

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera

Porovnání metodik pro výpočet hluku ze silniční dopravy

Diplomová práce

2020

Jan Janáček

Univerzita Pardubice
Dopravní fakulta Jana Pernera
Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan Janáček**
Osobní číslo: **D17501**
Studijní program: **N3708 Dopravní inženýrství a spoje**
Studijní obor: **Dopravní prostředky: Ochrana životního prostředí v dopravě**
Téma práce: **Porovnání metodik pro výpočet hluku ze silniční dopravy**
Zadávací katedra: **Katedra dopravních prostředků a diagnostiky**

Zásady pro vypracování

Porovnejte metodiky pro výpočet hluku ze silniční dopravy a toto porovnání podpořte experimentem. Pro experiment zvolte komunikaci I. třídy s intenzitou dopravy vyšší než 2 400 vozidel / 24 hodin a proveďte měření hluku ze silniční dopravy s cílem určení emisní hodnoty této komunikace. Současně proveďte měření i v místě imise, ve kterém má být stanoven hluk výpočtem. V rámci měření bude provedeno sčítání intenzity dopravy v kategoriích požadovaných danými metodikami. Proveďte:

1. Rešerši stávajících metodik používaných v oblasti hluku ze silniční dopravy.
2. Výpočet hluku ve stanoveném místě imise.
3. Experiment v reálném provozu.
4. Vzájemné porovnání výsledků dle různých metodik a porovnání výsledku výpočtu s naměřenou hodnotou hluku.
5. Zhodnocení a závěry.

Rozsah pracovní zprávy: **50 stran**
Rozsah grafických prací: **dle pokynů vedoucího DP**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- Stylianos, Kephelopoulos, Marco, Paviotti a Fabienne, Anfosso-LANFOSSO-Lédée. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). European Commission. [Online] 2012.
- EKOLA group, spol. s r.o. Výpočet hluku z automobilové dopravy. Manuál 2018. EKOLA group, spol. s r.o. [Online] 2018.

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jakub Vágner, Ph.D.**
Katedra dopravních prostředků a diagnostiky

Datum zadání diplomové práce: **18. února 2020**
Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2020**

L.S.

doc. Ing. Libor Švadlenka, Ph.D.
děkan

Ing. Jakub Vágner, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlašuji:

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

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

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. X/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 7. 7. 2020

Jan Janáček

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce panu Ing. Jakubu Vágnerovi, Ph.D. a spolupracovníkům z firmy Akustika Brod s.r.o. za jejich odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování diplomové práce. Dále chci poděkovat svým rodičům, kteří při mně vždy stáli a finančně mě podporovali.

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá měřením a výpočtem hluku ze silniční dopravy. Především pak porovnáním české a evropské metodiky pro výpočet hluku. Pro výpočty byl použit výpočetní program CadnaA verze 2020.

KLÍČOVÁ SLOVA

hluk, silnice, měření, výpočet

TITLE

Comparison of methodologies for road traffic noise calculation

ANNOTATION

This diploma thesis deals with the measurement and calculation of road traffic noise. Mainly by comparing the Czech and European methodology for noise calculation. For the calculations was used program CadnaA version 2020.

KEYWORDS

noise, road, measure, calculation

Obsah

Úvod.....	13
1 Hluk ze silniční dopravy.....	14
1.1 Ekvivalentní hladina akustického tlaku	14
1.2 Hygienické limity.....	16
2 Výpočtové metodiky pro výpočet hluku ze silniční dopravy	18
2.1 Evropská metodika CNOSSOS-EU	18
2.1.1 Strategické hlukové mapování.....	18
2.1.2 Frekvenční rozsah, hlukový indikátor	20
2.1.3 Dopravní podklady	21
2.1.4 Výpočtový algoritmus.....	23
2.2 Česká metodika	35
2.2.1 Podklady o dopravě a území.....	36
2.2.2 Výpočtový algoritmus.....	41
3 Experimentální část	45
3.1 Měření hluku ze silniční dopravy.....	45
3.1.1 Podmínky měření, výsledky měření hluku	50
3.1.2 Sčítání dopravy	55
3.1.3 Sčítání dopravy – vyhodnocení.....	66
3.1.4 Meteorologické podmínky	69
3.1.5 Seznam použitých přístrojů a zařízení	70
3.2 Výpočet hluku ze silniční dopravy.....	71
3.2.1 Model zájmového území.....	71
3.2.2 Ověření modelu.....	76
3.2.3 Výsledky výpočtu hluku	79
4 Závěr.....	83

Seznam obrázků

Obr. 1 Časově proměnný akustický signál a jemu odpovídající ekvivalentní hladina akustického tlaku [1].....	14
Obr. 2 Korekční křivka váhového filtru A.....	15
Obr. 3 Strategické hlukové mapování 2017 – dálnice D1, exit 134 [8]	19
Obr. 4 Autobus se dvěma nápravami.....	22
Obr. 5 Autobus se třemi nápravami	22
Obr. 6 Těžké nákladní vozidlo se třemi nápravami	23
Obr. 7 Poloha ekvivalentního bodového zdroje dle metodiky CNOSSOS-EU [7]	23
Obr. 8 Závislost valivého hluku na rychlosti pro vozidla kategorií 1, 2, 3 [7].....	27
Obr. 9 Závislost hluku hnací jednotky na rychlosti pro vozidla kategorií 1, 2, 3, 4 [7].....	28
Obr. 10 Poloha mikrofونů při měření metodou CPX dle návrhu normy ISO 11819-2 [12]	30
Obr. 11 Specializovaný přívěs pro měření metodou CPX [13]	30
Obr. 12 Hrotové pneumatiky Nokian Tyres HAKKAPELIITTA 8 [14].....	31
Obr. 13 Závislost korekčního koeficientu ΔLW , temp na teplotě [7].....	33
Obr. 14 Dodávkový automobil spadající hlukově do kategorie osobních vozidel	38
Obr. 15 Dodávkový automobil spadající hlukově do kategorie nákladních vozidel	38
Obr. 16 Katastrální mapa zájmové lokality	46
Obr. 17 Státní vektorová mapa 1:5000 zájmové lokality včetně konfigurace terénu.....	46
Obr. 18 Katastrální mapa s vyznačením měřicího místa MM1	47
Obr. 19 Katastrální mapa s vyznačením měřicího místa MM2	47
Obr. 20 Pohled na měřicí místo MM1	48
Obr. 21 Pohled na silnici I/38 z měřicího místa MM1	48
Obr. 22 Pohled na měřicí místo MM2	48
Obr. 23 Pohled na silnici I/38 ve směru na Havlíčkův Brod	49
Obr. 24 Pohled na silnici I/38 ve směru na Kolín.....	49
Obr. 25 Detail silnice I/38 – zvlnění povrchu (vyjeté koleje)	49
Obr. 26 Záznam hladiny akustického tlaku v měřicím místě MM1	51
Obr. 27 Závislost délky měření na ekvivalentní hladině akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$	52
Obr. 28 Záznam hladiny akustického tlaku v měřicím místě MM2	54
Obr. 29 Zaznamenávání dopravního proudu webkamerou Microsoft LifeCam Cinema HD ..	55
Obr. 30 Sčítání dopravy in-situ.....	59
Obr. 31 Sčítání dopravy statistickým radarem.....	61
Obr. 32 Výsledky sčítání dopravy metodou videozáznamu a statistickým radarem	67
Obr. 33 Rozdělení silnice I/38 na tři úseky pro potřeby výpočtového modelu	72

Obr. 34 CadnaA – Výřez z vytvořeného modelu.....	73
Obr. 35 CadnaA – 3D model – pohled na sever	74
Obr. 36 CadnaA – 3D model – pohled na severovýchod	74
Obr. 37 CadnaA – 3D model – pohled na jihovýchod.....	75
Obr. 38 CadnaA – 3D model – pohled na jih	75
Obr. 39 CadnaA – nastavení parametrů silnice (česká metodika)	76
Obr. 40 CadnaA – nastavení parametrů silnice (evropská metodika)	77
Obr. 41 CadnaA – hluková mapa (česká metodika)	80
Obr. 42 CadnaA – hluková mapa (evropská metodika).....	82

Seznam tabulek

Tab. 1 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb [5].....	16
Tab. 2 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném venkovním prostoru [5].....	17
Tab. 3 Zatřídění vozidel do skupin pro hlukové výpočty evropskou metodikou CNOSSOS-EU [9].....	21
Tab. 4 Zatřídění vozidel do skupin pro hlukové výpočty českou metodikou [4].....	37
Tab. 5 Parametr korekce rychlosti [4]	40
Tab. 6 Hodnoty faktoru F_2 [4]	43
Tab. 7 Hodnoty faktoru F_3 [4]	44
Tab. 8 Hodnoty hluku naměřené na měřicím místě MM1	51
Tab. 9 Hodnoty hluku naměřené na měřicím místě MM2.....	54
Tab. 10 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku evropskou metodikou, 24. 9. 2019	57
Tab. 11 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku českou metodikou, 24. 9. 2019	58
Tab. 12 Sčítání dopravy na silnici I/38 in-situ pro výpočet hluku evropskou metodikou, 24. 9. 2019	60
Tab. 13 Sčítání dopravy na silnici I/38 statistickým radarem, 24. 9. 2019.....	62
Tab. 14 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku evropskou metodikou CNOSSOS-EU, 17. 4. 2020.....	64
Tab. 15 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku českou metodikou, 17. 4. 2020	65
Tab. 16 Výsledky sčítání dopravy metodou videozáznamu a metodou in-situ, evropská metodika, 24. 9. 2019.....	66
Tab. 17 Porovnání použitých metod sčítání dopravy	68
Tab. 18 Meteorologické podmínky.....	69
Tab. 19 Výsledky výpočtu českou metodikou.....	79
Tab. 20 Výsledky výpočtu evropskou metodikou	81

Seznam symbolů a zkratek

Symboly

Poznámka: Vzhledem k velkému množství symbolů, které se v textu práce vyskytují, je zde uvedeno označení pouze těch nejčastěji používaných.

L_A	[dB]	hladina akustického tlaku vážená filtrem A
$L_{Aeq,T}$	[dB]	ekvivalentní hladina akustického tlaku za dobu trvání T vážená filtrem A
L_{Amax}	[dB]	maximální hladina akustického tlaku A
L_{Amin}	[dB]	minimální hladina akustického tlaku A
L_{AN}	[dB]	distribuční (procentní) hladina – hladina akustického tlaku překročená v N % doby T
L_{A1}	[dB]	hladina akustického tlaku A překročená v 1 % doby T
L_{A50}	[dB]	hladina akustického tlaku A překročená v 50 % doby T
L_W	[dB]	hladina akustického výkonu
f	[Hz]	frekvence
t	[s]	čas
v	[km/h]	rychlost
τ	[°C]	teplota
s	[%]	sklon vozovky
m	[-]	kategorie vozidel

Zkratky

CNOSSOS	Common NOise aSSessment methOdS
MM1	měřicí místo 1
SHM	strategické hlukové mapování
PHS	protihluková stěna
RPDI	roční průměr denních intenzit
CSD	celostátní sčítání dopravy
ACO	asfaltový beton pro obrusnou vrstvu
BBTM	asfaltový beton pro velmi tenké vrstvy
CBK	cementobetonový kryt různou povrchovou úpravou
EMK	emulzní koberec
PA	drenážní asfaltový koberec
SMA	mastixový asfaltový koberec

NH	obrusná vrstva se sníženou hlučností
LMV	lehká motorová vozidla (kategorie dle výpočetní metodiky CNOSSOS-EU)
STV	středně těžká vozidla (kategorie dle výpočetní metodiky CNOSSOS-EU)
TV	těžká vozidla (kategorie dle výpočetní metodiky CNOSSOS-EU)
MT	motocykly (kategorie dle výpočetní metodiky CNOSSOS-EU)
MP	mopedy (kategorie dle výpočetní metodiky CNOSSOS-EU)
OA	osobní (kategorie dle české výpočetní metodiky)
NA	nákladní (kategorie dle české výpočetní metodiky)
NS	nákladní soupravy (kategorie dle české výpočetní metodiky)
L	lehká vozidla (kategorie stanovená pro sčítání dopravy statistickým radarem)
T	těžká vozidla (kategorie stanovená pro sčítání dopravy statistickým radarem)

Označení kategorií při celostátním sčítání dopravy:

LN	lehká nákladní vozidla (užitečná hmotnost do 3.5 t) bez přívěsu i s přívěsem
SN	střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3.5–10 t) bez přívěsu
SNP	střední nákladní vozidla (užitečná hmotnost 3.5–10 t) s přívěsem
TN	těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t) bez přívěsu
TNP	těžká nákladní vozidla (užitečná hmotnost nad 10 t) s přívěsem
NSN	návěsové soupravy nákladních vozidel
A	autobusy
AK	kloubové autobusy
TR	traktory bez přívěsu
TRP	traktory s přívěsem
O	osobní a dodávková vozidla bez přívěsu i s přívěsy
M	jednostopá motorová vozidla

Úvod

Tato diplomová práce se zabývá hlukem ze silniční dopravy, především pak jeho měřeními a výpočtem. Hodnocení hluku ze silniční dopravy je důležité, protože dokáže předejít nepříznivým účinkům, které má hluk na lidské zdraví. Mezi tyto vlivy prokazatelně patří kardiovaskulární účinky (hypertenze, infarkt, ischemická choroba), rušení spánku a obtěžování. V současné době je v České republice možné provádět výpočet hluku ze silniční dopravy různými metodikami, doporučuje se použití evropské metodiky CNOSSOS-EU. Cílem této práce je porovnání české a evropské metodiky, a to i z hlediska náročnosti získání vstupních dat.

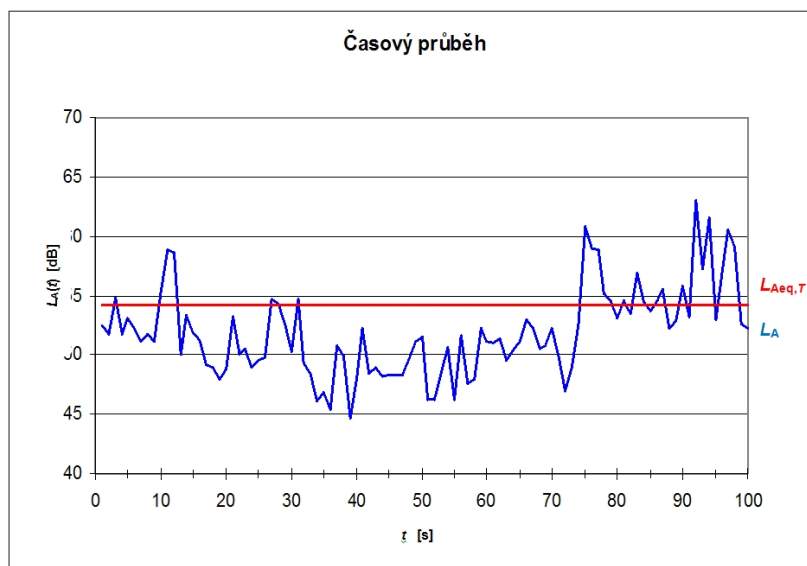
Bude provedeno měření hluku z provozu silnice I/38 v obci Rozňák (okres Havlíčkův Brod) ve vzdáleném místě imise ve vzdálenosti 124 m od osy silnice, v chráněném venkovním prostoru stavby rodinného domu Rozňák č. p. 163. Dále bude provedeno měření hluku v referenčním místě v blízkosti silnice I/38. Každé měření bude provedeno v jiný den. Bude vytvořen výpočtový model zájmového území ve výpočtním programu CadnaA verze 2020. Tento model bude následně v prostředí jednotlivých metodik validován pomocí hodnoty hluku naměřené v blízkém referenčním měřicím místě, tzn., že bude provedeno ověření, zda model poskytuje dostatečně přesné výsledky, a v případě nutnosti bude provedeno zpřesnění modelu úpravou vstupních parametrů komunikace (jako je typ a stav povrchu), příp. zpřesněním konfigurace a pohltivosti terénu. Cílem validace modelu je, aby výpočtní model v daném referenčním místě počítal pokud možno stejnou hodnotu, která byla na tomto místě naměřena. Poté bude vypočtena hodnota hluku ve vzdáleném místě imise, v chráněném venkovním prostoru stavby rodinného domu Rozňák č. p. 163. Vypočtené hodnoty budou porovnány s naměřenou hodnotou v tomto bodě.

Současně s měřením hluku bude provedeno sčítání dopravy třemi způsoby: sčítáním in-situ (2 sčítači, každý sčítá jeden jízdní pruh, čárková metoda), pořízením videozáznamu a následným ručním vyhodnocením na PC (1 sčítač, sčítá oba jízdy pruhy zároveň, čárková metoda) a statistickým radarem. Tyto tři metody budou navzájem porovnány z hlediska jejich přesnosti a časové a finanční náročnosti.

1 Hluk ze silniční dopravy

1.1 Ekvivalentní hladina akustického tlaku

Hluk je definován jako jakýkoliv zvuk, který člověka obtěžuje, případně působí škodlivě na jeho zdraví. Na zdraví člověka má vliv celková suma akustické energie, které je dlouhodobě vystaven. Z tohoto důvodu se při výpočtech a měření proměnného hluku ze silniční dopravy přednostně používá veličina ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]. Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ je definována jako hladina ustáleného akustického tlaku, která má v daném časovém intervalu T stejný energetický obsah jako časově proměnný hluk L_A , tedy předpokládané stejné účinky. Časově proměnný akustický signál a jemu odpovídající ekvivalentní hladina akustického tlaku je zobrazena na obr. 1. [1]



Obr. 1 Časově proměnný akustický signál a jemu odpovídající ekvivalentní hladina akustického tlaku [1]

Ekvivalentní hladinu akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ lze stanovit rovnicí 1 (dle [2]), jako energetický průměr z hladin akustického tlaku A L_A vyskytujících se v daném intervalu.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left(\frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^n t_i \cdot 10^{0.1 L_{Ai}} \right) \quad (1)$$

Kde:

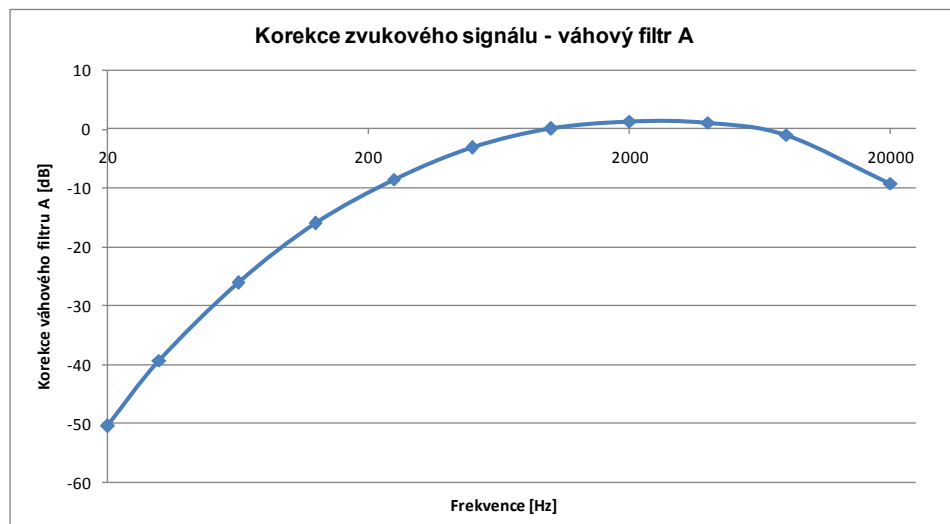
$T = \sum_{i=1}^n t_i$ – celková sledovaná doba

t_i – doba, po kterou působila měřená hladina L_{Ai}

n – počet intervalů

L_{Ai} – hladina akustického tlaku v i -tém intervalu vážená filtrem A [dB].

Lidský sluch vnímá frekvence zvuku s různou citlivostí. Z tohoto důvodu se v akustice používají váhové filtry, které signál frekvenčně upraví tak, aby frekvenční charakter odpovídal tomu, jak je vnímán člověkem. Nejčastěji je používán váhový filtr A. Aplikace váhového filtru je realizována prostým přičtením korekční hodnoty pro danou frekvenci. Lidé vnímají zvuk o frekvencích přibližně od 20 Hz do 20 kHz. Korekční křivka váhového filtru A je zobrazena na obr. 2. [3]



Obr. 2 Korekční křivka váhového filtru A

Z hodnot uvedených na obr. 2 vyplývá, že lidské ucho nejlépe vnímá zvuk o frekvenci 2000 Hz, na které je korekční hodnota +1,2 dB, naopak nejhůře vnímá zvuk o frekvenci 20 Hz, kde je korekční hodnota -50,5 dB.

Při šíření hluku ze silniční dopravy závisí ekvivalentní hladina akustického tlaku především na rychlosti, intenzitě a skladbě dopravního proudu, dále také na vozovce (typ povrchu, stav povrchu, sklon nivelety), okolním terénu a zástavbě (odrazy zvuku) a meteorologických podmínkách (teplota, vlhkost, tlak, rychlost větru, směr větru). Ekvivalentní hladinu akustického tlaku silniční dopravy na již existující komunikaci lze zjistit měřením nebo výpočtem. Výhodnou měření hluku je vyšší přesnost, nevýhodou je zjištění hluku pouze v konkrétním bodě měření. Pro posouzení výhledového stavu hluku ze silniční dopravy v okolí dané komunikace se ekvivalentní hladina akustického tlaku stanovuje výpočtem. Výsledky měření hluku lze použít pro validaci výpočtového modelu.

Výpočetní modely nacházejí v silniční dopravě své uplatnění především při návrhu nových a při rekonstrukci stávajících dopravních staveb, při výstavbě bytové a občanské zástavby na dosud nezastavěných rozvojových plochách a při modernizaci – přestavbě oblastí s obytnou a občanskou zástavbou. Při řešení akustické situace dané oblasti je metodickými

pokyny doporučeno zjistit nejdříve reálnou akustickou situaci území pomocí měření hluku, pokud je proveditelné. [4]

1.2 Hygienické limity

Hygienické limity pro hluk ze silniční dopravy jsou v České republice stanoveny Nařízením vlády č. 272/2011 Sb., ve znění pozdějších předpisů. Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích se ekvivalentní hladina akustického tlaku A stanovuje pro celou denní ($L_{Aeq,16h}$) a celou noční dobu ($L_{Aeq,8h}$). Denní doba je stanovena jako 16 hodin od 6:00 do 22:00 h a noční doba jako 8 hodin od 22:00 do 6:00 h. Hygienický limit se stanovuje součtem základní hladiny akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ (50 dB pro venkovní prostory, 40 dB pro vnitřní prostory) a korekcí závisící na denní / noční době a druhu chráněného prostoru. Korekční hodnoty pro vnitřní chráněné prostory staveb jsou uvedeny v tab. 1, pro venkovní chráněné prostory v tab. 2. [5]

Tab. 1 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném vnitřním prostoru staveb [5]

Druh chráněného vnitřního prostoru	Doba pobytu	Korekce [dB]
Nemocniční pokoje	doba mezi 6:00 a 22:00 hodinou doba mezi 22:00 a 6:00 hodinou	0 -15
Lékařské vyšetřovny, ordinace	po dobu používání	-5
Obytné místnosti	doba mezi 6:00 a 22:00 hodinou doba mezi 22:00 a 6:00 hodinou	0* -10*
Přednáškové síně, učebny a pobytové místnosti škol, jeslí a staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání	po dobu používání	+5

* Pro chráněné vnitřní prostory staveb povolené před 31. 12. 2005 se přičítá další korekce 5 dB. Platí pro okolí dálnic, silnic I. a II. třídy, místních komunikací I. a II. třídy, kde je hluk z těchto komunikací převládající.

Pokud se druh posuzovaného prostoru přesně neshoduje s žádným uvedeným v tab. 1, použije se limit pro funkčně obdobný prostor.

Tab. 2 Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném venkovním prostoru [5]

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

V noční době se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá další korekce -10 dB pro hluk ze silniční dopravy.

Korekce dle tab. 2:

- 1) Korekce pro hluk z železničních stanic a stacionárních zdrojů (výrobní areály, vzduchotechnická zařízení atd.)
- 2) Korekce pro hluk na železničních drahách a silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a účelových komunikacích ve smyslu § 7 odst. 1 zákona č. 13/1997 Sb., o pozemních komunikacích, ve znění pozdějších předpisů
- 3) Korekce pro hluk z dálnic, silnic I. a II. třídy a místních komunikací I. a II. třídy v území, kde hluk z těchto komunikací převažuje nad hlukem ostatních komunikací.
- 4) Korekce pro starou hlukovou zátěž (tj. hluk působený silniční dopravou, který na daném místě působil již před 1. lednem 2000 a překračoval tehdejší hodnoty hygienických limitů).

