



Naročnik:

**MESTNA OBČINA LJUBLJANA**

Mestni trg 1

1000 Ljubljana

Izvajalec:

A-PROJEKT, d.o.o.

Vinarje 110B, 2000 Maribor

Karta hrupa

ZVEZEK 2

**Končno poročilo:**

**OCENA NEGOTOVOSTI PRI  
NOVELACIJI KARTE HRUPA  
ZA MESTNO OBČINO  
LJUBLJANA, ZA CESTE Z VEČ  
KOT 1 MIO VOZIL LETNO,  
PRESEČNO LETO 2016**

Številka poročila; Ref.:

Aprojekt 25/2019-A

Avgust 2019

Naročnik:

**MESTNA OBČINA LJUBLJANA**

Mestni trg 1,  
1000 Ljubljana

Karta hrupa

ZVEZEK 2

**Končno poročilo:**

**OCENA NEGOTOVOSTI PRI  
NOVELACIJI KARTE HRUPA ZA  
MESTNO OBČINO LJUBLJANA,  
ZA CESTE Z VEČ KOT 1 MIO  
VOZIL LETNO, PRESEČNO LETO  
2016**

Številka poročila; Ref.:

Aprojekt 25/2019-A

Avgust 2019

A-projekt, d.o.o.

Izvajalec:



A-PROJEKT, d.o.o.

Vinarje 110B,  
2000 Maribor

Matična št.: 3386597000

Davčna št.: SI-72026740

Št. pooblastila za meritve hrupa:  
ARSO\_35445-3/2014, do 09.05.2020

Št. pooblastila za ocenjevanje hrupa z modelnimi izračuni:  
ARSO\_35435-33/2017-2, do 13.12.2023

Direktor:

mag. Aleš Globevnik, udis, oec.

Podpis:  Žig:

Nosilec naloge:

mag. Aleš Globevnik, udis, oec.

Podpis:  Žig:

**A - projekt** d.o.o.  
ekologija, projektiranje in inženiring

Naročnik:

**MESTNA OBČINA LJUBLJANA**

Mestni trg 1

1000 Ljubljana

Naročilo:

Pogodba, št. C7560-18-110038, z dne:  
09.03.2018, Aneks 1, z dne 20.04.2018,  
Aneks 2, z dne 20.09.2018

Karta hrupa

**Končno poročilo:**

**OCENA NEGOTOVOSTI PRI  
NOVELACIJI KARTE HRUPA ZA  
MESTNO OBČINO LJUBLJANA,  
ZA CESTE Z VEČ KOT 1 MIO  
VOZIL LETNO, PRESEČNO LETO  
2016**

ZVEZEK 2

Številka poročila:

Aprojekt 25/2019-A

Datum:

Avgust 2019

A-PROJEKT, d.o.o.  
Vinarje 110B  
2000 Maribor

## KAZALO POGLAVIJ

<b>1</b>	<b>UVOD</b> .....	<b>5</b>
<b>2</b>	<b>SPLOŠNO O METODI NMPB-ROUTES-1996</b> .....	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>OCENA NEGOTOVOSTI MODELNEGA IZRAČUNA Z METODO NMPB PO STROKOVNI LITERATURI</b>	<b>8</b>
3.1	SPLOŠNO .....	8
3.2	NEGOTOVOST UPORABLJENIH PODATKOV ZA NAMEN OCENJEVANJA HRUPA V MOL .....	11
<b>4</b>	<b>OCENA PRISPEVKOV K NEGOTOVOSTI MODELNEGA IZRAČUNA</b> .....	<b>12</b>
4.1	SPAJANJE RAZLIČNIH GEODETSKIH PODLAG .....	12
4.1.1	Natančnost podatkov 3D modela terena .....	12
4.2	POVPREČNA HITROST VOŽNJE IN VRSTA PROMETNEGA TOKA .....	14
4.2.1	Izračun emisije hrupa po metodi NMPB .....	14
4.2.2	Ocena negotovosti .....	23
4.2.3	Sklep .....	24
4.3	METEOROLOŠKI POGOJI ŠIRJENJA .....	25
4.3.1	Uvod .....	25
4.3.2	Ocena negotovosti .....	26
4.3.3	Sklep .....	31
4.4	ABSORPCIJSKE LASTNOSTI VOZNE POVRŠINE CESTIŠČA .....	32
4.4.1	Uvod .....	32
4.4.2	Vpliv vozne površine na emisijske lastnosti .....	32
4.4.3	Sklep .....	32
4.5	GOSTOTA PROMETNEGA TOKA .....	33
4.5.1	Uvod .....	33
4.5.2	Ocena negotovosti .....	33
4.5.3	Sklep .....	34
4.6	ABSORPCIJSKE LASTNOSTI TAL .....	35
4.6.1	Uvod .....	35
4.6.2	Ocena negotovosti .....	36
4.6.3	Sklep .....	39
4.7	VELIKOST RADIJA, V KATEREM SO UPOŠTEVANI ODBOJI OD OBJEKTOV .....	40
4.7.1	Uvod .....	40
4.7.2	Ocena negotovosti .....	40
4.7.3	Sklep .....	41
4.8	SKUPNA NEGOTOVOST MODELNEGA IZRAČUNA .....	42
4.8.1	Uvod .....	42
4.8.2	Ocena skupne negotovosti .....	42
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK IN POVZETEK</b> .....	<b>46</b>
<b>6</b>	<b>LITERATURA / VIRI</b> .....	<b>48</b>

## 1 UVOD

Izvedeno je bilo ocenjevanje hrupa za cestno omrežje z več kot 1 milijonom vozil na leto na območju Mestne občine Ljubljana, ki je v upravljanju treh upravljavcev: MOL, DARS in DRSC, za presečno leto 2016. V skladu z veljavno zakonodajo in projektno nalogo je bil monitoring izveden na osnovi modelnega izračuna po metodi NMPB-Routes-1996, v povezavi s francoskim standardom XPS 31-133. Pri izvedbi monitoringa je bil upoštevan tudi Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (Ur.l. RS 105/08), ki v 3. členu, 26. točki definira negotovost ocenjevanja kot merilo, ki izraža stopnjo dvoma ali pomanjkanje gotovosti glede ocene o pravi vrednosti rezultata, pridobljenega na osnovi modelnega izračuna. Pravilnik v 13. členu predpisuje obvezno vsebino poročila o obratovalnem monitoringu, kjer negotovost neposredno sicer ni omenjena, nalaga pa navedbo drugih dejstev, pomembnih za ocenjevanje hrupa. Med temi je gotovo najpomembnejša ocena negotovosti, s katero so lahko obremenjeni rezultati ocenjevanja pridobljeni z računskimi metodami.

Izvedba ocenjevanja hrupa na osnovi modelnega izračuna ni neposredna metoda, kot npr. meritev hrupa, ki je posledica konkretnega prometa na konkretni cesti s konkretnim okoljem (pozidava, terenski okrov, ipd...), temveč kombinacija večjega števila vhodnih podatkov, zato je negotovost končne ocene posledica prispevkov negotovosti vseh vhodnih podatkov, kot so: podatki, ki vplivajo na emisijo hrupa, podatki terena, stavbni fond, absorpcijske lastnosti tal, prometni podatki, uporabljena računska metoda NMPB, itd...

Z namenom kvantitativno ovrednotiti negotovost rezultatov obratovalnega monitoringa hrupa je v poglavju ocenjena negotovost vhodnih količin, ki vplivajo na končne rezultate modelnega izračuna in na tej osnovi ocenjena skupna negotovost uporabljene računske metode kot standardna deviacija prispevkov posameznih količin.

## 2 SPLOŠNO O METODI NMPB-ROUTES-1996

Metoda NMPB-Routes-1996 za računsko ocenjevanje hrupa cestnega prometa je priporočena metoda po Direktivi 2002/49/EC, dodatno pa je s Prilogo 2 Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju v Sloveniji predpisana kot začasna metoda za ocenjevanje kazalcev hrupa, ki ga povzroča obratovanje cest.

NMPB-Routes-1996 je kot privzeto metodo poleg Slovenije privzelo še 11 drugih evropskih držav: Francija, Belgija, Grčija, Italija, Španija, Češka, Luksemburg, Latvija, Portugalska, Romunija, Slovaška in Hrvaška [10].

Po strokovni literaturi [10] spada metoda glede natančnosti med t.i. inženirske metode za računsko ocenjevanje hrupa v okolju. Validacija metode je bila izvedena na večjem številu meritev v realnih razmerah na merilnih mestih, katerih okolico je obkrožala kompleksna topografija [11]. Validacijski rezultati nakazujejo na precenjene rezultate računsko ocenjenih vrednosti v primerjavi z meritvami hrupa.

Izračun A-utežene ravni hrupa zaradi vira hrupa na mestu ocenjevanja se izračuna po enačbi:

$$L_{A,C} = L_W - (A_{div} + A_{atm} + A_{bnd,C})$$

pri čemer je:

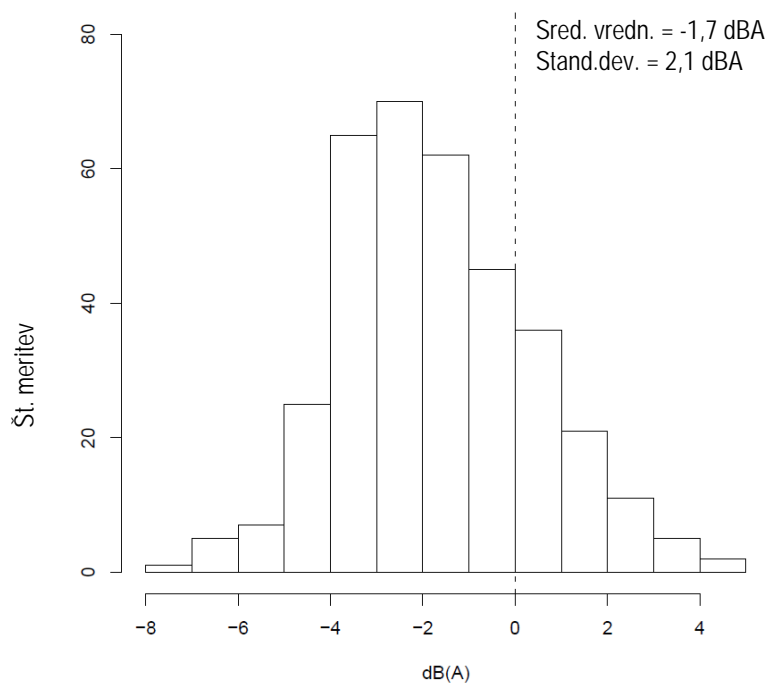
- $L_W$  – zvočna moč vira,
- $A_{div}$  – geometrično širjenje hrupa; ( $A_{div} = 20 \cdot \log_{10} d + 11$ ),
- $A_{atm}$  – absorpcija zvoka v zraku;  $A_{atm}$  se izračunava z upoštevanjem pogojev iz ISO 9613-1 in sicer  $T=15^\circ\text{C}$  in 70% relativne zračna vlažnost.
- $A_{bnd,C}$  – upadanje zvoka zaradi konfiguracije terena in ovir. Pri  $A_{bnd,C}$  je upoštevana absorpcija talnega okrova, nasipi in useki, protihrupne ograje, stavbe, ipd...

Metoda vključuje med drugim vpliv meteoroloških pogojev na širjenje hrupa, povzeto po standardih SIST ISO 9613-1 in SIST ISO 9613-2 in sicer splošno:

- a) na homogene pogoje in
- b) na za širjenje hrupa ugodne pogoje.

Dodatna pomanjkljivost metode NMPB-Routes-1996 je neustreznost enačb za izračun uklona na nizkih ovirah kot so nizke parcelne ograje, betonske varovalne ograje višine cca 80 cm, manjše lope ipd, ki se v realnosti pogosto pojavljajo [10]. Takšni objekti v praksi kljub vsemu predstavljajo oviro za širjenje hrupa, medtem ko je v modelu njihov vpliv praktično zanemarljiv.

Na osnovi mnogih meritev, ki so trajala v povprečju vsaj 2 tedna [11] je v zaključku validacije metode NMPB-Routes-1996 ugotovljeno, da odstopa srednja vrednost rezultatov meritev za -1,7 dBA oz. standardna deviacija za -2,1 dBA od rezultatov modelnega izračuna. Odstopanje v ekstremnih primerih (op. kompleksna geometrija terena, mostovi, ograje, ipd...) je lahko še večje. Navedeno dejstvo nakazuje, da ocenjevanje po metodi NMPB-Routes-1996 v povprečju prikazuje večjo obremenitev površin in stavb s hrupom od dejanskih.



Slika 1: Rezultati validacije metode NMPB-Routes-1996 (primerjava meritev in modelnega izračuna [10])

### 3 OCENA NEGOTOVOSTI MODELNEGA IZRAČUNA Z METODO NMPB PO STROKOVNI LITERATURI

#### 3.1 SPLOŠNO

Poleg validacije metode z meritvami [10, 11] je bila opredelitev natančnosti metode NMPB (XPS 31-133) predmet mnogih raziskav in študij v okviru WG-AEN (Working Group Agency for Environmental Noise v okviru Evropske komisije). Ena izmed vidnejših je bila izdelana leta 2005 (Error Propagation Testing of XPS 31-133, DGMR) [4].

Bistvena ugotovitev omenjene strokovne literature je, da je za zagotavljanje čim manjše negotovosti potrebno zagotavljati vhodne podatke primerljive kvalitete. Že en sam nekvaliteten vhodni podatek za količino z visokim faktorjem občutljivosti na rezultat ocenjevanja predstavlja dominantni vir negotovosti računskega modela kot celote.

Po literaturi [4] se vhodne podatke tako v emisijskem kot tudi v terenskem modelu lahko združi v pet skupin, in sicer:

- Skupina A: zelo podrobni podatki, primerni za natančne izračune in validacije. Pričakovana negotovost rezultatov je  $< 0,5$  dBA,
- Skupina B: podrobni podatki, na osnovi katerih je negotovosti modelnega izračuna v okviru  $0,5 \div 1$  dBA,
- Skupina C: podatki, na osnovi katerih je negotovosti modelnega izračuna v okviru  $1 \div 3$  dBA,
- Skupina D: podatki, na osnovi katerih je negotovosti modelnega izračuna v okviru  $3 \div 5$  dBA,
- Skupina E: podatki, ki ne spadajo glede natančnosti v skupine A, B, C ali D. Rezultati modelnega izračuna na osnovi teh podatkov so v okviru negotovosti  $> 5$  dB,

Tabela 1 in Tabela 2 prikazujeta potrebno kvaliteto vhodnih podatkov akustičnega modela (op. emisijski model + terenski model) za posamezne natančnosti izračunov.

Tabela 1: Potrebna natančnost posameznih parametrov, ki vplivajo na širjenje hrupa, v akustičnem modelu

Model terena	Parameter	Skupina A	Skupina B	Skupina C	Skupina D	Skupina E
Teren	Točke terena (op. vertikalno)	$\Delta < 0,5m$	$0,5m < \Delta < 1,2m$	$1,2m < \Delta < 2,5m$	$2,5m < \Delta < 5,0m$	$\Delta > 5,0m$
	Točke terena (op. horizontalno)	$\Delta < 1,5m$	$1,5m < \Delta < 4,0m$	$4,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$
	Lomne linije (op. vertikalno)	$\Delta < 0,5m$	$0,5m < \Delta < 1,2m$	$1,2m < \Delta < 2,5m$	$2,5m < \Delta < 5,0m$	$\Delta > 5,0m$
	Lomne linije (op. horizontalno)	$\Delta < 1,5m$	$1,5m < \Delta < 4,0m$	$4,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$
	Višinski razmaki med izohipsami	$\Delta < 1,0m$	$1,0m < \Delta < 3,0m$	$3,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$
Stavbe	Vertikala	$\Delta < 1,5m$	$1,5m < \Delta < 4,0m$	$4,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$
	Horizontala	$\Delta < 1,5m$	$1,5m < \Delta < 4,0m$	$4,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$
	Minimalna površina [m <sup>2</sup> ]	$\Delta < 5m^2$	$5m^2 < \Delta < 15m^2$	$15m^2 < \Delta < 30m^2$	$30m^2 < \Delta < 50m^2$	$\Delta > 50m^2$
	Absorpcijski koeficient	znotraj 10%	Uporaba absorp. kategorij	Uporaba absorp. kategorij	refleksija (op. privzeto)	refleksija (op. privzeto)
Ograje, nasipi	Vertikala (glede na površino vozišča)	$\Delta < 0,5m$	$0,5m < \Delta < 1,0m$	$1,0m < \Delta < 2,0m$	$2,0m < \Delta < 5,0m$	$\Delta > 5,0m$
	Horizontala (glede na površino vozišča)	$\Delta < 1,5m$	$1,5m < \Delta < 4,0m$	$4,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$
	Minimalna višina [m]	$\Delta < 0,5m$	$0,5m < \Delta < 1,0m$	$1,0m < \Delta < 2,0m$	$2,0m < \Delta < 5,0m$	$\Delta > 5,0m$
	Minimalna dolžina [m]	$\Delta < 10m$	$10m < \Delta < 25m$	$25m < \Delta < 40m$	$40m < \Delta < 100m$	$\Delta > 100m$
	Absorpcijski koeficient	znotraj 10%	Uporaba absorp. kategorij	Uporaba absorp. kategorij	refleksija (op. privzeto)	refleksija (op. privzeto)
Pokrovnost tal	Teren [%]	$\Delta < 5\%$	$5\% < \Delta < 10\%$	$10\% < \Delta < 25\%$	$25\% < \Delta < 50\%$	$\Delta > 50\%$
	Minimalna površina terena [m <sup>2</sup> ]	$\Delta < 5m^2$	$5m^2 < \Delta < 15m^2$	$15m^2 < \Delta < 30m^2$	$30m^2 < \Delta < 50m^2$	$\Delta > 50m^2$



Tabela 2: Potrebne natančnosti posameznih parametrov, ki vplivajo na vrednosti emisijskega modela





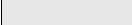
Emisijski model	Parameter	Skupina A	Skupina B	Skupina C	Skupina D	Skupina E
Linijski vir	Vzdolžni nagib	Vzdolžni nagib na dolžini odseka < 50m	Vzdolžni nagib na dolžini odseka < 100m	Vzdolžni nagib na dolžini odseka < 200m	Brez vzdolžnega nagiba (op. privzeto)	Brez vzdolžnega nagiba (op. privzeto)
	Vrsta prometnega toka	Brez napake	Odstopanje ene kategorije	Odstopanje ene kategorije	Tekoči stalni prometni tok (op. privzeto)	Tekoči stalni prometni tok (op. privzeto)
	Vrsta vozne površine	Vozna površina na dolžini odseka < 50m	Določitev vozne površine po kategorijah	Razlika do ene kategorije	Razlika do dveh kategorij	Referenčna površina (op. privzeto)
	Os voznega pasu (op. vertikalno)	$\Delta < 0,5m$	$0,5m < \Delta < 1,0m$	$1,0m < \Delta < 2,0m$	$2,0m < \Delta < 5,0m$	Brez višinskega podatka
	Os voznega pasu (op. horizontalno)	$\Delta < 1,5m$	$1,5m < \Delta < 4,0m$	$4,0m < \Delta < 8,0m$	$8,0m < \Delta < 15m$	$\Delta > 15m$

Tabela 3 kot primer prikazuje pričakovano negotovost modelnega izračuna glede na kvaliteto vhodnih podatkov, ki se nanašajo na pretok in hitrosti lahkih in težkih vozil pri različnih vrstah prometnega toka.

