

Univerza  
v Ljubljani  
Fakulteta  
*za gradbeništvo  
in geodezijo*

*Janova 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
telefon (01) 47 68 500  
faks (01) 42 50 681  
fgg@fgg.uni-lj.si*



Univerzitetni program Gradbeništvo,  
Prometna smer

Kandidatka:

**Tanja Marcola**

# **Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru**

**Diplomska naloga št.: 3050**

**Mentor:**

doc. dr. Tomaž Maher

**Somentor:**

mag. Bernardka Jurič

Ljubljana, 27. 2. 2009

## **IZJAVA O AVTORSTVU**

Podpisana **TANJA MARCOLA** izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom:  
**»METODA ZA IZRAČUN HRUPNE OBREMENITVE NMPB IN VERIFIKACIJA NA  
KONKRETNEM PRIMERU«.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL  
Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 09.01.2009

---

(podpis)

## **ZAHVALA**

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se zahvaljujem mentorju doc. dr. Tomažu Maherju, somentorici viš. pred. mag. Bernardki Jurič ter vsem zaposlenim v podjetju Projekt Ljubljana d.o.o., ki so mi omogočili prijetno delovno vzdušje.

Iskreno se zahvaljujem tudi svojima staršema, sestrama, fantu in prijateljem, ki so mi skozi vsa študijska leta stali ob strani, mi nudili pomoč in moralno podporo.

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>534.836(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Tanja Marcola</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Tomaž Maher</b>
<b>Somentorica:</b>	<b>Viš. pred. mag. Bernardka Jurič</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>86 str., 19 pregl., 29 sl., 32 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>zvok, hrup, zvočna raven, metoda za izračun hrupa, francoska metoda XP S31-133, metoda NMPB</b>

### **Izvleček:**

Diplomsko delo obravnava opis postopka računanja ravni hrupa, izračun in primerjavo vrednosti ravni hrupa, izračunanih po metodi ocenjevanja NMPB-Routes-96 in RLS – 90, ter grafični prikaz izračunov.

V uvodnem poglavju je podana okvirna vsebina naloge. Drugo poglavje predstavlja teoretične osnove zvoka in hrupa ter pojme zvočnih veličin, kot so zvočna moč, zvočni tlak in zvočna intenzivnost. Sledi kratko poglavje, v katerem je predstavljena veljavna zakonodaja na področju varstva pred hrupom v Republiki Sloveniji, ki za postopek računanja ravni hrupa zaradi cestnega prometa predpisuje francosko metodo ocenjevanja NMPB-Routes-96 in francoski standard XP S31-133. Metoda XP S31-133 je podrobneje opisana v četrtem poglavju.

Hrup v okolju lahko ocenimo iz rezultatov meritev ali modelnih izračunov. Za natančnejše rezultate modelnih izračunov je potrebna izdelava 3D modela terena. Prikaz izdelave 3D modela obravnavanega terena s programskim orodjem Graphic User Interface LimA\_5, version 5.1, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft GmbH, je prikazan v petem poglavju. Šesto poglavje opisuje postopek za oceno obremenjenosti okolja s hrupom in izračun nivojev hrupa po metodi NMPB in RLS – 90. Imisijske ravni hrupa v dnevnem in nočnem času so med seboj primerjane in interpretirane. Sledijo končna spoznanja pri pisanju diplomskega dela.

## **BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 534.836(043.2)  
**Author:** Tanja Marcola  
**Supervisor:** Assist. Prof. Dr. Tomaž Maher  
**Co supervisor:** Sen. lect. Msc. Bernardka Jurič  
**Title:** The emission calculation method NMPB and verification on concrete example  
**Notes:** 86 p., 19 tab., 29 fig., 32 eq.  
**Key words:** sound, noise, sound level, French method XP S31-133, noise calculation method, method NMPB

### **Abstract:**

This thesis aims to describe the procedure of assessing noise levels, the computation and comparison of noise level values calculated using the NMPB-Routes-96 and RLS – 90 assessment methods and a graphic presentation of the computations.

The introductory chapter gives an outline of the thesis subject. The second chapter presents the basic theory of sound and noise and the concepts of sound magnitudes such as sound power, sound pressure and sound intensity. This is followed by a short chapter on the valid legislation in the area of noise protection in the Republic of Slovenia, which provides the use of the French NMPB-Routes-96 assessment method and the French XP S31-133 standard for the computation of road traffic induced noise levels. A more detailed description of the XP S31-133 method is given in Chapter 4.

Noise in the environment can be assessed on the basis of measurement data or model calculations. To obtain more detailed data of model calculations, it is necessary to make a 3D model of the site. The process of making a 3D model of the site concerned with the software tool LimA\_5 (version 5.1) Graphic User Interface, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft GmbH, is presented in Chapter 5. The sixth chapter describes the procedure of assessing environmental noise load and the calculation of noise levels with the NMPB and RLS – 90 methods. The noise emission levels during the day and night are compared to each other and interpreted. Finally, the conclusion summarises the findings of the thesis.

## KAZALO VSEBINE

<b>1</b>	<b>UVOD</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>TEORETIČNE OSNOVE ZVOKA IN HRUPA</b>	<b>3</b>
2.1	Zvok	3
2.2	Osnovne značilnosti zvočnega valovanja	3
2.2.1	Frekvenca	4
2.2.2	Valovna dolžina	4
2.2.3	Hitrost širjenja zvoka	4
2.3	Hrup	6
2.4	Dinamično območje ušesa	7
2.5	Vpliv hrupa na ljudi	8
2.6	Zvočni tlak, zvočna intenzivnost in zvočna moč	9
2.6.1	Zvočni tlak	9
2.6.2	Vrednost RMS zvočnega tlaka	10
2.6.3	Zvočna intenzivnost	10
2.6.4	Zvočna moč	11
2.7	Zvočne ravni	12
2.7.1	Raven zvočnega tlaka	12
2.7.2	Raven zvočne intenzivnosti	12
2.7.3	Raven zvočne moči	13
2.8	Hrup v naravnem in življenjskem okolju - komunalni hrup	13
2.8.1	Vrednotenje komunalnega hrupa	14
2.8.2	Komunalni hrup zaradi prometnih sredstev	15
2.8.2.1	Hrup cestnih motornih vozil	16
2.8.2.1.1	Hrup zaradi delovanja pogonskega motorja	16
2.8.2.1.2	Hrup zaradi kotaljenja pnevmatik	16
2.8.2.1.3	Hrup zaradi aerodinamičnega upora zraka	17
<b>3</b>	<b>VELJAVNA ZAKONODAJA NA PODROČJU VARSTVA PRED HRUPOM V REPUBLIKI SLOVENIJI</b>	<b>18</b>

<b>3.1</b>	<b>Območja varstva pred hrupom</b>	<b>19</b>
<b>3.2</b>	<b>Mejne in kritične vrednosti kazalcev hrupa v okolju</b>	<b>20</b>
<b>4</b>	<b>FRANCOSKI STANDARD XP S31-133</b>	<b>23</b>
<b>4.1</b>	<b>Razčlenitev virov hrupa na točkovne zvočne vire</b>	<b>24</b>
<b>4.2</b>	<b>Določitev ravni zvočne moči vsakega vira po oktavnem pasu</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Emisijski model »Guide du bruit« 1980</b>	<b>25</b>
<b>4.2.1.1</b>	<b>Vrste vozil</b>	<b>26</b>
<b>4.2.1.2</b>	<b>Hitrost vozil</b>	<b>27</b>
<b>4.2.1.3</b>	<b>Prometni tok</b>	<b>27</b>
<b>4.2.1.4</b>	<b>Vzdolžni profili</b>	<b>28</b>
<b>4.2.2</b>	<b>Skupna raven zvočne moči na meter dolžine vzdolž voznega pasu</b>	<b>30</b>
<b>4.2.3</b>	<b>Raven zvočne moči vsakega točkovnega vira <math>i</math> po oktavnem pasu <math>j</math></b>	<b>30</b>
<b>4.2.3.1</b>	<b>Dolžina odseka na premici vira</b>	<b>31</b>
<b>4.2.3.2</b>	<b>Spektralna vrednost v dB(A) za oktavni pas <math>j</math></b>	<b>31</b>
<b>4.2.3.3</b>	<b>Popravek za površino vozišča</b>	<b>32</b>
<b>4.3</b>	<b>Iskanje širitvenih poti zvočnega valovanja med virom S in sprejemnikom R</b>	<b>33</b>
<b>4.4</b>	<b>Izračun zvočne ravni po oktavnem pasu za vsako širitveno pot (<math>S_i, R</math>)</b>	<b>34</b>
<b>4.4.1</b>	<b>Zmanjšanje zvočne ravni pri homogenih pogojih za širitev zvoka na poti (<math>S_i, R</math>)</b>	<b>34</b>
<b>4.4.2</b>	<b>Zmanjšanje zvočne ravni pri ugodnih pogojih za širitev zvoka na poti (<math>S_i, R</math>)</b>	<b>35</b>
<b>4.4.3</b>	<b>Določanje dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev za širitev zvoka (<math>p</math>)</b>	<b>36</b>
<b>4.4.3.1</b>	<b>Uporaba obstoječih lokalnih meteoroloških podatkov</b>	<b>36</b>
<b>4.4.3.2</b>	<b>Uporaba lokalnih meteoroloških podatkov, zbranih posebej za potrebe projekta</b>	<b>38</b>
<b>4.4.3.3</b>	<b>Privzamemo pavšalne vrednosti, ki čim bolj povečajo dejanske vrednosti</b>	<b>38</b>
<b>4.4.4</b>	<b>Zmanjšanje zvočne ravni zaradi geometrične divergence</b>	<b>39</b>
<b>4.4.5</b>	<b>Zmanjšanje zvočne ravi zaradi atmosferske absorpcije</b>	<b>39</b>
<b>4.4.6</b>	<b>Zmanjšanje zvočne ravni zaradi talnega učinka</b>	<b>40</b>
<b>4.4.6.1</b>	<b>Izračun talnega učinka pri ugodnih pogojih</b>	<b>41</b>

<b>4.4.6.2</b>	<b>Izračun talnega učinka pri homogenih pogojih</b>	<b>44</b>
<b>4.4.7</b>	<b>Zmanjšanje zvočne ravni zaradi difrakcije</b>	<b>45</b>
<b>4.4.7.1</b>	<b>Splošna metoda izračuna zmanjšanja zvočne ravni zaradi difrakcije</b>	<b>46</b>
<b>4.4.7.1.1</b>	<b>Določitev povprečne ravnine tal</b>	<b>48</b>
<b>4.4.7.1.2</b>	<b>Optična dolžina poti</b>	<b>48</b>
<b>4.4.7.1.3</b>	<b>Izračun zmanjšanja zvočne ravni zaradi čiste difrakcije</b>	<b>52</b>
<b>4.4.7.1.4</b>	<b>Izračun zmanjšanja zaradi talnega učinka na strani vira in na strani sprejemnika</b>	<b>52</b>
<b>4.4.7.1.5</b>	<b>Izračun zmanjšanja zvočne ravni zaradi difrakcije, upoštevajoč talne učinke</b>	<b>54</b>
<b>4.5</b>	<b>Kopičenje dolgoročnih zvočnih prispevanj vseh poti pri sprejemni točki R</b>	<b>54</b>
<b>4.6</b>	<b>Povprečna dolgoročna zvočna raven skupnega zvočnega tlaka pri sprejemni točki R</b>	<b>55</b>
<b>5</b>	<b>PROGRAMSKO ORODJE ZA IZRAČUN NIVOJEV HRUPA LIMA_5</b>	<b>56</b>
<b>5.1</b>	<b>Prenos DXF datotek v Limo</b>	<b>58</b>
<b>5.2</b>	<b>Digitaliziranje</b>	<b>59</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Digitaliziranje terena</b>	<b>59</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Digitaliziranje ovir</b>	<b>60</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Digitaliziranje virov hrupa</b>	<b>61</b>
<b>5.2.4</b>	<b>Digitaliziranje sprejemnikov</b>	<b>62</b>
<b>5.3</b>	<b>Izračun nivojev hrupa</b>	<b>63</b>
<b>5.4</b>	<b>Prikaz rezultatov izračuna</b>	<b>64</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Tabelarni prikaz</b>	<b>65</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Grafični prikaz</b>	<b>65</b>
<b>6</b>	<b>OCENA OBREMENITVE OKOLJA S HRUPOM IN IZRAČUN NIVOJEV HRUPA</b>	<b>67</b>
<b>6.1</b>	<b>Vgraditev konfiguracije terena obravnavanega prostora v računalniški medij v 3D zapisu</b>	<b>67</b>



<b>6.2</b>	<b>Določitev območja varstva pred hrupom v skladu z namensko rabo prostora</b>	<b>67</b>
<b>6.3</b>	<b>Vgraditev ceste v računalniški mediji v 3D zapisu z upoštevanjem nivoletnega poteka in obcestnega prostora</b>	<b>69</b>
<b>6.4</b>	<b>Vgraditev obstoječih objektov v računalniški medij v 3D zapisu</b>	<b>69</b>
<b>6.5</b>	<b>Izračun širjenja hrupa v prostoru</b>	<b>69</b>
<b>7</b>	<b>ZAKLJUČEK</b>	<b>81</b>
	<b>VIRI</b>	<b>84</b>
	<b>PRILOGE</b>	<b>86</b>

## KAZALO PREGLEDNIC

<b>Preglednica 1:</b>	<b>Hitrost zvočnega valovanja in gostota medija (Vir: Čudina, M. 2001, str. 8)</b>	<b>6</b>
<b>Preglednica 2:</b>	<b>Mejne vrednosti kazalcev hrupa <math>L_{noč}</math> in <math>L_{dvn}</math> za posamezna območja varstva pred hrupom (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 1, str.11030)</b>	<b>21</b>
<b>Preglednica 3:</b>	<b>Kritične vrednosti kazalcev hrupa <math>L_{noč}</math> in <math>L_{dvn}</math> za posamezna območja varstva pred hrupom (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 1, str.11030)</b>	<b>21</b>
<b>Preglednica 4:</b>	<b>Mejne vrednosti kazalcev hrupa <math>L_{dan}</math>, <math>L_{noč}</math>, <math>L_{večer}</math> in <math>L_{dvn}</math>, ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 1, str.11030)</b>	<b>22</b>
<b>Preglednica 5:</b>	<b>Normalizirani A-vrednoteni spekter prometnega hrupa v oktavnem pasu (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 3, str. 11042)</b>	<b>31</b>
<b>Preglednica 6:</b>	<b>Pregledna shema popravkov za površino vozišča (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 3, str. 11044)</b>	<b>32</b>
<b>Preglednica 7:</b>	<b>Kvalitativna preglednica, za oceno vpliva meteoroloških dejavnikov na zvočne ravni. (Vir: AFNOR, 2002, str. 30)</b>	<b>36</b>
<b>Preglednica 8:</b>	<b>Koeficient atmosfarske absorpcije <math>\alpha</math> v dB/km po oktavnih pasovih (Vir: AFNOR, 2002, str. 17)</b>	<b>39</b>
<b>Preglednica 9:</b>	<b>Brezdimenzijski koeficien <math>G</math> (Vir: AFNOR, 2002, str.17)</b>	<b>40</b>
<b>Preglednica 10:</b>	<b>Formule za izračun talnega učinka pri ugodnih pogojih (Vir: AFNOR, 2002, str. 20)</b>	<b>44</b>

<b>Preglednica 11: Mejne vrednosti kazalcev hrupa <math>L_{dan}</math>, <math>L_{noč}</math>, <math>L_{večer}</math> in <math>L_{dvn}</math>, ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge in obratovanje večjega letališča za posamezna območja varstva pred hrupom (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS št. 105/05, 34/08), priloga 1 str.11030)</b>	<b>68</b>
<b>Preglednica 12: Osnovne karakteristike in prometna obremenitev – vhodni podatki</b>	<b>70</b>
<b>Preglednica 13: Emisijske ravni hrupa za dnevni, nočni, večerni čas ter kazalec dvn</b>	<b>71</b>
<b>Preglednica 14: Imisijske točke na posameznih objektih</b>	<b>72</b>
<b>Preglednica 15: Imisijske ravni hrupa za dnevni, nočni, večerni čas ter kazalec dvn</b>	<b>72</b>
<b>Preglednica 16: Mejne dnevne in nočne ravni hrupa za posamezni prometni vir hrupa v območju naravnega in življenjskega okolja (Vir: Uredba o hrupu zaradi cestnega ali železniškega prometa (UL RS št. 45/95, 41/04, 105/05))</b>	<b>74</b>
<b>Preglednica 17: Osnovne karakteristike in prometna obremenitev – vhodni podatki</b>	<b>75</b>
<b>Preglednica 18: Emisijske ravni hrupa za dnevni in nočni čas</b>	<b>76</b>
<b>Preglednica 19: Imisijske ravni hrupa za dnevni in nočni čas</b>	<b>76</b>

## KAZALO SLIK

<b>Slika 1:</b>	<b>Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka (Vir: Čudina, M. 2001, str. 5)</b>	<b>7</b>
<b>Slika 2:</b>	<b>Neusmerjeni zvočni vir (Vir: Čudina, M. 2001, str. 25)</b>	<b>11</b>
<b>Slika 3:</b>	<b>Optimalna postavitev črt virov v primeru štiripasovne ceste (Vir: AFNOR, 2002, str. 12)</b>	<b>24</b>
<b>Slika 4:</b>	<b>Nomogram, ki navaja vrednost emisije hrupa <math>E</math> (Vir: Wölfel Meßsysteme Software GmbH &amp; Co, 2003, str. 19)</b>	<b>29</b>
<b>Slika 5:</b>	<b>Dolžina odseka na premici vira (Vir: AFNOR, 2002, str. 13)</b>	<b>31</b>
<b>Slika 6:</b>	<b>Poti širitve zvočnega valovanja med virom in sprejemnikom (Vir: AFNOR, 2002, str. 16)</b>	<b>33</b>
<b>Slika 7:</b>	<b>Enakovredne višine glede na povprečno ravnino tal (Vir: AFNOR, 2002, str. 18)</b>	<b>41</b>
<b>Slika 8:</b>	<b>Določanje talnega koeficienta <math>G_{pot}</math> na širitveni poti (Vir: AFNOR, 2002, str. 19)</b>	<b>42</b>
<b>Slika 9:</b>	<b>Prikaz splošne metode za izračun zmanjšanja zaradi difrakcije (Vir: AFNOR, 2002, str. 22)</b>	<b>47</b>
<b>Slika 10:</b>	<b>Izračun optične dolžine poti pri homogenih pogojih (Vir: AFNOR, 2002, str. 23)</b>	<b>49</b>
<b>Slika 11:</b>	<b>Definicija izraza <math>\Delta h</math> (Vir: AFNOR, 2002, str. 24)</b>	<b>49</b>
<b>Slika 12:</b>	<b>Izračun optične dolžine poti pri ugodnih pogojih v primeru enostavne difrakcije (Vir: AFNOR, 2002, str. 24)</b>	<b>50</b>
<b>Slika 13:</b>	<b>Izračun optične dolžine poti pri ugodnih pogojih v primeru večkratne difrakcije (Vir: AFNOR, 2002, str. 25)</b>	<b>51</b>
<b>Slika 14:</b>	<b>Delovni prostor v Limi</b>	<b>56</b>
<b>Slika 15:</b>	<b>Priprava prostorskih podatkov v programskem orodju AutoCAD</b>	<b>57</b>
<b>Slika 16:</b>	<b>Pogovorno okno za prenos datotek iz AutoCAD-a v Limo</b>	<b>58</b>
<b>Slika 17:</b>	<b>Prenesen grafični prikaz modela iz AutoCAD-a</b>	<b>58</b>
<b>Slika 18:</b>	<b>Pogovorno okno za izbor elementa, ki ga želimo digitalizirati</b>	<b>59</b>
<b>Slika 19:</b>	<b>Pogovorno okno za določitev lastnosti konture</b>	<b>60</b>
<b>Slika 20:</b>	<b>Pogovorno okno za določitev lastnosti ovire</b>	<b>60</b>
<b>Slika 21:</b>	<b>Različne barve digitaliziranih elementov</b>	<b>61</b>

<b>Slika 22: Izbira vira hrupa glede na metodo ocenjevanja kazalcev hrupa</b>	<b>62</b>
<b>Slika 23: Določitev časovnih obdobj dneva za izračun kazalcev hrupa</b>	<b>62</b>
<b>Slika 24: Pogovorno okno za določitev lastnosti sprejemnika</b>	<b>63</b>
<b>Slika 25: Pogovorno okno za določitev parametrov za izračun hrupa zaradi cestnega prometa</b>	<b>64</b>
<b>Slika 26: Okno za spremljanje napredovanja izračuna</b>	<b>64</b>
<b>Slika 27: Tabelarični izpis rezultatov izračuna</b>	<b>65</b>
<b>Slika 28: Pogovorno okno za grafični prikaz rezultatov</b>	<b>66</b>
<b>Slika 29: Raven hrupa prikazana v izofonah a) in razredih b)</b>	<b>66</b>

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

NMPB	Nouvelle Methode de Prevision du Bruit
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
RLS	Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen
RMS	Root Mean Square



## 1 UVOD

Hrup je dandanes eden največjih onesnaževalcev okolja. Povzročajo ga različne dejavnosti v okolju. Obremenitev s hrupom je v največji meri povezana z razvojem mest (industrija, infrastrukturni objekti). Posledično razvoju urbanih naselij sledi porast prebivalstva v mestih in ljudi, ki se vsakodnevno pripeljejo na delavno mesto, v šolo ali le po opravkih. S tem je povezano tudi naraščanje cestnega in železniškega prometa, ki povzroča velik problem onesnaževanja okolja s hrupom.

Hrup v okolju ocenimo iz rezultatov meritev ali modelnih izračunov. Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08) v prilogi 3 predpisuje postopek računanja ravni hrupa prometa. Za postopek računanja ravni hrupa, za hrup, ki nastane zaradi obratovanja cest, predpisuje francosko metodo ocenjevanja NMPB-Routes-96 (v nadaljevanju metoda NMPB) in francoski standard XP S31-133 (v nadaljevanju metoda XP S31-133). Metoda XP S31-133 opisuje enak postopek računanja ravni hrupa kot metoda NMPB.

Predstavljena naloga vsebuje celoten pregled računanja ravni hrupa zaradi cestnega prometa v skladu z metodologijo Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, vključno s predstavitvijo francoskega standarda XP S31-133, ki opisuje podroben postopek za izračun zvočnih ravni, ki jih povzroča promet v bližini ceste ob upoštevanju meteoroloških dejavnikov, ki vplivajo na širjenje hrupa.

S pomočjo programskega orodja Graphic User Interface LimA\_5, version 5.1, Stapelfeldt Ingenieuresellschaft, želimo na podlagi 3D modela obravnavanega območja izračunati nivo hrupa, ki nastane zaradi cestnega prometa v določenem časovnem obdobju dneva in izračune ustrezno tabelarično in grafično prikazati.

Imisijske vrednosti hrupa, izračunane po metodi ocenjevanja NMPB, želimo primerjati z vrednostmi, izračunane z računsko metodo RLS - 90, ki je bila za izračun dnevne in nočne ravni hrupa določena z Uredbo o hrupu zaradi cestnega ali železniškega prometa (UL RS št. 45/95, 41/04, 105/05) in je prenehala veljati 1. 1. 2006. Predpostavljamo, da se rezultati



izračuna imisijskih ravni v dnevnem in nočnem času v opazovanih točkah, izračunane po metodi NMPB in RLS – 90, ne bodo razlikovali za več kot 1 dB(A).

## 2 TEORETIČNE OSNOVE ZVOKA IN HRUPA

### 2.1 Zvok

Zvok oziroma zvočno valovanje je pojav, ki nastane pri mehanskem nihanju materialnih delcev v nekem mediju, v slišnem področju frekvenc. Medij, skozi katerega se zvok širi, mora imeti maso in elastičnost. Taki mediji so plini, tekočine in toga telesa. Nihanje materialnih delcev se kaže kot periodično nihanje tlaka (gostote in hitrosti delcev) okrog ravnovesne lege, ki jo v našem primeru predstavlja atmosferski tlak  $10^5$  Pa. Dinamično nihanje okrog ravnovesne lege imenujemo zvočni tlak in je pri normalnem govoru v primerjavi z atmosferskim tlakom za največ 0,1 Pa nad ali pod njim na razdalji 1m od govornika.

Glede na smer gibanja materialnih delcev zvočno valovanje delimo na longitudinalno in transverzalno. Pri longitudinalnem ali vzdolžnem valovanju pride do odmika delcev iz ravnovesne lege v smeri širjenja valovanja. Takšno valovanje je značilno za pline in tekočine, medtem ko v trdnih snoveh lahko izzovemo zvočno valovanje, pri katerem delci snovi nihajo prečno na smer širjenja valovanja, imenujemo ga transverzalno ali prečno valovanje. Obe omenjeni valovanji lahko zapišemo v obliki sinusne funkcije. Transverzalno valovanje opisuje sinusna krivulja, pri kateri največji odmik v smeri navzgor imenujemo hrib, največji odmik v smeri navzdol pa dol valovanja. Longitudinalno valovanje lahko prikažemo kot nekakšno prevrnjeno sinusno krivuljo, zato imamo namesto hriba in dola, zgoščino in razredčino. V zgoščinah se gostota snovi in tlak povečata, v razredčinah pa zmanjšata. V splošnem so longitudinalni valovi hitrejši od transverzalnih. Hitrost širjenja longitudinalnega valovanja je odvisna od stisljivosti in gostote snovi. Bolj kot je snov stisljiva, manjša je hitrost vzdolžnega valovanja. V zraku je približno 343 m/s, v vodi pa okoli 1480 m/s.

### 2.2 Osnovne značilnosti zvočnega valovanja

Vsako zvočno valovanje je definirano s frekvenco zvočnega valovanja, valovno dolžino in hitrostjo širjenja zvoka.

### 2.2.1 Frekvenca

Pri vibriranju oziroma nihanju mehanskih sistemov ali posameznih delov strukture nastajajo spremembe v zračnem tlaku, ki potujejo po zraku kot valovi in povzročajo zvok. Motnje zvočnega tlaka nihajo med pozitivno in negativno vrednostjo. Fizikalno merilo nihanj imenujemo frekvenca. Frekvenca zvoka je določena kot število nihajev na sekundo. Označimo jo z grško črko  $\nu$ , kot mersko enoto pa uporabljamo hertz [Hz] ali  $s^{-1}$ .

### 2.2.2 Valovna dolžina

Valovno dolžino zvočnega valovanja lahko opišemo kot razdaljo med analognima točkama nekega valovanja. Valovna dolžina je odvisna od vira valovanja ter medija v katerem se valovanje širi. Izrazimo jo kot razmerje med hitrostjo zvoka in frekvenco zvoka, merimo jo v metrih [m].

$$\lambda = \frac{c}{\nu} \quad [\text{m}],$$

kjer je:

$\lambda$  ... valovna dolžina,

$c$  ... hitrost zvoka,

$\nu$  ... frekvenca zvoka.

### 2.2.3 Hitrost širjenja zvoka

Zvočno valovanje se od izvora širi s hitrostjo zvoka  $c$ . Hitrost zvoka izrazimo kot produkt valovne dolžine in frekvence, merimo jo v metrih na sekundo [m/s].

$$c = \lambda \cdot \nu \quad [\text{m/s}]$$

Hitrost širjenja zvoka je karakteristična vrednost za dani medij in je odvisna od vrste in lastnosti medija. Določimo jo s pomočjo naslednjih enačb:

Vrsta medija	plini	tekočine	toga telesa
hitrost zvoka $c$ [m/s]	$c = \sqrt{\kappa \cdot \frac{p}{\rho}} = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T}$	$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$	$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$

(Vir: Čudina, M. 2001, str. 8)

kjer je:

$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$  ... razmerje specifičnih toplot pri konstantnem tlaku in konstantnem volumnu (za zrak

je  $\kappa = 1.4$ ),

$c_p$  ... specifična toplota pri konstantnem tlaku v J/kgK,

$c_v$  ... specifična toplota pri konstantnem volumnu v J/kgK,

$R$  ... plinska konstanta v J/kgK (za zrak je  $R = 287$  J/kgK),

$T$  ... absolutna temperatura v K,

$K$  ... stisljivost tekočin v Pa,

$\rho$  ... gostota medija v kg/m<sup>3</sup>,

$E$  ... modul elastičnosti v Pa,

$p$  ... tlak v Pa.

Če predpostavimo, da je zrak idealen plin, je hitrost zvoka v zraku odvisna le od temperature zraka.

$$c = \sqrt{\kappa \cdot R \cdot T} = 20,05 \cdot \sqrt{T} \quad [\text{m/s}]$$

Pri temperaturi zraka 20 °C je tako hitrost zvoka 343 m/s. Pri povečanju temperature za 1 °C se hitrost zvoka v zraku poveča za 0,6 m/s.

Ker je hitrost zvoka odvisna od lastnosti medija, kamor spadata tudi gostota in stisljivost snovi, sklepamo, da se zvok najpočasneje širi skozi pline, hitreje skozi kapljevine in najhitreje skozi trdne snovi. V preglednici 1 je podana hitrost zvočnega valovanja skozi različne medije in gostota medija.

Preglednica 1: Hitrost zvočnega valovanja in gostota medija (Vir: Čudina, M. 2001, str. 8)

Snov		jeklo	steklo	beton	opeka	les	voda	pluta	guma	zrak
$c$	[m/s]	5200	~5000	4000	4300	~4000	1480	500	60 do 150	343
$\rho$	[kg/m <sup>3</sup> ]	7900	~2700	2000	1500	~500	1000	200	1000 do 2000	1,2

## 2.3 Hrup

Hrup je ena izmed oblik zvočnega valovanja. Z vsakim zvočnim valovanjem se prenašajo določene informacije, ki so lahko zaželene ali nezaželene. Zaželeno informacijo, ki je koristna in razumljiva, imenujemo signal ali melodija, medtem ko nezaželeno informacijo, ki je nekoristna in nerazumljiva, imenujemo hrup.