Jednotlivé chráněné prostory jsou zákonem č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů definovány následovně:

„Chráněným venkovním prostorem se rozumí 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 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. Chráněným vnitřním prostorem staveb se rozumí pobytové místnosti ve stavbách zařízení pro výchovu a vzdělávání, pro zdravotní a sociální účely a ve funkčně obdobných stavbách a obytné místnosti ve všech stavbách.“ [6]

2 Výpočtové metodiky pro výpočet hluku ze silniční dopravy

2.1 Evropská metodika CNOSSOS-EU

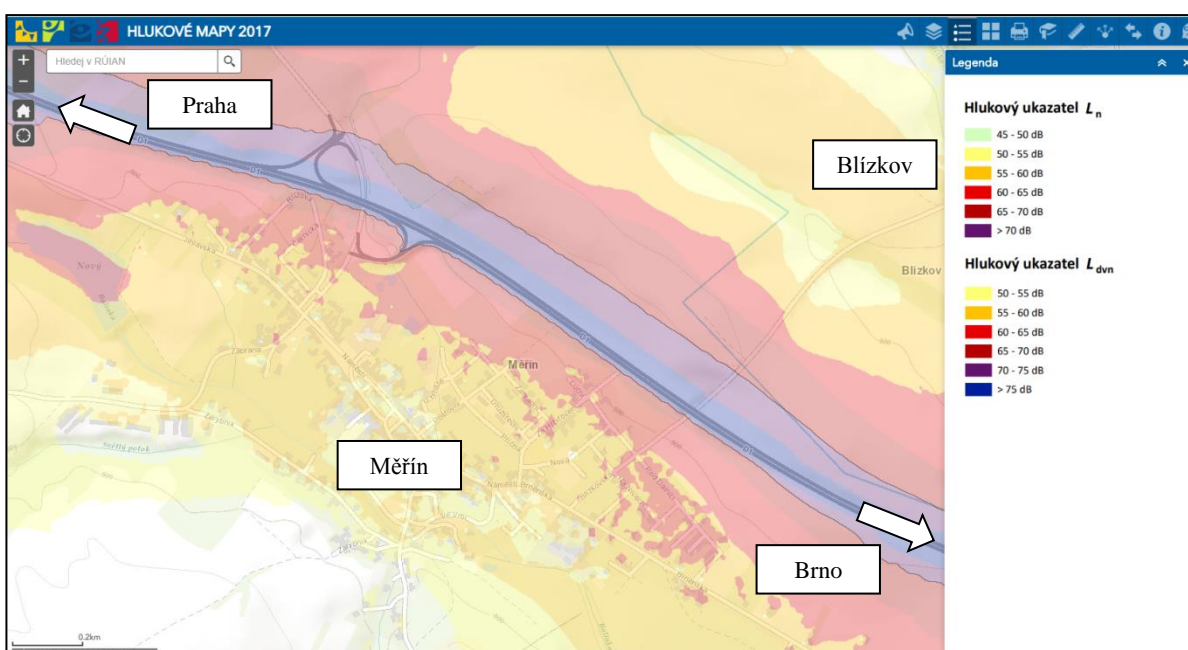
Název evropské metodiky CNOSSOS-EU je zkratkou pro Common NOise aSSessment methOdS, v překladu tedy společné metody hodnocení hluku. Metodika byla popsána v referenční zprávě Společného výzkumného střediska Evropské komise o projektu Common Noise Assessment Methods in Europe autorů: KEPHALOPOULOS Stylianos, PAVIOTTI Marco, ANFOSSO-LÉDÉE Fabienne vydané v roce 2012. Rozhodnutí o vývoji společné metodiky pro výpočet hluku bylo přijato v roce 2009 Evropskou komisí. Vývoj metodiky trval tři roky a kromě Evropské komise se na něm podílela i Evropská agentura pro životní prostředí, Světová zdravotnická organizace, Evropská agentura pro bezpečnost letectví a experti členských států Evropské unie. Hlavním cílem metodiky CNOSSOS-EU bylo zavedení jednotného přístupu pro hodnocení hluku, který bude následně využíván při pravidelném Strategickém hlukovém mapování. [7]

2.1.1 Strategické hlukové mapování

Strategické hlukové mapování je prováděno na základě směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí. Tato směrnice po členských státech Evropské unie požaduje, aby pravidelně pořizovali strategické hlukové mapy a vytvářeli na ně navazující akční plány. Strategické hlukové mapy znázorňují míru zatížení mapovaných oblastí hlukem. Akční plán dále navrhuje opatření na snížení hluku v nejzatíženějších oblastech stanovených na základě strategických hlukových map. Členské státy Evropské unie jsou povinné vytvářet strategické hlukové mapy v pětiletých intervalech od června roku 2007 a to pro všechny významné silniční komunikace, železnice, letiště a aglomerace. Výsledky hlukového mapování jsou dále využívány příslušnými národními orgány k identifikaci priorit pro plánování a pro Evropskou komisi, která na základě získaných dat porovnává zatížení jednotlivých členských států Evropské unie. Vyhodnocená data jsou volně přístupná pro veřejnost, kdokoli se tedy může informovat o tom, jakému hluku je jeho zájmová lokalita vystavena, popřípadě jaká byla v této lokalitě navržena opatření pro snížení hluku. Strategické hlukové mapování bylo prozatím provedeno ve třech kolech, a to v letech 2007, 2012, 2017. Poslední strategické hlukové mapování pro rok 2017 bylo stanoveno pro zdroje hluku splňující tyto kritéria: hlavní pozemní komunikace s intenzitou provozu větší než 3 000 000 vozidel za rok, úseky železničních tratí s intenzitou

větší než 30 000 vlaků za rok, aglomerace s počtem obyvatel nad 100 000 a hlavní letiště s počtem vzletů a přistání větším než 50 000 za rok. [7]

Strategické hlukové mapování pro rok 2017 bylo v České republice provedeno pro aglomerace: Praha, Brno, Ústí nad Labem – Teplice, Liberec, Plzeň, Olomouc a Ostrava. Dále pro letiště Václava Havla, hlavní silnice a železnice. Zpracováním Ministerstvo zdravotnictví pověřilo Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě a další zpracovatele vybrané na základě vypsání veřejné zakázky. Výsledky SHM jsou volně přístupné na webových stránkách Ministerstva zdravotnictví České republiky. [8] Příklad výstupu SHM pro rok 2017 provedeného v České republice je uveden na obr. 3.



Obr. 3 Strategické hlukové mapování 2017 – dálnice D1, exit 134 [8]

Jedná se strategickou hlukovou mapu znázorňující zasažení obce Měřín hlukem ze silniční dopravy na dálnici D1 (exit 134, kraj Vysočina, okres Žďár nad Sázavou). Mapu je možné zobrazit pro dva hlukové ukazatele. Pro hlukový ukazatel L_n vyjadřující hlukové zatížení během noční doby a pro hlukový ukazatel L_{dvn} vyjadřující hlukové zatížení pro časové období (den–večer–noc), tedy celých 24 hodin. Na obr. 3 je zobrazena mapa pro hlukový ukazatel L_{dvn} . Dle uvedené legendy jsou jednotlivé intervaly hodnot hlukového ukazatele o velikosti 5 dB barevně odlišeny. Černou obrysovou čarou je na mapě vyznačena mezní hodnota 70 dB pro indikátor L_{dvn} (pro indikátor L_n je mezní hodnota 60 dB). Na obrázku si lze všimnout efektu jednostranné protihlukové stěny vedené ve směru na Brno. Zatímco k obci Blížkov se hluk šíří velmi dobře, k obci Měřín je šíření hluku vlivem PHS omezeno. Kliknutím do mapy na kteroukoliv obec zasaženou mapovaným zdrojem hluku, v

tomto případě Měřín, lze na základě vypočtených hodnot hluku a demografických údajů zobrazit statistické údaje. Například lze zjistit, že obec Měřín má v tomto úseku celkem 1 936 obyvatel a 290 z nich žije v pásmu zasaženém hlukem v intervalu 50–54 dB, 1 368 v pásmu zasaženém hlukem v intervalu 55–59 dB, 202 v pásmu zasaženém hlukem v intervalu 60–64 dB a 5 v pásmu zasaženém hlukem v intervalu 65–69 dB. Obdobně lze získat i počty staveb pro bydlení, školských zařízení a zdravotnických zařízení zasazených hlukem v daných intervalech.

Během prvního kola strategického hlukového mapování pro rok 2007 nařízeného směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí, kdy ještě nebyla k dispozici společná evropská metodika CNOSSOS-EU, došlo k vyhodnocení míry shody mezi výsledky generovanými různými výpočetními metodikami stanovenými ve vnitrostátních předpisech členských států Evropské unie. Výsledkem bylo zjištění výrazných odchylek ve výsledcích. Z tohoto důvodu nebylo možné získaná nekonzistentní data od jednotlivých členských států navzájem efektivně porovnávat. Tento problém následně vedl k vývoji výpočtové metodiky CNOSSOS-EU, která byla poprvé použita ve třetím kole strategického hlukového mapování pro rok 2017. [7]

2.1.2 Frekvenční rozsah, hlukový indikátor

Dle metodiky CNOSSOS-EU jsou hlukové výpočty pro silniční dopravu prováděny v oktávových pásmech v rozsahu od 63 Hz do 8 kHz. Jedná se o jeden z hlavních rozdílů oproti české výpočtové metodice, která frekvenční závislost hlukové emise ve svých výpočtech neuvažuje. Výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ je vypočtena součtem přes všechna uvažovaná frekvenční pásma rovnicí 2 (dle [9]).

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \sum_{i=i} 10^{(L_{eq,T,i}+A_i)/10} \quad (2)$$

Kde:

A_i – korekce filtrem A dle normy IEC 61672-1 (vážení) [dB]

i – index frekvenčního pásma

T – časové období (den, večer, noc).

Dlouhodobý hlukový indikátor pro den-večer-noc L_{dvn} specifikovaný směrnicí Evropského parlamentu a Rady 2002/49/EC o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí se stanovuje rovnicí 3 (dle [10]).

$$L_{dvn} = 10 \cdot \lg \left[\frac{12}{24} 10^{L_d/10} + \frac{4}{24} 10^{(L_e+5)/10} + \frac{8}{24} 10^{(L_n+10)/10} \right] \quad (3)$$

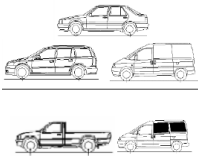
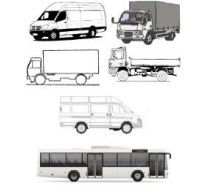
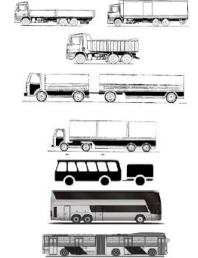

Kde $L_d(L_e, L_n)$ je dlouhodobý průměr hladiny akustického tlaku vážený filtrem A, určený za všechna denní (večerní, noční) období jednoho roku.

Denní období je definováno jako dvanáctihodinový interval, večerní období jako čtyřhodinový interval a noční období jako osmihodinový interval. Standardní referenční intervaly jsou: den 7:00–19:00 h, večer 19:00–23:00 h, noc 23:00–7:00 h. Na národní úrovni mohou být referenční intervaly staveny jinak. Jednotlivé členské státy mohou zkrátit večerní období o 1 nebo 2 hodiny a tím prodloužit denní nebo noční období. [10]

2.1.3 Dopravní podklady

Hluk ze silniční dopravy je určen emisemi jednotlivých vozidel tvořících dopravní proud. Tato vozidla jsou podle metodiky CNOSSOS-EU tříděna do kategorií podle tab. 3.

Tab. 3 Zatřídění vozidel do skupin pro hlukové výpočty evropskou metodikou CNOSSOS-EU [9]

Kategorie	Název skupiny	Popis	Označení při CSD	Označení podle vyhl. č. 341/2014 Sb.	Ilustrační obrázek
1	Lehká motorová vozidla (LMV)	Osobní vozidla, dodávková vozidla ≤ 3.5 tuny, sportovní užitková vozidla (SUV), víceúčelová vozidla (MPV) včetně přívěsů a karavanů	O LN	M1 M1+O N1 N1+O	
2	Středně těžká vozidla (STV)	Středně těžká vozidla, dodávková vozidla > 3.5 t, autobusy, obytné vozy atd. se dvěma nápravami a dvojicí pneumatik, které se nasazují na zadní nápravu	LN SN TN TR A	N2 N3 M2 M3	
3	Těžká vozidla (TV)	Těžká nákladní vozidla, vozidla typu touring, autobusy, jež mají tři a více náprav	SNP TNP NSN TRP A AK	M2+O N2+O M3 N3	
4	Dvoukolová motorová vozidla (MP, MT)	4a) Dvou-, tří- a čtyřkolové mopedy 4b) Motocykly s postranním vozíkem i bez něho, tříkolky a čtyřkolky	M	L1, L2, L6 L3, L4, L5, L7	
5	Otevřená kategorie	Bude definována na základě budoucích potřeb	-	-	-

Pátá kategorie je otevřená pro nové typy vozidel, které se mohou vyskytovat v budoucnosti a mohou mít odlišné hlukové emise než již definované kategorie. Do této kategorie by mohla v budoucnu patřit například elektrická nebo hybridní vozidla.

V následujících bodech jsou shrnuty odlišnosti mezi sčítáním dopravy určeným pro výpočet hluku českou a evropskou metodikou (zatřídění vozidel do skupin pro hlukové výpočty českou metodikou je uvedeno v tab. 4).

- Evropská metodika rozděluje vozidla kategorie jednostopá motorová vozidla (M) do dvou podkategorií na mopedy (MP) a silnější motocykly (MT). Česká metodika všechny typy vozidel kategorie M zařazuje společně s osobními a dodávkovými automobily do kategorie osobní (OA).
- Další odlišnost je v třídění autobusů. Česká metodika zařazuje běžné autobusy do kategorie nákladní (NA) a kloubové autobusy do kategorie nákladní soupravy (NS). Evropská metodika oproti tomu třídí autobusy podle počtu náprav. Příklad je uvedený na obr. 4 a obr. 5. Při sčítání dopravy pro výpočet českou metodikou by oba tyto autobusy byly zařazeny do stejné kategorie nákladní (NA), kdežto při sčítání pro evropskou metodikou by byl autobus na obr. 4 zařazen do kategorie středně těžká vozidla (STV) a autobus na obr. 5, díky třem nápravám, do hlukově nejvyšší kategorie s názvem těžká vozidla (TV).



Obr. 4 Autobus se dvěma nápravami



Obr. 5 Autobus se třemi nápravami

- Obdobně je tomu i u nákladních vozidel. Zatímco nákladní vozidlo na obr. 6 by při sčítání pro výpočet českou metodikou patřilo do hlukově nižší kategorie NA, při sčítání pro výpočet evropskou metodikou by vozidlo, díky třem nápravám, patřilo do hlukově nevyšší skupiny TV.

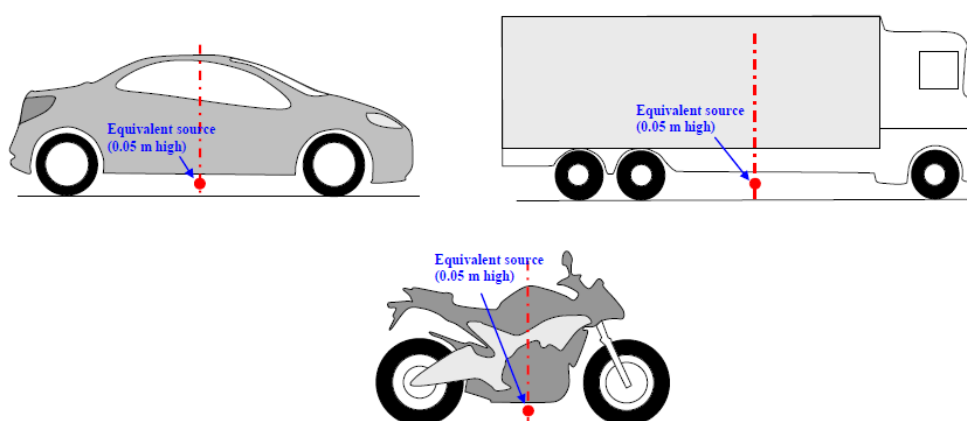


Obr. 6 Těžké nákladní vozidlo se třemi nápravami

- Metodika Ředitelství silnic a dálnic ČR (Celostátní sčítání dopravy) třídí vozidla podle užitečné hmotnosti, tedy souhrnné hmotnost nákladu a osob, kterou je do vozidla možné naložit. Evropská legislativa – směrnice č. 2007/34/ES o přípustné hladině akustického tlaku a výfukovém systému motorových vozidel rozděluje vozidla do kategorií podle maximální přípustné hmotnosti vozidel. [4]

2.1.4 Výpočtový algoritmus

Pro výpočty šíření hluku a stanovení emisí akustického výkonu je obecně nezbytné popsat zdroje hluku jedním, nebo několika bodovými zdroji. V evropské metodice pro výpočet hluku je každé vozidlo reprezentováno jedním bodovým zdrojem tak, jak je uvedeno na obr. 7.



Obr. 7 Poloha ekvivalentního bodového zdroje dle metodiky CNOSSOS-EU [7]

Ekvivalentní bodový zdroj hluku je na obr. 7 zobrazen pro kategorii LMV, TV a MT. Pro všechny kategorie (i kategorie STV a MP) se ekvivalentní zdroj hluku nachází 5 cm nad povrchem vozovky.

Dopravní tok

Dopravní tok je při výpočtech reprezentován jako liniový zdroj hluku, jenž je charakterizován akustickým výkonem směrového zdroje zvuku na metr a kmitočet. Výsledná hodnota je rovna součtu hlukových emisí jednotlivých vozidel dopravního toku se započtením časového úseku, který tato vozidla stráví na předmětném úseku komunikace. Při modelování komunikace s více pruhy by měl být každý jízdní pruh zadán jako samostatný liniový zdroj hluku umístěný do osy daného pruhu. Pro zjednodušení je ale možné počet liniových zdrojů snížit. Například u čtyřpruhové silnice lze dva vnější jízdní pruhy nahradit jedním liniovým zdrojem hluku umístěným na jejich rozhraní, v případě dvoupruhové silnice lze oba jízdní pruhy nahradit jedním liniovým zdrojem hluku umístěným do středu komunikace.

Za předpokladu stabilního dopravního proudu Q_m vozidel kategorie m za hodinu s průměrnou rychlostí v_m je akustický výkon směrového zdroje zvuku na metr ve frekvenčním pásmu i liniového zdroje $L_{W',eq,line,i,m}$ stanoven rovnicí 4 (dle [9]).

$$L_{W',eq,line,i,m} = L_{W,i,m} + 10 \cdot \lg \left(\frac{Q_m}{1000 \cdot v_m} \right) \quad (4)$$

Kde:

m – kategorie vozidel

i – frekvenční pásmo [Hz]

Q_m – intenzita vozidel kategorie m [počet vozidel / h]

v_m – průměrná rychlost vozidel kategorie m [km / h]

$L_{W,i,m}$ – akustický výkon směrového zdroje zvuku jednoho vozidla [dB].

Akustický výkon daného zdroje hluku je definovaný ve „volném poli nad odrazivou rovinou“, tedy v poli, ve kterém nejsou v okolí zdroje žádné jiné rušivé objekty. Uvažovány jsou pouze odrazy od povrchu komunikace.

Intenzita Q_m je vyjádřena jako roční hodinový průměr vozidel kategorie m pro danou část dne (den, večer, noc). Kategorie vozidel m jsou uvedeny v tab. 3, jsou to lehká motorová vozidla, středně těžká vozidla, těžká vozidla, dvoukolová motorová vozidla.

Průměrná rychlost v_m většinou odpovídá maximální dovolené rychlosti na předmětném úseku komunikace pro danou kategorii vozidel. Tato hodnota se použije, pokud nejsou k dispozici reálná data z měření rychlosti.

[9]

Jednotlivé vozidlo

Přepokládá se, že se všechna vozidla kategorie m v dopravním toku pohybují stejnou rychlostí v_m . Model vozidla je vytvořen souborem matematických rovnic reprezentujících dva hlavní zdroje hluku:

- **hluk valení** – vzniká interakcí kola s vozovkou (do valivého hluku je rovněž začleněn i aerodynamický hluk)
- **hluk hnací jednotky** – je vytvářen hnacím ústrojím vozidla (motor, výfuk atd.).

Pro kategorie vozidel 1–3 (LMV, STV, TV) je celkový akustický výkon stanoven energetickým součtem hluku valení a hluku hnací jednotky rovnicí 5 (dle [9]).

$$L_{W,i,m}(v_m) = 10 \cdot \lg(10^{L_{WR,i,m}(v_m)/10} + 10^{L_{WP,i,m}(v_m)/10}) \quad (5)$$

Kde:

$L_{WR,i,m}$ – hladina akustického výkonu reprezentující hluk valení [dB]

$L_{WP,i,m}$ – hladina akustického výkonu reprezentující hluk hnací jednotky [dB].

Pro kategorie dvoukolových motorových vozidel (MP, MT) je celkový akustický výkon stanoven pouze hlukem hnací jednotky rovnicí 6 (dle [9]).

$$L_{W,i,m=4}(v_{m=4}) = L_{WP,i,m=4}(v_{m=4}) \quad (6)$$

Pro všechny čtyři kategorie vozidel je pro rychlost $v_m < 20$ km/h hladina akustického výkonu stanovena vzorcem pro rychlost $v_m = 20$ km/h.

Zdrojové rovnice platí pro následující referenční podmínky:

- konstantní rychlost vozidel
- rovná vozovka
- teplota vzduchu $\tau_{ref} = 20$ °C
- suchý povrch vozovky
- vozový park, jehož vlastnosti odpovídají evropskému průměru
- pomyslný referenční povrch vozovky tvořený asfaltovým betonem s průměrnou hustotou 0/11 a asfaltovým mastixovým kobercem 0/11 (stáří 2 až 7 let při referenčních podmínkách údržby)
- vozidla bez hrotových pneumatik.

[9]

Hluk valení

Hladina akustického výkonu hluku valení $L_{WR,i,m}$ se pro kmitočtové pásmo i a vozidla kategorie $m = 1, 2, 3$ stanoví rovnicí 7 (dle [9]).

$$L_{WR,i,m} = A_{R,i,m} + B_{R,i,m} \cdot \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) + \Delta L_{WR,i,m}(v_m) \quad (7)$$

Kde:

v_{ref} – referenční rychlost 70 km/h

$A_{R,i,m}, B_{R,i,m}$ – koeficienty stanovené pro jednotlivé kategorie vozidel m , oktávová frekvenční pásma i a referenční rychlost $v_{ref} = 70$ km/h, hodnoty jsou uvedeny na 124. straně směrnice Komise (EU) 2015/996 o stanovení společných metod hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES [9]

$\Delta L_{WR,i,m}$ – je součtem korekčních koeficientů pro hluk valení, tyto koeficienty mají za úkol zohlednit specifické podmínky týkající se povrchu vozovky a vozidel odlišující se od referenčních podmínek, stanoví se dle rovnice 8 (dle [9]).

$$\Delta L_{WR,i,m} = \Delta L_{WR,road,i,m} + \Delta L_{studded\ tyres,i,m=1} + \Delta L_{WR,acc,i,m} + \Delta L_{W,temp} \quad (8)$$

Kde:

$\Delta L_{WR,road,i,m}$ – započítává vliv povrchu vozovky, který má oproti pomyslnému referenčnímu povrchu odlišné akustické vlastnosti

$\Delta L_{studded\ tyres,i,m=1}$ – korekční koeficient započítávající vliv pneumatik s hroty používanými v zimní období u lehkých vozidel (kategorie $m = 1$)

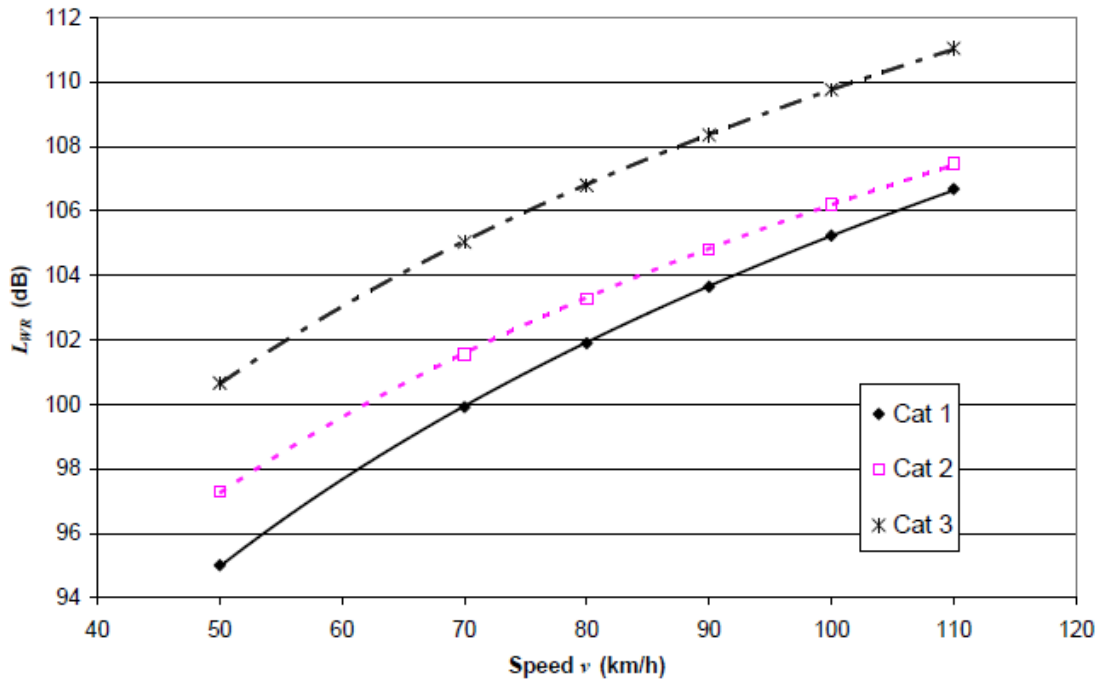
$\Delta L_{WR,acc,i,m}$ – započítává vliv průjezdu vozidla světelně řízenou, nebo okružní křižovatkou (vliv změny rychlosti na hluk)

$\Delta L_{W,temp}$ – korekce průměrné teploty τ odlišné od referenční teploty $\tau_{ref} = 20$ °C.

Pro povrch vozovky se shodnými akustickými vlastnostmi jako má pomyslný referenční povrch se použije hodnota $\Delta L_{WR,road,i,m} = 0$ pro všechny kategorie vozidel m . Pro dopravní tok, kterému není přiřazen žádný podíl lehkých vozidel s hrotovými pneumatiky, se použije hodnota $\Delta L_{studded\ tyres,i,m=1} = 0$.

[9]

Závislost valivého hluku na rychlosti pro LMV (Cat 1), STV (Cat 2) a TV (Cat 3) je uvedena na obr. 8.