Tabela 3: Ocena negotovosti modelnega izračuna glede na kvaliteto vhodnih podatkov o lastnosti prometnega toka za metodo NMPB XPS 31-133

Parameter	Vrsta prometnega toka	Velikost spremembe parametrov $Q_{lahka}$ , $v_{lahka}$ , $Q_{težka}$ , $v_{težka}$																																							
		[%]																																							
		0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175	180			
Težka vozila; $Q$ [voz./uro]	Tekoči stalni prometni tok	Red																				Modr				Zelen				Rajn						Siv					
	Sunkovit stalni prometni tok	Red																				Modr				Zelen				Rajn						Siv					
	Sunkovit pospešen prometni tok	Red																				Modr				Zelen				Rajn						Siv					
	Sunkovit zavirajoč prometni tok	Red																				Modr				Zelen				Rajn						Siv					
Težka vozila; $v$ [km/h]	Tekoči stalni prometni tok	Red										Modr					Zelen					Rajn				Siv															
	Sunkovit stalni prometni tok	Red										Modr					Zelen					Rajn				Siv															
	Sunkovit pospešen prometni tok	Red					Modr					Zelen					Rajn				Siv																				
	Sunkovit zavirajoč prometni tok	Red					Modr					Zelen					Rajn				Siv																				
Lahka vozila; $Q$ [voz./uro]	Tekoči stalni prometni tok	Red															Modr					Zelen				Siv															
	Sunkovit stalni prometni tok	Red															Modr					Zelen				Siv															
	Sunkovit pospešen prometni tok	Red															Modr					Zelen				Siv															
	Sunkovit zavirajoč prometni tok	Red															Modr					Zelen				Siv															
Lahka vozila; $v$ [km/h]	Tekoči stalni prometni tok	Red										Modr					Zelen					Rajn				Siv															
	Sunkovit stalni prometni tok	Red										Modr					Zelen					Rajn				Siv															
	Sunkovit pospešen prometni tok	Red										Modr					Zelen					Rajn				Siv															
	Sunkovit zavirajoč prometni tok	Red										Modr					Zelen					Rajn				Siv															

Legenda:

Skupina A		< 0,5 dBA
Skupina B		0,5 ÷ 1 dBA
Skupina C		1 ÷ 3 dBA
Skupina D		3 ÷ 5 dBA
Skupina E		> 5 dBA

### 3.2 NEGOTOVOST UPORABLJENIH PODATKOV ZA NAMEN OCENJEVANJA HRUPA V MOL

3D akustični model za namen ocenjevanja hrupa v MOL za cestno omrežje z več kot 1 milijonom vozil letno je bil izdelan v sledeči kvaliteti:

- Akustični model; območja okoli cestnega omrežja z več kot 1 milijonom vozil letno na območju MOL:
  - Teren: Skupina A (op. Lidar podatki in podatki iz projektov izvedenih del) –  $\sigma_{\text{teren, lidar}}$ ,
  - Teren: Skupina A (op. "Lomne linije – Breaklines") –  $\sigma_{\text{teren, breaklines}}$ ,
  - Objekti: Skupina A-B (op. na terenu pregledani uradni GURS podatki) –  $\sigma_{\text{objekti}}$ ,
  - Ograje: Skupina A (op. posneto dejansko stanje na terenu) –  $\sigma_{\text{ograje}}$ ,
  - Pokrovnost tal: Skupina D (op. ocena po GERK) –  $\sigma_{\text{GERK}}$ .
- Emisijski model je bil izdelan v natančnosti Skupina B-C za ceste, za katere je bila izdelana napoved prometa na način, da je bil promet identičen na mestih prometnih števecov, na vmesnih odsekih pa je bil napovedan z upoštevanjem strukture uslug, ki veljajo za dana območja obravnave.

Za splošno oceno negotovosti modelnega izračuna po metodi NMPB je potrebno izhajati iz sledečih predpostavk:

- emisijska baza NMPB-Routes-1996 se privzame kot točna,
- spremembe oz. odstopanja hitrosti od administrativnih omejitev so po celotnem obravnavanem cestnem omrežju enake,
- do odstopanj od v modelih upoštevanih prometnih tokov lahko pride z enako verjetnostjo na celotnem obravnavanem cestnem omrežju,
- verjetnost napak geodetskih podlag, uporabljenih za namen priprave akustičnih modelov je enakomerna na celotnem obravnavanem območju,
- točnost modelov je ocenjena za ožje področje do 200 m levo in 200 m desno od osi cest, torej v območju, kjer je pričakovano preseganje mejnih vrednosti kazalcev hrupa v okolju.

V primeru neupoštevanja zgoraj navedenih predpostavk ni mogoče podati splošne, enoštevilske ocene negotovosti modelnega izračuna.

Tabela 4 podaja splošno oceno negotovosti rezultatov modelnega izračuna z upoštevanjem prej navedenih predpostavk in z omejitvijo na 200 m območje ob cesti.

Za območja s kompleksno geometrijo (op. mostovi, viadukti, neustrezno postavljeni prometni znaki s prometnimi omejitvami, poškodovano cestišče, ipd...) navedene vrednosti negotovosti ne veljajo, temveč je potrebno pristopiti k natančnejši obravnavi in oceniti vsak podatek v modelu posebej.

Tabela v nadaljevanju prikazuje oceno merilne negotovosti.

Tabela 4: Skupna ocena negotovosti modelnega izračuna do razdalje cca 200 m

Zap. št.	Podatek	Grupa	Ocenjena negotovost [dBA]	Opomba
1.	teren	A	0	Predpostavka, da so podatki Lidar snemanja točni
2.	stavbe	A	0	Predpostavka, da so v ožjem območju stavbe pregledane na terenu
3.	ograje	A	0,1	Predpostavka, da so ograje pregledane na terenu
4.	GERK	C	0,4	V bližini vira napaka ni tako pomembna
5.	prometni tok	A-B	0,5 - 1	/
6.	št. vozil (30% spremembe)	B	1	Ocena PNZ, d.o.o.
7.	hitrost (10-30% spremembe)	A-B	0,5 - 1	Analiza prometnih števecov

Negotovost izražena v obliki standardne deviacije ter razširjena negotovost,  $k=2$ :

$$\sigma = 0,6 \div 1,0 \text{ dBA}$$

$$u = 2 \sigma = 1,1 \div 2,1 \text{ dBA (95,5\% zanesljivosti pokritosti).}$$

Natančnejša analiza podatkov, ki prispevajo k negotovosti modelnega izračuna, so podrobneje predstavljeni v nadaljevanju.

## 4 OCENA PRISPEVKOV K NEGOTOVOSTI MODELNEGA IZRAČUNA

### 4.1 SPAJANJE RAZLIČNIH GEODETSKIH PODLAG

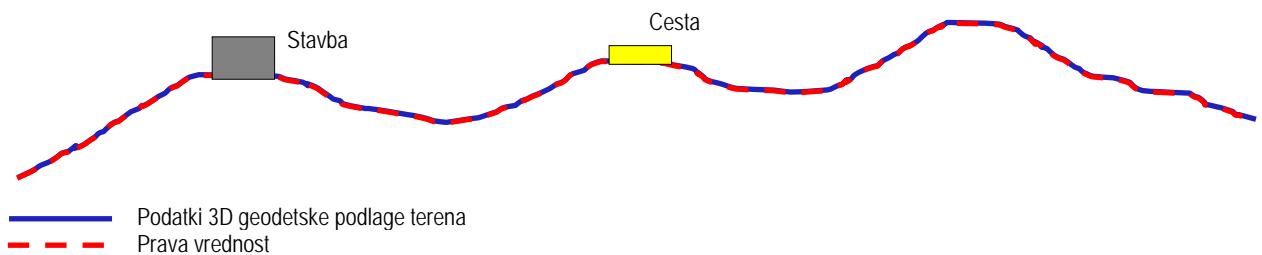
#### 4.1.1 NATANČNOST PODATKOV 3D MODELA TERENA

Med bistvenimi podatki, ki lahko vplivajo na negotovost modelnega izračuna, je akustični 3D model v okolici vira hrupa. Pri podatkih terena je potrebno ločiti:

- absolutno točnost in
- relativno točnost.

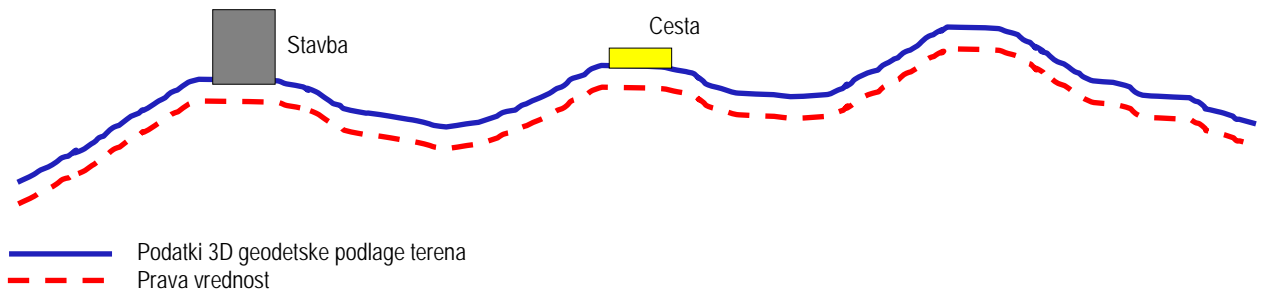
Slike v nadaljevanju prikazujejo različne možnosti točnosti podatkov terena.

##### 1.) Absolutno in relativno točni 3D podatki terena



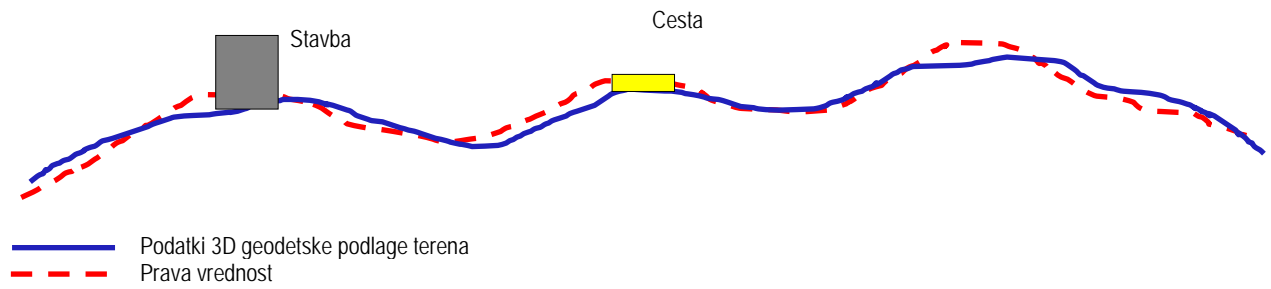
Prikazani primer je idealizirana situacija. Natančnost rezultatov modelnega izračuna hrupa ob uporabi takšnih podatkov je največja.

##### 2.) Absolutno netočni, relativno točni 3D podatki terena



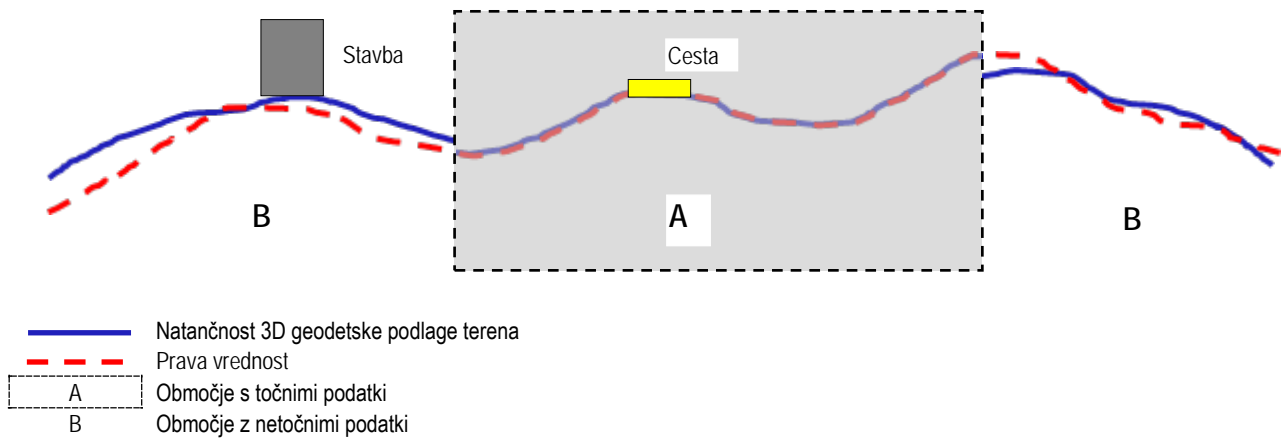
Prikazani primer je rezultat sistemske napake pri obdelavi podatkov. Ker se relativne višine med elementi terena ohranjajo, absolutna napaka nima vpliva na rezultate ocenjevanja hrupa. Do napake prihaja na robovih oz. stikih različnih baz vhodnih podatkov, pri katerih se velikosti relativnih napak razlikujejo.

## 3.) Realni 3D podatki terena



Realni podatki od dejanske vrednosti odstopajo tako v pozitivni kot tudi v negativni smeri. Zaradi pomanjkanja konkretnih podatkov o točnosti je vpliv na računsko ocenjene vrednosti hrupa težko natančno opredeliti, saj točnost podatkov terena ni konstantna.

## 4.) Kombinirani podatki 3D terena



Z namen naloge so bili razpoložljivi Lidar podatki za celotno območje MOL, tako da napaka zaradi kombiniranja različnih vhodnih podatkov ni bila prisotna.

Natančnost Lidar podatkov je cca  $\pm 20$ cm kar za potrebe izračunavanja hrupa po metodi NMPB (XPS 31-133) več kot ustreza, zato lahko zaključimo, da je vpliv netočnosti zaradi Lidar podatkov zanemarljiv.

## 4.2 POVPREČNA HITROST VOŽNJE IN VRSTA PROMETNEGA TOKA

### 4.2.1 IZRAČUN EMISIJE HRUPA PO METODI NMPB

Emisija hrupa posameznega cestnega odseka kot vira hrupa po metodi NMPB je odvisna od več faktorjev kot so:

- struktura prometnega toka t.j. deleža lahkih in težkih vozil (op. lahka vozila s skupno maso do 3,5 tone, težka vozila s skupno maso 3,5 tone ali več),
- hitrost vozil,
- vzdolžni naklon vozišča (op. 2% ali več),
- vrsta prometnega toka.

Vrste prometnega toka so definirane kot:

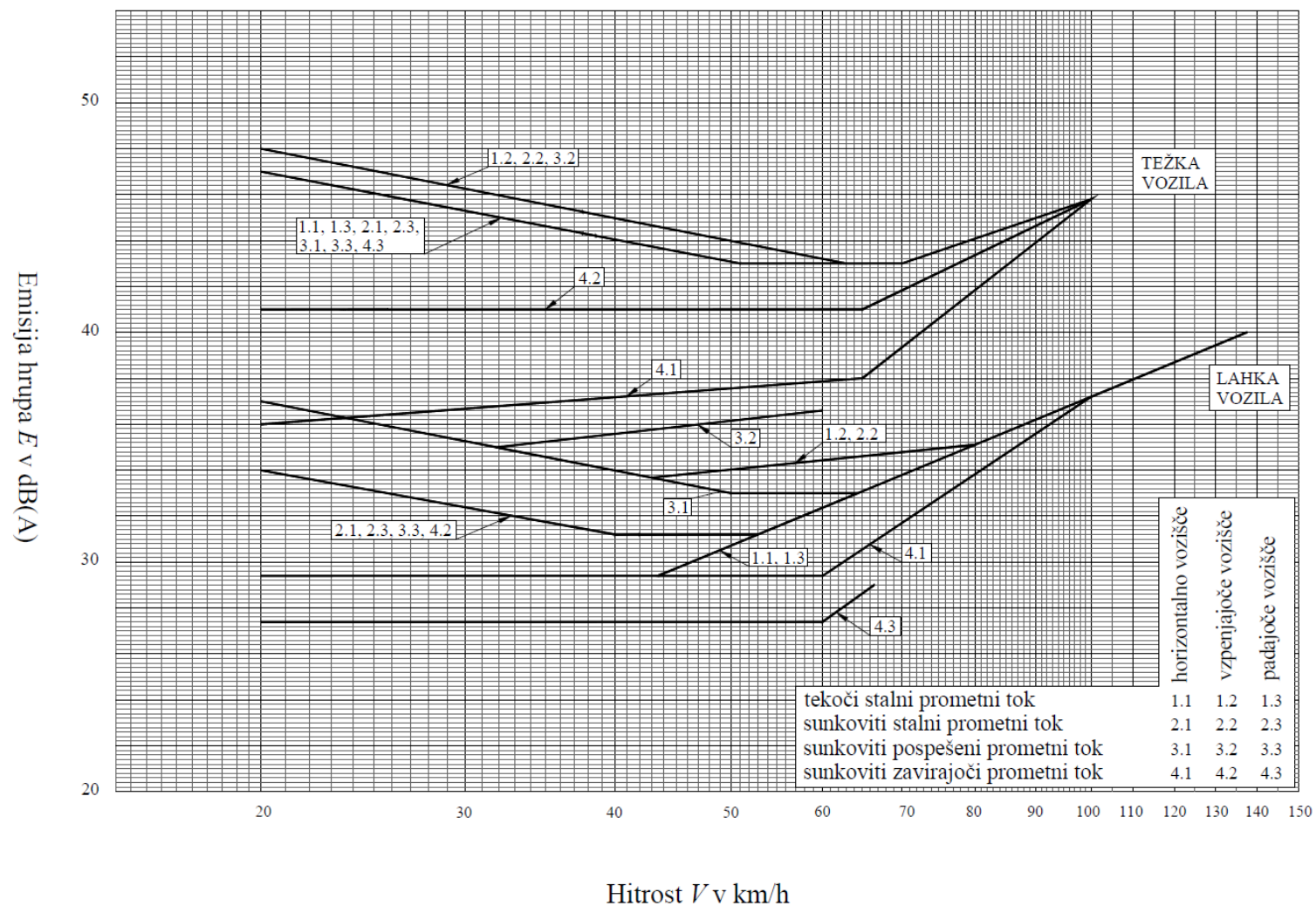
- **tekoči stalni prometni tok:** na obravnavanem odseku ceste se vozila premikajo s skoraj konstantno hitrostjo. Promet je tekoč, kjer se ne spreminja v času in prostoru v trajanju najmanj deset minut. Čez dan se lahko opazijo nihanja, vendar niso skokovita ali ritmična. Poleg tega se hitrost prometnega toka niti ne povečuje niti ne zmanjšuje, marveč ostaja enaka. Ta vrsta prometnega toka ustreza prometu na avtocestni povezavi ali na cesti, ki povezuje posamezna mesta (regionalni cesti), na mestni hitri cesti (zunaj ur največjega prometa) in na glavnih cestah v mestih,
- **sunkoviti stalni promet:** prometni tok z znatnim deležem vozil v prehodnem stanju tj. takih, ki bodisi povečujejo bodisi zmanjšujejo hitrost, ki ni stabilen niti v času (skokovite spremembe prometnega toka v kratkih časovnih razmikih) niti v prostoru (ob poljubnem času je na opazovanem cestnem odseku nepravilna gostota vozil). Kljub temu je za to vrsto prometnega toka mogoče določiti povprečno (srednjo) skupno hitrost, ki se ne spreminja v zadosti dolgem obdobju in se pojavlja periodično. Ta vrsta prometnega toka ustreza toku, ki ga srečamo na cestah v mestnih središčih, na magistralnih cestah blizu nasičenja (s povečanim prometom), na povezovalnih cestah s številnimi križišči, na parkiriščih, na prehodih za pešce in na odcepih do stanovanjskih hiš,
- **sunkoviti pospešeni prometni tok:** to je sunkovit in zato nemiren (turbulenten) tok. Precej vozil pospešuje, kar pomeni, da je hitrost pomembna samo na posameznih točkah in na prevoženi poti ni konstantna (stabilna). To je značilno za promet bodisi na hitrih cestah za križiščem bodisi na povezovalnih cestah, na cestninskih postajah itd.,
- **sunkoviti zavirajoči prometni tok:** ta je nasprotje prejšnjega, pri katerem precej vozil zmanjšuje hitrost. Praviloma nastaja pri približevanju večjim mestnim križiščem, na izvozih z avtocest in hitrih cest ali na dovozu do cestninske postaje itd...

