

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

Katedra biotechnických úprav krajiny

**„Šíření zvuku v krajině a jeho analýzy
jako podklad pro krajinné plánování“**

Diplomová práce



Vedoucí práce: Ing. Kristina Janečková, Ph.D.

Vypracoval: Bc. Petr Matoušek

© 2017 ČZU v Praze

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci „Šíření zvuku v krajině a jeho analýzy jako podklad pro krajinné plánování“ vypracoval samostatně pod vedením vedoucí diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v bibliografii. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 10. 4. 2017

Poděkování

Rád bych touto formou poděkoval především vedoucí práce paní Ing. Kristině Janečkové, Ph.D., za cenné rady a připomínky a pozitivní motivaci v průběhu zpracování.

Poděkování patří také kolegům ze společnosti EKOLA group, s.r.o., zejména vedoucímu oddělení Akustiky a GIS panu Ing. Aleši Matouškovi, Ph.D., za odborné rady a pomoc při nasměrování praktické části vzhledem z praxe.

V neposlední řadě bych chtěl poděkovat také své rodině a partnerce za podporu a své drahé sestře Mgr. Jiřině Matouškové, Ph.D., za rady při jazykových korekturách.

Abstrakt

Zvyšující se hluk z dopravy se dostává do konfliktu s životním prostředím a potřebou vzniku nových rezidenčních ploch. Aktuálnost tématu potvrzují současné legislativní změny a vliv evropské právní úpravy. Tato práce zkoumá snížení hluku v deseti případech protihlukových opatření prostřednictvím případové studie. V prostředí softwaru CadnaA byl vytvořen výpočtový model popisující akustickou situaci konkrétního území. Do predikčního modelu byla zadána potřebná data - výškopis, poloha a výška budov, pohltivosti apod. K dosažení co nejpřesnější modelové situace byly užity konkrétní intenzity dopravy ze zkoumané oblasti. Imisní příspěvky z liniového zdroje (dálnice D10) byly kalibrovány v místech měření M1 a M2 dle naměřených ekvivalentních hladin akustického tlaku $L_{Aeq, 16h}$ a $L_{Aeq, 8h}$. Ve vybrané lokalitě byla navržena konkrétní nápravná opatření řešící stávající nevyhovující situaci. Potenciální protihluková opatření jsou dále hodnocena ve vztahu k potřebám krajinného plánování. Účinnost opatření je konfrontována s výsledky jiných studií. Důraz je kladen na možnost uplatnění především zemních valů a pásů zeleně jako vhodných krajinnotvorných prvků. K tomu je zapotřebí systémové plánování krajiny v dlouhodobém časovém horizontu. Jako účinný nástroj je možné využít implementaci akustického posuzování do procesu územního plánování a lepší ochranu významných krajinných struktur - např. vyhlášení tichých oblastí.

Klíčová slova

Šíření zvuku v krajině, akustické modelování, protihluková opatření, krajinné plánování.

Abstract

The increasing traffic noise comes into conflict with the environment and causes problems when new residential areas are constructed. Importance of the topic confirm the legislative changes and impact of European legislation. This thesis shows noise reduction for ten types of noise barriers in case study research. In CadnaA software was created computational model to describe acoustics conditions of specific area. Into this noise prediction model were inserted appropriate inputs - contour line, position and height of buildings, absorption coefficients etc. To achieve the ideal model situation were used traffic intensity from this area. Sound pressure level generated from line source (D10 highway) were calibrated by measurement equivalent sound pressure levels - $L_{Aeq, 16h}$ a $L_{Aeq, 8h}$ on the spot marked M1 and M2. In this area has been designed additional noise abatement measures to improve current situation, which is not ideal. Potential noise barriers are assessed in relation to the needs of landscape planning. There is comparison of result efficiency with other authors. Emphasis is placed on the possibility of application of earth berms and vegetation as valuable landscape elements. For this purpose it is necessary to apply systemic landscape planning in long term strategy. Effective can be implementation of acoustics assessment as a part of spatial planning and stronger protection of landscape structures - for example through adoption of quiet areas.

Key words

Sound propagation in landscape, acoustic modeling, noise barriers, landscape planning.

Obsah

1	Úvod	8
2	Cíle práce.....	9
3	Teoretická část	10
3.1	Definice zvuku a hluku	10
3.2	Vnímání různých druhů zvuku	11
3.2.1	Subjektivní vnímání hluku	11
3.2.2	„Soundscape“ a mentální mapy.....	12
3.3	Vliv hluku na životní prostředí	14
3.3.1	Vliv hluku na psychiku a zdraví člověka	14
3.3.2	Vliv hluku na ekosystémy	16
3.4	Legislativní ochrana.....	16
3.4.1	Hygienické limity hluku ve venkovním chráněném prostoru staveb a venkovním chráněném prostoru	16
3.4.2	Legislativní ochrana před hlukem ve volné krajině	18
3.5	Hlukové mapy.....	19
3.5.1	Hlukové mapy jako podklad procesu územního plánování.....	20
3.5.2	Strategické hlukové mapy	21
3.5.3	Účel metodika zpracování SHM	21
3.6	Možnosti protihlukové ochrany	22
3.6.1	Akustická zeleň	23
3.6.2	Zemní valy.....	26
3.6.3	Protihlukové stěny a tunely	29
3.6.4	Další možnosti protihlukové ochrany.....	30
4	Metodika.....	31
4.1	Akustické měření a modelování	31
4.2	Metodika pro výpočet hluku ze silniční dopravy.....	32
4.3	Přesnost výsledku výpočtu.....	33
4.4	Software CadnaA.....	34

5	Studie území	35
5.1	Charakteristika zájmového území.....	35
5.2	Měření.....	39
5.3	Nastavení modelu a kalibrace	43
5.3.1	Ostatní nastavované parametry modelu.....	43
5.3.2	Umístění výpočtových bodů.....	44
6	Výsledky.....	46
6.1	Zhodnocení stávající situace v lokalitě Na Panském.....	52
6.1.1	Vyhodnocení akustické situace.....	52
6.1.2	Navržení doplňujícího opatření respektujícího stávající situaci.....	53
7	Diskuze	56
7.1	Komentář ke stávající situaci v lokalitě Na Panském.....	56
7.2	Zhodnocení výsledků navrhovaných hypotetických opatření	57
7.3	Účinnost a využití zeleně.....	57
7.4	Účinnost a využití zemních valů.....	60
7.5	Účinnost a využití PHS.....	64
7.6	Postup řešení hluku v rámci krajinného plánování.....	65
7.6.1	Krajinné a pozemkové úpravy.....	65
7.6.2	Územní plánování.....	66
7.6.3	Další doporučení z hlediska dlouhodobé strategie	67
8	Závěr.....	69
9	Literatura a použité zdroje.....	70
10	Přílohy	75
11	Seznamy	81
11.1	Seznam obrázků	81
11.2	Seznam tabulek	82
11.3	Seznam příloh.....	82
11.4	Seznam zkratk	83

1 Úvod

Negativní důsledky působení hluku dokazuje řada studií a velkým problémem je jeho nárůst vlivem zvyšujících se intenzit dopravy na našich komunikacích. Tzv. akustický smog je v současnosti jedním ze základních parametrů při hodnocení vlivů na životní prostředí.

Zkoumání a modelování šíření zvuku je součástí mnoha oborů, pro každý obor je specifický způsob vzniku zvuku a prostor jeho šíření. Tato práce se bude zabývat tou částí zvuku, kterou nazýváme hluk, a prostorem šíření bude životní prostředí, konkrétně volná krajina. V té se práce zaměří především na obytné plochy a chráněné stavby, které podléhají hygienickým limitům dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., ve znění pozdějších předpisů, ale i na tzv. tiché oblasti (směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2002/49/ES), tedy místa, která naše národní legislativa přímo nereguluje.

Problematiku hlukové zátěže lze řešit v různých fázích, tedy již od prvních etap urbanistického a technického řešení, které nabízejí více účelných a efektivních možností. Dosažené výsledky jsou v porovnání s dodatečnými opatřeními relativně málo nákladné (Adamec 2008). V českém právním prostředí zatím neexistuje účinný a jednotný způsob, jak řešit hlukovou problematiku v dlouhodobém časovém horizontu. Jistou snahou je strategické hlukové mapování, jehož realizaci ukládá členským státům EU směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2002/49/ES. I tento proces však řeší hlukovou problematiku více v rovině následků než příčin. Nedostatkem motivace komplexního myšlení je především nepřímá návratnost vynaložených prostředků. Ta je rozprostřena v čase i napříč různými subjekty ve společnosti. K zohledňování hluku na úrovni krajinného plánování nepřispívá ani relativně vysoká finanční nákladnost pořizování hlukových studií a hlukových map.

Účelem této práce je zanalyzovat zmíněnou problematiku více do hloubky a přiblížit konkrétní případy šíření hluku v případě různých protihlukových opatření. Výsledky a grafické výstupy z konkrétní lokality pomohou přiblížit chování šíření hluku v různých případech a přispějí k orientační představě o jejich účinnosti; minimálně také k erudované volbě mezi nimi na úrovni krajinného plánování.

2 Cíle práce

V první části práce bude přiblíženo téma šíření zvuku v širším pojetí a nastíněna problematika současného nárůstu intenzity dopravy ve vztahu k lidskému zdraví, volně krajině a obecnému nahlížení na tyto problémy naší společnosti. Teoretická část tedy nabídne základní poznatky z oboru akustiky, její aplikaci na posudkovou činnost v rámci české legislativy, a dále se zaměří na možnosti řešení nadlimitních hodnot hluku z dopravy pomocí protihlukových opatření.

Součástí praktické části bude provedení případové studie z konkrétní oblasti a posouzení akustické situace. Při návrhu protihlukových opatření bude kladen důraz na snižování nadlimitního hluku z dopravy pomocí přírodně blízkých opatření. Možnosti vhodných řešení tohoto rázu pak budou diskutovány v závěru práce. V případové studii bude hodnocen stav bez opatření a následně deset dalších hypotetických variant s různými druhy protihlukových opatření. Konkrétně se bude jednat o zemní valy, akustickou zeleň a protihlukové stěny. Výsledky budou následně porovnány a v případě potřeby budou navržena dodatečná opatření ke stávajícímu stavu.

Nejprve je nutné představit problematiku spojenou se zvukem a především s jeho negativní složkou – hlukem, formulovat důsledky, proč je nutné se jím zabývat. Poznatky představené v teoretické části budou aplikovány při studii konkrétního vhodně zvoleného území. Přínos práce pak lze spatřovat ve dvou hlavních rovinách.

První rovinou je popsání této konkrétní situace z hlediska problémů vznikajících při střetech různých subjektů, které do procesu vstupují a hájí své zájmy – investor staveb, vlastníci okolních pozemků, orgán ochrany veřejného zdraví, správce komunikací apod. V této rovině budou představeny situace, které mohou těmito střety nastat, a dále budou hledány vhodné varianty jejich řešení.

Druhou rovinou této práce je chápat tyto definované problémy z hlediska dlouhodobého časového horizontu. Tedy navrhnout možnosti jejich řešení, ideálně ještě před jejich vznikem. Součástí cílů práce je implementace vyzkoumaných principů již do návrhů krajinného plánování, ať už formou predikce střetů dopravně-inženýrských staveb a životního prostředí, nebo jako samotná náprava vznikajících problémů pomocí nástrojů pozemkových úprav či dalších jiných soukromých opatření.

3 Teoretická část

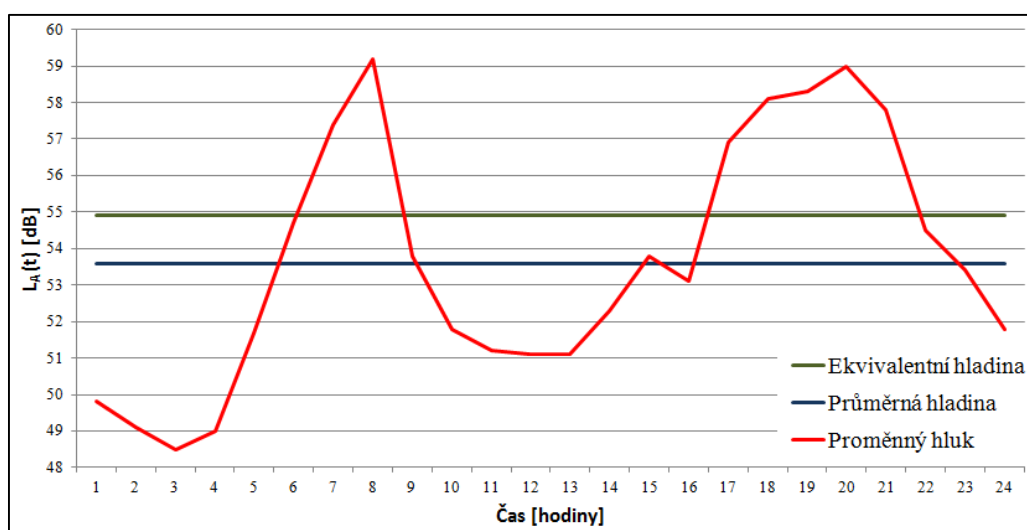
3.1 Definice zvuku a hluku

Pro správné definování zvuku a vymezení hluku nahlédneme na toto rozdělení z více hledisek. Fyzikální definice, kterou přijímá například fyziologická akustika, ale i akustika hudební, rozděluje zvuky na jednoduché a komplexní tóny mající určitou výšku a na hluky a šумы, jejichž výška není jednoznačně definovatelná (Syrový 2013).

Budeme-li vymezovat, co hluk je a není z pohledu člověka, dostaneme velice nejasné vyjádření způsobené subjektivitou každého jedince. To, co se bude někomu jevit jako hlučné a nepříjemné, může jiný člověk pokládat za charakteristické pro dané místo a chovat k tomu jisté sympatie. Nejčastější definici hluku z hlediska jeho vlivu na člověka a jeho zdraví uvádí například Liberko (2004) či Adamec (2008): „*Hlukem se obecně rozumí akustický signál, jehož působení člověka poškozuje, ruší, obtěžuje.*“ Zjednodušeně lze říci, že hluk je nežádoucí zvuk.

Aby bylo možné s hlukem dále pracovat, bylo zapotřebí stanovit konkrétní limity. Podle definice uvedené v zákoně č. 258/2000 Sb., se hlukem rozumí takový zvuk, který může být škodlivý pro zdraví a jehož imisní hygienický limit stanoví prováděcí právní předpis. Zákon pak stanovuje konkrétní limity pro různé druhy zvuků obsahující například řeč jakožto hluk s výrazně informačním charakterem, hudbu, vysoce impulsivní hluk apod. Konkrétní hodnoty se vyhodnocují podle tzv. ekvivalentní hladiny akustického tlaku, což je ustálený akustický signál, který má stejnou energii jako proměnný hluk (Hellmuth 2013). Podstatou je, že mají oba signály stejný vliv na člověka. Nejedná se o průměrnou hodnotu. Na Obr. 1 je znázorněn rozdíl mezi průměrnou hladinou a ekvivalentní hladinou - tedy rozdíl mezi aritmetickým a energetickým průměrem daného proměnného akustického signálu.

Obr. 1: Porovnání průměrné a ekvivalentní hladiny akustického tlaku (zdroj: vlastní)¹



3.2 Vnímání různých druhů zvuku

Zajímavé sociologické výzkumy byly prováděny již v Československu v rámci hodnocení poválečné sídlištní výstavby, kdy byly zjišťovány názory obyvatel na akustickou pohodu v celkem třinácti oblastech. Přes 2,5 tisíce respondentů odpovídalo například na otázku: „Který hluk Vás v bytě v noci nejvíce a nejčastěji ruší.“ Mezi nejčastěji uváděnými zdroji hluku byla doprava, restaurační zařízení, letecká doprava a hluk ze sousedních bytů. Při otevřených oknech v noci shledávalo hladinu hluku jako nevyhovující 71,5 % respondentů, jako občas nevyhovující 21,5 % a 7,0 % jako vyhovující (Liberko 1989). Rozdílně samozřejmě odpovídali lidé v různých oblastech.

3.2.1 Subjektivní vnímání hluku

Různé vnímání druhu zvuku, popisuje například Hellmuth (1998), který poukazuje na to, že naměřené hodnoty různých deskriptorů popisujících fyzikální podstatu působícího akustického signálu jsou sice základem pro hodnocení, ale nevystihují podle něj zcela objektivně zvláštní charakter rušení, který je způsoben individuální reakcí každého lidského organismu. Tato individuální reakce je ovlivněna sférou fyzickou, psychickou i společenskou. Na straně druhé jsou zde problémy i v případech, pokud bychom chtěli rozlišovat zvuky na kladné a záporné, jak učinili ve své studii² například

¹ Jako vstupní data pro výpočet ekvivalentní a průměrné hladiny akustického tlaku zobrazené na Obr. 1 bylo využito měření ze dne 30. 10. 2014 v lokalitě Na Panském v Brandýse nad Labem-Staré Boleslavi (Akustika Praha 2014). O akustické situaci lokality je podrobně pojednáno v praktické části této práce. Křivka proměnného hluku, respektive křivka ekvivalentních hladin akustického tlaku pro jednotlivé hodiny, zobrazuje vývoj hlukové zátěže v průběhu dne. Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{dvn} byla stanovena z těchto hodinových ekvivalentních hladin pomocí vztahu (2) uvedeného v kapitole 4.2.

² Tato studie bude představena v následující kapitole.

Hong et Jeon (2016). Tento přístup, pokud by nepřihlížel k fyzikálním charakteristikám hluku, nezohledňuje skutečnost, že i kladně přijímané zvuky mohou lidskému organismu škodit. Hellmuth (1998) dále uvádí, že jen přibližně 25 % variability hluku v oblasti rušení lze vysvětlit změnami hlukové situace. To znamená, že zbylá část reakcí na hluk je dána osobními reakcemi a zkušenostmi jedince. Nutno podotknout, že tato stanovená veličina však v případě Hellmutha (1998) není dáována do souvislosti s intenzitou hluku.

Dokonce byl prokázán rozdíl ve vnímání naprosto identického zvuku o stejné hlasitosti u jednoho a téhož člověka. Zajímavou studii provedl Watts (1999), který prokázal, že člověk vnímá tutéž hladinu akustického tlaku v průměru až o 7 dB vyšší v případě, je-li zdroj hluku vizuálně překryt clonou. Ve svém výzkumu dále rozlišoval druhy této clony, přičemž dospěl k závěru, že na zkreslení citlivosti na hlučnost má vliv pouze míra vizuálního zakrytí zdroje hluku.

3.2.2 „Soundscape“ a mentální mapy

Pojem *soundscape* je spjatý se jménem kanadského vědce R. Murrayho Schafera, který užil tento termín v 60. letech minulého století v rámci *World Soundscape Project*. Tento projekt si mimo jiné kladl za cíl mapovat a archivovat jedinečná zvuková prostředí, zvuky ceněné lidmi a hodné ochrany (Řiháček 2009). Jedná se o slovní hříčku mající základ ve slovech zvuk (sound) a krajina (landscape). V jeho pojetí se jedná o souhrn všech zvuků, které jsou charakteristické pro dané místo a které jsou zároveň vnímané s jejich významy, vzbuzují emoce a asociace (Traux 2013). Do českého jazyka překládá tento pojem Řiháček (2009) slovem „sonosféra“³ a odkazuje na již dříve užitý termín v polském jazyce. Od zmíněných 60. let přejímalo tento termín více oborů jako např. akustika, psychologie, sociologie, architektura či územní plánování (Traux 2013) a definice jeho významu se začaly různit podle potřeby konkrétních věd (ISO 2014). Teprve v roce 2014 definovala Mezinárodní organizace pro normalizaci sonosféru pomocí dalších pojmů.⁴ Nejprve stanovuje, že zdrojem zvuku může být nejen přírodní prostředí, ale i lidská činnost. Dále vysvětluje pojem akustické prostředí, což je zvuk zaznamenaný ze všech zdrojů tak, jako ho modifikuje konkrétní prostředí - krajina. A konečně sonosféra je akustické prostředí, jak je vnímáno, pociťováno a chápáno osobou v daném kontextu (ISO, 2014). To znamená, že tentýž zvuk může být pociťován kladně či negativně podle místa, kde ho osoba slyší. Od původního Schaferova pojetí se

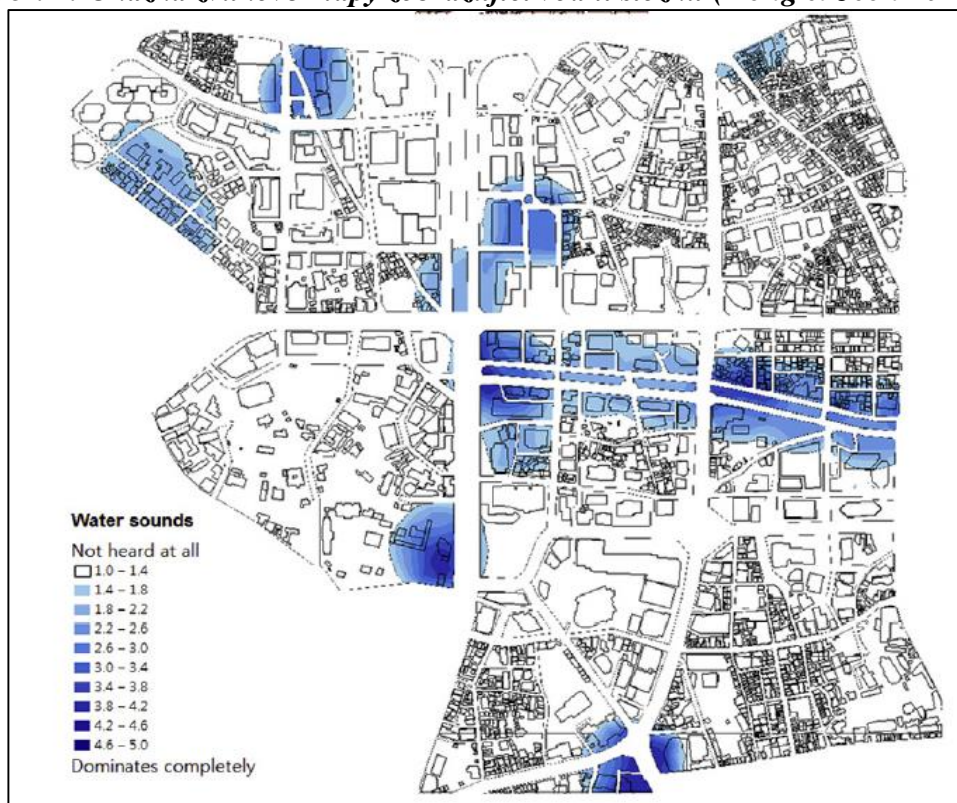
³ Z latinského sono – zvuk.

⁴ 1. 2. 2015 byla zmíněná norma přeložena do českého jazyka pod označením ČSN 129113-1 (011692), Akustika – Soundscape – Část 1: Definice a koncepční rámec.

tedy tato definice v podstatě neliší. Řiháček (2009) srovnává vnímání sonosféry s tradičním uvažováním o hlukovém prostředí, které hledá podmínky, limity, za nichž se zvuk stává nežádoucím, tedy hlukem. Z Schaferovy teorie se postupně začala rozvíjet akustická ekologie a nový směr, který nepracuje pouze s ekvivalentní hladinou akustického tlaku, ale studuje zvukovou složku prostředí komplexněji, neboť jak Schafer (1993) tvrdí, jedině tak lze k dílčím složkám zvukového prostředí zaujmout i pozitivní postoj.

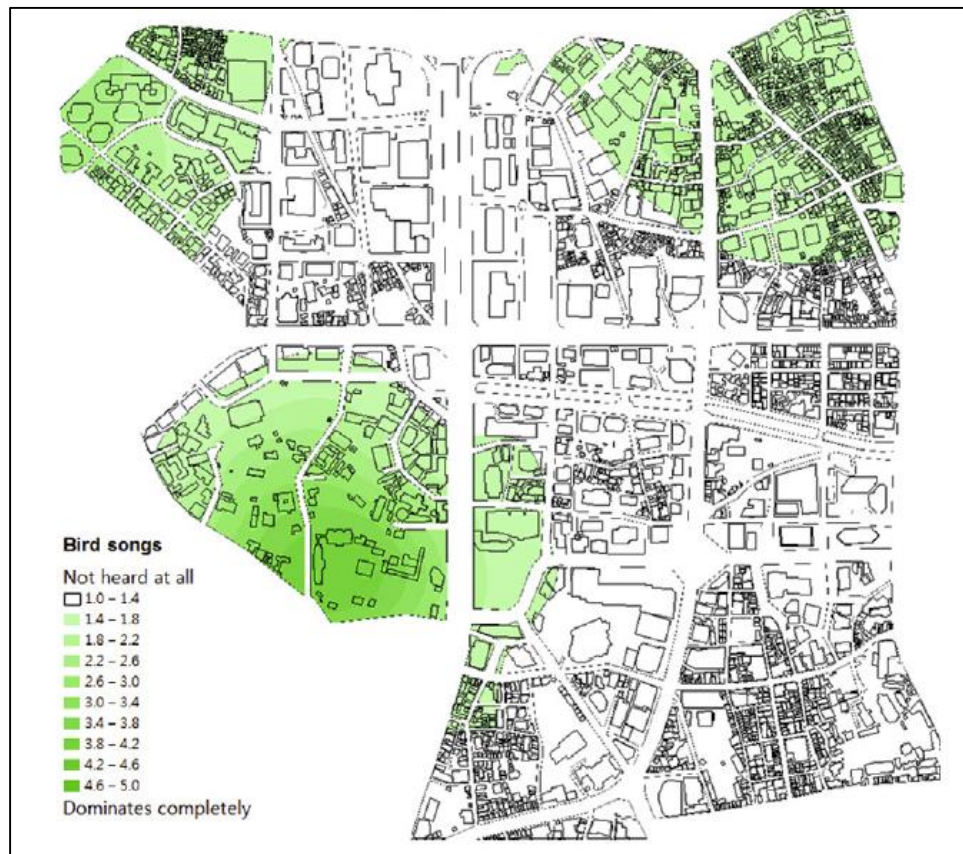
Zatímco klasické hlukové mapy zobrazují souhrnné ekvivalentní hladiny akustického tlaku, zvukové mapy popisující sonosféru rozdělují ekvivalentní hladiny na dílčí části. Zobrazením a statistickou analýzou vztahů mezi jednotlivými složkami „soundscape“ se zabývali Hong et Jeon (2016), kteří v případové studii z jihokorejského Soulu rozdělují hlukovou mapu do čtyř částí. V jejich případě se jedná o zvuk⁵ z dopravy, zvuk vytvořený běžnou lidskou činností, zvuk ptactva a zvuk vody. Komplexnější přístup k vytvoření hlukové mapy může podle nich poskytovat více informací a při dalších analýzách vizualizovat vnímání akustického prostředí.

Obr. 2: Ukázka zvukové mapy zobrazující vodní složku (Hong et Jeon 2016)



⁵ Záměrně byl užit obecnější pojem.

Obr. 3: Ukázka zvukové mapy zobrazující složku ptačího zpěvu (Hong et Jeon 2016)



V rámci jejich přístupu rozlišují zobrazování zvukového prostředí klasickým způsobem, tedy prostřednictvím hlukových map, a dále zobrazování pomocí tzv. psychoakustických map, ve kterých je zahrnuta i vjemová složka. Ta rozlišuje zvuky na pozitivní a negativní.

3.3 Vliv hluku na životní prostředí

Sklenička (2003) označuje nadměrný hluk za akustické narušení faktorů pohody v krajině. I když tento pojem vychází z již neplatné legislativy, zařazuje zmíněný faktor mezi ostatní atributy v rámci hodnocení krajinného rázu.

3.3.1 Vliv hluku na psychiku a zdraví člověka

Negativní vliv hluku na lidský organismus uvádí mnoho autorů (Muzet 2007, Kang 2007, Adamec 2008). Stejná úroveň akustických emisí může působit různě na jednotlivé typy lidí podle individuální senzitivity a dalších okolností (Adamec 2008). Obtěžování hlukem, které zapříčiňuje zhoršení kvality života, uvádí 25 % evropské populace (Liberko 2004). Výzkumy prokázaly, že po určité době působení vyvolává hluk poruchy vyšší nervové soustavy (Adamec 2008), může vést k poškození sluchu a snižovat odolnost organismu vůči vnějším negativním vlivům například kvůli špatnému spánku

(Muzet 2007). Liberko (2004) rozděluje účinky hluku na specifické, projevující se zhoršením funkce sluchového ústrojí, a na účinky nespecifické, které se projevují zhoršením některých dalších funkcí organismu. Hellmuth (1998) dále rozděluje nespecifické účinky do dvou oblastí. Pojmem rušení (disturbance) označuje případy, kdy hluk interferuje s nějakou činností. Například se spánkem, řečovou komunikací či duševní prací. Dále uvádí rozmrzelost (annoyance), která může být podmíněna situací, kdy je jedinec vystaven nucenému vnímání hluku, ke kterému má negativní postoj. V obou případech se podle Liberka (2004) jedná o účinky doprovázené stresovou reakcí, která je vyvolána hlukem v celém rozsahu jeho hodnot a která může vyústit v řadu poruch a onemocnění. Nespecifické účinky tak mohou vlivem stresové reakce ovlivňovat neurohumorální a neurovegetativní regulaci, biochemické reakce, dále učení, smyslově motorické funkce, koordinaci a již zmíněný spánek, který je patrně nejčastěji zmiňovaným problémem při zkoumání vlivu hluku na lidské zdraví.

Souhrnně se vlivem hluku na zdraví lidské populace zabývá SZO (Světová zdravotnická organizace), jejíž oddělení pro oblast Evropy (Regional Office for Europe) zřídilo skupinu odborníků za účelem poskytování poradenství členským státům EU. Tato skupina přezkoumala dosavadní výzkumy v oblasti vlivu hluku na lidské zdraví a následně odvodila konkrétní hodnoty hladin hluku. Na základě spolupráce s dalšími vládními a nevládními organizacemi pak SZO vydala směrnice a pokyny, které si kladou za cíl zlepšit současný stav; v roce 1999 například publikaci *Guidelines for community noise*, o deset let později dokument *Night noise guidelines for Europe* (Hurtley 2009). Druhý ze zmíněných dokumentů se zabývá rušením spánku a uvádí, že 92 % vzniklých poruch a onemocnění vlivem hluku vzniká právě špatnou kvalitou spánku (Forssén 2015). Špatný spánek z důvodu rušení hlukem přitom v členských státech EU uvádí 5–15 % populace (Liberko 2004).

