

Primljen / Received: 23.1.2016.

Ispravljen / Corrected: 8.4.2019.

Prihvaćen / Accepted: 12.4.2019.

Dostupno online / Available online: 10.4.2020.

Analiza i mjerenje razina buke na autocesti A2 (E-65) "Majka Tereza", dionica Skopje - Tetovo

Autori:



Prof.dr.sc. **Goran Mijoski**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Sv. Ćiril i Metodij, Republika Makedonija
Građevinski fakultet - Skopje
mijoski@gf.ukim.edu.mk
Autor za korespondenciju



Prof.dr.sc. **Darko Moslavac**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Sv. Ćiril i Metodij, Republika Makedonija
Građevinski fakultet - Skopje
moslavac@gf.ukim.edu.mk



Prof.dr.sc. **Zoran Krakutovski**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Sv. Ćiril i Metodij, Republika Makedonija
Građevinski fakultet - Skopje
krakutovski@gf.ukim.edu.mk



Prof.dr.sc. **Todorka Samarđioska**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Sv. Ćiril i Metodij, Republika Makedonija
Građevinski fakultet - Skopje
samardzioska@gf.ukim.edu.mk

Stručni rad

Goran Mijoski, Darko Moslavac, Zoran Krakutovski, Todorka Samarđioska

Analiza i mjerenje razina buke na autocesti A2 (E-65) "Majka Tereza", dionica Skopje - Tetovo

U radu su opisana mjerenja razina buke u području autoceste A2 (E-65) "Majka Tereza", dionice Skopje - Tetovo u Republici Makedoniji. Prvo mjerenje provedeno je 2003. godine, neposredno nakon puštanja autoceste u promet, a drugo 2014. godine. Razine buke određene su primjenom dvije metoda proračuna. Nakon što je utvrđeno da su razine buke više od zakonski dopuštenih, predložene su odgovarajuće mjere zaštite te su donesene zaključci o tome kako na predmetnoj dionici riješiti problem bučnosti.

Ključne riječi:

prometna buka, autocesta, metode proračuna, karta buke, barijere za zaštitu od buke, galerije

Professional paper

Goran Mijoski, Darko Moslavac, Zoran Krakutovski, Todorka Samarđioska

The analysis and measuring the noise on the A2 motorway (E-65) "Mother Teresa" section: Skopje - Tetovo

Traffic noise measurements on the Skopje - Tetovo Section of the Mother Teresa A2 Motorway in the Republic of Macedonia are presented in the paper. The first measurement was conducted in 2003 immediately after the motorway was opened to traffic, while the second one was conducted in 2014. Noise levels were estimated according to two calculation methods. After it was established that noise levels exceeded the legally allowed limits, appropriate protection measures were proposed and adequate conclusions for solving the noise problem on the section under study were adopted.

Key words:

road traffic noise, motorway, calculation methods, noise map, noise barriers, galleries

Fachbericht

Goran Mijoski, Darko Moslavac, Zoran Krakutovski, Todorka Samarđioska

Analyse und Messung des Lärmpegels auf der Autobahn A2 (E-65) "Mutter Theresa", Teilstrecke Skopje-Tetovo

In der Abhandlung wird die Messung des Lärmpegels auf dem Gebiet der Autobahn A2 (E-65) "Mutter Theresa", Teilstrecke Skopje-Tetovo in der Republik Mazedonien beschrieben. Die erste Messung erfolgte 2003, unmittelbar nach Inbetriebnahme der Autobahn, und die zweite 2014. Der Lärmpegel wurde durch Anwendung zweier Berechnungsmethoden bestimmt. Nachdem festgestellt wurde, dass die Lärmpegel über den gesetzlichen Grenzwerten liegen, wurden entsprechende Schutzmaßnahmen vorgeschlagen und Schlussfolgerungen gezogen, wie man das Lärmproblem an der besagten Teilstrecke lösen soll.

Schlüsselwörter:

Verkehrslärm, Autobahn, Berechnungsmethode, Lärmkarte, Lärmschutzwand, Galerie

1. Uvod

Zvuk je oblik energije koji se prenosi zvučnim valovima koje ljudsko uho može čuti (raspon zvučnog tlaka je od 0 do 120 dB, ali ljudsko uho može čuti samo zvukove čija frekvencija iznosi između 20 Hz i 20 kHz), dok je buka, prema definiciji, svaki neželjeni zvuk. Razina intenziteta zvuka mjeri se u decibelima [dB], frekvencija u hercima [Hz], a vremenske promjene u sekundama [s] ili dijelovima sekunde. Buka od cestovnog prometa smatra se linijskim izvorom buke.

