

Noise as an Indicator of Residential Areas' Quality in the Municipality of Velenje, Slovenia

Natalija ŠPEH¹ and Blaž BARBORIČ²

¹ Assist. Prof. Dr., Visoka šola za varstvo okolja, Trg mladosti 7, SI-3320 Velenje, Slovenia
natalija.speh@vsvo.si

² Visoka šola za varstvo okolja / Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenia

Abstract: Noise has been recognized as the air pollutant since it affects the environmental quality. Its effect depends on its level; it may be slightly uncomfortable or so annoying that hinder our business or in extreme cases dangerous to health. The project was focussed on measurements required to produce professional bases, in order to assess degree of exposure of individual sites (and their population) to different sources of noise to prepare an exact spatial presentation and a set of the most urgent and effective remedial action. The results of the study will also be used for: a) establishing anti-noise measures and b) the findings of the study and the data acquired will supplement cartographic base and conditions for land use (Municipal Spatial Plan) and determine the level of protection against noise, thus allowing more simple and authentic issuing of permits to applicants for further spatial use in the researched areas. The Inverse Distance Weighted (IDW) Method enabled a presentation of the measured noise values. The results of this study will serve as a starting point for identification of critical areas with excessive noise level and to determine corrective action.

Keywords: noise, air quality indicator, residential area quality, IDW method, Slovenia

1 Introduction

Preliminary a survey research was made. The area of the research was Velenje Municipality in general since the project was motivated by the Municipal Spatial Plan actions. The public opinion survey did not underline noise as the most annoying landscape element. Other environmental indicators were more exposed, e.g. odours and exhaust. Since the survey results are of subjective character they can still be used as a complementary data for the empirical part of research.

Further noise monitoring upgraded the public opinion survey, focussed to the areas, where inhabitants did use to complain about the noise problems connected to the following sources: traffic (35.5 %), street noise in block apartments' quarts (20.1 %) and even 18.3 % of the asked people complained about the neighbours. Of course the survey present the subjective but

up to date moment of the research (Final Report, 2010).

Environmental noise has become a major issue in densely urbanized areas. The impact of this externality on the quality of life is reflected by a decrease in the residents' well-being and subsequently a decrease in property values. A considerable number of studies have used hedonic pricing (HP was not used in the discussed case, structured on the in situ measurements) to assess the impact of noise on property markets, but few of them have considered the existence of submarkets. Theoretically, it could be expected that the marginal value of 1 dB varies according to the neighbourhood's noise exposure, the property characteristics (e.g. insulation level) and the annoyance experienced by residents. The noise measuring could be used to determine whether noise has a stationary impact on property prices (Duarte, Tamez, 2009).

Buka kao pokazatelj kvalitete područja stanovanja u općini Velenje u Sloveniji

Natalija ŠPEH¹ i Blaž BARBORIČ²

¹ Doc. dr., Visoka škola za varstvo okolja, Trg mladosti 7, SI-3320 Velenje, Slovenia
natalija.speh@vsvo.si

² Visoka škola za varstvo okolja / Geodetski inštitut Slovenije, Jamova cesta 2, SI-1000 Ljubljana, Slovenija

Sažetak: Buka je prepoznata kao zagađivač zraka jer utječe na kvalitetu okoliša. Utjecaj buke ovisi o njezinoj razini; može biti malo neprijatna ili toliko neugodna da ometa naše poslovanje ili je čak opasna po zdravlje. Projekt je usmjeren na mjerenja potrebna za stručni temelj za procjenu stupnja izloženosti pojedinih lokacija (i njihovog stanovništva) različitim izvorima buke kako bi se pripremilo točno prostorno prikazivanje i skup najhitnijih i najučinkovitijih popravnih mjera. Rezultati istraživanja upotrijebit će se za: a) uspostavljanje mjera protiv buke i b) dopunjavanje kartografskog temelja i uvjeta za upotrebu zemljišta (općinski prostorni plan) i utvrđivanje razine zaštite od buke, što će omogućiti jednostavnije i autentičnije izdavanje dozvola za daljnju upotrebu prostora u istraživanim područjima. Metoda recipročnih udaljenosti s težinama (Inverse Distance Weighted Method) omogućila je prikazivanje izmjerenih vrijednosti buke. Rezultati tog istraživanja poslužit će kao početna točka za utvrđivanje kritičnih područja s prekomjernom razinom buke i određivanje mjera za popravljivanje stanja.

Ključne riječi: buka, pokazatelj kvalitete zraka, kvaliteta područja stanovanja, metoda recipročnih udaljesnoti s težinama, Slovenija

1. Uvod

Provedena je preliminarna anketa. Područje istraživanja bila je općina Velenje jer su projekt pokrenule radnje Općinskog prostornog plana. Javno mnijenje nije istaknulo buku kao najneugodniji element okoliša. Više su istaknuli drugi okolišni pokazatelji, poput smrada i ispušnih plinova. Iako su rezultati ankete subjektivnoga karaktera, može ih se upotrijebiti kao dodatni izvor podataka za empirijski dio istraživanja.

Dodatni nadzor buke unaprijedio je anketno istraživanje u područjima u kojima su se stanovnici žalili na probleme sa sljedećim izvorima buke: promet (35,5%), ulična buka u četvrtima s blokovima stanova (20,1%) te se čak 18,3% anketiranih osoba žalilo na buku susjeda. Naravno, rezultati ankete su subjektivni, ali ažurni (Final Report, 2010).