Výsledky práce SZO jsou uplatňovány ve znění směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2002/49/ES, která si klade za cíl snižovat ekvivalentní hladinu hluku pro noční dobu L_{noc} na 40 dB ve venkovním chráněném prostoru staveb (Hurtley 2009), což je limitní hodnota, při které nedochází ke zvýšení četnosti potíží a příslušných chorob (Adamec 2008). Pro státy, které přistupují k uplatňování této dohody postupnými kroky v delším časovém horizontu, je limitní hodnota L_{noc} prozatímne stanovena na 55 dB (Hurtley 2009).

SZO také vyjádřila dopad hluku na lidské zdraví pomocí jednotky DALY (Disability-adjusted life years). Jeden DALY vyjadřuje jeden ztracený rok zdravého

života. Organizace uvedla, že každý rok ztratí populace Evropské unie vlivem hluku v součtu 1,6 milionu let života (Forssén 2015), což je v přepočtu na hlavu jeden až dva dny každý rok a větší dopad na lidské zdraví má tím pádem už jen znečištění ovzduší. Jiným měřítkem používaným k vyjádření dopadu hluku na společnost je vyjádření škod v penězích. Pro zajímavost zde uvedeme, že se dle současných ekonomických odhadů pohybuje roční škoda v Evropské unii v rozmezí 13–38 miliard Eur. Tyto škody obsahují komplexnější vyjádření dopadů a zahrnují snížení cen nemovitostí, snížení možnosti využívání půdy, náklady na léčení a náklady způsobené pracovní neschopností (Adamec 2008).

3.3.2 Vliv hluku na ekosystémy

Studie zabývající se negativním působením hluku na živočichy a prokázaly jeho dopad na zdravotní stav a chování jedinců. Kight et Swaddle (2011) ve své práci shrnují poznatky z této oblasti a potvrzují negativní účinky v mnoha aspektech – vliv na nervový systém, reprodukci a vývoj jedinců, rušení spánku, poškození sluchu apod. Většina výzkumu je však založena na laboratorních pokusech. Dlouhodobé působení hluku na populace konkrétních stanovišť zatím není dostatečně popsáno.

Přesto například Kotzen et English (2009) popisují vliv hluku na ptactvo v přírodě. Uvádějí, že u některých druhů ptáků může hlučné prostředí vést k jejich hlasitějšímu zpěvu z důvodu akustického maskování. Při mapování prostorového rozložení hnízdišť bylo dokázáno, že se četnost hnízd snižuje s nárůstem hlukového zatížení.

Existují případy, například na Novém Zélandu, kdy jsou protihlukovými stěnami některé ekosystémy chráněny (NZ Transport Agency 2010). Ochrana přírodních struktur protihlukovými opatřeními je však velice ojedinělá.

3.4 Legislativní ochrana

Tato kapitola je rozdělena do dvou částí. V první části je popsána platná právní úprava vztahující se na lidská sídla, v druhé části je pojednáno o problematice ochrany ve volné krajině.

3.4.1 Hygienické limity hluku ve venkovním chráněném prostoru staveb a venkovním chráněném prostoru

V následující kapitole je zestručněn obsah platné legislativy, abychom přiblížili způsob posuzování akustické situace ve venkovním chráněném prostoru staveb a venkovním chráněném prostoru.

Od 1. listopadu 2011 se zjištěný stav akustické situace ve venkovním i vnitřním chráněném prostoru staveb a venkovním chráněném prostoru posuzuje podle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací. Toto nařízení bylo aktualizováno 15. června 2016 nařízením vlády č. 217/2016 Sb., Použití zmíněných předpisů je předepsáno v zákoně č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících zákonů ve znění pozdějších předpisů.

Výše uvedená nařízení stanovují hygienické limity hluku v chráněném venkovním prostoru staveb a chráněném venkovním prostoru, přičemž chráněným venkovním prostorem staveb se dle definice uvedené v zákoně č. 258/2000 Sb., v platném znění rozumí: „*prostor do vzdálenosti 2 metrů před částí jejich obvodového pláště, významný z hlediska pronikání hluku zvenčí do chráněného vnitřního prostoru bytových domů, rodinných domů, staveb pro předškolní a školní výchovu a vzdělávání, staveb pro zdravotní a sociální účely, jakož i funkčně obdobných staveb*“. Dále chráněný venkovní prostor zákon definuje jako „*nezastavěné pozemky, které jsou užívány k rekreaci, lázeňské léčebně rehabilitační péči a výuce, s výjimkou lesních a zemědělských pozemků a venkovních pracovišť.*“

Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., v platném znění popisuje metodiku stanovení ekvivalentní hladiny akustického tlaku $A L_{Aeq,T}$ pro denní a noční dobu. Pro denní dobu se $L_{Aeq,8h}$ stanovuje pro 8 souvislých a na sebe navazujících nejhlučnějších hodin, pro noční dobu se $L_{Aeq,1h}$ stanovuje podle jedné nejhlučnější hodiny. Konečný hygienický limit ekvivalentní hladiny akustického tlaku vznikne součtem hodnoty $L_{Aeq,T} = 50$ dB s příslušnou korekcí, která se odvíjí od druhu chráněného prostoru, charakteru hlukových emisí podle způsobu jejich vzniku, a dále se sečte s korekcí dle příslušné denní doby. V případě noční doby se přičítá korekce -10 dB. Korekce pro jednotlivé druhy chráněných prostorů jsou uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Korekce pro stanovení hygienických limitů hluku

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

První sloupec platí pro stacionární zdroje a hluk ze železničních stanic zajišťující vlakové práce. Druhý sloupec se použije v případě, jedná-li se o hluk z dopravy na drahách a silnicích III. třídy, místních komunikacích III. třídy a účelových komunikacích. Korekce třetího sloupce jsou určeny pro posuzování hluku z dálnic, silnic I. a II. třídy

a místních komunikací I. a II. třídy. Čtvrtý sloupec je určen pro stanovení hygienického limitu v případě hodnocení staré hlukové zátěže.

Pro účely této práce stojí za zmínku existence § 77 zákona č. 258/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů, do kterého byly vydáním zákona č. 267/2015 Sb., Dne 16. září 2015 přidány čtyři doplňující odstavce. V odstavci č. 2 je uvedena informace týkající se principu povolování staveb, které by mohly být ovlivněny hlukem z doposud neexistujících zdrojů. Existuje-li v území platná územně plánovací dokumentace předpokládající budoucí existenci zdrojů hluku, orgán ochrany veřejného zdraví nevydává k povolovaným stavbám kladné stanovisko, aniž by k povolované stavbě byla přijata opatření proti hluku. Podle odstavce č. 4 může orgán ochrany veřejného zdraví vydat povolení v případě, že žadatel předloží návrh opatření před hlukem na základě hlukové studie. Jinými slovy tato právní úprava zajišťuje, aby nedocházelo k výstavbě chráněných staveb, jejichž vlastníci budou požadovat realizaci protihlukových opatření po vlastních zdrojů hluku v případě, kdy zde již existovaly, nebo se jednalo v době výstavby chráněných staveb o záměry. V těchto situacích hradí náklady spojené s výstavbou protihlukových opatření žadatel o povolení výstavby chráněné stavby. Jedinou výjimkou je případ, kdy dojde k prokazatelnému navýšení hluku.

3.4.2 Legislativní ochrana před hlukem ve volné krajině

Přímá povinnost provádět protihluková opatření v místech, ve kterých předmětem ochrany není venkovní chráněný prostor staveb, nýbrž například existence významných přírodních a krajinných struktur, v našem legislativním prostředí stanovena není. Ochrana přírodních hodnot je v jisté podobě zakotvena ve směrnici Evropského parlamentu a Rady č. 2002/49/ES ze dne 25. června 2002, jejímž hlavním účelem je zavedení povinnosti tzv. strategického hlukového mapování. To znamená, že jednotlivé státy mají povinnost vypracovávat v pětileté periodě strategické hlukové mapy a na ně navazující akční hlukové plány.⁶ Tyto dokumenty slouží k plošnému posouzení území a zhodnocení akustické situace. Výsledky mají spíše doporučující charakter a v případě překročení mezních hodnot mají zodpovědné orgány možnost zvážit uplatnění protihlukových opatření tak, aby se situace zlepšila, nebo byl alespoň zachován současný stav.

I zde je však ochrana před hlukem ve volné krajině vztažena přes ochranu člověka, neboť účelem této směrnice je regulovat hluk ve venkovním prostředí, kterému jsou vystaveni lidé. Ve směrnici je dále uvedeno, že jsou tímto prostředím zastavěné oblasti,

⁶ Podrobněji bude proces strategického hlukového mapování popsán v kapitole 3.5.2.

veřejné parky, tiché oblasti aglomerací, tiché oblasti ve volné krajině, v blízkosti škol, nemocnic a jiných citlivých budov nebo oblastí. Byla-li by snaha chránit ekosystémy, důležitým legislativním pojmem je v tomto ohledu stanovení tichých oblastí ve volné krajině. Směrnice definuje tichou oblast jako místo, které není rušeno hlukem z dopravy, průmyslu nebo rekreačních aktivit. I tak se však jedná o směrnici, která poskytuje základní podklad pro navazující legislativu jednotlivých států a nemá restriktivní charakter. Kvantifikace a porovnávání akustické situace je založeno na mezních hodnotách akustických ukazatelů, jejichž dodržování nepodléhá státnímu dozoru a tedy ani sankcím (Ládyš, 2016). Kompetence vyhlášovat tiché oblasti přešla v naší národní právní úpravě na Ministerstvo životního prostředí, neboť je v § 81b zákona č. 258/2000 Sb., uvedeno: „*Ministerstvo životního prostředí v oblasti hodnocení a snižování hluku z hlediska dlouhodobého průměrného hlukového zatížení životního prostředí upraví vyhláškou tiché oblasti ve volné krajině.*“ Ministerstvo životního prostředí však doposud žádnou vyhlášku v tomto ohledu nevydalo.⁷

Šimlerová, Anděl (2008) uvádějí důvody obtížného hodnocení vlivu hluku na ekosystémy a živočichy. Jedním z nich je existence velkého počtu druhů s různou citlivostí na různé parametry hluku, například na frekvenci, hlasitosti či četnost opakování. Jako další důvody uvádějí nedostatečné znalosti pro výběr nejvíce ohrožených druhů a široké spektrum ostatních ekologických podmínek, které mohou ovlivnit účinky hluku na živočichy. Jak uvádí Dudová (2015), příčinou absence patřičné legislativy může být i zbytečnost vyhlásování tichých oblastí současně se zvláště chráněnými územími, které jsou vyhlášovány podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny.

Stálo by za úvahu prozkoumat možnosti integrace kritérií na hluk již do stanovování zonace zvláště chráněných území, čímž by se míra hluku zařadila mezi další charakteristiky přírodního prostředí například při tvorbě multikriteriální analýzy území. Podle mého názoru by tak vznikala ochrana území podpořená dalšími faktory životního prostředí, což by vedlo jednak k ucelenějšímu vymezení jednotlivých oblastí a lepší provázanosti ekosystémů, jednat také k jednodušší správě vymezených území.

3.5 Hlukové mapy

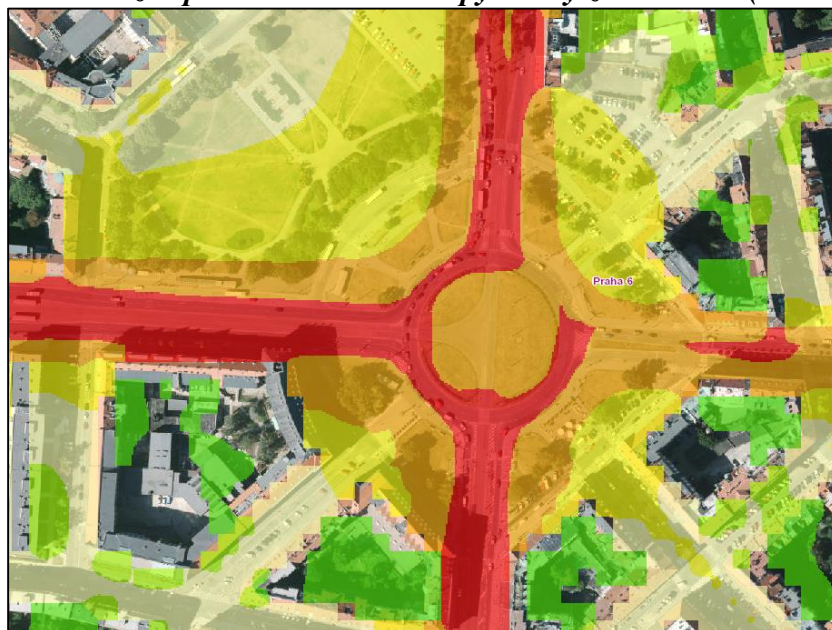
Tvorba hlukových map má v České republice tradici přibližně od roku 1975. Zprvu byly hlukové mapy zpracovávány na základě měření v několika bodech mapované

⁷ V rámci zpracování akčních plánů byly tiché oblasti v aglomeracích stanoveny, vyhlášeny však doposud nebyly.

lokality. Tento postup však nemohl pružně reagovat na urbanistické či dopravní změny v území (Liberko 2004). Pro účely územního plánování, kdy je zapotřebí zjišťovat výhledové situace ovlivněné dopadem záměru staveb, je vhodný systémový přístup založený na výpočtových procesech (Ládyš 2005). Hlukové mapy založené ryze na metodice výpočtů spojených s technologiemi GIS přinášejí řádově nižší náklady na zhotovení, nevýhodou je pak nepřesnost výpočtu, která je nepřímo úměrná kvalitě vstupních údajů (Liberko 2004).

Pro potřeby územního plánování je vhodná tzv. pásmová plošná hluková mapa. Výstup je zobrazen zpravidla v pětidecibelové škále barev. Pro zjednodušení, zejména z důvodu menšího měřítka, lze volit jiné škálování – např. v „semaforovém zobrazení“, kdy je území rozděleno na místa zatížená podlimitním hlukem – pod 50 dB, místa s hlukem v rozmezí 50–60 dB a místa s nadlimitním hlukem – nad 60 dB (Ládyš 2005). Princip pásmového zobrazení v hlukové mapě je znázorněn na Obr. 4.

Obr. 4: Ukázka pásmové hlukové mapy Prahy z roku 2011 (URL: 1)



3.5.1 Hlukové mapy jako podklad procesu územního plánování

Kromě poskytování dat pro výběr lokalit řešených v rámci akčních plánů v procesu strategického hlukového mapování (SHM) lze hlukové mapy obecně využít jako podklad pro plánování a projektování v oborech životního prostředí a dopravy. Novák (2007) uvádí, že hlukové mapy jsou důležitým podkladem pro územní plán a regulační plán včetně jeho veřejného projednání. Hlukové mapy jsou součástí územně analytických podkladů pro územní plány i pro návrhy zásad územního rozvoje. Novák

(2007) dále zmiňuje také využití hlukových map při návrzích či změnách vedení koridorů pro dopravní trasy. Hlukové mapy mají využití při posuzování vlivů na životní prostředí.⁸

3.5.2 Strategické hlukové mapy

Strategické hlukové mapy mají kromě grafického výstupu i textové a tabulkové přílohy, ve kterých jsou souhrnně prezentovány počty zasažených osob, obydlí, nemocnic, škol apod. na místech, kde dochází k překročení mezních hodnot hlukového ukazatele L_{dvn} a L_n (Ládyš 2016). Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.4.2, na základě směrnice Evropského parlamentu a Rady č. 2002/49/ES je Česká republika povinna pořizovat SHM a na ně navazující akční plány (AP). SHM se vypracovávají v pravidelných pětiletých intervalech pro hluk v okolí hlavních pozemních komunikací, hlavních železničních tratí, hlavních letišť a aglomerací (MZ 2010). Směrnice udává konkrétní kritéria, podle kterých jsou vybírány řešené lokality. V České republice aktuálně probíhá třetí kolo SHM, které je časově vymezené roky 2013–2017. V tomto kole budou zpracovávány úseky pozemních komunikací s intenzitou vyšší než 3 000 000 vozidel za rok, úseky železničních tratí s intenzitou vyšší než 30 000 vlaků za rok, aglomerace s více než 100 000 obyvateli a letiště s více jak 50 000 vzlety a přistáními za rok. Tato kritéria jsou stejně jako u předchozího druhého kola přísnější oproti prvnímu kolu SHM z roku 2007, kdy byl výběr lokalit podmíněn překročením počtu 6 000 000 vozidel, 60 000 vlaků a 250 000 obyvatel v případě aglomerací. Kritéria pro hlavní letiště se nemění.

3.5.3 Účel metodika zpracování SHM

Účel vypracovávání strategických hlukových map má obecný charakter. Jedná se o proces vycházející z politiky Evropské unie, jedním z cílů je tedy určení míry expozice hluku ve venkovním prostředí s využitím metod hodnocení společných pro všechny členské státy EU (Potužníková et al. 2014). Výsledky jsou v pevně daných termínech prezentovány Evropské komisi, která zajišťuje porovnání hlukové zátěže v rámci členských i sousedních států. Získané údaje jsou podkladem pro přípravu hlukové politiky a legislativy EU. Ta si klade za cíl trvale snižovat hlukové zatížení obyvatelstva přijetím a tvorbou akčních hlukových plánů jednotlivými státy (MZ 2010). Tvorba SHM je tedy především procesem vytváření podkladů pro akční plány, navrhování konkrétních protihlukových opatření a přispívá k informovanosti veřejnosti (EPA 2011).

⁸ Hlukové mapy mohou být také podkladem pro cenové mapy měst (Novák 2007).

Za účelem tvorby SHM byla Komisí EU vydána Směrnice 2015/996 o stanovení společných metod o hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES. Ve směrnici jsou prezentovány „Společné metody hodnocení hluku v EU“ nazvané CNOSSOS-EU, které od roku 2008 vyvíjí výzkumné středisko *Joint Research Centre*. Tato směrnice udává členským státům povinnost začít společnou metodiku používat do 31. 12. 2018. Oproti české výpočtové metodice, která bude prezentována v kapitole 4.2, se CNOSSOS-EU liší například v klasifikaci vozidel. Ta jsou podle hlukových emisních vlastností rozdělena do pěti kategorií – lehká motorová vozidla, středně těžká vozidla, těžká vozidla, dvoukolová motorová vozidla a jedna otevřená kategorie, která je vymezena do budoucna např. pro elektrická nebo hybridní vozidla. Dalším specifickým metodiky je zohlednění různé pohltivosti terénu. Ve výpočtu je různým typům venkovního terénu přiřazován koeficient G, který nabývá hodnot mezi 0 a 1. Je definován jako podíl absorpčního podloží po celé dotační dráze. Hodnoty koeficientů pro různé typy terénu jsou pro názornost uvedeny v Tab. 1.

Tab. 1: Hodnoty koeficientu G používané v rámci výpočtové metodiky CNOSSOS-EU

Typ terénu	Hodnota G
Velmi měkký (sníh nebo mechovitá půda)	1
Měkká lesní půda (nízký hustý vřesovitý porost nebo hustý mech)	1
Nekompaktní, prostupný podklad (drny, trávník, nesoudržná půda)	1
Normální nekompaktní půda (lesní půdy, pastviny)	1
Ztvrdlá půda a štěrkopísek (pěstěné trávníky, parky)	0,7
Ztvrdlá zhuštěná půda (štěrková cesta, parkoviště)	0,3
Tvrdé povrchy (nejobvyklejší asfalt, beton)	0
Velmi tvrdé zhuštěné povrchy (hustý asfalt, beton, voda)	0

Postup výpočtu v rámci české výpočtové metodiky, která byla užita pro výpočet šíření hluku v praktické části práce, bude popsán v kapitole 4.2.

3.6 Možnosti protihlukové ochrany

Protihlukovou ochranu lze dělit podle dvou základních oblastí. Rozlišujeme tzv. řízení v oblasti zdrojů hluku, tedy regulaci emisní oblasti a řízení v oblasti příjmu hluku, které se zabývá regulací hluku již vzniklého, což je imisní oblast (Liberko 2004). Jiným označením může být v prvním případě ochrana aktivní a v druhém případě ochrana pasivní. Aktivní ochrana stanovuje limitní hodnoty hlukových emisí pro dopravní prostředky, stroje apod., jejichž kontrolu mají v kompetenci autorizované osoby (Pavlorková 2010). Kontrolu správného označení akustických emisních vlastností má v kompetenci Česká obchodní inspekce. Aktivní ochrana vychází z tzv. principu

předběžné opatrnosti. Tedy není-li jisté budoucí dodržení stanovených limitů, pokládá za vhodné podniknout opatření již v této oblasti (Liberko 2004). Snižováním emisí hluku se tato práce zabývat nebude. Následující kapitoly popisují možnosti protihlukových clon, tedy pasivní ochrany. Podrobněji se věnují akustické zeleni a zemním valům.

3.6.1 Akustická zeleň

Jako vhodná alternativa k protihlukovým stěnám a valům se na některých místech nabízejí vegetační pásy tvořené tzv. akustickou zelení. Toto opatření je v našich legislativních podmínkách relativně zřídka realizované, neboť vyžaduje zvláštní invenční vklad a nese nejistou garanci potřebného výsledku. V projektu je obdobně jako u zemních valů nutná velká územní rezerva, aby byl vegetační pás účinný. Na většině míst, především pak v intravilánu obcí, je realizace tohoto prvku prakticky vyloučena. Pro použití akustické zeleně jsou zapotřebí také vhodné orografické podmínky. Nenahraditelný přínos má však toto opatření co do estetičnosti a návaznosti na přírodní prostředí. Jak uvádí Erdogan et al. (2009), vegetaci lze vhodně využít v kombinaci s protihlukovými stěnami a valy, kde nehrají roli pouze protihlukového opatření, ale dokáží stěny i opticky snížit a tím ovlivnit měřítko clony. V případě valů je přítomnost vegetace přínosem estetickým. Obdobně vnímá akustickou zeleň i Adamec (2008), který přímo píše: „Protože vnímání hluku je značně individuální a závisí i na aktuálním psychickém stavu člověka, může zeleň škodlivý dopad na zdraví člověka výrazně snížit, přestože se hluk objektivně nezmění.“ Autor dále zmiňuje i další pozitivní účinky vegetace, např. zachytávání prachových částic.

Již Clark et Zulfacar (1974) uvádějí ve svém článku „Highway Noise and Acustical Buffer Zones“ orientační tabulku (Tab. 2) porovnávající pokles akustického tlaku za betonovou stěnou a za 30 m hlubokým vegetačním pásem v různých vzdálenostech přijímače od zdroje hluku. Tento model je však třeba vnímat jako pouhý názorný příklad, neboť nezohledňuje například konkrétní parametry porostu, orografii apod.

Tab. 2: Pokles akustického tlaku za betonovou stěnou a vegetací v různých vzdálenostech od zdroje hluku (Clark et Zulfacar 1974)

	30 m	40 m	60 m	90 m	120 m
Bez opatření	76 dB	75 dB	72 dB	69 dB	67 dB
Vegetační pás	71 dB	60 dB	67 dB	64 dB	62 dB
Betonová stěna	64 dB	63 dB	50 dB	57 dB	55 dB

Podle Cooka et Haverbeka (1977) je k účinnému snížení hluku z komunikace zapotřebí alespoň 25 m hluboký pás vegetace. Kniesel (2016) uvádí, že 25–30 m hluboký vegetační pás je co do útlumu hluku srovnatelný s 2 m vysokou protihlukovou stěnou. Schopnost tlumit hluk v případě solitérních stromů je podle něj velice omezená, i když jistou úlohu mohou sehrát při tlumení odrazů zvuku mezi budovami.

Konkrétní vztah (1) mezi hloubkou porostu a mírou útlumu hluku uvádí Liberko (2005) v *Metodických pokynech* pro výpočet hladin hluku z dopravy,

$$D_L dB(A) = -18 * \left(\log \frac{b}{10} \right)^{1,1} \quad (1)$$

kde b je délka [m] dráhy zvukového paprsku, který se šíří zelení. Hloubka zeleně musí být v tomto případě 20 m a více.

Fang et Ling (2005) již zkoumali účinnost snižování hluku na několika druzích zelených pásů. Při měření snižování hluku pomocí akustické zeleně bylo sledováno pět parametrů. Těmito parametry byla šířka zeleného pásu, výška vegetace, vzdálenost mezi zdrojem hluku a přijímačem (referenčním bodem), výška zdroje hluku a referenčního bodu a viditelnost, tedy situace okolního terénu. Výsledkem jejich práce je diagram znázorňující změnu útlumu při změně jednotlivých parametrů. Z tohoto diagramu vyplývá nepřímá logaritmická závislost mezi útlumem hluku a viditelností a přímá logaritmická závislost mezi útlumem hluku a výškou, šířkou a délkou porostu.

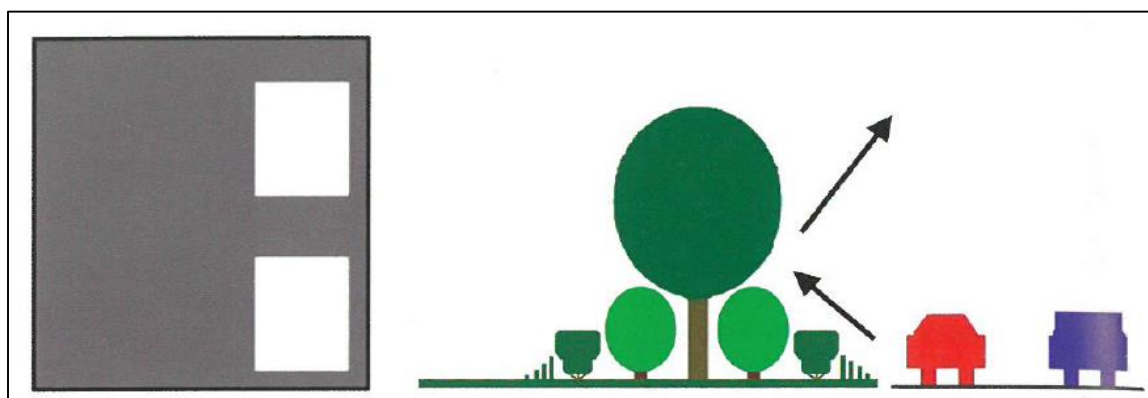
Erdogan et al. (2009) uvádí, že na zadržování šíření hluku se nejvíce podílí dřevina či křovina svými listy, méně pak kmenem a větvemi. Větve by měly být větveny již odspoda. Míra útlumu závisí také na typu listů, účinné jsou mohutné a široké, dlanitě větvené listy s hustou žilnatinou. Podle Neubergové (2010) by měly být listy orientovány kolmo ke zdroji hluku a olistění by mělo vydržet po co nejdéle v roce. Podrobněji se fyzikálními aspekty útlumu hluku vegetací zabývá Kniesel (2016). Ten popisuje odlišnosti v chování zvukové vlny po dopadu na různé části rostliny. Drobnější části (například listy) mají menší efekt při lomu a rozptylu zvukové vlny. Ten se samozřejmě zvyšuje s četností listů. Čím větší listy jsou, tím dokáží rozptýlit nižší frekvence.

Dle míry útlumu rozdělil Yazgan (1980) ex. Erdogan et al. (2009) dřeviny do několika kategorií. Nejúčinnějšími dřevinami jsou javor klen (*Acer pseudoplatanus*), javor mléč (*Acer platanoides*), javor babyka (*Acer campestre*), olše lepkavá (*Alnus glutinosa*), habr obecný (*Carpinus betulus*) a líska obecná (*Corylus avellana*). Dobrých výsledků dosahují i dub letní (*Quercus robur*), buk lesní (*Fagus sylvatica*), lípa velkolistá

(*Tilia platyphyllos*), kalina tušalaj (*Viburnum lantana*) či šeřík obecný (*Syringa vulgaris*). O něco méně pak tlumí hluk bříza bělokorá (*Betula pendula*), olše šedá (*Alnus incana*), svída krvavá (*Cornus sanguinea*) či ptačí zob (*Ligustrum vulgare*). Jako méně vhodné, leč přesto účinné se jeví dřeviny jako cypřišek Lawsonův (*Chamaecyparis lawsoniana*), tis červený (*Taxus baccata*), zimoztráz vždyzelený (*Buxus sempervirens*), tavolník van Houtteův (*Spirea vanhouttei*) či smrky (rod *Picea*).

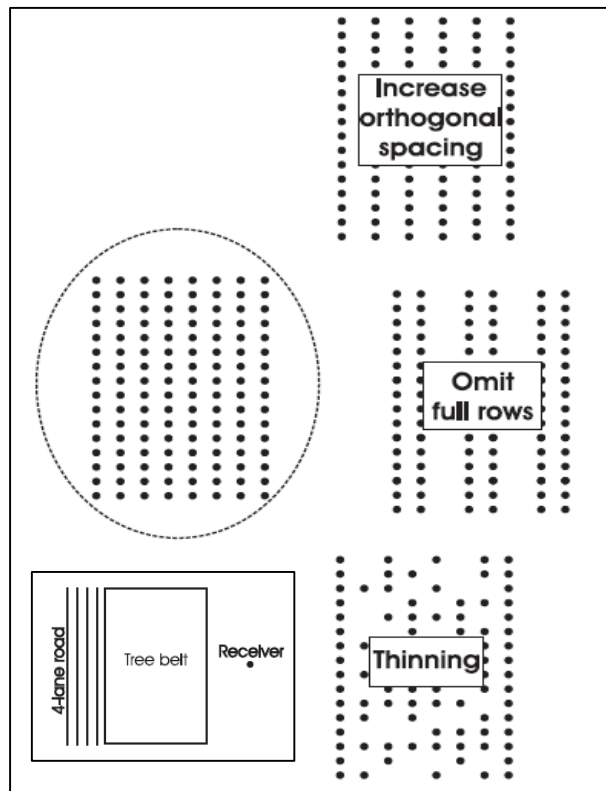
Při výsadbě je důležitá kombinace různých rostlinných druhů tak, aby byla porostem vyplněna všechna vegetační patra. Rozmanitá druhová skladba přinese odlišné tvary a velikosti listů (Kniesel 2016). Hustoty vegetačních pater může být docíleno i rozdílnou věkovou skladbou porostu (Erdogan et al. 2009). Neubergová (2010) přikládá význam nerovnoměrnému rastru při výsadbě z důvodu rozptýlení akustické energie. Pás akustické zeleně by se měl nacházet co nejbližší ke zdroji hluku. Co nejbližší by se měly také nacházet rostliny mezi sebou (Kniesel 2016).