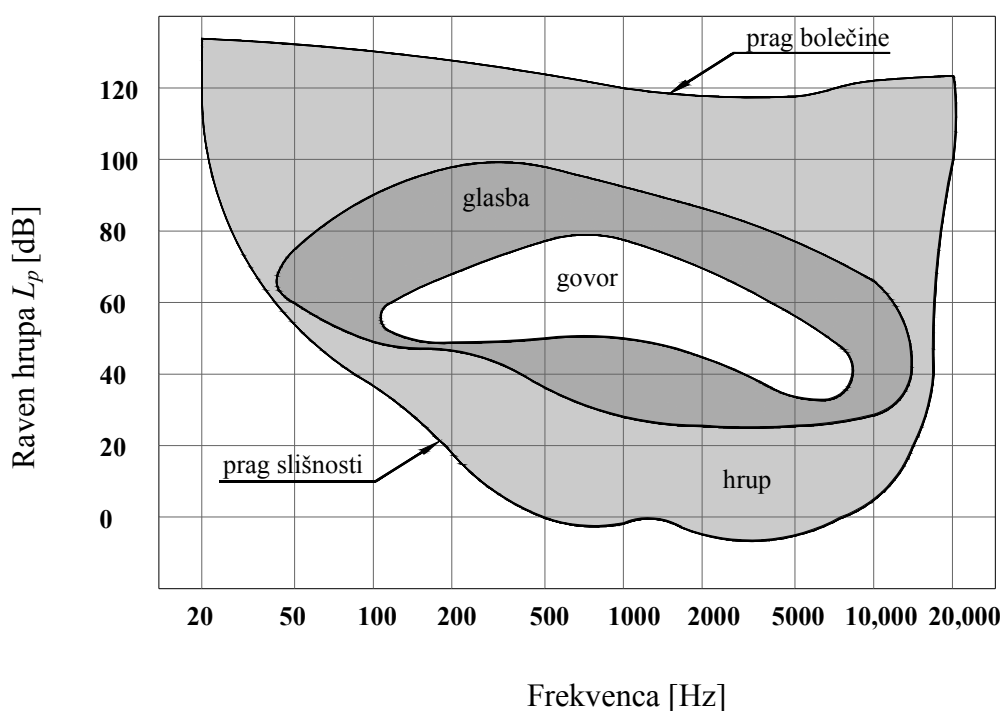
Dojemanje zvoka je zapleten fizikalno-fiziološko-psihičen proces. Kdaj določen zvok postane hrup, ni odvisno le od jakosti zvoka in njegove frekvence, odvisno je predvsem od subjektivne ocene posameznika, ki je hrupu izpostavljen. Zaradi subjektivnega dojemanja zvoka je definicija hrupa nejasna, lahko bi rekli, da emitirani zvok presega naša pričakovanja.

Hrup je torej vsak nezaželen zvok, ki vzbuja nemir, moti človeka pri delu ali počitku ter škoduje njegovemu zdravju in počutju. Ko govorimo o hrupu, moramo biti pozorni na tri ključna vprašanja, katerih odgovori so lahko podlaga za oblikovanje ukrepov za zmanjšanje negativnih posledic hrupa:

- kako glasno,
- kako dolgo oziroma koliko časa,
- kako blizu oziroma na kakšni oddaljenosti.

## 2.4 Dinamično območje ušesa

Človeško uho je sposobno zaznavati najrazličnejše tone, zvone, šume in njihove lastnosti, vendar le v določenem obsegu frekvenc in višine zvočnega tlaka. Človek sliši v frekvenčnem območju med 20 in 20000 Hz, vendar se to območje spreminja glede na starost, poklicno deformacijo sluha, spol itd. Valovanje s frekvenco pod 20 Hz imenujemo infra zvok, valovanje s frekvenco nad 20000 Hz pa ultra zvok (slika 1).



Slika 1: Frekvenčno območje spektra slišnega zvoka (Vir: Čudina, M. 2001, str. 5)

Slišnost ušesa je omejena tudi po jakosti. Slišimo lahko le zvok z zvočnim tlakom  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa do 20 Pa, ali izraženo z ravno zvočnega tlaka od 0 do 120 dB. Spodnjo mejo imenujemo prag ali meja slišnosti, zgornjo mejo pa meja bolečine. Vendar to velja le pri frekvenci 1000 Hz, saj slišnost človeškega ušesa ni enaka pri vseh frekvencah, zato se tudi meja slišnosti in meja bolečine s frekvenco spreminjata.

Človeško uho je najbolj občutljivo na frekvence med 1000 in 3500 Hz. Pod 1000 Hz slišnost ušesa zelo hitro upada. Ker dva zvoka enake ravni pri različnih frekvencah po subjektivni oceni nimata enake jakosti, so vpeljali enoto za subjektivno oceno jakosti zvoka – fon, medtem ko je merilo za objektivno oceno jakosti zvoka decibel. Fon in decibel sta enaka le pri frekvenci 1000 Hz.

## **2.5 Vpliv hrupa na ljudi**

Učinke hrupa je težko dokazati, razen v primerih, ko neposredno vplivajo na zdravje ljudi.

Izpostavljenost hrupu sproži pri posameznikih vrsto psiholoških reakcij. V določenih okoliščinah lahko skupaj s fiziološkimi težavami posameznika vpliva na nastanek psiholoških motenj in bolezni. Ker pa smo ljudje različni, tudi hrup različno vpliva na ljudi. Poleg osebnostnih lastnosti človeka je pomemben tudi čas izpostavljenosti hrupu in dejavnost, ki je motena. Ljudje, ki so izpostavljeni prekomernemu hrupu, navajajo utrujenost kot splošno oceno počutja. Hrup povzroča tudi čustveno napetost. Lahko privede do izbruha jeze, besa, občutka strahu in tesnobe.

Hrup visoke jakosti lahko zaradi spodbude slušnih organov povzroča slabost, vrtoglavico, motnje koordinacije, omotičnost in zmedenost. Človek zaradi hrupa postane raztresen, pozabljiv in slabo presoja.

Študije kažejo, da je hrup v neposredni povezavi z nevropsihološkimi motnjami, kot so glavobol, omotičnost, nespečnost, razdražljivost, srčnimi boleznimi, ter presnovnimi motnjami.

Škodljivim vplivom hrupa smo izpostavljeni povsod. Doma, na delovnem mestu, v prostem času ter na poti na delo in domov. Najbolj moteč je stalen hrup nad 90 dB(A), hrup pod 90 dB(A) z visokofrekvenčnimi komponentami in nepričakovan, nekontroliran in ponavljajoč se hrup.

Hrup slabo vpliva na vrsto človekovih dejavnosti. Moteč je pri govorni komunikaciji in učenju, pri telefonskih razgovorih, pri poslušanju radia in televizije, pri vzdrževanju koncentracije med miselnimi dejavnostmi in pri sprostitvi in spanju. Prav motnje pri spanju lahko povzročijo dolgoročne težave, saj je spanje proces, v katerem se telo oskrbi z energijo, zato slab spanec vodi v slabo počutje in bolezni.

V daljšem obdobju lahko čezmerna izpostavljenost hrupu povzroči delno ali popolno izgubo sluha, vendar to velja predvsem za prekomeren hrup v industrijskih obratih. Prvi znaki, ki jih posameznik opazi, so preslišane besede v vsakdanjih pogovorih ter težave pri razumevanju telefonskega pogovora. Pojavijo se tudi brenčeči in piskajoči zvoki v ušesih.

Za osebe z motnjami sluha postane težavno poslušanje predavanj, sodelovanje na srečanjih in zabavah, obisk gledališč in drugih javnih prireditev. Ljudje s prizadetim sluhom se pogosto izolirajo, včasih gre to tako daleč, da se posameznik ne počuti več kot del družbe, v kateri živi. Doživlja duševno stisko, ki lahko vodi do depresije.

## **2.6 Zvočni tlak, zvočna intenzivnost in zvočna moč**

Vedo, ki se ukvarja z zvokom, imenujemo akustika. Za boljše razumevanje le-te je potrebno poznati pojme zvočnih veličin, kot so zvočni tlak, zvočna intenzivnost in zvočna moč.

### **2.6.1 Zvočni tlak**

Zvočni tlak  $p$  pomeni spremembo motnje okrog ravnotežnega tlaka, v našem primeru atmosferskega tlaka  $p_0$ .

Zvočni tlak je torej akustična motnja, ki jo lahko zaznamo z ušesom, najlažje pa ga izmerimo z uporabo mikrofona.

Kot je bilo že povedano, človek lahko sliši le zvok z zvočnim tlakom  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa do 20 Pa, ali izraženo z ravno zvočnega tlaka od 0 do 120 dB(A), pri frekvenci 1000 Hz.



### 2.6.2 Vrednost RMS zvočnega tlaka

Celotni zvočni tlak je sestavljen iz vrste pozitivnih in negativnih tlačnih motenj, oziroma zgoščin in razredčin, merjeno od vrednosti ravnotežnega tlaka  $p_0$ .

Če bi sešteli vse pozitivne in negativne odklone od ravnotežne lege, bi se približali številu nič in povprečje seštevkov bi bila neuporabna vrednost. V praksi zato računamo dejanski zvočni tlak ali vrednost RMS zvočnega tlaka, ki ga označimo s  $p_{RMS}$ , pri čemer RMS označuje začetnice angleških besed Root Mean Square. Dejanski zvočni tlak ali vrednost RMS zvočnega tlaka je torej koren iz vsote srednjih vrednosti kvadratov zvočnih tlakov v času vzorčenja.

$$p_{RMS} = \sqrt{\overline{p^2}} \quad [\text{Pa}]$$

### 2.6.3 Zvočna intenzivnost

Zvočno intenzivnost  $I$  definiramo kot zvočno energijo, ki gre skozi enoto površine v enoti časa.

Izrazimo jo s kvocientom zvočne moči, ki se prenaša z valovanjem, in površine, skozi katero se pretaka zvočna moč.

$$I = \frac{W}{S} = \frac{p_{RMS}^2}{\rho c} \quad [\text{W/m}^2]$$

Zvočno intenzivnost v primeru prostega zvočnega valovanja lahko izrazimo tudi z dejanskim zvočnim tlakom ali vrednostjo RMS zvočnega tlaka. Gre predvsem za spremembo zvočnega tlaka glede na gostoto medija  $\rho$  in hitrost širjenja zvoka  $c$ .

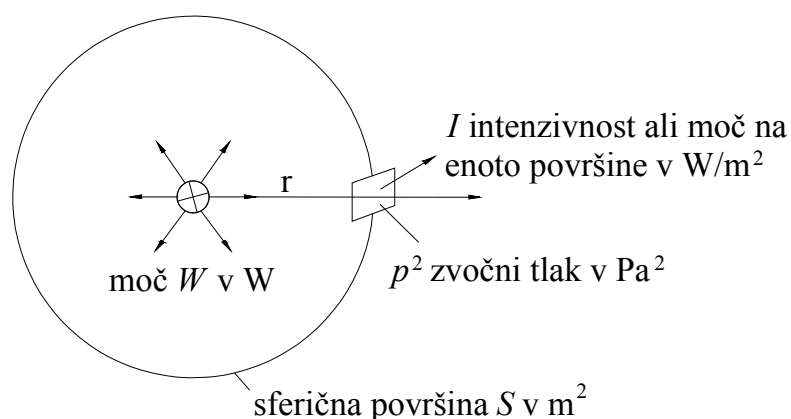
Zvočna intenzivnost se zmanjšuje s kvadratom oddaljenosti od zvočnega vira.

## 2.6.4 Zvočna moč

Zvočna moč  $W$  je merilo za zvočno energijo, ki jo seva zvočni vir. Zvočna energija se od zvočnega vira prenaša v obliki zvočnih valov, ki prodirajo skozi medij. Le-ta obdaja zvočni vir v vseh smereh (slika 2). Če v mediju ne bi bilo ovir in izgub, bi celotna sevalna moč šla enakomerno razporejena skozi površino, ki obdaja vir. Večja kot je razdalja od vira, večja je obdajajoča površina okrog vira in manjša je moč na enoto površine.

Zvočna moč je enaka produktu zvočne intenzivnosti  $I$  na razdalji  $r$  od vira in površine, ki obdaja zvočni vir  $S$ .

$$W = I \cdot S \quad [\text{W}]$$



Slika 2: Neusmerjeni zvočni vir (Vir: Čudina, M. 2001, str. 25)

Zvočna moč je v danih razmerah konstantna in neodvisna od akustične okolice. Ne moremo je neposredno izmeriti, dobimo jo le posredno, z merjenjem zvočnega tlaka ali zvočne intenzivnosti. Zvočni vir seva v okolico akustično energijo, ki jo zaznavamo oziroma slišimo kot zvočni tlak. Zvočna moč je torej vzrok, zvočni tlak pa posledica.

Človek lahko z govorom proizvede kvečjemu nekaj mW zvočne moči, moški do 4 mW, ženske do 2 mW.

## 2.7 Zvočne ravni

Ker se zvočni tlak, zvočna intenzivnost in zvočna moč spreminjajo v širokih mejah, je potrebno za ohranitev konstantnega odstotka merilne natančnosti in zaradi preglednejšega zapisa teh veličin vpeljati logaritemsko merilo. Takšni skali, ki nadomešča logaritem, so dali ime raven. Raven podaja logaritemsko razmerje katerekoli akustične veličine z njeno referenčno vrednostjo. Ker pa logaritem nima dimenzije, so ravnem dodelili enoto Bel (po izumitelju telefona Alexandru Grahamu Bellu). Značilna enota na področju akustike je decibel [dB], desetinka vrednosti Bela.

### 2.7.1 Raven zvočnega tlaka

Raven zvočnega tlaka je definirana kot desetkratni logaritem (z osnovo 10) razmerja kvadrata dejanskega izmerjenega tlaka  $p$  in kvadrata referenčnega tlaka  $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa.

$$L_p = 10 \log_{10} \frac{p^2}{p_0^2} = 20 \log_{10} \frac{p}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

Slišimo lahko le zvok z zvočnim tlakom  $2 \cdot 10^{-5}$  Pa do 20 Pa. Če ti dve vrednosti vstavimo v enačbo, vidimo, da pri vrednosti  $p = 2 \cdot 10^{-5}$  Pa dobimo vrednost  $L_p = 0$  dB(A), kar je tudi spodnja meja slišnosti. Z vstavitvijo vrednosti  $p = 20$  Pa pridemo do rezultata  $L_p = 120$  dB(A), kar predstavlja zgornjo mejo slišnosti ali mejo bolečine. Te vrednosti veljajo le pri frekvenci 1000 Hz.

### 2.7.2 Raven zvočne intenzivnosti

Raven zvočne intenzivnosti pomeni del zvočne moči zvočnega vira, ki gre v določeni smeri skozi enoto površine. Definirana je kot:

$$L_I = 10 \log_{10} \frac{I}{I_0} \quad [\text{dB}]$$

Pri tem  $I$  pomeni izmerjeno zvočno intenzivnost v  $\text{W/m}^2$ ,  $I_0$  pa referenčno vrednost oziroma najmanjšo vrednost intenzitete zvoka, ki ga človeško uho še lahko zazna in znaša  $10^{-12} \text{ W/m}^2$ .

### 2.7.3 Raven zvočne moči

Raven zvočne moči je definirana kot:

$$L_W = 10 \log_{10} \frac{W}{W_0} \quad [\text{dB}]$$

Pri tem je  $W$  zvočna moč v Wattih [W],  $W_0$  pa referenčna vrednost, ki znaša  $10^{-12} \text{ W}$ .

Vidimo, da za vse enačbe za zvočne ravni uporabljamo enoto decibel, vendar teh veličin med seboj ne smemo zamenjevati.

Zvočni tlak je odvisen tako od razdalje od zvočnega vira, kakor tudi od akustične okolice, medtem ko je zvočna moč konstantna za dani zvočni vir in neodvisna od akustične okolice ter oddaljenosti od zvočnega vira. Zvočna intenzivnost ima podobne lastnosti kot zvočni tlak, z razliko, da zaznava tudi smer zvočnega valovanja. Zvočni tlak je torej skalarna veličina, ki jo človeško uho ali instrument zaznava oziroma meri v določeni točki prostora, neodvisno od lege zvočnega vira. Zvočna intenzivnost pa je vektorska veličina, zato je njena vrednost zelo odvisna od lege zvočnega vira.

## 2.8 Hrup v naravnem in življenjskem okolju - komunalni hrup

Onesnaževanje okolja predstavlja velik problem današnje družbe, lahko ga definiramo kot neposredno ali posredno vnašanje snovi ali energije v zrak, vodo ali tla. Med energijo vneseno v zrak, poleg vibracij, sevanja, toplote in svetlobe, prištevamo tudi hrup. Obremenitev s hrupom je v največji meri povezana z razvojem industrije in prometne infrastrukture, zato je le-ta večja v bolj razvitih mestih.

Hrup v naravnem in življenjskem okolju imenujemo komunalni hrup. Nanaša se na zunanji hrup okolja v mestih. Hrup, ki nastaja v notranjosti bivalnih prostorov, na delovnem mestu, v industrijskih obratih in drugih stavbah, ne sodi h komunalnemu hrupu. Za opis komunalnega hrupa in njegovega učinka na ljudi upoštevamo tako njegovo časovno kot krajevno porazdelitev.

Vir komunalnega hrupa je vsak objekt ali naprava, katerega uporaba ali obratovanje povzroča v okolju stalen ali občasen hrup. Najpogostejši povzročitelji tovrstnega hrupa so:

- prometna sredstva; cestna, tirna, vodna ali zračna,
- industrijski obrati, tovarne, servisne delavnice, termo in hidroelektrarne,
- prezračevalne in klimatske naprave,
- gradbena in kmetijska dela na prostem,
- koncerti in druge javne prireditve na prostem,
- vojaška, policijska in športna strelišča,
- pogovori in vpitje ljudi na ulicah,
- šolska in športna igrišča,
- veter, grmenje, dež in toča,
- oglašanje živali, itn.

Zadnje študije za mesto Ljubljana so pokazale, da so s hrupom najbolj obremenjena območja vzdolž najpomembnejših cest in železnic ter širše območje mestnega središča.

### **2.8.1 Vrednotenje komunalnega hrupa**

Izvore komunalnega hrupa lahko razdelimo na stacionarne in nestacionarne. Med stacionarne vire hrupa sodijo zunanje lokacije industrijskih objektov, šolska dvorišča in igrišča, stadioni, obrtniške delavnice ipd. K nestacionarnim izvorom hrupa pa prištevamo vse vrste prometa; cestni, železniški, zračni in vodni.

Ker se viri komunalnega hrupa spreminjajo po moči in času delovanja, se tudi raven komunalnega hrupa časovno spreminja. Ravni zvočne moči ali zvočnega tlaka nestacionarnih

virov ni mogoče določiti, zato za popis komunalnega hrupa uporabljamo ekvivalentno raven  $L_{eq}$ . Ekvivalentna raven pomeni energijsko povprečno srednjo vrednost hrupa v danem časovnem obdobju. Definirana je z enačbo:

$$L_{eq} = 10 \log_{10} \left( \frac{1}{t_0} \int_0^{t_0} 10^{0,1L(t)} dt \right) \quad [\text{dB(A)}],$$

pri čemer je  $t_0$  časovno obdobje meritve hrupa, ki mora biti daljše od ene minute,  $L(t)$  pa izmerjena raven hrupa na mestu imisije v časovnem obdobju  $t_0$ .

Izmerjeno ekvivalentno raven hrupa na mestu imisije v naravnem in življenjskem okolju primerjamo z dopustnimi vrednostmi glede na čas in območje varstva pred hrupom.

### 2.8.2 Komunalni hrup zaradi prometnih sredstev

Posledično razvoju urbanih naselij sledi porast prebivalstva v mestih in ljudi, ki se vsakodnevno pripeljejo na delovno mesto, v šolo, ali le po opravkih. S tem je povezano tudi naraščanje železniškega in cestnega prometa. Med vsemi viri komunalnega hrupa je prav slednji prevladujoč in najbolj moteč, predvsem zaradi velikega števila vozil, gostote cestne infrastrukture, velike zvočne moči in bližine poslušalcev. Delež železniškega prometa se v primerjavi s cestnim nasploh ne povečuje in je tako kot letalski promet časovno in krajevno omejen in zato manj problematičen.

Hrup prometnega sredstva nastane zaradi delovanja pogonskega motorja, interakcije med kolesi in podlago ter aerodinamičnega hrupa zaradi upora zraka.

Karakteristike posameznih komponent hrupa prometnih sredstev se spreminjajo, odvisno od voznih razmer, lege prometnega sredstva glede na poslušalca ter akustične okolice.

### **2.8.2.1 Hrup cestnih motornih vozil**

Hrup avtomobilov, tovornjakov, avtobusov in motociklov povzročajo pogonski motor, transmisija oziroma prenosni mehanizem od motorja do koles, podvozje, karoserija, pnevmatike in aerodinamični upor zraka. Odvisno je tudi ali vozilo stoji ali se premika, ali vozi v najnižji ali najvišji prestavi, s kakšnimi vrtljaji vozi v določeni prestavi, itn. Hrup je odvisen tudi od hitrosti vožnje, vrste cestišča in kakovosti pnevmatik, števila vozil ter strukture le teh in konfiguracije terena.

#### **2.8.2.1.1 Hrup zaradi delovanja pogskega motorja**

Na hrup motorja vplivajo trije osnovni parametri: hitrost, velikost in obremenitev. Hrup pogskega motorja je najbolj izrazit pri pospeševanju, predvsem pri speljevanju vozila.

#### **2.8.2.1.2 Hrup zaradi kotaljenja pnevmatik**

Hrup zaradi kotaljenja pnevmatik postane prevladujoč vir hrupa cestnih vozil pri višjih hitrostih vozila. Za osebna vozila nad 50 km/h, za tovorna nad 60 km/h. Na hrup pnevmatik vplivajo:

- parametri vozila; hitrost vozila, obremenitev in število pnevmatik,
- parametri pnevmatike; profil in material pnevmatike, število brazd in zarez, obraba pnevmatike,
- parametri površine ceste; obrabna plast, voda na cesti in akustična absorpcija voziščne plasti.

Od vseh naštetih parametrov ima hitrost vozila največji vpliv pri povečanju hrupa zaradi kotaljenja, saj se pri povečanju hitrosti iz 30 na 100 km/h, hrup poveča tudi do 10 dB(A). Druga pomembna parametra, ki močno vplivata na hrup zaradi kotaljenja, sta površina ceste in voda na cesti.

### **2.8.2.1.3 Hrup zaradi aerodinamičnega upora zraka**

Aerodinamični hrup nastaja med vožnjo, ko vozilo zadeva v zrak, le-ta se razmika in potuje ob vozilu ter povzroča interakcijo s površino vozila. Aerodinamični hrup cestnih vozil, podobno kot hrup zaradi kotaljenja pnevmatik, močno narašča s povečevanjem hitrosti vozila. K aerodinamičnemu viru hrupa prispevajo ovire na poti zraka, kot so ostri robovi, stranska ogledala, antene in podobno.



### **3 VELJAVNA ZAKONODAJA NA PODROČJU VARSTVA PRED HRUPOM V REPUBLIKI SLOVENIJI**

Zakon o varstvu okolja (uradno prečiščeno besedilo) (ZVO-1-UPB1) (UL RS, št. 39/06, 70/08-ZVO-1B) definira onesnaženje okolja kot neposredno ali posredno vnašanje snovi ali energije v zrak, vodo ali tla.

Vlada Republike Slovenije je na podlagi Zakona o varstvu okolja sprejela Uredbo o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (UL RS, št. 121/04), ki v skladu z Direktivo parlamenta in sveta EU 2002/49/ES o ocenjevanju in upravljanju okoljskega hrupa, (v nadaljnjem besedilu Direktiva (2002/49/ES)), določa ukrepe za zmanjšanje obremenjenosti okolja s hrupom, ter Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), ki je od leta 2006 tudi zakonska podlaga za določanje stopenj varstva pred hrupom.

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, v skladu z Direktivo (2002/49/ES), določa stopnje zmanjševanja onesnaževanja okolja s hrupom, mejne in kritične vrednosti kazalcev hrupa v okolju ter začasne metode za ocenjevanje kazalcev hrupa. Pri uporabi le-teh tudi prilagoditve, ki jih je potrebno upoštevati za izračun vrednosti kazalcev hrupa, ukrepe za zmanjševanje emisije hrupa v okolje, zavezance za izvajanje obratovalnega monitoringa ter vsebino okoljevarstvenega dovoljenja in primere, za katere okoljevarstvenega dovoljenja ni potrebno pridobiti.

Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje (UL RS, št. 105/08) določa vrste kazalcev hrupa, ki so predmet prvega ocenjevanja in obratovalnega monitoringa, ter način merjenja hrupa in izvajanja modelnega izračuna z uporabo računskih metod, vsebino in obliko poročila ter način in obliko sporočanja podatkov ministrstvu, pristojnemu za varstvo okolja. S tem pravilnikom je določena tudi oprema, vrsta akreditacije in tehnični pogoji, ki jih mora izpolnjevati oseba, ki izvaja prvo ocenjevanje in obratovalni monitoring.

### 3.1 Območja varstva pred hrupom

Prvi odstavek 4. člena Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju opredeljuje stopnje varstva pred hrupom kot sledi:

- I. stopnja varstva pred hrupom je določena za vse površine na mirnem območju na prostem, ki potrebujejo povečano varstvo pred hrupom, razen površin na območjih prometne infrastrukture, območjih gozdov na površinah za izvajanje gozdarskih dejavnosti, ter na območjih za potrebe obrambe in območjih za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (v nadaljnjem besedilu I. območje varstva pred hrupom);
- II. stopnja varstva pred hrupom je določena za površine podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih ni dopusten noben poseg v okolje, ki je moteč zaradi povzročanja hrupa. To so na območju družbene infrastrukture; površine za zdravstvo v neposredni okolici bolnišnic, zdravilišč in okrevališč, na območju stanovanj; čiste stanovanjske površine za posebne namene in površine počitniških hiš ter posebna območja namenjena površini za turizem (v nadaljnjem besedilu II. območje varstva pred hrupom);
- III. stopnja varstva pred hrupom je določena za površine podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih je dopusten poseg v okolje, ki je manj moteč zaradi povzročanja hrupa. To so na območju stanovanj; splošne stanovanjske površine in stanovanjske površine s kmetijskimi gospodarstvi, na območju družbene infrastrukture; površine za vzgojo, izobraževanje, šport, zdravstvo, kulturo, javno upravo in opravljanje verskih obredov, na območju zelenih površin; površine za rekreacijo in šport, parki in pokopališča, na mešanem območju; vse osrednje in mešane površine in na območju vodnih zemljišč; vse površine razen površin vodne infrastrukture in površin na mirnem območju na prostem (v nadaljnjem besedilu III. območje varstva pred hrupom);
- IV. stopnja varstva pred hrupom je določena na naslednjih površinah podrobnejše namenske rabe prostora, na katerih ni stavb z varovanimi prostori in je dopusten poseg v okolje, ki je lahko bolj moteč zaradi povzročanja hrupa. To so površine na območjih, ki so namenjene nakupovalnim središčem, sejmiščem in zabaviščnim objektom ter površinam

drugih podobnih območij, na območju proizvodnih dejavnosti; površine z objekti za kmetijsko proizvodnjo ter površine za industrijo in proizvodnjo, vse površine na območju prometne, komunikacijske, energetske in okoljske infrastrukture, na območju vodnih zemljišč; vse površine vodne infrastrukture, na območju mineralnih surovin; vse površine namenjene izkoriščanju mineralnih surovin, na območju kmetijskih zemljišč; vse površine, razen na mirnem območju na prostem, na območju gozdov; vse površine za izvajanje gozdarskih dejavnosti in vse površine gozda kot zemljišča, razen na mirnem območju na prostem, na območju za potrebe obrambe in na območju za potrebe varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami; vse površine, če hrup ne nastaja zaradi izvajanja nalog pri obrambi države oziroma pri opravljanju nalog varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami (v nadaljnjem besedilu IV. območje varstva pred hrupom).

### 3.2 Meje in kritične vrednosti kazalcev hrupa v okolju

Na posameznih območjih varstva pred hrupom so glede na občutljivost okolja na obremenjevanje s hrupom določene mejne in kritične vrednosti kazalcev hrupa.

Uredba o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju določa kazalce hrupa  $L_{dan}$  (kazalec dnevnega hrupa),  $L_{večer}$  (kazalec večernega hrupa),  $L_{noč}$  (kazalec nočnega hrupa) in kombinirani kazalec  $L_{dvn}$  (celodnevni 24 urni kazalec hrupa).

Kazalec hrupa  $L_{dvn}$  se določi iz  $L_{dan}$ ,  $L_{večer}$  in  $L_{noč}$  po naslednjem obrazcu:

$$L_{dvn} = 10 \log \left( \frac{1}{24} \left( 12 \cdot 10^{\frac{L_{dan}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{(L_{večer} + 5)}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{(L_{noč} + 10)}{10}} \right) \right) \quad [\text{dB(A)}],$$

pri čemer je začetek dneva ob 6. uri in traja dvanajst ur, začetek večera ob 18. uri in traja štiri ure, ter začetek noči ob 22. uri in traja osem ur.

V preglednici 2 so podane mejne vrednosti kazalcev hrupa  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$  za posamezna območja varstva pred hrupom, v preglednici 3 pa kritične vrednosti kazalcev hrupa  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$  za posamezna območja varstva pred hrupom.

Preglednica 2: Mejne vrednosti kazalcev hrupa  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$  za posamezna območja varstva pred hrupom (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 1, str.11030)

Območje varstva pred hrupom	$L_{noč}$ dB(A)	$L_{dvn}$ dB(A)
IV. območje	65	75
III. območje	50	60
II. območje	45	55
I. območje	40	50

Celotna obremenitev okolja je čezmerna, če vrednost kazalca hrupa  $L_{noč}$  ali  $L_{dvn}$  na kateremkoli mestu ocenjevanja na posameznem območju presega mejno vrednost.

Preglednica 3: Kritične vrednosti kazalcev hrupa  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$  za posamezna območja varstva pred hrupom (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 1, str.11030)

Območje varstva pred hrupom	$L_{noč}$ dB(A)	$L_{dvn}$ dB(A)
IV. območje	80	80
III. območje	59	69
II. območje	53	63
I. območje	47	57

Mejne vrednosti kazalcev hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{noč}$ ,  $L_{večer}$  in  $L_{dvn}$  za hrup, ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge, so podane v preglednici 4.

Če je hrup posledica uporabe ene ali več cest, je celotna obremenitev okolja čezmerna, če vrednost kazalca hrupa  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$  na kateremkoli mestu ocenjevanja na posameznem območju presega kritično vrednost za trajno obremenjevanje okolja s hrupom.

Kazalce hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{noč}$ ,  $L_{večer}$  in  $L_{dvn}$ , za hrup, ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge, je treba oceniti tako, da meritve, modelni izračuni in uporaba metod ocenjevanja kazalcev hrupa potekajo ob izključitvi vseh preostalih virov hrupa.

Preglednica 4: Mejne vrednosti kazalcev hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{noč}$ ,  $L_{večer}$  in  $L_{dvn}$ , ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 1, str.11030)

Območje varstva pred hrupom	$L_{dan}$ dB(A)	$L_{večer}$ dB(A)	$L_{noč}$ dB(A)	$L_{dvn}$ dB(A)
IV. območje	70	65	60	70
III. območje	65	60	55	65
II. območje	60	55	50	60
I. območje	55	50	45	55

Začasna metoda ocenjevanja kazalcev hrupa  $L_{dvn}$  in  $L_{noč}$  za hrup, ki ga povzroča cestni promet, določena z Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, je francoska metoda ocenjevanja "NMPB-Routes-96" (v nadaljevanju metoda NMPB), navedena v "Arrzté du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, Journal Officiel du 10 mai 1995, 6. člen" in francoski standard "XP S31-133".

