

# Određivanje stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora

Stjepan Lakušić, Vesna Dragčević, Maja Ahac, Saša Ahac

## Ključne riječi

željeznički kolodvor,  
razina buke,  
model proračuna,  
optimizacija,  
mjerenja na terenu,  
zaštita od buke

## Key words

train station,  
noise level,  
calculation model,  
optimization,  
on site measurements,  
noise protection

## Mots clés

gare ferroviaire,  
niveau de bruit,  
modèle de calcul,  
optimisation,  
mesures sur le terrain,  
protection contre bruit

## Ключевые слова

железнодорожный  
вокзал, уровень шума,  
модель расчета,  
оптимизация,  
измерения на  
местности,  
защита от шума

## Schlüsselworte

Eisenbahnhof,  
Lärmpegel,  
Berechnungsmodell,  
Optimierung,  
Terrainmessungen,  
Lärmschutz

S. Lakušić, V. Dragčević, M., Ahac, S. Ahac

Izvorni znanstveni rad

## Određivanje stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora

Određivanja stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora svodi se na izradu modela proračuna što je zahtjevan postupak zbog potrebnog prikupljanja velikog broja podataka o utjecajnim parametrima. Opisan je postupak optimizacije izrade modela. Uspoređeni su rezultati proračuna prema mjerenjima na terenu na dva reprezentativna primjera. Rezultati dobiveni opisanom postupkom u odnosu na mjerenja na terenu pouzdani su, što je nužno za donošenje odluke o mjerama zaštite od buke.

S. Lakušić, V. Dragčević, M., Ahac, S. Ahac

Original scientific paper

## Noise level determination in train station zones

Determination of noise levels in train station zones is based on preparation of analysis models, which is a very demanding procedure because of a multitude of parameters that have to be collected in the process. The model optimization procedure is described. Calculation results are compared with on site measurements using two representative examples. In comparison with on site measurements, results obtained using the described procedure have proven to be reliable, which is indispensable for making appropriate decisions on measures to be taken in the sphere of noise protection.

S. Lakušić, V. Dragčević, M., Ahac, S. Ahac

Ouvrage scientifique original

## Détermination du niveau de bruit dans les zones des gares ferroviaires

La détermination du niveau de bruit dans les zones des gares ferroviaires est basée sur la préparation des modèles d'analyse, ce qui est une procédure très exigeante à cause de la multitude des paramètres qui doivent être définis dans ce processus. La procédure pour l'optimisation du modèle est décrite. Les résultats du calcul sont comparés avec les mesures sur le terrain effectuées sur deux exemples représentatifs. En comparaison avec les mesures sur le terrain, les résultats obtenus en utilisant la procédure décrite ont été démontrés comme fiables, ce qui est indispensable pour faire des décisions sur les mesures à prendre dans le domaine de protection contre bruit.

С. Лакушич, В. Драгчевич, М. Ахас, С. Ахас

Оригинальная научная работа

## Определение уровня шума в зонах железнодорожных вокзалов

Определение уровня шума в зонах железнодорожных вокзалов сводится к разработке модели расчета, что представляет собой довольно сложную процедуру из-за необходимости сбора большого количества данных о влияющих параметрах. Описана процедура оптимизации разработки модели. Произведено сравнение результатов расчета по измерениям на местности на двух репрезентативных примерах. Установлено, что результаты, полученные путем описанной процедуры, по отношению к измерениям, произведенным на местности, являются надежными, что важно для принятия решения о мерах защиты от шума.

S. Lakušić, V. Dragčević, M., Ahac, S. Ahac

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

## Bestimmung des Lärmzustands in Gebieten der Eisenbahnhöfe

Die Bestimmung des Lärmzustands in Gebieten der Eisenbahnhöfe leitet sich auf die Herstellung eines Berechnungsmodells ab, was ein anspruchsvolles Verfahren ist wegen der nötigen Ansammlung einer grossen Zahl von Angaben über die beeinflussenden Parameter. Beschrieben ist ein Verfahren der Optimierung der Herstellung des Modells. Die Ergebnisse der Berechnung sind mit Terrainmessungen an zwei repräsentativen Beispielen verglichen. Die Ergebnisse gewonnen mit dem beschriebenen Verfahren in Beziehung zu den Terrainmessungen sind zuverlässig, was für die Entscheidung über die Verfahren des Lärmschutzes notwendig war.