Obr. 5: Schéma optimálně navrženého vegetačního pásu (Kniesel 2016)



Na četná doporučení pokusit se realizovat co nejhustší porost (Kniesel 2016, Erdogan et al. 2009, Neubergová 2010) navazuje svým výzkumem Van Renterghem (2014). Ten uvádí, že porosty s co největší hustotou biomasy mohou přinášet problémy při praktické realizaci. Porosty v takových případech trpí nedostatkem živin, světla, vody či prostorem pro zakořenění. Jeho studie zkoumá vliv přítomnosti kontinuálnějších mezer v porostu, konkrétně řad souběžných s osou komunikace, ale i náhodné prořezávky a probírky, přičemž se vychází z hypotézy, že tyto mezery mohou výrazně utlumovat hluk vlivem rozptýlu akustické vlny průchodem skrz porost a následného utlumení akusticky pohltivou měkkou lesní půdou v mezerách.

Obr. 6: Van Renterghemovo rozmístění stromů v 15 m hlubokém porostu



Obr. 6 znázorňuje způsoby redukce hustoty porostu vždy o 25 %, přičemž akustické stínění se nezhorší o více jak 0,3–0,7 dB. Pro porovnání dojde ke stejnému snížení akustického stínění při pouhém 2 % snížení hloubky porostu. Nutno podotknout, že Van Renterghemův výzkum je i přes částečnou validaci založen pouze na matematickém modelování.

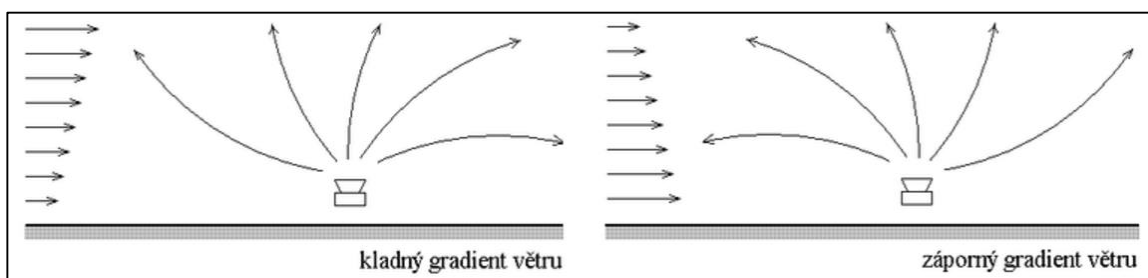
3.6.2 Zemní valy

Jedná se o sypané konstrukce oseté travním semenem, často osázené stromy a keři. Zemní valy mohou být kombinovány i s protihlukovými stěnami (Šimlery et Anděl 2008). V porovnání s protihlukovými stěnami (PHS) jsou zemní valy náročnější na půdorysnou plochu. Často je uváděna (Van Renterghem 2012, Adamec 2008) i jejich relativně menší účinnost vlivem větší vzdálenosti vrchní hrany valu od komunikace. Obdobné či větší účinnosti jako u PHS při stejných výškách lze dle Van Renterghema (2012) dosáhnout správným tvarovým dimenzováním.

Při porovnávání PHS a zemních valů mohou kromě užitého materiálu a prostorového dimenzování hrát roli i atmosférické podmínky. V případě silného větru mohou nastat situace, kdy dochází k mnohem lepšímu akustickému stínění valem oproti PHS z důvodu ohybu zvukových vln vlivem větrného gradientu. Chování zvukových vln v prostředí kladného a záporného větrného gradientu popisují Kaňka et Nováček (2015).

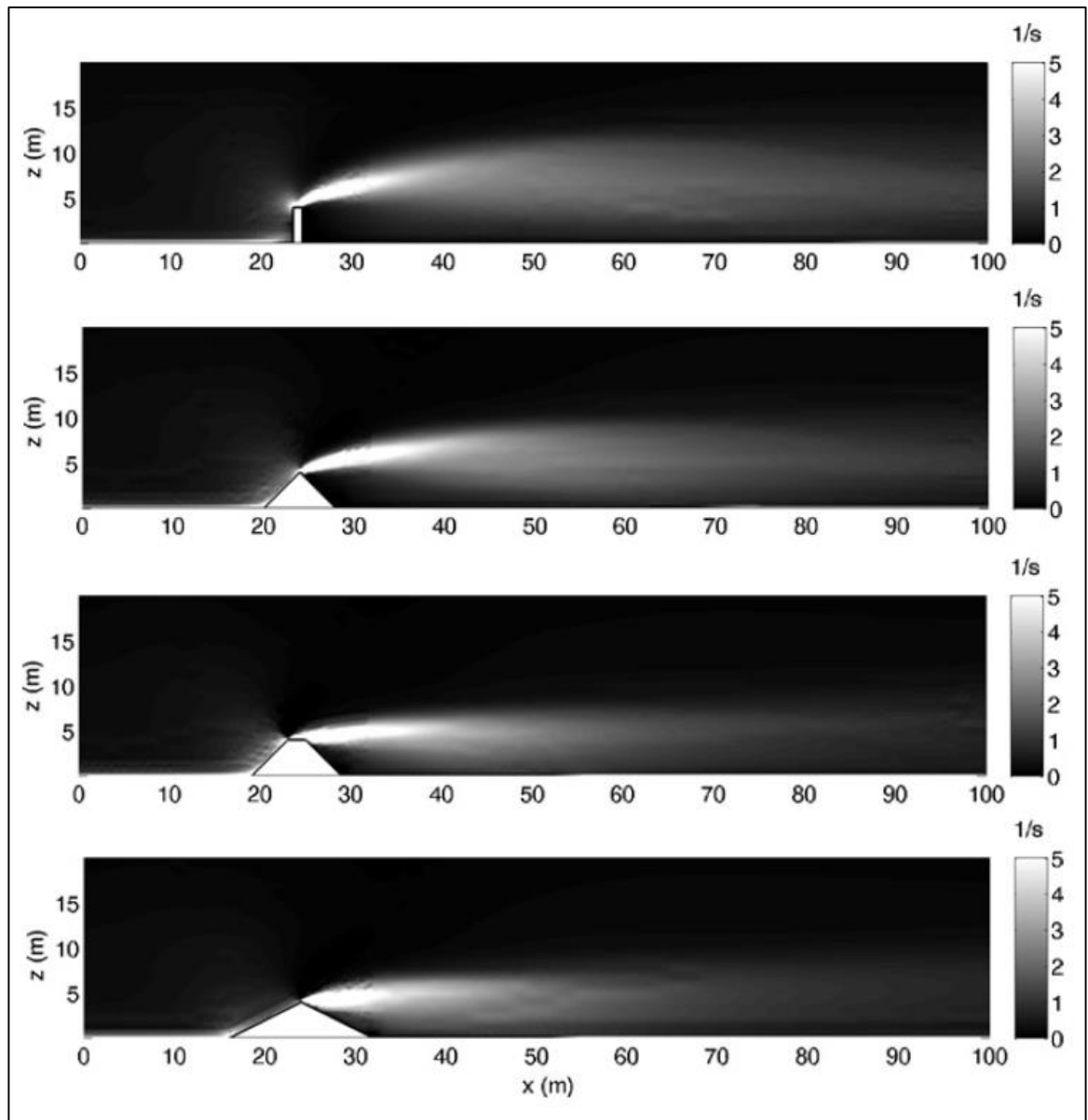
Samotný vítr, tedy pohyb vzduchové hmoty, nemá na šíření zvuku vliv z důvodu řádově nižších rychlostí větru oproti rychlosti zvuku. Ovlivnění šíření zvuku větrem nastává v případě větrného gradientu, tedy změny rychlosti větru s výškou nad terénem. Při těchto podmínkách se zvukové vlny ve směru proti větru ohýbají směrem nahoru v případě kladného gradientu, tj. je-li rychlost větru vyšší ve vyšších vrstvách atmosféry. Nízko nad terénem tak vzniká akustický stín. Při záporném gradientu je efekt opačný. Zvukové vlny jsou ohýbány směrem dolů, což vede naopak k zesílení přenosu zvuku. Schéma je znázorněno na obrázku Obr. 7.

Obr. 7: Vliv větrného gradientu na šíření zvukových vln (Kaňka et Nováček 2015)



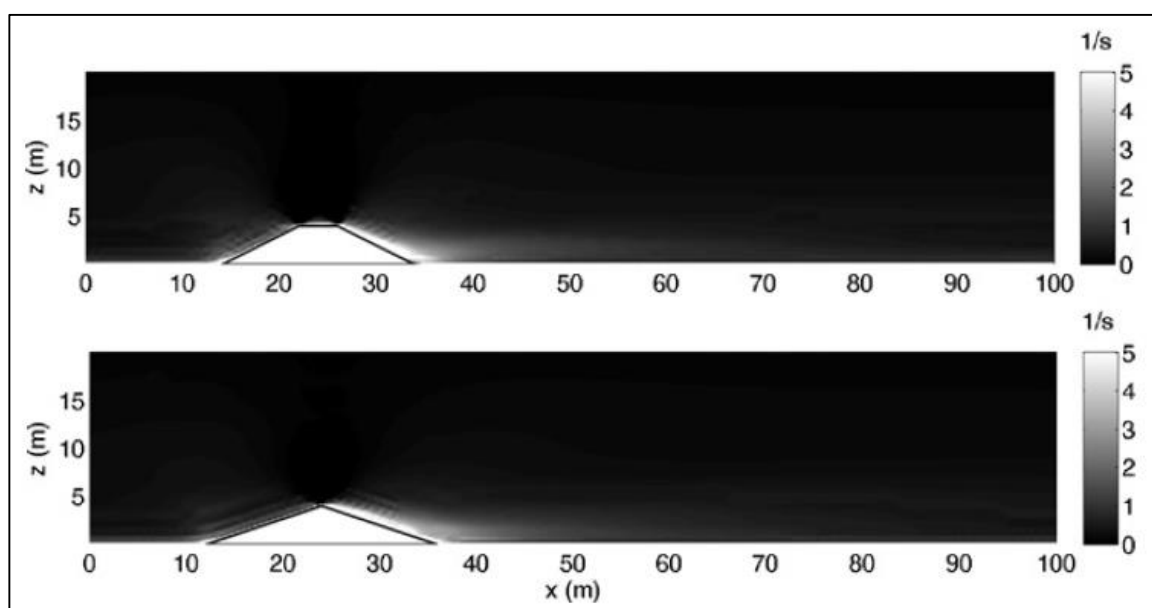
Tuto skutečnost zohledňuje ve své studii Van Renterghem (2012) při srovnání účinnosti PHS a zemních valů. Jednotlivé varianty, které mohou ve spojitosti s tímto efektem nastat, analyzuje v delším časovém horizontu. Při silném větru může u PHS a některých tvarů zemních valů nastat situace, kdy je hladina akustického tlaku na přijímači stejná jako v případě absence protihlukových bariér v prostředí bez větru. Tento jev nastává v případě šíření zvukových vln po směru větru vlivem ohybu zvukových vln směrem dolů následkem kladného větrného gradientu za překážkou. Obr. 8 znázorňuje vytvoření větrného gradientu za protihlukovými překážkami při směru větru od zdroje hluku k přijímači.

Obr. 8: PHS a zemní valy s velkým větrným gradientem (Van Renterghem 2012)



Aby byly tyto negativní důsledky eliminovány, lze použít protihlukové valy aerodynamického tvaru, kde větrný gradient prakticky nevzniká. Van Renterghem (2012) uvádí, že se snižujícím sklonem svahu zemního valu klesá i přítomnost větrného gradientu. Jako vhodné se tedy jeví valy se sklonem svahů přibližně 1:3. Svahy zemního valu mohou být při užší základně strmější za podmínky realizace plochého vrcholu. Tyto případy jsou znázorněny na Obr. 9.

Obr. 9: Zemní valy s malým větrným gradientem (Van Renterghem 2012)



Budou-li tyto zásady dodrženy, kolísání hladiny akustického tlaku na přijímači nepřekročí 1 dB. Další vlivy atmosférických podmínek na šíření zvuku budou popsány v kapitole 4.1.

Zemní valy se navrhují a provádějí dle ČSN 73 6133. Uhlířová et al (2016) uvádí v *Technických podmínkách 104* základní návrhové parametry. Sklony svahu zemního valu se stanovují v závislosti na výšce násypu obvykle 1:1,5 do 6 m výšky, nad 6 m pak 1:1,75. V případě nutnosti úspory záboru pozemků je možné uplatnit opěrné zdi. Dle charakteristických vlastností materiálu je třeba zhodnotit možnost erozivní činnosti vody a navrhnout protierozní opatření, příp. další management.

Důležitým parametrem zemních valů je možnost osázet je akustickou zelení. Ta může být prospěšné nejen jako protihlukové opatření, ale i jako krajínovorný prvek (Adamec 2008). Nasnadě je otázka tvorby zmiňovaného větrného gradientu. Při realizaci akustické zeleně je tak možné zvážit příslušná pozitiva i negativa. Nutno však podotknout, že z hlediska ochrany proti hluku se v tomto případě jedná o další navýšení plochy zastínění. Navíc v případě většího uplatnění zeleně může tento prvek sehrát funkci protierozní ať už na svazích valu (gravitační, vodní), tak i obecně v krajině jako prvek snižující erozi větrnou.

3.6.3 Protihlukové stěny a tunely

PHS jsou nejrozšířenějším protihlukovým opatřením. Jsou tvořeny akusticky odrazivými nebo pohltivými panely různých materiálů. Tyto panely jsou obvykle zasazeny mezi sloupky, které jsou kotvené do kalichů, plošných základů, pilot či

mikropilot. Obdobou protihlukové stěny může být stěna polovegetační, jejíž betonové, zděné či jiné těleso je opatřeno nekorodující ocelí a osázeno popínavými rostlinami (Šimlerová et Anděl 2008). Nejúčinnější jsou stěny v případě, není-li z místa příjemce zdroj hluku přímo vidět. V takovém případě pak proniká akustická energie pouze formou ohybu nebo odrazu akustických vln (Adamec 2008). Konkrétní hodnoty poklesu akustické energie se liší v závislosti na výšce stěny a materiálu (Šimlerová et Anděl 2008). Důležité je umístění PHS, které by mělo být co nejblíže ke zdroji hluku. Správně navržená PHS přináší snížení hluku o přibližně 4 a více dB v závislosti na dalších parametrech (Adamec 2008).

Velice účinné jsou při poklesu hluku méně časté protihlukové tunely (Kniesel 2016). Ty jsou uplatňovány zejména v hustě urbanizovaných územích s vyšší zástavbou.

3.6.4 Další možnosti protihlukové ochrany

V intravilánech obcí je možné navrhovat v rámci protihlukové ochrany nízkohlučné povrchy komunikací, a to zejména z důvodu nedostatečného prostoru pro vybudování protihlukových clon. Jedná se o opatření regulující vznik hluku na straně zdroje. Dle Liberka (2004) a jeho rozřazení se tedy jedná o ochranu aktivní. Při realizaci nízkohlučného povrchu lze předpokládat snížení imisních hodnot v oblasti až o 3 dB. Současně lze předpokládat stejnou hodnotu pro zhoršení situace v místech, kde dochází k poruchám vozovky vlivem velkého provozu vozidel (Adamec 2008). Obdobným opatřením je v kritických oblastech snížení povolené rychlosti vozidel, neboť jak uvádí Winoroth (2017), při vyšších rychlostech jízdy začíná v akustických emisích převládat hluk z valení pneumatik po povrchu vozovky a hluk z tření vozidla, které postupuje vzduchovým prostředím. Za zmínku stojí tzv. individuální protihluková ochrana (IPHO), kterou představuje posílení neprůzvučnosti pláště budovy či výměna oken.

Vedle pozitivního účinku na snižování hluku mají protihlukové clony i další vliv na okolní ekosystémy. Těmito vlivy jsou zvýšení bariérového účinku pro terestrické živočichy především u protihlukových stěn a také vliv na mortalitu živočichů v blízkosti komunikace. V místech migrace živočichů je důležité dbát na to, aby nebyla vytvořena bariéra na jedné straně komunikace tak, že se zvíře ocitne přímo na komunikaci a nebude moci uniknout (Šimlerová et Anděl 2008).

4 Metodika

4.1 Akustické měření a modelování

Výsledkem akustického měření je především ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB] se stanovenou nejvyšší směrodatnou odchylkou. Měření jsou prováděna za účelem zjištění skutečného vlivu silniční dopravy na akustickou situaci konkrétní lokality. Nejčastějším důvodem měření či modelování hluku je hodnocení současné akustické situace, navrhování protihlukových opatření, jejich následné hodnocení při kolaudaci, projektování změny trasy komunikace či nové komunikace nebo hodnocení jako podklad pro urbanistické řešení území (Kozák 1998). Predikční postupy jsou založeny na algoritmech vytvořených kombinací experimentálních a teoretických poznatků. Data z terénních měření jsou následně využívána jako kontrolní zpětná vazba při kalibraci modelu pro určitou lokalitu. Principem akustického modelování je tedy výpočet L_{Aeq} v referenční vzdálenosti od dopravní cesty a následném použití korekcí, které se vztahují k poloze výpočtového místa (Liberko 1998). Ekvivalentní hladina akustického tlaku závisí na mnoha faktorech, které je nutné při akustickém modelování co nejlépe stanovit a zadat. Jsou jimi především intenzita, skladba a rychlost dopravy, podélný sklon nivelety, druh a stav vozovky, okolní zástavba, morfologie terénu a odrazy zvuku od dalších objektů (Liberko 1991).

Velice těžko postihnuteľný je v akustickém modelování faktor atmosférických podmínek. Šíření zvukových vln ovlivňuje například působení větru či teplotního gradientu. Bucur (2006) uvádí hrubé přiblížení změny akustického tlaku vlivem větru. Podle něj za větrného dne s rychlostí větru 6–11 m/s může za určitých podmínek docházet ke kolísání hladiny akustického tlaku v průměru o 4 až 6 dB ve vzdálenosti 100 m od zdroje hluku. Nelson (1997) popisuje chování zvukových vln v prostředích s rozhraními různých teplot. Za běžných atmosférických podmínek, kdy teplota klesá se stoupající nadmořskou výškou, jsou zvukové vlny ohýbány směrem vzhůru. Dojde-li však k inverzi, zvukové vlny se od vrchnější teplejší vrstvy ohýbají směrem dolů.

Kaňka et Nováček (2015) uvádějí, že při přenosu zvuku na větší vzdálenosti se uplatňuje útlum tzv. atmosférickou absorpcí. Zvláštním případem tohoto útlumu je útlum způsobený mlhou. Při středně husté mlze za viditelnosti do vzdálenosti přibližně 50 m se může tento útlum mlhou pohybovat v závislosti na frekvenci v rozmezí 10 až 30 dB na vzdálenost jednoho kilometru. Šíření zvuku významně ovlivňuje sněhová pokrývka, která mění pohltivost zemského povrchu tím, že snižuje účinnost zvukových vln odražených od

zasněžených ploch. Všechny tyto jevy jsou závislé na proměnlivém stavu atmosféry. Z tohoto důvodu s nimi nelze počítat při hodnocení akustických situací a při výpočtech se obvykle zanedbávají. Vliv atmosférických podmínek může být často příčinou rozdílného výsledku měření zvuku oproti výsledku teoretického výpočtu.

4.2 Metodika pro výpočet hluku ze silniční dopravy

Predikce hluku z dopravy se v ČR na základě legislativních úprav provádí od roku 1977. V roce 1991 bylo publikováno první vydání metodiky s názvem *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy*, kterou zpracoval Liberko (1991). Od té doby byla tato metodika několikrát novelizována. Podle těchto metodik, především pak podle nejaktuálnější verze – *Výpočet hluku z automobilové dopravy, manuál 2011* (Liberko et Ládyš 2011), budou uvedeny základní vztahy a parametry potřebné k akustickému posuzování hluku z dopravy.

Ekvivalentní hladina akustického tlaku L_{Aeq} je střední hodnota akustického tlaku za daný časový úsek (Liberko 1991). Je vyjádřena jako hladina časového integrálu intenzity zvuku dělena délkou časového intervalu. Známe-li statistické rozložení hladin zvuku do tříd s třídními znaky L_i , pak lze L_{Aeq} vyjádřit vztahem:

$$L_{Aeq} = 10 \log \frac{1}{\sum_{i=1}^n f_i} \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot 10^{0,1 L_i} \quad (2)$$

kde f_i je míra časového výskytu hladin z měřeného časového úseku v procentech, sekundách nebo četnosti čtení,

L_i je střední hladina v i -tém hladinovém intervalu v dB.

Liberko et Ládyš (2011) dále doplňují, že nejvyšší přípustná ekvivalentní hladina akustického tlaku A je ekvivalentní hladina akustického tlaku A stanovená příslušnými předpisy.

Výpočtová rychlost „v“ je rychlost vozidel, kterou je možné získat dvěma způsoby. Prvním z nich je přímé měření jednotlivých vozidel např. radarovými měřicími přístroji, automatickými detektory jednotlivých vozidel či úsekovým měřením rychlosti (Liberko et Ládyš 2011). Druhý způsob je výpočet rychlosti na základě známé intenzity dopravy

dle metodiky uvedené v „Technických podmínkách 219“ vydaných Ministerstvem dopravy, kde je předpokládáno, že změna určité intenzity dopravy vyvolává změnu rychlosti dopravního proudu (Martolos 2009).

Podélný sklon „s“ je sklon v % v posuzovaném úseku komunikace.

Druhy vozidel se rozlišují během průzkumu při sčítání dopravy a Liberko et Ládyš (2011) je doporučují dělit na:

- M - motocykly - jednostopá motorová vozidla
- O - osobní automobily - bez přívěsů, s přívěsy, dodávky, mikrobusey
- N - nákladní automobily - lehké, střední a těžké nákladní automobily
- A - autobusy - vozidla určená k přepravě osob a zavazadel, která mají více než 9 míst
- K - nákladní soupravy - přívěsové a návěsové nákladní soupravy

Přehled vztahů pro numerické výpočty hluku z automobilové dopravy a podrobný popis metodiky výpočtu je uveden ve zmíněné metodice *Výpočet hluku z automobilové dopravy, manuál 2011*.

4.3 Přesnost výsledku výpočtu

Přesnost výsledku je ovlivňována kvalitou vstupních údajů. Potužníková (2014) uvádí stručný výčet parametrů. Výpočet je ovlivněn přesností geometrických dat, tedy výškopisem, polohopisem, údaji o výškách objektů, dále nastavením modelu – pohltivosti PHS a terénu. Odchylku výpočtu od měřených hodnot ovlivňují meteorologické podmínky nebo parametry komunikací a dopravního proudu – rychlost, povrch, intenzita apod. Z důvodu velkého množství vstupních údajů tedy nelze stanovit číselnou hodnotu nejistoty přesně.

Je nutné si uvědomit, že jakýkoli výpočtový software je pouze výkonným nástrojem pro modelování akustické situace. Aby byl tento software akceptovatelný, je potřebné, aby vykazoval výsledky v takové třídě přesnosti, s jakou lze získat výsledky prostřednictvím měření. Tato přesnost je v současné praxi udávána nejčastěji s odchylkou $\pm 2,0$ dB (Ládyš 2005).

4.4 Software CadnaA

Tento software je vyvíjen německou společností Datakustik založenou v roce 1991. Software Cadna A (Computer Aided Noise Abatement) je výpočtový program pro prezentaci a predikci hluku v životním prostředí. Umožňuje modelování šíření hluku z bodových, liniových i plošných zdrojů. Jeho využití je velice komplexní, od hodnocení hluku z blízkého zdroje až po hlukové mapování velkých oblastí či států. Ve výpočtech lze modelovat hluk z průmyslu a ze silniční, železniční a letecké dopravy. Výhodou softwaru je možnost kombinace s nástroji GIS a AutoCAD. Velice přínosná jsou také zobrazení a animace ve 3D (Datakustik 2014).

CadnaA má kromě řady zahraničních i mezinárodních metodik implementovanou i českou výpočtovou metodiku. Ta je v současné době používána více než 30 let a v průběhu této doby byla několikrát upravována dle novelizace české hlukové legislativy, ale především také v souvislosti s vývojem poznatků v oblasti dopravního hluku a se změnami a skladbou českého vozidlového parku. Přesnost české metodiky byla mnohokrát ověřována kalibračními zkouškami. Například v roce 2002 se v České republice do porovnání naměřených a vypočtených hodnot českou metodikou zapojilo 25 akreditovaných laboratoří (Ládyš 2005).

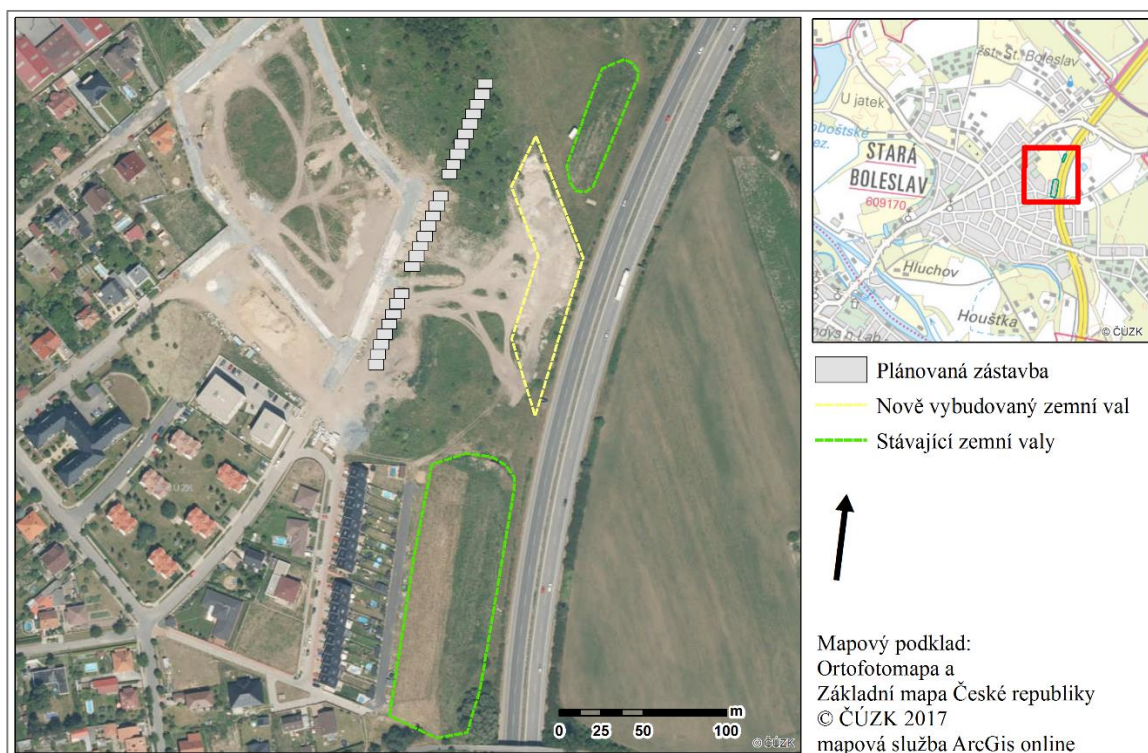
V praktické části práce byla pro výpočet hluku využita právě česká metodika. Ta byla volena na základě spolehlivosti a poskytování relevantních výsledků. Důvodem byla také zmíněná mnohaletá zkušenost tuzemských laboratoří, dostupná literatura s návazností na legislativu a možnost aplikování získaných poznatků při modelování akustických situací z praxe.

5 Studie území

5.1 Charakteristika zájmového území

Řešená lokalita se nachází v obci Brandýs nad Labem-Stará Boleslav v katastrálním území Stará Boleslav. Konkrétně po levé straně od dálnice D10 ve směru na Mladou Boleslav ve staničení 13,5 km až 13,9 km. Vymezení lokality v širším kontextu je znázorněno na Obr. 10.

Obr. 10: Vymezení zájmového území v lokalitě Na Panském, Stará Boleslav



Výběr vhodné lokality pro posouzení akustické situace a pro následné zkoumání jednotlivých variant protihlukových opatření byl realizován na základě doporučení *Samostatného oddělení životního prostředí Ředitelství silnic a dálnic ČR*. Lokalita byla volena tak, aby bylo možné navrhovat více hypotetických řešení. Dále se jedná o lokalitu, u které byla zpracována územní studie, která řeší problematiku území především z důvodu bezprostřední blízkosti dálnice D10. Ta je zdrojem hluku k blízké zástavbě řadových domů a překážkou pro rozvoj území, konkrétně pro výstavbu dalších řadových a bytových domů. Povolení výstavby dalších chráněných staveb orgánem ochrany veřejného zdraví bylo podmíněno výstavbou protihlukových opatření hrazených investorem staveb. K již stávajícím dvěma zemním valům tak v průběhu podzimu roku 2014 přibyl val třetí, viz Obr. 10.