Zagađenje bukom se uz onečišćenje zraka i vode smatra jednim od najštetnijih čimbenika kojim se negativno djeluje na okoliš. Razina buke od 80 dB značajno narušava kvalitetu života ljudi (npr. njihov radni učinak, san i slika), a psihičke smetnje javljaju se već pri razinama većim od 65 dB. Istraživanja provedena u zemljama EU pokazala su da oko 80 milijuna ljudi (20 % stanovništva) živi i radi u područjima u kojima su razine buke veće od 65 dB(A), te da oko 170 milijuna ljudi živi i radi u tzv. sivim zonama u kojima su razine buke između 55 i 65 dB(A) [1]. Rezultati istraživanja vezani uz buku i njezino štetno djelovanje sadržani su u europskoj Direktivi 2002/49/EZ [2]. Najčešći izvori buke okoliša su: različite vrste građevinskih radova, različiti oblici cestovnog, željezničkog i zračnog prometa, parkirališta, objekti sportske i druge namjene, zgrade za stanovanje i povremeni boravak ljudi, kućanski aparati, zabavni parkovi, sportske streljane, industrijska postrojenja i slično. Istraživanja [3] su pokazala da buka od prometa čini 81 %, a buka od svih drugih izvora (industrija, gradnja i buka od aktivnosti u slobodno vrijeme) 19 % cjelokupne buke okoliša (slika 1.).



Slika 1. Izvori buke okoliša

Postoje tri vrste prometne buke: buka cestovnog, buka željezničkog i buka zračnog prometa. Negativan utjecaj buke na kvalitetu života ljudi je sve veći problem današnjice, a posebice zbog konstantnog razvoja prometnih sustava. S obzirom na to, u blizini prometnica je potrebno redovito provoditi monitoringe te prema potrebi primijenjivati adekvatne mjere zaštite.

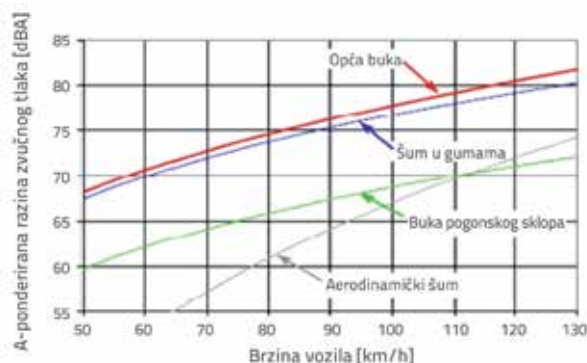
2. Dosadašnja istraživanja

Prema Rochatu [4], spektar frekvencije stalnog prometa na autocestama najčešće je između 200 i 2000 Hz. Ljudi mogu čuti frekvencije između 20 i 20.000 Hz, ali je ljudski sluh najosjetljiviji na one između 1000 i 6300 Hz.

2.1. Čimbenici koji utječu na prometnu buku

Buka od motornog prometa, koja se još naziva i prometnom bukom, nastaje uslijed međudjelovanja kotača motornog vozila i površine kolnika. Razina buke ovisi o intenzitetu, vrsti, strukturi i brzini prometnog toka, kao i o tipu ceste te stanju površine i uzdužnom nagibu kolnika. Buka od motornih vozila može se podijeliti na (slika 2.):

- buku koja nastaje uslijed rada motora vozila (buka motora)
- buku koja nastaje uslijed interakcije između kotača vozila i površine kolnika (buka kotrljanja)
- buku koja nastaje uslijed prolaska vozila kroz medij - zrak (aerodinamička buka) [5].

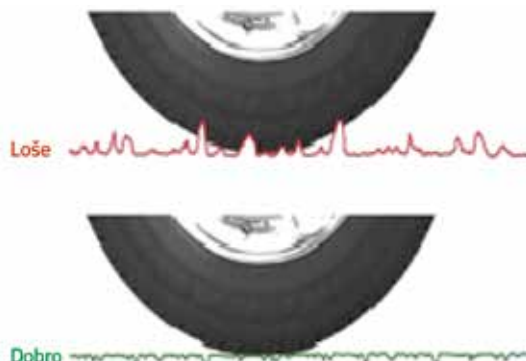


Slika 2. Vrste prometne buke

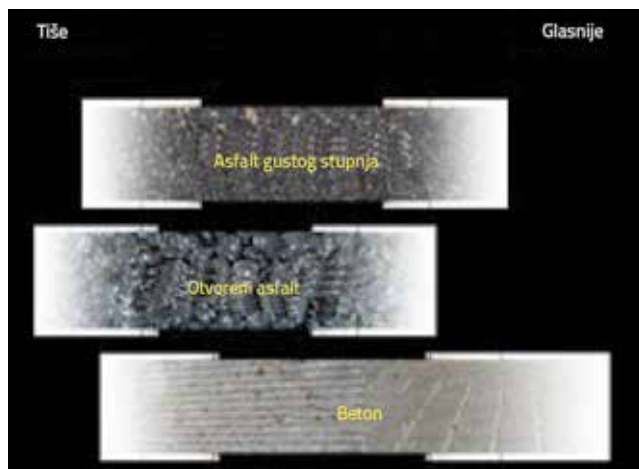
2.1.1. Utjecaj površine kolnika na prometnu buku

Prilikom kretanja lakih i teških vozila po kolniku od asfaltbetona, pri određenoj brzini vožnje buka kotrljanja dominantan je izvor buke. Takva buka prije svega ovisi o strukturnim karakteristikama (dubina mikro i makroteksture) i izbočinama na kolniku, odnosno o hrapavosti kolnika koja se iskazuje međunarodnim indeksom hrapavosti – IRI [m/km] [6]. Utjecaj dubine hrapavosti vozne površine na razine buke (slike 3. i 4.) u najvećoj mjeri ovisi o:

- odabranom tipu habajućeg sloja asfalta (u pogledu zrnatosti i sastava asfaltne mješavine);
- načinu ugradnje;
- dodatnim mjerama koje se provode tijekom uporabe ceste (postupci za povećanje hrapavosti ceste) [7].