Autori: Prof. dr. sc. **Stjepan Lakušić**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Vesna Dragčević**, dipl. ing. građ.; **Maja Ahac**, dipl. ing. građ.; **Saša Ahac**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet, Zagreb

## 1 Uvod

Povećanje opsega cestovnog i željezničkog prometa, brzine prometovanja i broja stanovnika u neposrednoj blizini cestovnih i tračničkih prometnica, sve manja tolerancija zajednice na buku prometa te izgradnja novih prometnica neizbježno povećava važnost predviđanja, mjerenja i kontrole prometne buke u urbanim sredinama. Proračun razina prometne buke u takvim područjima zahtijeva respektiranje niza parametara koji nemaju utjecaja pri ispitivanju stanja bučnosti u blizini prometnica izvan naselja. Primjerice, na gradskim su prometnim koridorima, cestovnim i tračničkim, uvjeti odvijanja prometa i stanje prometnog toka vrlo promjenjivi te su česte promjene brzine kretanja vozila. S obzirom na vrijeme potrebno za izradu modela i provedbu proračuna razina buke, kao i potrebnu količinu podataka, posebno su problematična područja željezničkih kolodvora. Zbog velikog broja različitih izvora i čimbenika koji utječu na nastajanje i širenje buke, različitih tipova tračničkih vozila, velikog broja tračničkih sastava, skretnica te različitih konstrukcija gornjeg ustroja kolosijeka, guste izgrađenosti okolnih područja i sl., na područjima kolodvora prisutni su složeni uvjeti emisije i imisije buke, [1]. Također, željeznički su kolodvori uglavnom smješteni u širim gradskim središtima u kojima, uz tračnički, teče i intenzivan cestovni promet čiji je utjecaj na razine buke okoliša znatan i koji se ne može izuzeti iz analize stanja bučnosti kolodvora. Kako bismo zorno prikazali problematiku određivanja stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora, u radu su, zbog ograničenog prostora, rezultati istraživanja većeg opsega prikazani na dva, po performansama, broju i tipu utjecajnih parametara, reprezentativna primjera te su opisani postupci primjenjivi za većinu primjera koji se u praksi mogu pojaviti.

## 2 Prikupljanje podataka za izradu modela proračuna

U Republici Hrvatskoj (RH) još uvijek ne postoji jedinstvena baza podataka potrebnih za izradu modela i provedbu proračuna emisije buke ni za željeznički ni za cestovni promet. Zbog toga je prije svakog proračuna, na temelju velikog broja podataka dobivenih iz različitih izvora, potrebno izraditi zadovoljavajuće precizan model promatranog prostora te definirati karakteristike izvora buke. Složenost područja za koje se želi provesti proračun buke (što se tiče izgrađenosti, različitih namjena prostora i prometnih sustava), količina i preciznost ulaznih podataka potrebnih da bi se primijenile prijelazne metode proračuna [2, 3, 4, 5] te nemogućnost prikaza podataka (dostupnih u RH) u obliku potrebnom za proračun može znatno povećati složenost i trajanje postupka izrade modela. To uvelike otežava postupak proraču-

na razina prometne buke, pogotovo pri analizi stanja bučnosti u urbanim sredinama gdje je uz prikupljanje podataka o voznom parku, voznim površinama i sl. potrebno izraditi i izrazito složen model širenja buke koji uključuje podatke o terenu i preprekama širenju buke. Općenito, moguće izvore potrebnih podataka možemo podijeliti na:

- primarne izvore – vlastita terenska mjerenja i
- sekundarne izvore – podaci nacionalnih, regionalnih i lokalnih uprava za ceste, zavoda za planiranje grada pri gradskom vijeću, željezničkih uprava [6].

Redovito je prikupljanje i povezivanje podataka nužnih za proračun razina prometne buke u široko dostupne baze dužnost uprava za ceste, gradskih vijeća i željezničkih uprava. Ta tijela u RH ne prikupljaju i ne sistematiziraju većinu ulaznih podataka potrebnih za izradu modela proračuna. Zbog toga je postupak izrade modela koji se u Hrvatskoj može primijeniti specifičan. Za izradu valjanog modela neke je podatke potrebno prikupiti terenskim mjerenjima i opažanjima, a neke je potrebno odrediti rabeći tzv. zamjenske podatke, uvedene radi nepostojanja realnog podatka potrebnog za proračun. Izvor zamjenskih podataka je propisan: prema Pravilniku [7] potrebno je primijeniti posljednje izdanje dokumenta radne skupine Europske komisije za ocjenu izloženosti buci: "*Polazne osnove – Vodič kroz dobru stručnu praksu izrade strateških karata buke i s njima povezanih podataka o izloženosti buci*" [8]. U navedenom je dokumentu predstavljen niz zamjenskih podataka, uz informaciju o složenosti i trošku primjene te točnosti rezultata proračuna dobivenih primjenom određenoga zamjenskoga podatka. Točnost rezultata izražena je odstupanjem u dB od stvarnog stanja bučnosti pri čemu je najveće odstupanje veće od 5 dB dok je najmanje manje od 0,5 dB, [8]. Potrebno je naglasiti da predviđena odstupanja rezultata proračuna definirana tim dokumentom vrijede isključivo u slučaju kada su poznati svi ulazni podaci osim jednog. Prema [8], povećanje broja potrebnih zamjenskih podataka uzrokuje znatno povećanje ukupnog odstupanja rezultata proračuna, no veličina tog povećanja nije definirana.

