

**PREGLED MATEMATIČKIH MODELA ZA PREDVIĐANJE NIVOA
BUKE U CESTOVNOM SAOBRAĆAJU**

**REVIEW OF MATHEMATICAL MODELS FOR ROAD TRAFFIC
NOISE PREDICTION**

Pregledni znanstveni članak

*Dr.sc. Nermin Palić, dipl. ing. saobr. i kom.**

Sažetak

Proračun nivoa saobraćajne buke na mjestu imisije moguće je izvršiti primjenom više različitih modela. Svaki model ima svoje karakteristike po kojima se određuje nivo buke, kako u samom pristupu, tako i u uzimanju u obzir određenog broja parametara koji utiču na stvaranje buke. Svi modeli koji su dostupni u literaturi zasnivaju se na uspostavljanju analitičkih veza između nivoa saobraćajne buke i izabranih parametara saobraćajnog toka, kao što je protok lakih i teških vozila. Primjenom regresione analize određuje se analitička veza između odabranih parametara i nivoa buke. Oni koji se bave gradskim planiranjem saobraćaja, često se moraju oslanjati na modele za predviđanje saobraćajne buke. Kritičkim pregledom različitih studija saobraćajne buke, njihovih metodologija primjene, kao i određenih modela za predviđanje saobraćajne buke citiranih u literaturi, otkrivaju se određene specifičnosti za svaki od analiziranih modela. Ovaj članak predstavlja kritički osvrt na neke od modela koji se koriste za predviđanje nivoa saobraćajne buke.

Ključne riječi: R.L.S. 90, CRTN, NMPB-Routes-2008, RVS 3.02, FHWA TNM.

Abstract

The calculation of traffic noise levels at the immission site can be performed using several different models. Each model has its own characteristics that determine the noise level, both in the approach itself and

* Visoka škola „CEPS - Centar za poslovne studije“ Kiseljak, e-mail: nermin.palic@ceps.edu.ba

in taking into account a number of parameters that affect noise generation. All models available in the literature are based on the establishment of analytical relationships between traffic noise levels and selected traffic flow parameters, such as the flow of light and heavy vehicles. By applying regression analysis, the analytical relationship between the selected parameters and the noise level is determined. Experts dealing with urban traffic planning often have to rely on models to predict traffic noise. A critical review of various traffic noise studies, their application methodologies, as well as certain models for traffic noise prediction cited in the literature, reveals certain specifics for each of the analyzed models. This article presents a critical review of some of the models used to predict traffic noise levels.

Key words: R.L.S. 90, CRTN, NMPB-Routes-2008, RVS 3.02, FHWA TNM.

1. UVOD

Zagađenje bukom predstavlja veliki ekološki zdravstveni problem u Evropi, pri čemu je sektor saobraćaja njen glavni uzročnik. Na nivo buke najviše utiče broj vozila, protok saobraćaja, relativno učešće putničkih i teretnih vozila, njihove brzine kretanja, vrste i karakteristike puta, da li je saobraćaj jednosmjernan ili dvosmjernan, raskrsnice, vremenski uslovi i dr. (1). Izgradnja saobraćajne infrastrukture, povećanje broja motornih vozila, kao i uslovi odvijanja saobraćaja, te nepoštivanje zakonskih regulativa, dovelo je do alarmantnih nivoa saobraćajne buke (2). Prema podacima Europske agencije za okoliš (EEA) najdominantniji izvor buke je cestovni saobraćaj. Može se konstatovati da se saobraćajna buka smatra jednim od glavnih uzročnika smanjenja kvaliteta života.

Modele za predviđanje nivoa buke koristi pet različiti grupa stručnjaka među kojima su na prvom mjestu inženjeri cestovnog saobraćaja, koji provjeravaju projekte u skladu s propisanim ograničenjima buke i utvrđuju potrebu za zaštitnim zidom ili razmakom između ceste i objekta. Primjenom ovih modela moguće je procijeniti efekte buke u toku izrade planskih i razvojnih projekata stambenih naselja, kada se planiraju nove gradske saobraćajnice, proširuju ili dislociraju postojeće, kada se povećava protok

motornih vozila, ili kada se uvodi nova svjetlosna signalizacija raskrsnica (3). Modeliranje nivoa buke omogućava i akustično zoniranje i zoniranje urbanih oblasti prema namjeni površina i urbanističkom uređenju.

2. MATEMATIČKI MODELI ZA PREDVIĐANJE NIVOA SAOBRAĆAJNE BUKE

Modeli za procjenu nivoa saobraćajne buke razvijeni su na osnovu postojećih eksperimentalnih podataka. U određenim slučajevima se u obzir uzimaju i karakteristike saobraćajnog toka za datu sredinu za koju su doneseni (4). To je jedan od razloga zbog čega se ne mogu primjenjivati u drugim sredinama, s obzirom da se starost vozila, struktura saobraćajnog toka i karakteristike voznog parka razlikuju.

Modeli za procjenu buke u okolišu imaju raznovrsnu primjenu, kao na primjer:

- Predviđanje uticaja predloženih promjena na okoliš (npr. uvođenje nove saobraćajnice; promjene postojeće ceste; promjene u okruženju koje utiču na širenje buke kao što je izgradnja ili uklanjanje barijera ili preuređivanje okoliša);
- Dokazivanje usklađenosti sa zahtjevima lokalne, državne ili nacionalne vlade i naknadno određivanje prioriteta finansiranja za ublažavanje posljedica buke;
- Procjena i rangiranje različitih strategija za smanjenje buke (npr. analiza troškova i koristi);
- Projektovanje mjera za smanjenje buke kao što su barijere za buku;
- Ispitivanje rezultata mjerenja provedenih u prisutnosti više izvora buke, kako bi se bolje razumio njihov relativni uticaj na ukupan nivo buke, te identificirala ključna područja zabrinutosti prije provođenja skupih studija mjernja;
- Izrada strateškog mapiranja izloženosti buci radi informisanja o procjeni uticaja na okoliš, zdravlje ili privredu ili stvaranje osnove za izradu akcijskih planova za ublažavanje saobraćajne buke (npr. akustički zahtjevi za stambene zgrade i zgrade osjetljive namjene, planiranje korištenja zemljišta i slično).

U evropskim zemljama postoje dva osnovna pristupa primjene modela za procjenu uticaja saobraćajne buke (5):

- zemlje koje su razvile vlastite modele koriste ih za svoje potrebe, i
- zemlje koje nemaju vlastite modele, preporuka je da usvoje one koji najbolje odgovaraju njihovim uslovima.

