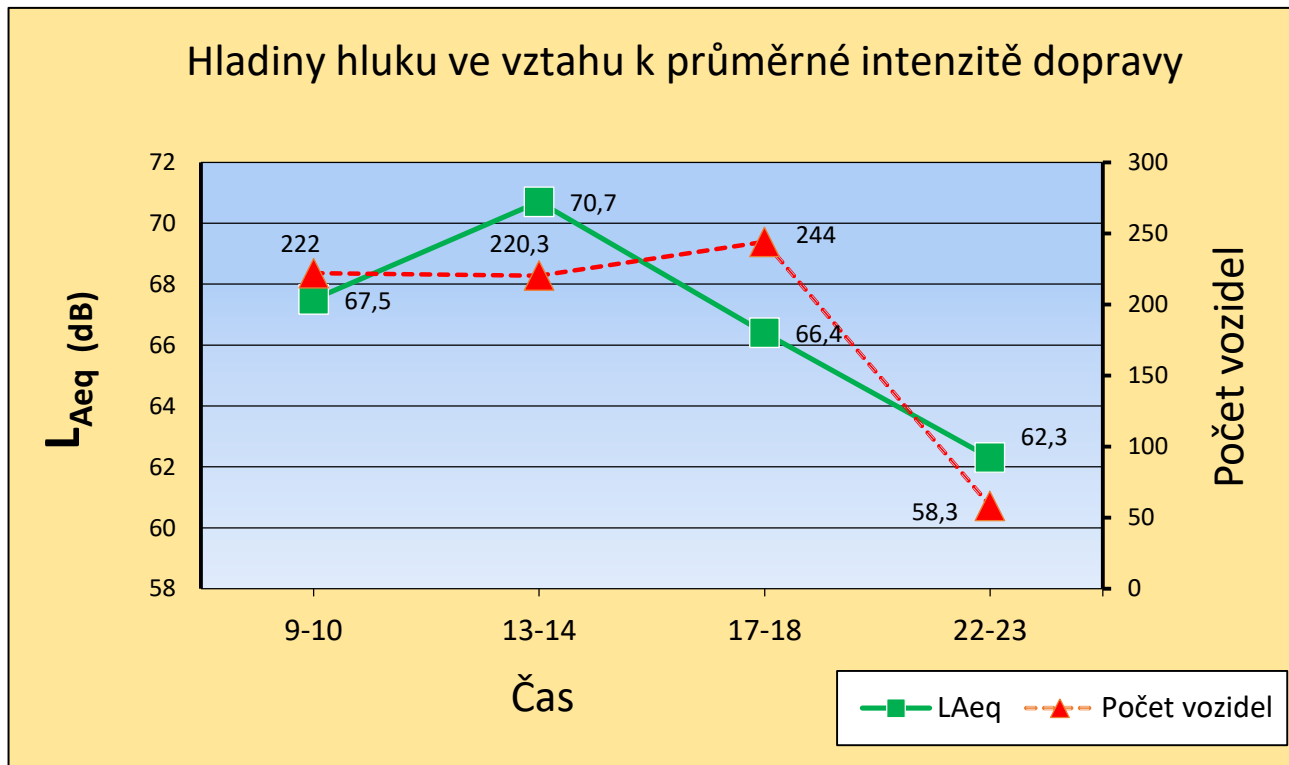
**L<sub>AF10,T</sub>** = Distribuční (procentní) hladina akustického tlaku

**L<sub>Aeq,T</sub>** = Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Tab.č 13 Sčítání vozidel

<b>M 2</b>	<b>Komunikace I/38 úsek ulice Jiráskova č.p. 7, Jihlava</b>																				
	<b>Datum: 20. 09. 2016</b>																				
<b>Čas Od - do</b>	<b>intenzita dopravy - směr A</b>							<b>intenzita dopravy - směr B</b>							<b>intenzita dopravy - směr A + B</b>						
	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>
09:00-09:15	105	7	6	1	2	1	<b>122</b>	78	6	7	2	5	0	<b>98</b>	183	13	13	3	7	1	<b>220</b>
09:15-09:30	93	7	3	2	2	0	<b>107</b>	70	12	7	5	4	0	<b>98</b>	163	19	10	7	6	0	<b>205</b>
09:30-09:45	106	4	6	1	2	0	<b>119</b>	85	16	4	3	2	0	<b>110</b>	191	20	10	4	4	0	<b>229</b>
09:45-10:00	109	10	10	5	2	0	<b>136</b>	82	4	5	4	3	0	<b>98</b>	191	14	15	9	5	0	<b>234</b>
13:00-13:15	58	9	5	3	2	0	<b>77</b>	55	8	2	2	4	0	<b>71</b>	113	17	7	5	6	0	<b>148</b>
13:15-13:30	86	8	3	4	3	0	<b>104</b>	119	11	5	2	6	1	<b>144</b>	205	19	8	6	9	1	<b>248</b>
13:30-13:45	108	10	7	0	3	0	<b>128</b>	106	6	3	3	6	2	<b>126</b>	214	16	10	3	9	2	<b>254</b>
13:45-14:00	110	5	2	5	3	0	<b>125</b>	84	8	7	3	3	1	<b>106</b>	194	13	9	8	6	1	<b>231</b>
17:00-17:15	140	3	1	3	4	1	<b>152</b>	110	6	1	3	3	0	<b>123</b>	250	9	2	6	7	1	<b>275</b>
17:15-17:30	124	6	1	0	3	0	<b>134</b>	116	3	2	2	3	1	<b>127</b>	240	9	3	2	6	1	<b>261</b>
17:30-17:45	103	5	1	1	2	0	<b>112</b>	95	6	1	0	5	3	<b>110</b>	198	11	2	1	7	3	<b>222</b>
17:45-18:00	98	6	2	0	4	2	<b>112</b>	95	3	1	1	3	3	<b>106</b>	193	9	3	1	7	5	<b>218</b>
22:00-22:15	51	0	0	2	1	0	<b>54</b>	13	1	0	1	1	0	<b>16</b>	64	1	0	3	2	0	<b>70</b>
22:15-22:30	70	2	1	0	1	2	<b>76</b>	16	0	1	0	0	0	<b>17</b>	86	2	2	0	1	2	<b>93</b>
22:30-22:45	19	0	1	0	5	0	<b>25</b>	10	0	0	0	1	0	<b>11</b>	29	0	1	0	6	0	<b>36</b>
22:45-23:00	11	0	0	1	1	0	<b>13</b>	19	1	0	0	1	0	<b>21</b>	30	1	0	1	2	0	<b>34</b>
<b>Celkem</b>	1391	82	49	28	40	6	<b>1596</b>	1153	91	46	31	50	11	<b>1382</b>	2544	173	95	59	90	17	<b>2978</b>

Graf č. 2



Zdroj: Vlastní výzkum

Průběh ekvivalentní hladiny s významným maximem 100,4 dB v intervalu 13-14 hodin. V nočních hodinách zaznamenán setrvalý pokles hlučnosti podpořený výrazným snížením intenzity dopravy.

Tab č. 14

<b>M 2</b>	<b>Meteorologické podmínky</b>				
	<b>Datum: 20. 09. 2016</b>				
<b>Čas</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Srážky (mm)</b>	<b>Tlak (hPa)</b>	<b>Proudění (km/h)</b>	<b>Vlhkost (%)</b>
9:00 - 10:00	10,4	0	1022,6	10	86
13:00 - 14:00	12,9	0	1023	21	53
17:00 - 18:00	15,8	0	1022,1	24	38
22:00 - 23:00	10,8	0	1024,6	1	68

Zdroj: In-počasí.cz



Zdroj: Vlastní výzkum

Obrázek č. 10 Chráněný venkovní prostor stavby rodinného domu - Jiráskova č.p. 7, Jihlava. Umístění mikrofonu na terase (2 n.p.), 2 m před fasádou domu, ve výšce 1,6 m, kolmo ke směru komunikace.

Tab č. 15 Naměřené hladiny hluku

<b>M 3</b>	<b>Chráněný venkovní prostor stavby – Znojemská č.p. 55, Jihlava</b>										
	<b>Datum: 21. 09. 2016</b>										
<b>Čas Od - do</b>	<b>L<sub>Zpeak</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmax</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmin</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AE</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>EP,d</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF10,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF50,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF90,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF99,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>
9:00 - 10:00	106	90,3	40	106,1	61,5	75	64	53,5	46,5	70,5	<b>70,5</b>
13:00 - 14:00	106	88,8	44,1	105,3	60,8	74	63	53	48	69,7	<b>69,7</b>
17:00 - 18:00	106	88,9	44,4	104,4	59,8	73,5	62	53	47,5	68,8	<b>68,8</b>
22:00 - 23:00	104,1	86,9	32,8	98,9	54,4	65	49,5	39,5	35	63,3	<b>63,3</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**Poznámky:**

**L<sub>Zpeak</sub>** = Nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku

**L<sub>AFmax</sub>** = Maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AFmin</sub>** = Minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AE</sub>** = Hladina hlukové expozice (SEL)

**L<sub>EP,d</sub>** = Dávka hluku vztažená k zvolenému časovému intervalu

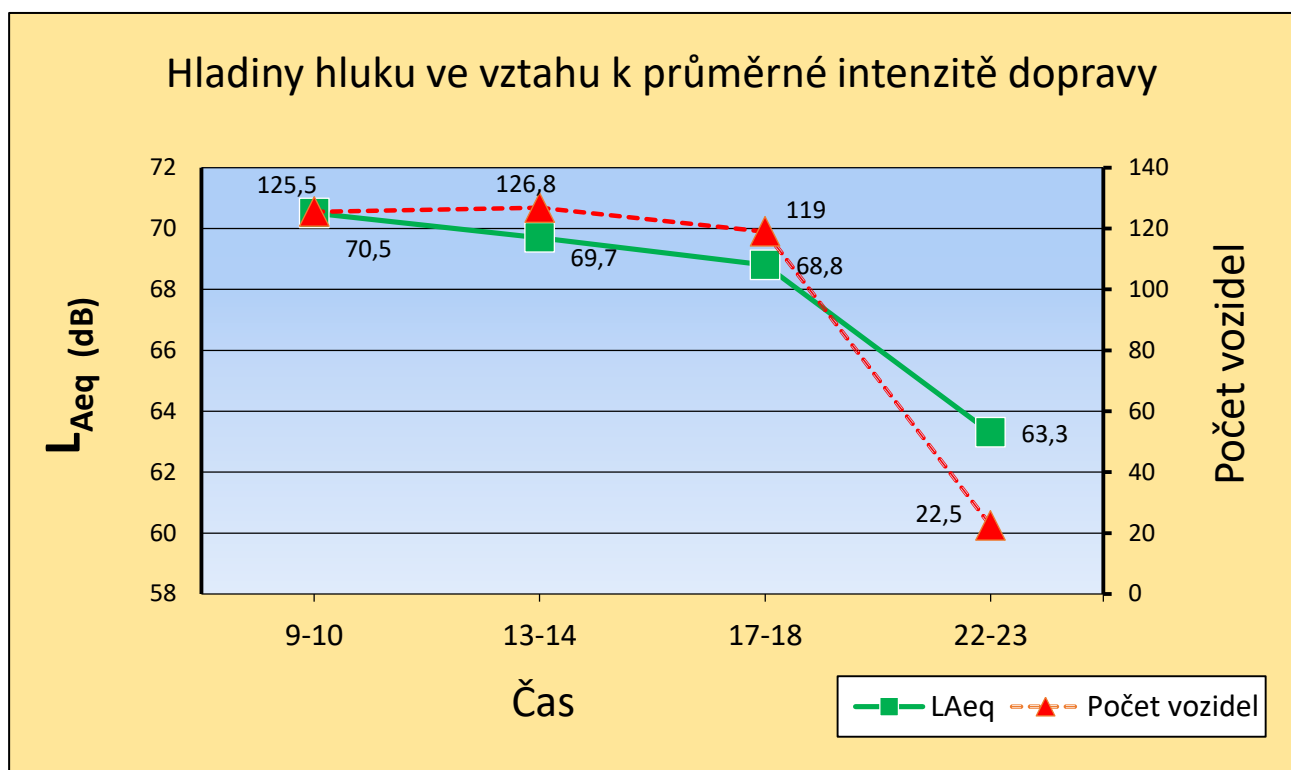
**L<sub>AF10,T</sub>** = Distribuční (procentní) hladina akustického tlaku