Obr. 11: Umístění měřicího mikrofonu při kalibrační zkoušce – pohled na jih



Obr. 12: Zemní val vybudovaný na podzim roku 2014 – pohled na sever



Obr. 13: Plocha plánovaná pro výstavbu domů – pohled na severovýchod

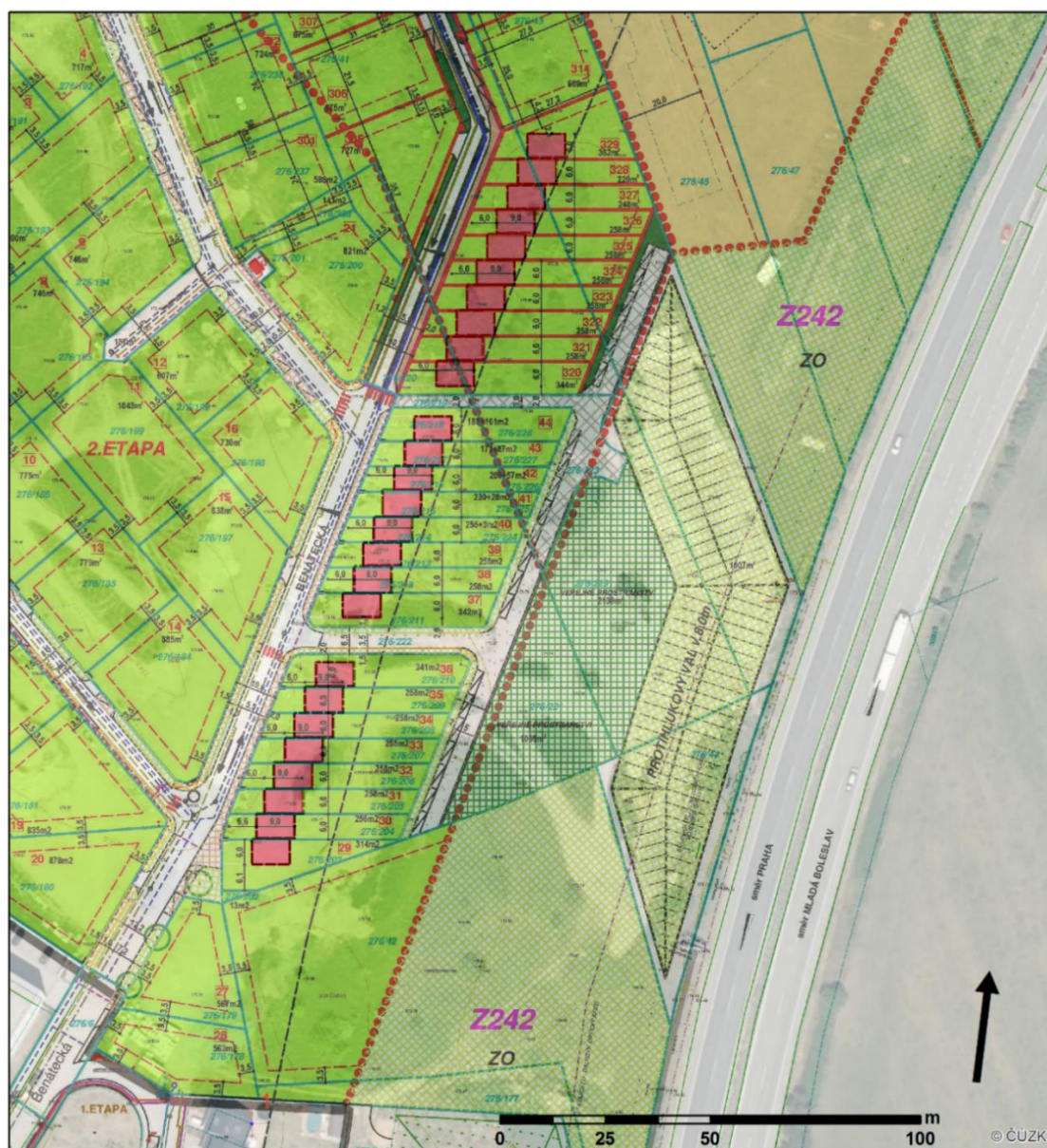


Pro bližší rozbor území z hlediska majetkoprávních vztahů a koncepce budoucího rozvoje území byl osloven *Odbor stavebního úřadu, územního plánování a památkové péče Městského úřadu Brandýs nad Labem-Stará Boleslav* za účelem poskytnutí potřebných podkladů. Obec má zpracovaný platný územní plán ze srpna roku 2014. K řešenému území je dále zpracována *Územní studie 5 – Na Panském, Stará Boleslav*, která řeší kromě jiného plošné a prostorové uspořádání rozvíjející se oblasti a dále její urbanistické řešení. Jedná se o územně plánovací podklad z října roku 2015. V obou dokumentech je v bezprostřední blízkosti dálnice D10 navržena plocha pro ochrannou zeleň o šířce přibližně 50 m.

Územní studie analyzuje lokalitu podrobněji a vymezuje přesný půdorysný tvar a výšku 8 m nového zemního valu a dále veřejné prostranství o ploše přibližně 0,3 ha. Z důvodů majetkoprávních není zemní val navržen tak, aby opticky zakrýval dálnici D10 po celé její délce mezi již vybudovanými valy.

Na Obr. 14 je znázorněna navržená plocha ochranné zeleně – ZO a plocha veřejného prostranství mezi navrženým zemním valem a zástavbou řadových domů.

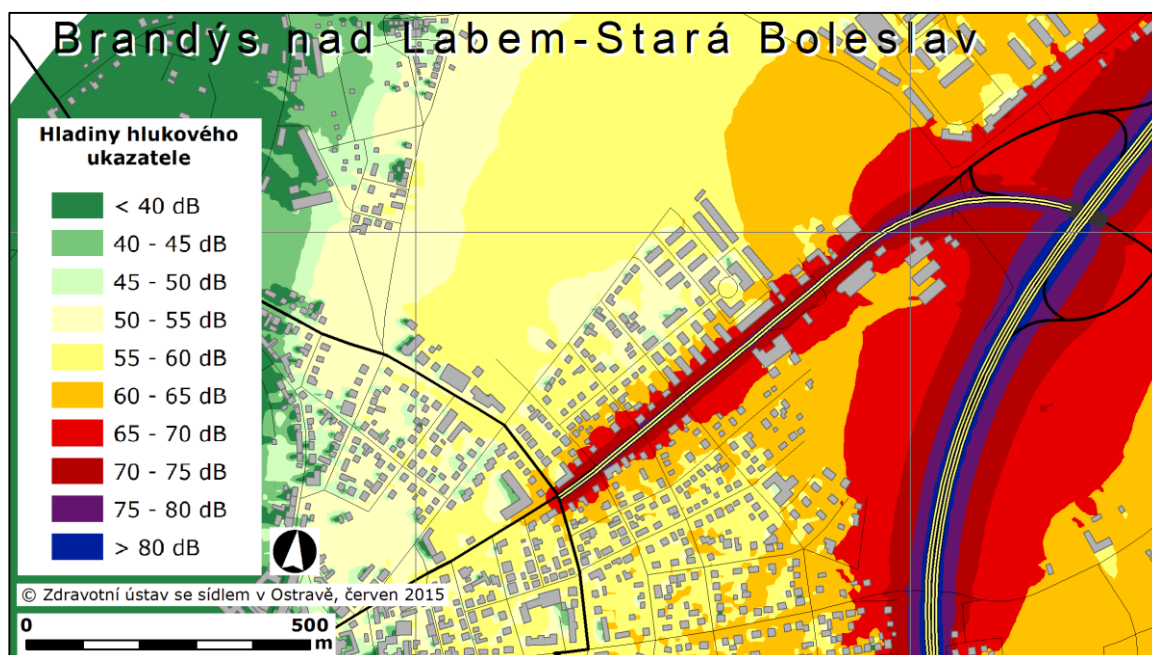
Obr. 14: Ukázka výřezu z urbanistického návrhu Územní studie 5 – Na Panském při georeferencování na podkladu ortofotomapy v prostředí ArcGIS



Mapový podklad: Ortofotomapa České republiky © ČÚZK 2017 ArcGis online, Souřadnicový systém S-JTSK

Dalším podkladem ke zkoumání území je *Strategická hluková mapa silnic ČR 2012* zpracovaná *Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě*. Obr. 15 představuje výřez mapového listu č. 5, úseku Radonice – Stará Boleslav – Skorkov, druhého kola strategického hlukového mapování. Na mapě je znázorněn hlukový ukazatel L_{dvn} v pětidecibelové škále pásmového zobrazení. K výpočtu hluku z dopravy byly po toto kolo využity výsledky sčítání dopravy ŘSD v roce 2010. Vzhledem k obsáhlosti vstupních podkladů a náročnosti zpracování byly SHM vydány až v roce 2015, oficiálně zveřejněny na webových stránkách zpracovatele ještě dokonce o rok později. Zpracovatelé územního plánu z roku 2014 a následné územní studie tak tento podklad neměli k dispozici.

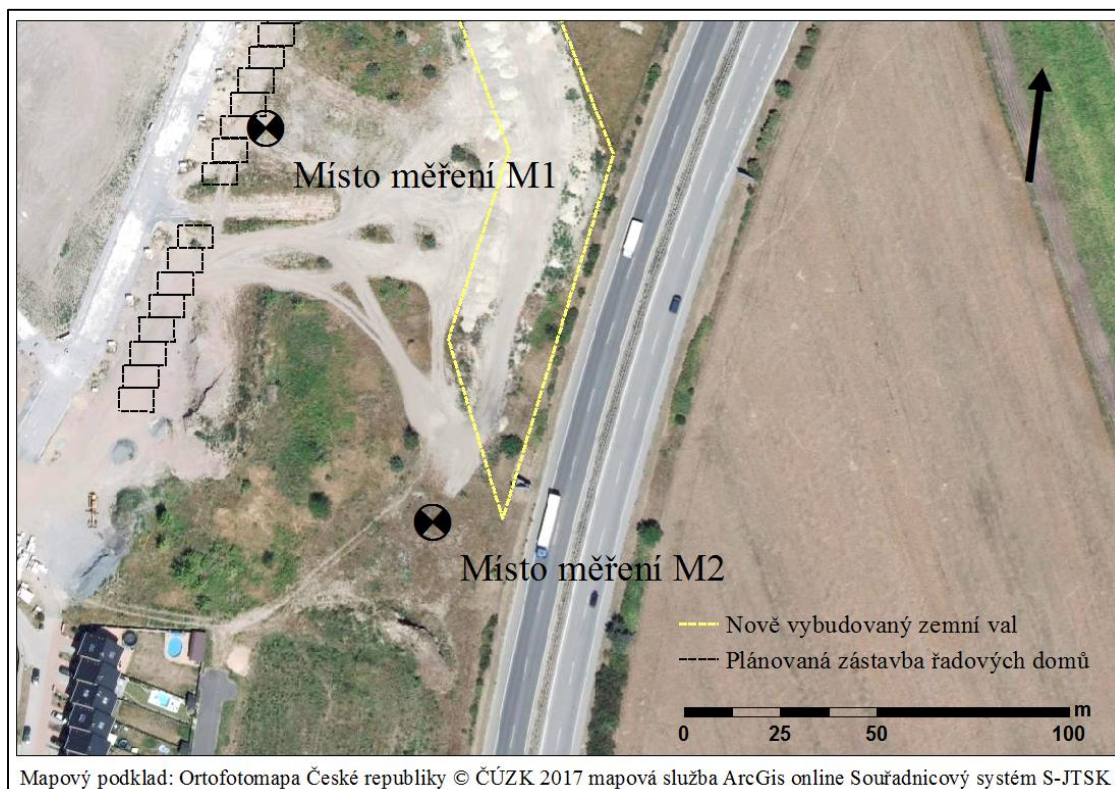
Obr. 15: Výřez ze Strategické hlukové mapy silnic ČR 2012



5.2 Měření

K ověření výpočtového modelu bylo nutné získat potřebná data prostřednictvím měření hluku a sčítání dopravy. Ke kalibraci modelu byly užity dva soubory dat – 24h měření na místě měření M1 a hodinová sonda na místě měření M2. Obr. 16 představuje situaci umístění měřících bodů (měřících mikrofónů).

Obr. 16: Situace umístění míst měření M1 a M2



Naměřená data z 24hodinového měření, které v zájmové oblasti probíhalo ve dnech 30. 10. 2014 8:00 hodin do 31. 10. 2014 8:00 hodin, poskytlo *Ředitelství silnic a dálnic*. Hluk ze silniční dopravy byl změřen v místech plánované výstavby dvoupodlažních řadových rodinných domů – v plánovaném chráněném venkovním prostoru stavby. Místo měření je znázorněno na Obr. 16. Měřicí mikrofón byl umístěn ve výšce 4 m nad terénem, což je předpokládaná výška oken v druhém nadzemním podlaží plánovaných domů. V Tab. 3 a Tab. 4 jsou uvedeny změřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, L_{Aeq} (dB) pro denní a noční dobu.

Tab. 3: Změřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, $L_{Aeq, 16h}$ (dB) pro denní dobu

Místo měření	Doba měření	Den $L_{Aeq, 16h}$	Naměřená ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]
V místech plánované výstavby dvoupodlažních řadových domů, místo měření M1	8–9 h	53,8	DENNÍ DOBA 06:00–22:00 hodin $L_{Aeq, 16h} = 55,9$ dB
	9–10 h	51,8	
	10–11 h	51,2	
	11–12 h	51,1	
	12–13 h	51,1	
	13–14 h	52,3	
	14–15 h	53,8	
	15–16 h	53,1	
	16–17 h	56,9	
	17–18 h	58,1	
	18–19 h	58,3	
	19–20 h	59,0	
	20–21 h	57,8	
	21–22 h	54,5	
	6–7 h	57,4	
	7–8 h	59,2	

Tab. 4: Změřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, $L_{Aeq, 8h}$ (dB) pro noční dobu

Místo měření	Doba měření	Noc $L_{Aeq, 8h}$	Naměřená ekvivalentní hladina akustického tlaku A [dB]
V místech plánované výstavby dvoupodlažních řadových domů, místo měření M1	22–23 h	53,4	NOČNÍ DOBA 22:00–06:00 hodin $L_{Aeq, 8h} = 51,5$ dB
	23–24 h	51,8	
	0–1 h	49,8	
	1–2 h	49,1	
	2–3 h	48,5	
	3–4 h	49,0	
	4–5 h	51,7	
	5–6 h	54,7	

Příslušné intenzity dopravy pro měřené období byly poskytnuty opět *Ředitelstvím silnic a dálnic*. Jedná se o data ze sčítače dopravy typu ESVZ Laser 8+0 umístěného v sousedním sčítacím úseku 1-0516. Zjištěná data pro měřené období jsou uvedena v Tab. 5 a jejich přepočtení pro měřený úsek 1-0517 je uveden v Tab. 6 ve formátu hodnot, které byly zadány do výpočtového modelu.

Tab. 5: Intenzity dopravy na dálnici D10 v zájmovém území v době měření

Doba sčítání	Hodina	Směr Turnov		Směr Praha	
		Počet osobních automobilů	Počet nákladních automobilů	Počet osobních automobilů	Počet nákladních automobilů
Noční doba	0–1	144	31	61	28
	1–2	106	26	54	36
	2–3	66	32	42	26
	3–4	84	43	45	39
	4–5	126	84	155	47
	5–6	269	108	562	64
Denní doba	6–7	818	197	1743	103
	7–8	1284	168	2205	164
	8–9	1520	185	1597	118
	9–10	1257	155	1421	192
	10–11	1084	163	1240	165
	11–12	1159	202	1227	157
	12–13	1178	166	1213	171
	13–14	1206	167	1252	162
	14–15	1437	142	1384	158
	15–16	1744	147	1450	147
	16–17	1975	121	1620	132
	17–18	1903	114	1468	98
	18–19	1707	96	1073	76
	19–20	1113	72	646	60
20–21	760	53	334	63	
21–22	542	41	253	47	
Noční doba	22–23	465	40	226	34
	23–24	259	41	120	28

Tab. 6: Průměrné hodinové intenzity a podíl nákladní dopravy pro denní a noční dobu

		Denní doba 06:00–22:00 h	Noční doba 22:00–06:00 h
Směr Turnov	Počet všech vozidel	1691	267
	Podíl nákladních [%]	8,44	18,10
Směr Praha	Počet všech vozidel	1637	217
	Podíl nákladních [%]	8,02	16,57

Hodinové měření proběhlo dne 17. 10. 2016 v čase od 10:40 do 11:40 hodin. Mikrofon byl umístěn na místě měření M2 ve výšce 1,2 m nad terénem v prostoru mezi vybudovanými zemními valy.

Obr. 17: Umístění měřicího mikrofonu namístě měření M2 – pohled na jihozápad



V době měření byla z důvodu probíhajících prací na dálnici snížena maximální povolená rychlost vozidel na 80 km/h. Zmíněné práce neprobíhaly v bezprostřední blízkosti zájmové lokality a na výsledky měření tak neměly vliv. Naměřená ekvivalentní hladina akustického tlaku A v místě měření M2 byla 60,1 dB. Nasčítané intenzity dopravy z doby měření hluku jsou uvedeny v Tab. 7.

Tab. 7: Hodinové intenzity a podíl nákladní dopravy v čase měření M2

		Denní doba 10:40–11:40 h
Směr Turnov	Počet všech vozidel	1088
	Podíl nákladních [%]	22,80
Směr Praha	Počet všech vozidel	1220
	Podíl nákladních [%]	17,00

5.3 Nastavení modelu a kalibrace

Aby bylo možné získaná data dále vyhodnocovat, byl sestaven 3D model v prostředí výpočtového softwaru CadnaA – verze 157.4702. Při ověření nastavení výpočtového modelu byly porovnávány hodnoty vypočtené s hodnotami naměřenými v terénu. Z důvodu co nejvěrnějšího přiblížení skutečné situaci byly při kalibraci uvažovány i odrazy akustické energie od struktur fasád stávajících objektů. Při následném posuzování hlukové zátěže ve venkovním prostoru staveb byla hodnocena pouze dopadající akustická energie, jak udává legislativa. V Tab. 8 je uvedeno srovnání naměřených a vypočtených hodnot.

Tab. 8: Ověření výpočtového modelu v posuzovaném území

Místo měření	Údaje o měření		Ekvivalentní hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,T}$ [dB]					
	Doba měření	Datum a interval měření [hh:mm]	Naměřené		Vypočtené		Rozdíl	
			Den	Noc	Den	Noc	Den	Noc
M1	24h	30. 10.– 31. 10. 2014 8:00–8:00	55,9	51,5	57,8	49,8	-1,9	1,7
M2	1h	17. 10. 2016 10:40–11:40	60,1	-	60,2	-	-0,1	-

Rozdíl mezi výpočtem a měřením je v rozmezí do $\pm 2,0$ dB. Tato hodnota zajišťuje dostatečnou přesnost výpočtů. Stejná hodnota je uváděna i jako přesnost výsledku výpočtu.

5.3.1 Ostatní nastavované parametry modelu

Rychlosti vozidel na řešeném úseku dálnice byly v případě užití dat z 24hodinového měření uvažovány na základě nejvyšší povolené rychlosti v souladu s TP 219. V případě hodinové sondy byly uvažovány rychlosti nižší – 90 km/h pro osobní automobily a 80 km/h pro nákladní automobily z důvodu snížení maximální povolené rychlosti vozidel v době měření.

Povrch komunikace je živičný v dobrém stavu. Povrch dálnice je v nastavení modelu uvažován kategorie „Ab“ v souladu s TP 219 a Manuálem 2011 (Liberko et Ládyš 2011).

Sklonové a výškové poměry řešeného úseku dálnice byly generovány výpočtovým softwarem automaticky na základě výškopisu. Výškopis byl vygenerován z *Digitálního modelu reliéfu České republiky 5. generace* (DMR 5G) připojeného online prostřednictvím webové mapové služby ČÚZK do prostředí softwaru ArcGIS.

Výšky budov v zájmovém území byly stanoveny na základě terénního průzkumu. Vzhledem k charakteru zástavby byl zvolen koeficient pohltivosti fasád jednotlivých objektů 0,21.

5.3.2 Umístění výpočtových bodů

Obr. 16 prezentuje vstupní výškopisné a polohopisné údaje ve 3D zobrazení na podkladu Ortofotomapy České republiky. Nově vybudovaný zemní val před plánovanou zástavbou řadových domů (na obrázku vpravo) byl z důvodu neaktuálnosti výškopisu modelován úpravou vrstevnic.

Z Obr. 18 je patrné i prostorové umístění výpočtových bodů. Ty byly umístěny ve vzdálenosti 2 m od fasády chráněných budov. Jejich výška 4 m nad terénem je u všech budov konstantní a reprezentuje výšku oken ve 2. NP. Pro plánovanou zástavbu byl umisťován imisní bod pro každou budovu (N1–N26). Toto podrobné prostorové rozmístění bodů v linii dobře znázorňuje změnu hladiny akustického tlaku pro různý tvar navrhovaných protihlukových opatření v podélném rozsahu. V případě stávající zástavby bylo umístěno pouze pět imisních bodů (S1–S5) pro kontrolní zjištění změny akustického tlaku za stávajícím valem. Situace umístění a označení imisních bodů je patrná z Obr. 19.

Obr. 18: Pohled na stávající (vlevo) a plánovanou (vpravo) zástavbu řadových domů a zemní valy v 3D zobrazení softwaru CadnaA – pohled na východ



Obr. 19: Situace umístění výpočtových imisních bodů



Mapový podklad: Ortofotomapa České republiky © ČÚZK 2017 ArcGis online Souřadnicový systém S-JTSK

6 Výsledky

V nastaveném a ověřeném modelu byly na řešené lokalitě navrhovány hypotetické varianty protihlukových opatření. Kromě zhodnocení stávající situace jsou předloženy i jiné varianty srovnávající účinnost zemních valů s PHS a vegetačními pásy. Každý typ opatření je dimenzován ve více variantách. Celkově bylo hodnoceno 10 situací.

První variantou je stávající zemní val lomeného tvaru o výšce 8 m, který opticky nezakrývá zástavbu v celém jejím rozsahu. Navržená půdorysná šířka 26 m umožnila zachování přibližně 2 m široké koruny při sklonu svahů 1 : 1,5.

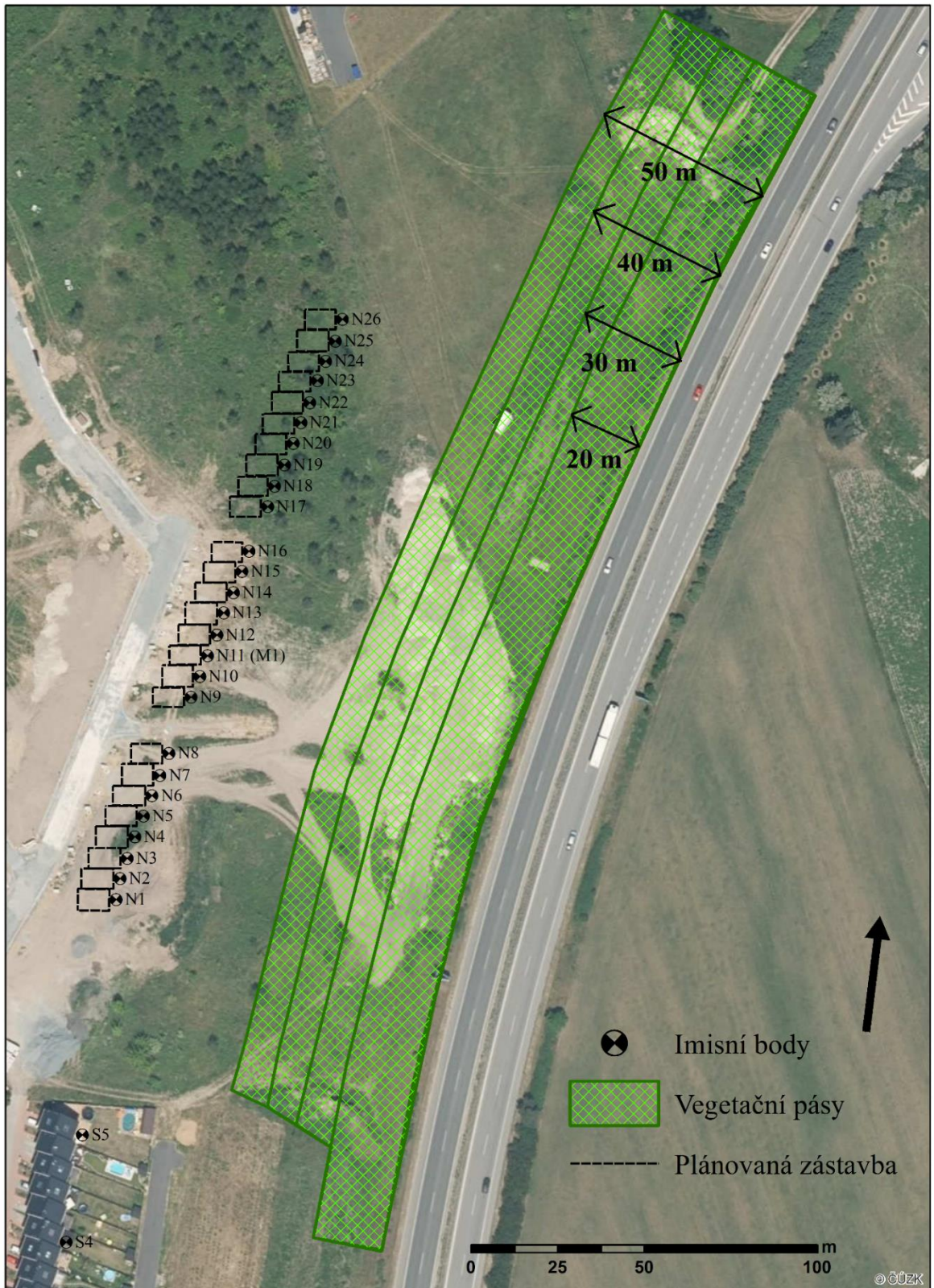
Další varianty byly navrhovány v dostatečném rozsahu tak, aby nedocházelo k zásadním přírůstkům akustické energie z míst za koncem těchto opatření a bylo tak možné porovnávat pouze průnik akustické energie přes, příp. skrz opatření. Jedná se o zemní valy o výškách 2, 3 a 6 m. Umístění zemních valů bylo provedeno co nejbližší ke zdroji hluku. Dálnice D11 je v posuzovaném místě v mírném 1–1,5 m hlubokém zářezu. Valy byly umístěny tak, aby jejich spodní pata odpovídala horní hraně zářezu dálnice. Výška koruny 3 m a sklon svahů 1 : 1,5 se u jednotlivých valů nemění. Navržený sklon byl stanoven na základě doporučení uvedených v Technických podmínkách 104, kde je uvedena tato hodnota pro valy do výšky 6 m.

Čtyři vegetační pásy o šířkách 20, 30, 40 a 50 m byly modelovány ve stejném podélném rozsahu jako zemní valy. Okraj pásu na straně dálnice odpovídá místu pat zemních valů – opět je navržen co nejbližší ke zdroji hluku. Postupné rozšiřování pásů probíhá na opačné straně až na konec plochy pro ochrannou zeleň, tedy hranici se zastavitelnou plochou.

Ve studii byly uvažovány ještě dvě varianty s odrazivými protihlukovými stěnami o výškách 2 a 3 m. Jejich podélný rozsah se shoduje s rozsahem zemních valů a vegetačních pásů. Rozsah opatření znázorňují situace na Obr. 20, Obr. 21 a Obr. 22.

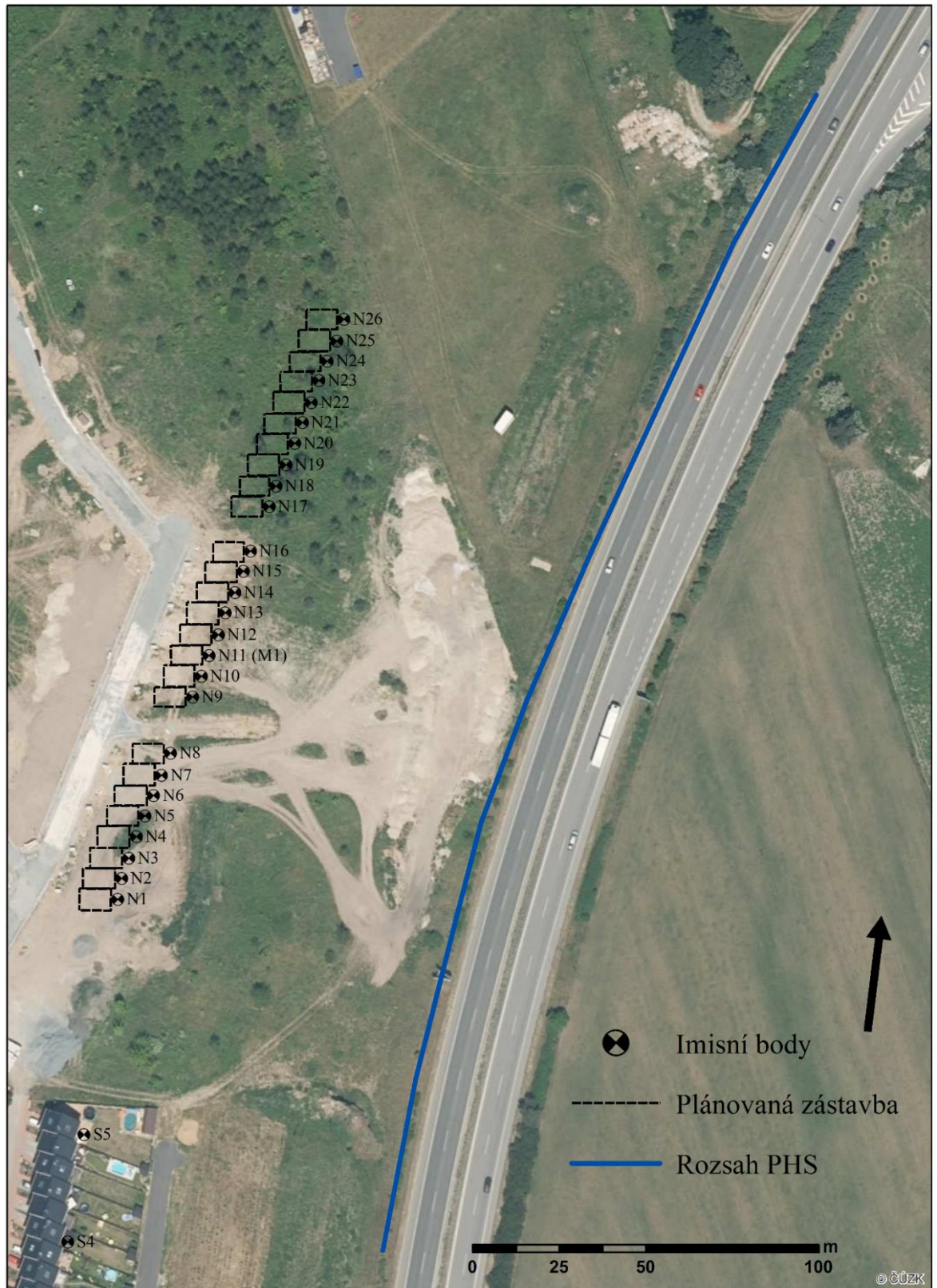
Grafické porovnání poklesu akustické energie za různými druhy protihlukových opatření v denní a noční době znázorňuje Obr. 23 a Obr. 24. Grafy vycházejí z výsledků uvedených v přílohách této práce (Příloha 4, Příloha 5 a Příloha 6).