Struktura prometnega toka (lahka, težka vozila) ter vzdolžni naklon vozišča sta faktorja, ki sta vsaj na kratki rok bolj ali manj konstantna. Spremenljivki, ki vplivata na emisijo hrupa, sta hitrost in vrsta prometnega toka.

Raven zvočne moči enega vozila se izračuna po metodi NMPB po sledeči enačbi:

$$E = E_0 + a \cdot \log\left(\frac{v}{v_0}\right)$$

Glede na vrsto vozil, hitrost, vzdolžni naklon in vrsto prometnega toka podaja vrednosti za emisijo hrupa posameznega vozila nomogram na spodnji sliki.



Slika 2: Nomogram za določanje vrednosti emisije hrupa  $E$  (vir: Wölfel Meßsysteme Software GmbH)

Normirana zvočna moč posameznega vozila:

$$L_w = E + 50 + 10 \cdot \log(v) \quad [\text{dBA}]$$

Zvočna moč prometnega toka na enoto dolžine pa se izračuna po sledeči enačbi:

$$L'_w = L_w + 10 \cdot \log\left(\frac{Q}{1000 \cdot v}\right) \quad [\text{dBA}]$$

pri čemer je:  $E$  – emisija,

$v$  – povprečna hitrost vozila v km/h,

$a$  – koeficient,

$v_0 = 20$  km/h in

$Q$  – število vozil na uro.

OPOMBA: Enačbe so izpeljane na osnovi velikega števila konkretnih meritev hrupa cestnega prometa, povzete so po dokumentu [3].

Tabela 5 in Tabela 6 prikazujeta vrednosti parametrov  $E_0$  in  $a$  v odvisnosti od hitrosti  $v$ , prva za lahka in druga za težka vozila.

Tabela 5: Vrednosti parametrov  $E_0$  in  $a$  v odvisnosti od hitrosti  $v$  za lahka vozila

	Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$	$a$ [°]		Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$	$a$ [°]
	Tekoč stalen prometni tok	ravno ali spust	$v < 44$	29,4		0	Sunkovit stalen prometni tok	ravno ali spust	$v < 40$
$v \geq 44$			22,0	21,6	$40 \leq v < 53$	31,2			0
dvig		$v < 43$	37,0	-10,0	dvig	$v < 43$		37,0	-10,0
	$43 \leq v < 80$	32,1	4,8	$43 \leq v < 80$		32,1	4,8		
		$v \geq 80$	22,0	21,6		$v \geq 80$	22,0	21,6	

	Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$	$a$ [°]		Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$	$a$ [°]
	Sunkovit pospešen prometni tok	ravno	$v < 50$	37,0		-10,0	Sunkovit zavirajoči prometni tok	ravno	$v < 60$
$50 \leq v < 64$			33,0	0	$60 \leq v < 100$	13,0			34,3
$v \geq 64$			22,0	21,6	$v \geq 100$	22,0			21,6
dvig		$v < 32$	37,0	-10,0	dvig	$v < 40$		34,0	-9,3
	$v \geq 32$	34,0	5,2	$40 \leq v < 53$		31,2	0		
spust	$v < 40$	34,0	-9,3	spust	$v < 60$	27,4	0		
	$40 \leq v < 53$	31,2	0		$v \geq 60$	11,3	33,8		
		$v \geq 53$	22,0	21,6					

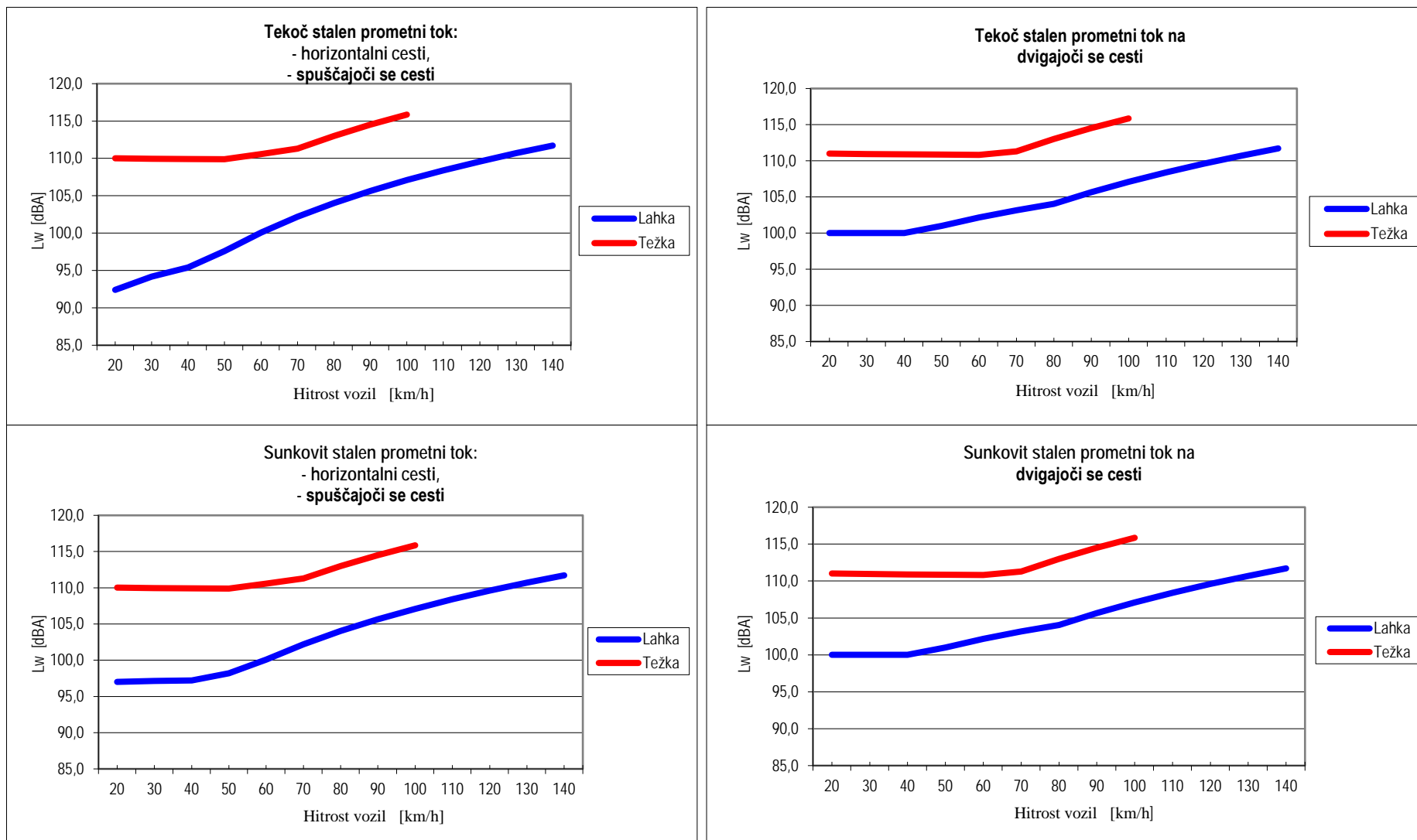


Tabela 6: Vrednosti parametrov  $E_0$  in  $a$  v odvisnosti od hitrosti  $v$  za težka vozila

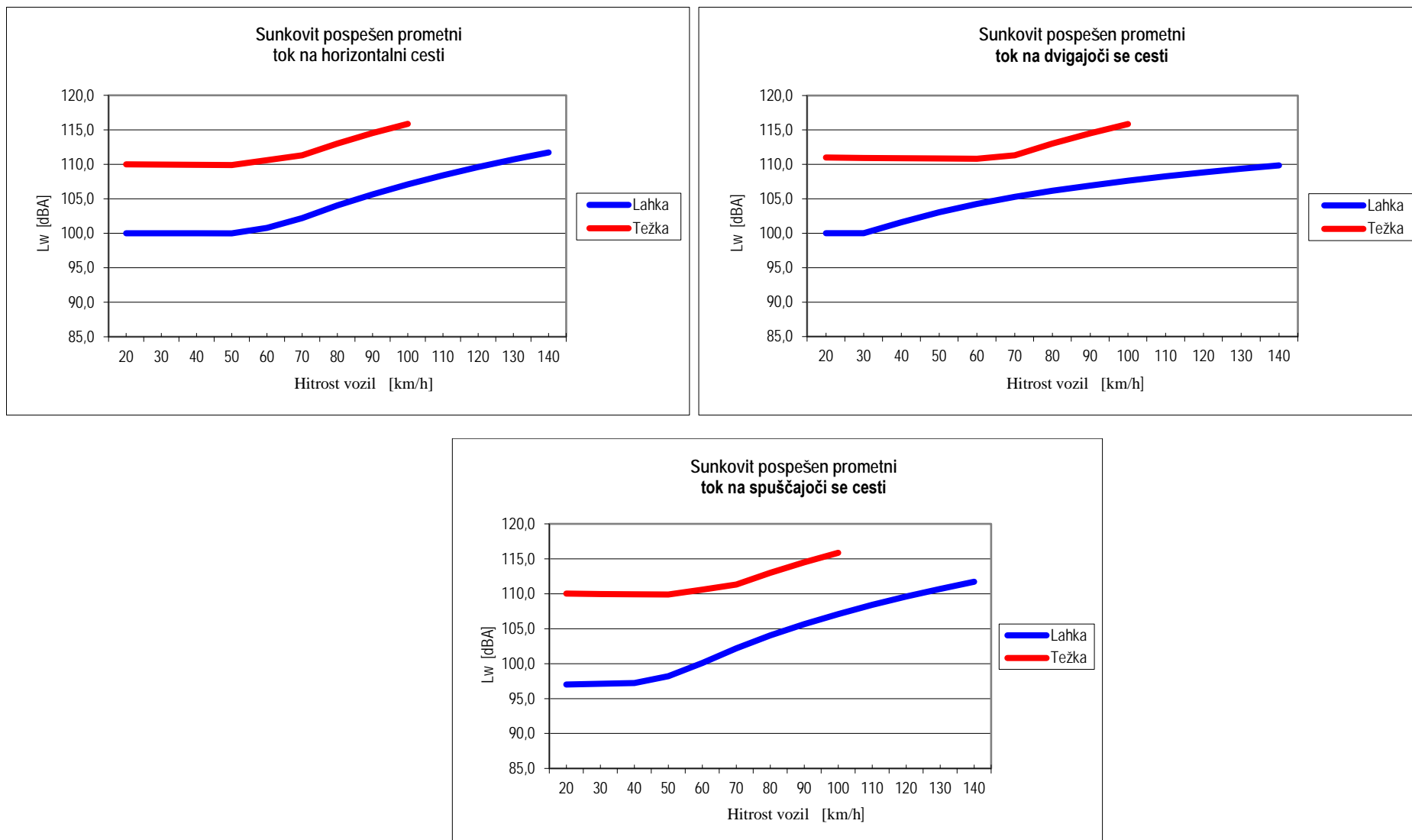
Tekoč stalen prometni tok	Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$	$a$ [l]	Sunkovit stalen prometni tok	Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$	$a$ [l]
	ravno ali spust	$v < 51$	47,0	-10,3		ravno ali spust	$v < 51$	47,0	-10,3
$51 \leq v < 70$		42,8	0	$51 \leq v < 70$	42,8		0		
$v \geq 70$		32,3	19,4	$v \geq 70$	32,3		19,4		
dvig	$v < 63$	48,0	-10,4	dvig	$v < 63$	48,0	-10,4		
	$63 \leq v < 70$	42,8	0		$63 \leq v < 70$	42,8	0		
	$v \geq 70$	32,3	19,4		$v \geq 70$	32,3	19,4		

Sunkovit pospešen prometni tok	Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$ [dBA]	$a$ [l]	Sunkovit zavirajoči prometni tok	Vzdolžni nagib ceste	$v$ [km/h]	$E_0$ [dBA]	$a$ [l]
	ravno ali spust	$v < 51$	47,0	-10,3		ravno	$v < 65$	36,0	3,9
$51 \leq v < 70$		42,8	0	$v \geq 65$	16,7		41,7		
$v \geq 70$		32,3	19,4	dvig	$v < 65$		41,0	0	
dvig	$v < 63$	48,0	-10,4		$v \geq 65$	27,9	25,7		
	$63 \leq v < 70$	42,8	0	spust	$v < 51$	47,0	-10,3		
	$v \geq 70$	32,3	19,4		$51 \leq v < 70$	42,8	0		
					$v \geq 70$	32,3	19,4		

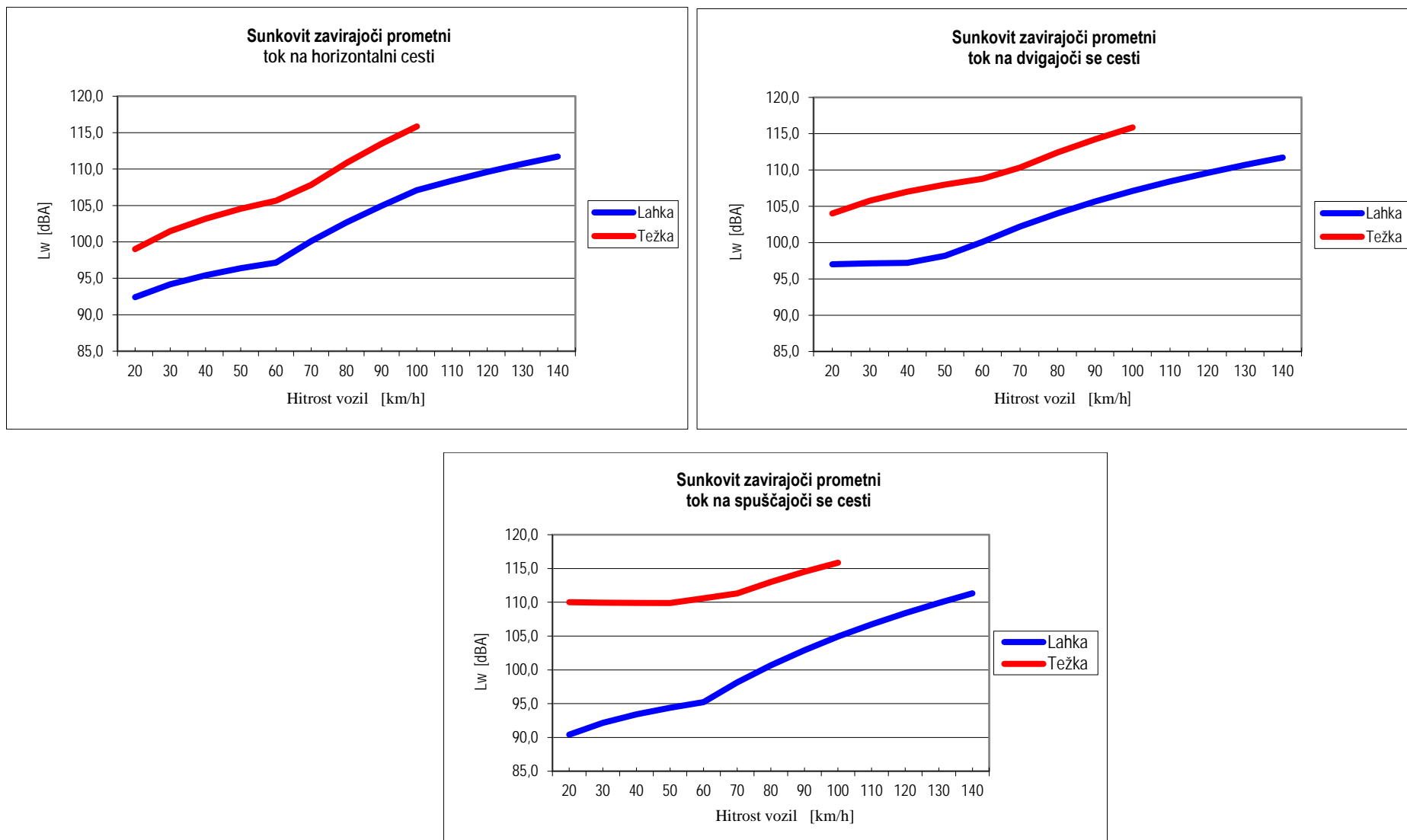
Slike v nadaljevanju prikazujejo odvisnost zvočne moči  $L_w$  posameznega vozila v odvisnosti od hitrosti, kategorije vozila in vrste prometnega toka.



Slika 3: Normirana zvočna moč  $L_w$  posameznega vozila glede na hitrost in vzdolžni naklon vozišča za tekoči in za sunkovit stalen promet



Slika 4: Zvočna moč  $L_w$  posameznega vozila glede na hitrost in vzdolžni naklon vozišča za sunkovit pospešen promet



Slika 5: Zvočna moč  $L_w$  posameznega vozila glede na hitrost in vzdolžni naklon vozišča, za sunkovit zavirajoči promet

Naslednje tabele podajajo normirane zvočne moči  $L_w$  (emisija) posameznega vozila, izračunane na osnovi navedenih enačb in robnih pogojev (Tabela 5 in Tabela 6), grafični prikaz pa podajajo Slika 3, Slika 4 in Slika 5.