Cilj provedenog istraživanja, djelomično prikazanog u ovom radu, jest razmatranje mogućnosti primjene u Hrvatskoj dostupnih podataka za proračun prometne buke te uvođenje zamjenskih za podatke koje zahtijeva metoda proračuna, a nisu dostupni u postojećim bazama, odnosno ispitivanje utjecaja uvođenja većeg broja zamjenskih ulaznih podataka na brzinu izrade modela i pouzdanost rezultata proračuna. Verifikacija pouzdanosti rezultata proračuna primjenom modela provedena je u odnosu na mjerenja na terenu.

### 3 Analiza stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora

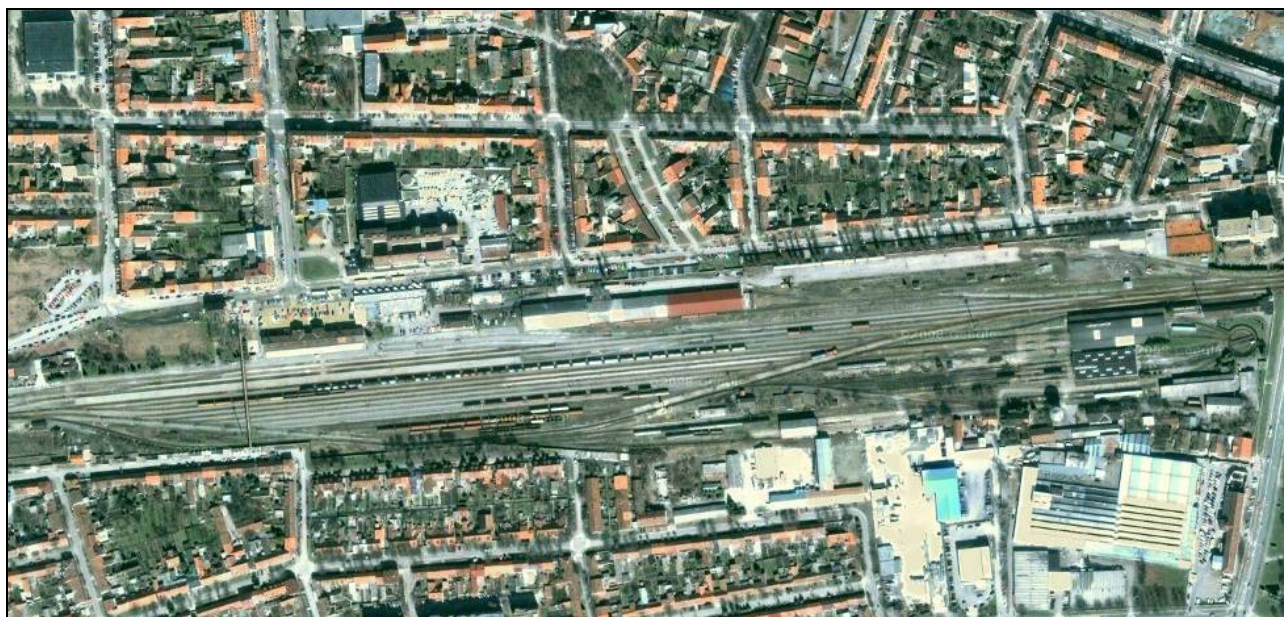
Prema [9] danas je na teritoriju RH u funkciji 248 željezničkih kolodvora pri čemu se njih 12 (5 %) nalazi u zonama četiriju najvećih urbanih središta sa više od 100.000 stanovnika (Zagreb, Split, Rijeka i Osijek). Pri odabiru kolodvora na kojima će se provesti ispitivanja na terenu izabrani su oni koji po svojim prostornim i prometnim karakteristikama (veličini, lokaciji, infrastrukturi, vrsti i količini prometa) obuhvaćaju veći broj ulaz-

nih parametara proračuna. Od 12 kolodvora za prikaz u radu odabrani su Zapadni kolodvor Zagreb (slika 1.) i kolodvor u Osijeku (slika 2.). Na slikama 1. i 2. situacijski je prikaz analiziranih kolodvora, a na slikama 3. i 4. detaljniji je prikaz razmatranih kolodvora. Zapadni kolodvor Zagreb te kolodvor u Osijeku odabrani su za analiziranje radi sljedećih karakteristika:

- nalaze se na prometno važnim međunarodnim paneuropskim koridorima (X. koridor – Zapadni kolodvor Zagreb i V.c koridor – kolodvor u Osijeku),



Slika 1. Situacijski prikaz analiziranog područja Zapadnog kolodvora Zagreb



Slika 2. Situacijski prikaz analiziranog područja željezničkog kolodvora u Osijeku



