

ČESKÉ VYSOKÉ ÚČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Tomáš Kreuzer

NÁVRH OPATŘENÍ K MINIMALIZACI HLUKU
Z DOPRAVY NA MĚSTO MÝTO

Diplomová práce

2016



K612..... Ústav dopravních systémů

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE
(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Tomáš Kreuzer

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Návrh opatření k minimalizaci hluku z dopravy na město Mýto**

Název tématu (anglicky): **Proposing Measures to Minimize Traffic Noise on the Town Mýto**

Zásady pro vypracování

Při zpracování diplomové práce se řiďte osnovou uvedenou v následujících bodech:

- Úvod do problematiky hluku v obci Mýto
- Shrnutí závěrů z bakalářské práce
- Popis a charakteristika širších dopravně – územních vztahů
- Komplexní řešení akustické situace v obci Mýto v kontextu širších dopravně-územních vztahů
- Organizační opatření v dopravě a jejich vliv na akustickou situaci v okolí
- Modelování v programu CADNA A
- Závěr práce, shrnutí, doporučení

Rozsah grafických prací: stanoví vedoucí diplomové práce

Rozsah průvodní zprávy: minimálně 55 stran textu (včetně obrázků, grafů a tabulek, které jsou součástí průvodní zprávy)

Seznam odborné literatury: Nařízení vlády 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
Ládyš, L., Liberko, M.: Výpočet hluku z automobilové dopravy, manuál ŘSD ČR, 2011

TP 104. Technické podmínky: Protihlukové clony pozemních komunikací. Praha: MD ČR, 2008

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Kristýna Neubergová, Ph.D.**
Ing. Libor Ládyš

Datum zadání diplomové práce: **30. června 2015**
(datum prvního zadání této práce, které musí být nejpozději 10 měsíců před datem prvního předpokládaného odevzdání této práce vyplývajícího ze standardní doby studia)

Datum odevzdání diplomové práce: **1. června 2016**
a) datum prvního předpokládaného odevzdání práce vyplývající ze standardní doby studia a z doporučeného časového plánu studia
b) v případě odkladu odevzdání práce následující datum odevzdání práce vyplývající z doporučeného časového plánu studia

prof. Ing. Pavel Příbyl, CSc.
vedoucí
Ústavu dopravních systémů



prof. Dr. Ing. Miroslav Svítek, dr. h. c.
děkan fakulty

Potvrzuji převzetí zadání diplomové práce.

Bc. Tomáš Kreuzer
jméno a podpis studenta

V Praze dne 30. června 2015

Poděkování

Děkuji doc. Ing. Kristýně Neubergové, Ph.D. a Ing. Liboru Ládyšovi za vedení diplomové práce, za cenné rady a připomínky, které mi při zpracování diplomové práce poskytli. Děkuji také za jejich ochotu, pečlivost a veškerý čas, který mi věnovali. Dále děkuji své rodině, která mě podporuje v průběhu celého studia.

Prohlášení

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci zpracovanou na závěr studia na ČVUT v Praze Fakultě dopravní.

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Nemám závažný důvod proti užívání tohoto školního díla ve smyslu § 60 Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne 1. 6. 2016


.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

Návrh opatření k minimalizaci hluku z dopravy na město Mýto

Diplomová práce

2016

Tomáš Kreuzer

ABSTRAKT

Cílem této práce je nalezení vhodného řešení problému s nadměrným hlukem z dopravy na průtahu městem Mýto. V řešení je využito znalostí získaných z terénního měření, které bylo provedeno v rámci bakalářské práce. Navrhovaný akustický stav ve městě je modelován v softwaru CadnaA. Nalezené řešení zajišťuje efektivní snížení hladiny hluku na průtahu městem pomocí vybraných konkrétních protihlukových opatření. Výsledky této práce mohou být užitečné pro představu, jak lze řešit problematiku s nadměrným hlukem z dopravy na průtazích obcí a měst.

KLÍČOVÁ SLOVA

Hluk, hluk v dopravě, výpočet hluku, modelování hluku v softwaru CadnaA, snižování hluku.

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

Proposing Measures to Minimize Traffic Noise on the Town Mýto

Diploma thesis

2016

Tomáš Kreuzer

ABSTRACT

The aim of this thesis is to find out a suitable solution of excessive traffic noise on the through road in the town Mýto. The knowledge gained from the outdoor measurement made in bachelor thesis is used in the solution. The suggested acoustic condition in the town is simulated in the CadnaA software. The suggested solution provides the effective noise abatement using particular measures against noise. The results of this thesis can be helpful for the vision of how to solve problems with excessive traffic noise on through roads of cities.

KEY WORDS

Noise, noise in traffic, noise calculation, simulating of traffic noise in CadnaA software, noise abatement.

OBSAH

1 Úvod	9
2 Problematika hluku.....	10
2.1 Akustika	10
2.1.1 Základní pojmy akustiky.....	11
2.1.2 Legislativa.....	14
2.2 Metodika výpočtu hluku.....	16
2.2.1 Česká výpočtová metodika	16
2.2.2 Německá metodika Schall03	18
2.3 Protihluková opatření.....	20
2.4 Mýtný systém v ČR.....	25
3 Posuzovaná lokalita	27
3.1 Popis zájmového území	27
3.2 Problematika hluku z dopravy ve městě Mýto	28
4 Modelování akustické situace v území	36
4.1 Příprava modelu	36
4.1.1 Mapové podklady.....	36
4.1.2 Ostatní nastavení softwaru	39
4.2 Kalibrace výpočtového modelu	42
4.2.1 Kalibrace modelu pro silnici II/605.....	43
4.2.2 Kalibrace modelu pro železnici	46
4.3 Stávající akustická situace.....	47
4.4 Výhledový stav akustické situace	49
4.4.1 varianta neuvažující nákladní vozidla.....	49
4.4.2 Varianta reálného řešení hluku z dopravy	52

5	Výsledky výpočtu a vyhodnocení	57
6	Závěr	62
7	Seznam tabulek	64
8	Seznam příloh.....	65
9	Seznam obrázků.....	66
10	Seznam použité literatury a zdrojů	68
11	Seznam použitého softwaru	70

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

RPDI	Roční průměr denních intenzit
OA	Osobní automobil
NA	Nákladní automobil
NV	Nákladní vozidlo
ŘSD	Ředitelství silnic a dálnic
ČSN	Česká technická norma
SHZ	Stará hluková zátěž
DSRC	Mikrovlnná komunikace - Dedicated Short Range Comunication
OBU	Palubní jednotka - On Board Unit
JTSK	Jednotná trigonometrická síť katastrální
ČÚZK	Český úřad zeměměřičský a katastrální

1 ÚVOD

Rozvoj dopravy má bezesporu spoustu pozitiv, zejména co do mobility obyvatelstva a dostupnosti. Potřeba existence komfortní dopravy, kdy největší důraz je kladen na rychlost a cenovou dostupnost, bývá často prioritou. Technologický pokrok a vývoj nejrůznějších telematických aplikací také zvyšuje bezpečnost a plynulost dopravy. V 21. století se však v důsledku rostoucího počtu osobních a nákladních vozidel musí řešit i negativní stránka dopravy.

Doprava produkuje značné množství znečišťujících látek neboli polutantů a zatěžuje obyvatele nadměrným hlukem. Je významným zdrojem emisí a skleníkových plynů a dalších škodlivin. Tyto negativní složky dopravy se nejen podílejí na zhoršení kvality životního prostředí, ale především na poškození zdraví obyvatelstva.

Předmětem této diplomové práce je konkrétní řešení problému týkajícího se nadměrného zatěžování obyvatel města Mýta hlukem z dopravy na průtažné pozemní komunikaci II/605 vedoucí z Prahy do Plzně, která slouží jako doprovodná silnice k přilehlé dálnici D5 a slouží také jako objízdná trasa využívaná kvůli finančním úsporám vznikajících z neplacení mýtného na dálnici. Diplomová práce vychází z výsledků terénního měření na třech vybraných kontrolních stanovištích ve městě Mýto a ze závěrů bakalářské práce.

Cílem práce je komplexnější řešení problémů vyvstávajících z nadměrného dopravního hluku zjištěného ve městě Mýto. Z hlediska akustiky je hledán takový výhledový stav, díky kterému dojde k výraznému zlepšení celé situace ve městě. Při hledání optimální varianty návrhu ke zlepšení akustické situace je použit modelovací software CadnaA, jenž bude kalibrován hodnotami z terénního měření z bakalářské práce. Software CadnaA se v praxi využívá pro výpočet a modelování akustických studií nezbytných pro plánování v dopravě. Je zřejmé, že pro predikci akustického stavu nelze využít terénního měření, ale výpočtu.

Město Mýto bylo vybráno jako vzorový příklad města, kde je požadován odklon tranzitní nákladní dopravy využívající doprovodné silnice vedoucí skrze centrum města na přilehlou dálnici, která je pro tranzitní dopravu určena. Výhledový akustický stav by tedy měl poukazovat na změnu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v závislosti na vybraných protihlukových opatřeních majících vliv na zlepšení situace ve městě. Dílčím cílem práce je vymezení tranzitní dopravy v řešené lokalitě a její vliv na celkovou úroveň hladiny hluku na průtažné silnici.

2 PROBLEMATIKA HLUKU

2.1 AKUSTIKA

„Akustika je definována jako věda zabývající se fyzikálními ději, které jsou spojeny se vznikem zvukového vlnění, jeho dalším šířením a vnímáním zvuku sluchovým orgánem. Vlnění hmotného prostředí, o jehož existenci se můžeme přesvědčit sluchem, se v běžné řeči i ve fyzice nazývá zvuk“ [15]. Podstatou zvuku je mechanické kmitání pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 16 až 20 000 Hz.

Akustiku lze dělit podle různých společenských odvětví [15]:

- fyzikální akustika – zabývá se způsobem vzniku a šíření zvuku, dále se zabývá odrazivostí a pohltivostí zvuku v různých materiálech,
- hudební akustika – studuje zvuky včetně jejich kombinací s ohledem na potřebu hudby,
- fyziologická akustika – zabývá se vznikem zvuku v hlasovém orgánu člověka a jeho vnímání v sluchovém orgánu,
- stavební akustika – zkoumá kvalitní podmínky poslechu hudby a řeči v obytných místnostech a sálech,
- elektroakustika – zabývá se záznamem, reprodukcí a šířením zvuku s využitím elektrického proudu.

Pro potřeby této diplomové práce má zásadní význam akustika fyzikální. V souvislosti s dopravou a měřením akustické situace z dopravy zavádíme pojem hluk. *„Hluk je definován jako zvuk, který člověka poškozuje (na zdraví, majetku nebo na životním prostředí), ruší nebo obtěžuje.“* [15] Pojem hluk je ovšem subjektivní, protože každý člověk vnímá identický zvuk jiným způsobem, kdy pro někoho může být daný zvuk obtěžující a pro jiného ještě přijatelný.

2.1.1 ZÁKLADNÍ POJMY AKUSTIKY

Při řešení akustické studie v dopravě se nejvíce používá ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$, která je podle českých norem vztažena na 16 hodin ve dne ($T = 16$ h) a 8 hodin v noci ($T = 8$ h). Toto jednotné rozdělení podle počtu hodin pro den a noc umožňuje získané hodnoty porovnávat s limitními hodnotami podle hygienických předpisů. Pokud ovšem v řešené lokalitě potřebujeme zjistit podíl jednoho druhu dopravy (např. průjezdy vlaků), je vhodně užití hladiny zvukové expozice SEL.

2.1.1.1 EKVIVALENTNÍ HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU

Z hlediska závislosti hladiny akustického tlaku na čase se rozlišují následující druhy zvuku:

- ustálený zvuk – zvuk, u něhož je výchylka akustického tlaku menší než 5 dB,
- proměnný zvuk – zvuk, u něhož je výchylka akustického tlaku větší než 5 dB,
- proměnný přerušovaný zvuk – zvuk, který je po většinu času ustálený, ale v krátkých časových okamžicích se náhle mění.

Pro případy, kdy se zvuk výrazněji mění s časem, se zavádí ekvivalentní hladina akustického tlaku. Tímto pojmem je definována ustálená hladina akustického tlaku, která má na člověka stejný účinek jako proměnný zvuk během stejného časového úseku. Výpočet hladiny akustického tlaku A je dán následujícím vztahem (1).

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \log \left[\frac{1}{T} \int_0^T \frac{p^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right] \quad (1)$$

T časový interval [s]

$p(\tau)$ okamžitý akustický tlak [Pa]

p_0 referenční akustický tlak [Pa]

“Nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku A je ekvivalentní hladina akustického tlaku A , stanovená příslušnými předpisy” [1]. Linie, která spojuje místa o stejných hodnotách hladin akustického tlaku je označována jako izofona.

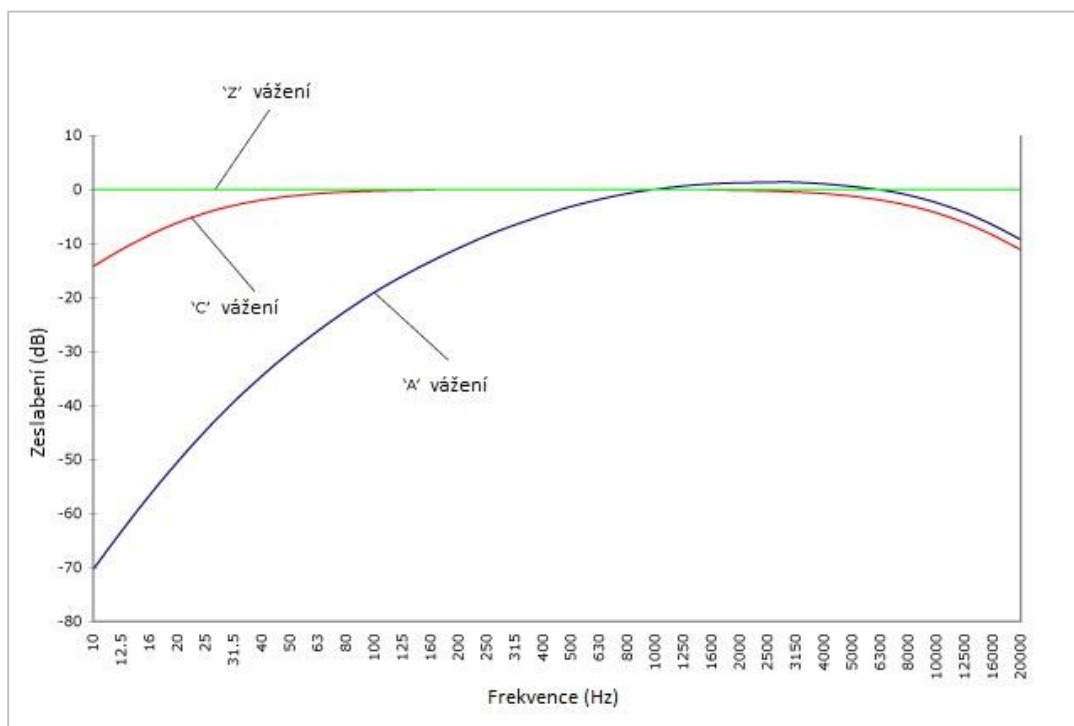
2.1.1.2 HLADINA ZVUKOVÉ EXPOZICE SEL

Používá se při hodnocení proměnného zvuku. Z hygienického hlediska se zavádí sekundová hladina expozice, která je vztažena pouze na čas jedné sekundy místo doby celého sledovaného úseku [15]. Počítá se dle vztahu (2).

$$SEL = 10 \cdot \log \left[\int_0^T \frac{p^2(\tau)}{p_0^2} d\tau \right] \quad (2)$$

2.1.1.3 VÁHOVÉ FILTRY

„Váhové filtry se používají k přepočítávání skutečně naměřených hodnot hladin zvuku na jiné hodnoty hladin zvuku z důvodu zkreslené citlivosti lidského sluchu při různých kmitočtech.“ [15] Pro potřeby měření a vyhodnocování hladin zvuku se nejvíce využívá váhový filtr typu A. Kromě váhového filtru typu A existují ještě váhové filtry typu C a Z. Všechny zvukoměry v praxi musí být vybaveny některým z váhových filtrů. Pro všechny typy váhových filtrů se zavádějí tzv. korekce, aby výsledná hladina zvuku byla přepočtena takovým způsobem, jakým jí vnímá lidský sluch. Frekvenční závislosti korekcí filtrů A, C a Z jsou vykresleny na následujícím obrázku.



Obr. 1: Průběhy váhových křivek filtrů typů A, C a Z [22]

Váhový filtr A silně zeslabuje nízké a částečně také vysoké frekvence. Ve frekvenční oblasti 1—6 kHz je lidské ucho nejcitlivější, a proto jsou v tomto frekvenčním rozsahu téměř nulové korekce. Pro hladinu akustického tlaku váženou filtrem typu A platí následující vztah (3) [15].

$$L_{pA} = 10 \cdot \log \sum_{i=1}^n 10^{\frac{L_{pi} + K_{Ai}}{10}} \quad (3)$$

L_{pA} hladina akustického tlaku vážená filtrem typu A

L_{pi} hladina akustického tlaku v příslušném pásmu

K_{Ai} korekce při dané střední frekvenci v daném pásmu

Váhový filtr C mírně zeslabuje nízké a vysoké frekvence.

Váhový filtr Z se vyznačuje tím, že je bez korekcí. Funkce tohoto váhového filtru je lineární a v celém frekvenčním rozsahu nulová.

2.1.1.4 ODRAZ ZVUKU, POHLTIVOST

„V důsledku toho, že při dopadu zvukového vlnění na překážku (např. stěna) část zvukové energie proniká do druhého prostředí a zbytek se od překážky odráží podle zákona odrazu, je intenzita odraženého (reflektovaného) vlnění vždy menší než intenzita vlnění dopadajícího na stěnu.“ [6] Při výpočtech hluku se využívá tohoto poznatku. U protihlukových clon a u fasád obytných budov se volí absorpční koeficient α . Tento koeficient se vypočítá podle vztahu (4).

$$\alpha = \frac{I_a}{I_0} \quad (4)$$

α Absorpční koeficient, $\alpha = (0; 1)$

I_a Intenzita pohlceného zvukového vlnění [$W \cdot m^{-2}$]

I_0 Intenzita dopadajícího zvukového vlnění [$W \cdot m^{-2}$]

Pokud je hodnota koeficientu α rovna jedné, znamená to, že veškerá akustická energie proniká do druhého prostředí. Naopak nulová hodnota koeficientu α vyjadřuje, že všechna akustická energie je od druhého prostředí odražena.

Obdobným způsobem lze vypočítat koeficient reflexe. Jedná se o poměr odraženého zvukového vlnění k dopadajícímu zvukovému vlnění. Koeficient reflexe r se vypočítá dle vztahu (5).

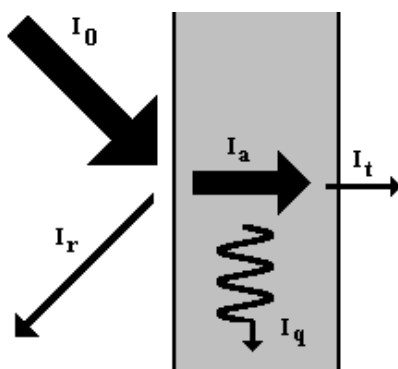
$$r = \frac{I_r}{I_0} \quad (5)$$

r Koeficient reflexe, $r = (0; 1)$

I_a Intenzita odraženého zvukového vlnění [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

I_0 Intenzita dopadajícího zvukového vlnění [$\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$]

Schematické znázornění rozdělení intenzity zvuku při dopadu na stěnu je ilustrován na obrázku 2. Veličina I_q představuje intenzitu vlnění přeměněnou ve stěně a intenzita I_t je vlnění, které projde stěnou.



