

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA DOPRAVNÍ

Lukáš Hunal

OPTIMALIZACE PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ NA
DÁLNICI D1 VŮČI ZÁSTAVBĚ OBCE SLAVNÍČ

Diplomová práce

2016



K612..... Ústav dopravních systémů

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

Jméno a příjmení studenta (včetně titulů):

Bc. Lukáš Hunal

Kód studijního programu a studijní obor studenta:

N 3710 – DS – Dopravní systémy a technika

Název tématu (česky): **Optimalizace protihlukových opatření na dálnici D1
vůči zástavbě obce Slavníč**

Název tématu (anglicky): Optimization Measures Against Noise from the Highway D1
in the Village Slavníč

Zásady pro vypracování

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

- Úvod, shrnutí závěrů z bakalářské práce
- Charakteristika stávající stavu, akustická situace, intenzity dopravy
- Optimalizace protihlukových stěn
- Návrh protihlukové clony, řešení vztahu mezi útlumem a náklady
- Manuální optimalizace
- Modelování v programu CADNA A
- Závěr, 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
ČSN ISO 10847. Akustika - Určení vložného útlumu in situ venkovních protihlukových clon všech typů. Praha: Český normalizační institut, 1999, 16 s.
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. Lukáš Hunal
jméno a podpis studenta

V Praze dne.....30. června 2015

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé diplomové práce doc. Ing. Kristýně Neubergové, Ph.D. za poskytnutí důležitých rad, znalostí a zkušeností při vedení mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat panu Ing. Liboru Ládyšovi za praktické rady z oblasti měření a zpracování hluku. V neposlední řadě bych poděkoval mým rodičům za podporu v průběhu celého studia.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

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).

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

V Praze dne 17. května 2016


.....
podpis

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta dopravní

OPTIMALIZACE PROTIHLUKOVÝCH OPATŘENÍ NA DÁLNICI D1 VŮČI
ZÁSTAVBĚ OBCE SLAVNÍČ

Diplomová práce

květen 2016

Lukáš Hunal

ABSTRAKT

Předmětem diplomové práce je optimalizace protihlukových opatření na dálnici D1 vůči zástavbě obce Slavníč. Úvodní část práce seznamuje s důležitými pojmy a legislativou v oblasti dopravního hluku a shrnuje závěry a výsledky z bakalářské práce. Následující část diplomové práce se zabývá rozdělením, konstrukcí a prohlídkami protihlukových stěn. Teoretická část práce dále pojednává o požadavcích návrhu protihlukových stěn. Praktická část obsahuje v úvodu seznámení s programem CADNA A, ve kterém probíhalo modelování. Následně práce obsahuje modelování současné a výhledové akustické situace v obci Slavníč a řešení optimalizační úlohy pro výběr vhodného protihlukového opatření. Závěrem diplomové práce je uvedeno porovnání modelovaných výhledových variant vytvořených v programu CADNA A, stanovení optimálního návrhu protihlukového opatření, stanovení rozdílových map a doporučení použití jednotlivých druhů optimalizací. Přínosem této diplomové práce je určení a výpočet vhodného protihlukového opatření, které by po výstavbě zajistilo snížení současného nadměrného hluku v obci Slavníč na zákonem stanovené hygienické limity.

KLÍČOVÁ SLOVA

Protihluková clona, Hluk, CADNA A, Slavníč, Optimalizace, Modelování

CZECH TECHNICAL UNIVERSITY IN PRAGUE

Faculty of Transportation Sciences

OPTIMIZATION MEASURES AGAINST NOISE FROM THE MOTORWAY D1 IN
THE VILLAGE SLAVNÍČ

Thesis

may 2016

Lukáš Hunal

ABSTRACT

The subject of the thesis is the optimization measures against noise from the motorway D1 in the village Slavníč. The introductory part of this thesis acquaints with important terms and the legislation in the area of traffic noise and summarizes conclusions and results of the bachelor thesis. The following part of this thesis is concerned with a distribution, construction and with inspections of noise barriers. The theoretical part of this thesis deals with the draft requirements of noise barriers. The practical part of this thesis contains in the introduction the acquaintance with the program CADNA A in which simulations were conducted. This thesis contains the current and prospective simulation of the acoustical situation in the village Slavníč and contains the solution of the optimization problem for the choice of the appropriate measure. In the end the thesis contains a comparison between simulate and prospective variants created in the program CADNA A, an assignment the optimal variant of a measure against noise, an assignment the difference maps and recommendations of using particular sorts of optimizations. The contribution of this thesis is the assignment and the calculation of the useful acoustical measure which would safeguard reduction of oversize noise after the construction in the village Slavníč on statutory hygienic limits.

KEY WORDS

Noise barrier, Noise, CADNA A, Slavnice, Optimization, Simulation

Obsah

1.	Úvod.....	- 8 -
2.	Legislativa hluku v České republice.....	- 10 -
2.1.	Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví	- 10 -
2.2.	Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.....	- 11 -
3.	Základní definice a metody související s hlukem a jeho modelováním	- 14 -
4.	Úvod do problematiky nadměrného hluku v řešené lokalitě	- 20 -
4.1.	Popis řešené lokality.....	- 20 -
4.2.	Shrnutí závěrů z bakalářské práce, akustická situace, intenzity dopravy	- 21 -
5.	Protihlukové clony	- 27 -
5.1.	Dělení protihlukových clon	- 27 -
5.2.	Konstrukce protihlukových clon	- 28 -
5.3.	Prohlídky protihlukových clon	- 31 -
5.4.	Požadavky na návrh protihlukových clon	- 31 -
6.	Modelování akustické situace v programu CADNA A	- 36 -
6.1.	Úvod.....	- 36 -
6.2.	Popis programu CADNA A	- 36 -
6.3.	Modelování současné, naměřené akustické situace	- 37 -
6.3.1.	Kalibrace modelu	- 40 -
6.3.2.	Výpočet imisního bodu	- 43 -
6.3.3.	Výsledky výpočtu akustické situace a srovnání vymodelovaných a naměřených dat.....	- 43 -
6.3.4.	Výpočet hodnocení fasád.....	- 44 -
6.3.5.	Modelování hlukového rastru.....	- 47 -
6.4.	Modelování výhledové akustické situace	- 53 -
6.4.1.	Manuální optimalizace protihlukové stěny.....	- 53 -
6.4.2.	Automatická optimalizace protihlukové stěny	- 65 -
6.4.3.	Srovnání manuální a automatické optimalizace protihlukového opatření.....	- 70 -

6.4.4. Závěry modelování výhledové akustické situace	- 71 -
6.5. Tvorba rozdílových hlukových map	- 72 -
7. Závěr	- 75 -
8. Použité zdroje	- 79 -
9. Seznam obrázků	- 81 -
10. Seznam tabulek	- 83 -
11. Seznam příloh	- 85 -
12. Seznam použitých programů	- 86 -

1. Úvod

V dnešní době je ve světě techniky kladen čím dál větší důraz na životní prostředí. Existují různé zákony a nařízení vlády pro správné projektování, výstavbu a využívání nejrůznějších staveb. Výjimku netvoří ani stavby dopravní, které způsobují životnímu prostředí velké komplikace. Provoz po dopravních stavbách způsobuje znečišťování ovzduší a vody, hluk, vibrace, zábory orných půd, spotřeby energií, bariérový efekt a mnoho dalších negativních vlivů. Snahou je eliminovat všechny tyto negativní vlivy.

Velice diskutovaným tématem je v současné době hluk způsobovaný silniční dopravou. Silniční doprava je hlavním zdrojem nadměrného hluku. Ten působí obtíže zejména obyvatelům měst a vesnic, žijícím v blízkosti vysoce vytížených dopravních tepen, pokud tyto dopravní tepny nejsou vybaveny dostatečným protihlukovým opatřením, které by obyvatele obcí a měst od nadměrného hluku ochránilo. Na mnoha komunikacích jsou instalována protihluková opatření, která správně plní svou funkci. Existuje však mnoho úseků silnic a dálnic, kde tato opatření chybějí. Pro správné rozhodnutí o umístění protihlukového opatření na komunikacích je nutná akustická studie, která potvrdí nutnost výstavby. Pokud akustická studie prokáže, že v daném místě nadměrný hluk překračuje zákonem stanovené hygienické limity, mělo by dojít k takovým opatřením, která by zajistila dodržení těchto limitů. Domnívám se, že zdraví obyvatel by mělo být primární. Přestože jsou v obci Slavníč překračovány hygienické hlukové limity, nejsou zde vystavěna žádná protihluková opatření, a proto se stala obec Slavníč místem mého zkoumání.

Tyto aspekty mě dovedly k napsání diplomové práce na téma Optimalizace protihlukových opatření na dálnici D1 vůči zástavbě obce Slavníč. V této diplomové práci navazuji na svou bakalářskou práci s názvem Návrh protihlukových opatření v obci Slavníč. Diplomová práce vychází z práce bakalářské a jejím cílem je optimalizace navrženého protihlukového opatření na dálnici D1 vzhledem k řešené obci Slavníč. Práce se zabývá volbou nejvhodnější varianty protihlukového opatření z hlediska hlukového útlumu v obci vzhledem k nákladům na výstavbu tohoto opatření a jeho provozování. K volbě nejvhodnější varianty protihlukového opatření je v práci využit program CADNA A, pomocí kterého jsou modelovány současné a výhledové varianty řešení. Praktická část práce nejprve uvádí modelování současného reálně naměřeného stavu. Tento stav je modelován pomocí programu

CADNA A spolu s geografickými podklady. V práci je současný stav řešen vložení imisního bodu do modelu na místo, odkud bylo prováděno reálné měření. Pomocí programu je pak vypočítána ekvivalentní hladina akustického tlaku právě v tomto imisním bodě. Tento současný stav demonstruje a dokladuje v práci nutnost výstavby protihlukového opatření. Při hledání nejvhodnějšího řešení práce uvádí výhledové modelování pomocí automatické i manuální optimalizace. Manuální optimalizace je v práci řešena vymodelováním několika variant protihlukových opatření různých délek a výšek. Z těchto variant jsou počítány ekvivalentní hladiny akustického tlaku ve čtyřech vložených imisních místech. Tyto body jsou vloženy z důvodu kontroly následného splnění hlukových hygienických limitů celé obce po provedení výpočtu programem. Dále jsou jednotlivé varianty podrobeny výpočtem útlumu hluku spolu s výpočtem nákladů na jejich výstavbu pomocí jednotkové ceny za m² materiálu. Nejvhodnější varianta je v práci vybrána tak, aby navržené protihlukové opatření ochránilo obec Slavníč před nadměrným hlukem. Nadměrným hlukem se myslí překročení zákonem stanovených hygienických limitů. Dále je výběr nejvhodnějšího řešení vázán na optimální náklady na výstavbu tohoto řešení. Automatická optimalizace protihlukového opatření je v diplomové práci řešena modelováním náspu po okraji dálnice D1 ve směru na Jihlavu. Tomuto náspu jsou určeny počáteční parametry a následně je násep rozdělen na třicetimetrové úseky tak, aby mohlo dojít automatickou optimalizací k výpočtu optimální výšky jednotlivých rozdělených úseků. Dále je násep převeden zpět na protihlukovou stěnu a řešen jako celistvý objekt. Automatická optimalizace zajišťuje v práci na rozdíl od optimalizace manuální možnost různých výšek jednotlivých částí modelované protihlukové stěny a pro porovnání s optimalizací manuální je zachováno umístění všech čtyř imisních bodů. Automatickou optimalizací je v práci určena optimální délka a výška jednotlivých úseků protihlukové stěny pro dodržení hygienických limitů v obci Slavníč. Konečný návrh nejvhodnější varianty po provedení manuální a automatické optimalizace je v práci řešen výběrem té varianty, která zamezí nadměrnému hluku v celé obci a náklady na její výstavbu budou nejnižší. Po nalezení této varianty diplomová práce obsahuje tzv. hlukovou rozdílovou mapu, která znázorňuje útlumy hluku celé obce po aplikaci nejvhodnější výhledové varianty.

2. Legislativa hluku v České republice

Hlukem z dopravy se zabývá zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a dále nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.

2.1. Zákon č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví

Zákon č. 258/2000 Sb. vstoupil v účinnost 1.1.2001. Hlukem z dopravy se v zákoně zabývá šestý díl: Ochrana před hlukem, vibracemi a neionizujícím zářením. O hluku z dopravy zde pojednávají paragrafy 30, 31, 32 a 34. Dále je v zákoně popsán v paragrafu 83 samotný pojem hluku.

Dle paragrafu 83 zákona č. 258/2000 Sb. se za hluk považuje hluk, kterému jsou lidé vystaveni v zastavěných územích, ve veřejných parcích a tichých oblastech v aglomeracích, v tichých oblastech ve volné krajině, v blízkosti škol, nemocnic a ostatních oblastech a územích citlivých na hluk. Za hluk se nepovažuje hluk způsobený osobou, která je mu vystavena, hluk v domácnostech, sousedský hluk, hluk z rekreačních aktivit, hluk na pracovištích, hluk uvnitř dopravních prostředků a hluk způsobený vojenskou činností v objektech důležitých pro obranu státu.

Paragraf 30 praví, že vlastník pozemní komunikace či správce pozemní komunikace, která je zdrojem hluku, je povinen různými technickými a organizačními opatřeními v rozsahu, který stanovuje zákon č. 258/2000 Sb., zajistit nepřekračování hlukových hygienických limitů stanovených prováděcím právním předpisem pro chráněné venkovní prostory, chráněné vnitřní prostory staveb a chráněné venkovní prostory staveb. Paragraf 30 dále vysvětluje pojem hluku, kterým se rozumí zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož limity stanovuje prováděcí právní předpis. Tento paragraf dále vysvětluje pojmy: chráněný venkovní prostor, chráněný venkovní prostor staveb a chráněný vnitřní prostor staveb. Chráněný venkovní prostor staveb zákon č. 258/2000 Sb. vysvětluje jako prostor do 2 m okolo bytových domů, rodinných domů, staveb pro školní a předškolní výchovu a pro zdravotní a sociální účely.

Paragraf 31 vysvětluje problematiku nemožnosti dodržení hygienických limitů. Tento paragraf říká, že pokud při provozování nebo používání zdroje hluku, s výjimkou letišť, nelze z vážných důvodů dodržet hygienické limity, může osoba, která je zodpovědná za provozování tohoto zdroje hluku, zdroj hluku provozovat na základě

uděleného povolení, které na návrh této osoby vydává příslušný orgán ochrany veřejného zdraví. Orgán ochrany veřejného zdraví může vydat časově omezené povolení, ale dotyčná osoba musí prokázat, že způsobený hluk nebo vibrace budou omezeny na rozumně dosažitelnou míru. Paragraf také vysvětluje, co je rozumně dosažitelná míra. Rozumně dosažitelnou mírou je poměr mezi náklady na protihluková opatření a jejich přínosem ke snížení hlukové zátěže fyzických osob stanovený i s ohledem na počet fyzických osob exponovaných nadlimitnímu hluku.

Paragraf 32 stanovuje, kdo může provádět měření hluku. Hluk může v životním prostředí člověka měřit dle zákona č. 258/2000 Sb. pouze držitel osvědčení o akreditaci nebo držitel autorizace dle paragrafu 83c.

Paragraf 34 seznamuje s pojmem noční doby. Noční dobou se pro účely kontroly dodržení povinností v ochraně před hlukem rozumí doba od 22.00 do 06.00 hodin. Dále říká, že hygienické limity hluku pro denní a noční dobu upravuje prováděcí právní předpis, který také udává způsob jejich měření a vyhodnocení.[1]

Dne 1.12.2015 nabyla účinnosti novela zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví. Tato novela přinesla další ustanovení spojená s hlukem z dopravy. Ty jsou popsány v paragrafu 77. V tomto paragrafu se pojednává o tom, že pokud je v platné Územně plánovací dokumentaci uveden záměr, u kterého lze důvodně předpokládat, že bude po uvedení do provozu zdrojem hluku nebo vibrací, nelze ke stavbě, která by mohla být tímto hlukem či vibracemi dotčena, vydat kladné stanovisko orgánu veřejného zdraví, aniž by u ní byla přijata opatření k ochraně před hlukem a vibracemi. Část 5 stejného paragrafu uvádí, že pokud neprovede stavebník dostatečná opatření k ochraně před hlukem, nemůže žádat, aby tato opatření provedl provozovatel, vlastník nebo správce zdroje hluku. To neplatí, dojde-li k prokazatelnému navýšení hluku ze zdroje hluku. [2]

2.2. Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb. vstoupilo v účinnost 01.11.2011. Toto nařízení se zabývá mimo jiné zpracováním předpisů Evropské unie, úpravou hygienických limitů hluku pro chráněný venkovní prostor, chráněné venkovní prostory staveb a chráněné vnitřní prostory staveb a způsobem měření a hodnocení hluku pro denní a noční dobu.

Nařízení popisuje pojem staré hlukové zátěže. Stará hluková zátěž je dle nařízení hluk v chráněném venkovním prostoru a chráněných venkovních prostorech staveb, který vznikl před 1. lednem 2001 a je působený dopravou na pozemních komunikacích a drahách. [3]

Paragraf 12 se zabývá hygienickými limity hluku v chráněných venkovních prostorech staveb a v chráněném venkovním prostoru. Tento paragraf uvádí, že hodnoty hluku se vyjadřují ekvivalentní hladinou akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$. Pro denní dobu se tato ekvivalentní hladina akustického tlaku stanoví pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhluchnějších hodin ($L_{Aeq,8h}$), pro noční dobu pro nejhluchnější 1 hodinu ($L_{Aeq,1h}$). Pro hluk, který pochází z dopravy na pozemních komunikacích (výjimka účelové komunikace) a drahách se hladina akustického tlaku stanoví pro celou denní a celou noční dobu ($L_{Aeq,16h}$, $L_{Aeq,8h}$). Dále paragraf 12 uvádí výpočet hygienického limitu ekvivalentní hladiny akustického tlaku A . Hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku A se stanoví jako součet základní hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ (50 dB pro den, 40 dB pro noc) a korekcí v závislosti na druhu chráněného prostoru, denní a noční době. Příloha č. 3 tohoto nařízení uvádí příslušné korekce:

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

Tabulka 1: Korekce pro výpočet hygienického limitu ekvivalentní hladiny akustického tlaku [3]

Korekce 1) se použije pro hluk na účelových komunikacích.

Korekce 2) se použije pro hluk z dopravy na silnicích III. třídy a místních komunikacích III. třídy.

Korekce 3) se použije pro hluk z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy a místních komunikacích I. a II. třídy v území, kde hluk z dopravy na těchto komunikacích je převažující nad hlukem z dopravy na ostatních pozemních komunikacích.

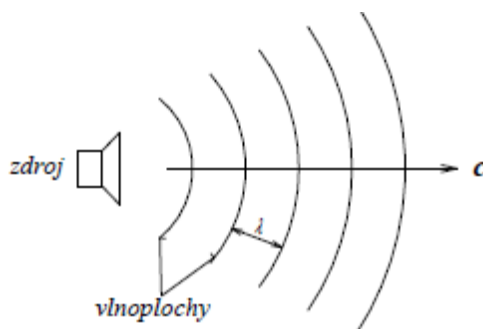
Korekce 4) se použije v případě staré hlukové zátěže z dopravy na pozemních komunikacích s výjimkou některých účelových komunikací. Tato korekce zůstane neměnná i po prováděných údržbách a rekonstrukcích pozemních komunikací. Po položení nového povrchu vozovky zůstává tato korekce také zachována. [3]

Paragraf 20 říká, že při měření hluku v chráněných venkovních prostorech staveb, chráněném venkovním prostoru a v chráněných vnitřních prostorech staveb je nutné uvést nejistoty měření. Tyto nejistoty se používají pro hodnocení naměřených dat. Dále paragraf 20 uvádí, že výsledná hladina akustického tlaku A nepřekračuje hygienický limit, jestliže po odečtení dané nejistoty je tato hladina akustického tlaku rovna nebo nižší než hygienický limit.[3]

3. Základní definice a metody související s hlukem a jeho modelováním

Definice zvuku

Zvuk je mechanické vlnění pružného prostředí ve frekvenčním rozsahu 16 – 20 000 kmitů za sekundu. Zvuk se od zdroje šíří konečnou fázovou rychlostí ve vlnoplochách. Vzdálenost sousedních vlnoploch se označuje jako vlnová délka (λ). Hladina intenzity zvuku se udává v jednotkách decibel (dB)



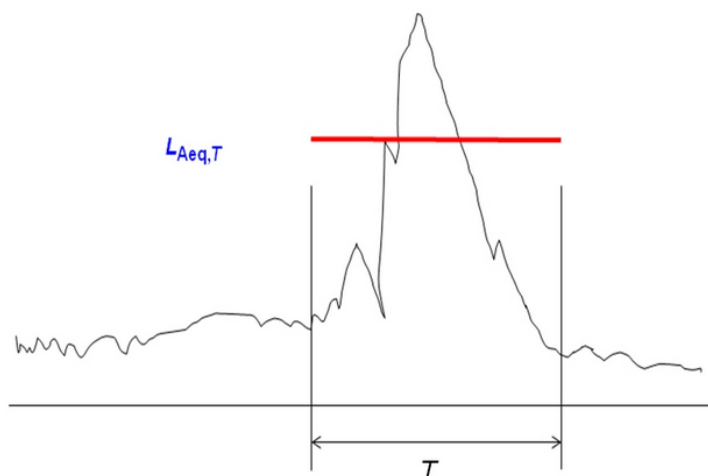
Obrázek 1: Schéma šíření zvuku od zdroje [4]

Definice hluku a jeho rozdělení

Hluk je každý zvuk, který člověka ruší, obtěžuje nebo který působí škodlivě na jeho zdraví. Hluk se vyjadřuje ekvivalentní hladinou akustického tlaku pro denní a noční dobu. Rozlišují se bodové, plošné a liniové zdroje hluku. Bodový zdroj může být stacionární (např. klimatizace, vzduchotechnika) nebo mobilní (např. automobil, vlak). Plošný zdroj se skládá z mnoha zdrojů hluku rozmístěných na určité ploše. Liniový zdroj hluku odpovídá proudu vozidel. U hluku rozlišujeme ustálený, proměnný a impulsní charakter hluku. Ustálený charakter hluku je definován maximálním rozdílem hodnoty akustického tlaku v čase do 5 dB. Za ustálený zdroj hluku lze považovat například šum ventilátoru. Proměnný charakter hluku je takový, kde rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou akustického tlaku v čase je větší než 5 dB. Impulsní charakter hluku je definován jako výchylka hodnoty akustického tlaku na časový úsek delší než 200 ms. [5]

Ekvivalentní hladina akustického tlaku A , L_{Aeq}

Ekvivalentní hladinu akustického tlaku lze popsat jako hladinu střední hodnoty akustického tlaku v časovém úseku.