Buka u okolišu postala je velik problem u gusto naseljenim gradskim područjima. Njezin utjecaj na kvalitetu života vidljiv je iz smanjenog blagostanja stanovnika te pada

vrijednosti nekretnina. Značajan broj istraživanja primijenio je hedonističko određivanje cijena (nije upotrebjeno u ovom slučaju, koje se sastoji od mjerenja in situ) kako bi se odredio utjecaj buke na tržište nekretnina, no dio njih razmatrao je postojanje podržišta. U teoriji, može se očekivati da marginalna vrijednost od 1 dB ovisi o izloženosti buci susjeda, svojstvima nekretnine (npr. razini izolacije) te neugodi stanovnika. Mjerenjem buke može se utvrditi utječe li ona na cijenu nekretnina (Duarte, Tamez, 2009).

Imisija buke uvelike ovisi o mikrolokacijama. Posebnost buke kao nepoželjne pojave je brzina njezine promjenjivosti u prostoru i vremenu. Zbog toga se zagađenje bukom može prikazati samo kao procjena njezine rasprostranjenosti (Cigale, Lampič, 2002).

2. Područje istraživanja

Istraživanje je potaknuto državnim propisima koji se odnose na prostorno planiranje lokalnih zajednica. Kao

Table 1. Limit values for specific noise protection areas (after Official Journal of the Republic of Slovenia, No. 105/2005)**Tablica 1.** Granične vrijednosti za određena područja zaštićena od buke (prema Official Journal of the Republic of Slovenia, br. 105/2005)

Area Područje	Noise level dB/Daytime Razina buke (dB)/po danu	Noise level dB/Night Time Razina buke (dB)/po noći
i) residential areas / područja stanovanja	< 50	< 40
ii) areas with national parks, hospitals/ područja s nacionalnim parkovima, bolnicama	< 55	< 45
iii) mixed business-trade-residential areas / poslovno-tržišno-stambena područja	< 60	< 50
iv) industrial, commercial parks / industrijska, komercijalna područja	< 75	< 65

Table 2 Average annual daily traffic (Source: URL 2)**Tablica 2.** Prosječan dnevni promet (izvor: URL 2)

Year/area Godina/područje	Researched area a) Područje istraživanja a)	Ljubljana southern bypass Južna ljubljanska obilaznica	Ljubljana northern bypass Sjeverna ljubljanska obilaznica
2005	8228	17 225	30 000
2007	9076	18 120	37 900
2008	9168	18 536	50 500
I _{2008/2005}	111.4	107.6	168.3

Noise immissions are highly dependent on micro-locations. Noise speciality as undesirable phenomenon in the environment is its rapid variability in time and space. That is why noise pollution could be presented only by estimation of its prevalence and distribution (Cigale, Lampič, 2002).

2 Area of the Research

The research was encouraged by the national regulations concerning the spatial planning in local communities. Consequently the level of the protection from noise should be determined as the expert base for the sanitation of the overburdened areas. Slovene Regulation on limit values of indicators of environmental noise (No. 105/2005) established four areas where noise should be discussed (measured and limited) separately regarding the activities taken there: i) residential areas, ii) areas with national parks, hospitals, iii) mixed business-trade-residential areas and iv) industrial, commercial parks. Strategic noise map and Action plans were set as an obligation for areas with over 250 000 inhabitants, roads with over 6 mio transits annually, railways with

over 60 000 train passages per year and major airports.

During fieldwork three residential areas (category i) pretty burdened with mostly local traffic were researched (Fig. 1): a) the middle circle indicates regional state road, heavy burdened with freight and passenger traffic in transit to Austria. It performs lack of motorway provision in the northeast part of Slovenia; b) most northern research area was selected due to establishment of the state road impact in the higher situated, residential area with local transport. The third, most southern area belongs to the local road surroundings with suspected decrease of traffic noise with increased altitude (c).

Regarding the Slovene Regulation on limit values of indicators of environmental noise (No. 105/2005) the data of traffic burdens was available only for the area a) with regional importance in national road net. Areas b) and c) are categorized only as local lines.

Since the area a) the middle circle, where heavy freight and passenger traffic in transit to Austria influences the surrounding residential area, belongs to regional state road system, the data on average annual daily traffic is publicly accessible (URL 2). For an objective assessment of

posljedicu toga potrebno je odrediti razinu zaštite od buke kao stručni temelj za saniranje preopterećenih područja. Slovenski propisi o graničnim vrijednostima pokazatelja buke u okolišu (No. 105/2005) određuju četiri područja u kojima se buka treba mjeriti i ograničavati: i) područja stanovanja, ii) područja s nacionalnim parkovima, bolnicama, iii) poslovno-tržišno-stambena područja te iv) industrijska, komercijalna područja. Strateška karta buke i akcijski planovi određeni su kao obvezni za područja s više od 250 000 stanovnika, ceste s više od 6 milijuna prijelaza godišnje, željezničke pruge s više od 60 000 prijelaza godišnje te veće zračne luke.