Obr. 2: Schematické rozdělení intenzity zvuku při dopadu na stěnu [6]

Pro fasády obytných domů a také u protihlukových stěn se volí materiál s absorpčním koeficientem α s hodnotou 0,21.

2.1.2 LEGISLATIVA

Platná legislativa ČR rozlišuje regulativy pro oblast emisí a regulativy pro oblast imisí. V prvním případě se jedná zejména o české technické normy, které stanovují mezní hodnoty, deskriptory, atd. Další regulativ pro emisní oblast je nařízení vlády č. 342/2003 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 9/2002 Sb., kterým se stanoví technické požadavky na výrobky z hlediska emisí hluku.

Hlavním regulativem pro imisní oblast je **zákon č. 258/2000 Sb.**, o ochraně veřejného zdraví. Tento zákon řeší hluk ve čtyřech vybraných paragrafech (§ 30, § 31, § 32a, § 33). Paragraf 30 nařizuje, kdo je povinen zajistit, aby hluk nepřekračoval hygienický limit, dále vymezuje pojem hluk a chráněný venkovní a vnitřní prostor. V § 31 jsou uvedeny podmínky udělení časově omezeného povolení při překračování hygienických limitů. Následující § 32a uvádí, že měření hluku v životním prostředí člověka může provádět pouze držitel osvědčení o akreditaci nebo držitel autorizace podle § 83c. Paragraf 33 nařizuje, že v chráněných vnitřních prostorách nesmějí být instalovány stroje a zařízení o základním kmitočtu od 4 do 8 Hz. Zákon č. 258/2000 Sb. byl v roce 2015 novelizován a nově je pro oblast hluku a vibrací důležitý také § 77, kde jsou uvedeny další povinnosti osob v ochraně veřejného zdraví.

Dalším důležitým regulativem je nařízení vlády č. 272/2011 Sb., který stanovuje základní limitní hladiny hluku. Zákony, které se také týkají problematiky hluku, jsou zákon č. 76/2002 Sb., o integrované prevenci a omezení znečištění a zákon č. 100/2001 Sb., o posuzování vlivu na životní prostředí.

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. V tomto dokumentu jsou obsaženy všechny limitní hodnoty pro ekvivalentní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ a také různé druhy korekcí. „*Pro hluk z dopravy na pozemních komunikacích, s výjimkou účelových komunikací, a drahách a pro hluk z leteckého provozu se ekvivalentní hladina akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ stanoví pro celou denní ($L_{Aeq,16h}$) a celou noční dobu ($L_{Aeq,8h}$)*“ [8]. V následující tabulce jsou uvedeny korekce pro stanovení hygienických limitů hluku v chráněném venkovním prostoru¹. Základní limit je pro den $L_{Aeq,16h} = 50$ dB a pro noc $L_{Aeq,8h} = 40$ dB.

¹ „*Chráněným venkovním prostorem staveb se rozumí prostor do vzdálenosti 2 m před částí jejich obvodového pláště.*“ [9]

Tab. 1: Korekce pro stanovení limitů hluku [8]

Druh liniového zdroje hluku	Korekce [dB]
Silnice III. třídy a místní komunikace III. třídy, dráha	+5
Dálnice, silnice I. a II. třídy a místní komunikace I. a II. třídy, ochranné pásmo dráhy	+10
Stará hluková zátěž (SHZ)	+20

„Pro noční dobu se pro chráněný venkovní prostor staveb přičítá další korekce -10 dB, s výjimkou hluku z dopravy na železničních dráhách, kde se použije korekce -5 dB.“ [8] Starou hlukovou zátěží se rozumí akustický stav způsobený silniční a železniční dopravou, který nastal před datem 1. 1. 2001. Tento specifický limit byl stanoven proto, aby se u starých pozemních komunikací dosáhlo snadného splnění limitu bez nutnosti zásadních stavebních úprav a nákladných investic. Korekce pro SHZ je +20 dB a tím je limit pro denní dobu 70 dB. Limit je i přes tuto vysokou korekci v řadě případů překračován a podle odborných zdravotnických vyjádření má hluk na úrovni 70 dB již trvalé negativní účinky na zdraví člověka.

2.2 METODIKA VÝPOČTU HLUKU

Pro výpočet a modelování hluku z automobilové dopravy se v ČR používá česká výpočtová metodika. Pro výpočet hluku z železniční dopravy se v ČR používá nejčastěji německá výpočtová metodika Schall03.

2.2.1 ČESKÁ VÝPOČTOVÁ METODIKA

„Obecně platí, že hluk ze silniční dopravy závisí na intenzitě, skladbě, rychlosti a plynulosti dopravy, dále na podélném sklonu nivelety, druhu a stavu vozovky, okolní zástavbě, konfiguraci terénu, stínění, odrazech zvuku, meteorologických podmínkách.“ [1]

Přehled o akustické situaci v daném území lze zjistit výpočtem nebo měřením. Při výpočtu se v současné době využívá manuálu z roku 2011 „Výpočet hluku z automobilové dopravy – Manuál 2011“ (dále jen Manuál 2011). Tato diplomová práce se zabývá výpočtem akustické situace ve městě Mýto pomocí digitálního 3D modelu v prostředí výpočtového softwaru CadnaA. Vstupními parametry pro správné nastavení modelu jsou výsledky měření zjištěné v rámci bakalářské práce. Tím je

zajištěna požadovaná kalibrace modelu, ve kterém budou zahrnuty podmínky v době provedení měření. Měřením nelze získat výhledový stav, pouze současný stav závislý na aktuálních podmínkách provozu, meteorologických podmínkách atd.

2.2.1.1 ALGORITMUS VÝPOČTU DLE ČESKÉ VÝPOČTOVÉ METODIKY

„Algoritmus výpočtu se vztahuje k výpočtu hodnot ekvivalentní hladiny akustické tlaku L_{Aeq} v zadaných bodech (imisních místech).“ [1] Algoritmus výpočtu hluku z automobilové dopravy je uveden v Manuálu 2011. Algoritmus výpočtu podle české výpočtové metodiky pracuje v následujících krocích.

- 1) Homogenizace podmínek výpočtu – jedná se především o rozdělení pozemní komunikace na jednotlivé sekce, které mají stejné parametry (šířkové a výškové vedení, atd.).
- 2) Stanoví se faktory F_1 , F_2 , F_3 . Faktor F_1 vyjadřuje vliv rychlosti dopravního proudu a zastoupení osobních vozidel, nákladních vozidel a nákladních souprav s různými hlukovými limity v dopravním proudu na hodnoty L_{Aeq} . Faktor F_2 vyjadřuje vliv podélného sklonu nivelety komunikace na hodnoty L_{Aeq} . Faktor F_3 vyjadřuje vliv povrchu vozovky na hodnoty L_{Aeq} . Součinem všech těchto faktorů získáme základní výpočtovou veličinu X.

$$X = F_1 \cdot F_2 \cdot F_3 \quad (6)$$

Emisní veličina Y, která je určena jako L_{Aeq} ve vzdálenosti 7,5 m od osy nejbližší komunikace sloužící jako pomocná výpočtová veličina, se určí následujícím způsobem.

$$Y = 10 \cdot \log X - 10,1 \text{ [dB]} \quad (7)$$

- 3) Základní ekvivalentní hladina se vypočítá odečtením útlumu U od pomocné výpočtové veličiny Y.

$$L_X = Y - U \text{ [dB]} \quad (8)$$

Uvažujeme útlum šířením hluku nad terénem se zahrnutím délky úseku, útlum hluku překážkou nebo konfigurací terénu, vliv přilehlé zástavby, narušování plynulosti dopravního proudu, vliv zeleně a také meteorologickou situací.

Pro získání výsledné hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A je potřeba ještě odečíst jednotlivé korekce dle vztahu (9).

$$L_X = Y - U(+D_n) \text{ [dB]} \quad (9)$$

D_n představuje souhrn jednotlivých korekcí.

- D_U - korekce s ohledem na délku komunikace, která vstupuje do výpočtu
- D_B – korekce pro útlum hluku bariérou
- D_Z – korekce na vliv zástavby
- D_P – korekce pro narušování plynulosti dopravního proudu (např. přechod pro chodce)
- D_L – korekce pro vliv zeleně
- vliv meteorologické situace

2.2.2 NĚMECKÁ METODIKA SCHALL03

Akustické parametry byly generovány v souladu s německou výpočtovou metodikou Schall03.

Při výpočtu pomocí této metodiky jsou zahrnuty následující vlivy, kterým jsou přiřazeny korekce:

- vliv druhu vozidel (odpovídá faktoru D_{FZ} [dB])
- vliv použitých brzd (odpovídá faktoru D_D [dB])
- vliv délky vlaku (odpovídá faktoru D_{DL} [dB])
- vliv rychlosti vlaku (odpovídá faktoru D_V [dB])
- aerodynamický vliv (odpovídá faktoru D_{Ae} [dB])

Emisní hladina akustického tlaku A se podle metodiky Schall03 stanoví podle vztahu (10).

$$L_{m,E} = 10 \cdot \log \left[\sum_i 10^{0,1 \cdot (51 + D_{FZ} + D_D + D_{DL} + D_V + D_{Ae})} \right] + K_{Schall} \quad (10)$$

$L_{m,E}$ emisní hladina akustického tlaku A ve vzdálenosti 25 m od osy koleje [dB]

K_{Schall} korekce [dB]

Ostatní faktory odpovídají vlivům, které jsou zahrnuty ve výpočtu (viz výše) a jsou rovněž uváděny v dB.

Faktor použitých brzd se vypočte podle $D_D = 10 \cdot \log(5 - 0,04 \cdot p)$ [dB], kde hodnota p vyjadřuje procentuální využití kotoučových brzd na délce vlaku.

Faktor rychlosti vlaku se vypočte jako $D_V = 20 \cdot \log(0,01 \cdot V)$ [dB], kde V je přípustná traťová rychlost úseku v $\text{km} \cdot \text{h}^{-1}$. Pro vlaky, které touto rychlostí nesmějí jet, je stanovena příslušná hodnota.

Korekce v německé výpočtové metodice Schall03 [7].

- 1) Korekce typu kolejového svršku D_{Fb} .

Tab. 2: Korekce typu kolejového svršku [7]

	Kolejový svršek	Korekce D_{Fb} [dB]
1	Nízkopodlažní vůz – tramvaj	- 2
2	Štěrkové lože – dřevěné pražce	0
3	Štěrkové lože – betonové pražce	2
4	Zpevněný povrch jízdní dráhy	5

- 2) Korekce v případě, že se železnice nachází na mostě $D_{Br} = 3$ dB
- 3) Korekce železničního přejezdu $D_{Bü} = 5$ dB.
- 4) Korekce směrového oblouku D_{Ra} .

Tab. 3: Korekce směrového vedení trati [7]

	Poloměr směrového oblouku [m]	Korekce D_{Ra} [dB]
1	< 300	8
2	300 až 500	3
3	≥ 500	0

2.3 PROTIHLUKOVÁ OPATŘENÍ

Aby byl v některých případech splněn hygienický limit způsobený emisemi hluku, je potřeba uchýlit se k některému z opatření vedoucímu k minimalizaci nadměrné hlukové zátěže. Dopravní hluk lze eliminovat už u samotného zdroje hluku nebo v cestě mezi zdrojem hluku a imisním bodem, kde je požadována určitá hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A. Existuje více možností, jak lze snížit hladinu akustického tlaku způsobenou dopravou. Vždy je důležité volit takové řešení, které bude nejpříznivější z hlediska ekologického, ale také ekonomického. Kromě správné funkčnosti opatření se u některých opatření přihlíží také na estetičnost provedení. Mezi hlavní protihluková opatření patří:

- **Protihlukové clony** – využívají se v opodstatněných případech, kdy pro jejich vybudování je potřeba dostatek místa. Jsou navrhovány tak, aby zvukové vlnění nejen odrážely, ale také pohlcovaly. Důležité je i estetické provedení protihlukových clon, aby svým zásahem nehydily krajinný ráz. Při projektování protihlukových stěn se hledá vhodná výška a délka a také vhodný materiál clony. Mezi protihlukové clony se řadí také protihlukové valy, které bývají často kombinovány s protihlukovými stěnami a zelení.

„Protihlukové stěny musí zajistit vzduchovou neprůzvučnost, zvukovou pohltivost, musejí být pevné a stabilní, trvanlivé, musejí odpovídat hlediskům pasivní dopravní bezpečnosti a dobře esteticky působit.“ [14] Z hlediska pohltivosti se protihlukové stěny dělí na kategorie [14]:

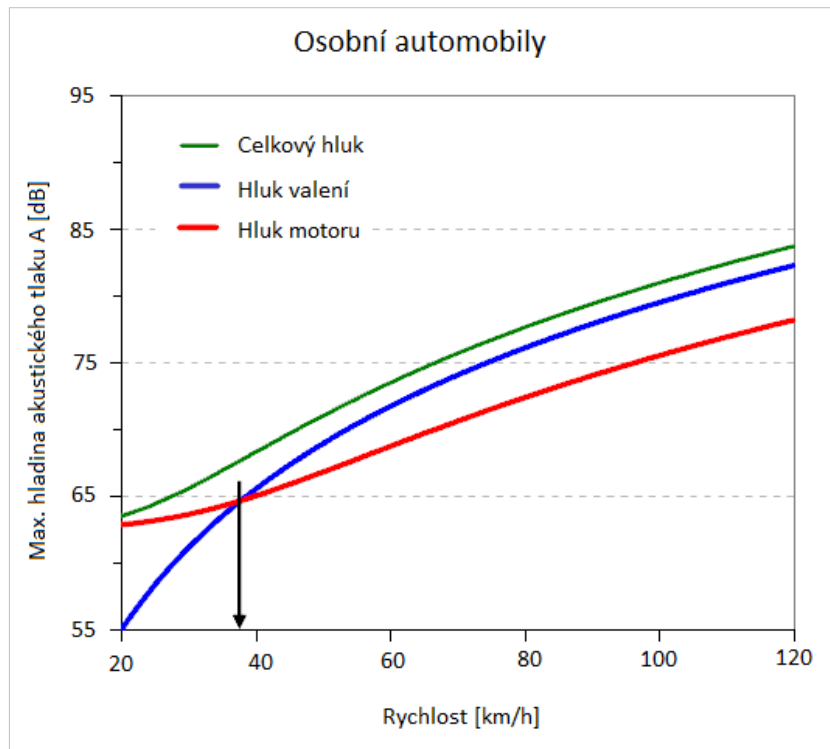
- odrazivé stěny – snižují hladinu akustického tlaku o méně než 4 dB,
- absorpční stěny – snižují hladinu akustického tlaku o 4 až 8 dB,
- vysoce absorpční stěny – snižují hladinu akustického tlaku o více než 8 dB.

„Určení zvukové pohltivosti protihlukových stěn je deklarováno dle ČSN EN 1793-1:1997. Pro hodnocení zvukové pohltivosti protihlukových stěn byla zavedena jednočíslná hodnota DL_{α} [dB], podle které jsou protihlukové stěny rozčleněny do pěti kategorií.“ [14]

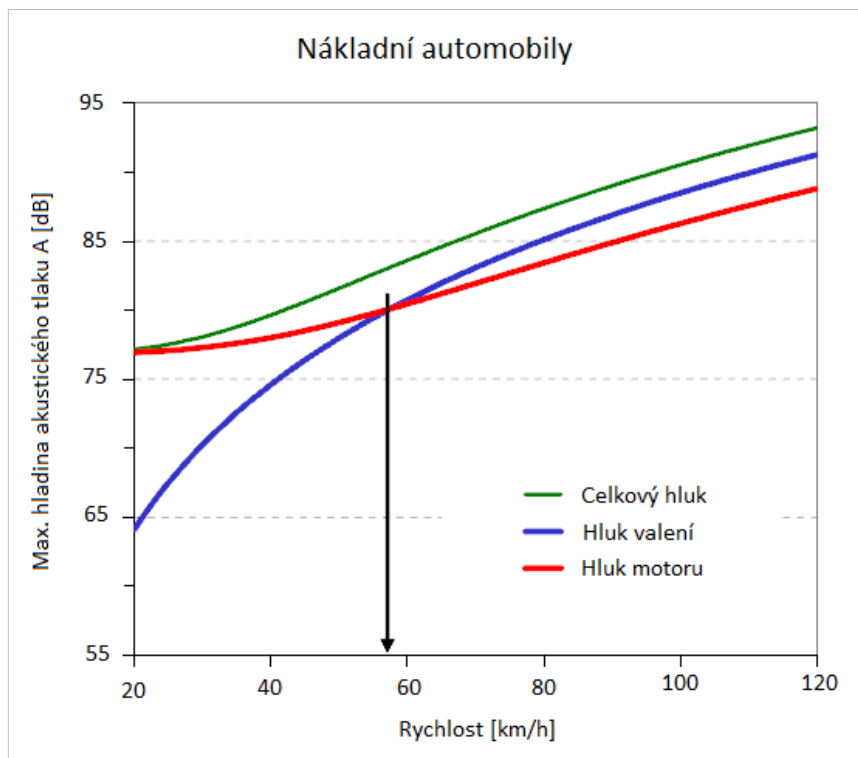
Tab. 4: Kategorie zvukové pohltivosti u protihlukových stěn [14]

Kategorie	Zvuková pohltivost DL_{α} [dB]
A0	Neurčeno
A1	<4
A2	4-7
A3	8-11
A4	>11

- Organizačně dopravní opatření** – Rychlost dopravního proudu ovlivňuje hladinu akustického tlaku. Pro efektivní snížení rychlosti na daném úseku je vhodné např. umístění stacionárního radaru s kamerovým dohledem zaznamenávajícím okamžitou rychlost projíždějících vozidel, který bude snímat SPZ vozidel jedoucích rychleji než je povolená rychlost. Na průtazích obcí a měst je vhodné aplikovat vynucené snížení rychlosti stavebními úpravami ve formě zúžení vozovky nebo snížením počtu jízdních pruhů. Toto opatření nutí jet řidiče obezřetněji a to vede ke snížení rychlosti vozidel. Problém předimenzovaných šířek jízdních pruhů je na většině průtahů měst v ČR. Závislost hladiny akustického tlaku ve vzdálenosti 7,5 m od osy komunikace na rychlosti je znázorněna na následujících obrázcích zvlášť pro osobní a zvlášť pro nákladní automobily. U nákladních automobilů převládá hluk motoru od rychlosti přibližně pod $60 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$, zatímco u osobních automobilů dominuje tento hluk při rychlostech pod $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Od těchto rychlostí výše převládá valivý hluk společně s hlukem aerodynamickým.