Obrázek 2: Ekvivalentní hladina akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ [6]

Matematicky lze ekvivalentní hladinu akustického tlaku popsat jako hladinu časového integrálu intenzity zvuku děleného délkou časového intervalu.

$$L_{Aeq,T} = 10 \log \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{P_A^2(t)}{P_0^2} dt \right] \quad [5]$$

t_1 počáteční čas [s]

t_2 koncový čas [s]

$t_2 - t_1$ časový interval T [s]

P_A hodnota okamžitého akustického tlaku v daném bodě [Pa]

P_0 referenční akustický tlak [Pa]= $2 \cdot 10^{-5}$ Pa

Hladina akustického tlaku L

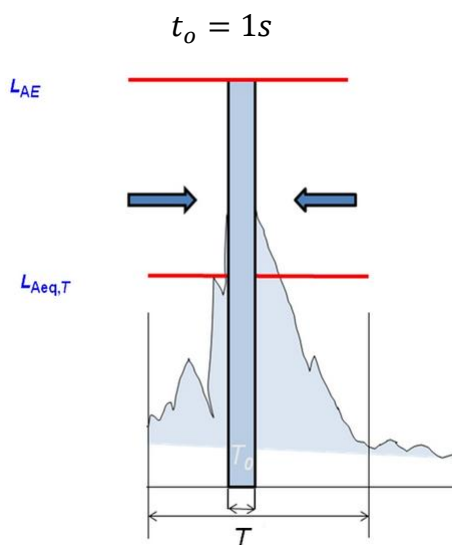
Hladina akustického tlaku je následkem změny tlaku vzduchu. Tato změna je způsobená zvukovými vlnami. Akustický tlak je závislý na kmitočtu. Hladina akustického tlaku se vyjadřuje v dB a je určena vztahem:

$$L_p = 20 \log \left(\frac{P_a}{P_0} \right) \quad [7]$$

Hladina expozice zvuku L_{AE}

Hladina expozice zvuku je definována jako celková energie akustické události. Tato hladina je vztažena na jednu sekundu. Hladina expozice zvuku se používá především pro oddělené akustické události, jako jsou například průjezdy jednotlivých vozidel a vlaků, průlety letadel. Tato hladina se vypočítá pomocí následujícího vztahu:

$$L_{AE} = 10 \log \left[\frac{1}{t_0} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p_A^2(t)}{p_0^2} dt \right] \quad [6]$$



Obrázek 3: Hladina expozice zvuku vztažená k času T (L_{AE}) [6]

Vložený útlum protihlukových clon D_{IL} a metody jeho určení

Vložený útlum patří mezi důležité parametry všech protihlukových clon. Tento útlum se vypočítá jako rozdíl hladin akustických tlaků na určeném místě za konstantních klimatických a hlukových podmínek před a po vybudování protihlukové clony. K jeho určení se používají dvě metody:

Přímá metoda

Tuto metodu lze použít pouze v případě, pokud protihluková clona nebyla ještě postavena nebo tuto protihlukovou clonu lze odstranit pro určení vloženého útlumu. Při provádění přímé metody musí být dodrženo shodné umístění referenčních míst a míst příjmu, shodných terénních a klimatických podmínek při měření před a po vybudování protihlukové clony.

Vzorec pro určení vloženého útlumu protihlukové clony přímou metodou:

$$D_{IL} = (L_{ref,A} - L_{ref,B}) - (L_{t,A} - L_{t,B}) \quad [8]$$

kde

$L_{ref,B}$hladina akustického tlaku na referenčním místě pro situaci "před"

$L_{t,B}$hladina akustického tlaku v místě příjmu pro situaci "před"

$L_{ref,A}$ hladina akustického tlaku na referenčním místě pro situaci "po"

$L_{t,A}$ hladina akustického tlaku v místě příjmu pro situaci "po"

Nepřímá metoda

Tato metoda se používá v případě již vystavěné protihlukové clony a v případě, kdy tato stěna nemůže být jednoduše odstraněna pro účely měření. Pro určení hladiny akustického tlaku pro situaci před výstavbou protihlukové clony musí být tyto hladiny určeny měřením na místě, které je shodné z hlediska terénních a meteorologických podmínek s místem, které se posuzuje. U nepřímé metody vstupují do výpočtu korekce na typ místa příjmu. Pro částečně volné pole je korekce nulová a pro odrazivé povrchy je předepsána korekce 6 dB.

Česká výpočtová metodika

Česká výpočtová metodika slouží jako nástroj pro výpočet hluku z automobilové dopravy. Tato metodika je implementována do řady aplikací a programů. Jedním z programů, ve kterém se Česká výpočtová metodika uplatňuje, je program CADNA A. Česká výpočtová metodika má několik vstupních podkladů, které musí být pro správný výpočet hluku z automobilové dopravy přesně změřeny nebo expertně odvozeny. Vstupními podklady pro výpočet hluku z automobilové dopravy jsou:

- stáří vozidlového parku
- intenzita a skladba dopravního proudu
- rychlost dopravního proudu
- faktor F2
- faktor F3
- útlum šíření hluku nad různými charaktery terénu
- další útlumy, které se podílejí na výpočtu celkové akustické situace v místě [5]

Metodika pro výpočet hluku z automobilové dopravy pracuje ve čtyřech fázích.

V první fázi dochází k rozdělení řešených komunikací, které přispívají k hlukovému zatížení imisního bodu, ve kterém je prováděn výpočet. Rozdělení úseků komunikací

se provádí v místech, kde dochází ke změnám dopravních nebo jízdních parametrů, charakteristických vlastností okolního terénu a vozovky.

Ve druhé fázi dochází k výpočtu základní a pomocné výpočtové veličiny konkrétního úseku. Tato základní výpočtová veličina X se stanoví jako součin tří faktorů $F1$, $F2$, $F3$. Faktor $F1$ zohledňuje vliv rychlostí dopravního proudu, skladby a hladin akustického tlaku, vydaných konkrétními dopravními prostředky na konkrétní komunikaci v určitém výpočtovém roce. Faktor $F2$ zohledňuje podélný sklon konkrétního úseku řešené komunikace a faktor $F3$ řeší vliv povrchu vozovky. Faktory $F1$, $F2$ a $F3$ se určují na základě výpočtu dle vzorce nebo pomocí tabulkových koeficientů. Pomocná výpočtová veličina Y se určí dle následujícího vzorce.

$$Y = 10 \lg X - 10,1 \quad [5]$$

Y ... pomocná výpočtová veličina

X ... základní výpočtová veličina

Třetí fází je stanovení příspěvku ekvivalentní hladiny akustického tlaku L_x konkrétního úseku komunikace v imisním bodě, který chceme vypočítat. Tento příspěvek se vypočítá dle následujícího vzorce.

$$L_x = Y - U - D_N \quad [5]$$

L_x ekvivalentní hladina akustického tlaku konkrétního úseku $[dB]$

Y pomocná výpočtová veličina

U ... útlum šíření hluku terénem $[dB]$

D_N ... další útlumy, které se podílejí na výpočtu $[dB]$

Česká výpočtová metodika rozeznává k určení útlumu šíření hluku terénem odrazivé, pohltivé a smíšené charaktery terénu. Dále je pro určení útlumu šíření hluku terénem důležitá výška posuzovaného bodu a vzdálenost posuzovaného bodu od emisního zdroje. Pro číselné určení útlumu existuje pro odrazivý, pohltivý i smíšený terén vzorec, který závisí na již zmíněné vzdálenosti a výšce posuzovaného bodu.

Mezi další útlumy, které se podílejí na výpočtu L_x , patří:

- korekce D_U – tato korekce počítá s úhlem α , pod kterým je vidět řešená komunikace z imisního místa
- korekce D_L – tato korekce zohledňuje útlum šířeného hluku vlivem zeleně
- korekce D_Z – zohledňuje vlivy přilehlé (imisní bod je blíže měřené komunikaci než přilehlá zástavba, nachází se před zástavbou) nebo protilehlé zástavby (existence zástavby za měřenou komunikací od polohy imisního bodu)

- korekce D_B – tato korekce znázorňuje vliv umělé nebo přirozené překážky na útlum hluku, k výpočtu této korekce je potřebná znalost vzdálenosti imisního bodu od překážky, vzdálenosti zdroje hluku od překážky a efektivní výšky překážky

Ve čtvrté fázi výpočtu dochází k součtu všech příspěvků ekvivalentních hladin akustického tlaku L_x ze všech řešených, rozdělených úseků. Celková ekvivalentní hladina akustického tlaku v dB se určí dle následujícího vzorce.

$$L_{Aeq} = 10 \log \left(\sum_{x=1}^n 10^{L_x/10} \right) \quad [5]$$

n ... počet rozdělených úseků

Všechny vzorce a tabulky, potřebné pro výpočet faktorů F_1 , F_2 , F_3 , útlumu šíření hluku terénem a dalších útlumů a korekcí jsou uvedené v bakalářské práci s názvem: Návrh protihlukových opatření v obci Slavníč, na kterou tato diplomová práce navazuje.

4. Úvod do problematiky nadměrného hluku v řešené lokalitě

4.1. Popis řešené lokality

Obec Slavníč se nachází v kraji Vysočina osm kilometrů jihovýchodně od města Humpolec u dálnice D1. Obec se rozléhá na ploše 2,13 km² a žije zde okolo 60 obyvatel. První písemné zmínky o Slavníči se datují od roku 1226.

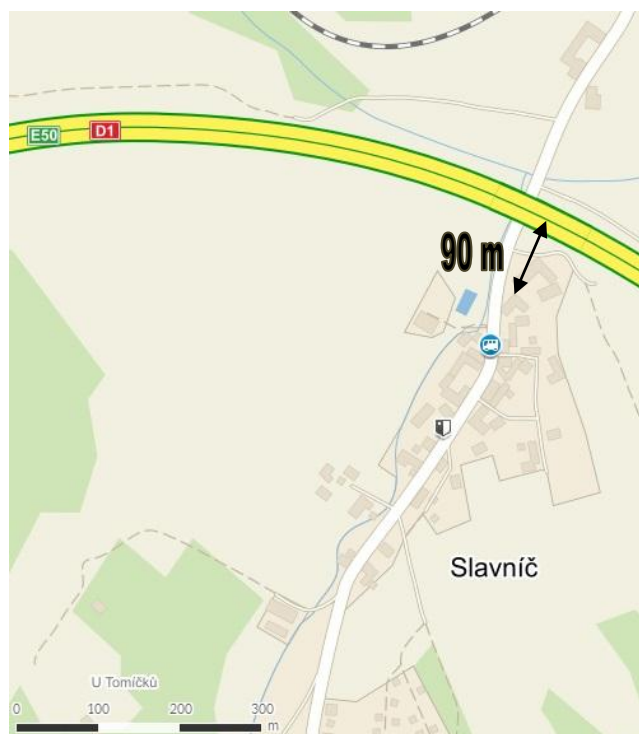


Obrázek 4: Mapa širších vztahů [9]



Obrázek 5: Mapa širších územních vztahů [10]

V blízkém okolí vesnice se nachází na severu zmíněná dálnice D1, železniční tah Humpolec – Havlíčkův Brod, severozápadně od Slavníče leží komunikace I/34, východně od Slavníče komunikace I/38. Slavníč obklopují i komunikace II. a III. třídy. Mezi nejvýznamnější patří komunikace II/348, která vede severně od dálnice D1 a komunikace II/523, vedoucí jižně od obce. Komunikace II/131, která leží východně od Slavníče, spojuje tyto komunikace druhé třídy s dálnicí D1 u kilometru 104. Mezi komunikace III. třídy patří silnice III/3483, která vede napříč obcí. Především tyto dopravní tahy způsobují v obci Slavníč nepříznivou akustickou situaci, přičemž nejvýraznějším zdrojem hluku, který způsobuje nadměrný hluk v obci, je právě dálnice D1, která je vzdálená pouhých 90 m od prvního obytného domu. Nadměrný hluk brání v rozvoji obce. Dálnice D1 vede u obce Slavníč po mostní konstrukci a není zde žádné protihlukové opatření, které by zlepšovalo nepříznivou akustickou situaci v obci.



Obrázek 6: *Mapka znázorňující vzdálenost prvního obytného domu[11]*

4.2. Shrnutí závěrů z bakalářské práce, akustická situace, intenzity dopravy

Cílem bakalářské práce bylo vyhodnocení akustické situace v obci, porovnání naměřených dat s přípustnými limity hluku dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. a následný návrh možných protihlukových opatření. Akustická situace byla

vyhodnocena vzhledem k poloze obce a její topografické situaci pouze jedním měřícím bodem, který byl umístěn u prvního obytného domu od nejvýznamnějšího zdroje hluku, dálnice D1. Tento bod byl umístěn ve vzdálenosti 90 metrů od dálnice D1 a zároveň ve vzdálenosti dvou metrů od fasády prvního obytného domu. Mikrofon měřícího zařízení byl umístěn ve výšce tří metrů.



Obrázek 7: Poloha měřícího bodu [11]

K vyhodnocení akustické situace bylo provedeno měření liniového zdroje hluku proměnného charakteru po dobu 8 hodin. Měření probíhalo v běžný pracovní den (čtvrtek) a bylo rozděleno na odpolední a noční, kdy odpolední měření probíhalo od 16:00 do 18:00 a noční měření od 22:00 do 04:00. K měření hluku byl zvolen hlukoměr Norsonic 140.



Obrázek 8: Hlukoměr značky Norsonic 140 [12]

Měření probíhalo za vhodných klimatických podmínek. Teplota ovzduší neklesla pod 1°C, rychlost větru nepřesáhla 5m·s⁻¹. Povrch komunikací byl suchý. Hlukoměrem byly zjištěny následující hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro odpolední a noční měření:

	L_{Aeq}
Odpolední měření [16:00 – 18:00]	63,6 ± 2dB
Noční měření [22:00 – 04:00]	59,4 ± 2 dB

Tabulka 2: Naměřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku pro odpolední a noční měření[13]

Uvedené 2 dB v tabulce znázorňují standardní nejistotu měření. Se zahrnutím této nejistoty lze naměřené hodnoty porovnat s hodnotami platné legislativy. Pro potřeby porovnání naměřených hodnot s hodnotami získanými vlastním výpočtem byly dále zjištěny hodinové odpolední a noční intenzity a skladby dopravního proudu na dálnici D1 a přilehlé komunikaci III. třídy (III/3483). Tyto hodnoty byly zjišťovány po dobu jedné hodiny a to vždy ve špičce. Odpolední intenzita a skladba dopravního proudu byla měřena v čase od 16:15 do 17:15. Noční intenzita a skladba dopravního proudu byla měřena v čase od 22:00 do 23:00. Intenzity i skladby dopravního proudu byly zjištěny pomocí ručního sčítání vozidel. V následujících tabulkách jsou zaznamenány odpolední a noční intenzity dopravního proudu:

Odpolední intenzita – DÁLNIČE D1	3800 vozidel/ hodinu
Odpolední intenzita – KOM. Č. 3483	21 vozidel/ hodinu

Tabulka 3: Odpolední intenzita dopravního proudu na dálnici D1 a komunikaci č. 3483[13]

Noční intenzita – DÁLNIČE D1	843 vozidel/ hodinu
Noční intenzita – KOM. Č. 3483	1 vozidlo/ hodinu

Tabulka 4: Noční intenzita dopravního proudu na dálnici D1 a komunikaci č. 3483 [13]

Skladba dopravního proudu je znázorněna v následujících tabulkách:

ODPOLEDNÍ SKLADBA DOPRAVNÍHO PROUDU					
KATEGORIE VOZIDLA	D1 (směr Jihlava)		D1 (směr Humpolec)		kom. č. 3483
	levý pruh	pravý pruh	levý pruh	pravý pruh	oba směry
	[voz/hod]				
Osobní automobily (+dodávky)	453	993	566	958	20
Nákladní automobily	9	348	11	430	1
Autobusy	1	14	2	15	0

Tabulka 5: Odpolední skladba dopravního proudu na dálnici D1 a komunikaci č. 3483 [13]

NOČNÍ SKLADBA DOPRAVNÍHO PROUDU					
KATEGORIE VOZIDLA	D1 (směr Jihlava)		D1 (směr Humpolec)		kom. č. 3483
	levý pruh	pravý pruh	levý pruh	pravý pruh	oba směry
	[voz/hod]				
Osobní automobily (+dodávky)	134	85	123	178	1
Nákladní automobily	10	110	9	190	0
Autobusy	1	1	0	2	0

Tabulka 6: Noční skladba dopravního proudu na dálnici D1 a komunikaci č. 3483 [13]

Pro tyto komunikace byly dále zjištěny pomocí pistolového radaru RIEGL rychlosti dostatečného množství vozidel, ze kterých byla následně určena průměrná rychlost vozidel.

PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VOZIDEL – ODPOLEDNÍ MĚŘENÍ			
KATEGORIE VOZIDLA	D1 (směr Jihlava)	D1 (směr Humpolec)	kom. č. 3483
	[km·h⁻¹]		
Osobní automobily (+dodávky)	115,17	117,25	45,00
Nákladní automobily	87,10	89,20	40,00

Tabulka 7: Průměrná rychlost vozidel na dálnici D1 a kom. č. 3483 - odpolední měření [13]

PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VOZIDEL – NOČNÍ MĚŘENÍ			
KATEGORIE VOZIDLA	dálnice D1 (směr Jihlava)	dálnice D1 (směr Humpolec)	kom. č. 3483
	[km·h⁻¹]		
Osobní automobily (+dodávky)	119,35	118,25	50
Nákladní automobily	89,23	89,10	-

Tabulka 8: Průměrná rychlost vozidel na dálnici D1 a kom. č. 3483 - noční měření [13]

Po naměření hodnot akustického tlaku pro odpoledne a noc bylo provedeno jejich vyhodnocení v kontextu platné legislativy. Dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb. je základní limitní hladina hluku 50 dB ve dne a 40 dB v noci. K této základní limitní hladině hluku se přičítají korekce dle druhu komunikace. Pro hluk, který pochází z dopravy na dálnicích, silnicích I. a II. třídy, se k základní limitní hladině hluku přičte korekce + 10 dB. Po přičtení korekce by neměla hladina hluku překročit 60 dB ve dne a 50 dB v noci. Při odpoledním měření byla zjištěna hladina hluku 63,6 dB. Aby bylo možné porovnat tuto hodnotu s platnou legislativou, je nutné odečíst nejistotu měření 2 dB a dále je nutné odečíst korekci 2 dB na odraz od fasády. Bylo zjištěno, že při odpoledním měření, které probíhalo ve špičce, nebyl překročen denní limit 60 dB. Při nočním měření byla zaznamenána hladina hluku 59,4 dB. Po odečtení korekce 4 dB stejně jako při odpoledním měření činila výsledná hodnota 55,4 dB. Při nočním měření, které probíhalo od 22:00 do 04:00, byl překročen hlukový limit 50 dB o 5,4

dB. Měřením i následným výpočtem hluku dle platné metodiky bylo prokázáno, že v obci Slavníč jsou překračovány hygienické limity hluku. Na základě těchto výsledků bylo v bakalářské práci vyvozeno, že pro obec Slavníč je nutné provedení adekvátních protihlukových opatření, která by zlepšila akustickou situaci. Za nejvhodnější návrh protihlukového opatření byla zvolena varianta výstavby protihlukové stěny na dálnici D1.



Obrázek 9: Pohled na dálnici D1 vedenou po mostní konstrukci u obce Slavníč [14]

Výstavba protihlukové stěny by byla účelným řešením daného problému. V průběhu řešení a vyhodnocování akustické situace obce Slavníč se nabízelo několik dalších variant opatření, které by snížily nadměrný hluk. Například snížení rychlosti vozidel na $80 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ v úseku mostní konstrukce dálnice D1 by vedlo ke snížení aerodynamického hluku. Dalším řešením by bylo zkvalitnění povrchu vozovky otevřenou texturou, doplnění vozovky o nové nízkohlučné mostní závěry nebo provedení nové dilatace mostu dálnice. Pokud by nebyla protihluková stěna vystavena a byly by zvoleny další varianty protihlukových opatření, hrozil by s rostoucí intenzitou silniční dopravy nárůst hlukové zátěže a s následným opotřebením všech zbudovaných opatření by nadměrný hluk mohl na obec znovu dolehnout. Kombinací protihlukové clony s dalšími návrhy (otevřená textura, nízkohlučné závěry, nová dilatace mostu) by bylo dosaženo nejefektivnějšího útlumu hladiny akustického tlaku.

5. Protihlukové clony

5.1. Dělení protihlukových clon

Podle TP 104 se protihlukové clony dělí podle druhu konstrukcí a použitého materiálu na:

1. Zemní valy
2. Protihlukové stěny
3. Protihlukové stěny na mostech a zdech
4. Protihlukové stěny kombinované se zelení
5. Polovegetační stěny
6. Zemní valy kombinované se stěnou
7. Drátokamenné (gabionové) konstrukce
8. Protihlukové úpravy na pozemních objektech ohrožených hlukem z PK
9. Překrytí

1. ZEMNÍ VALY

Jedná se o sypané ohumusované konstrukce doplněné křovinami. Budují se podél pozemních komunikací na povrchu území. Na budování zemních valů se používají veškeré zeminy a horniny kromě zdravotně závadných zemin.

2. PROTIHLUKOVÉ STĚNY

Protihlukové stěny jsou jednostranně nebo oboustranně zvukově pohltivé nebo odrazné panely. Stěna se ukládá na sokly do kalichů, plošných základů nebo pilot

3. PROTIHLUKOVÉ STĚNY NA MOSTECH A ZDECH

Tyto stěny tvoří průhledné, odrazné panely. Materiálem je většinou sklo, akrylát nebo polykarbonát. Protihlukové stěny na mostech a zdech jsou pevně spojeny s kovovými sloupky do říms mostů nebo zdí.

4. PROTIHLUKOVÉ STĚNY KOMBINOVANÉ SE ZELENÍ

Jedná se o klasické protihlukové stěny, které jsou vyztužené jednostranně nebo oboustranně křovinami a dřevinami.

5. POLOVEGETAČNÍ STĚNY

Betonové, zděné stěny, které jsou navíc doplněné vegetačním krytem ze zelených rostlin a konstrukcemi z oceli či plastů na jejich vnitřní straně.

6. ZEMNÍ VALY KOMBINOVANÉ SE STĚNOU

Zemní valy kombinované se stěnou jsou sypané konstrukce s vegetací, kde je na vrchol valu vložena pohltivá nebo odrazná protihluková stěna.

7. DRÁTOKAMENNÉ (GABIONOVÉ) KONSTRUKCE

Skládají se z drátokamenných krychlí nebo kvádrů, které jsou vyrobeny z ocelového pletiva a sypané kamenivem (přírodním nebo lomovým) nebo kamenivem a zeminou. Gabiony se instalují na místě do základové spáry ve sklonu 2 % ve směru od komunikace. Samotné gabiony jsou nevhodné jako protihlukové clony.

8. PROTIHLUKOVÉ ÚPRAVY NA POZEMNÍCH OBJEKTECH OHROŽENÝCH HLUKEM Z POZEMNÍCH KOMUNIKACÍ

Tyto úpravy chrání jednotlivé pozemní objekty. Na pozemních objektech dojde především k výměně oken.

9. PŘEKRYTÍ

Jedná se o architektonické řešení protihlukové clony. [15]

5.2. Konstrukce protihlukových clon

1. ZEMNÍ PRÁCE

Na počátku dojde k vytyčení objektu. Následně se provádí výkopy, násypy, obsypy základů, svahování. Tyto činnosti doprovází hutnění a vyztužování. Nakonec se dodají organické látky, aby mohlo dojít k osetí.

2. ZÁKLADY

U plošného zakládání jsou základy tvořené základovými patkami a pasy chráněnými nátěry a izolací. Materiálem je většinou železobeton. Vždy leží na vrstvě podkladního betonu.

U hlubinného zakládání jsou základy tvořené pilotami. Materiálem jsou buď ocelové tyčové profily, nebo prefabrikáty ze železobetonu.

3. KALICHY

Kalich je železobetonový nástavec hlavy piloty nebo základové patky. Do kalichů se vkládají sloupky. Po vložení sloupku se kalich vyplní zálivkou s cementovým pojivem a tím se zmonolitní. Kalichy jsou kruhového nebo čtvercového tvaru.[15]

4. SLOUPKY

Tvoří hlavní svislý nosný prvek stěny. Sloupek může být také šikmý. Jedná se o tyčové konstrukční dílce tvaru I nebo H. Sloupky umožňují uložení stěnových výplní.

Existují betonové prefabrikované a ocelové sloupky. Ocelové sloupky mohou být z válcovaných profilů nebo svařovaných pásnic s kotvící deskou pro kotvení do říms mostů. Mezi sloupky a stěnami nesmí být mezery a spáry musí být zatmeleny. Sloupky přenáší aerodynamické zatížení.

5. PODEZDÍVKY A SOKLY

Tvoří vodorovný nosný prvek stěny (umístěný mezi dvěma kalichy), který přenáší svislé zatížení výplní do základových konstrukcí. Materiálem jsou většinou železobetonové, zděné, kovové dílce. Na mostech je doporučeno použití soklů z pohltivých segmentů z hliníkových prvků a minerální výplní. Mezi podezdívkami a stěnami nesmí být mezery a spáry musí být zatmeleny.