Slika 3. Zapadni kolodvor Zagreb



Slika 4. Kolodvor u Osijeku

- namijenjeni su prometovanju međunarodnih i lokalnih putničkih i teretnih vlakova različitih brzina prometovanja (bez zaustavljanja i sa zaustavljanjem na kolodvorima) i sastava kompozicija,
- smješteni su u širim gradskim središtima,
- omeđeni su gusto izgrađenim zonama uglavnom stambene i mješovite namjene [10, 11].
- na Zapadnom kolodvoru Zagreb obavljaju se prometne operacije ukrcavanja, iskrcavanja i otpreme putnika, prisutan je intenzivni teretni (tranzitni) i putnički promet, a samo područje kolodvora omeđuju vrlo opterećene cestovne prometnice,
- na kolodvoru u Osijeku osim malobrojnijih prometnih obavljaju se i tehnološke operacije (zagrijavanje dizelskih manevarskih lokomotiva, namirivanje lokomotiva gorivom, spremanje i raspoređivanje

komotiva u i iz kompozicije vlaka, manji popravci lokomotiva te manevriranje manevarskom lokomotivom), a na rubnim cestovnim prometnicama prisutan je promet malog intenziteta,

- na elektrificiranim kolosijecima Zapadnog kolodvora promet teče uz vuču i dizelskih i električnih lokomotiva, dok je na neelektrificiranim kolosijecima kolodvora u Osijeku prisutan isključivo promet znatno bučnijih dizelskih lokomotiva.

Proračun razina buke proveden je primjenom specijaliziranoga računalnog programa LimA i prijelaznih metoda proračuna definiranih Pravilnikom [7]. Za proračun razina buke cestovnog prometa prijelazna je francuska NMPB/XP S 31-133 metoda, dok je za proračun razina buke željezničkog prometa to nizozemska RMR 1997 metoda.

### 3.1 Izvori ulaznih podataka definirani metodama proračuna

U tablicama 1. do 4. dan je pregled mogućih izvora podataka potrebnih za izradu modela i proračun razina prometne buke, definiranih u preporukama Europske komi-

Tablica 1. Pregled ulaznih podataka proračuna emisije buke cestovnog prometa primjenom prijelazne metode

| Podaci potrebni za izradu modela emisije prema „Guide du Bruit des Transports Terrestres – Prévision des niveaux sonores“, 1980. |   | Mogući izvori podataka                   |
|--|---|--|
| Površina kolnika   | Tip površine kolnika:<br>• porozna površina;<br>• glatki asfalt;<br>• betonski kolnik i izbrazdani asfalt;<br>• glatko kameno popločenje;<br>• grubo kameno popločenje; | opažanje na terenu (vizualni pregled)*   |
|  |   | baze podataka cestovnih uprava           |
| Uzdužni nagib  | Tip dionice ovisno o uzdužnom nagibu:<br>• horizontalna: uzdužni nagib < 2 %;<br>• uspon/pad: uzdužni nagib > 2 %;  | geodetsko snimanje terena                |
|  |   | topografske karte*                       |
| Broj vozila prema kategorijama   | Kategorija vozila:<br>• laka (bruto masa vozila < 3,5 t);<br>• teška (bruto masa vozila ≥ 3,5 t);   | opažanje na terenu*                      |
|  |   | statistički podaci: PDP + tip prometnice |
| Brzina   | prosječna brzina V50 (brzina koju premašuje 50 % vozila, 20 – 130 km/h);<br>brzina definirana ograničenjem brzine;  | mjerenje                                 |
|  |   | opažanje na terenu*                      |
| Duljina dionice pojedinog tipa prometnog toka  | Tip prometnog toka:<br>• kontinuirani (fluidni);<br>• kontinuirano – pulsirajući;<br>• pulsirajući – ubrzavajući;<br>• pulsirajući – usporavajući tok;                  | opažanje na terenu: promatranje toka     |
|  |   | opažanje na terenu: ograničenje brzine*  |
| Položaj izvora (ceste)   | • visina: 0,5 m;<br>• horizontalni položaj: u osi svakog voznog traka;  | ortofoto*                                |
|  |   | GUP*                                     |
|  |   | katastar                                 |
|  |   | topografske karte                        |
|  |   | geodetske snimke                         |

Tablica 2. Pregled ulaznih podataka proračuna širenja buke cestovnog prometa primjenom prijelazne metode

| Podaci potrebni za izradu modela širenja buke prema NMPB/XP 31-133 |  | Mogući izvori podataka                                   |
|--|--|--|
| Indikator buke   | razdoblja: dan, večer i noć;<br>$L_{den}$ i $L_{night}$  | Zakon o zaštiti od buke (NN 30/2009)*                    |
| Atmosferska apsorpcija   | raspon temperatura prema ISO 9613-2;   | opažanje na terenu *                                     |
| Digitalni model terena (DMT)                                       | DMT sadrži podatke o sljedećem:<br>• reljefu (lomne linije i visinske točke);<br>• tipu površine terena;<br>• položaju i visini barijera u blizini prometnice;<br>• položaju i visini zgrada | obveznici izrade karata buke [7]                         |
|  |  | postojeće digitalne karte* [12]                          |
| Meteorološka korekcija   | učestalost povoljnih uvjeta širenja buke: dan 50 %, večer 75 %, noć 100 %.   | opažanje na terenu * [12]<br>prema preporuci metode* [2] |