Slika 3. Dobra i loša tekstura vozne površine kolnika



Slika 4. Utjecaj hrapavosti kolnika na razinu buke

Istraživanjima je definiran utjecaj dubine hrapavosti kolnika na vrijednost razina buke i sigurnost prometa. Smanjenje hrapavosti rezultira smanjenjem buke koja nastaje uslijed interakcije kotača vozila i površine kolnika, ali i smanjenjem stabilnosti vozila i sigurnosti prometa. Uočeno je i da je emisija buke na betonskim kolnicima sa završnim habajućim slojevima veća od emisije buke na asfaltnim kolnicima sa završnim habajućim slojevima. Karakteristike završnog sloja kolnika bitan su čimbenik koji utječe na povećanje razina buke. Različite metode proračuna, primjerice njemačka i francuska metoda, na različite načine definiraju karakteristike tog sloja [8, 9].

2.1.2. Utjecaj brzine vožnje na prometnu buku

Bitno je naglasiti da je pri malim brzinama vožnje buka motora dominantniji izvor buke od buke kotrljanja. Pri brzini većoj od 30 km/h u slučaju osobnih vozila, i brzini većoj od 40 km/h u slučaju teških teretnih vozila, buka kotrljanja postaje značajan, a pri brzini većoj od 50 km/h i dominantan izvor buke [10]. Na cestama za promet velikim brzinama - autocestama (130 km/h) buka kotrljanja je dominantan izvor buke, a buka motora gotovo je zanemariva.

2.1.3. Utjecaj karakteristika guma na prometnu buku

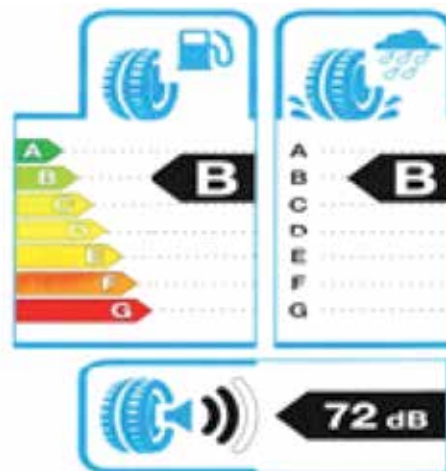
Buka kotrljanja ovisi o sljedećim karakteristikama gume vozila: unutarnjem tlaku, kontaktnoj površini i tipu šare. Istrošene gume, zbog veće kontaktne površine, prilikom kotrljanja po kolniku stvaraju veću buku. Bitno je napomenuti da je buka kotrljanja veća u slučaju kamiona te da kod osobnih vozila postaje dominantna tek pri vrlo velikim brzinama vožnje. U novije se vrijeme proizvode tzv. tihe gume koje proizvode značajno manje razine buke od klasičnih [11]. S obzirom na sve veću svijest o štetnom djelovanju prometne buke na kvalitetu života ljudi, Europska komisija je proizvođačima guma naložila da provode testove na temelju kojih će definirati razinu buke

koju pojedina guma proizvodi i da te rezultate pokažu kupcima prilikom prodaje (slika 5.) [12]. Razina buke koju guma proizvodi iskazuje se u decibelima te označava crnim linijama na pripadajućoj naljepnici (slika 6.):

- 1 crna linija - vrlo tiha guma
- 2 crne linije - srednje bučna guma
- 3 crne linije - prilično bučna guma.



Slika 5. Guma prema Uredbi EZ 1222/2009



Slika 6. Naljepnica na gumi

3. Analiza stanja bučnosti na autocesti A2 (E-65)

Prema podacima Svjetske zdravstvene organizacije, 210 milijuna ljudi u Europi (44 % stanovništva EU) svakodnevno je izloženo štetnom djelovanju prometne buke koja značajno narušava njihovo zdravlje. Direktiva 2002/49/EZ Europske unije donesena je s ciljem procjene i upravljanja bukom okoliša. Paulo de Vos (strateški savjetnik za inženjering i konzalting u Royal Haskoning DHV-u) navodi da će Europska unija lokalnim vlastima europskih zemalja naložiti da ulože velika sredstva kako bi se prekomjerne razine buke od prometa smanjile na dopuštene. Dodaje i da će europske vlade do 2017. godine morati potrošiti stotine milijuna eura na izgradnju barijera za zaštitu od buke i ugradnju tihih voznih površina, kao i na provođenje različitih mjera za smanjenje negativnog djelovanja prometne buke na kvalitetu života i zdravlje ljudi [14].