6. STĚNOVÉ VÝPLNĚ

Jedná se o plošné prvky, který jsou umístěny mezi sloupky. Stěnové výplně určují zvukovou neprůzvučnost a pohltivost a přenáší působení větru, tlaku od vozidel a zatížení při odstraňování sněhu do sloupků. Pokud může dojít k nebezpečí pro uživatele, navrhují se stěny z netříštivého materiálu. Nad veřejnými komunikacemi musí být sloupky a stěnové výplně spojeny lany, které musejí vydržet čtyř násobek sil, pro kterou byla stěna naprojektována. Materiálem je dřevo, beton, plast.

7. STRÍŠKY

Slouží k ochraně sloupků a stěnových výplní před srážkovou vodou.

8. ÚNIKOVÉ DVEŘE A OTVORY

Navrhují se u protihlukových stěn, které jsou delší než 300 metrů. Otvory jsou vzdálené maximálně po 150 metrech. U mostních konstrukcí se navrhují na straně servisních schodišť. Pokud je protihluková stěna vzdálená více než 5 m od koruny komunikace, únikové dveře a otvory se nenavrhují. Únikové dveře musejí být snadno otevíratelné (ve směru od komunikace) bez klíče z obou stran a samočinně zavíratelné. Dále musejí mít zvukoizolační vlastnosti. Rozměry dveří jsou 2,1 m x 0,9 m. Místo únikového východu musí být označeno bezpečnostní tabulkou.

9. ZPEVNĚNÉ PLOCHY A SCHODIŠTĚ

Tyto plochy se zpevňují většinou betonovou zámkovou dlažbou. Jedná se o plochy mezi silničním záchytným systémem a sokly, nouzové chodníky. Úniková schodiště se navrhují ze železového monolitického betonu a s ocelovým zábradlím vždy na svazích násypů. Životnost musí být krom ocelového zábradlí 50 let. Zábradlí je deklarováno na 30 let.

10. KOTEVNÍ PRVKY- SÍTĚ A LANKA

Kotevní prvky úložných desek sloupků na mostech, svorníky a spojovací lana výplní, stříšek a sloupků se navrhují z oceli. Mřížoviny, závěsné sítě a rošty pro zachycení vegetace jsou z korozivzdorných lan, drátů.[15]

11. BEZPEČNOSTNÍ ZNAČKY A PIKTOGRAMY

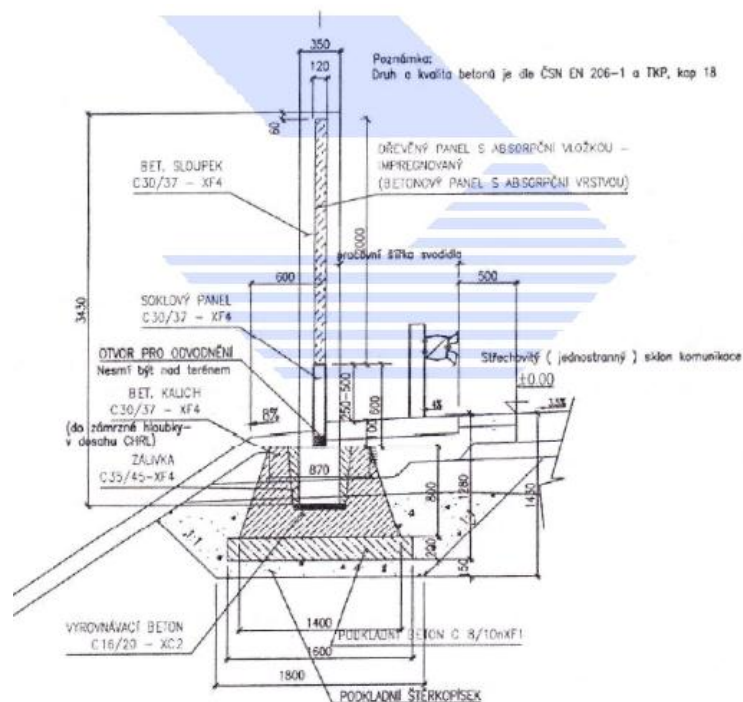
Jedná se o tabulky, kterými se označuje únikový východ i hláska tísňového volání. Udávají se v dvou rozměrech, materiálem nejčastěji FeZn, hliníkový plech s rámečkem nebo dvojitým ohybem po okraji. Ve vzdálenosti protihlukové stěny od svodidla více než 1000 mm mají rozměr 900 x 450 mm, při menší vzdálenosti mají rozměr 750 x 375 mm. Tabulky se umísťují dolní hranou do výšky 2200 mm nad vozovku nejčastěji na nosný sloupek zdi a musí odolávat nepříznivým klimatickým podmínkám. Jsou obaleny retroreflexní folií.



Obrázek 10: Značka pro únikový východ [16]

12. TERÉNNÍ A VEGETAČNÍ ÚPRAVY

Provede se pohoz štěrkopísku v tloušťce 250 mm v líci stěny. Tento pohoz se neprovádí, pokud je plocha mezi silničním záchytným zařízením a lícem soklu zadlážděna. V rubu stěn se provede osetí organické hmoty. [15]



Obrázek 11: Schéma protihlukové stěny [15]

5.3. Prohlídky protihlukových clon

První prohlídku nové protihlukové clony má za úkol objednatel clony. Další prohlídky zajišťuje správce protihlukové clony.

1. BĚŽNÉ PROHLÍDKY

Tyto prohlídky objektů protihlukové clony provádí správce 1x ročně.

2. HLAVNÍ PROHLÍDKY

Provádí oprávněná fyzická nebo právnická osoba. Jedná se o kontrolu objektů protihlukové clony nejdéle jednou za čtyři roky.

3. MIMOŘÁDNÁ PROHLÍDKA

Provádí opět fyzická nebo právnická osoba v případě, kdy dojde k dopravní nehodě v blízkosti protihlukové clony, při deformaci částí clony, při nálezu trhlin, hniloby.[15]

5.4. Požadavky na návrh protihlukových clon

Vložný útlum je základním parametrem protihlukových clon. Tento útlum se vypočítá jako rozdíl hladin akustických tlaků na určeném místě za konstantních klimatických a hlukových podmínek před a po vybudování protihlukové clony. Konstrukce protihlukové clony by měla dosáhnout útlumu hladiny hluku nejméně o 15 dB. Tomuto utlumení odpovídá takzvaná vzduchová neprůzvučnost protihlukové stěny

(DL_R v dB). Otvory v protihlukových clonách snižují útlumové charakteristiky. Dle vzduchové neprůzvučnosti se protihlukové stěny dělí do jednotlivých kategorií:

Kategorie	DL_R [dB]
B0	neurčeno
B1	<15
B2	15 – 24
B3	>24

Tabulka 9: Kategorie vzduchové neprůzvučnosti[15]

Zvuková pohltivost DL_α v dB udává snížení hluku z dopravy absorpčními zařízeními. V následující tabulce jsou znázorněny kategorie zvukové pohltivosti protihlukové clony:

Kategorie	DL_α [dB]
A0	neurčeno
A1	<4
A2	4-7
A3	8-11
A4	>11

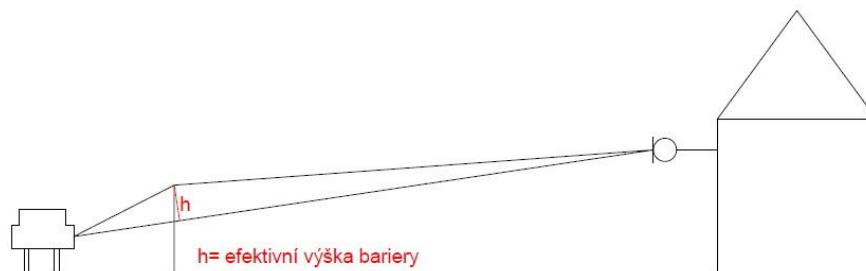
Tabulka 10: Kategorie zvukové pohltivosti protihlukové clony[15]

Ze dvou předchozích tabulek se určují minimální akustické požadavky na protihlukové clony. Pro jednotlivé typy protihlukových clon se udává minimální hodnota kategorie zvukové pohltivosti a vzduchové neprůzvučnosti:

Typ protihlukové clony		Kategorie zvukové pohltivosti	Kategorie vzduchové neprůzvučnosti
protihlukové stěny	Odráživé (průhledné stěny)	A0	B1
	Pohltivé (stěny s absorpční pohltivou vrstvou)	A2	B1
protihlukové valy	Zemní valy	-	B3
	Gabiony (s rubovým zásypem)	-	B3
	Opěrné zdi se zvukově pohltivou vrstvou	A2	B3
	Polovegetační stěny	-	B3

Tabulka 11: Akustické požadavky na druhy protihlukových clon[15]

Maximální akustické účinnosti protihlukové clony se dosáhne jejím umístěním co nejbližší ke zdroji hluku. S rostoucí efektivní výškou clony narůstá její účinek. Účinek roste i s hloubkou posuzovaného místa. Při umísťování protihlukových clon musí být respektovány pracovní šířky zachytých systémů. Před protihlukovou stěnou je nutné umístit svodidla nebo na začátek stěny instalovat takzvaný tlumič nárazu.



Obrázek 12: Efektivní výška protihlukové clony h [13]

Minimální délka protihlukové clony by měla být alespoň dvojnásobek kolmé vzdálenosti chráněného místa od protihlukové clony [5]. Minimální plošná hmotnost clony by měla být nejméně $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2}$. Povrch protihlukové clony na straně ke komunikaci by měl disponovat pohltivými vlastnostmi. Tyto pohltivé vlastnosti by měly

akusticky chránit přilehlou zástavbu. Protihlukové clony musí mít stálý rozměr a tvar, musí odolávat deformacím, musí být odolné vůči větru, posypovým solím, UV záření, dynamickým účinkům, živočišným škůdcům, vandalismu a nárazu kamenů. Protihlukové clony musí být dále odolné proti stárnutí, korozi, nasákavosti, bobtnání, vysychání a změně tvaru. Clona musí být vystavěna s minimálním množstvím spár a netěsností. Jakákoliv mezera a spára v protihlukové stěně snižuje její účinnost. Kovové prvky a spojovací prostředky musí být ochráněny protikorozním postřikem. Betonové a železobetonové prvky musí být převážně z provzdušněného betonu předepsané pevnosti. Dřevěné prvky protihlukových stěn musí být dostatečně impregnovány, aby byla zajištěna potřebná životnost konstrukce. Tyto povrchové úpravy musí odpuzovat vodu a nesmí podporovat korozi. Protihlukové clony musí být opatřeny ochranným zařízením proti vlivu bludných proudů a přepětí. Tuto ochranu zabezpečují krycí vrstvy, celoplošné svařované izolace, zinkování [17]. Průhledné materiály clon musí být navrženy s předepsanou povrchovou tvrdostí a odolností proti otěru, světelným odrazům. Po celou dobu životnosti musí být zajištěna stálá barva obou povrchů protihlukových clon. Proti nárazu cizího tělesa do protihlukové clony a proti padání úlomků jsou sokly, sloupky, stěnové výplně a stříšky spojeny vnitřními nebo vnějšími spojovacími prostředky, které přenáší mokrou tíhu. Protihlukové clony nesmí rozšiřovat požár vzniklý na komunikaci směrem k zastavěným pozemkům. Clony, které jsou z dřevěných materiálů, musí být opatřeny ohnivzdornými pásy. Transparentní stěnové výplně protihlukových clon musí být průhledné pro obyvatele, kteří bydlí za clonou a dále musí mít určitou průhlednost pro účastníky provozu. Clony působí na krajinný ráz a bezpečnost jízdy na pozemní komunikaci. Proto je nutné zohlednit jejich architektonické prvky. Ke zvýšení bezpečnosti a estetiky se doporučuje použití různých materiálů konstrukcí, barevného řešení povrchů stěnových výplní, postupného a plynulého ukončení protihlukové clony, použití zeleně. Konstrukční části protihlukových clon musí být snadno vyměnitelné a udržitelné, musí být zajištěno odtékání dešťové vody jak z pozemní komunikace, tak z výplně stěny. Protihlukové clony musí být šetrné k životnímu prostředí a materiály, ze kterých jsou vyrobeny výplňové panely, musí být recyklovatelné. Protihlukovou clonou nesmí být zapříčiněno zvýšení bariérového efektu nad přijatelnou hranici. Ke snížení mortality ptáků nárazem do protihlukových clon se využívají svislé pruhy o šířce 20 mm a rozteči 100 mm, piktogramy siluet dravců, drátěné sítě s oky 20 x 20 mm, tmavá polyamidová vlákna, vypískované

svislé nebo vodorovné pásy [15]. Každý prvek protihlukové clony musí unést svou vlastní mokrou tíhu a mokrou tíhu konstrukčních prvků, které na prvku leží. K získání označení CE podléhají protihlukové stěny zkouškám dle ČSN EN 14388. Podle ČSN EN 1794-1 se posuzuje statické zatížení a zatížení větrem. Životnost všech stálých prvků protihlukových clon musí být 30 let. Životnost prvků, které jsou výměnné (tmely, těsnění, akustické prvky) musí být 15 let. Životnost protihlukových clon mohou snižovat změny povětrnostních podmínek a chemické látky. Celodřevěné výplňové panely protihlukových clon jsou vzhledem ke krátké životnosti neekonomické. Následující tabulka znázorňuje životnosti jednotlivých konstrukčních částí protihlukových stěn:

ČÁSTI KONSTRUKCE PROTIHLUKOVÉ CLONY	ŽIVOTNOST [roky]
Betonové základy protihlukových clon	50
Nadzemní konstrukce protihlukových clon (dolní část stěn a betonových prvků, nosné sloupy, nosné prvky)	50
Nadzemní konstrukce protihlukových stěn (betonové výplňové panely stěn a doplňující prvky)	35
Protihlukové stěny na mostech včetně spojů a kotvení z ocelových konstrukcí (základy, sloupky, kotevní prvky)	100
Protihlukové stěny nad 2m včetně spojů a kotvení z ocelových konstrukcí (základy, sloupky, kotevní prvky)	30
Protihlukové stěny do 2m včetně spojů a kotvení z ocelových konstrukcí (základy, sloupky, kotevní prvky)	20
Výplňové panely ze směsných recyklovaných plastů	25
Výplňové panely zděné z cihel a tvárnic	35
Výplňové panely z bezpečnostního skla	50
Výplňové panely z akrylátu a polykarbonátu	35
Výplňové panely cementotřískové	25
Pohltivé povrchy pryžové	25
Pohltivé povrchy keramické	35
Pohltivé povrchy z polymerních kompozitů	50
Gabiony s nekorodujícími sítěmi	100

Tabulka 12: Životnosti konstrukčních částí protihlukových clon [15, 18]

6. Modelování akustické situace v programu CADNA A

6.1. Úvod

Modelování akustické situace v programu CADNA A probíhalo z důvodu vytvoření vlastního návrhu nejvhodnějšího protihlukového opatření, které by ochránilo obyvatele obce Slavníč před nadměrným hlukem, způsobeným dopravou. K vymodelování výhledové situace s optimálním protihlukovým řešením, bylo nutné vytvoření reality se podobajícím modelu současného, naměřeného stavu. Tento model byl zkalibrován na základě reálně naměřených hodnot ekvivalentních hladin akustického tlaku v terénu. Za pomoci modelu současného stavu mohlo dojít k určení počtu hlukem nadměrně zatížených obytných budov v obci Slavníč. Pro přehledné znázornění hlukového zatížení celé obce Slavníč byl vypočten z modelu současného stavu tzv. hlukový rastr. Tento rastr se stal základem pro zjištění konečného útlumu hluku v obci po aplikaci nejvhodnějšího protihlukového opatření. K určení optimálního protihlukového opatření byla v programu CADNA A prováděna manuální a automatická optimalizace. Za optimální řešení bylo považováno to opatření, které by zajistilo redukci hluku na zákonem stanovené hygienické limity v obci a jeho výstavba by byla ekonomicky nejpríznivější. Cílem manuální optimalizace bylo nalezení protihlukové stěny určité délky a konstantní výšky, která by splnila zákonem stanovené hygienické limity v obci. Cílem automatické optimalizace bylo nalezení protihlukové stěny určité délky a optimalizované výšky v jejích jednotlivých úsecích, která by také splnila denní i noční hygienické hlukové limity. U všech variant výhledové situace byly počítány náklady na výstavbu. Porovnáním variant, vytvořených manuální a automatickou optimalizací, bylo možné určení optimálního řešení, které by dostatečně utlumilo nadměrný hluk v obci a zároveň bylo nákladově nejekonomičtější. Toto řešení dále sloužilo k výpočtu konečného útlumu hluku v obci po jeho aplikaci.

6.2. Popis programu CADNA A

Program CADNA A je německý počítačový software firmy DataKustig GmbH, který je s pomocí GIS nástrojů používán pro výpočet, hodnocení a predikci hluku z dopravy a průmyslových objektů. Program má dále několik modulů, po jejichž instalaci se

software rozšiřuje o další aplikace (například modul APL umožňuje výpočet plyných škodlivin v životním prostředí). Do programu je pro české výpočty a hodnocení implementována česká výpočtová metodika. Po vložení vstupních podkladů, kterými jsou vrstevnice a výškové body modelované situace, je možné v prostředí CADNA A vymodelovat terén, který se blíží realitě. Dalšími vstupními podklady jsou polohopisné informace. Za tyto informace lze považovat polohy budov a komunikací. Pro přiblížení se realitě CADNA A umožňuje vložení zeleně a komunikací různé kategorie a povrchu. Na tyto komunikace je nutné pro výpočet zátěže zadat intenzity osobních a nákladních vozidel, rychlost jednotlivých druhů vozidel, výškové řešení komunikace a výpočtový rok. Dále je v programu možné zadání fiktivní protihlukové clony a následné sledování útlumu akustické energie v závislosti na délce, výšce, pohltivosti a absorpčním koeficientu konkrétní stěny. Výsledkem programu je mimo tabelárních a grafických výstupů také názorná prezentace akustické situace včetně 3D animací a videa. Z animací je možné vypočítat počet lidí nadměrně zasažených hlukem.

6.3. Modelování současné, naměřené akustické situace

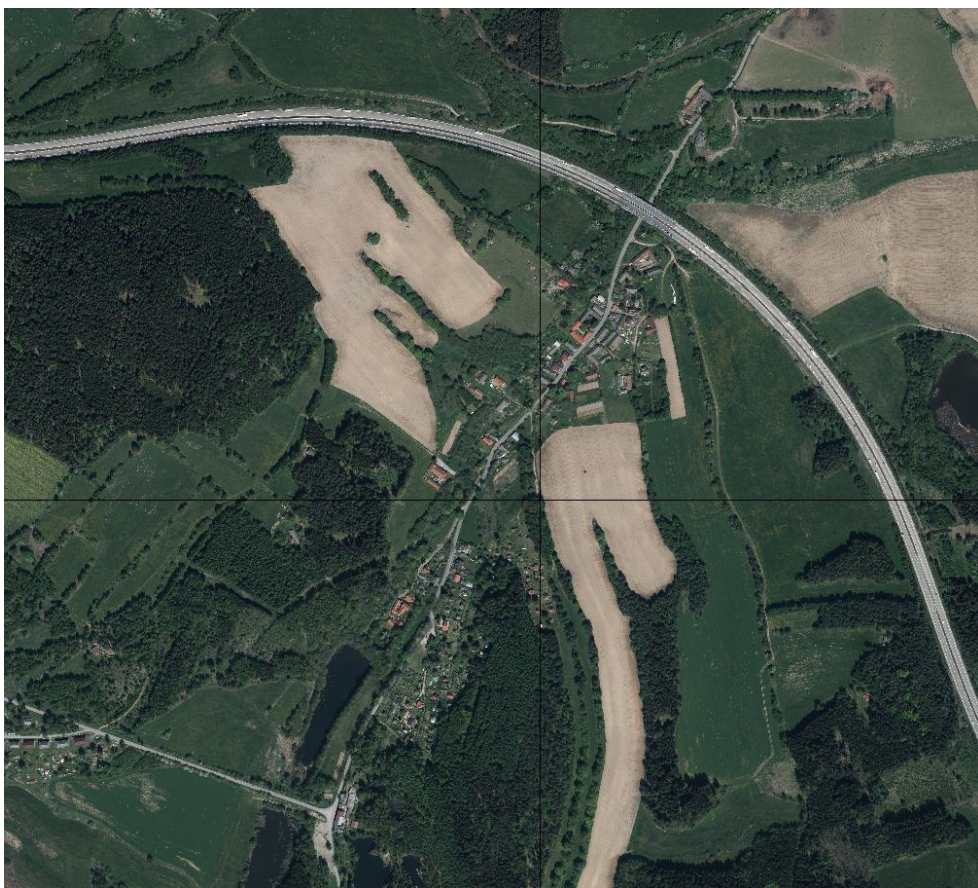
Pro modelování současné, naměřené akustické situace v programu CADNA A byla použita digitální vstupní data zapůjčená Českým zeměměřickým a katastrálním úřadem. K vymodelování prostředí, blížícímu se prostředí reálnému, byly použity následující podklady:

Ortofoto ČR

Digitální model reliéfu ČR 5. generace

ZABAGED – polohopis

Do programu byla jako nejnižší vrstva vložena ortofoto mapa Slavníče a blízkého okolí. Vložená ortofoto mapa je znázorněna na následujícím obrázku.



Obrázek 13: Ortofoto mapa obce Slavnič a jejího okolí [19]

Pro správné modelování byla vložena digitální data výškopisu (Digitální model reliéfu ČR). Tato data zajistila reliéf terénu, který je obrazem reálného výškopisu obce Slavníč a okolí.



Obrázek 14: *Digitální model reliéfu obce Slavníč a jejího okolí [19]*

Po vymodelování terénu v programu CADNA A následovalo vložení polohopisné informace. Pro potřeby diplomové práce byla implementována poloha všech komunikací a obytných i neobytných budov. Komunikace program CADNA A znázornil různě dlouhými a širokými liniemi, které umístil do absolutní výšky nula. Výška komunikací byla změněna na výšku relativní. Tato změna zajistila přesun komunikací z výšky 0 metrů nad mořem do výšky vymodelovaného terénu. Pro přiblížení se reálné situaci byla v programu zadána přesná šířková uspořádání, včetně uspořádání jízdních pruhů. Budovy CADNA A znázornila uzavřenými mnohoúhelníky dle jednotlivých reálných okrajů budov v obci. Program po implementaci těchto polohopisných dat vložil údaje o poloze budov do absolutní výšky nula. Pro přesné umístění budov přímo na terén byla u každé budovy tato absolutní výška změněna na výšku relativní. Dále bylo nutné nastavit skutečnou výšku budov. Jelikož se ve Slavníči nachází pouze jednopodlažní rodinné zástavby s půdními prostory pod střechou, byla nastavena výška všech budov na 6 m.

Následující obrázek znázorňuje všechny vložené podklady potřebné pro modelování akustické situace v programu CADNA A.



