Mjerenje i analiza utjecaja buke na užem području grada Varaždina

Dregarić, Tonka

Master's thesis / Diplomski rad

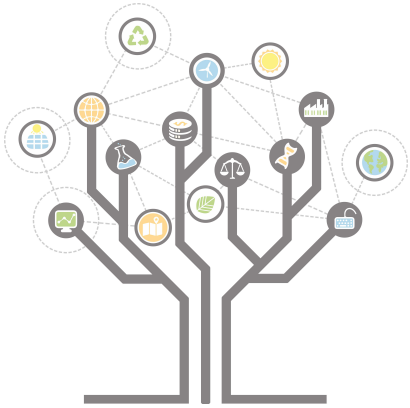
2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:510160

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**



Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering - Theses and Dissertations

zir.nsk.hr

dabar
DIGITALNI AKADEMSKI ARHIVI I REPOZITORIJI

Mjerenje i analiza utjecaja buke na užem području grada Varaždina

Dregarić, Tonka

Master's thesis / Diplomski rad

2018

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Geotechnical Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Geotehnički fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:130:510160

Rights / Prava: In copyright

Download date / Datum preuzimanja: **2020-10-27**

Repository / Repozitorij:

Repository of Faculty of Geotechnical Engineering







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

Tonka Dregarić

Mjerenje i analiza utjecaja buke na užem području grada Varaždina

DIPLOMSKI RAD

VARAŽDIN, 2018.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
GEOTEHNIČKI FAKULTET

DIPLOMSKI RAD

Mjerenje i analiza utjecaja buke na užem području grada Varaždina

KANDIDAT:
Tonka Dregarić

MENTOR:
Prof. dr. sc. Stjepan Strelec

VARAŽDIN, 2018.

ZADATAK DIPLOMSKOG RADA

IME I PREZIME KANDIDATA: TONKA DREGARIĆ

BROJ INDEKSA: 160 – 2016./2017.

TEMA RADA: MJERENJE I ANALIZA UTJECAJA BUKE NA UŽEM PODRUČJU GRADA VARAŽDINA

SADRŽAJ RADA:

1. UVOD
2. TEORIJSKI PREGLED
3. BUKA
4. MJERENJE BUKE NA PODRUČJU GRADA VARAŽDINA
5. REZULTATI MJERENJA UŽEG PODRUČJA GRADA VARAŽDINA
6. KARTA BUKE
7. ZAKLJUČAK
8. LITERATURA

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem da je diplomski rad pod naslovom

MJERENJE I ANALIZA UTJECAJA BUKE NA UŽEM PODRUČJU GRADA VARAŽDINA

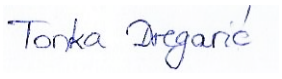
(naslov diplomskog rada)

rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na istraživanjima te objavljenoj i citiranoj literaturi te je izrađen pod mentorstvom **Prof. dr. sc. Stjepana Streleca**.

Izjavljujem da nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, odnosno da je prepisan iz necitiranog rada te da nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava. Izjavljujem također, da nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

U Varaždinu, 04.07.2018.

TONKA DREGARIĆ



SAŽETAK:

Ime i prezime: Tonka Dregarić

Naslov rada: Mjerenje i analiza utjecaja buke na užem području grada Varaždina

U ovom radu prikazan je način mjerenja buke na užem području grada Varaždina, te analiza utjecaja buke na stanovništvo, koje je svakodnevno izloženo buci, počevši s prikupljanjem podataka tj. mjerenjem razina buke na odabranim lokacijama, preko obrade podataka, te u konačnici do izrada karata buke. U programu QGIS izrađene su karte na kojima su prikazane raspodjele ekvivalentnih razina buke (LAeq), karte na kojima su prikazane zone maksimalnih izmjerenih razina buke (LApeak), karte najviših usrednjenih razina mjerenih u sporom kanalu (LASmax), te karte raspodjele razina buke po određenim frekvencijama, za razdoblje dana i večeri. Područje mjerenja buke iznosi oko 1 km^2, te su proizvoljno odabrane 32 točke tj. lokacije, čime su obuhvaćene različite zone koje uključuju promet, te mirnija područja poput parkova, dvorišta, parkirališta i sporednih ulica. Mjerenje buke provedeno je pomoću uređaja Larson Davis Model 831.

Ključne riječi: buka, mjerenje buke, utjecaj buke na stanovništvo, karte buke

SADRŽAJ

1. UVOD 1

2. TEORIJSKI PREGLED 3

2.1. Zvuk 3

2.1.1. Vrste zvuka 3

2.1.2. Vrste zvučnih izvora 4

2.1.3. Pojave kod širenja zvuka 5

2.1.4. Brzina zvuka 7

2.2. Frekvencijski raspon 8

2.3. Čujno područje 9

2.4. Izofone krivulje 10

2.5. Osnovni akustički pojmovi 11

2.5.1. Zvučni tlak i razina zvučnog tlaka 12

2.5.2. Zvučni intenzitet i razina zvučnog intenziteta 13

2.5.3. Zvučna snaga i razina zvučne snage 14

3. BUKA 15

3.1. Izvori buke 15

3.2. Utjecaj buke na zdravlje čovjeka 16

3.3. Mjere praćenja i smanjenja razine buke 18

3.3.1. Mjere praćenja i smanjenja razine buke u cestovnom prometu 19

4. MJERENJE BUKE NA PODRUČJU GRADA VARAŽDINA 22

4.1. Instrument za mjerenje buke 22

4.1.1. Dijelovi i karakteristike uređaja 23

4.2. Kratice vezane uz zvuk i mjerenje razine buke 23

4.3. Protokol mjerenja buke na području grada Varaždina 25

5. REZULTATI MJERENJA UŽEG PODRUČJA GRADA VARAŽDINA 28

6. KARTA BUKE 33

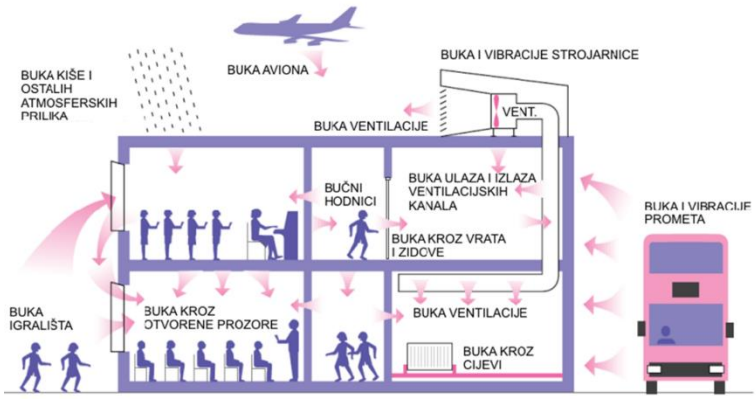
6.1. Karta buke užeg područja grada Varaždina 33

7. ZAKLJUČAK 45

8. LITERATURA

1. UVOD

Jedan od glavnih uzroka smanjene kvalitete života, posebno u urbanim sredinama je buka, gdje je svakodnevno prisutna (Lakušić i sur., 2005). Buka se definira kao svaki neželjeni zvuk u sredini u kojoj ljudi rade i borave, a izaziva neugodan osjećaj ili može negativno utjecati na zdravlje (Resanović i sur., 2018). Postala je predmet raznovrsnog ispitivanja u novije vrijeme kad je postalo jasno da utječe na radnu sposobnost ljudi. U gradskim sredinama, dominantan izvor buke je promet, gdje se prometna buka od početka stoljeća do danas povećala osmerostruko. Od svih izvora komunalne buke, oko 80% otpada na buku uzrokovanu prometom, dok od toga 50% otpada na cestovni promet koji predstavlja ozbiljni društveni problem (Golubić, 1999). Osim prometa, postoje i drugi izvori buke (Slika 1), kao što je žamor ljudi na ulici, buka ventilacije, buka iz radionica i restorana, glasna glazba, kao i mnoge druge slične pojave.



Slika 1. Izvori buke (http://www.pcwerth.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/Noise-sources3.jpg)

Za razliku od industrijske buke koja prvenstveno oštećuje sluh, komunalna buka prvenstveno utječe na kvalitetu života, narušavajući prirodni ritam rada i odmora. Kao posljedica često se javlja nelagoda, napetost i nedostatak koncentracije. (Pljakić i sur., 2012). Osim negativnog aspekta na ljudsko zdravlje, buka negativno utječe na okoliš, te je kao takva nepoželjna u okolišu.

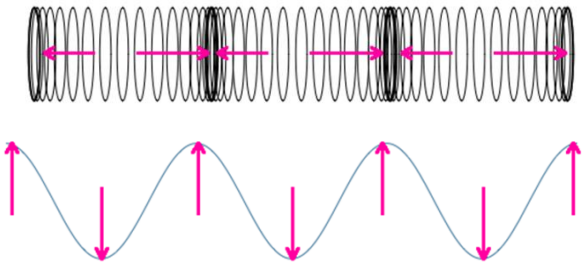
Postoji velik broj propisa kojima se uređuje mjerenje buke okoliša. Mjerodavne institucije u svakom gradu donose dodatne odluke o mjerama zaštite od buke i sustavnom mjerenju buke na utvrđenim područjima grada. (Pljakić i sur., 2012). Prvi Zakon o zaštiti od buke u Hrvatskoj je stupio na snagu početkom 2003. godine (Nadilo, 2013). Za dijelove grada Varaždina, 2003. godine izrađene su karte buke prometa, gdje su utvrđena prekoračenja najviše dopuštene razine buke (65 dB za dan i 50 dB za noć) kod višenamjenskih zgrada. Krajem 2004. godine izrađena je Karta buke za područje Grada Varaždina – cestovni promet, a rezultati su pokazali da je buka veća od dopuštene na niz mjesta u gradu, osobito uz važnija križanja ulica, što se odnosi na dan i noć (Štimac, Mandžuka i Mučnjak, 2005).

Cilj ovog rada je izraditi karte buke na kojima su prikazane raspodjele ekvivalentnih razina buke (LAeq), karte na kojima su prikazane zone maksimalnih izmjerenih razina buke (LApeak), karte najviših usrednjenih razina buke mjerenih u sporom kanalu (LASmax) i karte raspodjele razina buke po određenim frekvencijama. Karte buke izrađuju se kako bi se prikazale imisije buke na promatranom području tj. u svrhu detekcije izvora buke na užem području grada Varaždina, te u konačnici kako bi se na temelju rezultata procijenio utjecaj buke na stanovništvo koje je svakodnevno izloženo buci. Također, na temelju dobivenih rezultata predlažu se mjere zaštite od buke ukoliko su potrebne.

2. TEORIJSKI PREGLED

2.1. Zvuk

Znanost o zvuku, odnosno o valnog gibanju u plinovima, tekućinama i krutinama, te učincima takvog valnog gibanja, zove se akustika. Općenito, zvuk je sve ono što čujemo, no gledajući s fizikalne strane, zvuk je rezultat varijacija tlaka, ili oscilacija, u elastičnom mediju, generiran vibrirajućim mehaničkim sustavom. Propagira se u obliku uzdužnih valova, tj. longitudinalnih valova, koji se sastoji od niza kompresija i rijetkih frakcija u elastičnom mediju, gdje čestice titraju u smjeru širenja vala. Za razliku od longitudinalnih valova, kod transverzalnih valova čestice titraju poprečno na smjer širenja. Na slici 2. prikazana je razlika između longitudinalnog i transverzalnog vala. Fizikalne veličine koje opisuju zvuk su tlak (p), izražen u paskalima, brzina (v), izražena u m/s, temperatura (T) u K, °C i gustoća (ρ), izražena u kg/m^3 (Akinkuade i Fasae 2015).



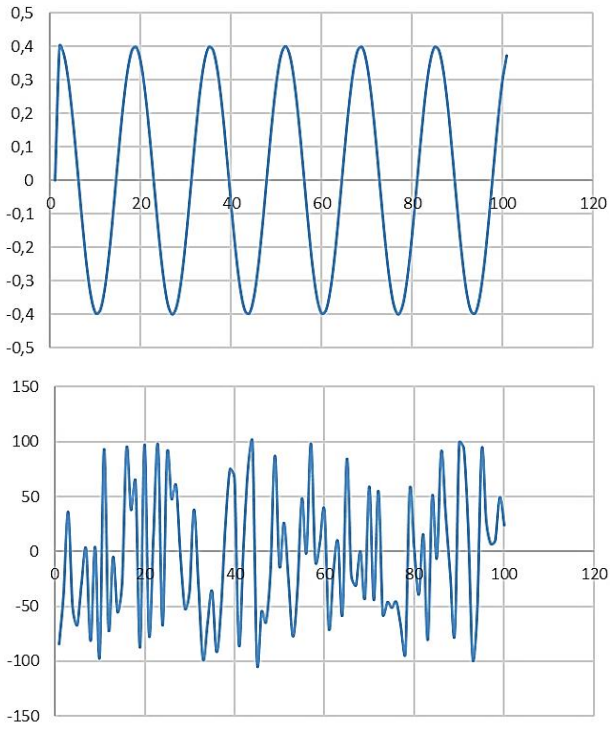
Slika 2. Longitudinalni (gore) i transverzalni val (dolje)
(https://byjus.com/physics/types-of-waves/)

2.1.1. Vrste zvuka

Čisti ton odgovara tonu jedne frekvencije. Zvučni valovi koji se sastoje samo od čistog tona karakteriziraju: amplituda zvučnog tlaka "A" izmjerena u Newtonu po kvadratnom metru (N/m^2) ili Pascal (pa), valna duljina "λ" mjerena u metru (m), koja predstavlja najmanju udaljenost između dvije točke istog faznog kuta, te frekvencija "f" mjerena u Hertzima (Hz), koja predstavlja broj titraja u jedinici vremena tj. sekundi. Međutim,

zvukovi u prirodi uglavnom nisu čisti tonovi, već su složene smjese varijacija tlaka koje variraju s obzirom na fazu, učestalost i amplitudu (Akinkuade i Fasae 2015).