**L<sub>Aeq,T</sub>** = Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Tab č. 16 Sčítání vozidel

<b>M 3</b>	<b>Komunikace I/38 úsek ulice Znojemská č.p. 55, Jihlava</b>																				
	<b>Datum: 21. 09. 2016</b>																				
<b>Čas Od - do</b>	<b>intenzita dopravy - směr A</b>							<b>intenzita dopravy - směr B</b>							<b>intenzita dopravy - směr A + B</b>						
	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>
09:00-09:15	65	6	1	0	2	0	<b>74</b>	59	5	3	1	0	0	<b>68</b>	124	11	4	1	2	0	<b>142</b>
09:15-09:30	44	4	2	1	0	0	<b>51</b>	47	2	5	0	0	0	<b>54</b>	91	6	7	1	0	0	<b>105</b>
09:30-09:45	63	3	2	1	0	0	<b>69</b>	49	2	5	1	0	0	<b>57</b>	112	5	7	2	0	0	<b>126</b>
09:45-10:00	61	4	2	0	0	0	<b>67</b>	54	7	1	0	0	0	<b>62</b>	115	11	3	0	0	0	<b>129</b>
13:00-13:15	50	3	0	0	2	0	<b>55</b>	53	1	1	0	1	1	<b>57</b>	103	4	1	0	3	1	<b>112</b>
13:15-13:30	51	2	2	0	0	0	<b>55</b>	71	4	3	0	3	0	<b>81</b>	122	6	5	0	3	0	<b>136</b>
13:30-13:45	58	2	0	1	2	1	<b>64</b>	66	2	2	3	1	1	<b>75</b>	124	4	2	4	3	2	<b>139</b>
13:45-14:00	50	1	0	3	0	0	<b>54</b>	59	3	2	0	1	1	<b>66</b>	109	4	2	3	1	1	<b>120</b>
17:00-17:15	71	1	3	1	0	0	<b>76</b>	70	2	1	1	0	0	<b>74</b>	141	3	4	2	0	0	<b>150</b>
17:15-17:30	55	4	0	0	1	0	<b>60</b>	62	1	1	0	2	0	<b>66</b>	117	5	1	0	3	0	<b>126</b>
17:30-17:45	42	2	1	1	2	0	<b>48</b>	43	3	1	1	0	0	<b>48</b>	85	5	2	2	2	0	<b>96</b>
17:45-18:00	45	3	0	0	0	0	<b>48</b>	54	1	0	0	0	1	<b>56</b>	99	4	0	0	0	1	<b>104</b>
22:00-22:15	8	0	0	0	1	0	<b>9</b>	17	0	0	0	0	0	<b>17</b>	25	0	0	0	1	0	<b>26</b>
22:15-22:30	9	0	0	0	0	0	<b>9</b>	19	1	0	0	0	0	<b>20</b>	28	1	0	0	0	0	<b>29</b>
22:30-22:45	9	0	0	0	0	0	<b>9</b>	12	0	0	0	2	0	<b>14</b>	21	0	0	0	2	0	<b>23</b>
22:45-23:00	4	0	0	1	0	0	<b>5</b>	7	0	0	0	0	0	<b>7</b>	11	0	0	1	0	0	<b>12</b>
<b>Celkem</b>	685	35	13	9	10	1	<b>753</b>	742	34	25	7	10	4	<b>822</b>	1427	69	38	16	20	5	<b>1575</b>

Graf č. 3



Zdroj: Vlastní výzkum

Průběh ekvivalentní hladiny hluku odpovídá intenzitám v dopravě, kdy maximální hladina 90,3 dB byla naměřena v časovém intervalu 9-10 hodin. V noční době výrazné snížení hladin s minimem 32,8 dB.

Tab. č. 17

<b>M 3</b>	<b>Meteorologické podmínky</b>				
	<b>Datum: 21. 09. 2016</b>				
<b>Čas</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Srážky (mm)</b>	<b>Tlak (hPa)</b>	<b>Proudění (km/h)</b>	<b>Vlhkost (%)</b>
9:00 - 10:00	10,5	0	1024,6	6	82
13:00 - 14:00	15,2	0	1024,8	10	63
17:00 - 18:00	13,9	0	1024,4	5	86
22:00 - 23:00	10,6	0,3	1026,5	4	97

Zdroj: In-počasí.cz





Zdroj: Vlastní výzkum

Obr. č. 11 Chráněný venkovní prostor bytového domu – Znojemská č.p. 55, Jihlava.  
Umístění mikrofону 2 m před fasádou domu, ve výšce 1,6 m pod oknem, kolmo ke komunikaci.



Tab č. 18 Naměřené hladiny hluku

<b>M 4</b>	<b>Chráněný venkovní prostor bytového domu – Znojemská č.p. 72, Jihlava</b>										
	<b>Datum: 22. 09. 2016</b>										
<b>Čas Od - do</b>	<b>L<sub>Zpeak</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmax</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmin</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AE</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>EP,d</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF10,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF50,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF90,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF99,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>
9:00 - 10:00	100,2	80,6	38,1	99,3	55,6	66,8	54,3	49,1	42,8	64,1	<b>64,1</b>
13:00 - 14:00	102	78,2	33,7	98,5	54,8	66,2	53,9	47	43,1	63,7	<b>63,7</b>
17:00 - 18:00	101,4	80,4	34,9	97,7	56,1	65,4	55,3	48,3	40,9	63,9	<b>63,9</b>
22:00 - 23:00	99	74,8	31,3	88,2	50,3	61	49,9	35	36,4	59,1	<b>59,1</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**Poznámky:**

**L<sub>Zpeak</sub>** = Nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku

**L<sub>AFmax</sub>** = Maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AFmin</sub>** = Minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AE</sub>** = Hladina hlukové expozice (SEL)

**L<sub>EP,d</sub>** = Dávka hluku vztažená k zvolenému časovému intervalu

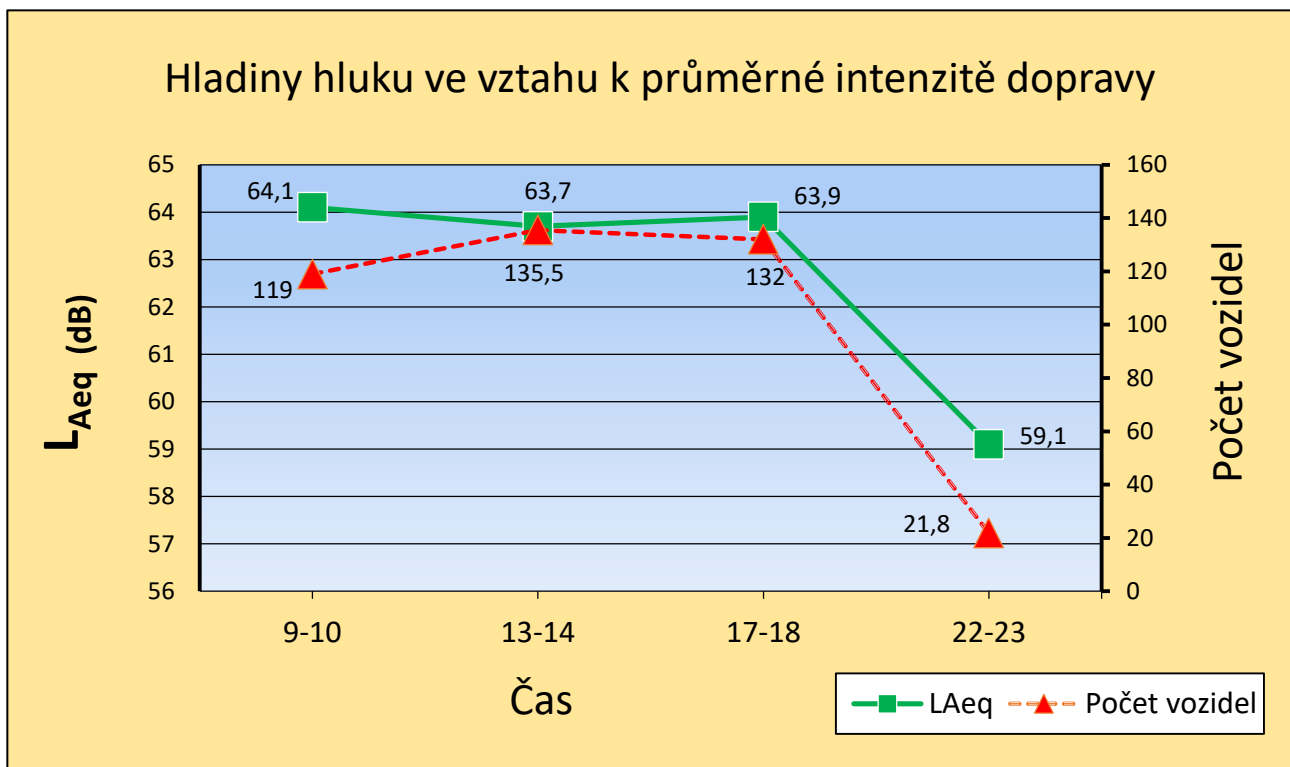
**L<sub>AF10,T</sub>** = Distribuční (procentní) hladina akustického tlaku

**L<sub>Aeq,T</sub>** = Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Tab č. 19 Sčítání vozidel

<b>M 4</b>	<b>Komunikace I/38 úsek ulice Znojemská č.p. 72, Jihlava</b>																				
	<b>Datum: 22. 09. 2016</b>																				
<b>Čas Od - do</b>	<b>intenzita dopravy - směr A</b>							<b>intenzita dopravy - směr B</b>							<b>intenzita dopravy - směr A + B</b>						
	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>
09:00-09:15	52	4	1	0	1	0	<b>58</b>	65	1	4	3	1	0	<b>74</b>	117	5	5	3	2	0	<b>132</b>
09:15-09:30	44	2	3	0	0	0	<b>49</b>	65	3	1	0	2	0	<b>71</b>	109	5	4	0	2	0	<b>120</b>
09:30-09:45	63	2	1	0	0	1	<b>67</b>	43	1	2	1	0	1	<b>48</b>	106	3	3	1	0	2	<b>115</b>
09:45-10:00	50	3	3	0	1	0	<b>57</b>	47	4	1	0	0	0	<b>52</b>	97	7	4	0	1	0	<b>109</b>
13:00-13:15	59	2	1	2	1	3	<b>68</b>	69	1	1	2	2	1	<b>76</b>	128	3	2	4	3	4	<b>144</b>
13:15-13:30	57	2	2	0	2	0	<b>63</b>	70	1	2	1	1	0	<b>75</b>	127	3	4	1	3	0	<b>138</b>
13:30-13:45	58	1	2	0	0	0	<b>61</b>	47	3	2	0	1	1	<b>54</b>	105	4	4	0	1	1	<b>115</b>
13:45-14:00	56	3	1	1	1	2	<b>64</b>	76	1	1	2	0	1	<b>81</b>	132	4	2	3	1	3	<b>145</b>
17:00-17:15	62	1	3	2	0	1	<b>69</b>	77	3	0	1	0	2	<b>83</b>	139	4	3	3	0	3	<b>152</b>
17:15-17:30	64	1	0	4	2	0	<b>71</b>	50	1	1	1	2	0	<b>55</b>	114	2	1	5	4	0	<b>126</b>
17:30-17:45	68	1	1	1	1	0	<b>72</b>	54	0	0	0	2	1	<b>57</b>	122	1	1	1	3	1	<b>129</b>
17:45-18:00	58	4	1	0	1	0	<b>64</b>	55	2	0	0	0	0	<b>57</b>	113	6	1	0	1	0	<b>121</b>
22:00-22:15	12	0	0	0	0	0	<b>12</b>	9	1	0	0	1	0	<b>11</b>	21	1	0	0	1	0	<b>23</b>
22:15-22:30	14	0	0	0	0	1	<b>15</b>	7	3	0	0	0	0	<b>10</b>	21	3	0	0	0	1	<b>25</b>
22:30-22:45	9	0	0	0	1	0	<b>10</b>	8	0	0	0	0	0	<b>8</b>	17	0	0	0	1	0	<b>18</b>
22:45-23:00	12	0	0	0	0	0	<b>12</b>	8	0	1	0	0	0	<b>9</b>	20	0	1	0	0	0	<b>21</b>
<b>Celkem</b>	738	26	19	10	11	8	<b>812</b>	750	25	16	11	12	7	<b>821</b>	1488	51	35	21	23	15	<b>1633</b>

Graf č. 4



Zdroj: Vlastní výzkum

Ustálené hladiny hluku s mírným nárůstem intenzity dopravy v odpoledních hodinách. V noční době zaznamenán pokles hladin hluku s maximem 74,8 dB.