Istraživanja su pokazale da mogu postojati velika odstupanja u rezultatima proračuna modela buke između zemalja zbog razlika u metodologijama i pretpostavkama proračuna. Ključne varijacije mogu biti u vezi s izračunom ekvivalentnog nivo buke (LAeq), izvora emisije (lakih i teških vozila) i širenja zvuka (uključujući apsorpciju podloge, slabljenje zbog barijere ili meteoroloških djelovanja).

Stoga, za potrebe ovog istraživanja, u nastavku će biti dat pregled onih modela koji se najčešće koriste za predviđanje nivoa saobraćajne buke, a to su:

- R.L.S. 90 (Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen) – Njemačka;
- CRTN (Calculation of Road Traffic Noise) – Velika Britanija;
- NMPB-Routes-2008 – Francuska;
- RVS 3.02 model – Austrija i
- FHWA TNM – Sjedinjene Američke Države

Cilj je uraditi pregled modela i dati kritički osvrt na navedene modele sa njihovim osnovnim specifičnostima. Na osnovu toga će se donijeti zaključci o njihovoj primjeni, opisu zvučne energije, mogućnostima korekcije za pulsirajuće/isprekida tokove, višetračne ceste i različite saobraćajnice, potrebnim ulazim parametrima i dr. Modeli analizirani u nastavku će biti isključivo modeli koji udovoljavaju zahtjevima inženjera cestovnog saobraćaja. Prvenstveno će biti prikazana osnovna metodologija primjene.

2.1. Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen 90 (R.L.S. 90) model

Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen 90, tj. R.L.S. 90 model formulisalo je Ministarstvo saobraćaja Savezne Republike Njemačke 1990. godine. Sastoji se od standarda i uputstava o načinu primjene modela, zatim načinu mjerenja buke koje se koristi pri procjeni, kao i o mjerama zaštite i

smanjenja uticaja saobraćajne buke (6). Nema ograničeno područje primjene. U proračunu se u obzir uzima širenje buke (zavisi od tla, refleksije i zaštitnih efekata), postojanje isprekidanog saobraćajnog toka, nagib puta i vrsta kolovozne površine. Postoje **dva procesa** za izračunavanje buke. Prvi proces u obzir uzima uslove kao što su dug i prav put sa glatkim asfaltom, maksimalna brzina od 100 (km/h), udaljenost 25 (m) od središnje ose puta do tačke mjerenja i visina od 4 (m) iznad tla, sa slobodnim širenjem buke. Drugi proces je karakterističan za ostale slučajeve, a u obzir uzima korekzione faktore za brzinu, nagib puta i vrstu putnog zastora.

Prosječan nivo emisije $L_{m,AND}$, A-ponderisanog nivoa buke, kada se uzimaju u obzir korekzioni faktori (**drugi proces modela**) se izračunava pomoću sljedećeg izraza:

$$L_{m,AND} = 37,3 + 10 \log(Q \cdot (1 + 0,082 \cdot p)) + \Delta L_V + \Delta L_S + \Delta L_P + \Delta L_G \text{ [dBA]} \quad (1)$$

gdje je:

Q – protok motornih vozila, [vozila/h]

p – udio teških vozila u saobraćajnom toku, [%]

ΔL_V – korekzioni faktor za nivo buke za uticaj brzine vozila,

ΔL_S – korekzioni faktor za nivo buke za uticaja nagiba puta,

ΔL_P – korekzioni faktor za nivo buke za uticaj putnog zastora,

ΔL_G – korekzioni faktor za uticaj terena iznad koga se prostiru zvučni talasi.

Kategorijom teških vozila se podrazumijevaju motorna vozila mase veće od 2,8 tona. Ono što je potrebno istaći jeste da se R.L.S. 90 model primjenjuje u uslovima kada je maksimalna dozvoljena brzina kretanja za laka motorna vozila manja od 130 km/h, a za teška motorna vozila manja od 80 km/h.

2.2. Calculation of Road Traffic Noise model (C.R.T.N.)

CRTN metod (Calculation of Road Traffic Noise – proračun buke u cestovnom saobraćaju) je model nastao u Velikoj Britaniji kojeg je razvio Odjel za okoliš 1975. godine. Kasnije je ovaj model usavršen i unaprijeđen saradnjom TEEL (Transport and Road Research Laboratory) laboratorije i Ministarstva saobraćaja Velike Britanije (1988. godine). Danas se koristi za

procjenu statističkog nivoa L_{10} [dB] buke u cestovnom saobraćaju na satnoj osnovi ili u periodu između 6:00 i 24:00 sati. Proračun je primjenjiv za udaljenosti koje nisu veće od 300 [m]. Nivo buke se računa u referentnoj poziciji koja je postavljena 10 (m) od ivice saobraćajnice. Prilikom proračuna u obzir se uzima protok vozila po satu, brzina vozila, udio teških vozila i korekcije koje zavise od nagiba puta i vrste kolovozne konstrukcije (7).

Osnovna jednačina koja se koristi za procjenu nivoa buke je:

$$L_{10} = 42,2 + 10 \log(Q) \quad [dB] \quad (2)$$

gdje je:

Q – protok svih motornih vozila, [vozila/h].

Kod ovog proračuna pretpostavka je da se prijemna tačka nalazi na visini od 0,5 m iznad saobraćajnice pri udaljenosti 3,5 m od ivice saobraćajnice. Proračunom nivoa saobraćajne buke primjenom osnovne jednačine pretpostavlja se da je osnovna brzina saobraćaja na cesti 75 km/h, postotak teških vozila 0%, a nagib ceste 0% (8).

Vrijednost L_{10} po satu dB nivoa buke je vrijednost nivoa buke prekoračena u samo 10% vremena tokom razdoblja od jednog sata. L_{10} (18-satni) dB je aritmetička vrijednost prosjeka L_{10} po satu dB za svaku od 18 jednosatnih razdoblja između 06.00 do 24.00 sata.

U slučaju različitih uslova ovaj nivo je korigovan u skladu sa postotkom teških vozila, saobraćajne brzine i nagibom puta, kolovoznog zastora i linijskog izvora ograničene dužine prema slijedećoj formuli:

$$L_{10}(1h) = 42,2 + 10 \log Q + \Delta L_V + \Delta L_S + \Delta L_P + \Delta L_\alpha + \Delta L_D \quad [dBA] \quad (3)$$

gdje je:

Q – protok motornih vozila, [vozila/h],

ΔL_V – korekcionni faktor za brzinu i procenat teških vozila,

ΔL_S – korekcionni faktor za nagib puta,

ΔL_P – korekcionni faktor za kolovozni zastor,

ΔL_α – korekcionni faktor u slučaju linijskog izvora ograničene dužine,

ΔL_D – korekcionni faktor u slučaju kada je prijemna tačka na rastojanje od ivice saobraćajnice veća od 4 m.