Terenskim radom obuhvaćena su tri područja stanovanja (kategorija i) koja su prilično opterećena uglavnom lokalnim prometom (sl. 1): a) središnji krug pokazuje regionalnu državnu cestu, koja je opterećena teretnim i putničkim prijevozom prema Austriji. Ona pokazuje nedostatak autocesta u sjeveroistočnom dijelu Slovenije, b) većina sjevernog područja istraživanja izabrana je zbog utjecaja državne ceste u području stanovanja bogatijeg stanovništva s lokalnim prijevozom. Treće i najjužnije područje pripada okolini lokalnih cesta s predviđenim smanjivanjem buke s povećanjem nadmorske visine (c).

Prema slovenskom propisu o graničnim vrijednostima pokazatelja buke u okolišu (No. 105/2005), podaci o prometnoj opterećenosti bili su dostupni samo za područje a)

s regionalnim značajem unutar mreže državnih cesta. Područja b) i c) kategorizirana su samo kao lokalne linije.

Budući da područje a) (središnji krug), u kojem teretni i putnički prijevoz prema Austriji utječe na okolna područja stanovanja pripada sustavu regionalnih državnih cesta, dostupni su podaci o prosječnom dnevnom prometu (URL 2). Kako bi procjena cesta opterećenih prometom bila objektivna, dodali smo rezultate dviju najopterećenijih državnih cesta blizu glavnoga grada Ljubljane.

Podaci su pokazali da je područje istraživanja mnogo manje zagađeno bukom. U usporedbi s prosječnim dnevnim podacima za 2005., južna ljubljanska obilaznica bila je dva puta opterećenija, a sjeverna ljubljanska obilaznica gotovo četiri puta opterećenija nego područje a).

Podaci pokazuju povećanje prometa. Uveli smo pokazatelj promjene prometa. Najveća promjena dogodila se na sjevernoj ljubljanskoj obilaznici ($I_{2008/2005}=168,3$), promet u našem području istraživanja također je povećan za indeks 111,4. Najmanje je povećanje zabilježeno na južnoj ljubljanskoj obilaznici ($I_{2008/2005}=107,6$).

3. Metodologija

Osnovni principi Propisa o buci u okolišu (EC/2002) slični su onima koji se odnose na druge sveobuhvatne



Figure 1 The researched areas allocation (Source: The Surveying and Mapping Authority of the Republic of Slovenia; Final Report 2010)

Slika 1. Istraživana područja (izvor: Državna geodetska uprava Republike Slovenije; Final report 2010)