Tab. č. 20

<b>M 4</b>	<b>Meteorologické podmínky</b>				
	<b>Datum: 22. 09. 2016</b>				
<b>Čas</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Srážky (mm)</b>	<b>Tlak (hPa)</b>	<b>Proudění (km/h)</b>	<b>Vlhkost (%)</b>
9:00 - 10:00	10,1	0	1030,1	4	73
13:00 - 14:00	14,2	0	1031,3	15	31
17:00 - 18:00	18,4	0	1031,8	7	44
22:00 - 23:00	8,3	0	1029,5	3	52

Zdroj: In-počasí.cz



Zdroj: Vlastní výzkum

Obr. č 12 Chráněný venkovní prostor bytového domu – Znojemská č.p. 72, Jihlava. Umístění mikrofonu 2 m před fasádou domu v úrovni okna, ve výšce 1,6 m, směrem ke komunikaci.

Tab č. 21 Naměřené hladiny hluku

<b>M 5</b>	<b>Chráněný venkovní prostor bytového domu – Dvořákova č.p. 7, Jihlava</b>										
	<b>Datum: 29. 09. 2016</b>										
<b>Čas Od - do</b>	<b>L<sub>Zpeak</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmax</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmin</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AE</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>EP,d</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF10,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF50,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF90,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF99,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>
9:00 - 10:00	106	90,1	48,5	108,5	63,9	76,5	70	60,5	54	72,9	<b>72,9</b>
13:00 - 14:00	106	90,7	46,9	107,2	62,6	75	69	58,5	51,5	71,6	<b>71,6</b>
17:00 - 18:00	106	90,9	48,9	107,2	62,7	75,5	69	57,5	52	71,6	<b>71,6</b>
22:00 - 23:00	106	88,4	34,7	104	59,4	72,5	59,5	48	38,5	68,4	<b>68,4</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**Poznámky:**

**L<sub>Zpeak</sub>** = Nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku

**L<sub>AFmax</sub>** = Maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AFmin</sub>** = Minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AE</sub>** = Hladina hlukové expozice (SEL)

**L<sub>EP,d</sub>** = Dávka hluku vztažená k zvolenému časovému intervalu

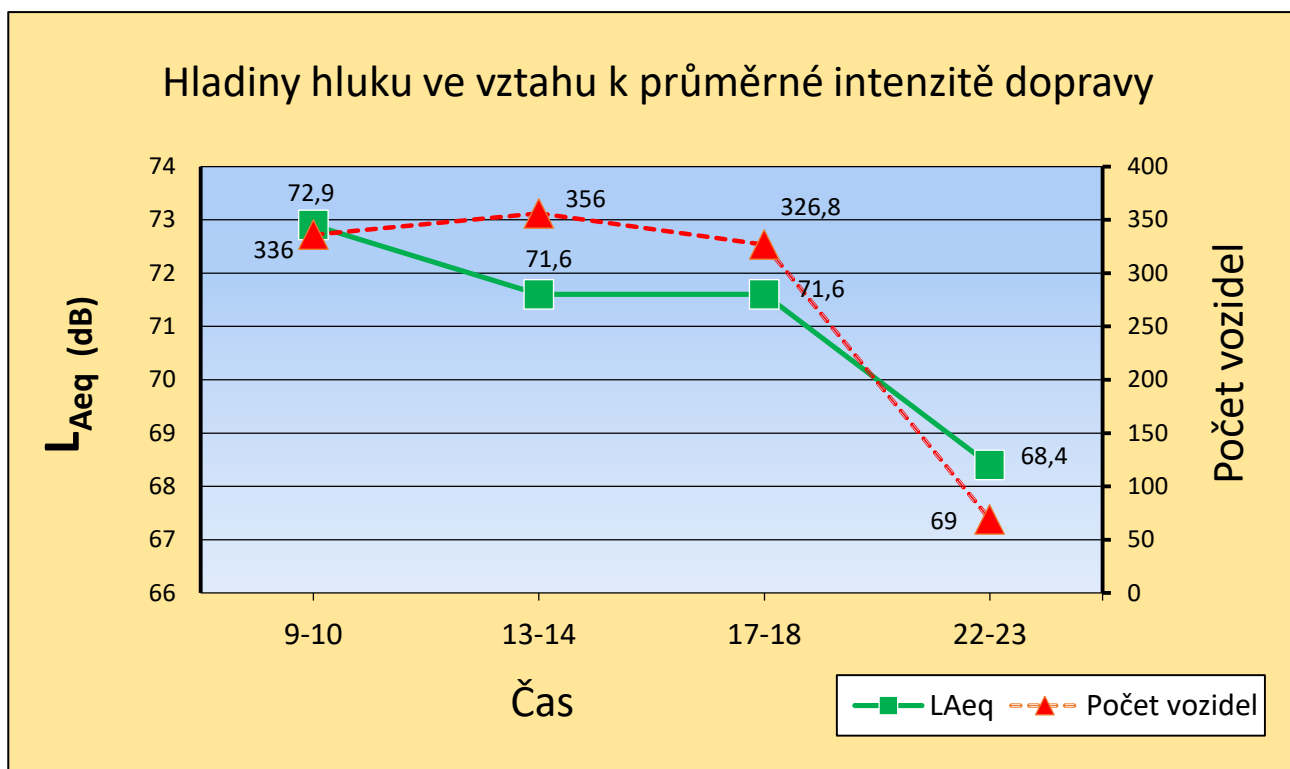
**L<sub>AF10,T</sub>** = Distribuční (procentní) hladina akustického tlaku

**L<sub>Aeq,T</sub>** = Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Tab č. 22 Sčítání vozidel

<b>M 5</b>	<b>Komunikace I/38 úsek ulice Dvořákova č.p. 7, Jihlava</b>																				
	<b>Datum: 29. 09. 2016</b>																				
<b>Čas Od - do</b>	<b>intenzita dopravy - směr A</b>							<b>intenzita dopravy - směr B</b>							<b>intenzita dopravy - směr A + B</b>						
	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>
09:00-09:15	102	5	9	2	2	0	<b>120</b>	165	8	6	2	3	0	<b>184</b>	267	13	15	4	5	0	<b>304</b>
09:15-09:30	119	5	2	3	2	0	<b>131</b>	178	5	4	5	2	2	<b>196</b>	297	10	6	8	4	2	<b>327</b>
09:30-09:45	115	10	8	2	1	0	<b>136</b>	190	7	8	5	3	1	<b>214</b>	305	17	16	7	4	1	<b>350</b>
09:45-10:00	137	2	5	3	1	1	<b>149</b>	194	7	5	3	5	0	<b>214</b>	331	9	10	6	6	1	<b>363</b>
13:00-13:15	122	5	3	4	2	2	<b>138</b>	158	4	8	3	4	3	<b>180</b>	280	9	11	7	6	5	<b>318</b>
13:15-13:30	148	6	6	2	3	3	<b>168</b>	230	6	4	0	5	2	<b>247</b>	378	12	10	2	8	5	<b>415</b>
13:30-13:45	136	5	3	4	3	2	<b>153</b>	204	8	6	2	5	3	<b>228</b>	340	13	9	6	8	5	<b>381</b>
13:45-14:00	130	2	1	1	2	2	<b>138</b>	154	10	3	2	2	1	<b>172</b>	284	12	4	3	4	3	<b>310</b>
17:00-17:15	156	0	1	1	1	0	<b>159</b>	176	0	1	0	2	1	<b>180</b>	332	0	2	1	3	1	<b>339</b>
17:15-17:30	138	2	5	3	3	0	<b>151</b>	162	1	3	2	3	2	<b>173</b>	300	3	8	5	6	2	<b>324</b>
17:30-17:45	152	1	1	0	3	1	<b>158</b>	168	2	1	1	5	3	<b>180</b>	320	3	2	1	8	4	<b>338</b>
17:45-18:00	133	2	0	1	3	0	<b>139</b>	157	0	2	0	2	6	<b>167</b>	290	2	2	1	5	6	<b>306</b>
22:00-22:15	76	1	0	0	0	1	<b>78</b>	15	1	1	0	2	0	<b>19</b>	91	2	1	0	2	1	<b>97</b>
22:15-22:30	57	1	0	0	1	0	<b>59</b>	30	1	0	0	0	1	<b>32</b>	87	2	0	0	1	1	<b>91</b>
22:30-22:45	22	0	0	1	3	0	<b>26</b>	22	0	0	1	0	0	<b>23</b>	44	0	0	2	3	0	<b>49</b>
22:45-23:00	15	0	1	2	0	0	<b>18</b>	20	0	0	0	1	0	<b>21</b>	35	0	1	2	1	0	<b>39</b>
<b>Celkem</b>	1758	47	45	29	30	12	<b>1921</b>	2223	60	52	26	44	25	<b>2430</b>	3981	107	97	55	74	37	<b>4351</b>

Graf č. 5



Zdroj: Vlastní výzkum

Vysoké intenzity dopravy odpovídají naměřeným ekvivalentním hladinám, kdy nejvyšší hodnota 72,9 dB charakterizuje ranní špičku. Pokles intenzity dopravy v nočních hodinách neodpovídá předpokládanému snížení hladiny hluku s naměřenou maximální hladinou 88,4 dB.

Tab. č. 23

<b>M 5</b>	<b>Meteorologické podmínky</b>				
	<b>Datum: 29. 09. 2016</b>				
<b>Čas</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Srážky (mm)</b>	<b>Tlak (hPa)</b>	<b>Proudění (km/h)</b>	<b>Vlhkost (%)</b>
9:00 - 10:00	16,8	0	1031,2	13	71
13:00 - 14:00	22,1	0	1029	18	43
17:00 - 18:00	25,6	0	1025	15	33
22:00 - 23:00	17,4	0	1023,8	12	63

Zdroj: In-počasí.cz





Zdroj: Vlastní výzkum

Obr. č 13 Chráněný venkovní prostor rodinného domu – Dvořákova č.p. 7, Jihlava.  
Umístění mikrofonu 2 m před fasádou na úrovni 1. NP, ve výšce 1,6 m před okny, směr kolmo ke komunikaci.