Tabela 7: Normirana emisija posameznega vozila  $L_w$  po NMPB metodi za "Tekoči stalen prometni tok"

Hitrost	Tekoči stalen prometni tok: - horizontalna cesta - spuščajoča se cesta		Tekoči stalen prometni tok: - dvigajoča se cesta	
	$L_w$ , Lahka [dBA]	$L_w$ , Težka [dBA]	$L_w$ , Lahka [dBA]	$L_w$ , Težka [dBA]
20	92,4	110,0	100,0	111,0
30	94,2	110,0	100,0	110,9
40	95,4	109,9	100,0	110,9
50	97,6	109,9	101,0	110,9
60	100,1	110,6	102,2	110,8
70	102,2	111,3	103,2	111,3
80	104,0	113,0	104,0	113,0
90	105,7	114,5	105,7	114,5
100	107,1	115,9	107,1	115,9
110	108,4		108,4	
120	109,6		109,6	
130	110,7		110,7	
140	111,7		111,7	
150	112,7		112,7	

Tabela 8: Normirana emisija posameznega vozila  $L_w$  po NMPB metodi za "Sunkovit stalen prometni tok"

Hitrost	Sunkovit stalen prometni tok: - horizontalna cesta - spuščajoča se cesta		Sunkovit stalen prometni tok: - dvigajoča se cesta	
	$L_w$ , Lahka [dBA]	$L_w$ , Težka [dBA]	$L_w$ , Lahka [dBA]	$L_w$ , Težka [dBA]
20	97,0	110,0	100,0	111,0
30	97,1	110,0	100,0	110,9
40	97,2	109,9	100,0	110,9
50	98,2	109,9	101,0	110,9
60	100,1	110,6	102,2	110,8
70	102,2	111,3	103,2	111,3
80	104,0	113,0	104,0	113,0
90	105,7	114,5	105,7	114,5
100	107,1	115,9	107,1	115,9
110	108,4		108,4	
120	109,6		109,6	
130	110,7		110,7	
140	111,7		111,7	
150	112,7		112,7	

Tabela 9: Normirana emisija posameznega vozila Lw po NMPB metodi za "Sunkovit pospešen prometni tok"

Hitrost	Sunkovit pospešen prometni tok - horizontalna cesta		Sunkovit pospešen prometni tok - dvigajoča se cesta		Sunkovit pospešen prometni tok - spuščajoča se cesta	
	Lw, Lahka [dBA]	Lw, Težka [dBA]	Lw, Lahka [dBA]	Lw, Težka [dBA]	Lw, Lahka [dBA]	Lw, Težka [dBA]
20	100,0	110,0	100,0	111,0	97,0	110,0
30	100,0	110,0	100,0	110,9	97,1	110,0
40	100,0	109,9	101,6	110,9	97,2	109,9
50	100,0	109,9	103,1	110,9	98,2	109,9
60	100,8	110,6	104,3	110,8	100,1	110,6
70	102,2	111,3	105,3	111,3	102,2	111,3
80	104,0	113,0	106,2	113,0	104,0	113,0
90	105,7	114,5	106,9	114,5	105,7	114,5
100	107,1	115,9	107,6	115,9	107,1	115,9
110	108,4		108,3		108,4	
120	109,6		108,8		109,6	
130	110,7		109,4		110,7	
140	111,7		109,9		111,7	
150	112,7		110,3		112,7	

Tabela 10: Normirana emisija posameznega vozila Lw po NMPB metodi za "Sunkovit zavirajoči prometni tok"

Hitrost	Sunkovit zavirajoči prometni tok - horizontalna cesta		Sunkovit zavirajoči prometni tok - dvigajoča se cesta		Sunkovit zavirajoči prometni tok- spuščajoča se cesta	
	Lw, Lahka [dBA]	Lw, Težka [dBA]	Lw, Lahka [dBA]	Lw, Težka [dBA]	Lw, Lahka [dBA]	Lw, Težka [dBA]
20	92,4	99,0	97,0	104,0	90,4	110,0
30	94,2	101,5	97,1	105,8	92,2	110,0
40	95,4	103,2	97,2	107,0	93,4	109,9
50	96,4	104,5	98,2	108,0	94,4	109,9
60	97,1	105,6	100,1	108,8	95,2	110,6
70	100,1	107,8	102,2	110,3	98,1	111,3
80	102,7	110,8	104,0	112,4	100,7	113,0
90	104,9	113,5	105,7	114,2	102,9	114,5
100	107,1	115,8	107,1	115,9	104,9	115,9
110	108,4		108,4		106,7	
120	109,6		109,6		108,4	
130	110,7		110,7		109,9	
140	111,7		111,7		111,3	
150	112,7		112,7		112,6	

## 4.2.2 OCENA NEGOTOVOSTI

Tabela 11 v nadaljevanju prikazuje možna odstopanja računske ocene emisije hrupa ( $L_w$ ) posameznega vozila v primeru odstopanja dejanske hitrosti vozila od administrativne oz. v akustičnem modelu upoštevane hitrosti pri različnih vrstah prometnega toka za potek ceste po ravnem terenu. Npr. hitrostna omejitev za del ceste je 130 km/h za lahka vozila in 80 km/h za težka vozila in izpolnjeni so pogoji za stalni tekoči prometni tok. Zaradi takšnih ali drugačnih razlogov pa del vozil dejansko vozi hitreje ali počasneje (op. enkrat upoštevano  $\pm 10$  km/h in drugič  $\pm 20$  km/h) ter del vozil vozi na način, ki ni enak stalnemu tekočemu prometnemu toku.

Tabela 11 prikazuje odstopanja ločeno za lahka in ločeno za težka vozila. Pri stolpcu, kjer je podano skupno odstopanje (lahka + težka vozila) je potrebno opozoriti, da seštevanje po enačbi  $(\sigma_L^2 + \sigma_T^2)^{0,5}$  ni najbolj na mestu in lahko služi zgolj kot informacija (ocena) zaradi dejstva, ker je emisija težkih vozil in s tem njihov vpliv znatno večji od lahkih vozil. Tako 7,8 lahkih vozil pri hitrosti 80 km/h in enakomernem stalnem prometnem toku po zvočni moči ustreza 1 tovornemu vozilu. Iz tega podatka je zaključiti, da seštevanje negotovosti po prej omenjeni enačbi velja zgolj v primeru, ko je delež težkih vozil cca 12,8% (op.  $1/7,8 \cdot 100\%$ ). V drugih primerih je potrebno obravnavati lahka in težka vozila in njihov vpliv na skupno emisijo hrupa posebej.

Tabela 11: Možna odstopanja normirane zvočne moči posameznega vozila  $L_w$  v primeru spremembe hitrosti za  $\pm 10$  in  $\pm 20$  km/h ob upoštevanju različnih prometnih tokov pri ravnem poteku ceste

Hitrostna omejitev (L/T)	Standardna deviacija zvočne moči $L_w$ [dBA] pri spremembi dejanske hitrosti v $\pm 10$ km/h in upoštevanju različnih načinov vožnje			Standardna deviacija zvočne moči $L_w$ [dBA] pri spremembi dejanske hitrosti v $\pm 20$ km/h in upoštevanju različnih načinov vožnje		
	$\sigma$ , Lahka	$\sigma$ , Težka	$\sigma_{skup.}$ ( $L+T_{\leq 80km/h}$ )	$\sigma$ , Lahka	$\sigma$ , Težka	$\sigma_{skup.}$ ( $L+T_{\leq 80km/h}$ )
20						
30						
40	2,13	3,17	3,82	2,65	3,47	4,36
50	1,94	2,63	3,27	2,59	2,85	3,85
60	2,02	2,26	3,03	2,82	2,65	3,87
70	2,07	2,15	2,99	2,95	2,72	4,01
80	1,75	1,97	2,64	2,87	2,77	3,99
90/80	1,50		2,48	2,51		3,74
100/80	1,27		2,34	2,17		3,52
110/80	1,07		2,24	1,89		3,35
120/80	0,98		2,20	1,67		3,24
130/80	0,90		2,16	1,27		3,05

OPOMBA: Predpostavka, nobeno lahko vozilo ne vozi več kot 150 km/h in nobeno težko več kot 100 km/h.

Tudi GPG [5] v Dodatku 5 ugotavlja, da je pri zvočni emisiji najpomembnejši parameter hitrost. Glede na % težkih vozil podaja prioriteto za emisijo najpomembnejših parametrov, kar podaja Tabela 12.

Tabela 12: Vrstni red najpomembnejših parametrov glede zvočne emisije po NMPB-Route-96

Vrstni red pomembnosti	Delež težkih vozil (TV) (%TV > 30)	Delež težkih vozil (TV) (%TV < 30)
1	Hitrost težkih vozil (v_TV)	Hitrost lahkih vozil (v_LV)
2	Količina težkih vozil (Q_TV)	Količina lahkih vozil (Q_LV)
3	Hitrost lahkih vozil (v_LV)	Hitrost težkih vozil (v_TV)
4	Količina lahkih vozil (Q_LV)	Količina težkih vozil (Q_TV)
5	Vzdolžni nagib ceste	Vzdolžni nagib ceste
6	Površina ceste	Površina ceste

### 4.2.3 SKLEP

Na osnovi predstavljenega je mogoče zaključiti sledeče:

- hitrost je parameter, ki bistveno vpliva na emisijo hrupa posameznega vozila in posledično na obremenjenost okolja v okolici ceste s hrupom. Vpliv razlike med dejansko in v akustičnem modelu upoštevano hitrostjo vožnje je večji pri manjših hitrostih vožnje. Razlika v hitrosti vožnje za  $\pm 10$  km/h ima za posledico spremembo emisije posameznega vozila, pri omejitvi 130 km/h za cca -1 do +1 dBA za lahka vozila, oz. pri omejitvi 80 km/h za cca -1,7 do +1,5 dBA za težka vozila. Pri spremembi hitrosti vožnje za  $\pm 20$  km/h je sprememba emisije posameznega vozila, pri omejitvi 130 km/h za cca -2,3 do +2 dBA za lahka vozila, oz. pri omejitvi 80 km/h za cca -2,4 do +2,8 dBA za težka vozila, vse za stalen prometni tok po horizontalni cesti. Točne vrednosti ni mogoče podati, ker gre za kombinacijo težkih in lahkih vozil, vpliv enih in drugih pa na skupno emisijo hrupa ni enak,
- v akustičnem modelu je bil za namen naloge upoštevan enakomeren prometni tok na oseh AC ter pospešen oz. zavirajoč promet na priključnih rampah ter pri cestninskih postajah. Na cestah, ki so v upravljanju MOL in DRSC je bil upoštevan enakomeren promet v kolikor je bil odsek odmaknjen od križišč, v neposredni bližini križišč pa je bil upoštevan sunkovit promet.



## 4.3 METEOROLOŠKI POGOJI ŠIRJENJA

### 4.3.1 UVOD

Skladno s Prilogo 3 Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju se obremenitev okolja s hrupom ocenjuje kot dolgotrajna (trajne) raven hrupa, in sicer za vsa dnevna, večerna in nočna obdobja vseh koledarskih dni v posameznem letu. Pri tovrstnem ocenjevanju je zato potrebno upoštevati tudi meteorološki popravek, ki opredeljuje "povprečno leto glede meteoroloških okoliščin". To se določi tako, da se povprečne vremenske razmere na nekem kraju določijo s statistično analizo podrobnih vremenskih podatkov, ki so bili na tem kraju ali v njegovi okolici izmerjeni v zadnjih desetih letih.

Lokalni meteorološki pogoji na mestu ocenjevanja so zaradi konfiguracije terena in pozidave razlikujejo od pogojev na lokaciji, kjer potekajo uradne meteorološke meritve, zato je pri računskem ocenjevanju uporabljena z Uredbo predpisana poenostavljena metoda, ki temelji na pogostosti sprememb vremenskih pogojev, ki so za širjenje hrupa ugodni.

Širjenje hrupa je tako odvisno od vremenskih pogojev, kot so predvsem: temperaturni gradient, gradient spremembe hitrosti vetra po višini ter smer vetra. Temperaturni gradient je lahko negativen (op. normalna situacija) ali pozitiven v primeru temperaturne inverzije. Hitrosti vetra se običajno povečuje z višino nad tlemi. Za širjenje hrupa ugodna smer vetra je kadar piha veter v smeri od vira v območju  $\pm 45^\circ$  glede na linijo, ki povezuje vir hrupa in točko ocenjevanja. Za širjenje hrupa neugodna smer pa je takrat, ko veter piha proti viru v območju  $\pm 45^\circ$  glede na linijo, ki povezuje vir hrupa in točko ocenjevanja. V ostalih primerih gre za t.i. prečni veter. Ustrezna kombinacija prej omenjenih gradientov in smeri vetra pa lahko privede do različne intenzitete širjenja hrupa v okolje.

V ta namen se ločijo tri vrste meteoroloških pogojev in sicer:

- homogene meteorološke pogoje širjenja hrupa v okolje (op. žarki širjenja hrupa so ravni),
- meteorološki pogoji, ki so za širjenje hrupa ugodni (op. žarki širjenja hrupa so ukrivljeni navzdol) in
- meteorološki pogoji, ki so za širjenje hrupa neugodni (op. žarki širjenja hrupa so ukrivljeni navzgor).

Ob upoštevanju END [5] in Priporočila [7] se meteorološki pogoji ugodni za širjenje hrupa v posameznih obdobjih dneva upoštevajo v sledečih deležih:

- 50% ugodni meteor. pogoji v dnevnem obdobju,
- 75% ugodni meteor. pogoji v večernem obdobju,
- 100% ugodni meteor. pogoji v nočnem obdobju.

Korekcijski faktor zaradi različnih meteoroloških pogojev pri širjenju hrupa v okolju  $C_{met}$  se določi po sledeči enačbi:

$$C_{met} = C_0 \cdot \left[ 1 - \frac{10 \cdot (h_s + h_r)}{d_p} \right]$$

pri čemer je:  $C_0$  – faktor odvisen od lokalnih meteoroloških pogojev, kot so hitrost vetra, smer vetra in temperaturni gradient,  $h_s$  – višina vira hrupa,  $h_r$  – višina mesta ocenjevanja,  $d_p$  – razdalja med virom hrupa in mestom ocenjevanja

Faktor  $C_0$  se izračuna po sledeči enačbi:

$$C_0 = -10 \cdot \log \left( \frac{p_u}{100} \cdot 10^{-C_u/10} + \frac{p_{hp}}{100} \cdot 10^{-C_{hp}/10} + \frac{p_{hn}}{100} \cdot 10^{-C_{hn}/10} \right)$$

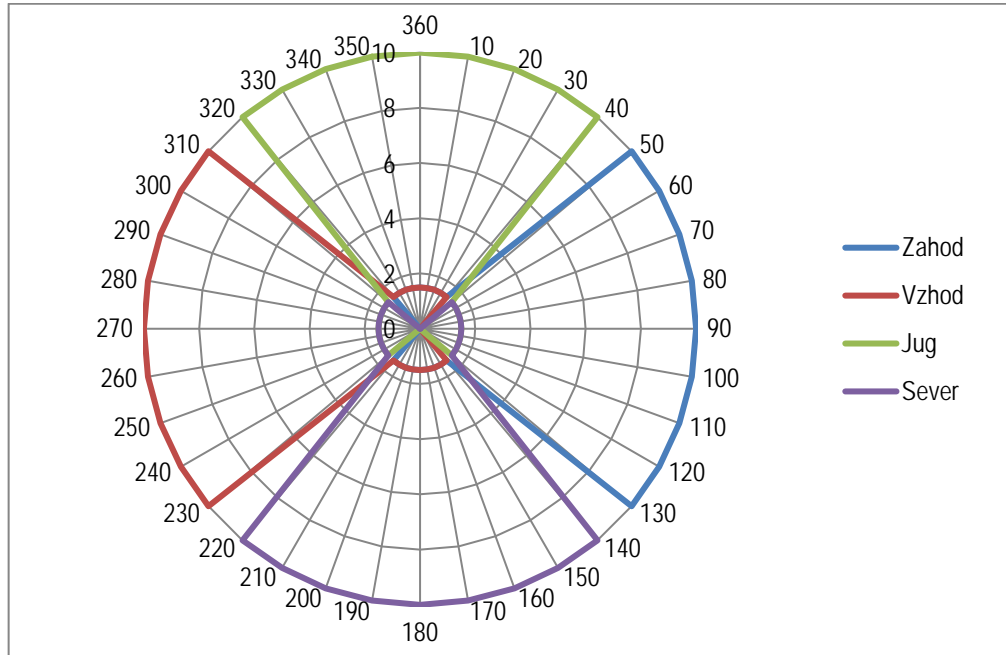
pri čemer je:  $p_u$  – delež za širjenje hrupa ugodnih vremenskih pogojev,  $p_{hp}$  – delež za širjenje hrupa homogenih vremenskih pogojev, pri čemer je smer vetra pretežno prečna glede na točko opazovanja,  $p_{hn}$  – delež za širjenje hrupa homogenih neugodnih vremenskih pogojev,  $C_u = 0$  dB in  $C_{hp} = 10$  dB (Opomba 20 standarda SIST ISO 9613-2),  $C_{hn} = 1,5$  dB (Opomba 22 standarda SIST ISO 9613-2).

$$C_{0,dan} = -10 \cdot \log \left( \frac{50}{100} \cdot 10^{-0/10} + \frac{25}{100} \cdot 10^{-10/10} + \frac{25}{100} \cdot 10^{-1,5/10} \right) = 1,5 \text{ dB}$$

$$C_{0,večer} = -10 \cdot \log \left( \frac{75}{100} \cdot 10^{-0/10} + \frac{12,5}{100} \cdot 10^{-10/10} + \frac{12,5}{100} \cdot 10^{-1,5/10} \right) = 0,7 \text{ dB}$$

$$C_{0,noč} = -10 \cdot \log \left( \frac{100}{100} \cdot 10^{-0/10} + \frac{0}{100} \cdot 10^{-10/10} + \frac{0}{100} \cdot 10^{-1,5/10} \right) = 0 \text{ dB}$$

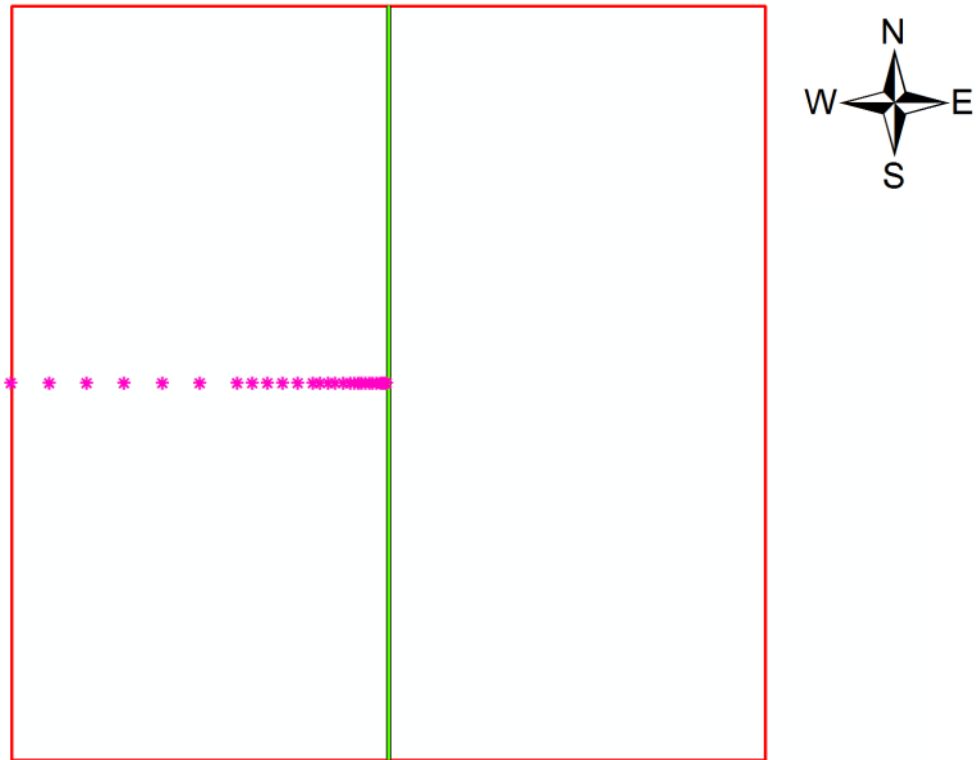
Slika 6 prikazuje posamezne smeri vetrov in njihova območja.