Obrázek 15: Podklady potřebné pro modelování akustické situace v programu CADNA A (polohopis, výškopis, ortofoto mapa)[19]

6.3.1. Kalibrace modelu

Pro zjištění modelované akustické situace v obci Slavníč a pro další modelování v programu CADNA A bylo nutné kalibrovat vytvořený model, který byl složen z ortofoto map, polohopisných informací (poloha budov a komunikací) a výškopisných informací (reliéf terénu). Za úspěšnou kalibraci modelu lze považovat takové vypočítané hodnoty, které se vyskytují v rozmezí od -2 do 2 dB od hodnot vlastně naměřených pomocí zvukoměru na místě. Pro správné kalibrování modelu bylo nutné nastavit několik parametrů v programu a dále bylo nutné zadání intenzit provozu na řešených komunikacích. K modelování v programu byla zvolena Česká výpočtová metodika. Pokud by šlo o modelování hluku z železniční dopravy, bylo by

nutné zadat německou metodiku SHALL 03. Maximální chyba výpočtu byla nastavena na 0,5 dB. Referenční čas byl nastaven na denní dobu 2 hodin a noční dobu 6 hodin. K lepšímu přiblížení reálné situace byly zadány maximálně 2 odrazy od fasád, minimální vzdálenost zdroj – imisní bod byl určen koeficientem 0,5, pohltivost terénu byla zadána koeficientem 0,3 (střední hodnota). Pokud by byl terén v okolí měření více odrazivý, byla by podle expertních znalostí volena hodnota nižší. Pro každou vymodelovanou komunikaci v programu CADNA A byly zadány hodinové intenzity dopravy pro denní a noční dobu. Dále byl zadán podíl nákladních vozidel pro denní a noční dobu. Tyto hodnoty byly pro přilehlou komunikaci č. 3483 získány ručním sčítáním vozidel. Na dálnici D1 bylo vzhledem k většímu zatížení voleno sčítání pomocí hd kamery. Hodnoty intenzit a podílu nákladních vozidel jsou znázorněny v následující tabulce.

NAMĚŘENÁ HODINOVÁ INTENZITA VOZIDEL [VOZ/HOD]			
	DÁLNIČE D1 (směr Jihlava)	DÁLNIČE D1 (směr Humpolec)	KOMUNIKACE Č. 3483
Odpolední intenzita	1818	1982	21
Noční intenzita	341	502	1

Tabulka 13: Odpolední a noční hodinová intenzita vozidel[13]

PODÍL NÁKLADNÍCH VOZIDEL [%]			
	DÁLNIČE D1 (směr Jihlava)	DÁLNIČE D1 (směr Humpolec)	KOMUNIKACE Č. 3483
Podíl N.V. odpoledne	20,50	23,10	4,80
Podíl N.V. noc	35,80	40,00	0

Tabulka 14: Odpolední a noční podíl nákladních vozidel z hodinových intenzit[13]

Pro každou vymodelovanou komunikaci byly dále zaneseny k zohlednění výpočtu průměrné rychlosti osobních a nákladních vozidel. Tyto průměrné rychlosti byly vypočítány z dostatečného množství osobních a nákladních vozidel, u kterých byla pistolovým radarem značky LIDAR zaměřena jejich reálná rychlost. Ke zjištění průměrných rychlostí osobních a nákladních vozidel pro denní a noční dobu byl použit aritmetický průměr z naměřených vzorků pro den a noc. Průměrné rychlosti osobních a nákladních vozidel na řešených komunikacích znázorňuje následující tabulka.

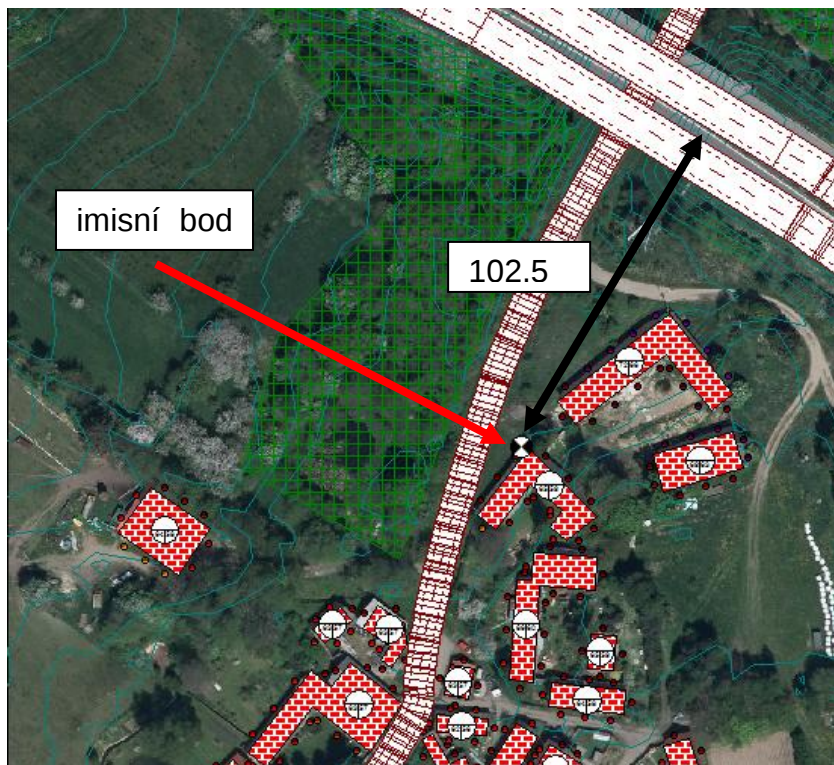
PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VOZIDEL [km·h ⁻¹]			
ODPOLEDNÍ MĚŘENÍ			
KATEGORIE VOZIDLA	D1 (směr Jihlava)	D1 (směr Humpolec)	kom. č. 3483
Osobní vozidla	115,17	117,25	45
Nákladní vozidla	87,10	89,20	40
NOČNÍ MĚŘENÍ			
KATEGORIE VOZIDLA	D1 (směr Jihlava)	D1 (směr Humpolec)	kom. č. 3483
Osobní vozidla	119,35	118,25	50
Nákladní vozidla	89,23	89,10	-

Tabulka 15: Průměrné rychlosti vozidel - odpolední a noční měření[13]

Pro zvýšenou přesnost výpočtu akustické situace modelu byl dále určen povrch jednotlivých komunikací. Dálnici D1 byl přiřazen povrch tvořený betonovým krytem. Komunikaci III. třídy byl přiřazen asfaltový povrch AD – 8. Modelování reliéfu pomocí výškopisných souřadnic zajistilo přesné automatické zachycení podélných sklonů jednotlivých úseků komunikací. Tomu však předcházelo rozdělení jednotlivých modelovaných komunikací na menší části (po zhruba 50-ti metrech) z toho důvodu, aby program CADNA A nevypočítal jednotný průměrný sklon celé vymodelované trasy, ale sklon jednotlivých dílčích úseků. Pro jednotlivé úseky byl také zadán výpočtový rok, který zohledňoval vozový park. Tento rok byl určen opět pomocí expertního odhadu na rok 2001. Pro vymodelované budovy v programu CADNA A byla určena standardní pohltivost 0,21. Tento absorpční koeficient pro pohltivost budov byl také určen na základě expertního doporučení.

6.3.2. Výpočet imisního bodu

Pro výpočet modelované akustické situace v programu CADNA A byl zvolen jeden imisní bod u první obytné budovy vzdálené nejbližše od dálnice D1. Poloha imisního bodu je znázorněna na následujícím obrázku.



Obrázek 16: Poloha imisního bodu vzhledem k dálnici D1 [13, 19]

Reálné měření hluku bylo prováděno na stejném místě, aby bylo možné porovnání naměřených a vymodelovaných výsledků. Imisní bod byl v programu zadán 102,5 m od dálnice D1 do výšky 3 m nad vypočítaný digitální model terénu. Dále bylo zadáno odsazení imisního bodu 2 m od fasády první obytné budovy. Po nastavení zmíněných parametrů byl uskutečněn výpočet akustické situace pro denní a noční dobu.

6.3.3. Výsledky výpočtu akustické situace a srovnání vymodelovaných a naměřených dat

Po provedení výpočtu byla programem určena akustická situace v místě imisního bodu. Výsledné vypočítané hodnoty akustické situace pro denní a noční dobu jsou uvedeny v následující tabulce.

Vypočítaná hodnota akustické situace programem CADNA A[dB]	
DEN	NOC
63,5dB	57,9 dB

Tabulka 16: Programem vypočítané hodnoty akustické situace v imisním bodě [13]

Následující tabulka znázorňuje reálné naměřené hodnoty hlukoměrem.

Naměřená hodnota akustické situace hlukoměrem[dB]	
DEN	NOC
63,6 dB	59,4 dB

Tabulka 17: Vlastní naměřené hodnoty akustické situace v imisním bodě [13]

Z předchozích dvou tabulek je zřejmé, že kalibrace modelu byla provedena správně, jelikož rozdíl mezi vypočítanými a naměřenými hodnotami nepřesahuje zmíněné 2 dB. Tuto skutečnost znázorňuje pro přehlednost následující tabulka.

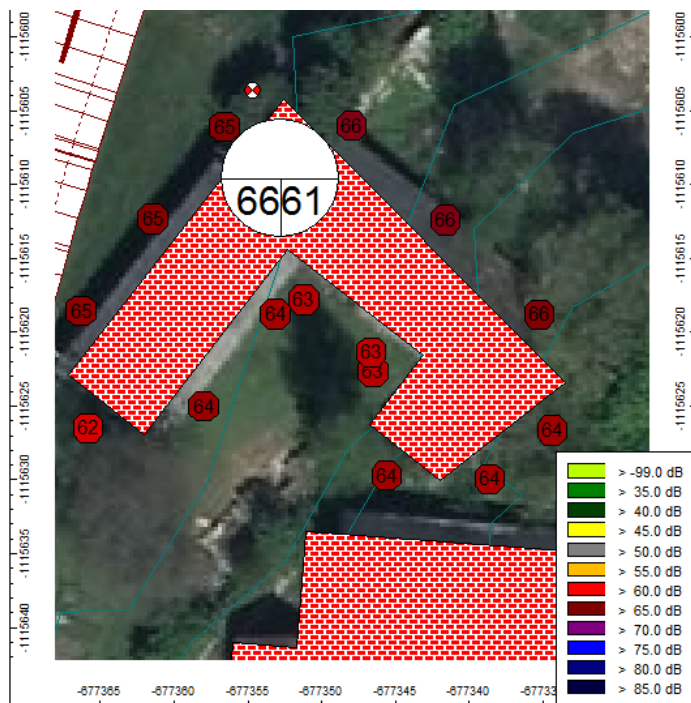
Rozdíl mezi vypočítanými a naměřenými hodnotami v dB	
DEN	NOC
0,1 dB	1,5 dB

Tabulka 18: Číselně vyjádřený rozdíl mezi vypočítanými a naměřenými hodnotami v imisním bodě [13]

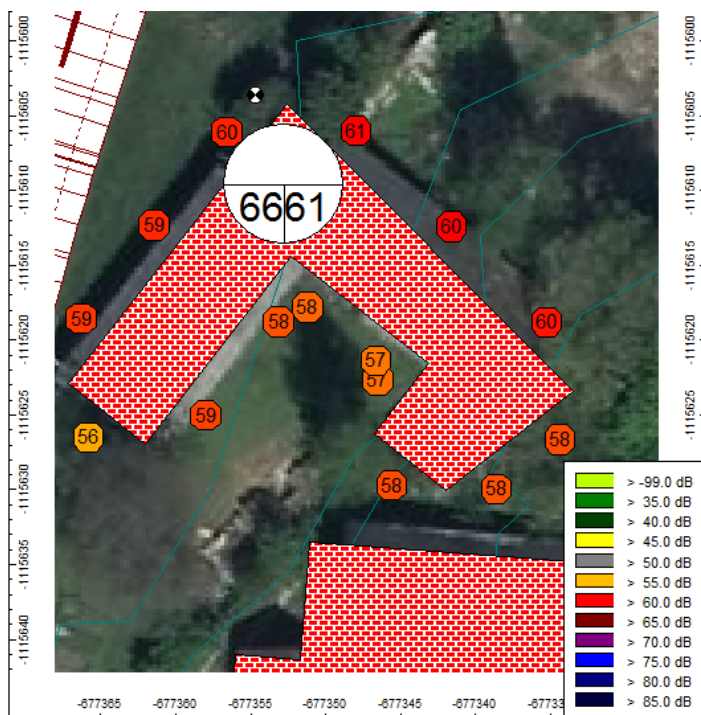
6.3.4. Výpočet hodnocení fasád

Pro účel kalibrace modelu na naměřené hodnoty akustické situace byla zadána do modelu hodnota minimální vzdálenosti zdroje od imisního bodu 0,5. Tuto hodnotu však bylo nutné po provedení kalibrace změnit na hodnotu 2,5 z toho důvodu, aby byl započítán vliv odrazu od fasády. S výpočtem akustické situace v imisním bodě byla vymodelována také hluková mapa fasád jednotlivých budov pro denní a noční dobu. Každé budově program přiřadil několik imisních bodů, které byly v důsledku odrazu od fasády určeny ve vzdálenosti 2 m od fasády konkrétních budov. U každé budovy tak vzniklo dokola několik imisních bodů, které určily hlukové zatížení jednotlivých stěn domů. V obci je celkem 125 budov. Z celkového počtu je 12 budov neobytných. Výpočtem bylo zjištěno, že nadměrným hlukem je v obci Slavníč zatíženo celkem 34 obytných domů. Z nadměrně zatížených 21 obytných budov přesahuje současná hladina akustické situace jak denní, tak i noční limity. U zbývajících 13 domů jsou přesaženy pouze limity pro noční dobu, tzn. po dobu od 22 do 6 hodin. Denní i noční limity přesahují výhradně ty budovy, které jsou v těsné blízkosti dálnice D1 a také komunikace č. 3483. Naopak budovy nadlimitně zatížené

pouze v nočních hodinách se vyskytují ve větší vzdálenosti od dálnice D1. Na následujících obrázcích je pro představu ukázáno denní a noční hlukové zatížení vybraného domu. Jednotlivé barvy znázorňují intervaly konkrétního hlukového zatížení na konkrétním modelovaném místě.

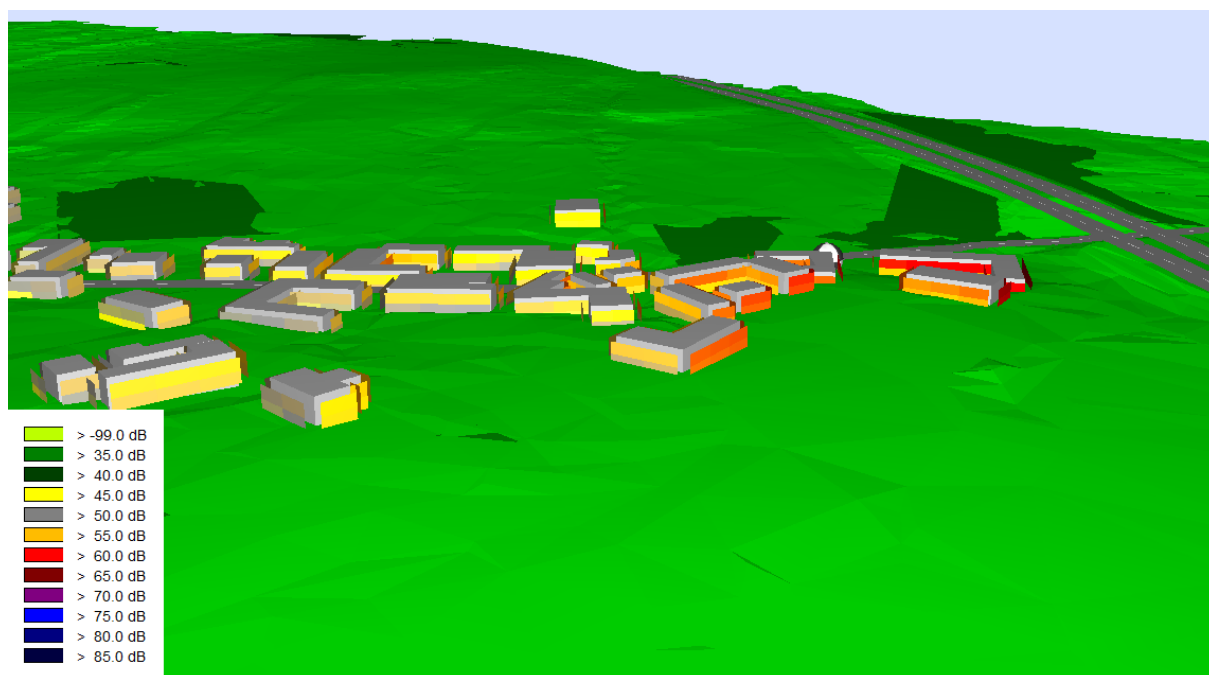


Obrázek 17: Hlukové zatížení vybraného obytného domu – den [13, 19]

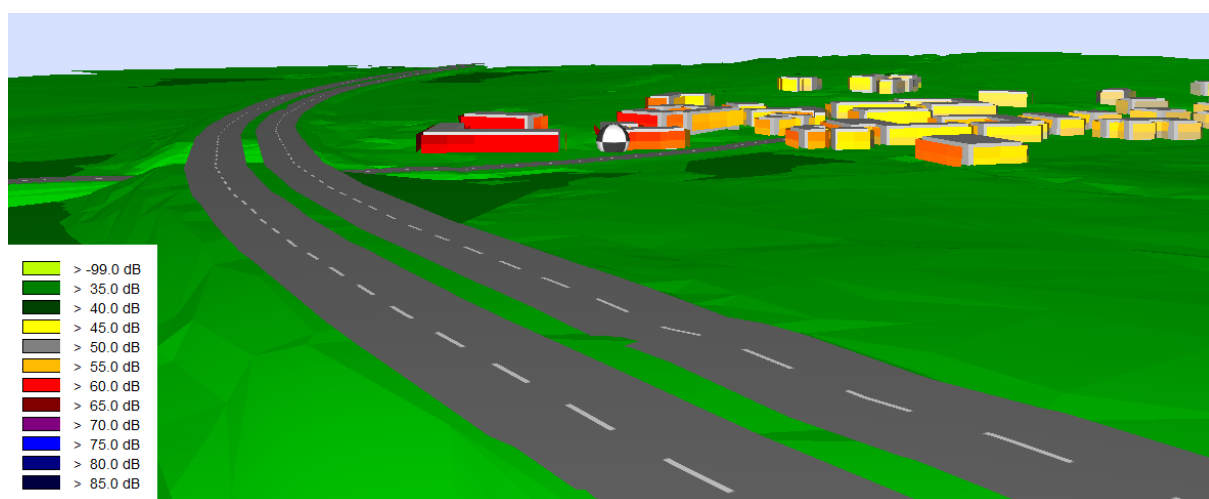


Obrázek 18: Hlukové zatížení vybraného obytného domu – noc [13, 19]

Program CADNA A umožňuje také 3D zobrazení hlukového zatížení. Na následujících obrázcích jsou znázorněna vybraná 3D zobrazení modelu. U každé budovy lze nastavit hlukové hodnocení fasád. Fasády domů jsou pokryty různě barevnými plochami, znázorňujícími hlukovou zátěž. Každá barva znázorňuje interval hluku v decibelech. Terén je pokryt světle zelenou barvou, tmavě zelená barva znázorňuje existenci ojedinělých rostlých stromů. Imisní bod je na obrázcích znázorněn černobílou kuličkou.



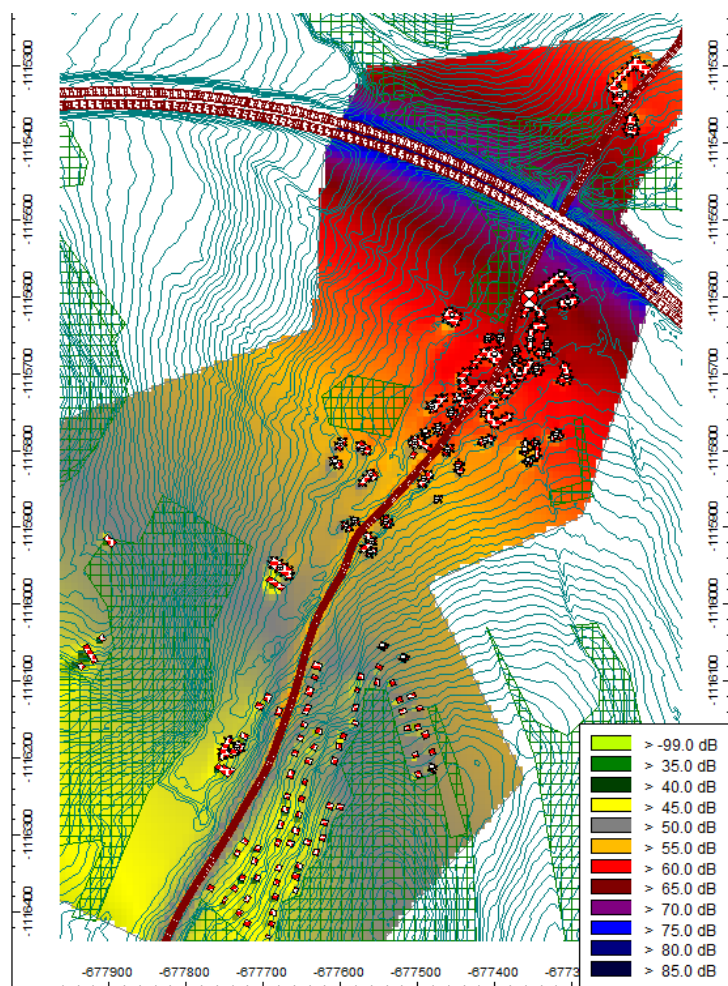
Obrázek 19: 3D zobrazení hlukového zatížení vybraných objektů - noc [13]



Obrázek 20: 3D zobrazení hlukového zatížení vybraných objektů - pohled z dálnice D1 [13]

6.3.5. Modelování hlukového rastru

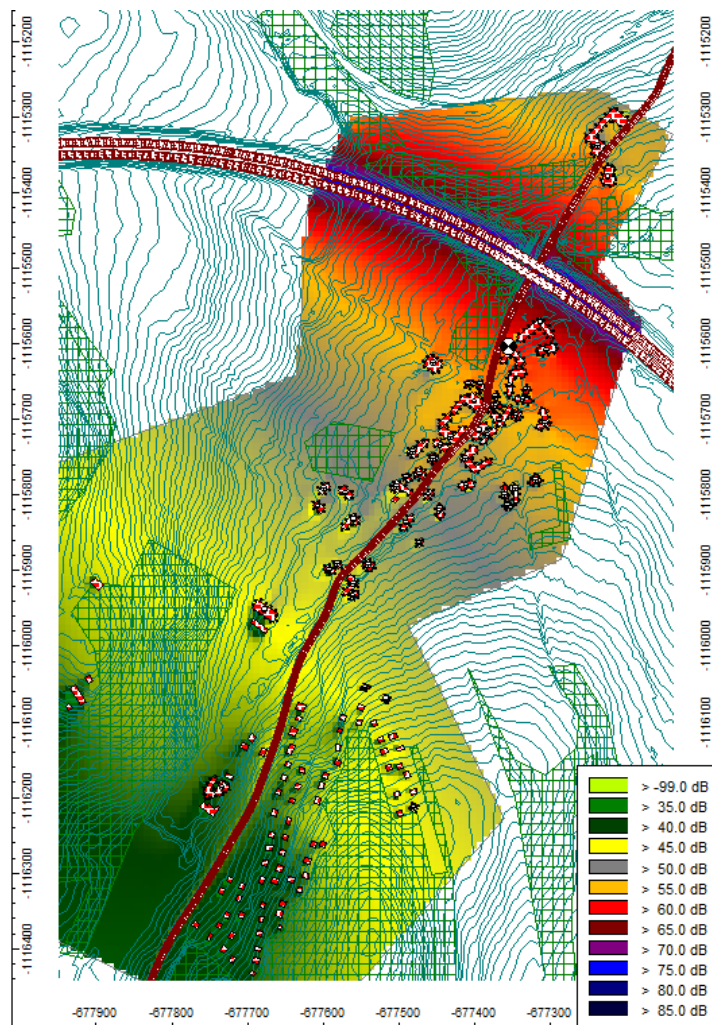
Hlukem nebyly zatíženy pouze budovy, nýbrž celé okolí obce včetně polí, lesů a komunikací. Pro znázornění hlukového zatížení celé oblasti byl po zadání všech potřebných parametrů vymodelován takzvaný hlukový rastr, který rozdělil obec Slavnič a jeho okolí do jednotlivých hlukových pásem dle konkrétního hlukového zatížení v místě. Do programu byl zadán výpočet rastru 8x8 m. Jelikož bylo modelování rastru programem CADNA A velice časově náročné, byla vymezena výpočtová oblast pouze na místa zájmu, a to především na těsné okolí přilehlé dálnici D1 a komunikaci č. 3483. Hlukový rastr oblasti pro denní dobu je znázorněn na následujícím obrázku. Z legendy je patrné, že největší hluk se šíří z dálnice D1 do okolí. Právě u této dálnice můžeme pozorovat hlukové zatížení dosahující více jak 75 dB. Tato skutečnost je znázorněna na obrázku tmavě modrou barvou. První obytné domy se vyskytují již v červeném pásmu, kde je akustická situace také nepříznivá a ekvivalentní hladiny se zde pohybují okolo 65 dB. Následují pásma oranžová a žlutá, která se vyskytují několik set metrů od dálnice D1. Hladiny akustického tlaku v těchto pásmech již denní limity splňují.