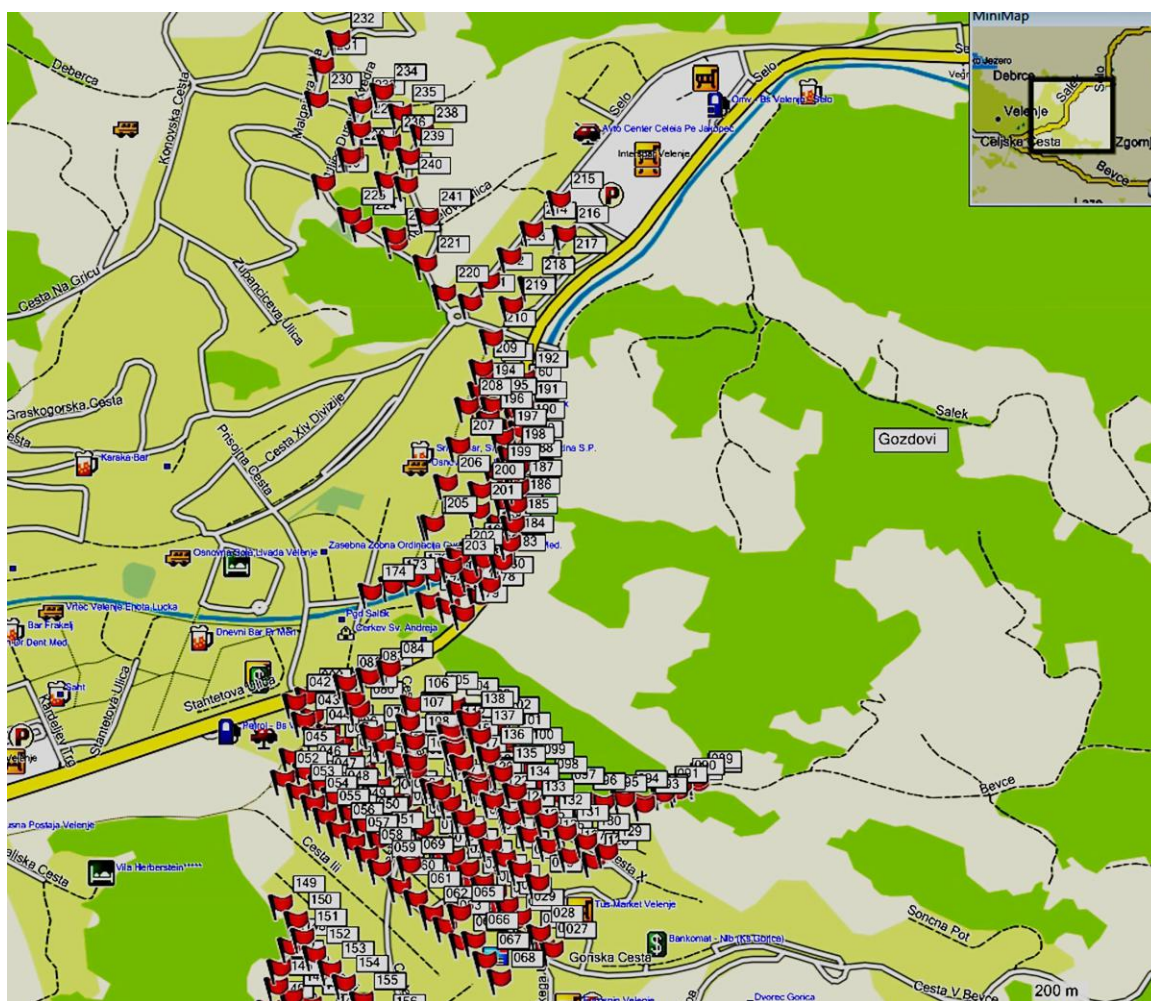


Figure 2. The measuring points net

Slika 2. Mreža mjerenih točaka

traffic burdened roads we added the results of the two heaviest burdened state roads near the capital of Ljubljana.

The data introduced our researched area as much less noise polluted. Comparison for year 2005 of the average annual daily traffic data established, that Ljubljana southern bypass was twice more burdened whereas Ljubljana northern bypass was almost four times more traffic than the discussed area a).

The data shows increasing of the traffic. As an indicator to find out how the traffic changed we put index. The highest increase occurred at Ljubljana northern bypass ($I_{2008/2005}=168.3$), the traffic at our researched area also increased by index 111.4. The least increase of traffic burden was evidenced at Ljubljana southern bypass ($I_{2008/2005}=107.6$).

3 Methodology

The underlying principles of the Environmental Noise Directive (EC/2002) are similar to those underpinning

other overarching environment policies (such as air or waste). In terms of monitoring the environmental problem the competent authorities are required to draw up "strategic noise maps" for major roads, railways, airports and agglomerations, using harmonised noise indicators L_{den} (day-evening-night equivalent level) and L_{night} (night equivalent level). These maps are a tool for assessing the number of people annoyed and sleep-disturbed respectively throughout Europe (80 mio EU citizens are supposed to be exposed to excessive noise level).

The usual approach to noise level decreasing, which we also used, is to track the next steps:

- 1) Recognition of the problematic areas; measurements and public opinion survey combined into noise maps; further systematic monitoring would be very welcome at sites where exceeded values show up;
- 2) Measures' proposal for sanitation (decrease) of noise level; measures should be re-evaluated at declared periods to prove the real improvement of the environmental quality state;

propise o okolišu (poput onih koji se odnose na zrak ili otpad). Kad je riječ o nadziranju problema u okolišu, nadležne ustanove trebaju proizvesti "strateške karte buke" za glavne ceste, željezničke pruge, zračne luke i aglomeracije upotrebom usklađenih pokazatelja buke L_{den} (razina koja odgovara danu-večeri-noći) i L_{night} (razina koja odgovara noći). Te su karte alat za procjenu broja ljudi koje buka smeta ili budi iz sna diljem Europe (procjenjuje se da je 80 milijuna građana Europske unije izloženo prekomjernoj razini buke).

Uobičajeni pristup smanjivanju razine buke, koji smo i mi primijenili, sastoji se od sljedećih koraka:

- 1) prepoznavanje problematičnih područja, mjerenje i anketiranje rezultiraju kartama buke; daljnje sustavno nadziranje bilo bi dobrodošlo na područjima na kojima se pojavljuju prekomjerne vrijednosti buke
- 2) prijedlog mjera za saniranje (smanjivanje) razine buke; mjere treba ocijeniti u određenim periodima kako bi se dokazalo stvarno poboljšanje stanja kvalitete okoliša
- 3) treba primijeniti nove aktivnosti/intervencije i podržati ih stavovima stručnjaka.

Naša je metodologija slijedila predložene korake, a istraživanje se sastojalo od:

- utvrđivanja položaja GPS-om
- mjerenja mjeračem tlaka zraka na terenu
- konačno, metodom recipročnih udaljenosti s težinama interpolirali smo izmjerene vrijednosti.

Metoda recipročnih udaljenosti s težinama

Svaka metoda interpolacije procjenjuje vrijednosti mjerenja na izabranim položajima koji se nalaze između položajima s poznatom vrijednošću. Kvaliteta površine aproksimiranog modela ovisi o mjerenju koje se interpolira, raspodjeli uzorkovanih točaka i odabranoj metodi interpolacije. Što je gušća i homogenija raspodjela danih točaka, to je rezultat vjerodostojniji. Metoda recipročnih udaljenosti s težinama pretpostavlja da svaka dana točka ima lokalni utjecaj, koji se smanjuje recipročno s udaljenosti od interpolirane točke. Točke bliže interpoliranoj točki imaju veću težinu od onih koje su udaljenije. Ta metoda procjenjuje vrijednost sjecišta dvaju profila mreže stanica računajući prosječnu vrijednost danih točaka blizu svakog sjecišta.