Slika 6: Območja posameznih smeri vetrov

### 4.3.2 OCENA NEGOTOVOSTI

Analiza vpliva smeri vetra na rezultate modelnega izračuna je izdelana na osnovi modela velikosti 1.000 x 1.000 m. Čez sredino modela v smeri sever – jug poteka linijski vir hrupa, zahodno od vira so v različnih oddaljenostih od vira mesta ocenjevanja. Podrobneje razdalje mest ocenjevanja od vira hrupa prikazuje Tabela 13. Višina mesta ocenjevanja je 4 m od tal. Slika 7 prikazuje testni model.



Slika 7: Model za analizo vpliva vetra na rezultate modelnega izračuna

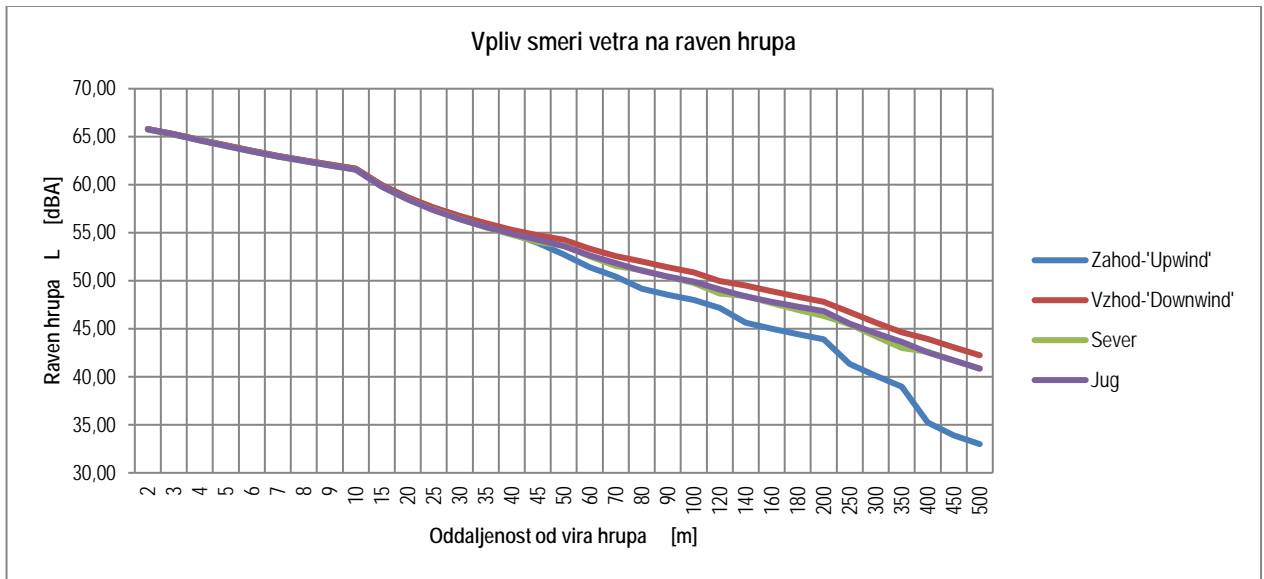
Tabela v nadaljevanju prikazuje rezultate testnega modelnega izračuna in sicer:

- za smer vetra "Zahod", ki predstavlja za širjenje hrupa neugodne pogoje (op. ang. "Upwind"),
- za smer vetra "Vzhod", ki predstavlja za širjenje hrupa ugodne pogoje (op. ang. "Downwind"),
- odstopanja rezultatov za vsa tri obdobja dneva z upoštevanjem priporočil GPG [5] od rezultatov, ki upoštevajo za hrup ugodno smer vetra.

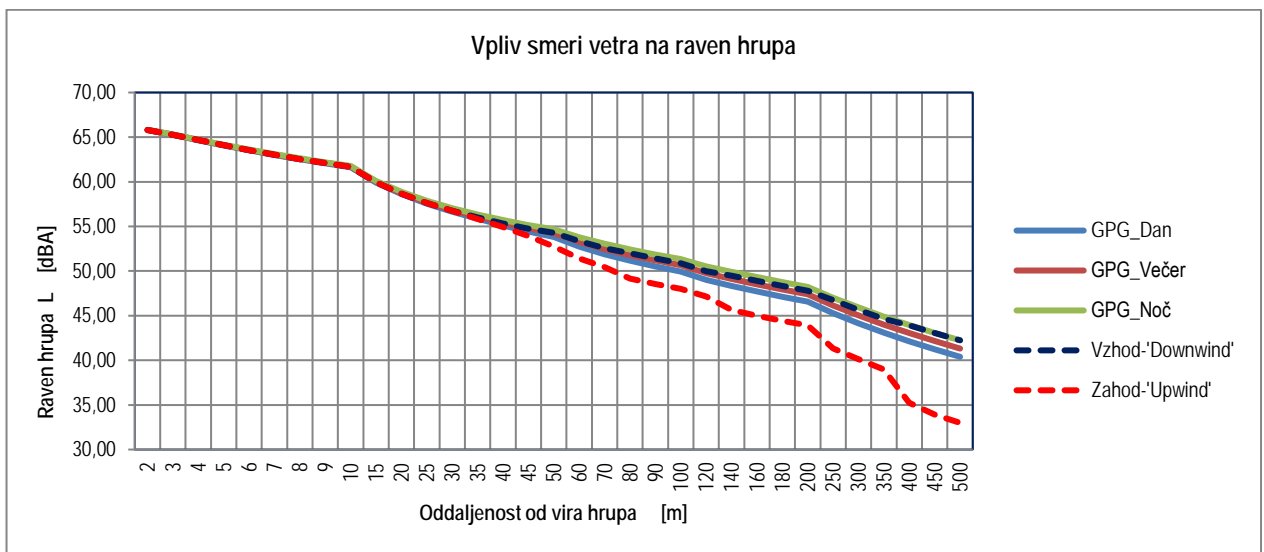
Tabela 13: Vpliv smeri vetra na rezultate modelnega izračuna

Zap. št.	Razdalja od vira [m]	Vrednosti na mestih ocenjevanja pri neugodnih pogojih širjenja "Upwind" [dBA]	Odstopanje od "Upwind" situacije v primeru izračuna po GPG [5] (dan: 50%, večer: 75% in noč: 100%)			Območje natančnosti
			"Downwind" GPGdan [dBA]	"Downwind" GPGvec [dBA]	"Downwind" GPGnoc [dBA]	
1.	2	65,80	0,01	-0,01	-0,03	A
2.	3	65,26	0,01	-0,02	-0,04	
3.	4	64,68	0,02	-0,01	-0,04	
4.	5	64,10	0,02	-0,01	-0,05	
5.	6	63,54	0,02	-0,02	-0,06	
6.	7	63,02	0,02	-0,02	-0,07	
7.	8	62,54	0,02	-0,03	-0,08	
8.	9	62,09	0,02	-0,03	-0,08	
9.	10	61,67	0,02	-0,03	-0,10	
10.	15	59,96	0,04	-0,05	-0,14	
11.	20	58,67	0,05	-0,06	-0,19	
12.	25	57,61	0,07	-0,08	-0,24	
13.	30	56,74	0,09	-0,09	-0,29	
14.	35	55,81	-0,04	-0,26	-0,51	B
15.	40	54,94	-0,17	-0,46	-0,76	
16.	45	53,94	-0,48	-0,84	-1,21	
17.	50	52,74	-1,07	-1,49	-1,92	
18.	60	51,40	-1,35	-1,87	-2,39	C
19.	70	50,44	-1,44	-2,02	-2,62	
20.	80	49,16	-1,99	-2,62	-3,26	
21.	90	48,53	-1,98	-2,65	-3,33	
22.	100	48,00	-1,94	-2,65	-3,35	
23.	120	47,16	-1,86	-2,61	-3,36	
24.	140	45,63	-2,70	-3,48	-4,27	D
25.	160	45,00	-2,71	-3,51	-4,32	
26.	180	44,43	-2,69	-3,51	-4,33	
27.	200	43,91	-2,65	-3,49	-4,32	
28.	250	41,33	-3,96	-4,82	-5,68	
29.	300	40,10	-4,04	-4,92	-5,81	
30.	350	38,98	-4,11	-5,01	-5,91	
31.	400	35,22	-6,91	-7,82	-8,72	E
32.	450	33,90	-7,33	-8,25	-9,17	
33.	500	32,99	-7,40	-8,32	-9,25	

Rezultati tabele so grafično prikazani na slikah v nadaljevanju.



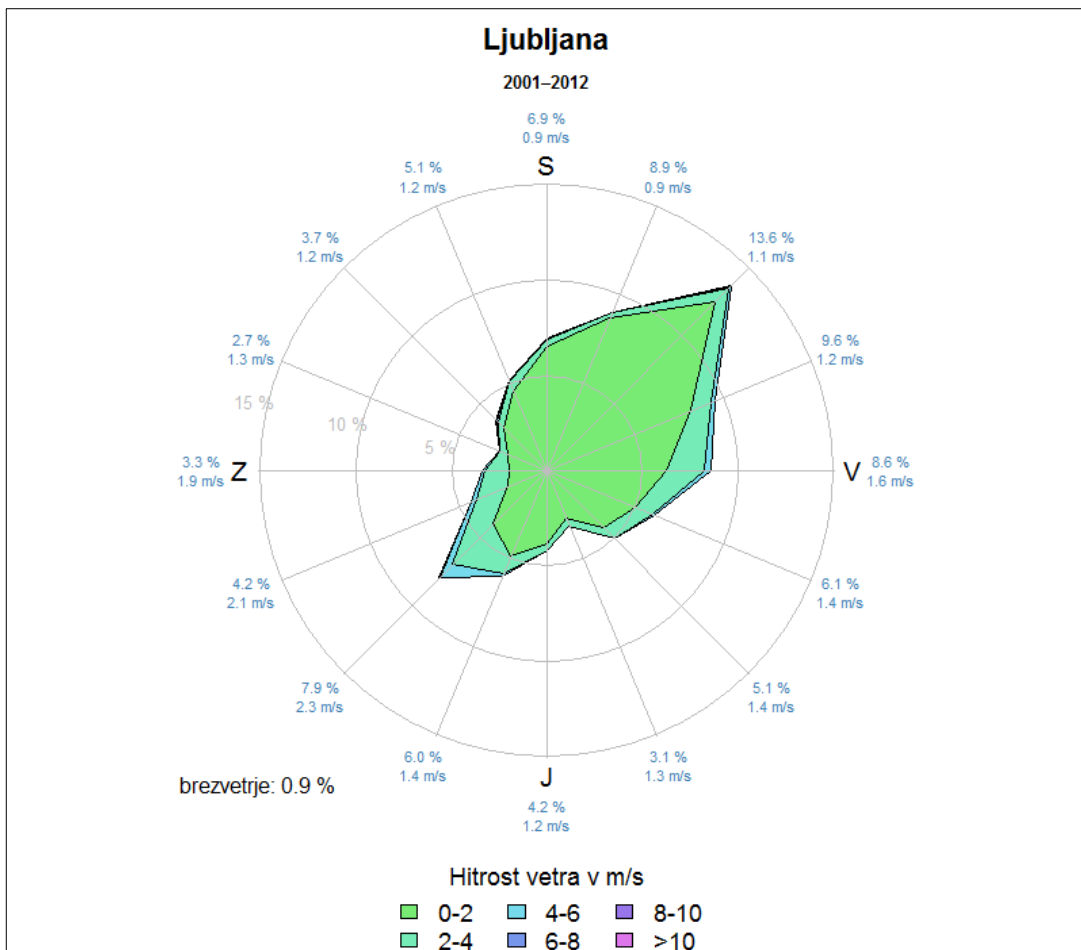
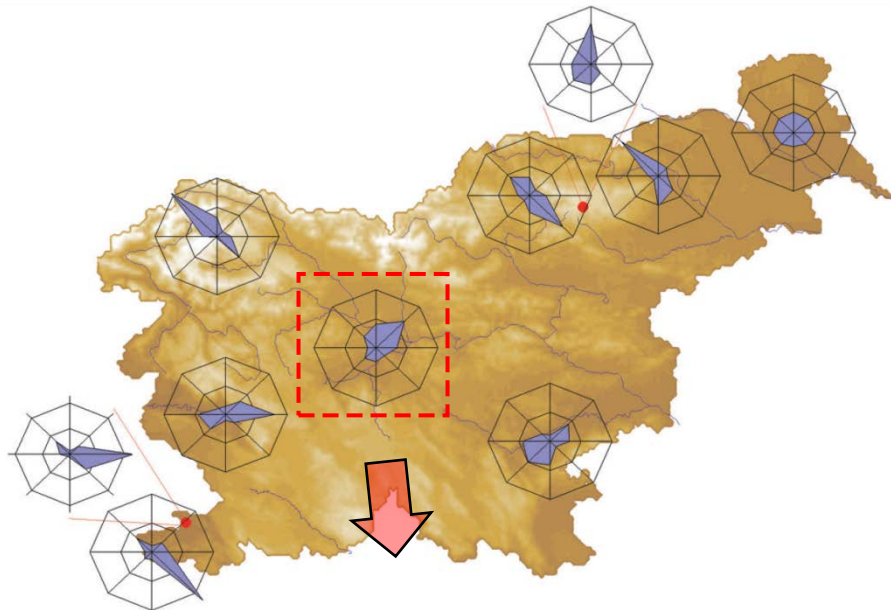
Slika 8: Rezultati računske ocene ravni hrupa glede na za širjenje hrupa ugodnih smeri vetra



Slika 9: Primerjava rezultatov ocenjevanja po GPG [5] s situacijami "Downwind" in "Upwind"

OPOMBA: V slikah sta smeri vetra Vzhod in Zahod opredeljena kot "Downwind" in "Upwind" situacija glede na položaj merilnih mest ocenjevanja glede na vir hrupa opredeljen v modelu, kar prikazuje Slika 7.

Slika v nadaljevanju prikazuje tipične rože vetrov za značilna mesta v Sloveniji ter podrobno za samo Ljubljano, iz katere je razvidno, da prevladuje SV veter in sicer bolj ali manj za vse jakosti vetra. Iz rože vetrov je tako razvidno, da je za Ljubljano v povprečju "Downwind" situacija SZ ter "Upwind" situacija JZ, ostalo so vmesne situacije.



Slika 10: Roža vetrov za Ljubljano

### 4.3.3 SKLEP

Na osnovi testnih izračunov je možno ugotoviti, da smer vetra ne vpliva pomembno na rezultate modelnega izračuna do oddaljenosti cca 30 m od vira hrupa (max. razlika je 0,3 dBA), nad to oddaljenostjo se vpliv povečuje in lahko na razdalji 500 m razlika med situacijo za hrup neugodnimi pogoji širjenja "Upwind" in situacijo za hrup ugodnimi pogoji širjenja "Downwind" tudi do 9,3 dBA.

Ker je za hrup najboljčljivejše nočno obdobje, GPG [5] iz previdnostnega načela predlaga v tem obdobju 100% upoštevanje za širjenje hrupa ugodnih vetrovnih razmer, kar pomeni, da so v primerih, ko dejanska vetrovna roža kaže na prevladujočo manj ugodno smer vetra, vrednosti modelnega izračuna večje od dejanskih, kar je razvidno iz zgornje slike (Slika 10). Določitev konkretnega odstopanja je možna le za konkretno lokacijo ob poznavanju lokalne rože vetrov za obravnavano obdobje dneva.

Za oceno negotovosti modelnega izračuna zaradi vpliva smeri vetra je smiselna uporaba razredov, navedenih v spodnji tabeli, ki prikazuje maksimalna možna odstopanja med za širjenje hrupa ugodno in neugodno meteorološko situacijo.

Tabela 14: Negotovost modelnega izračuna zaradi vpliva meteoroloških razmer glede na oddaljenost od vira hrupa

Razred točnosti	Oddaljenost od vira hrupa [m]	Pričakovano max. odstopanje [dB]
A	0 – 30	0 – 0,3
B	30 – 50	0,3 – 2
C	50 – 120	2 – 4
D	120 – 350	4 – 6
E	> 350	> 6

Na osnovi predstavljenega je mogoče zaključiti sledeče:

- zaradi nepoznavanja vetrovnih razmer v posameznih obdobjih dneva, kakor nepoznavanje lokalnih vetrovnih razmer, na katere ima vpliv konfiguracija terena, pozidava, ipd... je za namen naloge na celotnem območju obravnave (op. celotno območje MOL) pri računskem ocenjevanju upoštevano priporočilo GPG glede upoštevanja za hrup ugodnih meteoroloških pogojev (50% - Dan, 75% - Večer in 100% - Noč),
- negotovost modelnega izračuna glede na dejanske meteorološke razmere je ocenjena na manj kot 0,3 dBA pri oddaljenostih mesta ocenjevanja do 30 m in na več kot 5 dBA pri oddaljenostih več kot 200 m,
- glede na dejanske razmere tega območja, na katerem je možno pričakovati preseganje mejnih ravni kazalcev hrupa, do oddaljenosti cca 200 m od cest, ki so v upravljanju DARS oz. znatno manj pri cestah, ki so v upravljanju DRSC in MOL. Ocenjena negotovost modelnega izračuna zaradi meteoroloških pogojev širjenja hrupa je do cca 5 dBA, vendar le pri smereh vetra, ki so za širjenje hrupa neugodne.

## 4.4 ABSORPCIJSKE LASTNOSTI VOZNE POVRŠINE CESTIŠČA

### 4.4.1 UVOD

Vozna podlaga lahko pomembno vpliva na emisijske lastnosti ceste kot vira hrupa. Na tem področju so v teku številne praktične študije in raziskave, ki so v zadnjih letih privedle do vse pogostejše uporabe vozniških površin z izboljšanimi absorpcijskimi lastnostmi. Merilnih podatkov, na katere bi lahko oprli analizo vpliva podlage na slovenskem cestnem omrežju na emisijo hrupa, ni na voljo, zato je bil v okviru naloge vpliv upoštevan zgolj na osnovi zahtev oz. priporočil s tega področja [6].