Šum je po definiciji slučajni signal, kojeg karakterizira njegova spektralna gustoća. Na slici 3. prikazan je primjer sinusoidalnog signala i šuma, kod kojeg je vidljivo nepravilno titranje bez stalnih frekvencija i amplituda. U akustici se uglavnom koriste bijeli i ružičasti šum. Bijeli šum je signal konstantne spektralne gustoće, te ima jednaku snagu u istom frekvencijskom pojasu, dok je ružičasti šum signal ravnog frekvencijskog spektra i ima jednaku snagu u pojasu istog omjera frekvencija, te spektralna gustoća pada 3 dB po oktavi u usporedbi s bijelim šumom (Jambrošić, 2014.).



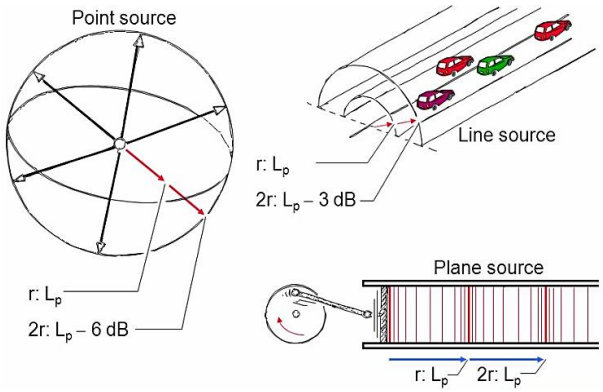
Slika 3. Primjer sinusoidalnog, čistog signala (gore) i šuma (dolje)

2.1.2. Vrste zvučnih izvora

Razlikuju se tri vrste zvučnih izvora, prikaze na slici 4. (Jambrošić, 2014):

- Točkasti (point source) – za dvostruki porast udaljenosti pad zvučnog tlaka iznosi -6 dB

- Linijski (line source) – za dvostruki porast udaljenosti, pad zvučnog tlaka iznosi -3 dB. Tipičan slučaj za prometnice, te širenje cilindričnog vala
- Plošni (plane source) – s porastom udaljenosti zvučni tlak ne pada

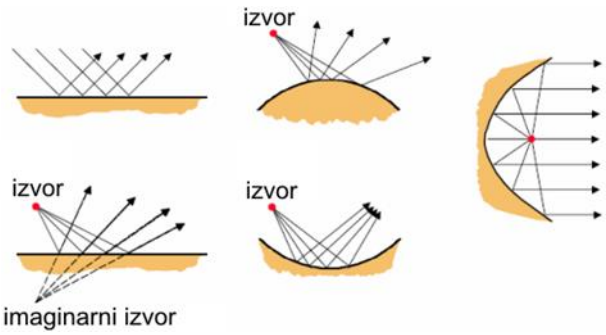


Slika 4. Vrste zvučnih izvora (Jambrošić, 2014).

2.1.3. Pojave kod širenja zvuka

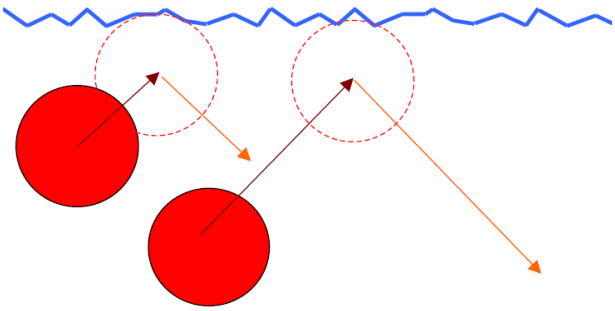
Prilikom širenja zvučnog vala medijem javljaju se sljedeće osnovne pojave: (Jambrošić, 2014)

- Refleksija – pojava nagle promjene pravca prostiranja vala pri susretu vala s preprekom. Ukoliko se ravni val kreće zrakom i upada na tvrdu površinu koja je okomita na smjer širenja, reflektirat će se natrag. Ako se radi o valu koji upada iz jednog fluida na drugi, dio zvučne energije se reflektira, dok dio prijeđe u drugi fluid. Na slici 5. prikazana je razlika između refleksije ravnog i kuglastog vala.



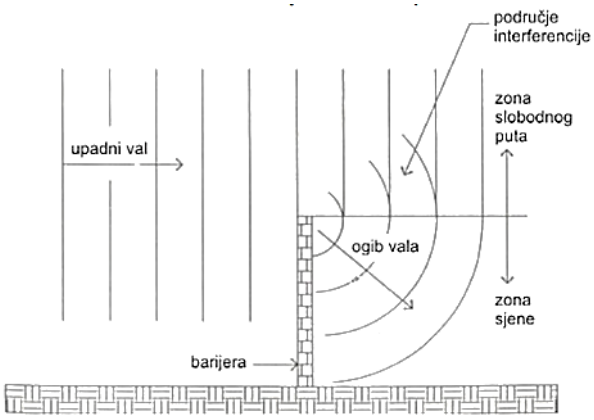
Slika 5. Refleksija ravnog i kuglastog vala (Jambrošić, 2014)

- Difuzija – javlja se zbog refleksije vala na prepreci koja nije ravna (Slika 6), kao i u slučaju kada zvuk prolazi kroz primjerice otvor na zidu.



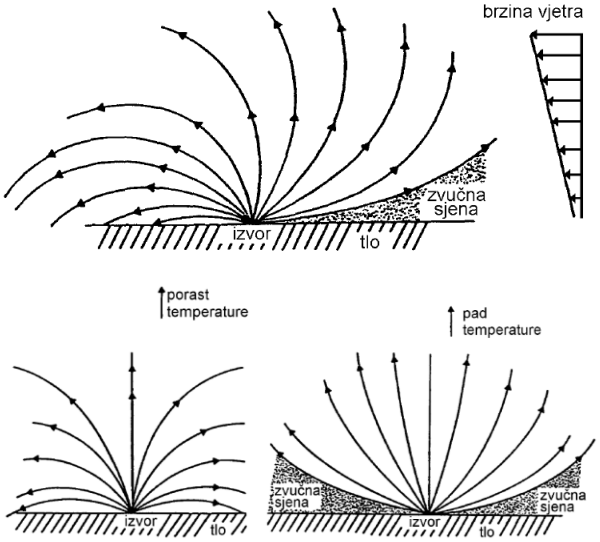
Slika 6. Difuzija (Jambrošić, 2014.)

- Raspršenje ili disperzija – javlja se zbog različitih brzina širenja zvuka u ovisnosti o frekvenciji.
- Lom ili refrakcija vala - predstavlja skretanje vala pri prijelazu iz jednoga sredstva u drugo zbog razlike u brzini širenja valova u različitim sredstvima. Također, nastaje pri prostiranju kroz nehomogenu sredinu.
- Ogib ili difrakcija – na putu širenja zvučni val obilazi prepreku ako je prepreka značajno manja od valne duljine. Ukoliko je prepreka značajno veća, iza prepreke nastaje zvučna sjena. Na slici 7. prikazan je ogib zvučnog vala pri nailasku na barijeru.



Slika 7. Ogib zvučnog vala pri nailasku na barijeru (Jambrošić, 2014)

- Uvijanje zvučnog vala – javlja se zbog različitih atmosferskih utjecaja. Najčešće se primjećuje zbog djelovanja vjetra, ali može nastati i zbog promjene temperature s visinom. Na slici 8. prikazano je uvijanje zvučnog vala.



Slika 8. Uvijanje zvučnog vala (Jambrošić, 2014)

- Prigušenje ili apsorpcija – proces slabljenja intenziteta zvuka tijekom prolaza kroz medij ili iznad površine.

2.1.4. Brzina zvuka

Brzina zvuka jako varira ovisno o mediju kojim prolazi. Što je medij čvršći i što je veća gustoća medija, to je brzina zvuka veća. Brzina zvuka u zraku je relativno niska, jer se zrak može zbijati. Tekućine i krutine je relativno teško komprimirati, te je brzina zvuka u takvim medijima općenito veća nego u plinovima. Tablica 1. prikazuje brzinu zvuka u različitim medijima. Budući da temperatura utječe na gustoću, brzina zvuka varira s temperaturom medija kroz koji putuje do određene mjere, posebno za plinove (Texasgateway.org, 2018).

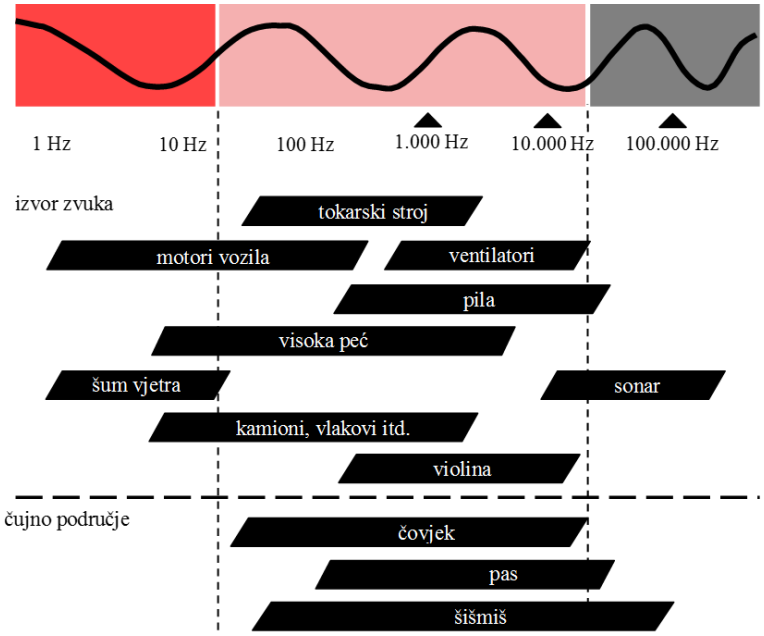
Tablica 1. Brzina zvuka u različitim medijima (Texasgateway.org, 2018)

Medij	**Brzina zvuka (m/s)**
Plinovi pri 0 °C	
Zrak	331
Ugljični dioksid	259
Kisik	316
Helij	965
Vodik	1290
Tekućine pri 20 °C	
Etanol	1160
Živa	1450
Svježa voda	1480
Morska voda	1540
Ljudsko tkivo	1540
Krutine	
Vulkanizirana guma	54
Polietilen	920
Mramor	3810
Staklo	5640
Olovo	1960
Aluminij	5120
Čelik	5960

2.2. Frekvencijski raspon

Frekvencijski odziv središnjeg dijela slušnog sustava varira od najviše frekvencije na osnovnom kraju do najniže zvučne frekvencije na apikalnom kraju. Ljusko uho može registrirati zvuk frekvencije u intervalu od 20 Hz – 20 kHz, a najosjetljivije je na frekvencije u intervalu od 1 000 – 3 000 Hz. Infrazvuk je zvuk frekvencija manjih od 20 Hz, dok se zvuk frekvencija većih od 20 kHz naziva ultrazvukom (Bies i Hansen 2003).

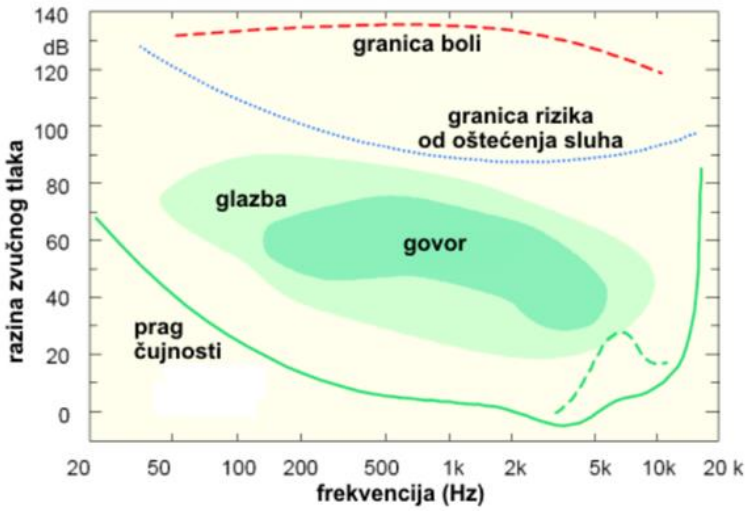
Na slici 9. nalaze se frekvencije različitih izvora zvuka s karakterističnim primjerima, te granice čujnog područja.



