

UDK 699.844:711.45

Primljeno 29. 10. 2004.

# Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama

Stjepan Lakušić, Vesna Dragčević, Tatjana Rukavina

## Ključne riječi

buka od prometa, urbane sredine, zaštita od buke, mjerenje razine buke, cestovni promet, prisilno vođena vozila

## Key words

traffic noise, urban agglomerations, noise protection, noise level measurement, road traffic, track guided vehicles.

## Mots clés

bruit de circulation, milieux urbains, protection contre le bruit, mesure du niveau du bruit, circulation routière, véhicules guidés

## Ключевые слова

шум от движения, урбанные среды, защита от шума, измерение уровня шума, дорожное движение, трамвайные и железнодорожные средства транспорта

## Schlüsselworte

Verkehrslärm, urbane Gebiete, Lärmschutz, Messung des Lärmpegels, Strassenverkehr, zwangsgeführte Fahrzeuge

S. Lakušić, V. Dragčević, T. Rukavina

Izvorni znanstveni rad

## Mjere za smanjenje buke od prometa u urbanim sredinama

U radu su cjelovito prikazane mjere za smanjenje razine buke od prometa. Navedeni su osnovni uzroci nastajanja povišenih razina buke od cestovnog prometa i prometa prisilno vođenih vozila. Opisane su uobičajene mjere koje se primjenjuju u poslovno-stambenim zonama gradova većine europskih zemalja. Kritički je uspoređena primjena razmatranih mjera u Hrvatskoj, u odnosu na one koje se poduzimaju u zemljama članicama Europske Unije, posebice one koje se odnose na urbane sredine.

S. Lakušić, V. Dragčević, T. Rukavina

Original scientific paper

## Mitigation measures for traffic noise abatement in urban areas

Traffic noise abatement measures are methodically presented in the paper. Principal causes of high noise levels generated by road traffic and track guided vehicles are depicted. Mitigation measures normally used in office-residential urban areas of most European countries are described. The use of such measures in Croatia is critically compared with those used in European Union member countries and, at that, a special emphasis is placed on urban agglomerations.

S. Lakušić, V. Dragčević, T. Rukavina

Ouvrage scientifique original

## Mesures pour la réduction du bruit de la circulation dans les milieux urbains

Les mesures pour la réduction du bruit de circulation sont présentées en détail dans l'ouvrage. Les causes principales des niveaux excessifs du bruit provenant de la circulation routière et des véhicules guidés sont exposées. Les mesures normalement prises dans les zones commerciales et résidentielles des villes situées dans la majorité des pays européens sont décrites. L'application de ces mesures en Croatie est comparée de manière critique avec les mesures utilisées dans les pays membres de l'Union Européenne, en particulier avec les mesures concernant les milieux urbains.

С. Лакушич, В. Драгчевич, Т. Рукавина

Оригинальная научная работа

## Меры для уменьшения шума от движения в урбанных средах

В работе цельностно показаны меры по снижению шума от движения. Приведены основные причины возникновения повышенных уровней шума от дорожного движения и движения трамвайных и железнодорожных средств передвижения. Описаны обычные меры, применяемые в деловожилищных зонах городов большинства европейских стран. Критическому анализу подвергнуто применение рассматриваемых мер в Хорватии по сравнению с предпринимаемыми в странах членах Европейского Содружества, особенно относящихся к урбанным средам.

S. Lakušić, V. Dragčević, T. Rukavina

Wissenschaftlicher Originalbeitrag

## Massnahmen für die Minderung des Verkehrslärms in urbanen Gebieten

Im Artikel sind Massnahmen für die Minderung des Verkehrslärmpegels umfassend dargestellt. Angeführt sind die Hauptursachen der Entstehung eines erhöhten Lärmpegels, verursacht durch Strassenverkehr und Verkehr von zwangsgeführten Fahrzeugen. Beschrieben sind übliche Massnahmen die in Geschäfts- und Wohnzonen von Städten im Grossteil der europäischen Länder angewendet werden. Vom kritischen Standpunkt aus vergleicht man die Anwendung der betrachteten Massnahmen in Kroatien im Verhältnis zu denen die man in den EU-Ländern unternimmt, besonders die sich auf urbane Gebiete beziehen.

Autori: Doc. dr. sc. **Stjepan Lakušić**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Vesna Dragčević**, dipl. ing. građ.; prof. dr. sc. **Tatjana Rukavina**, dipl. ing. građ., Sveučilište u Zagrebu Građevinski fakultet. Zavod za prometnice

## 1 Uvod

Buka je jedan od glavnih uzroka smanjenja kvalitete života, posebice u urbanim sredinama gdje je konstantno prisutna i utječe na mnoge aspekte svakodnevnog života. Povećane razine buke ponajprije negativno utječu na koncentraciju ljudi, izazivaju smetnje u komunikaciji, smetnje pri odmoru i sl.