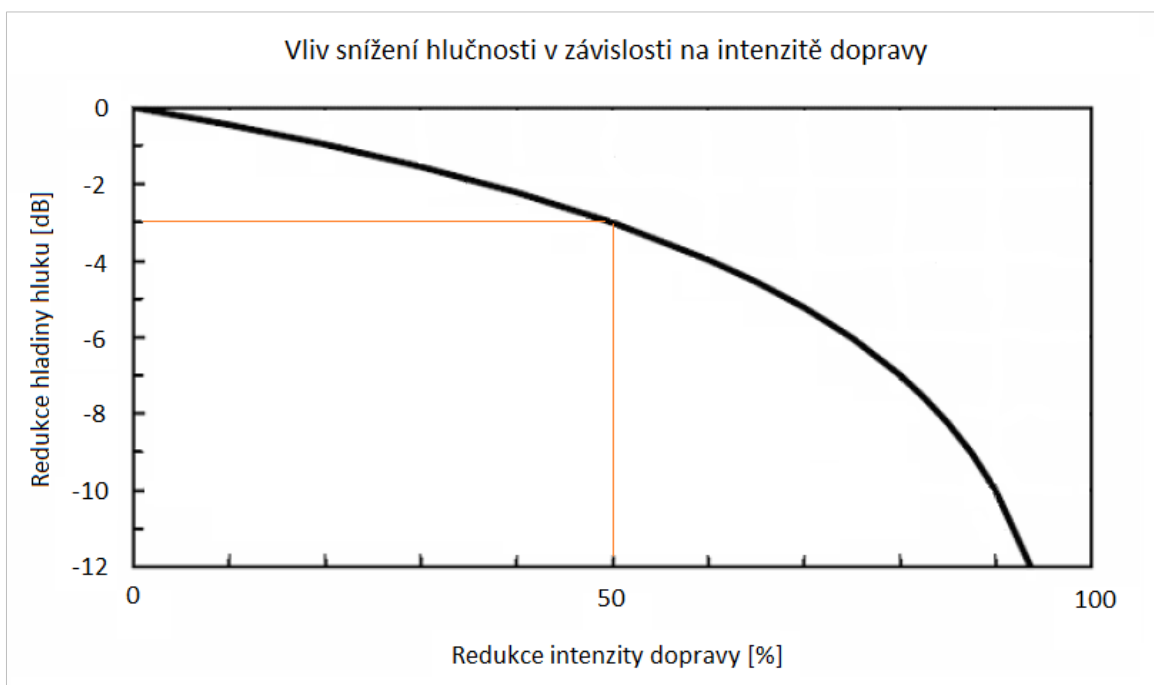
Obr. 3: Závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti pro OA [2]



Obr. 4: Závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti pro NA [2]

Vliv na redukci hluku má také snižování intenzity dopravy. Platí pravidlo, že redukce intenzity dopravy na polovinu při procentuálním zachování skladby dopravního proudu, má za následek snížení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A přibližně o 3 dB. Tento případ redukce hladiny akustického tlaku však není efektivní. Stejně tak se jedná o opatření nereálné, neboť intenzitu dopravního proudu při jejím růstu nelze eliminovat takovou mírou, aby se to projevilo na redukci hladiny akustického tlaku. V této práci bude řešena redukce intenzity dopravy pouze pro případ nákladních automobilů na průtahu městem, kdy právě tento druh dopravy bude přesunut na dálniční síť.

Závislost snížení hladiny hluku na intenzitě dopravy je graficky znázorněn na následujícím obrázku.



Obr. 5: Závislost snížení hladiny hluku na intenzitě dopravy [2]

- **Výměna povrchu vozovky** – Nezanedbatelnou složkou vznikající hlukové zátěže je emise hluku vznikající v místě styku pneumatiky s vozovkou. Valivý hluk se stává dominantním při rychlostech 30-40 km·h⁻¹. Při využití speciální technologie konstrukčních vrstev vozovky snižující hladinu akustického tlaku lze dosáhnout útlumu o 4 až 8 dB.

Tab. 5: Protihlukové opatření obrusné vrstvy vozovky [20]

Protihlukové opatření obrusné vrstvy	Útlum [dB]
Nátěrové technologie	2–3
Vymývaný beton	2–3
Protihlukové tenké asfaltové koberce	3
Protihlukový asfaltový koberec mastixový	5–6
Asfaltový koberec drenážní	6–8

Při použití jednotlivých technologií je třeba brát v úvahu, zda je dané opatření prováděné v intravilánu nebo extravilánu. Mimo obec lze využívat prakticky všechny typy opatření obrusných vrstev vozovky. V obcích je situace složitější a je třeba uvažovat podmínky pro danou konkrétní situaci. V těchto případech se uvažuje obrusná vrstva s upravenou texturou pro lepší odolnost proti mechanickému účinku, který je například způsoben častou akcelerací a brzděním vozidel. Proto se v obcích nejčastěji používají upravené asfaltové koberce mastixové nebo některé tenkovrstvé úpravy.

- **Zeleň** – Nejedná se o efektivní způsob snižování hladiny akustického tlaku, navíc pro znatelný útlum je zapotřebí velký prostor. Zeleň také musí být hustá ve všech výškových úrovních, aby nebyl umožněn průhled. Velké pozitivum u tohoto opatření je však estetičnost.
- **Protihluková okna** – Existují speciální druhy oken s útlumem až o hodnotu 40 dB i více, tyto varianty jsou ovšem velmi finančně nákladné. Nejčastěji se používají protihluková okna s útlumem do 20 dB. Některé studie uvádějí, že pro klidný, dlouhodobý spánek by neměla hladina akustického tlaku v ložnici překračovat 25 dB [11].
- **Organizační změny v bytě** – Podstatou toho opatření je vliv orientace obytných místností na odlehlé straně od hlučné komunikace. Nevýhodou tohoto opatření je, že se dá uplatnit hlavně u nově vznikající obytné zástavby, kdy je zřejmé, která část budovy bude podléhat větší hlučné zátěži. Obytné místnosti a zejména místnosti určené pro přespávání osob jsou potom orientovány na takovou stranu zástavby, kde je hladina akustického tlaku nejnižší.

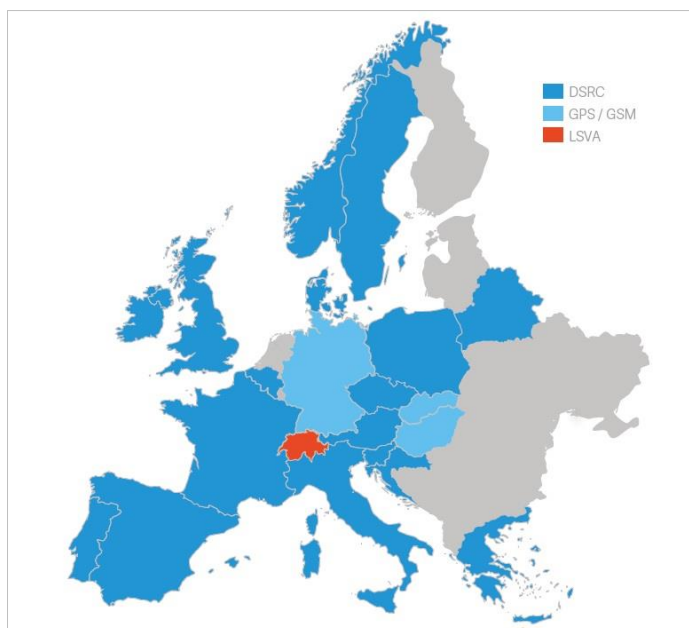
Kombinací výše uvedených opatření může dojít ke značnému útlumu nežádoucího hluku. Některá opatření jsou finančně náročná, některá méně náročná. Stěžejní část této práce řeší problematiku hluku na průtahu. Nejedná se ovšem pouze o dopravní hluk, ale i o zvýšenou prašnost a celkové znečištění ovzduší vznikající nadměrným množstvím vozidel, zejména velkým množstvím nákladních automobilů.

V rámci této práce je modelován současný stav akustické situace ve městě Mýto, zároveň ale je hledán takový výhledový akustický stav, který bude mít na obyvatele města nejmenší dopad.

Tento výhledový stav bude řešit snížení počtu nákladních vozidel na průtažné pozemní komunikaci II/605, čímž dojde k přemístění nákladních automobilů, které nemají ve městě zdroj ani cíl, na dálnici D5. Zároveň je modelován stav, kdy dojde k zúžení jízdních pruhů na průtahu a tím dojde k poklesu rychlosti a vyšší bezpečnosti ve městě. Nárůstem nákladní dopravy na dálnici D5 bude ve výhledovém stavu také uvažována rozšířená stávající protihluková stěna u dálnice D5.

2.4 MÝTNÝ SYSTÉM V ČR

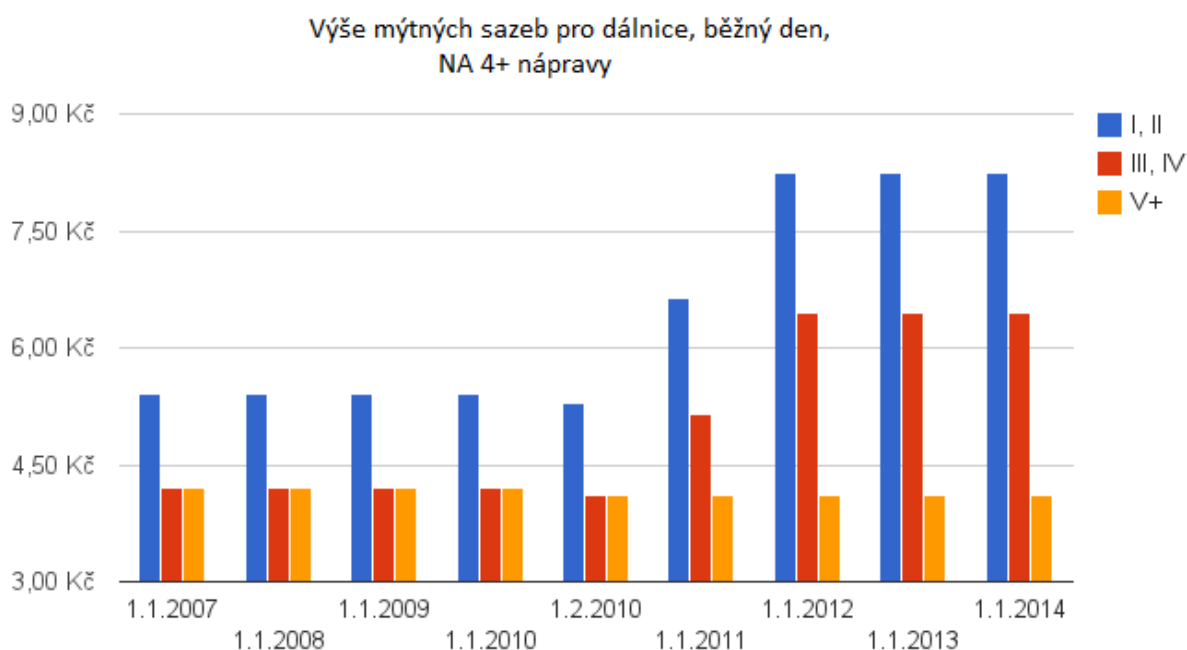
V České republice se jako ve většině Evropských států využívá technologie DSRC (Dedicated Short Range Communication) s mikrovlnnou komunikací krátkého dosahu mezi palubní jednotkou (OBU) a zařízením na infrastruktuře. Tato technologie se používá ke zpoplatnění páteřních pozemních komunikací s vysokou intenzitou provozu.



Obr. 6: Technologie mýtných systémů v Evropě [19]

System byl v ČR spuštěn 1. 1. 2007 a týkal se všech vozidel o celkové hmotnosti vyšší než 12 tun. O 3 roky později v roce 2010 byla novelou zákona stanovena změna v povinnosti platit mýto pro všechna vozidla s celkovou hmotností nad 3,5 tuny.

Sazbu mýtného za užití jednoho kilometru zpoplatněné pozemní komunikace stanovuje nařízení vlády ČR č. 484/2006 Sb., změna č. 272/2007 Sb., 26/2010 Sb., 415/2015 Sb., 243/2011 Sb., 354/2011 Sb. a 352/2012 Sb. Vývoj sazeb mýtného od jeho zavedení je znázorněn na následujícím grafu.



Obr. 7: Sazba mýtného [19]

„Hlavní milníky změn parametrů mýtných sazeb jsou“ [19]:

- 1. 1. 2007 – spuštění systému pro těžká nákladní vozidla na dálnicích a rychlostních komunikacích,
- 1. 2. 2010 – zavedení páteční regulace pomocí pásma se zvýšenými sazbami,
- 1. 1. 2011 – rozlišení emisních tříd EURO V+,
- 1. 1. 2011 – první zvýšení sazeb o 25% (vyjma EURO V+),
- 1. 1. 2012 – druhé zvýšení sazeb o 25% (vyjma EURO V+).

3 POSUZOVANÁ LOKALITA

3.1 POPIS ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

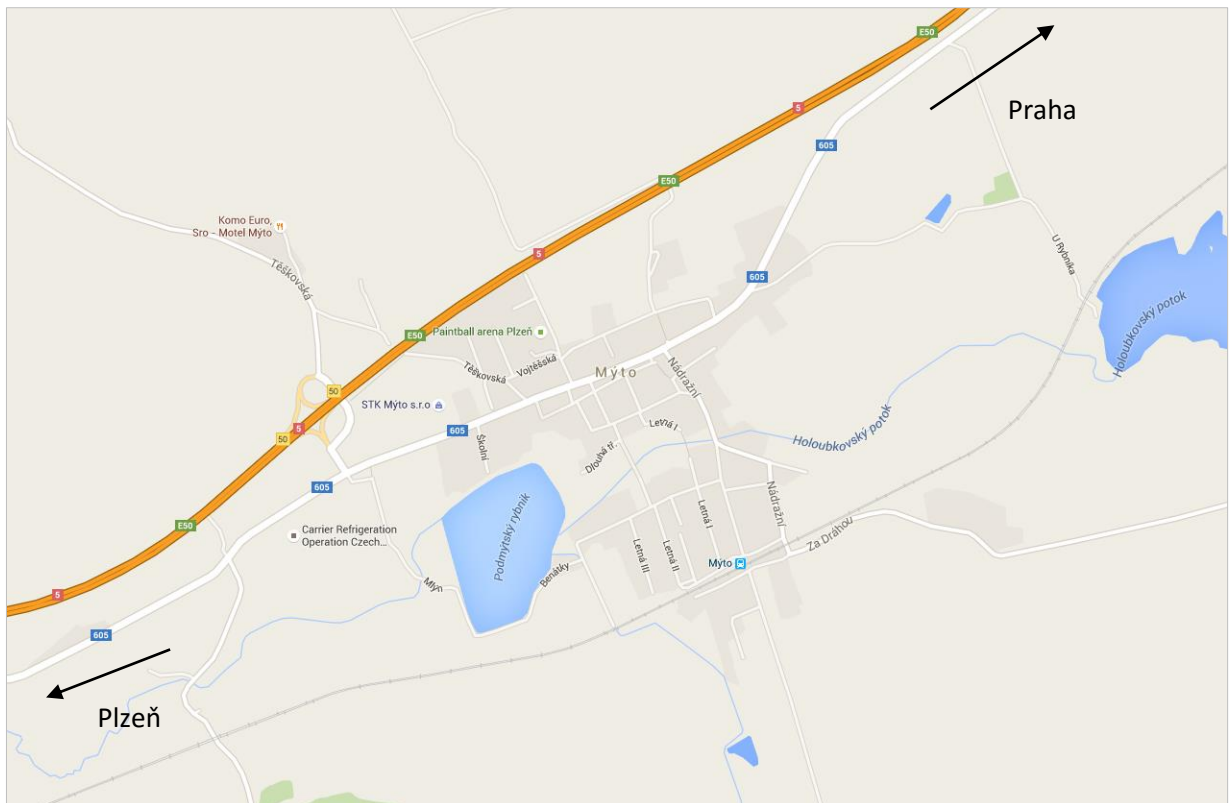
Město Mýto se nachází ve východní části Plzeňského kraje v bývalém okrese Rokycany. K 1. 1. 2014 je zde evidováno 1 504 obyvatel. Katastrální výměra města je přibližně 18 km².



Obr. 8: Město Mýto vyznačené na mapě ČR [21]

Hlavním silničním tahem v posuzované lokalitě je dálnice D5, která byla vystavěna v těsné blízkosti Mýta v letech 1991-1992. Provoz na této dálnici byl zahájen v roce 1995. Výstavbou dálnice D5 došlo k výraznému poklesu dopravy v obcích, které ležely do té doby na hlavních silničních tazích z Prahy do Plzně. Silnice II/605 patřila právě mezi zmiňované hlavní silniční tahy. Dálnice D5 přispěla nejen ke zkvalitnění mobility mezi významnými městy, ale také ke zkvalitnění ovzduší a životního prostředí v obcích ležících na tehdejších hlavních silničních tazích.

Nabízí se však otázka, jak se mohl tento stav, kdy si přilehlé obce značně ulevily z hlediska kvality životního prostředí přesunem dopravy na dálnici, opět začít zhoršovat.



Obr. 9: Mapa širších vztahů [4]

3.2 PROBLEMATIKA HLUKU Z DOPRAVY VE MĚSTĚ MÝTO

Kvůli svému umístění je město Mýto vystaveno nadměrnému hluku z dopravy. Přilehlá dálnice D5 vedoucí z Prahy do Plzně zde plní funkci pro tranzitní dopravu. V případě průtahu je však také silnice II/605 ve velkém množství využívána pro tranzitní účely a to včetně nákladní dopravy, jež má na kvalitu ovzduší a hluk zásadní vliv.

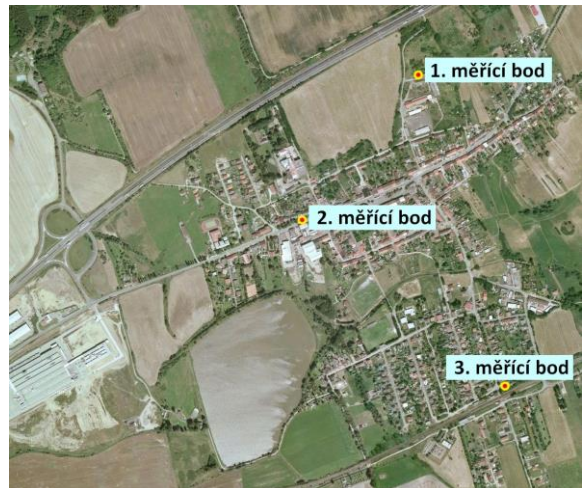
Cílem bakalářské práce bylo zjištění akustického stavu ve městě Mýto. Byla hodnocena tři měřící místa v obci, která odpovídala třem hlavním zdrojům emisí hluku z dopravy. První měřící stanoviště bylo umístěno v blízkosti přilehlé dálnice D5 u první obytné zástavby, druhé měřící stanoviště bylo lokalizováno na průtažné silnici II/605 procházející samotným centrem obce a poslední, třetí stanoviště se nacházelo u výpravní budovy Mýto, kde byl zjišťován podíl hladiny akustického tlaku A projíždějících vlakových souprav na celkové hladině akustického tlaku v této lokalitě.