Slika 7. Pregled mjernih točaka na autocesti A2 (E-65) "Majka Tereza"



Slika 8. a) desna strana autoceste; b) lijeva strana autoceste

Prateći europske trendove i uviđajući važnost zaštite od prometne buke, u ovom istraživanju provedena su mjerenja razina buke u području autoceste A2 (E-65) "Majka Tereza" dionice Skopje - Tetovo. Ta se dionica nalazi na obilaznici grada Skopja, i to na samom ulazu u grad Skopje (Skopje zapad) (slika 7.). Ta je dionica (od km 0+980,04 do km 1+324,92) odabrana za analizu zato što se u neposrednoj blizini obilaznice, s njezine obje strane, nalaze stambene zgrade (slika 8.). Dodatno, na toj su lokaciji u odabranim mjernim točkama provedena mjerenja razine buke i 2003. godine. Kontrolna mjerenja razina buke provedena su u četiri mjerne točke.

U suradnji s Parlamentarnim institutom Makedonije provedeno je i istraživanje o regulativi iz područja zaštite od buke. Rezultati tog istraživanja pokazali su sljedeće: "Iako još uvijek nije formalno članica EU, Republika Makedonija je u potpunosti implementirala europske zakonske i tehničke propise iz tog područja" [19].

U prošlosti se nije vodilo dovoljno računa o zaštiti od buke na državnim cestama (autocestama, državnim i regionalnim cestama) u Republici Makedoniji. Prve barijere za zaštitu od buke (zidovi) u Makedoniji izvedene su tek prilikom izgradnje obilaznice oko glavnog grada Skopja (slike 9. i 10.). Razlozi

tomu su sljedeći: sredstva za izgradnju cesta u Makedoniji su bila ograničena; u toj zemlji ne postoji sustavno praćenje stanja bučnosti na cestama tijekom korištenja. Druge mjere za smanjenje razina buke od cestovnog prometa (izgradnja "tihih" voznih površina i slika) još uvijek nisu provedene [20].



Slika 9. Apsorbirajuća barijera



Slika 10. Reflektirajuća barijera

3.1. Mjerenja razine buke

Mjerenja razina buke provedena su u skladu sa zahtjevima metode dane u normi MKS ISO 1996-2: 2010 Akustika - Opis, mjerenje i ocjenjivanje buke okoliša - 2. dio: Određivanje razina buke okoliša (ISO ISO 1996-2: 2007) te Zakonom o zaštiti od buke i drugim podzakonskim aktima [15-17].

Mjerenja su provedena primjenom kompleta mjernih uređaja tvrtke Cirrus Research plc., UK (slika 11.). Osnovni uređaj za mjerenje bio je integrirani mjerac zvuka (zvukomjer) CR:171B, Class1. Navedeni zvukomjer sastoji se od: cjevastog mikrofona za snimanje i mjerenje buke (kapsule) promjera 12,7 mm; elektroničkih sklopova čija je funkcija mjerenje, pojačavanje i filtriranje snimljenog zvuka s rasponom pojasa od 1:1 i 1:3 oktave.



Slika 11. Komplet mjernih instrumenata za mjerenje buke

Tri vrlo bitna meteorološka parametra koja je potrebno bilježiti tijekom mjerenja razina buke okoliša su: temperatura zraka, relativna vlažnost i brzina vjetra. Ti su parametri mjereni na

licu mjesta pomoću uređaja Testo 435-2 i posebnih dodataka: IAQ sonde za mjerenje temperature zraka i relativne vlažnosti te Testo anemometrijske sonde za određivanje brzine vjetra i protoka zraka (slika 12.).



Slika 12. Mjerni uređaj Testo 435-2

Četiri osnovna cilja istraživanja bila su:

- ispitati primjenjivost zakonske i tehničke regulative i preporuka EU-a
- usporediti razine buke određene europskim i makedonskim metodama proračuna
- usporediti rezultate mjerenja razina buke s rezultatima mjerenja iz 2003. i 2014. godine
- predložiti odgovarajuće mjere zaštite ako su izmjerene razine buke više od propisanih [18].

3.1.1. Istraživanje iz 2003. godine

U tablici 1. prikazane su prosječne količine prometa (PGDP, PLDP i PDP za radne dane, dnevni/satni) za različite kategorije vozila. Brzina vozila iznosila je: za laka vozila maksimalna brzina $V_{1'maks.} = 120$ km/h, prosječna brzina $V_1 = 100$ km/h; za teška vozila maksimalna brzina $V_{2'maks.} = 100$ km/h, prosječna brzina $V_2 = 80$ km/h.

Izmjerena temperatura zraka u studenom iznosila je 5,8 °C, a prosječna vlažnost 84 %. Prosječni godišnji tlak zraka izmjeren u Makedoniji iznosio je 98,1 kPa. Mjerenje razina buke provedeno je primjenom zvukomjera Bruel & Kjaer tipa 2260, koji je imao valjanu potvrdu o ispravnosti. Umjeravanje je izvršeno pomoću visokopreciznog kalibratora Bruel & Kjaer tipa 4231.