Obr. 20: Situace umístění vegetačních pásů



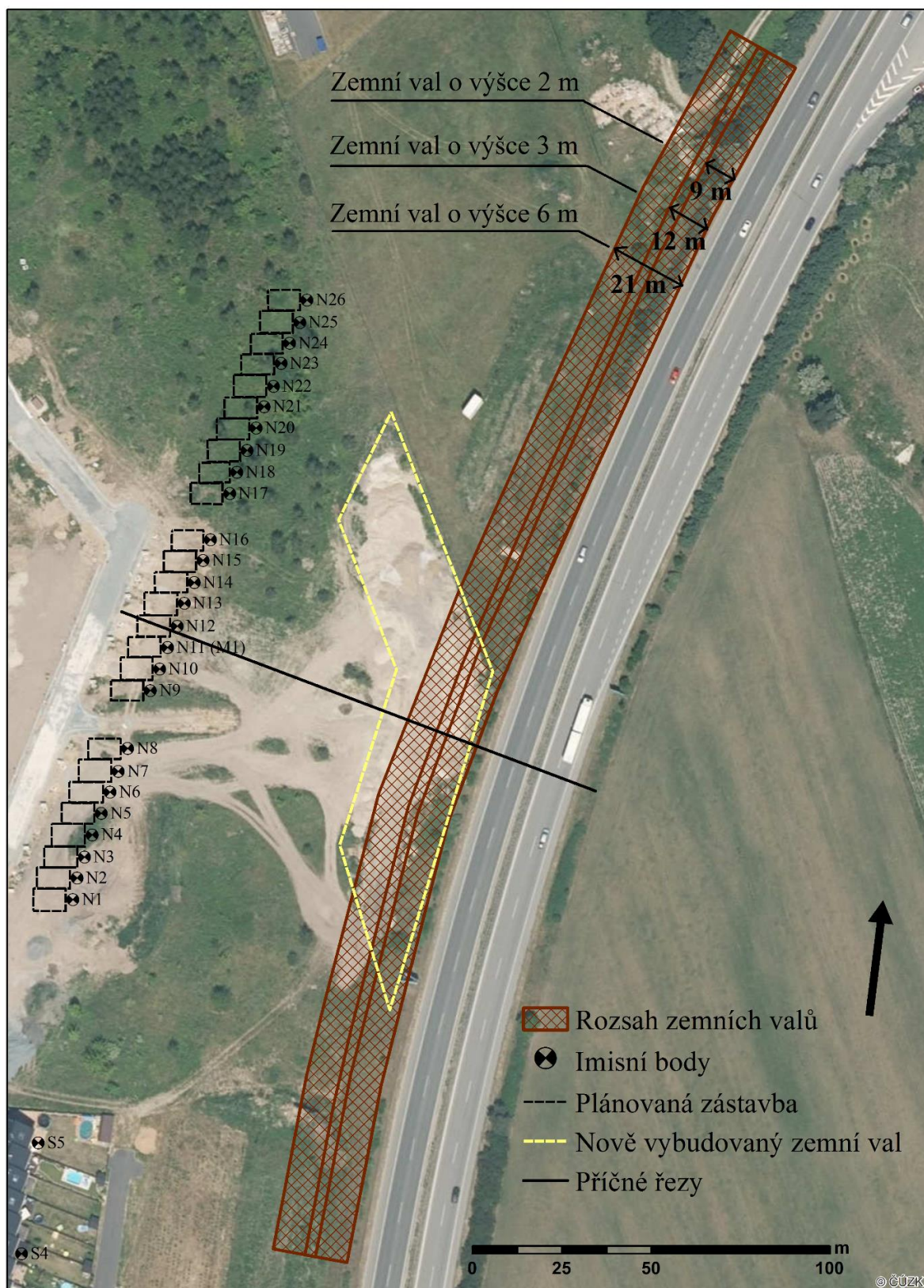
Mapový podklad: Ortofotomapa České republiky © ČÚZK 2017 ArcGis online Souřadnicový systém S-JTSK

Obr. 21: Situace znázorňující rozsah a umístění protihlukových stěn



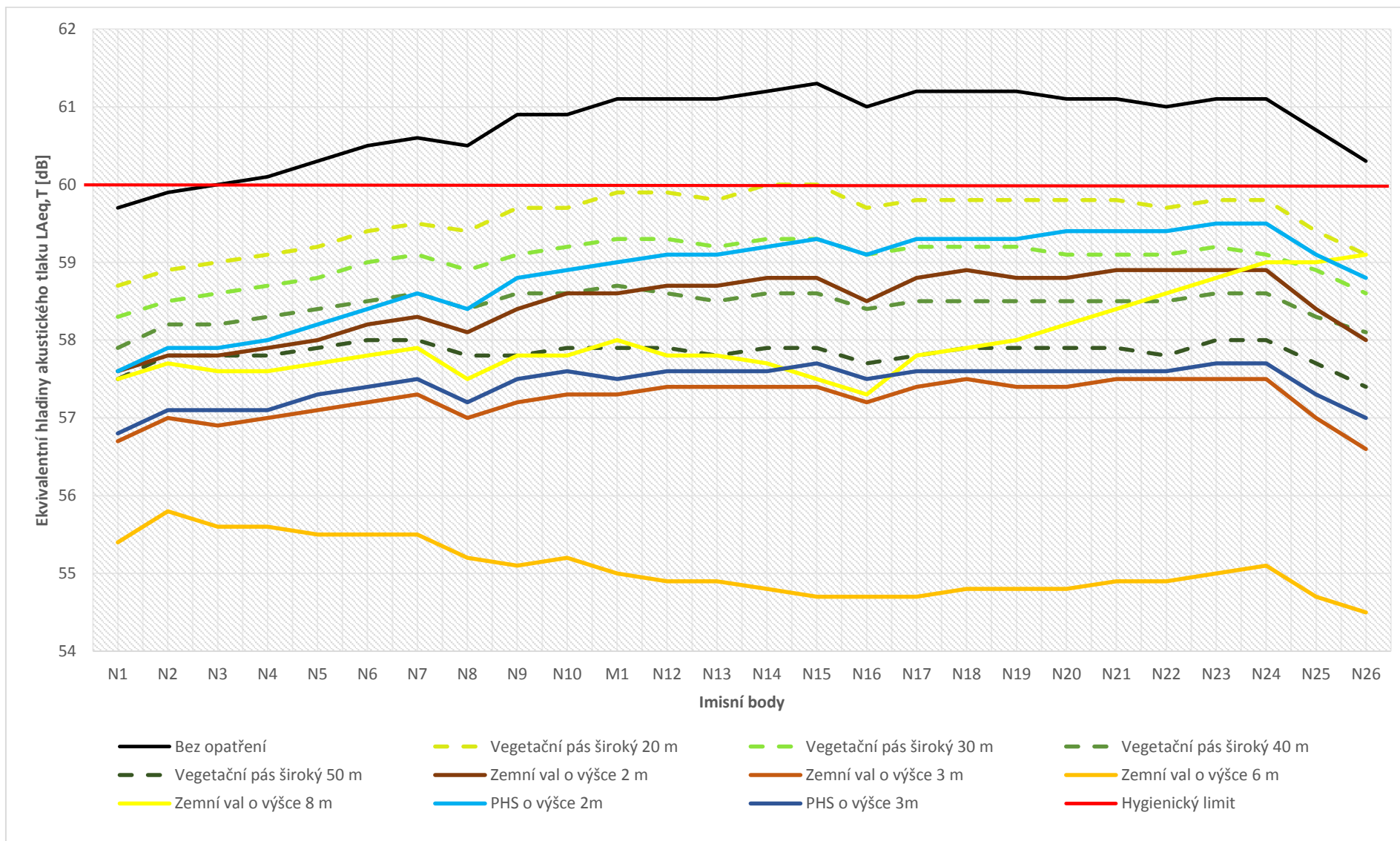
Mapový podklad: Ortofotomapa České republiky © ČÚZK 2017 ArcGis online Souřadnicový systém S-JTSK

Obr. 22: Situace umístění zemních valů

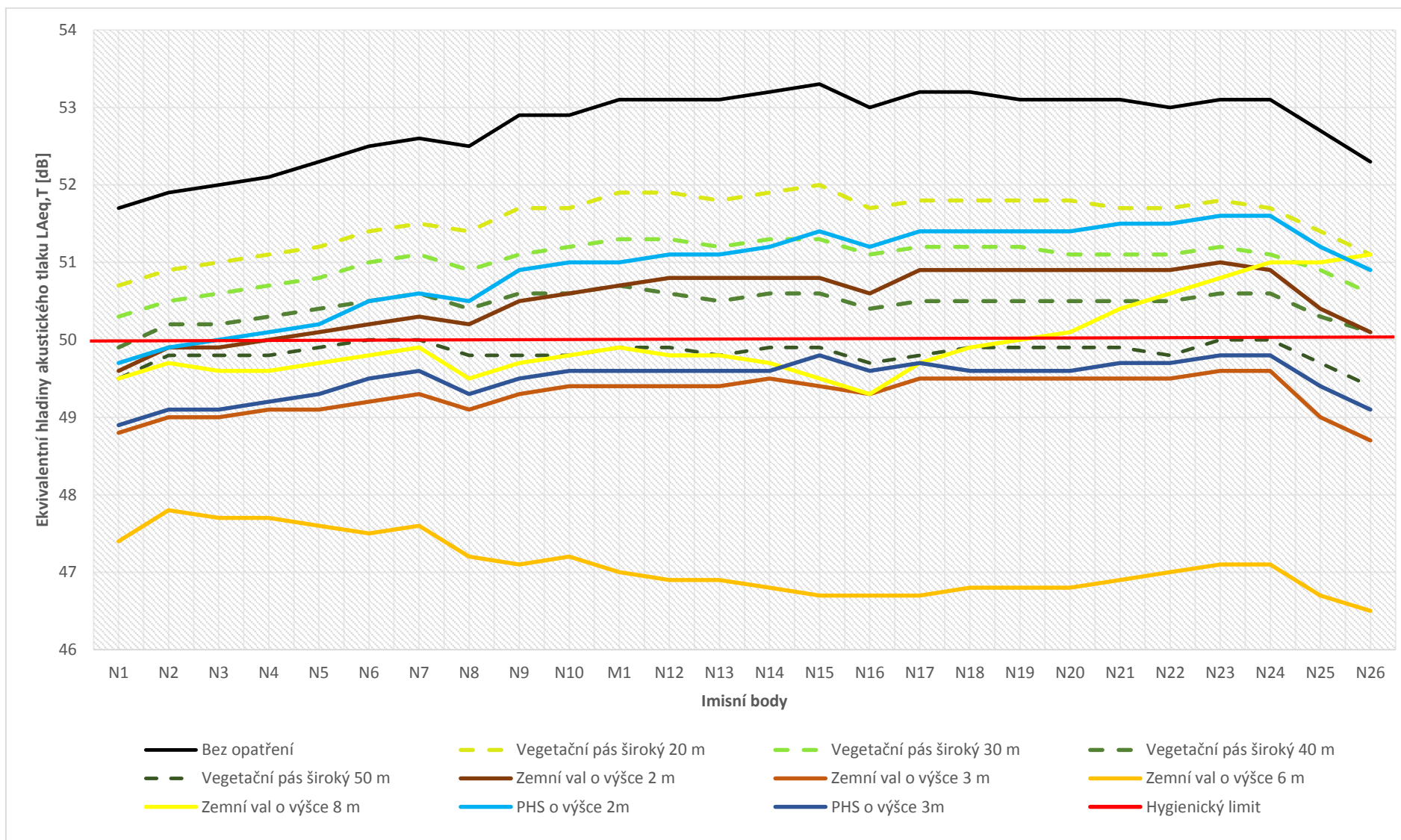


Mapový podklad: Ortofotomapa České republiky © ČÚZK 2017 ArcGis online Souřadnicový systém S-JTSK

Obr. 23: Snížení hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,16h}$ [dB] v imisních bodech v lokalitě Na Panském pro jednotlivá opatření (denní doba)



Obr. 24: Snížení hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,8h}$ [dB] v imisních bodech v lokalitě Na Panském pro jednotlivá opatření (noční doba)



6.1 Zhodnocení stávající situace v lokalitě Na Panském

6.1.1 Vyhodnocení akustické situace

V Tab. 9 jsou uvedeny vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v kontrolních výpočtových bodech pro varianty bez a se stávajícím 8 m vysokým nově vybudovaným zemním valem. Z nařízení vlády č. 272/2011 Sb., v platném znění, uvedeného v kapitole 3.4.1, vyplývají hygienické limity pro chráněný venkovní prostor staveb v blízkosti dálnic $L_{Aeq,16 h} = 60 \text{ dB}$ pro denní dobu a $L_{Aeq,8 h} = 50 \text{ dB}$ pro noční dobu. Hodnoty uvedené v Tab. 9, které překračují tyto limity, jsou tučně zvýrazněné. Kontrolní výpočtové body umístěné na stávající zástavbě chráněné 5 m vysokým zemním valem (S1–S5) překračují ve čtyřech z pěti bodů (S1, S3, S4 a S5) hygienický limit v noční době až o 0,6 dB ve variantě bez 8 m vysokého valu budovaného pro novou výstavbu. To znamená, že teprve postavením nového 8 m valu byly splněny hygienické limity u stávající zástavby. *Odbor stavebního úřadu, územního plánování a památkové péče Městského úřadu Brandýs nad Labem-Stará Boleslav* poskytl informaci, že v době stavby 5 m vysokého valu bylo součástí protihlukových opatření ke stávající zástavbě ještě navržení ochranné zeleně. Ta by však nebyla dostačující pro nově plánovanou zástavbu, proto zde byl vybudován nový 8 m vysoký val v době, kdy ochranná zeleň ještě fyzicky neexistovala. Nový 8 m vysoký val však nemohl být z důvodu majetkoprávních vztahů postaven v dostatečné šířce, aby opticky zakryl celou dálnici D10. Výrazná prostorová proluka o šířce přibližně 50 m tak vznikla na parcele č. 276/42.

Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku ve variantě současného stavu – tedy se všemi valy zobrazenými na Obr. 16, splňují hygienický limit ve všech bodech v denní době. V noční době je hygienický limit překročen v bodech N20–N26. Důvodem zhoršených výsledků v těchto bodech je zalomení valu. Tedy skutečnost, že val opticky nezakrývá severní část výstavby a také odklon valu od dálnice, čímž není dodržena zásada navrhování opatření co nejbliže ke zdroji hluku.

Tab. 9: Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v kontrolních výpočtových bodech v lokalitě Na Panském bez opatření a se stávajícím 8 m zemním valem.

Imisní bod	Bez valu		Zemní val o výšce 8 m		Rozdíl	
	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)
S1	58,1	50,2	57,5	49,5	-0,6	-0,7
S2	57,9	49,9	56,6	48,7	-1,3	-1,2
S3	58,0	50,0	56,0	48,1	-2,0	-1,9
S4	58,6	50,6	55,9	47,9	-2,7	-2,7
S5	58,3	50,3	56,1	48,1	-2,2	-2,2
N1	59,7	51,7	57,5	49,5	-2,2	-2,2
N2	59,9	51,9	57,7	49,7	-2,2	-2,2
N3	60,0	52,0	57,6	49,6	-2,4	-2,4
N4	60,1	52,1	57,6	49,6	-2,5	-2,5
N5	60,3	52,3	57,7	49,7	-2,6	-2,6
N6	60,5	52,5	57,8	49,8	-2,7	-2,7
N7	60,6	52,6	57,9	49,9	-2,7	-2,7
N8	60,5	52,5	57,5	49,5	-3,0	-3,0
N9	60,9	52,9	57,8	49,7	-3,1	-3,2
N10	60,9	52,9	57,8	49,8	-3,1	-3,1
N11 (M1)	61,1	53,1	58,0	49,9	-3,1	-3,2
N12	61,1	53,1	57,8	49,8	-3,3	-3,3
N13	61,1	53,1	57,8	49,8	-3,3	-3,3
N14	61,2	53,2	57,7	49,7	-3,5	-3,5
N15	61,3	53,3	57,5	49,5	-3,8	-3,8
N16	61,0	53,0	57,3	49,3	-3,7	-3,7
N17	61,2	53,2	57,8	49,7	-3,4	-3,5
N18	61,2	53,2	57,9	49,9	-3,3	-3,3
N19	61,2	53,1	58,0	50,0	-3,2	-3,1
N20	61,1	53,1	58,2	50,1	-2,9	-3,0
N21	61,1	53,1	58,4	50,4	-2,7	-2,7
N22	61,0	53,0	58,6	50,6	-2,4	-2,4
N23	61,1	53,1	58,8	50,8	-2,3	-2,3
N24	61,1	53,1	59,0	51,0	-2,1	-2,1
N25	60,7	52,7	59,0	51,0	-1,7	-1,7
N26	60,3	52,3	59,1	51,1	-1,2	-1,2

6.1.2 Navržení doplňujícího opatření respektujícího stávající situaci

Na základě překročení hygienického limitu $L_{Aeq,8 h} = 50 \text{ dB}$ pro noční dobu v bodech N20–N26 bylo navrženo doplňující protihlukové opatření v prostoru severně od 8 m zemního valu. V místech v přímém směru mezi plánovanými domy, u kterých takto nebyl splněn limit, a dálnicí D10 se nachází zemní val o současné výšce 2 m. V modelu byl sledován pokles hodnot akustického tlaku při jeho postupném navyšování. Hygienické limity jsou splněny při navýšení valu o další 2 m, tedy na konečnou výšku 4 m. Vezmeme-li v potaz skutečnost, že se zde dálnice D10 nachází v 1 m hlubokém

zářezu, dohromady se koruna zemního valu nachází ve výšce 5 m nad povrchem komunikace. Navýšený val je zobrazen na Obr. 25.

Obr. 25: Zobrazení navýšeného zemního valu – pohled na sever



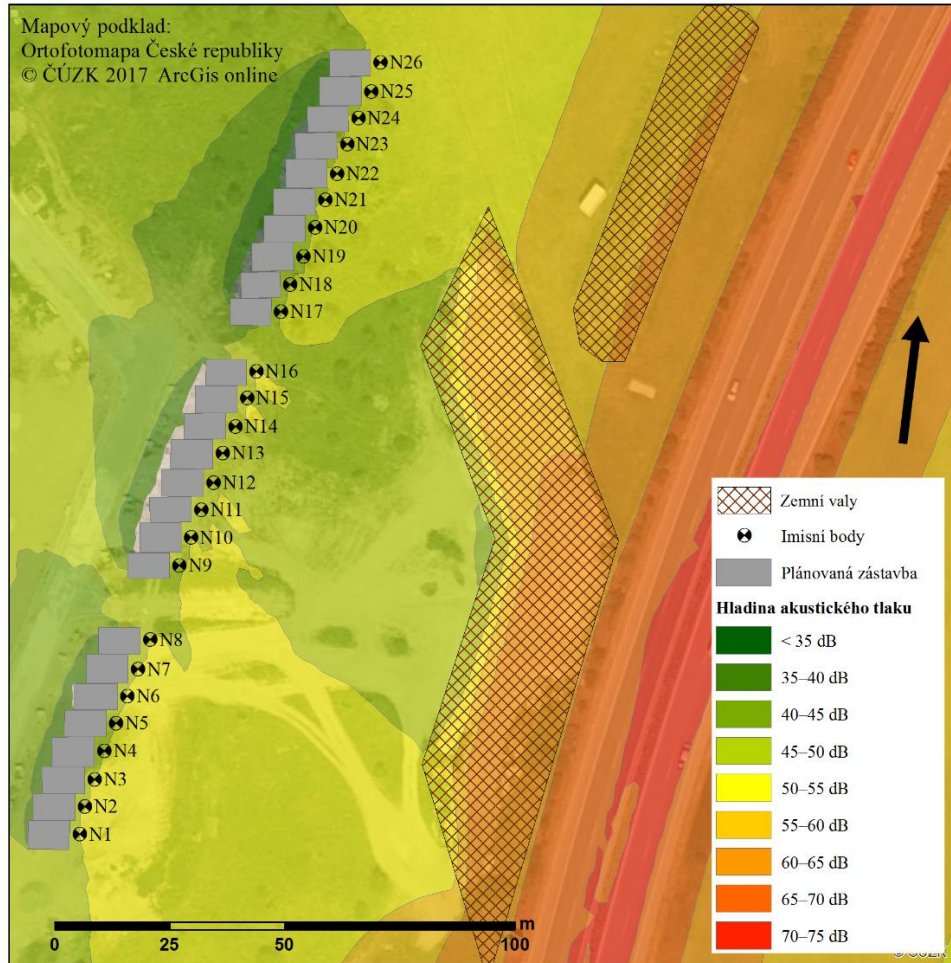
Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v kontrolních výpočtových bodech (N17–N26) ve variantě se stávajícími protihlukovými opatřeními a ve variantě s navrhovanou úpravou jsou uvedeny v Tab. 10.

Tab. 10: Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v kontrolních výpočtových bodech pro stávající situaci protihlukových opatření a pro situaci navrhovanou

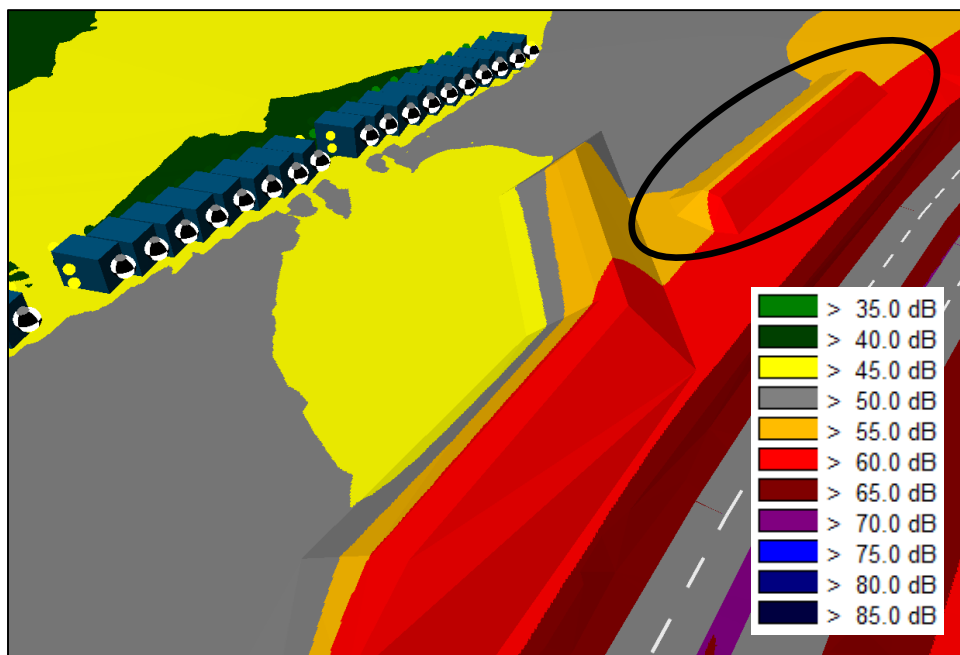
Imisní bod	Stávající situace		Při navýšení valu o 2 m		Rozdíl	
	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)
N17	57,8	49,7	57,3	49,3	-0,5	-0,4
N18	57,9	49,9	57,3	49,3	-0,6	-0,6
N19	58,0	50,0	57,2	49,2	-0,8	-0,8
N20	58,2	50,1	57,2	49,2	-1,0	-0,9
N21	58,4	50,4	57,2	49,2	-1,2	-1,2
N22	58,6	50,6	57,3	49,3	-1,3	-1,3
N23	58,8	50,8	57,4	49,4	-1,4	-1,4
N24	59,0	51,0	57,6	49,6	-1,4	-1,4
N25	59,0	51,0	57,6	49,6	-1,4	-1,4
N26	59,1	51,1	57,7	49,7	-1,4	-1,4

Na Obr. 26 je pomocí hlukové mapy vytvořené v softwaru ArcGis zobrazena současná akustická situace za zemními valy v noční době.

Obr. 26: Zobrazení akustické situace v noční době za zemními valy v lokalitě Na Panském – současná podoba zemních valů



Obr. 27: Znázornění akustické situace v noční době po navýšení severního valu (černě označeno) na výšku 4 m, 3D zobrazení v prostředí softwaru CadnaA



7 Diskuze

V této kapitole jsou diskutovány jednak výsledky provedené případové studie, jednak jsou prezentovány zásady a doporučení využitelné v oblasti navrhování územních plánů, projektování pozemkových úprav nebo i dalších, například dopravně-inženýrských staveb. Kromě výsledků provedené případové studie v lokalitě Na Panském vycházejí zásady a doporučení i z existující literatury týkající se šíření zvuku, vlivu hluku na životní prostředí, modelování hluku a následné eliminace dopadů pomocí protihlukových opatření. Oba zdroje informací jsou následně vzájemně doplněny a konfrontovány. Předkládaný materiál pomůže přiblížit obecné principy řešení hlukové problematiky v otevřené krajině především oborům, kterých se v současnosti dotýká jen okrajově. Například zmíněnému procesu územního plánování, při kterém nejsou podklady týkající se hluku vyžadovány a nejsou ani zmíněny v zákoně. Autor si tedy klade za cíl předložit materiál, díky kterému bude možno částečně předejít střetům mezi životním prostředím na straně jedné a rozvíjejícím se průmyslem, infrastrukturou a hospodářstvím na straně druhé. Pozitivem může být například snížení nutnosti výstavby protihlukových stěn, jejichž nadměrné uplatňování může negativně ovlivnit krajinu co do estetičnosti, její prostupnosti či zvyšování mortality živočichů (Šimlerová et Anděl 2008).

7.1 Komentář ke stávající situaci v lokalitě Na Panském

Současný stav zemních valů neodpovídá ideálnímu řešení odstranění hlukové zátěže. Špatné prostorové umístění valu a jeho následné výškové předimenzování z důvodu snahy o splnění hygienických limitů zapříčiňuje další problémy, které bude nutné v budoucnu řešit. Dále porovnejme např. potřebu zeminy nutnou k vybudování stávajícího 8 m vysokého valu a valu o stejné účinnosti situovaného v podélném rozsahu přímo u dálnice bez prostorových proluk. Budeme-li uvažovat délku stávajícího valu 130 m, šířku paty 27 m, šířku koruny 3 m a sklon svahů 1 : 1,5, pak se bude objem zeminy potřebné k jeho vybudování rovnat bezmála 16 000 m³. V případě druhé varianty⁹, tedy 360 m dlouhého valu o výšce 2,5 m, šířce paty 10,5 m, šířce koruny 3 m a sklonu svahů 1 : 1,5, bude potřeba pouze 6 000 m³. To je značný nepoměr nehledě k tomu, že nižší val ochrání ještě větší území. Plocha záboru pozemků zemními valy zůstává v obou případech přibližně stejná. Jako pozitivum stávající varianty lze vnímat existenci plochy plánované jako veřejné prostranství, na které se ekvivalentní hladiny

⁹ Výška ekvivalentního valu o stejné účinnosti byla odečtena z grafu na Obr. 31.

akustického tlaku v denní i noční době pohybují hluboko pod stanovenými limity. Dále je třeba zmínit i možnost uplatnění doplňujících pásů ochranné zeleně ve zmiňovaných prolukách. Uplatnění tohoto prvku však nevylučují ani ostatní varianty.

7.2 Zhodnocení výsledků navrhovaných hypotetických opatření

V Tab. 11. jsou souhrnně uvedeny hodnoty snížení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A pro jednotlivá opatření. Ve výpočtu výsledných hodnot byly uvažovány pouze výpočtové body na plánované zástavbě – tedy body N1–N26.

Tab. 11: Snížení ekvivalentní hladiny akustického tlaku jednotlivými opatřeními

Protihlukové opatření		Minimální snížení		Maximální snížení		Průměrná hodnota snížení	
		Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)
1.	Vegetační pás široký 20 m	1,0	1,0	1,4	1,4	1,2	1,2
2.	Vegetační pás široký 30 m	1,4	1,4	2,0	2,0	1,8	1,8
3.	Vegetační pás široký 40 m	1,7	1,7	2,7	2,7	2,3	2,3
4.	Vegetační pás široký 50 m	2,1	2,1	3,4	3,4	2,9	2,9
5.	Stávající 8 m vysoký zemní val	1,2	1,2	3,8	3,8	2,8	2,8
6.	Zemní val o výšce 2 m	2,1	2,0	2,5	2,5	2,3	2,3
7.	Zemní val o výšce 3 m	2,9	2,9	3,9	3,9	3,5	3,5
8.	Zemní val o výšce 6 m	4,1	4,1	6,6	6,6	5,7	5,7
9.	Protihluková stěna o výšce 2 m	1,5	1,4	2,1	2,1	1,9	1,8
10.	Protihluková stěna o výšce 3 m	2,8	2,8	3,6	3,6	3,3	3,3

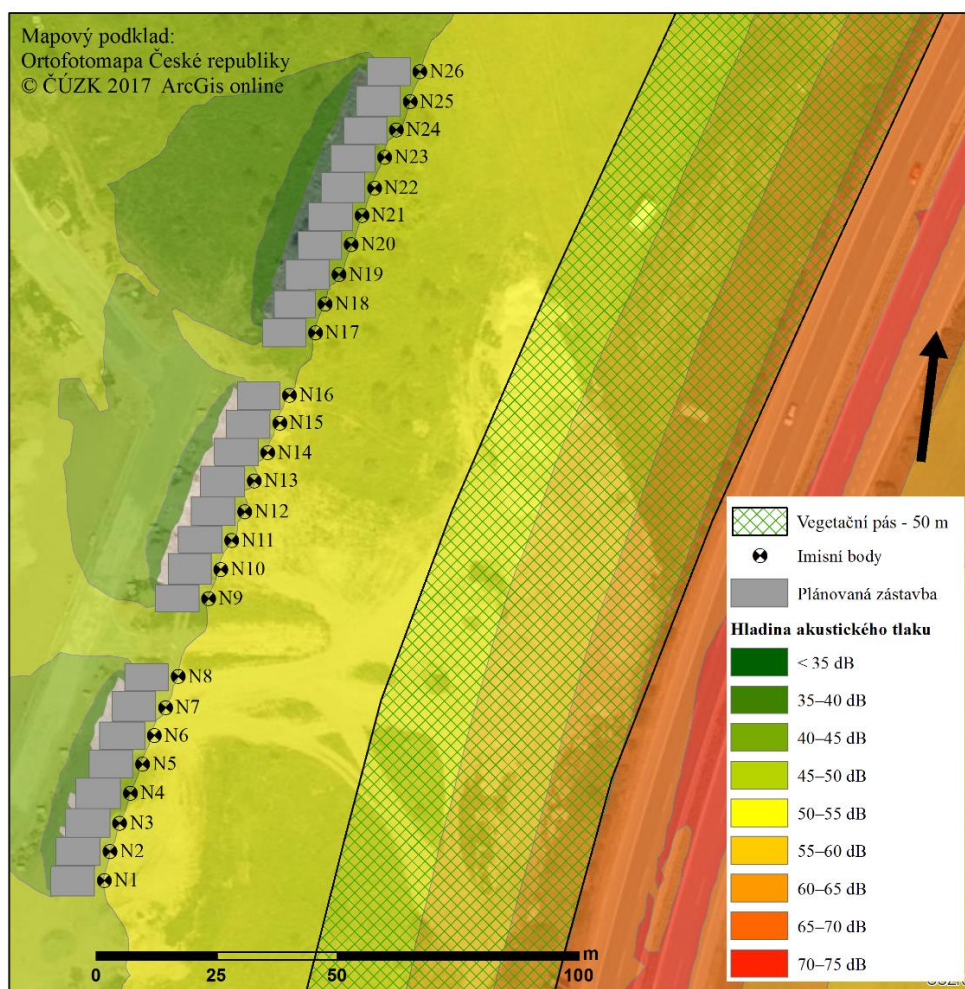
7.3 Účinnost a využití zeleně

Vegetační pásy při návrhu protihlukových opatření byly v této lokalitě modelovány především pro porovnání účinnosti různých šířek a pro porovnání s jinými druhy opatření. Uvažovat tuto variantu v případě chráněných staveb není vhodné. Negativem je především to, že se výsledek ochranné funkce dostaví až v delším časovém horizontu, a skutečnost, že opadavé stromy tuto funkčnost v době vegetačního klidu částečně ztrácí. Důležitým výsledkem je názorné představení nárůstu útlumu hluku při nárůstu šířky pásu. Pozici účinnosti ve srovnání s ostatními opatřeními je třeba vnímat relativně k dalším skutečnostem. Míra účinnosti je velice variabilní v případě různé druhové skladby porostu. Při návrhu vegetačního pásu je dále zapotřebí zohledňovat jeho budoucí strukturu, tedy zastoupení jednotlivých pater a budoucí výšku. Útlum pomocí vegetace lze v modelu (software CadnaA) korigovat právě pouze nastavením výšky

porostu. Z tohoto důvodu je nutné výše zmíněné parametry do výpočtu zahrnout prostřednictvím kalibrace (nastavením výšky) na hodnoty uváděné autory, kteří prováděli porovnání útlumu v různých druzích porostu.