#### 4 FRANCOSKI STANDARD XP S31-133

Francoski standard XP S31-133 (v nadaljnjem besedilu metoda XP S31 133) opisuje metodo izračuna širjenja hrupa zaradi cestnega prometa v naravnem okolju, upoštevajoč meteorološke dejavnike, ki vplivajo na širjenje hrupa. Uporablja se za izvedbo raziskav zvočnega učinka novih ali sprememb že obstoječih cestnih infrastruktur, za dimenzioniranje protihrupnih zaščit in za načrtovanje kartiranja hrupa v bližini cestne infrastrukture. Metoda izračuna se uporablja tako za ruralno, kot za urbano okolje. Ne uporablja se v primerih širitve hrupa nad vodno gladino pri zelo širokih rekah ali jezerih, prav tako tudi ne obravnava učinkov ustij predorov. Metoda izračuna temelji na razdelitvi virov hrupa na točkovne zvočne vire, rezultati so podani v oktavnem pasu od 125 Hz do 4000 Hz.

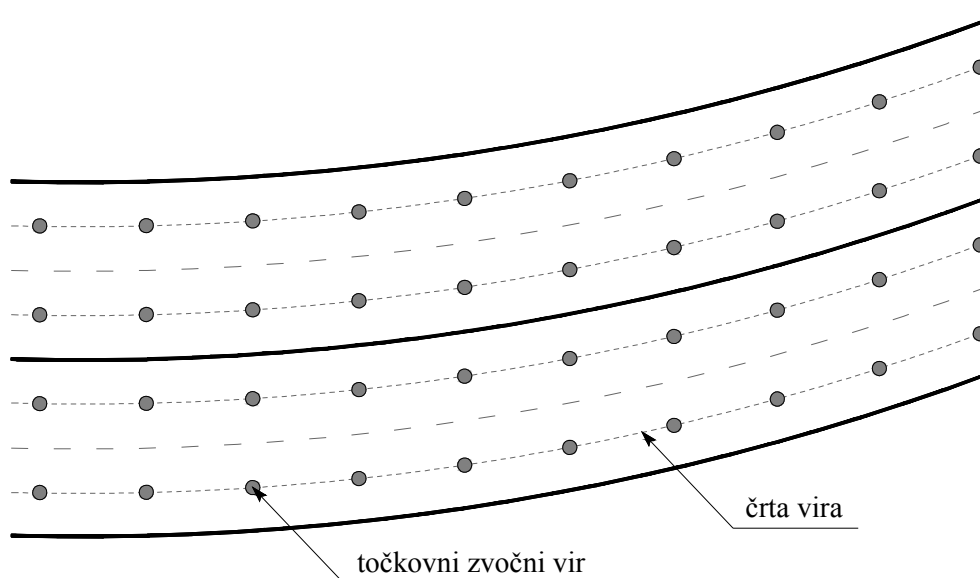
Za uporabo metode izračuna je potrebno podrobno poznavanje topografije krajev, geometrije virov in ovir, zvočnih značilnosti ovir, narave terenov, zvočne moči virov ter okoliščin meteoroloških pogojev, ugodnih za širjenje zvoka.

Izračuni se izvedejo z naslednjimi koraki:

- 1) razčlenitev virov hrupa na točkovne zvočne vire;
- 2) določitev ravni zvočne moči vsakega vira po oktavnem pasu;
- 3) iskanje širitvenih poti zvočnega valovanja med virom in sprejemnikom;
- 4) izračun zvočne ravni po oktavnem pasu za vsako širitveno pot;
  - zmanjšanje zvočne ravni pri homogenih pogojih
  - zmanjšanje zvočne ravni pri ugodnih pogojih
  - določanje dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev za širitev zvoka, p;
- 5) kopičenje dolgoročnih zvočnih prispevanj vseh poti pri sprejemni točki R;
- 6) izračun povprečne dolgoročne zvočne ravni skupnega zvočnega tlaka pri sprejemni točki R.

#### 4.1 Razčlenitev virov hrupa na točkovne zvočne vire

Obravnavano infrastrukturo razdelimo na akustično homogene dele na katerih lahko upoštevamo, da se zvočna emisija prometa ne spreminja ali se malo spreminja in da cestni profil vzdolž celotnega odseka omogoča uporabo istega modela razčlenitve vira. Vsak akustično homogen del je oblikovan z določenim številom črt virov. Postavitev in število črt virov sta odvisna od želene natančnosti. Priporočljiva postavitev črt virov je na sredino vsake prometne ceste (slika 3).



Slika 3: Optimalna postavitev črt virov v primeru štiripasovne ceste (Vir: AFNOR, 2002, str. 12)

Vsako predhodno določeno črto virov razčlenimo na skupek osnovnih točkovnih virov, ki so po dogovoru postavljeni na višino 0,5 m nad vozno površino. Za razčlenitev obstaja več načinov:

- Razčlenitev na enake kote: iz sprejemne točke, obravnavano področje preplavlja skupek razmaknjenih žarkov s stalnim kotom. Izvorno točko postavimo na vsako sečišče žarkov s črto virov. Pri tem načinu razčlenitve razčlenitev črte virov ni enotna, temveč je odvisna od obravnavane sprejemne točke.

- Razčlenitev na enakomerne korake: vsaka črta vira se razčleni na enakomerno razporejene točkovne vire. Za ohranjanje natančnosti, korak med dvema sosednjima točkovnima viroma ne sme biti večji od polovice pravokotne razdalje med cesto in najbližjo sprejemno točko. V splošnem vrednost koraka redkokdaj preseže 20 m. Razčlenitev na točkovne zvočne vire je pri tem načinu razčlenitve enotna in neodvisna od obravnavane sprejemne točke.
- Razčlenitev s spremenljivko: v primerih, kjer so sprejemne točke blizu ceste in z delno zakritim pogledom, je potrebno razčlenitev v točkovne vire lokalno spremeniti.

V primeru razčlenitve na enake kote ali s spremenljivko se zvočna moč vsakega osnovnega vira  $L_{AWi}$  spreminja.

## 4.2 Določitev ravni zvočne moči vsakega vira po oktavnem pasu

Metoda XP S31 133 ne daje vrednosti zvočne moči virov, zato za izračun hrupa zaradi cestnega prometa navaja Guide du bruit 1980 kot standardni emisijski model.

### 4.2.1 Emisijski model »Guide du bruit« 1980

Guide du bruit 1980 vsebuje nomogram, ki navaja vrednost zvočne ravni  $L_{eq}$  (1 ura) znane tudi kot emisija hrupa  $E$ . Nomogram navaja vrednosti emisije hrupa ločeno za posamezno lahko vozilo in posamezno težko vozilo na uro. Emisija hrupa je pri tem odvisna od hitrosti vozila, prometnega toka in vzdolžnega profila (slika 4). Zvočna raven prikazana v nomogramih ne vključuje popravkov za različno površino vozišča.

Ekvivalentna raven zvočnega tlaka  $L_{eq}$  na referenčni izofoni za časovno obdobje ene ure je definirana kot:

$$L_{eq} (1 \text{ ura}) = L_{AW} - 10\log V + 10\log Q - 50 \quad [\text{dB(A)}],$$



kjer je:

$L_{AW}$  ... raven zvočne moči vozila v dB(A),

$V$  ... povprečna hitrost vozila v km/h,

$Q$  ... obseg prometa v eni uri (vozil/uro).

Emisija hrupa je definirana kot zvočna raven, ki jo lahko v dB(A) opišemo kot zvočno raven  $L_{eq}$  (1 ura) na referenčni izofoni, ki jo povzroči posamezno vozilo na uro, ob upoštevanju vrste vozila, hitrosti, prometnega toka in vzdolžnega profila. Zapišemo jo z enačbo:

$$E = L_{AW} - 10 \log V - 50 \quad [\text{dB(A)}]$$

#### 4.2.1.1 Vrste vozil

Za popolno klasifikacijo vozil bi bile potrebne štiri kategorije vozil in sicer:

- lahka vozila (vozila neto nosilnosti manj od 3,5 tone),
- težka vozila (vozila neto nosilnosti med 3,5 in 12 tonami),
- težka vozila (vozila neto nosilnosti več kot 12 ton),
- motocikli.

Ker je težko pridobiti zanesljive podatke o prometnem volumnu za takšno klasifikacijo, se za napovedovanje hrupa uporabljajo dve kategoriji vozil:

- lahka vozila (vozila neto nosilnosti manj od 3,5 tone),
- težka vozila (vozila neto nosilnosti enake ali večje od 3,5 tone).

#### 4.2.1.2 Hitrost vozil

Zaradi enostavnosti se uporablja povprečne hitrosti vozil, ki jih opredelimo na dva načina:

- srednja hitrost V50 ali hitrost, ki jo doseže ali preseže 50 % vozil, ali
- srednja hitrost V50, ki se ji prišteje polovica standardnega odklona hitrosti.

Če se izkaže, da je povprečna hitrost, določena z eno od obeh metod, manjša od 20 km/h, se upošteva hitrost 20 km/h.

V primeru, da podatki, ki so na voljo, ne zadoščajo za točno določitev povprečne hitrosti, se za vsak odsek ceste uporabi zanj določeno najvišjo dovoljeno hitrost.

#### 4.2.1.3 Prometni tok

Pri vrsti prometnega toka je upoštevano povečevanje in zmanjševanje hitrosti, moč motorja in stalen ali sunkovit potek prometa. Opredeljene so štiri vrste prometnega toka:

- Tekoči stalni prometni tok: vozila se na obravnavanem odseku ceste premikajo s skoraj konstantno hitrostjo. Čez dan so lahko opazna manjša nihanja, ki pa niso skokovita ali ritmična. Poleg tega hitrost prometnega toka ostaja enaka, se ne povečuje in ne zmanjšuje. Ta vrsta prometnega toka ustreza prometu na avtocestah, regionalnih cestah, mestnih hitrih cestah zunaj ur največjega prometa in na glavnih cestah v mestih.
- Sunkovit stalni prometni tok: prometni tok z velikim deležem vozil, ki povečujejo ali zmanjšujejo hitrost. Tak prometni tok ni stabilen niti v času niti v prostoru. Kljub temu je mogoče določiti srednjo skupno hitrost, ki se ne spreminja v zadosti dolgem obdobju in se pojavlja periodično. Takšne vrste prometni tok srečamo na cestah v mestnih središčih, na povezovalnih cestah s številnimi križišči, parkiriščih, prehodih za pešce in na odcepih do stanovanjskih hiš.
- Sunkoviti pospešeni prometni tok: tok je sunkovit in zato nemiren. Vozila pospešujejo, kar pomeni, da je hitrost pomembna le na posameznih točkah in na prevoženi poti ni

konstantna. Ta vrsta prometnega toka ustreza prometu na hitrih cestah za križiščem, na povezovalnih cestah in prometu na cestninskih postajah.

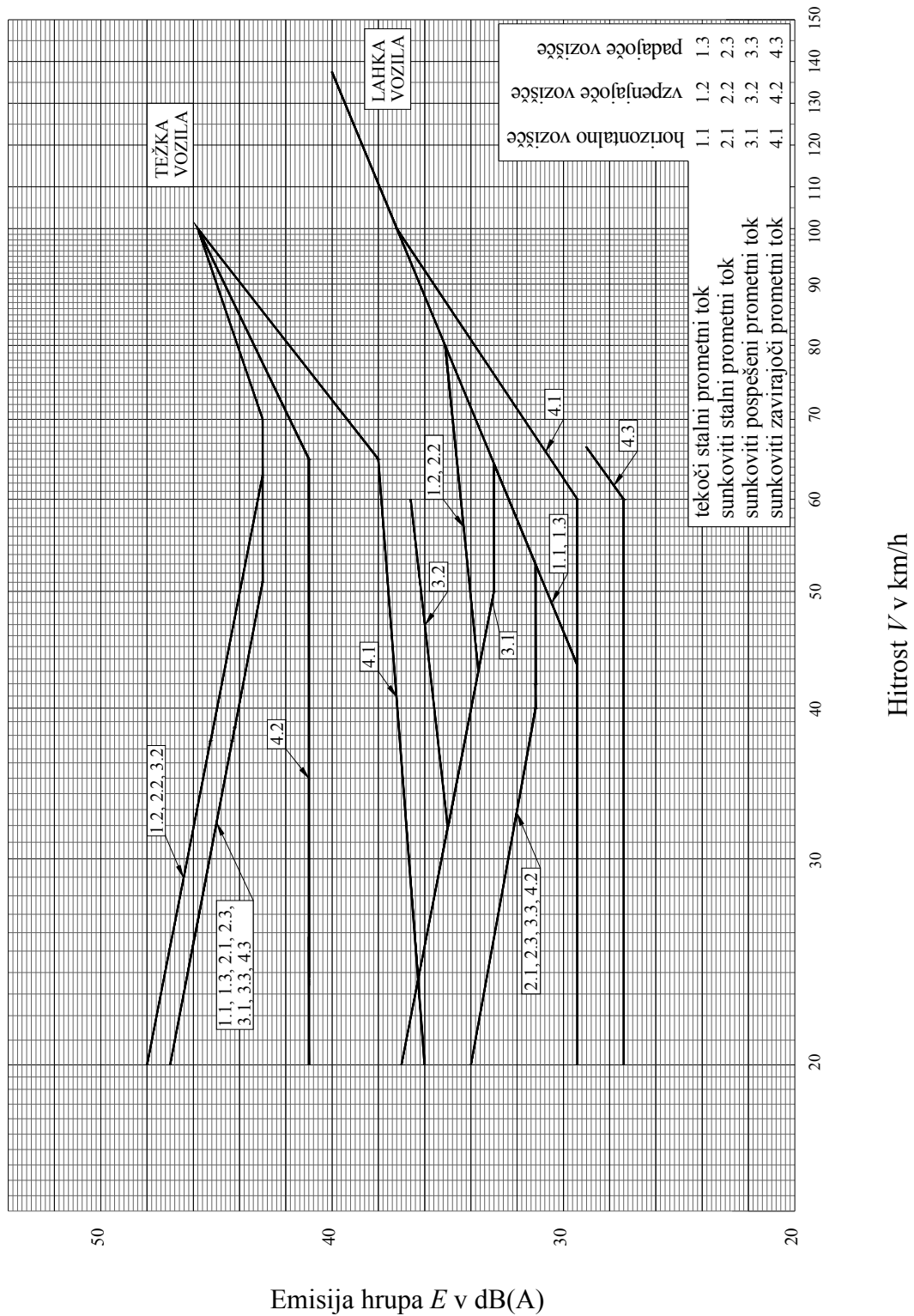
- Sunkoviti zavirajoči prometni tok: Večina vozil zmanjšuje hitrost. Takšne vrste prometni tok nastaja pri približevanju večjim mestnim križiščem, na izvozih iz avtocest in hitrih cest ali na dovozu do cestninske postaje.

#### **4.2.1.4 Vzdolžni profili**

Določeni so trije vzdolžni profili, s katerimi se upoštevajo razlike v zvočni emisiji, ki je odvisna od nagiba vozišča:

- horizontalno vozišče ali horizontalni odsek vozišča; nagib proti prometnemu toku je manjši od 2 %,
- vzpenjajoče se vozišče; nagib navzgor (vzpon) proti prometnemu toku je večji od 2 %,
- padajoče vozišče; nagib navzdol (padeč) proti prometnemu toku je večji od 2 %.

Te opredelitve se pri enosmernih cestah uporabljajo neposredno, pri dvosmernem prometu pa je za natančno oceno potreben ločen izračun za vsako vozno smer, rezultati se zatem upoštevajo skupno.



Slika 4: Nomogram, ki navaja vrednost emisije hrupa  $E$  (Vir: Wölfel Meßsysteme Software GmbH & Co, 2003, str. 19)

#### 4.2.2 Skupna raven zvočne moči na meter dolžine vzdolž voznega pasu

Skupna raven zvočne moči  $L_{AW/m}$  v dB(A) na meter dolžine vzdolž voznega pasu, ki ustreza dani črti vira, je podana kot seštevek vseh prispevkov mimoidočih vozil znotraj referenčnega časovnega intervala.

$$L_{AW/m} = 10 \log \left( 10^{(E_{lv} + 10 \log Q_{lv})/10} + 10^{(E_{hv} + 10 \log Q_{hv})/10} \right) + 20 \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$E_{lv}$  ... zvočna emisija hrupa zaradi posameznega lahkega vozila,

$E_{hv}$  ... zvočna emisija hrupa zaradi posameznega težkega vozila,

$Q_{lv}$  ... obseg lahkega prometa v referenčnem intervalu (vozil/uro),

$Q_{hv}$  ... obseg težkega prometa v referenčnem intervalu (vozil/uro).

#### 4.2.3 Raven zvočne moči vsakega točkovnega vira $i$ po oktavnem pasu $j$

Od frekvence odvisna osnovna raven zvočne moči  $L_{AWi}$  v dB(A) sestavljenega točkovnega vira  $i$  v danem oktavnem pasu  $j$  se izračuna na naslednji način:

$$L_{AWi} = L_{AW/m} + 10 \log (l_i) + R_{(j)} + \psi \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je

$L_{AW/m}$  ... skupna raven zvočne moči na meter dolžine vzdolž voznega pasu, ki ustreza dani črti vira,

$l_i$  ... dolžina odseka na črti vira, ki ga predstavlja sestavljeni točkovni vir (slika 5),

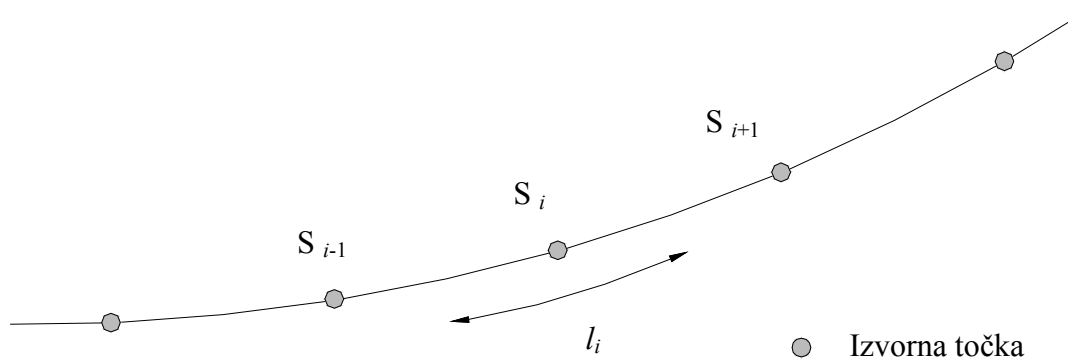
$R_{(j)}$  ... spektralna vrednost v dB(A) za oktavni pas (preglednica 5),

$\psi$  ... popravek za raven hrupa za različne površine vozišča (preglednica 6).

#### 4.2.3.1 Dolžina odseka na premici vira

Dolžino odseka na premici vira, ki ga predstavlja sestavljeni točkovni vir  $i$  v metrih, določimo z naslednjo enačbo:

$$l_i = (S_{i-1} S_i + S_i S_{i+1})/2 \quad [\text{m}]$$



Slika 5: Dolžina odseka na premici vira (Vir: AFNOR, 2002, str. 13)

#### 4.2.3.2 Spektralna vrednost v dB(A) za oktavni pas $j$

Razpon frekvenc prometnega hrupa za vsak oktavni pas  $j$  je naveden v preglednici 5.

Preglednica 5: Normalizirani A-vrednoteni spekter prometnega hrupa v oktavnem pasu (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 3, str. 11042)

J	Oktavni pas [Hz]	Vrednost $R(j)$ [dB(A)]
1	125	-14,5
2	250	-10,2
3	500	-7,2
4	1000	-3,9
5	2000	-6,4
6	4000	-11,4

#### 4.2.3.3 Popravek za površino vozišča

Hrup, ki ga povzroča kotaljenje pnevmatik po vozišču, je odvisen od hitrosti vozila, vrste površine vozišča in vrste pnevmatik.

Za uvedbo popravkov za različne površine vozišča je predlagana spodaj opisana sistematizacija:

- gladki asfalt (beton ali mastiks): je referenčna površina vozišča, opredeljena v SIST EN ISO 11819-1;
- porozna površina: je površina z deležem votlin najmanj 20 %. Površina ne sme biti starejša od petih let;
- cementni beton ali razbrazdani asfalt: vključuje cementni beton in grobo zrnati asfalt;
- kamniti tlak gladke teksture: tlakovci gladke teksture z vmesnimi fugami širine manj od 5 mm;
- kamniti tlak hrapave teksture: tlakovci z vmesni fugami širine več ali enako 5 mm;
- drugo: kategorija, v katero se vključijo popravki za druge površine vozišč. Za usklajeno uporabo in primerljive rezultate je podatke potrebno določiti v skladu s SIST EN ISO 11819-1.

Preglednica 6: Pregledna shema popravkov za površino vozišča (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08), priloga 3, str. 11044)

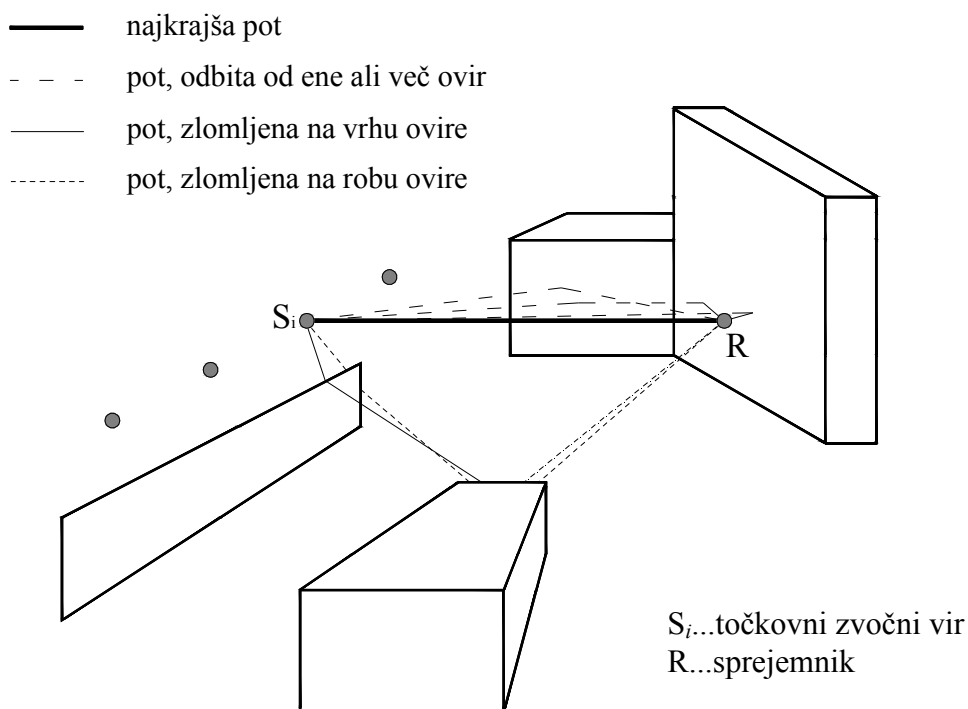
Kategorija površin vozišča	Popravek za raven hrupa za različne površine vozišča $\psi$		
	0 - 60 km/h	61 - 80 km/h	81 - 130 km/h
Drobir z bitumenskim mastiksom	-3 dB(A)	-3 dB(A)	-3 dB(A)
Drenažni asfalt	-3 dB(A)	-4 dB(A)	-5 dB(A)
Dvojni drenažni asfalt	-3 dB(A)	-3 dB(A)	-6 dB(A)
Porozna površina	-1 dB(A)	-2 dB(A)	-2 dB(A)
Gladki asfalt (beton ali mastiks)	0 dB(A)		
Cementni beton in razbrazdani asfalt	+2 dB(A)		
Kamniti tlak gladke teksture	+3 dB(A)		
Kamniti tlak grobe teksture	+6 dB(A)		

### 4.3 Iskanje širitvenih poti zvočnega valovanja med virom S in sprejemnikom R

Opisana metoda izračuna širitvenih poti je geometrična metoda, ki temelji na določanju premočrtnih poti širitve med virom in sprejemnikom in je v skladu s standardom NF S 31-132.

Metodo lahko uporabimo v treh dimenzijah (3D) ali navideznih treh dimenzijah ( $2D \frac{1}{2}$ ), določenih v standardu NF S 31-132. Obravnava v treh dimenzijah služi za celostno reševanje problema akustičnega širjenja, ne glede na obliko ovir. Obravnava v  $2D \frac{1}{2}$  služi za poenostavitev problema akustičnega širjenja v treh dimenzijah. Poti širitve med virom in sprejemnikom se išče v projekciji na vodoravno ravnino. Izračun zmanjšanja zaradi širitvenih poti se za tem izvede v navpičnih ravninah.

Med virom in sprejemnikom obstaja več poti širjenja zvočnega valovanja (slika 6).



Slika 6: Poti širitve zvočnega valovanja med virom in sprejemnikom (Vir: AFNOR, 2002, str. 16)



Če je metoda uporabljena v  $2D \frac{1}{2}$ , se upoštevajo samo odbijanja od navpičnih ovir, oziroma ovir, ki imajo naklon glede na vertikalo manjši od  $15^\circ$ . Potrebno je opozoriti, da se pri tem ne upošteva poti odbite od tal, saj so odbijanja od tal obravnavana neposredno v formulah za izračun talnega učinka.

Ob iskanju širitvenih poti z upoštevanjem ovir so žarki premočrtni. Ukrivljenost opazovanih žarkov pri ugodnih pogojih je upoštevana v formulah za izračun talnega učinka in difrakcije.

#### 4.4 Izračun zvočne ravni po oktavnem pasu za vsako širitveno pot ( $S_i, R$ )

Dolgoročna zvočna raven za pot vir - sprejemnik ( $S_i, R$ ) točkovnega vira  $i$ ,  $L_{i,dolgoročno}$ , dobimo z energetskim seštevanjem zvočnih ravni pri homogenih in ugodnih atmosferskih pogojih, izravnanimi s faktorjem  $p$ , ki pomeni dolgoročno pojavljanje vremenskih razmer, ugodnih za širjenje zvoka v smeri poti ( $S_i, R$ ).

$$L_{i,dolgoročno} = 10 \log \left[ p_i \cdot 10^{0,1 L_{Fi}} + (1 - p_i) \cdot 10^{0,1 L_{Hi}} \right] \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$L_{Fi}$  ... zvočna raven, izračunana v ugodnih razmerah širjenja zvoka,

$L_{Hi}$  ... zvočna raven, izračunana v homogenih razmerah širjenja zvoka,

$p$  ... dolgoročno pojavljanje vremenskih razmer, ugodnih za širjenje zvoka.

##### 4.4.1 Zmanjšanje zvočne ravni pri homogenih pogojih za širitev zvoka na poti ( $S_i, R$ )

Homogeni pogoji so atmosferski pogoji, za katere je hitrost širjenja zvočnih valov upoštevana kot stalna v vse smeri in v vsako točko prostora širjenja. Pri tem so zvočni žarki premočrtni.

$$L_{Hi} = L_{AWi} - A_{Hi} \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$L_{AWi}$  ... raven zvočne moči v dB(A) sestavljenega točkovnega vira  $i$  v danem oktavnem pasu  $j$ ,

$A_{Hi}$  ... skupek zmanjšanj na poti širjenja pri homogenih pogojih.

$$A_{Hi} = A_{div} + A_{atm} + A_{ila, H} + A_{dif, H} \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$A_{div}$  ... zmanjšanje zaradi geometrične divergence,

$A_{atm}$  ... zmanjšanje zaradi atmosferske absorpcije,

$A_{ila, H}$  ... zmanjšanje zaradi učinka tal pri homogenih pogojih,

$A_{dif, H}$  ... zmanjšanje zaradi difrakcije pri homogenih pogojih.

#### 4.4.2 Zmanjšanje zvočne ravni pri ugodnih pogojih za širitev zvoka na poti ( $S_i, R$ )

Ugodni pogoji so atmosferski pogoji, pri katerih je hitrost širjenja zvočnih valov upoštevana kot naraščajoča z nadmorsko višino v smeri širjenja. Ti pogoji običajno vodijo do višjih zvočnih ravni pri sprejemniku od tistih v pogojih homogene atmosfere za iste zvočne vire. Zvočni žarki so uklonjeni k tlom.

$$L_{Fi} = L_{AWi} - A_{Fi} \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$L_{Fi}$  ... zvočna raven, izračunana v ugodnih razmerah širjenja zvoka,

$L_{AWi}$  ... raven zvočne moči v dB(A) sestavljenega točkovnega vira  $i$  v danem oktavnem pasu  $j$ ,

$A_{Fi}$  ... skupek zmanjšanj na poti širjenja pri ugodnih pogojih.

$$A_{Fi} = A_{div} + A_{atm} + A_{ila, F} + A_{dif, F} \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$A_{ila, F}$  ... zmanjšanje zaradi učinka tal pri ugodnih pogojih,

$A_{dif, F}$  ... zmanjšanje zaradi difrakcije pri ugodnih pogojih.

#### 4.4.3 Določanje dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev za širitev zvoka (p)

Vrednost dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev za širitev zvoka, glede na smer vir–sprejemnik, se lahko določi po različnih postopkih:

##### 4.4.3.1 Uporaba obstoječih lokalnih meteoroloških podatkov

Predpostavimo, da obstaja meteorološka postaja, ki je reprezentativna za preučevano področje. Pridobiti moramo meritve termičnih značilnosti (sončnost, oblačnost) in aerodinamičnih značilnosti (hitrost in smer vetra) za dolgoročno obdobje, to pomeni vsaj 10 let, optimalno 30 let.

Za izračun dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev za širitev zvoka na preučevanem področju, moramo podatke razbrati iz spodnje razpredelnice ( $U_i$  ;  $T_i$ ), kjer stolpci  $U_1$  do  $U_5$  označujejo stanje vetra, vrstice  $T_1$  do  $T_5$  pa ustrezajo opazovanim termičnim podatkom.

Dolgoročna okoliščina ugodnih pogojev za širitev zvoka v dani smeri ( $p$ ) ustreza skupni vrednosti pogojev označenih z »+« in »++«, ki se ji doda polovično vsoto okoliščin stanj, ustreznim pogojem  $U_2T_4$  in  $U_4T_2$ .

Preglednica 7: Kvalitativna preglednica, za oceno vpliva meteoroloških dejavnikov na zvočne ravni.  
(Vir: AFNOR, 2002, str. 30)

	U1	U2	U3	U4	U5
T1		--	-	-	
T2	--	-	-	Z	+
T3	-	-	Z	+	+
T4	-	Z	+	+	++
T5		+	+	++	

Prazne celice ustrezajo nemogočim meteorološkim slučajem.