Obrázek 21: Hlukový rastr obce Slavníč a okolí pro denní dobu[13,19]

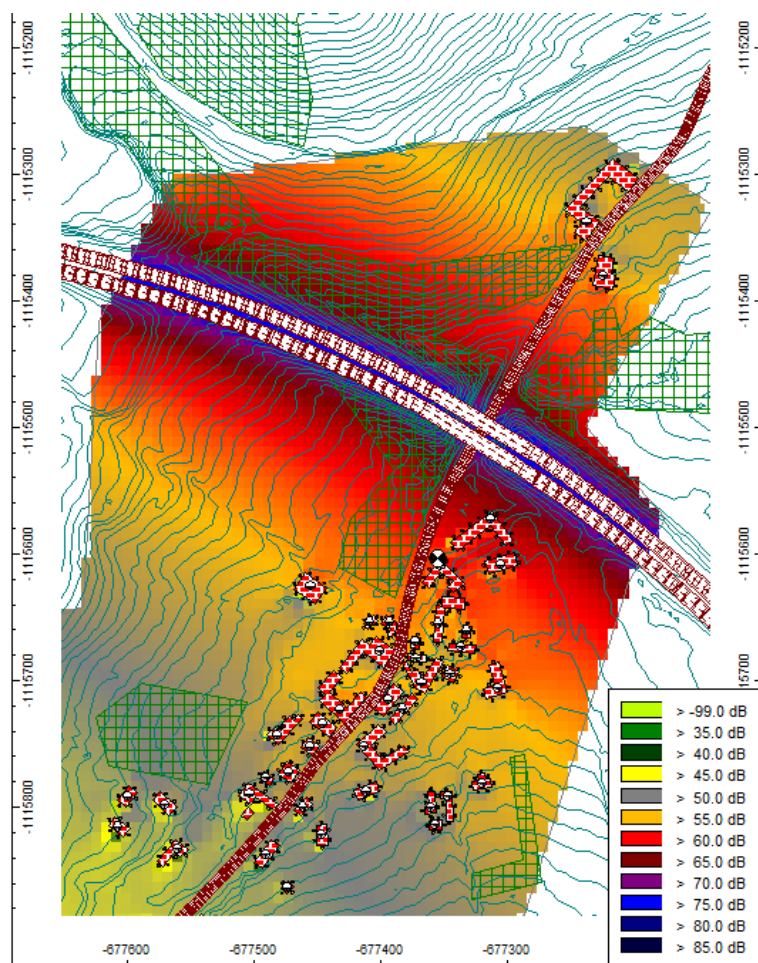
Figure 1 is a contour map illustrating the predicted noise level distribution for the proposed road project. The map shows a road layout with various noise level contours. The X-axis represents the horizontal coordinate, ranging from -115800 to -115300. The Y-axis represents the vertical coordinate, ranging from -677800 to -677300. A legend on the right side of the map provides the color key for the noise levels, ranging from -99.0 dB (light green) to > 85.0 dB (dark blue). The map also includes a grid of small squares, likely representing the spatial discretization used in the noise prediction model.

lnou kontrolu splnění nočních limitů v obci byl vymodelován hlukový



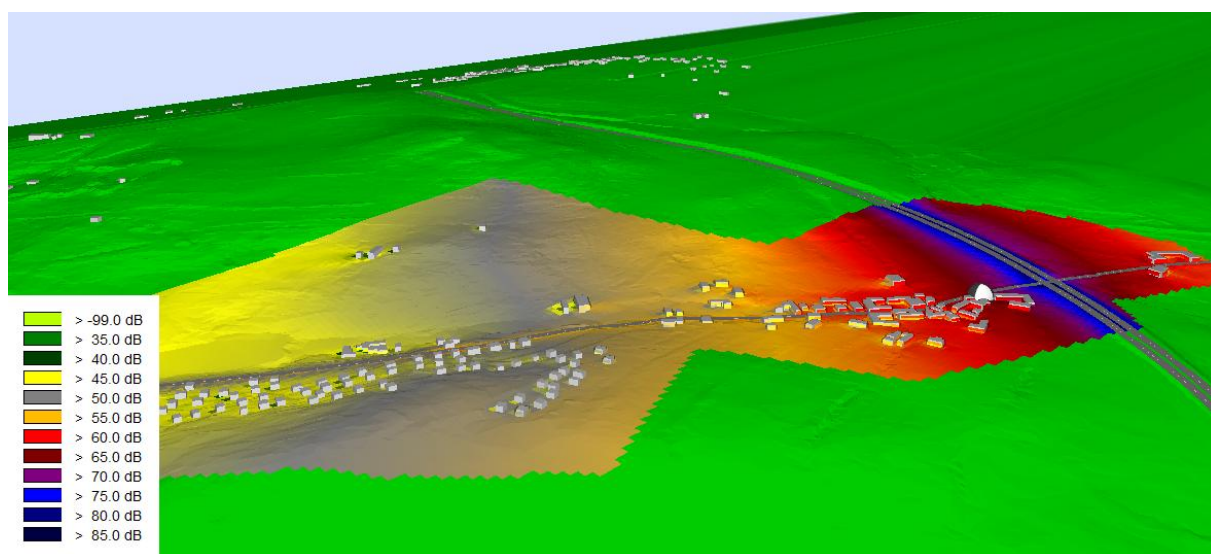
Obrázek 23: Hlukový rastr obce Slavníč a okolí pro noční dobu[13,19]

Následující obrázek přibližně zachycuje účinek dálnice D1 na akustickou situaci obce Slavníč a jejího okolí v nočních hodinách.

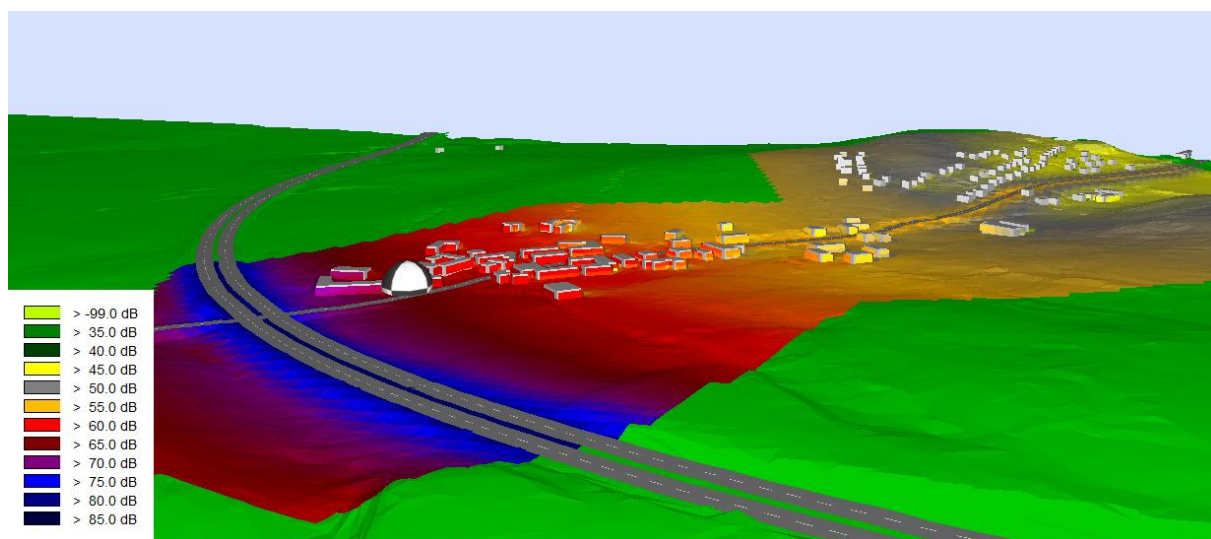


Obrázek 24: Hlukový rastr blízkého okolí dálnice D1 - noční doba[13,19]

Program CADNA A umožňuje stejně jako u hlukového zatížení fasád také 3D zobrazení hlukového rastru. Na následujících obrázcích je znázorněn 3D hlukový rastr včetně hodnocení fasád.



Obrázek 25: 3D hlukový rastr obce Slavnič a okolí - denní doba[13]



Obrázek 26: 3D hlukový rastr obce Slavnič a okolí - pohled z dálnice D1 - noční doba[13]

Hlukové 2D rastry pro denní a noční dobu jsou v optimálnějším měřítku uvedeny v příloze na konci této práce.

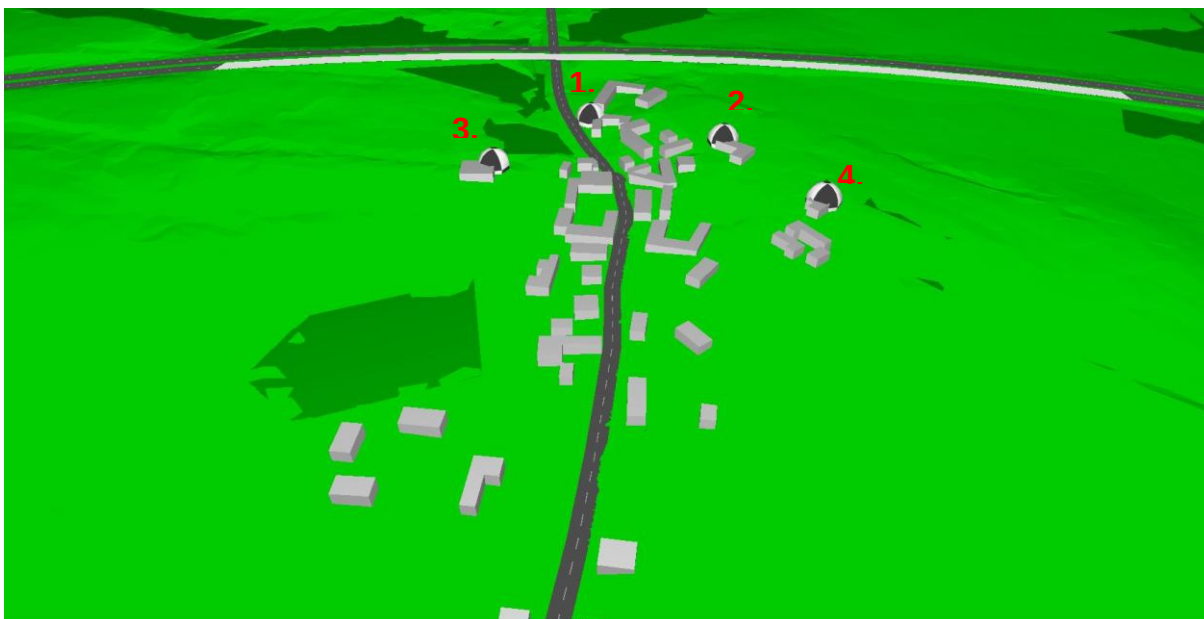
6.4. Modelování výhledové akustické situace

Pro modelování výhledové akustické situace byla využita jak automatická, tak manuální optimalizace protihlukové clony v programu CADNA A, přičemž byly zachovány stávající intenzity, rychlosti a skladby dopravního proudu na dálnici D1 a přilehlé komunikaci č. 3483. Výhledová akustická situace byla pojata jako návrh opatření, které je v současné době potřebné pro splnění hygienických limitů v obci. Po konzultaci s odborníky firmy LIADUR, kteří se zabývají návrhem protihlukových opatření, bylo zjištěno, že za optimální výšky protihlukových clon se považují hodnoty od 3 do 6-ti metrů. Stěny vyšší se používají v ojedinělých případech a vykazují zvýšené náklady (nutné vyztužení základových sloupů a patek). Z následných výsledků manuální a automatické optimalizace byla vybrána nejvhodnější varianta protihlukové clony z hlediska útlumu a nákladů.

6.4.1. Manuální optimalizace protihlukové stěny

Pro manuální optimalizaci v programu CADNA A byl použit zkalibrovaný model současné, naměřené akustické situace. Tento model sloužil jako podklad pro následné řešení výhledové situace. Jelikož byla pro účel kalibrování modelu zadána hodnota minimální vzdálenosti zdroje od imisního bodu 0,5, bylo nutné tuto hodnotu změnit na koeficient 2,5, aby program zohlednil vliv odrazu od fasády.

K manuálnímu modelování výhledové situace byly pro zajištění účinnosti navržené protihlukové clony určeny celkem 4 imisní body. První imisní bod byl umístěn u obytné budovy, kde probíhalo reálné měření akustické situace. Ostatní imisní body byly umístěny k obytným budovám, které se vyskytují blízko dálnice D1. Tyto body byly do modelování vneseny z toho důvodu, aby byla dosažena přijatelná akustická situace v celé obci a nejen na místě měření. Každý imisní bod byl umístěn do vzdálenosti 2 metrů od fasády a výšky 3 metrů. Následující obrázek znázorňuje přesné umístění a označení všech imisních bodů. Jednotlivé imisní body jsou v obrázku označeny černobílou koulí.



Obrázek 27: Rozmístění a označení imisních bodů v obci Slavníč [13]

Po rozmístění všech imisních bodů byl model připraven k manuální optimalizaci protihlukového opatření. Minimální délka protihlukové stěny je vyjádřena jako dvojnásobek vzdálenosti imisního bodu od zdroje hluku. Tato minimální délka byla vypočtena na hodnotu 205 metrů. Z důvodu nezkušenosti v navrhování protihlukových stěn, byla však základní délka první výhledové varianty určena na hodnotu 80 metrů, aby byla prověřena malá účinnost tohoto opatření. Základní výška protihlukové stěny byla určena na hodnotu 2 metrů. Délky a výšky navrhovaných protihlukových stěn byly vždy po výpočtu navyšovány rovnoměrně na každou stranu od prvního imisního bodu tak, aby bylo možné zajištění optimálního návrhu protihlukové stěny. Z důvodu vysoké výpočtové doby programu CADNA A byl nejprve zkoumán pouze první imisní bod, umístěný u nejbližší obytné budovy k dálnici D1, v místě reálného měření. Následující tabulka zobrazuje denní a noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku [dB] v imisním bodě při určité délce a výšce navržené protihlukové stěny. Ekvivalentní hladiny akustického tlaku byly automaticky vypočítány programem CADNA A.

Ekvivalentní hladiny akustického tlaku [dB]		VÝŠKA PROTIHLUKOVÉ STĚNY[m]				
		2	2,5	3	3,5	4
DĚLKA PROTIHLUKOVÉ STĚNY [m]	80	61,9/56,1	61,7/55,9	61,6/55,8	-	-
	120	61,5/55,7	61,3/55,5	61,2/55,3	-	-
	140	61,3/55,5	61,1/55,2	60,9/55,0	-	-
	160	61,2/55,4	60,9/55,0	60,7/54,8	-	-
	180	61,0/55,2	60,7/54,8	60,5/54,6	-	-
	200	60,8/55,0	60,4/54,5	60,1/54,2	-	-
	220	60,7/54,8	60,2/54,3	59,9/54,0	-	-
	240	60,4/54,6	59,9/54,1	59,6/53,7	-	-
	260	60,3/54,5	59,7/53,9	59,3/53,4	59,0/53,1	-
	280	60,1/54,2	59,5/53,6	59,1/53,1	58,7/52,8	-
	300	60,0/54,2	59,4/53,5	58,9/53,0	58,6/52,6	58,3/52,3
	320	60,0/54,1	59,4/53,5	58,9/53,0	58,5/52,6	58,3/52,3

Tabulka 19: Denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku v imisním bodě při různé délce a výšce protihlukové clony [13]

Z tabulky je patrné, že při délce protihlukové stěny 220 metrů a výšce 3 metry byl poprvé splněn denní hlukový limit v imisním bodě. Výstavba této protihlukové clony by však nedokázala utlumit hlukové zatížení v nočních hodinách na zákonem stanovený noční limit, tj. 50 dB. Ani při následném prodlužování a zvyšování modelované protihlukové stěny nedošlo ke splnění nočního limitu. Při výstavbě protihlukové clony délky 320 metrů a výšky 4 metrů by byl splněn denní limit, avšak noční limit by byl v imisním bodě přesažen o 2,3 dB nad stanovený noční limit.

Po nezdárných pokusech o snížení nadměrného hluku na limitní hranice byly modelovány protihlukové stěny delších a vyšších rozměrů. Ekvivalentní hladiny akustického tlaku byly programem CADNA A počítány pro výšky protihlukových clon od 2 do 6 metrů. Protože se ukázalo, že pro výšky od 2,5 do 4 metrů by byla pro splnění denních i nočních limitů nutná výstavba velmi dlouhých a po konzultaci s projektanty protihlukových stěn firmy LIADUR neekonomických protihlukových clon, bylo prováděno modelování především pro výšky od 4,5 do 6 metrů. Následující tabulky znázorňují denní a noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku [dB] v imisních bodech při určité délce a výšce navržené protihlukové stěny. Ekvivalentní

hladiny akustického tlaku byly automaticky vypočítány programem CADNA A již pro všechny zadané imisní body.

Ekvivalentní hladiny akustického tlaku [dB]		(první im. bod)(druhý im. bod)(třetí im. bod)(čtvrtý im. bod)
DĚLKA PROTIHLUKOVÉ STĚNY/ VÝŠKA PROTIHLUKOVÉ STĚNY[m]	400/2	(59.5/53.7)(61.3/55.7)(59.2/53.7)(59.2/53.6)
	450/2	(59.3/53.5)(61.0/55.5)(59.0/53.6)(59.0/53.5)
	480/2	(59.3/53.5)(60.9/55.4)(58.9/53.5)(58.9/53.4)
	500/2	(59.2/53.5)(60.8/55.4)(58.9/53.4)(58.9/53.3)
	520/2	(59.2/53.4)(60.8/55.3)(58.8/53.3)(58.8/53.3)
	550/2	(59.2/53.4)(60.7/55.2)(58.8/53.3)(58.7/53.2)
	570/2	(59.2/53.4)(60.6/55.2)(58.8/53.3)(58.6/53.1)
	600/2	(59.2/53.4)(60.6/55.1)(58.7/53.3)(58.5/53.0)
	630/2	(59.2/53.4)(60.5/55.1)(58.7/53.3)(58.4/52.9)
	650/2	(59,2/53,4)(60,5/55,1)(58,7/53,3)(58,4/52,9)
	660/2	(59,2/53,4)(60,5/55,1)(58,7/53,3)(58,3/52,9)
	670/4,5	(55,6/49,4)(56,0/50,6)(55,1/49,6)(55,1/49,6)
	680/4,5	(55,6/49,4)(56,0/50,5)(55,1/49,6)(55,0/49,5)
	690/4,5	(55,6/49,4)(55,9/50,5)(55,1/49,6)(54,9/49,4)
	700/4,5	(55,6/49,4)(55,9/50,4)(55,1/49,6)(54,9/49,4)
	750/4,5	(55,6/49,4)(55,7/50,2)(55,0/49,5)(54,4/49,0)
	800/4,5	(55,6/49,4)(55,6/50,2)(55,0/49,5)(54,2/48,8)
	400/5	(56.4/50.2)(59.2/53.5)(56.7/51.1)(58.1/52.4)
	450/5	(55.8/49.6)(58.3/52.6)(56.0/50.4)(57.6/51.9)
	480/5	(55.6/49.3)(57.7/52.1)(55.7/50.1)(57.2/51.6)
	500/5	(55.4/49.1)(57.5/51.9)(55.4/49.8)(57.0/51.4)
	520/5	(55.3/48.9)(57.3/51.7)(55.1/49.6)(56.9/51.3)
	550/5	(55.3/48.9)(56.8/51.2)(55.0/49.5)(56.4/50.8)
	570/5	(55.3/48.9)(56.5/50.9)(55.0/49.4)(56.1/50.5)
	600/5	(55.3/48.9)(56.1/50.5)(54.9/49.4)(55.6/50.0)
	630/5	(55,3/48,9)(55,7/50,2)(54,9/49,3)(55,2/49,6)
	650/5	(55,3/48,9)(55,5/50,0)(54,8/49,3)(54,9/49,4)

660/5	(55,3/48,9)(55,5/50,0)(54,8/49,3)(54,8/49,3)
661/5	(55,3/48,9)(55,5/50,0)(54,8/49,3)(54,8/49,2)
662/5	(55,3/48,9)(55,4/50,0)(54,8/49,3)(54,8/49,2)
662,5/5	(55,3/48,9)(55,4/50,0)(54,8/49,3)(54,8/49,2)
663/5	(55,3/48,9)(55,4/49,9)(54,8/49,3)(54,8/49,2)
665/5	(55,3/48,9)(55,4/49,9)(54,8/49,3)(54,7/49,2)
670/5	(55,3/48,9)(55,4/49,9)(54,8/49,2)(54,7/49,1)
680/5	(55,3/48,9)(55,3/49,8)(54,8/49,2)(54,0/49,0)
690/5	(55,3/48,9)(55,2/49,8)(54,8/49,2)(54,4/48,9)
700/5	(55,3/48,9)(55,2/49,7)(54,7/49,2)(54,3/48,8)
600/5,5	(55,0/48,5)(55,7/50,1)(54,7/49,1)(55,4/49,8)
610/5,5	(55,0/48,5)(55,5/50,0)(54,7/49,1)(55,2/49,6)
611/5,5	(55,0/48,5)(55,5/50,0)(54,6/49,1)(55,2/49,6)
612/5,5	(55,0/48,5)(55,5/50,0)(54,6/49,1)(55,2/49,6)
612,5/5,5	(55,0/48,5)(55,5/50,0)(54,6/49,1)(55,2/49,6)
613/5,5	(55,0/48,5)(55,5/49,9)(54,6/49,1)(55,2/49,6)
615/5,5	(55,0/48,5)(55,5/49,9)(54,6/49,1)(55,1/49,5)
620/5,5	(55/48,5)(55,4/49,9)(54,6/49,1)(55/49,5)
630/5,5	(55/48,5)(55,3/49,7)(54,6/49)(54,9/49,3)
650/5,5	(55/48,5)(55,1/49,5)(54,6/49)(54,6/49)
670/5,5	(55/48,5)(54,9/49,4)(54,5/49)(54,3/48,8)
570/6	(54,7/48,2)(55,9/50,3)(54,6/49)(55,7/50,1)
580/6	(54,7/48,2)(55,7/50,1)(54,5/49)(55,5/49,9)
590/6	(54,7/48,2)(55,5/50)(54,5/48,9)(55,4/49,7)
590,5/6	(54,7/48,2)(55,5/49,9)(54,5/48,9)(55,3/49,7)
591/6	(54,7/48,2)(55,5/49,9)(54,5/48,9)(55,3/49,7)
592/6	(54,7/48,2)(55,5/49,9)(54,5/48,9)(55,3/49,7)
595/6	(54,7/48,2)(55,5/49,9)(54,5/48,9)(55,3/49,7)
600/6	(54,7/48,2)(55,4/49,8)(54,5/48,9)(55,2/49,6)
620/6	(54,7/48,2)(55,1/49,5)(54,4/48,9)(54,8/49,2)

Tabulka 20: Denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku v imisních bodech při různé délce a výšce protihlukové clony [13]

Z tabulky je zřejmé, že pro protihlukovou stěnu, která by byla vysoká 4,5 m, by ani její délka 800 m nezajistila dosažení hranice nočního limitu pro druhý imisní bod. Pro výšku protihlukové stěny 4,5 metru by bylo nutné její další prodlužování, které by se projevilo na stavebních nákladech. Tato skutečnost byla ověřena konzultací s projektanty a rozpočtáři protihlukových clon firmy LIADUR. Při delších protihlukových stěnách je zapotřebí více základových sloupků, které ovlivňují negativně náklady na výstavbu. Pokud by navržená protihluková clona disponovala výškou 5-ti metrů, splňovala by požadavky útlumu hluku ve všech imisních bodech na zákonem stanovené limity již od délky 663 m. Pro výšku protihlukové stěny 5,5 m by pro dodržení denních a nočních hlukových limitů bylo zapotřebí vystavit tuto protihlukovou stěnu v délce 613 m. Délka protihlukové stěny 590,5 m by zajistila útlum hluku na stanovené limity při její výšce 6 m. Manuální optimalizace protihlukových clon byla prováděna pro délky celých desítek metrů. Po dosažení limitních hodnot bylo vždy prováděno zkracování stěny z obou stran o 0,5 metru tak, aby byla zajištěna optimální varianta. Manuální optimalizací nebyla zohledněna různá výška protihlukové stěny v různých částech. Jelikož při modelování různých variant protihlukových stěn byla zadávána relativní výška stěny vzhledem k terénu, program CADNA A má ve svých možnostech pouze zadávání konstantní výšky protihlukové stěny po celé navržené délce. Možnost zadání různé výšky protihlukového opatření v různých částech by zpřesnilo optimalizaci. Tento nedostatek vyřešila automatická optimalizace protihlukových stěn.