### 4.4.2 VPLIV VOZNE POVRŠINE NA EMISIJSKE LASTNOSTI

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju predlaga glede na vrsto vozne površine popravke emisije hrupa  $\Psi$  glede na vrsto površine vozišča (Tabela 15).

Tabela 15: Popravki emisije hrupa  $\Psi$  po Uredbi o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju

Kategorije površin vozišča	Popravek emisijske ravni hrupa $\Psi$		
	0 ÷ 60 km/h	61 ÷ 80 km/h	81 ÷ 130 km/h
Drobir z bitumenskim mastiksom	-1 dBA	-2 dBA	-3 dBA
Drenažni asfalt (DA8s in DA11s)	-3 dBA	-4 dBA	-5 dBA
Dvojni drenažni asfalt	-3 dBA	-3 dBA	-6 dBA
Površinska obdelava	-1 dBA	-2 dBA	-2 dBA
Gladek asfalt (beton ali mastiks)	0 dBA		
Cementni beton in valoviti asfalt	+2 dBA		
Kamniti tlak gladke strukture	+3 dBA		
Kamniti tlak grobe strukture	+6 dBA		

V modelnih izračunih je bil upoštevan zgornji popravek emisije glede na vrsto vozne površine in hitrosti. Večina cestnega omrežja v upravljanju DARS je pokrita s SMA za katero se je upošteval popravek  $\Psi$  (-1/-2/-3). Nekaj malega (minimalno) je na DARS omrežju drenažnega asfalta s popravkom  $\Psi$  (-3/-4/-5). Na ostalih cestah (DRSC, MOL) pa je ali vgrajena podlaga brez emisijskega popravka ali pa podatek o vrsti podlage ni razpoložljiv.

### 4.4.3 SKLEP

Na osnovi predstavljenega je mogoče zaključiti sledeče:

- v tem trenutku ne obstajajo merljivi podatki, na osnovi katerih bi bilo možno natančneje oceniti negotovost modelnega izračuna zaradi vpliva lastnosti vozniških površin na obravnavanih cestnih odsekih na emisijo hrupa,
- po podatkih literature [9], vozne površine, ki ugodno vplivajo na zmanjšanje emisije hrupa prometa, to svojo lastnost z leti izgubljajo zaradi obrabe, poškodb, umazanije, ipd...
- na osnovi strokovne literature [6,9], lahko pri cestah, na katerih je bil upoštevan popravek emisije hrupa zaradi absorpcije  $\Psi < 0$ , ocenjujemo negotovost modelnega izračuna na cca  $\pm 1 \div 2$  dBA.



## 4.5 GOSTOTA PROMETNEGA TOKA

### 4.5.1 UVOD

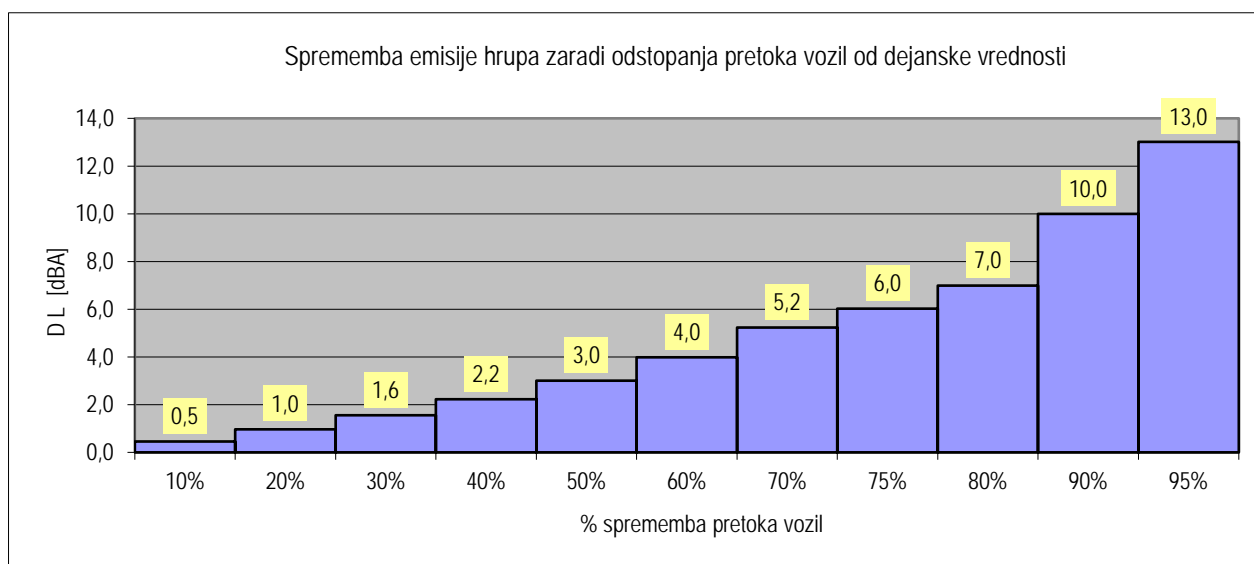
Bistveni podatek, ki vpliva na emisijo hrupa posameznega cestnega odseka, je tudi število lahkih in težkih vozil (gostota prometnega toka). Pri napovedih oz. ocenjevanjih prometnih tokov lahko prihaja do odstopanj od dejanskega stanja, saj preprosto ni mogoče upoštevati vseh vplivnih dejavnikov. Za takšne primere je potrebno oceniti, v kolikšni meri negotovost prometnih podatkov vpliva na emisijo hrupa in kolikšen je ta prispevek k skupni negotovosti modelnega izračuna.

### 4.5.2 OCENA NEGOTOVOSTI

Velikost spremembe emisije hrupa v odvisnosti od v računski oceni upoštevanega odstopanja pretoka vozil od dejanske vrednosti prikazujeta Tabela 16 in Slika 11:

Tabela 16: Sprememba emisije hrupa v odvisnosti od odstopanja pretoka vozil od dejanske vrednosti

Sprememba pretoka vozil	Sprememba emisije hrupa L <sub>w</sub> [Δ dBA]
10%	0,5
20%	1,0
30%	1,6
40%	2,2
50%	3,0
60%	4,0
70%	5,2
75%	6,0
80%	7,0
90%	10,0
95%	13,0



Slika 11: Sprememba emisije ceste kot vira hrupa v odvisnosti od spremembe pretoka vozil

Podatki o gostoti prometa za potrebe obratovalnega monitoringa hrupa so bili pripravljene v okviru iste naloge v strokovnih podlagah:

- študija prometa po modelu (PNZ,d.o.o.),
- podatkih iz izvedenih ročnih štetij prometa,
- kalibracija modela na način, da se prometni podatki modela na odsekih s števci ujemajo s podatki števca,
- na vmesnih odsekih in na odsekih, na katerih ni prometnih števcev, je bil promet določen na osnovi sosednjih odsekov s števci in nivojem uslug, ki jih nudijo obravnavane ceste za območja, skozi katera potekajo.

### 4.5.3 SKLEP

V povprečju velja, da so napovedi in ocene prometa točne v neposredni bližini prometnih števcev, na odsekih, kjer prometnih števcev ni, pa so odstopanja v povprečju do 30%, kar pomeni spremembo emisije hrupa oz. modelnega izračuna  $\pm 0,8$  dBA.

## 4.6 ABSORPCIJSKE LASTNOSTI TAL

### 4.6.1 UVOD

Na rezultate modelnega izračuna pomembno vplivajo tudi absorpcijske lastnosti terena med virom hrupa in mestom ocenjevanja. Natančnih navodil za upoštevanje teh lastnosti v akustičnem modelu ni, obstajajo samo smernice oz. priporočila GPG [5], CNOSSOS [15], ipd... Glede upoštevanja absorpcije se priporočilo GPG sklicuje na "Toolkit 13", ki je v originalu prikazano na spodnji sliki. Območja, katerim je pripisana absorpcija (absorpcijski faktor G), so definirana zelo splošno. Omejitev v tem primeru je, da v tovrstni obliki ni razpoložljivih podatkov. Zaradi tega je v nalogi za določitev absorpcije tal privzeta smernica CNOSSOS.

Toolkit 13: Ground surface type			
Available information	applicable tool		
Detailed geometry of reflective and absorptive surfaces		no further action	
Land use classification		Tool 13.1	
Classification of urban/suburban and rural		Tool 13.2	
No data available		Tool 13.3	

Tool 13.1: Land use classification																							
Method	complexity	accuracy	cost																				
<p>From land usage maps in GIS, the ground surface can be divided in classes. To each of these ground usage classes a default ground factor can be assigned, where 1.0 is absorptive.</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Land usage</th> <th>ground factor</th> </tr> </thead> <tbody> <tr><td>forest</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>agriculture</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>park</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>heath land</td><td>1.0</td></tr> <tr><td>paving</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>urban</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>industrial</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>water</td><td>0.0</td></tr> <tr><td>residential</td><td>0.5</td></tr> </tbody> </table>	Land usage	ground factor	forest	1.0	agriculture	1.0	park	1.0	heath land	1.0	paving	0.0	urban	0.0	industrial	0.0	water	0.0	residential	0.5		1 dB	
Land usage	ground factor																						
forest	1.0																						
agriculture	1.0																						
park	1.0																						
heath land	1.0																						
paving	0.0																						
urban	0.0																						
industrial	0.0																						
water	0.0																						
residential	0.5																						

Tool 13.2: Classification of urban/suburban and rural			
Method	complexity	accuracy	cost
For urban areas the ground surface is default acoustically reflective, for suburban areas the ground surface is default 50% acoustically reflective and for rural areas the ground surface is by default absorbing. This can be extended with extra information for adding water in rural areas and forests/parks and sports grounds in urban areas		2 dB	

Tool 13.3: No data available			
Method	complexity	accuracy	cost
Use reflective ground everywhere as a worst-case default		3 dB	

Slika 12: Priporočeni absorpcijski faktorji po GPG [5]

Spodnja tabela prikazuje absorpcijske koeficiente, povzete po smernici CNOSSOS [15].

Tabela 17: Vrednosti absorpcijskega faktorja G za različne vrste tal

Opis	Tip	(kPa·s/m <sup>2</sup> )	vrednost G
Zelo mehka tla (sneg, mah, ipd...)	A	12,5	1
Mehka gozdna tla (kratko gosto resje, ipd...ali debel mah)	B	31.5	1
Stisnjena, zrahljana zemlja (trava, rahla zemlja)	C	80	1
Normalno stisnjena zemlja (gozdna tla, pašnik, polje)	D	200	1
Kompaktna polja, gramoz (kompaktne trate, prostor za parkiranje)	E	500	0,7
Stisnjena gosta tla (makadamska cesta, parkirišče)	F	2.000	0,3
Trde površine (normalen asfalt, beton)	G	20.000	0
Zelo trda in gosta površine (asfalt, beton, voda)	H	200.000	0

Za določitev območij z različnimi vrstami tal je bila za namen naloge prevzeta baza GERK (MOP, ARSO), ki je bila za uporabo topološko prečiščena, poenostavljena in urejena. V splošnem je bilo za namen obratovalnega monitoringa privzeto, da je absorpcijski faktor za cestne in vodne površine 0,0 za območja naselij brez zelenih površin 0,3, za dele naselij z večjim deležem zelenih površin pa 0,7.

#### 4.6.2 OCENA NEGOTOVOSTI

Vpliv tal z različnimi absorpcijskimi lastnostmi na rezultate modelnega izračuna je bil ocenjen na osnovi modela, ki je predstavljen v nadaljevanju. Model obsega površino 3.000 x 3.000 m, na sredini poteka linijski vir hrupa z emisijo  $L'_{WA}=85$  dBA/m. Na različnih oddaljenostih od vira hrupa so do razdalje 1.500 m v višini 4 m od tal do mesta ocenjevanja, absorpcijske lastnosti tal med virom hrupa in mestom ocenjevanja se spreminjajo. Izračun je bil izveden z upoštevanjem tipičnega frekvenčnega spektra za promet po metodi NMPB in sicer:

Frekvence [Hz]	125	250	500	1.000	2.000	4.000
Emisija po NMPB-END	-14,5	-10,2	-7,2	-3,9	-6,4	-11,4

Vrednosti absorpcijskega faktorja (G) za namen analize je bila: 0,00; 0,10; 0,30; 0,50; 0,65; 0,80; 0,95 in 1,00 pri čemer pomeni G=0,00 popolni odboj in G=1,00 popolno absorpcijo vpadnega zvoka. Slika v nadaljevanju prikazuje skico modela za analizo vpliva absorpcije terena.

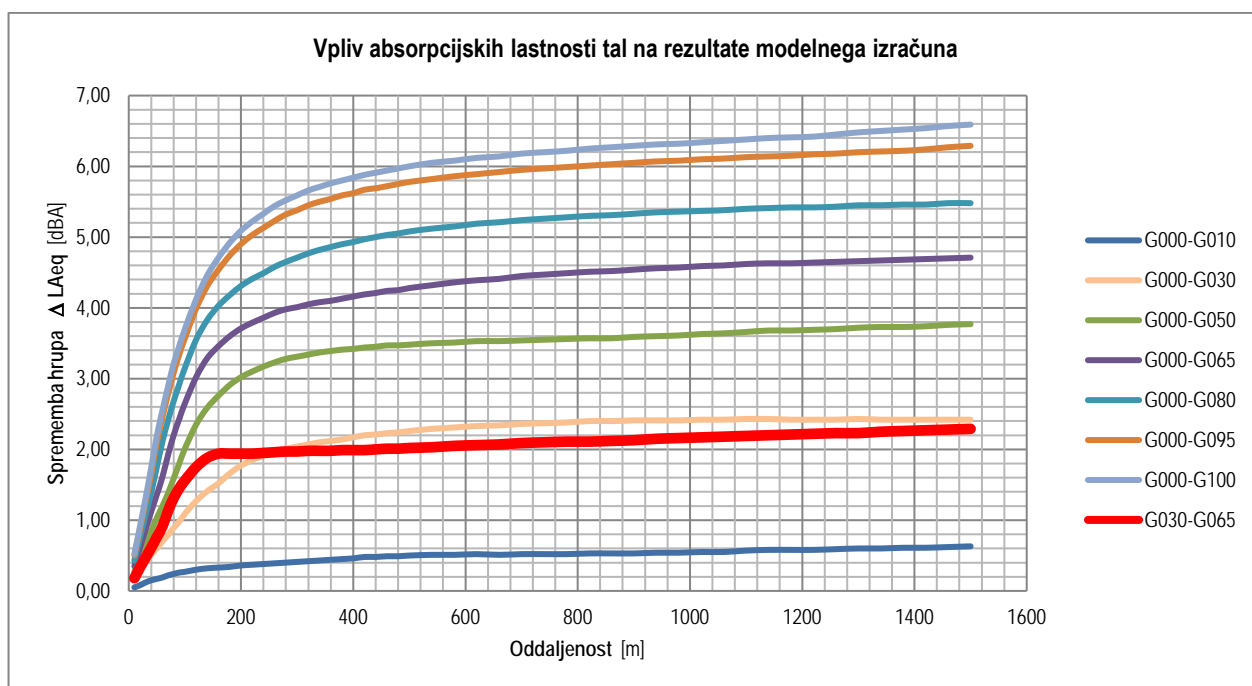
Slika 13: Model za analizo vpliva absorpcije terena na rezultate modelnega izračuna

Tabela 18: Vpliv absorpcije tal na širjenje hrupa, višina mesta ocenjevanja h = 4m