Z výsledků průměrných hodnot snížení lze vysledovat, že při 8 m vysokém vegetačním pásu software CadnaA počítá s hodnotou snížení akustického tlaku o přibližně 0,6 dB na každých 10 m šířky pásu. Na Obr. 28 je znázorněna akustická situace za 50 m širokým vegetačním pásem. V případě lokality Na Panském by se jednalo o minimální šířku vegetačního pásu s takovou účinností, která by zajistila snížení hluku pod stanovený hygienický limit v noční době.

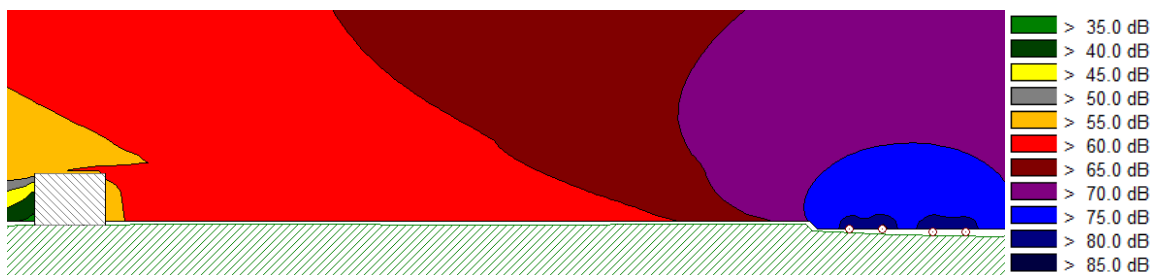
Obr. 28: Znázornění akustické situace za 50 m širokým vegetačním pásem v noční době



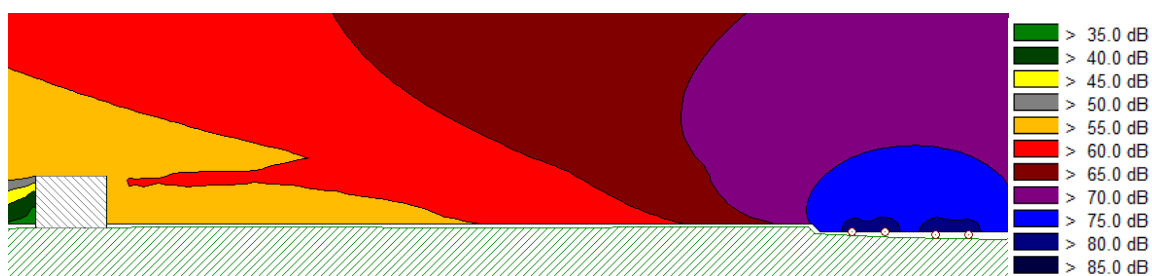
Obr. 29 a Obr. 30 znázorňují rozdíl akustické situace v denní době za 20 m a 50 m širokým vegetačním pásem. Místo příčného řezu je zobrazeno na Obr. 20. Vzdálenost navrhované zástavby od krajnice komunikace je zhruba 100 m. Z těchto příčných řezů lze odečíst přibližnou vzdálenost posunu rozhraní mezi dvěma hlukovými pásmy s pětidecibellovým rozdílem. Průměrný rozdíl účinnosti snížení hluku mezi 20 m a 50 m

širokým pásem je přibližně 1,7 dB. V tomto případě by to dle hygienického limitu $L_{Aeq,16h} = 60 \text{ dB}$ v denní době znamenalo ochránění téměř poloviny řešeného území, tedy celého prostoru mezi plánovanou zástavbou a hranicí 50m vegetačního pásu. Toto tvrzení by však platilo pouze tehdy, kdybychom uvažovali akustickou situaci těsně nad terénem. Jak je patrné ze zmíněných příčných řezů, hladina akustického tlaku se vertikálně mění, ať už ohybem zvukových vln přes vegetaci, nebo z důvodu odrazů od fasád objektů.

Obr. 29: Profil vertikálního šíření hluku s 20 m širokým vegetačním pásem v denní době



Obr. 30: Profil vertikálního šíření hluku s 50 m širokým vegetačním pásem v denní době



V teoretické rovině lze výsledky útlumu vegetačními pásy porovnat s výpočtem dle vztahu (1), který uvádí Liberko (2005). Dle tohoto vztahu vychází útlum pro 20 m hluboký pás 4,8 dB, pro 50 m hluboký pás dokonce 12,1 dB. To je znatelně větší útlum, který je patrně způsoben ještě větším zjednodušením, jelikož vztah neuvažuje ani zmíněnou výšku porostu.

Pro zohlednění druhové skladby a dalších parametrů lze porovnat výsledky útlumu například s měřením Křečkové (2009), která zjišťovala útlum hluku vegetací na celkem 78 stanovištích v různých vzdálenostech od zdroje hluku. Snížení hladiny akustického tlaku o 2 dB v referenční vzdálenosti 30 m odpovídá například porostu borovice černé (*Pinus nigra*) či modřínu opadavého (*Larix decidua*) s viditelností v porostu na 20 m a s obdobnou výškou, jaká byla nastavena v modelu. V porovnání s výsledky útlumu jiných typů porostu má tento relativně malou účinnost. V případě borovice černé je výhodou, že se tato účinnost v průběhu roku nemění.

Vegetační pás s takovýmto útlumem, tedy o 2 dB při šířce 30 m, lze srovnat s 2 m vysokou PHS umístěnou u zdroje hluku. K obdobnému konstatování dospěl

i Kniesel (2016). Vegetační pás široký 50 m pak zhruba odpovídá PHS o výšce 3 m.

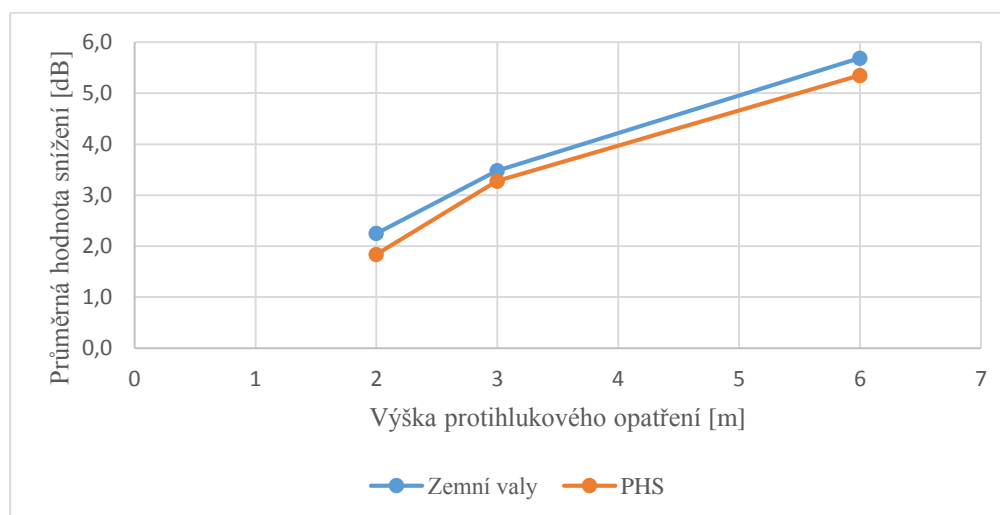
Jak již bylo uvedeno, návrh zeleně jako protihlukového opatření není zcela vhodný pro ochranu chráněných staveb, kde je nutné zajistit trvalé snížení hluku pod stanovený limit v průběhu celého roku. Vhodné uplatnění tohoto opatření vidím v ochraně veřejných prostor, například částí městských parků, u kterých lze zajistit dostatečný prostor pro realizaci. Se sezónní změnou účinnosti vegetace se zde v přímé úměře mění i pohyb osob a délka jejich pobytu. Kromě možnosti částečné integrace ploch vegetačního pásu do parku samotného je třeba vnímat přidanou hodnotu tohoto řešení i v dalších oblastech, jako je ochrana ovzduší a v neposlední řadě také estetická složka.

7.4 Účinnost a využití zemních valů

Z výsledků provedené studie vyplývá, že zemní val v porovnání s PHS je při stejné výšce 2 m účinnější o 0,5 dB. V případě srovnání valu a stěny vysoké 3 m je tento rozdíl menší – o 0,2 dB.

Pro názorné zobrazení účinnosti PHS a zemních valů a vzájemné porovnání s výsledky jiných autorů byly hodnoty snížení hluku za těmito opatřeními interpolovány pro různou výšku opatření - Obr. 31.

Obr. 31: Porovnání účinnosti PHS se zemními valy¹⁰



Porovnáme-li účinnost nového 8 m vysokého valu s valy, které byly modelovány tak, aby opticky chránily zástavbu v celé její šířce, dospějeme k závěru, že je o 0,7 dB účinnější již 3 m vysoký val. To je způsobeno nevyhovujícím tvarováním, umístěním a především rozsahem 8 m valu. Snížení účinnosti 8m valu u objektů s výpočtovými body

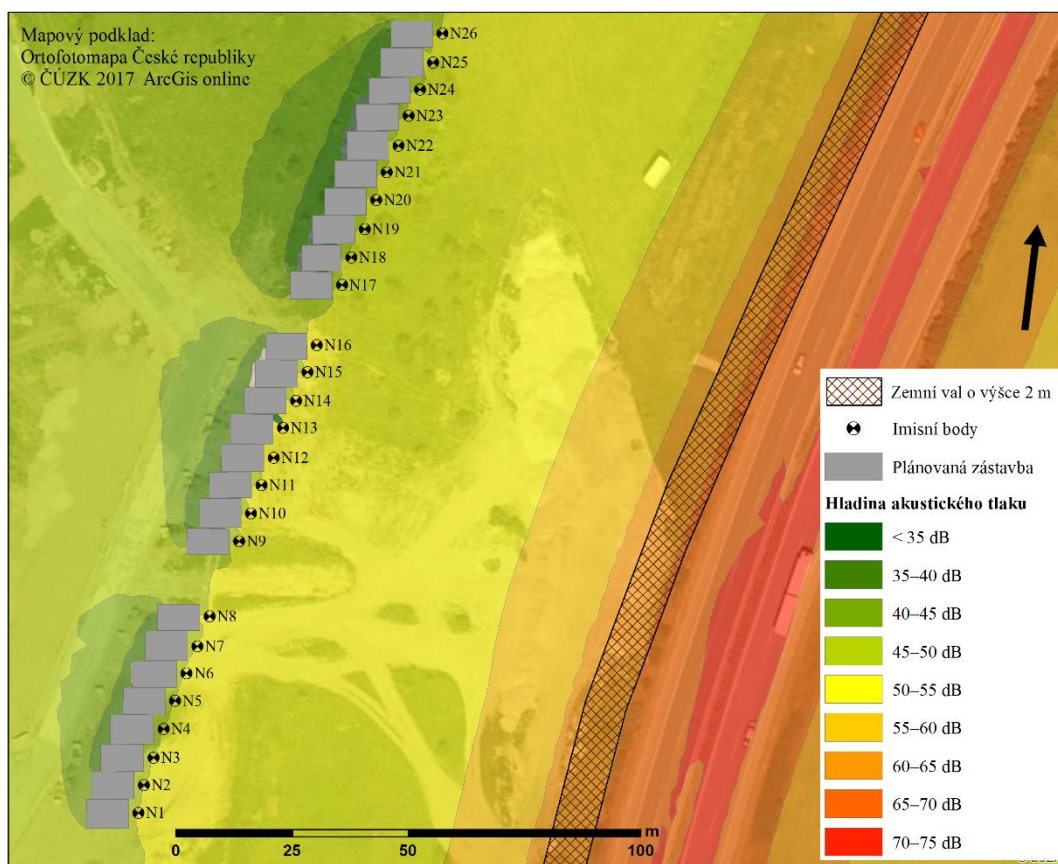
¹⁰ Výsledky průměrné hodnoty snížení akustického tlaku pro variantu 6 m vysoké PHS byly dopočítány pouze pro vhodné doplnění hodnot v grafu na Obr. 31. V lokalitě Na Panském nebyla tato varianta uvažována.

N20–N26, respektive vyšší hodnoty ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, reprezentuje vzestup (žluté) křivky v pravé části grafu - Obr. 21 a Obr. 22.

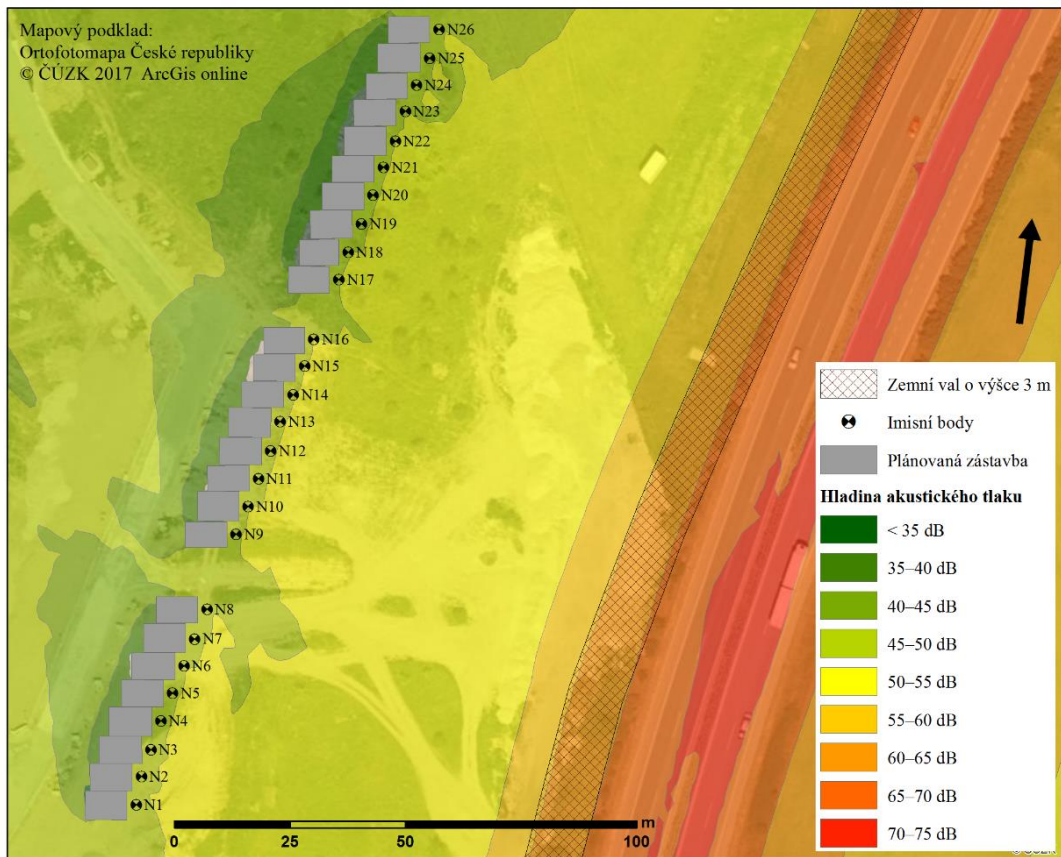
Defrance et al. (2015) zkoumá účinnost různých tvarů zemních valů, přičemž si jako referenční výšku volí 4 m. U zemního valu obdobného tvaru, jako byl užit v této případové studii, uvádí průměrnou hodnotu snížení ekvivalentní hladiny akustického tlaku A nad 3 dB. Pro porovnání výsledků s jinými autory je třeba si uvědomit, že se patami námi navrhovaných valů nachází 1–1,5 m nad komunikací. Budeme-li uvažovat tuto skutečnost, pak lze zmíněnou hodnotu srovnávat s účinností 3 m vysokého valu (tedy s výškou jeho koruny 4–4,5 m nad komunikací), u kterého vyšla průměrná hodnota snížení o 3,5 dB. Defrance et al. (2015) dále uvádí, že průměrné snížení u valu s kolmou stěnou na straně komunikace při stejné výšce může přesahovat 6 dB.

Na Obr. 32 je znázorněna akustická situace za zemním valem vysokým 2 m v noční době. Hygienický limit $L_{Aeq,8h} = 50$ dB pro noční dobu by byl v tomto případě překročen, a val by tak nebyl dostačující.

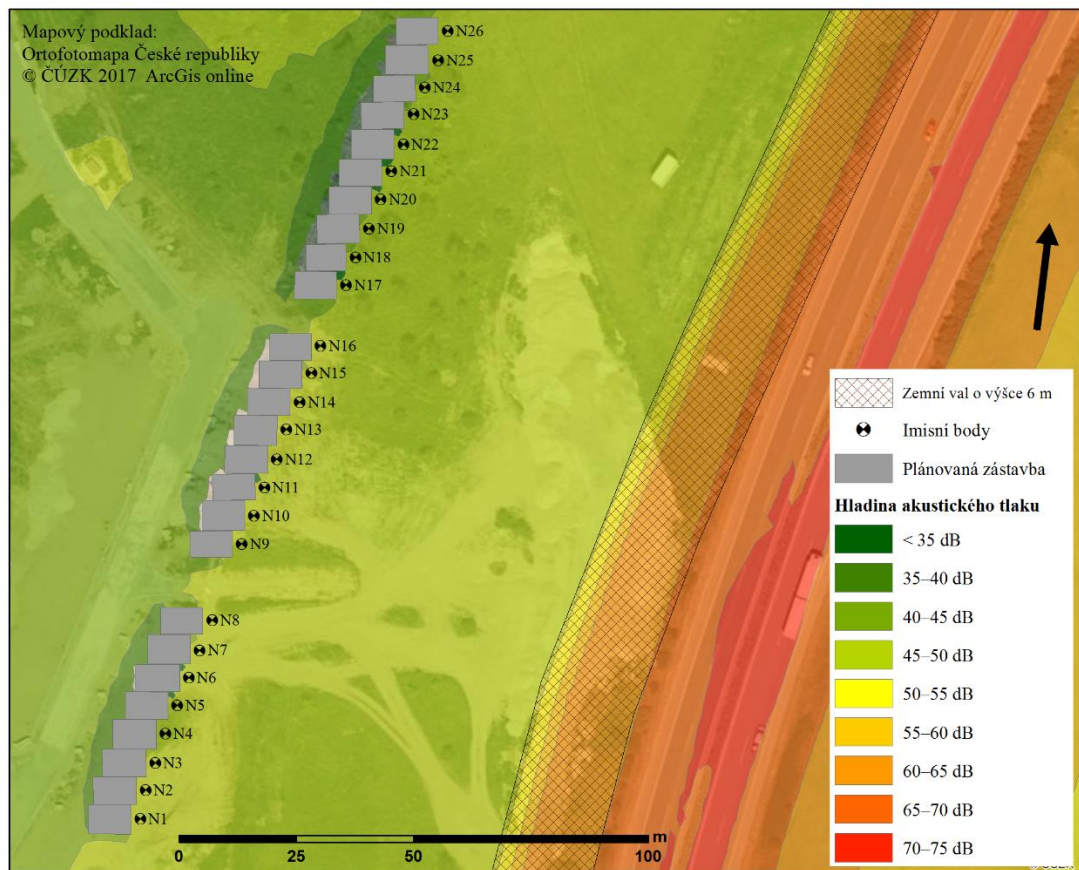
Obr. 32: Zobrazení akustické situace za zemním valem vysokým 2 m v noční době



Obr. 33: Zobrazení akustické situace za zemním valem vysokým 3 m v noční době



Obr. 34: Zobrazení akustické situace za zemním valem vysokým 6 m v noční době

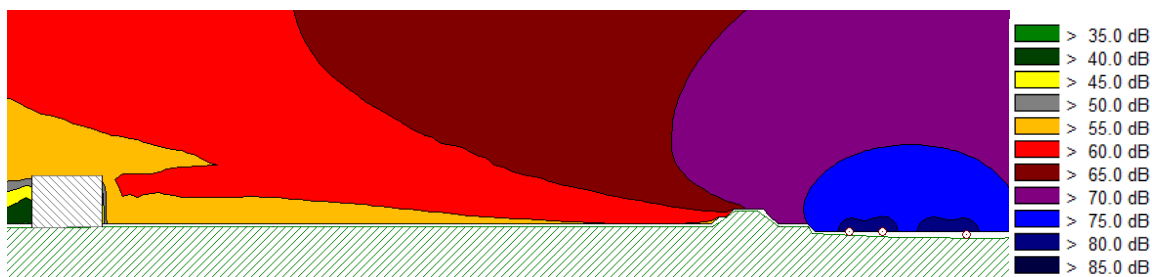


Obr. 33 zobrazuje stejnou situaci s valem o 1 m vyšším. Stejný hygienický limit by v tomto případě byl splněn ve všech výpočtových bodech. Celé území mezi navrhovanou zástavbou a zemním valem¹¹ se však v tomto případě nachází v pásmu nad 50 dB v noční době. Přibližně 10 m široký pruh za zemním valem (na druhé straně od komunikace) pak představuje pásmo překračující 55 dB.

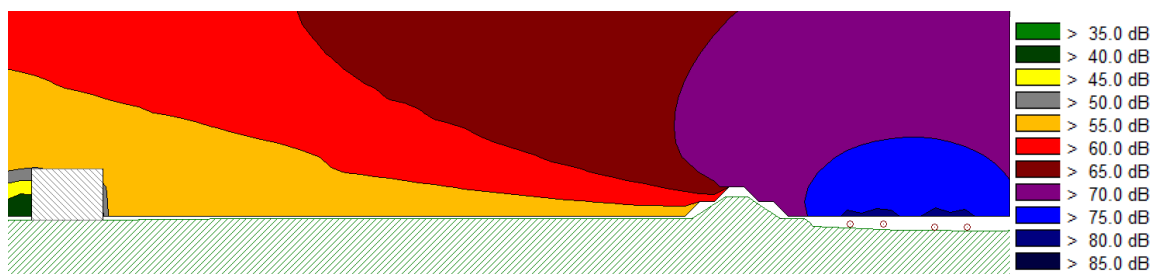
Plně ochráněné území vzhledem k hygienickým limitům je ve variantě s valem vysokým 6 m (Obr. 34). V tomto případě jsou ekvivalentní hladiny akustického tlaku pod limitem pro noční dobu ve všech místech ve výšce 4 m nad terénem v prostoru od zástavby až k patě valu.

Vertikální změnu ekvivalentních hladin akustického tlaku v denní době lze vysledovat na Obr. 35, Obr. 36 a Obr. 37.

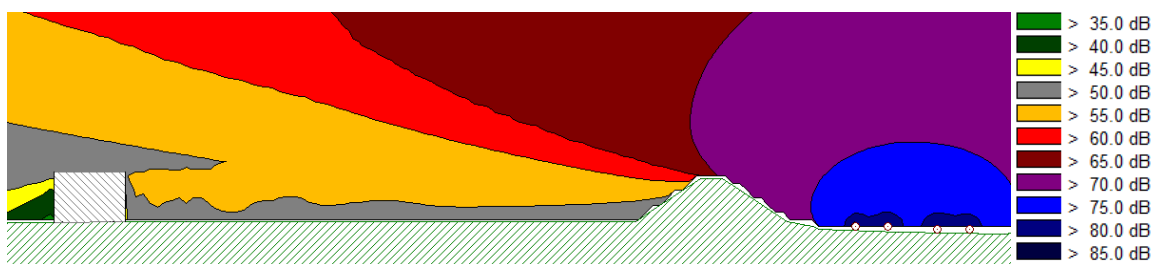
Obr. 35: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokým zemním valem v denní době



Obr. 36: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokým zemním valem v denní době



Obr. 37: Profil vertikálního šíření hluku s 6 m vysokým zemním valem v denní době

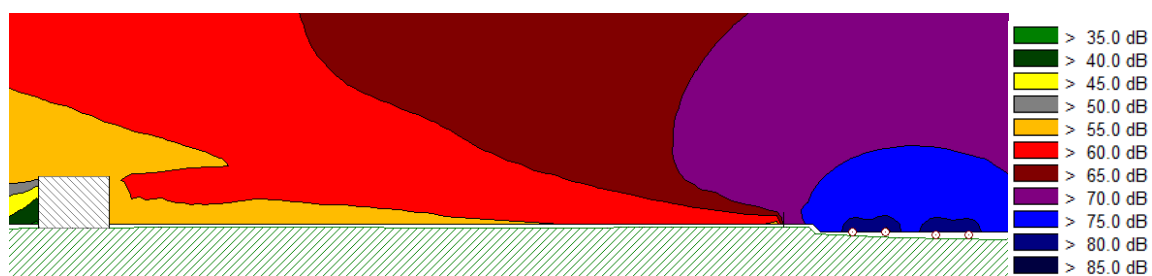


¹¹ Hlukové mapy zobrazují akustickou situaci ve výšce 4 m nad terénem. To je výška výpočtových bodů, tedy výška oken v 2. NP. Vztahujeme-li hodnocenou situaci na povolování chráněných staveb v blízkosti zdroje hluku, je hodnocení akustické situace v této výšce ideální, neboť odshora směrem k terénu ekvivalentní hladina akustického tlaku za bariérami tohoto typu klesá.

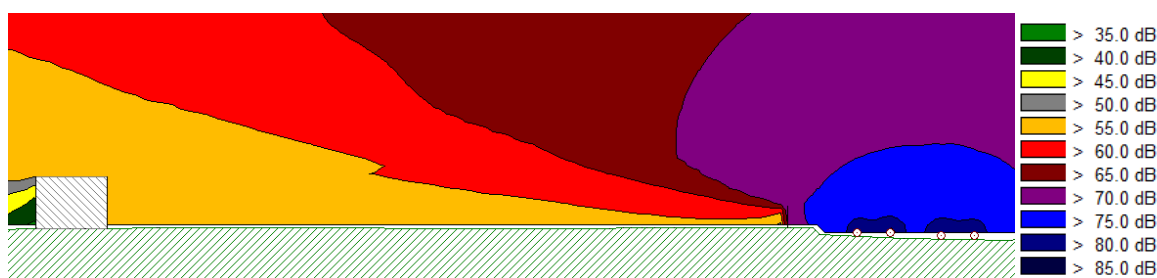
7.5 Účinnost a využití PHS

Porovnání účinnosti PHS bylo provedeno již v předchozích kapitolách. Účinnost PHS vysoké 2 m odpovídá pásu zeleně o popsanych parametrech širokému 30 m. Po interpolaci výsledků lze dospět k závěru, že pro dosažení stejné účinnosti jako u 3 m vysoké PHS by bylo zapotřebí realizovat zhruba 56 m široký vegetační pás. Pro porovnání se zemními valy a vegetačními pásy je akustická situace za 2 m a 3 m vysokou PHS znázorněna na příčných řezech na Obr. 38 a Obr. 39.

Obr. 38: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokou PHS v denní době



Obr. 39: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokou PHS v denní době



Účinnost snížení hluku 2 m a 3 m vysokou PHS je znázorněna v dokumentu novozélandské dopravní agentury NZ Transport Agency (2010) - Obr. 40. Při porovnávání výsledků je opět třeba uvažovat vyšší umístění PHS nad tělesem komunikace v lokalitě Na Panském.

Obr. 40: Porovnání akustické situace za 2 m a 3 m vysokou PHS (NZ Transport Agency)



V tomto případě však není vhodné výsledky srovnávat, neboť uvedené schéma je založeno na výpočtu z intenzitou dopravy o 25 000 vozidel pro celou 24hodinovou dobu. V případě lokality Na Panském byly celodenní intenzity dopravy dvojnásobné. Průměrná celodenní ekvivalentní hladina akustického tlaku pro výpočtové body N1–N26 pro 2m PHS vychází po sečtení ekvivalentní hladiny pro denní a noční dobu dle vztahu (2) $L_{dvn} = 56,2$ dB. To je hodnota skoro o 5 dB vyšší patrně především z důvodu zmíněných dvojnásobných intenzit.

7.6 Postup řešení hluku v rámci krajinného plánování

Při krajinném plánování je zapotřebí zohledňovat řadu aspektů. Hodnocení lokality z hlediska hlukové zátěže pak vychází z potřeb budoucího rozvoje území. Ne vždy postačí pouhý prvotní vhled a v případech stanovených zákonem přichází na řadu odborné stanovisko v podobě měření hluku a vypracování hlukové studie. Mimo tyto situace však existuje řada případů, kdy je o území rozhodováno nepřímou. Tímto případem může být například tvorba katastru, konkrétně parcelizace pozemků, kvůli které se může vývoj území především skrze postupnou neřízenou změnu majetkoprávních vztahů ubírat nevyhovujícím směrem ve vztahu k akustické situaci území, viz lokalita Na Panském.