Obr. 8 Závislost valivého hluku na rychlosti pro vozidla kategorií 1, 2, 3 [7]

Z hodnot uvedených na obr. 8 vyplývá, že vlivem zvyšování rychlosti dochází k nárůstu hluku valení. Výrazně vyšší hluk je vidět u kategorie TV (Cat 3). Tento rozdíl oproti ostatním kategoriím je způsoben skutečností, že do této kategorie spadají vozidla s počtem náprav vyšším než dvě. Na nárůst má rovněž vliv i vyšší hmotnost vozidla. Mezi kategorií LMV (Cat 1) a kategorií STV (Cat 2) je rozdíl způsobený pouze navýšením hmotnosti. Do obou těchto kategorií (Cat 1, Cat 2) jsou zařazována pouze vozidla se dvěma nápravami.

Hluk hnací jednotky

Hluk hnací jednotky zahrnuje všechny příspěvky od motoru, výfukového potrubí, převodovky, sání vzduchu atd. Hladina akustického výkonu hluku hnací jednotky $L_{WP,i,m}$ se pro kmitočtové pásmo i a vozidla kategorie m stanoví podle rovnice 9 (dle [9]).

$$L_{WP,i,m} = A_{P,i,m} + B_{P,i,m} \cdot \frac{(v_m - v_{ref})}{v_{ref}} + \Delta L_{WP,i,m}(v_m) \quad (9)$$

Kde:

$A_{P,i,m}$, $B_{P,i,m}$ – koeficienty stanovené pro jednotlivé kategorie vozidel m , oktávová frekvenční pásma i a referenční rychlost $v_{ref} = 70$ km/h, hodnoty jsou uvedeny na 124. straně směrnice Komise (EU) 2015/996 o stanovení společných metod hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES [9]

$\Delta L_{WP,i,m}$ – je součtem korekčních koeficientů pro hluk hnací jednotky, tyto koeficienty mají za úkol zohlednit specifické jízdní a regionální podmínky odlišující se od referenčních podmínek, stanoví se podle rovnice 10 (dle [9]).

$$\Delta L_{WP,i,m} = \Delta L_{WP,road,i,m} + \Delta L_{WP,acc,i,m} + \Delta L_{WP,grad,i,m} \quad (10)$$

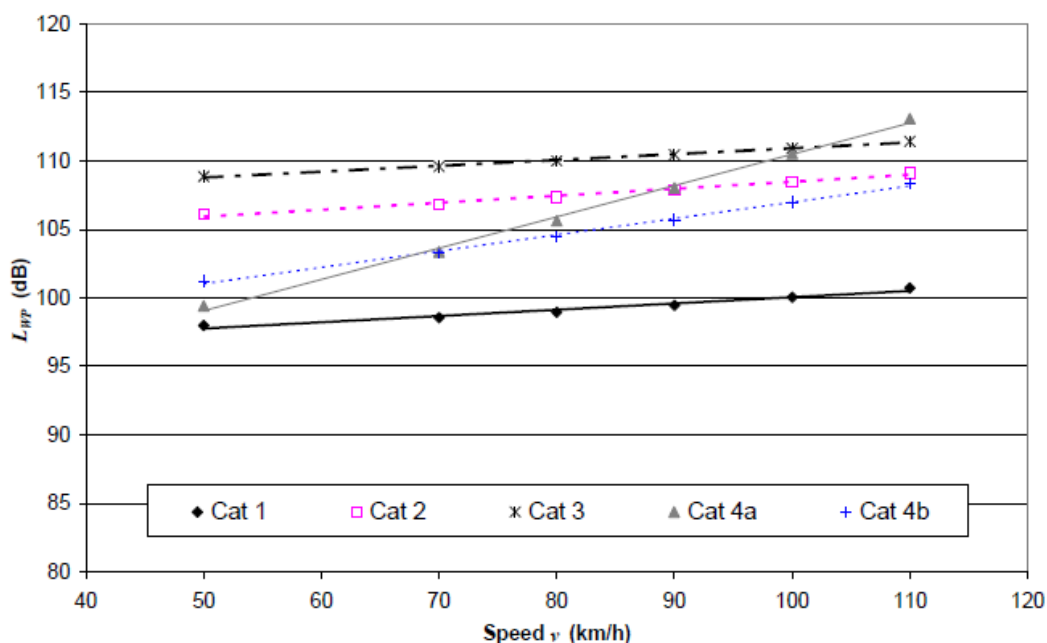
Kde:

$\Delta L_{WP,road,i,m}$ – započítává vliv typu povrchu vozovky na hluk z hnací jednotky (ve smyslu pohlcování hluku povrchem vozovky)

$\Delta L_{WP,acc,i,m}$ – zohledňuje změnu rychlosti způsobenou přejezdem křižovatek

$\Delta L_{WP,grad,i,m}$ – zohledňuje sklon vozovky.

Závislost hluku hnací jednotky na rychlosti pro kategorie LMV (Cat 1), STV (Cat 2), TV (Cat 3), MP (Cat 4a) a MT (Cat 4b) je uvedena na obr. 9.



Obr. 9 Závislost hluku hnací jednotky na rychlosti pro vozidla kategorií 1, 2, 3, 4 [7]

Z hodnot uvedených na obr. 9 vyplývá, že vlivem zvyšování rychlosti dochází k nárůstu hluku hnací jednotky. Při porovnání se závislostí valivého hluku na rychlosti uvedené na obr. 8 je vidět, že hluk hnací jednotky vlivem zvyšování rychlosti zdaleka neroste tak výrazně jako valivý hluk. Největší vliv zvyšování rychlosti na hluk hnací jednotky pozorujeme u vozidel kategorie MP a MT (Cat 4a, Cat 4b).

Korekční koeficienty

1) Účinek typu povrchu vozovky ($\Delta L_{WR,road,i,m}$, $\Delta L_{WP,road,i,m}$)

Povrch vozovky významně ovlivňuje hlukové emise z automobilové dopravy. Pro různé povrchy může být rozdíl naměřeného akustického výkonu L_{WA} až 15 dB při jednom průjezdu stejného vozidla stejnou rychlostí v podmínkách, kdy je převládající hluk valení. Povrch vozovky ovlivňuje především hluk valení, ale tiché porézní povrchy (absorbující hluk) ovlivňují jak valivý hluk, tak i hluk z hnací jednotky. Vliv nepohlcujících povrchů vozovek na hluk hnací jednotky je velmi malý, proto je možné ho pro všechny kategorie vozidel m zanedbat. Pro hluk hnací jednotky by korekce měla být použita pouze v případě, že se jedná o tichý porézní povrch (pohlcující hluk).

Pro hluk valení se korekce na typ povrchu vozovky stanoví dle rovnice 11 (dle [9]).

$$\Delta L_{WR,road,i,m} = \alpha_{i,m} + \beta_m \cdot \lg\left(\frac{v_m}{v_{ref}}\right) \quad (11)$$

Kde:

$\alpha_{i,m}$ – spektrální korekce v [dB] pro referenční rychlost v_{ref} a kategorie vozidel $m = 1, 2, 3$ a spektrální pásmo i .

β_m – vliv rychlosti na snížení hluku valení vozidel kategorie $m = 1, 2, 3$, účinek je ve všech kmitočtových pásmech stejný.

Pro hluk hnací jednotky se korekce na typ povrchu vozovky stanoví dle rovnice 12 (dle [9]) a to pouze v případě, že se jedná o porézní tichý povrch.

$$\Delta L_{WP,road,i,m} = \min\{\alpha_{i,m}; 0\} \quad (12)$$

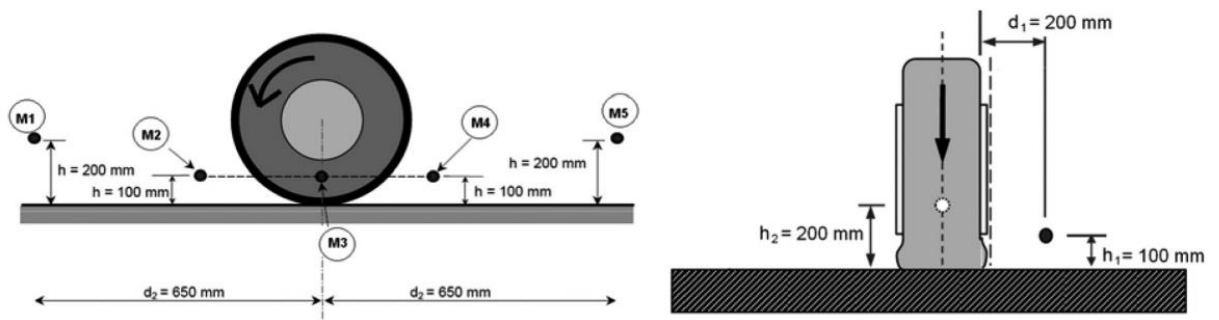
Tato korekce je pro rychlost $v_m = v_{ref}$ stejná jako korekce pro hluk valení, ale s rozdílem, že její maximální hodnota může být 0. Pohlcující povrch snižuje hluk hnací jednotky, nepohlcující povrch hluk hnací jednotky však nezvyšuje.

Akustické vlastnosti povrchů vozovek se mění s jejich stářím a úrovní údržby. Ve většině případů dochází ke zvýšení hlučnosti vozovky.

[9]

Pro hodnocení hlučnosti povrchů pozemních komunikací se v současné době používá výhradně metoda malé vzdálenosti (CPX) dle normy ISO 11819-2:2017 Acoustic – Measurement of the influence of road surfaces on traffic noise – Part 2: The close-proximity method. Tato metoda se používá na základě doporučení technické komise TC 227/WG5 Evropského výboru pro normalizaci CEN a výsledků evropského projektu ROSSANE. [11]

Měření hluku touto metodou lze od rychlosti cca 40 km/h provádět i v běžném dopravním provozu při splnění meteorologických podmínek. Vyhodnoceny mohou krátké a dlouhé úseky komunikací i navazující úseky. Metodu CPX lze využít například pro porovnání hlučnosti několika povrchů, ověření účinnosti nízkohlučných povrchů a sledování vývoje akustických vlastností vozovky během její životnosti. Samotné měření je prováděno pěti půlpalcovými mikrofony připevněnými v definovaných vzdálenostech na konstrukci specializovaného přívěsu CPX viz obr. 10 a obr. 11. Aby bylo možné výsledky měření hluku touto metodou reprodukovat, je nutné dodržovat množství podmínek, mezi které patří například použití standardní pneumatiky SRTT pro referenční testy. Tato pneumatika je vyráběna stále stejným způsobem, čímž jsou zajištěny identické vlastnosti. [12]



Obr. 10 Poloha mikrofonů při měření metodou CPX dle návrhu normy ISO 11819-2 [12]



Obr. 11 Specializovaný přívěs pro měření metodou CPX [13]

2) Korekce pro hrotové pneumatiky ($\Delta L_{studded\ tyres,i,m=1}$)

V případech, kdy významný počet vozidel z kategorie $m = 1$ (lehká motorová vozidla) používá hrotové pneumatiky během několika měsíců v roce (v zimním období), je třeba zohlednit vliv této skutečnosti na valivý hluk. [9] V České republice je používání pneumatik s hroty legislativou zakázáno. Výjimku tvoří vozidla záchranných služeb, která tyto pneumatiky v ČR používat mohou. Výhodou hrotových pneumatik jsou lepší jízdní vlastnosti na sněhu a ledu než u klasických zimních pneumatik (manévrovatelnost, snížení brzdné dráhy, lepší záběr, snížení pravděpodobnosti smyku). Nevýhodou je naopak zvýšení hluku a opotřebování povrchu vozovky, pokud je bez sněhu a ledu. Používání pneumatik s hroty je povoleno například ve Velké Británii, Francii, Řecku, Rakousku a především v severských zemích. Možnou inovaci v oblasti hrotových pneumatik představila v roce 2014 finská společnost Nokian Tyres, jednalo se o koncept pneumatik s vysouvatelnými hroty. Řidič by hroty jednoduše vysunul/zasunul stiskem tlačítka, takové řešení by v budoucnu mohlo přinést i změnu české legislativy. [14]



Obr. 12 Hrotové pneumatiky Nokian Tyres HAKKAPELIITTA 8 [14]

Na obr. 12 je zobrazena běžná hrotová pneumatika výrobce Nokian Tyres typu HAKKAPELIITTA 8 a řez pneumatikou, na kterém je vidět usazení hrotu.

Vlivem hrotových pneumatik na vozovky s tichým (porézním) povrchem ve své práci s názvem *Acoustic durability of low noise pavements in Norway* [15] zabývají autoři T. Berge, S. Å. Storeheier a J. Aksnes. Autoři v publikaci uvádí, že nově položený tichý porézní povrch měl počáteční redukci hluku mezi 5–9 dB (váženo filtrem A). Po první zimě, kdy byl povrch vystaven severskému klimatu a vozidlům s hrotovými pneumatikami, došlo ke zvýšení hluku v průměru o 3–4 dB. Redukce hluku po 2 až 3 letech provozu klesla z počátečních 5–9 dB na 1–2 dB. Autoři dále uvádějí, že opotřebení vozovky způsobené používáním

hrotových pneumatik je hlavní příčinou vzniku vyjetých kolejí na vozovkách v Norsku, Švédsku a Finsku. Procentuální podíl vozidel s hrotovými pneumatikami se například ve Švédsku během zimního období od prosince do března pohybuje okolo 60 %. [15]

3) Účinek akcelerace a decelerace vozidel ($\Delta L_{WR,acc,m,k}$, $\Delta L_{WP,acc,m,k}$)

Akcelerace a decelerace může mít významný vliv na hluk ze silničního provozu, a to především při průjezdu křižovatkou (příjezd ke křižovatce – decelerace, odjezd z křižovatky – akcelerace). Korekční faktor pro hluk valení se stanoví rovnicí 13 (dle [9]) a korekční faktor pro hluk hnací jednotky rovnicí 14 (dle [9]). Korekční faktory jsou lineárními funkcemi vzdálenosti x [m] bodového zdroje (vozidla) a nejbližšího křížení liniových zdrojů hluku (silničních komunikací). Korekční faktory se použijí ve všech oktávových pásmech i stejným způsobem.

$$\Delta L_{WR,acc,m,k} = C_{R,m,k} \cdot \text{Max}\left(1 - \frac{|x|}{100}; 0\right) \quad (13)$$

$$\Delta L_{WP,acc,m,k} = C_{P,m,k} \cdot \text{Max}\left(1 - \frac{|x|}{100}; 0\right) \quad (14)$$

Kde:

$C_{R,m,k}$, $C_{P,m,k}$ – koeficienty závislé na typu křižovatky k ($k = 1$ světelně řízená křižovatka, $k = 2$ okružní křižovatka).

Při vzdálenosti $|x| \geq 100$ m jsou korekce $\Delta L_{WR,acc,m,k}$, $\Delta L_{WP,acc,m,k} = 0$.

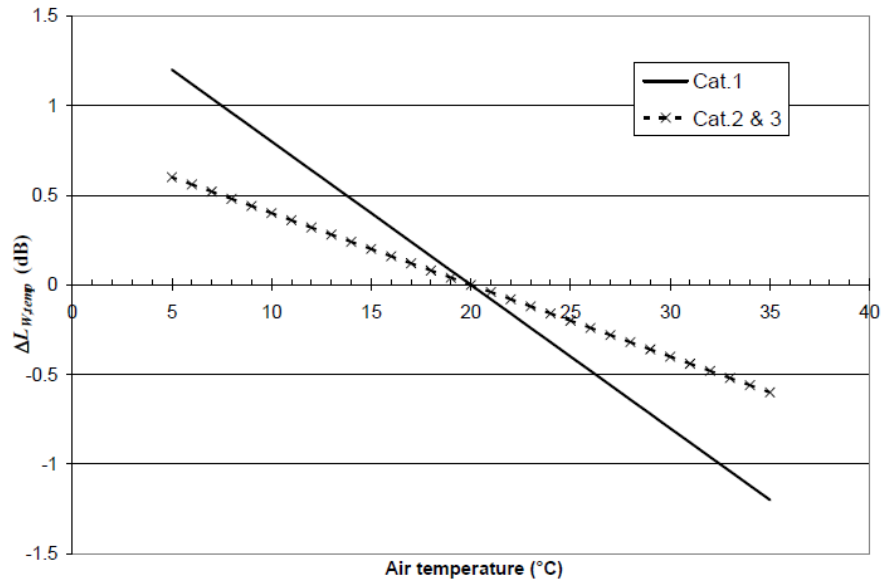
[9]

4) Vliv teploty vzduchu ($\Delta L_{W,temp}$)

Teplota vzduchu ovlivňuje hluk valení, který klesá se zvyšující se teplotou. Korekce na typ povrchu vozovky je zpravidla stanovena pro teplotu $\tau_{ref} = 20^\circ\text{C}$. V případech, kdy se průměrná roční teplota vzduchu liší od teploty τ_{ref} použije se korekce podle rovnice 15 (dle [9]).

$$\Delta L_{W,temp}(\tau) = K \cdot (20 - \tau) \quad (15)$$

Korekční hodnota je kladná pro teploty menší než 20°C a záporná pro vyšší teploty. Koeficient K závisí na povrchu vozovky a vlastnostech pneumatiky a obecně vykazuje určitou kmitočtovou závislost. Pro všechny povrchy vozovek se pro kategorii vozidel $m = 1$ použije obecný koeficient $K_{m=1} = 0.08 \text{ dB}/^\circ\text{C}$, pro kategorie $m = 2, 3$ se použije obecný koeficient $K_{m=2,3} = 0.04 \text{ dB}/^\circ\text{C}$. Korekční koeficient se použije stejně ve všech oktávových pásmech od 63 Hz do 8 kHz. Pro kategorii vozidel $m = 4$ se žádná korekce nepoužije.



Obr. 13 Závislost korekčního koeficientu $\Delta L_{W,temp}$ na teplotě [7]

Na obr. 13 je zobrazena závislost korekčního koeficientu $\Delta L_{W,temp}$ na teplotě pro kategorie vozidel LMV (Cat. 1) a STV, TV (Cat. 2, 3).

5) Vliv sklonu vozovky ($\Delta L_{WP,grad,i,m}$)

Sklon vozovky má dvojí vliv na hlukové emise silničního vozidla. Zaprvé sklon vozovky ovlivňuje rychlost vozidla a tím i valivý hluk a hluk hnací jednotky. Zadruhé sklon vozovky prostřednictvím řazení ovlivňuje zatížení a otáčky motoru a tím emisi hluku hnací jednotky. Je zohledněn pouze vliv na hluk hnací jednotky, je uvažována konstantní rychlost (účinek sklonu vozovky na rychlost je v korekčním koeficientu $\Delta L_{WP,grad,i,m}$ zahrnut nepřímě).

Korekční koeficient $\Delta L_{WP,grad,i,m}$ je funkcí sklonu vozovky s [%], rychlosti vozidel v_m [km/h] a kategorie vozidel m . Korekční faktor se stanovuje stejným způsobem pro všechna oktávová pásma. Pro jednotlivé kategorie vozidel se stanoví pomocí následujících rovnic (dle [9]).

$$\text{pro } m = 1 \quad \Delta L_{WP,grad,i,m=1}(v_m) = \begin{cases} \frac{\text{Min}(10\%; -s) - 6\%}{1\%} & \text{pro } s < -6\% \\ 0 & \text{pro } -6\% \leq s \leq 2\% \\ \frac{\text{Min}(12\%; s) - 2\%}{1,5\%} \cdot \frac{v_m}{100} & \text{pro } s > 2\% \end{cases} \quad (16)$$

$$\text{pro } m = 2 \quad \Delta L_{WP,grad,i,m=2}(v_m) = \begin{cases} \frac{\text{Min}(12\%; -s) - 4\%}{0,7\%} \cdot \frac{v_m - 20}{100} & \text{pro } s < -4\% \\ 0 & \text{pro } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\text{Min}(12\%; s)}{1\%} \cdot \frac{v_m}{100} & \text{pro } s > 0\% \end{cases} \quad (17)$$

$$\text{pro } m = 3 \quad \Delta L_{WP,grad,i,m=3}(v_m) = \begin{cases} \frac{\text{Min}(12\%; -s) - 4\%}{0,5\%} \cdot \frac{v_m - 10}{100} & \text{pro } s < -4\% \\ 0 & \text{pro } -4\% \leq s \leq 0\% \\ \frac{\text{Min}(12\%; s)}{0,8\%} \cdot \frac{v_m}{100} & \text{pro } s > 0\% \end{cases} \quad (18)$$

$$\text{pro } m = 4 \quad \Delta L_{WP,grad,i,m=4}(v_m) = 0 \quad (19)$$

V případě obousměrné komunikace je třeba dopravní tok rozdělit na dvě poloviny a vypočítat korekci zvlášť pro stoupání a klesání.

[9]

2.2 Česká metodika

Česká metodika pro výpočet hluku ze silniční dopravy byla poprvé popsána v publikaci Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy autora Miloše Liberka z roku 1991. [16] Tato metodika byla postupně aktualizována, v současnosti je aktuální Výpočet hluku z automobilové dopravy – aktualizace metodiky. Manuál 2018, autorem je EKOLA group, spol. s r.o.. [4] Manuál 2018 byl dne 5. 2. 2019 schválen Ministerstvem dopravy ČR.

Důvodem pro vznik nové aktualizace byly změny v technických předpisech Ministerstva dopravy ČR a reakce na aktuální potřeby pracovníků zabývajících se výpočtem hluku ze silniční dopravy. V novém vydání nedošlo k žádným úpravám české výpočtové metodiky, úpravy byly provedeny pouze v kapitolách týkajících se vstupních dat. Cílem publikace Manuál 2018 je zabezpečení jednotného přístupu při získávání vstupních dopravních dat a stanovování limitních hodnot pro tzv. „starou hlukovou zátěž“ (tj. hluk působený silniční dopravou, který na daném místě působil již před 1. lednem 2000 a překračoval tehdejší hodnoty hygienických limitů).

V České republice se v současnosti používají i zahraniční metodiky, aktuální publikace Manuál 2018 proto upravuje postup získávání vstupních dopravních dat tak, aby byla použitelná i při výpočtech hluku jinou metodikou. Manuál 2018 dále řeší problematiku obměny vozového parku v letech 2000 až 2020, proces přepočtu intenzit dopravy mezi rokem 2000 a současným stavem, problém se správným zařazováním vozidel kategorie N1 (lehká nákladní vozidla), aktualizaci korekcí na povrch vozovky (především u speciálních protihlukových povrchů) a popisuje důsledky nedodržení metodických pokynů.

[4]

2.2.1 Podklady o dopravě a území

U mapových podkladů je potřeba dbát především na přesnost, aktuálnost a informační obsah (polohopis, výškopis). Vhodné mapové podklady území lze získat například zakoupením na webových stránkách Státní správy zeměměřičství a katastru. Takto zakoupené mapové podklady lze poté ve výpočetním programu spojit například s mapovými podklady vypracovaného projektu (implementace přesné polohy nové komunikace, obytné zástavby apod.).


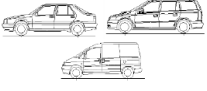
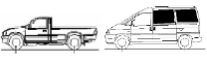






Základní podklady potřebné pro výpočet hluku z automobilové dopravy českou metodikou (intenzita a skladba dopravního proudu) je možné získat těmito způsoby.

- 1) Z výsledků Celostátního sčítání dopravy volně přístupných na webových stránkách Ředitelství silnic a dálnic. Celostátní sčítání je prováděno v přibližně pětiletých intervalech, nejnovější data jsou z roku 2016.
- 2) Provedením speciálního sčítání dopravy na dané komunikaci dle Technických podmínek (TP) 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích v aktuálním znění [17]. Délka sčítání dopravy se stanovuje dle účelu a požadavků na přesnost.
- 3) Z dopravně inženýrské dokumentace jednotlivých sídelních útvarů.
- 4) Z územně plánovací dokumentace.

Vstupním údajem pro výpočet hluku je roční průměr denních intenzit dopravy (RPDI), který lze z hodnot získaných provedením krátkodobého speciálního sčítání dopravy získat pomocí přepočtových koeficientů charakterizujících roční, týdenní a denní variace intenzity dopravy. Tyto přepočtové koeficienty jsou určeny zvlášť pro jednotlivé kategorie vozidel a charakter provozu na komunikaci (kategorie komunikace, třída komunikace, podíl rekreační dopravy). Hodnoty přepočtových koeficientů spolu s návodem na jejich použití jsou uvedeny v Technických podmínkách (TP) 189 Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích v aktuálním znění. Přepočtové koeficienty jsou vytvořeny na základě analýzy dat získaných z dopravních průzkumů provedených na českých komunikacích. Pokud se jedná o komunikaci s charakteristickým provozem, který by přepočtové koeficienty nemuseli vystihnout, doporučuje se stanovit přepočtové koeficienty vlastní (komunikace v blízkosti významných zdrojů / cílů dopravy, komunikace u hraničních přechodů apod.).

Pro potřeby hlukových výpočtů dle české metodiky je doporučeno provádět dopravní průzkum ve čtyřech kategoriích uvedených v tab. 4 (dle [4]), ve sloupci hlukové výpočty.

Tab. 4 Zatřídění vozidel do skupin pro hlukové výpočty českou metodikou [4]

Značka / Druh vozidla	Popis	Označení při CSD	Označení podle vyhl. č. 341/2014 Sb.	Ilustrační obrázek	Hlukové výpočty
M Motocykly	Jednostopá, dvou, tří, čtyřkolová motorová vozidla / motocykly / mopedy (včetně postraniho vozíku), lehké / těžké čtyřkolky; lehké / těžké quadrimobily	M	L1 - 7 LZ		Osobní (OA)
O Osobní automobily	Osobní automobily bez přívěsu i s přívěsem	O	M1 M1 + O1,2		
D Dodávkové automobily	Lehké nákladní automobily o celkové hmotnosti do 3.5 t. (na podvozcích osobních automobilů s a bez přívěsu)	LN*	N1 N1 + O1,2		
N Nákladní automobily	Lehké a střední nákladní automobily o celkové hmotnosti nad 3.5 t a do 12 t (na podvozcích nákladních automobilů)	LN* SN**	N2		Nákladní (NA)
	Těžké nákladní automobily o celkové hmotnosti nad 12 t, speciální nákladní automobily	TN	N3		
	Traktory a zvláštní vozidla	TR	T, C R, S, Z		
K Nákladní soupravy	Přívěsové a návěsové nákladní soupravy	SNP** TNP NSN	N2 + O N3 + O		Nákladní soupravy (NS)
	Traktory a zvláštní vozidla s přívěsem	TRP	T + O, C + O, R + O, S + O, Z + O		
A Autobusy	Vozidla určená pro přepravu osob a jejich zavazadel, která mají víc než 9 míst (včetně kloubových autobusů a autobusů s přívěsy)	A AK	M2, M2 + 0 M3, M3 + 0		Nákladní (A=NA, AK=NS)

* Dle metodiky Celostátního sčítání dopravy se jedná o vozidla s užitečnou hmotností do 3.5 t (přibližně odpovídá vozidlům do celkové hmotnosti 6 t). Pro potřeby hlukových výpočtů se kategorie LN dále rozděluje na vozidla o celkové hmotnosti do 3.5 t a nad 3.5 t. Užitečná hmotnost = souhrnná hmotnost nákladu a osob, které lze do vozidla naložit; celková hmotnost = součet užitečné hmotnosti a hmotnosti vozidla.