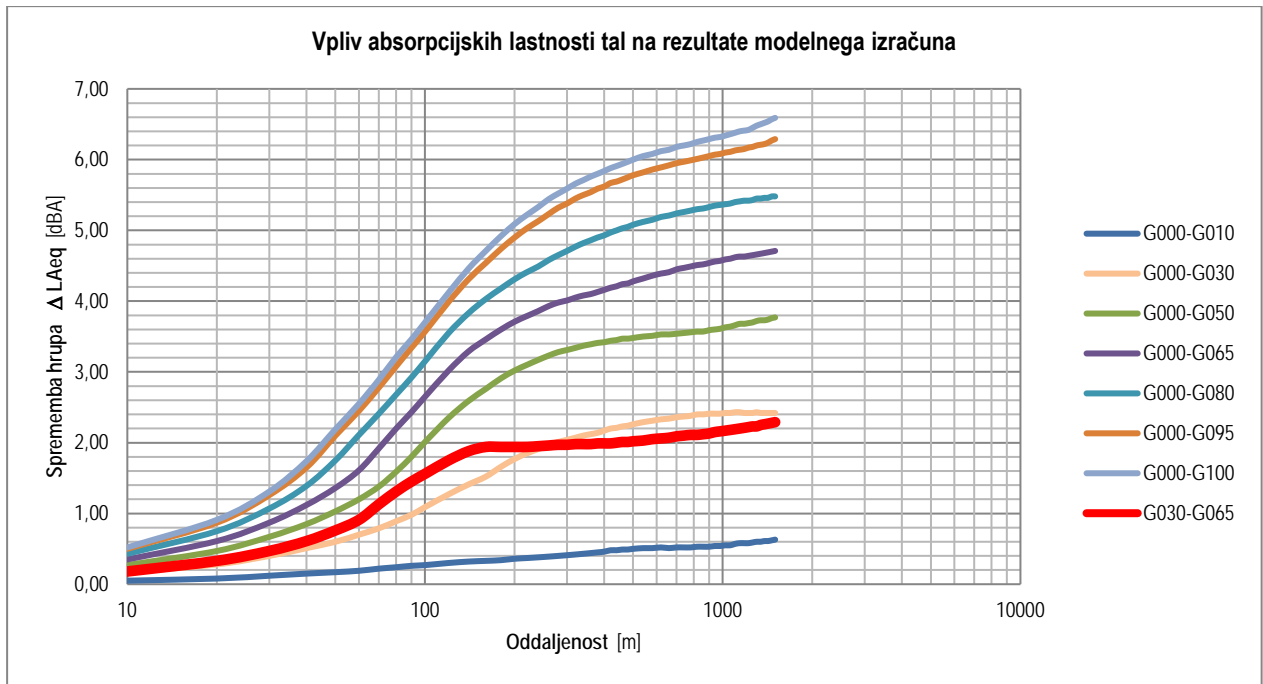
Zap. št.	Razd. [m]	Raven hrupa v odvisnosti od absorpcije tal - G								Sprememba ravni hrupa glede na popolno refleksijo						
		L_G000 [dBA]	L_G010 [dBA]	L_G030 [dBA]	L_G050 [dBA]	L_G065 [dBA]	L_G080 [dBA]	L_G095 [dBA]	L_G100 [dBA]	G000-G010 [dBA]	G000-G030 [dBA]	G000-G050 [dBA]	G000-G065 [dBA]	G000-G080 [dBA]	G000-G095 [dBA]	G000-G100 [dBA]
1.	10	71,47	71,42	71,30	71,20	71,12	71,04	70,97	70,95	0,05	0,17	0,27	0,35	0,43	0,50	0,52
2.	20	68,53	68,45	68,25	68,06	67,92	67,78	67,66	67,62	0,08	0,28	0,47	0,61	0,75	0,87	0,91
3.	30	66,71	66,59	66,31	66,04	65,84	65,64	65,45	65,40	0,12	0,40	0,67	0,87	1,07	1,26	1,31
4.	40	65,39	65,24	64,88	64,54	64,27	64,00	63,74	63,65	0,15	0,51	0,85	1,12	1,39	1,65	1,74
5.	50	64,34	64,17	63,74	63,31	62,98	62,59	62,24	62,15	0,17	0,60	1,03	1,36	1,75	2,10	2,19
6.	60	63,48	63,29	62,78	62,28	61,87	61,37	61,03	60,93	0,19	0,70	1,20	1,61	2,11	2,45	2,55
7.	70	62,74	62,52	61,95	61,36	60,82	60,33	59,96	59,85	0,22	0,79	1,38	1,92	2,41	2,78	2,89
8.	80	62,11	61,87	61,22	60,52	59,91	59,43	59,03	58,90	0,24	0,89	1,59	2,20	2,68	3,08	3,21
9.	90	61,54	61,28	60,56	59,74	59,11	58,62	58,20	58,08	0,26	0,98	1,80	2,43	2,92	3,34	3,46
10.	100	61,03	60,76	59,94	59,02	58,38	57,88	57,46	57,33	0,27	1,09	2,01	2,65	3,15	3,57	3,70
11.	120	60,16	59,86	58,89	57,81	57,14	56,61	56,17	56,04	0,30	1,27	2,35	3,02	3,55	3,99	4,12
12.	140	59,45	59,13	58,04	56,86	56,16	55,62	55,14	54,99	0,32	1,41	2,59	3,29	3,83	4,31	4,46
13.	160	58,84	58,51	57,32	56,08	55,38	54,81	54,30	54,13	0,33	1,52	2,76	3,46	4,03	4,54	4,71
14.	180	58,28	57,94	56,62	55,37	54,68	54,10	53,54	53,36	0,34	1,66	2,91	3,60	4,18	4,74	4,92
15.	200	57,76	57,40	55,99	54,74	54,05	53,45	52,86	52,67	0,36	1,77	3,02	3,71	4,31	4,90	5,09
16.	220	57,27	56,90	55,42	54,17	53,48	52,86	52,24	52,05	0,37	1,85	3,10	3,79	4,41	5,03	5,22
17.	240	56,81	56,43	54,90	53,64	52,95	52,32	51,68	51,48	0,38	1,91	3,17	3,86	4,49	5,13	5,33
18.	260	56,39	56,00	54,42	53,16	52,46	51,81	51,16	50,95	0,39	1,97	3,23	3,93	4,58	5,23	5,44
19.	280	55,98	55,58	53,97	52,70	52,00	51,33	50,66	50,46	0,40	2,01	3,28	3,98	4,65	5,32	5,52
20.	300	55,58	55,17	53,54	52,27	51,57	50,87	50,20	49,99	0,41	2,04	3,31	4,01	4,71	5,38	5,59
21.	320	55,21	54,79	53,14	51,87	51,16	50,44	49,76	49,55	0,42	2,07	3,34	4,05	4,77	5,45	5,66
22.	340	54,85	54,42	52,75	51,48	50,77	50,03	49,35	49,14	0,43	2,10	3,37	4,08	4,82	5,50	5,71
23.	360	54,50	54,06	52,38	51,11	50,40	49,64	48,96	48,74	0,44	2,12	3,39	4,10	4,86	5,54	5,76
24.	380	54,17	53,72	52,03	50,76	50,04	49,27	48,58	48,37	0,45	2,14	3,41	4,13	4,90	5,59	5,80
25.	400	53,85	53,39	51,68	50,43	49,69	48,92	48,23	48,01	0,46	2,17	3,42	4,16	4,93	5,62	5,84
26.	420	53,55	53,07	51,35	50,11	49,36	48,58	47,88	47,67	0,48	2,20	3,44	4,19	4,97	5,67	5,88
27.	440	53,25	52,77	51,04	49,80	49,04	48,25	47,56	47,34	0,48	2,21	3,45	4,21	5,00	5,69	5,91
28.	460	52,96	52,47	50,73	49,49	48,72	47,93	47,24	47,02	0,49	2,23	3,47	4,24	5,03	5,72	5,94
29.	480	52,67	52,18	50,43	49,20	48,42	47,62	46,92	46,70	0,49	2,24	3,47	4,25	5,05	5,75	5,97
30.	500	52,40	51,90	50,14	48,92	48,12	47,32	46,62	46,40	0,50	2,26	3,48	4,28	5,08	5,78	6,00
31.	540	51,87	51,36	49,58	48,37	47,55	46,75	46,05	45,82	0,51	2,29	3,50	4,32	5,12	5,82	6,05
32.	580	51,36	50,85	49,05	47,85	47,00	46,21	45,50	45,28	0,51	2,31	3,51	4,36	5,15	5,86	6,08
33.	620	50,88	50,36	48,55	47,35	46,49	45,69	44,99	44,76	0,52	2,33	3,53	4,39	5,19	5,89	6,12
34.	660	50,41	49,90	48,07	46,88	46,00	45,20	44,49	44,27	0,51	2,34	3,53	4,41	5,21	5,92	6,14
35.	700	49,97	49,45	47,61	46,43	45,52	44,73	44,02	43,79	0,52	2,36	3,54	4,45	5,24	5,95	6,18
36.	740	49,54	49,02	47,17	45,99	45,07	44,28	43,57	43,34	0,52	2,37	3,55	4,47	5,26	5,97	6,20
37.	780	49,12	48,60	46,74	45,56	44,63	43,84	43,13	42,90	0,52	2,38	3,56	4,49	5,28	5,99	6,22
38.	820	48,72	48,19	46,32	45,15	44,21	43,42	42,71	42,47	0,53	2,40	3,57	4,51	5,30	6,01	6,25
39.	860	48,32	47,79	45,92	44,75	43,80	43,01	42,29	42,05	0,53	2,40	3,57	4,52	5,31	6,03	6,27
40.	900	47,94	47,41	45,53	44,35	43,40	42,61	41,89	41,65	0,53	2,41	3,59	4,54	5,33	6,05	6,29
41.	940	47,57	47,03	45,16	43,97	43,01	42,22	41,50	41,26	0,54	2,41	3,60	4,56	5,35	6,07	6,31
42.	980	47,20	46,66	44,79	43,59	42,63	41,84	41,12	40,88	0,54	2,41	3,61	4,57	5,36	6,08	6,32
43.	1020	46,85	46,30	44,43	43,22	42,26	41,48	40,75	40,51	0,55	2,42	3,63	4,59	5,37	6,10	6,34
44.	1060	46,50	45,95	44,08	42,86	41,90	41,12	40,39	40,14	0,55	2,42	3,64	4,60	5,38	6,11	6,36
45.	1100	46,17	45,60	43,74	42,51	41,55	40,77	40,04	39,79	0,57	2,43	3,66	4,62	5,40	6,13	6,38
46.	1140	45,84	45,26	43,41	42,16	41,21	40,43	39,70	39,44	0,58	2,43	3,68	4,63	5,41	6,14	6,40
47.	1180	45,51	44,93	43,09	41,83	40,88	40,09	39,36	39,10	0,58	2,42	3,68	4,63	5,42	6,15	6,41
48.	1220	45,19	44,61	42,77	41,50	40,55	39,77	39,02	38,77	0,58	2,42	3,69	4,64	5,42	6,17	6,42

Zap. št	Razd. [m]	Raven hrupa v odvisnosti od absorpcije tal - G								Sprememba ravni hrupa glede na popolno refleksijo						
		L_G000 [dBA]	L_G010 [dBA]	L_G030 [dBA]	L_G050 [dBA]	L_G065 [dBA]	L_G080 [dBA]	L_G095 [dBA]	L_G100 [dBA]	G000-G010 [dBA]	G000-G030 [dBA]	G000-G050 [dBA]	G000-G065 [dBA]	G000-G080 [dBA]	G000-G095 [dBA]	G000-G100 [dBA]
49.	1260	44,88	44,29	42,46	41,18	40,23	39,45	38,70	38,43	0,59	2,42	3,70	4,65	5,43	6,18	6,45
50.	1300	44,58	43,98	42,15	40,86	39,92	39,13	38,38	38,10	0,60	2,43	3,72	4,66	5,45	6,20	6,48
51.	1340	44,28	43,68	41,86	40,55	39,61	38,83	38,07	37,78	0,60	2,42	3,73	4,67	5,45	6,21	6,50
52.	1380	43,98	43,37	41,56	40,25	39,30	38,52	37,76	37,46	0,61	2,42	3,73	4,68	5,46	6,22	6,52
53.	1420	43,69	43,08	41,27	39,95	39,00	38,23	37,45	37,15	0,61	2,42	3,74	4,69	5,46	6,24	6,54
54.	1460	43,41	42,79	40,99	39,65	38,71	37,93	37,14	36,84	0,62	2,42	3,76	4,70	5,48	6,27	6,57
55.	1500	43,13	42,50	40,71	39,36	38,42	37,65	36,84	36,54	0,63	2,42	3,77	4,71	5,48	6,29	6,59

Sliki v nadaljevanju prikazujeta rezultate v tabeli v linearnem in v logaritemskem merilu



Slika 14: Vpliv absorpcijskih lastnosti tal na širjenje hrupa



Slika 15: Vpliv absorpcijskih lastnosti tal na širjenje hrupa (op. logaritemsko merilo)

#### 4.6.3 SKLEP

Na osnovi predstavljenega je mogoče zaključiti sledeče:

- Ocenjujemo, da so pridobljeni podatki o lastnostih tal (GERK), preko katerih so bile določene njihove absorpcijske lastnosti, takšne natančnosti, da odstopanje izbrane absorpcije glede na dejansko stanje ni večje od cca 30% (op. v grafih prikazana rdeča odebeljena črta).
- Iz rezultatov izhaja, da se vpliv absorpcije najhitreje spreminja do razdalje cca 100 m, nakar vpliv narašča počasneje.
- V primeru določitve absorpcije do 30% natančno je pričakovana negotovost modelnega izračuna prikazana v sledeči tabeli.

Tabela 19: Vpliv absorpcije tal na negotovost modelnega izračuna pri različnih oddaljenostih mesta ocenjevanja od vira hrupa

Razred točnosti	Oddaljenost od vira hrupa [m]	Pričakovano odstopanje [dB]
A	0 - 30	0 – 0,4
B	30 - 50	0,4 – 0,6
C	50 - 120	0,6 – 1,3
D	120 - 350	1,3 – 2,1
E	> 350	> 2,1

## 4.7 VELIKOST RADIJA, V KATEREM SO UPOŠTEVANI ODBOJI OD OBJEKTOV

### 4.7.1 UVOD

Modelni izračun je podvržen omejitvam, ki jih uporabnik računalniškega programa nastavi pred pričetkom izračuna. Od nastavitvev (npr. gostota točk pri rastrskem izračunu, kjer je osnovna nastavitev 10 x 10 m, vplivni radij, v katerem se izračunava odboj od sosednjih objektov, v modelu upoštevana nastavitev je 50 m, itd...) je odvisno število izvedenih računskih operacij in s tem čas trajanja izračuna, zato je potrebno te smiselno izbrati. Za namen naloge je bil izbran raster izračuna prostorske obremenitve s hrupom 10 x 10 m. Vpliv spremembe gostote rastra izračun na rezultate ni bil preverjen.

Vplivni radij, v katerem se upošteva odboje od sosednjih objektov, s projektno nalogo ni bil določen, zraven tega je bilo smiselno preveriti vpliv števila odbojev na negotovost na gosteje poseljenih območjih.

### 4.7.2 OCENA NEGOTOVOSTI

Uvodoma je potrebno pojasniti, da enolična določitev negotovosti izračunov, ni možna zaradi dejstva, da poselitve oz. objekti niso enakomerno porazdeljeni po obravnavanih območjih. Kjer drugih ali bližnjih objektov v okolici mesta ocenjevanja ni, tudi ni odbojev, zato velikost vplivnega radija na takšnih mestih nima nobenega vpliva. Vpliv velikosti radija, v katerem se upošteva odboje od sosednjih objektov, je bil ocenjen na osnovi modela na sledeči sliki.



Slika 16: Območje za oceno vpliva velikosti vplivnega radija odbojev od sosednjih objektov

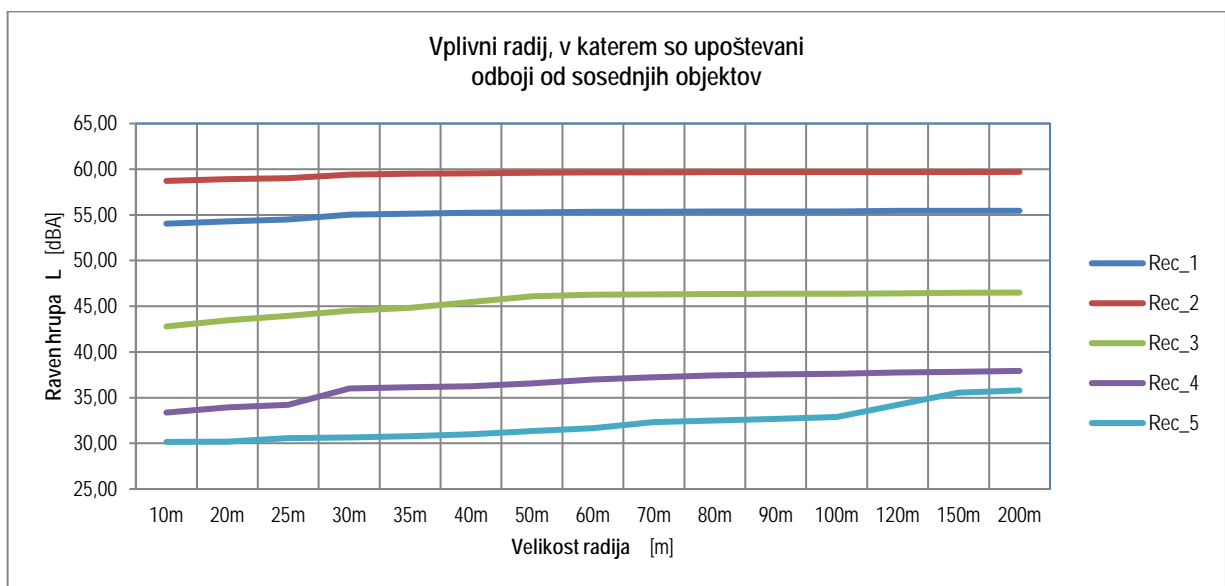


Na sliki je razvidno, da je poselitev zgoščena severno od prometnice, medtem ko južno od nje ni nobenega objekta, od katerega bi se zvok odbijal. Določenih je bilo 5 kontrolnih točk (mesta ocenjevanja) na višini 4 m. Mesti 1 in 2 sta na območju, kjer ni sosednjih stavb, točki 3,4 sta na poseljenem območju, točka 5 pa se nahaja izza poselitvenega območja vendar brez objektov v svoji neposredni bližini. Tabela v nadaljevanju podaja rezultate v kontrolnih točkah, pri čemer je bil upoštevan vplivni radij, v katerem so upoštevani odboji od sosednjih objektov, od 10 m do 200 m.

Tabela 20: Rezultati modelnega izračuna v kontrolnih točkah z upoštevanjem velikosti vplivnega radija odbojev od sosednjih objektov

Zap. št.	Položaj merilnega mesta		Vplivni radij upoštevanja odbojev od sosednjih objektov														
			10m	20m	25m	30m	35m	40m	50m	60m	70m	80m	90m	100m	120m	150m	200m
	GK_Y [m]	GK_X [m]	LAeq [dBA]														
1.	565.727	141.406	54,04	54,30	54,51	55,01	55,13	55,24	55,28	55,33	55,35	55,38	55,38	55,39	55,43	55,43	55,45
2.	565.725	141.510	58,72	58,91	59,01	59,40	59,50	59,53	59,62	59,64	59,65	59,67	59,68	59,69	59,69	59,69	59,71
3.	565.710	141.705	42,79	43,48	43,96	44,52	44,84	45,45	46,09	46,26	46,30	46,33	46,36	46,38	46,41	46,47	46,50
4.	565.692	141.812	33,37	33,94	34,20	36,01	36,14	36,24	36,58	36,97	37,24	37,44	37,53	37,63	37,76	37,81	37,93
5.	565.695	141.987	30,16	30,19	30,56	30,65	30,79	30,99	31,35	31,65	32,33	32,51	32,68	32,88	34,21	35,56	35,79

Na sliki v nadaljevanju so rezultati v tabeli prikazani grafično. Rezultati kažejo, da je vpliv zaznaven do velikosti upoštevanega vplivnega radija za odboje 30 – 50 m, nakar se vpliv zmanjšuje. Izjema je mesto ocenjevanja št. 5, kjer je bistven vpliv zaznaven tudi pri upoštevanju radija 100 m in več. Leži pa kontrolna točka 5 daleč od vira hrupa, torej na območju, kjer morebitna napaka ne vpliva na vrednotenje obremenitve s hrupom glede na mejne vrednosti.



Slika 17: Vpliv velikosti radija, v katerem so upoštevani odboji od sosednjih objektov, na rezultate modelnega izračuna

#### 4.7.3 SKLEP

Na osnovi zgoraj predstavljene analize rezultatov so za namen naloge bili izvedeni vsi izračuni z upoštevanjem vplivnega radija velikosti 50 m. Ocenjujemo, da je vplivni radij takšne velikosti, da so v njem zajeti vsi pomembni odboji zato tudi povečevanje le-tega ne bi doprineslo k manjši negotovosti modelnega izračuna. Negotovost modelnega izračuna z upoštevanim radijem 50 m in teoretičnim  $\infty$  m je ocenjena na cca 0 dB.

## 4.8 SKUPNA NEGOTOVOST MODELNEGA IZRAČUNA

### 4.8.1 UVOD

V okviru analize negotovosti modelnega izračuna obremenjenosti površin in stavb s hrupom pri izvedbi naloge je bilo upoštevano in analizirano 7 parametrov in sicer:

1. vpliv uporabe različnih geodetskih podlag terena,  $\sigma_1$ ,
2. vpliv hitrosti in vrste prometnega toka,  $\sigma_2$ ,
3. vpliv pogojev za razširjanje hrupa (veter),  $\sigma_3$ ,
4. vpliv absorpcijskih lastnosti vozne površine,  $\sigma_4$ ,
5. vpliv gostote prometnega toka,  $\sigma_5$ ,
6. vpliv absorpcijskih lastnosti tal med cesto in mestom ocenjevanja,  $\sigma_6$ ,
7. vpliv velikosti vplivnega radija, v katerem so upoštevani odboji od sosednjih objektov,  $\sigma_7$ .