Table 3. Comparison of Noise Level Measured with Recommended Noise Level Standards and Guidelines by WHO and Other Selected Countries for built areas (Ramdzani et al., 2010; The Environmental Noise Directive (2002/49/EC)); noise is caused by road, traffic or railway

Tablica 3. Usporedba izmjerene razine buke s razinom buke preporučenom prema Svjetskoj zdravstvenoj organizaciji i drugim odabranim zemljama za izgrađena područja (Ramdzani i dr., 2010; Propis o buci okolišu (2002/49/EC)); buku uzrokuju ceste, promet i željezničke pruge

Selected Noise Level Standards Odabrani standard razine buke	Noise level dB/Daytime Razina buke (dB)/po danu	Noise level dB/Night Time Razina buke (dB)/po noći
WHO recommended Health Criteria / Zdravstveni kriterij Sv. zdravstvene organizacije	55	45
Germany (Noise Level Guidelines)/ Njemačka (Smjernice za razinu buke)	45	35
Australia (Recommended Outdoor Background Noise Level) / Australija (Predložena razina pozadinske buke za vanjske prostore)	45	35
Japan (Environmental Quality Standards) / Japan (Standardi kvalitete okoliša)	45	35
EU (most vulnerable area of noise protection) / Europska unija (najranjivije područje zaštite od buke)	55	45

Table 4 Noise measurements 2012 (in dB)

Tablica 4. Mjerenje buke u 2012. (u dB)

Median / Medijan	53,2
Average / Prosječna vrijednost	57,8
Max / Najveća vrijednost	78,6

Table 5 Noise measurements 2013 (in dB)

Tablica 5. Mjerenje buke u 2013. (u dB)

Median / Medijan	57,15
Average / Prosječna vrijednost	58,34
Max / Najveća vrijednost	78,1

3) New activities/interventions should be placed in the space and supported by additional expert attitude.

Our methodology of work followed the recommended steps. We included in our research activities as follows:

- Firstly, we use GPS for accurate determination of locations;
- Field measurements were carried out with air pressure gauge;
- Finally, the method of inverse spacer weights (IDW – inverse distance weighted) – was used for the point interpolation of measuring points.

Inverse Distance Weighted Method

Each method of interpolation determines or estimates value of the measurements at selected locations which lie between locations with a known monitored value. Quality of approximated model surface depends on the measurement that is interpolated, the allocation (distribution) of sample points and chosen interpolation method. In principle, the denser and more homogeneous distribution of the given points leads to a credible result.

The method of inverse distance weights (IDW) assumes that any given sample point has its local impact, which decreases with the inverse potency of the distance from the interpolated point. Points closer to the interpolated point are weighted (influential) more than more distant ones. IDW method assesses the value of the intersection of the two profiles of the cellular network by calculating the average value of the given sample points near each intersection. This approach thus allows a greater impact of closer points than more distant ones. The method is applicable in cases where the influence of the studied variables decreases with the distance from the sample locations. For example, the interpolation of point location of pollutants, the concentration decreases with distance from the location of contaminants and the use of this method is logical. The disadvantage of this method is that the approximated surface can reach local extremes (minima and maxima) only in the given point, which does not reflect the situation in nature. IDW method is suitable for the preview of the approximated surface (Bartier, 1996).

Regulation on limit values of indicators of environmental noise provides special limit values of noise caused by the traffic (Official Journal of the Republic of Slovenia No. 105/2005). Limits are prescribed for:

- A) Resident area: 60 dB (day value), 6:00 a.m. to 6:00 p.m.;
- B) Mixed land use: residential area, public infrastructure: 65 dB (day), 6:00 a.m. to 6:00 p.m.

4 Results and Discussion

Further on we collected the guidelines for limiting sound level, connected to traffic infrastructure and compare them between World Health Organization and countries from different world's areas. EU directly follows the WHO (45 dB) noise level standards while other countries have more strict night allowed value of noise. It is the same situation concerning the daytime noise level (55 dB is EU and WHO standard, other countries are more rigorous with 45 dB).

Preliminary public opinion survey established noise as an annoying or disturbing environmental factor for the majority of respondents (score 3 on a scale of 1–4), but it is necessary to take into account that the human perception of noise is highly subjective.