- U1: močan veter (3 do 5 m/s) v nasprotni smeri vir–sprejemnik
- U2: srednje do šibek veter (1 do 3 m/s) v nasprotni smeri oddajnik–sprejemnik ali močan veter delno v nasprotni smeri vir–sprejemnik
- U3: brezvetrje ali katerikoli stranski veter
- U4: srednje do šibki nosilni veter ali močan veter, manj nosilen (= 45°)
- U5: močan nosilni veter
  
- T1: dan, močno sevanje, suha površina in malo vetra
- T2: enaki pogoji kot T1, vendar vsaj en ni preverjen
- T3: sončni vzhod ali sončni zahod ali (pokritost, vetrovno in vlažna površina)
- T4: noč in (oblačno ali veter)
- T5: noč, brez oblakov in šibak veter

Iz razpredelnice lahko razločimo pet vrst širitve zvoka:

- - Močno zmanjšanje zvočne ravni, ki ustreza močno dvigajočim zvočnim žarkom (neugodno stanje).
- Dokaj močno zmanjšanje zvočne ravni, ki ustreza močno dvigajočim zvočnim žarkom (neugodno stanje).
- Z Nični meteorološki pogoj, ki ustreza zvočnim žarkom, ki se širijo premočrtno (homogeno stanje).
- + Zmerno povečanje zvočne ravni, ki ustreza padajočim zvočnim žarkom (ugodno stanje).
- ++ Dokaj močno povečanje zvočne ravni, ki ustreza močno padajočim zvočnim žarkom (ugodno stanje).

Metoda XPS 31-133 ne daje rezultatov v neugodnih atmosferskih pogojih za širjenje zvoka. Pri neugodnih atmosferskih pogojih je hitrost širjenja zvočnih valov upoštevana kot padajoča glede na nadmorsko višino v smeri širjenja. Ti pogoji običajno vodijo do nižjih zvočnih ravni pri sprejemniku od tistih v pogojih homogene atmosfere za iste zvočne vire. Zvočni žarki so uklonjeni proti nebu.

#### **4.4.3.2 Uporaba lokalnih meteoroloških podatkov, zbranih posebej za potrebe projekta**

V primeru, da reprezentativna meteorološka postaja za preučevano področje ne obstaja, lahko meteorološke podatke na preučevanem področju zbiramo bistveno krajše obdobje od tistega, ki ustreza meteorološkemu dolgoročnemu obdobju. Zbrane podatke moramo povezati s podatki obstoječe meteorološke postaje. Meritve termičnih in aerodinamičnih značilnosti moramo izvajati v minimalnem obdobju 2 do 3 let, vendar so v praksi dopustne enoletne meritve.

Za izračun dolgoročne okoliščine ugodnih pogojev za širitev zvoka za preučevano področje uporabimo enak postopek kot pri izračunu dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev z uporabo obstoječih lokalnih meteoroloških podatkov.

#### **4.4.3.3 Privzamemo pavšalne vrednosti, ki čim bolj povečajo dejanske vrednosti**

Pri tem je računanje dolgoročne ravni precenjeno. Takšen način je sprejemljiv v primeru, če ima akustična študija cilj zaščititi stanovalce pred hrupom prometa.

V Sloveniji se uporabljajo pavšalne vrednosti:

- 100 % »ugodne« okoliščine za nočni čas (22h – 6h) ( $p = 1$ ),
- 75 % »ugodnosti« za večerni čas (18h – 22h) ( $p = 0,75$ ),
- 50 % »ugodnosti« za dnevni čas (6h – 18h) ( $p = 0,5$ ).

V primeru gostega mestnega okolja, kjer meteorološki učinki niso vzeti v obzir, se izračune izvede v homogenih pogojih in dolgoročne okoliščine ugodnih pogojev za širitev zvoka  $p$  so enake 0.

#### 4.4.4 Zmanjšanje zvočne ravni zaradi geometrične divergence

Zmanjšanje zaradi geometrične divergence  $A_{div}$  upošteva učinek oslabitve zvočne ravni zaradi razdalje med zvočnim virom in sprejemnikom.

Za točkovni zvočni vir na prostem se zmanjšanje zaradi geometrične divergence v dB(A) za vsak oktavni pas določi z enačbo:

$$A_{div} = 10\log(4\pi d^2) = 20\log(d) + 11 \quad [\text{dB(A)}]$$

$d$  ... neposredna razdalja med virom in sprejemnikom, med katerima ni ovir, v metrih.

#### 4.4.5 Zmanjšanje zvočne ravn zaradi atmosfarske absorpcije

Zmanjšanje zaradi atmosfarske absorpcije  $A_{atm}$  se ob širitvi zvoka na razdalji  $d$  določa z enačbo:

$$A_{atm} = \alpha \cdot d / 1000 \quad [\text{dB(A)}]$$

$\alpha$  ... koeficient atmosfarskega zmanjšanja v dB/km za vsak oktavni pas.

Metoda XP S31 133 uporablja vrednosti koeficienta  $\alpha$ , ki so dane za temperaturo 15 °C in relativno vlažnost 70 %. Vrednosti so upoštevane kot reprezentančne v mestnih klimatskih pogojih in so v skladu z vrednostmi, ki jih daje standard ISO 9613-1.

Preglednica 8: Koeficient atmosfarske absorpcije  $\alpha$  v dB/km po oktavnih pasovih (Vir: AFNOR, 2002, str. 17)

Frekvenca [Hz]	125	250	500	1000	2000	4000
$\alpha$ [dB/km]	0,38	1,13	2,36	4,08	8,75	26,4

#### 4.4.6 Zmanjšanje zvočne ravni zaradi talnega učinka

Zmanjšanje zaradi talnega učinka  $A_{tla}$  je v prvi vrsti rezultat interference med zvokom, ki se širi neposredno od vira k sprejemniku, in zvokom, ki se odbije od površine tal. Fizično je povezano z bolj ali manj absorpcijsko naravo terenov, nad katerimi se zvok širi. Značilnosti akustične absorpcije tal so v osnovi povezane z njihovo poroznostjo. Kompaktna tla so navadno odbijajoča, porozna pa vpijajoča. Zmanjšanje zaradi talnega učinka je prav tako odvisno od atmosferskih pogojev, ki vladajo ob širitvi, to je tam, kjer ukrivljenost žarkov spreminja višino nad tlemi in daje več ali manj pomena na terene, ki so blizu vira, sprejemnika ali med njima.

Akustično absorpcijo tal predstavlja brezdimenzijski koeficient  $G$ , zajet med vrednostjo 0 in 1. Pri tem vrednost 0 ustreza odbijajočim tlom, vrednost 1 pa vpijajočim tlom. V primeru spreminjajočih tal vzdolž poti med virom in sprejemnikom koeficient  $G$  dobi vmesne vrednosti med 0 in 1 ter tako predstavlja enakomerno absorpcijo.

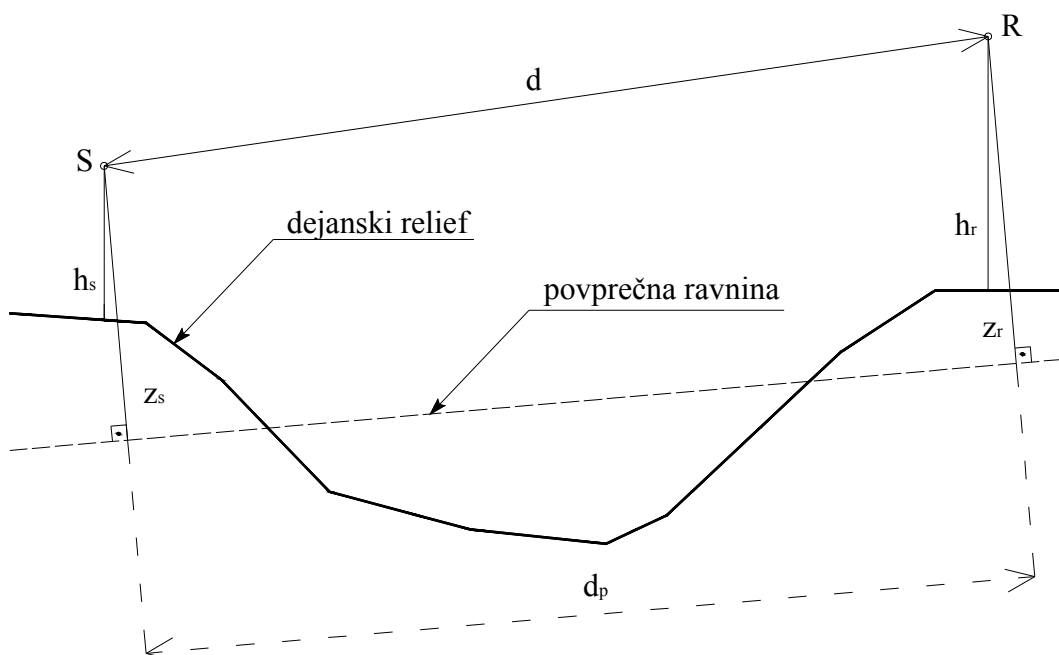
Preglednica 9: Brezdimenzijski koeficien  $G$  (Vir: AFNOR, 2002, str.17)

Vrsta tal	$G$
Vpijajoča tla (gozdne, travnate, gramozne površine, itd.)	1
Odbijajoča tla (gornja plast cestišča, beton, itd.)	0

Da bi najbolje upoštevali dejanski relief terena vzdolž poti širitve zvoka, se v formulah za izračun talnega učinka ne uporabljajo višine vezane na izvorne in sprejemne točke, temveč njihove enakovredne višine nad povprečno ravnino tal. Povprečna ravnina tal nadomesti dejanska tla z namišljenimi ravnimi tlemi, ki predstavljajo povprečni profil terena.

Enakovredna višina točke je njena pravokotna višina glede na povprečno ravnino. Tako dobimo enakovredno izvorno višino  $z_s$  in enakovredno sprejemno višino  $z_r$  (slika 7).

Če enakovredna višina točke postane negativna, to je, če je sprejemna točka postavljena pod povprečno ravnino tal, enakovredno višino točke ovrednotimo z 0.



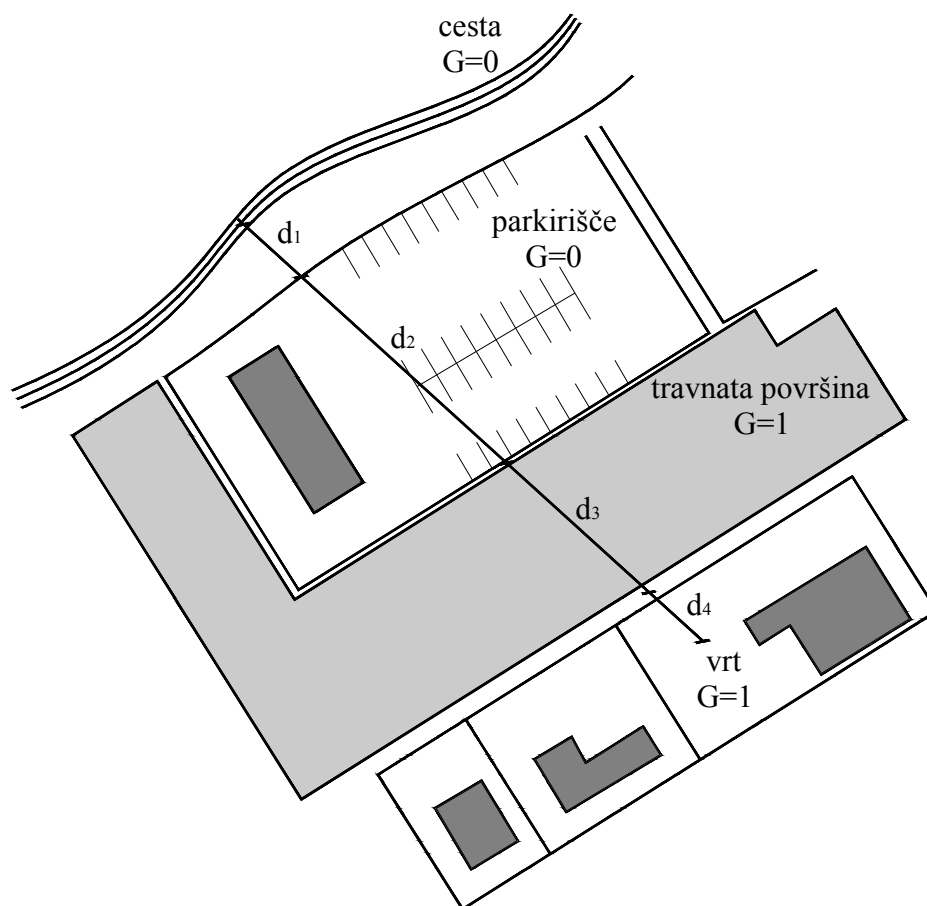
Slika 7: Enakovredne višine glede na povprečno ravnino tal (Vir: AFNOR, 2002, str. 18)

#### 4.4.6.1 Izračun talnega učinka pri ugodnih pogojih

Pri ugodnih pogojih za širitev zvoka se zvočni žarki ukrivijo k tlom. Z upoštevanjem ukrivljenja žarkov, je pot širitve večino časa dovolj visoko nad tereni na poti vir–sprejemnik, zato le v manjši meri vpliva na skupni talni učinek. Pozornost moramo posvetiti velikim razdaljam med virom in sprejemnikom, saj lahko na poti širitve zvoka pride do odbijanj od terena, kar moramo v izračunih upoštevati. To vodi k ločenemu izračunu vrednosti talnega učinka za dele zvočne poti, ki so bližje viru, med virom in sprejemnikom in zvočne poti blizu sprejemnika. Da bi to dosegli moramo upoštevati tri področja, na katerih se izvede ločeni izračun: področje vira, vmesno področje in področje sprejemnika. Za vsako od teh področij določimo talni koeficient  $G$ , ki dobi oznako  $G_s$ ,  $G_{vmesni}$ , in  $G_r$ . Za lažje računanje sta upoštevana le dva koeficienta, koeficient  $G_s$  na področju vira in koeficient  $G_{pot}$ , ki ustreza povprečnim značilnostim tal na celotni poti širitve ( $G_{pot} = G_{vmesni} = G_r$ ).



Za izračun talnega učinka na vmesnem področju in področju sprejemnika, se privzame, da je koeficient  $G_{pot}$  enak delu vpijajočih tal, postavljenemu na celotni prepotovani poti (slika 8).



$$d_1 + d_2 + d_3 + d_4 = d$$

$$G_{pot} = \frac{0 \cdot d_1 + 0 \cdot d_2 + 1 \cdot d_3 + 1 \cdot d_4}{d}$$

Slika 8: Določanje talnega koeficienta  $G_{pot}$  na širitveni poti (Vir: AFNOR, 2002, str. 19)

Vendar, v kolikor sta vir in sprejemnik blizu ( $d_p \leq 30(z_s + z_r)$ ), razlika med naravo tal pri viru in naravo tal pri sprejemniku izgubi svoj pomen. Talni koeficient  $G_{pot}$  se popravi na naslednji način:

$$d_p \leq 30(z_s + z_r): G'_{pot} = G_{pot} \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} + G_s \left( 1 - \frac{d_p}{30(z_s + z_r)} \right)$$

$z_s$  ... enakovredna izvorna višina

$z_r$  ... enakovredna sprejemna višina

Če je  $d_p > 30(z_s + z_r)$  je talni koeficient  $G'_{pot} = G_{pot}$ .

Zmanjšanje zvočne ravni zaradi talnega učinka pri ugodnih pogojih na celotni poti je torej:

$$A_{tla,F} = A_{s,F} + A_{vmesni,F} + A_{r,F} \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$A_{s,F}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka pri izvoru,

$A_{vmesni,F}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka med virom in sprejemnikom,

$A_{r,F}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka pri sprejemniku.

Zmanjšanje talnega učinka pri izvoru, med virom in sprejemnikom in pri sprejemniku izračunamo po formulah iz preglednice 10.

Preglednica 10: Formule za izračun talnega učinka pri ugodnih pogojih (Vir: AFNOR, 2002, str. 20)

Osrednja nominalna frekvenca [Hz]	$A_{s,F}$ ali $A_{r,F}$ [dB(A)]	$A_{vmesni,F}$ [dB(A)]
125	$-1,5 + G a'(z)$	$-3 q (1 - G)$
250	$-1,5 + G b'(z)$	
500	$-1,5 + G c'(z)$	
1000	$-1,5 + G d'(z)$	
2000	$-1,5 (1 - G)$	
4000	$-1,5 (1 - G)$	
kjer:		
$a'(z) = 1,5 + 3,0 e^{-0,12(z-5)^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right) + 5,7e^{-0,09z^2} \left(1 - e^{-2,8 \cdot 10^{-6} d_p^2}\right)$		
$b'(z) = 1,5 + 8,6e^{-0,09z^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$		
$c'(z) = 1,5 + 14,0e^{-0,46z^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$		
$d'(z) = 1,5 + 5,0e^{-0,9z^2} \left(1 - e^{-d_p/50}\right)$		
$q = 0$	če $d_p \leq 30 (z_s + z_r)$	
$q = 1 - 30 (z_s + z_r) / d_p$	če $d_p > 30 (z_s + z_r)$	

Za izračun  $A_{s,F}$  vzamemo  $z = z_s$  in  $G = G_s$ ; za izračun  $A_{r,F}$  je  $z = z_r$  in  $G = G'_{pot}$ ; za izračun  $A_{vmesni,F}$  vzamemo  $G = G'_{pot}$ .

#### 4.4.6.2 Izračun talnega učinka pri homogenih pogojih

Pri homogenih atmosferskih pogojih  $A_{lla,H}$ , kjer so žarki premočrtni, ni potreben ločen izračun vrednosti talnega učinka na izvornem, vmesnem in sprejemnem področju. Za celotno pot širitve zvoka upoštevamo le talni koeficient  $G_{pot}$ , identičen tistemu, ki se uporablja za izračun pri ugodnih pogojih.

Zmanjšanje zvočne ravni zaradi talnega učinka pri homogenih pogojih izračunamo po naslednjih formulah:

- Če  $G_{pot} \neq 0$

$$A_{tla,H} = -10 \log \left[ 4 \frac{k^2}{d_p^2} \left( z_s^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_s + \frac{C_f}{k} \right) \left( z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_r + \frac{C_f}{k} \right) \right] \geq -3 \cdot (1 - G'_{pot}),$$

kjer je:

$$k = \frac{2 \cdot \pi \cdot f_c}{c} \dots \quad \text{število valov za dani oktavni pas v m}^{-1},$$

$f_c$  ... osrednja nominalna frekvenca za vsak oktavni pas v Hz,

$c$  ... hitrost zvoka v zraku v m/s,

$$C_f = d_p \frac{1 + 3 \cdot w \cdot d_p \cdot e^{-\sqrt{w \cdot d_p}}}{1 + w \cdot d_p},$$

$$w = 0,0185 \frac{f_c^{2,5} G_{pot}^{2,6}}{f_c^{1,5} G_{pot}^{2,6} + 1,3 \cdot 10^3 f_c^{0,75} G_{pot}^{1,3} + 1,16 \cdot 10^6}.$$

Če je  $A_{tla,H} < -3 (1 - G'_{pot})$ , vzamemo  $A_{tla,H} = -3 (1 - G'_{pot})$ .

- Če  $G_{pot} = 0$

$$A_{tla,H} = -3 \text{ dB(A)}$$

#### 4.4.7 Zmanjšanje zvočne ravni zaradi difrakcije

Nadalje opisan postopek za izračun zmanjšanja zvočne ravni zaradi difrakcije velja tako pri homogenih, kakor pri ugodnih pogojih za širitev zvoka. Pri tem sta ukrivljenost žarkov in talni učinek pred difrakcijo upoštevana v izračunu za optično dolžino poti  $\delta$ .

V prvi vrsti je potrebno preveriti ali je učinek zmanjšanja zaradi difrakcije na vrhu vsake ovire, postavljene na poti širitve, prisoten ali ne. To preverimo z izračunom optične dolžine poti  $\delta$  na poti vir–sprejemnik.

Če poteka pot širitve zvočnega valovanja med virom in sprejemnikom dovolj visoko nad robom difrakcije, ni potrebno izvesti izračuna po postopku opisanem v tem poglavju, saj se upošteva, da sta vir in sprejemnik na neposrednem vidiku. V tem primeru je izraz  $A_{ita}$  izračunan po postopku opisanem v poglavju 4.4.6 in izraz  $A_{dif}$  v formulah za skupek zmanjšanj na poti širjenja pri homogenih in ugodnih pogojih, opisanih v poglavju 4.4.1 in 4.4.2 enak 0 dB(A).

V nasprotnem primeru, je izraz  $A_{dif}$  izračunan glede na postopek predstavljen v pričujočem poglavju. Pri tem je izraz  $A_{ita}$  v formulah za skupek zmanjšanj na poti širjenja pri homogenih in ugodnih pogojih opisanih v poglavju 4.4.1 in 4.4.2 enak 0 dB(A). Talni učinek se upošteva neposredno v formuli za izračun difrakcije.

#### 4.4.7.1 Splošna metoda izračuna zmanjšanja zvočne ravni zaradi difrakcije

Splošna metoda izračuna zmanjšanja zaradi difrakcije temelji na razčlenitvi poti širitve na dva dela: »stran vira«, pot, ki je postavljena med vir in točko difrakcije, in »stran sprejemnika«, pot, ki je postavljena med točko difrakcije in sprejemnikom (slika 9).

Splošno metodo izračuna zmanjšanja zaradi difrakcije lahko opišemo v petih korakih:

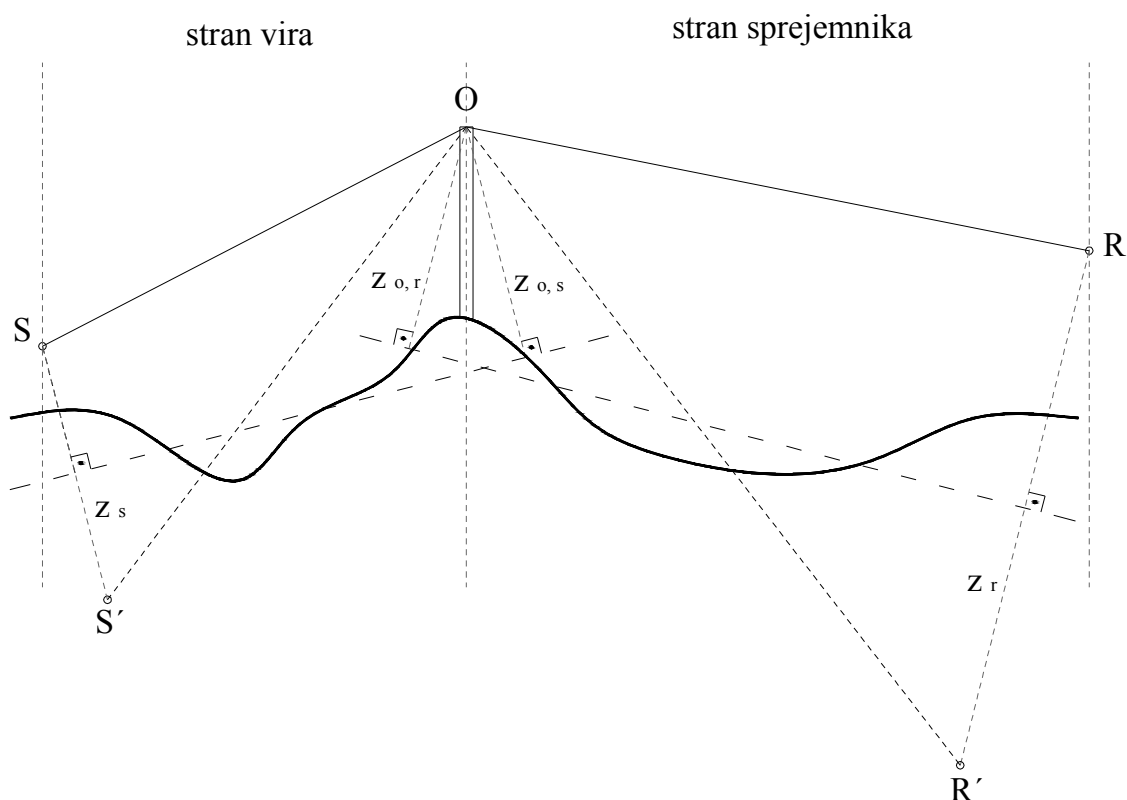
**Prvi korak:** potrebno je določiti povprečno ravnino tal na strani med virom in oviro ter med oviro in sprejemnikom. Določi se namišljeni vir S' glede na povprečno ravnino tal na strani vira in namišljeni sprejemnik R' glede na povprečno ravnino tal na strani sprejemnika.

**Drugi korak:** izračun optične dolžine poti  $\delta$  za vsako pot SR, S'R in SR'.

**Tretji korak:** izračun zmanjšanja zaradi čiste difrakcije  $\Delta_{dif}$  za vsako pot SR, S'R in SR'.

**Četrty korak:** izračun zmanjšanja zaradi talnega učinka na strani vira  $\Delta_{ta(S,O)}$  in na strani sprejemnika  $\Delta_{ta(O,R)}$ .

**Peti korak:** izračun zmanjšanja zaradi difrakcije  $A_{dif}$ , upoštevajoč talne učinke na strani vira in na strani sprejemnika.



Slika 9: Prikaz splošne metode za izračun zmanjšanja zaradi difrakcije (Vir: AFNOR, 2002, str. 22)

- S ... vir
- R ... sprejemnik
- S' ... namišljeni vir glede na povprečno ravnino tal na strani vira
- R' ... namišljeni sprejemnik glede na povprečno ravnino tal na strani sprejemnika
- O ... točka difrakcije
- $z_s$  ... enakovredna višina vira S glede na povprečno ravnino tal na strani vira
- $z_{os}$  ... enakovredna višina točke difrakcije O glede na povprečno ravnino tal na strani vira

$z_r$  ... enakovredna višina sprejemnika R glede na povprečno ravnino tal na strani sprejemnika

$z_{or}$  ... enakovredna višina točke difrakcije O glede na povprečno ravnino tal na strani sprejemnika

#### 4.4.7.1.1 Določitev povprečne ravnine tal

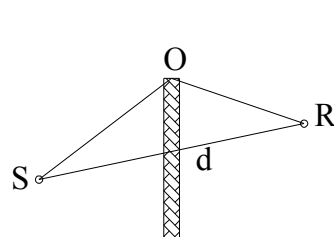
Ukrivljenost tal med virom in točko difrakcije, kot tudi med točko difrakcije in sprejemnikom, se upošteva s stranicami enakovrednih višin, izračunanih glede na povprečne ravnine tal, na strani vira in na strani sprejemnika (slika 7).

#### 4.4.7.1.2 Optična dolžina poti

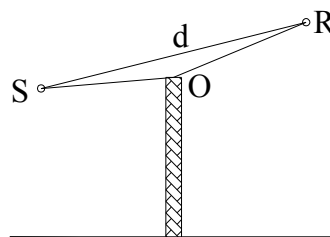
Optična dolžina poti  $\delta$  se izračuna po sledečih shemah, glede na dobljena stanja:

- Homogeni pogoji

Enostavna difrakcija

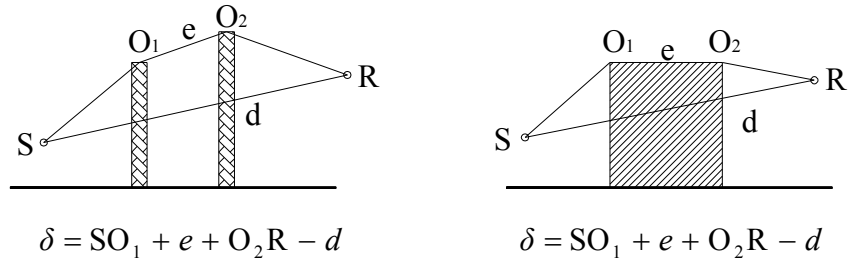


$$\delta = SO + OR - d$$



$$\delta = -(SO + OR - d)$$

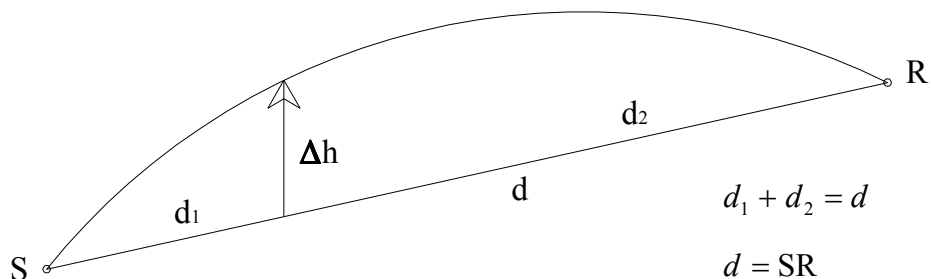
### Večkratna difrakcija



Slika 10: Izračun optične dolžine poti pri homogenih pogojih (Vir: AFNOR, 2002, str. 23)

### - Ugodni pogoji

Pri ugodnih pogojih se učinek ukrivljenja žarkov simulira s premeščanjem najkrajše poti na višino količine  $\Delta h$  (slika 11).



Slika 11: Definicija izraza  $\Delta h$  (Vir: AFNOR, 2002, str. 24)

Višino  $\Delta h$  izračunamo po formuli:

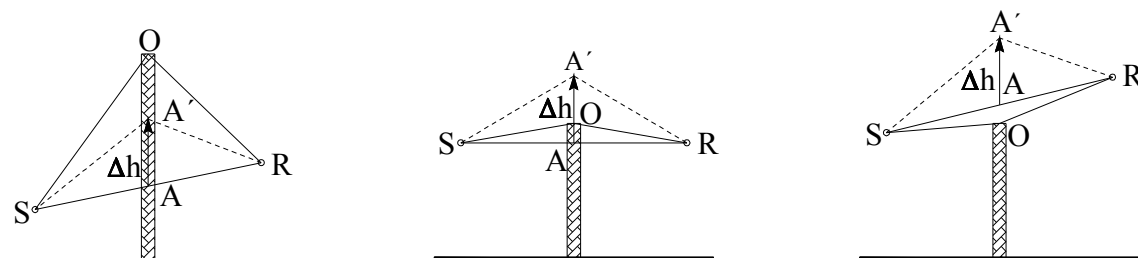
$$\Delta h = \frac{d_1 \cdot d_2}{2\gamma} \quad [\text{m}]$$

Kjer je  $\gamma = 8d$  in predstavlja ukrivljeni žarek akustične poti v metrih,  $d$  pa najkrajšo razdaljo širitve zvočnega valovanja.