Z tabulky č. 21 je patrné, že manuální optimalizací vzešly jako optimální protihluková opatření (=opatření, která splňují zákonem stanovené hlukové limity) zeleně podbarvené variantní návrhy.

Pro určení optimální protihlukové stěny v obci Slavníč byly rozhodující optimální útlumy hluku na zákonem stanovený denní a noční limit a dále náklady na výstavbu opatření. Jelikož modelování variant protihlukových stěn začínalo vždy především kolem prvního imisního bodu, který byl umístěn k nejbližšímu obytnému domu dálnice D1, dosáhl tento bod manuální optimalizací hlukových limitů již při délce stěny 450 m a výšce 5 m. Rozměry této stěny by však nezamezily šíření nadměrného hluku u zbývajících imisních bodů, a proto muselo dojít k prodlužování a zvyšování tohoto opatření, aby na zákonem stanovené limity dosáhl každý obytný dům obce. Ukázalo se, že nejobtížnějším úkolem bylo dosažení především nočních limitů v obci.

6.4.1.1. Výběr nejvhodnější varianty protihlukového opatření z hlediska nákladů a útlumu

Pro výběr nejvhodnější varianty protihlukového opatření byl v prvním imisním bodě vypočítán denní a noční útlum hluku optimálních výhledových variant od současného namodelovaného stavu. Dále byly vypočítány náklady na výstavbu těchto optimálních variant, které již splňují hlukové limity. Cílem byla volba takové varianty, která by zajistila snížení hluku v obci na stanovené limity a zároveň by byla ekonomicky nejprůzračnější.

6.4.1.2. Útlumy hluku optimálních navržených variant a jejich náklady na výstavbu

Pomocí programu CADNA A byly při modelování současného stavu vypočítány současné denní a noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku v prvním imisním bodě bez jakýchkoliv protihlukových opatření. Tyto hladiny činily ve dne 63,5 dB a v noci 57,9 dB. Následující tabulka udává útlumy hluku prvního imisního bodu od vybraných, optimálních variant společně s vypočítanými náklady na výstavbu těchto variant. Tyto náklady na výstavbu protihlukových stěn byly odvozeny od jednotkové ceny za m² vystavěné clony a byly přejeté od Ředitelství silnic a dálnic z datové základny pro sestavování nákladů protihlukových stěn. Dálnice D1 vede v blízkosti obce Slavníč po mostní konstrukci, která je dlouhá 67,5 metru a všechny navržené varianty protihlukových stěn přes tuto konstrukci vedou. Náklady na výstavbu m² svislé protihlukové nosné konstrukce ze skla, která je vhodná právě pro mostní konstrukce, činí zhruba 6500 Kč. Pro zbývající úseky protihlukových clon, které nevedou po mostní konstrukci, je vhodné a v praxi často užívané použití svislých nosných konstrukcí, které jsou montované z plošných, betonových dílců. Cena za m² této konstrukce se pohybuje zhruba okolo 3900 Kč. Tyto náklady na m² ve své ceně zahrnují kompletní zemní práce včetně uložení nevhodného výkopku na skládku a poplatků a vykopávek ze zemníku, podkladní vrstvy, založení na pilotách včetně kompletního provedení, sloupky z dílců železobetonových, panely z dílců železobetonových, skleněných (v případě protihlukové stěny z plošných, betonových dílců se jedná o panely z lehčeného betonu), únikový východ kompletní včetně dveří, schodiště, zábradlí, kryty z betonových dlaždic se zámkem mezi zdi a svodidlem a nátěry betonových konstrukcí v nezbytném rozsahu.

MANUÁLNĚ OPTIMALIZOVANÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA		DENNÍ/NOČNÍ ÚTLUM HLUKU [dB]	NÁKLADY NA VÝSTAVBU PROTIHLUKOVÉ STĚNY [Kč]
DĚLKA PROTIHLUKOVÉ STĚNY/ VÝŠKA PROTIHLUKOVÉ STĚNY[m]	663/5	8,2/9,0	13 806 000,00
	665/5	8,2/9,0	13 845 000,00
	670/5	8,2/9,0	13 942 500,00
	680/5	8,2/9,0	14 137 500,00
	690/5	8,2/9,0	14 332 500,00
	700/5	8,2/9,0	14 527 500,00
	613/5,5	8,5/9,4	14 114 100,00
	615/5,5	8,5/9,4	14 157 000,00
	620/5,5	8,5/9,4	14 264 250,00
	630/5,5	8,5/9,4	14 478 750,00
	650/5,5	8,5/9,4	14 907 750,00
	670/5,5	8,5/9,4	15 336 750,00
	590/5/6	8,8/9,7	14 859 000,00
	591/6	8,8/9,7	14 882 400,00
	592/6	8,8/9,7	14 905 800,00
	595/6	8,8/9,7	14 976 000,00
	600/6	8,8/9,7	15 093 000,00
	620/6	8,8/9,7	15 561 000,00

Tabulka 21: Denní/noční útlumy hluku a náklady na výstavbu optimálních variant protihlukových stěn [13]

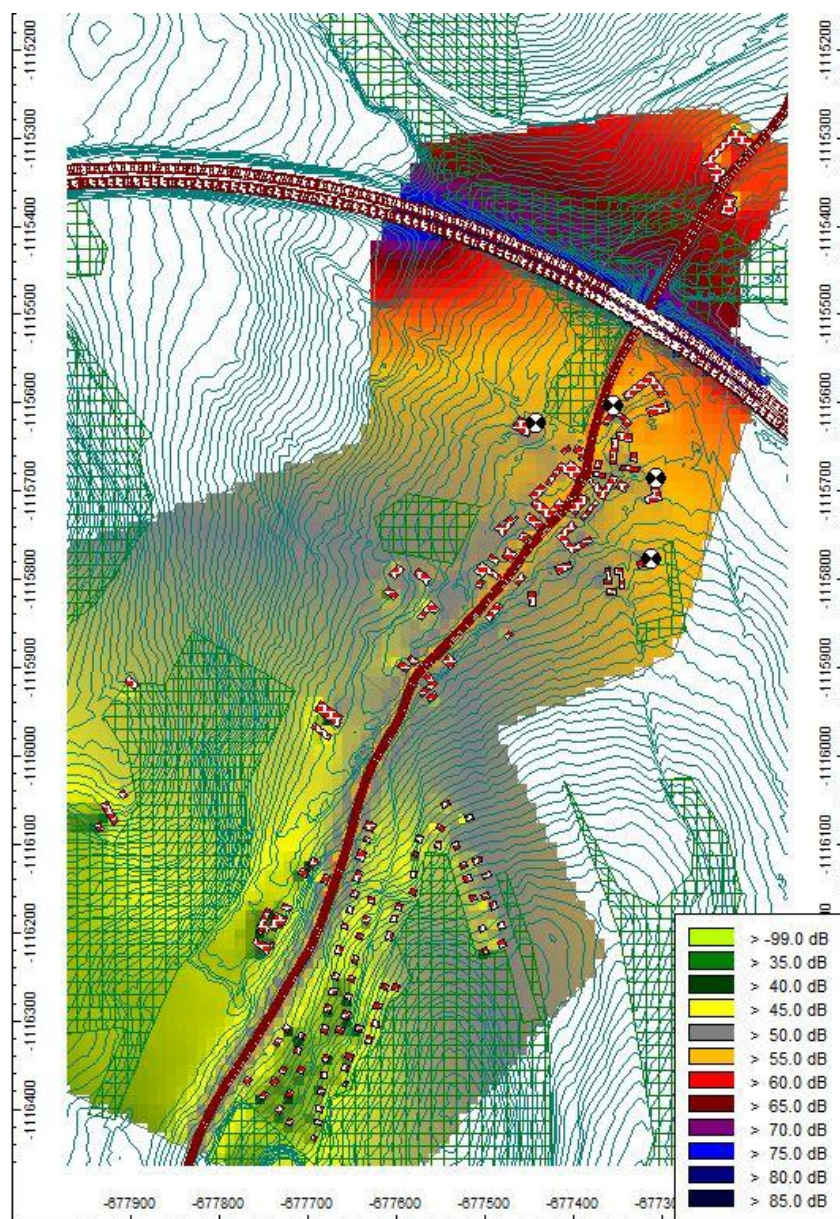
Protihluková stěna délky 663 m a výšky 5 m vychází finančně nejpříznivěji a zároveň tato stěna zajistí útlum nadměrného hluku v obci Slavníč na zákonem stanovené limity. Z tabulky je možné vidět, že útlum hluku této stěny je z optimálních variant nejmenší, nicméně tento útlum postačí pro snížení hluku ve všech čtyřech zkoumaných imisních bodech. Protihluková clona délky 613 m a výšky 5,5 m by hluk

v obci utlumila v okolí prvního imisního bodu ještě o 0,3 dB ve dne a 0,4 dB v noci lépe, nicméně by hluk o zhruba stejný rozsah narostl v imisním bodě čtvrtém oproti hluku, který byl namodelován při použití stěny délky 663 m a výšky 5 m. Srovnáním nákladů se ukázalo, že výstavba protihlukové stěny délky 663 m a výšky 5 m by vycházela o zhruba 300 000 Kč levněji, než výstavba stěny délky 613 m a výšky 5,5 m. Pokud bychom porovnali protihlukovou stěnu délky 590,5 m a výšky 6 m, zjistili bychom, že útlum hluku u prvního imisního bodu je sice o 0,6 dB ve dne a 0,7 dB v noci vyšší než u protihlukové stěny délky 663 m a výšky 5 m, avšak i tato navržená varianta by vykazovala vyšší hluk ve čtvrtém imisním bodě a především by byla o 1 053 000 Kč dražší než varianta délky 663 m a výšky 5 m.

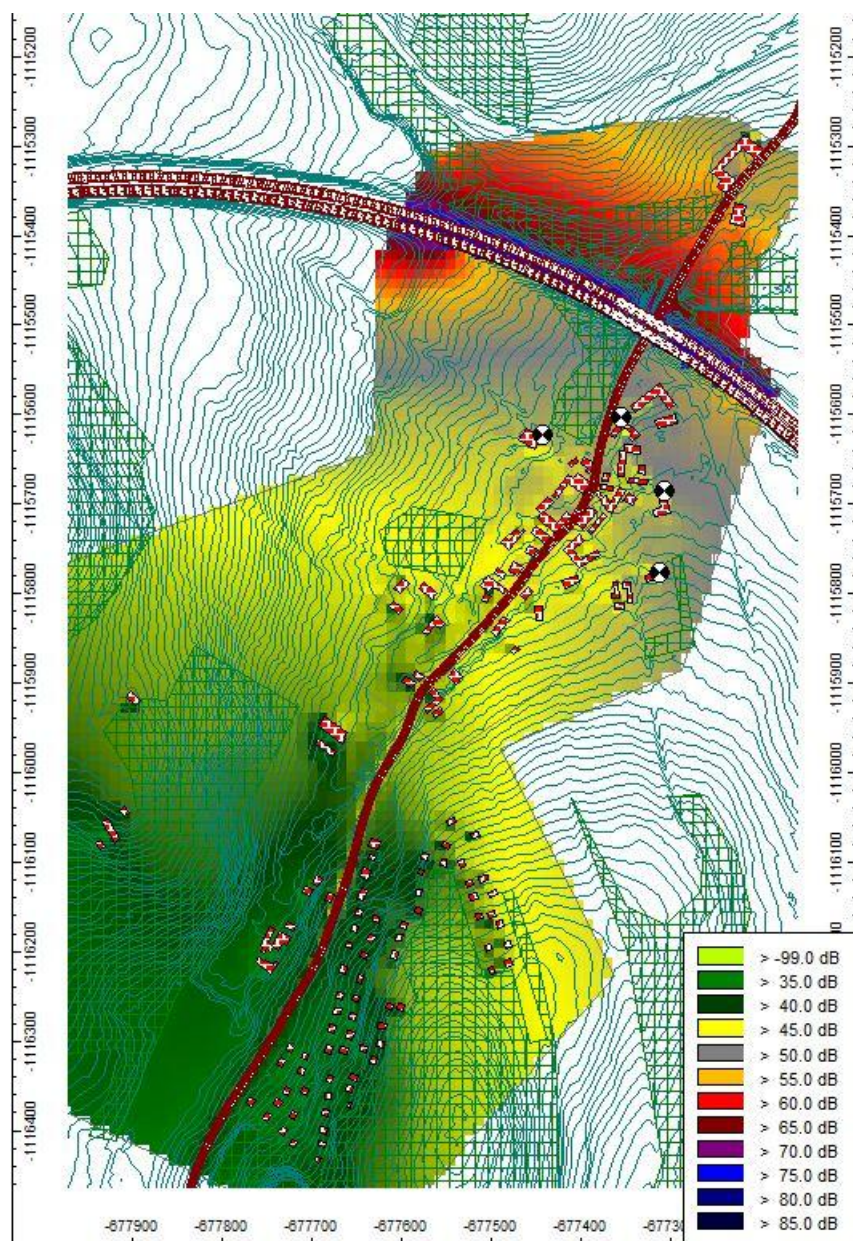
6.4.1.3. Závěry manuální optimalizace hluku

Optimálním návrhem protihlukového opatření pomocí manuální optimalizace v programu CADNA A by byla výstavba protihlukové stěny délky 663 m a výšky 5 m, která by byla tvořená po délce mostní konstrukce (67,5 m) nosnou konstrukcí ze skla a ve zbývající části nosnou konstrukcí z montovaných dílců betonových plošných.

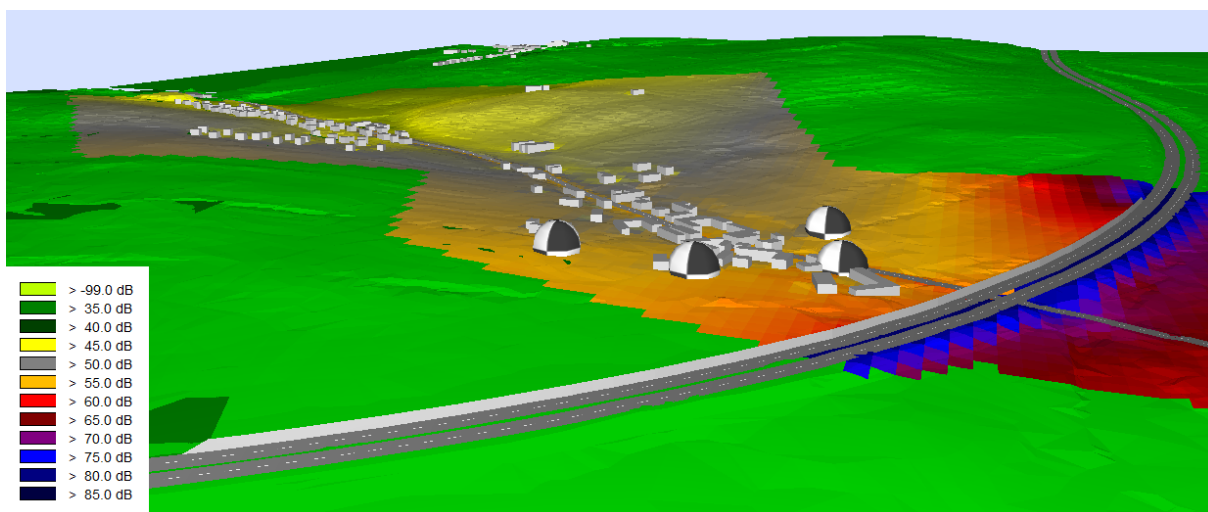
V programu CADNA A byl pro tuto vymodelovanou protihlukovou stěnu vypočítán denní i noční hlukový rastr, který dokázal, že celá obec by byla s výstavbou této stěny od nadměrného hluku odprostěna. Hlukové rastry včetně 3D modelů jsou znázorněny na následujících obrázcích. 2D modely hlukových rastrů manuální optimalizace hluku jsou součástí přílohy této diplomové práce.



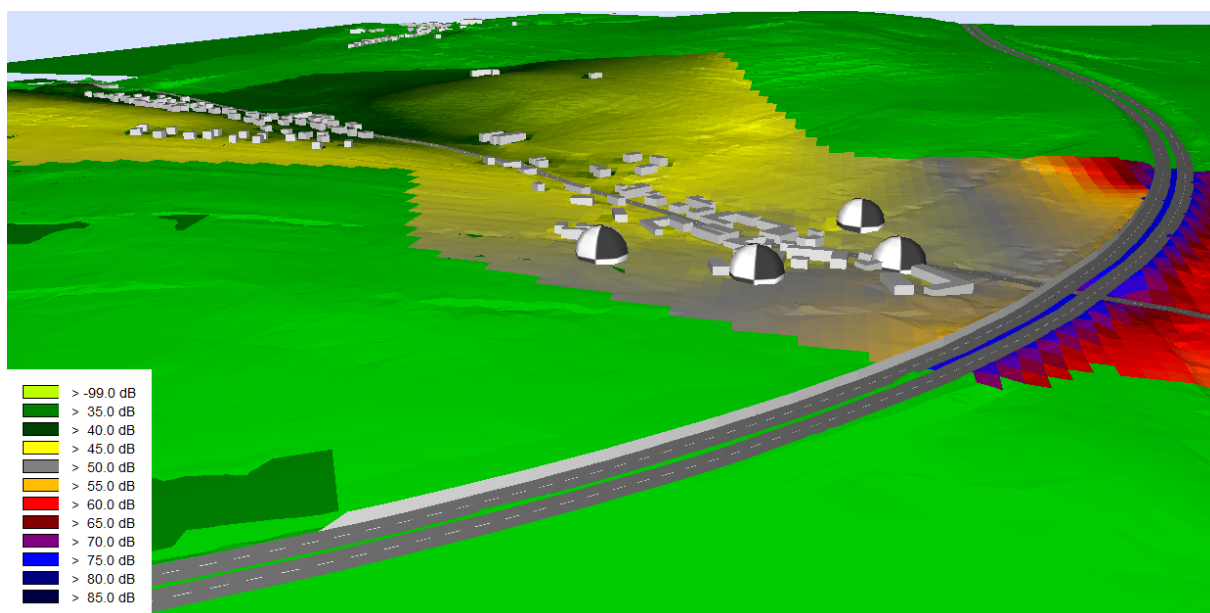
Obrázek 28: Výhledový hlukový rastr obce Slavníč a okolí s již vymodelovanou optimální protihluk. clonou pro denní dobu[13,19]



Obrázek 29: Výhledový hlukový rastr obce Slavníč a okolí s již vymodelovanou optimální protihluk. clonou pro noční dobu[13,19]



Obrázek 30: Výhledový 3D hlukový rastr obce Slavníč a okolí s již vymodelovanou optimální protihlukovou stěnou - denní doba[13]



Obrázek 31: Výhledový 3D hlukový rastr obce Slavníč a okolí s již vymodelovanou optimální protihlukovou stěnou - noční doba[13]

6.4.2. Automatická optimalizace protihlukové stěny

Spolu s manuální optimalizací byla provedena v programu CADNA A i automatická optimalizace protihlukové stěny. Automatická optimalizace zohledňovala ve výhledové variantě možnost různých výšek v různých částech protihlukového opatření. Tato skutečnost měla zajistit zpřesnění optimalizovaného řešení.

Pro automatickou optimalizaci byl stejně jako u optimalizace manuální použit zkalibrovaný model současné, naměřené akustické situace. Pro následné porovnání s manuální optimalizací bylo zachováno umístění všech čtyř imisních bodů, kterým byly nastaveny v kolonce „Standard level“ požadované hlukové limity. Tyto body opět po provedení optimalizace zaručovaly splnění hlukových limitů v celé obci.

Po umístění imisních bodů byl model připraven k zahájení automatické optimalizace protihlukové stěny. K automatické optimalizaci program CADNA A nepoužívá prvek clona jako u optimalizace manuální, nýbrž prvek násep. Na samotném začátku byl proveden výpočet hluku ve všech imisních bodech. Po zadání hlukových limitů všechny imisní body zčervenaly. To znamenalo, že všechny imisní body byly hlukem nadměrně zasaženy a na místě bylo modelování optimální protihlukové stěny, která by tyto imisní body ochránila před nadměrným hlukem. Proto byla v programu CADNA A vymodelována na dálnici D1 dostatečně dlouhá linie náspu, která vedla při okraji pravé krajnice dálnice D1 ve směru na Jihlavu. Tomuto náspu byl v programu zadán sklon 1:0, který zajistil, že vytvořený násep bude svislý. Dále byla zadána nulová šířka tohoto náspu. Jelikož program CADNA A pracuje při optimalizaci stěn s relativní výškou, kterou vlastně optimalizuje, byla zadána počáteční výška také nulová. Relativní výška se stala parametrem. Problémovým místem se stal úsek dálnice D1, vedený po mostní konstrukci. Zde při zadání relativní výšky náspu nebyla přesně respektována vymodelovaná komunikace vedená nad terénem, a proto muselo dojít v těchto místech k vymodelování mostní konstrukce v programu. Pomocí prvku most byla vytvořena plocha, které byly určeny absolutní výšky nad terénem. Tyto výšky byly nastaveny shodně s výškami osy komunikace. Dalším krokem automatické optimalizace bylo rozdělení vytvořeného náspu na třicetimetrové úseky. Násep byl rozdělen po třiceti metrech z důvodu vysoké výpočtové doby programu a také proto, aby nedocházelo k příliš častým změnám výšek modelované protihlukové stěny. Pokud byly zadány kratší úseky, program přestal pracovat. Díky tomuto rozdělení mohlo dojít k automatickému optimálnímu výškovému řešení

v různých částech stěny dle potřeby. Následně byla v nastavení automatické optimalizace zadána maximální výška stěny na hodnotu 6 m spolu s výškovým krokem 0,5m a poté byla tato automatická optimalizace protihlukové stěny spuštěna v programu. Po provedení úkonu program vypočítal optimální délku a výšku jednotlivých částí vytvořeného náspu. Výšky a délky jednotlivých částí modelovaného náspu jsou znázorněny v následující tabulce.