Slika 9. Frekvencijsko područje različitih izvora zvuka (http://walterhutskyjr.com/wp-content/uploads/2014/09/soundchart.jpg)

2.3. Čujno područje

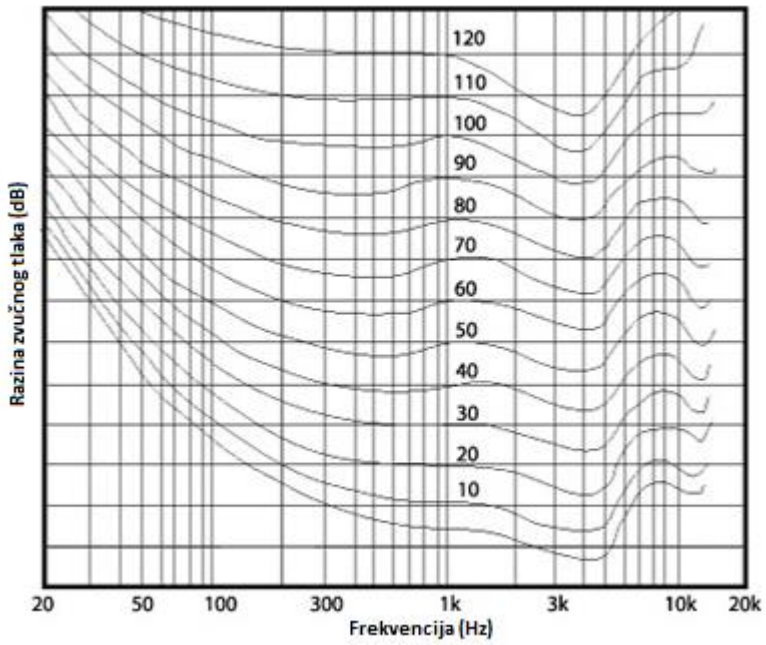
Prikaz čujnog područja (Slika 10) prikazuje granice ljudskog slušnog sustava. Puna zelena linija, koja je ujedno donja granica, označava prag čujnosti za čiste tonove. Crtkana, crvena linija predstavlja granicu bola, tj. amplitude tonova različitih frekvencija pri kojima se javlja bol. Točkastom, plavom linijom označena je granica rizika od oštećenja sluha. Ukoliko se u dužem vremenskom periodu ta granica podiže, postoji opasnost od trajnog gubitka sluha, a posljedica gubitka sluha je podizanje granice čujnosti, što je prikazano crtkanom, zelenom linijom. Dakle, da bi ljudsko uho moglo registrirati pojedine zvukove, potrebno je proizvesti tonove više frekvencije na određenim frekvencijama (Golubović - Bugarski, 2010).



Slika 10. Čujno područje (Golubović - Bugarski, 2010)

2.4. Izofone krivulje

Glasnoća zvuka je subjektivna percepcija koja je ovisna o amplitudi, frekvencijskom sastavu, te vremenskom obliku zvuka tj. to je čovjekov sud o intenzitetu zvuka. Razina glasnoće zvuka prikazuje se krivuljama jednake glasnoće, odnosno izofonim krivuljama (Slika 11), a mjeri se u fonima. Razina glasnoće izražena u fonima jest, dogovorno, jednaka razini jakosti u decibelima za zvuk frekvencije 1 000 Hz u cijelom području od granice čujnosti do granice bola (Jambrošić, 2014). Budući da se nominalno izofonske linije označavaju s obzirom na 1000 Hz za čujno područje, za potrebe izrade karata po frekvencijama u ovom radu odabrane su sljedeće frekvencije: 31,5 Hz (kamion, vjetar), 125 Hz (kamion, truba automobila, razgovor), 500, 1000 te 2000 Hz (lavež psa, kamion, truba automobila, vjetar u krošnjama drveća, razgovor).



Slika 11. Izofone krivulje (http://www.daviddarling.info/images_music/Fletcher-Munson_curve.jpg)

2.5. Osnovni akustički pojmovi

Kod proučavanja buke javlja se potreba da se točno ocijeni jačina buke, te se izrazi u brojčanim veličinama. Kao jedinica mjere jačine buke prihvaćen je bel, no uglavnom se koristi deset puta manja jedinica, decibel (dB). Decibel se definira kao veličina (n) koja predstavlja logaritam odnosa dvaju intenziteta:

$$n = 10\ log \frac{I_1}{I_2}\ [dB]$$

(Izraz 1)

Budući da je decibel jedinica koja se koristi za izražavanje razine zvuka, te je definiran preko odnosa intenziteta, u slučaju kad se u decibelima želi izraziti odnos dvaju zvučnih tlakova tada je:

$$n = 20\ log \frac{p_1}{p_2}\ [dB]$$

(Izraz 2)

U tablici 2. dani su primjeri zvukova iz okoliša i odgovarajuće razine zvuka (buke) u decibelima.

Tablica 2. Zvukovi iz okoliša i pripadajuće razine zvuka (Resanović i sur., 2013)

ZVUK	**RAZINA JAKOSTI ZVUKA (dB)**
Prag čujnosti	0-25
Šapat	20
Govor	40
TV	55
Stan u prometnoj ulici, buka u velikom uredu	60
Automobil, prometna ulica, buka u kafiću, fen za sušenje kose	70
Metro, velika gužva	80
Kamion, vrlo prometna križanja	90
Vlak u prolazu	95
Električna pila, bušilica	100
Pneumatski čekić	105
Glasna glazba	110
Rok koncert u blizini zvučnika, grom	120
Prag bola	130 – 140
Polijetanje i slijetanje aviona	140
Space – shutlle – platforma	180

2.5.1. Zvučni tlak i razina zvučnog tlaka

Zvučni tlak je razlika između trenutačne vrijednosti ukupnog i statičkog tlaka, odnosno odstupanje atmosferskog tlaka u nekoj točki od svoje ravnotežne vrijednosti, to je ono što čujemo kao zvuk. Mjerna jedinica kojom se izražava zvučni tlak je paskal (Pa). Najmanji zvučni tlak koji ljudsko uho može zamijetiti iznosi 2×10^{-5} Pa, te ta vrijednost

predstavlja referentni zvučni tlak ili prag čujnosti, dok najveći zvučni tlak kojeg ljudsko uho može podnijeti iznosi 20 Pa i predstavlja granicu boli. Razina jakosti zvuka (L) predstavlja mjernu veličinu koja je prilagođena osjetljivosti ljudskog uha, te je deseterostruki logaritam omjera jakosti određenog zvuka i praga čujnosti. Razina zvučnog tlaka (Lp) izražena u decibelima (dB), često se mjeri pomoću mjerača razine zvuka (Akinkuade i Fasae 2015), te je opisana sljedećom jednadžbom:

$$Lp = 20\, log \frac{p}{p_0}\ [dB]$$

(Izraz 3)

gdje je:

p – stvarni zvučni tlak [Pa]

p_0 – referentni zvučni tlak; pri 1 kHz p_0 = 20 μPa - prosječni prag čujnosti

2.5.2. Zvučni intenzitet i razina zvučnog intenziteta

Zvučni intenzitet ili jakost zvuka je količina energije koja prostruji kroz plohu površine 1 m^2, postavljenu okomito na smjer širenja zvuka u jednoj sekundi. Vektorska je veličina, te se može izračunati prema jednadžbi (Bies i Hansen 2003):

$$I = \frac{p^2}{\rho_0 c}\ [\mathrm{W/m^2}]$$

(Izraz 4)

gdje je:

p – zvučni tlak

ρ – gustoća zvuka

c – brzina zvuka, koja za zrak iznosi 343 m/s

Razina zvučnog intenziteta (L_I), iskazana u decibelima, prikazana je jednadžbom:

$$L_I = 10\, log \frac{I}{I_0}$$

(Izraz 5)

gdje je:
I – intenzitet zvuka [W/m^2]
I – referentni zvučni intenzitet = 1pW/m^2 = 10-12 W/m^2 (Bies i Hansen 2003).

2.5.3. Zvučna snaga i razina zvučne snage

Ukupna energija zvuka koju emitira izvor po jedinici vremena je zvučna snaga, W, koja se mjeri u vatima. Zvučna snaga nekog izvora dobije se integracijom zvučnog intenziteta po bilo kojoj zakrivljenoj površini S oko izvora, te je neovisna o okolini u kojoj se izvor nalazi (Jambrošić, 2014):

$$P = \int_S \vec{I} dS$$

(Izraz 6)

Za izvor zvuka koji zrači ravnomjerno u svim smjerovima, najprikladnija je sferična površina, te jednadžba 6 dovodi do sljedećeg izraza (Jambrošić, 2014).:

$$P = 4\pi r^2 I$$

(Izraz 7)

gdje se veličina zvučnog intenziteta I, mjeri na udaljenosti r od izvora. Za razliku od zvučnog intenziteta, zvučna snaga je skalarna veličina (Jambrošić, 2014).

Razina zvučne snage (Lw), izražena u decibelima, prikazana je sljedećom jednadžbom:

$$Lw = 10\, log \frac{W}{W_0}\ [dB]$$

(Izraz 8)

gdje je:
W – snaga zvučnog izvora [W]
W_0 – referentna zvučna snaga; 1 pW = 10^{-12} W (Jambrošić, 2014).

3. BUKA

Postoji više definicija buke, prema kojima buka može biti (Golubić, 1999).:

- Subjektivna – buka je svaki neugodan i jaki zvučni podražaj bez obzira na njegove akustičke kvalitete
- Objektivna – buka je složeni zvučni podražaj kojeg karakterizira malo ili gotovo ništa periodiciteta u kontinuitetu
- Kvantitativna – buka je definirana određenim vremenskim konstantama: intenzitetom (dB) i frekvencijskim spektrom (Hz)
- Kvalitativna – buka može biti kontinuirana, eksplozivna ili impulsna.

3.1. Izvori buke

Prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (NN 145/2004), izvor buke jest svaki stroj, uređaj, instalacija, postrojenje, sredstvo za rad i transport, tehnološki postupak, elektroakustički uređaj za emitiranje glazbe i govora, bučna aktivnost ljudi i životinja i druge radnje od kojih se širi zvuk. Također, izvorima buke smatraju se i cjeline kao nepokretni i pokretni objekti te otvoreni i zatvoreni prostori za sport, rekreaciju, igru, ples, predstave, koncerte, slušanje glazbe i sl.

Glavni izvori buke u vanjskom prostoru su promet, industrija, građevinski i javni radovi, sport i zabava. Jedan od najvažnijih uzroka buka je promet, te čak oko 80% buke u urbanim sredinama uzrokuju automobili, gdje na frekventnim prometnim križanjima razina buke može doseći i do 90 dB. U zatvorenom prostoru buku proizvode servisni uređaji, kućanski aparati, uređaji za emitiranje glazbe i sl. Osim toga, buka može proizlaziti iz prirode (udar groma ili valova, slapovi i sl.), te može biti proizvedena od strane ljudi i životinja (Klančnik, 2014).

Kod proučavanja cestovne buke, izvori buke mogu se podijeliti u dvije osnovne kategorije vozila, čija se buka razlikuje po jačini i spektru (Golubić, 1999):

- Putnička tj. osobna vozila, čija je prosječna razina buke 70 dB
- Teretna vozila i autobusi, čija prosječna razina buke iznosi 85 – 90 dB

Osnovni izvor buke potječe od pogonskog sustava i kontakta guma s površinom kolnika. U gradskoj vožnji motor proizvodi najveću buku. Također, što je manja brzina vožnje, a veći broj okretaja motora, buka će biti veća. Razina buke ovisi i o gustoći prometa, te udjelu teretnih vozila. Postoje i drugi čimbenici koji imaju utjecaj na razinu buke u okolini prometnice, te se dijele na (Golubić, 1999) :

- Urbanističke – orijentacija zgrada, namjerna prostora unutar stana
- Građevinske – položaj prometnice, kvaliteta kolnika
- Tehničke – čimbenici koji se odnose na vozilo kao izvor buke
- Prometne – struktura, protok, gustoća, te brzina prometnog toka
- Psihološke – čimbenici koji se odnose na subjektivni osjećaj smetnje od buke

3.2. Utjecaj buke na zdravlje čovjeka

Zakon o zaštiti od buke (NN 30/09), propisuje da je buka štetna po zdravlje ljudi svaki zvuk koji premašuje propisane najviše dopuštene razine s obzirom na vrstu izvora buke, mjesto i vrijeme nastanka. Osjetljivost na buku ovisi o karakteristikama buke (jakost, sadržaj, ritam i sl.), individualnim karakteristikama izložene osobe buci (stanje organa uha, životna dob, individualna osjetljivost na buku), te duljini i vrsti izloženosti buci. Negativan utjecaj buke na zdravlje čovjeka može biti izravan (nagluhost i gluhoća), gdje se kao posljedica javlja oštećenje organa za sluh i ravnotežu, te neizravan utjecaj koji može izazivati umor, smanjenje koncentracije i radne sposobnosti, ometanje sporazumijevanja, narušavanje sna, kao i određene zdravstvene smetnje (Klančnik, 2014).