### Enostavna difrakcija

Za enostavno difrakcijo se optično dolžino poti pri ugodnih pogojih izračuna po formulah, predstavljenih na sliki 12. V kolikor dejstvo ukrivljenja žarka postavi vir in sprejemnik na neposreden vidik, je optična dolžina poti  $\delta$  negativna (druga in tretja shema slike 12). Pri tem je potrebno opomniti, da sta S in R zakrita pri homogenem stanju in na neposrednem vidiku pri ugodnem stanju, kjer žarek »obide« oviro (druga shema slike 12).



$$\delta = SO + RO - (SA' + A'R)$$

$$\delta = SO + RO - (SA' + A'R)$$

$$\delta = 2SR - (SA' + A'R) - (SO + OR)$$

Slika 12: Izračun optične dolžine poti pri ugodnih pogojih v primeru enostavne difrakcije (Vir: AFNOR, 2002, str. 24)

S ... vir

R ... sprejemnik

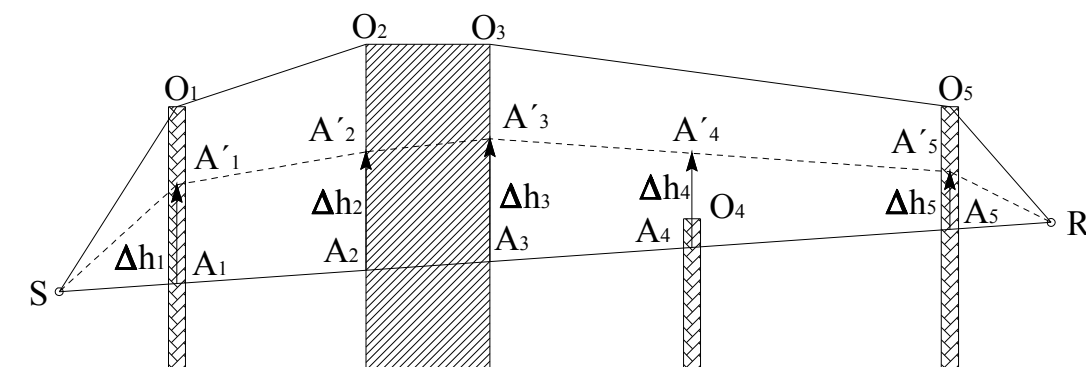
A ... točka najkrajše poti S–R pri premočrtnem širjenju

O ... točka difrakcije

A' ... sprememba točke A, ki jo opravi navpična sprememba navzgor točke A za količino  $\Delta h$

### Večkratna difrakcija

Za večkratne difrakcije pri ugodnih pogojih za širitev zvoka, je potrebno iz količine  $\Delta h$  določiti točko A', odstraniti robove, ki vodijo k negativni difrakciji in določiti žarek najkrajše poti, ki povezuje vir in sprejemnik za vsako upoštevano točko difrakcije (slika 13).



$$\delta = SO_1 + O_1O_2 + O_2O_3 + O_3O_5 + O_5R - (SA'_1 + A'_1A'_2 + A'_2A'_3 + A'_3A'_4 + A'_4A'_5 + A'_5R)$$

Slika 13: Izračun optične dolžine poti pri ugodnih pogojih v primeru večkratne difrakcije (Vir: AFNOR, 2002, str. 25)

Za določitev ali je prisoten učinek zmanjšanja zaradi difrakcije, je optična dolžina poti na poti vir - sprejemnik primerjana s količino  $-\lambda/20$  pri frekvenci 500 Hz, to je -0,034 m.  $\lambda$  je dolžina vala pri osrednji nominalni frekvenci upoštevanega oktavnega pasu.

Če je optična dolžina poti na poti vir-sprejemnik manjša od -0,034 m, ni potrebno izvesti izračuna zmanjšanja zaradi difrakcije. Vir in sprejemnik sta na neposrednem vidiku. Izraz  $A_{dif}$  je v formulah za skupek zmanjšanj na poti širjenja pri homogenih in ugodnih pogojih, opisanih v poglavju 4.4.1 in 4.4.2 enak 0 dB(A).

V nasprotnem primeru je potreben izračun difrakcije za vse oktavne pasove. Za izraz  $A_{dta}$  se v formulah za skupek zmanjšanj na poti širjenja pri homogenih in ugodnih pogojih, opisanih v poglavju 4.4.1 in 4.4.2, privzame vrednost 0 dB(A). Talni učinek se upošteva neposredno v formuli za izračun difrakcije.

To pravilo se uporabi v vseh primerih; pri homogenih ali ugodnih pogojih in za enostavno ali večkratno difrakcijo. Stanje mora biti preverjeno ločeno za homogene in ugodne pogoje.

#### 4.4.7.1.3 Izračun zmanjšanja zvočne ravni zaradi čiste difrakcije

Zmanjšanje zaradi čiste difrakcije, brez talnega učinka, je dano z:

- če  $(40/\lambda) C'' \delta \geq -2$ :  $\Delta_{dif} = 10 \log (3 + (40/\lambda) C'' \delta)$
- če  $(40/\lambda) C'' \delta < -2$ :  $\Delta_{dif} = 0$

kjer je:

$\lambda$  ... dolžina vala pri osrednji nominalni frekvenci upoštevanega oktavnega pasu,

$\delta$  ... optična dolžina poti med lomljeno potjo in najkrajšo potjo,

$C''$  ... koeficient, ki upošteva večkratne difrakcije.

$C'' = 1$  v primeru enostavne difrakcije,

$$C'' = \frac{1 + (5\lambda / e)^2}{1/3 (5\lambda / e)^2} \text{ v primeru večkratne difrakcije, kjer je } e \text{ skupna razdalja med}$$

skrajnimi difrakcijami v primeru večkratnih difrakcij.

Vrednosti  $\Delta_{dif}$  so omejene med 0 in 25 dB(A), zato:

- če  $\Delta_{dif} < 0$ :  $\Delta_{dif} = 0 \text{ dB(A)}$
- če  $\Delta_{dif} > 25$ :  $\Delta_{dif} = 25 \text{ dB(A)}$

#### 4.4.7.1.4 Izračun zmanjšanja zaradi talnega učinka na strani vira in na strani sprejemnika

- Izračun zmanjšanja zaradi talnega učinka med virom S in točko difrakcije O se izračuna z enačbo:

$$\Delta_{tla(S,O)} = -20 \log \left( 1 + \left( 10^{\frac{-A_{tla(S,O)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{-(\Delta_{dif}(S,R) - \Delta_{dif}(S,R))}{20}} \right) \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

- $\Delta_{dif(S',R)}$  ... zmanjšanje zaradi difrakcije med namišljenim virom S' in sprejemnikom R,
- $\Delta_{dif(S,R)}$  ... zmanjšanje zaradi difrakcije med virom S in sprejemnikom R,
- $A_{tla(S,O)}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka med virom S in točko difrakcije O. Za cestne platforme, ob upoštevanju odbijanja od le-teh, je vrednost  $A_{tla(S,O)}$  tako pri homogenih kot pri ugodnih pogojih enaka -3 dB(A).

V drugih primerih se izraz  $A_{tla(S,O)}$  izračuna z enačbami za izračun talnega učinka pri ugodnih in homogenih pogojih, opisanih v poglavju 4.4.6.1 in 4.4.6.2, s sledečimi hipotezami:

- $z_r = z_{os}$ ,
  - $d = SO$ ,
  - pri ugodnih pogojih je za cestno platformo  $G_s = 0$  in  $G_{vmesni} = G_r = G'_{pot}$  izračunan med S in O,
  - pri homogenih pogojih je  $G = G'_{pot}$  izračunan med S in O.
- Izračun zmanjšanja zaradi talnega učinka med točko difrakcije O in sprejemnikom R se izračuna z enačbo:

$$\Delta_{tla(O,R)} = -20 \log \left( 1 + \left( 10^{\frac{-A_{tla(O,R)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{-(\Delta_{dif(S,R')} - \Delta_{dif(S,R)})}{20}} \right) \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

- $\Delta_{dif(S,R')}$  ... zmanjšanje zaradi difrakcije med virom S in namišljenim sprejemnikom R',
  - $\Delta_{dif(S,R)}$  ... zmanjšanje zaradi difrakcije med virom S in sprejemnikom R,
  - $A_{tla(O,R)}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka med točko difrakcije O in sprejemnikom R.
- Izračuna se z enačbami za izračun talnega učinka pri ugodnih in homogenih pogojih opisanih v poglavju 4.4.6.1 in 4.4.6.2, s sledečimi hipotezami:

- $z_s = z_{or}$ ,
- $d = OR$ ,

- pri ugodnih pogojih je  $G_s = G_{vmesni} = G_r = G_{pot}$  izračunan med O in R,
- pri homogenih pogojih je  $G = G_{pot}$  izračunan med O in R.

#### 4.4.7.1.5 Izračun zmanjšanja zvočne ravni zaradi difrakcije, upoštevajoč talne učinke

Zmanjšanje zaradi difrakcije  $A_{dif}$ , upoštevajoč talne učinke na strani vira in na strani sprejemnika, se izračuna z enačbo:

$$A_{dif} = \Delta_{dif(S,R)} + \Delta_{ila(S,O)} + \Delta_{ila(O,R)} \quad [\text{dB(A)}],$$

kjer je:

$\Delta_{dif(S,R)}$  ... zmanjšanje zaradi čiste difrakcije med virom S in sprejemnikom R,

$\Delta_{ila(S,O)}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka na strani vira,

$\Delta_{ila(O,R)}$  ... zmanjšanje zaradi talnega učinka na strani sprejemnika.

#### 4.5 Kopičenje dolgoročnih zvočnih prispevanj vseh poti pri sprejemni točki R

Kopičenje dolgoročnih zvočnih prispevanj vseh poti pri sprejemni točki R, omogoča izračun skupne dolgoročne zvočne ravni pri sprejemni točki po oktavnem pasu.

Skupno dolgoročno zvočno raven pri sprejemniku za oktavni pas  $j$  dobimo s seštevanjem zvočnih prispevkov vseh točkovnih virov in njihovih morebitnih prestavljenih virov.

$$L_{eq, dolgoročno}(j) = \left[ \sum_i 10^{0,1L_{i, dolgoročno}(j)} + \sum_{i'} 10^{0,1L_{i', dolgoročno}(j)} \right] \quad [\text{dB(A)}]$$

$i$  predstavlja skupek točkovnih virov,  $i'$  pa skupek namišljenih virov, ki ustrezajo odbijanju od navpične ovire.

#### 4.6 Povprečna dolgoročna zvočna raven skupnega zvočnega tlaka pri sprejemni točki R

Povprečno dolgoročno zvočno raven pri sprejemni točki dobimo s seštevkom skupnih dolgoročnih zvočnih ravni v vsakem oktavnem pasu.

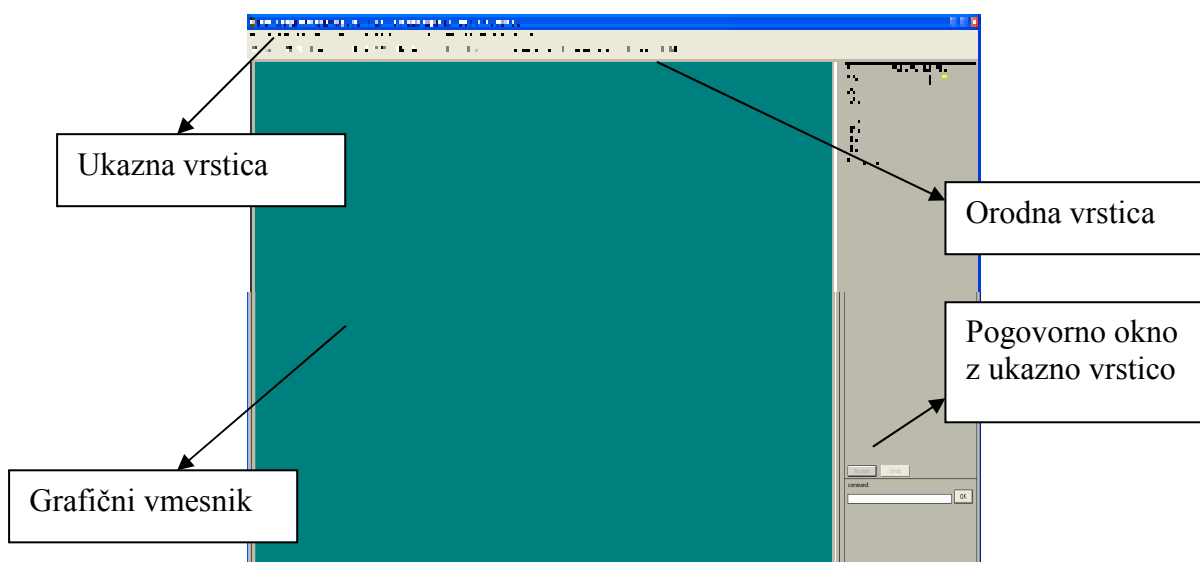
$$L_{eq, dolgoročno} = 10 \log \sum_{j=1}^6 10^{0,1 L_{eq, dolgoročno} (j)} \quad [\text{dB(A)}]$$

Povprečna dolgoročna zvočna raven tvori končni rezultat, to pomeni povprečno dolgoročno raven zvočnega tlaka pri sprejemni točki.

## 5 PROGRAMSKO ORODJE ZA IZRAČUN NIVOJEV HRUPA LIMA\_5

Za izračun nivojev hrupa smo uporabili programsko orodje Graphic User Interface LimA\_5, version 5.1, Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft GmbH (v nadaljnjem besedilu Lima). Lima omogoča izdelavo izračunov po metodah, ki jih predpisuje Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08).

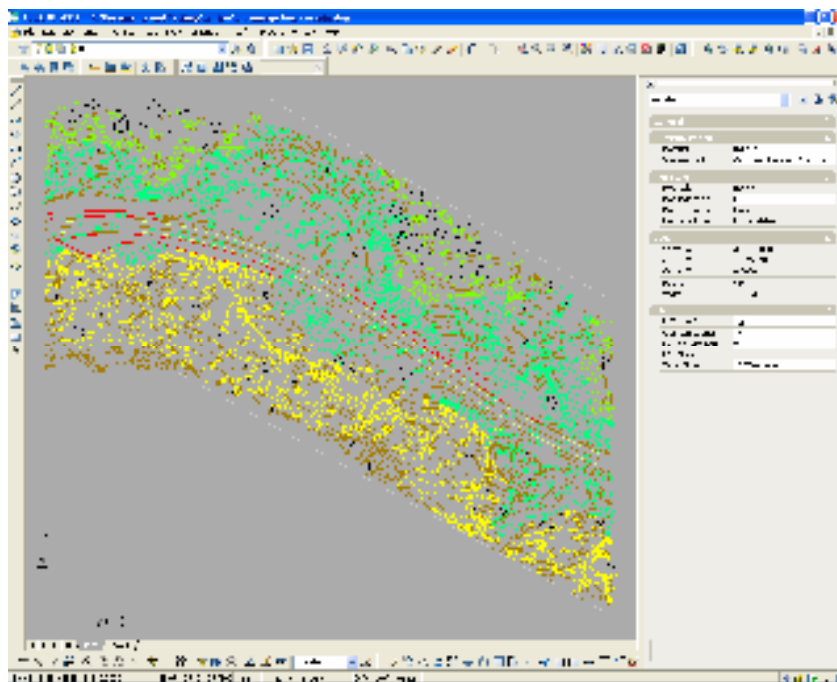
Delovni prostor v Limi je sestavljen iz grafičnega vmesnika, pogovornega okna z ukazno vrstico, orodne vrstice in ukazne vrstice, kar omogoča hiter dostop do več kot sto ukazov.



Slika 14: Delovni prostor v Limi

Za oceno obremenjenosti okolja s hrupom je potrebno izdelati 3D model obravnavanega terena.

Za lažjo obdelavo prostorskih podatkov lahko uporabimo programsko orodje AutoCAD (slika 15). DXF datoteko nato prenesemo v Limo. Lima dovoljuje vnos datotek formata DXF, SHP in ASCII.



Slika 15: Priprava prostorskih podatkov v programskem orodju AutoCAD

Model je zgrajen iz različnih geometričnih elementov, kot so zgradbe, nasipi, mostovi, zaslони, razne konture ipd. V model lahko vnesemo še vire hrupa, položaj sprejemnikov na določenih višinah in podatke o topografiji terena. Viri hrupa so definirani kot cestni, železniški, industrijski, letalski ter kot različne površine namenjene športnim dejavnostim. Lahko so točkovni, linijski ali ploskovni.

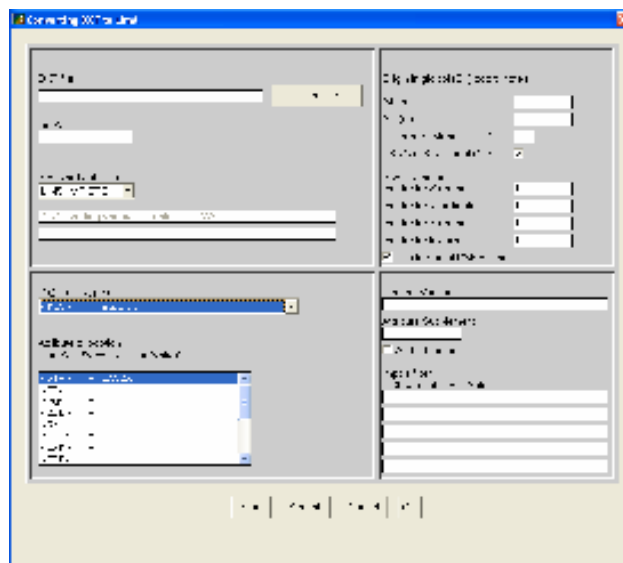
Vsak element v modelu je potrebno digitalizirati. S tem določimo njegove lastnosti.

Nenazadnje je potrebno določiti metodo ocenjevanja kazalcev hrupa, ki ga v našem primeru povzroča obratovanje ceste in izračunati nivoje hrupa. Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju, za hrup zaradi obratovanja cest, določa francosko metodo ocenjevanja NMPB in francoski standard "XP S31-133". Izračune lahko predstavimo v grafični ali tabelarni obliki.

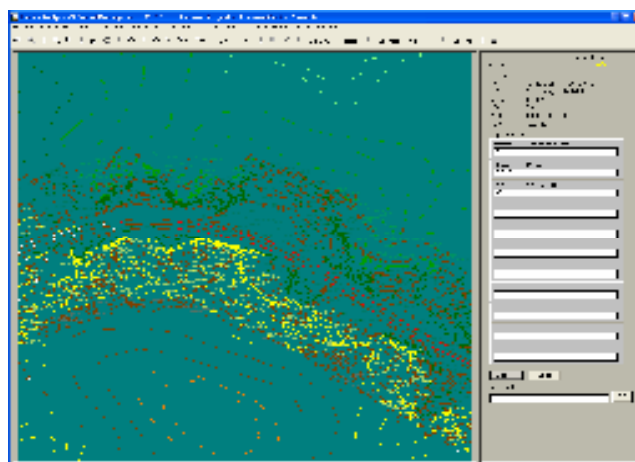


## 5.1 Prenos DXF datotek v Limo

Limo omogoča uvoz podatkov različnih formatov. Za uvažanje DXF datotek iz AutoCAD-a v Limo uporabimo ukaz Convert data / DXF-LimA. V pogovornem oknu (slika 16) označimo datoteko katero želimo uvoziti, merilo ter tip objekta. DXF datoteka lahko vsebuje več različnih plasti, ki predstavljajo različne tipe objektov. Za skupen prenos vseh plasti v Limo za tip objekta uporabimo ukaz < DIV > (sundry).



Slika 16: Pogovorno okno za prenos datotek iz AutoCAD-a v Limo



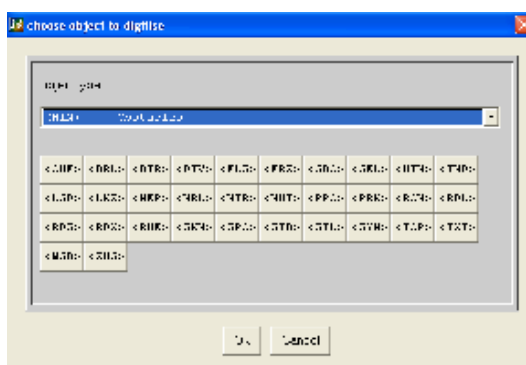
Slika 17: Prenesen grafični prikaz modela iz AutoCAD-a

V Limo lahko uvozimo tudi rastrske podatke. V ukazni vrstici izberemo meni Bitmap / Load Bitmap in v pogovornem oknu izberemo datoteko, ki jo želimo uvoziti. Program omogoča uvoz rastrskih podatkov formatov GIF, JPG, BMP, PCX, WMF in TIF. Vse rastrske podatke Lima samodejno pretvori v obliko BMP.

## 5.2 Digitaliziranje

Za določitev lastnosti elementov v modelu je potrebno le-te digitalizirati.

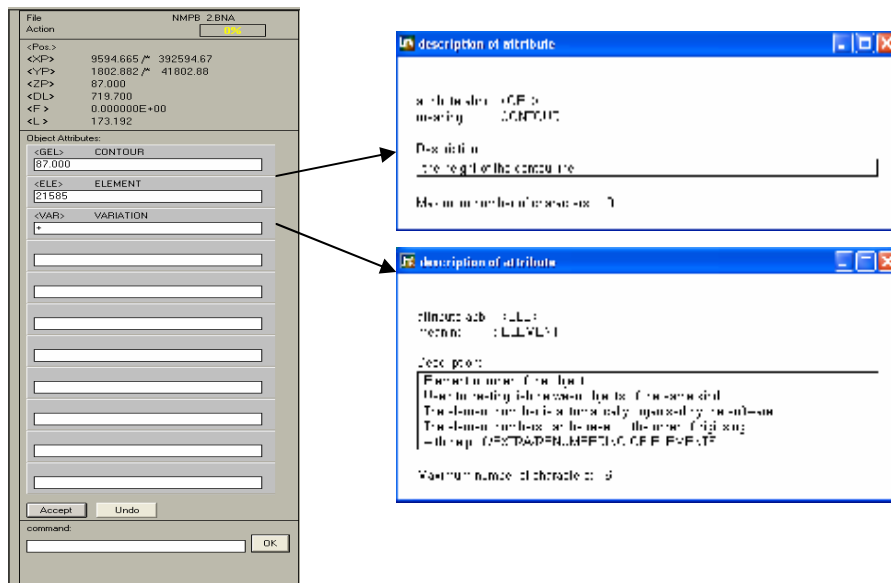
V ukazni vrstici izberemo Digitise / Digitise.... Prikaže se pogovorno okno (slika 18), v katerem izberemo vrsto elementa, ki ga želimo digitalizirati. Digitalizirati je potrebno v nasprotni smeri urinega kazalca, saj Lima v tej smeri pregleduje napake. Če elementi niso digitalizirani v tej smeri, se lahko zgodi, da so med računanjem izbrisani.



Slika 18: Pogovorno okno za izbor elementa, ki ga želimo digitalizirati

### 5.2.1 Digitaliziranje terena

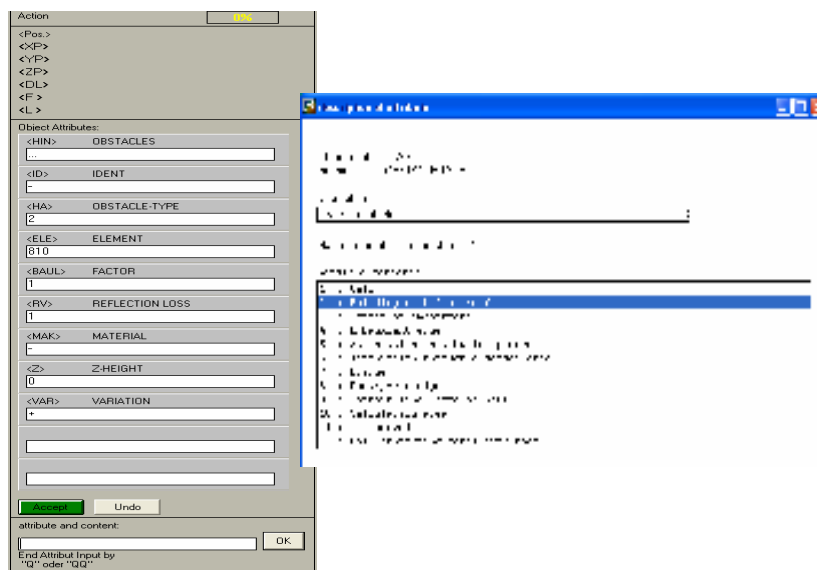
V pogovornem oknu izberemo <GEL> Contour. Določimo višino konture in zaporedno številko elementa. Številke elementa so dodeljene s strani uporabnika ali programskega orodja. Uporabljajo se za razlikovanje elementov iste skupine. V pogovornem oknu s plusom ali minusom določimo možnost ali naj element v izračunu upoštevamo ali ne.



Slika 19: Pogovorno okno za določitev lastnosti konture

## 5.2.2 Digitaliziranje ovir

Za digitaliziranje ovir izberemo <HIN> Obstacles, to so ovire, kot so stavbe, mostovi, zidovi, robovi brežin, nasipi, protihrupne ograje ipd. Po potrditvi z »OK« se prikaže pogovorno okno, v katerem določimo lastnosti ovire (slika 20).

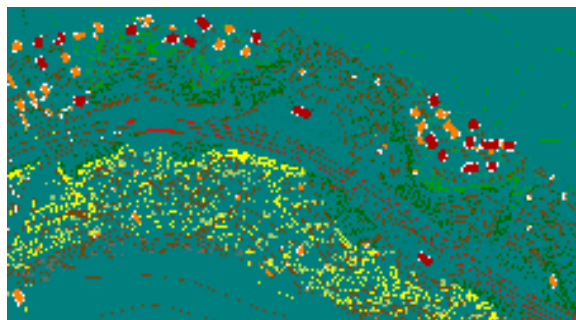


Slika 20: Pogovorno okno za določitev lastnosti ovire

Poleg določitve geometrijskih in akustičnih lastnosti Lima omogoča tudi individualno identificiranje in poimenovanje vsakega elementa.

Nad pogovornim oknom je prikazan položaj izbranega elementa v treh dimenzijah. V dodatku <L> prikazuje razdaljo med izbranimi elementoma, <DL> razdaljo med izbranimi točkama in <F> površino izbranega območja.

Po potrditvi izbranih lastnosti pričnemo z digitaliziranjem. Lima elemente prikaže z različnimi barvami v odvisnosti od njihovih lastnosti (slika 21).

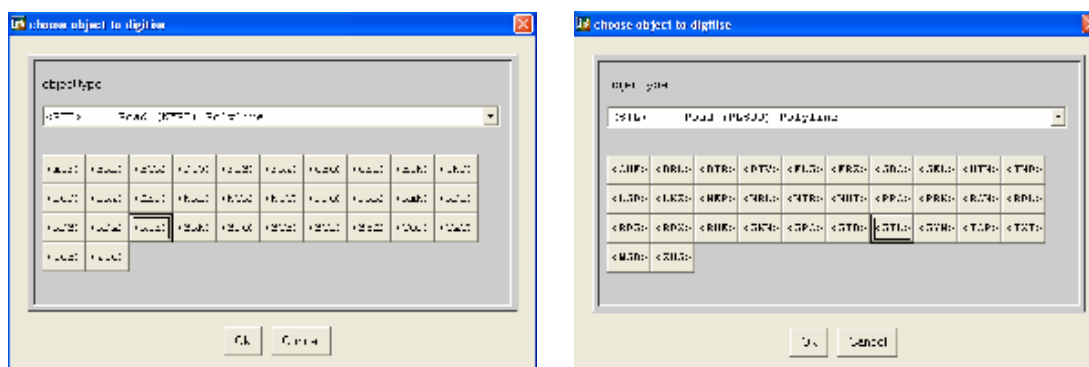


Slika 21: Različne barve digitaliziranih elementov

### 5.2.3 Digitaliziranje virov hrupa

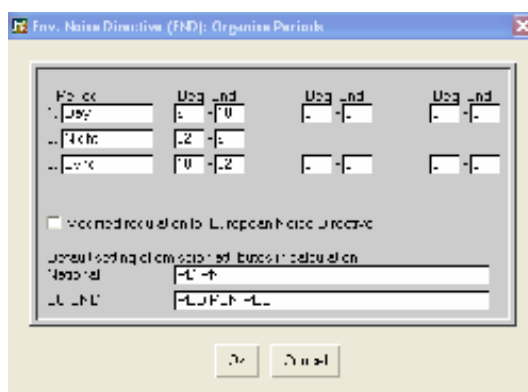
Viri hrupa so lahko točkovni, linijski ali ploskovni. V pogovornem oknu izberemo vrsto vira hrupa, ki ga želimo digitalizirati. Kot vir hrupa izberemo različne podatkovne sloje, kot so cesta, železniška proga, športno igrišče, parkirišče, industrijski obrat, strelišče, ipd.

Vsaka metoda ocenjevanja kazalcev hrupa zahteva različne podatke. Nanjo moramo biti pozorni že pri izbiri vira hrupa (slika 22).



Slika 22: Izbira vira hrupa glede na metodo ocenjevanja kazalcev hrupa

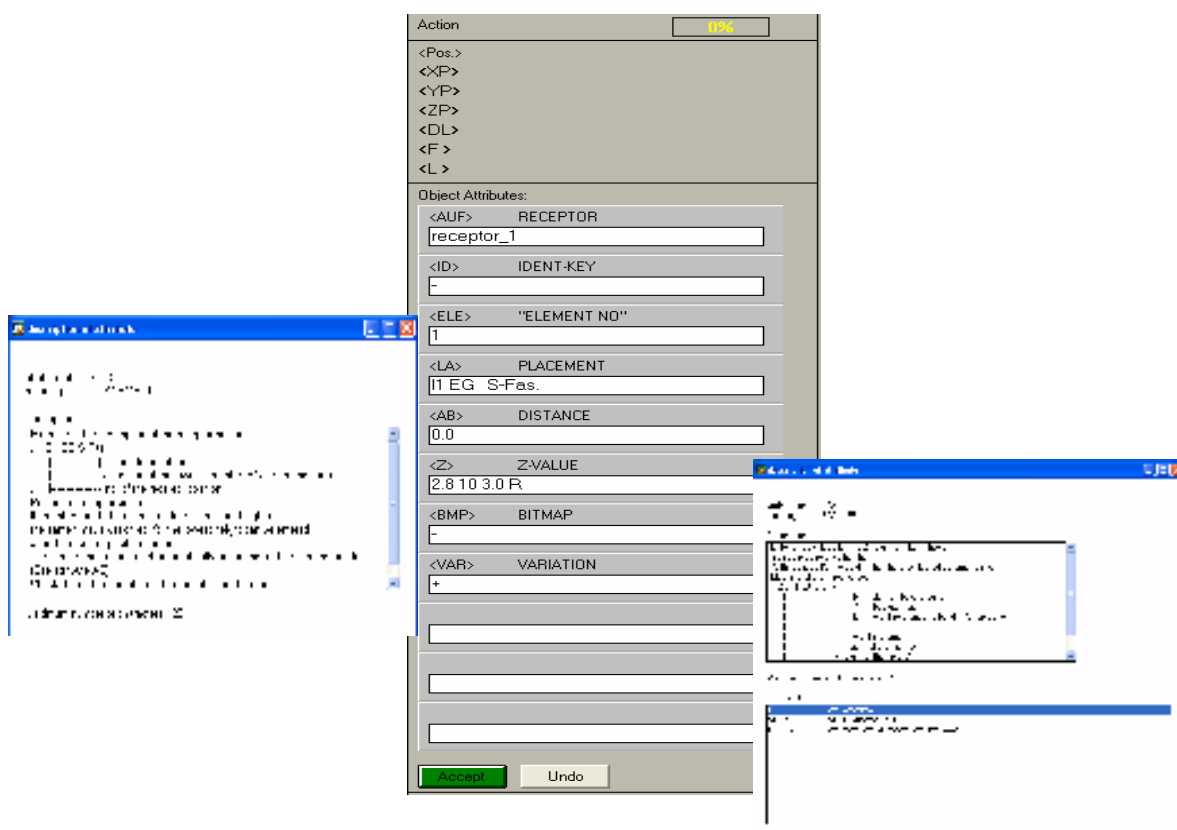
Pred samim izračunom nivojev hrupa je potrebno določiti različna obdobja dneva (dan, večer, noč) (slika 23).