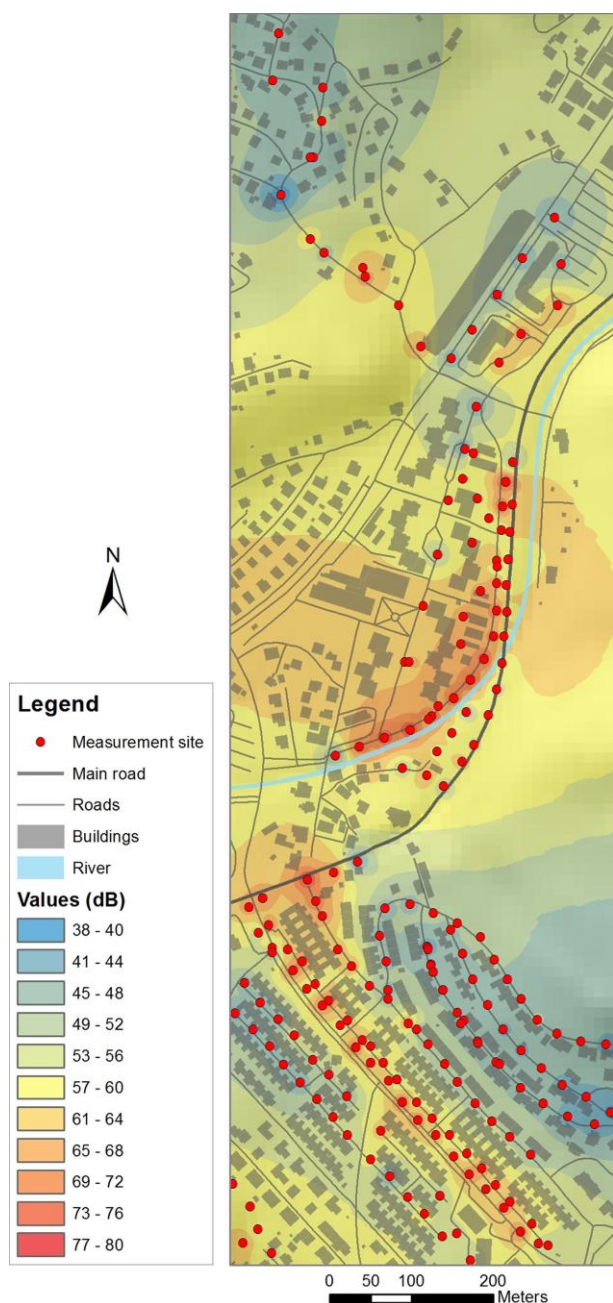
The results of survey surprised; we supposed that noise was the main disturbing factor but we found out that smell, exhaust gases as well as vandalism were included. The fact that noise was not a major disruptive factor was confirmed by the question: How much are you in your living environment disturbed by the noise? Since 32.2 % of respondents thought that the noise was a little annoying, 26.8 % of respondents replied that the noise was quite annoying.

As the most common noise sources respondents indicated road traffic (35.5 % of questionnaires), then the noise from the street caused the annoyance at 20.1 % respondents, because most of them were living in block of apartments. As the third most common source of noise was indicated the noise of neighbours (18.3 %).

The measuring took place in two separate sections; the first in 2012 and the second in 2013. In both cases we measured during daytime trying to catch the most frequent periods: morning and afternoon rush hour. For comparison with statutory limits we discussed on the measured values with three parameters: median, average and maximum value. The results were as follows:

- The average values of noise measurement didn't exceed the statutory limit values at sampling in both years
- Limits were exceeded in 18.9 % of cases in year 2012
- In 2013: 51 % of measurements over average value were evidenced nearby the transit regional road (area a) and 21.9 % in single-family houses quarter by the local road (area c), but in single-family houses' quarter above regional road (researched area b); all the measured values were higher than average value.

Using collected results and GIS (ArcMap) two maps were produced for noise distribution performance. In

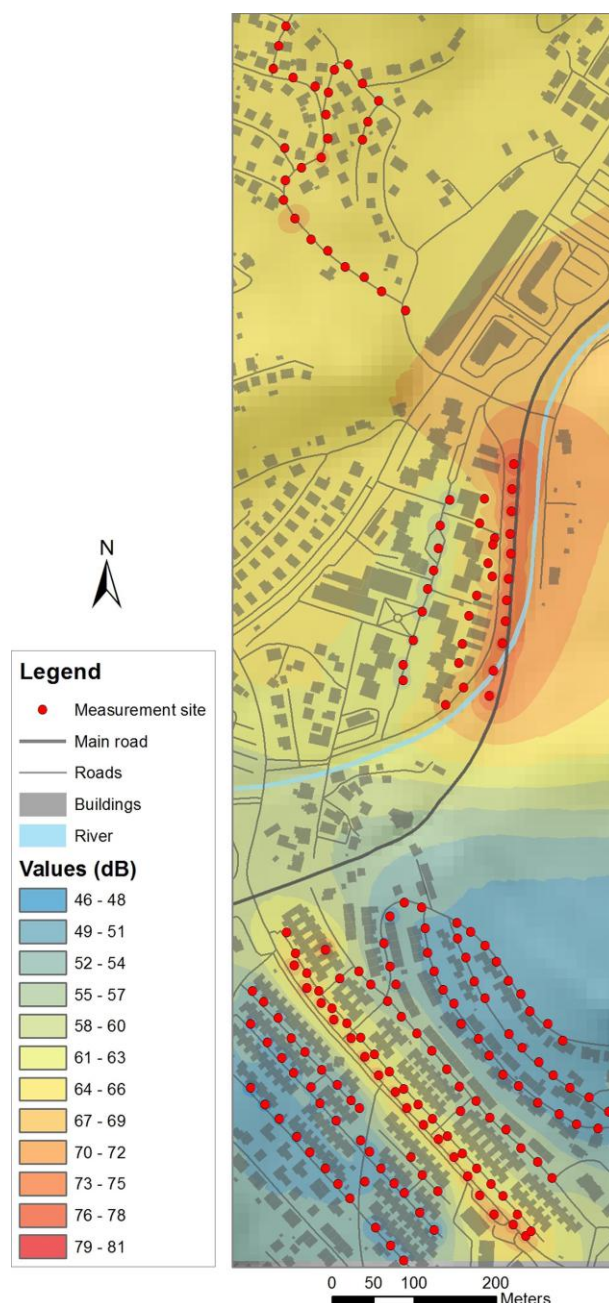


Map 1 Spatial distribution of noise, measurements in 2012

Karta 1. Prostorna raspodjela buke, izmjereno 2012.