Kao rezultat nastojanja da se općenito smanje razine buke, u urbanim je sredinama postignuto da se razine buke koje generira promet ne povećavaju, no u isto je vrijeme došlo do produžetka razdoblja njihovoj izloženosti. Naime, nekada je vrijeme od 8 do 18 sati bilo najbučnije, međutim posljednjih se godina zamjećuje da i noćno razdoblje postaje sve bučnije, što se može objasniti činjenicom sve prisutnije 24-satne distribucije robe.

Iznalaženjem načina smanjenja povišenih razina buke u Europi se bave brojni znanstveni i stručni projekti. Među njima se ističe SYLVIE (*SYstematic Lärmsanierung von innerstädtischen WohnVIerteln* ili eng. *Systematic noise abatement in inner city residential areas*), pokrenut od strane bečke gradske uprave 1999. godine, [1]. Neki od projekata bave se istraživanjima više vrsta izvora buke, ne samo prometne već i industrijske, buke zbog rada strojeva na otvorenom, utjecaja blizine ugostiteljskih objekata, dječjih igrališta itd. Određeni broj projekata koji se bave problematikom buke od prometa, zbog velikog broja parametara koji utječu na razinu buke, svoja su istraživanja ograničili samo na neke od njih. Ovdje se u prvome redu misli na istraživanje utjecaja npr. vrste pneumatika cestovnih vozila ili nepravilnosti na kotačima (npr. plosnata mjesta - *flachstelle*) željezničkih vozila, utjecaja karakteristike vozne površine kolnika ili tračnice, utjecaja rada motora vozila i sl.

Smanjenju razine buke od prometa u urbanim sredinama treba posvetiti veliku pažnju jer u protivnom postoji opasnost da će buka u okolišu ostati nezadovoljavajuća ili se čak i pogoršati. Razlog tome je neprestano povećanje broja vozila i prijeđenih kilometara po vozilu (posebice kad se radi o teretnom cestovnom prijevozu). Radi smanjivanja izloženosti povišenim razinama buke, potrebno je primijeniti određene mjere zaštite kako bi se smanjio broj objekata u kojima ljudi rade i borave i u kojima su izloženi povećanim razinama buke.

Zaštita od buke naseljenih mjesta smještenih u blizini autocesta ili prometnica izvan naselja najbolje se rješava primjenom barijera. U urbanim sredinama zbog nedostatka redovito skupih gradskih prostora te naglašene brige oko uklapanja u prostor izbor najboljega rješenja zaštite od buke nije jednostavan. Često, čak i za djelomično rješenje ovog problema, nije dostatna primjena samo jedne mjere već kombinacija više njih.

## 2 Mjere zaštite od buke

Četiri su osnovne grupe mjera za smanjenje razine buke od prometa:

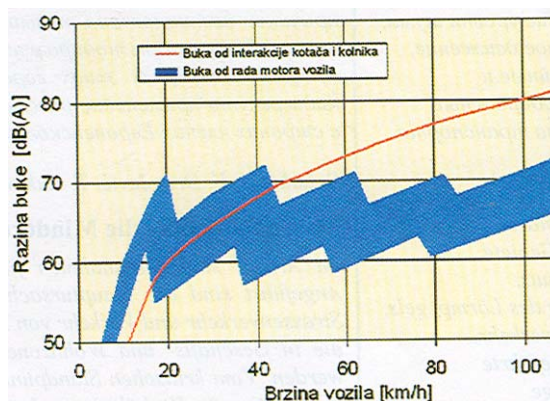
- smanjenje buke na izvoru,
- smanjenje rasprostiranja buke,
- zaštita od buke na mjestu imisije,
- ekonomske mjere i regulativa.

Prva grupa predstavlja primarne mjere, dok su druge tri sekundarne mjere zaštite od buke. Promatraju li se primarne mjere, tada treba razlikovati o kojoj se vrsti prometa radi - cestovnom, željezničkom ili zračnom. U urbanim su sredinama cestovni promet i promet prisilno vođenih vozila, tramvajskih i željezničkih, uglavnom inkorporirani u poslovno-stambene zone gradova pa će se stoga i prije navedene mjere razmatrati vezano uz ta dva tipa prometa.