Direktan utjecaj na zdravlje ima intenzivna izloženost buci. Prva faza oštećenja sluha naziva se faza početne akustičke traume, te se javlja u frekvencijskom području od 4000

Hz. U ovoj fazi poremećaj se teško prepoznaje jer je do gubitka sluha došlo u višem frekvencijskom području od onog u kojem se odvija govorna komunikacija (1000 – 3000 Hz). Ukoliko osoba pravovremeno ne reagira, oštećenje sluha prelazi u drugu fazu koja se naziva faza nagluhosti. Prag sluha kod nagluhih osoba iznosi između 29 i 93 dB, te se kod ocjene nagluhosti može koristiti sljedeći kriterij:

- neznatna nagluhost - osoba ne čuje zvuk razine do 20 dB
- lagana nagluhost - osoba ne čuje zvuk razine 20 – 40 dB
- umjerena nagluhost - osoba ne čuje zvuk razine 40 - 60 dB
- teška nagluhost - osoba ne čuje zvuk razine 60 - 80 (93) dB (Klančnik, 2014)

Razlikuje se konduktivna ili provodna nagluhost (uzrokovana patologijom provodnog aparata sluha), osjetna ili perceptivna nagluhost, koja može biti senzoričkog (oštećen Cortijev organ) ili neuralnog tipa (oštećen je neuralni put između unutarnjeg uha i mozga). Sve što je iznad 93 decibela smatra se gluhoćom. Ukoliko je osoba izložena buci intenziteta 85 dB i više, postoji vjerojatnost oštećenja sluha. U početku se oštećuju vanjske osjetne stanice, dok se kod trajne izloženosti buci oštećuju unutrašnje osjetne stanice (Klančnik, 2014).

Indirektno, buka utječe na endokrini i vegetativni sustav, kao i psihomotoriku očitujući se dekoncentracijom, razdražljivošću, padom radnog učinka i sl. Buka remeti san ukoliko prelazi oko 30 dB. Proučava se utjecaj buke na krvožilni, živčani, probavni i hormonski sustav koji se može očitovati poremećajem u radu probavnih organa, porastom krvnog tlaka, suženjem vidnog polja i dr. što je zapravo fiziološki odgovor tijela na stres koji buka izaziva. Također, buka izaziva podražaj simpatikusa koji izaziva ubrzano disanje, ubrzani rad srca i znojenje, te ta reakcija može biti kratkotrajna i kronična koja se očituje kao nesanica, poremećaj apetita, tjeskoba i depresija. Prema WHO LARES Reportu iz 2004. godine, dugotrajna izloženost buci prometa intenziteta 60-70 dB dovodi do depresije, artritisa i bronhitisa, srčanog udara, te ostalih smetnji. Kod buke koja prelazi 80 dB javlja se i agresivno ponašanje (Klančnik, 2014).

3.3. Mjere praćenja i smanjenja razine buke

Smanjenje razine buke, odnosno zaštita od buke obuhvaća niz raznih koordiniranih postupaka, gdje je važno prepoznati izvor buke tj. mjesto emisije, putove širenja buke, te prijamni prostor koji uključuje osobe ugrožene bukom. Primjenjuju se različite mjere kao što su osobna zaštita, lokalne mjere izolacije, prigušenja i apsorpcije zvuka, organizacijske, tehničke, građevinsko – planske mjere, izrađuju se karte buke i dr. Kod smanjenja razine buke u poslovnim i stambenim zgradama koriste se razni zvučnoizolacijski materijali (Klančnik, 2014). Zakonom su propisane najviše dopuštene razine buke u zatvorenim prostorima, koje ne ugrožavaju zdravlje ljudi. U tablici 3. prikazane su najviše dopuštene ocjenske ekvivalentne razine buke, LAeq na radnom mjestu.

Tablica 3. Najviše dopuštene ekvivalentne razine buke LAeq na radnom mjestu (Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave)

Opis posla	**Najviša dopuštena ekvivalentna razina buke L_{Aeq} u dB(A)**
Najsloženiji poslovi upravljanja, rad vezan za veliku odgovornost, znanstveni rad	35
Rad koji zahtijeva veliku koncentraciju i/ili preciznu psihomotoriku	40
Rad koji zahtijeva često komuniciranje govorom	50
Lakši mentalni rad te fizički rad koji zahtijeva pozornost i koncentraciju	65

Također, zakonom su propisane najviše dopuštene ekvivalentne razine buke (LAeq) na otvorenom prostoru (tablica 4.), koje predstavljaju prosječnu vrijednost razine zvuka

tijekom određenog vremenskog razdoblja. Zone buke, navedene u tablici 4. određuju se na temelju dokumenata prostornog uređenja (NN 20/03).

Tablica 4. Najviše dopuštene ocjenske ekvivalentne razine buke LAeq imisije na otvorenom prostoru (Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave)

Zona buke	**Namjena prostora**	**Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije L_{Aeq} u dB(A)**	
		za dan (L_{day})	**za noć (L_{night})**
1.	Zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju	50	40
2.	Zona namijenjena samo stanovanju i boravku	55	40
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	55	45
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem	65	50
5.	Zona gospodarske namjene (proizvodnja, industrija, skladišta, servisi)	Na granici građevne čestice unutar zone – buka ne smije prelaziti 80 dB(A) Na granici ove zone buka ne smije prelaziti dopuštene razine zone s kojima graniči	

3.3.1. Mjere praćenja i smanjenja razine buke u cestovnom prometu

Na području Europe, pitanjima vezanim uz smanjenje povišenih razina buke bave se mnogi znanstveni i stručni projekti, među kojima se ističe SYLVIE (Systematic noise abatement in inner city residental areas), pokrenut 1999. godine. Neki od projekata bave se istraživanjem više vrsta izvora buke, dok se neki bave isključivo problematikom buke

od prometa. Za zaštitu od buke često nije dostatna primjena samo jedne mjere već kombinacija više njih, a ukoliko se radi o smanjenju razine buke od prometa postoje četiri osnovne grupe mjera:

- smanjenje buke na izvoru;
- smanjenje rasprostiranja buke;
- zaštita od buke na mjestu imisije;
- ekonomske mjere i regulativa (Lakušić i sur., 2005).

Smanjenje buke na izvoru predstavlja primarne mjere, kod kojih je potrebno znati o kojoj je vrsti prometa riječ (cestovni, željeznički, zračni), dok preostale mjere predstavljaju sekundarne mjere zaštite od buke. Ukoliko se promatra cestovni promet, povišene razine buke javljaju se kao posljedica konstrukcije vozila te interakcije vozila i vozne površine. Neke od mjera koje se predlažu u svrhu smanjenja buke su:

- smanjenje brzine vozila – uvođenjem automatskog mjerenja brzine (smanjenje razine buke 6 – 8 dB)
- održavanje vozila i prometnica
- odabir određenog tipa vozne površine – površina kolnika s otvorenom i poroznom teksturom (smanjenje razine buke 2 – 4 dB)
- upravljanje prometom – smanjenjem prometnog opterećenja preusmjeravanjem na druge prometnice, ograničenjem vremena u kojem se može prometovati, osiguranje stanja slobodnog prometnog toka, kao što je gašenje semafora noću (smanjenje razine buke 2 - 4 dB)
- ponašanje vozača – pasivna vožnja (smanjenje razine buke oko 5 dB za osobna i teretna vozila te oko 7 dB za motocikle)
- uvođenje određenih zabrana – zabrana vožnje noću, zabrane vožnje bez ugrađenih specijalnih prigušivača (Lakušić i sur., 2005).

Druga mjera, smanjenje rasprostiranja buke primjenjuje se na mjestu imisije, a podrazumijevaju primjenu različitih barijera koje služe za zaštitu od buke, kao i planiranje i upravljanje prostorom u blizini prometnica. Barijere za zaštitu od buke jedan su od najčešćih i najsigurnijih načina smanjivanja rasprostiranja buke, pomoću

kojih se moguće smanjiti razinu buke i do 15 dB, te se najčešće primjenjuju barijere s apsorbirajućim svojstvima. Međutim, danas su zgrade, drvoredi i ostali objekti koji se nalaze uz prometnice najčešća varijanta barijera iako im to nije osnovna funkcija, kojima se razina buke može smanjiti i do 12 dB. Ukoliko nije moguće primijeniti prethodne dvije metode, primjenjuje se zaštita od buke na mjestu imisije. Navedena mjera podrazumijeva primjenu zvučne izolacije (zidovi, prozori i vrata objekta). Četvrta, osnovna mjera su ekonomske mjere i regulativa koje obuhvaćaju naknade za vozila čija je razina buke veća od dopuštene, poticaje kojima se podupire smanjenje razine buke i sl. (Lakušić i sur., 2005).

4. MJERENJE BUKE NA PODRUČJU GRADA VARAŽDINA

4.1. Instrument za mjerenje buke

Mjerač razine zvuka je instrument dizajniran za mjerenje razina zvučnog tlaka. Danas takvi instrumenti mogu biti ništa više, negoli jednostavni uređaji s analognim filtrima i detektorima. Za napredne digitalne analizatore može se koristiti pokretni mjerač zvuka. Mikrofon pretvara zvuk u električni signal koji se širi i prolazi kroz različite filtere. Nakon toga signal se ujednačuje i usrednjuje pomoću detektora, a rezultat se pretvara u decibele koji je vidljiv na zaslonu. Mjerači razine zvuka mogu točno izmjeriti razinu buke u okolišu približno plus ili minus 1 dBA. Različiti računalni modeli koriste se za predviđanje razina buke okoliša iz različitih izvora, kao što su ceste i zračne luke (Jacobsen i sur., 2011).

Za mjerenje razine buke u gradu Varaždinu korišten je uređaj Larson Davis Model 831, koji je prikazan na slici 12. Svestran je uređaj u kojeg su uklopljene funkcije nekoliko instrumenata. Predstavlja kombinirane značajke preciznog mjerača zvučne razine, klase 1, analizatora buke u okolišu, dozimetra šuma te analizatora frekvencije u stvarnom vremenu (Larsondavis.com 2017).



Slika 12. Uređaj Larson Davis Model 831 (Larsondavis.com 2017)

4.1.1. Dijelovi i karakteristike uređaja

Model 831 dolazi u standardnom pakiranju koje se sastoji od čvrstog i izdržljivog kovčega u kojem se nalazi uređaj s osnovnim dijelovima. Osnovni dijelovi uređaja su: mikrofon, pretpojačalo za mikrofon, ekran, tipkovnica, zaštita mikrofona od vjetra (spužvasta zaštita), kućište s baterijama, utori s priključcima i glavni prekidač. Uz uređaj se nalazi i CD s programskim paketom Slm Utility (Larsondavis.com 2017).

Uređaj karakteriziraju sljedeće značajke: precizni integrirajući mjerač razine zvuka, pohrana 2 GB podataka, „icon-driven" korisničko sučelje, veliki dinamički raspon > 120 dBA, RMS detektor, RMS i „Peak" frekvencijsko vrednovanje. Zvuk prima na približno isti način kao ljudsko uho te daje reproducibilna mjerenja razine zvučnog tlaka koji je ujedno jedna od osnovnih veličina koja se mjeri kod buke. Model 831 ima 6 načina rada koji se mogu koristiti za razne uvjete rada i razne potrebe mjerenja intenziteta zvuka (Larsondavis.com 2017).

4.2. Kratice vezane uz zvuk i mjerenje razine buke

U tablici 5. nalaze se kratice vezane uz zvuk i mjerenje razine buke koje su potrebne za razumijevanje teme. U skladu s međunarodnim normama, obično se koristi A-vrednovanje kako bi se procijenila ljudska reakcija na zvuk jer upravo očitanja A-vrednovanja najbliže odgovaraju reakciji ljudskog uha. Četiri osnovna indikatora buke: L_{day}, $L_{evening}$, L_{night}, L_{den} koja su navedena u tablici, predstavljaju fizikalnu veličinu koja opisuje buku okoliša (Gracey, 2018).

Tablica 5. Kratice vezane uz zvuk (Gracey, 2018)

Pojam	**Objašnjenje**
LA	A-usrednjena razina zvuka tj. razina zvučnog tlaka. Za ocjenjivanje buke prometa i pozadinskog šuma najčešće se koriste LA_{10} i LA_{90} razine buke prekoračene za 10%, odnosno 90% mjerenog razdoblja.
LAeq	Razina zvuka u decibelima ekvivalentna ukupnoj A-usrednjenoj zvučnoj energiji izmjerenoj tijekom određenog vremenskog razdoblja.
Leq (ekvivalentna razina zvuka)	Razina zvuka u decibelima ekvivalentna ukupnoj zvučnoj energiji izmjerenoj tijekom određenog vremenskog razdoblja.
LAS	Razina zvuka s A usrednjenim frekvencijama i sporim mjerenjem (S= slow, t=1000 ms).
LASmax	Maksimalna razina zvuka s A usrednjenom frekvencijom i sporim mjerenjem (S=slow, t=1000 ms).
L_{day} (L_{dan})	Indikator buke za vremensko razdoblje „dan“. Razina zvuka, izmjerena tijekom razdoblja od 12 sati; od 07.00 - 19.00 sati.
$L_{evening}$ ($L_{večer}$)	Indikator buke za vremensko razdoblje „večer“. Razina buke, mjerena tijekom večernjeg perioda od 19.00 do 23.00 sati.
L_{night} ($L_{noć}$)	Indikator buke koja uzrokuje poremećaj sna za vremensko razdoblje „noć“.
L_{den}	Indikator ukupnog smetajućeg djelovanja za razdoblje dana, večeri i noći izražen u dB. Razina zvuka, izmjerena tijekom razdoblja od 24 sata. Određena je kazna od 10 dB na razinu između 23.00 i 07.00 sati, te kazna od 5 dB koja je dodana na razinu od 19.00 do 23.00 sata.
Lpeak	Maksimalni zvučni tlak tijekom razdoblja mjerenja.