Slika 23: Določitev časovnih obdobj dneva za izračun kazalcev hrupa

#### 5.2.4 Digitaliziranje sprejemnikov

Za digitaliziranje sprejemnikov v pogovornem oknu izberemo <AUF> Receptor in po potrditvi v pogovornem oknu določimo njihove lastnosti (slika 24).



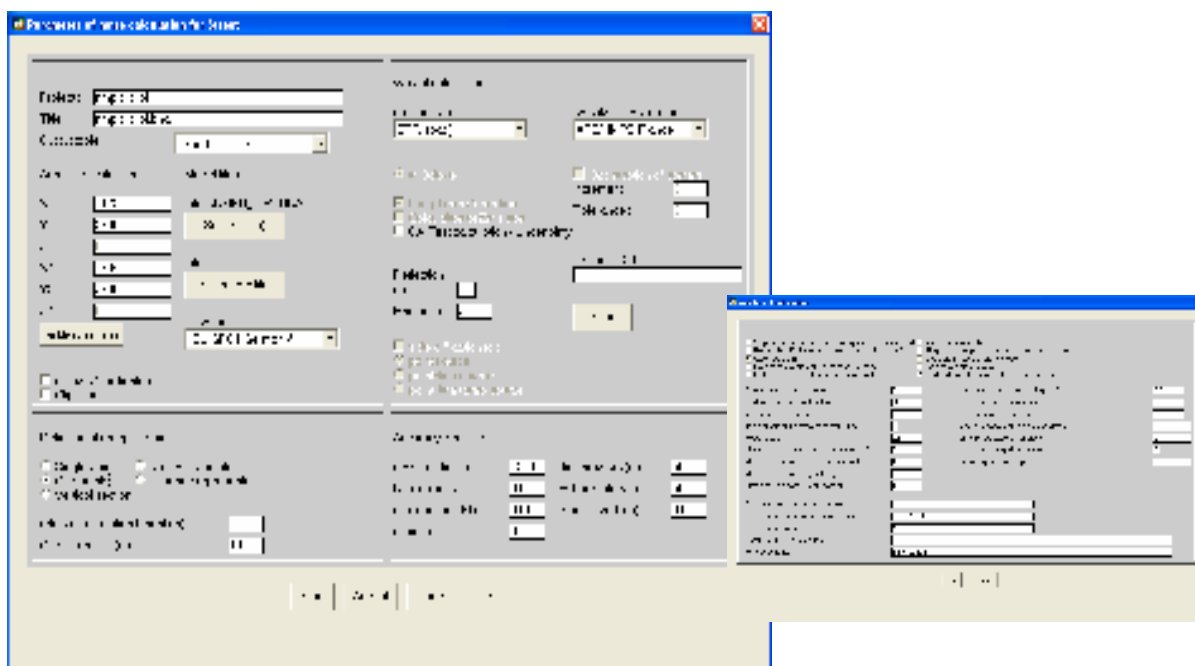
Slika 24: Pogovorno okno za določitev lastnosti sprejemnika

Določiti je potrebno fasado, na kateri je sprejemnik postavljen in njegovo orientacijo. Določimo tudi višino, na kateri je postavljen prvi sprejemnik, in višino zadnjega sprejemnika ter višinski porast med njima.

### 5.3 Izračun nivojev hrupa

Ko so vsi elementi v modelu digitalizirani, lahko pričnemo z računanjem nivojev hrupa.

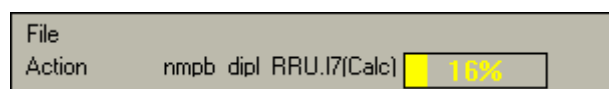
V ukazni vrstici izberemo ukaz Calc / Ambient Noise Calculation / Road. Odpre se pogovorno okno (slika 25). Izberemo datoteke, ki jih želimo v izračunu upoštevati, določimo metodo ocenjevanja kazalcev hrupa in vrsto oddajnika. Nivo hrupa lahko izračunamo v posameznih točkah, npr. prej določenih sprejemnikih, ali kot mrežo točk na določeni višini.



Slika 25: Pogovorno okno za določitev parametrov za izračun hrupa zaradi cestnega prometa

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju zahteva izračun vrednosti kazalcev hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{večer}$ ,  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$ . Za izračun slednjega je potreben dodaten izbor.

Po potrditvi s »Start« Lima prične z računanjem. Nad pogovornim oknom lahko spremljamo napredovanje izračuna (slika 26). Na konec pravilnega izračuna Lima opozori s serijo visokih tonov.



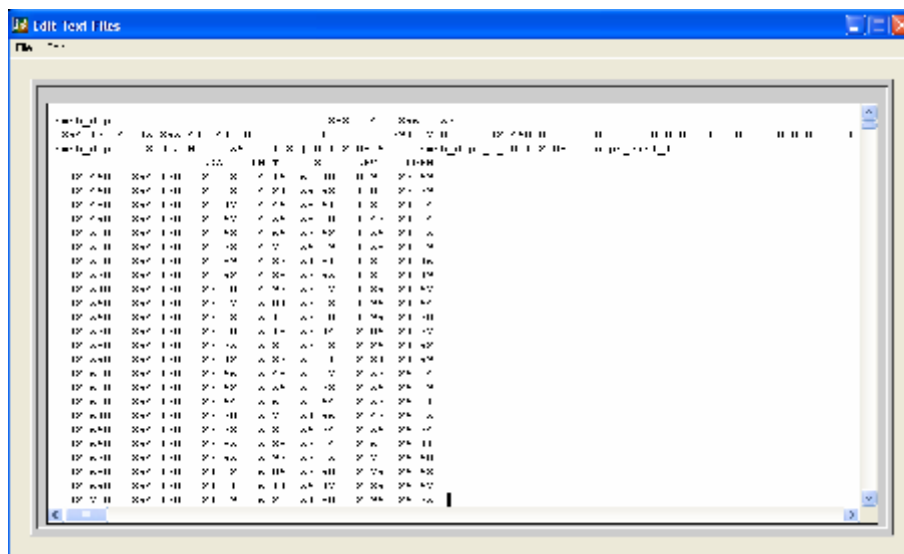
Slika 26: Okno za spremljanje napredovanja izračuna

## 5.4 Prikaz rezultatov izračuna

Izračune lahko predstavimo v grafični ali tabelarni obliki

### 5.4.1 Tabelarni prikaz

Za prikaz izračuna v tabelarni obliki v ukazni vrstici izberemo File / View Text file and print. Izberemo zeleno datoteko in prikažejo se rezultati (slika 27). Za vsako točko izračuna se v stolpcih izpišejo koordinate X, Y in Z ter kazalci hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{večer}$ ,  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$ .



Slika 27: Tabelarni izpis rezultatov izračuna

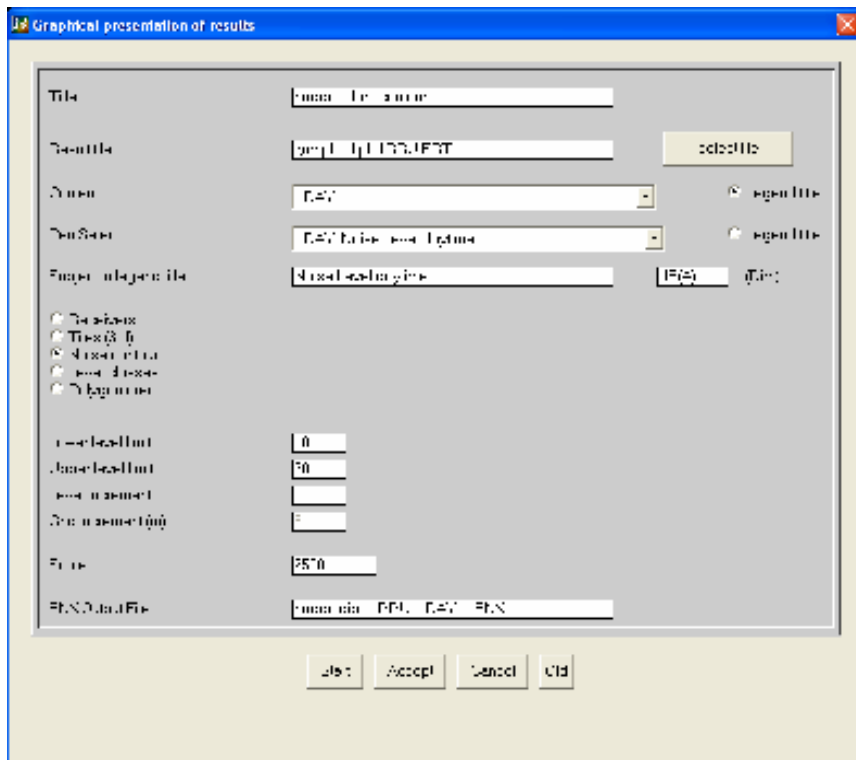
### 5.4.2 Grafični prikaz

Izberemo ukaz Calc / Graphic of Results. V pogovornem oknu (slika 28) izberemo datoteko z rezultati in obdobje dneva, za katerega želimo grafični prikaz rezultatov. Določimo merilo, najnižjo in najvišjo vrednost ravni zvočnega tlaka v prikazu in vrsto grafičnega prikaza.

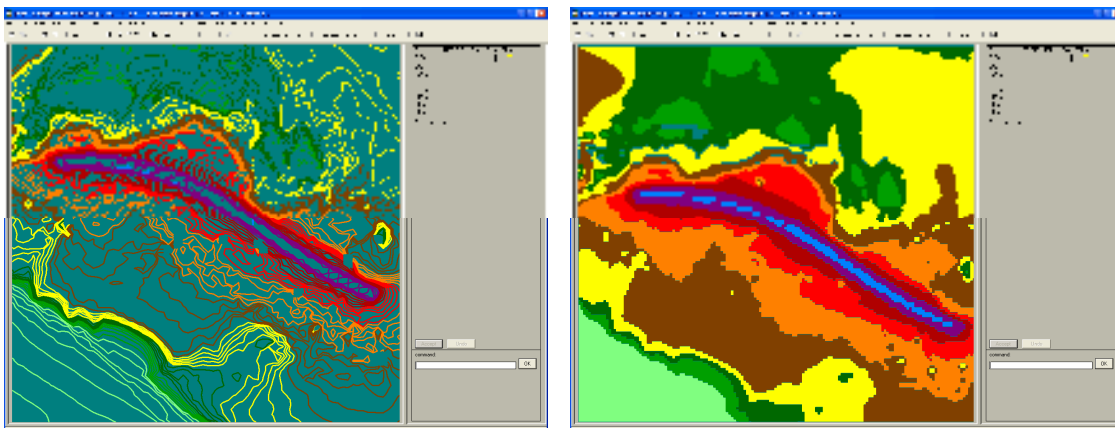
Ravni hrupa lahko prikažemo kot:

- izofone, kjer ravni hrupa prikazujejo posamezne linije v enakomernih presledkih (slika 29 a), npr. 50 dB(A), 51 dB(A), 52 dB(A), itn.,
- razrede, kjer so ravni hrupa povezane in obarvane glede na interval (slika 29 b), npr. 50-55 dB(A), 55-60 dB(A), itn.,
- poligonska območja, kjer so ravni hrupa predstavljene kot zaprta poligonska območja.





Slika 28: Pogovorno okno za grafični prikaz rezultatov



29 a)

29 b)

Slika 29: Raven hrupa prikazana v izofonah a) in razredih b)

## **6 OCENA OBREMENITVE OKOLJA S HRUPOM IN IZRAČUN NIVOJEV HRUPA**

Ocena obremenitve okolja s hrupom in izračun nivojev hrupa obravnavanega območja obsega naslednje faze:

- vgraditev konfiguracije terena obravnavanega prostora v računalniški medij v 3D zapisu,
- določitev območja varstva pred hrupom v skladu z namensko rabo prostora,
- vgraditev ceste v računalniški medij v 3D zapisu z upoštevanjem niveletnega poteka in obcestnega prostora,
- vgraditev obstoječih objektov v računalniški medij v 3D zapisu,
- izračun širjenja hrupa.

### **6.1 Vgraditev konfiguracije terena obravnavanega prostora v računalniški medij v 3D zapisu**

Za izračun nivojev hrupa smo izbrali konfiguracijo terena dela trase predvidene hitre ceste na odseku Jagodje–Lucija. Konfiguracijo terena je izdelalo podjetje Projekt d.d. Nova Gorica za elaborat Napoved hrupne obremenjenosti in predlog protihrupnih ukrepov za HC Jagodje–Lucija, v fazi idejnega projekta, decembra 2005.

Teren je bil povzet iz geodetske karte – situacije M 1:1000 in iz DTK M 1:25 000 (Geodetska Uprava Republike Slovenije).

### **6.2 Določitev območja varstva pred hrupom v skladu z namensko rabo prostora**

Za izvedbo praktičnega primera, za potrebe diplomske naloge, namenska raba prostora ni bila povzeta iz prostorskih aktov občin, ampak je bila predpostavljena.

Predpostavljeno namensko rabo prostora smo razdelili na območje stanovanj čiste stanovanjske površine, območje stanovanj splošne stanovanjske površine, območje kmetijskih površin in območje športnih, rekreacijskih in drugih urejenih zelenih površin. Predpostavljena namenska raba kontaktnih površin je predstavljena v grafični prilogi, list G. 2.

Stopnje varstva pred hrupom so določene glede na definicijo stopenj varstva pred hrupom skladno s 4. členom Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08) in namensko rabo prostora. Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju predpisuje mejne ravni hrupa glede na vir hrupa, obdobje dneva in stopnjo varstva pred hrupom.

Za hrup, ki je posledica uporabe ceste, je obremenitev okolja zaradi hrupa čezmerna, če vrednost kazalca hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{noč}$ ,  $L_{večer}$  in  $L_{dvn}$  na kateremkoli mestu ocenjevanja presega mejno vrednost, določeno v preglednici 11.

Preglednica 11: Mejne vrednosti kazalcev hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{noč}$ ,  $L_{večer}$  in  $L_{dvn}$ , ki ga povzroča uporaba ceste ali železniške proge in obratovanje večjega letališča za posamezna območja varstva pred hrupom (Vir: Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS št. 105/05, 34/08), priloga 1 str.11030)

Območje varstva pred hrupom	$L_{dan}$ dB(A)	$L_{večer}$ dB(A)	$L_{noč}$ dB(A)	$L_{dvn}$ dB(A)
II. območje	60	55	50	60
III. območje	65	60	55	65
IV. območje	70	65	60	70

Razvrstitev območja v stopnje varstva pred hrupom je razvidna iz grafične priloge, list G. 3.

### **6.3 Vgraditev ceste v računalniški mediji v 3D zapisu z upoštevanjem niveletnega poteka in obcestnega prostora**

Cesta je bila v 3D zapisu v računalniški medij vgrajena s strani podjetja Projekt d.d. Nova Gorica.

Na izbranem odseku je trasa ceste zgrajena kot štiripasovnica. Normalni prečni profil hitre ceste je:

- širina prometnih pasov  $3,50 \text{ m} \times 4 = 14,00 \text{ m}$
  - širina robnih pasov  $0,35 \text{ m} \times 4 = 1,40 \text{ m}$
  - širina bankin  $1,50 \text{ m} \times 2 = 3,00 \text{ m}$
  - širina sredinskega ločilnega pasu  $2,00 \text{ m} \times 1 = 2,00 \text{ m}$
- Skupaj NPP = 20,40 m

Na tem odseku os ceste preide iz krivine  $R1 = 800 \text{ m}$  preko prehodnic  $A1 = 300 \text{ m}$  in  $A2 = 275 \text{ m}$  v dolgo krivino radija  $500 \text{ m}$ .

### **6.4 Vgraditev obstoječih objektov v računalniški medij v 3D zapisu**

Lega stanovanjskih objektov v prostoru je bila povzeta iz geodetske podlage – situacije M 1:1000 s strani podjetja Projekt d.d. Nova Gorica.

Za izvedbo praktičnega primera, za potrebe diplomske naloge, identifikacija objektov ni bila posebej upoštevana, ampak je bila predpostavljena. Predpostavili smo, da so vsi objekti na območju stanovanjskih površin stanovanjski in na območjih zelenih površin nestanovanjski.

### **6.5 Izračun širjenja hrupa v prostoru**

Na posameznem območju varstva pred hrupom hrup v okolju ocenimo iz rezultatov meritev ali modelnih izračunov na podlagi začasnih metod ocenjevanja kazalcev hrupa. Začasna

metoda ocenjevanja kazalcev hrupa  $L_{dvn}$  in  $L_{noč}$  za hrup, ki ga povzroča cestni promet, je francoska metoda ocenjevanja NMPB in francoski standard XP S31-133.

Z upoštevanjem časa, v katerem je hrup prisoten, je potrebno izračunati kazalce hrupa za tri časovna obdobja tekom dneva in celodnevni kazalec hrupa  $L_{dvn}$ .

Kazalce hrupa  $L_{dan}$ ,  $L_{večer}$ ,  $L_{noč}$  in  $L_{dvn}$ , ki ga povzroča uporaba ceste je treba oceniti tako, da modelni izračuni potekajo ob izključitve vseh preostalih virov.

Za izračun širjenja hrupa v prostoru, za potrebe diplomske naloge, smo izbrali prometne obremenitve števnege mesta Seča na odseku Lucija–Sečovlje za leto 2007. Vir podatkov za izračun širjenja hrupa je Ministrstvo za promet, Direkcija Republike Slovenije za ceste.

Pri izračunu smo za vsako vozno smer upoštevali povprečni letni dnevni promet (v nadaljevanju PLDP) izbranega števnege mesta.

Osnovne karakteristike in prometna obremenitev obravnavanega odseka, ki služijo kot vhodni podatki za izračun hrupa, so navedene v preglednici 12.

Preglednica 12: Osnovne karakteristike in prometna obremenitev – vhodni podatki

Odsek	Hitrost os./tov [km/h]	Tip ceste	Nagib [°]	Dnevni čas 6.00 – 18 ure		Večerni čas 18.00 – 22.00 ure		Nočni čas 22.00 – 06.00 ure		PLDP
				Št.lahk. vozil/uro	Št. tež. vozil/uro	Št.lahk. vozil/uro	Št.tež. vozil/uro	Št.lah vozil/uro	Št.tež vozil/ uro	
A	100/80	HC	< 2	565	14	481	2	100	1	9688

Legenda:

HC – hitra cesta

Emisijsko raven (zvočna moč v dB(A) na meter dolžine vzdolž voznega pasu)  $L_{AW/m}$  smo določili v skladu z metodologijo Uredbe o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju.

Emisija hrupa zaradi cestnega prometa, določena na podlagi podatkov PLDP-ja, nagiba vozišča, hitrosti vozil, tipa prometnega toka ter podatkov o porazdelitvi prometa v dnevnem, večernem in nočnem času, je podana v preglednici 13.

Preglednica 13: Emisijske ravni hrupa za dnevni, nočni, večerni čas ter kazalec dvn

Odsek	PROMET										
	Nagib [°]	Hitrost os./tov [km/h]	Tip prometnega toka	Vozišče	DAN	NOČ	VEČER	$L_{AW/m}$ dan [dB(A)]	$L_{AW/m}$ noč [dB(A)]	$L_{AW/m}$ večer [dB(A)]	$L_{AW/m}$ dvn [dB(A)]
					Št.lahk.	Št.lahk.	Št.lahk.				
					vozil/ št.tež.	vozil/ št.tež.	vozil/ št.tež.				
vozil (na uro)					vozil (na uro)	vozil (na uro)					
A	< 2	100/8	TS	GA	565/14	100/1	481/2	85,4	77,4	84,1	86,9

Legenda:

TS – tekoči stalni

GA – gladek asfalt

V skladu z Uredbo o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju (UL RS, št. 121/04) so pred fasadami stanovanjskih objektov na vplivnem območju obravnavane ceste izračunani kazalci dnevnega, večernega in nočnega hrupa, ter kazalec hrupa  $L_{dvn}$  0,5 m pred fasado. Prostorska porazdelitev hrupa je izračunana na višini 4,0 m od tal.

Izračun hrupa smo izvedli na osnovi emisije hrupa. Upoštevana je bila konfiguracija terena, vključno z obcestnim prostorom, in lega objektov.

Izdelali smo izofonske karte za dnevni, nočni in večerni čas ter za kazalec dan-večer-noč na višini 4,0 m od tal. Izofonske karte so prikazane v grafičnih prilogah; za dnevni čas list G. 6, večerni čas list G. 7, nočni čas list G. 8 in kazalec dan-večer-noč list G. 9. Imisijske točke na fasadah objektov smo postavili na višino 2,8 in 5,5 m od tal ter višjih nadstropjih. Imisijske točke so predstavljene v preglednici 14 in grafični prilogi G. 5.

Preglednica 14: Imisijske točke na posameznih objektih

Objekt	Relativna višina glede na teren hiše na os ceste [m]	Oddaljenost objekta od osi ceste [m]	Koordinate objekta		Fasada
			Y	X	
1	+ 4	33	43339,9	394551,1	VZHOD
2	+ 4	106	43413,5	394664,9	JUG
3	+ 4	101	43410,4	394687,5	JUG
4	+ 4	100	43407,1	394725,6	JZ
5	+ 4	101	43398,1	394761,2	JZ
6	+ 4	87	43273,6	395009,9	JZ
7	+ 4	81	43264,2	395023,4	JZ
8	+ 4	91	43239,8	395064,6	JUG
9	+ 4	112	43242,6	395096,6	JUG

Dnevne, nočne in večerne ravni hrupa ter kazalec hrupa  $L_{dvn}$  v imisijskih točkah so prikazane v preglednici 15.

Za vse objekte, na katerih se nahajajo imisijske točke, so upoštevani pogoji za II. stopnjo varstva pred hrupom.

Preglednica 15: Imisijske ravni hrupa za dnevni, nočni, večerni čas ter kazalec dvn

Številka objekta in pozicija receptorja	Višina [m]	Obremenitev s hrupom [dB(A)]				Območje varstva pred hrupom
		$L_{dan}$	$L_{noč}$	$L_{večer}$	$L_{dvn}$	
1 VZHOD	56,68	46,6	38,3	45,1	48	II
	59,38	50,7	41,8	48,9	51,8	
1 JUG	60,59	50,8	42,0	49,1	51,9	
	63,29	52,2	43,6	50,6	53,5	
2 JUG	44,21	43,8	35,7	42,4	45,3	II

	46,91	46,1	37,8	44,6	47,5	
	49,61	47,2	38,9	45,7	48,6	
	52,31	48,6	40,3	47,1	50,0	
3 JUG	44,01	45,0	36,7	43,5	46,4	II
	46,71	46,9	38,5	45,4	48,2	
	49,41	48,0	39,6	46,5	49,3	
	52,11	49,3	40,9	47,8	50,6	
4 JZ	39,92	45,3	36,8	43,7	46,6	II
	42,62	46,2	37,8	44,7	47,5	
4 JV	40,96	45,5	37,1	44,0	46,8	II
	43,66	46,5	38,2	45,0	47,9	
5 JZ	48,54	47,7	39,3	46,2	49,0	II
	51,24	48,7	40,4	47,2	50,1	
5 JV	51,33	46,7	38,5	45,2	48,1	II
	54,03	47,7	39,5	46,3	49,1	
6 JZ	50,03	48,9	41,0	47,6	50,5	II
	52,73	51,0	43,2	49,7	52,6	
	55,43	53,5	45,7	52,2	55,1	
	58,13	55,7	47,9	54,5	57,4	
7 JZ	48,86	47,9	39,9	46,6	49,4	II
	51,56	49,8	41,8	48,5	51,3	
	54,26	51,0	43,1	49,7	52,6	
	56,96	54,3	46,3	52,9	55,8	
7 JUG	48,46	48,7	40,7	47,3	50,2	II
	51,16	50,4	42,5	49,1	52	
	53,86	51,8	44,2	50,6	53,4	
	56,56	53,7	46,1	52,6	55,4	
8 JUG	48,69	50,0	42,0	48,7	51,5	II
	51,39	51,4	43,6	50,2	53,0	
	54,09	53,1	45,3	51,9	54,7	
	56,79	54,9	47,1	53,7	56,5	
9 JUG	48,98	49,9	42,0	48,6	51,5	II
	51,68	51,0	43,3	49,9	52,7	
	54,38	52,4	44,9	51,3	54,2	
	57,08	54,8	47,9	54,0	56,9	



Mejna raven hrupa zaradi obravnavane ceste ni prekoračena v nobeni od imisijskih točk. Nizke ravni hrupa so posledica majhne, pri izračunih upoštevane, prometne obramenitve. Cilj diplomske naloge je bil prikaz izračuna nivojev hrupa in ne iskanje rešitev za zmanjšanje hrupa s protihrupnimi ukrepi, zato nizke ravni hrupa ne igrajo posebne vloge.

Do 1. 1. 2006 je bilo v Republiki Sloveniji varstvo pred hrupom med drugim urejeno tudi z Uredbo o hrupu v naravnem in življenjskem okolju (UL RS št. 45/95, 66/96, 41/04, 105/05) in Uredbo o hrupu zaradi cestnega ali železniškega prometa (UL RS št. 45/95, 41/04, 105/05).

Rezultate izračuna z metodo NMPB smo zato želeli primerjati z rezultati, izračunanimi na podlagi modela za izračun hrupa, ki temelji na nemških smernicah RLS – 90 in ga je predpisovala Uredba o hrupu zaradi cestnega in železniškega prometa. Uredba je določala način izračuna dnevne in nočne ravni hrupa. Ocenjene ravni hrupa so se izračunavale za dve časovni obdobji dneva; dnevni čas od 6. do 22. ure in nočni čas od 22. do 6. ure.

S to uredbo so bile določene tudi mejne vrednosti ravni hrupa zaradi posameznega vira hrupa zaradi cestnega in železniškega prometa. Podane so v preglednici 16.

Preglednica 16: Mejne dnevne in nočne ravni hrupa za posamezni prometni vir hrupa v območju naravnega in življenjskega okolja (Vir: Uredba o hrupu zaradi cestnega ali železniškega prometa (UL RS št. 45/95, 41/04, 105/05))

Območje varstva pred hrupom	$L_n$ dB(A)	$L_d$ dB(A)
II. območje	49	59
III. območje	54	64
IV. območje	59	69

Stopnje varstva pred hrupom, določene glede na občutljivost posameznega območja naravnega in življenjskega okolja, je opredeljeval 4. člen Uredbe o hrupu v naravnem in življenjskem okolju. Glede na predpostavljeno namensko rabo prostora, za izvedbo praktičnega primera za potrebe diplomske naloge, je razvrstitev območja v stopnje varstva

pred hrupom, kakor jih je določala Uredba o hrupu v naravnem in življenjskem okolju, razvidna iz grafične priloge G. 4.

Za čim boljšo primerljivost rezultatov izračuna po obeh metodah je potrebna prilagoditev nekaterih vhodnih podatkov.

Nagib vozišča, tip ceste in hitrost vozil ostajajo nespremenjeni. Prometna obremenitev pa je pri metodi RLS – 90 podana s številom vozil na uro in deležem tovornih vozil za obe časovni obdobji dneva. Pri tej metodi se upoštevata dve kategoriji vozil. Lahka vozila neto nosilnosti manj od 2,8 tone in težka vozila neto nosilnosti večje od 2,8 tone.

Vhodni podatki za izračun hrupa po smernicah RLS – 90 so prikazani v preglednici 17.

Preglednica 17: Osnovne karakteristike in prometna obremenitev – vhodni podatki

Odsek	Hitrost os./tov [km/h]	Tip ceste	Nagib [ ° ]	Dnevni čas 6.00 – 22.00		Nočni čas 22.00 – 06.00		PLDP
				Št. vozil/uro	% tov. vozil	Št. vozil/uro	% tov. vozil	
A	100/80	HC	≤ 5	555	7	101	1,7	9688

Postopek izračuna smo ponovili. Emisijska raven (na računski oddaljenosti 25 m), določena v skladu z metodologijo Uredbe o hrupu zaradi cestnega in železniškega prometa in smernicami RLS – 90, z upoštevanjem popravkov zaradi nagiba vozišča, hitrosti vozil in obrabne plasti vozišča, je podana v preglednici 18.

Preglednica 18: Emisijske ravni hrupa za dnevni in nočni čas

Odsek	PROMET						
	Nagib [ ° ]	Hitrost os./tov [km/h]	Vozišče	DAN	NOČ	hrup [dB(A)/ 25 m] dan	hrup [dB(A)/ 25 m] noč
				Št.vozil/uro/ % tov. vozil	Št.vozil/uro/ % tov. vozil		
A	< 2	100/80	GA	555 / 7	101 / 1,7	66,7	57,9

Na osnovi emisije hrupa smo kazalce dnevnega in nočnega hrupa izračunali 0,5 m pred fasadami stanovanjskih objektov, na vplivnem območju obravnavane ceste. Prostorska porazdelitev hrupa je izračunana na višini 4,0 m od tal.

Izofonski karti za dnevni in nočni čas sta prikazani v grafičnih prilogah; za dnevni čas list G. 10 in za nočni čas list G. 11.

Za vse objekte, na katerih se nahajajo imisijske točke, so upoštevani pogoji za II. stopnjo varstva pred hrupom.

Dnevne in nočne ravni hrupa v imisijskih točkah so prikazane v preglednici 19.

Preglednica 19: Imisijske ravni hrupa za dnevni in nočni čas

Številka objekta in pozicija receptorja	Višina [m]	Obremenitev s hrupom [dB(A)]		Območje varstva pred hrupom
		$L_{dan}$	$L_{noč}$	
1 VZHOD	56,68	46,5	37,7	II
	59,38	48,5	39,7	
1 JUG	60,59	47,7	38,9	
	63,29	49,7	40,9	
2 JUG	44,21	45,6	36,8	
	46,91	46,8	38,0	
	49,61	48,0	39,2	

	52,31	49,2	40,4	
3 JUG	44,01	46,0	37,2	II
	46,71	47,0	38,2	
	49,41	48,2	39,4	
	52,11	49,3	40,5	
4 JZ	39,92	45,0	36,2	II
	42,62	45,9	37,1	
4 JV	40,96	45,5	36,7	
	43,66	46,5	37,7	
5 JZ	48,54	47,7	38,9	II
	51,24	48,7	39,9	
5 JV	51,33	47,0	38,2	
	54,03	48,6	39,8	
6 JZ	50,03	52,1	43,3	II
	52,73	53,6	44,8	
	55,43	55,0	46,2	
	58,13	56,2	47,4	
7 JZ	48,86	50,6	41,8	II
	51,56	52,0	43,2	
	54,26	53,5	44,7	
	56,96	55,2	46,4	
7 JUG	48,46	51,3	42,5	
	51,16	52,6	43,8	
	53,86	53,8	45,0	
	56,56	55,2	46,4	
8 JUG	48,69	52,4	43,6	II
	51,39	53,6	44,8	
	54,09	54,8	46,0	
	56,79	55,9	47,1	
9 JUG	48,98	51,7	42,9	II
	51,68	52,7	43,9	
	54,38	53,9	45,1	
	57,08	55,3	46,5	

Primerjali smo rezultate izračuna imisijskih ravni hrupa v dnevnem in nočnem času, izračunane po metodi NMPB in RLS – 90. S sivo barvo so obarvana polja, ki zadoščajo predpostavki, da se imisijske ravni v opazovanih točkah ne bodo razlikovale za več kot 1 dB(A).