Skupna negotovost modelnega izračuna kot posledico vseh posameznih negotovosti je določena po enačbi:

$$\sigma_{skup.} = \sqrt{\frac{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 + \sigma_4^2 + \sigma_5^2 + \sigma_6^2 + \sigma_7^2}{3}}$$

oz. kot razširjena negotovost z verjetnostjo 95,5% s faktorjem  $k=2$ :

$$u = k \cdot \sigma_{skup.} = 2 \cdot \sigma_{skup.}$$

### 4.8.2 OCENA SKUPNE NEGOTOVOSTI

V poglavjih 4.1 – 4.7 so negotovosti ocenjene kot sledi.

#### **$\sigma_1$ – vpliv uporabe različno natančnih geodetskih podlag terena**

Za primer spajanja DMV5 in Lidar podatkov na razdalji 200 m od osi ceste je negotovost  $\sigma_{1(4m)} = \pm 0,2$  dBA za višino ocenjevanja 4 m oz.  $\sigma_{1(2m)} = \pm 2,5$  dBA za višino ocenjevanja 2 m. V splošnem velja, da je negotovost modelnega izračuna zaradi spajanja različnih za namen naloge uporabljenih geodetskih podlag razen v neposredni bližini spojev zanemarljiva.

#### **$\sigma_2$ – vpliv hitrosti in vrste prometnega toka na horizontalni podlagi pri različnih režimih vožnje**

Tabela 21: Negotovost zvočne emisije posameznega vozila  $L_w$  v primeru spremembe hitrosti za  $\pm 10$  km/h

Hitrostna omejitev (L/T)	Standardna deviacija ( $\sigma_2$ ) pri spremembi hitrosti v $\pm 10$ km/h glede na računsko upoštevanje		
	$\sigma$ , Lahka	$\sigma$ , Težka	$\sigma_{skup.}$ (L+T $\leq 80$ km/h)
40	2,13	3,17	3,82
50	1,94	2,63	3,27
60	2,02	2,26	3,03
70	2,07	2,15	2,99
80	1,75	1,97	2,64
90/80	1,50		2,48
100/80	1,27		2,34
110/80	1,07		2,24
120/80	0,98		2,20
130/80	0,90		2,16

Zaradi nepoznavanja razmer na celotnem obravnavnem cestnem omrežju je v skupni oceni negotovosti modelnega izračuna upoštevano povprečno odstopanje dejanskih hitrosti vožnje  $\pm 10$  km pri vseh hitrostih. Za hitrostne omejitve na AC (op. 130/80) bi tako lahko zapisali:

$$\sigma_{skup.(L+T)} = \sqrt{\sigma_{L,130km/h}^2 + \sigma_{T,80km/h}^2} = \sqrt{0,90^2 + 1,97^2} \approx \pm 2,16 \text{ dB}$$

Za hitrostne omejitve na mestnih ulicah (op. 50/50) bi tako lahko zapisali:

$$\sigma_{skup.(L+T)} = \sqrt{\sigma_{L,50km/h}^2 + \sigma_{T,50km/h}^2} = \sqrt{1,94^2 + 2,63^2} \approx \pm 3,27 \text{ dB}$$

### $\sigma_3$ – vpliv smeri vetra

Tabela 22: Negotovost zaradi smeri vetra glede na oddaljenost mesta ocenjevanja od vira hrupa

Razred točnosti	Oddaljenost od vira hrupa [m]	Pričakovano max. odstopanje [dB]
A	0 – 30	0 – 0,3
B	30 – 50	0,3 – 2
C	50 – 120	2 – 4
D	120 – 350	4 – 6
E	> 350	> 6

### $\sigma_4$ – vpliv vozne površine

Na osnovi razpoložljivih podatkov in strokovne literature je v oceni skupne negotovosti upoštevana prispevek zaradi vpliva vozniških površin s popravljeno emisijo hrupa velikost cca  $\pm 1 \div 2$  dB.

### $\sigma_5$ – vpliv gostote prometnega toka

V povprečju je ocenjeno, da so napovedi in ocene prometa točne v neposredni bližini prometnih števec, na odsekih, kjer prometnih števec ni, pa so odstopanja v povprečju do 30%, kar pomeni spremembo emisije hrupa  $\pm 0,8$  dBA.

### $\sigma_6$ – vpliv absorpcijskih lastnosti tal med cesto in mestom ocenjevanja

Tabela 23: Negotovost modelnega izračuna zaradi absorpcije terena

Razred točnosti	Oddaljenost od vira hrupa [m]	Pričakovano odstopanje [dB]
A	0 - 30	0 – 0,4
B	30 - 50	0,4 – 0,6
C	50 - 120	0,6 – 1,3
D	120 - 350	1,3 – 2,1
E	> 350	> 2,1

### $\sigma_7$ – vpliv velikosti vplivnega radija, v katerem so upoštevani odboji od sosednjih objektov

Prispevek je ocenjen kot nepomemben.

$\sigma_7 \approx 0$  dBA

Tabeli v nadaljevanju podajata upoštevane negotovosti posamezni v modelnih izračunih pri različnih hitrostih in pri različnih oddaljenostih od vira hrupa.

Tabela 24: Povzetek pričakovanih negotovosti za posamezne situacije v odvisnosti od hitrosti in oddaljenosti od vira hrupa

Hitrost [km/h]	Možna odstopanja														
	$\sigma_1$	$\sigma_{2,(L+T)}$	$\sigma_3$ A	$\sigma_3$ B	$\sigma_3$ C	$\sigma_3$ D	$\sigma_3$ E	$\sigma_{4,max.}$ (L+T)	$\sigma_{5(30\%)}$	$\sigma_6$ A	$\sigma_6$ B	$\sigma_6$ C	$\sigma_6$ D	$\sigma_6$ E	$\sigma_7$
20	0		0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
30	0		0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
40	0	3,82	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
50	0	3,27	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
60	0	3,03	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
70	0	2,99	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
80	0	2,64	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
90/80	0	2,48	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
100/80	0	2,34	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
110/80	0	2,24	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
120/80	0	2,20	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
130/80	0	2,16	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0
140/80	0	2,04	0,15	1	3	5	8	1	0,8	0,2	0,3	0,65	1,05	1,25	0

Tabela 25: Skupna negotovost modelnega izračuna glede na hitrost prometnega toka in oddaljenost mesta ocenjevanja od vira hrupa -  $\sigma_{skup}$ .

Hitrost [km/h]	Skupna negotovost $\sigma_{skup}$ [dBA]				
	Območje (oddaljenost od vira hrupa)				
	0-30 m	30-50 m	50-120 m	120-350 m	>350 m
	A	B	C	D	E
40	2,3	2,4	2,9	3,8	5,2
50	2,0	2,1	2,7	3,6	5,1
60	1,9	2,0	2,6	3,5	5,0
70	1,9	2,0	2,6	3,5	5,0
80	1,7	1,8	2,5	3,4	5,0
90/80	1,6	1,7	2,4	3,4	4,9
100/80	1,5	1,7	2,3	3,3	4,9
110/80	1,5	1,6	2,3	3,3	4,9
120/80	1,5	1,6	2,3	3,3	4,9
130/80	1,5	1,6	2,3	3,3	4,9
140/80	1,4	1,5	2,3	3,3	4,9

Tabela v nadaljevanju podaja razširjeno negotovost  $u$  s faktorjem  $k=2$  (95,5% pokritost)

Tabela 26: Skupna razširjena negotovost modelnega izračuna glede na hitrost prometnega toka in oddaljenost mesta ocenjevanja od vira hrupa

Hitrost [km/h]	Razširjena negotovost $u$ [dBA]				
	Območje (oddaljenost od vira hrupa)				
	0-30 m	30-50 m	50-120 m	120-350 m	>350 m
	A	B	C	D	E
40	4,7	4,8	5,8	7,5	10,4
50	4,1	4,2	5,4	7,2	10,2
60	3,8	4,0	5,2	7,0	10,1
70	3,8	3,9	5,2	7,0	10,1
80	3,4	3,6	4,9	6,8	9,9
90/80	3,2	3,4	4,8	6,7	9,9
100/80	3,1	3,3	4,7	6,7	9,8
110/80	3,0	3,2	4,6	6,6	9,8
120/80	3,0	3,2	4,6	6,6	9,8
130/80	2,9	3,1	4,6	6,6	9,8
140/80	2,8	3,0	4,5	6,5	9,8

V zgornji tabeli navedene skupne razširjene negotovosti modelnega izračuna pri različnih hitrostih prometnega toka in v različnih oddaljenostih od ceste so največje pričakovane, saj sta negotovosti za lahka in težka vozila upoštevani enakovredno ne glede na delež tovornega prometa. V natančnejšem izračunu skupne negotovosti je namreč potrebno upoštevati ločeno negotovost za lahka in težka vozila ter ju v skupni negotovosti upoštevati glede na dejanski delež tovornega prometa.

Območje, v katerem je pričakovano preseganje mejnih vrednosti kazalcev hrupa, sega do oddaljenosti 200 m od osi ceste (op. najneugodnejša varianta v primeru cestnega omrežja v upravljanju DARS). Skupna negotovost računске metode na tem območju je  $1,4 \div 3,2$  dBA pri pokritosti 68,3%, oz. razširjena negotovost  $u$   $2,8 \div 6,4$  dBA (pokritost 95,5%), pri čemer je negotovost večja pri manjših hitrostih.

OPOMBA: Negotovost emisijskega modela v izračunu skupne negotovosti ni upoštevana. Morebitno odstopanje dejanskih emisijskih vrednosti od normiranih ni znano in predstavlja neznano sistematsko napako. Glede na rezultate primerjalnih meritev v literaturi in glede na rezultate primerjalnih meritev v okviru obratovalnega monitoringa je ocenjena sistematska napaka računskega modela -2 dBA.

## 5 ZAKLJUČEK IN POVZETEK

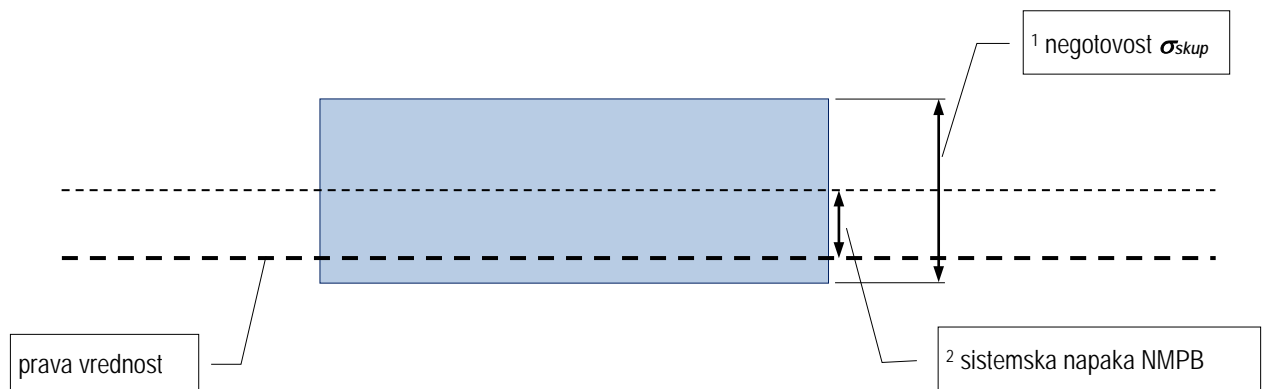
Za ocenjevanje hrupa cestnega prometa z modelnim izračunom je v Sloveniji z Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju predpisana metoda NMPB-Routes-1996. Zaradi ugotovljenih odstopanj z modelnim izračunom ocenjenih vrednosti kazalcev hrupa od vrednosti, ocenjenih na podlagi meritev je bila v okviru naloge opravljena obširna raziskava negotovosti omenjene metode.

Negotovost konkretne metode se lahko deli na:

- Negotovost, na katero imamo vpliv pri izdelavi akustičnega modela, to je točnost podatkov terena, stavbnega fonda, točna umestitev ceste v prostor, izbira absorpcijskih koeficientov tako talnega okrova kot tudi fasad stavb, emisijski popravek vozne površine ceste, ipd...,
- negotovost na katero nimamo neposrednega vpliva. Pri tem je mišljena predvsem emisijska baza metode NMPB-Routes-1996, ki je po literaturi [10] precejšnja glede na današnji vojni park za cca 2,1 dBA. Deloma je v to kategorijo uvrstiti tudi vpliv meteorologije, saj praktično ni mogoče za vse imisijske točke upoštevati lokalnih meteoroloških pogojev.

Metoda NMPB-Routes-1996 je danes stara cca 23 let (op. 2019-1996), bazira pa na emisijskih podatkih vozil še starejšega datuma. Z veliko verjetnostjo je to eden od razlogov za sistematično odstopanje rezultatov, dobljenih z modelnim izračunom, od rezultatov, pridobljenih z meritvami hrupa. Po literaturi [10], pa tudi na osnovi kontrolnih meritev, izvedenih v okviru obratovalnega monitoringa hrupa, so računsko ocenjene vrednosti kazalcev hrupa za cca 1,5 dBA večje od izmerjenih (op. standardna deviacija). V pomanjkanju drugih informacij se ta razlika pripisuje tehnološkemu napredku, kot so izboljšane pnevmatike [16], tišji pogonski agregati vozil, izboljšana aerodinamika vozil, boljše vozne površine, ipd...

Grafični prikaz rezultatov ocenjevanja hrupa za ceste v MOL, ki imajo pretok enak ali večji 1 milijona vozil letno, podaja spodnja slika. Iz nje je razvidno, da so rezultati modelnega izračuna v povprečju nad pričakovano pravo vrednostjo.



Slika 18: Prikaz tolerance pri podajanju rezultatov ocenjevanja hrupa v MOL na osnovi modelnega izračuna po NMPB-Routes-1996

Legenda:

<sup>1</sup> skupna ocenjena negotovost računskega modela (Tabela 25),

<sup>2</sup> ocenjena sistematična napaka metode NMPB-Routes-1996 (Slika 1), stand. odklon + 2,1 dB glede na rezultate meritev.

Teoretična, na osnovi strokovne literature [4] ocenjena skupna negotovost računske metode NMPB-Routes-1996, uporabljene za ocenjevanje hrupa cest z 1 milijonom vozil letno ali več, na območju MOL, je ocenjena na:

$$\sigma_{\text{skup}} = 0,6 \div 1,0 \text{ dBA}$$

$$u = 2 \sigma = 1,1 \div 2,1 \text{ dBA (95,5\% pokritost zanesljivosti)}.$$

Podrobnejša analiza negotovosti vseh vhodnih podatkov, ki pomembno vplivajo na rezultat modelnega izračuna, pa podaja skupno negotovost pri različnih hitrostih in pri različnih oddaljenostih od ceste kot vira hrupa. Konkretno je za območje do 200m od ceste, kjer je pričakovano največje število preobremenjenih stavb, pričakovana negotovost računske metode  $\sigma_{\text{skup}} = 1,4 \div 3,2 \text{ dBA}$  pri pokritosti 68,3%, oz. razširjena negotovost  $u = 2,8 \div 6,4 \text{ dBA}$  (pokritost 95,5%); negotovost je zaradi povečanega vpliva hitrosti na emisijo hrupa večja pri manjših hitrostih.

Ocenjujemo, da so bili v okviru naloge uporabljeni akustični modeli glede na razpoložljive podatke izdelani z največjo možno natančnostjo, zato bi bilo za izboljšanje natančnosti pri ocenjevanju hrupa z modelnim izračunom v prihodnosti smiselno upoštevati naslednje izboljšave:

- ugotoviti dejanske hitrosti na cestnem omrežju, saj hitrost bistveno vpliva na rezultate modelnega izračuna,
- na merilni osnovi točno določiti število vozil tudi na odsekih, ki v obstoječem stanju niso pokriti s števci prometa,
- določiti na kvantitativen način vpliv vozne površine na popravek emisije hrupa,
- oceniti odstopanje emisije slovenskega voznega parka od emisijske baze metode NMPB-Routes-1996 oz. na nacionalni ravni sprejeti pobudo za prevzem nove, natančnejše računske metode za ocenjevanje hrupa cestnega prometa.

Rezultate ocenjevanja hrupa cest v MOL, ki imajo pretok 1 milijona vozil letno ali več je potrebno razlagati kot:

- povprečno, dolgoročno obremenjenost okolja s hrupom za stanje prometa, ki je na obravnavanem omrežju veljalo leta 2016,
- upoštevati možnost, da so rezultati modelnega izračuna precenjeni zaradi sistematske napake uporabljene računske metode,
- zaradi vseh navedenih napak rezultate tolmačiti z določeno mero previdnosti. Pred sprejetjem obligatornih odločitev glede prilagoditve ocenjenih ravni hrupa normativnim vrednostim kazalcev hrupa, ki veljajo za prometno infrastrukturo in jih predpisuje Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, preveriti točnost akustičnega modela z dejanskim stanjem na terenu ali izvesti kontrolne meritve hrupa, katerih rezultati bi se morali ujemati z modelnimi rezultati na cca  $\pm 2$  dBA,
- vsekakor pa je ocenjevanje hrupa cest v MOL s pretokom 1 milijona vozil na leto ali več primerno za sprejem strateških odločitev pri prostorskem urejanju.

## 6 LITERATURA / VIRI

- 1 DMV.doc /GURS/, z dne 20.11.2007
- 2 Opis Lidar podatkov /GURS/
- 3 Adaptation and Revision of the Interim Noise Computation Methods for the Purpose of Strategic Noise Mapping (Dokument: AR-INTERIM-CM, pogodba: B4-3040/2001/2329750/MAR/C1)
- 4 Research Project NANR 93: WG-AEN's Good Practice Guide and the Implementations for Acoustic Accuracy; Final Reprt: Error Propagation Testing of XPS 31-133, Doc. code: HAL\_3188.3/4/2, DGMR\_V.2004.1300.00.R008.1, Maj 2005
- 5 GPG - Good Practice Guide for strategic noise mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, verz. 2, 13.01.2006
- 6 Road Noise Prediction, 1-Calculating sound emission from road traffic, Setra, junij 2009, prevedeno 2011
- 7 Commission recommendation concerning the guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway nose and related emission data
- 8 ISO 11819-1:1997, Acoustics – Method for measuring the influence of road surfaces on traffic noise – Part 1: The statistical pass-by method
- 9 Conference Noise in the City; Dr. Rob Hofman, Possible measures at urban level, Amsterdam, 2008
- 10 NMPB-Routes-2008: The Revision of the French Method for Road Traffic Noise Prediction; Guillaume Dutilleux in ostali; Acta Acustica united with Acoustica, Vol. 96 (2010) 452-462, DOI 10.3813/AAA.918298
- 11 Road Noise Prediction, 2-Noise propagation computation method including meteorological effect (NMPB 2008); Sétra, Junij 2009
- 12 Diplomaska naloga št.: 3050; Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru; Tanja Marcola; Univerza v Ljubljani, Ljubljana 2009
- 13 Directive 2002/49/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 Relating to the Assessment and Management of Environmental Noise
- 14 Obvladovanje merilne opreme; SIQ; Ljubljana, 10. april 2003
- 15 JRC Reference Reports; Common Noise Assessment Method in Europe (CNOSSOS-EU); European Commission; 2012
- 16 Study SI2.408210 Tyre/Road Noise Volume 1: Final Report; FEHRL; 2010

Konec poročila