Tab č. 24 Naměřené hladiny hluku

<b>M 6</b>	<b>Chráněný venkovní prostor bytového domu – Znojemská č.p. 103, Jihlava</b>										
	<b>Datum: 13. 10. 2016</b>										
<b>Čas Od - do</b>	<b>L<sub>Zpeak</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmax</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AFmin</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AE</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>EP,d</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF10,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF50,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF90,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>AF99,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>	<b>L<sub>Aeq,T</sub> (dB)</b>
9:00 - 10:00	99,3	80,7	39,6	99	54,4	66,5	61	52,5	46	63,5	<b>63,5</b>
13:00 - 14:00	101	83,2	42,5	99,3	54,7	66,5	61,5	53,5	46,5	63,7	<b>63,7</b>
17:00 - 18:00	106	82,6	38,3	98	53,4	66	60	51	45	62,4	<b>62,4</b>
22:00 - 23:00	106	99,5	29,9	99,3	54,7	60,5	45,5	35,5	32	63,7	<b>63,7</b>

Zdroj: Vlastní výzkum

**Poznámky:**

**L<sub>Zpeak</sub>** = Nejvyšší okamžitá hladina akustického tlaku

**L<sub>AFmax</sub>** = Maximální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AFmin</sub>** = Minimální hladina akustického tlaku vážená filtrem A

**L<sub>AE</sub>** = Hladina hlukové expozice (SEL)

**L<sub>EP,d</sub>** = Dávka hluku vztažená k zvolenému časovému intervalu

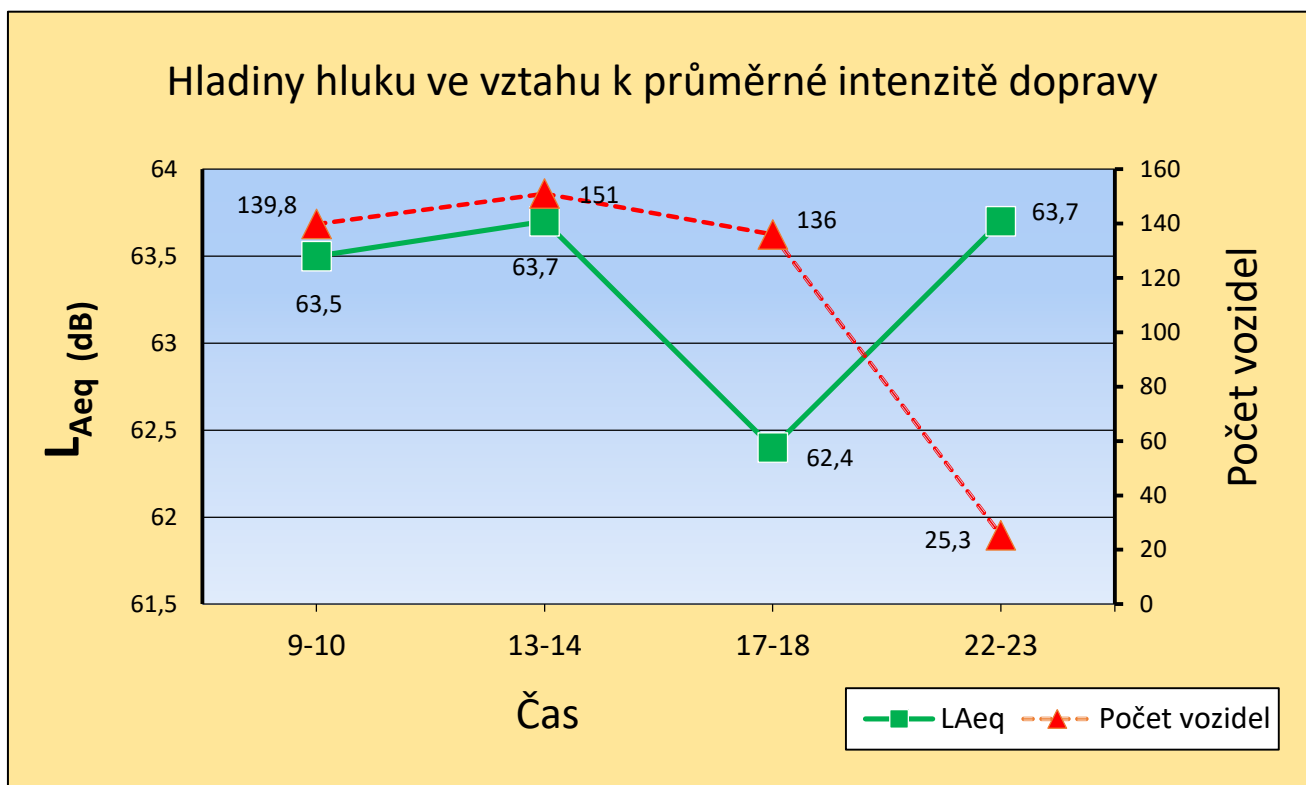
**L<sub>AF10,T</sub>** = Distribuční (procentní) hladina akustického tlaku

**L<sub>Aeq,T</sub>** = Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Tab č. 25 Sčítání vozidel

<b>M 6</b>	<b>Komunikace I/38 úsek ulice Znojemská č.p. 103, Jihlava</b>																				
	<b>Datum: 13. 10. 2016</b>																				
<b>Čas Od - do</b>	<b>intenzita dopravy - směr A</b>							<b>intenzita dopravy - směr B</b>							<b>intenzita dopravy - směr A + B</b>						
	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>	<b>OA</b>	<b>LNA</b>	<b>TNA</b>	<b>NS</b>	<b>BUS</b>	<b>M</b>	<b>Σ</b>
09:00-09:15	67	3	2	2	1	0	<b>75</b>	71	6	2	2	1	0	<b>82</b>	138	9	4	4	2	0	<b>157</b>
09:15-09:30	58	1	3	0	0	1	<b>63</b>	65	3	2	0	0	0	<b>70</b>	123	4	5	0	0	1	<b>133</b>
09:30-09:45	64	5	5	1	0	1	<b>76</b>	52	5	2	0	0	1	<b>60</b>	116	10	7	1	0	2	<b>136</b>
09:45-10:00	59	2	2	0	0	0	<b>63</b>	60	6	3	0	1	0	<b>70</b>	119	8	5	0	1	0	<b>133</b>
13:00-13:15	57	1	0	0	2	0	<b>60</b>	87	2	3	3	1	1	<b>97</b>	144	3	3	3	3	1	<b>157</b>
13:15-13:30	52	0	1	0	1	0	<b>54</b>	68	3	2	0	1	0	<b>74</b>	120	3	3	0	2	0	<b>128</b>
13:30-13:45	61	2	0	2	1	0	<b>66</b>	72	2	5	4	1	0	<b>84</b>	133	4	5	6	2	0	<b>150</b>
13:45-14:00	83	2	0	0	0	0	<b>85</b>	74	5	2	2	1	0	<b>84</b>	157	7	2	2	1	0	<b>169</b>
17:00-17:15	76	1	1	0	2	2	<b>82</b>	68	2	1	1	0	0	<b>72</b>	144	3	2	1	2	2	<b>154</b>
17:15-17:30	69	0	0	0	1	0	<b>70</b>	59	0	0	0	2	0	<b>61</b>	128	0	0	0	3	0	<b>131</b>
17:30-17:45	63	1	0	1	2	0	<b>67</b>	58	1	1	0	0	0	<b>60</b>	121	2	1	1	2	0	<b>127</b>
17:45-18:00	62	0	0	2	0	0	<b>64</b>	66	0	1	0	1	0	<b>68</b>	128	0	1	2	1	0	<b>132</b>
22:00-22:15	6	0	0	0	1	0	<b>7</b>	17	0	0	0	0	0	<b>17</b>	23	0	0	0	1	0	<b>24</b>
22:15-22:30	17	0	0	0	0	0	<b>17</b>	24	0	0	0	0	0	<b>24</b>	41	0	0	0	0	0	<b>41</b>
22:30-22:45	7	0	0	0	0	0	<b>7</b>	10	0	0	0	1	0	<b>11</b>	17	0	0	0	1	0	<b>18</b>
22:45-23:00	6	0	0	0	0	0	<b>6</b>	12	0	0	0	0	0	<b>12</b>	18	0	0	0	0	0	<b>18</b>
<b>Celkem</b>	807	18	14	8	11	4	<b>862</b>	863	35	24	12	10	2	<b>946</b>	1670	53	38	20	21	6	<b>1808</b>

Graf č. 6



Zdroj: Vlastní výzkum

Významný pokles intenzity dopravy v nočních hodinách, který však neodpovídá snížení ekvivalentní hladiny hluku. Měření je ovlivněno překročením maximální povolené rychlosti v měřené lokalitě.

Tab. č. 26

<b>M 6</b>	<b>Meteorologické podmínky</b>				
	<b>Datum: 13. 10. 2016</b>				
<b>Čas</b>	<b>Teplota (°C)</b>	<b>Srážky (mm)</b>	<b>Tlak (hPa)</b>	<b>Proudění (km/h)</b>	<b>Vlhkost (%)</b>
9:00 - 10:00	5,8	0,6	1023,8	11	98
13:00 - 14:00	6,1	0,6	1024,2	15	86
17:00 - 18:00	5,6	0,6	1023,5	13	92
22:00 - 23:00	5,9	0,6	1023,3	16	95

Zdroj: In-počasí.cz



Zdroj: Vlastní výzkum

Obr. č. 14 Chráněný venkovní prostor bytového domu – Znojemská č.p. 103, Jihlava.  
Umístění mikrofonu 2 m před fasádou domu, ve výšce 1,6 m, kolmo ke komunikaci.

Tab. č. 27 Porovnání naměřených hodnot hluku s hygienickými limity

Měřicí místo		Denní doba	$L_{Aeq,T}$ (dB)	Porovnání s hygienickým limitem hluku
<b>M1</b>	Manažerská akademie Jiráskova č. p. 2 – chráněný venkovní prostor stavby	DEN	$70,7 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
		NOC	/	/
<b>M2</b>	Rodinný dům Jiráskova č. p. 7 – chráněný venkovní prostor stavby	DEN	$68,2 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
		NOC	$62,3 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
<b>M3</b>	Bytový dům Znojemska č. p. 55 – chráněný venkovní prostor stavby	DEN	$69,7 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
		NOC	$63,3 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>
<b>M4</b>	Bytový dům Znojemska č. p. 72 – chráněný venkovní prostor stavby	DEN	$63,9 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně dodrženo</b>
		NOC	$59,1 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
<b>M5</b>	Bytový dům Dvořákova č. p. 7 – chráněný venkovní prostor staveb	DEN	$72,0 \pm 3,0$	Hygienický limit leží v pásmu nejistoty měření
		NOC	$68,4 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>
<b>M6</b>	Bytový dům Znojemska č. p. 103 – chráněný venkovní prostor stavby	DEN	$63,2 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně dodrženo</b>
		NOC	$63,7 \pm 3,0$	<b>Prokazatelně překročen</b>

Poznámky:

Výsledné ekvivalentní hladiny jsou uvedeny s přičtením korekce pro starou hlukovou zátěž (+ 20 dB) k základní naměřené hladině.

Druh chráněného prostoru	DEN	NOC
Chráněný venkovní prostor staveb	50 dB	40 dB
Korekce pro SHZ	70 dB	60 dB

Zdroj: NV č. 272/ 2011 Sb.

## 6 DISKUSE

Diplomová práce se věnuje dopravnímu hluku jako rizikovému faktoru životního prostředí. Hluk jehož zdrojem je nejčastěji silniční doprava způsobuje obtěžování značné části obyvatel měst a obcí. Důvodem je rostoucí síť dopravní infrastruktury, která kromě výhod v podobě mobility přináší negativní dopad na místní obyvatele a jejich zdraví. Z výsledků přesahujících 20-ti leté období monitorování hlučných a tichých lokalit vybraných aglomerací ČR je patrné zvýšení incidence pro vybraná civilizační onemocnění. Rovněž lze v hlučných lokalitách pozorovat častější výskyt neurotických a psychických poruch, způsobených pravděpodobně rušením spánku v noční době. Součástí Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva, jehož některé výstupy jsou obsaženy v této práci je dotazníkové šetření. Z výsledků dotazníkového šetření, vychází ověření hypotézy č. 1. zaměřené na psychosociální podmíněnost vnímání dopravního hluku. Způsob potvrzení hypotézy je popsán dále.

Měření hluku ze silniční dopravy není pouze závislé na intenzitě dopravy, ale odvíjí od skladby vozidel v dopravním proudu, kvality povrchu komunikace a samtoné ryhlosti vozidel. Významný podíl na překračování hygienický limitů zde hraje těžká nákladní doprava, kamionová doprava a pokud jsou součástí komunikace koleje, tak samozřejmě i tramvajová doprava. O hlukové situaci v zájmové lokalitě rovněž rozhoduje vzdálenost chráněného objektu od osy komunikace, stav vozovky a meteorologické podmínky.

Z výsledků Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ČR ve vztahu k životnímu prostředí, subsystém III, lze porovnat hlukovou situaci v tichých a hlučných lokalitách vybraných měst celé ČR. Nejvíce zatížené městské lokality, kde hlavním zdrojem hluku byla silniční doprava, představovaly v roce 2014 městské aglomerace Plzeň (ul. Klatovská), denní hodnoty přesahovaly 75 dB a Praha 3 (ul. Koněvova) prokazatelně překročena  $L_{Aeq}$  70 dB s nejspisotou měření  $\pm 2$  dB. Vývoj dopravy v jednotlivých lokalitách byl testován metodou lineárního regresního modelu. Situace v noční době (od 22:00 do 6:00) byla také prokazatelně nepříznivá pro aglomeraci Plzeň (ul. Klatovská) noční ukazatel  $L_n = 67,6$  dB a potvrzen byl rovněž nepříznivý trend z předešlých let měření pro aglomeraci Praha (ul. Koněvova), kde bylo naměřeno v noční době 64,3 dB. Výsledky reprezentují městské lokality situované uprostřed sídelní zástavby s ukončeným stavebním vývojem.