2.3. Nouvelle Methode de Prediction du Bruit model (NMPB-Routes-2008)

NMPB-Routes-2008 model (Nouvelle Methode de Prediction du Bruit) je model razvijen od strane različitih francuskih instituta „French Institutes of Ministère de l'Équipement“ (CSTB, SETRA, LCPC, LRPC) i predstavlja poboljšanu stariju verziju iz 1980 i 1996. godine. Ovaj model predstavlja jedan od najviše korištenih modela. Model se temelji na konceptu širenja buke između izvora i prijemnika zavisno od topografije terena i prepreka između izvora i prijemnika.

NMPB model uzima u obzir meteorološke uslove preporučene u ISO 9613 standardu za predviđanja na duži period (9). Francuska NMPB metoda proračuna može se podijeliti u dva koraka: određivanje emisije buke od cestovnog saobraćaja i određivanje širenja buke odnosno imisije buke. Emisija buke se određuje za svako referentno razdoblje (dan, večer, noć) na temelju tipične godine s prosječnim saobraćajnim karakteristikama.

Za proračun nivoa buke cestovnog saobraćaja potrebni su sljedeći ulazni podaci (10):

- Broj vozila po satu, te postotak lakih (neto nosivosti manje od 3,5 tone) i teških vozila (neto nosivosti veće ili jednake 3,5 tone) u vremenskim periodima dan – večer – noć;
- Dozvoljena brzina kretanja vozila;
- Vrsta cestovnog zastora, te nagiba ceste;
- Predviđeni način kretanja vozila (ubrzavanje, jednoliko kretanje, usporavanje).

Guide du Bruit 1980 sadrži nomograme koji daju vrijednost nivoa zvuka L_{eq} (1 sat), u dB (A), (također poznate kao emisija buke E). Nivo zvuka se daje posebno za jedno lako vozilo (E_{lv}) i za jedno teško vozilo (E_{hv}) po satu. Za ove odvojene tipove vozila, E je funkcija brzine, saobraćajnog toka i uzdužnog profila. Nivo zvuka prikazan u nomogramima ne uključuje nikakve korekcije cestovnog zastora. Ove korekcije su objašnjene u nastavku.

Emisija E je nivo zvuka koja se može opisati u dB(A) kao nivo zvuka L_{eq} na referentnom izofonu koju uzrokuje pojedinačno vozilo na sat u saobraćajnim uslovima koji su u funkcijskoj zavisnosti od:

- kategorije vozila,
- brzine vozila,
- saobraćajnog protoka,
- longitudinalnog profila.

Vrste vozila: Za predviđanje nivoa buke koriste se dvije **kategorije vozila:**

- laka vozila (neto nosivosti manje od 3,5 tone),
- teška vozila (neto nosivosti jednake ili veće od 3,5 tone).

Brzina: Zbog jednostavnosti primjene, parametar **brzine vozila** u ovoj metodi se koristi za cijeli raspon prosječne brzine vozila (od 20 do 120 km/h). Međutim, kod manjih brzina (ispod 60 ili 70 km/h, ovisno o slučaju) metoda se precizira pomoću saobraćajnog toka kako je opisano u nastavku.

Za određivanje trajnog nivoa zvuka u L_{eq} dovoljan je podatak o prosječnoj brzini voznog parka vozila. Ta se prosječna brzina voznog parka vozila određuje na sljedeći način:

- srednja brzina V50 ili brzina koju dostiže ili premašuje 50 % vozila; ili
- srednja brzina V50 kojoj se pridodaje polovica standardne devijacije brzina.

Za sve prosječne brzine utvrđene jednom od ovih metoda koje iznose manje od 20 km/h uzima se da je prosječna brzina 20 km/h.

Ukoliko dostupni podaci ne omogućuju tačno određivanje prosječne brzine, može se koristiti sljedeće opšte pravilo: za svaki segment ceste koristi se najveća dopuštena brzina na tom segmentu. Pri svakoj izmjeni najveće dopuštene brzine treba definisati novi segment ceste. Za manje brzine (ispod 60 ili 70 km/h, ovisno o slučaju) uvodi se dodatna korekcija, pri čemu treba primijeniti korekcije za jednu od četiri vrste saobraćajnog toka. Konačno, za sve brzine ispod 20 km/h uzima se brzina 20 km/h.

Različite vrste saobraćajnog toka: Vrsta **saobraćajnog toka** je komplementarni parametar brzini i uključuje ubrzanje, usporenje, snagu motora i pulsirajuće ili kontinuirano kretanje saobraćaja. U nastavku su definisane četiri kategorije (11), (12):

- (1) **Kontinuirani (fluidni) tok:** vozila se kreću gotovo konstantnom brzinom na posmatranoj dionici saobraćajnice. Saobraćajni tok je fluidan po tome što je stabilan i u prostoru i u vremenu u najmanje 10-minutnom periodu. Moguće je da se dogode varijacije tokom dana, ali bez naglih ili ritmičkih promjena. Saobraćajni tok je jednoličan, tj. nije ni ubrzan ni usporen. Ovakav tip toka odgovara saobraćaju na spajanju s autocestom ili međugradskoj cesti, na brznoj gradskoj cesti (van vršnog opterećenja), te na glavnim cestama u urbanom okruženju.
- (2) **Kontinuirano – pulsirajući tok:** saobraćajni tok sa značajnim udjelom vozila u prolaznom stanju (tj. ubrzavanje ili usporavanje) i koji nije stabilan ni u vremenu (tj. nagle varijacije protoka tokom malih vremenskih perioda), a ni u prostoru (tj. nepravilne koncentracije vozila na određenim dionicama saobraćajnice u bilo kojem trenutku). Ipak, moguće je definisati prosječnu ukupnu brzinu za ovu vrstu protoka koja je tokom dovoljno dugog vremenskog perioda stabilan i periodičan. Ovaj tip saobraćajnog toka odgovara saobraćaju na cestama u centru grada, na glavnim cestama blizu zasićenja, na otpremnim ili povezujućim cestama s brojnim raskrscima, na parkiralištima, na pješačkim prelazima te na raskrscima za skretanje ka naselju.
- (3) **Pulsirajući – ubrzavajući tok:** tok je pulsirajući i samim tim turbulentan. Međutim, veliki broj vozila ubrzava, što podrazumijeva da pojam brzine ima značenje samo u određenim tačkama, a sve zbog svoje nestabilnosti tokom kretanja vozila. Ovakav slučaj je karakterističan za saobraćaj na brzim cestama nakon raskrsnica, na izlascima s autoceste, kod naplatnih kućica itd.
- (4) **Pulsirajući – usporavajući tok:** suprotan je od prethodnog zato što značajan dio vozila usporava. Uglavnom se javlja na prilazu glavnim gradskim raskrscima, na izlazima s autoceste ili brze ceste, na prilazu naplatnim kućicama, itd.