4.3. Protokol mjerenja buke na području grada Varaždina

Prije samog početka mjerenja buke u uređaj su unesene osnovne postavke, poput datuma i imena mjerenja koje se provodi. Mjerenja buke obavljena su u razdoblju od 4.7. – 14.7.2017. Na svakoj lokaciji mjerenja su izvršena za razdoblje dana, od 13 – 15 sati i razdoblje večeri, od 19 – 21 sat u trajanju od 10 minuta. Sva mjerenja provedena su radnim danima, od ponedjeljka do petka.

Prema pravilima, budući da su mjerenja provedena na otvorenom prostoru, uređaj se nalazio 1-2 m udaljen od fasade nekog manjeg objekta, te minimalno 3,5 m ukoliko se radilo o većem objektu, kako ne bi došlo do refleksije od zidova. Također, tijekom mjerenja buke, uređaj tj. mikrofon nalazio se na oko 1,5 m iznad tla (Jambrošić, 2014).

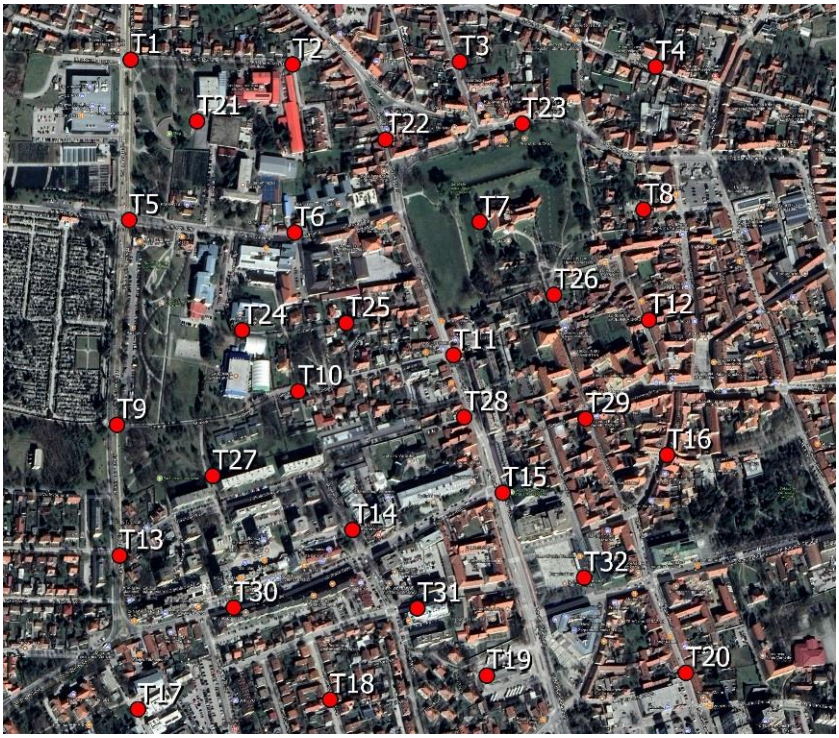
4.3.1. Lokacije mjerenja

Odabrane su 32 lokacije na kojima su provedena mjerenja buke, koje pokrivaju područje veličine oko 1 km^2 (Slika 13). Obuhvaćena su različita područja koja uključuju zone većeg intenziteta buke poput prometnica, te mirnije zone poput parkova, dvorišta, parkirališta i sporednih ulica. Pri izboru lokacija za izvođenje mjerenja postavljeni su određeni kriteriji:

- odabrane lokacije nalaze se u različitim zonama
- lokacije su međusobno susjedne, tako da je svaka od njih na neki način povezana
- lokacije se nalaze duž prometnih cesta i prometnih raskrižja koje karakterizira velika količina prometa
- udaljenost između lokacija uglavnom iznosi oko 150 metara

Za prvih dvadeset točaka, svakog dana mjerenje buke provedeno je na četiri lokacije, za razdoblje dana i večeri. Nakon završetka mjerenja buke na planiranih dvadeset lokacija, prikupljeni podaci su pregledani, te su uvedene dodatne točke mjerenja, kako bi se u

konačnici dobile preciznije karte buke. Stoga je na kartu dodano dodatnih dvanaest lokacija, te su dnevno provedena mjerenja buke na tri lokacije, za razdoblje dana i noći. U tablici 6. prikazane su odabrane lokacije na kojima su provedena mjerenja.



Slika 13. Karta s odabranim lokacijama mjerenja buke

Tablica 6. Lokacije mjerenja buke

T1	Križanje ulice Gustava Krkleca i ulice Božene Plazzeriano
T2	Parkiralište stambene zgrade, ulica Božene Plazzeriano
T3	Ulica Branka Vodnika
T4	Ulica Baruna Trenka
T5	Križanje ulice Ratimira Hercega i Hallerove aleje
T6	Hallerova aleja (Elektrostrojarska škola)
T7	Neposredno pored zgrade Starog grada
T8	Ulica Ljudevita Gaja
T9	Križanje ulice Ratimira Hercega i ulice Graberje
T10	Unutar parka Graberje
T11	Križanje ulice Stanka Vraza i ulice Graberje

T12	Ulica Strahimira Kranjčevića
T13	Križanje ulice Ratimira Hercega i Ivanečke ulice
T14	Trakošćanska ulica
T15	Križanje ulice Zrinskih i Frankopana i ulice Braće Radić
T16	Ulica Ivana Gundulića
T17	Kod Varaždinske bolnice
T18	Ulica Ivana Gorana Kovačića
T19	Autobusni kolodvor Varaždin
T20	Zagrebačka ulica
T21	Pokraj dvorane srednje Strukovne škole Varaždin
T22	Ulica Stanka Vraza
T23	Ulica Vladimira Nazora
T24	Kod dvorane Graberje
T25	Park Graberje
T26	Uršulinska ulica
T27	Park između Trakošćanske ulice i ulice Graberje
T28	Ulica Stanka Vraza
T29	Križanje ulice Andrije Kačića Miošića i ulice Janka Draškovića
T30	Križanje ulice Braće Radić i Ivana Meštrovića
T31	Ulica Zvonka i Vladimira Milkovića
T32	Kapucinski trg

5. REZULTATI MJERENJA UŽEG PODRUČJA GRADA VARAŽDINA

Za daljnju analizu i u konačnici za izradu karata buke, potrebni su bili slijedeći podaci: LAeq (ekvivalentna razina buke), LApeak (najviša izmjerena vrijednost), te LASmax (najviša vremenski usrednjena razina mjerena u sporom kanalu), za razdoblje dana i večeri. GPS koordinate lokacija (E, N), ispisane su pomoću programa Google Earth Pro. Na slici 14. prikazani su prikupljeni podaci, koji su upisani i sortirani u Microsoft Office Excel. Crvenom bojom označene su najviše izmjerene vrijednost, dok su plavom bojom označene najniže izmjerene vrijednosti.

Lokacija	E	N	LAeq_dan	LApeak_dan	LASmax_dan	LAeq_večer	LApeak_večer	LASmax_večer
T1	16,3269945	46,31218368	65,1	101,2	74,8	64,6	103,0	76,1
T2	16,3300531	46,3121237	52,7	89,9	70,0	53,1	88,1	70,4
T3	16,3332145	46,31215914	62,1	89,7	75,1	61,8	91,9	73,4
T4	16,3369162	46,31209232	58,4	87,3	73,0	59,7	97,8	80,6
T5	16,3269638	46,31008962	67,6	95,6	80,8	64,3	93,6	74,7
T6	16,3300925	46,30992573	61,7	94,0	80,1	55,4	89,7	73,8
T7	16,3335882	46,31006534	49,5	80,0	61,7	55,4	81,8	65,0
T8	16,3366867	46,31022593	52,8	87,2	71,4	52,1	86,8	66,3
T9	16,3267342	46,30741162	67,3	91,5	76,7	66,4	94,5	81,4
T10	16,3301597	46,30784973	50,0	83,7	67,1	47,9	90,1	63,1
T11	16,3330936	46,30832308	66,7	90,5	78,9	67,7	97,1	79,5
T12	16,3367878	46,30878171	56,2	94,7	72,8	50,6	88,2	60,4
T13	16,3267827	46,3057024	65,8	94,0	77,4	66,6	93,3	75,1
T14	16,3311847	46,30603884	49,6	81,8	62,6	50,7	86,6	66,0
T15	16,334025	46,30652334	68,6	98,3	81,2	71,4	104,7	91,1
T16	16,3371314	46,3070184	52,3	98,0	67,1	58,9	107,8	70,8
T17	16,327131	46,30369293	52,7	97,1	65,3	54,4	64,6	58,3
T18	16,3307634	46,30381819	52,3	92,4	65,5	45,9	79,5	60,3
T19	16,3337246	46,30413321	57,6	90,5	66,8	53,8	91,0	67,4
T20	16,3374862	46,30416893	65,6	100,0	76,3	60,8	92,7	72,8
T21	16,3282457	46,3113814	49,6	86,4	56,8	50,9	82,8	56,4
T22	16,3318093	46,3111415	71,2	97,6	81,0	70,0	111,6	88,9
T23	16,3343925	46,31135005	64,2	108,4	79,3	60,8	91,0	73,5
T24	16,3290989	46,30864782	44,9	80,9	53,2	56,4	78,5	61,0
T25	16,3310654	46,30874279	44,1	82,7	59,1	47,3	82,4	65,3
T26	16,3349934	46,30911363	48,9	90,6	65,8	58,0	93,2	76,8
T27	16,3285433	46,30674328	48,7	96,4	61,5	49,4	83,1	61,2
T28	16,3332956	46,30751211	70,4	100,1	85,4	68,3	99,8	77,6
T29	16,3355917	46,30749175	55,0	107,9	74,7	63,8	79,4	65,3
T30	16,3289384	46,30502145	62,3	96,4	78,0	59,7	83,9	68,9
T31	16,3324109	46,30501283	60,8	110,0	82,3	56,5	92,5	72,1
T32	16,3355625	46,30541267	56,0	88,6	65,3	64,8	100,1	86,8

Slika 14. Prikupljeni podaci, sortirani u Microsoft Office Excelu

Zvukomjerom su izmjerene ekvivalentne razine buke LAeq u dB, za razdoblje dana i večeri. Analizom ekvivalentne razine buke na 32 mjerne točke, utvrđeno je da se za razdoblje dana, razine kreće između 44,1 i 71,2 dB. Na 22. lokaciji izmjerena je najviša ekvivalentna razina buke od 71,2 dB, koja se nalazi u ulici Stanka Vraza (Slika 15), dok je na 25. točki tj. lokaciji izmjerena najniža ekvivalentna razina buke od 44,1 dB, koja se nalazi u parku Graberje. Ekvivalentna razina buke LAeq, za razdoblje večeri, kreće se između 45,9 dB, izmjerenih na 18. lokaciji u ulici Ivana Gorana Kovačića, koja je ujedno i najniža izmjerena ekvivalentna razina buke, te 71,4 dB, na 15. lokaciji, izmjerenih na križanju ulice Zrinskih i Frankopana, te ulice Braće Radić, koja predstavlja najvišu izmjerenu razinu buke.



Slika 15. Ulica Stanka Vraza – izmjerena najviša ekvivalentna razina buke LAeq

Za razdoblje dana, najviša razina LApeak izmjerena je na 23. lokaciji, odnosno u Ulici Vladimira Nazora, gdje je izmjerena razina buke iznosila 110 dB, dok je najniža razina buke izmjerena na 24. lokaciji, tj. kod dvorane Graberje gdje je vrijednost iznosila 80 dB. Za razdoblje večeri, najviša razina LApeak zabilježena je na 22. lokaciji, koja se nalazi u ulici Stanka Vraza te je iznosila 111,6 dB. Najniža razina LApeak zabilježena na 17. lokaciji, što je bila i pretpostavka budući da se radi o području Varaždinske bolnice, te je vrijednost iznosila 64,6 dB (Slika 16)



Slika 16. Područje Varaždinske bolnice - izmjerena najniža razina LApeak

Maksimalna usrednjena razina mjerena u sporom kanalu (LASmax), za razdoblje dana zabilježena je na 28. lokaciji, u ulici Stanka Vraza, čija je vrijednost iznosila 85,4 dB, dok je najniža vrijednost zabilježena na 24. lokaciji, kod dvorane graberje, te je iznosila 53,2 dB. Za razbolje večeri, LASmax iznosio je 91,1 dB na 15. lokaciji tj. na križanju ulice Zrinskih i Frankopana i ulice Braće Radić. Najniža vrijednost iznosila je 56,4 dB na 21. lokaciji, pokraj dvorane srednje Strukovne škole Varaždin (Slika 17).