Obr. 10: Výběr míst pro terénní měření hluku [4] [3]

Měření proběhla podle zásad měření pro venkovní prostředí a jejich výsledky byly dále graficky znázorněny a jednotlivé ekvivalentní hladiny akustického tlaku A ze všech stanovišť byly přepočteny podle příslušné variace dopravy. Tyto hodnoty byly porovnány s limity, které ukládá nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

Mikrofon zvukoměru byl umístěn na stativu ve výšce 3 metry nad zemským povrchem ve vzdálenosti 2 m před fasádou obytné budovy. V případě měření u silnice II/605 byl mikrofon zvukoměru umístěn ve vzdálenosti 7 m od osy pozemní komunikace ve stejné výšce.



Obr. 11: Umístění mikrofonu zvukoměru během terénního měření [3]

V tabulce 6 jsou naměřené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro všechna stanoviště.

Tab. 6: Naměřené hodnoty [2]

Čas měření	$L_{Aeq,2h}$ [dB]	$L_{A(max)}$ [dB]
Dálnice D5		
dopoledne (10:30 - 12:30)	57,8 ± 2	66,6
odpoledne (12:45 - 14:45)	60,6 ± 2	77,6
noc (00:15 - 02:15)	51,6 ± 2	64,3
Silnice II/605		
dopoledne (06:00 - 08:00)	68,5 ± 2	89,1
odpoledne (15:00 - 17:00)	68,9 ± 2	88,1
noc (22:00 - 00:00)	59,5 ± 2	83,8
Železnice		
dopoledne (8:15 - 10:15)	57,6 ± 2	84,4
odpoledne - neměřeno	-	-
noc (03:00 - 05:00)	53,8 ± 2	80,6

Pro potřeby bakalářské práce byla provedena pouze dvouhodinová měření. Pro získání přesných a určujících dat přímo porovnatelných s hygienickými limity by muselo proběhnout ve městě Mýto celodenní měření na všech třech měřících stanovištích. Z dvouhodinového měření však lze odhadnout vývoj ekvivalentní hladiny akustického tlaku A na daném místě pomocí znalostí měření a hodnocení hluku. Proto jsou zjištěné naměřené hodnoty postačující.

V prvním sloupci tabulky 6 jsou uvedeny časy měření na vybraných stanovištích. Protože hlavní řešený problém se týká hluku na průtahu městem, byl volen čas měření na tomto stanovišti v době ranní a odpolední dopravní špičky. Ve druhém sloupci tabulky jsou uvedeny zjištěné hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A se standardní uvažovanou nejistotou měření. Třetí sloupec udává nejvyšší naměřenou hodnotu v průběhu měření na daném stanovišti.

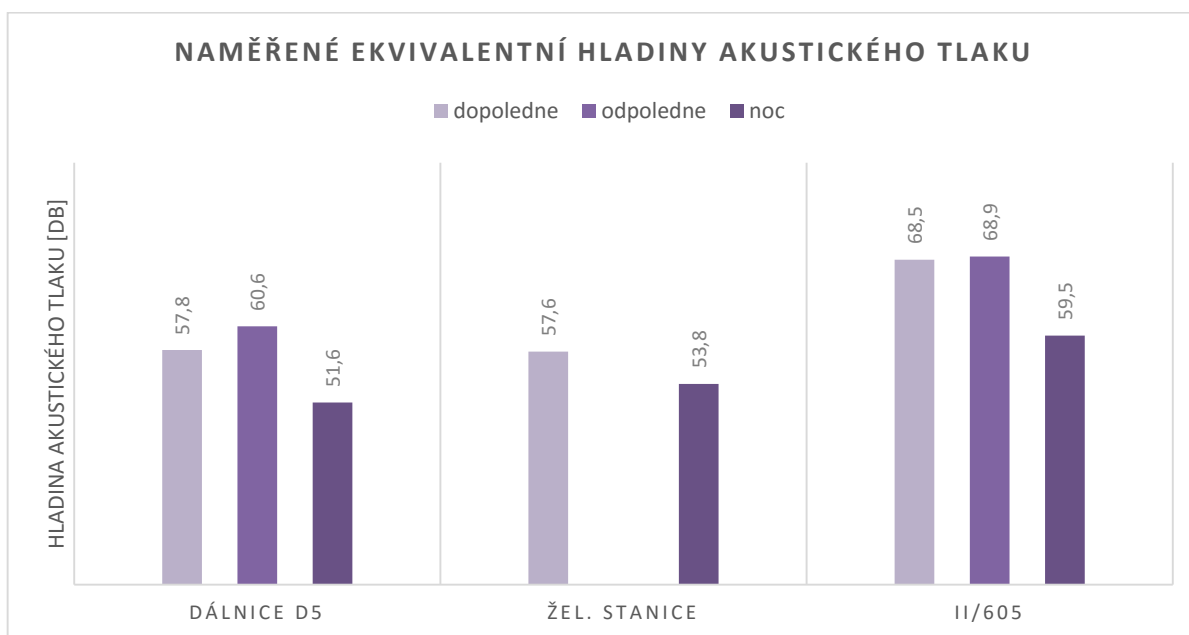
Uvedené naměřené hodnoty budou sloužit ke kalibraci modelu tvořeného v softwaru CadnaA.

Pro řešenou lokalitu byla zpracována tabulka uvádějící limitní hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro den a noc ve městě Mýto. Tyto hodnoty nesmí být překračovány a je paradoxní, že limit požadovaný u dálnice je o 10 dB přísnější než na doprovodné průtažné silnici II/605.

Tab. 7: Limitní hodnoty ve městě Mýto [2]

Druh liniového zdroje emise hluku	$L_{Aeq,16h}$ [dB]	$L_{Aeq,8h}$ [dB]
Dálnice D5	60	50
Silnice II/605 (průtah)	70	60
Železnice – ochranné pásmo dráhy	60	55

Grafické vyjádření naměřených hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku A je na následujícím obrázku 12.



Obr. 12: Graf naměřených hodnot L_{Aeq} [2]

Podle naměřených hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku L_{Aeq} i podle předběžných odhadů byl zjištěn největší problém s dopravním hlukem na průtahu městem (silnice II/605). Tato poměrně hodně frekventovaná pozemní komunikace je využívána také jako objízdná trasa vedoucí podél dálnice D5. Nadměrný hluk je proto ze značné míry způsoben projíždějícími nákladními automobily,

keré v této lokalitě nemají zdroj ani cíl. Jedná se proto o tranzitní dopravu, jež je nežádoucí a měla by být odstraněna (v tomto případě přesunuta na dálnici). Možnost jet z Prahy do Plzně (a naopak) po doprovodné silnici II/605 s sebou nese značná ekologická rizika. Otázkou je, jaké by musely být legislativní a provozní podmínky, aby se dopravcům objížďení po této doprovodné silnici nevyplácelo a raději by v drtivé většině případů volili trasu po dálnici.



Obr. 13: Průjezdy nákladních automobilů městem Mýto [3]

Obecně se uvádí, že objížďení nastává tehdy, pokud náklady za projetí placený úsek jsou větší než čas ztracený objížďením společně s provozními náklady objížďky. Pro modelování tohoto problému se využívá následujícího vztahu (11) [11].

$$\sum_i D_i P_{i,v} > \left[\sum_j N_{\text{hod}(j,v)} \frac{D_j}{R_{j,v}} - \sum_i N_{\text{hod}(i,v)} \frac{D_i}{R_{i,v}} \right] + \left[\sum_j N_{\text{km}(j,v)} D_j - \sum_i N_{\text{km}(i,v)} D_i \right] \quad (11)$$

i	Úsek zpoplatněné komunikace mezi A a B
j	Úsek objížďné trasy mezi A a B
$P_{i,v}$	Poplatek za 1 km na úseku i pro vozidlo v
D_i	Délka úseku i
$N_{\text{hod}(i,v)}$	Náklad času posádky za hodinu po úseku i pro vozidlo v
$N_{\text{km}(i,v)}$	Provozní náklad za 1 km po úseku i pro vozidlo v
$R_{i,v}$	Průměrná rychlost vozidla v po úseku i

Cílem této práce však není nalézt optimální cenu za ujetý kilometr po zpoplatněné dálnici, aby došlo k výraznému poklesu podílu těžkých nákladních vozidel na průtažné komunikaci, avšak předmětem práce je ukázat, jakým způsobem se změní akustický stav ve městě, pokud budou nákladní vozidla přesunuta z průtahu zpět na dálnici D5.

Díky modernímu softwaru je možné získat environmentální dopady na obyvatele při změně jednotlivých parametrů pomocí výpočtu. Výsledky získané výpočtem lze přehledně graficky znázornit a pomocí 3D vizualizace následně vhodným způsobem interpretovat.

Řešený problém lze rozdělit na dvě hlavní části. Nejprve je modelována stávající akustická situace ve městě Mýto, která byla zjištěna částečně již v rámci bakalářské práce. Vstupními parametry pro výpočet jsou hodnoty, jež byly získány z terénního měření hluku pro účely zjištění současné akustické situace ve městě Mýto. Druhou částí je hledání takového reálného výhledového stavu, který bude mít co nejmenší dopady na životní prostředí a hlavně na obyvatele města Mýto,

respektive obyvatele obcí, které se nacházejí na stejném silničním průtahu silnice II/605 vedoucí z Prahy do Plzně a potýkají s obdobným problémem.

Z akustického hlediska by byl nejpříznivější takový modelovaný stav, při kterém městem Mýto neprojde žádné nákladní vozidlo. Tento model by však byl značně nereálný vzhledem k tomu, že i při zákazu vjezdu nákladních vozidel by musel být umožněn průjezd dopravní obsluhy ve městě. Ze vzorce (11) vyplývá, že důležitou roli v rozhodování, zda objíždět či nikoliv, je čas. Snížením rychlosti na průtahu (měřením rychlosti nebo i například fyzickými prvky) by došlo ke snížení komfortu a tudíž by mohlo být ovlivněno rozhodování řidičů, jestli objíždění má smysl. Snížením rychlosti také dojde k poklesu ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A_{L_{Aeq}}$ na průtahu.

Naměřené hodnoty sice nepřekračují hygienické limity stanovené v nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, je však zřejmé, že naměřené hodnoty na průtahu jsou vysoké. V kapitole 2.1.2 Legislativa je podrobněji řešena a vysvětlena problematika stanovení limitních hodnot.

4 MODELOVÁNÍ AKUSTICKÉ SITUACE V ÚZEMÍ

Pro modelování akustické situace byl v této práci použit software CadnaA. Tento software má široké využití pro výpočet, prezentaci, vyhodnocení a predikci hlukové zátěže. „Program umožňuje hodnocení hlukových imisí v souladu s národními a mezinárodními předpisy včetně výpočtové metody používané např. v České republice a výpočtových metod doporučených směrnicí ES 2002/49/EC, o hodnocení a řízení hluku v životním prostředí“ [5]. Program uživateli nabízí celou řadu možností, jak daný model nakonfigurovat. Nastavení modelu je tedy stěžejní částí celé práce v tomto softwaru. Bylo nutné pečlivě procházet jednotlivé možnosti a konfigurace, aby model byl správně nastaven před samotným spuštěním výpočtu.

4.1 PŘÍPRAVA MODELU

Mezi hlavní přípravné práce patřilo získání mapových podkladů a zdrojů digitálních datových sad. Dále samotné nastavení a konfigurace výpočtu včetně zadání požadovaných intenzit. Vstupy potřebné pro výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v softwaru CadnaA jsou definovány v Manuálu 2011. Celý výpočet se plně řídí postupem (algoritmem) uvedeným v tomto manuálu.

4.1.1 MAPOVÉ PODKLADY

Zdrojem mapových podkladů pro modelování byly digitální mapy koupené na Českém úřadu zeměměřičském a katastrálním (ČÚZK). Bylo nutné si pořídit tři různé mapové podklady v jednotném formátu JTSK², které jsou nezbytné pro správnou funkci modelu:

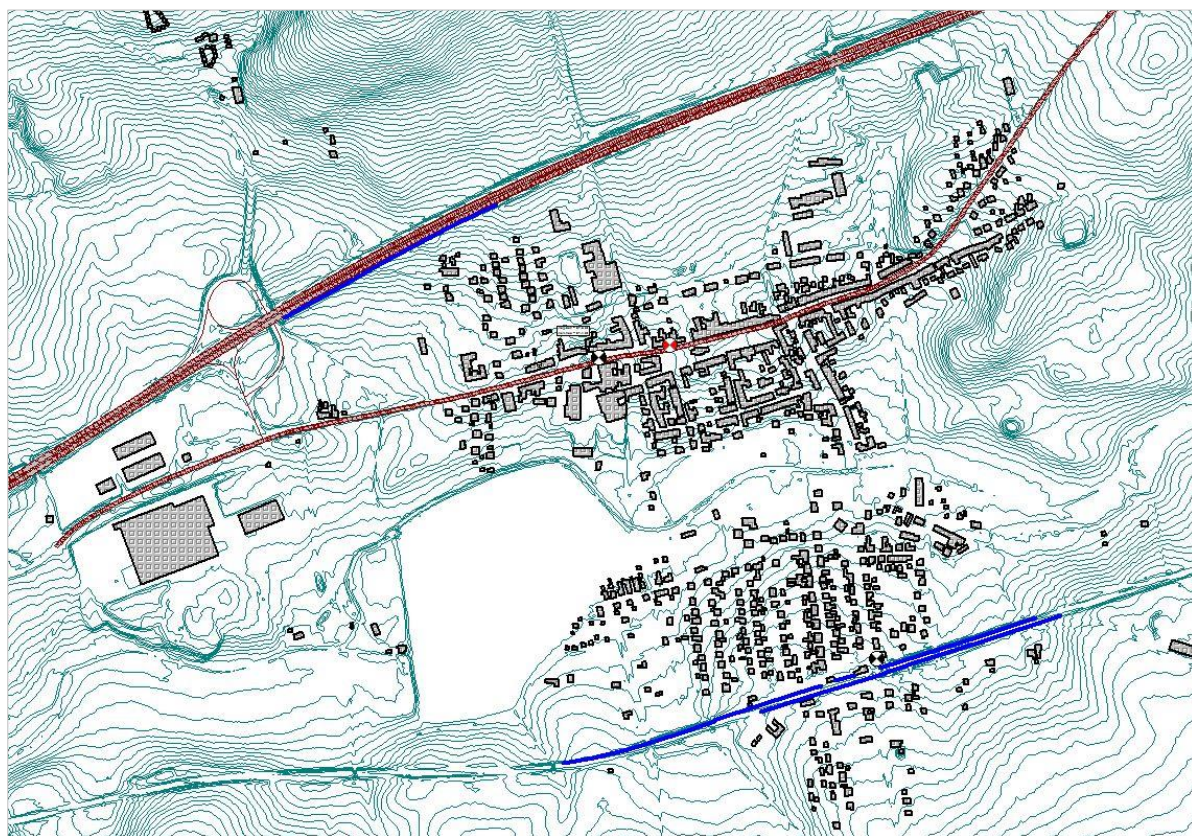
- ortofoto ČR,
- ZABAGED³ - polohopis,
- výškopis – DMR 5G – digitální model reliéfu 5. generace.

Z důvodu větší přesnosti byl pro výškopis zvolen digitální mapový model reliéfu České republiky 5. generace, který přesně zohledňuje reliéf zemského povrchu a to například i u uměle vytvořeného

² JTSK = Jednotná trigonometrická síť katastrální. Jedná se o síť geodetických bodů na území ČR.

³ ZABAGED = Základní báze geografických dat České republiky je digitální geografický model ČR.

zářezu či náspu dopravní infrastruktury. „Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G) představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti bodů s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu“ [13]. Tyto body byly za pomoci geografického informačního systému ArcGIS, který umožňuje editaci vektorových dat, importovány do softwaru CadnaA jako vrstevnice. Kvůli vyšší rychlosti výpočtu rastru hlukové mapy bylo při importu vrstevnic provedeno horizontální zjednodušení geo (vrstevnic). Všechny tři druhy digitálních dat byly importovány ve formátu shapefile, který slouží k ukládání vektorových prostorových dat pro geografické informační systémy. Na následujícím obrázku je náhled importovaných vektorových dat do rozhraní softwaru CadnaA.

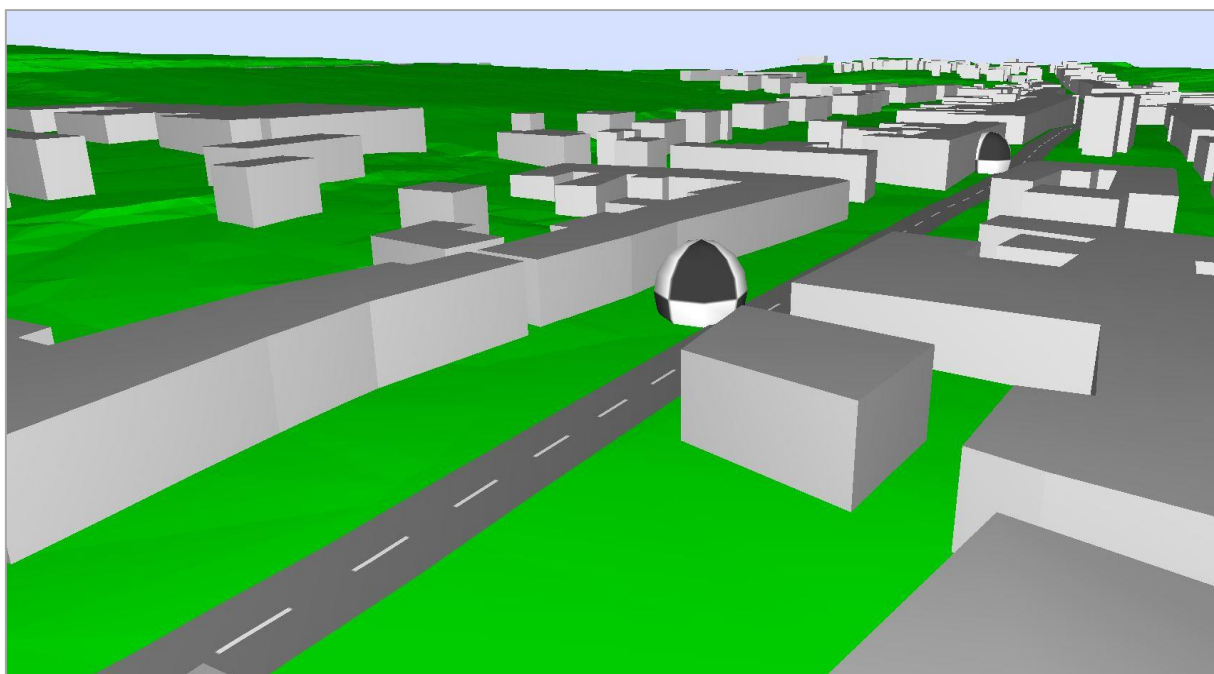


Obr. 14: Příprava modelu v softwaru CadnaA [3]

Polohopis ZABAGED byl využit pro přesné umístění jednotlivých budov na potřebném mapovém výřezu. Tento mapový podklad nebyl nezbytně nutný, nicméně byl použit, aby nebylo nutné v programu všechny budovy ručně obkreslovat podle ortofota ČR. Zvolený polohopis však neuvažuje výšky budov, které musely být vhodným způsobem manuálně doplněny.