7.6.1 Krajinné a pozemkové úpravy

Proces krajinných a pozemkových úprav může toto nevhodné členění řešit v rámci tvorby plánu společných zařízení. V tomto případě jsou však řešeny většinou již existující problémy a jejich náprava není v případě krajinných a pozemkových úprav realizovatelná efektivně a s jasně daným, příp. i legislativně ošetřeným postupem. Zlepšování akustických situací v rámci úprav katastrů lze tedy realizovat pouze výjimečně, je-li tomu nakloněna obec, příp. vlastníci pozemků.

Pro názorný příklad uveďme pozemkovou úpravu, která probíhala v obci Hněvnice na Plzeňsku. Tato obec se nachází v bezprostřední blízkosti dálnice D5. Část obyvatel této obce si stěžovala na nadměrný hluk a požádala projektanty pozemkových úprav o nápravu nevyhovující situace. Ti se po poradě s odborníky pokusili navrhnout přibližně 100 m široký pás vegetace podél dálnice. Navrhnuté řešení však bylo z konečného návrhu vyjmutu z důvodu nevyčlenění příslušných pozemků kolem dálnice. Vlastníky těchto pozemků byli právě obyvatelé, kterých se zatížení hlukem přímo týkalo. Svůj původní požadavek nakonec stáhli, protože by se realizace zeleného pásu dotkla jejich vlastnictví (Jan Liška III. 2017, in verb.). Majitelé pozemků v tomto případě ponechali prostor pro realizaci protipovodňových prvků, u kterých se výsledek projeví

znatelněji¹² a na které přispěla částí pozemků většina obyvatel obce. Tento příklad popisuje typickou překážku, kvůli které se návrh z projektu často vypustí. Například Liberko (1991) zdůrazňuje nutnost projektování velkokapacitních komunikací a křižovatek s dostatečnou územní rezervou pro výsadbu pásů zeleně s dalšími ochrannými zařízeními. Řešení hluku tímto způsobem však podle uvedeného příkladu závisí na vůli konkrétních osob, výrazně lépe se prosazují opatření podněcované přímo obcí, která může poskytnout prostředky, ať už finanční, či v podobě směnných pozemků. Ta se však často logicky za nápravou dovolává ke správci komunikací, který zase nemá potřebné pozemky, aby situaci řešil „krajinařským“ způsobem. V takovýchto případech, zejména při stavbě nových komunikací, by pak muselo docházet k výkupu širokých pásů pozemků, což by s sebou samozřejmě neslo řadu dalších problémů.

Pakliže tedy budeme uvažovat nad touto problematikou v rovině krajiny a estetické, přijatelnější je varianta řešení hluku v podobě prostorového uspořádání funkčních ploch, která ve své podstatě eliminuje potřebu protihlukových opatření. V případě řešení situace v katastrálním území obce Hněvnice se však realizace nové plochy (lesa) stává samotným protihlukovým opatřením, které je potřebou záboru velké plochy pozemků v porovnání s výstavbou např. PHS velice nákladné.¹³ I projektanti pozemkových úprav tak často v těchto případech odkazují obyvatele na orgán ochrany veřejného zdraví, který akustickou situaci prověří. V lepším případě jsou navržena protihluková opatření dle standardního postupu, v opačném případě se situace nijak nevyřeší.

7.6.2 Územní plánování

Změna může nastat při komplexním řešení území v dlouhodobém časovém horizontu v procesu územního plánování. I ve fázi plánování území se však tato situace řeší zatím pouze orientačně. To podporuje i fakt, že při tvorbě územního plánu nejsou podklady k akustické situaci území podmínkou. V praxi to znamená, že jsou zpracovatelé plánu odkázáni na „selský rozum“ či vlastní výpočty, v horším případě to může znamenat jistou volnost při zpracování plánu. Jestliže není součástí tvorby plánu jako podklad hluková studie, erudovaní zpracovatelé využívají ke zjištění akustické situace vlastní výpočty dle zmíněného dokumentu *Výpočet hluku z automobilové dopravy, manuál 2011*. Zde uvedené vztahy lze využít k rámcovému odhadu hodnot akustického tlaku pro určité

¹² Ve smyslu bezprahových účinků hluku v porovnání s povodňovými škodami.

¹³ Budeme-li uvažovat, že se z principu protihlukové ochrany nebude jednat o hospodářský les.

vzdálenosti od komunikace např. pomocí tabulkových kalkulátorů. Velice těžko lze však v těchto případech postihnout další vstupy – například odrazy či vliv terénu (Jiří Hrnčíř II. 2017, in verb).

Potužníková et al. (2014) zkoumá možnosti uplatnění SHM pro potřeby územního plánování. Zdůrazňuje, že existuje rozdíl mezi operativním státním zdravotním dozorem dle zákona č. 258/2000 Sb., a strategickým hlukovým mapováním, které je pořizováno za účelem dlouhodobého snižování hlukové zátěže a je pro něj charakteristická konkrétní nadnárodní metodika.

Značnou nevýhodou SHM je fakt, že jsou vypracovány pouze v určitých oblastech kolem hlavních komunikací. Není tedy možné je uvažovat jako obecnou informaci o zatížení hlukem celoplošně. Další otázkou je, jakým způsobem v této souvislosti přistupovat k uváděným deskriptorům, tedy L_{dvn} a L_n . První z nich představuje hlukové zatížení v časovém rozmezí celého dne, tím se zásadně liší od hlukových ukazatelů uvažovaných v české metodice. V úvahu připadá ukazatel L_n , který představuje ekvivalentní hladinu hluku pro 8 nočních hodin, tak jak je to i v případě hodnocení hluku dle nařízení vlády č. 272/2011 Sb., v platném znění. Dále je nutné si uvědomit další odlišnosti, například skutečnost, že metodika užitá v případě SHM mírně nadhodnocuje v porovnání s hlukovými mapami vytvářenými pro potřeby hodnocení na konkrétních lokalitách - je tedy přísnější. Otázkou je také přesnost modelů vytvářených celoplošně pro tak rozsáhlá území.

Přesto lze dle mého názoru s vědomím zmíněných skutečností v případě existence SHM v místech tvorby územních plánů využít je jako základní orientační podklad, díky kterému lze volit další postupy při zpracování.

7.6.3 Další doporučení z hlediska dlouhodobé strategie

Na závěr práce zde bude uvedeno několik obecných doporučení jako vhodné doplnění diskuse této práce. Jedná se zejména o aktivní opatření, tedy zajištění vývoje takového území, které by vylučovalo vznik problematických situací.

Ochranu před hlukem ve fázi vývoje území zmiňuje již Liberko (1991). Rozlišuje urbanistická ochranná opatření, mezi které patří například architektonická ochrana území. Tím se rozumí ochrana pomocí tzv. bariérových domů (jejich souvislost a situování blíže ke komunikacím), které nevyžadují protihlukovou ochranu – např. garáže, skladové prostory apod. Dalšími urbanistickými opatřeními jsou dopravně organizační opatření. Jedná se o komplexní řešení obytných souborů z hlediska funkčního uspořádání ve

vztahu k systému dopravy. Tím je myšleno vytvoření takového systému komunikací, které vyloučí vozidla z obytných ploch, která by jimi pouze projížděla.

Obr. 42: Optimálně navržená rezidenční oblast ve vztahu k eliminaci vysokých intenzit dopravy v městě Kings hill – Anglie (URL 2)



Tento koncept je třeba nejen dodržovat při plánování nových rezidenčních ploch, ale uplatňovat ho i v podobě projektování objízdných tras. V České republice v současnosti probíhá náprava situace způsobená historickým vývojem krajiny, tedy faktu, že středem spousty obcí prochází silnice I. třídy s vysokými intenzitami dopravy.

Britský autor Murphy et al. (2014) doplňuje, že je v tomto územním konceptu důležitá také efektivní návaznost prostředků hromadné dopravy na dopravu individuální.

8 Závěr

Proces plánování a rozvoje území, při kterém je zachován soulad všech dílčích složek včetně požadavku na snižování hluku, je velice komplikovaný a vyžaduje komplexní řízení a pevně stanovenou postupnost v dlouhotrvajícím časovém horizontu.

Jako orientační pomůcka při prostorovém řešení území mohou posloužit výsledky a grafické výstupy této práce. Obecně shrnout variabilitu chování hluku v různých prostředích je však velice obtížné. Výsledky vycházejí z konkrétních intenzit dopravy v konkrétní lokalitě. Není v možnostech této práce předložit komplexní např. tabulkové hodnoty pro vyhledání konkrétních situací. K získání přesných hodnot slouží provádění hlukových studií, které lépe popisují charakteristiky území – především již zmíněné konkrétní intenzity dopravy, konfigurace terénu a nastavení pohltivosti.

Výsledky práce představují účinnost jednotlivých opatření na modelové situaci – přínosem může být představa, jak velké území lze kterými opatřeními ochránit v případě kapacitních komunikací a jaká pozitiva či negativa s sebou tato opatření nesou. V návaznosti na vyzkoumané parametry hlukem zatížených oblastí byly nabyté poznatky konfrontovány s možností eliminace vznikajících konfliktů řízeným vývojem území.

V dlouhodobém hledisku je třeba vymezit taková území, která by svým rozsahem zajistila dostatečnou vzdálenost mezi oblastmi citlivými na hluk a nově vznikajícími zdroji hluku. Při tvorbě územních plánů by měla být v určitých lokalitách zařazena povinnost pořizovat akustická posouzení. Tyto lokality by následně byly voleny na základě přítomnosti komunikací s intenzitami nad stanovenou mez (například dle sčítání intenzit dopravy ŘSD z roku 2016) či dalších parametrů – jiné zdroje hluku (železnice, stacionární zdroje), blízkost významných krajinných struktur apod.

Oblasti podél kapacitních komunikací, především nejbližší části pozemků u zdroje hluku, musí být vymezeny a správně ošetřeny takovým způsobem, aby na nich dle potřeby bylo možné realizovat účinná protihluková opatření. Tzn. buď ze strany správce komunikací, či ze strany investorů staveb. V současné době, především z důvodu doplnění § 77 zákona č. 258/2000 Sb., ve znění pozdějších předpisů, je toto velice aktuální téma a bude nutné ho řešit – viz lokalita Na Panském.

Jako nezbytné vidím také vyhlášení stanovených tichých oblastí, které by chránily konkrétní lokality před imisemi hluku, a dále prozkoumání možnosti integrace kritérií na hluk již do stanovování zonace zvláště chráněných území. To buď formou úpravy stávajících, či v procesu zonace nových území.

9 Literatura a použité zdroje

- ADAMEC V., 2008: *Doprava, zdraví a životní prostředí*. Grada Publishing, a. s., Praha, 187 s. ISBN 978-80-247-2156-9.
- Akustika Praha, 2014: *Protokol o zkoušce č. 555-MHK-14, Měření hluku ze silniční dopravy po rychlostní komunikaci D10*. Praha, 6 s.
- Arch.Design, s.r.o., 2014: *Územní plán Brandýs nad Labem-Stará Boleslav, Hlavní výkres*. Arch.Design, s.r.o., Brno, online:
http://www.brandysko.cz/assets/File.ashx?id_org=904&id_dokumenty=26814, cit. 8. 10. 2016
- Atelier Arspro, 2014: *Územní studie 5 – Na Panském, Stará Boleslav*. Mladá Boleslav, online:
<http://www.brandysko.cz/uzemni-studie-na-panskem/d-32986>, cit. 8. 10. 2016
- BARTOŠ L., 2012: *Technické parametry (TP 189), Stanovení intenzit dopravy na pozemních komunikacích*. EDIP s.r.o., 76 s. ISBN: 978-80-87394-06-9.
- BUCUR V., 2006: *Urban forest acoustics*. Journal of the Acoustics Society of America 120.6: 3433–3433.
- CLARK C. S. et ZULFACAR A., 1974: *Highway noise and acoustical buffer zones*. Transportation Engineering Journal of ASCE 100.2: 389–401.
- COOK D. et VAN HAVERBEKE D., 1977: *Suburban noise control with plant materials and solid barriers*. In: HEISLER G. et HERRINGTON L. [eds]: Proceedings of the Conference on Metropolitan Physical Environment. Department of Agriculture, Forest Service Northeastern Forest Experiment Station, Philadelphia: 234–241.
- DataKustik, 2014: *CadnaA – State-of-the-art Noise Prediction Software*. DataKustik, Gilching, online: <http://www.datakustik.com/en/products/cadnaa/>
- DEFRANCE J. et al., 2015: *Innovative barriers*. In: NILSSON M., BENGTSSON J. et CLAEBOE R. [eds]: *Environmental Methods for Transport Noise Reduction*. Taylor and Francis Group, Boca Raton: 1–18. ISBN 978-0-415-67523-9.
- DUDOVÁ J. et al., 2015: *Ochrana před hlukem v přírodě a udržitelnost kvality života*. Acta Universitatis Carolinae Iuridica 2: 135–139.
- EPA, 2011: *Guidance for strategic noise mapping*. Environmental Protection Agency, Wexford, online: [https://www.epa.ie/pubs/advice/noisemapping/EPA%20Guidance%20note%20for%20Strategic%20Noise%20Mapping%20\(version%202\).pdf](https://www.epa.ie/pubs/advice/noisemapping/EPA%20Guidance%20note%20for%20Strategic%20Noise%20Mapping%20(version%202).pdf), cit. 21. 2. 2017
- ERDOGAN E. et YAZGAN M., 2009: *Landscaping in reducing traffic noise problem in cities: Ankara case*. African Journal of Agricultural Research 4.10: 1015–1022.
- FANG Ch. et LING D., 2005: *Guidance for noise reduction provided by tree belts*. Landscape and urban planning 71.1: 29–34.

- FORSSÉN J., KROPP W. et KIHLMAN T., 2015: *Introduction to traffic noise abatement*. In: NILSSON M., BENGTSSON J. et CLAEBOE R. [eds]: *Environmental Methods for Transport Noise Reduction*. Taylor and Francis Group, Boca Raton: 1–18. ISBN 978-0-415-67523-9.
- HELLMUTH T., 1998: *Problematika poškozování a rušení hlukem v komunálním prostředí*. In: SMETANA C. et al: *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Sdělovací technika, Praha: 54–60. ISBN 80-901936-2-5.
- HELLMUTH T., 2013: *Hluk v komunálním prostředí: Ekvivalentní hladina akustického tlaku*. Krajská hygienická stanice Královehradeckého kraje, Ústí nad Orlicí, online: <http://www.khshk.cz/e-learning/kurs2a/index.html>, cit. 18. 3. 2017.
- HONG J. et JEON J., 2017: *Exploring spatial relationships among soundscape variables in urban areas: A spatial statistical modelling approach*. *Landscape and Urban Planning* 157: 352–364.
- HURTLEY Ch., 2009: *Night Noise Guidelines for Europe*. World Health Organization, Copenhagen, 184 s. ISBN 978-92-890-4173-7.
- ISO, 2014: *Soundscape: Definition and conceptual Framework*. International Organization for Standardization, online: <https://www.iso.org/obp/ui/#iso:std:iso:12913:-1:ed-1:v1:en>, cit. 4. 10. 2016
- KANG J., 2007: *Urban sound environment*. Taylor and Francis, Abingdon, 304 s. ISBN 978-0-415-35857-6.
- KAŇKA J. et NOVÁČEK J., 2015: *Stavební fyzika 3: Akustika pozemních staveb*. České vysoké učení technické v Praze, Praha, 129 s. ISBN 978-800-105674-5.
- KIGHT R., SWADDLE J., 2011: *How and why environmental noise impacts animals: an integrative, mechanistic review*. *Ecology letters* 14.10: 1052-1061.
- KNIESEL B., 2016: *Dust and Noise Reduction*. In: ROLOFF A. [ed]: *Urban Tree Management: For the Sustainable Development of Green Cities*, Wiley-Blackwell, Chichester, 288 s. ISBN: 978-1-118-95458-4.
- KOTZEN B. et ENGLISH C., 2009: *Environmental noise barriers: a guide to their acoustic and visual design*. Taylor and Francis, Abingdon, 256 s. ISBN: 0-203-93138-6.
- KOZÁK J., 1998: *Metodika měření hluku silniční dopravy*. In: SMETANA C. et al: *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Sdělovací technika, Praha: 54–60. ISBN 80-901936-2-5.
- KŘEČKOVÁ M., 2009: *Hluk v životním prostředí z pohledu fyzické geografie, Diplomová práce*. Univerzita Karlova v Praze, Přírodovědecká fakulta, Praha, 137 s.
- LÁDYŠ L., 2005: *Hlukové mapy: Doprava a hluk - zapojení občanů*. Praha, online: sospraha.cz/doprava/seminar05/soubory/hlukove-mapy-Ladys.doc, cit 22. 2. 2017
- LÁDYŠ L., 2016: *Akční plán protihlukových opatření pro hlavní pozemní komunikace*

- v *Plzeňském kraji a v aglomeraci Plzeň ve správě ŘSD ČR*. EKOLA group, spol. s r.o., Praha, 50 s.
- LIBERKO M. et LÁDYŠ L., 2011: *Výpočet hluku z automobilové dopravy, Manuál 2011*. Enviconsult Praha, Ekola group, spol. s r.o., Praha, 78 s.
- LIBERKO M., 1989: *Úvod do urbanistické akustiky*. ČSVTS – komitét pro životní prostředí, Praha, 126 s.
- LIBERKO M., 1991: *Metodické pokyny pro výpočet hladin hluku z dopravy*. Výzkumný ústav výstavby a architektury, Urbanistické pracoviště v Brně, Brno, 51 s. ISBN: 80-85124-07-6.
- LIBERKO M., 1998: *Predikce dopravního hluku*. In: SMETANA C. et al: *Hluk a vibrace, měření a hodnocení*. Sdělovací technika, Praha: 54–60. ISBN 80-901936-2-5.
- LIBERKO M., 2004: *Hluk v prostředí. Problematika a řešení*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 27 s.
- LIBERKO M., 2005: *Novela metodiky pro výpočet hluku silniční dopravy*. Planeta 2: 4–32.
- MARTOLOS J., 2009: *Technické parametry (TP 219), Dopravně inženýrská data pro kvantifikaci vlivů automobilové dopravy na životní prostředí*. EDIP s.r.o., 48 s. ISBN: 978-80-87394-00-7.
- Metodické pokyny pro zpracování diplomové práce na FŽP. ČZU v Praze, Fakulta životního prostředí, Praha, 49 s.*
- MURPHY E. et KING E., 2014: *Environmental Noise Pollution, Noise Mapping, Public Health, and Policy*. Elsevier Inc., San Diego, 268 s. ISBN: 978-0-12-411595-8.
- MUZET A., 2007: *Environmental noise, sleep and health*. Sleep medicine reviews 11.2: 135–142.
- MZ, 2010: *Úvodní stránka strategického hlukového mapování ČR: Aktuální kolo SHM*. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, Praha, online: <http://www.mzcr.cz/HlukoveMapy/#>, cit. 21. 2. 2017
- Nařízení vlády č. 217/2016 Sb., kterým se mění nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací.
- Nařízení vlády č. 272/2011 Sb., o ochraně zdraví před nepříznivými účinky hluku a vibrací, ve znění pozdějších předpisů.
- NELSON J., 1997: *Wheel/Rail Noise Control Manual*. Transportation Research Board, National Academy Press, Washington D.C., 220 s. ISBN 0309060605.
- NEUBERGOVÁ K., 2010: *Role vegetace při snižování hluku ze silniční dopravy*. Časopis Silnice Železnice, ISSN 1803-8441.

- NILSSON M., BENGTSSON J. et CLAEBOE R. [eds], 2015: *Environmental Methods for Transport Noise Reduction*. Taylor and Francis Group, Boca Raton, 306 s. ISBN 978-0-415-67523-9.
- NOVÁK J., VOLEJNÍK V. et ŠNAJDR K., 2007: *Zpráva o vytvoření strategické hlukové mapy aglomerace Praha 2007*. Akustika Praha, Praha, 45 s.
- NZ Transport Agency, 2014: *NZTA State Highway Noise Barrier Design Guide*. NZ Transport Agency, Wellington, 82 s. ISBN: 978-0-478-36-478-8.
- PAVLORKOVÁ E., 2010: *Ekologický právní servis*. Ministerstvo životního prostředí, Praha, 61 s.
- POTUŽNÍKOVÁ D., HELLMUTH T., JUNEK P. et FIALA Z., 2014: *Možnosti využití výsledků strategického hlukového mapování v hygienické praxi*. *Hygiena* 59.2: 74–78. ISSN: 1802-6281.
- SCHAFFER R. M., 1993: *The soundscape: Our sonic environment and the tuning of the world*, *Destiny Books*. Rochester, 301 s. ISBN 0-89281-455-1.
- SKLENIČKA P., 2003: *Základy krajinného plánování*. Nakladatelství Naděžda Skleničková, Brno, 143 s.
- Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES ze dne 25. 6. 2002 o hodnocení a řízení hluku ve venkovském prostředí.
- Směrnice Komise EU 2015/996 ze dne 19. 5. 2015 o stanovení společných metod hodnocení hluku podle směrnice Evropského parlamentu a Rady 2002/49/ES.
- SYROVÝ V., 2013: *Hudební akustika*. Akademie múzických umění v Praze, Praha, 440 s. ISBN 978-80-2331-297-8.
- ŠIMLEROVÁ D. et ANDĚL P., 2008: *Technické podmínky (TP 104), Protihlukové clony pozemních komunikací*. Ministerstvo dopravy, Odbor infrastruktury, Praha: 20–25.
- TRUAX B., 2013: *The World Soundscape Project*. Accessed May 15: 36–39.
- VAN RENTERGHEM T. et BOTTELDOOREN D., 2012: *On the choice between walls and berms for road traffic noise shielding including wind effects*. *Landscape and Urban Planning* 105.3: 199–210.
- VAN RENTERGHEM T., 2014: *Guidelines for optimizing road traffic noise shielding by non-deep tree belts*. *Ecological Engineering* 69: 276–286.
- WATTS G., CHINN L. et GODFREY N., 1999: *The effects of vegetation on the perception of traffic noise*. *Applied Acoustics* 56.1: 39–56.
- WINROTH J. et al., 2017: *Investigating generation mechanisms of tyre/road noise by speed exponent analysis*. *Applied Acoustics* 115: 101–108.
- Zákon č. 258/2000 Sb., o ochraně veřejného zdraví a o změně některých souvisejících

zákonů, ve znění pozdějších předpisů.

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.

Obrázky:

URL 1: Hluková mapa (online) [cit. 2017.03.20], dostupné z

<<http://mpp.praha.eu/app/map/atlas-zivotniho-prostredi/cs/hlukova-mapa#center=-743546.7840731125,-1041504.781771228&zoom=13>>

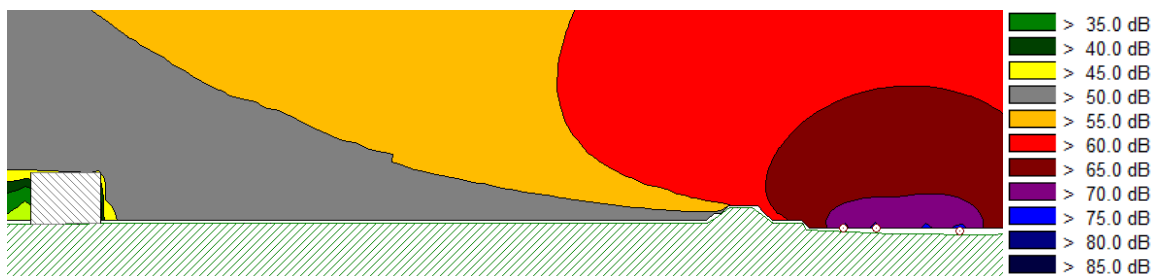
URL 2: Google.maps (online) [cit. 2017.04.2], dostupné z

<https://www.google.cz/maps/place/West+Malling,+Velk%C3%A1+Brit%C3%A1nie/@51.2676377,0.3939199,819m/data=!3m1!1e3!4m5!3m4!1s0x47df340daaa97d03:0x5e8f10ef032f50e0!8m2!3d51.2944249!4d0.408784>

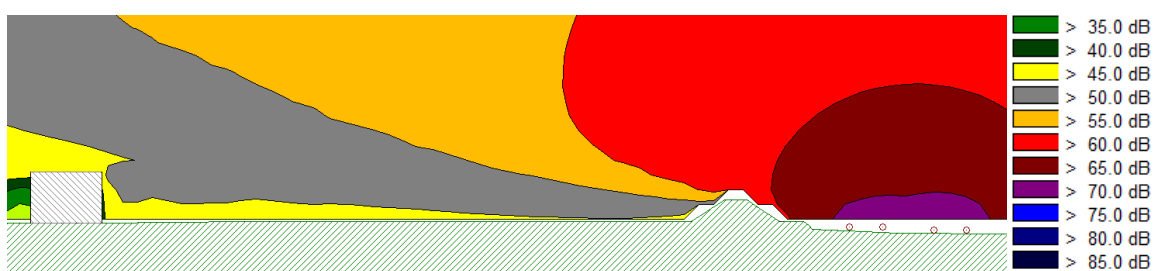
10 Přílohy

Příloha 1: Příčné řezy – zemní valy

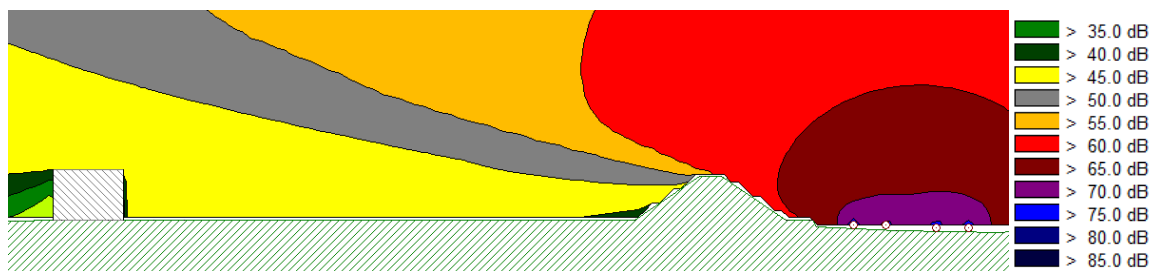
Obr. 43: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokým zemním valem v noční době



Obr. 44: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokým zemním valem v noční době

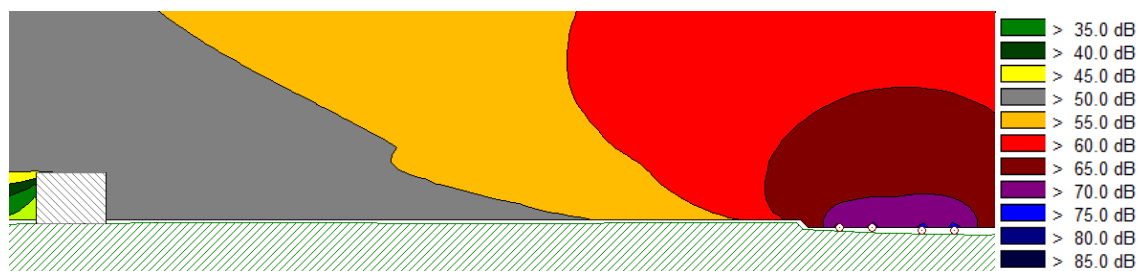


Obr. 45: Profil vertikálního šíření hluku s 6 m vysokým zemním valem v noční době

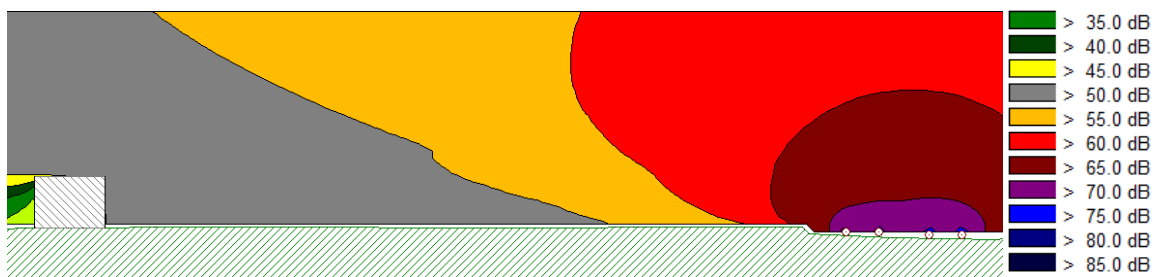


Příloha 2: Příčné řezy – vegetační pásy

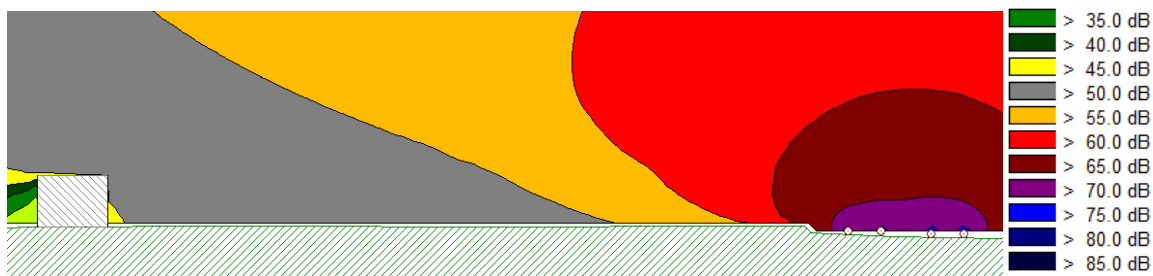
Obr. 46: Profil vertikálního šíření hluku s 20 m širokým vegetačním pásem v noční době