Uzdužni profil: Postoje tri **uzdužna profila** koja se razmatraju pri određivanju razlike u emisiji zvuka u zavisnosti od nagiba kolovoza:

- horizontalni kolovoz ili horizontalni odsjek kolovoza čiji je nagib u smjeru kretanja saobraćajnog toka manji od 2%,

- uzlazni kolovoz je kolovoz čiji je uzlazni nagib u smjeru kretanja saobraćajnog toka veći od 2%,
- silazni kolovoz je kolovoz čiji je silazni nagib u smjeru kretanja saobraćajnog toka veći od 2 %.

Zavisno od frekvencije vozila, osnovni nivo buke L_{AWi} , u dB(A), sastavljenog tačkastog izvora i u datoj oktavi j računa se iz pojedinačnih nivoa emisije zvuka za laka i teška vozila prema podacima iz nomograma 2, korištenjem sljedeće formule:

$$L_{AWi} = L_{AW/m} + 10 \log(l_i) + R(j) + \Psi \quad [\text{dB(A)}] \quad (4)$$

pri čemu je:

$L_{AW/m}$ – ukupan nivo buke po metru dužine uzduž vozne trake koja odgovara datom linijskom izvoru [dB(A)], računa se prema sljedećoj formuli:

$$L_{AW/m} = 10 \log \left(10^{(E_{lv} + 10 \log(Q_{lv}))/10} + 10^{(E_{hv} + 10 \log(Q_{hv}))/10} \right) \quad [\text{dB(A)}] \quad (5)$$

pri čemu je:

E_{lv} – emisija za laka vozila utvrđena po nomogramu 2

E_{hv} – emisija za teška vozila utvrđena po nomogramu 2

Q_{lv} – saobraćajno opterećenje lakim vozilima u referentnom intervalu

Q_{hv} – saobraćajno opterećenje teškim vozilima u referentnom intervalu

Ψ – korekcija nivoa zvuka zavisno od kolovozne površine

l_i – dužina dionice linijskog izvora koji predstavlja sastavljeni tačkasti izvor i [m]:

Nivo zvuka sa povoljnim uslovima širenja, za put od izvora do cilja (za svaki spektar oktave) se računa po formuli:

$$L_F = L_{AWi} - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,F} - A_{dif,F} \quad [\text{dB(A)}] \quad (6)$$

Nivo zvuka sa homogenim uslovima širenja, za put od izvora do cilja (za svaki spektar oktave) se računa po formuli:

$$L_H = L_{AWi} - A_{div} - A_{atm} - A_{grd,H} - A_{dif,H} \quad [\text{dB(A)}] \quad (7)$$

2.4. Richtlinien und Vorschriften für Strassenbau model (RVS 3.02)

RVS 3.02 je austrijski model za predviđanje ekvivalentnog A-ponderisanog nivoa saobraćajne buke. Ovim modelom su definisane sljedeće kategorije motornih vozila:

- laka vozila – automobili,
- srednje teška vozila – autobusi, motori i teretna vozila bez prikolice,
- srednje teška vozila sa smanjenom emisijom buke,
- teška motorna vozila – teretna vozila sa prikolicom,
- teška vozila sa smanjenom emisijom buke.

Cestovni saobraćaj modeluje se linijskim izvorom zvuka koji se nalazi 0,5 m iznad površine kolovoza. Ekvivalentni A-ponderisani nivo buke cestovnog saobraćaja u proizvoljnoj prijemnoj tački se određuje primjenom sljedeće jednačine (13):

$$L_{Aeq,i} = 10 \log \left(\sum_{i=1}^5 10^{(L_{Aeq,i} + 10 \log Q_i) / 10} \right) + 10 \log \left(\frac{\alpha}{180^\circ} \right) - 10 \log \left(\frac{d}{d_0} \right) \quad [dBA] \quad (8)$$

gdje je:

$L_{Aeq,i}$ – referentni nivo buke vozila i -te kategorije, [dB(A)],

Q_i – protok vozila i -te kategorije, [vozila/h],

α – ugao pod kojim se iz prijemne tačke vidi saobraćajnica, [°],

d – najkraće rastojanje između prijemne tačke i linijskog izvora, [m],

d_0 – referentno rastojanje od 1 m.

Referentni nivoi buke vozila i -te kategorije predstavlja funkciju brzine kretanja vozila v_i [km/h] i vrste cestovnog zastora, koji se računa prema formuli:

$$L_{Aeq,i} = L_{Aeq,i} \left(50 \frac{km}{h} \right) + C \cdot \log \left(\frac{v_i}{50 \frac{km}{h}} \right) \quad [dBA] \quad (9)$$

Vrijednosti $L_{Aeq,i}(50\text{km/h})$ nivoa i koeficijenta C se očitavaju iz tabela za referentne nivoe buke pri brzini 50km/h i vrijednosti koeficijenta C u zavisnosti od kategorije vozila.

2.5. Federal Highway Administration Traffic Noise Model (FHWA TNM)

Savezna administracija za autoputeve (FHWA, Federal Highway Administration) Sjedinjenih Američkih Država 1978. godine razvila je model za predviđanje saobraćajne buke (TNM, Traffic Noise Model). Ovaj model je više puta usklađivan tokom godina, pri čemu su mijenjani referentni nivoi buke pojedinih kategorija motornih vozila (14).

Kako bi se detaljno opisala struktura saobraćajnog toka, definisane su sljedeće pojedinih kategorija motornih vozila:

- automobili – motorna vozila sa dvije osovine i četiri točka,
- srednji kamioni – motorna vozila sa dvije osovine i šest točkova,
- teški kamioni – motorna vozila sa tri ili više osovina.