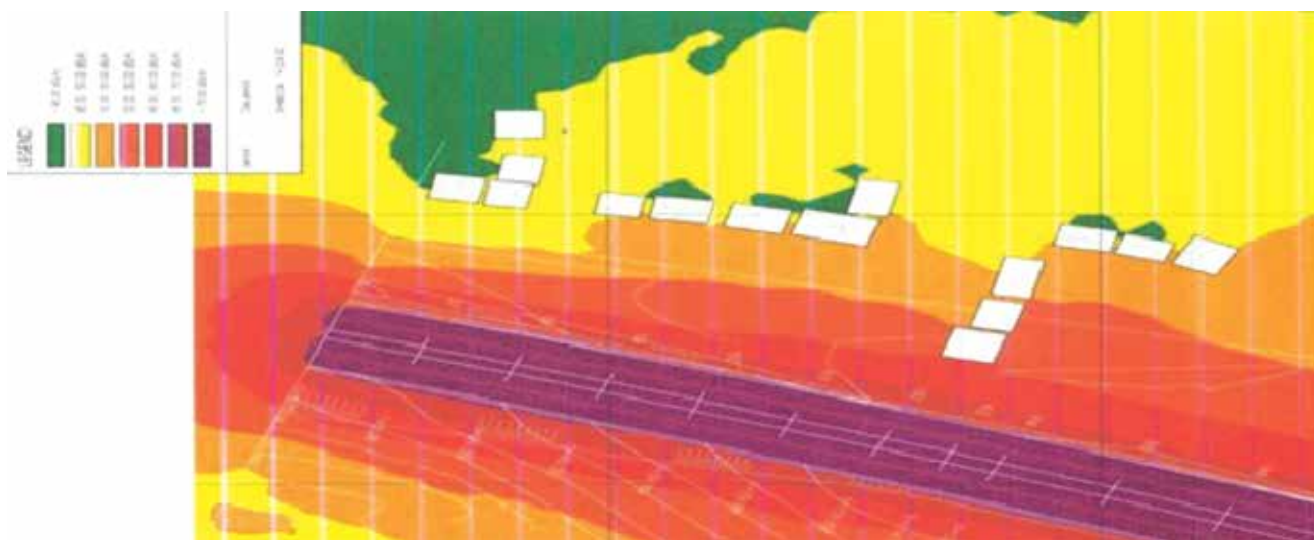
Podaci dobiveni mjerenjem obrađeni su primjenom specijaliziranog računalnog programa Bruel & Kjaer BZ 7210 [21]. Za potrebe istraživanja u 2003. godini na prvoj dionici autoceste izrađena je karta buke (slika 13.).

3.1.2. Istraživanje iz 2014. godine

Količina prometa na dionici Skopje – Tetovo autoceste A2 u 2014. godini prikazana je u tablici 2. [22]. Kontrolna

Tablica 1. Prosječni dnevni/satni promet po kategorijama (laka i teška) 2003. godine (nakon puštanja autoceste u promet)

Pokazatelji veličine prometa	Ukupno		Laka vozila		Teška vozila	
	po danu	po satu	po danu	po satu	po danu	po satu
PGDP (prosječni godišnji dnevni promet)	8322	347	7407	309	915	30
PGDP dnevni	7184	597	6394	533	790	66
PGDP noćni	1138	95	1010	84	125	10
PLDP (prosječni ljetni dnevni promet)	8722	364	7763	324	959	40
PDP za radne dane (prosječni dnevni promet za radne dane u tjednu)	7922	330	7051	294	871	36



Slika 13. Karta buke na prvoj dionici autoceste

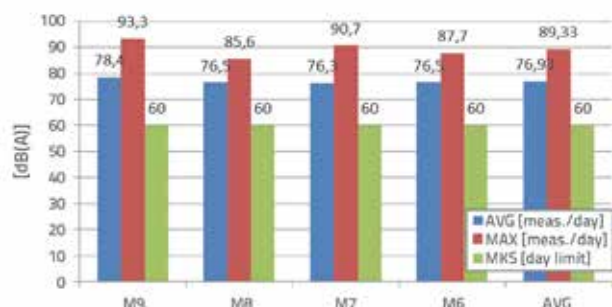
mjerena razina buke na toj dionici autoceste provedena su 13. studenog 2014. tijekom dana od 7:00 do 19:00 sati te 17. i 18. studenog 2014. tijekom noći od 19:00 do 7:00 sati [23]. Prilikom mjerenja razina buke bilježeni su i sljedeći meteorološki podaci: temperatura zraka iznosila je 13,97 °C, relativna vlažnost 85 %, a brzina vjetra 0,57 m/s. U nastavku su dani meteorološki podaci i prosječne brzine vožnje na prvoj dionici autoceste u odabranim mjernim točkama u noćnom periodu:

- temperatura zraka iznosila je 11,99 °C;
- relativna vlažnost iznosila je 82,9 %;
- brzina vjetra iznosila je 0,19 m/s;
- prosječna brzina lakih vozila iznosila je $V_1 = 100$ km/h;
- prosječna brzina teških vozila iznosila je $V_2 = 80$ km/h.