Ona stoga daje veći utjecaj bližim točkama. Metoda je primjenjiva u slučajevima u kojima se utjecaj proučavanih varijabli smanjuje s udaljenošću. Na primjer, pri interpolaciji točaka položaja zagađivača, njihova se koncentracija smanjuje s udaljenošću od zagađivača i upotreba te metode je logična. Nedostatak je te metode taj da aproksimirano područje može doseći lokalne ekstreme (minimume i maksimume) u samo jednoj točki, što ne odgovara situaciji u prirodi. Metoda je pogodna za pregled aproksimiranog područja (Bartier, 1996).

Propisi o graničnim vrijednostima pokazatelja buke u okolišu sadrže posebne granične vrijednosti buke



Map 2 Spatial distribution of noise, measurements in 2013

Karta 2. Prostorna raspodjela buke, izmjereno 2013.

koju uzrokuje promet (Official Journal of the Republic of Slovenia, br. 105/2005). Propisana su ograničenja za:

A) područje stanovanja: 60 dB (dnevna vrijednost), od 6:00 do 18:00 h

B) zemljište mješovite upotrebe: područje stanovanja, javna infrastruktura: 65 dB (dnevna vrijednost), od 6:00 do 18:00

4. Rezultati i rasprava

Skupili smo smjernice za ograničavanje razine buke povezane s prometnom infrastrukturom i usporedili ih s onima Svjetske zdravstvene organizacije i zemalja

general blue shade stands for a good living standard with 40 dB noise pollution and less. Yellow categorized areas mean noise burden around 60 dB, whereas with the highest noise level areas nearby the noise source, road traffic (70 dB and more) were burdened.

Next finding gives important information. Hedges as green barriers showed up as a very convenient measure. They brought 10–15 dB less noise right behind its position. Some more findings were established, also due to chosen GIS method:

- The Inverse Distance Weighted Method (IDW) proved to be convenient for the interpolation of noise measurement values; the enough dense net of measurement sites condition was fulfilled
- Values in most noise polluted areas near roads quickly decrease with altitude increase
- Measurements during the night would be welcome
- Measuring present the peak periods' (rush hour) conditions, what was made on purpose to check the most outstanding situation.

5 To Conclude

In principle denser allocation of measuring points gives more credible results. Although the detailed figure of noise distribution is almost impossible to produce since many factors have an important impact and their impact varies; e.g. distribution of the buildings, the type and dimensions of the buildings. So the noise level could change at very short distances. Our data collection bases on many disadvantages but still can be used for a framework presentation of the areas with noise troubles. There is more noise polluted area obvious close to the

traffic lines whereas the noise level decrease very quickly when green barriers are used (over 10 dB decrease of noise). We could generally speak of 1) the most »stuck to the roads« areas with very annoying noise pollution (over 60 dB) and 2) areas polluted with noise of 50 dB and less, what correspond to the WHO recommendations. Further investments in buildings (installation of a multi-layer windows and noise protection facades) could bring even better results in terms of lower noise pollution effects.

There are some more possibilities for the noise level decrease:

- Installation of noise barriers
- Speed limits and traffic diversion
- Building bicycle lanes and limiting traffic in the city
- Relocation of production plants, arrangement of venues.

Measuring took place during the day time only. Some additional traffic counting data for all the road sections would be useful. Consequently the data should not be used for the strategic mapping of noise level that has become an obligation for EU cities with over 250.000 inhabitants. But basic insights in the living environment quality were offered using the performed results and combine it with public opinion survey. Municipal Space Plan could benefit better expert oriented and sustainable decisions.

Acknowledgements

Environmental Protection College, to whom was the public opinion survey ordered, owes many thanks to the Municipality of Velenje.

References / Literatura

- Bartier, M. Patrick, Keller, C. Peter (1996): Multivariate interpolation to incorporate thematic surface data using inverse distance weighting (IDW), *Computers & Geosciences*, Volume 22, Issue 7, 795–799.
- Bavani Nadaraja, Yap Xin Wei, Ramdzani Abdullah (2010): Effect of Traffic Noise on Sleep: A Case Study in Serdang Raya, Selangor, Malaysia. *EnvironmentAsia 3* (special issue), 149–155.
- Cigale, D., Lampič, B. (2002): Noise prevalence in Ljubljana. *GIS v Sloveniji 2001–2001*, 175–184.
- Marmolejo, D. C., Tamez, C. G. (2009): Does noise have a stationary impact on residential values? *Journal of European Real Estate Research*, Volume: 2, Issue: 3, 259–279.
- Final Report (2010): Noise as the residential area quality indicator. Evaluation and Protection of the Geographical Environment – fieldwork. Environmental Protection College, Velenje.
- Regulation on limit values of indicators of environmental noise (No. 105/2005), Official Journal of the Republic of Slovenia.

URLs / Mrežne adrese

- URL1: The Environmental Noise Directive (2002/49/EC), <http://ec.europa.eu/environment/noise/directive.htm>
- URL2: http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso

diljem svijeta. Europska unija izravno prati standarde buke Svjetske zdravstvene organizacije (45 dB), dok su druge zemlje strože po dozvoljenoj noćnoj razini buke. Isto je stanje s dozvoljenom dnevnom razinom buke (Europska unija i Svjetska zdravstvena organizacija dozvoljavaju 55 dB, a druge su zemlje rigoroznije s 45 dB).