Hlavním přínosem diplomové práce bylo provedení měření hluku ze silniční dopravy. Měřící místa se nacházela v těsné blízkosti nejvíce zatížených dopravních komunikací krajského města Jihlavy. Měření dopravního hluku se uskutečnilo v roce 2016 a řídilo se metodikou pro měření hluku v mimopracovním prostředí. Celkem bylo vytipováno 6 nejhluchnějších lokalit, kdy hlavním zdrojem hluku byla silniční doprava. Výsledky naměřených hladin lze porovnat s protokolem měření hlučnosti (2008/401/JI-HP). Součástí měření bylo sčítání četnosti a intenzity dopravy v souladu s Novelou metodiky výpočtu hluku silniční dopravy z roku 2011. Nejistota orientačního měření zahrnovala směrodatnou odchylku  $\pm 3$  dB.

Lokalita značená M1 představovala první místo měření. Konkrétně se jednalo o chráněný venkovní prostor stavby školského zařízení nacházejícího se v bezprostřední blízkosti komunikace I. třídy ulice Jiráskova č.p. 2. Celková intenzita dopravy odpovídala počtu 2884 vozidel. Naměřená denní ekvivalentní hladina hluku dosahovala ve stanovených intervalech 70,7 dB. Tato hladina leží v rámci nejistoty měření  $\pm 3$  dB v oblasti nejistoty, a nelze tedy stanovit dodržení hygienického limitu pro hluk z automobilové dopravy. Z povahy chráněného objektu stavby, kterým je středoškolské zařízení nebylo zahrnuto měření v noční době.

Chráněný venkovní prostor vilového domu místa měření (M2) byl hodnocen ve vztahu ke komunikaci ulice Jiráskova č.p. 7. Naměřená ekvivalentní hladina  $68,2 \pm 3,0$  dB se nachází v pásmu nejistoty měření, nelze tedy určit dodržení hygienického limitu. Hluková situace je na tomto místě značně ovlivněna přítomností světelné křižovatky, kdy hladiny hluku odrážejí nejenom rychlost vozidel, ale také brzdění a rozjezdy. Hluk ze silniční dopravy na tomto místě v odpoledních hodinách přesahoval  $L_{Amax} = 100,4$  dB. Celková intenzita dopravy se rovnala počtu 2978 vozidel, z nichž kromě osobních automobilů byl významný počet autobusů MHD, které mají zhruba 50 m od zájmové lokality zastávku. Noční ekvivalentní hladina  $62,3 \pm 3,0$  dB se nachází v pásmu nejistoty a odráží významné snížení intenzit v dopravě, průměrný pokles byl z 200 vozidel na necelých 60 v noční době.

Místo měření (M3) bylo situováno v bezprostřední blízkosti komunikace I. třídy ulice Znojemská č. p. 55, kdy byl chráněný venkovní prostor stavby oddělen od komunikace chodníkem. Naměřená ekvivalentní hladina  $69,7 \pm 3,0$  dB se nachází v pásmu nejistoty měření. V noční době byl prokazatelně překročen hygienický limit hluku o 0,3 dB,  $L_{Aeq 1h} = 63,3 \pm 3,0$  dB. Celková intenzita dopravy odpovídala během dne naměřeným hladinám hluku, v noční době prokazatelné zvýšení ekvivalentní

hladiny, které neodráží dopravní situaci. Častou příčinou rozporu vypočítané intenzity v dopravě, kdy snížení počtu vozidel neodpovídá snížení ekvivalentní hladiny bylo způsobeno vyšším počtem řidičů překračující maximální povolenou rychlost.

Největší odstup od osy komunikace I. třídy v délce 14,5 m měl chráněný venkovní prostor bytového domu (M4) v ulici Znojemska č.p. 72. Naměřené hodnoty hluku zde dosahovaly v denní i noční době nejnižších hladin v porovnání s ostatními lokalitami. Hygienický limit pro den byl prokazatelně dodržen  $L_{Aeq\ 1h} = 63,9$  dB. Noční ekvivalentní hladina hluku  $59,1 \pm 3,0$  dB ležela v pásmu nejistoty. Na tomto místě lze předpokládat v případě měření ve vyšší třídě přesnosti, bezproblémové dodržení hygienického limitu, viz porovnání s protokolem měření hlučnosti (2008/401/JI-HP), tab. č. 8.

Naopak obyvatelé bytového domu Dvořákova č. p. 7 (M5) byli exponováni více než 2x vyšší intenzitě dopravy (4351 vozidel), než zájmová oblast (M4), čemuž odpovídají naměřené ekvivalentní hladiny hluku. Hygienický limit se nacházel v pásmu nejistoty 72 dB. Již dřívější hluková měření (2008) však potvrdila překračování hygienických limitů s naměřenou denní ekvivalentní hladinou  $73,7 \pm 2,0$  dB, která poukazuje na významnou zátěž obyvatel měřené lokality. Hluková situace v noční době indikuje také významné překročení limitu s dosaženou hladinou hluku  $68,4 \pm 3,0$  dB.

Posledním místem měření byl chráněný venkovní prostor bytového domu ulice Znojemska č.p. 103, který se nachází v okrajové části města. Naměřené hodnoty hluku byly vzhledem k intenzitě dopravy podprůměrné. Důvodem je vzdálenost od osy komunikace s přiléhající zahradou k chodníku. Hodnoty hluku pro den  $63,2 \pm 3,0$  dB prokazatelně splňovaly hygienické limity. V noční době byl hygienický limit překročen  $63,7 \pm 3,0$  dB z důvodu častého překračování maximální povolené rychlosti. Hlukovou situaci na tomto místě rovněž ovlivňuje přítomnost čerpací stanice.

Ve většině případů měření se nacházely chráněné objekty v těsné blízkosti komunikací I. třídy. V takovém případě často dochází k překračování hygienického limitu v denní či noční době. Reakcí obyvatel na nepříznivé působení hluku ze silniční dopravy odráží zvýšený počet stížností k provozovateli komunikace. Jedním z nejčastěji prováděných protihlukovým opatření je výměna starých oken za nová, kdy vhodně zvolený typ oken může významně zlepšit akustické podmínky v interiéru.

K výsledkům měření dopravního hluku se přímo váže hypotéza č. 2 „Orientační měření hluku je dostatečné pro kvantifikaci míry obtěžování či rušení spánku hlukem“. Tato hypotéza vychází z vyhodnocení výsledků měření dopravního hluku v nočních



hodinách, kdy rušení spánku hlukem je dáváno do souvislosti s překračováním stanovených hygienických limitů upravených NV č. 272/2011 Sb. Pro kvantitativní vyhodnocení této hypotézy práce neobsahuje dostatečný počet dat, který by mohl být porovnán s protokolem měření hlučnosti ve stejných lokalitách. Tuto hypotézu tedy nelze potvrdit, ani zamítnout.

Z výsledků dotazníkového šetření v rámci Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva České republiky ve vztahu k životnímu prostředí je zřejmé, že dopravní hluk zahrnuje rozdílný stupeň obtěžování exponované populace v závislosti na typu dopravy. Tento závěr vychází z vyhodnocení cíle č.3, kdy územně nejrozšířenějším typem dopravy je osobní, nákladní a motocyklová doprava. Ostatní druhy dopravy, jako je autobusová, tramvajová, železniční a letecká doprava se vyskytují pouze v některých z 21 sledovaných lokalit. Rovněž je známo, že letecký hluk má výraznější vliv na obtěžování obyvatel ve srovnání se silniční dopravou. Naopak stupeň obtěžování železniční dopravou je v porovnání se silniční dopravou nižší. Hodnocení obtěžujícího účinku kombinované expozice hluku z různých zdrojů je realizováno prakticky pouze pro hluk z dopravy.

Hypotéza č. 1 vychází z hodnocení výsledků dotazníkového šetření v rámci monitoringu, kdy psychosociální podmíněnost obtěžování dopravním hlukem je podmíněna sociální, ekonomickou a hlavně zdravotní zkušeností se zdrojem hluku. Například působení dopravního hluku v noční době, které nepřekračuje stanovený hygienický limit, pro příslušný chráněný prostor bude působit více rušivě než stejný zdroj během dne. Sociální podmíněnost vnímání hluku může být ovlivněna rodinným stavem, kdy osoby v manželství vykazují vyšší citlivost při stejných hladinách hluku od průměrné populace, dále závisí na věku a úrovni dosaženého vzdělání exponované populace. Pokud působení zdroje hluku, včetně dopravy přináší pro jedince určitý ekonomický benefit, bude vnímáno ve vztahu k rušení či obtěžování s vyšší tolerancí. Na základě těchto poznatků byla potvrzena hypotéza č. 1 „Existuje významná psychosociální vazba u vnímání dopravního hluku, která je mnohdy v rozporu s výsledky měření hluku“.

Obtěžování dopravním hlukem je nejobecnější reakcí obyvatel na hlukovou zátěž. Při rušení hlukem se zde uplatňuje jak emoční složka vnímání, tak složka poznávací při různých činnostech. Projevy častého obtěžování dopravním hlukem mohou způsobit nespécifické problémy jako je zvýšená únava, bolesti hlavy, poruchy soustředěnosti, pocity nespokojenosti, obavy až deprese vedoucí k vyčerpání organismu. Výsledkem

těchto nespecifických změn způsobených dlouhodobou expozicí nadprahovým hladinám dopravního hluku může být zejména u senzitivních skupin populace zvýšení incidence pro některá civilizační onemocnění. Tyto závěry potvrzují publikace WHO (2011 a 2009) pro hluk ze silniční dopravy, kdy silnější vztah mezi rizikem vzniku onemocnění a dopravním hlukem je v noční době. Výsledky publikací WHO vycházejí z celé řady experimentálních i epidemiologických studií na reprezentativních vzorcích obyvatel. Statisticky nejpřesvědčivěji je prokázána asociace mezi hlukem ze silniční dopravy a kardiovaskulárními chorobami. Rovněž prokazatelné působení je u hluku v noční době, kdy dlouhodobá expozice překračující doporučené limity může vést k závažnému poškození zdraví a pohody exponovaných obyvatel. O odhad relativního rizika poškození zdraví hlukem z dopravy v noční době při dlouhodobém působení se pokusil Šišma v rámci systému monitorování škodlivých účinků hluku na zdraví v roce 2000. Tento vztah popisuje přiložená tabulka č. 28.

dB L <sub>Aeq</sub>	Pravděpodobnost rizika postižení hlukem [%]	dB L <sub>Aeq</sub>	Pravděpodobnost rizika postižení hlukem [%]	dB L <sub>Aeq</sub>	Pravděpodobnost rizika postižení hlukem [%]
< 40	-	50–52	4,0	62–64	8,3
40–42	0,4	52–54	4,7	64–66	9,1
42–44	1,1	54–56	5,4	66–68	9,8
44–46	1,8	56–58	6,2	68–70	10,5
46–48	2,5	58–60	6,9	70–72	11,2
48–50	3,3	60–62	7,6		

Zdroj: Výsledky subsystému III (zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku)

## 7 ZÁVĚR

Cílem diplomové práce bylo na základě stávajících znalostí o zdravotních účincích expozice dopravnímu hluku posoudit možnost orientačního měření s využitím komerčně dostupných přístrojů pro vyhodnocení aktuální hlukové situace ve vytipovaných lokalitách. Z výsledků uváděných výstupů dotazníkových studií v rámci systému monitorování zdravotního stavu vyplývá významná psychosociální podmíněnost vnímání hluku z dopravy, která je především ovlivněna intenzitou a složením dopravy.

Validita orientačního měření hluku byla porovnána s výsledky protokolu měření (2008/401/JI-HP), který obsahuje stejná místa měření ve vyšší technické třídě přesnosti.