Slika 17. Dvorana srednje Strukovne škole Varaždin - izmjerena najniža vrijednost LASmax

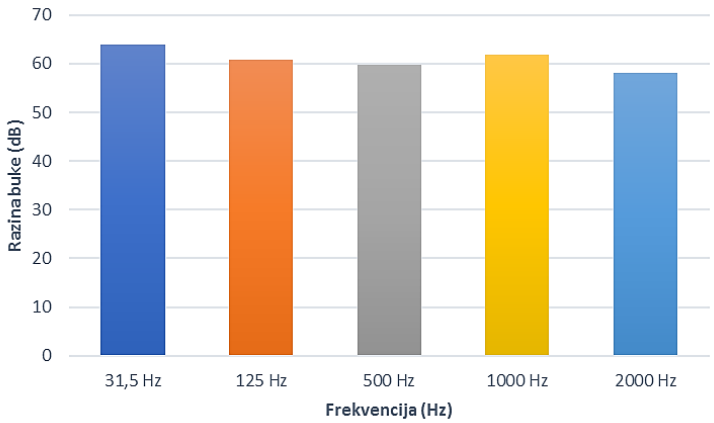
U prosjeku, ekvivalentna razina buke (Leq) preko dana i tijekom večeri iznosi oko 58 dB, maksimalna razina buke (LApeak) iznosi oko 92 dB, dok usrednjena razine mjerena u sporom kanalu (LASmax) iznosi oko 71,4 dB.

Za potrebe izrade karata buke po određenim frekvencijama, prikupljeni podaci sortirani su u Microsoft Office Excel, koji su prikazani na slici 18. Odabrane su sljedeće frekvencije: 31,5 Hz, 125 Hz, 500 Hz, 1000 Hz i 2000 Hz.

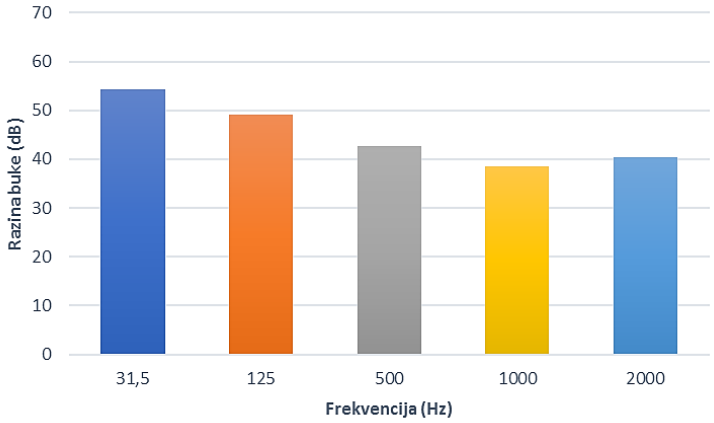
Overall 1/1:	Dan					Večer				
Lokacija	31,5 Hz	125 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz	31,5 Hz	125 Hz	500 Hz	1000 Hz	2000 Hz
T1	64	60,8	59,7	61,8	58,1	65,7	60,4	59	61,1	58,2
T2	60,1	52,9	49,1	47,1	45,6	57,8	53,4	48,3	48,6	45,9
T3	71,8	58,6	57,8	58,8	54,7	61,8	56,9	57,4	58,1	54,9
T4	66,2	57,1	53,9	54,6	51,5	58,5	53,4	54,4	55,1	53,6
T5	76,2	74,4	62,5	61	60,3	67,6	65	60,5	59,3	57,5
T6	71	60,9	55	56,4	56,4	57,9	57,5	52,7	51,2	46,3
T7	54,4	49,1	42,6	38,6	40,3	51	48,2	48,7	54,3	45,6
T8	60,4	54,5	48	46,6	45,3	59,1	52,8	50,6	45,8	42,8
T9	66,6	69,4	61,7	63,1	60,8	61,7	63	60,8	62,1	60
T10	58,2	56,2	44,7	39,6	41,7	54,4	53	42,2	38,2	41,8
T11	70,5	66,8	61,6	62	60,1	77,8	71,3	62,8	63,9	59,9
T12	60,1	56,6	54,3	49,5	48	56,9	53,1	48,4	43,8	40,8
T13	67,9	70,1	61,7	61,2	58,2	64,2	62,5	60,7	62,6	60,4
T14	61,1	52,5	46,4	44,5	39,7	59,3	51,4	46,9	47,1	40,8
T15	70,7	66,6	63,3	66,3	60	71	66,2	63,3	69,8	62,6
T16	56,1	52,9	50,6	45,8	43,4	53,8	53,1	56,9	54,8	49,9
T17	64,7	56,7	49,5	45,6	44,1	53	62,5	50,9	49,2	44,8
T18	64,5	53,6	48,8	46,6	43,9	53,9	48,5	44,9	41,3	30,8
T19	71,3	64,1	56	52,3	41,5	70	56,5	52,2	48	44,9
T20	69,9	64,8	61	60,6	59,1	64,9	60	55,5	56,6	54,1
T21	59,5	54,6	44,1	43,2	43	56,7	52,2	47,6	47	43,6
T22	71,7	69,7	65,7	67,5	64,4	70,4	73,6	66,4	65,7	61,7
T23	70,1	64,2	59,8	60,2	56,3	64	60	57,3	56,8	52,8
T24	57,1	51,4	39,7	35,5	33,4	54,8	62,1	54,4	52,6	45,1
T25	57,4	48,6	40,4	34,9	34,5	52,6	50,1	46,6	40,2	34,6
T26	53,1	48,8	45,2	42,9	41,6	64,6	57,7	54,7	51,9	51,6
T27	63,4	49,1	42,9	42,8	41,8	60,2	48,2	41,6	43,8	45
T28	73,8	69,7	66,8	65,8	62,7	72,7	64,7	64	64,5	61,2
T29	61,2	57,2	53,5	48,1	47,3	65,1	77,3	60	55,2	51
T30	69,8	65,2	58,4	56,6	55,1	65,9	61,7	55,9	55,2	52,9
T31	65,5	55,9	55,7	56,2	53,4	58,6	54,4	52,9	53,5	48,1
T32	68,9	60,5	53,9	50	46,3	65,1	60,8	58,6	57,5	61,3

Slika 18. Prikupljene frekvencije sortirane u Microsoft Office Excelu

Na slikama 19. i 20. prikazana su 2 spektra mjerenja buke, gdje je prikazan odnos razine buke i frekvencije, za razdoblje dana.



Slika 19. Razina buke na lokaciji 1



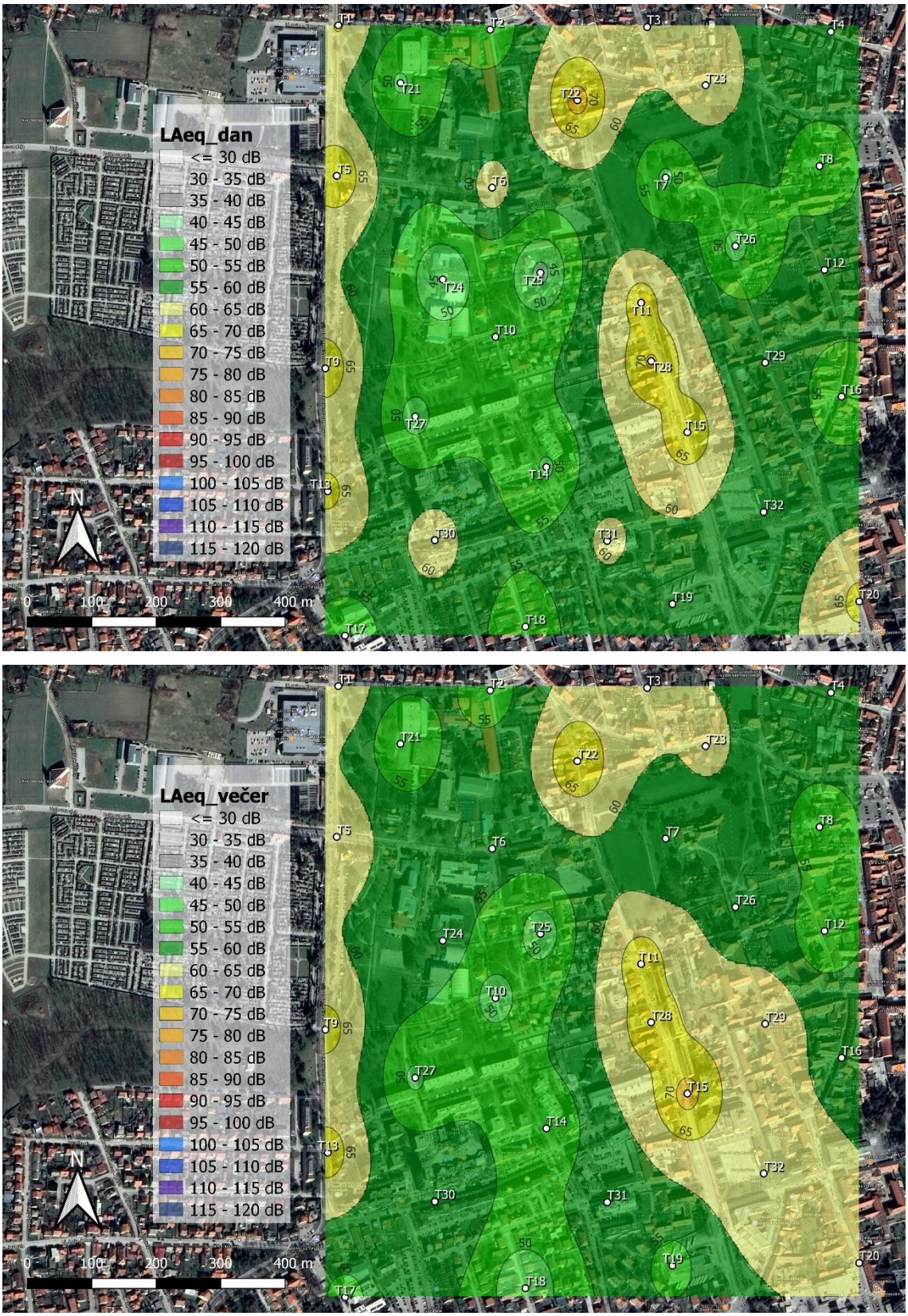
Slika 20. Razina buke na lokaciji 7

6. KARTA BUKE

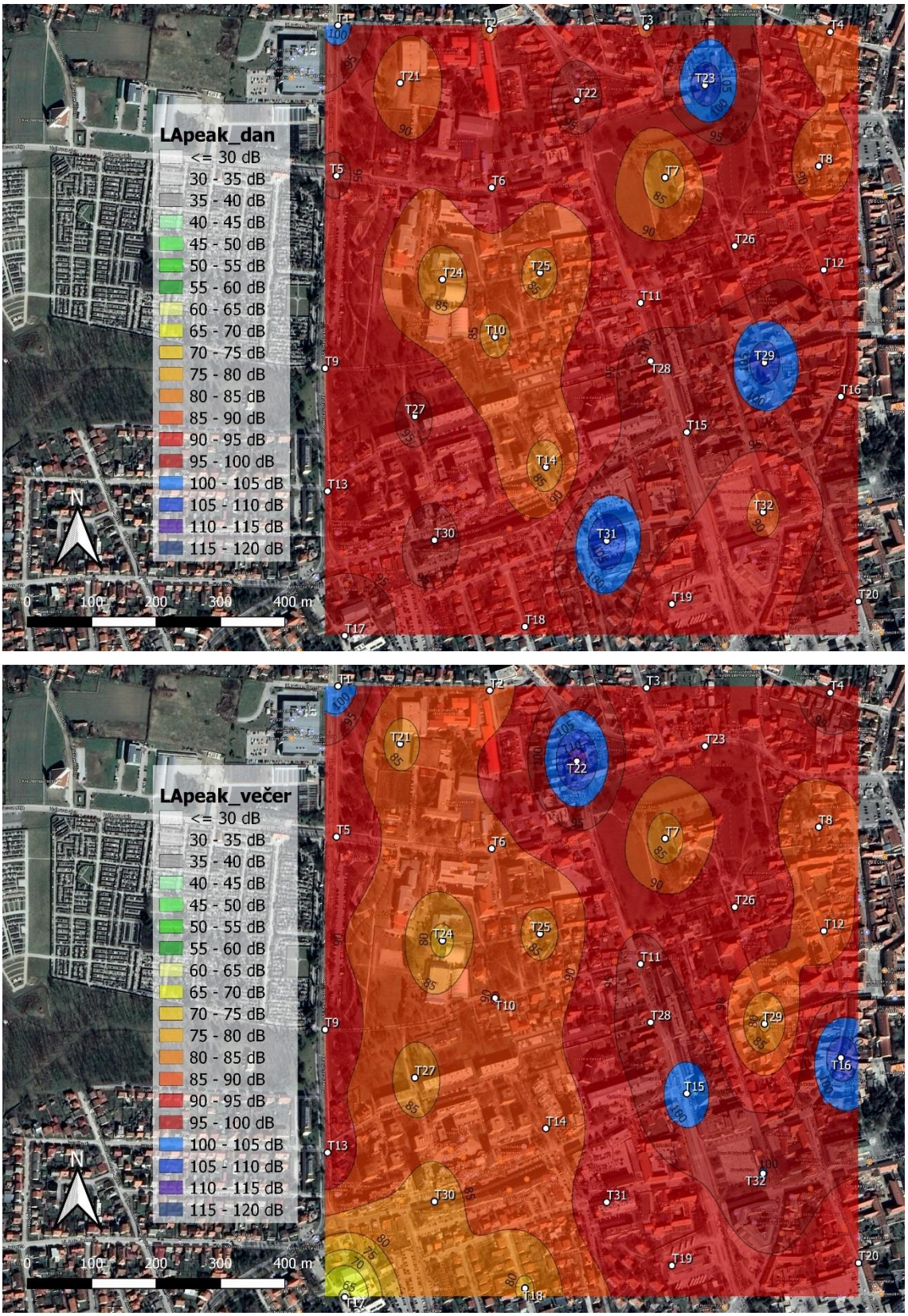
Prema Pravilniku o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova (NN 5/2007), karta buke je prikaz postojećeg i/ili predviđenog stanja imisije buke na promatranom području, koja je izražena harmoniziranim indikatorima buke: Lden, Lday, Levening i Lnight. Karte buke izrađuju se u cilju sprječavanja i snižavanja razine buke na otvorenom prostoru. Podaci koje najčešće može sadržavati su: prekoračenje propisanih dopuštenih vrijednosti, procijenjeni broj ljudi izloženih pojedinim razinama buke, procijenjeni broj stanova, škola, bolnica izloženih određenim vrijednostima indikatora buke u promatranom području (Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova). Navedeni podaci mogu se koristiti za razvoj modela koji se koriste u računalnim simulacijama, te pomažu u procjeni budućih razina buke.