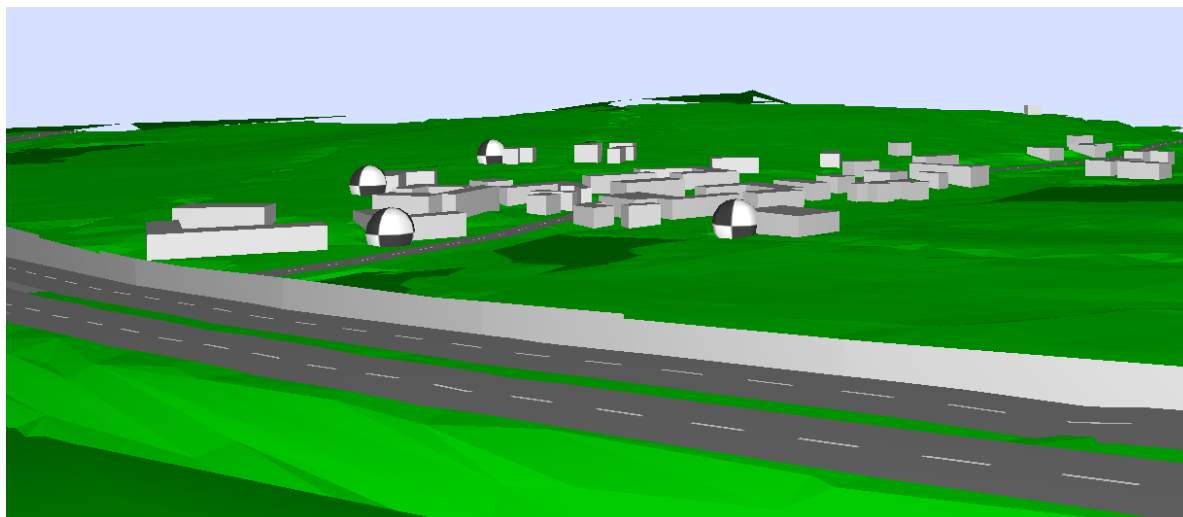
Č. ÚSEKU	DÉLKA ÚSEKU[m]	VÝŠKA ÚSEKU[m]
1	30	4,5
2	30	4,5
3	30	5
4	30	5
5	30	5
6	30	5
7	30	4,5
8	30	5
9	30	4,5
10	30	5
11	30	6
12	30	6
13	30	6
14	30	6
15	30	6
16	30	5,5
17	30	5
18	30	5
19	30	5
20	30	4
21	30	4
22	30	3,5
23	30	3

Tabulka 22: Vypočítané výšky a délky protihlukové stěny pomocí automatické optimalizace [13]

Zjištěné úseky byly následně převedeny pomocí programu z náspu na protihlukovou stěnu. Pohled na výškově optimalizovanou clonu znázorňují následující obrázky.



Obrázek 32: Výškově optimalizovaná protihluková stěna - pohled 1 [13]



Obrázek 33: Výškově optimalizovaná protihluková stěna - pohled 2 [13]

S automatickou optimalizací byly vypočítány denní i noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku ve všech zadaných imisních bodech. Tyto denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku v imisních bodech znázorňuje následující tabulka.

Denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku [dB]			
1. imisní bod	2. imisní bod	3. imisní bod	4. imisní bod
56,0/49,6	55,6/49,9	55,3/49,9	55,0/49,4

Tabulka 23: Denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku v imisních bodech vypočítané pomocí automatické optimalizace [13]

6.4.2.1. Útlum hluku navržené protihlukové stěny a náklady na výstavbu této stěny

Taktéž jako u manuální optimalizace byl proveden výpočet denního a nočního útlumu v prvním imisním bodě a dále bylo provedeno stanovení nákladů na výstavbu automaticky optimalizované protihlukové stěny dle stejných sazeb za m².

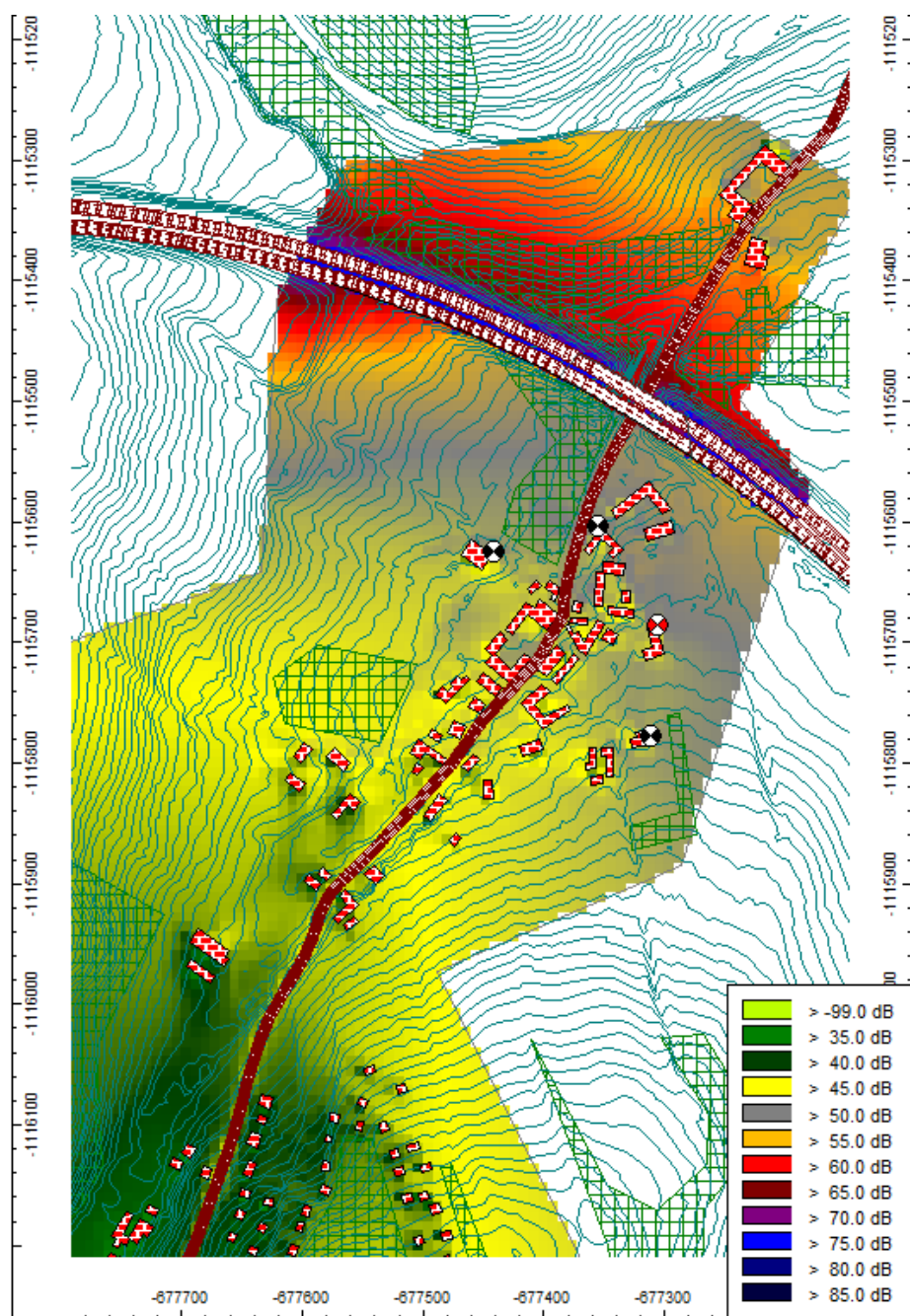
AUTOMATICKY OPTIMALIZOVANÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA	DENNÍ/NOČNÍ ÚTLUM HLUKU [dB]	NÁKLADY NA VÝSTAVBU PROTIHLUKOVÉ STĚNY [Kč]
	7,5/8,3	14 059 500,00

Tabulka 24: Denní/noční útlumy hluku a náklady na výstavbu automaticky optimalizované protihlukové stěny [13]

6.4.2.2. Závěry automatické optimalizace hluku

Po provedení automatické optimalizace protihlukové clony program CADNA A vypočítal optimální výšky jednotlivých úseků navržené protihlukové clony včetně délek. Po sečtení všech úseků byla vypočítána celková délka protihlukové stěny. Tato délka činila 690 m. Nejvhodnějším materiálem pro výstavbu této varianty protihlukové stěny by byla opět nosná konstrukce ze skla v místě vedení dálnice D1 po mostní konstrukci a nosná konstrukce z montovaných dílců betonových plošných v místech, kde dálnice D1 po mostní konstrukci nevede. Automatická optimalizace zajistila optimální výšky jednotlivých úseků protihlukové stěny, avšak její slabou stránkou se stala nemožnost zadání absolutních výšek náspů na mostní konstrukci. Tím došlo k nepřesnosti při kontaktu modelovaného náspu/stěny s vozovkou. Tento problém byl částečně eliminován tvorbou fiktivní mostní konstrukce, ale i přesto kontakt náspu/stěny s vozovkou nebyl náležitě optimální. Z důvodu někdy neúplného kontaktu docházelo k tomu, že program vytvořil protihlukovou stěnu o několik desítek centimetrů nad konstrukci vozovky a tím docházelo k šíření nepřesností ve výsledku a k růstu nákladů na výstavbu stěny.

V programu CADNA A byl pro tuto vymodelovanou protihlukovou stěnu stejně jako u manuální optimalizace vypočítán denní i noční hlukový rastr, pomocí kterého došlo ke kontrole splnění hlukových limitů obytných budov. Hlukový rastr pro noční dobu je pro představu uveden na následujícím obrázku.



Obrázek 34: Výhledový hlukový rastr obce Slavníč a okolí s automaticky vymodelovanou optimální protihluk. clonou pro noční dobu[13,19]

6.4.3. Srovnání manuální a automatické optimalizace protihlukového opatření

Pro výběr nejvhodnější varianty protihlukové stěny bylo provedeno srovnání manuální a automatické optimalizace. Manuální optimalizací byla jako nejvhodnější varianta vybrána protihluková stěna délky 663 m a výšky 5 m. Následující tabulka znázorňuje porovnání denních a nočních ekvivalentních hladin akustického tlaku ve všech imisních bodech.

Denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku [dB]				
	1. imisní bod	2. imisní bod	3. imisní bod	4. imisní bod
MANUÁLNÍ OPTIMALIZACE	55,3/48,9	55,4/49,9	54,8/49,3	54,8/49,2
AUTOMAT. OPTIMALIZACE	56,0/49,6	55,6/49,9	55,2/49,9	55,0/49,4

Tabulka 25: Denní/noční ekvivalentní hladiny akustického tlaku v imisních bodech vypočítané manuální a automatickou optimalizací [13]

Největší rozdíly ve vypočítaných hodnotách ekvivalentních hladin akustického tlaku byly zjištěny u prvního imisního bodu. K rozdílu vypočítaných ekvivalentních hladin akustického tlaku mezi manuální a automatickou optimalizací u prvního imisního bodu došlo zejména díky nepřesnostem, které s sebou nesla automatická optimalizace. Protože automatická optimalizace pracuje s relativními výškami, nebylo možné zadání absolutních výšek náspu v úseku dálnice D1, který vede po mostní konstrukci. Tím došlo k tomu, že vymodelovaná protihluková stěna pomocí automatické optimalizace nebyla v celém úseku mostní konstrukce v přímém kontaktu s vozovkou. Díky této nepřesnosti docházelo k šíření hluku směrem k obci Slavnič a k vyšším vypočítaným hodnotám ekvivalentních hladin akustického tlaku v imisních bodech.

Pro výběr optimální varianty protihlukové clony byla důležitá nejen akustická situace v imisních bodech, ale i cenová kalkulace. Následující tabulka uvádí náklady na výstavbu protihlukových clon řešených pomocí manuální i automatické optimalizace.

NÁKLADY NA VÝSTAVBU PROTIHLUKOVÉ STĚNY [Kč]	
MANUÁLNĚ OPTIMALIZOVANÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA	13 806 000,00
AUTOMATICKY OPTIMALIZOVANÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA	14 059 500,00

Tabulka 26: Denní/noční útlumy hluku a náklady na výstavbu automaticky optimalizované protihlukové stěny [13]

Z tabulky je patrné, že náklady na výstavbu manuálně optimalizované protihlukové stěny jsou nižší než náklady na výstavbu automaticky optimalizované protihlukové stěny. Vyšší náklady automaticky optimalizované protihlukové stěny plynou především z popsanych nepřesností. Pro optimální účinnost protihlukové stěny ve všech imisních bodech program u automatické optimalizace navyšoval a prodlužoval stěnu tak, aby byly ve všech imisních bodech splněny hygienické limity. Jelikož docházelo k šíření hluku na části mostní konstrukce dálnice D1 pod vymodelovanou stěnou, byl program nucen přidávat další segmenty stěny a navyšovat segmenty stávající.

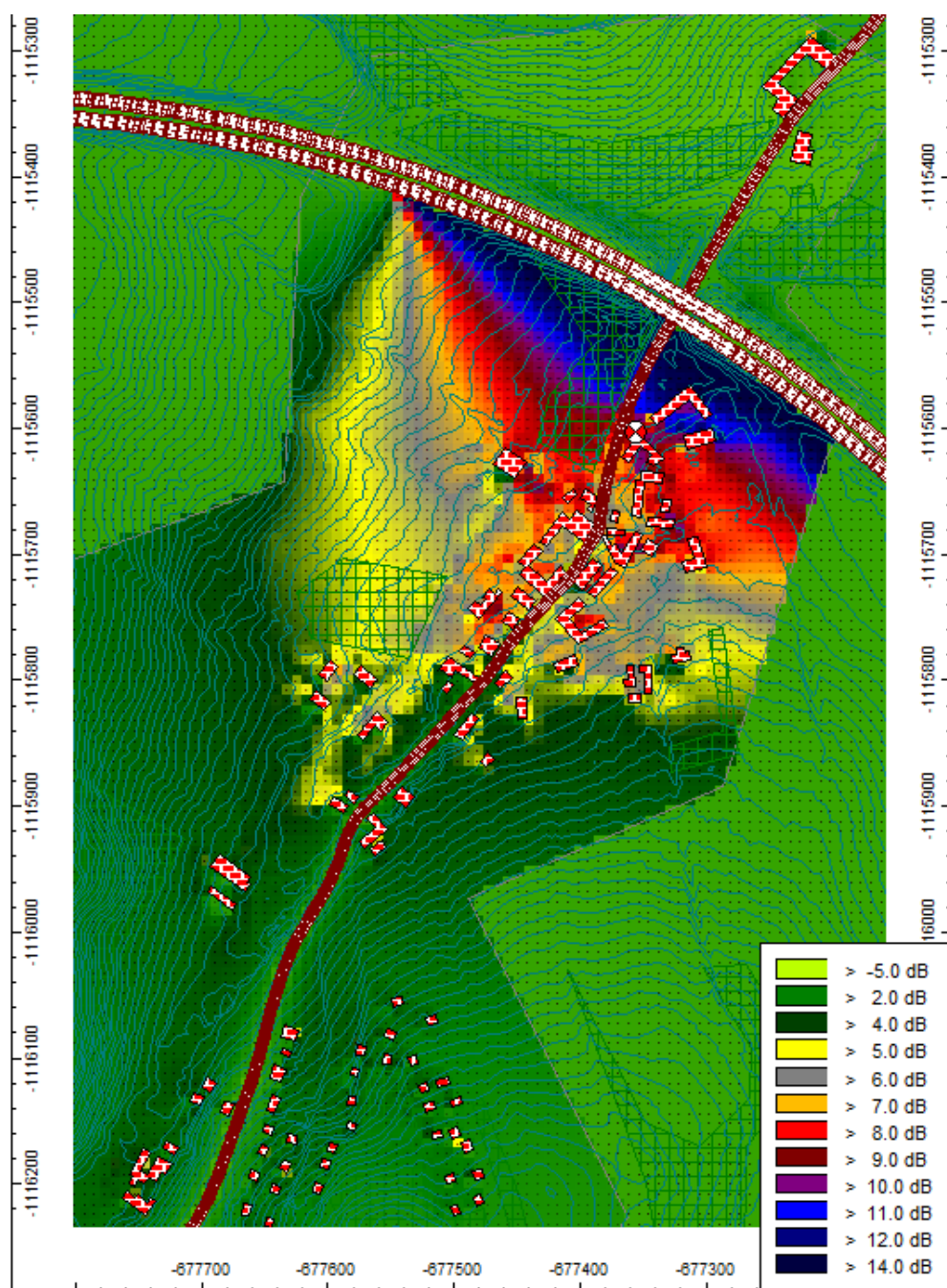
6.4.4. Závěry modelování výhledové akustické situace

Po provedení manuálního i automatického modelování v programu CADNA A bylo zjištěno, že nejvhodnějším návrhem by byla výstavba protihlukové stěny délky 663 m a výšky 5 m. Tato protihluková stěna disponuje nejnižšími náklady na výstavbu a zároveň by obyvatele obce ochránila před nadměrným hlukem. Dále bylo zjištěno, že automatická optimalizace nevykazuje příliš přesné výsledky v případě, když je komunikace vedena nad terénem. Důvodem tohoto tvrzení bylo modelování protihlukové stěny délky 663 m a výšky 5 m pomocí automatické optimalizace, kde jednotlivým částem modelovaného náspu byla zadána výška 5 m a dále byla upravena délka na 663 m. Po provedení výpočtu jednotlivé imisní body vykazovaly vyšší ekvivalentní hladiny akustického tlaku, než tomu bylo u optimalizace manuální. Důvodem byl neúplný kontakt modelované protihlukové stěny s komunikací, vedené v části mostní konstrukce. Z tohoto důvodu byla jako stěžejní varianta manuálně modelovaná protihluková clona.

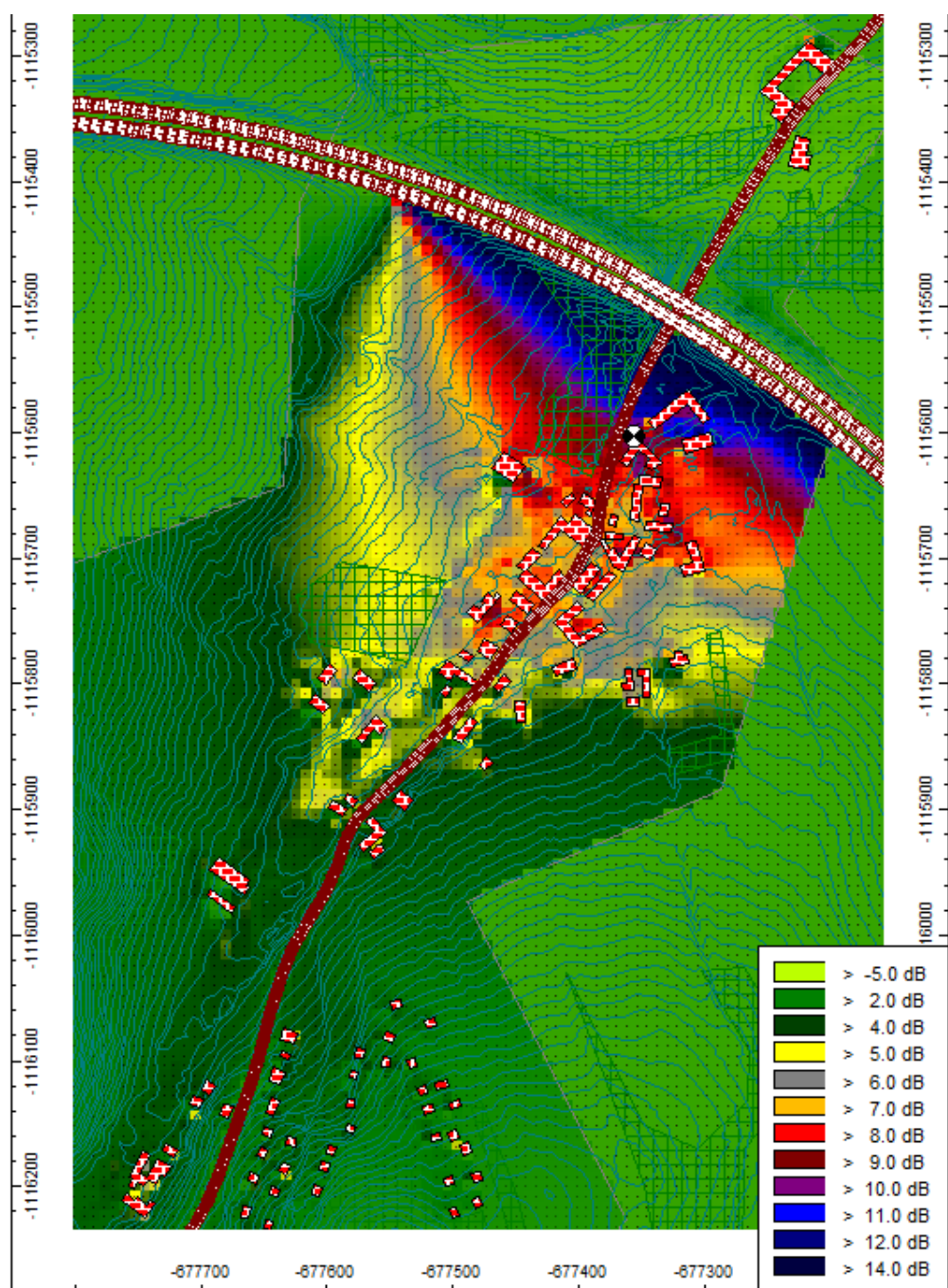
6.5. Tvorba rozdílových hlukových map

Po modelování současné a výhledové akustické situace byly v programu CADNA A vytvořeny tzv. rozdílové hlukové mapy. Tyto mapy znázorňují plošně výslednou akustickou situaci po použití výhledového opatření. Vytvořením rozdílové hlukové mapy vznikne hlukový rastr, znázorňující útlum/nárůst hluku po použití konkrétního opatření.

Do programu CADNA A byl načten současný rastr a manuálně optimalizovaný výhledový rastr. Tyto rastry od sebe byly odečteny a v nastavení aritmetiky rastru byl zadán spodní limit -15 dB a horní limit 15 dB s krokem 1. Dále bylo nutné změnit intervaly barevné škály pro optimální zobrazení. Po provedení vznikl rozdílový rastr, který ukazoval útlumy/nárůsty hluku v jednotlivých místech výpočtové oblasti, kde útlumy byly zobrazeny kladnými čísly a nárůsty hluku čísly zápornými. Mimo výpočtovou oblast program vykreslil světle zelenou plochu, ve které byl výsledný útlum/ nárůst hluku nulový. V oblasti této světle zelené plochy nebyly vypočteny současné a výhledové hlukové rastry a tudíž program přiřadil těmto plochám po výpočtu rozdílové mapy nulovou hodnotu. Následující obrázky znázorňují denní a noční rozdílové hlukové mapy. Tyto rozdílové mapy jsou uvedeny v optimálním měřítku v příloze na konci této práce.



Obrázek 35: Rozdílová hluková mapa denní [13, 19]



Obrázek 36: Rozdílová hluková mapa noční [13, 19]

7. Závěr

Cílem této diplomové práce byla optimalizace protihlukového opatření v obci Slavníč u dálnice D1 v závislosti na útlumu hluku a nákladech na výstavbu tohoto opatření. K optimalizaci opatření byl využit program CADNA A, ve kterém probíhalo modelování spolu s výpočty.

První část diplomové práce se týká teoretického seznámení s legislativou hluku v České republice. Jsou zde popsány důležité paragrafy zákona č. 258/2000 Sb. o ochraně veřejného zdraví a dále paragrafy nařízení vlády č. 272/2011 Sb. o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Diplomová práce dále uvádí základní definice a metody, které jsou s hlukem těsně vázány. V této části je kladen velký důraz na Českou výpočtovou metodiku, podle které se počítá hluk ze silniční dopravy. Popis metodiky je pro diplomovou práci velice důležitý, protože právě Česká výpočtová metodika je implementována do programu CADNA A, a následný výpočet hluku probíhá podle předpisů této metodiky. Teoretická část dále seznamuje s řešeným problémem v obci Slavníč. V této části jsou popsány a shrnuty závěry a doporučení z bakalářské práce, která se stala základem pro práci diplomovou. Další kapitoly jsou věnované dělení, konstrukci a prohlídkám protihlukových clon. Přesné provedení konstrukce protihlukových clon je důležitým aspektem k zajištění žádané účinnosti této stěny. Neméně důležitým faktorem ke správné funkci protihlukových stěn jsou jejich prohlídky. Konec teoretické části se zabývá požadavky na návrh optimálních protihlukových clon. Splnění těchto požadavků přispívá k potřebné účinnosti protihlukového opatření. Nedodržení předepsaných požadavků vede ke snížení bezpečnosti a hlukového útlumu těchto opatření.