Ekvivalentni A-ponderisani nivo saobraćajne buke za svaku navedenu kategoriju vozila tokom jednosatnog vremenskog intervala u proizvoljnoj prijemnoj tački se izračunava prema sljedećoj relaciji:

$$L_{Aeq,i} = (L_0)_{E_i} + 10 \log \left(\frac{Q_i d_0}{v_i} \right) - 25 + 10 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)^{1+\beta} + 10 \log \left(\frac{\alpha}{180^\circ} \right) + \Delta L_b \quad [dBA] \quad (10)$$

gdje je:

Q_i – protok vozila i -te kategorije, [vozila/h]

d – najkraće rastojanje između prijemne tačke i ose saobraćajnice, [m]

d_0 – referentno rastojanje od 15 m

v_i – brzina vozila i -te kategorije, [km/h]

α – ugao pod kojim se iz prijemne tačke vidi saobraćajnica, [°]

β – parametar čija je vrijednost 0 ako je podloga između saobraćajnice i prijemne tačke tvrda (neporozan), dok u slučaju meke (poroznog) podloga vrijednost parametra β iznosi 0,5

ΔL_b – slabljenje uslijed difrakcije (ukoliko između saobraćajnice i prijemne tačke postoji zvučna barijera).

Referentni nivo $(L_0)_{E_i}$ definisan je za svaku od kategorija motornih vozila kao funkcija prosječne brzine vozila date kategorije, i to:

$$(L_0)_{E_i} = \begin{cases} 38,1 \log(v_i) - 2,4 & [\text{dBA}] \text{ za automobile} \\ 33,9 \log(v_i) + 16,4 & [\text{dBA}] \text{ za srednje kamione} \\ 24,6 \log(v_i) + 38,5 & [\text{dBA}] \text{ za teške kamione} \end{cases} \quad (11)$$

Konačno, nivo saobraćajne buke za svaku navedenu kategoriju vozila tokom jednosatnog vremenskog intervala se proračunava na sljedeći način (15):

$$L_{Aeq1h} = 10 \cdot \log \left\{ \left[\frac{V_{auto}}{1000} \cdot 10^{L_{Aeq1h(Auto)}/10} \right] + \left[\frac{V_{MT}}{1000} \cdot 10^{L_{Aeq1h(MT)}/10} \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{V_{HT}}{1000} \cdot 10^{L_{Aeq1h(HT)}/10} \right] + \left[\frac{V_{Bus}}{1000} \cdot 10^{L_{Aeq1h(Bus)}/10} \right] \right. \\ \left. + \left[\frac{V_{MC}}{1000} \cdot 10^{L_{Aeq1h(MC)}/10} \right] \right\} \quad [\text{dB(A)}] \quad (12)$$

gdje je:

L_{Aeq1h} – ekvivalentni A-ponderisani nivo saobraćajne buke za svaku navedenu kategoriju vozila tokom jednosatnog vremenskog intervala

V_{Auto} – obim automobilske saobraćajne buke (PGDS)

$L_{Aeq1h(Auto)}$ – ekvivalentni nivo saobraćajne buke za automobile tokom jednosatnog vremenskog intervala

V_{MT} – obim saobraćajne buke za srednje kamione (PGDS)

$L_{Aeq1h(MT)}$ – ekvivalentni nivo saobraćajne buke za srednje kamione tokom jednosatnog vremenskog intervala

V_{HT} – obim saobraćajne buke za teške kamione (PGDS)

$L_{Aeq1h(HT)}$ – ekvivalentni nivo saobraćajne buke za teške kamione tokom jednosatnog vremenskog intervala

V_{Bus} – obim saobraćajne buke za autobuse (PGDS)

$L_{Aeq1h(Bus)}$ – ekvivalentni nivo saobraćajne buke za autobuse tokom jednosatnog vremenskog intervala;

V_{MC} – obim saobraćajne buke za motocikle (PGDS)

$L_{Aeq1h(MC)}$ – ekvivalentni nivo saobraćajne buke za motocikle tokom jednosatnog vremenskog intervala.

3. KOMPARACIJA MODELA

Navedeni modeli imaju sličan oblik i većinom uzimaju u obzir iste uticajne parametre za proračun emisijskog nivoa buke. Oni su zasnovani na pretpostavci da je cesta linijski izvor saobraćajne buke i da je nivo buke zbir:

- osnovnog nivoa koji je utvrđen empirijski,
- prilagođavanja parametara koji utiču na emisiju buke (jačina izvora),
- ukupanog protoka vozila i broja teških vozila,
- brzine vozila,
- prilagođavanja nagiba ceste,
- prilagođavanja za vrstu površine podloge/kolnika,
- korekcija koje se odnose na širenje zvuka od ceste do prijemnika,
- smanjenja buke s udaljenosti,
- apsorpcije tla,
- prigušenja barijerama buke i difrakcije preprekama,
- refleksije zvuka,
- ugla gledanja.

U tabeli 1 prikazani su uticajni parametri koji se uzimaju u obzir u pojedinim evropskim zemljama pri izračunu nivoa buke na mjestu imisije (16).

Tabela 2. Uticajni parametri u pojedinim evropskim zemljama pri izračunu nivoa buke

Metoda Parametar	Njemačka	Velika Britanija	Francuska	Austrija	SAD
Referentna vrijednost nivoa buke	+	+	+	+	+
Brzina vozila	+	+	+	+	+
Zastor kolovoza	+	+	+	+	+
Uzdužni nagib	+	+	+	+	+
Teretna vozila	+	+	+	+	+
Više kategorija vozila	-	-	-	+	+
Saobraćajno opterećenje	+	+	+	+	+
Blizina raskrsnice	+	-	+	+	-
Stanje saobraćajnog toka	-	-	+	-	-
Uticaj vjetra	+	+	+	-	+

Uticao terena	+	+	+	+	+
Uticao udaljenosti	+	+	+	+	+
Uticao refleksije	+	+	+	+	+
Uticao barijera	+	+	+	+	+
Ugao rasprostiranja	+	+	+	+	+
(+) uzima se u obzir					
(-) ne uzima se u obzir					

Izvor: Lindov, O., Čaušević, S., i saradnici: Noise modeling and vibrations „I transferzala“, uz doradu autora

Međutim, svaki model ima i svojih specifičnosti koje su nastale dugogodišnjim praćenjem vrijednosti buke uz saobraćajnicu uz uzimanje vrijednosti protoka, učešća teških teretnih vozila i dr. Ono po čemu se posebno ističu jedni od drugih je da npr. samo NMPB-Routes uzima u obzir različita stanja saobraćajnog toka (kontinuirani, kontinuirano–pulsirajući, pulsirajuće–ubrzavajući i pulsirajuće– usporavajući tok), zatim RVS 3.02 i FHWA TNM u obzir uzimaju više podjela vozila osim na laka i teška teretna vozila (automobili, srednja teretna, teška teretna), ili to da RVS 3.02 ne predviđa uticaj hidrometeoroloških uslova.