** Dle metodiky Celostátního sčítání dopravy se jedná o vozidla s užitečnou hmotností do 10 t (přibližně odpovídá vozidlům o celkové hmotnosti 12 t)

Problémem je správné zařazení vozidel označovaných v rámci Evropské unie jako N1, neboť definice této kategorie není v České republice jednotná. Dle Celostátního sčítání dopravy prováděného Ředitelstvím silnic a dálnic ČR se jedná o vozidla s užitečnou hmotností do 6 t (do roku 2005 označována jako N1, nyní LN), kdežto směrnice Komise 2007/34/ES ze dne 14. 6. 2007, Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/46/ES ze dne 5. 9. 2007 a také vyhláška č. 341/2014 Sb. o schvalování technické způsobilosti a technických podmínkách provozu vozidel na pozemních komunikacích člení kategorie vozidel dle maximální hmotnosti.

Při provádění dopravního průzkumu je velmi obtížné rozlišit vozidla kategorie LN spadající do kategorie osobních automobilů a vozidla kategorie LN spadající do kategorie nákladních vozidel. Jako příklad je uvedeno vozidlo s maximální hmotností do 3.5 t na obr. 14, které ještě hlukově spadá do kategorie osobní (OA) a vozidlo s maximální hmotností nad 3.5 t na obr. 15, které už hlukově spadá do kategorie nákladní (NA).



Obr. 14 Dodávkový automobil spadající hlukově do kategorie osobních vozidel



Obr. 15 Dodávkový automobil spadající hlukově do kategorie nákladních vozidel

Pro správné třídění těchto vozidel jsou v publikaci Manuál 2018 uvedeny následující pomocné vizuální znaky. Vozidla spadající do kategorie nákladní (NA) mají delší rozvor náprav, jejich karoserie je plná a kabina pro cestující je oddělená od nákladního prostoru. U vozidel spadajících do kategorie osobní (OA) je karoserie naopak úplně nebo částečně prosklená (podobná osobním vozidlům).

[4]

Po získání dat krátkodobým dopravním průzkumem se stanovení odhadu hodnoty RPDI provede pro jednotlivé kategorie vozidel pomocí rovnice 20 (dle [4]).

$$RPDI_x = I_m \cdot k_{m,d} \cdot k_{d,t} \cdot k_{t,RPDI} \quad (20)$$

Kde:

I_m – intenzita dopravy dané kategorie vozidel zjištěná během dopravního průzkumu [počet vozidel / doba průzkumu]

$k_{m,d}$ – přepočtový koeficient intenzity dopravy za dobu průzkumu na denní intenzitu dopravy dne průzkumu (zohlednění denních variací intenzit dopravy)

$k_{d,t}$ – přepočtový koeficient denní intenzity dopravy dne průzkumu na týdenní průměr denních intenzit dopravy (zohlednění týdenních variací intenzit dopravy)

$k_{t,RPDI}$ – přepočtový koeficient týdenního průměru denní intenzity dopravy na roční průměr denních intenzit dopravy (zohlednění ročních variací dopravy).

Celková hodnota RPDI se stanoví součtem RPDI pro všechny kategorie vozidel pomocí rovnice 21 (dle [4]).

$$RPDI = \sum_x RPDI_x \quad (21)$$

Rychlost dopravního proudu je možné určit měřením (stacionárním měřením, úsekovým měřením), nebo zjednodušeně pomocí rovnice 22 (dle [4]).

$$v_p = v_{max} + k_v \quad (22)$$

Kde:

v_p – průměrná reálná rychlost neovlivněného dopravního proudu v [km/h] (zjištěná na základě provedených průzkumů)

v_{max} – maximální dovolená rychlost v [km/h]

k_v – parametr korekce rychlosti v [km/h] určený podle tab. 5.

Tab. 5 Parametr korekce rychlosti [4]

Charakter komunikace		Den (6:00 – 22:00 h)		Noc (22:00 – 6:00 h)	
		Osobní	Nákladní	Osobní	Nákladní
Intravilán	Průtahy silnic I. a II. třídy a místní komunikace funkční skupiny A a B (rychlostní a sběrné)	0	0	5	5
	Průtahy silnic III. třídy a místní komunikace funkční skupiny C (obslužné)	-5	-10	0	0
Extravilán	Silnice I. třídy	5	0	10	5
	Silnice II. třídy	0	-5	5	0
	Silnice III. třídy	-5	-10	0	-5

2.2.2 Výpočtový algoritmus

Prvním krokem výpočtu je homogenizace, tedy rozdělení komunikace do úseků s totožnými vstupními údaji. Vstupními údaji se rozumí výškové a směrové vedení komunikace, intenzita dopravy, maximální dovolená rychlost, typ a stav vozovky.

Následně se provede stanovení hodnot faktorů F_1 , F_2 , F_3 :

Faktor F_1 – zohledňuje účinek rychlosti a skladby dopravního proudu na L_{Aeq}

Faktor F_2 – zohledňuje účinek podélného sklonu komunikace na L_{Aeq}

Faktor F_3 – zohledňuje účinek povrchu vozovky na L_{Aeq}

Stanovení výpočtové veličiny X se provede součinem všech třech faktorů pomocí rovnice 23 (dle [4]).

$$X = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \quad (23)$$

Výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu vozovky $L_{Aeq,7.5m}$ se stanoví pomocí rovnice 24 (dle [4]).

$$L_{Aeq,7.5m} = 10 \log X - 10,1 \quad (24)$$

Výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu vozovky $L_{Aeq,7.5m}$ je dále korigována s ohledem na:

- 1) útlum šíření hluku nad terénem (korekce D) se zahrnutím délky úseku komunikace (korekce D_U)
- 2) útlum hluku vyvolaný překážky a členitostí terénu (korekce D_B)
- 3) vliv okolní souvislé zástavby (korekce D_Z)
- 4) vliv zhoršování plynulosti dopravy (korekce D_P)
- 5) vliv okolní vegetace (korekce D_L)
- 6) meteorologické podmínky.

[4]

Faktor F_1

Výsledná hodnota faktoru F_1 pro denní dobu se stanovuje pomocí rovnice 25 (dle [4]).
Hodnota faktoru F_1 pro noční dobu se stanovuje obdobně.

$$F_1 = n_{OAd} \cdot F_{OA}(v_{OA}) \cdot 10^{\frac{L_{OA}}{10}} + [n_{NAAd} \cdot F_{NA}(v_{NA}) + n_{NSd} \cdot F_{NA}(v_{NS})] \cdot 10^{\frac{L_{NA}}{10}} \quad (25)$$

Kde:

n_{OAd} – denní průměrná hodinová intenzita dopravy osobních vozidel

n_{NAAd} – denní průměrná hodinová intenzita dopravy nákladních vozidel

n_{NSd} – denní průměrná hodinová intenzita dopravy nákladních souprav

v – průměrná rychlost dané kategorie vozidel

F_{OA}, F_{NA} – funkce závislosti L_{Aeq} dopravního proudu osobních / nákladních vozidel na rychlosti dopravního proudu

$F_{OA}(v_{OA}) = 3.59 \cdot 10^{-5} \cdot v^{0.8}$ pro skutečnou rychlost ≤ 60 km/h

$F_{OA}(v_{OA}) = 2,70 \cdot 10^{-7} \cdot v^2$ pro skutečnou rychlost > 60 km/h

$F_{NA}(v_{OA}) = 1.50 \cdot 10^{-2} \cdot v^{-0.5}$ pro skutečnou rychlost ≤ 60 km/h

$F_{NA}(v_{OA}) = 2.45 \cdot 10^{-4} \cdot v^{0.5}$ pro skutečnou rychlost > 60 km/h

L_{OA}, L_{NA} – hladina akustického tlaku osobních / nákladních vozidel pro stanovený výpočtový rok, použijí se hodnoty uvedené na 45. straně publikace Manuál 2018 [4], kde jsou uvedeny hodnoty pro osobní / nákladní vozidla pro roky 2015 až 2020 s rozdělením na 4 kategorie: Praha, dálnice I. a II. třídy; Krajská města, silnice I. třídy; Ostatní města, silnice II. třídy; Vesnice, silnice III. třídy. Pokud je výpočtový rok po roce 2020, použijí se hodnoty pro rok 2020.

Z výše uvedené rovnice vyplývá, že se zvyšující se intenzitou dopravy a rychlostí dopravního proudu roste i hodnota faktoru F_1 , tedy i výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu vozovky $L_{Aeq,7.5m}$.

[4]

Faktor F_2

Stanovení hodnoty faktoru F_2 se v závislosti na kategorii komunikace, podélném sklonu nivelety a výpočtovém období stanoví jedním z těchto způsobů:

1) Pro výpočet hluku z dálnic, silnic I. a II. třídy v období mezi lety 2010 až 2015 se použije hodnota z tab. 6.

2) Pro výpočet hluku z dálnic, silnic I. a II. třídy pro období po roce 2015 do sklonu nivelety $s \leq 6\%$ se použije hodnota $F_2 = 1,0$.

3) pro výpočet hluku ze silnic III. třídy v období mezi lety 2010 až 2020 do sklonu nivelety $s \leq 6\%$ se použije hodnota z tab. 6.

4) pro výpočet hluku ze silnic III. třídy v období po roce 2020 do sklonu nivelety $s \leq 6\%$ se použije hodnota $F_2 = 1,0$.

5) Pro výpočet hluku z dálnic, silnic I., II. a III. třídy se pro sklon $s > 6\%$ se použije hodnota z tab. 6.

Tab. 6 Hodnoty faktoru F_2 [4]

Jednosměrná komunikace				Obousměrná komunikace	
Stoupající		Klesající			
Sklon [%]	F_2	Sklon [%]	F_2	Sklon [%]	F_2
$s < 1$	1,00	$s < 6$	1,0	$s < 1$	1,00
$1 \geq s < 2$	1,06			$1 \geq s < 2$	1,03
$2 \geq s < 3$	1,12			$2 \geq s < 3$	1,07
$3 \geq s < 4$	1,19			$3 \geq s < 4$	1,11
$4 \geq s < 5$	1,26			$4 \geq s < 5$	1,15
$5 \geq s < 6$	1,33			$5 \geq s < 6$	1,18
$6 \geq s < 7$	1,41	$s \geq 6$	1,0	$6 \geq s < 7$	1,23
$7 \geq s < 8$	1,50			$7 \geq s < 8$	1,27
$8 \geq s < 9$	1,58			$8 \geq s < 9$	1,31
$9 \geq s < 10$	1,68			$9 \geq s < 10$	1,36
$s > 10$	1,78			$s > 10$	1,41

Z hodnot uvedených v tab. 6 vyplývá, že se zvyšujícím se sklonem komunikace roste i hodnota faktoru F_2 , tedy i výsledná ekvivalentní hladina akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližšího jízdního pruhu vozovky $L_{Aeq,7.5m}$. Z tab. 6 dále plyne, že klesání nemá na výslednou hodnotu faktoru F_2 zdaleka takový vliv jako stoupání, což je způsobeno hlukem z hnací jednotky.

[4]

Faktor F_3

Pro výpočtovou rychlost $v_p \leq 50$ km/h (výpočtová rychlost je průměrná rychlost, kterou se pohybuje dopravní proud bez vlivu zpomalení na křižovatkách) je stanovena hodnota faktoru $F_3 = 1,0$ pro asfaltobetonové kryty, cementobetonové kryty i pro kryty se sníženou hlučností (pokud nejsou k dispozici přesnější změřené hodnoty).

Pro stejnou výpočtovou rychlost $v_p \leq 50$ km/h je stanovena hodnota faktoru $F_3 = 2,0$ pro kryt ze zámkové a drobné dlažby, pro kryt z dlažby hrubé je stanovena hodnota $F_3 = 4,0$.

Pro výpočtové rychlosti $v_p > 50$ km/h jsou hodnoty faktoru F_3 uvedeny v tab. 7.

Tab. 7 Hodnoty faktoru F_3 [4]

Kategorie	Druhy krytu	F_3	
A	a	Kryt z asfaltového betonu ACO 8	1,0
		Kryt z asfaltového betonu ACO 11	
		Kryt z asfaltového betonu pro velmi tenké vrstvy BBTM 11	
		Kryt z asfaltového koberce mastixového SMA 5, 8, 11	
		Litý asfalt MA 8	
		Kryt z asfaltového koberce drenážního PA11	
	b	Kryt z asfaltového koberce mastixového SMA 16 nebo jiné koberce se zrnitostí do 16 mm	1,1
		Kryt z asfaltového koberce drenážního PA16	
		Litý asfalt MA 11	
		Kryt z asfaltového betonu ACO 16	
c	Mikrokoberec prováděný za studena se zrnitostí do 8 mm	1,2	
d	Litý asfalt MA 16	1,3	
C	a	Cementobetonový kryt s úpravou povrchu pomocí tažné tkaniny (CBK – juta)	0,7
	b	Cementobetonový kryt s vymývaným betonem (CBK – vymývaný)	1,0
	c	Cementobetonový kryt s příčným zdrsněním jemným kartáčem (CBK – jemná striáž)	1,1
	d	Cementobetonový kryt s příčným zdrsněním hrubým kartáčem – ocelové hrábě (CBK – hrubá striáž)	1,5
	e	Cementobetonový kryt – zámková dlažba	2,0
D	a	Kryt z dlažby z přírodního kamene z drobných kostek DL 80 až 120	2,0
	b	Kryt z dlažby z přírodního kamene z velkých kostek DL 140 až 160	4,0
S	a	Obrusné vrstvy se sníženou hlučností	0,5
	b	Obrusné vrstvy vykazující nižší hlučnost např. typu BBTM 5, 8; PA 8	0,7

Čísla za jednotlivými typy vrstev udávají nejvyšší přípustnou velikost zrna kameniva v použité směsi.

[4]

3 Experimentální část

3.1 Měření hluku ze silniční dopravy

Bylo provedeno měření hluku z dopravy na silnici I/38 v obci Rozňák (okres Havlíčkův Brod). Silnice I/38 je třetí nejdelší silnicí I. třídy v České republice o délce 254,6 km, vede z Libereckého kraje přes Středočeský kraj a Vysočinu do Jihomoravského kraje na státní hranici s Rakouskem. Předmětný úsek silnice I/38 je zařazen do Celostátního sčítání dopravy, prováděného Ředitelstvím silnic a dálnic ČR, číslo sčítacího úseku 5-1820; viz www.rsd.cz. Dle výsledků Celostátního sčítání dopravy 2016 je na sčítacím úseku č. 5-1820 roční průměr denních intenzit dopravy (RPDI) 7 410 motorových vozidel za 24 hodin, z toho 2 395 těžkých motorových vozidel. Roční průměr intenzit v noční době (22:00 až 6:00 h) je 770 motorových vozidel, z toho 357 těžkých motorových vozidel. Na předmětném úseku silnice I/38 je maximální dovolená rychlost 90 km/h (v profilu měřicích míst).

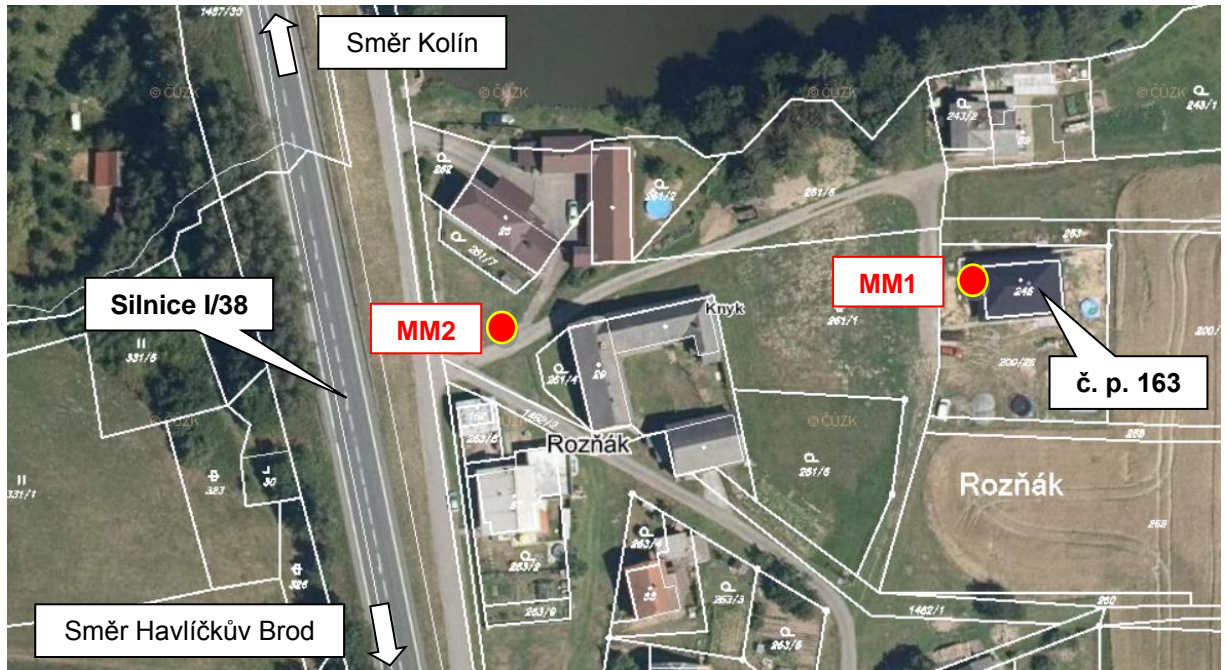
Měřicí místo 1 (MM1) bylo zvoleno v místě imise hluku ze silnice I/38, v chráněném venkovním prostoru stavby rodinného domu Rozňák č. p. 163. Jedná se o jednopodlažní rodinný dům s valbovou střechou bez obytného podkroví. Rodinný dům je od osy silnice I/38 vzdálený 124 m. V profilu měřicího místa je silnice I/38 vedena na náspu s maximální výškou 3,1 m nad okolním terénem. Měření hluku na tomto měřicím místě bylo provedeno 24. 9. 2019 od 8:00 do 12:00 h a od 13:00 do 17:00 h, tedy celkem po dobu 8 hodin.

Měřicí místo 2 (MM2) slouží jako referenční bod, který je využit pro validaci (zpřesnění) výpočtového modelu. Tento měřicí bod byl umístěn na pozemek parc. č. 261/1 k. ú. Knyk ve vzdálenosti 33 m od osy silnice I/38. Měření hluku na tomto měřicím místě bylo provedeno 17. 4. 2020 v odpoledních hodinách po dobu 1 hodiny (od 14:44 do 15:44 h), což při dané intenzitě dopravy vyhovuje doporučené minimální délce měření uvedené v Metodickém návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, Věstník MZ ČR, Ročník 2017, Částka 11.

Současně s měřením hluku bylo na silnici I/38 prováděno sčítání dopravy. Dne 24. 9. 2019 (MM1) bylo sčítání dopravy provedeno třemi způsoby: sčítáním in-situ (2 sčítači, každý sčítá jeden jízdní pruh, čárková metoda), pořízením videozáznamu a následným ručním vyhodnocením na PC (1 sčítač, sčítá oba jízdy pruhy zároveň, čárková metoda) a statistickým radarem. Dne 17. 4. 2020 (MM2) bylo sčítání dopravy provedeno pořízením videozáznamu a

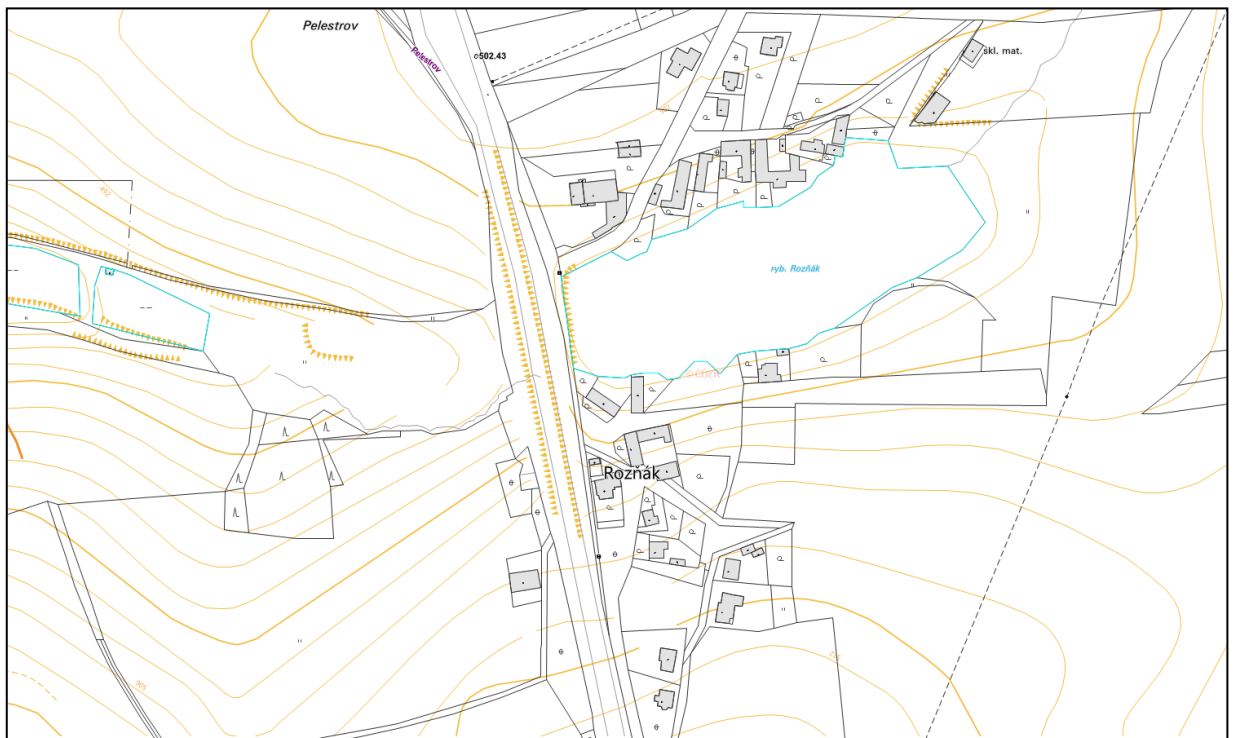
následným ručním vyhodnocením na PC (1 sčítač, sčítá oba jízdy pruhy zároveň, čárková metoda).

Na obr. 16 je zobrazena katastrální mapa zájmové lokality.



Obr. 16 Katastrální mapa zájmové lokality

Na obr. 17 je zobrazena státní vektorová mapa zájmové lokality včetně konfigurace terénu.



Obr. 17 Státní vektorová mapa 1:5000 zájmové lokality včetně konfigurace terénu

Na obr. 18, obr. 19 je zobrazena katastrální mapa s přesným zaměřením polohy měřicích míst MM1 a MM2.



Obr. 18 Katastrální mapa s vyznačením měřicího místa MM1



Obr. 19 Katastrální mapa s vyznačením měřicího místa MM2

Na obr. 20 až obr. 25 je uvedena fotodokumentace pořízená během měření hluku.