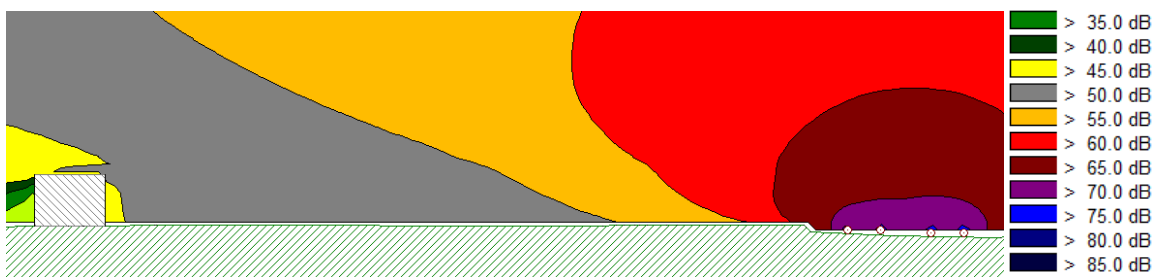
Obr. 48: Profil vertikálního šíření hluku s 30 m širokým vegetačním pásem v noční době



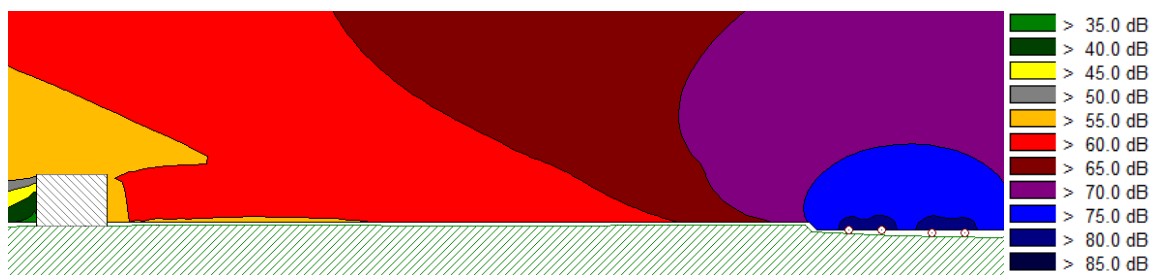
Obr. 50: Profil vertikálního šíření hluku s 40 m širokým vegetačním pásem v noční době



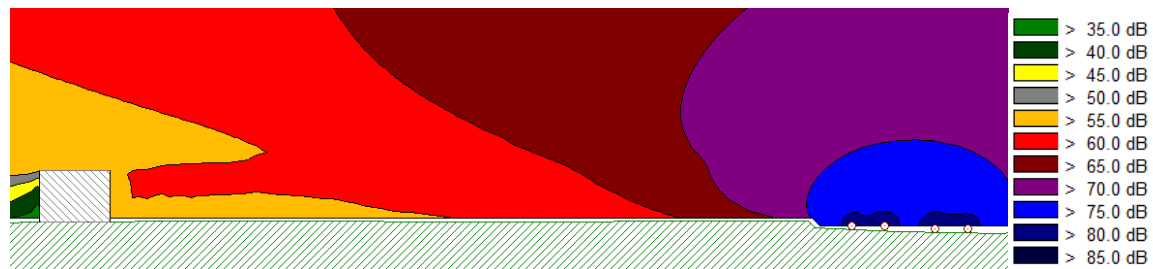
Obr. 51: Profil vertikálního šíření hluku s 50 m širokým vegetačním pásem v noční době



Obr. 47: Profil vertikálního šíření hluku s 30 m širokým vegetačním pásem v denní době

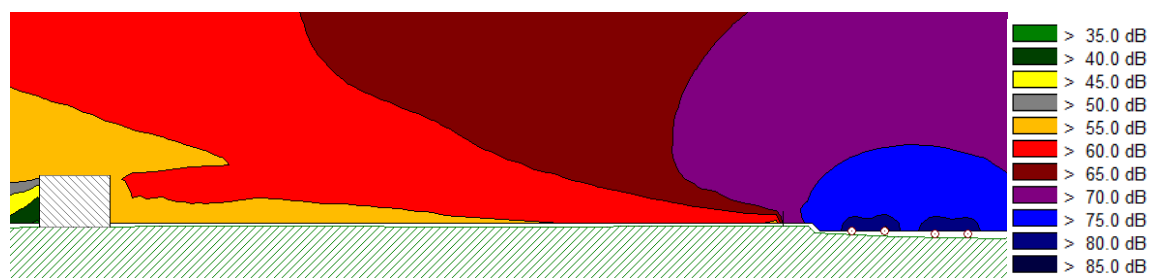


Obr. 49: Profil vertikálního šíření hluku s 40 m širokým vegetačním pásem v denní době

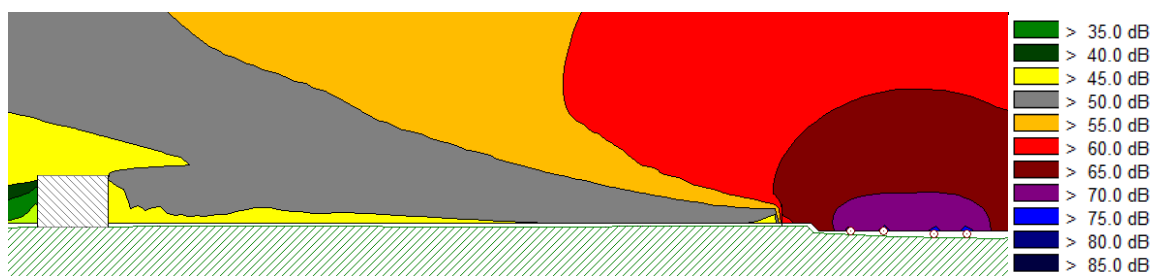


Příloha 3: Příčné řezy - PHS

Obr. 52: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokou PHS v noční době



Obr. 53: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokou PHS v noční době



Příloha 4: Výsledky poklesu akustické energie za různě vysokými a širokými zemními valy

Imisní bod	Bez valu		Zemní val o výšce 2 m		Rozdíl		Zemní val o výšce 3 m		Rozdíl		Zemní val o výšce 6 m		Rozdíl		Zemní val o výšce 8 m		Rozdíl	
	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)
S1	58,1	50,2	58,0	50,1	-0,1	-0,1	57,9	50,0	-0,2	-0,2	57,1	49,1	-1,0	-1,1	57,5	49,5	-0,6	-0,7
S2	57,9	49,9	57,7	49,7	-0,2	-0,2	57,5	49,5	-0,4	-0,4	56,1	48,1	-1,8	-1,8	56,6	48,7	-1,3	-1,2
S3	58,0	50,0	57,6	49,6	-0,4	-0,4	57,3	49,3	-0,7	-0,7	55,7	47,7	-2,3	-2,3	56,0	48,1	-2,0	-1,9
S4	58,6	50,6	57,8	49,8	-0,8	-0,8	57,3	49,3	-1,3	-1,3	55,2	47,2	-3,4	-3,4	55,9	47,9	-2,7	-2,7
S5	58,3	50,3	57,0	49,0	-1,3	-1,3	56,3	48,4	-2,0	-1,9	54,6	46,7	-3,7	-3,6	56,1	48,1	-2,2	-2,2
N1	59,7	51,7	57,6	49,6	-2,1	-2,1	56,7	48,8	-3,0	-2,9	55,4	47,4	-4,3	-4,3	57,5	49,5	-2,2	-2,2
N2	59,9	51,9	57,8	49,9	-2,1	-2,0	57,0	49,0	-2,9	-2,9	55,8	47,8	-4,1	-4,1	57,7	49,7	-2,2	-2,2
N3	60,0	52,0	57,8	49,9	-2,2	-2,1	56,9	49,0	-3,1	-3,0	55,6	47,7	-4,4	-4,3	57,6	49,6	-2,4	-2,4
N4	60,1	52,1	57,9	50,0	-2,2	-2,1	57,0	49,1	-3,1	-3,0	55,6	47,7	-4,5	-4,4	57,6	49,6	-2,5	-2,5
N5	60,3	52,3	58,0	50,1	-2,3	-2,2	57,1	49,1	-3,2	-3,2	55,5	47,6	-4,8	-4,7	57,7	49,7	-2,6	-2,6
N6	60,5	52,5	58,2	50,2	-2,3	-2,3	57,2	49,2	-3,3	-3,3	55,5	47,5	-5,0	-5,0	57,8	49,8	-2,7	-2,7
N7	60,6	52,6	58,3	50,3	-2,3	-2,3	57,3	49,3	-3,3	-3,3	55,5	47,6	-5,1	-5,0	57,9	49,9	-2,7	-2,7
N8	60,5	52,5	58,1	50,2	-2,4	-2,3	57,0	49,1	-3,5	-3,4	55,2	47,2	-5,3	-5,3	57,5	49,5	-3,0	-3,0
N9	60,9	52,9	58,4	50,5	-2,5	-2,4	57,2	49,3	-3,7	-3,6	55,1	47,1	-5,8	-5,8	57,8	49,7	-3,1	-3,2
N10	60,9	52,9	58,6	50,6	-2,3	-2,3	57,3	49,4	-3,6	-3,5	55,2	47,2	-5,7	-5,7	57,8	49,8	-3,1	-3,1
N11 (M1)	61,1	53,1	58,6	50,7	-2,5	-2,4	57,3	49,4	-3,8	-3,7	55,0	47,0	-6,1	-6,1	58,0	49,9	-3,1	-3,2
N12	61,1	53,1	58,7	50,8	-2,4	-2,3	57,4	49,4	-3,7	-3,7	54,9	46,9	-6,2	-6,2	57,8	49,8	-3,3	-3,3
N13	61,1	53,1	58,7	50,8	-2,4	-2,3	57,4	49,4	-3,7	-3,7	54,9	46,9	-6,2	-6,2	57,8	49,8	-3,3	-3,3
N14	61,2	53,2	58,8	50,8	-2,4	-2,4	57,4	49,5	-3,8	-3,7	54,8	46,8	-6,4	-6,4	57,7	49,7	-3,5	-3,5
N15	61,3	53,3	58,8	50,8	-2,5	-2,5	57,4	49,4	-3,9	-3,9	54,7	46,7	-6,6	-6,6	57,5	49,5	-3,8	-3,8
N16	61,0	53,0	58,5	50,6	-2,5	-2,4	57,2	49,3	-3,8	-3,7	54,7	46,7	-6,3	-6,3	57,3	49,3	-3,7	-3,7
N17	61,2	53,2	58,8	50,9	-2,4	-2,3	57,4	49,5	-3,8	-3,7	54,7	46,7	-6,5	-6,5	57,8	49,7	-3,4	-3,5
N18	61,2	53,2	58,9	50,9	-2,3	-2,3	57,5	49,5	-3,7	-3,7	54,8	46,8	-6,4	-6,4	57,9	49,9	-3,3	-3,3
N19	61,2	53,1	58,8	50,9	-2,4	-2,2	57,4	49,5	-3,8	-3,6	54,8	46,8	-6,4	-6,3	58,0	50,0	-3,2	-3,1
N20	61,1	53,1	58,8	50,9	-2,3	-2,2	57,4	49,5	-3,7	-3,6	54,8	46,8	-6,3	-6,3	58,2	50,1	-2,9	-3,0
N21	61,1	53,1	58,9	50,9	-2,2	-2,2	57,5	49,5	-3,6	-3,6	54,9	46,9	-6,2	-6,2	58,4	50,4	-2,7	-2,7
N22	61,0	53,0	58,9	50,9	-2,1	-2,1	57,5	49,5	-3,5	-3,5	54,9	47,0	-6,1	-6,0	58,6	50,6	-2,4	-2,4
N23	61,1	53,1	58,9	51,0	-2,2	-2,1	57,5	49,6	-3,6	-3,5	55,0	47,1	-6,1	-6,0	58,8	50,8	-2,3	-2,3
N24	61,1	53,1	58,9	50,9	-2,2	-2,2	57,5	49,6	-3,6	-3,5	55,1	47,1	-6,0	-6,0	59,0	51,0	-2,1	-2,1
N25	60,7	52,7	58,4	50,4	-2,3	-2,3	57,0	49,0	-3,7	-3,7	54,7	46,7	-6,0	-6,0	59,0	51,0	-1,7	-1,7
N26	60,3	52,3	58,0	50,1	-2,3	-2,2	56,6	48,7	-3,7	-3,6	54,5	46,5	-5,8	-5,8	59,1	51,1	-1,2	-1,2

Příloha 5: Výsledky poklesu akustické energie za různě širokými vegetačními pásy

Imisní bod	Bez opatření		Vegetační pás - 20 m		Rozdíl		Vegetační pás - 30 m		Rozdíl		Vegetační pás - 40 m		Rozdíl		Vegetační pás - 50 m		Rozdíl	
	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)
S1	58,1	50,2	57,3	49,3	-0,8	-0,9	57,2	49,2	-0,9	-1,0	57,1	49,2	-1,0	-1,0	57,1	49,1	-1	-1,1
S2	57,9	49,9	56,6	48,6	-1,3	-1,3	56,4	48,4	-1,5	-1,5	56,3	48,3	-1,6	-1,6	56,2	48,2	-1,7	-1,7
S3	58	50,0	56,3	48,3	-1,7	-1,7	56,0	48,0	-2,0	-2,0	55,9	47,9	-2,1	-2,1	55,8	47,8	-2,2	-2,2
S4	58,6	50,6	56,9	48,9	-1,7	-1,7	56,4	48,4	-2,2	-2,2	56,2	48,2	-2,4	-2,4	55,9	47,9	-2,7	-2,7
S5	58,3	50,3	56,8	48,8	-1,5	-1,5	56,4	48,4	-1,9	-1,9	56,1	48,1	-2,2	-2,2	55,8	47,8	-2,5	-2,5
N1	59,7	51,7	58,7	50,7	-1,0	-1,0	58,3	50,3	-1,4	-1,4	57,9	49,9	-1,8	-1,8	57,5	49,5	-2,2	-2,2
N2	59,9	51,9	58,9	50,9	-1,0	-1,0,0	58,5	50,5	-1,4	-1,4	58,2	50,2	-1,7	-1,7	57,8	49,8	-2,1	-2,1
N3	60,0	52,0	59,0	51,0	-1,0	-1,0	58,6	50,6	-1,4	-1,4	58,2	50,2	-1,8	-1,8	57,8	49,8	-2,2	-2,2
N4	60,1	52,1	59,1	51,1	-1,0	-1,0	58,7	50,7	-1,4	-1,4	58,3	50,3	-1,8	-1,8	57,8	49,8	-2,3	-2,3
N5	60,3	52,3	59,2	51,2	-1,1	-1,1	58,8	50,8	-1,5	-1,5	58,4	50,4	-1,9	-1,9	57,9	49,9	-2,4	-2,4
N6	60,5	52,5	59,4	51,4	-1,1	-1,1	59,0	51,0	-1,5	-1,5	58,5	50,5	-2,0	-2,0	58,0	50,0	-2,5	-2,5
N7	60,6	52,6	59,5	51,5	-1,1	-1,1	59,1	51,1	-1,5	-1,5	58,6	50,6	-2,0	-2,0	58,0	50,0	-2,6	-2,6
N8	60,5	52,5	59,4	51,4	-1,1	-1,1	58,9	50,9	-1,6	-1,6	58,4	50,4	-2,1	-2,1	57,8	49,8	-2,7	-2,7
N9	60,9	52,9	59,7	51,7	-1,2	-1,2	59,1	51,1	-1,8	-1,8	58,6	50,6	-2,3	-2,3	57,8	49,8	-3,1	-3,1
N10	60,9	52,9	59,7	51,7	-1,2	-1,2	59,2	51,2	-1,7	-1,7	58,6	50,6	-2,3	-2,3	57,9	49,8	-3,0	-3,1
M11 (M1)	61,1	53,1	59,9	51,9	-1,2	-1,2	59,3	51,3	-1,8	-1,8	58,7	50,7	-2,4	-2,4	57,9	49,9	-3,2	-3,2
N12	61,1	53,1	59,9	51,9	-1,2	-1,2	59,3	51,3	-1,8	-1,8	58,6	50,6	-2,5	-2,5	57,9	49,9	-3,2	-3,2
N13	61,1	53,1	59,8	51,8	-1,3	-1,3	59,2	51,2	-1,9	-1,9	58,5	50,5	-2,6	-2,6	57,8	49,8	-3,3	-3,3
N14	61,2	53,2	60,0	51,9	-1,2	-1,3	59,3	51,3	-1,9	-1,9	58,6	50,6	-2,6	-2,6	57,9	49,9	-3,3	-3,3
N15	61,3	53,3	60,0	52,0	-1,3	-1,3	59,3	51,3	-2,0	-2,0	58,6	50,6	-2,7	-2,7	57,9	49,9	-3,4	-3,4
N16	61,0	53,0	59,7	51,7	-1,3	-1,3	59,1	51,1	-1,9	-1,9	58,4	50,4	-2,6	-2,6	57,7	49,7	-3,3	-3,3
N17	61,2	53,2	59,8	51,8	-1,4	-1,4	59,2	51,2	-2,0	-2,0	58,5	50,5	-2,7	-2,7	57,8	49,8	-3,4	-3,4
N18	61,2	53,2	59,8	51,8	-1,4	-1,4	59,2	51,2	-2,0	-2,0	58,5	50,5	-2,7	-2,7	57,9	49,9	-3,3	-3,3
N19	61,2	53,1	59,8	51,8	-1,4	-1,3	59,2	51,2	-2,0	-1,9	58,5	50,5	-2,7	-2,6	57,9	49,9	-3,3	-3,2
N20	61,1	53,1	59,8	51,8	-1,3	-1,3	59,1	51,1	-2,0	-2,0	58,5	50,5	-2,6	-2,6	57,9	49,9	-3,2	-3,2
N21	61,1	53,1	59,8	51,7	-1,3	-1,4	59,1	51,1	-2,0	-2,0	58,5	50,5	-2,6	-2,6	57,9	49,9	-3,2	-3,2
N22	61,0	53,0	59,7	51,7	-1,3	-1,3	59,1	51,1	-1,9	-1,9	58,5	50,5	-2,5	-2,5	57,8	49,8	-3,2	-3,2
N23	61,1	53,1	59,8	51,8	-1,3	-1,3	59,2	51,2	-1,9	-1,9	58,6	50,6	-2,5	-2,5	58,0	50,0	-3,1	-3,1
N24	61,1	53,1	59,8	51,7	-1,3	-1,4	59,1	51,1	-2,0	-2,0	58,6	50,6	-2,5	-2,5	58,0	50,0	-3,1	-3,1
N25	60,7	52,7	59,4	51,4	-1,3	-1,3	58,9	50,9	-1,8	-1,8	58,3	50,3	-2,4	-2,4	57,7	49,7	-3,0	-3,0
N26	60,3	52,3	59,1	51,1	-1,2	-1,2	58,6	50,6	-1,7	-1,7	58,1	50,1	-2,2	-2,2	57,4	49,4	-2,9	-2,9

Příloha 6: Výsledky poklesu akustické energie za různě vysokými PHS

Imisní bod	Bez opatření		PHS o výšce 2m		Rozdíl		PHS o výšce 3m		Rozdíl	
	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)	Den (dB)	Noc (dB)
S1	58,1	50,2	58,0	50,0	-0,1	-0,2	57,8	49,9	-0,3	-0,3
S2	57,9	49,9	57,6	49,7	-0,3	-0,2	57,3	49,4	-0,6	-0,5
S3	58,0	50,0	57,5	49,6	-0,5	-0,4	57,1	49,1	-0,9	-0,9
S4	58,6	50,6	57,7	49,7	-0,9	-0,9	57,0	49,1	-1,6	-1,5
S5	58,3	50,3	56,9	48,9	-1,4	-1,4	56,2	48,2	-2,1	-2,1
N1	59,7	51,7	57,6	49,7	-2,1	-2,0	56,8	48,9	-2,9	-2,8
N2	59,9	51,9	57,9	49,9	-2,0	-2,0	57,1	49,1	-2,8	-2,8
N3	60,0	52,0	57,9	50,0	-2,1	-2,0	57,1	49,1	-2,9	-2,9
N4	60,1	52,1	58,0	50,1	-2,1	-2,0	57,1	49,2	-3,0	-2,9
N5	60,3	52,3	58,2	50,2	-2,1	-2,1	57,3	49,3	-3,0	-3,0
N6	60,5	52,5	58,4	50,5	-2,1	-2,0	57,4	49,5	-3,1	-3,0
N7	60,6	52,6	58,6	50,6	-2,0	-2,0	57,5	49,6	-3,1	-3,0
N8	60,5	52,5	58,4	50,5	-2,1	-2,0	57,2	49,3	-3,3	-3,2
N9	60,9	52,9	58,8	50,9	-2,1	-2,0	57,5	49,5	-3,4	-3,4
N10	60,9	52,9	58,9	51,0	-2,0	-1,9	57,6	49,6	-3,3	-3,3
N11 (M1)	61,1	53,1	59,0	51,0	-2,1	-2,1	57,5	49,6	-3,6	-3,5
N12	61,1	53,1	59,1	51,1	-2,0	-2,0	57,6	49,6	-3,5	-3,5
N13	61,1	53,1	59,1	51,1	-2,0	-2,0	57,6	49,6	-3,5	-3,5
N14	61,2	53,2	59,2	51,2	-2,0	-2,0	57,6	49,6	-3,6	-3,6
N15	61,3	53,3	59,3	51,4	-2,0	-1,9	57,7	49,8	-3,6	-3,5
N16	61,0	53,0	59,1	51,2	-1,9	-1,8	57,5	49,6	-3,5	-3,4
N17	61,2	53,2	59,3	51,4	-1,9	-1,8	57,6	49,7	-3,6	-3,5
N18	61,2	53,2	59,3	51,4	-1,9	-1,8	57,6	49,6	-3,6	-3,6
N19	61,2	53,1	59,3	51,4	-1,9	-1,7	57,6	49,6	-3,6	-3,5
N20	61,1	53,1	59,4	51,4	-1,7	-1,7	57,6	49,6	-3,5	-3,5
N21	61,1	53,1	59,4	51,5	-1,7	-1,6	57,6	49,7	-3,5	-3,4
N22	61,0	53,0	59,4	51,5	-1,6	-1,5	57,6	49,7	-3,4	-3,3
N23	61,1	53,1	59,5	51,6	-1,6	-1,5	57,7	49,8	-3,4	-3,3
N24	61,1	53,1	59,5	51,6	-1,6	-1,5	57,7	49,8	-3,4	-3,3
N25	60,7	52,7	59,1	51,2	-1,6	-1,5	57,3	49,4	-3,4	-3,3
N26	60,3	52,3	58,8	50,9	-1,5	-1,4	57,0	49,1	-3,3	-3,2

11 Seznamy

11.1 Seznam obrázků

Obr. 1: Porovnání průměrné a ekvivalentní hladiny akustického tlaku (zdroj: vlastní).....	11
Obr. 2: Ukázka zvukové mapy zobrazující vodní složku (Hong et Jeon 2016).....	13
Obr. 3: Ukázka zvukové mapy zobrazující složku ptačího zpěvu (Hong et Jeon 2016).....	14
Obr. 4: Ukázka pásmové hlukové mapy Prahy z roku 2011 (URL: 1).....	20
Obr. 5: Schéma optimálně navrženého vegetačního pásu (Kniesel 2016).....	25
Obr. 6: Van Renterghemovo rozmístění stromů v 15 m hlubokém porostu.....	26
Obr. 7: Vliv větrného gradientu na šíření zvukových vln (Kaňka et Nováček 2015).....	27
Obr. 8: PHS a zemní valy s velkým větrným gradientem (Van Renterghem 2012).....	28
Obr. 9: Zemní valy s malým větrným gradientem (Van Renterghem 2012).....	29
Obr. 10: Vymezení zájmového území v lokalitě Na Panském, Stará Boleslav.....	35
Obr. 11: Umístění měřicího mikrofону při kalibrační zkoušce – pohled na jih.....	36
Obr. 12: Zemní val vybudovaný na podzim roku 2014 – pohled na sever.....	36
Obr. 13: Plocha plánovaná pro výstavbu domů – pohled na severovýchod.....	36
Obr. 14: Ukázka výřezu z urbanistického návrhu Územní studie 5 – Na Panském při georeferencování na podkladu ortofotomapy v prostředí ArcGIS.....	38
Obr. 15: Výřez ze Strategické hlukové mapy silnic ČR 2012.....	39
Obr. 16: Situace umístění míst měření M1 a M2.....	39
Obr. 17: Umístění měřicího mikrofону namísto měření M2 – pohled na jihozápad.....	42
Obr. 18: Pohled na stávající (vlevo) a plánovanou (vpravo) zástavbu řadových domů a zemní valy v 3D zobrazení softwaru CadnaA – pohled na východ.....	44
Obr. 19: Situace umístění výpočtových imisních bodů.....	45
Obr. 20: Situace umístění vegetačních pásů.....	47
Obr. 21: Situace znázorňující rozsah a umístění protihlukových stěn.....	48
Obr. 22: Situace umístění zemních valů.....	49
Obr. 23: Snížení hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,16h}$ [dB] v imisních bodech v lokalitě Na Panském pro jednotlivá opatření (denní doba).....	50
Obr. 24: Snížení hladiny akustického tlaku $L_{Aeq,8h}$ [dB] v imisních bodech v lokalitě Na Panském pro jednotlivá opatření (noční doba).....	51
Obr. 25: Zobrazení navýšeného zemního valu – pohled na sever.....	54
Obr. 26: Zobrazení akustické situace v noční době za zemními valy.....	55
Obr. 27: Znázornění akustické situace v noční době po navýšení severního valu (černě označeno) na výšku 4 m, 3D zobrazení v prostředí softwaru CadnaA.....	55
Obr. 28: Znázornění akustické situace za 50 m širokým vegetačním pásem v noční době.....	58
Obr. 29: Profil vertikálního šíření hluku s 20 m širokým vegetačním pásem v denní době.....	59
Obr. 30: Profil vertikálního šíření hluku s 50 m širokým vegetačním pásem v denní době.....	59
Obr. 31: Porovnání účinnosti PHS se zemními valy.....	60
Obr. 32: Zobrazení akustické situace za zemním valem vysokým 2 m v noční době.....	61
Obr. 33: Zobrazení akustické situace za zemním valem vysokým 3 m v noční době.....	62
Obr. 34: Zobrazení akustické situace za zemním valem vysokým 6 m v noční době.....	62

Obr. 35: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokým zemním valem v denní době.....	63
Obr. 36: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokým zemním valem v denní době.....	63
Obr. 37: Profil vertikálního šíření hluku s 6 m vysokým zemním valem v denní době.....	63
Obr. 38: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokou PHS v denní době.....	64
Obr. 39: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokou PHS v denní době.....	64
Obr. 40: Porovnání akustické situace za 2 m a 3 m vysokou PHS (NZ Transport Agency).....	64
Obr. 42: Optimálně navržená rezidenční oblast ve vztahu k eliminaci vysokých intenzit dopravy v městě Kings hill – Anglie (URL 2).....	68
Obr. 43: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokým zemním valem v noční době.....	75
Obr. 44: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokým zemním valem v noční době.....	75
Obr. 45: Profil vertikálního šíření hluku s 6 m vysokým zemním valem v noční době.....	75
Obr. 46: Profil vertikálního šíření hluku s 20 m širokým vegetačním pásem v noční době.....	75
Obr. 48: Profil vertikálního šíření hluku s 30 m širokým vegetačním pásem v noční době.....	76
Obr. 50: Profil vertikálního šíření hluku s 40 m širokým vegetačním pásem v noční době.....	76
Obr. 51: Profil vertikálního šíření hluku s 50 m širokým vegetačním pásem v noční době.....	76
Obr. 47: Profil vertikálního šíření hluku s 30 m širokým vegetačním pásem v denní době.....	76
Obr. 49: Profil vertikálního šíření hluku s 40 m širokým vegetačním pásem v denní době.....	76
Obr. 52: Profil vertikálního šíření hluku s 2 m vysokou PHS v noční době.....	77
Obr. 53: Profil vertikálního šíření hluku s 3 m vysokou PHS v noční době.....	77

11.2 Seznam tabulek

Tab. 1: Hodnoty koeficientu G používané v rámci výpočtové metodiky CNOSSOS-EU.....	22
Tab. 2: Pokles akustického tlaku za betonovou stěnou a vegetací v různých vzdálenostech od zdroje hluku (Clark et Zulfacar 1974).....	23
Tab. 3: Změřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, $L_{Aeq, 16h}$ (dB) pro denní dobu.....	40
Tab. 4: Změřené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A, $L_{Aeq, 8h}$ (dB) pro noční dobu.....	40
Tab. 5: Intenzity dopravy na dálnici D10 v zájmovém území v době měření.....	41
Tab. 6: Průměrné hodinové intenzity a podíl nákladní dopravy pro denní a noční dobu.....	42
Tab. 7: Hodinové intenzity a podíl nákladní dopravy v čase měření M2.....	42
Tab. 8: Ověření výpočtového modelu v posuzovaném území.....	43
Tab. 9: Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v kontrolních výpočtových bodech v lokalitě Na Panském bez opatření a se stávajícím 8 m zemním valem.....	53
Tab. 10: Vypočtené ekvivalentní hladiny akustického tlaku A v kontrolních výpočtových bodech pro stávající situaci protihlukových opatření a pro situaci navrhovanou.....	54
Tab. 11: Snížení ekvivalentní hladiny akustického tlaku jednotlivými opatřeními.....	57

11.3 Seznam příloh

Příloha 1: Příčné řezy – zemní valy.....	75
Příloha 2: Příčné řezy – vegetační pásy.....	75
Příloha 3: Příčné řezy – PHS.....	77
Příloha 4: Výsledky poklesu akustické energie za různě vysokými a širokými zemními valy.....	78
Příloha 5: Výsledky poklesu akustické energie za různě širokými vegetačními pásy.....	79
Příloha 6: Výsledky poklesu akustické energie za různě vysokými PHS.....	80

11.4 Seznam zkratek

AP - akční plány

CNOSSOS-EU - Common Noise Assessment Methods in Europe

ČR - Česká republika

ČSN - česká soustava norem

ČÚZK - Český ústav zeměměřický a katastrální

DALY - disability-adjusted life years

DMR 5G - Digitální model reliéfu 5. generace

EPA - Environmental Protection Agency

EU - Evropská unie

GIS - geografické informační systémy

IPHO - individuální protihluková ochrana

ISBN - International Standard Book Number

ISO - International Organization for Standardization

MZ - Ministerstvo zdravotnictví

MZe - Ministerstvo zemědělství

NP - nadzemní podlaží

NZ - Nový Zéland

PHS - protihluková stěna

ŘSD - Ředitelství silnic a dálnic

SHM - strategické hlukové mapování

S-JTSK - systém jednotné trigonometrické sítě katastrální

SZO - Světová zdravotnická organizace

TP - technické parametry

URL - Uniform Resource Locator

ZO - zeleň ochranná