Tablica 3. Pregled ulaznih podataka proračuna emisije buke tračničkog prometa primjenom prijelazne metode

| Podaci potrebni za izradu modela emisije prema „Point 3 – De emissiegetallen per octaafband“ |  | Mogući izvori podataka                              |
|--|--|---|
| Kategorije vozila  | kategorija od 1 do 10 ovisno:<br>• vrsti pogona;<br>• sustavu kočenja; brzinama vožnje;<br>• vrsti tereta (putnički ili teretni vlakovi) | usporedba podataka o emisiji                        |
|  |  | opažanje na terenu*                                 |
|  |  | baze podataka željezničkih uprava                   |
| Intenzitet vozila  | broj vlakova/sat za svaku kategoriju vozila  | opažanje na terenu*<br>vozni red*                   |
| Postotak vozila koja kočee   | definiran za svaku kategoriju vozila   | usporedba podataka o emisiji<br>opažanje na terenu* |
| Brzina   | prosječna brzina ( $V_{mean}$ )  | mjerjenje<br>ograničenje brzine*                    |
| Dionice kolosijeka homogenih karakteristika  | korekcija prema tipu kolosijeka: od 1 do 9, ovisno o:<br>• konstrukciji gornjeg ustroja;   | opažanje na terenu (vizualni pregled)*              |
|  |  | baze podataka željezničkih uprava                   |
|  | korekcija prema gustoći tračničkih sastava: od 1 do 4, ovisno o:<br>• broju sastava tračnica;<br>• broju skretnica;<br>• broju križišta; | mjerjenja   |
|  |  | opažanje na terenu (vizualni pregled)*              |
| Položaj izvora   | • visina: do 5 izvora na visini od 0 do 5 m (ovisno o kategoriji vlaka);<br>• horizontalni položaj: os kolosijeka;                       | topografske karte                                   |
|  |  | GIS   |
|  |  | ortofoto*   |
|  |  | GUP*  |
|  |  | katastar  |
|  |  | topografske karte<br>geodetske snimke               |

sije [2, 3, 4, 5]. Navedeni mogući izvori podataka primjenjivi su u slučaju analize bučnosti postojećih prometnica, dok se u slučaju analize bučnosti planiranih pro-

metnica kao osnovni izvor podataka primjenjuje projektna dokumentacija.

Zbog nepostojanja sustavne evidencije podataka nužnih za proračun buke cestovnog i tračničkog prometa na području RH odnosno nepostojanja kvalitetnih i široko dostupnih baza sekundarnih izvora podataka te radi pojednostavljenja postupka prikupljanja podataka vlastitim terenskim mjerjenjima i opažanjima, pokazalo se najpovoljnijim za potrebe proračuna buke na lokacijama kolodvora koristiti se onima od mogućih izvora podataka koji su u tablicama posebno označeni (\*). Primijenjeni izvori su ujedno izvori „zamjenskih podataka“ čija je upotreba definirana dokumentom [8].

### 3.2 Izvori zamjenskih ulaznih podataka

U tablici 5. prikazani su podaci koji su određeni kao „zamjenski podaci“, a primijenjeni su u proračunu razina buke promatranih kolodvora. Navedeni su složenost i trošak postupka njihova uvođenja te moguće odstupanje od stvarnih razina buke zbog primjene pojedinoga zamjenskog podatka [8]. Složenost i trošak definirani su ocjenama od 1 do 6, pri čemu ocjena 1 predstavlja nisku, a ocjena 6 visoku složenost i trošak. Navedeni izvori odabrani su za potrebe proračuna na predmetnim kolodvorima radi jednostavnosti (prosječna ocjena složenosti iznosi 2,1) te niskih troškova prikupljanja (prosječna ocjena 2,4) podataka pri obilasku terena. Dokument Europske komisije [8] također nudi niz zamjenskih podataka koji ne zahtijevaju vlastita opažanja ulaznih parametara potrebnih za analizu bučnosti, a čije su vrijednosti definirane na temelju višegodišnjih analiza prometne buke provedenih u državama članicama EU. Ti zamjenski podaci imaju najniži stupanj složenosti i troška, ali istovremeno nude najnižu pretpostavljenu točnost proračuna (veću i od 5 dB za pojedine zamjenske podatke).