Kvůli zjednodušení byla výška budov volena podle počtu poschodí. Dvoupodlažní obytné zástavbě byla přidělena jednotná výška osm metrů a jednopodlažní obytné zástavbě byla přidělena jednotná výška šest metrů měřená od nulové relativní výšky terénu. Také bylo zohledněno, zda se jedná o obytnou zástavbu nebo jestli se jedná o jiný druh zástavby (průmysl, správa, atd.) a to z důvodu, že se hluk z dopravy hodnotí výhradně pro obytné zástavby. Odpovídající výška budovy je důležitá z hlediska hodnocení fasád obytné zástavby. Tato funkce v programu CadnaA slouží k určení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A okolo celé zástavby v takových výškových úrovních, které odpovídají počtu poschodí dané budovy. V programu CadnaA bylo nastaveno, že výška jednopodlažní obytné zástavby se uvažuje pod šest metrů relativně od terénu a dále po čtyřech metrech navazují další poschodí.

V rámci polohopisu byly také umístěny pozemní komunikace a železniční trať. Za pomocí ortofoto mapy ČR byla změřena přibližná šířka pozemní komunikace, která se opět zohledňuje při výpočtu. V úvahu byl brán také podélný sklon pozemní komunikace. Pro tento účel musela být komunikace rozdělena na jednotlivé segmenty (v tomto případě po 20 m) a pro každý segment byl vypočten odpovídající podélný sklon pozemní komunikace. Důvodem tohoto kroku nastavení je, že v případě stoupání jsou emise hluku vyšší než v případě jízdy po rovině nebo klesání. Tento faktor proto nesměl být při výpočtech zanedbán.



Obr. 15: 3D vizualizace modelu v softwaru CadnaA [3]

Ortofoto mapa ČR tedy sloužila v softwaru CadnaA k upřesnění poloh budov a k přesnějšímu umístění pozemních komunikací a železniční trati. Po upřesnění poloh těchto objektů nebyl dále tento mapový podklad potřebný a bylo vhodné tuto vrstvu v softwaru vypnout kvůli zvýšení rychlosti manipulace s modelem a výpočtu.

4.1.2 OSTATNÍ NASTAVENÍ SOFTWARE

Zásadní vliv pro správnost výpočtu má také správné nastavení modelu. Protože datové sady získané z ČÚZK neobsahují v mapových podkladech protihlukové clony, bylo důležité před spuštěním výpočtu také zadat místa, kde se tato protihluková opatření nacházejí a přiřadit jim odpovídající výšku. V řešené lokalitě se v současné době nachází protihluková clona podél dálnice D5 ze směru Plzeň – Praha o délce přibližně 240 m. Další protihlukové clony se nacházejí podél železničního koridoru. U protihlukových stěn byl nastaven absorpční koeficient α s hodnotou 0,21. Význam absorpčního koeficientu byl vysvětlen již v teoretické části této práce.

Na následujících obrázcích jsou zobrazené stávající protihlukové stěny.



Obr. 16: Protihluková stěna podél dálnice D5 [3]



Obr. 17: Protihlukové stěny podél modernizované železniční trati [3]

Stejným způsobem se u všech budov, u kterých je hodnocen akustický stav, nastaví absorpční koeficient α o stejné hodnotě $\alpha = 0,21$. V celém modelu jsou uvažované dva odrazy zvuku od veškerých překážek.

Další důležitou úpravou bylo namodelování mostních objektů, protože mosty a jiné dopravní stavby nejsou v digitálních podkladech k dispozici. Jelikož bylo u pozemních komunikací a u železniční trati nastaveno, aby jejich vzdálenost nad terénem byla v relativní nulové výšce, tak po rozdělení těchto liniových staveb jednotlivé segmenty kopírují co nejvíce terén a niveleta osy je potom vedena pod mostními objekty. Pro vyloučení těchto chyb bylo zapotřebí odmazat právě segmenty silnice, které se nacházejí na mostní konstrukci a spojit protilehlé konce segmentů před a za mostními objekty. Tím došlo v softwaru CadnaA k nasimulování mostních objektů.

4.1.2.1 KONFIGURACE VÝPOČTU

Výpočet akustické situace na území ČR se pro automobilovou dopravu řídí českou výpočtovou metodikou a pro železniční dopravu německou metodikou výpočtu Schall03. CadnaA nabízí volbu více výpočtových metodik. Nastavení pro výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v ČR tak musí být zohledněn již zmíněnými metodikami výpočtu. Následující obrázek ukazuje, jakým způsobem se zadávají parametry jednotlivým úsekům vybrané dálniční sítě a průtahu v nastavení české výpočtové metodice.

Silnice (CZ metodika)

Jméno: SILNICE DALNICE

ID: 102131635

Rychlost (km/h): 47

Šířka komunikace (m): 5

Osobní: 47

Nákl.: 39

Vstupní data:

Intenzita za 24h: 3334

Povrch vozovky:

Dstro dB(A): 0.0

Ad Asfaltový beton hrubozrný

Třída komunikace: Intravilán

Stoupání: Input (%) 1.2

Hodinová intenzita:

Počet všech vozidel /hod:

D: 380.00 E: 0.00 N: 63.00

Vícenásobný odraz:

Drefl dB(A): 0.0

Podíl nákladních vozidel p (%):

D: 11.0 E: 0.0 N: 20.0

Průměrná výška zástavby (m): 0.0

LAeq,7.5m dB(A):

D: 65.9 E: 0.3 N: 60.1

Vzdálenost zástavby (m): 0.0

Den Večer Noc

Reflexní

Výpočtový rok: 1997

Obr. 18: Nastavení výpočtové metodiky v programu CADNA A [3]

Obdobným způsobem se zadávají parametry u jednotlivých úseků železniční trati. Všechny volitelné parametry odpovídají parametrům ve výpočtové metodice Schall03.

Železnice (Schall 03)

Jméno: ZELEZNICNITRAT

Vlakovátřída: (Lokální)

ID: 10014664

Emise: Lm,E (dB)

D: 60.3 E: 0.0 N: 64.1

Vlakové třídy a korekce

Typ dráhy:

Dfb (dB): 2.0

Štěrkové lože - betonové

Most (Dbr = +3 dB)

Železniční přejezd (Dbü = +5c)

Poloměr zatáč >= 500

Vícenásobný odraz:

Průměrná výška zástavby (m): 0.0

Průměrná vzdálenost zástavby (m): 0.0

Vmax (km/h): 100

Vlakové třídy							
Typ	p (%)	Počet vlaků			v (km/h)	l (m)	Dfz (dB)
		Den	Večer	Noc			
Ds	0.0	2	0	1	120	100	0.0
R	0.0	4	0	1	150	150	0.0
N	0.0	1	0	2	100	900	0.0

Obr. 19: Nastavení výpočtové metodiky v programu CadnaA [3]

4.1.2.2 INTENZITA DOPRAVY

Podstatným krokem před spuštěním výpočtu je ještě nastavení parametru intenzity dopravního proudu. Pro případ kalibrace modelu a pro výpočet současné akustické situace se využijí hodnoty intenzity získané v době měření, které bylo provedeno v rámci bakalářské práce. Pro výhledový stav je však nutné hodnoty intenzity dopravního proudu vypočítat ze znalosti růstových koeficientů dopravy u denních variací dle TP 189.

4.2 KALIBRACE VÝPOČTOVÉHO MODELU

Kalibrace modelu naměřenými hodnotami slouží k tomu, aby se naměřené hodnoty od vypočtených lišily maximálně o 2 dB. Tato hodnota udává nejistotu měření a při výpočtu v softwaru se nesmí vypočítaná hodnota dostat mimo tuto hranici. Pro jednotlivé imisní body (měřící místa) byla provedena kalibrace modelu.

Prvním krokem při kalibraci modelu je nastavení podmínek, které byly zaznamenány v době měření. U silniční dopravy je klíčový parametr pro tento krok intenzita dopravního proudu a procentuální vyjádření skladby dopravního proudu v době měření. Do rozhraní programu se zadává hodinová hodnota obou těchto parametrů. Protože terénní měření probíhalo v dvouhodinových intervalech, bylo nutné získané dopravní parametry průměrovat. V možnostech nastavení programu se určí referenční čas výpočtu, který zohledňuje dobu měření.

Další hodnotou, která vstupuje do kalibrace modelu, je průměrná rychlost dopravního proudu. Tato veličina se stanoví zvlášť pro osobní a zvlášť pro nákladní vozidla.

Při kalibraci výpočtového modelu je nutné dodržení odchylky od naměřených hodnot zvukoměrem v rozsahu do 2 dB. Parametr podléhající změně, aby odchylka od naměřených hodnot splňovala daný požadavek, je výpočtový rok. Tento parametr určuje dynamickou obnovu vozového parku pro vybraný rok. V tomto parametru je tedy zohledněno stáří vozového parku a jeho skladba. Celá kalibrace pak spočívá v nalezení výpočtového roku, při kterém bude hodnota výpočtu pro imisní bod v rozmezí 2 dB v porovnání s naměřenými hodnotami v témže imisním bodě.

U železniční dopravy se model kalibruje počtem vlakových souprav, které kolem zvoleného imisního bodu projely v době měření. Lze rozlišit různé druhy vlaků pomocí délek souprav a jejich rychlostí.

4.2.1 KALIBRACE MODELU PRO SILNICI II/605

Celý model se kalibruje pro hodnoty naměřené na silničním průtahu II/605. Příspěvek hladiny akustického tlaku z dálnice D5 nelze zanedbat, a proto se ve výpočtu pro průtah s tímto příspěvkem musí počítat. Je však potřeba zjistit přibližné parametry intenzity a skladby dopravního proudu na dálnici D5 v době měření na průtahu. Požadované hodnoty byly vypočteny pomocí koeficientů růstu dopravy pro běžný pracovní den podle denní variace. Hodnoty jsou sice přibližné, ale pro účely této práce jsou zcela postačující. Ruční sčítání dopravy na dálnici je obtížné a muselo by se tak využít speciální techniky pro sčítání dopravy. Pro výpočet vývoje dopravy se využívají koeficienty růstu dopravy uváděné v TP 225.

Tab. 8: Koeficienty vývoje dopravy [17]

Rok	Typ komunikace	
	Dálnice	Silnice II. třídy
2014	1,09	1,06
2015	1,12	1,08
2016	1,16	1,10

Hodnota RPDÍ pro rok 2014, kdy proběhlo měření, byla vypočtena z koeficientu vývoje intenzit dopravy pro dálnice (1,09) vynásobením hodnotou intenzity dopravy pro potřebný úsek získanou při posledním celostátním sčítání dopravy (CSD) v roce 2010. Přepočtená hodnota RPDÍ má hodnotu 31 035 voz/den. Stanovení intenzity dopravy dle TP 189 pro dálnice v době od 6:00 do 8:00 se řídí následujícími koeficienty.

Tab. 9: Denní variace v době od 6:00 do 8:00 [16]

Hodina	Hodnota denní variace [% z RPDÍ]	Přepočtená hodinová intenzita [voz/h]
6:00 – 7:00	4,74	1471
7:00 – 8:00	6,82	2117

Výsledná hodinová intenzita potřebná pro výpočet se stanoví jako průměr z obou vypočtených hodnot hodinových intenzit. Hodinová intenzita na dálnici D5 je pro dobu mezi 6:00 – 8:00 stanovena na 1794 voz/h.

Obdobným způsobem se vypočítají intenzity dopravy pro noční období mezi 22:00 – 24:00, kdy bylo provedeno terénní měření v noci na stejném místě. Stanovení intenzity dopravy dle TP 189 pro dálnice v době od 22:00 do 24:00 se řídí následujícími koeficienty.

Tab. 10: Denní variace v době od 22:00 do 24:00 [16]

Hodina	Hodnota noční variace [% z RPD1]	Přepočtená hodinová intenzita [voz/h]
22:00 – 23:00	1,67	518
23:00 – 24:00	1,23	382

Výsledná hodinová intenzita se i v tomto případě vypočte jako průměr zjištěných hodnot hodinových intenzit. Hodnota hodinové intenzity na dálnici D5 je pro dobu mezi 22:00 – 24:00 stanovena na 450 voz/h.

Obě hodnoty je ještě třeba dělit dvěma, protože v programu jsou rozlišeny směry dopravních proudů na dálnici.

V následující tabulce jsou uvedeny veškeré parametry, jež byly nastaveny v rámci kalibrace modelu pro výpočet zohledňující měření na silnici II/605.

Tab. 11: Nastavení parametrů kalibrace modelu [2]

Nastavení pro silnici II/605 (čas denního měření 6:00 – 8:00 a čas nočního měření 22:00 – 24:00, běžný pracovní den)		
Nastavovaný parametr	D (den)	N (noc)
Hodinová intenzita dopravy [voz/h]	380	63
Podíl nákladních vozidel [%]	11	20
Rychlost [km/h]	OA:47 NA:39	OA:52 NA:48
Povrch vozovky	Asfaltový beton hrubozrnný, modifikovaný asfalt	
Výpočtový rok	1997	
Nastavení pro dálnici D5 (vypočtený příspěvek hluku pro čas 6:00 – 8:00 a 22:00 – 24:00)		
Hodinová intenzita dopravy [voz/h]	897	225
Podíl nákladních vozidel [%]	25	12,5
Rychlost [km/h]	OA:130 NA:90	
Povrch vozovky	Asfaltový beton hrubozrnný, modifikovaný asfalt	
Výpočtový rok	1997	

Příspěvek hluku od železniční dopravy je vzhledem k vzdálenosti železniční trati od imisního bodu u silnice II/605 zanedbatelný, a proto se při výpočtu pro silnici II/605 neuvažuje.

Vyhovující výpočtový rok 1997, který bude splňovat hodnotu v toleranci ± 2 dB od naměřených hodnot, byl zjištěn iterativním způsobem s počátečním nastavením výpočtového roku 2000. Po zvolení výpočtového roku byl proveden výpočet imisního bodu s následným porovnáním hodnot. Hodnoty výpočtu a jejich odchylka od naměřených hodnot jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 12: Hodnoty kalibrace výpočtového modelu [2]

Období	Naměřená L_{Aeq} [dB]	Vypočtená L_{Aeq} [dB]	Rozdíl [dB]
Den	68,5	67,3	1,2
Noc	59,5	61,4	1,9

4.2.2 KALIBRACE MODELU PRO ŽELEZNICI

Kalibrace modelu pro železnici zohledňuje počet a druh vlaků projíždějících v době měření.

V nastavení se také vybírá typ a konstrukční rychlost dráhy.

Tab. 13: Nastavení kalibrace modelu pro železnici [2]

Nastavovaný parametr	Hodnota parametru
Vlakové třídy	Os, R, N
Počet osobních vlaků (den/noc)	2/1
Počet rychlíků (den/noc)	4/1
Počet nákladních vlaků (den/noc)	1/2
Typ dráhy	Štěrkové lože – betonové pražce
Traťová rychlost [km/h]	100

V softwaru CadnaA nelze nastavit brzdění vlakových souprav v daném úseku. Tento fakt výrazně ovlivňuje vypočtené hodnoty, neboť právě brzdění způsobuje znatelné zvýšení hladiny akustického tlaku A z železniční dopravy a imisní bod pro terénní měření se nacházel právě u výpravní budovy, v jejíž okolí vlakové soupravy brzdí. Vypočtené hodnoty proto přibližně odpovídají naměřeným hodnotám pouze v noci, kdy je větší podíl projíždějících vlaků oproti soupravám, které u imisního bodu brzdily.

V následující tabulce jsou uvedeny naměřené a vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro den a noc pro imisní bod u výpravní budovy.

Tab. 14: Vypočtené hodnoty u železnice [2]

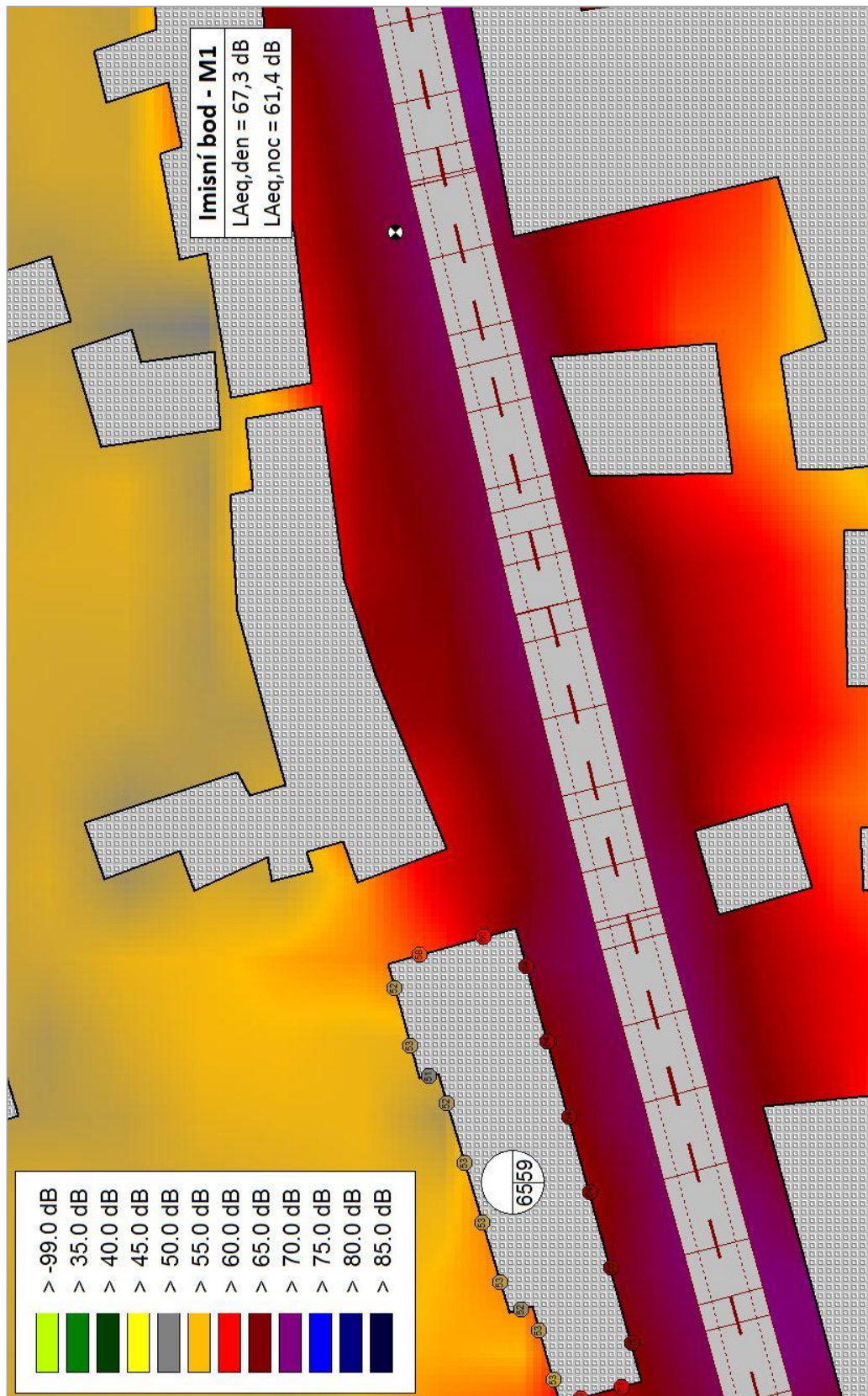
Období	Naměřená $L_{Aeq,T}$ [dB]	Vypočtená $L_{Aeq,T}$ [dB]
Den	57,6	50,2
Noc	53,8	54,0

V důsledku toho, že nelze vhodným způsobem nastavit model pro brzdící vlakové soupravy kolem imisního bodu a také proto, že řešení akustického stavu u železnice není prioritní, nebude se ve výhledu s železnici dále pracovat. Protihluková opatření kolem trati jsou v současné době postačující díky její modernizaci v minulých letech.