### 2.1 Smanjenje buke na izvoru

#### 2.1.1 Cestovni promet

Promatra li se cestovni promet, tada se povišene razine buke redovito pojavljuju kao posljedica konstrukcije vozila te interakcije vozila i vozne površine. Pri malim brzinama kretanja vozila utjecaj konstrukcije vozila na razinu buke značajniji je od onog koji ima interakcija vozila i vozne površine. Pri brzinama većim od 30 km/h za osobna vozila i 40 km/h za teretna vozila utjecaj kotrljanja pneumatika po kolničkoj površini postaje značajan, dok pri brzinama većim od 50 km/h postaje dominantan [2]. Istraživanja su pokazala da u urbanim sredinama gdje su brzine 30 do 50 km/h, buka od rada motora vozila ima važnu ulogu, dok se kod autocesta navedeni izvor buke može zanemariti (slika 1.).



Slika 1. Odnos buke od interakcije kotača i kolnika te od rada motora vozila, [3]

U urbanim sredinama gdje brzine kretanja vozila variraju, se želi smanjiti buku na izvoru potrebno je djelovati

na obje komponente. Djelovanje koje se odnosi na poboljšanja konstrukcije vozila obuhvaća niz mjera vezanih za smanjenje buke motora, prijenosnog mehanizma, pneumatika vozila i slično [4].

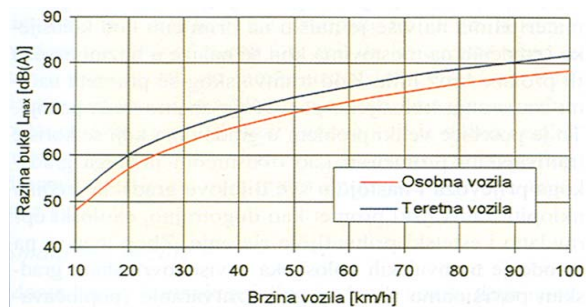
U vezi s utjecajem rada motora na razinu buke napravljen je veliki napredak. Još 1970. godine donijeta je Direktiva 70/157/EEC kojom su za motorna vozila (automobile, kamione i autobuse) propisane dopuštene razine buke. Ova je Direktiva radi ograničavanja buke koju proizvode motorna vozila do danas doživjela nekoliko izmjena i dopuna. Europska komisija propisala je brojne norme koje vode tehnološkim poboljšanjima uređaja, opreme i samog vozila.

Kako sva proizvedena vozila moraju zadovoljavati ograničenja propisana navedenom Direktivom, pažnja se sve više usmjerava na mogućnost smanjenja buke od interakcije pneumatika i vozne površine kolnika što se može ostvariti:

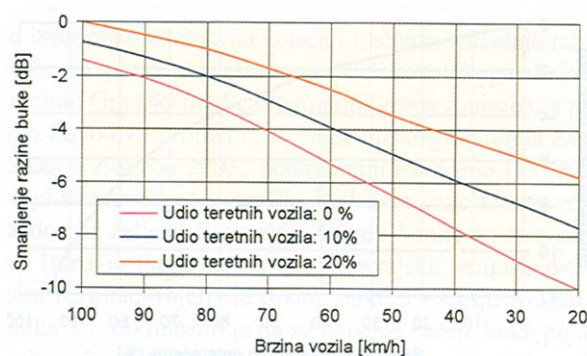
- smanjenjem brzine vozila,
- odabirom određenog tipa vozne površine,
- održavanjem cesta i vozila,
- upravljanjem prometom (prometno opterećenje i preusmjeravanje prometa),
- ponašanjem vozača i uvođenjem određenih 'zabrana'.

### Smanjenje brzine

Razinu buke moguće je smanjiti ograničavanjem dozvoljene brzine vozila. Njezino uspješno provođenje zahtijevalo bi uvođenje automatskog motrenja brzine, što se u ograničenoj mjeri i provodi. Ovom mjerom ne utječe se samo na smanjenje razine buke, već se povećava i sigurnost vožnje. Dvostrukim smanjenjem brzine vozila postiže se smanjenje razine buke za 6 do 8 dB. Utjecaj brzine osobnih i teretnih vozila na razine buke prikazan je na slici 2., dok je na slici 3. prikazan utjecaj brzine i udjela teretnih vozila na smanjenje razine buke.



Slika 2. Utjecaj brzine vozila na razinu buke, [2]



Slika 3. Smanjenje razine buke ovisno o brzini i udjelu teretnih vozila, [2]

### Vozna površina

Površina kolnika s otvorenom i poroznom teksturom nije pogodna samo za smanjenje buke, nego osigurava i bolju prionjivost pneumatika, a time i veću sigurnost vožnje [2, 4]. Ovakva vozna površina djeluje na smanjenje razine buke od 2 do 4 dB. U nekim europskim zemljama (Francuska, Nizozemska) takve vozne površine propisane su standardom. Nedostatak im je potreba za intenzivnim održavanjem za projektoga razdoblja kao i znatna oštećenja posebno tijekom zimskog razdoblja, a kao posljedica smrzavanja. Utjecaj površine kolnika na razinu buke istraživana je u okviru Europskog projekta SILVIA – SILenda VIA (Silent Roads) u koji je uključeno 11 europskih zemalja, [5].