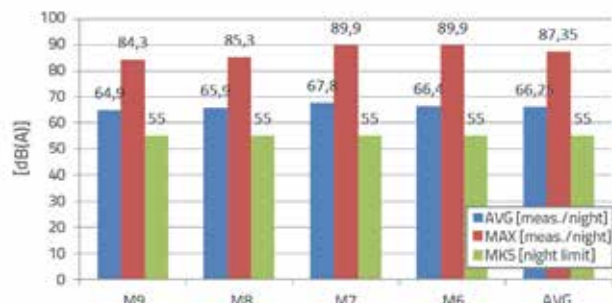
Izmjerene razine buke (u četiri mjerne točke) u dnevnom i noćnom periodu prikazane su na slikama 14. i 15.

Tablica 2. Prosječni dnevni/satni promet po kategorijama (laka i teška) 2014. godine [22]

Pokazatelji veličine prometa	Ukupno		Laka vozila		Teška vozila	
	po danu	po satu	po danu	po satu	po danu	po satu
PGDP (prosječni godišnji dnevni promet)	9829	410	9426	393	403	17
PGDP dnevni	8968	561	8600	538	368	23
PGDP noćni	861	108	826	103	35	4
PLDP (prosječni ljetni dnevni promet)	10424	434	9997	417	427	18
PDP za radne dane (prosječni dnevni promet za radne dane u tjednu)	9230	346	8852	369	378	16



Slika 14. Rezultati mjerenja razina buke tijekom dana



Slika 15. Rezultati mjerenja razina buke tijekom noći

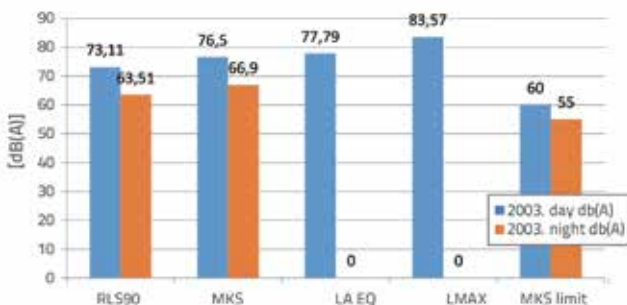
3.2. Proračun razina buke

Za potrebe daljnjih analiza provedeni su proračuni razina buke primjenom dviju metoda: njemačke metode proračuna RLS 90 [8] i makedonske metode proračuna ICC, koja je zapravo francuska metoda proračuna preporučena EU Direktivom [15-17].

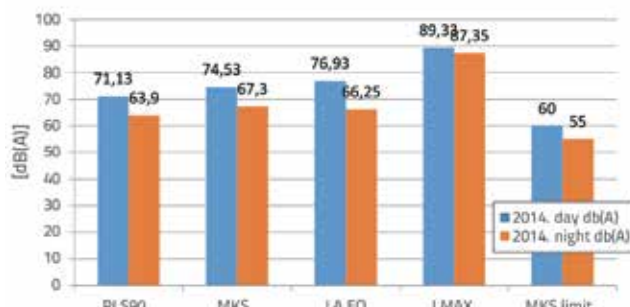
3.3. Analiza rezultata mjerenja i rezultati proračuna

Na slikama 16. i 17. prikazani su rezultati proračuna i mjerenja razina buke iz 2003. i 2014. godine za razdoblja dan i noć [21, 23]:

- rezultati proračuna primjenom njemačke metode RLS 90
- rezultati proračuna primjenom makedonske metode MKS
- ekvivalentne razine buke dobivene mjerenjem
- najviše izmjerene razine buke
- najviše dopuštene propisane vrijednosti.



Slika 16. Ukupni rezultati – stanje bučnosti 2003. godine



Slika 17. Ukupni rezultati – stanje bučnosti 2014. godine

Na temelju rezultata istraživanja prikazanih na slikama 16. i 17. može se zaključiti sljedeće:

- vrijednosti razina buke određene proračunima (primjenom obje metode) veće su od dopuštenih propisanih razina (i za razdoblje dan i za razdoblje noć)
- ekvivalentne razine buke dobivene mjerenjima veće su od dopuštenih propisanih razina (i za razdoblje dan i za razdoblje noć)
- najviše izmjerene razine buke veće su od dopuštenih propisanih razina (i za razdoblje dan i za razdoblje noć)
- sve izračunane i izmjerene razine buke značajno su veće od dopuštenih [18].

4. Preporuke i prijedlozi mjera za smanjenje razina buke od prometa

Iz analize provedene u radu vidljivo je da su na promatranoj dionici Skopje - Tetovo razine buke u razdobljima dan i noć više od najviših dopuštenih razina koje su propisane. S obzirom na to, na toj bi se lokaciji trebale primijeniti odgovarajuće mjere zaštite. Najbolji oblik zaštite su mjere za smanjenje razina buke na izvoru. Nažalost, često se ne pristupa smanjnjju buke na izvoru već se odabire opcija sprječavanja njezinog širenja. Jedan od načina na koji se razine buke na dionici Skopje - Tetovo mogu smanjiti jest izgradnja barijera za zaštitu od buke. S obzirom na mikrolokaciju promatrane dionice, dane su preporuke za postavljanje nekoliko tipova barijera za zaštitu od buke. Na dionici Skopje – Tetovo autoceste A2 buka je bila konstantno prisutna, i danju i noću, uz visoku frekvenciju lakih i teških vozila. Zbog toga su predložena dva tipa zaštite: izgradnja galerije i izgradnja barijere za zaštitu od buke.