4.3 STÁVAJÍCÍ AKUSTICKÁ SITUACE

Stávajícím stavem se rozumí výpočet ekvivalentní hladiny akustického tlaku A se vstupními parametry zjištěnými v průběhu měření popřípadě parametry dopočtenými kvůli zohlednění příspěvků hladiny akustického tlaku z jiného liniového zdroje v době měření. Výpočet je proveden nejen v imisním bodě, který reprezentuje měřící stanoviště, ale také v dalších navolených imisních bodech umístěných podél liniového zdroje hluku. Pro vybrané obytné budovy bylo provedeno hodnocení fasád. Tato funkce v programu CadnaA umožňuje výpočet hladiny akustického tlaku A v obvodu celé budovy pro všechna uvažovaná poschodí. Následně je uvedena nejvyšší vypočtená hodnota ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro den a pro noc dané budovy.

Pro vizuální zhodnocení akustické situace současného stavu byl vypočten hlukový rastr. Tento rastr neboli hluková mapa znázorňuje pomocí barevné palety hladinu akustického tlaku. Jednotlivým odstínům je přidělena numerická hodnota. Na stejném principu je založeno i vykreslení hlukové mapy pomocí hlukových pásem. Odstín každého hlukového pásma představuje konkrétní rozmezí hodnot hladiny akustického tlaku.



Obr. 20: Výřez hlukové mapy současného stavu - den [3]

4.4 VÝHLEDOVÝ STAV AKUSTICKÉ SITUACE

V této kapitole je řešena taková akustická situace, která je charakterizována tím, že je kladen důraz na snížení hladiny akustického tlaku na průtahu městem Mýto. Vychází ze znalostí protihlukových opatření a jejich vlivu na eliminaci emisí hluku uvedených v kapitole 2.3. Předpokladem pro hledání nejefektivnějšího a zároveň nejekonomičtějšího výhledového stavu je skutečnost, že značnou část hladiny akustického tlaku tvoří nákladní vozidla. Protože byl největší problém s hlukem z dopravy zjištěn na průtahu městem Mýto a také z důvodu, že se tento problém dotýká nejvíce obyvatel, bude sledována změna hladiny akustického tlaku právě na této silnici a veškerá protihluková opatření budou určena k tomu, aby došlo ke snížení hluku právě zde.

V programu CadnaA byly namodelovány 2 výhledové stavy. Podstatou prvního výhledového stavu je kompletní vyloučení nákladních automobilů z průtahu II/605 a jejich přesun na dálnici D5. Tento případ je nereálný z důvodu nezajištění potřeby zásobování. Tento výhledový stav je modelován kvůli zjištění efektivity tohoto protihlukového opatření a také proto, aby se ukázal podíl emisí hluku nákladních automobilů na celkové úrovni hladině akustického tlaku.

Druhý výhledový stav už představuje konkrétní reálné řešení problému dopravního hluku na silničním průtahu městem Mýto. Kombinací některých vybraných opatření je snaha o co největší snížení emise hluku z dopravy v celé zájmové oblasti. Je zřejmé, že nelze snížit hladinu akustického tlaku z železniční dopravy, protože jsou u železniční trati již postavené protihlukové stěny, které zde byly vybudovány v rámci modernizace trati a jiná reálná opatření nepřicházejí v úvahu. Navíc bylo zjištěno pomocí měření, že u železniční trati je akustická situace přijatelná a to i z pohledu obyvatel města Mýta, kteří měli možnost se k celé problematice nadměrného hluku z dopravy ve městě vyjádřit formou dotazníkového šetření, které bylo zhotoveno v rámci bakalářské práce.

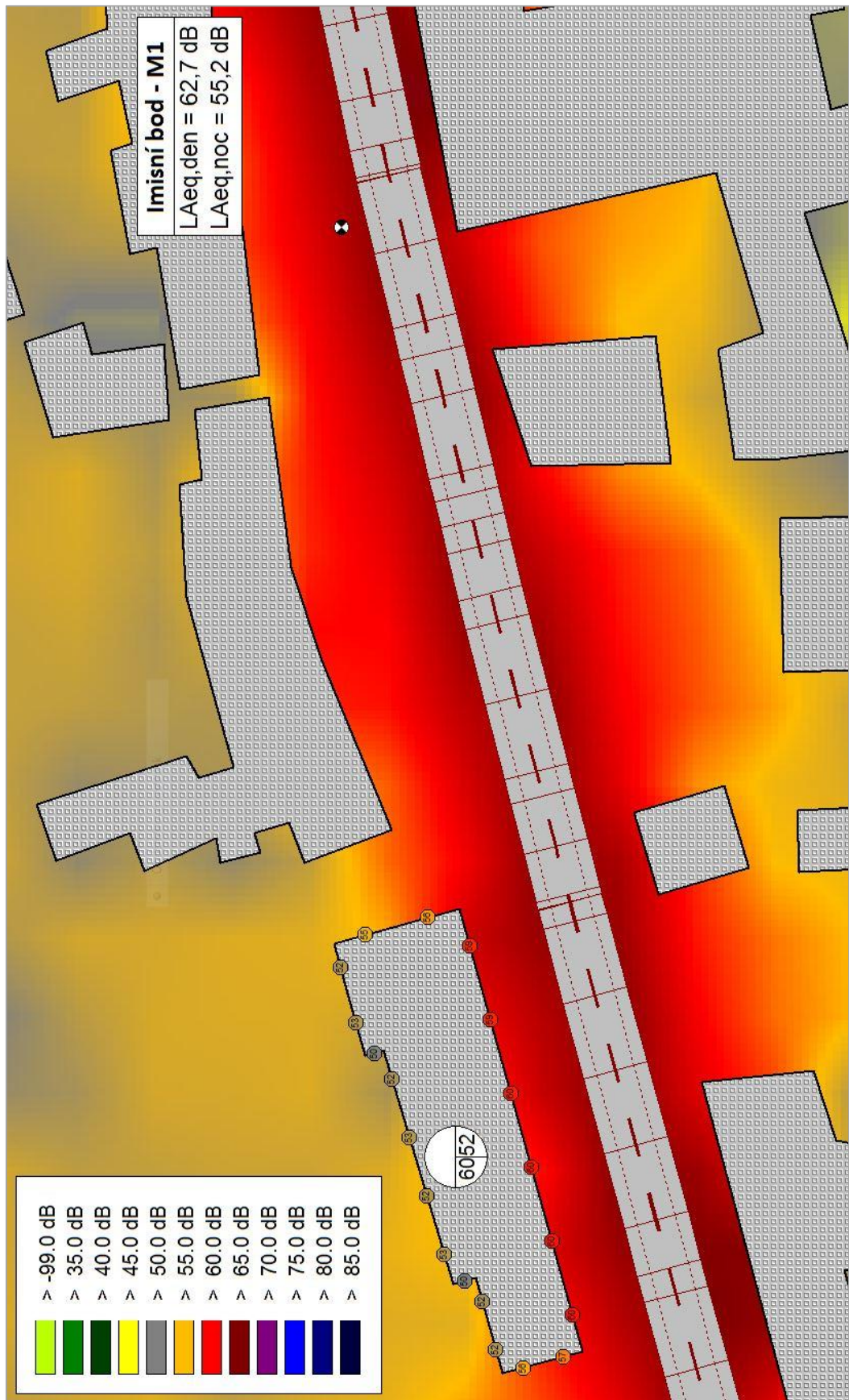
4.4.1 VARIANTA NEUVAŽUJÍCÍ NÁKLADNÍ VOZIDLA

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, nejpříznivější variantou z akustického hlediska se rozumí takový stav dopravy pro danou lokalitu, kdy bude veškerá nákladní tranzitní doprava převedena na dálniční síť vedoucí kolem města Mýta. K uskutečnění tohoto opatření je nezbytné zakázat vjezd všech nákladních automobilů do oblasti s tím, že vjezd nebude povolen ani pro kamiony, jenž mají v dané oblasti zdroj respektive cíl cesty. Je žádoucí, aby tranzitní doprava využívala pozemní komunikaci, která je pro tyto účely vybudována – dálnici D5.

Při modelování tohoto stavu jsou výchozími parametry intenzity dopravy zjištěné v době měření. Změněna je tedy jen skladba dopravního proudu. Parametry zadané pro tento stav jsou uvedeny v následující tabulce.

Tab. 15: Parametry pro variantu neuvažující nákladní vozidla stav [2]

Silnice II/605		
Nastavovaný parametr	D (den)	N (noc)
Hodinová intenzita dopravy [voz/h]	338	50
Podíl nákladních vozidel [%]	0	0
Rychlost [km/h]	OA:47	OA:52
Povrch vozovky	Asfaltový beton hrubozrnný, modifikovaný asfalt	
Výpočtový rok	1997	
Dálnice D5		
Hodinová intenzita dopravy [voz/h]	939	240
Podíl nákladních vozidel [%]	28	18
Rychlost [km/h]	OA:130 NA:90	
Povrch vozovky	Asfaltový beton hrubozrnný, modifikovaný asfalt	
Výpočtový rok	1997	



Obr. 21: Výřez hlukové mapy bez NV na průtahu - den [3]

4.4.2 VARIANTA REÁLNÉHO ŘEŠENÍ HLUKU Z DOPRAVY

V softwaru CadnaA byl vytvořen model, který je podle autora této práce nejvhodnějším řešením problému s dopravním hlukem ve městě Mýto. Byla vybrána kombinace protihlukových opatření, aby došlo ke snížení hladiny akustického tlaku na průtahu městem. Tato varianta také řeší problematiku zvýšené prašnosti a eliminaci výfukových plynů z nákladní dopravy. Pro tuto variantu byla zvolena následující protihluková řešení:

- Vyloučení tranzitní nákladní automobilové dopravy – dopravně organizační opatření bylo vybráno z důvodu zkvalitnění ovzduší ve městě a také ke snížení hladiny akustického tlaku na průtahu. S tímto opatřením je navrženo odpovídající dopravní značení umožňující průjezd pouze dopravní obsluze. Předpokladem pro zavedení je koordinace tohoto opatření ve všech městech na silnici II/605 a dohled nad jeho dodržováním. Při vzájemné spolupráci měst a obcí ležících na stejné pozemní komunikaci by mohlo dojít k efektivní funkčnosti opatření. S opatřením souvisí i pokles komfortu jízdy na silnici II/605 pomocí zpomalovacích psychologických prvků.
- Zaručení pomalé a plynulé jízdy, která v průměru nebude přesahovat rychlost $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ u osobních automobilů a díky zpomalovacím psychologickým prvkům nebude přesahovat rychlost $40 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ u nákladních automobilů. Je navrženo zařízení měřící rychlost, které bude v kompetenci městské policie Mýto.
- Výměna povrchu vozovky za protihlukový asfaltový koberec mastixový označovaný SMA LA 8. Tento asfaltový koberec je vhodný pro požadované podmínky. Díky svým protihlukovým vlastnostem je schopen redukovat hladinu akustického tlaku až o 5 dB.
- Výstavba protihlukové stěny navazující na již vystavenou protihlukovou stěnu u dálnice D5. Kvůli úspoře ceny za PHS bude využito zemních valů, na kterých budou PHS vystaveny. Zemní valy budou složeny z materiálu, který je již podél dálnice navezen.

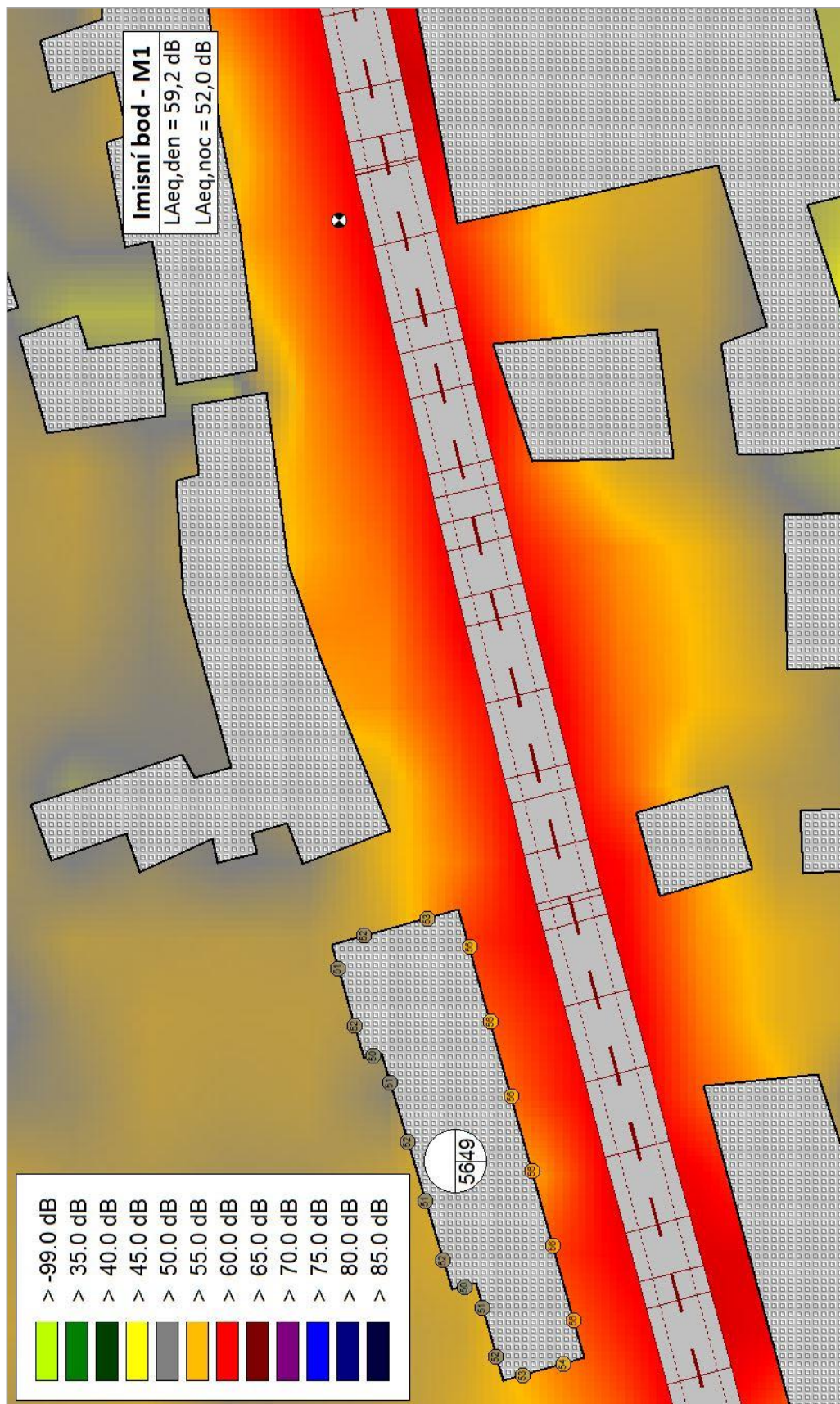
Výchozími parametry jsou intenzity dopravy naměřené na silničním tahu II/605. Pro dálnici byla vypočtena intenzita dopravy podle růstových koeficientů uvedených v TP 189 pro rok 2016. Dalším předpokladem bylo procentuální vyjádření dopravní obsluhy z celkového počtu projíždějících nákladních automobilů na průtahu. Pomocí odhadu byl zvolen tento podíl na 20 %. Jinými slovy se v této variantě předpokládá, že 20 % nákladních automobilů má v Mýtě zdroj nebo cíl a 80 % nákladních automobilů tvoří tranzit.

V následující tabulce jsou shrnuty všechny nastavované parametry potřebné pro výpočet akustické situace navrhovaného stavu.

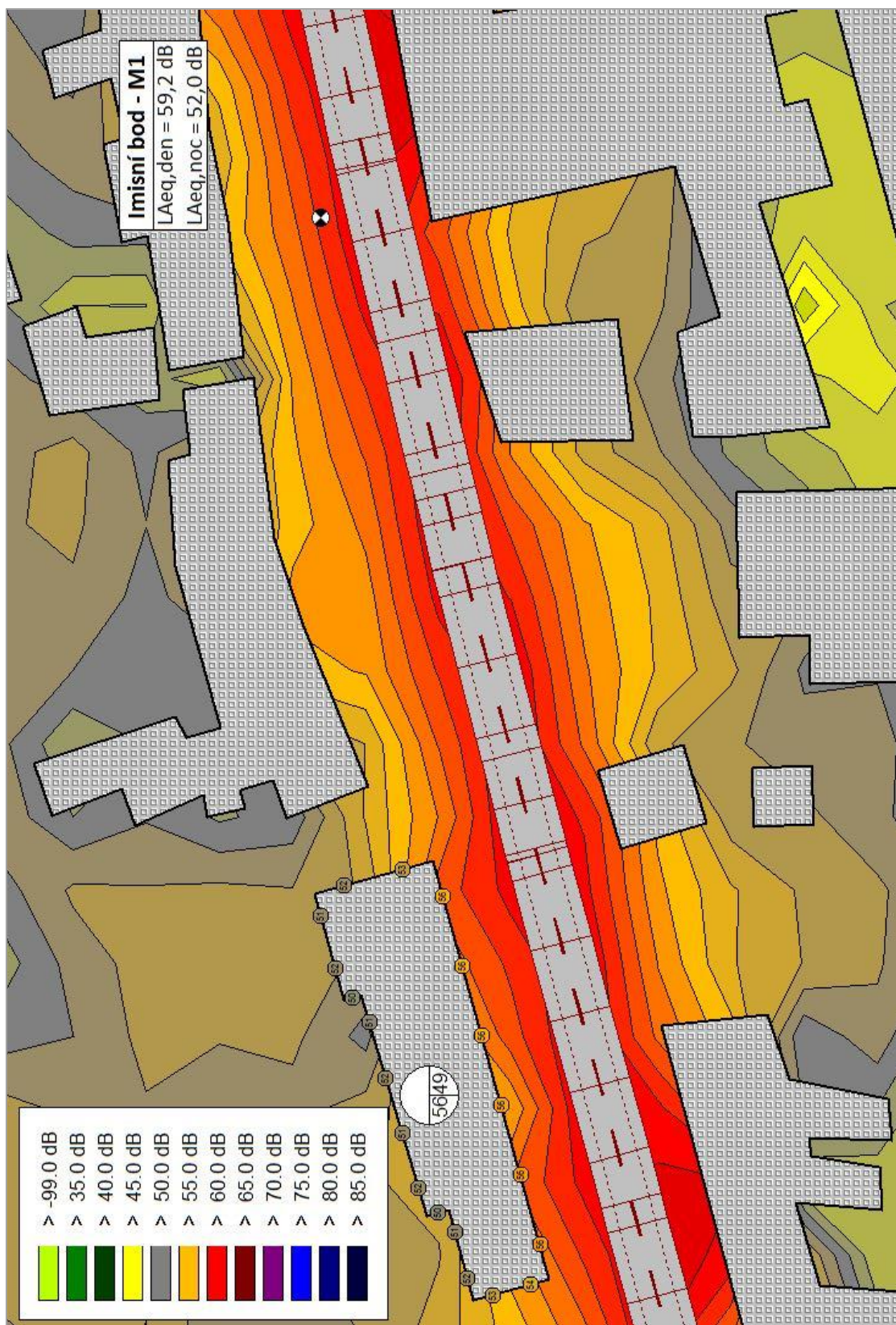
Tab. 16: Parametry pro navržený stav [3]