Kao što se vidi iz tablice 5., uvođenje samo jednoga zamjenskog podatka, primjerice o visini zgrada, uzrokuje

Tablica 4. Pregled ulaznih podataka proračuna širenja buke tračničkog prometa primjenom prijelazne metode

| Podaci potrebni za izradu modela širenja buke prema RMR 1996 |   | Mogući izvori podataka  |
|--|---|---|
| Indikatori buke  | razdoblja: dan, večer i noć;  | Zakon o zaštiti od buke (NN 30/2009)*                               |
|  | $L_{den}$ i $L_{night}$   |   |
| Atmosferska apsorpcija                                       | raspon temperatura prema ISO 9613-2   | opažanje na terenu*   |
| Digitalni model terena (DMT)                                 | DMT sadrži podatke: <ul style="list-style-type: none"> <li>o reljefu (lomne linije i visinske točke);</li> <li>o tipu površine terena;</li> <li>položaju i visini barijera u blizini prometnice;</li> </ul> | obveznici izrade karata buke [7]<br>postojeće digitalne karte* [12] |
|  |   | opažanje na terenu* [12]  |
| Meteorološka korekcija                                       | $C_0 = 3,5$ dB (za učestalost povoljnih uvjeta širenja buke od 45 %)  | prema preporuci metode* [5]   |

pogrešku od  $\pm 1$  dB, poradi čega je moguće zaključiti da bi primjena većeg broja tih podataka mogla znatno povećati ukupno odstupanje rezultata proračuna od stvarnog

stanja bučnosti. Kako bi se definiralo maksimalno moguće odstupanje proračunanih vrijednosti razina buke zbog uvođenja navedenih zamjenskih podataka, pristu-

pilo se postupku energijskog sumiranja apsolutnih vrijednosti odstupanja danih u tablici 5. Proračunano je maksimalno odstupanje koje iznosi  $\pm 10,9$  dB. Navedeno je odstupanje, unatoč odabiru najpovoljnijih mogućih izvora zamjenskih podataka za proračun buke u zonama promatranih kolodvora, znatno veće od  $\pm 3$  dB. Naime, struka je prihvatila kao preporuku kako se može smatrati da je model dovoljno precizan ako je odstupanje rezultata dobivenih na modelu primjenom metode proračuna u odnosu na mjerenja na terenu  $\pm 3$  dB. Zbog toga je izvršena usporedba izmjerenih razina buke u zonama kolodvora s razinama proračunanim na modelima u kojima su primijenjeni navedeni zamjenski podaci.

Tablica 5. Primijenjeni zamjenski ulazni podaci: složenost i trošak prikupljanja te točnost rezultata proračuna

| Ulazni podatak                                      | izvor zamjenskog podataka                                      | složenost | trošak | točnost |
|---|--|-----------|--------|---------|
| <b>EMISIJA</b>                                      |  |           |        |         |
| Površina kolnika                                    | vizualni pregled   | 3         | 1      | 1 dB    |
| Uzdužni nagib prometnice                            | proračunan pomoću malog broja visinskih točaka                 | 1         | 3      | <0,5 dB |
| Brzina cestovni promet<br>tračnički promet          | ograničenje brzine   | 3         | 3      | 2 dB    |
|   | ograničenje brzine na kolosijeku                               | 3         | 3      | -       |
| Prometni tok<br>cestovni promet<br>tračnički promet | definiranje položaja signalizacije pri obilasku terena         | 1         | 4      | <0,5 dB |
|   | definiran pri obilasku terena                                  | 1         | 4      | <0,5 dB |
| Položaj izvora                                      | definiran digitalnim modelom terena                            | -         | -      | -       |
| Dionice kolosijeka                                  | vizualni pregled   | 3         | 1      | 1 dB    |
| <b>ŠIRENJE</b>                                      |  |           |        |         |
| DMT   |  |           |        |         |
| reljef  | definiran digitalnim modelom reljefa                           | -         | -      | -       |
| tip površine terena                                 | primjena zadanih vrijednosti (prema namjeni)                   | 3         | 3      | 1 dB    |
| visina barijera                                     | vizualna procjena  | 3         | 3      | 1 dB    |
| visina zgrada                                       | vizualna procjena (katnost $\times$ 3m)                        | 1         | 3      | 1 dB    |
| Koeficijenti apsorpcije                             | primjena zadanih vrijednosti (prema materijalu)                | 1         | 1      | 1 dB    |
| Povoljni uvjeti širenja                             | primjena zadanih vrijednosti (50 % dan, 75 % večer, 100 % noć) | 1         | 1      | -       |
| Rel. vlažnost i temperatura                         | primjena izmjerenih vrijednosti                                | 3         | 1      | -       |
| PROSJEČNO   |  | 2,1       | 2,4    | -       |
| UKUPNO  |  | -         | -      | 10,9 dB |