Preliminarna anketa pokazala je da je buka neugodan ili ometajući čimbenik okoliša za većinu ispitanih (3 na ljestvici 1–4), no nužno je uzeti u obzir da je percepcija buke vrlo subjektivna.

Rezultati istraživanja iznenadili su nas. Pretpostavili smo da će buka biti glavni ometajući čimbenik, no rezultati su pokazali da su uključeni smradovi, ispušni plinovi i vandalizam. Činjenicu da buka nije glavni ometajući čimbenik potvrdilo je pitanje: „Koliko vas u životnoj okolini smeta buka?“ Da buka ometa smatralo je 32,2% ispitanih, dok je 26,8% njih smatralo da je buka vrlo neugodna.

Kao najčešći izvor buke ispitanici su naveli cestovni promet (35,5% ispitanih), a zatim uličnu buku (20,1%) jer ih većina živi u stambenim blokovima. Buka susjeda izdvojila se kao treći najčešći izvor buke (18,3 %).

Mjerenje je provedeno u dva navrata, 2012. i 2013. U oba smo slučaja mjerili za vrijeme dana kako bismo zahvatili kritična razdoblja: jutro i poslije podne kad se ljudi vraćaju s posla. Propisana ograničenja usporedili smo s trima parametrima izmjerenih vrijednosti: s medijanom, prosječnom vrijednosti i najvećom vrijednosti. Rezultati su sljedeći:

- prosječne vrijednosti izmjerene buke nisu prekoračile propisane granične vrijednosti ni 2012. ni 2013.
- granične vrijednosti prekoračene su u 18,9% slučajeva u 2012. ali
- u 2013. godini 51% mjerenja iznad prosječne vrijednosti zabilježeno je u blizini regionalne ceste (područje a) i 21,9% u četvrti s kućama s po jednom obitelji u blizini lokalne ceste (područje c), dok su u četvrti s kućama s po jednom obitelji iznad regionalne ceste (područje c) sve izmjerene vrijednosti bile više od prosječne vrijednosti.

Upotrebom dobivenih rezultata i geoinformacijskoga sustava (ArcMap) proizvedene su dvije karte raspodjele buke. Područja osjenčana u plavo prikazuju dobar životni standard razine buke od 40 dB ili manje. Žuta područja označavaju opterećenost bukom oko 60 dB, dok su područja najviše razine buke ona u blizini cestovnog prometa (70 dB i više).

Sljedeći nalaz daje važne informacije. Grmlje kao zelene zapreka pojavljuje se u vrlo prikladnoj mjeri. Ono snižava razinu buke iza sebe za 10–15 dB. Ustanovljeni su još neki nalazi uslijed izabrane metode GIS-a:

- metoda recipročnih udaljenosti s težinama pokazala

se prikladnom za interpolaciju vrijednosti izmjerene buke; ostvaren je uvjet dovoljno guste mreže mjernih položaja

- vrijednosti u bukom najzagađenijim područjima brzo se smanjuju s povećanjem nadmorske visine
- bilo bi dobro provesti mjerenja po noći
- mjerenje uvjeta u kojima se ljudi vraćaju s posla učinjeno je namjerno kako bi se provjerilo najkritičnije razdoblje.

5. Zaključak

U principu, veća gustoća mjerenih točaka daje vjerodostojnije rezultate. Gotovo je nemoguće doći do detaljnih podataka raspodjele buke zbog velikog broja važnih čimbenika i njihovog različitog utjecaja, npr. raspodjele zgrada, tipa i veličine zgrada. Stoga se razina buke može promijeniti na vrlo malim udaljenostima. Naše prikupljanje podataka ima mnoge nedostatke, ali može se primijeniti za prikazivanje područja s problematičnom razinom buke. Područja zagađena bukom uglavnom se nalaze u blizini prometnica, pri čemu se razina buke spušta ako se upotrebljavaju zelene zapreke (smanjenje za više od 10 dB). Općenito možemo govoriti o 1) područjima koja su najbliže cestama i velikog zagađenja bukom (više od 60 dB) te 2) područjima zagađenima bukom od 50 dB i manje, što odgovara preporukama Svjetske zdravstvene organizacije. Daljnje ulaganje u zgrade (ugradnja višeslojnih prozora i zaštitnih pročelja) moglo bi dovesti do još boljih rezultata u pogledu smanjenja zagađenosti bukom.

Postoji nekoliko mogućnosti za smanjenje razine buke:

- ugradnja zapreka buci
- ograničenje brzine i skretanje prometa
- izgradnja biciklističkih staza i ograničavanje prometa u gradu
- premještanje tvornica.

Mjerali smo samo po danu. Bilo bi korisno dobiti dodatne podatke za sve dijelove cesta. Shodno tome, dobiveni podaci ne bi se trebali upotrebljavati za strateško kartiranje razine buke koje je postalo obvezno za gradove s više od 250 000 stanovnika u Europskoj uniji. No, mjerenje je dalo osnovni uvid u kvalitetu životnog okoliša u kombinaciji s anketom javnog mnijenja. Općinski prostorni plan profitirao bi od stručnih i održivih odluka.

Zahvala

Fakultet zaštite okoliša, od kojeg je anketa naručena, zahvaljuje općini Velenje.