Postupem sekundární analýzy dat byla potvrzena hypotéza č. 1 „Existuje významná psychosociální vazba u vnímání dopravního hluku, která je mnohdy v rozporu s výsledky měření hluku“. Hypotéza č. 2 potvrdila význam orientačního měření pro vytipované hlučné lokality. Srovnání validity naměřených dat nebylo možné vzhledem relativně malému počtu měření v noční době. Nicméně se zde nabízí možnost pokračování dalších obdobných studií z důvodu praktické využitelnosti orientačních měřidel, kterých je na našem trhu velké množství, ale není ověřen jejich význam praktické využitelnosti.

Pro detailní posouzení použitelnosti orientačního měření je zapotřebí v dané lokalitě paralelní použití orientačního měřidla a měřidla ve vyšší technické třídě přesnosti (vzhledem k podmíněnosti výsledků měření klimatické situace a charakteru dopravního proudu) a to v dostatečném počtu úkonů umožňující statistické vyhodnocení.

Využití orientačního měření v praxi spočívá ve vyhledávání hlučných lokalit, stanovení denních maxim a minim hluku pro předběžné posuzování větších celků potřeb územního plánování, územního řízení a při řešení podnětů a stížností.

## 8 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. ADAMEC, Vladimír et al., 2007. *Doprava zdraví a životní prostředí*. Praha: Grada. ISBN 9788024721569.
2. BABISCH, Wolfgang, 2008. Road traffic noise and cardiovascular risk. *Noise & Health*. [online]. **10**(38), 27-33 [cit. 2016-10-23]. ISSN 14631741.
3. BABISCH, Wolfgang, 2003. Stress hormones in the research on cardiovascular effects of noise. *Noise & Health* [online]. **5**(18), 1-11 [cit 2017-06-24]. Dostupné z: <http://www.noiseandhealth.org/article.asp?issn=1463-1741;year=2003;volume=5;issue=18;spage=1;epage=11;aulast=Babisch>
4. BARTOŠ, Luděk, 2012. *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích: TP 189*. 2. vyd. Plzeň: EDIP. ISBN 9788087394069.
5. BASNER, Mathias, Wolfgang BABISCH, Adrian DAVIS et al., 2013. Environmental Noise and Non-Aural Health Effects. *Lancet*, **383**(9925): 1325-1332. DOI: [http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736\(13\)61613-X](http://dx.doi.org/10.1016/S0140-6736(13)61613-X)
6. BELOJEVIĆ, Goran a Katarina PAUNOVIĆ, 2016. Recent advances in research on non-auditory effects of community noise. [online]. *Srp Arh Celok Lek*. Jan-Feb; **144**(1-2): 94-8. [cit. 2016-10-22]. DOI: 10.2298/SARH1602094B. Dostupné z: <http://srpskiarhiv.rs/global/pdf/articles-2016/januar-februar/17.pdf>
7. BENCKO, Vladimír et al., 2002. *Hygiena: učební texty k seminářům a praktickým cvičením*. 2. přeprac. vyd. Praha: Karolinum. ISBN 8071845515.
8. BENEŠ, Jiří, Jaroslava KYMPLOVÁ a František VÍTEK, 2015. *Základy fyziky pro lékařské a zdravotnické obory: pro studium i praxi*. Praha: Grada. ISBN 9788024747125.
9. BERAN, Vlastimil, 2010. *Chvění a hluk*. V Plzni: Západočeská univerzita. ISBN 9788070439166.
10. BERNARD, Michal a Pavel DOUCHA, 2008. *Právní ochrana před hlukem*. Praha: Linde. ISBN 9788072017362.

11. ČESKO. Vyhláška č. 523/2006 Sb., kterou se stanoví mezní hodnoty hlukových ukazatelů, jejich výpočet, základní požadavky na obsah strategických hlukových map a akčních plánů a podmínky účasti veřejnosti na jejich přípravě (vyhláška o hlukovém mapování). In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2016-10-05]. Dostupné z: <http://www.zakonyprolidi.cz/cs/2006523>
12. ČESKO. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, 2016. In: *Sbírka zákonů ČR*, částka 84, s. 3290-96. ISSN 1211-1244.
13. ČESKO. Vyhláška č. 345/2002 Sb., kterou se stanoví měřidla k povinnému ověřování a měřidla podléhající schválení typu. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. [cit. 2016-06-19]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2002-345>
14. ČESKO. Vyhláška č. 268/2009 Sb. o technických požadavcích na stavby. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. © AION CS 2010-2017 [cit. 2017-06-23]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2009-268>
15. DAVIES, Hugh a Irene VAN KAMP, 2012. Noise and cardiovascular disease: A review of the literature 2008-2011. *Noise & Health* [online]. **14**(61), 287-291 [cit. 2017-06-23]. DOI: 10.4103/1463-1741.104895.
16. DOMINGO-PUEYO, Andrea, Javier SANZ-VALERO a Carmina WANDENBERGHE, 2016. Disorders induced by direct occupational exposure to noise: Systematic review. *Noise & Health* [online]. **18**(84), 229-239 [cit. 2017-06-20]. DOI: 10.4103/1463-1741.192479.
17. DRŠATA, Jakub a Radan HAVLÍK, Viktor CHROBOK (ed.), 2015. *Foniatrie - sluch*. Havlíčkův Brod: Tobiáš. Medicína hlavy a krku. ISBN 9788073111595.
18. DZHAMBOV, Angel Mario, 2015. Long-term noise exposure and the risk for type 2 diabetes: A meta-analysis. *Noise & Health* [online]. **17**(74), 23-33 [cit. 2017-07-07]. DOI: 10.4103/1463-1741.149571.

19. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, 2010: Good practice guide on noise exposure and potential health effects, *EEA Technical report No. 11*. Copenhagen. ISBN 978-92-9213-140-1.
20. EUROPEAN ENVIRONMENT AGENCY, © 2014: Noise in Europe, *EEA Technical report No. 10*. Luxembourg. ISBN 978-92-9213-505-8.
21. EVROPSKÝ PARLAMENT A RADA EVROPSKÉ UNIE. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. 6. 2002, o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí. Sv. 7, 101-115 [online]. [cit. 2016-10-01]. Dostupné z: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&from=CS>
22. FONSECA, Vinicius Ribas, Jair MARQUES, Flavio PANEGALLI et al., 2016. Prevention of the Evolution of Workers' Hearing Loss from Noise-Induced Hearing Loss in Noisy Environments through a Hearing Conservation Program. *International Archives of Otorhinolaryngology* [online]. **20**(1), 43-47 [cit. 2017-06-21]. DOI: 10.1055/s-0035-1551554.
23. GRANDNER, A., Michael, Nicholas J. JACKSON et al., 2012. Sleep disturbance is associated with cardiovascular and metabolic disorders. *Journal of Sleep Research* [online]. **21**(4), 427-433 [cit. 2017-07-04]. DOI: 10.1111/j.1365-2869.2011.00990.x.
24. HAHN, Aleš et al., 2007. *Otorinolaryngologie a foniatrie v současné praxi*. Praha: Grada. ISBN 9788024705293.
25. HAVRÁNEK, Jiří et al., 1990. *Hluk a zdraví*. Praha: Avicenum. ISBN 8020100202.
26. HRNČÍŘ, Evžen, 2013. Hluk z pracovního hlediska. *Occupational Medicine / Pracovní Lékarství* [online]. **65**(1/2), 59-66 [cit. 2017-06-20]. ISSN 00326291.
27. HYGGE, Staffan, 2003. Classroom experiments on the effects of different noise sources and sound levels on long-term recall and recognition in children. *Applied Cognitive Psychology* [online]. **17**(8), 895-914 [cit. 2017-07-01]. DOI: 10.1002/acp.926. ISSN 08884080.

28. ISING, H. et al., 1979. Increase of collagen in the rat heart induced by noise. *Environment International* [online]. 2(2), 95-105 [cit 2017-06-24]. DOI: [https://doi.org/10.1016/0160-4120\(79\)90048-5](https://doi.org/10.1016/0160-4120(79)90048-5)
29. ISING, H., Braun C., 2000. Acute and chronic endocrine effects of noise : Review of the research conducted at the Institute for water, soil and air hygiene. *Noise & Health* [online]. 2(7), 7-24 [ 2017-06-25]. Dostupné z: <http://www.noiseandhealth.org/text.asp?2000/2/7/7/31745>
30. JOKL, Miloslav, 2002. *Zdravé obytné a pracovní prostředí*. Praha: Academia. ISBN 8020009280.
31. KAGEYAMA, Takayuki, 2016. Adverse effects of community noise as a public health issue. *Sleep Biol. Rhythms* [online]. 14(3), 223-229 [cit. 2017-07-04]. DOI: 10.1007/s41105-016-0069-3.
32. KAŇKA, Jan, 2009. *Akustika stavebních objektů*. Brno: ERA. Technická knihovna (ERA). ISBN 9788073661403.
33. KIMÁKOVÁ, Tatiana, Lucia KUZMOVÁ a Petr KACHLÍK, 2010. Hluk nie je zvuk. In: ŘEHULKA, E. (ed.). *Anotace referátů ze 6. Mezinárodní vědecké konference Škola a zdraví pro 21. století*. ISBN 978-80-210-5262-8.
34. KRATINA, J. et al., © 2015. Zpráva o životním prostředí České republiky. CENIA, Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN 978-80-87770-10-8.
35. KŘIVÁNEK, Vítězslav, Josef STRYK a Jiří JEDLIČKA, 2016. ČIŠTĚNÍ NÍZKOHLUČNÝCH POVRCHŮ VOZOVEK A ZMĚNA JEJICH HLUČNOSTI NA ÚZEMÍ ČR SLEDOVANÁ METODOU CPX. *Hygiena* [online]. 61(4), 152-156 [cit. 2017-07-01]. DOI: 10.21101/hygiena.a1470.
36. KOLB, Walter, 2008. *Živé ploty a stěny: ochrana proti hluku a nežádoucím pohledům*. Praha: Grada. ISBN 9788024725147.
37. KŘÍŽ, Karel, 2013. II/523 Jihlava - průtah III. etapa. Identifikace chráněné zástavby zasažené hlukem z dopravy na silnici II/523 přesahujícím limity pro starou hlukovou zátěž. *Akustika Brod*. Zakázka Z27-13.