Neki modeli su poprilično jednostavni za proračun, ali ne uzimaju u obzir neke specifičnije uslove. Na primjer, C.R.T.N. model, koji se pretežno koristi u Velikoj Britaniji, omogućava relativno jednostavan način proračuna, od tačke do tačke, ali ne uzima u obzir meteorološke uticaje na širenje zvuka, niti različite refleksije podloge ili diskontinuiteta tla. Postoje modeli koji su mnogo pogodniji za bavljenje refleksijama. Na primjer, RVS 3.02 omogućava detaljnu analizu višestrukih refleksija na fasadama zgrada, no one nisu dovoljno jednostavne da bi se implementirale koherentno iz jedne situacije u drugu. Konačan izbor implementacije je prepušten krajnjem korisniku.

Načini primjene korekcionih faktora (topografija područja, temperatura, padavine, brzina vjetera, vlažnost i atmosferski pritiska, karakteristike podloge, kao i uticaj barijere na širenje zvuka) su poprilično slični, ali ne i u potpunosti isiti pri korištenju različitih modela procjene nivoa buke. Ukoliko se razmatra širenje zvučnog talasa od izvora prema mjestu imisije sa aspekta smanjenja nivoa buke, teorijska osnova je ista za sve modele, međutim razlika postoji u operativnom smislu. Različitosti su posebno izražene pri određivanju referentne (početne) vrijednosti nivoa

buke, tj. pri izboru referentne tačke. Također, može se istaći da se navedeni modeli razlikuju i u proračunskom modelu širenja buke, pri čemu se prvenstveno misli na način primjene relevantnih elemenata za određivanje nivoa buke. Kako bi se tačno ustanovile karakteristike svakog pojedinačnog modela i uporedili načini primjene u nastavku je prvenstveno prikazan jasan pregled primjena korekcionih faktora pri izračunu nivoa buke.

Tabela 3. Primjena korekcionih faktora pri izračunu nivoa buke

M O D E L I	KOREKSIONI FAKTORI											
	U zav isn osti od brzi ne	U zavi snos ti od vrste kolo voza (put nog zast ora)	U zavis nosti od nagi ba puta	U zavisn osti od višestr ukog odbija nja zvučni h talasa	U zavis nosti od kateg orije vozil a	U slučaj u linijsk og izvora ogran ičene dužin e	U zavis nosti od rasto janja	U zavisno sti od vrste saobra ćajnog toka	U zavis nosti od tla iznad kojeg se prost iru zvuč ni talasi	U zavis nosti od postoj anja barij ere	U zavisn osti od tempe rature zraka i vlažno sti	U zavis nosti od uticaj a vjetr a (brzi ne, smjer a)
RLS 90	DA	DA	DA	DA	DA	NE	DA	NE	DA	DA	NE	DA
CRT N	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	DA	DA	NE	DA
NMP B Rout es	DA	DA	DA	NE	DA	NE	DA	DA	DA	DA	DA	DA
RVS 3.02	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	DA	DA	NE	NE
FH WA TNM	DA	DA	DA	NE	DA	DA	DA	NE	DA	DA	NE	DA

Izvor: Obrada autora

Nadalje, moguće je uočiti da postoji veliki broj različitih pokazatelja nivoa buke koji se koriste u pojedinim državama Evropske Unije. Razlog tome je što su određene države nezavisno jedna o druge razvijale vlastite modele za procjenu nivoa buke. U narednoj tabeli prikazana je komparacija modela sa aspekta različitih tehničkih atributa.

Tabela 4. Komparacija modela sa aspekta različitih tehničkih atributa

<i>Tehnički atributi</i>	<i>RLS 90</i>	<i>CRTN</i>	<i>NMPB Routes</i>	<i>RVS 3.02</i>	<i>FHWA TNM</i>
<i>Primjena</i>	<i>Mreža cestovnog saobraćaja</i>	<i>Mreža cestovnog saobraćaja</i>	<i>Mreža cestovnog saobraćaja</i>	<i>Mreža cestovnog saobraćaja</i>	<i>Mreža cestovnog saobraćaja</i>
<i>Uslovi saobraćaja</i>	<i>Konstantna brzina, nagib, raskrsnice i isprekidani tok</i>	<i>Konstantna brzina i nagib</i>	<i>Stalna brzina, ubrzanje i usporenje</i>	<i>Konstantna brzina i nagib</i>	<i>Konstantna brzina, ubrzanje, nagib i isprekidani tok</i>
<i>Tipovi vozila</i>	<i>Laka vozila i teška vozila</i>	<i>Laka vozila i teška vozila</i>	<i>Laka vozila <3,5 tona i teška teretna vozila od 3,5 tona i više</i>	<i>Automobil i, srednja teretna vozila, teška teretna vozila, autobusi i motocikli</i>	<i>Automobili, srednja teretna vozila, teška teretna vozila, autobusi i motocikli</i>
<i>Širenje buke</i>	<i>Zavisi od zvučne energije. Izračun se vrši počevši od prosječnog nivoa buke mjerljive na udaljenosti od 25 m od sredine saobraćajne trake. Uključuje korekcije zbog prisutnosti prepreka, vegetacije, apsorpcije zraka,</i>	<i>Zavisi od zvučne energije.</i>	<i>Zavisi od zvučne energije. Model širenja uključuje proračun vjerovatnoće pojave silaznih uslova loma zvučnih talasa za svaki smjer, pronalazak putanje širenja između svakog izvora i prijemnika, proračun slabljenja u</i>	<i>Zavisi od zvučne energije.</i>	<i>Zavisi od zvučne energije. Širenje u pojasu 1/3 oktave modelirano je uzimajući u obzir atmosfersku apsorpciju, divergenciju, akustičku karakterizaciju u i topografiju tla od izvora do prijemnika, zidova, zemljanih nasipa i</i>

	refleksije, difrakcije i apsorpcije tla.		silaznim uslovima loma zvučnih talasa i homogenim uslovima. Nivo zvuka ponderisan je prosjekom pojave p_i kod silaznih uslova loma zvučnih talasa i homogenih uslova.		njihovih kombinacija, te redova zgrada i guste vegetacije od izvora do prijemnika.
Osnovni model	Prosječni nivo L_mE računa se na udaljenosti od 25 m od sredine saobraćajne trake. Predstavlja funkciju količine vozila na sat i procenta teških teretnih vozila.	L_{10} u smislu ukupnog protoka po satu izračunava se na referentnoj udaljenosti od 10 m i referentnoj srednjoj saobraćajnoj brzini od 75 km/h.	Emisija buke saobraćajne trake okarakterisan a nivoom zvučne snage po metru i po vozilu $L_w/m/veh$, što predstavlja zbir buke motora i kotrljanja guma. Komponenta buke kotrljanja guma definisana je za tri tipa cestovne površine R1, R2 i R3.	Cestovni saobraćaj modeluje se linijskim izvorom zvuka koji se nalazi 0,5 m iznad površine kolovoza. Ekvivalent ni A-ponderisa ni nivo buke u proizvodnoj prijemnoj tački proračuna va se na osnovu referentni nivo buke vozila i-te	Izračunava vertikalne emisije vozila iz pod-izvora u zavisnosti od tipa vozila, tipa kolovoza i uslovima davanja gasa. Sedamnaest konstanti definisano je u zavisnosti do varijabli za pretvaranje A-ponderisane emisije nivoa buke u spektar 1/3 oktave. Emisija zasnovana na prolasku 15 vozila koja se kreću po