Pri objektu 1, postavljenemu najbližje cesti, so razlike v izračunih največje. Rezultati se razlikujejo za največ 3,1 dB(A), tako za dnevni kot za nočni čas.

Številka objekta in pozicija receptorja	Oddaljenost od osi ceste [m]	Višina [m]	$L_{dan}$ [dB(A)] NMPB	$L_{dan}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]	$L_{noč}$ [dB(A)] NMPB	$L_{noč}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]
1 V	33	56,68	46,6	46,5	-0,1	38,3	37,7	-0,6
1 V		59,38	50,7	48,5	-2,2	41,8	39,7	-2,1
1 JUG		60,59	50,8	47,7	-3,1	42	38,9	-3,1
1 JUG		63,29	52,2	49,7	-2,5	43,6	40,9	-2,7

V imisijski točkah, postavljenih na objektu 2, ki je od osi ceste oddaljen 106 m, so razlike nekoliko manjše. V obdobju dneva so razlike zvočnih ravni do 0,8 dB(A), z izjemo pred fasado najnižjega nadstropja, kjer so razlike ravni hrupa tako za dnevni kot za nočni čas večje. Imisijske ravni hrupa v nočnem času se v višjih nadstropjih razlikujejo do 0,3 dB(A).

Številka objekta in pozicija receptorja	Oddaljenost od osi ceste [m]	Višina [m]	$L_{dan}$ [dB(A)] NMPB	$L_{dan}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]	$L_{noč}$ [dB(A)] NMPB	$L_{noč}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]
2 JUG	106	44,21	43,8	45,6	1,8	35,7	36,8	1,1
2 JUG		46,91	46,1	46,8	0,7	37,8	38	0,2
2 JUG		49,61	47,2	48	0,8	38,9	39,2	0,3
2 JUG		52,31	48,6	49,2	0,6	40,3	40,4	0,1

Pri objektih 3, 4 in 5 so razlike manjše. Objekti so od osi ceste oddaljeni od 100 do 101 m. Razlike v vrednostih imisijskih ravni, izračunanih po obeh metodah, so manjše od 1 dB(A) za dnevni in nočni čas.

Številka objekta in pozicija receptorja	Oddaljenost od osi ceste [m]	Višina [m]	$L_{dan}$ [dB(A)] NMPB	$L_{dan}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]	$L_{noč}$ [dB(A)] NMPB	$L_{noč}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]
3 JUG	101	44,01	45	46	1	36,7	37,2	0,5
3 JUG		46,71	46,9	47	0,1	38,5	38,2	0,3
3 JUG		49,41	48	48,2	0,2	39,6	39,4	0,2
3 JUG		52,11	49,3	49,3	0	40,9	40,5	0,4
4 JZ	100	39,92	45,3	45	0,3	36,8	36,2	0,6
4 JZ		42,62	46,2	45,9	0,3	37,8	37,1	0,7
4 JV		40,96	45,5	45,5	0	37,1	36,7	0,4
4 JV		43,66	46,5	46,5	0	38,2	37,7	0,5
5 JZ	101	48,54	47,7	47,7	0	39,3	38,9	0,4
5 JZ		51,24	48,7	48,7	0	40,4	39,9	0,5
5 JV		51,33	46,7	47	0,3	38,5	38,2	0,3
5 JV		54,03	47,7	48,6	0,9	39,5	39,8	0,3

Pri objektih 6, 7, 8 in 9 so razlike med dnevnimi in nočnimi ravnmi večje. Razlikujejo se za okoli 2 dB(A). Manjše razlike so opazne v imisijskih točkah, postavljenih pred fasadami najvišjih nadstropij. Ti objekti so postavljeni na razdalji, manjši ali večji od 100 m od osi ceste.

Številka objekta in pozicija receptorja	Oddaljenost od osi ceste [m]	Višina [m]	$L_{dan}$ [dB(A)] NMPB	$L_{dan}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]	$L_{noč}$ [dB(A)] NMPB	$L_{noč}$ [dB(A)] RLS - 90	Razlika izračuna [dB(A)]
6 JZ	87	50,03	48,9	52,1	3,2	41	43,3	2,3
6 JZ		52,73	51	53,6	2,6	43,2	44,8	1,6
6 JZ		55,43	53,5	55	1,5	45,7	46,2	0,5
6 JZ		58,13	55,7	56,2	0,5	47,9	47,4	0,5
7 JZ	81	48,86	47,9	50,6	2,7	39,9	41,8	1,9
7 JZ		51,56	49,8	52	2,2	41,8	43,2	1,4
7 JZ		54,26	51	53,5	2,5	43,1	44,7	1,6
7 JZ		56,96	54,3	55,2	0,9	46,3	46,4	0,1
7 JUG	81	48,46	48,7	51,3	2,6	40,7	42,5	1,8
7 JUG		51,16	50,4	52,6	2,2	42,5	43,8	1,3
7 JUG		53,86	51,8	53,8	2	44,2	45	0,8
7 JUG		56,56	53,7	55,2	1,5	46,1	46,4	0,3
8 JUG	91	48,69	50	52,4	2,4	42	43,6	1,6

8 JUG		51,39	51,4	53,6	2,2	43,6	44,8	1,2
8 JUG		54,09	53,1	54,8	1,7	45,3	46	0,7
8 JUG		56,79	54,9	55,9	1	47,1	47,1	0
9 JUG	112	48,98	49,9	51,7	1,8	42	42,9	0,9
9 JUG		51,68	51	52,7	1,7	43,3	43,9	0,6
9 JUG		54,38	52,4	53,9	1,5	44,9	45,1	0,2
9 JUG		57,08	54,8	55,3	0,5	47,9	46,5	1,4

Prišli smo do ugotovitve, da so imisijske vrednosti tako za dnevni kot za nočni čas bolj primerljive med seboj pri objektih na oddaljenosti okoli 100 m od osi ceste. Pri večini objektov so razlike v imisijskih vrednostih v dnevnem in nočnem času manjše v opazovanih točkah pred fasadami najvišjih nadstropij.

Sklepamo, da je do tako velikih odstopanj prišlo predvsem zaradi kategorizacije vozil in porazdelitve prometne obremenitve na časovna obdobja dneva, ki služita kot vhodni podatek za izračun emisije hrupa cestnega prometa, upoštevna meteoroloških dejavnikov, ki vplivajo na širjenje hrupa in zaradi količine podatkov za izračun popravkov, upoštevanih v izračunu zvočnih ravni.

## 7 ZAKLJUČEK

Za kartiranje hrupa smo uporabili 3D računalniški model območja, s katerim smo izračunali nivoje hrupa v večjem številu točk na različnih višinah zgradb. Primerjave rezultatov izračunov vrednosti zvočnih ravni, v imisijskih točkah postavljenih pred fasadami objektov, po metodi NMPB in RLS – 90, niso povsem zadostile našim pričakovanjem in predpostavki.

Zakaj so vrednosti zvočnih imisij v opazovanih točkah, izračunane po metodi NMP in RLS - 90 različne in zakaj je prišlo do takšnih odstopanj je zelo težko ugotoviti. Predvidevamo, da je do tako velikih odstopanj prišlo predvsem zaradi kategorizacije vozil in porazdelitve prometne obremenitve na časovna obdobja dneva, ki služita kot vhodni podatek za izračun emisije hrupa cestnega prometa, zaradi upoštevanja meteoroloških dejavnikov, ki vplivajo na širjenje hrupa in zaradi količine podatkov za izračun popravkov, upoštevanih v izračunu zvočnih ravni.

Vhodni podatki za izračun emisije hrupa po obeh metodah, se najbolj razlikujejo pri podajanju prometnih obremenitev. Pri metodi NMPB, je prometna obremenitev podana kot število vozil na uro, posebej za lahka in težka vozila, v danem referenčnem intervalu. V kategorijo lahkih vozil spadajo vsa vozila neto nosilnosti manj od 3,5 tone, v kategorijo težkih vozil pa vozila neto nosilnosti večje od 3,5 tone. Prometna obremenitev je pri metodi RLS – 90 podana s številom vozil na uro in deležem tovornih vozil za obe časovni obdobji dneva. Upoštevat se dve kategoriji vozil; lahka vozila neto nosilnosti manj od 2,8 tone in težka vozila neto nosilnosti večje od 2,8 tone. Razlika v kategorizaciji vozil močno vpliva na vrednosti zvočnih ravni na mestu emisije in posledično na imisijske vrednosti na obravnavanem območju.

Metoda NMPB opisuje podroben postopek za izračun zvočnih ravni zaradi cestnega prometa, ob upoštevanju meteoroloških dejavnikov, ki vplivajo na širjenje hrupa. Na podlagi meteoroloških podatkov; stanje vetra in termični podatki, izračunamo dolgoročne okoliščine ugodnih pogojev za širitev zvoka. Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju predlaga uporabo vremenskih podatkov, ki so bili na obravnavanem področju ali njegovi okolici izmerjeni v desetih letih. Zaradi zahteve po dolgoročnih meritvah in analizah pa se



verjetnost, da bodo pridobljeni zadostni podatki zmanjšuje. Zato v Sloveniji uporabljamo pavšalne vrednosti dolgoročnih okoliščin ugodnih pogojev za širitev zvoka, pri čemer je računanje dolgoročnih zvočnih ravni precejeno. Meteorološka vpliva, ki pospešujeta širjenje zvoka v okolju in sta upoštevana pri izračunu ocenjene ravni hrupa po metodi RLS – 90, sta veter in temperatura. Upoštevan je vpliv vetra (do 3 m/s) v smeri vir–sprejemnik in temperaturna inverzija.

Glede na dejstvo, da se v Sloveniji za izračun zvočnih ravni uporabljajo približne vrednosti dolgoročnih pojavljan vremenskih razmer ugodnih za širjenje zvoka in dejstvo, da ocenjene ravni hrupa po metodi RLS – 90 veljajo le za rahel veter v smeri vir–sprejemnik in temperaturno inverzijo, ne moremo vedeti katera metoda daje natančnejše izračune.

Obe metodi, za izračun zvočnih ravni na mestu imisije, upoštevata popravke zaradi oddaljenosti med zvočnim virom in sprejemnikom, absorpcije zvoka v zraku, talnega učinka in uklona zvočnih žarkov zaradi topografskih in konstrukcijskih pogojev.

Na odprtem območju na prostem raven zvoka na večjih razdaljah bolj pada zaradi absorpcije zvoka v zraku in dušenja tal.

Pri metodi RLS – 90 sta popravka zaradi absorpcije zvoka v zraku in tleh zajeta z enačbo, ki upošteva oddaljenost med osjo voznega pasu in imisijsko točko ter srednjo oddaljenost med terenom in vezno linijo med zvočnim virom in sprejemnikom. Nasprotno, metoda NMPB navaja ločen izračun popravka zaradi absorpcije zvoka v zraku in talnega učinka. Popravek zaradi atmosfarske absorpcije je podan z enačbo, ki vključuje koeficient atmosfarske absorpcije, odvisen od relativne vlažnosti, temperature in frekvence zvoka. Akustično absorpcijo tal pri tej metodi predstavlja brezdimenzijski koeficient, katerega vrednosti ustrezajo odbijajočim, vpijajočim ali spreminjajočim se tlom vzdolž poti širitve zvoka. Pri večjih razdaljah med virom in sprejemnikom je potreben ločen izračun vrednosti talnega učinka za dele zvočne poti, ki so bližje viru, med virom in sprejemnikom in zvočne poti blizu sprejemnika. Popravek učinka tal je torej sestavljen iz talnega učinka pri izvoru, talnega učinka med virom in sprejemnikom in talnega učinka pri sprejemniku. Odvisni so od

brezdimenzijskega koeficienta, razdalje med virom in sprejemnikom glede na povprečno ravnino tal, višino izvora in sprejemnika glede na povprečno ravnino tal ter frekvence zvoka.

Za izračun popravkov zaradi absorpcije zvoka v zraku in tleh, ki so upoštevani v izračunu vrednosti zvočnih ravni po metodi NMPB, uporabimo večje število podatkov, ki so poleg tega tudi podrobnejši. Zato bi lahko rekli, da so vrednosti izračunane po metodi NMPB natančnejše, vendar tega z zagotovostjo ne moremo trditi.

Problem nastane tudi pri grafičnem prikazovanju obremenjenosti okolja s hrupom. Nivoje hrupa smo v grafični obliki prikazali na določeni višini, iz česar pa ni razvidno prostorsko širjenje hrupa.

Za bolši prikaz vplivov hrupa v vse smeri, bi bilo potrebno izdelati 3D grafične prikaze hrupa, ki bi jih lahko uporabljali pri izboljšanju ocene obremenjenosti okolja s hrupom. S tem bi lahko tudi širši javnosti nazornejše prikazali problem širjenja hrupa v prostoru.

## VIRI

Čudina, M., 2001. Tehnična akustika: merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: 265 str.

Uredba o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju. UL RS št. 105/05: 4558, 34/08: 1365.

Pravilnik o prvem ocenjevanju in obratovalnem monitoringu za vire hrupa ter o pogojih za njegovo izvajanje. UL RS, št. 105/08: 4490.

Zakon o varstvu okolja (ZVO-1). UL RS št. 39/06-UPB1: 1682, 70/08 (ZVO-1B): 3026.

Uredbo o ocenjevanju in urejanju hrupa v okolju. UL RS št. 121/04: 5018.

Uredba o hrupu zaradi cestnega ali železniškega prometa. UL RS št. 45/95: 2171, 41/04: 1694, 105/05: 4558.

Uredba o hrupu v naravnem in življenjskem okolju. UL RS št. 45/95: 2170, 66/96: 3651, 41/04: 1694, 105/05: 4558.

AFNOR, 2002. Poskusni standard XP S 31-133. Akustika – Hrup zaradi cestnega in železniškega prometa – Izračun zmanjšanja širjenja hrupa v naravnem okolju, vključno z meteorološkimi učinki. Saint-Denis La Plaine Cedex, Association Française de Normalisation: 36 str.

AR-INTERIM-CM, 2003. Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, B4-3040/2001/329750/MARC/C1. Höchberg Wölfel Meßsysteme Software GmbH & Co.

Napoved hrupne obremenjenosti in predlog protihrupnih ukrepov za hitro cesto Jagodje–Lucija. 2005. Ljubljana. Projekt d.d. Nova Gorica: 130 str.

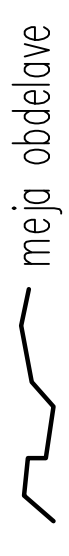
Stapelfeldt Ingenieurgesellschaft GmbH, 2007. Graphic User Interface LimA\_5, version 5.1.  
Dortmund

## **PRILOGE**

- Priloga 1: Situacija
- Priloga 2: Namenska raba prostora
- Priloga 3: Območje varstva pred hrupom (glede na Uredbo o mejnih vrednostih kazalcev hrupa v okolju (UL RS, št. 105/05, 34/08))
- Priloga 4: Območje varstva pred hrupom (glede na Uredbo o hrupu v naravnem in življenjskem okolju (UL RS št. 45/95, 66/96, 41/04,105/05))
- Priloga 5: Imisijske točke
- Priloga 6: Izofonska karta, leto 2007, dnevni čas (izračun po metodi NMPB)
- Priloga 7: Izofonska karta, leto 2007, večerni čas (izračun po metodi NMPB)
- Priloga 8: Izofonska karta, leto 2007, nočni čas (izračun po metodi NMPB)
- Priloga 9: Izofonska karta, leto 2007, dan-večer-noč (izračun po metodi NMPB)
- Priloga 10: Izofonska karta, leto 2007, dnevni čas (izračun po metodi RLS – 90)
- Priloga 11: Izofonska karta, leto 2007, nočni čas (izračun po metodi RLS – 90)



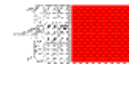
# LEGENDA



meja obdelave



objekt








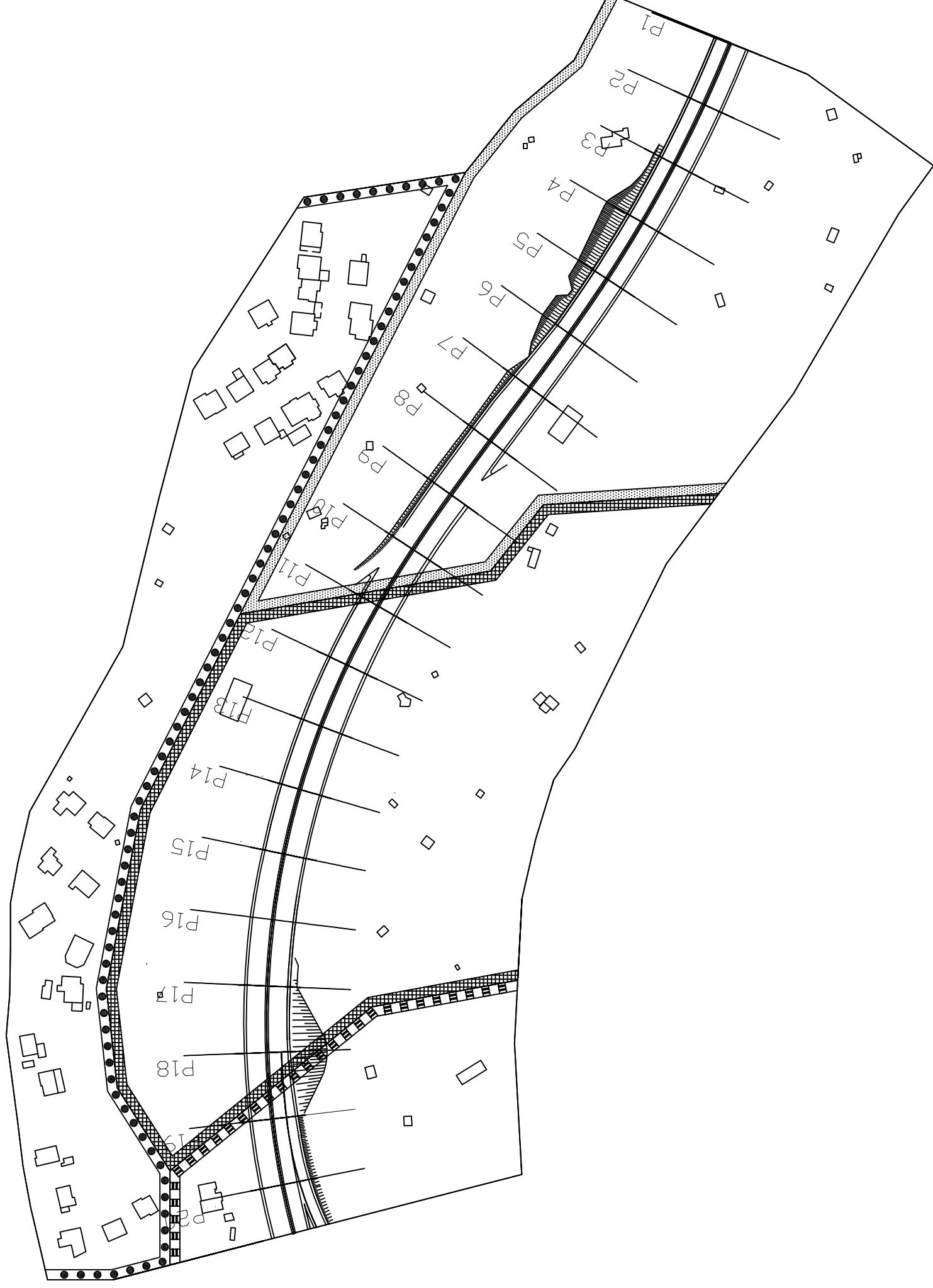
Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>
Vsebina:	<b>SITUACIJA</b>
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurič
Izdelala:	Tanja Marcola
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>
List: <b>G. 1</b>	



# LEGENDA

-  območje stanovanj  
čiste stanovanjske površine
-  območje stanovanj  
splošne stanovanjske površine
-  območke kmetijskih zemljišč
-  območje športnih, rekreacijskih  
in drugih zelenih površin
-  objekt



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>
Vsebina:	<b>NAMENSKA RABA PROSTORA</b>
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurič
Izdelala:	Tanja Marcola
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>
List: <b>G. 2</b>	

# LEGENDA

Območja varovanja

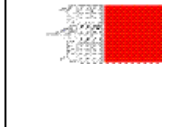
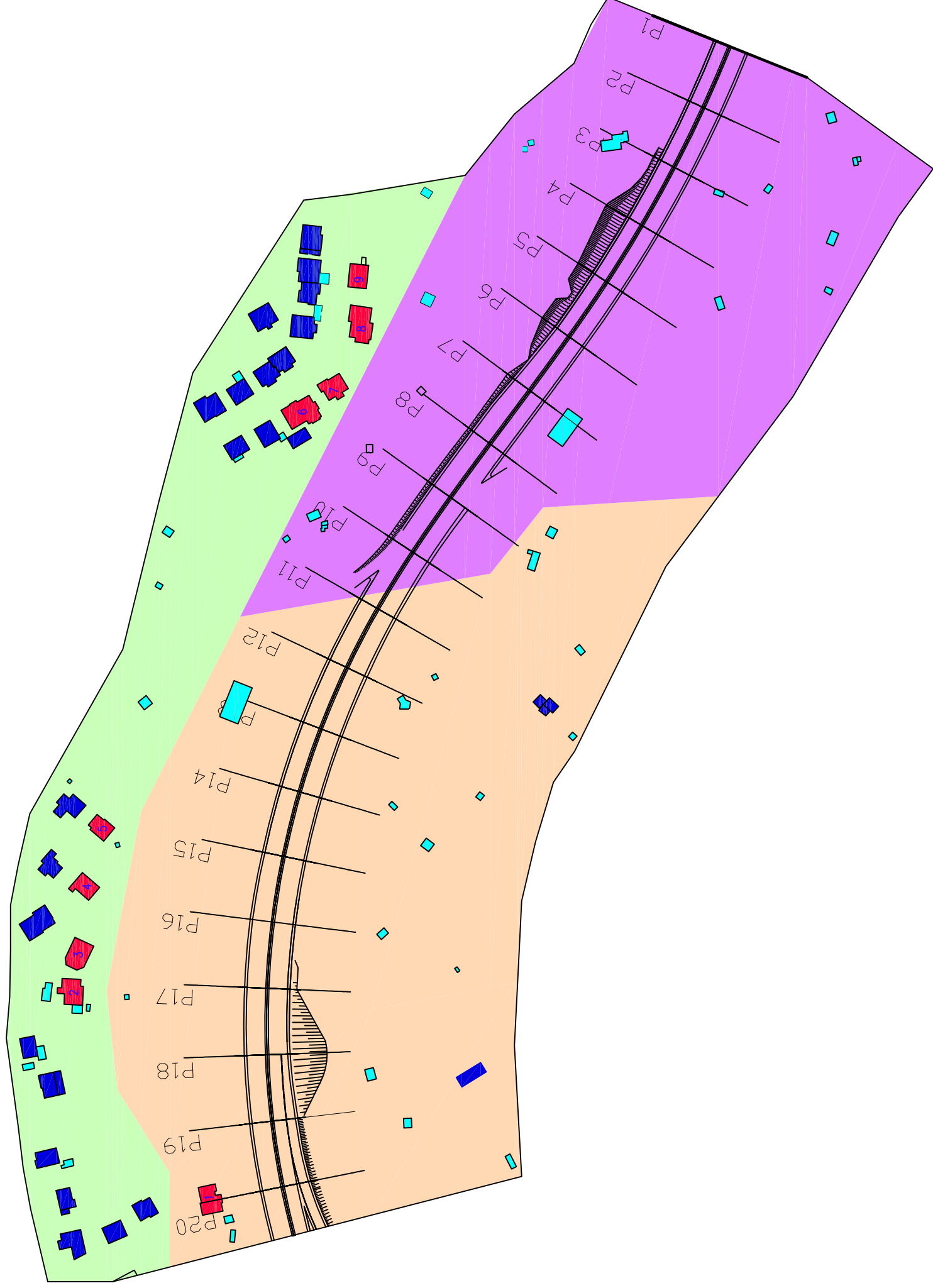
- II. Območje
- III. Območje
- IV. Območje

STANOVANJSKI OBJEKTI  
z imisijskimi točkami

meja obdelave

NESTANOVANJSKI OBJEKTI

STANOVANJSKI OBJEKTI  
brez imisijskih točk



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>		
Vsebinska:	<b>OBMOČJE VARSTVA PRED HRUPOM (NMPB)</b>		
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher		
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurčič		
Izdelala:	Tanja Marcola		
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>	List:	<b>G. 3</b>



# LEGENDA

Območja varovanja

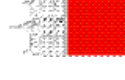
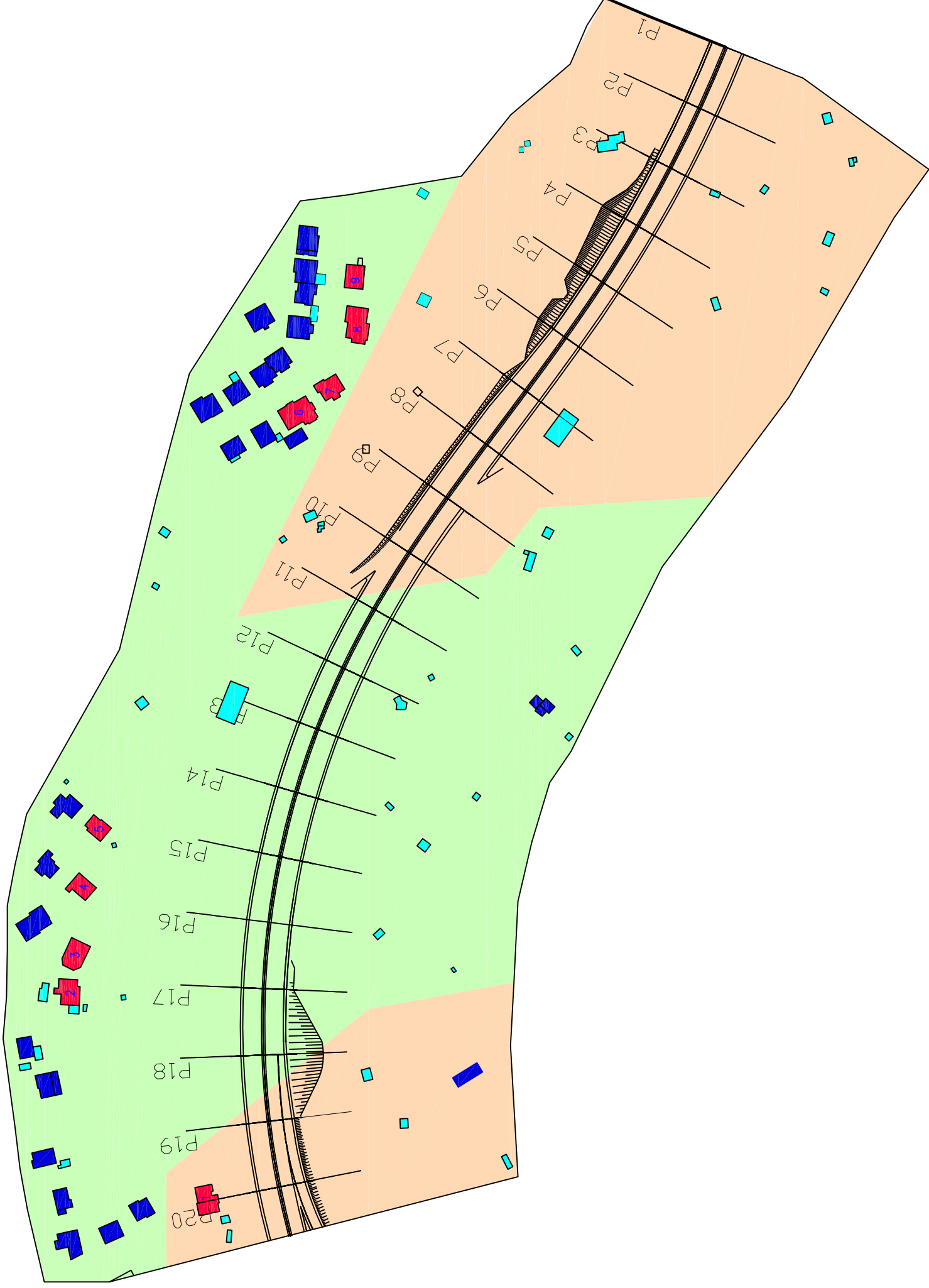
- II. Območje
- III. Območje
- IV. Območje

STANOVANJSKI OBJEKTI  
z imisijskimi točkami

meja obdelave

NESTANOVANJSKI OBJEKTI

STANOVANJSKI OBJEKTI  
brez imisijskih točk



**Univerza v Ljubljani**  
**Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo**  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>
Vsebina:	<b>OBMOČJE VARSTVA PRED HRUPOM (RLS - 90)</b>
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurič
Izdelala:	Tanja Marcola
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>
List: <b>G. 4</b>	