Silnice II/605		
Nastavovaný parametr	D (den)	N (noc)
Hodinová intenzita dopravy [voz/h]	346	53
Podíl nákladních vozidel [%]	2	4
Rychlost [km/h]	OA:47 NA:40	OA:47 NA:40
Povrch vozovky	Protihlukový koberec (SMA 8 LA)	
Výpočtový rok	1997	
Dálnice D5		
Hodinová intenzita dopravy [voz/h]	972	246
Podíl nákladních vozidel [%]	26	16
Rychlost [km/h]	OA:130 NA:90	
Povrch vozovky	Asfaltový beton hrubozrnný, modifikovaný asfalt	
Výpočtový rok	1997	

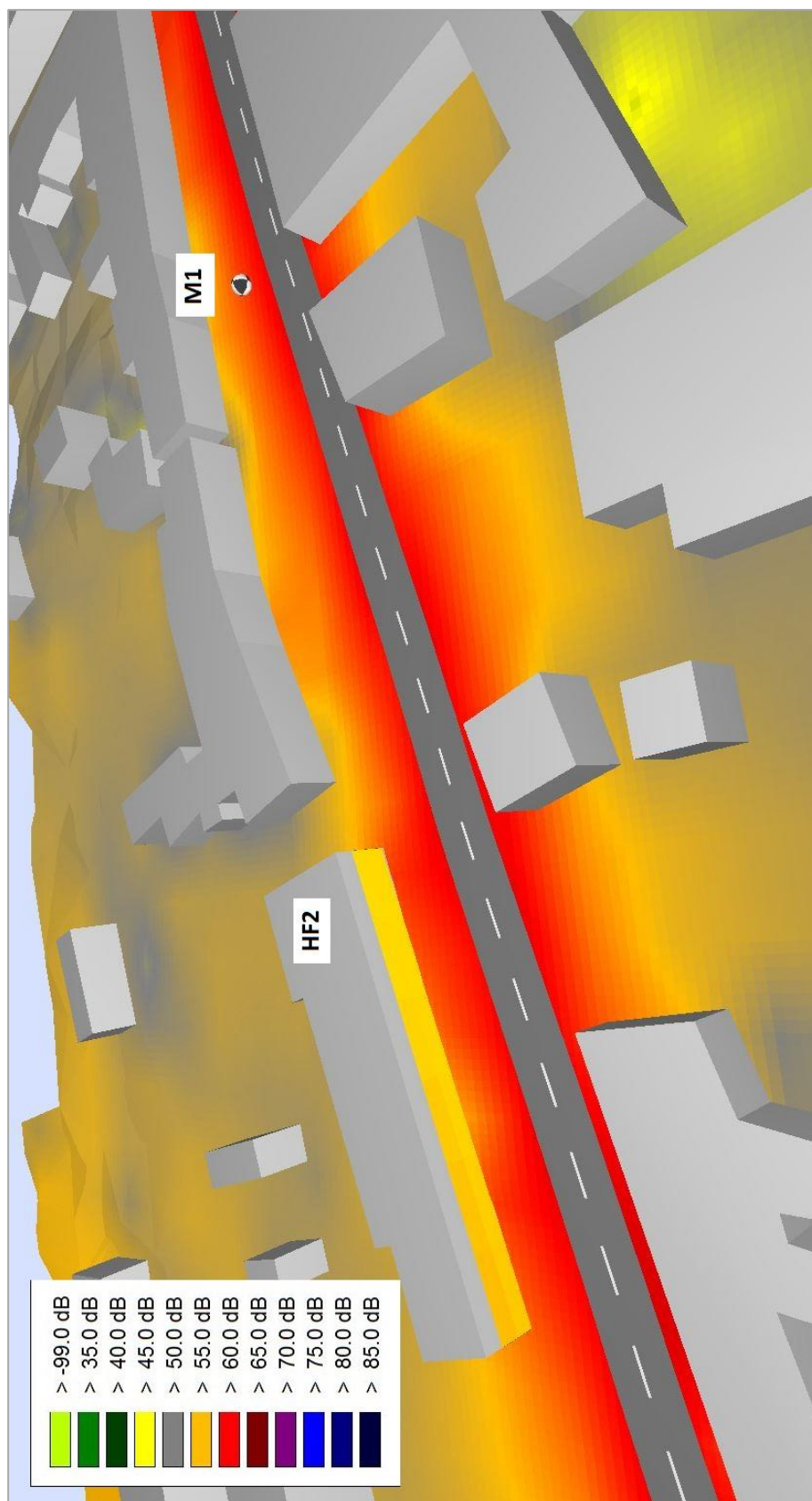
Na následujících obrázcích jsou výřezy z vytvořených hlukových rastrů navržené varianty. Hlukový rastr lze modelovat i pomocí hlukových pásem. Pro výřez hlukové mapy pro navrhované řešení byl v softwaru CadnaA také vytvořen hlukový rastr znázorňující vypočtená hluková pásma.



Obr. 22: Výřez hlukové mapy navrhovaného řešení k roku 2016 - den [3]



Obr. 23: Výřez hlukové mapy navrhovaného řešení k roku 2016 pomocí hlukových pásem - den [3]

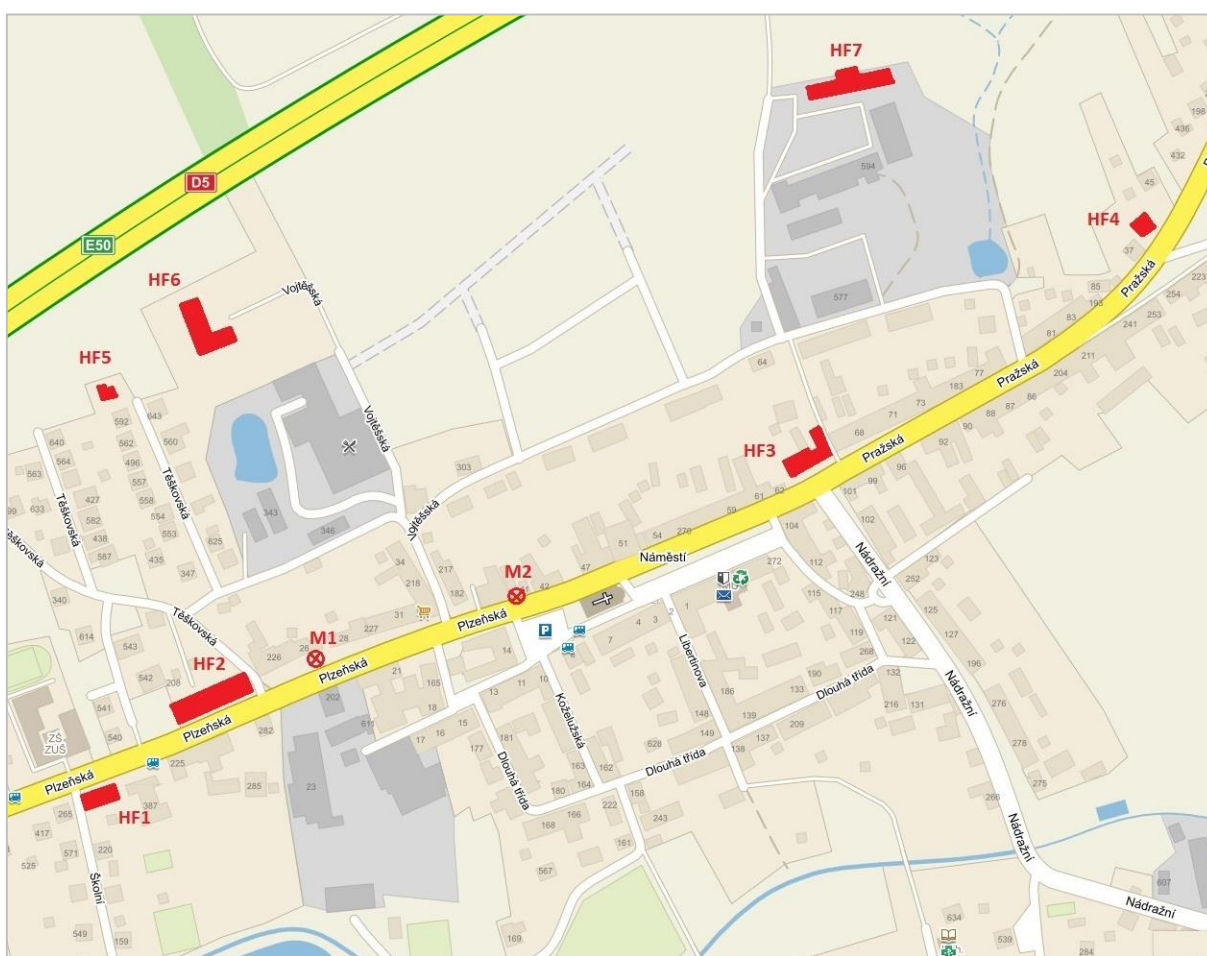


Obr. 24: 3D pohled na imisní bod M1 v softwaru CadnaA - den [3]

5 VÝSLEDKY VÝPOČTU A VYHODNOCENÍ

Výpočet všech vybraných imisních bodů a následný výpočet rastru jsou výstupy práce v softwaru CadnaA. Vypočtené hodnoty reprezentují ekvivalentní hladinu akustického tlaku A, která byla zjištěna za všech uvažovaných podmínek na vybraném imisním bodě.

Na mapovém podkladu (Obr. 25) jsou červeně vyznačené imisní body, u kterých byl proveden výpočet ekvivalentní hladiny akustické tlaku $A_{L_{Aeq}}$. Pro dominující zdroj emise hluku ze silnice II/605 bylo vybráno pět míst a pro dominující hluk z dálnice D5 byla vybrána tři místa. Objekty, na kterých byl uskutečňován výpočet fasády, jsou označeny HF, imisní bod je vyznačen písmenem M.



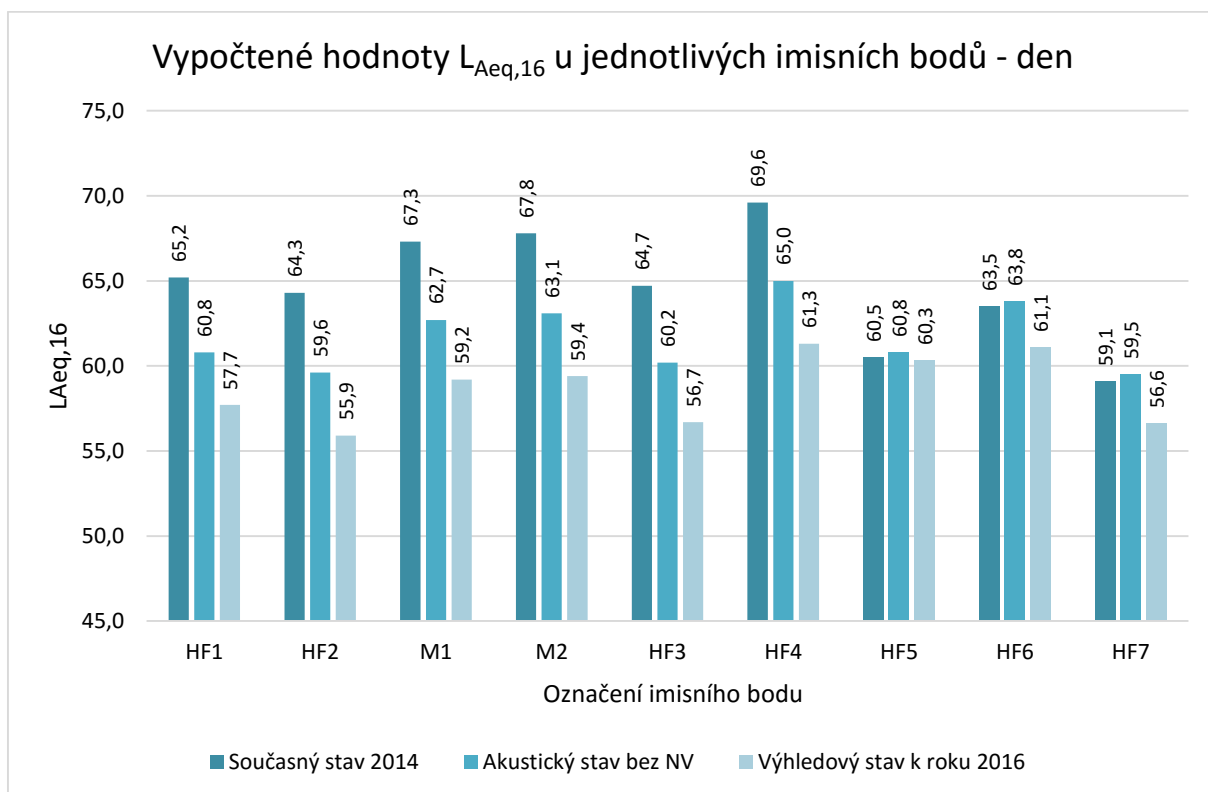
Obr. 25: Umístění jednotlivých výpočtových bodů [3] [4]

Pro všechny vybrané imisní body respektive vybrané fasády obytných zástaveb byla zhotovena přehledná tabulka pro všechny varianty výpočtu. Tabulka udává hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro $T = 16$ h (den) a $T = 8$ h (noc). V posledních sloupcích tabulky jsou hodnoty hygienických limitů, jež jsou pro daný případ stanoveny dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb.

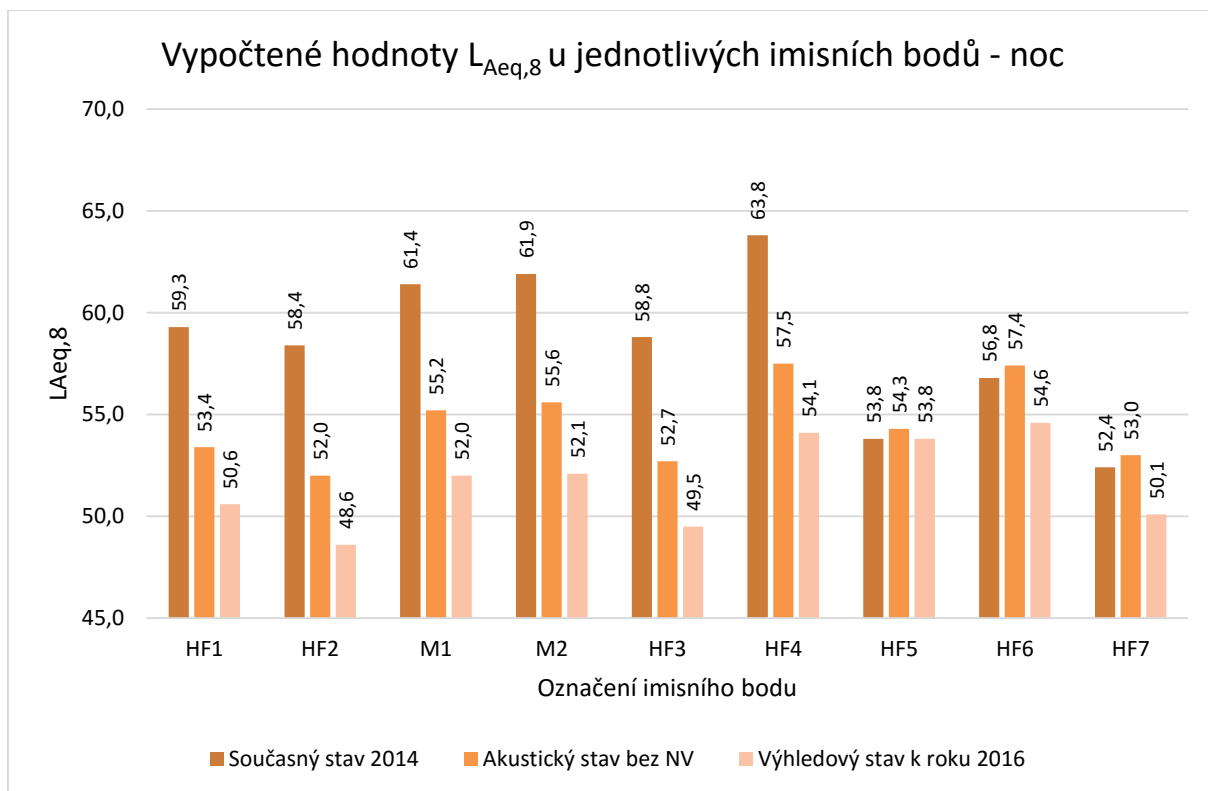
Tab. 17: Vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A [3]

Dominantní zdroj emise hluku	Označení imisního bodu (objektu)	Ekvivalentní hladina akustického tlaku A $L_{Aeq,T}$ [dB]							
		Současný stav 2014		Akustický stav bez NV		Navrhované řešení k roku 2016		Hygienické limity	
		T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h
II/605	HF1	65,2	59,3	60,8	53,4	57,7	50,6	70 (SHZ)	60 (SHZ)
	HF2	64,3	58,4	59,6	52,0	55,9	48,6		
	M1	67,3	61,4	62,7	55,2	59,2	52,0		
	M2	67,8	61,9	63,1	55,6	59,4	52,1		
	HF3	64,7	58,8	60,2	52,7	56,7	49,5		
	HF4	69,6	63,8	65,0	57,5	61,3	54,1		
D5	HF5	60,5	53,8	60,8	54,3	60,3	53,8	60	50
	HF6	63,5	56,8	63,8	57,4	61,1	54,6		
	HF7	59,1	52,4	59,5	53,0	56,6	50,1		

Grafické vyjádření vypočtených hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku A ve vybraných imisních bodech je na následujících obrázcích zvlášť pro den a zvlášť pro noc.