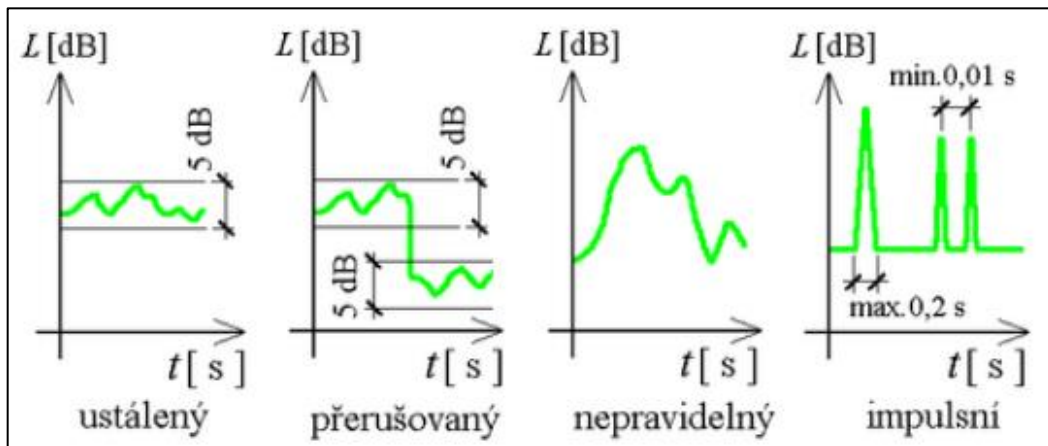
38. KWAK, K. MIN et al., 2016. The effect of aircraft noise on sleep disturbance among the residents near a civilian airport: a cross-sectional study. *Annals of Occupational* [online], **28**, 1-10 [cit. 2017-06-28]. DOI: 10.1186/s40557-016-0123-2.
39. LEKAVICIUTE, Jurgita a Lubica ARGALASOVA-SOBOTOVA, 2013. Environmental noise and annoyance in adults: Research in Central, Eastern and South-Eastern Europe and Newly Independent States. *Noise & Health* [online]. **15**(62), 42-54 [cit. 2017-06-23]. DOI: 10.4103/1463-1741.107153.
40. LIBERKO, Miloš, 2004. *Hluk v prostředí. Problematika a řešení*. Praha: Ministerstvo životního prostředí. ISBN: 80-7212-271-1. Dostupné také z: [http://www.ceskyfocalpoint.cz/wp-content/uploads/2015/12/pupr\\_hluk\\_text.pdf](http://www.ceskyfocalpoint.cz/wp-content/uploads/2015/12/pupr_hluk_text.pdf)
41. LIBERKO, Miloš a Libor LÁDYŠ, 2011. *Výpočet hluku z automobilové dopravy. Manuál*. Účelová publikace pro Ředitelství silnic a dálnic České republiky. [online]. ENVICONSULT Praha. [cit. 2016-08-26]. Dostupné z: <http://www.hlukplus.cz/manual/Methodika2011.pdf>
42. MIČKA, Petr, 2008. Protokol měření hlučnosti (2008/401/JI-HP). *Zdravotní ústav se sídlem v Jihlavě - centrum hygienických laboratoří*. Obj. č. 12-OO-002288.
43. MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ - HLAVNÍ HYGIENIK ČR, 2001. *Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí*. Praha. [online]. Č.j. HEM-300-11.12.01-34065. [cit. 2016-08-12]. Dostupné z: [http://apps.szu.cz/cekz/dokumenty/autorizace/hluk\\_v\\_mimoprac\\_prostredi.pdf](http://apps.szu.cz/cekz/dokumenty/autorizace/hluk_v_mimoprac_prostredi.pdf)
44. MURPHY, Enda a Eoin A. KING, 2014. *Environmental noise pollution: noise mapping, public health, and policy*. Boston: Elsevier. ISBN 9780124115958.
45. NOVÝ, Richard, 2009. *Hluk a chvění*. Vyd. 3. V Praze: České vysoké učení technické. ISBN 9788001043479.
46. PROVAZNÍK, K., M. CIKRT, L. KOMÁREK et al., 2000. *Manuál prevence v lékařské praxi VIII., Základy hodnocení zdravotních rizik*. Praha: SZÚ, Národní



- program zdraví. [online]. [cit. 2016-09-30]. Dostupné z:  
<http://www.szu.cz/uploads/documents/czpz/manual/Manual%20souhrn-7.pdf>
47. ROSINA, Jozef a Leoš NAVRÁTIL (eds.), 2000. *Lékařská biofyzika*. Praha: Manus. ISBN 8090231853.
48. ROSINA, Jozef et al., 2013. *Biofyzika: pro zdravotnické a biomedicínské obory*. Praha: Grada. ISBN 9788024742373.
49. RYLANDER, Ragnar, 2006. Noise, stress and annoyance. *Noise & Vibration Worldwide*. [online]. **37**(6), 9-13 [cit. 2017-06-23]. DOI:  
<https://doi.org/10.1260/095745606778171999>.
50. ŘIHÁČEK, Tomáš, 2007. Rozmrzelost z hluku: Konceptualizace a prediktory psychosociální povahy. *Československá psychologie*. **51**(2), 117-128. ISSN 0009 062X.
51. SMETANA, Ctirad et al., 1998. *Hluk a vibrace: měření a hodnocení*. Praha: Sdělovací technika. ISBN 8090193625.
52. SCHNEIDER, Elke, P. PAOLI a Emmanuelle BRUN, c2005. *Noise in figures*. European Agency for Safety and Health at Work. Risk observatory: Luxembourg. ISBN 92-9191-150-x.
53. STÁTNÍ ZDRAVOTNÍ ÚSTAV, 2015. *Strategické hlukové mapy - fáze II* (reg. č. CZ.1.06/3.2.01/02.06100). Tisková zpráva. [online]. [cit. 2016-09-14]. Dostupné z:  
[http://www.szu.cz/uploads/Projekty\\_IOP/SHM/TZ\\_SZU\\_hlukove\\_mapy\\_def.pdf](http://www.szu.cz/uploads/Projekty_IOP/SHM/TZ_SZU_hlukove_mapy_def.pdf)
54. SYGNA, Karin et al., 2014. Road traffic noise, sleep and mental health. *Environmental Research* [online]. **131**, 17-24 [cit. 2017-07-02]. DOI:  
10.1016/j.envres.2014.02.010. ISSN 00139351.
55. ŠIŠMA, Petr, 1997. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí. [online]. Praha: SZÚ, 1998. [cit. 2016-09-04]. Dostupné z:  
<http://www.szu.cz/publikace/archiv-souhrnnych-zprav>

56. ŠIŠMA, Petr, 1998. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí. [online]. Praha: SZÚ, 1999. [cit. 2016-09-04]. Dostupné z: <http://www.szu.cz/publikace/archiv-souhrnnych-zprav>
57. VALEŠOVÁ, K., 2006. Škodlivý vliv hluku na lidský organismus. *Praktický lékař*. **86**(6), 310-311. ISSN 0032-6739.
58. VANDASOVÁ, Zdeňka a Ondřej DOBISÍK, 2007. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí. [online]. Praha: SZÚ, 2008. [cit. 2016-09-04]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrna\\_zprava/Szu\\_08cz.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrna_zprava/Szu_08cz.pdf)
59. VANDASOVÁ, Zdeňka et al., 2008. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí. [online]. Praha: SZÚ, 2009. [cit. 2016-10-04]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrna\\_zprava/Szu\\_09\\_1\\_.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/souhrna_zprava/Szu_09_1_.pdf)
60. VANDASOVÁ, Zdeňka et al., 2015. Systém monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí, Subsystem III „Zdravotní důsledky a rušivé účinky hluku“. [online]. Praha: SZÚ, 2016. [cit. 2016-10-04]. Dostupné z: [http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/hluk/Odborna\\_hluk\\_15.pdf](http://www.szu.cz/uploads/documents/chzp/hluk/Odborna_hluk_15.pdf)
61. WORLD HEALTH ORGANIZATION, © 1999. *Guidelines for community noise*. BERGLUND, Birgitta, Thomas LINDVALL a Dietrich H. Schwela (eds.). Geneva. [online]. [cit. 2016-08-24]. Dostupné z: <http://www.who.int/docstore/peh/noise/guidelines2.html>
62. WORLD HEALTH ORGANIZATION, c2009. *Night noise guidelines for Europe*. Copenhagen. xviii, p. 162. ISBN 978-92-890-4173-7. Dostupné také z: [http://www.euro.who.int/\\_\\_data/assets/pdf\\_file/0017/43316/E92845.pdf](http://www.euro.who.int/__data/assets/pdf_file/0017/43316/E92845.pdf)
63. WORLD HEALTH ORGANIZATION, Regional Office for Europe, 2011. Frank THEAKSTON (ed.). *Burden of disease from environmental noise: Quantification of healthy life years lost in Europe*. Copenhagen. ISBN 9789289002295. Dostupné také z: [http://www.who.int/quantifying\\_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1](http://www.who.int/quantifying_ehimpacts/publications/e94888.pdf?ua=1)

## 9 PŘÍLOHY



Obr. č. 1 Rozdělení zvuku podle časového průběhu

Zdroj: Kaňka, 2010

### I. Hladina akustického tlaku

$$L = 20 \log \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

$p$  = efektivní hodnota akustického tlaku v Pa

$p_0$  = referenční hodnota akustického tlaku =  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa

### II. Hladina akustického výkonu

$$L_w = 10 \log \frac{W}{W_0} \quad [\text{W}]$$

$W$  = akustický výkon ve watech (W)

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

### III. Hladina zvuku

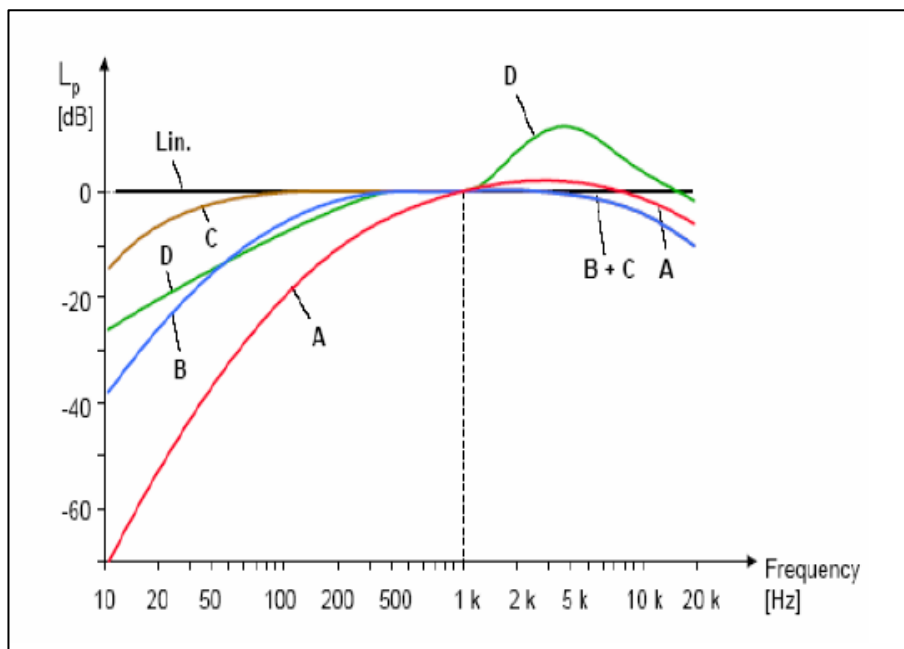
$$L_A = 20 \log \frac{p_A}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

$p_A$  = efektivní hodnota akustického tlaku kmitočtově vážená filtrem A

$p_0$  = referenční hodnota akustického tlaku =  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa

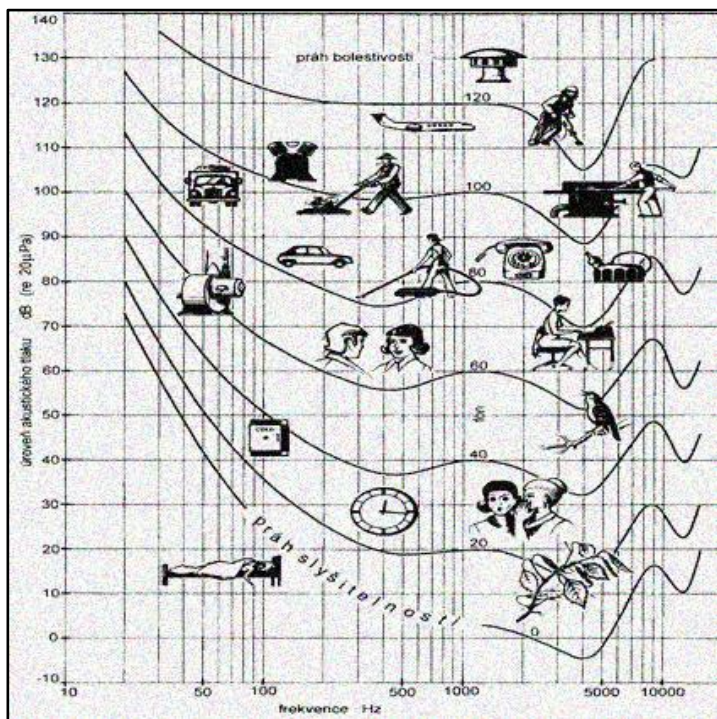
Obr. č. 2 Základní vztahy pro výpočet hladin zvuku