6.1. Karta buke užeg područja grada Varaždina

Kako bi se dobila cjelovita slika, karta mora sadržavati što više mjernih točaka. Kvaliteta karata ovisi o broju i točnosti prikupljenih podataka. Za izradu karata buke na užem području grada Varaždina, provedena su 64 mjerenja. Na temelju prikupljenih podataka izrađene su karte buke za razdoblje dana i večeri. U svrhu izrade karata buke korišten je program QGIS, pri čemu je korištena metoda interpolacije inverzne udaljenosti (IDW). Tom se metodom podaci usrednjuju za vrijeme interpolacije tako da se utjecaj jedne točke na drugu relativno smanjuje s povećanjem udaljenosti od čvora (Franke, 1982). U program je potrebno uvesti GPS lokacije točaka, te parametar čiju je raspodjelu potrebno prikazati. Na taj način izrađene su karte na kojima su prikazane raspodjele ekvivalentnih razina buke (LAeq), (Slika 21), karte na kojima su prikazane zone jednakih maksimalnih razina buke (LApeak), (Slika 22), te karte najviših usrednjenih razina mjerenih u sporom kanalu (LASmax), (Slika 23). Istim postupkom izrađene su i karte raspodjele razina buke po određenim frekvencijama (Slike 24, 25, 26, 27, 28), pomoću kojih se detektiraju izvori buke na određenom području.



Slika 21. Karta buke - LAeq_dan (gore), karta buke – LAeq_večer (dolje)



Slika 22. Karta buke - LApeak_dan (gore), karta buke - LApeak_večer (dolje)



Slika 23. Karta buke - LASmax_dan (gore), karta buke - LASmax_večer (dolje)



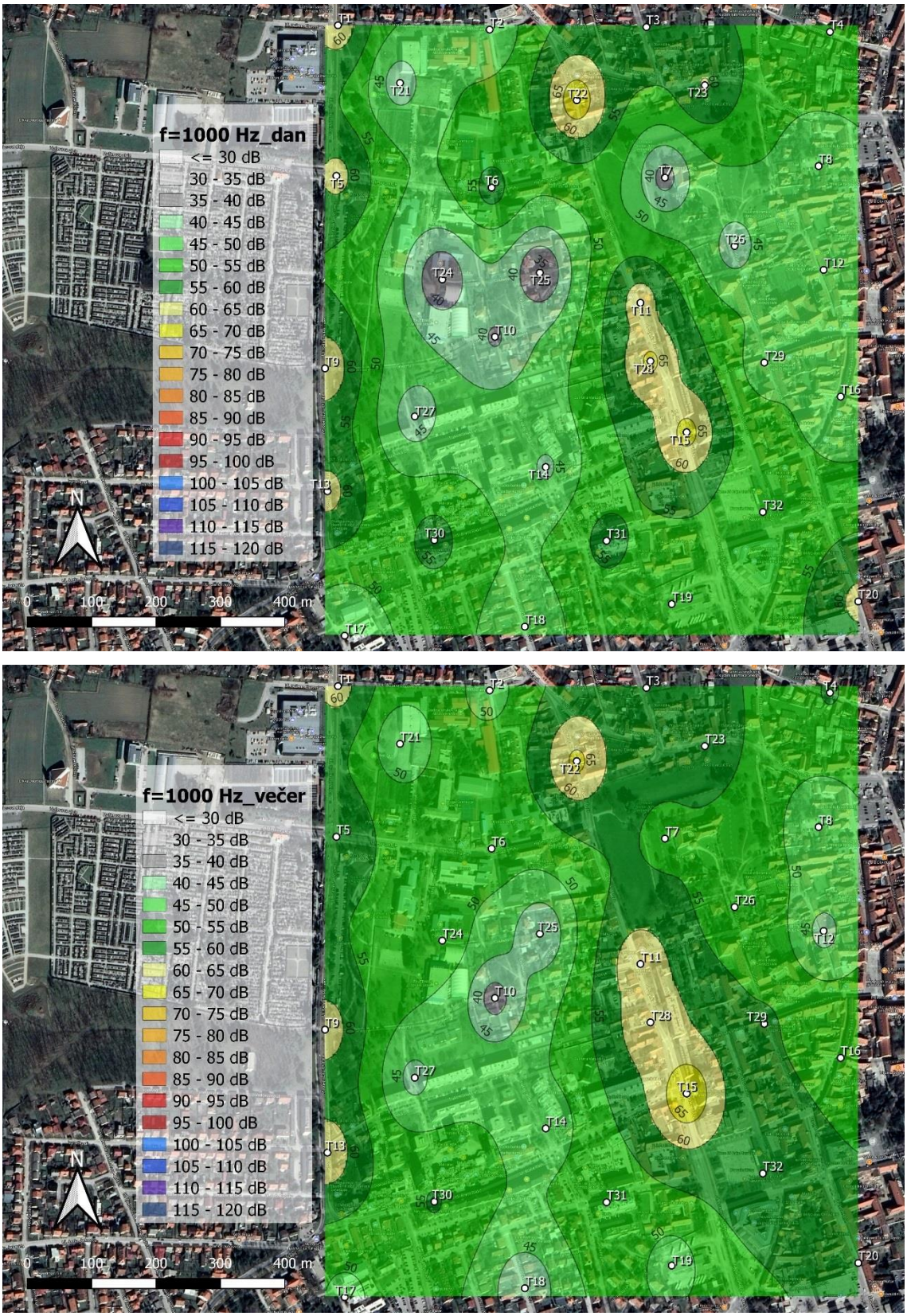
Slika 24. Karta buke – razina buke_dan, f = 35 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 35 Hz (dolje)



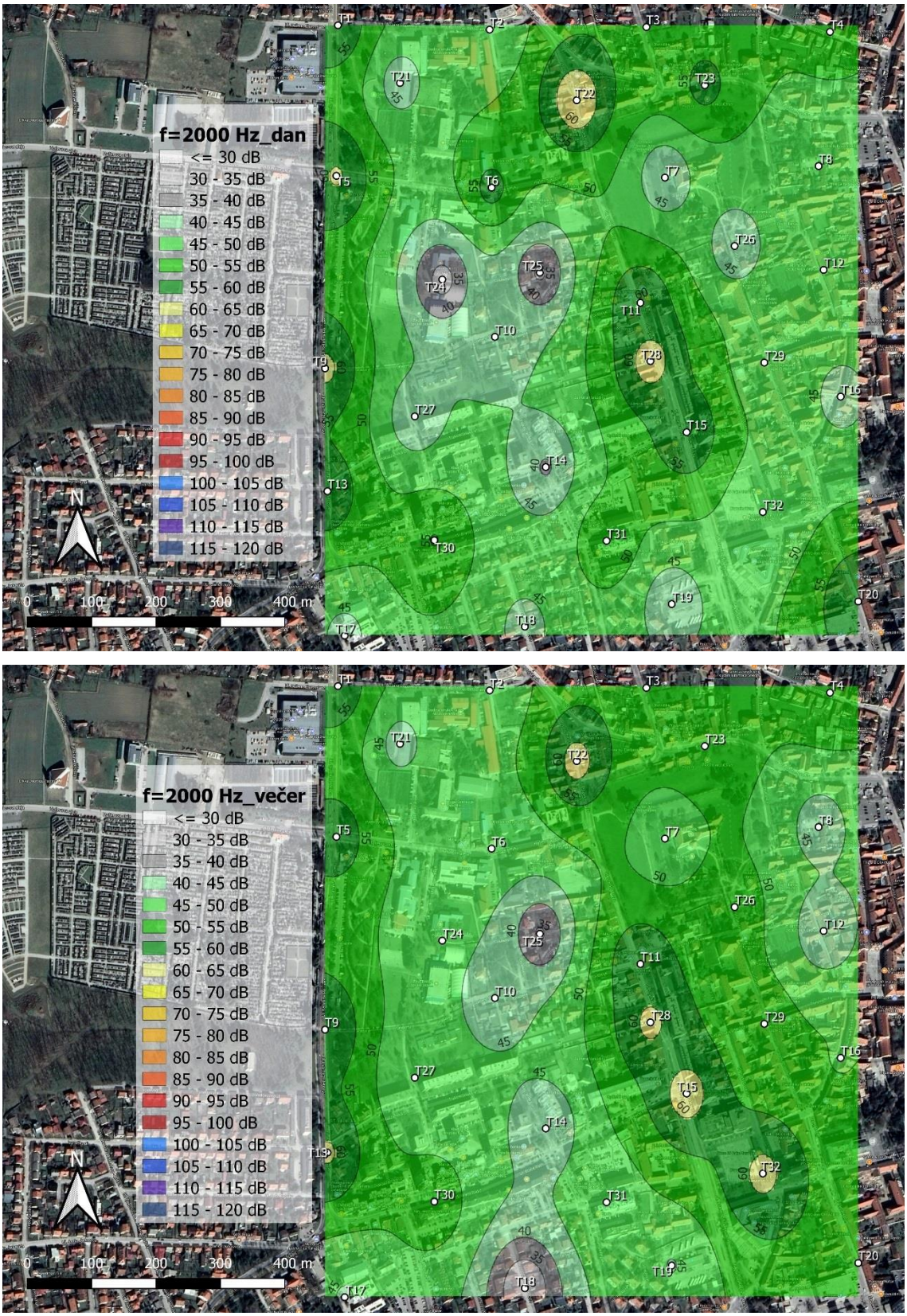
Slika 25. Karta buke - razina buke_dan, f = 125 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 125 Hz (dolje)



Slika 26. Karta buke - razina buke_dan, f = 500 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 500 Hz (dolje)



Slika 27. Karta buke - razina buke_dan, f = 1000 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 1000 Hz (dolje)



Slika 28. Karta buke - razina buke_dan, f = 2000 Hz (gore), karta buke - razina buke_dan, f = 2000 Hz (dolje)

Prema karti na kojoj su prikazane raspodjele ekvivalentnih razina buke (LAeq), za razdoblje dana, vidljivo je da se razina buke kreće u intervalu od 40 – 75 dB. Najmanje razine buke zabilježene su na području parka Graberje (T24, T25). Povišene razine buke od 60 - 75 dB izmjerene su duž prometnice u ulici Ratimira Hercega, za koju je karakterističan gusti promet (T5, T9, T13), te duž prometnice u ulici Stanka Vraza (T11, T15, T22, T28). U stambenim dijelovima grada razina buke se kreće oko 50 – 60 dB, te time ne prelazi dozvoljene vrijednosti. Na karti LAeq_večer razina buke kreće se u rasponu od 45 – 75 dB. Karta LAeq_večer prikazuje slične razine buke kao i karta LAeq_dan.

Prema karti LApeak_dan (zone maksimalnih izmjerenih razina buke) vidljivo je da su najviše vrijednosti u rasponu od 105 - 115 dB izmjerene na lokaciji T1, T23, T29 i T31, dok su za razdoblje večeri na lokaciji T1, T15 i T16. Dakle, najviše izmjerene razine buke nalaze na prometnicama i bučnim ulicama grada, dok najniže razine u mirnijim, stambenim dijelovima grada ne prelaze 90 dB, no te se razine (peakovi) pojavljuju vrlo rijetko u kratkim vremenskim intervalima što je posljedica glasnih uzvika, prolaska kamiona ili autobusa.

S obzirom da se razine buke na LApeak kartama pojavljuju vrlo kratko, za mjerenje maksimalnih razina buke koje ljudi „osjete“, vjerodostojnije su LASmax karte koje usrednjuju maksimalne intenzitete buke. Može se primijetiti da je raspodjela maksimalnih intenziteta buke na tim kartama slična raspodjeli intenziteta buke na LAeq kartama, no intenziteti su veći u prosjeku za 10 dB.