Obr. 20 Pohled na měřicí místo MM1



Obr. 21 Pohled na silnici I/38 z měřicího místa MM1



Obr. 22 Pohled na měřicí místo MM2



Obr. 23 Pohled na silnici I/38 ve směru na Havlíčkův Brod



Obr. 24 Pohled na silnici I/38 ve směru na Kolín



Obr. 25 Detail silnice I/38 – zvlnění povrchu (vyjeté koleje)

3.1.1 Podmínky měření, výsledky měření hluku

Měřicí místo 1	Rodinný dům Rozňák č. p. 163 – chráněný venkovní prostor stavby	
	Katastr nemovitostí: č. p. 163 – rodinný dům	
Umístění mikrofону	Mikrofon fixován na stojanu umístěném 2,1 m od severozápadní roviny a 2,0 m od jihozápadní roviny fasády rodinného domu č. p. 163, ve výšce 2,1 m nad zemí, před oknem 1. NP. Mikrofon směřován osou nejvyšší citlivosti horizontálně směrem k silnici I/38.	
Zdroj hluku	Doprava na silnici I/38	
Druh hluku	Proměnný hluk z dopravy	
Časový interval měření	8 hodin:	24. 9. 2019 od 8:00 do 12:00 h, od 13:00 do 17:00 h
Podmínky měření	<p>Silnice I/38 – povrch asfaltový, stav povrchu – zvlněný (vyjeté koleje), bez oprav a výmolů.</p> <p>Na silnici I/38 byl po celou dobu měření plynulý provoz bez dopravních omezení.</p> <p>Provoz zvukoměru s časovým záznamem hladin akustického tlaku s periodou ukládání 1 sekunda a se souběžným audio záznamem pro kontrolu událostí. Zpracování časového záznamu pomocí SW Brüel&Kjær Evaluator 7820 v. 4.16.</p> <p>Při vyhodnocení hluku ze silniční dopravy byly vyloučeny rušivé události, které nesouvisejí s posuzovaným zdrojem hluku: průjezd zemědělského stroje s válci po komunikaci v obci Rozňák, zvuk klaksonu projíždějících kamionů.</p>	

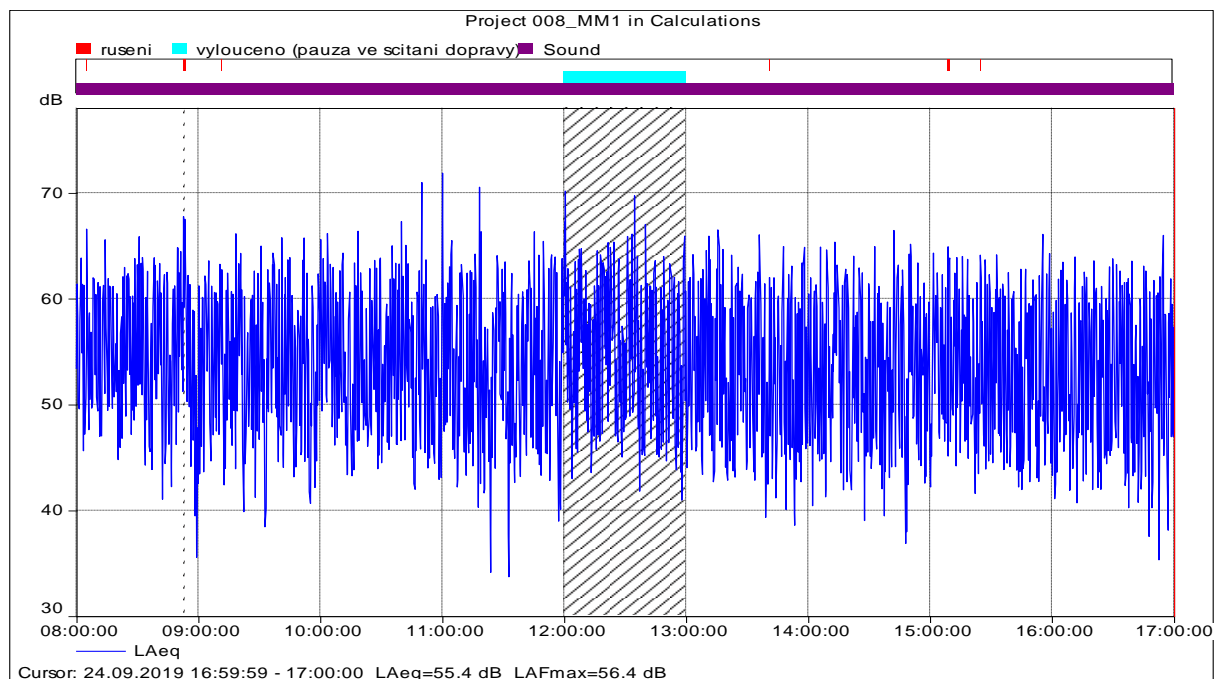
NAMĚŘENÉ HODNOTY

Hodnoty hluku naměřené na měřicím místě MM1 jsou uvedeny v tab. 8.

Časový záznam hladiny akustického tlaku v měřicím místě MM1 je zobrazen na obr. 26.

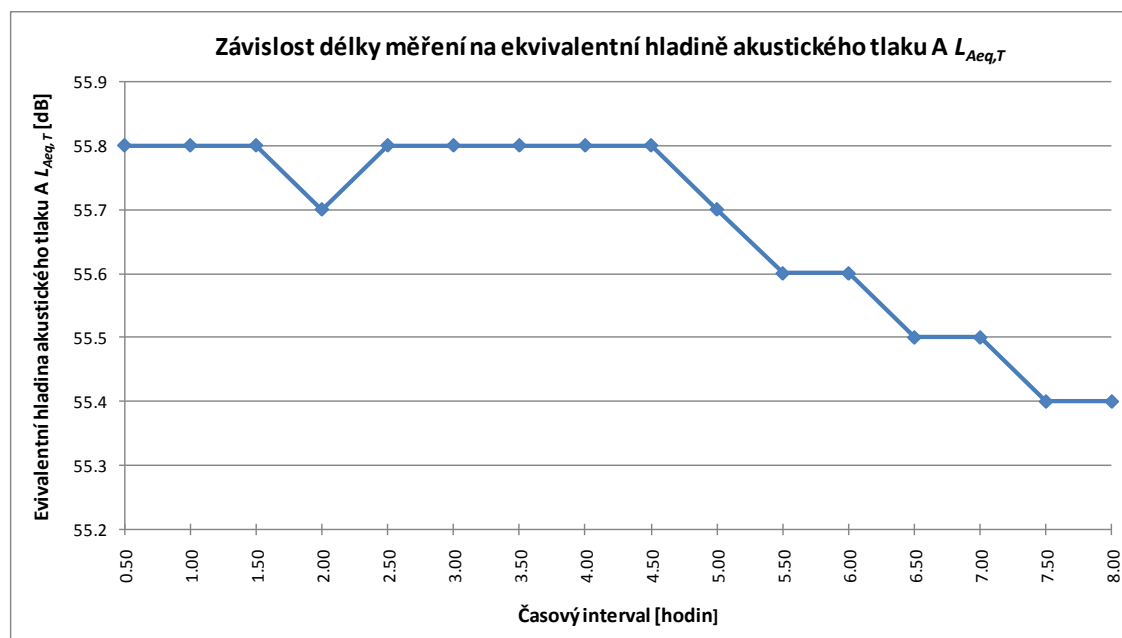
Tab. 8 Hodnoty hluku naměřené na měřicím místě MM1

Měřicí místo / Zdroj hluku / Zvukoměr / Záznam č.	Čas měření		Doba měření	$L_{Aeq,T}$ [dB]	L_{Amax} [dB]	L_{Amin} [dB]	L_{A1} [dB]	L_{A10} [dB]	L_{A50} [dB]	L_{A90} [dB]	L_{A99} [dB]
	start	konec									
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 8:00:00	24.9.2019 9:00:00	0:58:18	55,8	68,8	34,6	62,9	59,2	54,2	47,6	42,2
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 9:00:00	24.9.2019 10:00:00	0:59:57	55,5	68,9	36,5	63,0	59,2	53,3	46,6	41,7
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 10:00:00	24.9.2019 11:00:00	1:00:00	56,0	73,3	41,2	63,7	59,7	53,7	47,0	43,7
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 11:00:00	24.9.2019 12:00:00	1:00:00	55,8	76,1	33,0	63,7	59,8	52,8	45,0	38,1
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 13:00:00	24.9.2019 14:00:00	0:59:57	55,1	68,8	37,5	62,9	59,0	52,4	46,0	42,3
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 14:00:00	24.9.2019 15:00:00	1:00:00	54,9	70,5	36,2	62,9	58,8	52,3	45,3	40,7
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 15:00:00	24.9.2019 16:00:00	0:59:33	55,1	67,8	40,7	62,3	58,8	52,9	46,4	43,1
MM1 / DEN / BK2250 / 008	24.9.2019 16:00:00	24.9.2019 17:00:00	1:00:00	54,6	68,4	32,9	62,2	58,6	51,7	44,7	41,0
MM1 / DEN CELKEM / BK2250 / 008	24.9.2019 8:00:00	24.9.2019 17:00:00	7:57:45	55,4	76,1	32,9	63,0	59,1	53,0	46,0	41,5



Obr. 26 Záznam hladiny akustického tlaku v měřicím místě MM1

Z hodnot naměřených na měřicím místě MM1 byl vytvořen obr. 27 zobrazující závislost délky měření na ekvivalentní hladině akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$. Odečítání ekvivalentní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ bylo prováděno ve 30-ti minutových intervalech.



Obr. 27 Závislost délky měření na ekvivalentní hladině akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$

Z obr. 27 je patrné, že odečtená hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ po 30 minutách měření se od výsledné hodnoty odečtené po 8 hodinách měření liší o 0,4 dB. Všechny odečtené hodnoty se pohybují v intervalu od 55,4 dB do 55,8 dB, tedy v intervalu o velikosti 0,4 dB. V běžné praxi se používá konvenční nejistota pro měření hladin akustického tlaku v mimopracovním prostředí v exteriéru $\pm 1,7$ dB nebo $\pm 1,8$ dB (v závislosti na odstupu zbytkového hluku). Z uvedených výsledků tedy vyplývá, že na silnici s obdobnou intenzitou provozu lze volit mnohem kratší délku měření a výsledek je stále reprezentativní.

Doporučená minimální délka pro měření hluku ze silniční dopravy je uvedena v Metodickém návodu pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, Věstník MZ ČR, Ročník 2017, Částka 11. Pro silnice s intenzitou provozu v intervalu od 2 401 do 12 000 vozidel / 24 hodin (silnice I/38 má dle celostátního sčítání dopravy provedeného v roce 2016 intenzitu dopravy 7 410 vozidel / 24 hodin) je pro denní dobu stanovena minimální délka měření 1 hodina (0,5 hodiny v časovém úseku od 8:00 do 12:00 h a 0,5 hodiny v časovém úseku od 13:00 do 17:00 h). Z hodnot uvedených na obr. 27 vyplývá, že takto stanovená délka měření je dostačující. Pro silnice s nižší intenzitou dopravy je třeba délku měření prodloužit

tak, jak uvádí Metodický návod pro měření a hodnocení hluku v mimopracovním prostředí, Věstník MZ ČR, Ročník 2017, Částka 11. [18]

Měřicí místo 2	Pozemek parc. č. 261/1 k. ú. Knyk – venkovní prostor	
	Katastr nemovitostí: parc. č. 261/1 – ostatní plocha	
Umístění mikrofonu	Mikrofon fixován na stojanu umístěném 13,0 m od severozápadní roviny a 5,6 m od severovýchodní roviny fasády dílny na pozemku parc. č. st. 162 k. ú. Knyk (dílna rodinného domu č. p. 61), ve výšce 6,6 m nad zemí. Mikrofon směřován osou nejvyšší citlivosti horizontálně směrem k silnici I/38.	
Zdroj hluku	Doprava na silnici I/38	
Druh hluku	Proměnný hluk z dopravy	
Časový interval měření	1 hodina:	17. 4. 2020 od 14:44 do 15:44 h
Podmínky měření	<p>Silnice I/38 – povrch asfaltový, stav povrchu – zvlněný (vyjeté koleje), bez oprav a výmolů.</p> <p>Na silnici I/38 byl po celou dobu měření plynulý provoz bez dopravních omezení.</p> <p>Provoz zvukoměru s časovým záznamem hladin akustického tlaku s periodou ukládání 1 sekunda a se souběžným audio záznamem pro kontrolu událostí. Zpracování časového záznamu pomocí SW Cirrus NoiseTools v. 1.8.6.</p> <p>Při vyhodnocení hluku ze silniční dopravy nebyly vyloučeny žádné rušivé události.</p>	

NAMĚŘENÉ HODNOTY

Hodnoty hluku naměřené na měřicím místě MM2 jsou uvedeny v tab. 9.

Časový záznam hladiny akustického tlaku v měřicím místě MM2 je zobrazen na obr. 28.

Tab. 9 Hodnoty hluku naměřené na měřicím místě MM2

Měřicí místo / Zdroj hluku / Zvukoměr / Záznam č.	Čas měření		Doba měření	$L_{Aeq,T}$ [dB]	L_{Amax} [dB]	L_{Amin} [dB]	L_{A1} [dB]	L_{A10} [dB]	L_{A50} [dB]	L_{A90} [dB]	L_{A99} [dB]
	start	konec									
MM2 / DEN / CR171B / 10	17.4.2020 14:44:00	17.4.2020 15:44:00	01:00:00	64,3	78,9	40,5	73,0	68,5	60,5	50,9	43,8
MM2 / DEN CELKEM / CR171B / 10	17.4.2020 14:44:00	17.4.2020 15:44:00	01:00:00	64,3	78,9	40,5	73,0	68,5	60,5	50,9	43,8



Obr. 28 Záznam hladiny akustického tlaku v měřicím místě MM2

3.1.2 Sčítání dopravy

Měřicí místo MM1 (24. 9. 2019)

Souběžně s měřením hluku na měřicím místě MM1 bylo na předemném úseku silnice I/38 provedeno sčítání dopravy dne 24. 9. 2019 od 8:00 do 12:00 h a od 13:00 do 17:00 h. Sčítání dopravy bylo provedeno třemi způsoby:

1) Pořízením video záznamu dopravního proudu webkamerou Microsoft LifeCam Cinema HD připevněnou na stativ viz obr. 29. Video soubory byly na místě průběžně ukládány do notebooku připojeného k webkameře. Videozáznam byl následně vyhodnocen ručně na PC. Sčítač si videozáznam přehrával v programu VLC media player a jednotlivá vozidla zaznamenával čárkovou metodou do záznamových listů uvedených v přílohách této diplomové práce. Díky možnosti zpomaleného přehrávání a pozastavení videa byl sčítač schopen sčítat dopravu v obou směrech a provádět zatřídění vozidel do dvou záznamových listů zároveň (zatřídění vozidel podle evropské i české metodiky).



Obr. 29 Zaznamenávání dopravního proudu webkamerou Microsoft LifeCam Cinema HD

Výsledky sčítání dopravy touto metodou jsou uvedeny v tab. 10 (evropská metodika) a v tab. 11 (česká metodika).

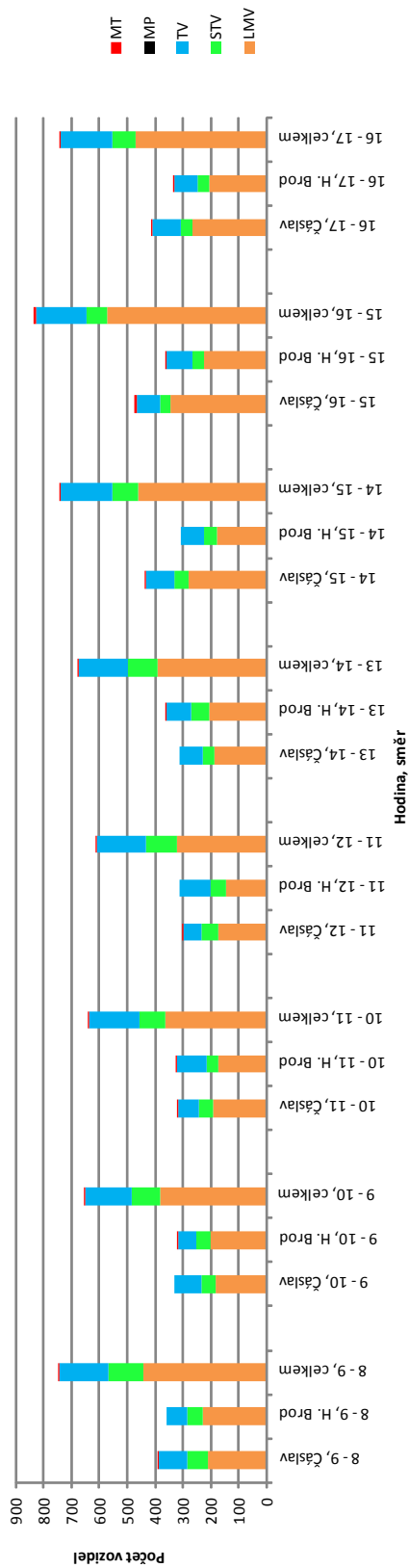
Sčítání dopravy z videozáznamů lze také provádět automaticky pomocí speciálních softwarů pro detekci pohybu v obraze. Mezi nejjednodušší metody patří metoda rozdílu snímků. Tato metoda používá ke své práci 2 snímky, a to snímek v čase t a snímek v čase $t-1$, po odečtení těchto snímků vznikne pohybová mapa. Tato metoda nevyužívá model prostředí (pozadí scény tj. prázdná vozovka). Její nevýhodou je nefunkčnost v případě, kdy dojde k zastavení vozidel v koloně. V takovém případě není mezi snímky v čase t a $t-1$ žádný rozdíl a

detekce je chybná. Výhodou je naopak vysoká přizpůsobivost při změnách scény (změny počasí). Další používanou metodou je metoda rozdílu snímku a pozadí. Tato metoda k detekci vozidla používá rozdíl mezi aktuálním snímkem a snímkem pozadí scény (prázdné vozovky). Kategorizace vozidel se pak provádí zařizováním vozidel podle jejich změřené délky do jednotlivých kategorií (osobní vozidla, kamiony apod.), jenž jsou definovány předem stanoveným délkovým intervalem. [19]

Automatické sčítání vozidel z videozáznamu může přispět k řešení dopravních kongescí, které jsou jedním z největších problémů mnoha metropolí. Na základě instalovaných kamer lze v reálném čase monitorovat dopravní tok na jednotlivých komunikacích. Tímto způsobem je systém schopen detekovat vznikající dopravní události (nehody, kolony, hromadění sněhu) a přes mobilní telefon/navigaci doporučit řidiči méně zatíženou trasu s nižší dobou dojezdu. [20]

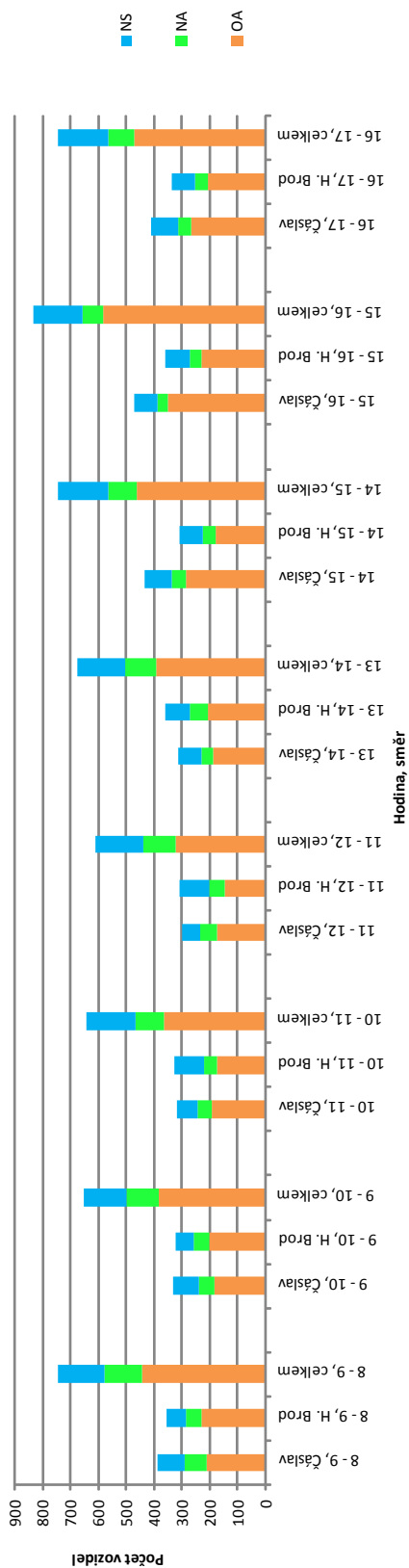
Tab. 10 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku evropskou metodikou, 24. 9. 2019

Datum	Intenzita dopravy (počet vozidel / sčítací interval)																	
	I/38 - směr Čáslav					I/38 - směr Havlíčkův Brod					I/38 - oba směry							
	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem
8:00-9:00	211	75	99	0	1	386	230	53	74	0	0	357	441	128	173	0	1	743
9:00-10:00	183	49	100	0	0	332	199	52	67	0	2	320	382	101	167	0	2	652
10:00-11:00	191	50	75	0	1	317	171	44	107	0	3	325	362	94	182	0	4	642
11:00-12:00	174	59	66	0	1	300	147	52	111	0	0	310	321	111	177	0	1	610
13:00-14:00	189	39	85	0	0	313	203	65	92	0	1	361	392	104	177	0	1	674
14:00-15:00	281	48	102	0	4	435	178	45	85	0	0	308	459	93	187	0	4	743
15:00-16:00	346	36	85	0	6	473	226	40	93	0	2	361	572	76	178	0	8	834
16:00-17:00	264	45	99	0	1	409	204	42	85	0	4	335	468	87	184	0	5	744
Celkem	1839	401	711	0	14	2965	1558	393	714	0	12	2677	3397	794	1425	0	26	5642
Průměrná intenzita/lh	229,9	50,1	88,9	0	1,8	370,6	194,8	49,1	89,3	0	1,5	334,6	424,6	99,3	178,1	0	3,3	705,3



Tab. 11 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku českou metodikou, 24. 9. 2019

Datum	Intenzita dopravy (počet vozidel / sčítací interval)															
	I/38 - směr Čáslav							I/38 - směr Havlíčkův Brod								
	OA	NA	NS	Celkem	OA	NA	NS	Celkem	OA	NA	NS	Celkem	OA	NA	NS	Celkem
24.9.2019	8:00-9:00	212	78	96	386	230	56	71	357	442	134	167	743			
	9:00-10:00	183	56	93	332	201	57	62	320	384	113	155	652			
	10:00-11:00	192	53	72	317	174	46	105	325	366	99	177	642			
	11:00-12:00	175	61	64	300	147	56	107	310	322	117	171	610			
	13:00-14:00	189	40	84	313	204	68	89	361	393	108	173	674			
	14:00-15:00	285	50	100	435	178	49	81	308	463	99	181	743			
	15:00-16:00	352	37	84	473	228	41	92	361	580	78	176	834			
16:00-17:00	265	46	98	409	208	43	84	335	473	89	182	744				
Celkem	1853	421	691	2965	1570	416	691	2677	3423	837	1382	5642				
Průměrná intenzita/lh	231.6	52.6	86.4	370.6	196.3	52	86.4	334.6	427.9	104.6	172.8	705.3				



2) Sčítáním dopravy in-situ dvěma předem proškolenými sčítači. Původním záměrem bylo, aby každý sčítač sčítal dopravu v obou směrech zároveň podle jiné metodiky. To se vzhledem k příliš velké intenzitě dopravy ukázalo jako nereálné. Sčítání tedy bylo provedeno pouze podle evropské metodiky, přičemž každý sčítač sčítal jeden směr. Sčítání probíhalo zaznamenáváním projíždějících vozidel čárkovou metodou do záznamových listů.

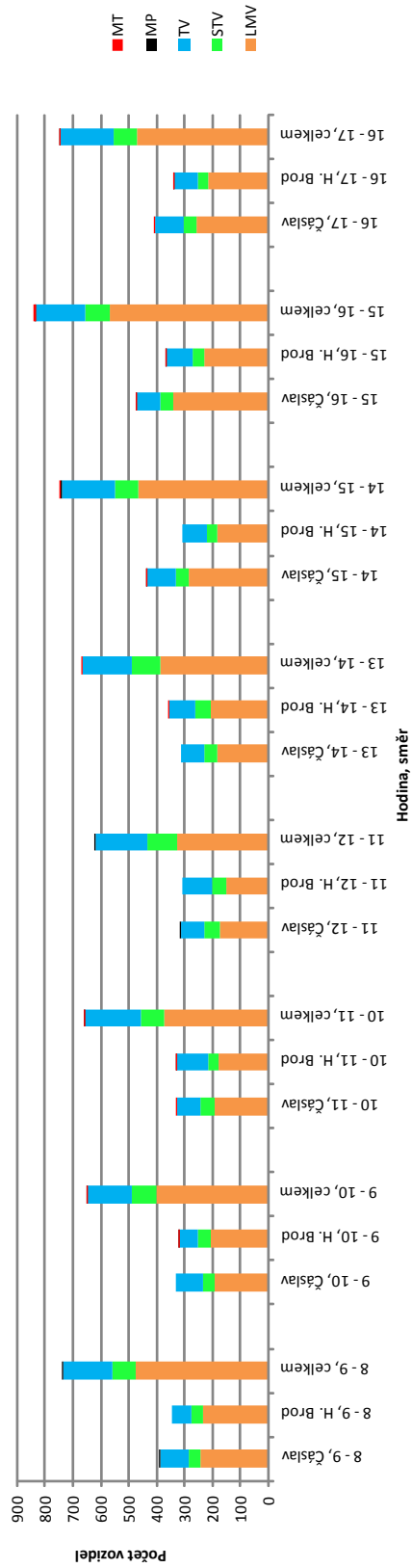


Obr. 30 Sčítání dopravy in-situ

Výsledky sčítání dopravy touto metodou jsou uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 Sčítání dopravy na silnici I/38 in-situ pro výpočet hluku evropskou metodikou, 24. 9. 2019

Datum	Intenzita dopravy (počet vozidel / sčítací interval)																	
	I/38 - směr Čáslav					I/38 - směr Havlíčkův Brod					I/38 - oba směry							
	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem
24.9.2019	8:00-9:00	45	102	1	0	0	389	42	72	0	0	346	473	87	174	1	0	735
	9:00-10:00	43	97	0	0	0	332	45	62	1	1	317	400	88	159	1	1	649
	10:00-11:00	47	86	0	1	1	328	38	112	1	2	330	371	85	198	1	3	658
	11:00-12:00	57	80	1	0	0	312	49	110	0	0	310	325	106	190	1	0	622
	13:00-14:00	45	83	0	0	0	311	57	93	0	1	356	388	102	176	0	1	667
	14:00-15:00	49	101	1	3	3	437	38	89	0	0	308	464	87	190	1	3	745
	15:00-16:00	43	85	1	5	5	476	42	92	1	1	364	570	85	177	2	6	840
16:00-17:00	44	102	0	1	1	406	40	84	1	3	341	472	84	186	1	4	747	
Celkem	373	736	4	10	10	2991	351	714	4	8	2672	3463	724	1450	8	18	5663	
Průměrná intenzita/lh	46.6	92	0.5	1.3	1.3	373.9	43.9	89.3	0.5	1	334	432.9	90.5	181.3	1	2.3	707.9	



3) Sčítáním dopravy statistickým radarem Houston DR400S2. Radar byl připevněn na dopravní značku u jízdního pruhu ve směru na Čáslav. Použitý radar funguje na principu Dopplerova jevu. Radar rozlišuje vozidla do třech kategorií podle jejich délky. Do první kategorie S (malá vozidla) spadají motocykly, nicméně použitím tohoto radaru v praxi se ukázalo, že jsou do této kategorie zařazovány i krátké osobní automobily. Do druhé kategorie L (lehká vozidla) spadají běžné osobní automobily, dodávky a krátké nákladní automobily. Do třetí kategorie T (těžká vozidla) spadají dlouhé nákladní automobily. Kategorie S není v této práci uvažována, vozidla z této kategorie jsou zahrnuta do kategorie L.