# LEGENDA

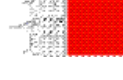
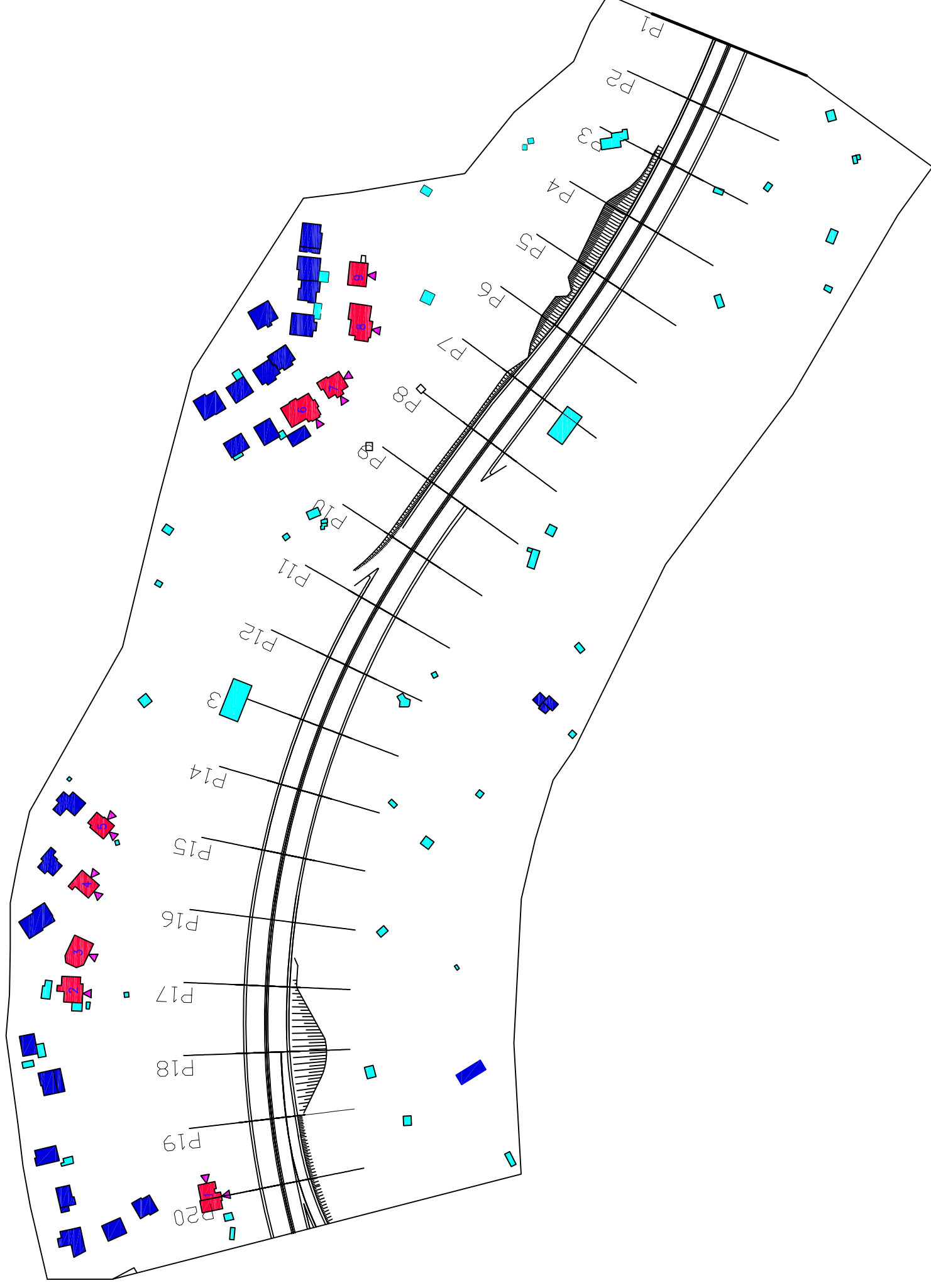
 STANOVANJSKI OBJEKTI  
z imisijskimi točkami

 meja obdelave

 NESTANOVANJSKI OBJEKTI

 STANOVANJSKI OBJEKTI  
brez imisijskih točk

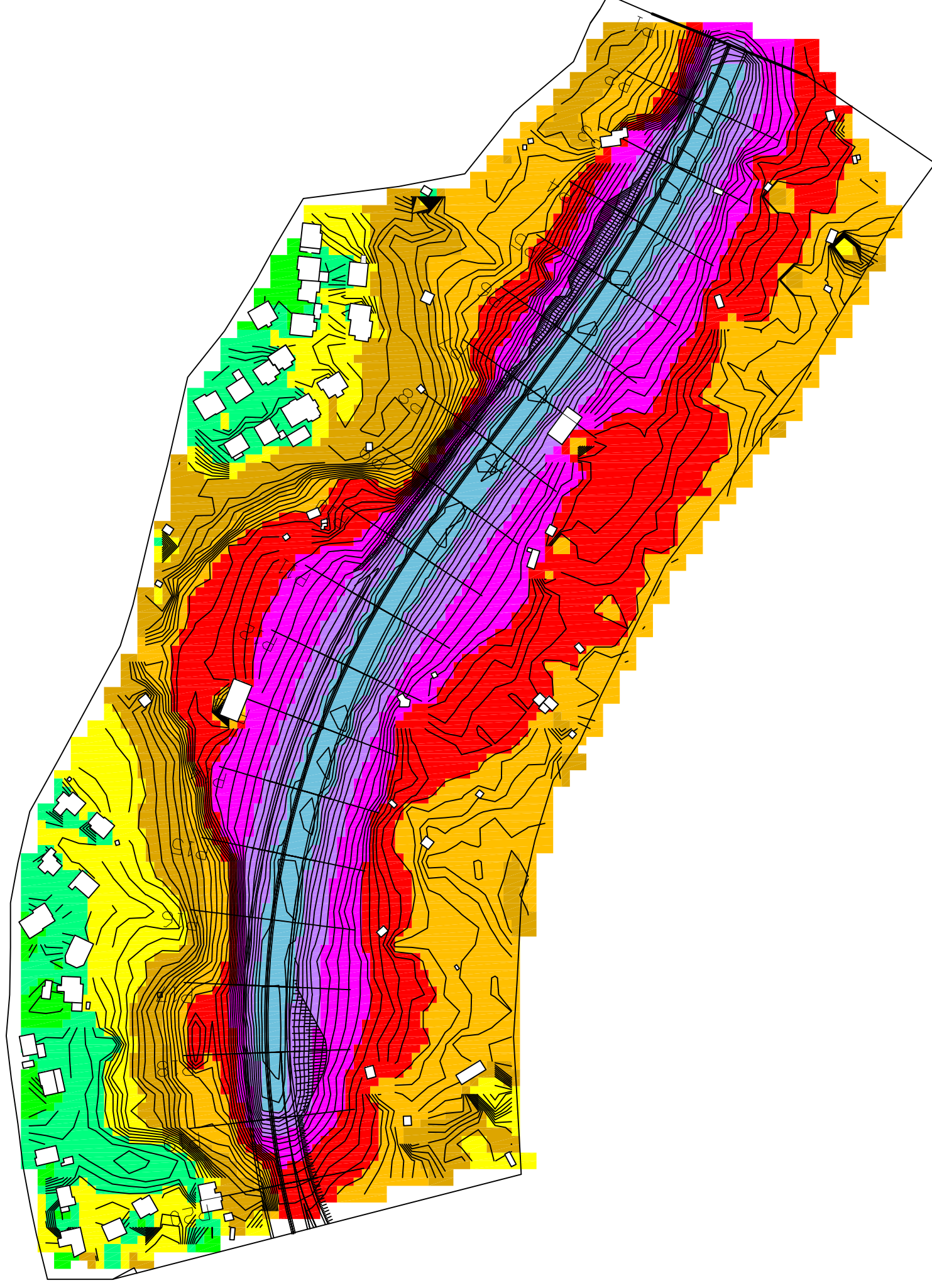
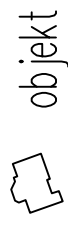
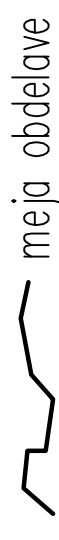
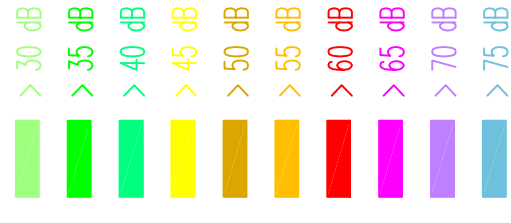
 MESTO IMISIJSKE TOČKE



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>
Vsebina:	<b>IMISIJSKE TOČKE</b>
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurčič
Izdelala:	Tanja Marcola
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>
Let:	<b>G. 5</b>

# LEGENDA

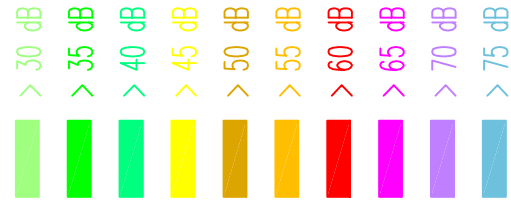


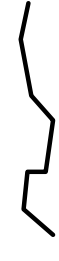
Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>		
Vsebinska:	<b>IZOFONSKA KARTA, I. 2007</b> <b>DNEVNI ČAS (NMPB)</b>		
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher		
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurič		
Izdelala:	Tanja Marcola		
Datum izdelave:	Dec. 2008	List:	G. 6




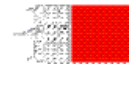
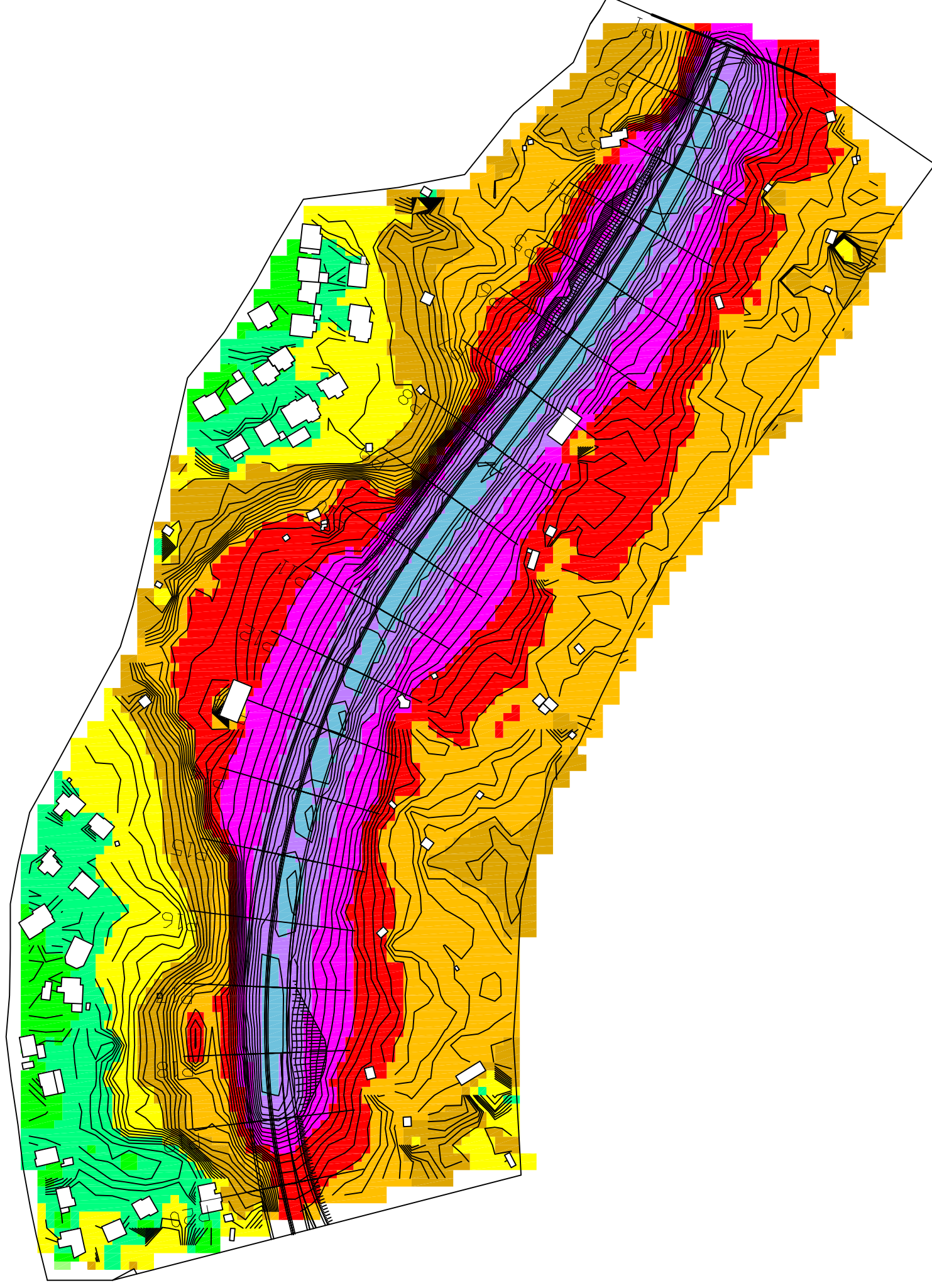
# LEGENDA



 meja obdelave

 objekt

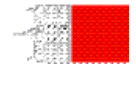
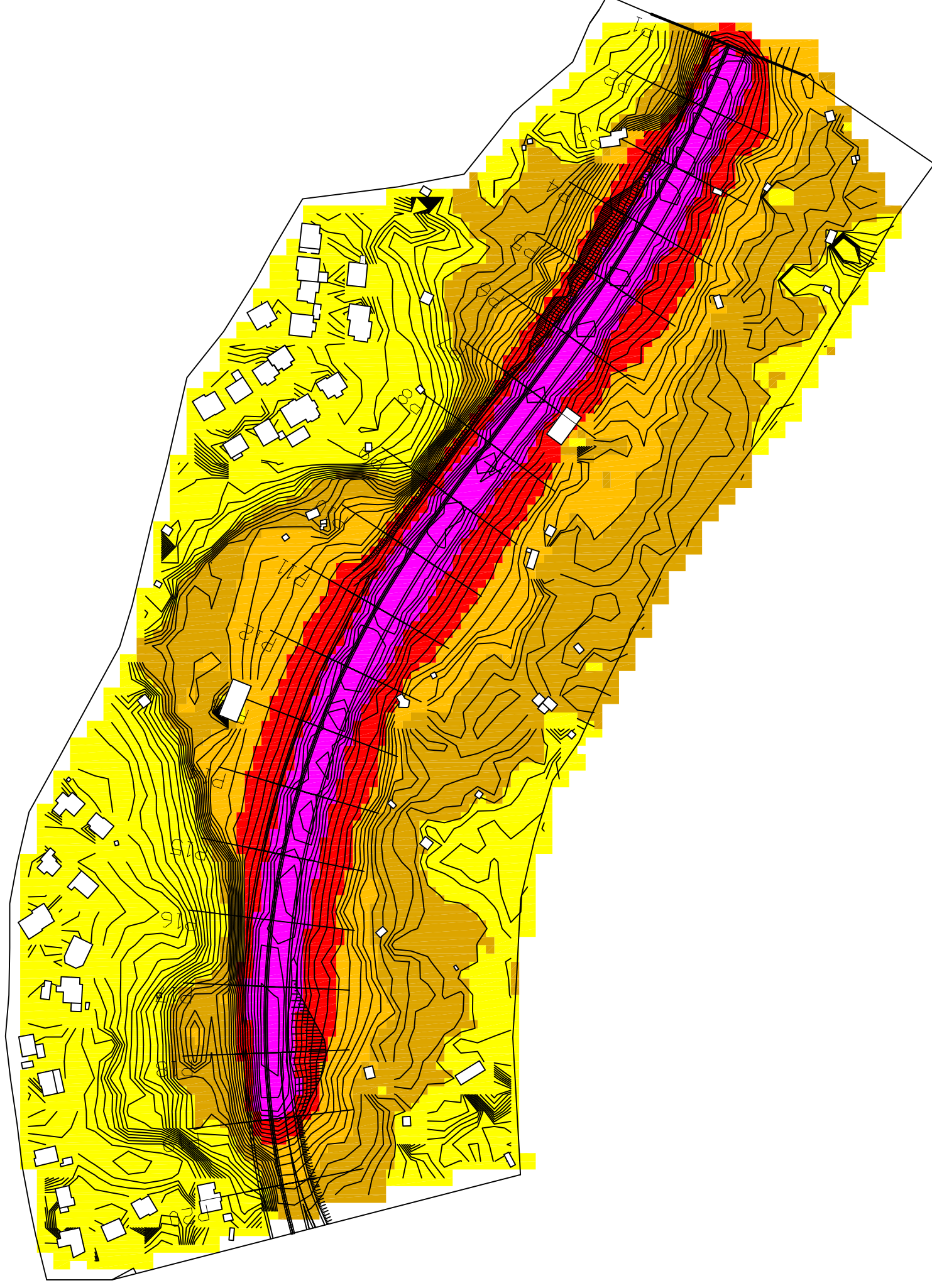
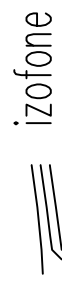
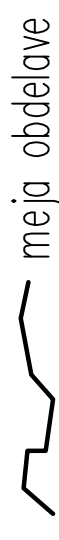
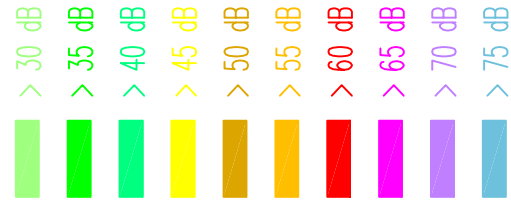
 izofone



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru		
Vseblina:	IZOFONSKA KARTA, I. 2007 VEČERNI ČAS (NMPB)		
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher		
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurič		
Izdelala:	Tanja Marcola		
Datum izdelave:	Dec. 2008	List:	G. 7

# LEGENDA

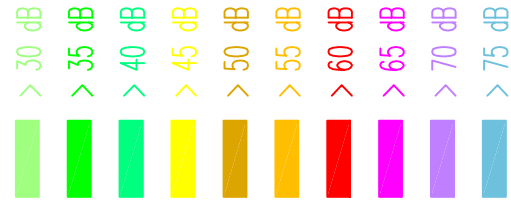



Univerza v Ljubljani  
 Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
 Jamova 2  
 1000 Ljubljana


Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>	
Vsebinska:	<b>IZOFONSKA KARTA, I. 2007 NOČNI ČAS (NMPB)</b>	
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher	
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurčič	
Izdelala:	Tanja Marcola	
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>	List: <b>G. 8</b>



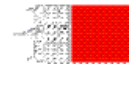
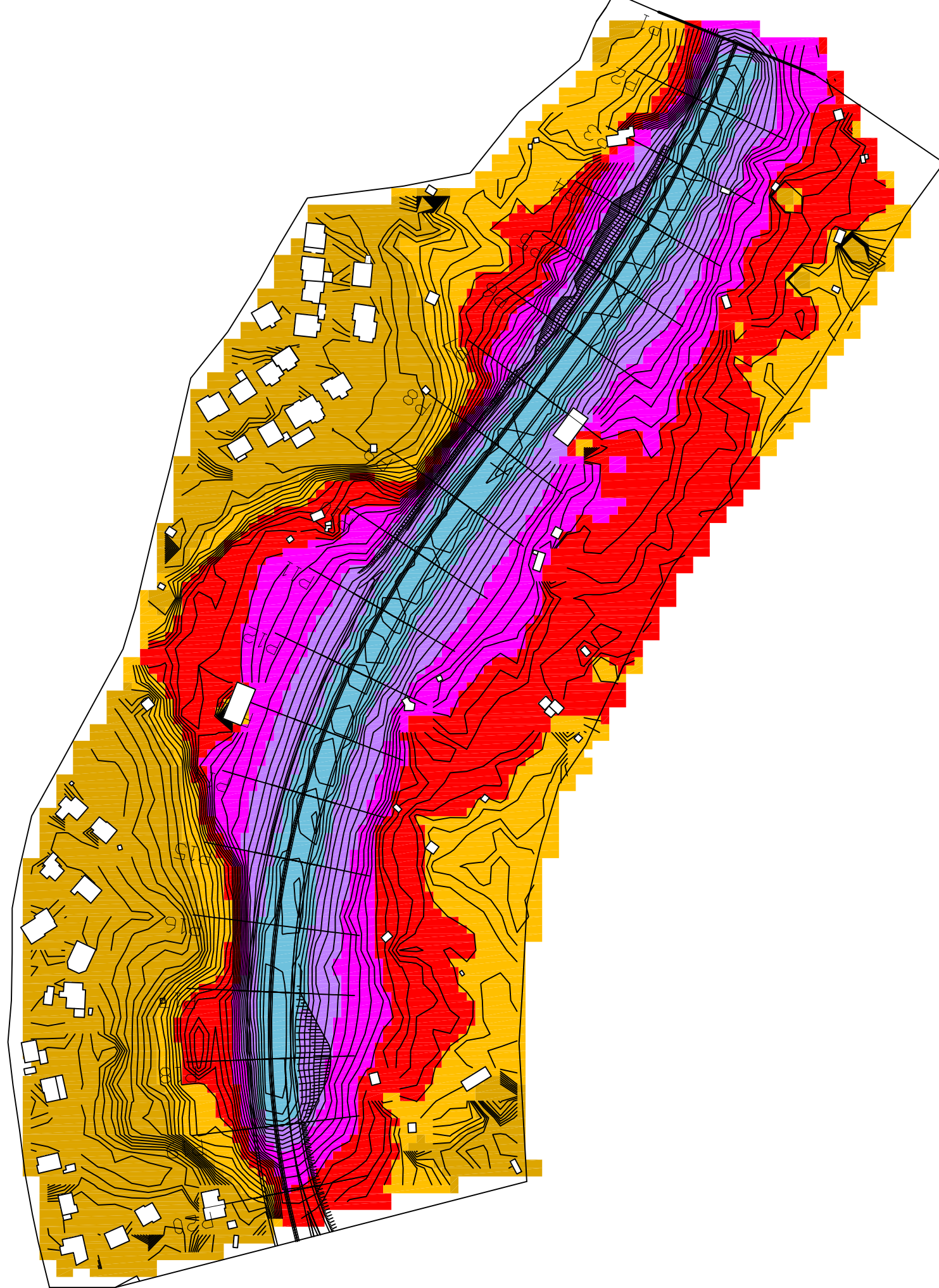
# LEGENDA



 meja obdelave

 objekt

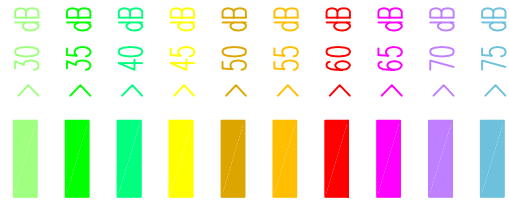
 izofone



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>	
Vseblina:	<b>IZOFONSKA KARTA, I. 2007 DAN-VEČER-NOČ (NMPB)</b>	
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher	
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurčič	
Izdelala:	Tanja Marcola	
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>	List: <b>G. 9</b>

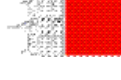
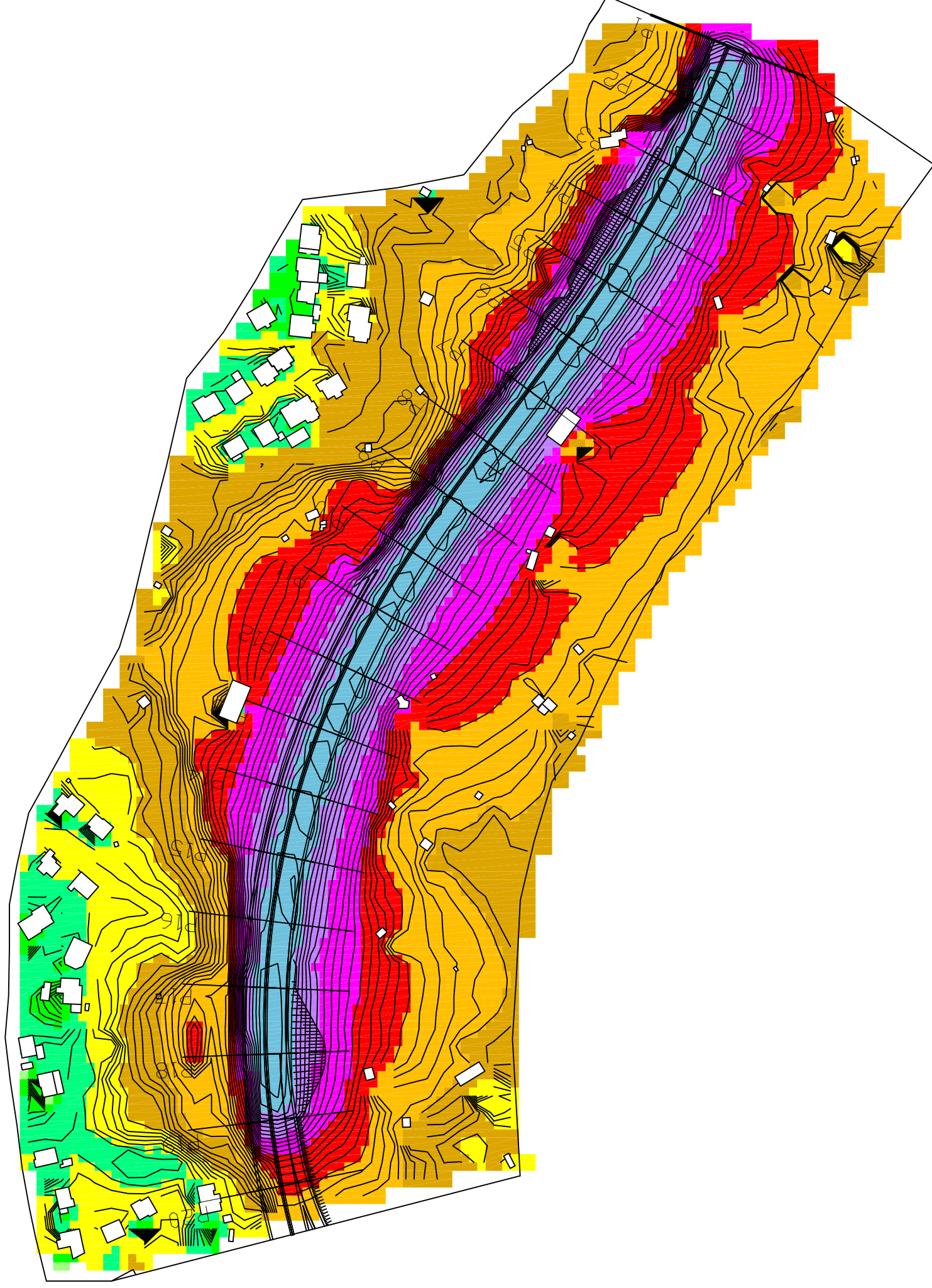
# LEGENDA



meja obdelave

objekt

izofone

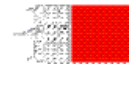
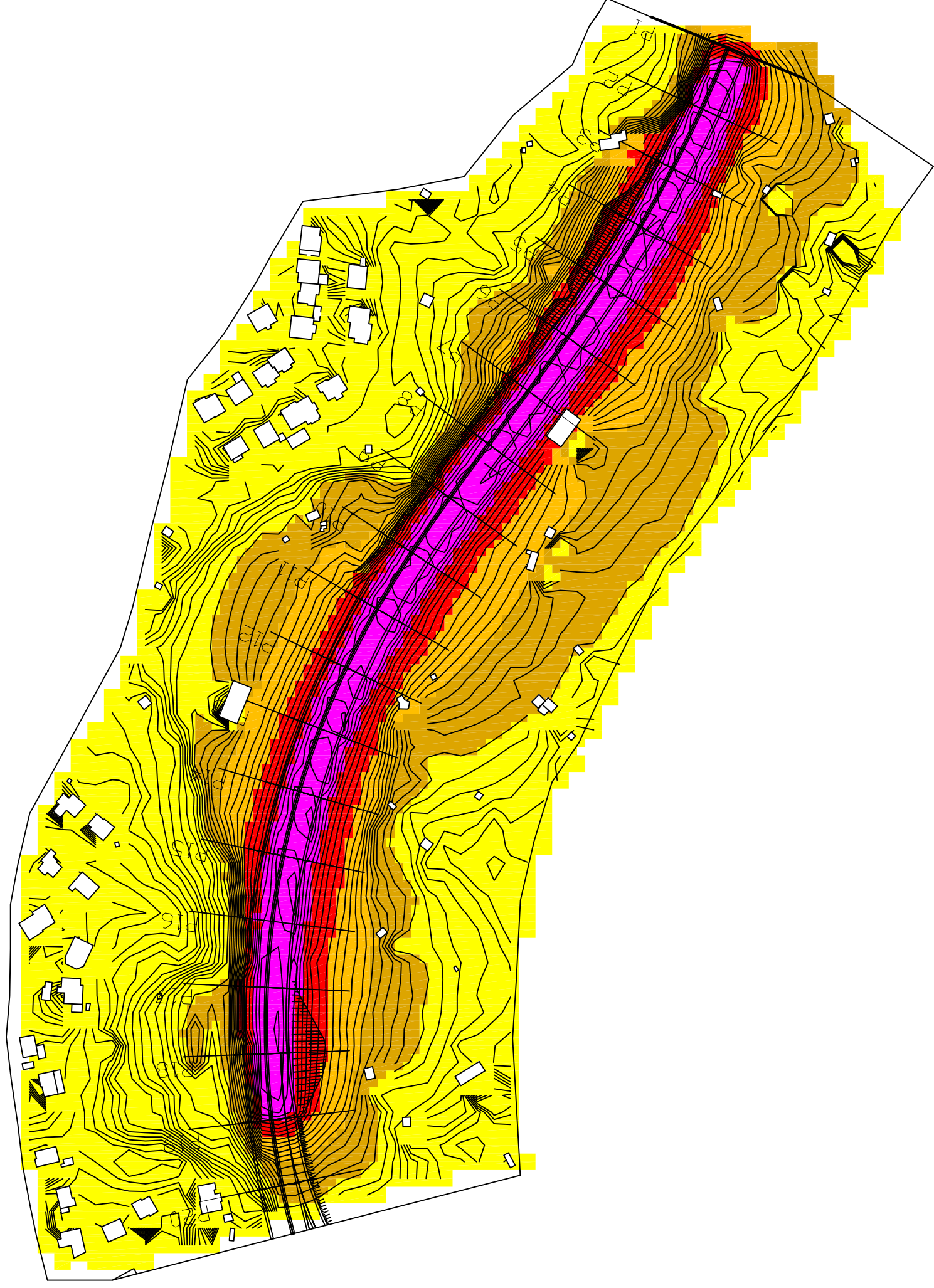
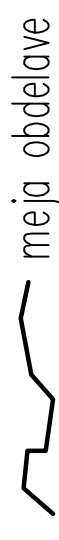
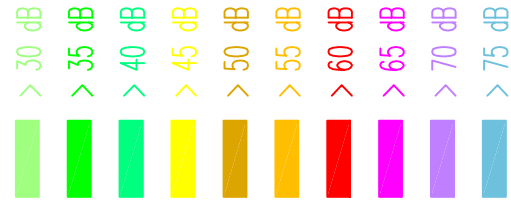


Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>	
Vsebinska:	<b>IZOFONSKA KARTA, I. 2007</b> <b>DNEVNI ČAS (RLS - 90)</b>	
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher	
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurčič	
Izdelala:	Tanja Marcola	
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>	List: <b>G. 10</b>



# LEGENDA



Univerza v Ljubljani  
Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo  
Jamova 2  
1000 Ljubljana

Diplomska naloga:	<b>Metoda za izračun hrupne obremenitve NMPB in verifikacija na konkretnem primeru</b>
Vsebina:	<b>IZOFONSKA KARTA, I. 2007 NOČNI ČAS (RLS - 90)</b>
Mentor:	Doc. dr. Tomaž Maher
Somentorica:	Viš. pred. mag. Bernardka Jurič
Izdelala:	Tanja Marcola
Datum izdelave:	<b>Dec. 2008</b>
List: <b>G. 11</b>	