Na karti raspodjele intenziteta buke na frekvenciji 31,5 Hz vidljive su vrijednost od 50 – 80 dB. Niži intenziteti bili su uzrokovani laganim strujanjem vjetra, te prometom u daljini, dok su viši intenziteti prisutni uz same prometnice. Na karti raspodjele intenziteta buke na frekvenciji 125 Hz vidljive su vrijednosti od 45 – 80 dB, što odgovara raznim izvorima buke kao što je promet, razgovor, vjetar itd. Na kartama raspodjele intenziteta buke od 500 – 2000 Hz vrijednosti se kreću u rasponu od 30 – 70

Hz, te se primjećuje lagani pad razine buke s porastom frekvencije jer intenzivniji izvori buke (promet, razgovor) nisu dominantni na tim frekvencijama.

Dakle, iz karata raspodjele razina buke po određenim frekvencijama detektirani su izvori buke (automobili, kamioni, vjetar, razgovor), te je vidljiv pad razine buke s porastom frekvencije. Cestovni promet prepoznat je kao dominantan izvor buke. Iz ostalih karata vidljivo je da razina buke prelazi 60 tj. 70 dB u neposrednoj blizini glavnih prometnica te na mjestima pješačkih prijelaza, semafora, parkirališta i sl., budući da su to mjesta koja uvjetuju često zaustavljanje i naglo kretanje vozila pri čemu se javlja buka. Povećana razina buke vidljiva je duž prometnih ulica (ulica Stanka Vraza i ulica Ratimira Hercega). Kao posljedica izloženosti povećanim razinama buke, kod osoba se javlja umor, smanjena koncentracija i radna sposobnost, ometanje sporazumijevanja i dr. Ukoliko je osoba stalno izložena povećanim razinama buke, postoji opasnost od pojave depresije, artritisa, srčanog udara i drugih smetnji, što je moguće na mjestima, uz prometnice, na kojima su uočene povišene razine buke. U mirnijim područjima kao što su parkovi, razina buke nije prelazila 50 dB. Na području Varaždinske bolnice, izmjerene razine buke koje su iznosile oko 50 dB ne prelaze dopuštene razine, prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave (zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju).

Uspoređujući karte buke koje sam izradila, s kartom buke grada Varaždina koja je izrađena 2004. godine (Slika 29), vidljiva je sličnost, osobito promatrajući kartu LASmax_večer. Rezultati su potvrdili da je buka veća od dopuštene na niz mjesta u gradu, osobito uz važnija križanja ulica. Najviše razine buke izmjerene su uz prometnice, duž ulice Ratimira Hercega, Gustava Krkleca i Stanka Vraza. Također, izmjerene su i u Optujskoj ulici te ulici Vladimira Nazora gdje sam zabilježila najveće vrijednosti (peakove do 115 Hz).



Slika 29. Karta buke grada Varaždina izrađena 2004. godine (desno) (https://gis.varazdin.hr/gisgv2/index.jsp.) Karta buke LASmax_večer (lijevo)

7. ZAKLJUČAK

Cilj ovog rada bio je analizirati podatke prikupljene praćenjem buke okoliša na užem području grada Varaždina, izraditi karte buke, te na temelju dobivenih rezultata analizirati utjecaj buke na zdravlje stanovništva. Podaci su prikupljeni uređajem Larson Davis Model 831, dok su karte buke izrađene pomoću QGIS programa.

U prosjeku, ekvivalentna razina buke (Leq) preko dana i tijekom večeri iznosila je oko 58 dB, maksimalna razina buke (LApeak) oko 92 dB, dok je usrednjena razina buke mjerena u sporom kanalu (LASmax) iznosila oko 71,4 dB. U stambenim dijelovima grada razina buke se kreće oko 50 – 60 dB, te time ne prelazi dozvoljene vrijednosti. Pomoću karata raspodjele razina buke po određenim frekvencijama detektirani su izvori buke na određenom području (truba automobila, rad motora, vjetar, razgovor), te je kao dominantan izvor buke prepoznat cestovni promet. Iz ostalih karata vidljivo je da razina buke prelazi 60, odnosno 70 dB uglavnom u neposrednoj blizini glavnih prometnica, te općenito na mjestima gdje se nalaze pješački prijelazi, semafori, parkirališta i sl., koji uvjetuju često zaustavljanje i naglo kretanje vozila pri čemu se javlja buka. Povećana razina buke uočena je duž ulice Stanka Vraza i ulice Ratimira Hercega. Na području Varaždinske bolnice (zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju), prema Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, izmjerene razine buke, oko 50 dB ne prelaze dopuštene razine.

Na pojedinim lokacijama gdje je izmjerena razina buke veća od dopuštenih razina, propisanih Pravilnikom o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, može se zaključiti da buka smanjuje kvalitetu života te izaziva mnoge neželjene učinke na zdravlje stanovništva. Kao posljedica toga javlja se umor, smanjena koncentracija i radna sposobnost, ometanje sporazumijevanja i sl. Ukoliko je osoba dugotrajno izložena buci, na mjestima na kojima je razina buke iznosila preko 70 dB može se javiti opasnost od pojave depresije, artritisa, srčanog udara i drugih smetnji. Na mjestima na kojima je razina buke iznosila više od dopuštene, potrebno je poduzeti mjere za smanjenje, poput ograničavanja brzine vozila, kako bi se u konačnici smanjio utjecaj buke na zdravlje stanovništva.

Uspoređujući karte buke koje sam izradila, s kartom buke grada Varaždina koja je izrađena 2004. godine, uočena je sličnost te su rezultati potvrdili da je buka veća od dopuštene na niz mjesta u gradu.

Međutim, kako bi se dobio širi uvid u kompletnu situaciju, potrebna su dodatna mjerenja razine buke, te je u obzir potrebno uzeti više parametara kao što su podaci o prometu, namjeni prostora, meteorološki podaci i dr.

8. LITERATURA

Bies, D. i Hansen, C. (2018). *Engineering Noise Control.* [Online]. Dostupno na: http://healthf.kaums.ac.ir/uploadedfiles/jozveh/motalebi/engineeringnoisecontroltheoryandpractice.pdf [6.4.2018].

Franke, R. (1982), Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods, Mathematics of Computations, pp. 181-200.

Golubić, J. (1999). *Promet i okoliš*. Zagreb.

Golubović - Bugarski, V. (2010). *Buka i vibracije (skripta - izvodi predavanja).* [Online]. Dostupno na:http://mf.unibl.org/upload/documents/Dokumenti [6.4.2018].

Gracey, B. (2018). *Acoustic Glossary : L - Definitions, Terms, Units, Measurements. Acoustic-glossary.co.uk.* [Online]. Dostupno na: http://www.acoustic-glossary.co.uk/definitions-l.htm [3.4.2018].

Jacobsen, F., Poulsen, T., Rindel, J., Gade, A. and Ohlrich, M. (2011). *Fundamentals of acoustics and noise control.* [Online], Dostupno na: https://www.researchgate.net/profile/Jens_Rindel/publication/292150038_Fundamentals_of_Acoustics_and_Noise_Control/links [18.4.2018].

Jambrošić, K. (2014). *Zvuk i okoliš, 1. osnove zvuka.* [Online]. Dostupno na: https://www.scribd.com/doc/236978264/ZIO-01-Osnove-zvuka-2012 [20.4. 2018].

Jambrošić, K. (2014). *Zvuk i okoliš, 2. analiza zvuka.* [Online] Dostupno na: http://www.zmz.hr/download/analiza-zvuka.pdf [20.4. 2018].

Klančnik, M (2014). *Utjecaj buke na zdravlje i radnu sposobnost*. Dostupno na: https://bib.irb.hr/datoteka/739938.Dr_Klancnik_Marisa_buka_popularni.pdf [Datum pristupa: 3.4.2018].

Lakušić, S., Dragčević, V. i Rukavina, T. (2005). Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama. *Građevinar 57 (2005) 1, pp. 1-9*.

Larsondavis.com. (2017). *Advanced Sound Level Meter for Architectural, Environmental & Product Noise Analysis*. [Online]. Dostupno na: http://www.larsondavis.com/ContentStore/mktg/LD_Brochures/LD_831_Lowres.pdf [6.4.2018].

Nadilo, B. (2013). Definiranje i zakonsko određivanje buke; Mnogo nepreciznosti i nejasnoća. *Građevinar* 65 (2013) 9.

Pljakić, M., Radičević, B., Tomić, J. i Petrović, Z. (2012). *Analysis of systematic measurements of noise in cities.* [Online]. Dostupno na: http://www.mfkv.kg.ac.rs/urbanoise/media/1210_Nis__Pljakic_59-62.pdf [10.4.2018].

Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova. (2007). Narodne novine. Broj 274. [12.1.2007.]

Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave. (2004). Narodne novine. Broj 145. [19.10.2004.]

Resanović, B., Vranjković, M. i Orsag, Z. (2013). *Buka okoliša – javnozdravstveni problem (Noise from the Environment – A Public Health Problem).* [Online]. Dostupno na: https://www.hcjz.hr/index.php/hcjz/article/viewFile/2001/1977 [6.4.2018].

Shadrach Tunde, A. i Kolawole, P. (2015). A Survey of Noise Pollution in Ado-Ekiti Metropolis Using Mobile Phone. *Natural Science*, 7, pp. 475-482.

Štimac, A., Mandžuka, F. i Mučnjak, J. (2005). TRANSPOSITION OF THE END IN CROATIA: TRAFFIC NOISE MAP OF THE CITY OF VARAŽDIN. Texasgateway.org. (2018). *14.1 Speed of Sound, Frequency, and Wavelength*. [Online]. Dostupno na: https://www.texasgateway.org/resource [9.4.2018].

Zakon o zaštiti od buke. (2009). Narodne novine. Broj 648. [9.3.2009.]

Popis slika

Slika 1. Izvori buke (http://www.pcwerth.co.uk/wp-content/uploads/2014/02/Noise-sources3.jpg) 1
Slika 2. Longitudinalni (gore) i transverzalni val (dolje) (https://byjus.com/physics/types-of-waves/) 3
Slika 3. Primjer sinusoidalnog, čistog signala (gore) i šuma (dolje) 4
Slika 4. Vrste zvučnih izvora (Jambrošić, 2014). 5
Slika 5. Refleksija ravnog i kuglastog vala (Jambrošić, 2014) 5
Slika 6. Difuzija (Jambrošić, 2014.) 6
Slika 7. Ogib zvučnog vala pri nailasku na barijeru (Jambrošić, 2014) 6
Slika 8. Uvijanje zvučnog vala (Jambrošić, 2014) 7
Slika 9. Frekvencijsko područje različitih izvora zvuka (http://walterhutskyjr.com/wp-content/uploads/2014/09/soundchart.jpg) 9
Slika 10. Čujno područje (Golubović - Bugarski, 2010) 10
Slika 11. Izofone krivulje (http://www.daviddarling.info/images_music/Fletcher-Munson_curve.jpg) 11
Slika 12. Uređaj Larson Davis Model 831 (Larsondavis.com 2017) 22
Slika 13. Karta s odabranim lokacijama mjerenja buke 26
Slika 14. Prikupljeni podaci, sortirani u Microsoft Office Excelu 28
Slika 15. Ulica Stanka Vraza – izmjerena najviša ekvivalentna razina buke LAeq 29
Slika 16. Područje Varaždinske bolnice - izmjerena najniža razina LApeak 30
Slika 17. Dvorana srednje Strukovne škole Varaždin - izmjerena najniža vrijednost LASmax 30
Slika 18. Prikupljene frekvencije sortirane u Microsoft Office Excelu 31
Slika 19. Razina buke na lokaciji 1 32
Slika 20. Razina buke na lokaciji 7 32
Slika 21. Karta buke - LAeq_dan (gore), karta buke – LAeq_večer (dolje) 34
Slika 22. Karta buke - LApeak_dan (gore), karta buke - LApeak_večer (dolje) 35
Slika 23. Karta buke - LASmax_dan (gore), karta buke - LASmax_večer (dolje) 36
Slika 24. Karta buke – razina buke_dan, f = 35 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 35 Hz (dolje) 37
Slika 25. Karta buke - razina buke_dan, f = 125 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 125 Hz (dolje) 38

Slika 26. Karta buke - razina buke_dan, f = 500 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 500 Hz (dolje) 39
Slika 27. Karta buke - razina buke_dan, f = 1000 Hz (gore), karta buke - razina buke_večer, f = 1000 Hz (dolje) 40
Slika 28. Karta buke - razina buke_dan, f = 2000 Hz (gore), karta buke - razina buke_dan, f = 2000 Hz (dolje) 41
Slika 29. Karta buke grada Varaždina izrađena 2004. godine (desno) (https://gis.varazdin.hr/gisgv2/index.jsp.) Karta buke LASmax_večer (lijevo)……44

Popis tablica

Tablica 1. Brzina zvuka u različitim medijima (Texasgateway.org, 2018) 8
Tablica 2. Zvukovi iz okoliša i pripadajuće razine zvuka (Resanović i sur., 2013) 12
Tablica 3. Najviše dopuštene ekvivalentne razine buke LAeq na radnom mjestu (Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave) 18
Tablica 4. Najviše dopuštene ocjenske ekvivalentne razine buke LAeq imisije na otvorenom prostoru (Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave) 19
Tablica 5. Kratice vezane uz zvuk (Gracey, 2018) 24
Tablica 6. Lokacije mjerenja buke 26