Prvo varijantno rješenje odnosi se na izgradnju galerije za zaštitu od buke koja bi u značajnoj mjeri smanjila postojeće razine buke (slika 18.). Iako bi bila najučinkovitije rješenje, galerija bi bila skuplja od konvencionalne barijere za zaštitu od buke. Drugo varijantno rješenje se odnosi na izgradnju barijere za zaštitu od buke i to na jedan od sljedećih načina:

- prva opcija je izgradnja prozirne barijere s čeličnim nosačima i panelima od pleksiglasa čiji je vrh nagnut prema izvoru - time se sprječava refleksija buke od zgrada koje se nalaze na suprotnoj strani autoceste (rješenje koje se primjenjuje u nekim europskim gradovima) (slika 19.)



Slika 18. Izvedba galerija za zaštitu od buke



Slike 19. Barijere za zaštitu od buke u urbanom području (Švicarska)



Slika 20. Barijera za zaštitu od buke na obilaznici oko Skopja



Slika 21. Transparentna barijera

- druga opcija je izgradnja klasične reflektirajuće barijere s prozirnim panelima (izrađenim od pleksiglasa ili akrilnog stakla) koja bi se postavila na ogradu mosta - visine 3,0 m plus visina betona 1,0 m - ugrađenu na istoj dionici obilaznice (slika 20.).

To su montažne prozirne barijere od pleksiglasa koje se postavljaju na pocinčanu čeličnu konstrukciju. Stupovi su im izrađeni od vruće valjanih IPB14 profila i međusobno udaljeni 3,0 m. Na drugoj strani, prije mosta, samo na lijevoj strani ("Tetovo - Skopje") predviđa se izvedba dviju vrsta barijera.

Prvo bi rješenje, kao i na mostu, mogla biti barijera s panelima od pleksiglasa visine 2,0 m. Konstrukcija te barijere može biti ili

kao na mostu ili kao na obilaznici oko Skopja (slika 21.). Drugo je rješenje apsorbirajuća barijera identična onoj na obilaznici oko Skopja, visine 2,0 - 3,0 m (slika 22.). Treće rješenje je ekološka, visokoapsorbirajuća barijera za zaštitu od buke, čiji se apsorbirajući sloj sastoji od reciklirane gume i betona "Ruconbar". To bi bila prva barijera ovog tipa ikad primjenjena u Republici Makedoniji (slika 23.).

Sve predložene mjere zaštite sigurno će smanjiti postojeće razine buke na dopuštene, no prilikom odabira optimalne potrebno je u obzir uzeti i cijenu i kvalitetu. Rezultati ove studije i praktična iskustva upućuju na to da bi duljina barijere za zaštitu od buke trebala biti veća od duljine postojećih objekata koji se nalaze uz autocestu.



Slika 22. Apsorbirajuća barijera



Slika 23. Barijera za zaštitu od buke tipa Ruconbar (Hrvatska)

Kod odabira tipa barijera za zaštitu od buke svakako je preporuka provesti optimizaciju po akustičkim, tehnološkim i ekonomskim značajkama u svrhu dobivanja optimalne zvučne barijere [24].

5. Zaključak

Na temelju istraživanja provedenog u radu može se zaključiti da buka negativno djeluje na okoliš te da u značajnoj mjeri narušava kvalitetu života ljudi. Postoje brojni izvori buke koji su sveprisutni u područjima u kojima ljudi borave, žive i rade. S obzirom na to, prometna buka se treba smatrati ozbiljnim problemom u svim fazama razvoja prometnog sustava, od faze planiranja i projektiranja pa sve do faze izgradnje i održavanja.

Na temelju analize rezultata proračuna i rezultata mjerenja razina buke iz 2003. i 2014. godine na promatranoj dionici autoceste A-2 (E-65) može se zaključiti sljedeće:

- Opći zaključak je da su razine buke u razdobljima dana i noći više od dopuštenih. Prema tome, na promatranoj lokaciji je potrebno primijeniti odgovarajuće mjere zaštite. Najprikladnije su mjere za smanjenje razina buke na izvoru, koje se odnose na postavljanje odgovarajućih barijera za zaštitu od buke.
- Najviše izmjerene razine buke u razdoblju noći više su za približno 30 dB(A) od dopuštenih. Budući da se ljudi u noćnom razdoblju najčešće odmaraju i spavaju, problem bučnosti u

području promatrane dionice autoceste je potrebno što brže riješiti.