### 3.3 Prikupljanje ulaznih podataka

Mjerenja prometnog opterećenja na lokacijama Zapadnog kolodvora u Zagrebu i kolodvora u Osijeku provedena su unutar područja kolodvora te u njihovoj neposrednoj blizini, uz okolne cestovne prometnice. Mjerenje cestovnog prometa izvršeno je satnim registriranjem prometnog opterećenja, pri čemu su cestovna vozila podijeljena u tri kategorije: osobna vozila, laka teretna vozila i teška teretna vozila. Prema sastavu i stanju prometnih tokova promatrana cestovna čvorišta tipična su nesemaforizirana čvorišta u užem centru grada: prema podacima dobivenim mjerenjem na terenu naj-

veći udio cestovnog prometa (97 % u Zagrebu, 75 % u Osijeku) čine osobna vozila, a opaženo je uglavnom stabilno stanje prometnih tokova. Pritom su izuzetak razdoblja jutarnje i poslijepodneve „špice“ u Zagrebu tijekom kojih se na promatranim cestovnim prometnicama stvaraju kolone vozila.

Prilikom mjerenja tračničkog prometa, tračnička su vozila podijeljena prema pogonu, namjeni i kolosijeku po kojem se kreću. Izmjerene vrijednosti uspoređene su i dopunjene s vrijedećim voznom redom Hrvatskih željeznica i Zagrebačkog električnog tramvaja.

Podaci o preostalim utjecajnim parametrima emisije buke (površini kolnika, uzdužnom nagibu kolnika, brzini kretanja, stanju prometnog toka, tipovima kolosijeka, gustoći tračničkih sastava) prikupljeni su prilikom obilaska ispitivanih područja i uvidom u dostupne karte područja (ortofoto, GUP). Podaci o parametrima širenja koji obuhvaćaju podatke o reljefu, tipu površine terena, visini barijera u blizini prometnice i visini zgrada sakupljeni su u digitalnom trodimenzionalnom modelu terena izrađenom na temelju postojećih digitalnih modela reljefa uz uporabu dodatnih podataka prikupljenih obilaskom terena [12]. Odgovarajući koeficijenti apsorpcije i zastupljenost povoljnih uvjeta širenja uvedeni su u proračun primjenom vrijednosti zadanih samim metodama, dok su podaci o relativnoj vlažnosti i temperaturi dobiveni na temelju opažanja na terenu tokom mjerenja.

### 3.4 Verifikacija modela proračuna

Mjerenja buke na terenu nužna za verifikaciju modela proračuna provedena su na mjernim mjestima unutar područja kolodvora te u njihovoj neposrednoj blizini, uz okolne cestovne prometnice. Na mjernim mjestima izvršena su kratkotrajna mjerenja razine buke preciznim zvukomjerima Brüel&Kjær 2270 i 2250 u trajanju od 15 minuta, pri povoljnim meteorološkim uvjetima, na visini od 1,2 m iznad površine terena. Mjerenje se provodilo istovremeno kad i mjerenje prometnog opterećenja, a na

Tablica 6. Verifikacija modela proračuna razina prometne buke

| Lokacija | Mjerno mjesto | Sumarne razine    | Izmjerene razine  | Razlika                     |
|----------|---------------|-------------------|-------------------|-----------------------------|
|          |               | $L_{day}$ [dB(A)] | $L_{Aeq}$ [dB(A)] | $L_{day} - L_{Aeq}$ [dB(A)] |
| Zagreb   | MM1-ZG        | 61,71             | 59,80             | 1,91                        |
|          | MM2-ZG        | 62,36             | 59,50             | 2,86                        |
|          | MM3-ZG        | 68,80             | 67,50             | 1,30                        |
|          | <b>MM4-ZG</b> | 70,69             | 67,20             | <b>3,49</b>                 |
| Osijek   | MM1-OS        | 59,17             | 56,43             | 2,74                        |
|          | MM3-OS        | 57,31             | 55,65             | 1,66                        |
|          | MM4-OS        | 60,41             | 59,50             | 0,91                        |
|          | MM5-OS        | 61,75             | 59,60             | 2,15                        |

svakom je mjernom mjestu mjerenje ponovljeno četiri puta.

Proračun razina buke proveden je odvojeno za cestovni i tračnički promet. Potom su dobiveni rezultati proračunatih razina buke energijski zbrojeni („superponirani“). Iz tablice 6. vidi se da su odstupanja ovako određenih razina buke u odnosu na mjerenja na terenu većinom manja od 3 dB(A). Veće odstupanje bilo je na mjernom mjestu MM4-ZG (3,5 dB(A)), što se može objasniti velikom složenosti modela širenja buke u neposrednoj blizini toga mjernoga mjesta. Nadalje, sve su proračunane vrijednosti veće od izmjerenih vrijednosti razina buke na odgovarajućim mjernim mjestima, a to je povoljno za stanovništvo s obzirom na njihovu zaštitu pri provedbi mjera zaštite od buke.