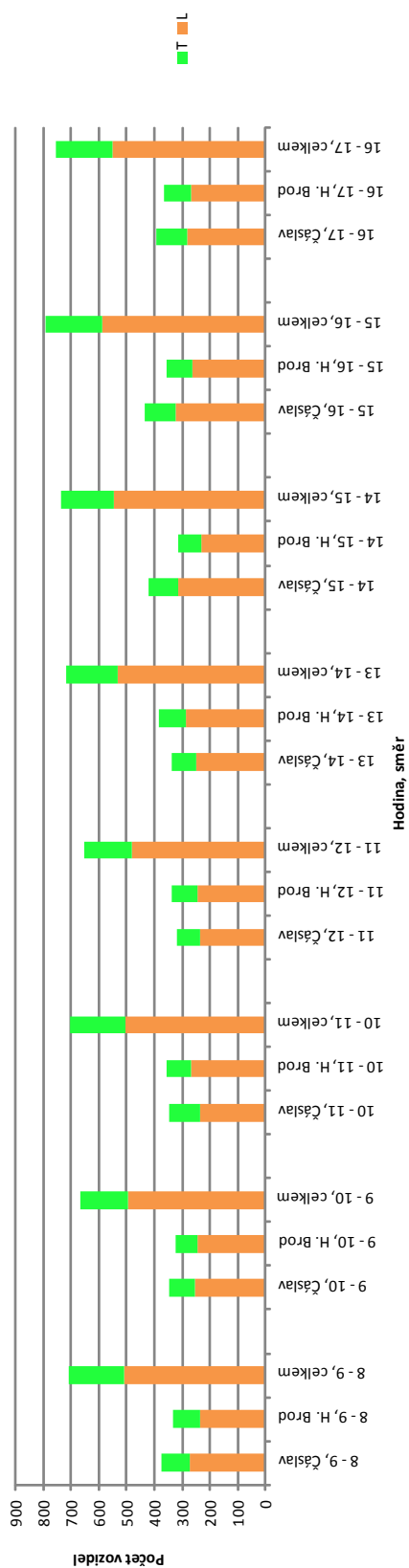
Obr. 31 Sčítání dopravy statistickým radarem

Výsledky sčítání dopravy statistickým radarem jsou uvedeny v tab. 13.

Statistickým radarem byla zjištěna průměrná rychlost všech vozidel kategorie L 79,6 km/h s kategorie T 78,4 km/h. Pro směr na Čáslav byla zjištěna průměrná rychlost vozidel kategorie L 81,1 km/h a kategorie T 79,3 km/h. Pro směr na Havlíčkův Brod byla zjištěna průměrná rychlost vozidel kategorie L 78,0 km/h a kategorie T 77,3 km/h. Důvodem vyšší průměrné rychlosti vozidel jedoucích ve směru na Čáslav je záporný sklon nivelety vozovky v tomto směru.

Tab. 13 Sčítání dopravy na silnici I/38 statistickým radarem, 24. 9. 2019

Datum	Čas	Intenzita dopravy – DEN (počet vozidel / sčítací interval)									
		I/38 – směr Čáslav					I/38 – směr Havlíčkův Brod				
		L	T	celkem	L	T	celkem	L	T	celkem	
24.9.2019	08:00-09:00	274	100	374	237	96	333	511	196	707	
	09:00-10:00	253	94	347	243	79	322	496	173	669	
	10:00-11:00	236	109	345	269	89	358	505	198	703	
	11:00-12:00	235	82	317	246	92	338	481	174	655	
	13:00-14:00	247	89	336	286	97	383	533	186	719	
	14:00-15:00	314	108	422	231	83	314	545	191	736	
	15:00-16:00	323	113	436	264	93	357	587	206	793	
16:00-17:00	283	110	393	266	98	364	549	208	757		
Celkem		2165	805	2970	2042	727	2769	4207	1532	5739	
Průměrná intenzita/lh		270.6	100.6	371.3	255.3	90.9	346.1	525.9	191.5	717.4	



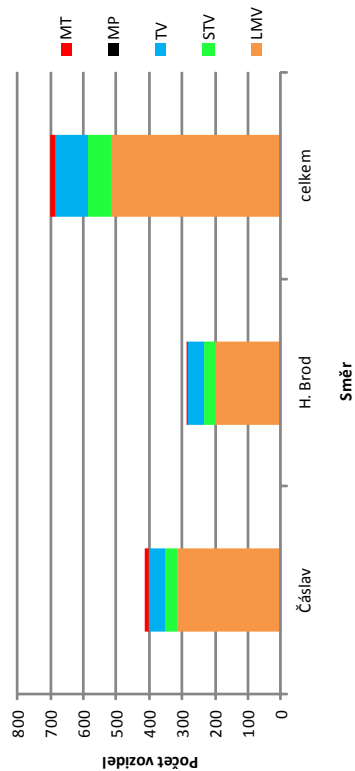
Měřicí místo MM2 (17. 4. 2020)

Souběžně s měřením hluku na referenčním měřicím místě MM2 bylo na předmětném úseku silnice I/38 provedeno sčítání dopravy dne 17. 4. 2020 od 14:44 do 15:44 h. Sčítání bylo provedeno pořízením video záznamu dopravního proudu na mobilní telefon. Videozáznam byl následně vyhodnocen ručně na PC. Sčítač si videozáznam přehrával v programu VLC media player a jednotlivá vozidla zaznamenával čárkovou metodou do záznamových listů.

Výsledky sčítání dopravy jsou uvedeny v tab. 14 (evropská metodika) a tab. 15 (česká metodika).

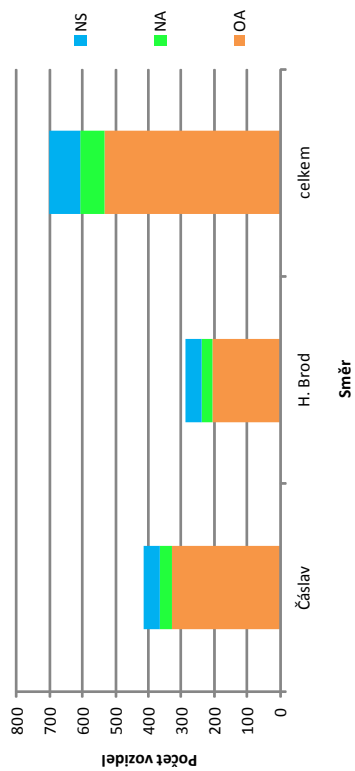
Tab. 14 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku evropskou metodikou CNOSSOS-EU, 17. 4. 2020

Datum	I/38 - směr Čáslav						I/38 - směr Havlíčkův Brod						I/38 - oba směry					
	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem	LMV	STV	TV	MP	MT	Celkem
17.4.2020 14:44-15:44	317	35	50	0	11	413	201	32	49	0	6	288	518	67	99	0	17	701
Celkem	317	35	50	0	11	413	201	32	49	0	6	288	518	67	99	0	17	701
Průměrná intenzita/h	317	35	50	0	11	413	201	32	49	0	6	288	518	67	99	0	17	701



Tab. 15 Sčítání dopravy na silnici I/38 z videozáznamu pro výpočet hluku českou metodikou, 17. 4. 2020

Datum	Intenzita dopravy (počet vozidel / sčítací interval)											
	I/38 - směr Čáslav					I/38 - směr Havlíčkův Brod						
	OA	NA	NS	Celkem	OA	NA	NS	Celkem	OA	NA	NS	Celkem
17.4.2020 14:44-15:44	328	37	48	413	207	33	48	288	535	70	96	701
Celkem	328	37	48	413	207	33	48	288	535	70	96	701
Průměrná intenzita/h	328	37	48	413	207	33	48	288	535	70	96	701

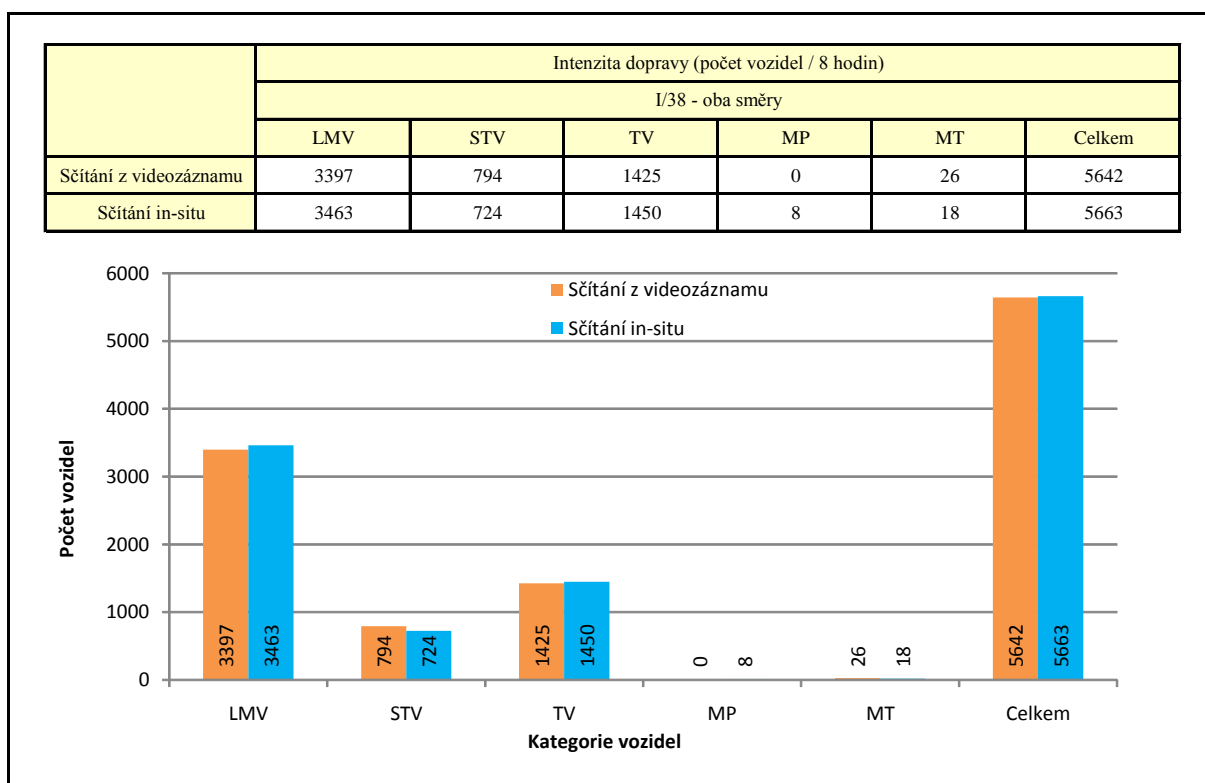


3.1.3 Sčítání dopravy – vyhodnocení

Porovnání výsledků sčítání dopravy získaných metodou videozáznamu a metodou in-situ

V Následující tab. 16 jsou uvedeny výsledky sčítání dopravy provedeného 24. 9. 2019 podle evropské metodiky metodou sčítání z videozáznamu a metodou sčítání in-situ.

Tab. 16 Výsledky sčítání dopravy metodou videozáznamu a metodou in-situ, evropská metodika, 24. 9. 2019



Z hodnot uvedených v tab. 16 vyplývá, že rozdíl v celkovém počtu všech sečtených vozidel je zanedbatelný, pouze 21 vozidel. Stejně tak je tomu u lehkých motorových vozidel (LMV), u kterých je rozdíl 66 vozidel a u těžkých vozidel (TV), u kterých je rozdíl 25 vozidel.

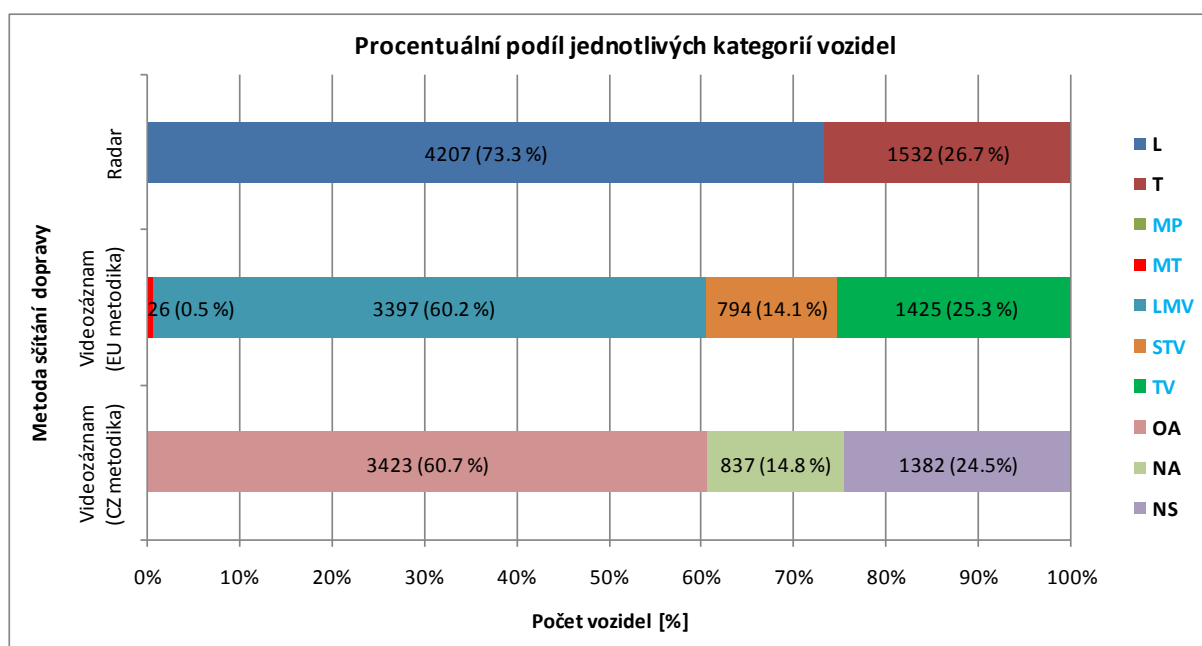
K výraznému rozdílu ve sčítání, vzhledem k celkovému počtu vozidel v této kategorii, došlo u středně těžkých vozidel (STV). V této kategorii je rozdíl 70 vozidel. Tato odchylka je způsobena špatným zařazením dodávkových automobilů, které je velmi obtížné, a ne vždy jednoznačné, jak již bylo popsáno v kapitole 2.2.1.

Výrazný rozdíl ve výsledcích je také u dvoustopých motorových vozidel (MP, MT). Celkový počet dvoustopých motorových vozidel (MP+MT) je shodný. K chybě došlo při sčítání metodou in-situ, kdy docházelo k zařazení všech skútrů automaticky do kategorie mopedy. Skútry je nutné rozlišovat na skútry s objemem ≤ 50 ccm (kategorie mopedy) a

skútry s objemem > 50 ccm (kategorie motocykly). Pomůckou je v tomto případě rychlost. Maximální rychlost skútrů s objemem ≤ 50 ccm se pohybuje okolo 45 km/h. K chybě došlo vlivem nedostatečného proškolení sčítačů.

Porovnání výsledků sčítání dopravy získaných metodou videozáznamu a statistickým radarem

Na obr. 32 jsou zobrazeny výsledky sčítání dopravy získané 24. 9. 2019 metodou videozáznamu (českou i evropskou metodikou) a statistickým radarem.



Obr. 32 Výsledky sčítání dopravy metodou videozáznamu a statistickým radarem

Jak již bylo zmíněno ve 2. kapitole této práce, dle české metodiky jsou vozidla zařídována do 3 kategorií (OA, NA, NS) a dle evropské metodiky do 5 kategorií (LMV, STV, TV, MP, MT). Oproti tomu použitý statistický radar reálně rozlišuje pouze 2 kategorie (L, T).

Z hodnot uvedených na obr. 32 je patrné, že kategorie T (statistický radar) představující 26,7 % z celkového počtu sečtených vozidel, přibližně odpovídá 25,3 % kategorie TV (videozáznam – evropská metodika) a 24,5 % kategorie NS (videozáznam – česká metodika).

Na základě získaných výsledků lze konstatovat, že použitý radar dokáže poměrně přesně rozlišit vozidla nejvyšší kategorie TV/NS od ostatních vozidel. Hlavní nedostatek dat získaných statistickým radarem spočívá v neschopnosti odlišit kategorii LMV/OA od kategorie STV/NA. Tento problém by bylo možné vyřešit použitím dvou statistických radarů

tohoto typu zároveň, přičemž první radar by byl nastaven shodně, jako tomu bylo při tomto měření, a druhý radar by byl nastaven tak, aby byla do nejvyšší kategorie T zahrnuta i vozidla kategorie STV/NA. Následným odečtením kategorií T naměřených na obou radarech by bylo možné získat počet vozidel v chybějící kategorii STV/NA. Tento postup předpokládá, že by byla provedena změna v nastavení radaru (úprava intervalů délky vozidel u kategorií L a T).

Hodnocení použitých metod sčítání dopravy

V následující tab. 17 jsou navzájem porovnány použité metody sčítání dopravy s ohledem na přesnost sčítání, pořizovací náklady a provozní náklady. Metody jsou hodnoceny na stupnici od 1 do 3 (1 = nejlepší). Sčítání dopravy metodou videozáznamu je ve fázi pořizování videozáznamu uvažováno jako bezobslužné (v případě této diplomové práce tomu tak nebylo).

Tab. 17 Porovnání použitých metod sčítání dopravy

	Přesnost sčítání (celkový počet vozidel)	Přesnost sčítání (zatřídění vozidel do správné kategorie)	Pořizovací náklady	Provozní náklady (lidské zdroje – časová náročnost)	Průměrná známka
Sčítání z videozáznamu	1	1	1,5	2 (v případě vyšších intenzit: 3)	1,38 (v případě vyšších intenzit: 1,63)
Sčítání in-situ	1 (v případě vyšších intenzit: 1,5)	1 (v případě vyšších intenzit: 1,5)	1	3	1,50 (v případě vyšších intenzit: 1,75)
Sčítání statistickým radarem	1 (v případě vyšších intenzit: 2)	3	3	1	2,00 (v případě vyšších intenzit: 2,25)

Výhodou metody sčítání dopravy z videozáznamu je vysoká přesnost. Při vyhodnocování může sčítač videozáznam libovolně zastavit, nebo zpomalit. Má tedy více času na rozhodování. Pokud se jedná o komunikaci s nízkou intenzitou, sčítač může naopak videozáznam přehrávat zrychleně a ušetří tak velké množství času (snížení provozních nákladů). Pořizovací náklady na potřebnou techniku se pohybují v řádech tisíců korun.

Přesnost sčítání dopravy metodou in-situ je při nižších intenzitách vysoká. Pro zachování vysoké přesnosti sčítání i při vyšších intenzitách je možné, aby sčítání prováděli dva sčítači (každý sčítal jeden směr). Výhodou této metody jsou velmi nízké náklady na potřebné vybavení (nepoužívá se žádná technika). Nevýhodou jsou naopak velmi vysoké provozní náklady (lidské zdroje). Vysoké nároky jsou při této metodě kladeny na pozornost sčítače.

Přesnost sčítání dopravy (celkového počtu vozidel) statistickým radarem je při nižších intenzitách vysoká. Problém může nastat při vyšších intenzitách dopravy, kdy mohou za sebou jedoucí nákladní vozidla projíždějící v jednom směru zcela zastínit menší vozidla, projíždějící ve směru druhém. Problémem je také velká nepřesnost při nízkých rychlostech dopravního proudu (vznik kolony, sčítání na parkovištích). Méně přesný je radar při zařídování vozidel do požadovaných kategorií. Radar rozlišuje vozidla pouze podle jejich délky, což je při vyšších nárocích na kategorizaci vozidel nedostačující (zařídování podle počtu náprav nákladního vozidla). Pořizovací náklady na statistický radar se pohybují v řádech desítek tisíc korun. Provozní náklady jsou velmi malé, 24 hodinové měření dokáže sčítač vyhodnotit za několik minut. Výhodou radaru je záznam rychlosti všech projíždějících vozidel.

V případě nižších nároků na přesnost kategorizace vozidel vychází nejlépe pořízení statistického radaru, který má i přes vyšší pořizovací náklady poměrně rychlou návratnost. V případě vyšších nároků na přesnost kategorizace vozidel vychází nejlépe sčítání metodou videozáznamu. Sčítání metodou in-situ je výhodné používat při krátkodobých sčítáních (30 minut, 1 hodina) z důvodu rychlé přípravy (není potřeba instalovat radar či kameru, není třeba se věnovat následnému zpracování záznamu).

3.1.4 Meteorologické podmínky

V následující tab. 18 jsou uvedeny meteorologické podmínky, které byly průběžně zaznamenávány během měření hluku.

Tab. 18 Meteorologické podmínky

MĚŘICÍ MÍSTO		MM1 / RODINNÝ DŮM ROZŇÁK Č. P. 163				
Datum	Čas	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak * [hPa]	Rychlost větru [m/s] / směr větru	Oblačnost / srážky
24.9.2019	8:00	12,5	77,8	957,0	≤ 0,4 / -	skoro zataženo / bez srážek
	9:00	13,4	76,6	957,0		
	10:00	15,7	70,4	956,9	≤ 0,4 / -	skoro zataženo / bez srážek
	11:00	16,3	68,4	957,1		
	12:00	16,6	66,8	957,3	≤ 0,4 / -	zataženo / bez srážek
	13:00	16,7	60,0	956,5	≤ 0,4 / -	skoro zataženo / bez srážek
	14:00	18,8	51,6	955,5		
	15:00	19,2	52,1	955,2	≤ 0,4 / -	skoro zataženo / bez srážek
	16:00	19,4	50,2	955,0		
	17:00	17,5	57,4	954,1	≤ 0,4 / -	polojasno / bez srážek

MĚŘICÍ MÍSTO		MM2 / POZEMEK PARC. Č. 261/1 K. Ú. KNYK				
Datum	Čas	Teplota vzduchu [°C]	Relativní vlhkost [%]	Atmosférický tlak * [hPa]	Rychlost větru [m/s] / směr větru	Oblačnost / srážky
17.4.2020	15:00	23,6	29,1	960,7	≤ 0,4 / -	jasno / bez srážek

* bez korekce na nadmořskou výšku

3.1.5 Seznam použitých přístrojů a zařízení

1. Ruční analyzátor zvuku Brüel & Kjær 2250 v. č. 2699592
2. Měřicí mikrofon Brüel & Kjær 4189 v. č. 3100541
3. Zvukoměr – spektrální analyzátor Cirrus CR 171B v. č. G061624
4. Měřicí mikrofon Cirrus UK 224 v. č. 20046067
5. Akustický kalibrátor Brüel & Kjær 4231 v. č. 2694662
6. Kryt proti větru Brüel & Kjær UA-0237, Cirrus 90 mm UA 237
7. Mikrofonní kabel 10 m, 20 m
8. Stativ kovový 2 ks
9. Anemometr Testo typ 4500 v. č. 65304558 s vrtulkovou sondou 16 mm typ 0635.9540
10. Digitální záznamový termohygrobarometr Comet Commeter D4141 v. č. 11910200 s externí sondou D4141 v. č. 11910200.
11. Laserový dálkoměr HILTI PD42 v. č. 222090177
12. Statistický radar DRS v. č. 424/16
13. Webkamera Microsoft LifeCam Cinema HD + stativ kovový
14. Notebook
15. Mobilní telefon

Zvukoměry a měřicí mikrofony mají platné ověření ČMI (Český metrologický institut), akustický kalibrátor má platnou kalibraci. Měřicí řetězec (zvukoměr, kabel, měřicí mikrofon) byl před a po měření kalibrován akustickým kalibrátorem Brüel & Kjaer 4231.

3.2 Výpočet hluku ze silniční dopravy

3.2.1 Model zájmového území

Výpočtový model zájmového území byl vytvořen v programu CadnaA verze 2020, DataKustik GmbH. V tomto výpočtovém programu bylo možné provést výpočet hluku ze silniční dopravy jak českou, tak i evropskou metodikou.

Podkladem pro tvorbu modelu byla vektorová katastrální mapa zájmové části katastrálního území Knyk. Dle této mapy bylo vytvořeno směrové vedení silnice I/38, poloha budov a vodních ploch. Model dále obsahuje mapu ZABAGED® – výškopis – 3D vrstevnice. Z vrstevnic obsažených v této mapě byla vytvořena výšková konfigurace území. Do modelu byla rovněž naimportována katastrální ortofotomapa ve formě bitmapy. Podle této mapy byla do modelu zanesena poloha zeleně. Vymodelovány byly pouze větší plochy zeleně (lesy a souvislé pásy stromů). Samostatné stromy byly zanedbány, na výsledné hodnoty by neměly žádný vliv. Všechny tyto mapy byly staženy dne 14. 4. 2020 z webových stránek ČÚZK (Český úřad zeměměřičský a katastrální).