Druhá část diplomové práce se zabývá praktickým modelováním akustické situace v obci Slavníč a hledáním vhodného řešení optimální protihlukové stěny, která by utlumila nadměrný hluk v obci a zároveň byla co nejvíce ekonomicky přijatelná. Na začátku druhé části je popsáno prostředí programu CADNA A. V programu CADNA A je pro účely této diplomové práce modelována současná, naměřená akustická situace a následně také výhledová situace. Modelování současné situace s sebou nese mnoho podúloh. Prvním krokem je vložení geografických podkladů, kterými jsou: Ortofoto mapy ČR, Digitální modely reliéfu ČR 5. generace a polohopisné informace. Ke správnému fungování modelu a výpočtu současné akustické situace v obci Slavníč je v této práci nutné nakalibrování vytvořeného modelu. Po nastavení

nejrůznějších parametrů a vložení imisního bodu do místa, ve kterém probíhalo reálné měření, je v práci dosaženo správného zkalibrování modelu. Po kalibraci modelu dochází k výpočtu vloženého imisního bodu a k výpočtu hodnocení fasád. Výpočet hodnocení fasád je názorným důkazem toho, že v obci Slavníč jsou překračovány hygienické limity hluku a bylo by tedy vhodné vystavení protihlukového opatření. Tyto závěry jsou v diplomové práci potvrzeny i vymodelováním současného hlukového rastru. Tento rastr ukazuje kompletní akustickou situaci v celé obci. Po vymodelování současného stavu a zjištění jeho akustické situace dochází k modelování situace výhledové, díky které má být zjištěno optimální protihlukové opatření, které by zabránilo současné nepříznivé situaci v obci. Při modelování výhledové situace probíhá manuální a automatická optimalizace protihlukové stěny v obci. Podkladem pro modelování se stává model situace současné, na kterém jsou v této práci dotvářeny další prvky, potřebné pro výhledový stav. Při manuálním modelování výhledové situace je v programu manuálně vytvořena protihluková clona základní délky a výšky. Do modelované situace jsou současně s imisním bodem, vytvořeným v modelované současné situaci, dále umístěny další 3 imisní body tak, aby bylo po vymodelování optimální protihlukové stěny dosaženo hygienických hlukových limitů v celé obci. Protihluková stěna základních rozměrů je po nesplnění hygienických limitů ve všech čtyřech modelovaných imisních bodech postupně prodlužována a navyšována. Po mnoha zkušebních výpočtech je v práci vyhledána optimální varianta protihlukové stěny, která tlumí nadměrný hluk celé obce na zákonem stanovené limity a dále je ekonomicky nejméně nákladná ze všech zkoušených variant, které také splňují požadavek snížení nadměrného hluku na zákonem stanovený limit. Optimální variantou se stává protihluková stěna délky 663 metrů a výšky 5 metrů. Za optimální materiál protihlukové stěny je v práci zvolen dvojí materiál dle lokalizace této stěny. V místě mostní konstrukce dálnice D1 je zvolena z hlediska nákladů svislá nosná konstrukce ze skla, v místě, kde dálnice D1 neprochází po mostní konstrukci, je zvolena svislá nosná konstrukce z montovaných dílců betonových plošných. Manuální optimalizace protihlukové clony je v této práci počítána pro konstantní výšky stěny. K navyšování tak dochází stejnou konstantní hodnotou po celé délce. Důvodem nerealizace různých výšek protihlukové stěny v jednotlivých částech je nemožnost zadání těchto různých výšek do programu (stěna je zadávána relativní cestou). Problematiku různého výškového řešení v různých částech stěny řeší optimalizace automatická. Metoda automatické

optimalizace protihlukové stěny spočívá ve vytvoření násypu v místech případného vzniku stěny. Tento násep je následně rozkouskován po třiceti metrech proto, aby byla možná automatická optimalizace výšek pomocí programu CADNA A. Po zadání potřebných parametrů je programem vypočítána optimální protihluková stěna délky 690 metrů a výšky v rozmezí od 3 do 6 metrů. Použití materiálu je shodné jako u optimalizace manuální. U obou optimálních variant, řešených manuální a automatickou optimalizací jsou v práci vypočítány útlumy hluku a náklady na výstavbu těchto variant. Tyto parametry jsou následně porovnány. V práci je zjištěno, že u automatické optimalizace vychází nižší útlumy protihlukové stěny v místě prvního imisního bodu než u optimalizace manuální. Náklady na výstavbu v porovnání s manuální optimalizací však vychází vyšší. Tato skutečnost nastává z důvodu nepřesnosti, která vzniká při automatické optimalizaci. Při zadávání násypu na mostní konstrukci dálnice D1, vytvořený násep nekopíruje dálnici a výsledná stěna neleží v těsném kontaktu s komunikací, ale nepatrně nad ní. Nepřesnost je v práci řešena vytvořením umělé mostní konstrukce. Tato konstrukce nepřesnost snižuje, avšak nedochází k úplnému vyeliminování. K vymodelování správného kontaktu protihlukového opatření k dálnici D1 je v diplomové práci zkoušeno několik variant. Jednou z variant je modelování uměle vytvořených vrstevnic v místě mostní konstrukce. K lepšímu kontaktu stěny však nedochází a navíc zde vzniká chyba důsledkem přerušení komunikace III. třídy, která vede právě pod mostní konstrukcí. Další variantou je tvorba umělého násypu pod mostní konstrukcí. Ani zde nedochází ke zlepšení situace. Po vyzkoušení absolutního zadání výšek násypu nad terénem je vyvozen závěr, že optimálním řešením s minimální chybou bude vytvoření umělé mostní konstrukce. Díky nepřesnosti program pomocí automatické optimalizace prodlužuje a navyšuje modelovanou protihlukovou stěnu, aby bylo dosaženo hygienických limitů ve všech imisních bodech. Tímto vznikají další náklady na výstavbu protihlukové stěny. I když optimalizace je řešena s určitou mírou nepřesnosti, po následném porovnání výsledků manuální a automatické optimalizace je možné konstatovat, že vypočítané ekvivalentní hladiny se do jisté míry shodují a optimalizace jsou považovány za úspěšné. Jediným bodem, kde se optimalizace více liší, je první imisní bod, kde se projevuje zmíněná vzniklá nepřesnost v největší míře. Optimálním řešením výhledového stavu se stává řešení modelované pomocí manuální optimalizace. Výstavba protihlukové stěny délky 663 metrů a výšky 5 metrů

by zajistila potřebný současný útlum hluku a zároveň by byla nákladově nejekonomičtější.

Pro přehlednou prezentaci výsledků jsou na konci této diplomové práce vytvořeny pomocí programu CADNA A tzv. rozdílové hlukové mapy, které znázorňují útlumy hluku v obci Slavnič po případné aplikaci optimálního protihlukového opatření.

Po praktickém vyzkoušení manuální a automatické optimalizace lze konstatovat, že automatická optimalizace je sice výpočtově a časově méně náročná než optimalizace manuální, avšak její použitelnost pro případy, kdy komunikace vede po mostní konstrukci, není příliš kvalitní. Automatická optimalizace vykazuje dobré výsledky spíše v místech, kde komunikace nevede nad terénem. Naopak v manuální optimalizaci je možná větší míra zasažení do programu a je zde možné zadání absolutních výšek v místech, kde komunikace vede vysoko nad terénem.

Obec Slavnič je již řadu let vystavena účinkům nadměrného hluku. Ten působí nepříznivě na obyvatele, žijící především v blízkosti dálnice D1, která obcí prochází. Lidé si zde dle místního dotazování stěžují na nesnesitelný hluk především v nočních hodinách. V obci je neodkladné, řešit tuto akustickou situaci. Tyto aspekty mě dovedly k napsání bakalářské a navazující diplomové práce spojené s tématem hluku a jeho řešením.

8. Použité zdroje

- [1] Česká republika. Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů. In: Sbírka zákonů. 14.7.2000
- [2] Česká republika. Zákon č. 267/2015 Sb., kterým se mění zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a další související zákony. In: Sbírka zákonů. 01.12.2015
- [3] Česká republika. Nařízení vlády 272/2011 o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. In: Sbírka zákonů. 24.8.2011
- [4] Akustika, základní pojmy a veličiny v akustice. Ústav fyziky a materiálového inženýrství. [online]. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://ufmi.ft.utb.cz/texty/env_fyzika/EF_02.pdf
- [5] LÁDYŠ, L., LIBERKO, M. VÝPOČET HLUKU Z AUTOMOBILOVÉ DOPRAVY – MANUÁL 2011 [online]. 2011. [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.ekolagroup.cz/cs/sluzby/manual_2011/
- [6] Hluk v komunálním prostředí. KRAJSKÁ HYGIENICKÁ STANICE KRÁLOVÉHRADECKÉHO KRAJE. [online]. 25.03.2014 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/kapitola_18__hladina_expozice_zvuku.html
- [7] Akustický tlak a decibely. Ecophon. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: <http://www.ecophon.com/cz/akusticka-reseni/banka-akustickych-znalosti/Zaklady-o-akustice/Akustika-zvuk-rec-a-sluch/Akusticky-tlak-a-decibely>
- [8] ČSN ISO 10847. Akustika – Určení vložného útlumu in situ venkovních protihlukových clon všech typů. Praha: Český normalizační institut, 1999.
- [9] Slavníč. Wikipedie. [online]. 11.8.2015 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Slavn%C3%AD%C4%8D>
- [10] Mapy.cz. Seznam.cz. [online]. 18.4.2016 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.4464096&y=49.5147628&z=15>
- [11] Mapy.cz. Seznam.cz. [online]. 18.4.2016 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=15.4495531&y=49.5162047&z=16>
- [12] Norsonic [online]. [cit. 2014-04-26]. Nor140 Sound Analyser. Dostupné z: http://www.norsonic.no/en/products/sound_level_meters/sound_analyser_nor140/Sound+Analyser+Nor140.9UFRjQYk.ips

- [13] autor práce
- [14] Mapy Google. Google. [online]. 18.4.2016 [cit. 2016-04-18]. Dostupné z: https://www.google.cz/maps/@49.5169399,15.453554,3a,75y,32.09h,85.5t/data=!3m6!1e1!3m4!1sYL2mMpyxqvhP_povi3GWvg!2e0!7i13312!8i6656
- [15] TP 104. Protihlukové clony pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor pozemních komunikací, 2008. Technické podmínky (Ministerstvo dopravy)
- [16] CentralCompany. [online]. [cit. 2016-03-17]. Dostupné z: http://centralcompany.cz/index.php?main_page=popup_image&pID=348
- [17] TP 124. Základní ochranná opatření pro omezení vlivu bludných proudů na mostní objekty a ostatní betonové konstrukce pozemních komunikací. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, 2008. Technické podmínky (Ministerstvo dopravy)
- [18] TKP 25. Protihlukové clony. Praha: Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, 2009. Technické kvalitativní podmínky staveb pozemních komunikací (Ministerstvo dopravy)
- [19] Mapový podklad © Český úřad zeměměřický a katastrální, www.cuzk.cz

9. Seznam obrázků

OBRÁZEK 1: SCHÉMA ŠÍŘENÍ ZVUKU OD ZDROJE [4].....	- 14 -
OBRÁZEK 2: EKVIVALENTNÍ HLADINA AKUSTICKÉHO TLAKU LAEQ,T [6]...	- 15 -
OBRÁZEK 3: HLADINA EXPOZICE ZVUKU VZTAŽENÁ K ČASU T (LAE) [6]...	- 16 -
OBRÁZEK 4: MAPA ŠIRŠÍCH VZTAHŮ [9].....	- 20 -
OBRÁZEK 5: MAPA ŠIRŠÍCH ÚZEMNÍCH VZTAHŮ [10].....	- 20 -
OBRÁZEK 6: MAPKA ZNÁZORŇUJÍCÍ VZDÁLENOST PRVNÍHO OBYTNÉHO DOMU [11]	- 21 -
OBRÁZEK 7: POLOHA MĚŘÍČÍHO BODU [11]	- 22 -
OBRÁZEK 8: HLUKOMĚR ZNAČKY NORSONIC 140 [12].....	- 22 -
OBRÁZEK 9: POHLED NA DÁLNICI D1 VEDENOU PO MOSTNÍ KONSTRUKCI U OBCE SLAVNÍČ [14].....	- 26 -
OBRÁZEK 10: ZNAČKA PRO ÚNIKOVÝ VÝCHOD [16].....	- 30 -
OBRÁZEK 11: SCHÉMA PROTIHLUKOVÉ STĚNY [15]	- 31 -
OBRÁZEK 12: EFEKTIVNÍ VÝŠKA PROTIHLUKOVÉ CLONY H [13]	- 33 -
OBRÁZEK 13: ORTOFOTO MAPA OBCE SLAVNÍČ A JEJÍHO OKOLÍ [19]	- 38 -
OBRÁZEK 14: DIGITÁLNÍ MODEL RELIÉFU OBCE SLAVNÍČ A JEJÍHO OKOLÍ [19]	- 39 -
OBRÁZEK 15: PODKLADY POTŘEBNÉ PRO MODELOVÁNÍ AKUSTICKÉ SITUACE V PROGRAMU CADNA A (POLOHOPIS, VÝŠKOPIS, ORTOFOTO MAPA) [19]	- 40 -
OBRÁZEK 16: POLOHA IMISNÍHO BODU VZHLEDEM K DÁLNICI D1 [13, 19]	- 43 -
OBRÁZEK 17: HLUKOVÉ ZATÍŽENÍ VYBRANÉHO OBYTNÉHO DOMU – DEN [13, 19]	- 45 -
OBRÁZEK 18: HLUKOVÉ ZATÍŽENÍ VYBRANÉHO OBYTNÉHO DOMU – NOC [13, 19]	- 45 -
OBRÁZEK 19: 3D ZOBRAZENÍ HLUKOVÉHO ZATÍŽENÍ VYBRANÝCH OBJEKTŮ - NOC [13]	- 46 -
OBRÁZEK 20: 3D ZOBRAZENÍ HLUKOVÉHO ZATÍŽENÍ VYBRANÝCH OBJEKTŮ - POHLED Z DÁLNICE D1 [13]	- 46 -
OBRÁZEK 21: HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ PRO DENNÍ DOBU [13,19].....	- 48 -

OBRÁZEK 22:	HLUKOVÝ RASTR BLÍZKÉHO OKOLÍ DÁLNIČE D1 – DENNÍ DOBA [13,19].....	- 49 -
OBRÁZEK 23:	HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ PRO NOČNÍ DOBU [13,19].....	- 50 -
OBRÁZEK 24:	HLUKOVÝ RASTR BLÍZKÉHO OKOLÍ DÁLNIČE D1 - NOČNÍ DOBA [13,19].....	- 51 -
OBRÁZEK 25:	3D HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ - DENNÍ DOBA [13].....	- 52 -
OBRÁZEK 26:	3D HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ - POHLED Z DÁLNIČE D1 - NOČNÍ DOBA [13]	- 52 -
OBRÁZEK 27:	ROZMÍSTĚNÍ A OZNAČENÍ IMISNÍCH BODŮ V OBCI SLAVNÍČ [13]	- 54 -
OBRÁZEK 28:	VÝHLEDOVÝ HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ S JIŽ VYMODELOVANOU OPTIMÁLNÍ PROTIHLUK. CLONOU PRO DENNÍ DOBU [13,19].....	- 62 -
OBRÁZEK 29:	VÝHLEDOVÝ HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ S JIŽ VYMODELOVANOU OPTIMÁLNÍ PROTIHLUK. CLONOU PRO NOČNÍ DOBU [13,19]	- 63 -
OBRÁZEK 30:	VÝHLEDOVÝ 3D HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ S JIŽ VYMODELOVANOU OPTIMÁLNÍ PROTIHLUKOVOU STĚNOU - DENNÍ DOBA [13].....	- 64 -
OBRÁZEK 31:	VÝHLEDOVÝ 3D HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ S JIŽ VYMODELOVANOU OPTIMÁLNÍ PROTIHLUKOVOU STĚNOU - NOČNÍ DOBA [13]	- 64 -
OBRÁZEK 32:	VÝŠKOVĚ OPTIMALIZOVANÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA - POHLED 1 [13]	- 67 -
OBRÁZEK 33:	VÝŠKOVĚ OPTIMALIZOVANÁ PROTIHLUKOVÁ STĚNA - POHLED 2 [13]	- 67 -
OBRÁZEK 34:	VÝHLEDOVÝ HLUKOVÝ RASTR OBCE SLAVNÍČ A OKOLÍ S AUTOMATICKY VYMODELOVANOU OPTIMÁLNÍ PROTIHLUK. CLONOU PRO NOČNÍ DOBU [13,19].....	- 69 -
OBRÁZEK 35:	ROZDÍLOVÁ HLUKOVÁ MAPA DENNÍ [13, 19].....	- 73 -
OBRÁZEK 36:	ROZDÍLOVÁ HLUKOVÁ MAPA NOČNÍ [13, 19]	- 74 -

10. Seznam tabulek

TABULKA 1:	<i>KOREKCE PRO VÝPOČET HYGIENICKÉHO LIMITU EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU [3].....</i>	<i>12 -</i>
TABULKA 2:	<i>NAMĚŘENÉ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU PRO ODPOLEDNÍ A NOČNÍ MĚŘENÍ[13].....</i>	<i>23 -</i>
TABULKA 3:	<i>ODPOLEDNÍ INTENZITA DOPRAVNÍHO PROUDU NA DÁLNICI D1 A KOMUNIKACI Č. 3483 [13].....</i>	<i>23 -</i>
TABULKA 4:	<i>NOČNÍ INTENZITA DOPRAVNÍHO PROUDU NA DÁLNICI D1 A KOMUNIKACI Č. 3483 [13]</i>	<i>23 -</i>
TABULKA 5:	<i>ODPOLEDNÍ SKLADBA DOPRAVNÍHO PROUDU NA DÁLNICI D1 A KOMUNIKACI Č. 3483 [13].....</i>	<i>24 -</i>
TABULKA 6:	<i>NOČNÍ SKLADBA DOPRAVNÍHO PROUDU NA DÁLNICI D1 A KOMUNIKACI Č. 3483 [13].....</i>	<i>24 -</i>
TABULKA 7:	<i>PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VOZIDEL NA DÁLNICI D1 A KOM. Č. 3483 - ODPOLEDNÍ MĚŘENÍ [13]</i>	<i>25 -</i>
TABULKA 8:	<i>PRŮMĚRNÁ RYCHLOST VOZIDEL NA DÁLNICI D1 A KOM. Č. 3483 - NOČNÍ MĚŘENÍ [13].....</i>	<i>25 -</i>
TABULKA 9:	<i>KATEGORIE VZDUCHOVÉ NEPRŮZVUČNOSTI [15]</i>	<i>32 -</i>
TABULKA 10:	<i>KATEGORIE ZVUKOVÉ POHLTIVOSTI PROTIHLUKOVÉ CLONY [15]</i>	<i>32 -</i>
TABULKA 11:	<i>AKUSTICKÉ POŽADAVKY NA DRUHY PROTIHLUKOVÝCH CLON [15]</i>	<i>33 -</i>
TABULKA 12:	<i>ŽIVOTNOSTI KONSTRUKČNÍCH ČÁSTÍ PROTIHLUKOVÝCH CLON [15, 18]</i>	<i>35 -</i>
TABULKA 13:	<i>ODPOLEDNÍ A NOČNÍ HODINOVÁ INTENZITA VOZIDEL [13] ..</i>	<i>41 -</i>
TABULKA 14:	<i>ODPOLEDNÍ A NOČNÍ PODÍL NÁKLADNÍCH VOZIDEL Z HODINOVÝCH INTENZIT [13].....</i>	<i>41 -</i>
TABULKA 15:	<i>PRŮMĚRNÉ RYCHLOSTI VOZIDEL - ODPOLEDNÍ A NOČNÍ MĚŘENÍ [13].....</i>	<i>42 -</i>
TABULKA 16:	<i>PROGRAMEM VYPOČÍTANÉ HODNOTY AKUSTICKÉ SITUACE V IMISNÍM BODĚ [13].....</i>	<i>44 -</i>
TABULKA 17:	<i>VLASTNÍ NAMĚŘENÉ HODNOTY AKUSTICKÉ SITUACE V IMISNÍM BODĚ [13]</i>	<i>44 -</i>

TABULKA 18: ČÍSELNĚ VYJÁDŘENÝ ROZDÍL MEZI VYPOČÍTANÝMI A NAMĚŘENÝMI HODNOTAMI V IMISNÍM BODĚ [13].....	44 -
TABULKA 19: DENNÍ/NOČNÍ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU V IMISNÍM BODĚ PŘI RŮZNÉ DÉLCE A VÝŠCE PROTIHLUKOVÉ CLONY [13].....	55 -
TABULKA 20: DENNÍ/NOČNÍ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU V IMISNÍCH BODECH PŘI RŮZNÉ DÉLCE A VÝŠCE PROTIHLUKOVÉ CLONY [13].....	57 -
TABULKA 21: DENNÍ/NOČNÍ ÚTLUMY HLUKU A NÁKLADY NA VÝSTAVBU OPTIMÁLNÍCH VARIANT PROTIHLUKOVÝCH STĚN [13]	60 -
TABULKA 22: VYPOČÍTANÉ VÝŠKY A DÉLKY PROTIHLUKOVÉ STĚNY POMOCÍ AUTOMATICKÉ OPTIMALIZACE [13]	66 -
TABULKA 23: DENNÍ/NOČNÍ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU V IMISNÍCH BODECH VYPOČÍTANÉ POMOCÍ AUTOMATICKÉ OPTIMALIZACE [13].....	67 -
TABULKA 24: DENNÍ/NOČNÍ ÚTLUMY HLUKU A NÁKLADY NA VÝSTAVBU AUTOMATICKY OPTIMALIZOVANÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY [13].....	68 -
TABULKA 25: DENNÍ/NOČNÍ EKVIVALENTNÍ HLADINY AKUSTICKÉHO TLAKU V IMISNÍCH BODECH VYPOČÍTANÉ MANUÁLNÍ A AUTOMATICKOU OPTIMALIZACÍ [13]	70 -
TABULKA 26: DENNÍ/NOČNÍ ÚTLUMY HLUKU A NÁKLADY NA VÝSTAVBU AUTOMATICKY OPTIMALIZOVANÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY [13].....	71 -

11. Seznam příloh

- PŘÍLOHA 1:** HLUKOVÝ RASTR VYMODELOVANÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY
DÉLKY 663 M A VÝŠKY 5 M (MANUÁLNÍ OPTIMALIZACE)
– DENNÍ DOBA
- PŘÍLOHA 2:** HLUKOVÝ RASTR VYMODELOVANÉ PROTIHLUKOVÉ STĚNY
DÉLKY 663 M A VÝŠKY 5 M (MANUÁLNÍ OPTIMALIZACE)
– NOČNÍ DOBA
- PŘÍLOHA 3:** HLUKOVÝ RASTR SOUČASNÉ AKUSTICKÉ SITUACE PRO
DENNÍ DOBU
- PŘÍLOHA 4:** HLUKOVÝ RASTR SOUČASNÉ AKUSTICKÉ SITUACE PRO
NOČNÍ DOBU
- PŘÍLOHA 5:** ROZDÍLOVÁ HLUKOVÁ MAPA – DENNÍ DOBA
- PŘÍLOHA 6:** ROZDÍLOVÁ HLUKOVÁ MAPA – NOČNÍ DOBA

12. Seznam použitých programů

Microsoft Office Word 2007

Microsoft Office Excel 2007

Cadna A

AutoCAD 2012