Obr. 26: Grafické vyjádření vypočtených hodnot $L_{Aeq,16}$ [3]



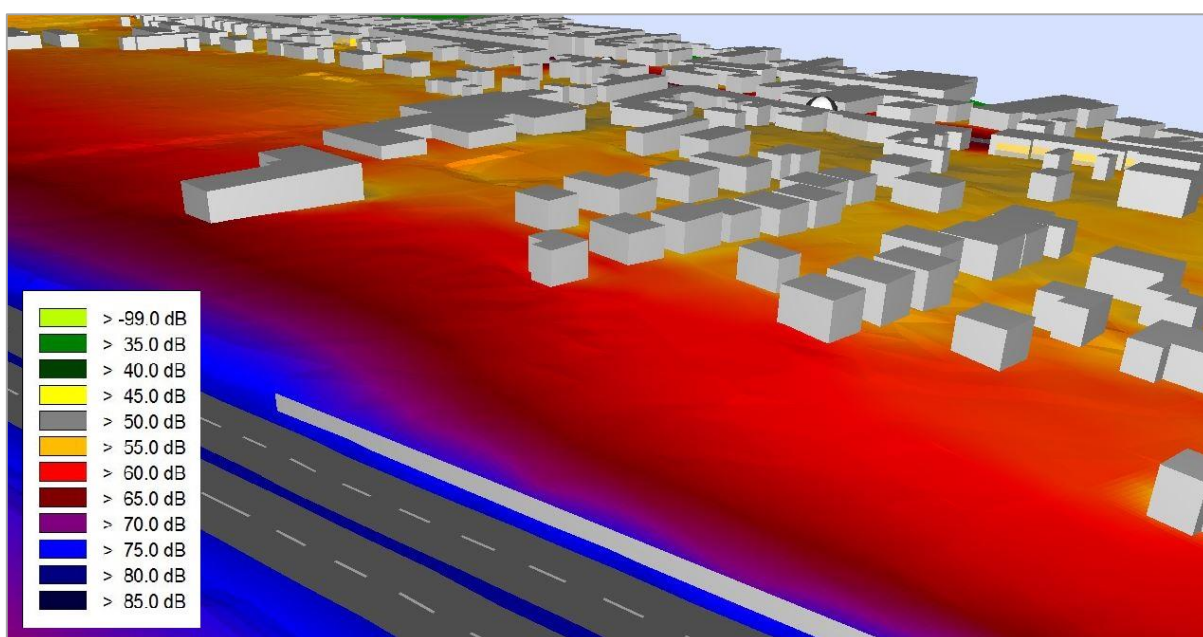
Obr. 27: Grafické vyjádření vypočtených hodnot $L_{Aeq,8}$ [3]

Následně byla vytvořena tabulka, ve které jsou přehledně znázorněny jednotlivé útlumy hladiny akustického tlaku A vzniklé protihlukovými opatřeními u obou modelovaných variant odečtené od hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku A současného stavu.

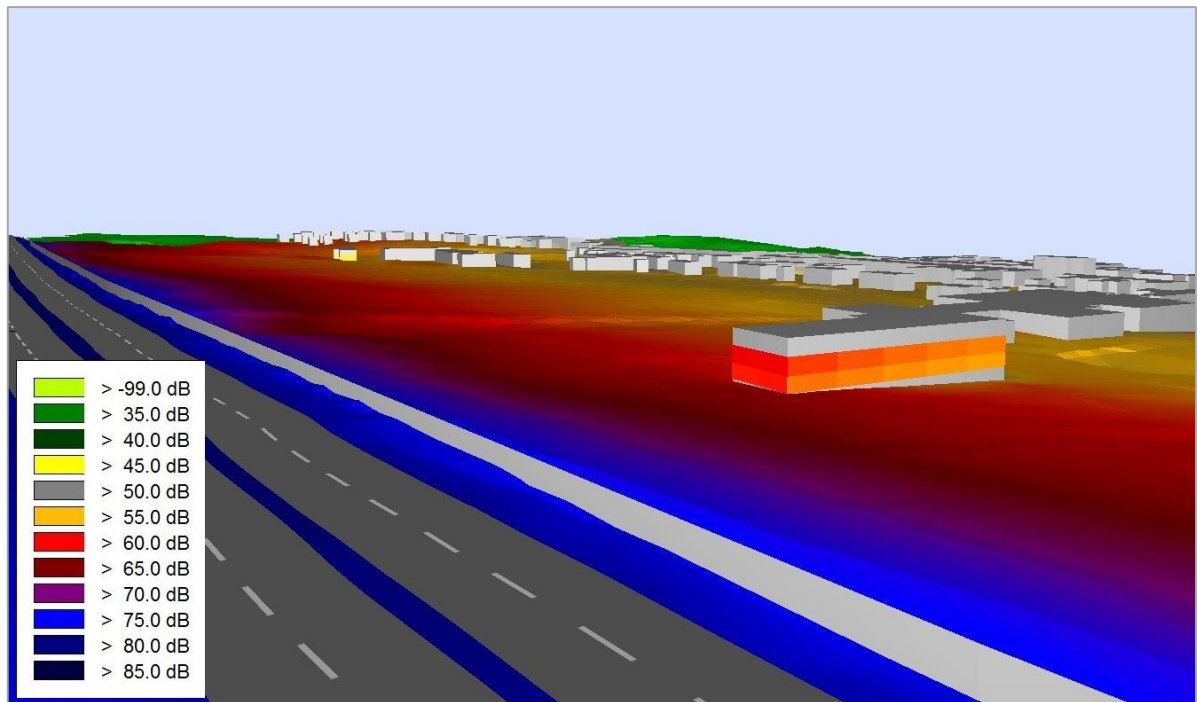
Tab. 18: Rozdíl ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro navržené varianty [3]

Dominantní zdroj emise hluku	Označení imisního bodu (objektu)	Rozdíl ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro navržené varianty [dB]					
		Současný stav 2014		Akustický stav bez NV		Navrhované řešení k roku 2016	
		T = 16 h	T = 8 h;	T = 16 h	T = 8 h	T = 16 h	T = 8 h
II/605	HF1	65,2	59,3	-4,4	-5,9	-7,5	-8,7
	HF2	64,3	58,4	-4,7	-6,4	-8,4	-9,8
	M1	67,3	61,4	-4,6	-6,2	-8,1	-9,4
	M2	67,8	61,9	-4,7	-6,3	-8,4	-9,8
	HF3	64,7	58,8	-4,5	-6,1	-8,0	-9,3
	HF4	69,6	63,8	-4,6	-6,3	-8,3	-9,7
D5	HF5	60,5	53,8	0,3	0,5	-0,2	0,0
	HF6	63,5	56,8	0,3	0,6	-2,4	-2,2
	HF7	59,1	52,4	0,4	0,6	-2,5	-2,3

Ačkoli byla v navržené variantě přesunuta nákladních vozidla na dálnici D5, díky nově navržené protihlukové stěně u této dálnice přesto došlo k poklesu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A. Na obrázku 28 je vykreslen 3D pohled v programu CadnaA zobrazující současný akustický stav podél dálnice D5, kde je již vybudována protihluková stěna. Navrhované řešení k roku 2016 počítá s prodloužením této již vybudované protihlukové stěny zhruba na dvojnásobnou vzdálenost, čímž dojde k poklesu hladiny akustického tlaku i podél dálnice D5 (obr. 29) u přilehlé obytné zástavby.



Obr. 28: 3D pohled pro modelovanou současnou situaci se stávající protihlukovou stěnou - den [3]



Obr. 29: 3D pohled na město Mýto z dálnice D5 s prodlouženou protihlukovou stěnou - den [3]

Znatelnější útlum byl však docílen na průtažné silnici II/605. U vybraných imisních bodů byl vypočten rozdíl od stávajících hladin akustického tlaku A v průměru 8 dB přes den a bezmála 10 dB přes noc. Vybraná opatření ve vzájemné kombinaci proto tvoří efektivní protihlukové řešení situace ve městě Mýto.

Pro vyšší přehlednost byly v softwaru CadnaA vymodelovány ještě tzv. rozdílové hlukové mapy graficky znázorňující útlum v každém bodě výpočtové oblasti pomocí barevné škály. Rozdílové mapy přehledně znázorňují místa, kde došlo k útlumu hladiny hluku respektive k jejímu nárůstu.

Výsledné hlukové rastry akustických stavů včetně rozdílových map jsou obsaženy v přílohách této práce.

6 ZÁVĚR

Navrhované řešení pro akustickou situaci ve městě Mýto je z hlediska poklesu hladiny akustického tlaku A efektivní při použití všech navržených protihlukových opatření. Stávající stav vyhovuje současným hygienickým limitům díky uplatnění staré hlukové zátěže na průtažné pozemní komunikaci II/605. Nadměrná hladina akustického tlaku z dopravy na průtahu je však pro obyvatele města nepřijatelná a má dopady na jejich zdraví. Obyvatelé si také stěžují na zvýšenou prašnost v centru města způsobenou průjezdy nákladních automobilů.

Hlavním předpokladem pro navržený stav je redukce nákladních vozidel projíždějící centrem města po doprovodné silnici a jejich přesun na dálnici. Takový přesun je ale logicky možný pro nákladní vozidla, která v dané lokalitě tvoří nežádoucí tranzitní dopravu. Vozidla mající ve městě a jeho okolí zdroj nebo cíl cesty je nutné ponechat.

Nedílnou součástí navrženého stavu je výměna krytu vozovky na průtahu. Nejvhodnější pro účely snížení hladiny akustického tlaku v obci je mastixový koberec asfaltový s označením SMA 8 LA. Vybraný protihlukový koberec má schopnost útlumu hluku vznikajícího na styku pneumatiky s vozovkou až o 5 dB. Protihlukové opatření je navržené také u dálnice ve formě protihlukové stěny navazující na již vystavěnou protihlukovou stěnu. Celková délka stěny je v návrhu uvažována přibližně 550 m při zachování její stávající výšky 3 m.

Další navržené opatření je kamerový dohled nad dodržováním požadované rychlosti v kompetenci městské policie města Mýta. Rychlost je snížena také díky zpomalovacím psychologickým prvkům. Je žádoucí, aby osobní automobily nepřekračovaly rychlost $50 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$ a předpokládá se nižší rychlost také u projíždějících nákladních vozidel, pro která je snížení komfortu jízdy na průtahu patrnější.

Navrhovaný stav neuvažuje změny akustické situace u železniční trati. V modelovacím softwaru CadnaA nelze uvažovat brzdění vlakových souprav na vybraném úseku, a proto je výpočet nepřesný. Protihlukové opatření kolem modernizované trati je dostatečné a není tedy prioritní v této oblasti z akustického hlediska nikterak zasahovat. V ochranném pásmu dráhy jsou také dodrženy odpovídající hygienické limity.

Výsledné hodnoty výpočtu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A ve vybraných imisních bodech jsou u navrhované varianty akceptovatelné. Útlum hladiny akustického tlaku A na doprovodné silnici II/605 je v průměru přibližně 8 dB přes den a necelých 10 dB přes noc. A ačkoli došlo k přesunu

tranzitní nákladní dopravy z průtahu na dálnici, i zde došlo díky prodloužení protihlukové stěny k poklesu hladiny akustické tlaku A v průměru o 2 dB.

Výsledkem této diplomové práce je reálné řešení problému s nadměrným dopravním hlukem na doprovodné silnici II/605. Že jde o účinné řešení, dokazuje zjištěný útlum hladiny akustického tlaku A vypočtený v softwaru CadnaA. Hlavním výstupem diplomové práce jsou zjištěné vypočtené hodnoty ekvivalentních hladin akustického tlaku A na kontrolních imisních bodech, které jsou doplněny přehledným hlukovým rastrem. Hlukové rastry lze od sebe v softwaru pomocí aritmetiky odečíst za vzniku rozdílových hlukových rastrů. Tyto rastry pomocí barevné škály určují útlum hladiny akustického tlaku v každém bodě výpočtové oblasti.

Kombinace vybraných protihlukových opatření je podle autora diplomové práce nejvhodnějším řešením akustického stavu ve vybrané lokalitě. Město Mýto bylo vybráno jako charakteristický příklad města doplávajícího na problém vedení průtažné silnice, která slouží jako doprovodná objízdná trasa k přilehlé dálnici. Řešení, které je v práci uvedeno, lze proto aplikovat i v jiných městech, kde se potýkají se stejným problémem nadměrného hluku z dopravy.

7 SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Korekce pro stanovení limitů hluku [8]	16
Tab. 2: Korekce typu kolejového svršku [7]	19
Tab. 3: Korekce směrového vedení trati [7]	19
Tab. 4: Kategorie zvukové pohltivosti u protihlukových stěn [14]	21
Tab. 5: Protihlukové opatření obrusné vrstvy vozovky [20]	24
Tab. 6: Naměřené hodnoty [2]	31
Tab. 7: Limitní hodnoty ve městě Mýto [2]	32
Tab. 8: Koeficienty vývoje dopravy [17]	43
Tab. 9: Denní variace v době od 6:00 do 8:00 [16]	43
Tab. 10: Denní variace v době od 22:00 do 24:00 [16]	44
Tab. 11: Nastavení parametrů kalibrace modelu [2]	45
Tab. 12: Hodnoty kalibrace výpočtového modelu [2]	46
Tab. 13: Nastavení kalibrace modelu pro železnici [2]	46
Tab. 14: Vypočtené hodnoty u železnice [2]	47
Tab. 15: Parametry pro variantu neuvažující nákladní vozidla stav [2]	50
Tab. 16: Parametry pro navržený stav [3]	53
Tab. 17: Vypočtené hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A [3]	58
Tab. 18: Rozdíl ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro navržené varianty [3]	59

8 SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1. Akustická situace ve městě Mýto – současný stav (den)

Příloha 2. Akustická situace ve městě Mýto – současný stav (noc)

Příloha 3. Akustická situace ve městě Mýto – výhledový stav (den)

Příloha 4. Akustická situace ve městě Mýto – výhledový stav (noc)

Příloha 5. Akustická situace ve městě Mýto – stav bez NV (den)

Příloha 6. Akustická situace ve městě Mýto – stav bez NV (noc)

Příloha 7. Akustická situace ve městě Mýto – rozdílová mapa (den)

Příloha 8. Akustická situace ve městě Mýto – rozdílová mapa (noc)

9 SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Průběhy váhových křivek filtrů typů A, C a Z [22]	12
Obr. 2: Schematické rozdělení intenzity zvuku při dopadu na stěnu [6]	14
Obr. 3: Závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti pro OA [2].....	22
Obr. 4: Závislost hladiny akustického tlaku na rychlosti pro NA [2].....	22
Obr. 5: Závislost snížení hladiny hluku na intenzitě dopravy [2].....	23
Obr. 6: Technologie mýtných systémů v Evropě [19]	25
Obr. 7: Sazba mýtného [19]	26
Obr. 8: Město Mýto vyznačené na mapě ČR [21]	27
Obr. 9: Mapa širších vztahů [4]	28
Obr. 10: Výběr míst pro terénní měření hluku [4] [3]	29
Obr. 11: Umístění mikrofону zvukoměru během terénního měření [3]	30
Obr. 12: Graf naměřených hodnot L_{Aeq} [2].....	32
Obr. 13: Průjezdy nákladních automobilů městem Mýto [3].....	33
Obr. 14: Příprava modelu v softwaru CadnaA [3]	37
Obr. 15: 3D vizualizace modelu v softwaru CadnaA [3].....	38
Obr. 16: Protihluková stěna podél dálnice D5 [3]	39
Obr. 17: Protihlukové stěny podél modernizované železniční trati [3]	40
Obr. 18: Natavení výpočtové metodiky v programu CADNA A [3].....	41
Obr. 19: Nastavení výpočtové metodiky v programu CadnaA [3]	41
Obr. 20: Výřez hlukové mapy současného stavu - den [3].....	48
Obr. 21: Výřez hlukové mapy bez NV na průtahu - den [3]	51
Obr. 22: Výřez hlukové mapy navrhovaného řešení k roku 2016 - den [3]	54
Obr. 23: Výřez hlukové mapy navrhovaného řešení k roku 2016 pomocí hlukových pásem - den [3]	55
Obr. 24: 3D pohled na imisní bod M1 v softwaru CadnaA - den [3]	56

Obr. 25: Umístění jednotlivých výpočtových bodů [3] [4]	57
Obr. 26: Grafické vyjádření vypočtených hodnot LAeq,16 [3]	58
Obr. 27: Grafické vyjádření vypočtených hodnot LAeq,8 [3]	59
Obr. 28: 3D pohled pro modelovanou současnou situaci se stávající protihlukovou stěnou - den [3]	60
Obr. 29: 3D pohled na město Mýto z dálnice D5 s prodlouženou protihlukovou stěnou - den [3].....	61

10 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY A ZDROJŮ

- [1] LÁDYŠ, L., LIBERKO, M.: *Výpočet hluku z automobilové dopravy*, manuál ŘSD ČR, 2011
- [2] Autor diplomové práce
- [3] Vlastní obrazový materiál – archiv autora
- [4] maps.google.com
- [5] Shopping and office centrum Bořislavka: Akustické posouzení [online]. [cit. 2016-02-24]. Dostupné z: http://praha6ztracitvar.cz/doku/vystavba/borislavka/2014-eia-pha915/eia-borislavka-priloha-2_akusticka-studie.pdf
- [6] Encyklopedie fyziky [online]. [cit. 2016-03-29]. Odraz zvuku, pohlcování zvuku. Dostupné z: <http://fyzika.jreichl.com/main.article/view/197-odraz-zvuku-pohlcovani-zvuku>
- [7] Schall03. Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz [online]. [cit. 2016-03-29]. Dostupné z: https://www.stmu.v.bayern.de/umwelt/laermschutz/eg_umgebungslaermrichtlinie/doc/2vbusch.pdf
- [8] Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací
- [9] Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů
- [10] Hluk & Emise: Hluk z dopravy [online]. [cit. 2016-03-27]. Dostupné z: <http://hluk.eps.cz/hluk/>
- [11] Kdy použít speciální protihluková okna. *InfoGLASS* [online]. [cit. 2016-04-28]. Dostupné z: <http://www.infoglass.cz/kdy-pouzit-specialni-protihlukova-okna/>
- [12] ŘEHÁK, Jiří. *Elektronické mýtné systémy*. [prezentace PowerPoint]. Praha, 2015.
- [13] <http://geoportal.cuzk.cz>
- [14] HELA, Rodulf. Přehled vlastností pohltivých protihlukových stěn na českém trhu. Časopis stavebnictví [online]. 2010, (5) [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://www.casopisstavebnictvi.cz/prehled-vlastnosti-pohltych-protihlukovych-sten-na-ceskem-trhu_N3475
- [15] Akustika, základní pojmy a veličiny v akustice [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_02.pdf
- [16] TP 189: *Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích*. EDIP s.r.o., 2012. ISBN 978-80-87394-06-9.
- [17] TP 225: *Prognóza intenzit automobilové dopravy*. EDIP s.r.o., 2012. ISBN 978-80-87394-07-6.
- [18] KŘIVÁNEK, Vítězslav. Problematika hlučnosti povrchů vozovek [online]. [cit. 2016-04-02]. Dostupné z: <https://www.cdv.cz/file/seminar-skanska-problematika-hlucnosti>

- [19] *Pracovní skupina elektronické mýtné* [online]. 2013 [cit. 2016-04-5]. Dostupné z: <http://www.elektronickemytne.cz/>
- [20] *Snižování hluku možnými úpravami obrusné vrstvy vozovky* [online]. Luxemburk, F., 2010 [cit. 2016-04-5]. Dostupné z: <http://www.silnice-zeleznice.cz/clanek/snizovani-hluku-moznymi-upravami-obrusne-vrstvy-vozovky>
- [21] Mapa České Republiky. In: *EU2009* [online]. Archiv Úřadu vlády ČR, 2009 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: <http://www.eu2009.cz/cz/czech-republic/regions/regiony-cr-328/index.html>
- [22] What are A, C & Z Frequency Weightings. *NoiseNews* [online]. Tingay, J., 2011 [cit. 2016-05-01]. Dostupné z: <http://www.cirrusresearch.co.uk/blog/2011/08/what-are-a-c-z-frequency-weightings/>

11 SEZNAM POUŽITÉHO SOFTWARE

- ArcGIS 10.4
- CadnaA v4.0.135
- Microsoft Office Excel 2013
- Microsoft Office Word 2013