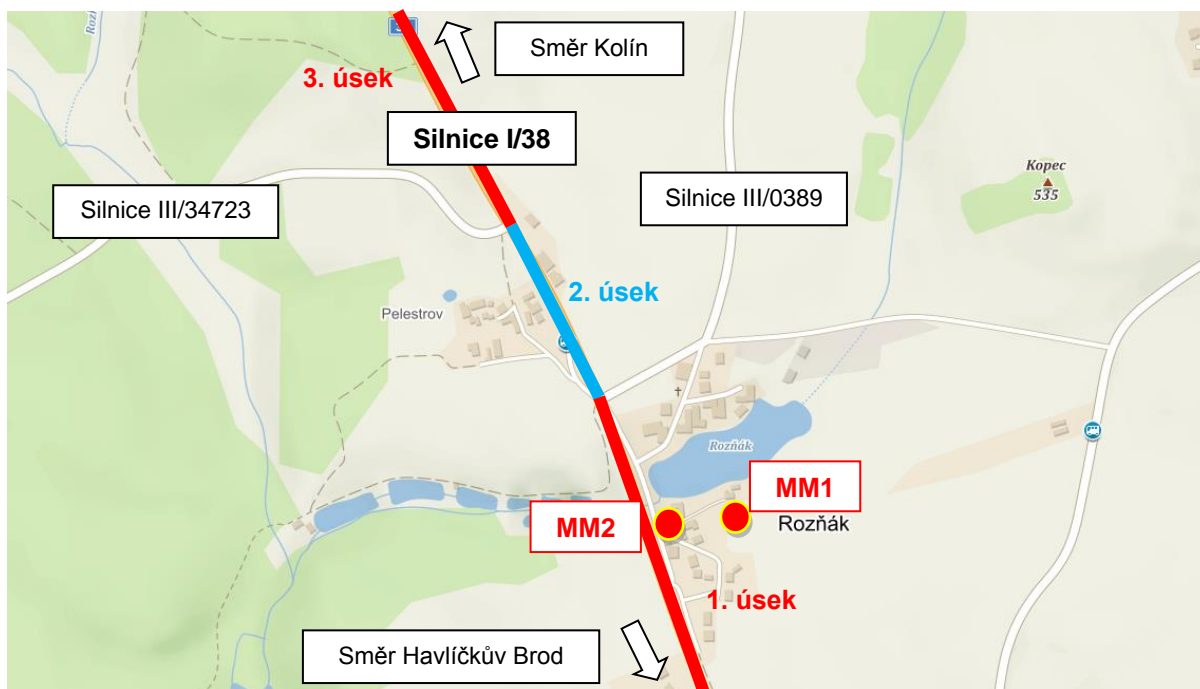
Dále byla za pomoci pořízených fotografií, panoramatických map Google Street View a funkce analýza výškopisu na webových stránkách ČÚZK do výpočtového modelu zanesena výška budov a zeleně. U budov v blízkosti měřicích míst byl vymodelován tvar střech (jednoduché sedlové a valbové). U budov vzdálených více jak 130 m od měřicích míst byl ponechán defaultní tvar budov s rovnou střechou.

Silnice I/38 byla do modelu zadána jako tři samostatné úseky, kterým byla následně přiřazena shodná hodinová intenzita dopravy získaná sčítáním dopravy metodou videozáznamu na prvním z těchto úseků (úseku od Havlíčkova Brodu ke křižovatce se silnicí III/0389). Rozdělení silnice I/38 je uvedeno na obr. 33.

Intenzita dopravy na těchto třech úsecích není ve skutečnosti vlivem křižovatek se silnicemi III/0389 a III/34723 shodná. Jedná se ale o malé rozdíly a dva vzdálenější úseky nejsou z hlediska hluku tak významné, proto mohla být tato skutečnost zanedbána.

Rozdělení silnice I/38 na tři úseky bylo provedeno z důvodu rozdílné maximální dovolené rychlosti na těchto úsecích. Na prvním úseku silnice I/38 od Havlíčkova Brodu ke křižovatce se silnicí III/0389 je maximální dovolená rychlost 90 km/h, na druhém úseku silnice I/38 mezi křižovatkou se silnicí III/0389 a křižovatkou se silnicí III/34723 je

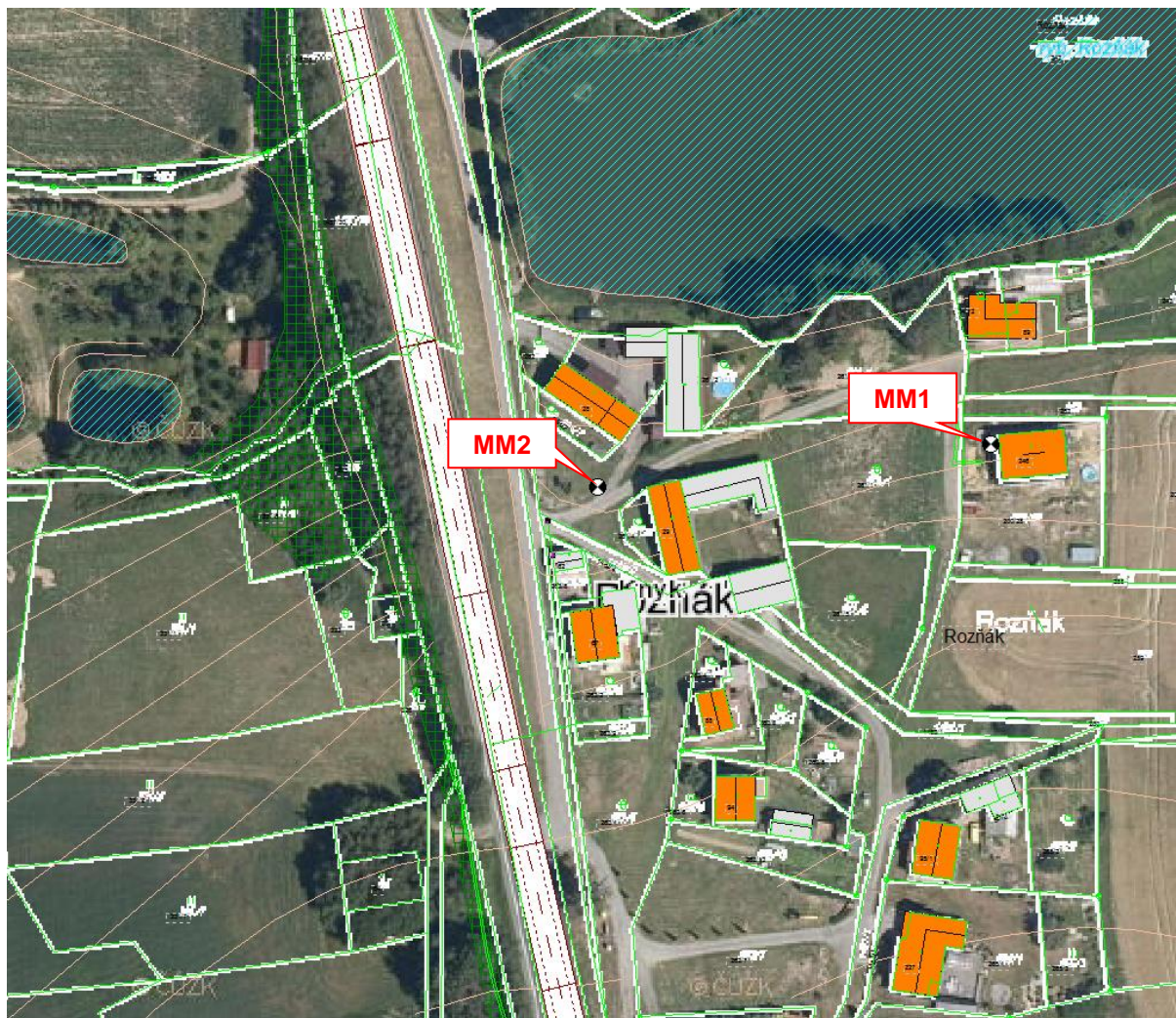
maximální dovolená rychlost 80 km/h, na třetím úseku silnice I/38 od křižovatky se silnicí III/34723 na Kolín je maximální dovolená rychlost 90 km/h.



Obr. 33 Rozdělení silnice I/38 na tři úseky pro potřeby výpočtového modelu

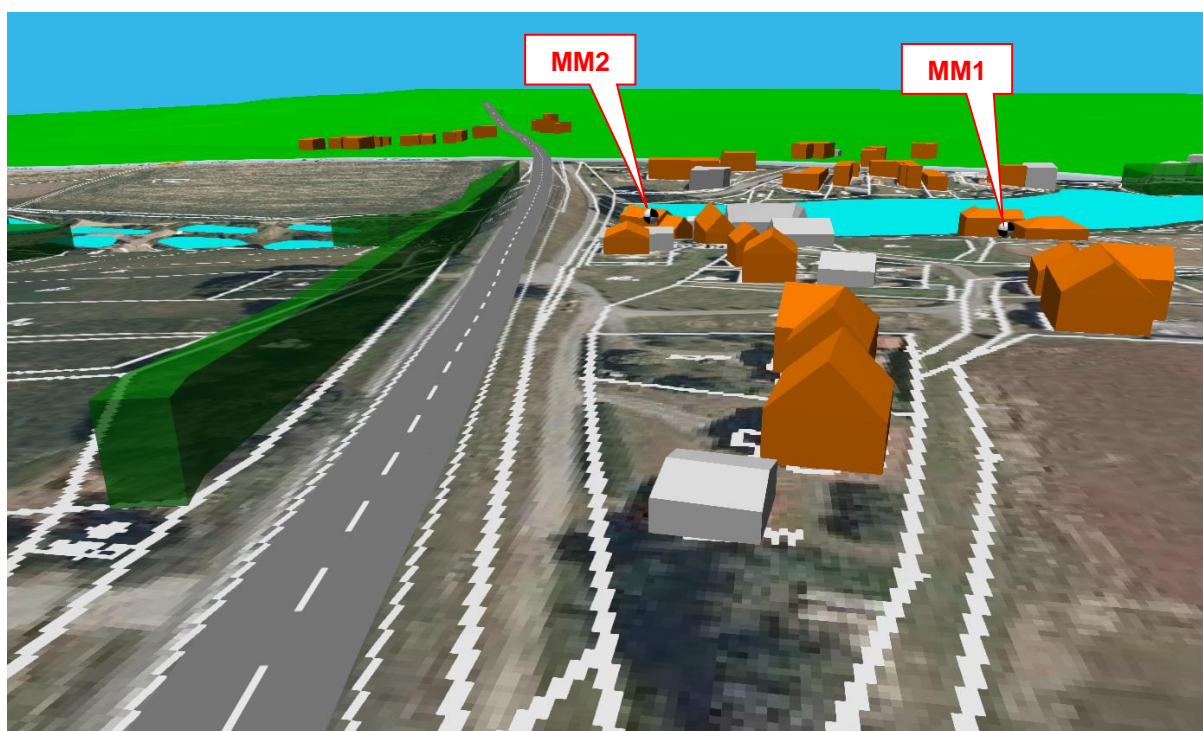
Výřez z vytvořeného modelu této lokality ve výpočetním programu CadnaA je zobrazen na obr. 34.

Obytné budovy (rodinné domy) jsou v modelu vyznačeny oranžovou barvou, neobytné budovy (garáže, zemědělské stavby) barvou šedou. Modrou barvou jsou vyznačeny vodní plochy a zelenou barvou zeleň. Budovy, zeleň, vodní plochy, terén a povrch vozovky jsou definovány odrazivostí, respektive pohltivostí svého povrchu. Vodní plochy (rybník Rozňák a ostatní menší plochy) mají koeficient absorpce zvuku nastaven na 0,00. U budov je koeficient absorpce zvuku nastaven na hodnotu 0,21. Hodnota absorpčního koeficientu 0,00 znamená, že je hluk bezzbytku odražen, hodnota 1,00 znamená, že je hluk bezzbytku pohlcen. Bílou barvou je na obrázku vyznačena silnice I/38. Oranžovými čarami jsou vyznačeny vrstevnice a zelenými čarami hranice pozemků (katastr). Bílým písmem jsou popsány parcelní čísla a čísla popisná rodinných domů černým číslem.



Obr. 34 CadnaA – Výřez z vytvořeného modelu

Na obr. 35 až obr. 38 je zobrazen vytvořený model ve 3D zobrazení.



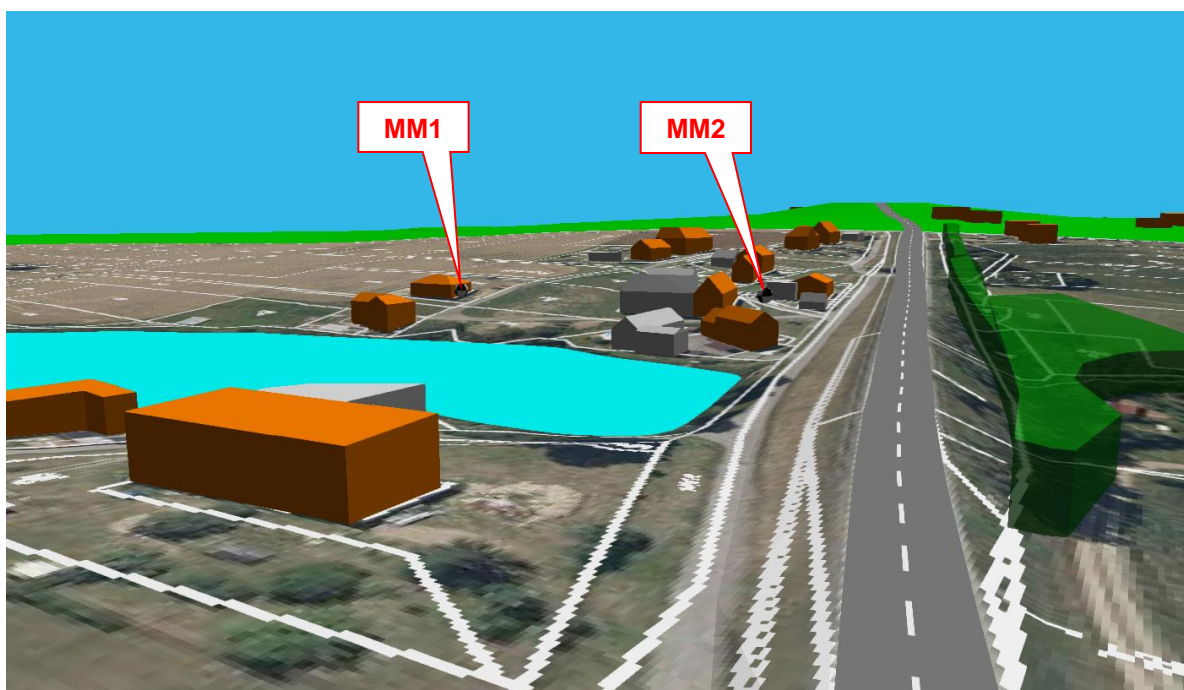
Obr. 35 CadnaA – 3D model – pohled na sever



Obr. 36 CadnaA – 3D model – pohled na severovýchod



Obr. 37 CadnaA – 3D model – pohled na jihovýchod



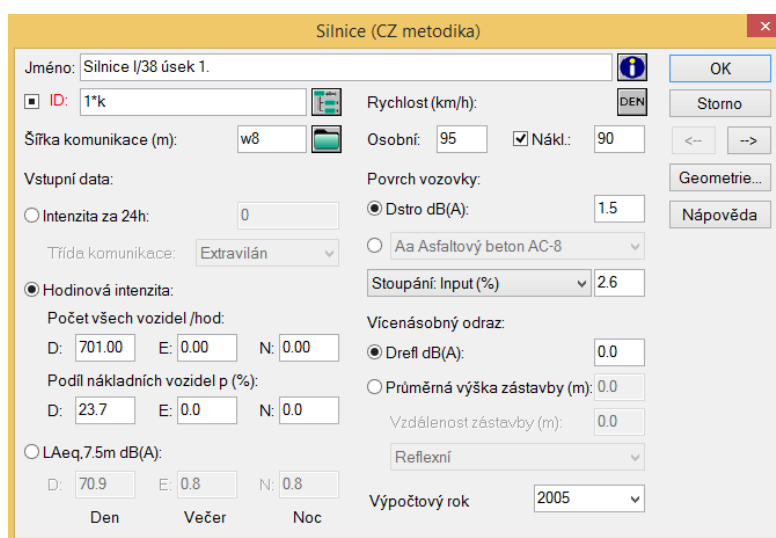
Obr. 38 CadnaA – 3D model – pohled na jih

3.2.2 Ověření modelu

Správnost výpočtu modelu byla validována pomocí hodnoty naměřené v referenčním měřicím místě MM2. Cílem validace je, aby model v referenčním měřicím místě počítal stejnou, nebo alespoň přibližnou hodnotu, která byla na tomto místě naměřena. Toho lze dosáhnout úpravou parametrů zdroje hluku (silnice) a/nebo úpravou parametrů okolního terénu a staveb (pohltivost terénu). Tyto parametry jsou u obou metodik odlišné.

Validace modelu pro výpočet českou metodikou

Možnosti nastavení zdroje hluku v programu CadnaA verze 2020 v rozhraní pro výpočet českou metodikou jsou zobrazeny na obr. 39.



Obr. 39 CadnaA – nastavení parametrů silnice (česká metodika)

Na obr. 39 je vidět, že silnici I/38 byla nastavena šířka mezi krajnicemi 8 m (zadáva se jako w8). Dále byla nastavena hodinová intenzita zjištěná během sčítání dopravy na měřicím místě MM2 (hodnoty sčítání dopravy jsou uvedeny v tab. 15). Zde jde vidět, že program CadnaA má zadávání intenzit dopravy u české metodiky zjednodušené. CadnaA zde rozlišuje pouze dvě kategorie vozidel, kdežto sčítání dopravy se pro výpočet touto metodikou provádí podle tab. 4 ve třech kategoriích: OA, NA a NS. Kategorie NA a NS jsou ve výpočetním programu sloučeny do jedné kategorie.

Rychlost vozidel je nastavena podle rovnice 22, osobním automobilům tak bylo přičteno k maximální dovolené rychlosti 5 km/h, nákladním automobilům byla nastavena maximální dovolená rychlost 90 km/h. Stoupání bylo vypočteno automaticky funkcí výpočet sklonu silnic ve výpočetním programu CadnaA na základě výškové konfigurace území. První

úsek silnice I/38 (od Havlíčkova Brodu ke křižovatce se silnicí III/0389 viz obr. 33) byl rozdělen na další tři menší úseky, aby byl vypočtený sklon co nejpřesnější.

Atribut *Dstro* je korekcí na povrch vozovky. Výpočetní program obsahuje pro každou metodiku knihovnu povrchů, z kterých lze vybrat ten, který nejlépe odpovídá skutečnosti. Na silnici I/38 je běžný asfaltobetonový povrch, kterému nejvíce odpovídá povrch AC 8 – asfaltový beton s velikostí maximálního zrna 8 mm. Tento povrch má hodnotu atributu *Dstro* = 0,0 dB (v případě povrchů se sníženou hlučností je hodnota atributu *Dstro* záporná, v případě krytu z dlažby z velkých žulových kostek je *Dstro* = 6,0 dB). Při zadání hodnoty *Dstro* = 0,0 dB (povrch AC 8) byla na měřicím místě MM2 vypočítána hodnota $L_{Aeq,T} = 62,3$ dB, tedy hodnota o 2,0 dB nižší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 64,3$ dB. Atribut *Dstro* byl proto zvýšen na hodnotu 1,5 dB, aby bylo dosaženo rozdílu 0,0 dB mezi naměřenou a vypočtenou hodnotou. Zvyšováním hodnoty tohoto atributu lze kompenzovat stáří vozovky, výmoly, opravy, zvlnění vozovky (vyjeté koleje) nebo jen doladit nepřesnost výpočtu.

Atribut *Drefl* je korekcí na vícenásobné odrazy. Tento atribut se používá především ve městech, kde se nachází souvislá řadová zástavba v těsné blízkosti komunikace. V tomto případě byla ponechána defaultní hodnota *Drefl* = 0,0 dB, tedy žádné vícenásobné odrazy.

Validace modelu pro výpočet evropskou metodikou

Možnosti nastavení zdroje hluku v programu CadnaA verze 2020 v rozhraní pro výpočet evropskou metodikou jsou zobrazeny na obr. 40.

Obr. 40 CadnaA – nastavení parametrů silnice (evropská metodika)

Na obr. 40 je vidět, že silnici I/38 je nastavena šířka a stoupání stejným způsobem jako v případě české metodiky. Změna je v nastavení intenzit dopravy. Lze nastavit všech pět kategorií vozidel, tak jak jsou uvedeny v tab. 3. Jiným způsobem je také nastavena rychlost, podle evropské metodiky se zadává jak osobním, tak i nákladním vozidlům vždy maximální dovolená rychlost.

Korekce na různé povrchy vozovek je v tomto případě zajištěna atributem kryt vozovky. I u evropské metodiky je k dispozici specifická knihovna povrchů, z které lze zvolit povrch, který nejvíce odpovídá skutečné situaci. V rámci výpočtové úlohy byl použit referenční povrch, který je směsí DAC 0/11 (asfaltový beton pro obrusné vrstvy) a SMA 0/11 (asfaltový koberec mastixový) při stáří 2 až 7 let a reprezentativních podmínkách údržby. Při nastavení tohoto povrchu výpočetní model počítá v referenčním měřicím místě MM2 hodnotu $L_{Aeq,T} = 64,1$ dB, tedy hodnotu o 0,2 dB nižší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 64,3$ dB, což je dostačující přesnost. Výpočtový model tedy nebylo potřeba zpřesňovat úpravou atributů zdroje hluku.

Povrch AC 8 původně uvažovaný při výpočtu českou metodikou ($D_{stro} = 0.0$ dB) a referenční povrch použitý pro výpočet evropskou metodikou tvořený směsí DAC 0/11 a SMA 0/11 jsou navzájem hlukově ekvivalentní.

Další možností pro zpřesnění modelu je zadání reálné pohltivosti okolního terénu. Vytvořený výpočtový model má zadán globální terén mírně pohltivý $G = 0,7$, což odpovídá povrchu: ztvrdlá půda a šterkopísek, pěstěné trávníky a parky dle směrnice Komise (EU) 2015/996 o stanovení společných metod hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES. Česká metodika v prostředí výpočetního programu CadnaA má pevně přednastavený odrazivý globální terén.

3.2.3 Výsledky výpočtu hluku

Výpočet českou metodikou

Výsledné hodnoty vypočtené českou metodikou v měřicím místě MM1 jsou uvedeny v tab. 19 a porovnány s hodnotami naměřenými na tomto měřicím místě dne 24. 9. 2019. V tabulce jsou uvedeny hodnoty vypočtené zpřesněným a nezpřesněným modelem. Zpřesněním modelu je myšlena úprava atributů zdroje hluku (silnice), tak aby na referenčním měřicím místě MM2 počítal stejnou hodnotu, která byla na tomto měřicím místě naměřena dne 17. 4. 2020 (při příslušných intenzitách dopravy).

Bez zpřesnění modelu má atribut *Dstro* (korekce povrchu vozovky) nastavenou hodnotu 0,0 dB odpovídající povrchu AC 8 – asfaltový beton.

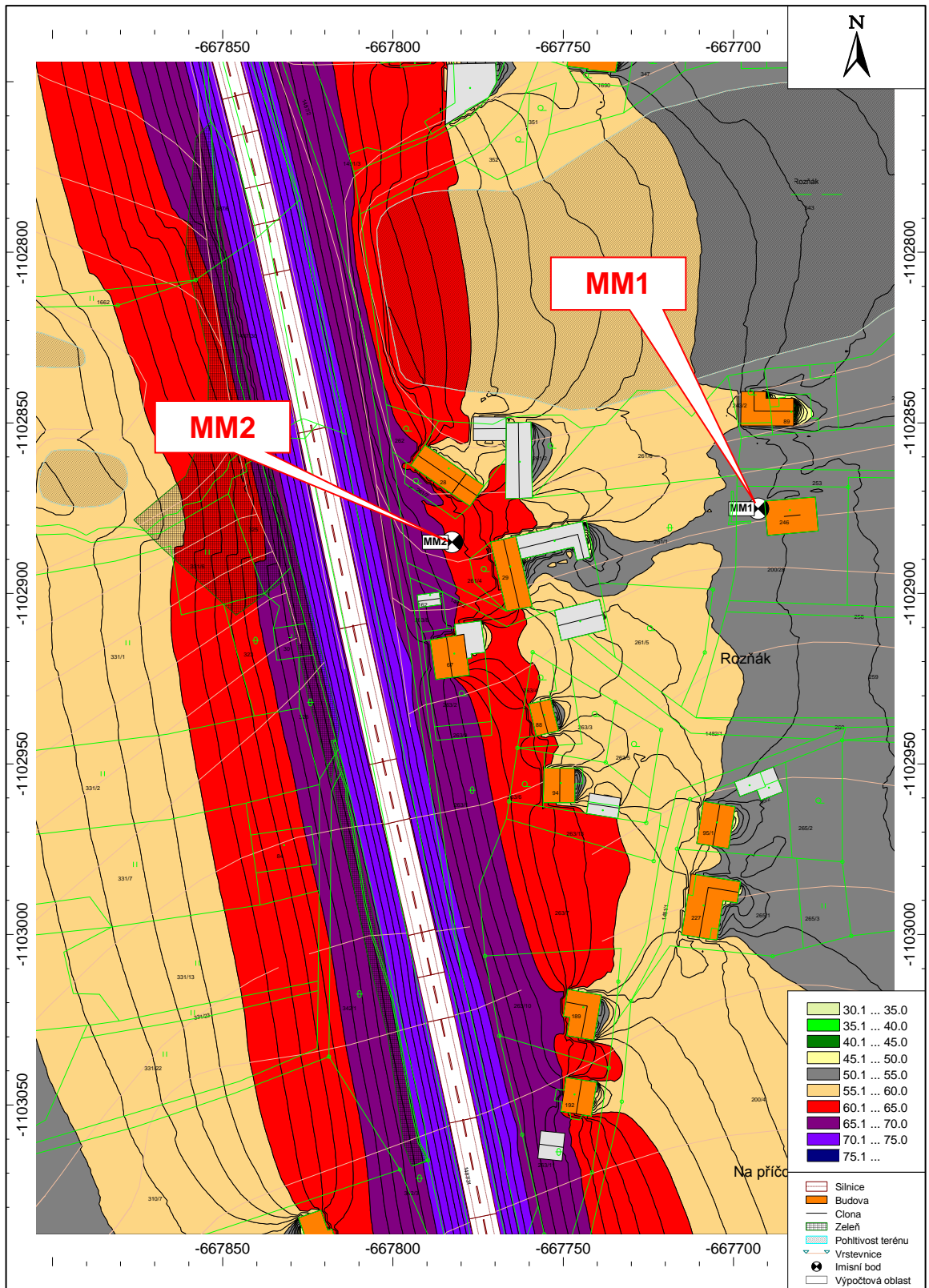
Zpřesněný model má atribut *Dstro* nastaven hodnotu 1,5 dB.