## 4 Zaključak

Budući da u RH još uvijek nije zaživjelo sustavno prikupljanje podataka potrebnih za proračun razina prometne buke te njihovo skupljanje u široko dostupnoj bazi, u najvećoj se mjeri proračuni razina prometne buke oslanjaju na takozvane „primarne“ izvore podataka (podatke dobivene putem mjerenja i opažanja na terenu). Pri tome su poseban problem pri ispitivanju bučnosti gusto izgrađene urbane cjeline gdje na površinom relativno malim područjima nalazimo čitav niz specifičnih uvjeta nastanka i širenja prometne buke.

Provedeno istraživanje stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora u urbanim sredinama, u kojem su primijenjeni opisani modeli proračuna i postupak prikupljanja ulaznih podataka, kao i upotreba navedenih zamjenskih podataka sukladno našoj i europskoj regulativi te provedena verifikacija pouzdanosti, pokazuje da se na ovakav način može optimizirati postupak određivanja stanja bučnosti u zonama željezničkih kolodvora.

Postupak je primjenjiv za određivanje stanja bučnosti i u zonama drugih, izuzev u radu opisanih, željezničkih kolodvora. Posebno treba istaknuti da je verifikacija pouzdanosti rezultata proračuna primjenom opisanog postupka prema rezultatima mjerenja na terenu pokazala da su proračunani rezultati pouzdani, iako je primijenjen veći broj zamjenskih podataka koji su se prikupljali relativno jednostavnim terenskim mjerenjima i opažanjima. To ima posebno značenje za primjenu u Hrvatskoj gdje su, kako je prethodno rečeno, potrebne baze podataka za izradu stanja bučnosti nepotpune, često nedostupne te nekompatibilne s ulaznim podacima koji su potrebni prilikom primjene propisane metode proračuna.

Uz dovoljnu sigurnost može se zaključiti da kombinacija velikog broja podataka dobivenih mjerenjem i opažanjem na terenu („primarni“ izvori podataka), a u manjoj

mjeri iz dostupnih podloga i baza podataka („sekundarni“ izvori podataka), omogućava izradu zadovoljavajuće preciznih modela proračuna razina prometne buke u urbanim sredinama. Unatoč tome, potrebno je staviti naglasak na što skoriju izradu kvalitetne baze preciznih

ulaznih podataka potrebnih kako bi se mogla primijeniti regulativom propisana metoda proračuna, a to bi pridonijelo pojednostavljenju i povećanju brzine pri izradi karata buke, uz zadovoljavajuću pouzdanost rezultata proračuna.

## LITERATURA

- [1] Lakušić, S., Ahac, M.: *Mjere za smanjenje buke i vibracija od željezničkog prometa*, SABOR HRVATSKIH GRADITELJA 2008, (ur. V. Simović), Cavtat, Hrvatska, pp. 383-395, 06-08. studeni 2008.
- [2] Wölfel et al.: *AR-INTERIM-CM, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, WP 3.1.1: Road traffic noise - Description of the calculation method*, 2002.
- [3] Wölfel et al.: *AR-INTERIM-CM, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, WP 3.1.2: Road traffic noise - Noise emission: databases*, 2002.
- [4] Wölfel et al.: *AR-INTERIM-CM, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, WP 3.1.3: Road traffic noise - Guidance on the application*, 2002.
- [5] Wölfel et al.: *AR-INTERIM-CM, Adaptation and revision of the interim noise computation methods for the purpose of strategic noise mapping, WP 3.2.1: Railway Noise - Description of the calculation method*, 2002.
- [6] Wetzel, E.: *Input data requirements, data procurement and production of acceptable default data*, Wölfel Meßsysteme Software GmbH & CO, 2004.
- [7] *Pravilnik o načinu izrade i sadržaju karata buke i akcijskih planova te o načinu izračuna dopuštenih indikatora buke* (NN 75/09)
- [8] European Commission's Working Group - *Assessment of Exposure to Noise: Position Paper - Good Practice Guide for Strategic Noise Mapping and the Production of Associated Data on Noise Exposure, Version 2*, Bruxelles, 2006.
- [9] HŽ Infrastruktura d.o.o. - *Izješće o mreži 2010*, <http://www.hznet.hr/iSite3/Default.aspx?sec=198>
- [10] GUP Grada Zagreba: <https://e-uprava.apis-it.hr/gup/>
- [11] GUP grada Osijeka: <http://www.osijek.hr/index.php/cro/Urbanisticki-planovi/Generalni-urbanisticki-plan-grada-Osijeka>
- [12] Dragčević, V.; Lakušić, S.; Ahac, S.: *The Applicability of 3D Model in Calculation of Road Traffic Noise Level*, 1st International Conference on Road and Rail Infrastructure (CETRA 2010), (ed. S. Lakušić), Opatija, Croatia, pp. 993-998, 17-18 May 2010.