Zdroj: Nový, 2009



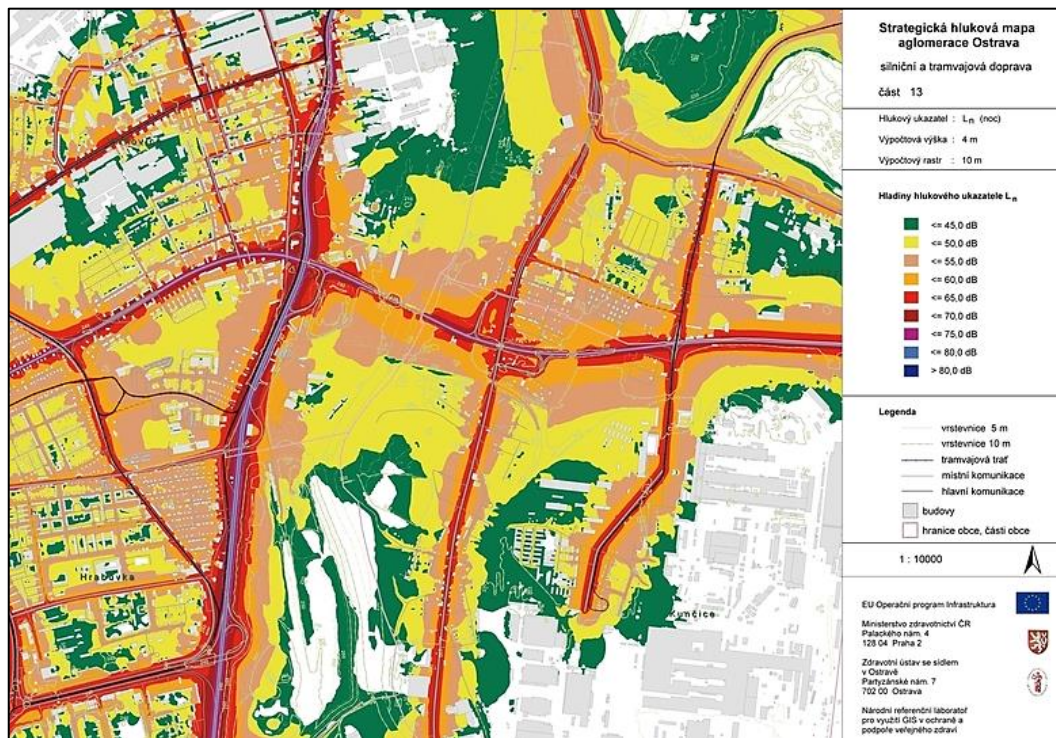
Obr. č. 3 Frekvenční charakteristika váhových filtrů zvukoměru

Zdroj: Havránek et al., 1990



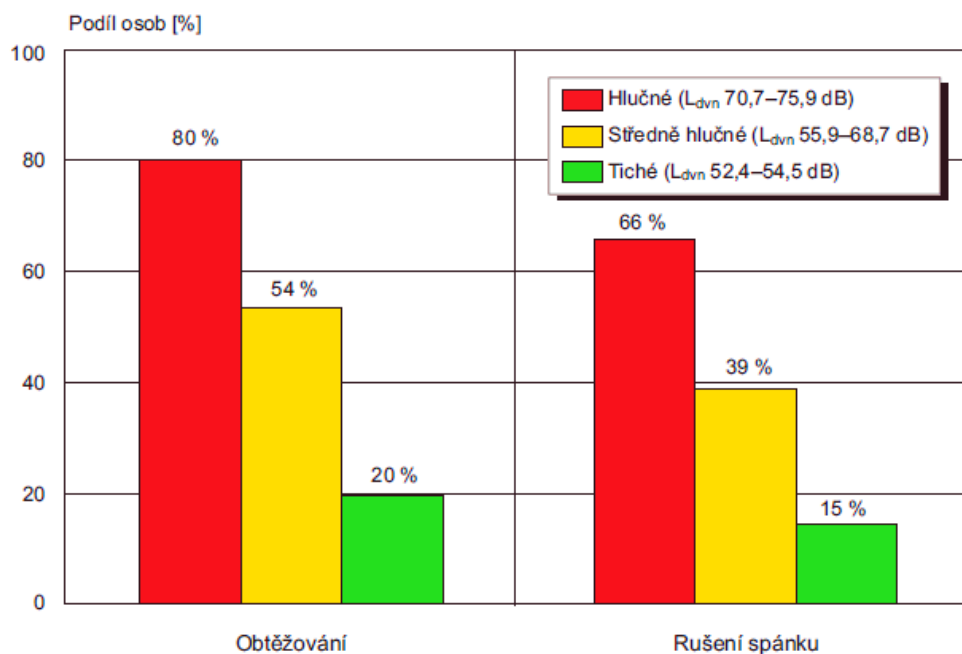
Obr. č. 4 Křivky hladin stejné hlasitosti (izofóny)

Zdroj: Smetana et al., 1998



Obr. č. 5 Strategická hluková mapa silniční a tramvajové dopravy (2008)

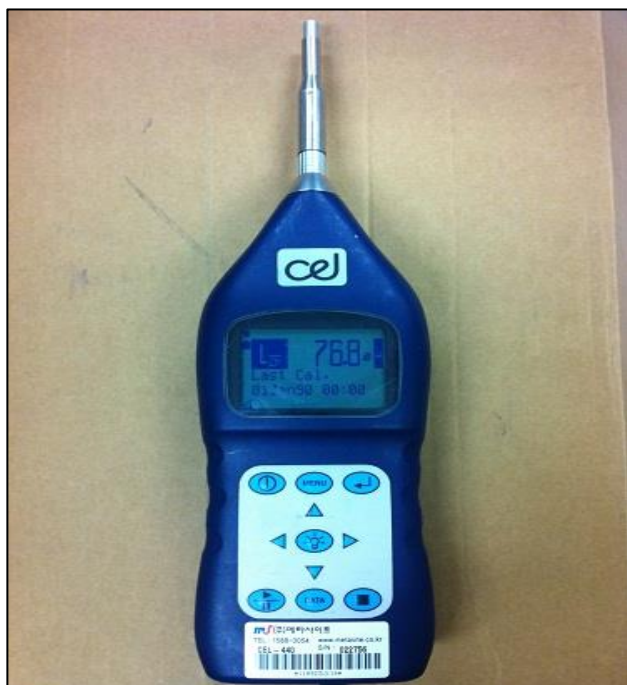
Zdroj: Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě



Obr. č. 6 Obtěžování a rušení spánku hlukem ve skupinách lokalit podle hlučnosti

Zdroj: Systému monitorování zdravotního stavu obyvatelstva ve vztahu k životnímu prostředí (2007)





Obr. č. 7 Měřicí přístroj značky CEL- 440, výrobce CASELLA

Zdroj: Vlastní výzkum

Tab. č. 1 Ukazatele hluku dle směrnice END

Ukazatel	Popis	Časová konstanta
$L_{max}$	Maximální hladina akustického tlaku vyskytující se v intervalu, obvykle přejezdu vozidla	125 ms
SEL	Hladina zvukové expozice = hladina akustického tlaku v normalizovaném intervalu 1 sekundy	1 s
$L_{den}$	Průměrná hladina akustického tlaku během 1 dne. Tento den může být vybrán tak, aby byl reprezentativní pro delší období - například $L_{day}$ se nachází ve směrnici END.	12 nebo 16 hodin
$L_{noc}$	Průměrná hladina akustického tlaku přes 1 noc. Tato noc může být vybrána jako reprezentativní pro delší období - $L_{night}$ se také nachází ve směrnici END i jako indikátor noční doby definovaný směrnici EU 2002/49 a používaný WHO.	8 hodin
$L_{24h}$	Průměrná hladina akustického tlaku po celý den. Tento celý den může být zvolen tak, aby byl reprezentativní pro delší časové období.	24 hodin
$L_{dn}$	Průměrná hladina akustického tlaku po celý den. Tento celý den může být zvolen tak, aby byl reprezentativní pro delší období. Noční hladina vyžaduje připočítání korekce -10 dB	24 hodin
$L_{dvn}$	Průměrná hladina akustického tlaku za všechny dny, večery a noci za rok. V tomto indikátoru se připočítává korekce -5 dB pro odpoledne a -10 dB pro noc	Rok

Zdroj: upraveno podle EEA Technical report, 2010

Tab. č. 2 Hladiny hlasitosti zvuku v životním prostředí

Ph	Hladina hlasitosti
0	práh slyšení
10	mírný pohyb listí stromů
30	šeptaná řeč, tichá ulice
40	tlumená hlasitost řeči
50	osobní automobil, normální hlasitost rozhlasového přijímače
60	normální rozhovor
70	rušná ulice, křik
90	automobilové signály
110	pneumatické kladivo na kovu
120	hluk letadlového motoru ve vzdálenosti 4 m
130	práh bolesti

Zdroj: Rosina et al., 2013

Tab. č. 3 Mezní hodnoty hlukových ukazatelů v ČR

Zdroj hluku	$L_{dvn}$	$L_n$
	[dB]	
Silniční doprava	70	60
Železniční doprava	70	65
Letecká doprava	60	50
Integrovaná zařízení	50	40

Zdroj: Vyhláška č. 523/2006 Sb., o hlukovém mapování

Tab. č. 4 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce v dB
Nemocniční pokoje	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6.00 a 22.00 hodinou	0 <sup>+) </sup>
	doba mezi 22.00 a 6.00 hodinou	-10 <sup>+) </sup>
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	po dobu používání	+5

Zdroj: Nařízení vlády č. 272/ 2011 Sb., v platném znění

Tab. č. 5 Hodnoty hluku působeného dopravou na pozemních komunikacích a dráhách pro použití korekce + 5 dB

Pozemní komunikace a železniční dráhy	Doba dne	$L_{Aeq,T}$ [dB]
Dálnice, silnice I. a II.tř., místní komunikace I. a II.tř.	Denní	65
	Noční	55
Silnice III. tř, komunikace III.tř. a účelové komunikace	Denní	60
	Noční	50
Železniční dráhy v ochranném pásmu dráhy	Denní	65
	Noční	60
Železniční dráhy mimo ochranné pásmo dráhy	Denní	60
	Noční	55

Zdroj: Nařízení vlády č. 272/ 2011 Sb., v platném znění



Tab. č. 6 Porovnání hygienických limitů hluku pro starou hlukovou zátěž

Pozemní komunikace a železniční dráhy		Interval SHZ [dB]		HL [dB]	
		Denní doba	Noční doba	Denní doba	Noční doba
Silniční doprava	Dálnice, silnice I. a II. tř., místní komunikace I. a II. tř.	60,0 – 65,0	50,0 – 55,0	60	50
	Silnice III. tř, komunikace III. tř. a účelové komunikace	55,0 – 60,0	45,0 – 50,0	55	45
Železniční doprava	Železniční dráhy v ochranném pásmu dráhy	60,0 – 65,0	55,0 – 60,0	60	55
	Železniční dráhy mimo ochranné pásmo dráhy	55,0 – 60,0	50,0 – 55,0	55	50

Zdroj: Nařízení vlády č. 272/ 2011 Sb., v platném znění

## 10 SEZNAM ZKRATEK

<b>L<sub>Aeq</sub></b>	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A
<b>dB</b>	Decibel
<b>L<sub>night</sub></b>	Hlukový ukazatel pro noční obtěžování hlukem
<b>L<sub>dvn</sub></b>	Hlukový ukazatel pro celodenní obtěžování hlukem
<b>SHM</b>	Strategické hlukové mapování
<b>NV</b>	Nařízení vlády
<b>ČR</b>	Česká Republika
<b>END</b>	Směrnice Evropského parlamentu
<b>WHO</b>	Světová zdravotnická organizace
<b>MHD</b>	Městská hromadná doprava
<b>SHZ</b>	Stará hluková zátěž
<b>EEG</b>	Elektroencefalografie
<b>Cortiho orgán</b>	Orgán sluchového ústrojí vnitřního ucha
<b>Tinnitus</b>	Ušní šelest
<b>Méniérova choroba</b>	Onemocnění vnitřního ucha
<b>Metaanalýza</b>	Metoda využívaná při analýze vědeckých publikací
<b>RR</b>	Relativní riziko
<b>OR</b>	Odds ratio
<b>CI</b>	Interval spolehlivosti
<b>ICHS</b>	Ischemická choroba srdeční
<b>REM</b>	Fáze spánku charakterizovaná rychlými pohyby očí
<b>NOAEL</b>	Dávka, při níž nebyl pozorován škodlivý účinek
<b>LOAEL</b>	Nejnižší dávka, při níž byl pozorován škodlivý účinek