Tab. 19 Výsledky výpočtu českou metodikou

	Naměřená ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB] dne 24. 9. 2019	Vypočtená ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB] <u>nezpřesněným</u> výpočtovým modelem	Vypočtená ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB] <u>zpřesněným</u> výpočtovým modelem
MM1 / Rodinný dům Rozňák č. p. 163 – chráněný venkovní prostor stavby	55,4	53,6	55,1

Z hodnot uvedených v tab. 19 je vidět, že hodnota hluku vypočtená nezpřesněným výpočtovým modelem je o 1,8 dB nižší než hodnota naměřená. Hodnota hluku vypočtená zpřesněným modelem je nižší o 0,3 dB než hodnota naměřená. Vlivem zpřesnění výpočtového modelu tedy došlo ke zlepšení výpočtu v měřicím místě MM1 o 1,5 dB.

Hluková mapa vypočtená českou metodikou (zpřesněným modelem) je uvedena na obr. 41. Výška výpočtu byla zvolena 4,0 m nad terénem, dle ČSN ISO 1996-2 Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí, která tuto výšku stanovuje pro hlukové mapování v oblastech s vícepodlažní obytnou zástavbou. Na hlukové mapě jsou barevně vyznačena hluková pásma po 5,0 dB intervalech. Černou barvou jsou vyznačeny izofony.

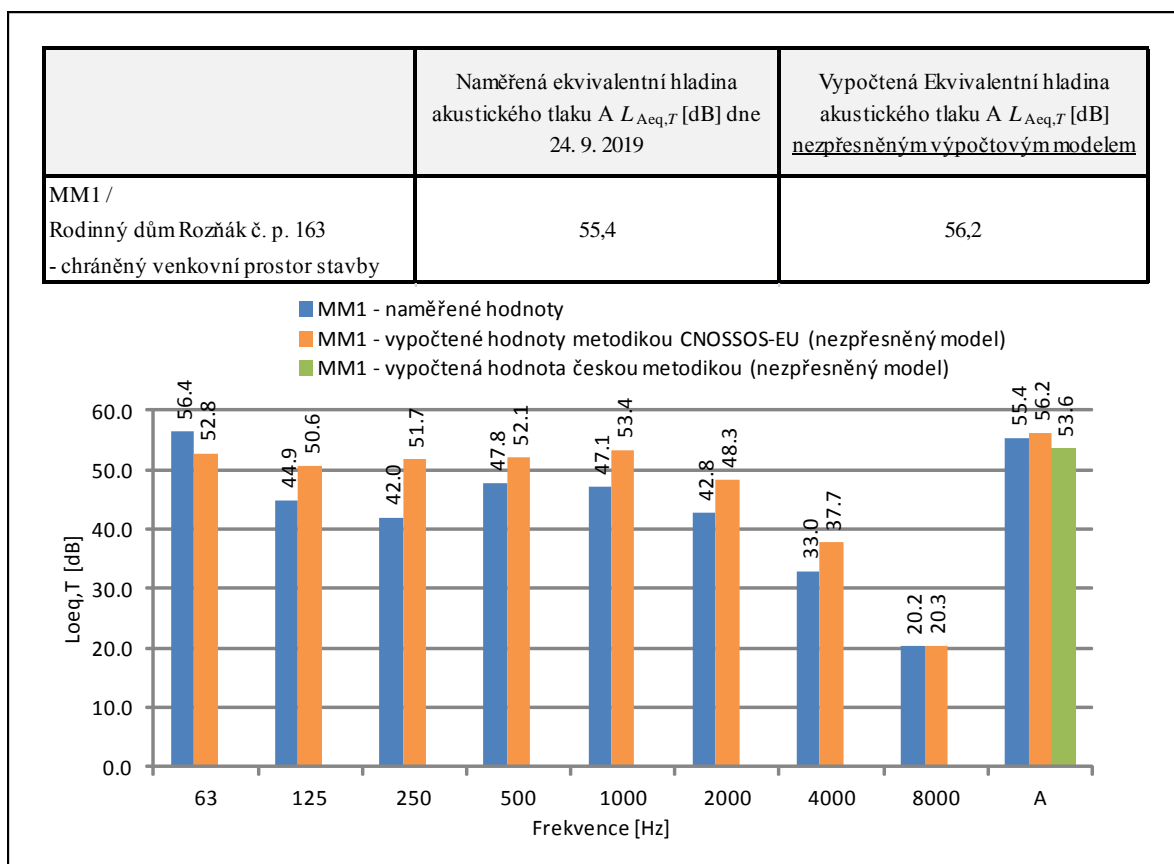


Obr. 41 CadnaA – hluková mapa (česká metodika)

Výpočet evropskou metodikou

Výsledná hodnota vypočtená evropskou metodikou CNOSSOS-EU včetně hodnot v oktávových pásmech v rozsahu od 63 Hz do 8 kHz v měřicím místě MM1 je uvedena v tab. 20 a porovnána s hodnotami naměřenými na tomto měřicím místě dne 24. 9. 2019. V tabulce je uvedena pouze vypočtená hodnota nezpřesněným výpočtovým modelem. Vzhledem k velmi malému rozdílu mezi hodnotou hluku vypočtenou nezpřesněným modelem a hodnotou hluku naměřenou v referenčním měřicím místě MM2 dne 17. 4. 2020 nebylo třeba upravovat atributy zdroje hluku (silnice).

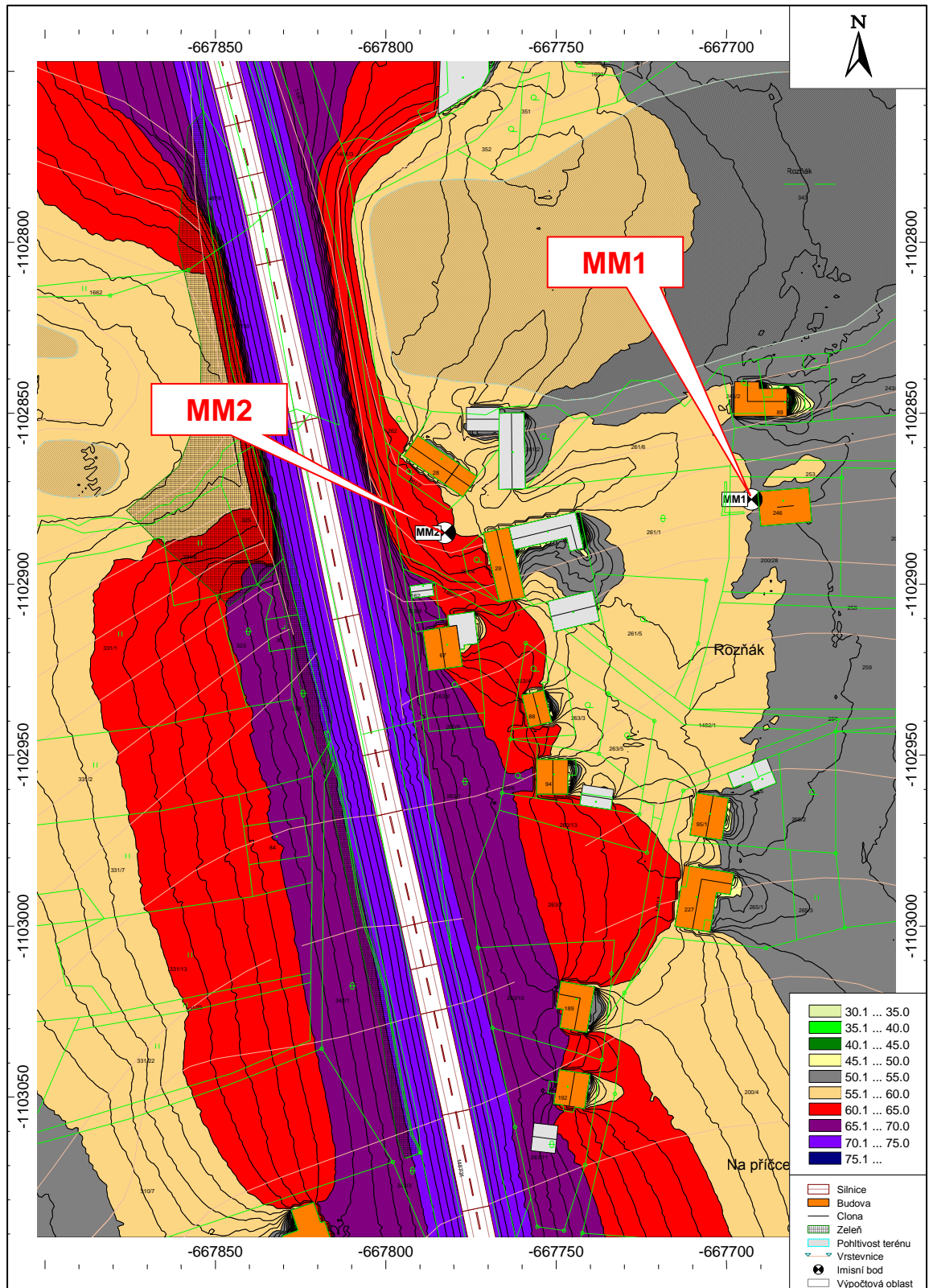
Tab. 20 Výsledky výpočtu evropskou metodikou



Z hodnot uvedených v tab. 20 je vidět, že výsledná vypočtená hodnota hluku metodikou CNOSSOS-EU je o 0,8 dB vyšší než hodnota naměřená. V oktávových pásmech byl zaznamenán nejvyšší rozdíl na frekvenci 250 Hz, kde je naměřená hodnota o 9,7 dB vyšší než hodnota vypočtená. V ostatních pásmech se rozdíl pohybuje od 0,1 dB do 6,3 dB. Pro názornost je v grafu uvedena také hodnota hluku vypočtená českou metodikou (nezpřesněným modelem).

Hluková mapa vypočtená evropskou metodikou je uvedena na obr. 42. Výška výpočtu byla zvolena 4,0 m nad terénem, dle ČSN ISO 1996-2 Akustika – Popis, měření a hodnocení

hluku prostředí, která tuto výšku stanuje pro hlukové mapování v oblastech s vícepodlažní obytnou zástavbou. Na hlukové mapě jsou barevně vyznačena hluková pásma po 5,0 dB intervalech. Černou barvou jsou vyznačeny izofony.



Obr. 42 CadnaA – hluková mapa (evropská metodika)

4 Závěr

V úvodní části diplomové práce byl definován hodnotící ukazatel pro hluk ze silniční dopravy, ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$. Dále byl popsán váhový filtr A a platné hygienické limity pro hluk ze silniční dopravy v České republice. V další části diplomové práce byla popsána česká a evropská metodika pro výpočet hluku ze silniční dopravy. Uvedeny byly algoritmy výpočtu obou těchto metodik a postup pro získávání potřebných podkladů o dopravě a území.

Bylo vyhodnoceno měření hluku a sčítání dopravy provedené dne 24. 9. 2019 od 8:00 do 17:00 h na měřicím místě MM1, v chráněném venkovním prostoru stavby rodinného domu Rozňák č. p. 163 a dne 17. 4. 2020 od 14:44 do 15:44 h na referenčním měřicím místě MM2, na pozemku parc. č. 261/1 k. ú. Knyk. Na měřicím místě MM1 byla naměřena hodnota $L_{Aeq,T} = 55,4 \pm 1,7$ dB. Při porovnání této hodnoty s hygienickým limitem hluku 60,0 dB stanoveným na základě tab. 2 (po odečtení korekce pro získání dopadajícího zvukového pole 2,0 dB a odečtení nejistoty měření 1,7 dB), lze konstatovat, že na tomto měřicím místě není překročen limit pro hluk ze silniční dopravy pro denní dobu (6:00–22:00 h). Na referenčním měřicím místě MM2 byla naměřena hodnota $L_{Aeq,T} = 64,3 \pm 1,7$ dB.

Sčítání dopravy bylo během měření hluku dne 24. 9. 2019 od 8:00 do 17:00 h provedeno třemi způsoby: sčítáním in-situ (2 sčítači, každý sčítá jeden jízdní pruh, čárková metoda), pořízením videozáznamu a následným ručním vyhodnocením na PC (1 sčítač, sčítá oba jízdy pruhy zároveň, čárková metoda) a statistickým radarem. Následně bylo provedeno porovnání těchto tří metod sčítání z hlediska přesnosti sčítání (sečtení celkového počtu vozidel, zatřídění vozidel do správné kategorie), pořizovacích nákladů a provozních nákladů. Bylo zjištěno, že v případech, kdy jsou kladeny nižší požadavky na přesnost kategorizace vozidel, vychází nejlépe použití statistického radaru, který má i přes vysoké pořizovací náklady rychlou návratnost. Radar nemá téměř žádné provozní náklady, protože je bezobslužný a pracovník dokáže výsledky vyhodnotit během několika minut. V případě vyšších požadavků na přesnost kategorizace vozidel se ukázala jako nejlepší metoda sčítání z videozáznamu. Sčítač je oproti radaru schopen zatřídovat vozidla podle počtu náprav tak, jak požaduje evropská metodika pro výpočet hluku. Dále je schopen rozlišovat mopedy a motocykly a rozlišovat dodávkové automobily spadající mezi osobní automobily, nebo nákladní automobily. Nevýhodou této metody jsou vysoké provozní náklady (náklady na lidské zdroje). Metoda sčítání dopravy in-situ se ukázala být výhodnou především při

krátkodobých sčítáních (30 minut, 1 hodina) z důvodu rychlé přípravy (není třeba provádět instalaci radaru, kamery). Výhodou této metody jsou téměř nulové pořizovací náklady. Nevýhodou jsou naopak vysoké provozní náklady (lidské zdroje) a vysoké nároky na pozornost sčítače.

Byl popsán postup tvorby modelu zájmového území ve výpočetním programu CadnaA verze 2020, DataKustik GmbH. Správnost výpočtu byla následně validována pomocí hodnoty hluku naměřené v referenčním měřicím místě MM2. Validace byla provedena tak, že silnici I/38 byla v modelu přiřazena hodinová intenzita dopravy zjištěná během měření hluku na měřicím místě MM2 17. 4. 2020 od 14:44 do 15:44 h. Následně byla vypočtená hodnota porovnána s hodnotou naměřenou. Validace byla provedena v prostředí obou metodik.

Při validaci modelu pro výpočet českou metodikou bylo zjištěno, že výpočetní model počítá v referenčním měřicím místě MM2 hodnotu $L_{Aeq,T} = 62,3$ dB, tedy hodnotu o 2,0 dB nižší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 64,3$ dB. Zpřesnění výpočtu bylo provedeno nastavením atributu *Dstro* (korekce na povrch vozovky) na hodnotu 1,5 dB, tento atribut měl původně hodnotu 0,0 dB, která odpovídá povrchu AC 8 – asfaltový beton s velikostí maximálního zrna 8 mm. V případě povrchů se sníženou hlučností má tento atribut zápornou hodnotu. Atribut *Dstro* je možné při výpočtu hluku českou metodikou libovolně měnit a zvýšením jeho hodnoty tak kompenzovat například stáří vozovky, výmoly, opravy, zvlnění vozovky (vyjeté koleje) nebo jen doladit nepřesnost výpočtu. Všechny tyto faktory mají vliv na zvýšení emise hluku dané komunikace.

Při validaci modelu pro výpočet evropskou metodikou bylo zjištěno, že výpočetní model počítá v referenčním měřicím místě MM2 hodnotu $L_{Aeq,T} = 64,1$ dB, tedy hodnotu o 0,2 dB nižší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 64,3$ dB. V tomto případě byla zjištěná odchylka velmi malá, proto nebylo prováděno žádné zpřesnění tohoto modelu. V modelu pro výpočet evropskou metodikou byl zadán referenční povrch vozovky, který představuje směs DAC 0/11 (asfaltový beton pro obrusné vrstvy) a SMA 0/11 (asfaltový koberec mastixový), při stáří 2 až 7 let a reprezentativních podmínkách údržby. Tento referenční povrch je ekvivalentní k povrchu AC 8. Každá metodika má v programu CadnaA vlastní knihovnu povrchů s odlišným značením.

Po validaci výpočetních modelů byl proveden výpočet hodnoty hluku v měřicím místě MM1 (místě imise), v chráněném venkovním prostoru stavby rodinného domu Rozňák č. p. 163.

Při výpočtu českou metodikou (zpřesněný model, $Dstro = 1,5$ dB) byla v měřicím místě MM1 vypočtena hodnota $L_{Aeq,T} = 55,1$ dB, tedy hodnota o 0,3 dB nižší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 55,4$ dB.

Při výpočtu českou metodikou (nezpřesněný model, $Dstro = 0,0$ dB) byla v měřicím místě MM1 vypočtena hodnota $L_{Aeq,T} = 53,6$ dB, tedy hodnota o 1,8 dB nižší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 55,4$ dB.

Při výpočtu evropskou metodikou (nezpřesněný model) byla v měřicím místě MM1 vypočtena hodnota $L_{Aeq,T} = 56,2$ dB, tedy hodnota o 0,8 dB vyšší, než je naměřená hodnota $L_{Aeq,T} = 55,4$ dB.

Z výsledků vyplývá, že vlivem validace došlo ke zpřesnění výpočtu českou metodikou o 1,5 dB. Při porovnání hodnot vypočtených nezpřesněnými modely je vidět, že výpočet evropskou metodikou je o 1,0 dB přesnější než výpočet českou metodikou. Důvodem tohoto výsledku může být přesnější kategorizace vozidel evropské metodiky (5 kategorií) než u české metodiky (3 kategorie, v případě výpočetního programu CadnaA pouze 2 kategorie) a rozdílnost ve výpočtovém algoritmu (výpočet zohledňující frekvenční závislosti zdroje i šíření hluku u evropské metodiky).

Na základě výsledků získaných výše uvedenými výpočty lze konstatovat, že při vyšších nárocích na přesnost výpočtového modelu je nutné kombinovat výpočet s měřením hluku.

Seznam použité literatury

1. Krajská hygienická stanice Královehradeckého kraje se sídlem v Hradci Králové. Kurs 2 – Hluk v Komunálním prostředí. *Krajská hygienická stanice Královehradeckého kraje*. [Online] [Citace: 2. březen 2020.] Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_17__ekvivalentn_hladina_akustickho_tlaku.html.
2. Smetana, Ctirad. *Měření hluku a chvění*. Praha : SNTL, 1974.
3. Smetana, Ctirad a kolektiv. *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Praha : Sdělovací technika, 1998. ISBN 80-901936-2-5.
4. EKOLA group, spol. s r.o. Výpočet hluku z automobilové dopravy. Manuál 2018. *EKOLA group, spol. s r.o.* [Online] 2018. [Citace: 13. únor 2020.] Dostupné z: http://ekolagroup.cz/stahnout-soubor/402/Manual_2018_Vypocet_hluku_z_automobilove_dopravy.pdf.
5. *Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů.*
6. *Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů.*
7. Kephelopoulos, Stylianos, Anfosso-Lédée, Fabienne a Paviotti, Marco. Common Noise Assessment Methods in Europe (CNOSSOS-EU). *European Commission*. [Online] 2012. [Citace: 22. únor 2020.] Dostupné z: https://publications.jrc.ec.europa.eu/repository/bitstream/JRC72550/cnossos-eu%20jrc%20reference%20report_final_on%20line%20version_10%20august%202012.pdf. ISBN 978-92-79-25281-5.
8. Ministerstvo zdravotnictví ČR. Strategické hlukové mapování ČR. *Ministerstvo zdravotnictví České republiky*. [Online] [Citace: 22. únor 2020.] Dostupné z: <http://www.mzcr.cz/hlukovemapy/>.
9. Směrnice Komise (EU) 2015/996 o stanovení společných metod hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES. *EUR-Lex*. [Online] 19. květen 2015. [Citace: 26. únor 2020.] Dostupné z: https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=OJ:JOL_2015_168_R_0001&from=CS.

10. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES o hodnocení a řízení hluku ve venkovním prostředí. *EUR-Lex*. [Online] 25. červen 2002. [Citace: 22. únor 2020.] Dostupné z: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/CS/TXT/PDF/?uri=CELEX:32002L0049&qid=1582399852046&from=CS>.
11. Křivánek, Vítězslav, Marková, Petra a Effenberger, Karel. Dlouhodobá změna hlučnosti povrchů pozemních komunikací a jejich hodnocení. *Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.* [Online] 2019. [Citace: 6. červenec 2020.] Dostupné z: <https://hygiena.szu.cz/pdfs/hyg/2019/01/02.pdf>.
12. Křivánek, Vítězslav, Cholava, Rudolf a Effenberger, Karel. Měření a srovnání hlučnosti různých druhů komunikací v ČR metodou CPX. *Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.* [Online] 2014. [Citace: 6. červenec 2020.] Dostupné z: <https://hygiena.szu.cz/pdfs/hyg/2014/03/08.pdf>.
13. CPX Measuring Trailer. *Centrum dopravního výzkumu, v. v. i.* [Online] [Citace: 7. Červenec 2020.] Dostupné z: <https://ctt.cdv.cz/merici-prives-cpx/>.
14. Morri, Matti. Nokian Tyres: The world's first non-studded winter tyre with studs. *Nokian Tyres*. [Online] 12. únor 2014. [Citace: 28. únor 2020.] Dostupné z: <https://www.nokiantyres.com/company/news-article/nokian-tyres-the-world-s-first-nonstudded-winter-tyre-with-studs/>.
15. Berge, T., Storeheier, S. Å. a Aksnes, J. Acoustic durability of low noise pavements in Norway. *World Road Association Mondiale De La Route*. [Online] 2009. [Citace: 28. únor 2020.] Dostupné z: <https://www.sintef.no/globalassets/upload/ikt/9021/piarc-mexico-2009--acoustic-durability-of-low-noise-pavements-in-norway.pdf>.
16. Liberko, Miloš. *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy*. Brno : Výzkumný ústav výstavby a architektury, 1991. ISBN 80-85124-07-6.
17. Ministerstvo dopravy. TP 189 – Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích. *Politika jakosti pozemních komunikací*. [Online] září 2018. [Citace: 16. únor 2020.] Dostupné z: http://www.pjpk.cz/data/USR_001_2_8_TP/TP_189_2018_final.pdf.
18. Ministerstvo zdravotnictví České republiky. Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, částka 11. *Ministerstvo zdravotnictví České republiky*. [Online] 2017. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/legislativa/Soubor.ashx?souborID=36099&typ=application/pdf&nazev=V%C4%9Bstn%C3%ADk%20MZ%20%C4%8CR%2011-2017.pdf>.








19. Kříž, Karel. Detekce dopravních prostředků a vyhodnocování jejich stavů z videozáznamů křižovatek. *Diplomová práce. Masarykova univerzita*. [Online] 2013. [Citace: 5. červenec 2020.] Dostupné z: https://is.muni.cz/th/rkkql/xkruz8_DP.pdf.
20. Baş, Erhan, Tekalp, A. Murat a Salman, F. Sibel. Automatic Vehicle Counting from Video for Traffic Flow Analysis. *IEEE Intelligent Vehicles Symposium*. [Online] 2007. [Citace: 5. červenec 2020.] Dostupné z: https://www.researchgate.net/profile/F_Salman/publication/4268914_Automatic_Vehicle_Counting_from_Video_for_Traffic_Flow_Analysis/links/00b49527a80043378c000000.pdf.
21. Kaňka, Jan. *Akustika stavebních objektů*. Brno : ERA group spol. s r.o., 2009. 978-80-7366-140-3.
22. ČSN ISO 1996-1 *Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 1: Základní veličiny a postupy pro hodnocení*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
23. ČSN ISO 1996-2 *Akustika – Popis, měření a hodnocení hluku prostředí – Část 2: Určování hladin akustického tlaku*. Praha : Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
24. DataKustik GmbH. *CadnaA – Reference Manual 2020*. Gilching : DataKustik GmbH, 2020.

Seznam příloh

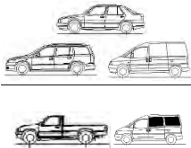

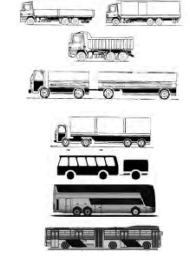

Příloha 1: Záznamový list sčítání dopravy – česká metodika

Příloha 2: Záznamový list sčítání dopravy – evropská metodika

Příloha 1 Záznamový list sčítání dopravy – česká metodika

ZÁZNAMOVÝ LIST SČÍTÁNÍ DOPRAVY					
Datum		Směr		Sčítal	
Komunikace					
Vozidla	Čas				Celkem
Motocykly 					
Osobní automobily + dodávky do 3.5 t 					
					
Lehké a střední nákladní automobily (na podvozcích nákladních automobilů) 					
Těžké nákladní + speciální nákladní automobily + traktory 					
Nákladní soupravy (přívěsové a návěsové) 					
Autobusy 					

Příloha 2 Záznamový list sčítání dopravy – evropská metodika

ZÁZNAMOVÝ LIST SČÍTÁNÍ DOPRAVY - CNOSSOS					
Datum		Směr		Sčítal	
Komunikace					
Vozidla	Čas				Celkem
<p>LEHKÁ MOTOROVÁ VOZIDLA (osobní vozidla, dodávková vozidla ≤ 3,5 tuny, sportovní užitková vozidla (SUV), víceúčelová vozidla (MPV) včetně přívěsů a</p> 					
<p>STŘEDNĚ TĚŽKÁ VOZIDLA (Středně těžká vozidla, dodávková vozidla > 3,5 tuny, autobusy, obytné vozy atd. se dvěma nápravami a dvojicí pneumatik, které se nasazují na zadní nápravu)</p> 					
<p>TĚŽKÁ VOZIDLA (těžká nákladní vozidla, vozidla typu touring, autobusy, jež mají tři a více náprav)</p> 					
<p>MOPEDY dvou-, třía čtyřkolové mopedy</p> 					
<p>MOTOCYKLY s postranním vozíkem i bez něho, tříkolky a čtyřkolky</p> 