- Izračunane razine buke, prema metodi i podacima jednogodišnjih mjerenja, veće su od dopuštenih. Prema makedonskim tehničkim propisima, te su razine veće tijekom dana, a još veće noću. Izračunane vrijednosti razina buke vrlo su slične izmjerenim vrijednostima - razlikuju se za manje od 5 dB(A).
- Buka značajno narušava kvalitetu života ljudi i stoga je prilikom izgradnje novih prometnica potrebno primijeniti odgovarajuće mjere zaštite. U Makedoniji se sada gradi nekoliko autocesta i brzih cesta, pri čemu je predviđena i provedba mjera za zaštitu od buke. Rezultati mjerenja zasigurno će i na novoprojektiranim cestama predstavljati koristan parametar za izgradnju barijera za zaštitu od buke.
- Glavni zaključak i preporuka su sljedeći: nadležna tijela u sustavu upravljanja cestama trebala bi u sklopu svojih profesionalnih aktivnosti kontinuirano provoditi monitoringe te pratiti stanje bučnosti. Na kritičnim lokacijama na kojima su razine buke veće od dopuštenih potrebno je poduzeti različite aktivnosti i primijeniti odgovarajuće mjere za njihovo smanjenje. Provedba tih mjera rezultirat će boljom zaštitom od prometne buke.

LITERATURA

- [1] European Commission: Green Paper – Future Noise Policy, (Brussels, 1996)
- [2] Directive 2002/49/EC of European Parliament and of the Council relating to the assessment and management of environmental noise (Official Journal of the European Communities, L189/12, 2002)
- [3] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina T.: A review of European traffic noise regulation, Građevinar, 55 (2003) 6, pp. 349-356.
- [4] Rochat, J.L.: Transportation noise issue, Chapter 19 (Handbook of transportation engineering, USA 2004)
- [5] Lay, M.G.: Handbook of road technology (New York, Taylor&Francis Group, 3rd edition, 2009)
- [6] Mijoski, G., Žileska-Pancovska, V.: Noise made from interaction between tires and pavement surface and measures for protection from it at long distance roads (GTZ, 2nd International Scientific Meeting, Tuzla, 2012)
- [7] Rasmussen, R., Bernhard, R., Sandberg, U., Mun, E.: The Little Book of Quieter Pavements (U.S. Department of Transportation - Federal Highway Administration, Washington DC, USA, July 2007, p. 33)
- [8] Der Bundesminister für Verkehr, Abteilung Strassenbau: Richtlinien für den Laermschutz an Strassen – RLS 90 (Ausgabe, 1990)
- [9] NMPB-Routes (SETRA-CERTU-LCPC-CSTB), Arrête du 5 mai 1995 relatif au bruit des infrastructures routieres, (Journal Officiel du 10 mai 1995, Article 6)
- [10] European Commission Working Group 5: Inventory of noise mitigation methods, (Brussels, 2002)
- [11] Yokohama tyre catalogue: AVS dB Decibel V550 - (2010)
- [12] Directive EC 1222/2009 Source: European Commission's impact Assessment SEC (2008)2860
- [13] Michelin tyre catalogue (2012)
- [14] www.ITSInternational.com/ Paul de Vos (Royal Haskoning DHV), 12/2014
- [15] Law for Protection against Noise in the Environment (Official Gazette of the Republic of Macedonia No. 79/07, 124/10, 47/11 and 163/2013)
- [16] Regulation on Environmental Noise Limits ("Official Gazette of the Republic of Macedonia No. 147 of 26 November 2008)
- [17] Regulation on the application of the noise indicators, additional noise indicators, the method of noise measurement and the methods for assessing the noise indicators in the environment (Official Gazette of the Republic of Macedonia No. 107 of 29.08.2008)
- [18] Mijoski, G., Krakutovski, Z., Moslavac, D., et al: Analysis and protection from traffic noise of highways traffic in the Republic of Macedonia (Scientific research project UKIM - GF, Skopje, 12/2015)
- [19] Parliamentary Institut of the Assembly of the Republic of Macedonia: Monitoring the changes and implementation of the European Union environmental legislation according to environment, the Republic of Macedonia, the Compliance Chart, the Year (2014), the Directive 2002/49 / EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 , Related to the monitoring and management of environmental noise, Regulation (EC) 1137/2008 (Skopje, 2014)

- [20] Mijoski, I.G., Manchev, R.: Protection from the road noise in suburban and urban city areas in the Republic of Macedonia, (First Serbian congress for roads, Belgrade, 2014)
- [21] ZIM Skopje: Elaborate for making a sound map on the part of the motorway "Skopje-Tetovo" E-65 (from km 0 + 980.04 to km 1 + 324.92) and (from km 4 + 024.15 to km 4 +499,41), (Skopje, 2003)
- [22] Public Enterprise for State Roads in the Republic of Macedonia: Newsletter for Road Traffic on State Roads in the Republic of Macedonia (Skopje, 2013)
- [23] GEING Krebs & Kifer: Report on the measurement of noise in the environment caused by traffic on the part of the motorway Skopje - Tetovo (Skopje, November 2014)
- [24] Grubeša, S., Suhanek, M., Đurek, I., Petošić, A.: Combined acoustical and economical noise barrier optimization using genetic algorithms, GRAĐEVINAR, 71 (2019) 3, pp. 177-185, <https://doi.org/10.14256/JCE.2523.2018>