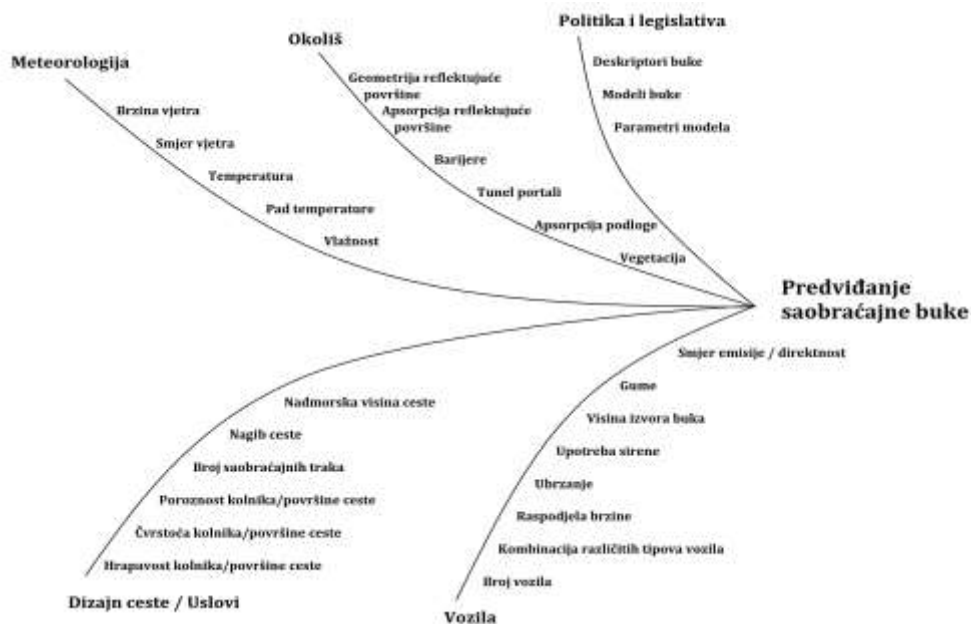
				<p>kategorijske i protoka vozila po satu.</p> <p>Referentni nivoi buke su pri brzini 50km/h</p>	<p>ravnoj upijajućoj podlozi.</p>
<p>Geometrijska divergencija</p>	<p>Korekcija za udaljenost se može učiniti primjenom jednačine za uticaj širenja talasnog fronta i disipacije zvučne energije.</p>	<p>Korekcija za udaljenost definisana sa ΔL_D ukoliko se radi procjena u proizvoljnoj prijemnoj tački čije je rastojanje od ivice saobraćajnice veće od 4 m.</p>	<p>Prigušenje zvuka A_{div} zbog geometrijskog širenja (smanjenje nivoa zvuka zbog udaljenosti) računa se prema izrazu:</p> $A_{div} = 20 \log d + 11$	<p>Korekcija za udaljenost od kolovoza do prijemnika je definisana $10 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)^{2,1\beta}$</p>	<p>Korekcija za udaljenost od kolovoza do prijemnika je definisana $10 \log \left(\frac{d_0}{d} \right)^{2,1\beta}$ pri čemu je β – parametar čija vrijednost zavisi od podloge između saobraćajnice i prijemne tačke.</p>
<p>Visina prijemnika i udaljenost</p>	<p>Referentno rastojanje je 25 m od sredine saobraćajne trake do prijemnika.</p>	<p>Referentno rastojanje je 10 m od ivice saobraćajnice .</p>	<p>Visina 1,2 m iznad površine podloge. Referentno rastojanje je 7,5 m od izvora do prijemnika.</p>	<p>Visina 0,5 m iznad površine podloge. Referentno rastojanje je od 1 m.</p>	<p>Visina 1,5 – 3,66 m iznad površine podloge. Referentno rastojanje je 15 m od izvora do prijemnika.</p>
<p>Ulazni podaci</p>	<p>Sastav/vrsta saobraćaja, protok, podaci o saobraćajnicama i parking prostorima</p>	<p>Procenat teških vozila, protok, brzina, podaci o saobraćajnicama i okolišu, nagib</p>	<p>Prosječan sati protok svake kategorije vozila, brzina i vrsta protoka svake kategorije vozila, vrsta cestovnog</p>	<p>Sastav/vrsta saobraćaja, protok, brzina, podaci o saobraćajnicama i emisiji i obilježja područja</p>	

			zastora i nagiba ceste.		
Deskriptor buke	L_{Aeq} L_m, E , L_m (srednji nivo za svako kolovoznu traku)	L_{10} (1 sat) i L_{10} (18 sati)	L_{Aeq}	L_{Aeq}	L_{Aeq} (1 sat)
Uticaj nagiba	U slučaju da je nagib veći od 5%: $\Delta L_g = 0,6 \cdot g - 3$ dBA	Korekcija za nagib: $\Delta G = 0,3 \cdot g$ dBA	Korekcija ΔL_m je definisana za kolovoze sa usponom, padom i za horizontalne kolovoze. Definirana su tri potencijalna nagiba: horizontalni ($g < 2\%$), prema gore ($2\% \leq g \leq 6\%$) i prema dole ($2\% \leq g \leq 6\%$).	Nije definisano.	Model izračunava prilagođene brzine na temelju unešenih brzina od strane korisnika, nagiba kolovoza i uređaja za upravljanje saobraćajem. TNM smanjuje ulazne brzine ovisno o strmini i dužini te dionice.
Uticaj podloge	Razlika u nivou buke uzrokovana je apsorpcijom tla i meteorološkim uticajima na slobodnom polju. Korekcioni faktor definisan u modelu u obzir uzima kolovoznog	Definiše uticaj za slučaj dva tipa kolovoznog zastora (asfalt i beton) o zavisnosti brzine motornih vozila manje ili veće od 75 km/h (ΔL_p).	Faktor koherentnosti definisan za učinke iz prosjeka frekvencijsko g pojasa i turbulencije, fluktuirajućeg loma, hrapavosti površine i zona raspršenja. Prigušenje	Nije definisano.	TNM model za koeficijente refleksije temeljene na Chessellovom pristupu uključuje model impedancije tla s jednim parametrom.

	zastora i brzinu kretanja motornih vozila.		zvuka zbog uticaja tla uzima u obzir dva načina prenosa zvuka i to prenos zvuka u povoljnim uslovima i prenos zvuka u homogenim uslovima (ISO 9613-2).		
--	--	--	--	--	--

Izvor: Obrada autora

Svaki od modela ima svoje prednosti i nedostatke. Nivoi procijenjeni statističkim modelom buke umjereno su pouzdani za standardne uslove protoka sapbraćaja kao što su stalne brzine, bez naglih promjena i odsutnost raskrsnica. Prilikom poređenja jednog modela s drugim, potrebno je sagledati svrhu za koju se model i njegova predviđanja koriste, te unutar svakog modela razmotriti kako se razmatraju specifični učinci koji utiču na snagu izvora ili na proračun širenja. U većini slučajeva, modeliranje buke obavlja specijalist akustičar. U nedostatku zakonskih zahtjeva, kompetentan stručnjak za akustiku trebao bi biti u mogućnosti preporučiti odgovarajući model za bilo koji kontekst. Obično bi ovaj izbor trebao biti opravdan pregledom literature koja dokumentuje validaciju modela za specifične okolnosti.



Slika 1. Ulazni podaci za modele predviđanja saobraćajne buke

Izvor: Obrada autora

Bez obzira na to koji model je odabran za primjenu, ključna informacija za sve studije procjene je sistematičan prikaz izvora buke koje treba istražiti i fizičkog okruženja kroz koje će se buka prenositi do prijemnika. Kad god je moguće, modeliranje buke treba podržati i potvrditi mjernom kampanjom.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu, dat je pregled i kritički osvrt na najčešće korištene modele sa njihovim osnovnim specifičnostima, kao što su način i mogućnosti primjene, opis zvučne energije, mogućnostima korekcije za pulsirajuće/isprekida tokove, višetračne ceste i različite saobraćajnice, potrebnim ulaznim parametrima i dr.

Nakon kritičkog pregleda, komparacijom je ustanovljeno da navedeni modeli većinom uzimaju u obzir iste uticajne parametre za proračun emisijskog nivoa buke (brzina vozila, udio teretnih vozila u saobraćajnom opterećenju, uzdužni nagib saobraćajnice, vrsta zastora kolovozne površine). Svaki model ima specifičnosti svojih izraza koji su nastali dugogodišnjim

praćenjem vrijednosti buke uz saobraćajnicu uz uzimanje vrijednosti protoka, učešća teških teretnih vozila i dr. Ono po čemu se posebno ističu jedni od drugih je da npr. samo NMPB-Routes-2008 uzima u obzir različita stanja saobraćajnog toka (kontinuirani, kontinuirano–pulsirajući, pulsirajuće–ubrzavajući i pulsirajuće– usporavajući tok), zatim RVS 3.02 i FHWA TNM u obzir uzimaju više podjela vozila osim na laka i teška teretna vozila (automobili, srednja teretna, teška teretna), ili to da RVS 3.02 ne predviđa uticaj hidrometeoroloških uslova.

Razlike u modelima postoje u određivanju referentne (početne) vrijednosti nivoa buke koja se očituje u odabiru referentne tačke za njezino određivanje. U opisanim modelima, također, postoje razlike u proračunskom modelu širenja buke i to u načinu uključivanja u proračun relevantnih elemenata za određivanje nivoa buke na mjestu imisije. Stoga se i nameće zaključak da postojeće modele treba veoma obazrivo primjenjivati u drugim sredinama. Komparativnom analizom dat je aktualizirani pregled modela predviđanja nivoa saobraćajne buke.

LITERATURA

1. Lindov, O., 2011. Ekološki aspekti prometnog razvoja Bosne i Hercegovine, Naučno-stručni rad, HAZU- Hrvatska akademija znanosti i umjetnosti. *Znanstveno vijeće za promet, Međunarodni znanstveni skup*. Zagreb.
2. Lindov, O., 2003. Uticaj cestovnih vozila i cestovne infrastrukture na ekološke parametre. *Ekološki problemi suvremenog prometa*. Akademija nauka i umjetnosti BiH, Sarajevo.
3. Mehanović, M., 2017. Ecological Aspects of Optimizing the Movement of Vehicles in Road Network. *Suvremeni Promet-Modern Traffic*, 37(3-4).
4. Mehanović, M., 2016. Model of Analysis and Process Management in Passenger Transport. Croatian Scientific Society for Transport, Siget, (p.p.60). Zagreb.
5. Lakušić, S. D., 2003. Pregled europske regulative o buci od cestovnog prometa. *Građevinar*, 55(6).
6. Der bundesminister für verkehr, Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90. Abteilung Straßenbau. 1990.
7. Department of transport Welsh Office, Calculation of Road Traffic Noise. HMSO., London 1988.
8. Min Li, N. S., 2015. The Performance of CRTN Model in a Motorcycle City. *Mathematical Problems in Engineering*.
9. International Organization for Standardization, ISO 9613: Acoustics - Acoustics - Attenuation of Sound During Propagation Outdoors: Parte 1 & Part 2. (1996).
10. European Commission, Guidelines on the revised interim computation methods for industrial noise, aircraft noise, road traffic noise and railway noise, and related emission data. 2003. 2003/613/EC.
11. Sétra., 2009. Road noise prediction - 2 -Noise propagation computation method including meteorological effects (NMPB 2008). Central Administration Departments of the Ministry of Ecology, Energy, Sustainable Development and Regional Development.

12. Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke. (2009). Narodne novine, 75/2009.
13. Meßsysteme, W., Co, S. G., 2001. Road traffic noise - Description of the calculation method. AR-INTERIM-CM.
14. Barry, T. M., Reagan, J. A., 1978. FHWA highway traffic noise prediction model. Technical report.
15. U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration, Traffic Noise Model and Tools, web: <https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/traffic_noise_model/>, pristupljeno 11.05.2022.
16. Lindov, O., Čaušević, S., Bjelica, D., Omerhodžić, A., Đulić, J., 2010. Modeliranje buke – model nultog stanja i projekcije za 10 godina, saobraćajnica „I transverzala“. Studijski projekat, Fakultet za saobraćaj i komunikacije, Sarajevo.