### Održavanje prometnica i vozila

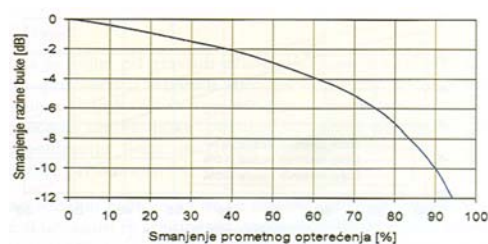
Dobro održavanje cesta smanjuje dinamičke utjecaje vozila i tereta na kolničku konstrukciju [6], ali utječe i na smanjenje razine buke [7]. Loše održavanje cesta uvelike utječe na povećanje buke od prometa posebice od interakcije pneumatika i površine kolnika. Promatra li se komponenta održavanja vozila, jasno je da ono utječe na smanjenje buke koju emitira vozilo i može se provjeravati na tehničkim pregledima.

### Upravljanje prometom

Pod upravljanjem prometom podrazumijeva se djelovanje na smanjenje prometnog opterećenja preusmjeravanjem dijela ukupnog prometa ili vozila određenog tipa na druge prometnice, ograničavanjem vremena u kojem se može prometovati (npr. zabrana prometa teških vozila noću), te osiguranjem stanja slobodnoga prometnoga toka (npr. gašenje semafora noću). Osiguranjem stanja slobodnog prometnoga toka moguće je razinu buke smanjiti do 4 dB. Gašenje semafora noću može imati dvojak efekt jer se osigurava stanje slobodnog toka, ali se ujed-



no omogućava i povećanje brzina pa je smanjenje razine buke na ovaj način rijetko veće od 2 dB.



Slika 4. Utjecaj smanjenja prometnog opterećenja na razinu buke, [2]

Poznato je da teretna vozila znatno povećavaju razinu buke. Pri ograničavanju vožnje pojedinim tipovima teretnih vozila treba ispravno definirati faktore ekvivalencije koji pokazuju koliko je vozila referentne klase (laka vozila) akustički ekvivalentno promatranj klasi vozila. Utjecaj smanjenja prometnog opterećenja prikazan je na slici 4. Iz dijagrama se vidi da je za smanjenje razine buke npr. za 10 dB potrebno prometno opterećenje smanjiti za 90%.

Promatra li se varijanta preusmjeravanja prometa, tada uklanjanje prometa s jedne prometnice uzrokuje povećanje razine buke na drugoj prometnici. Ova je mjera donekle opravdana ako se promet s 'manjih' gradskih prometnica preusmjerava na novije prometnice ili one koje su predviđene za teški promet. Navedeno će izazvati manja povećanja razine buke na prometnici na koju je preusmjeren promet, ali će za manju gradsku prometnicu navedena mjera biti značajna.

#### *Ponašanje vozača te uvođenje određenih 'zabrana'*

Razina buke pojedinačnog vozila ne ovisi samo o brzini vozila, već i o stupnju prijenosa te načinu ubrzavanja i usporavanja. Pasivnom vožnjom može se postići smanjenje buke za oko 5 dB za osobna i teretna vozila te 7 dB za motocikle [2]. Promet motocikala poseban je problem jer je moguće povećanje buke i do 20 dB. Stoga se uvode zabrane vožnje npr. noću ili zabrane vožnje bez ugrađenih specijalnih prigušivača.

#### 2.1.2 Promet prisilno vođenih vozila

Kretanja prisilno vođenih vozila, željezničkih i tramvajskih, također je značajan izvor buke. Kombinacija vozila i kolosijeka odnosno sustav vozilo-kotač-tračnica ima najvažniju ulogu pri širenju buke i vibracija koje se pri ovom obliku prometovanja ne smiju zanemariti. Europska se unija uvelike bavi problemom buke od željezničkog prometa. Danas željeznički promet sve više dobiva na važnosti jer se teretni promet s cestovnih prometnica

nastoji prebaciti na željeznicu. To vodi povećanju opsega željezničkoga prometa te uporabi vlakova većih duljina. Bez primjena mjera zaštite, posebice na onim lokacijama gdje željeznička pruga prolazi kroz naseljena područja, došlo bi do značajnog povećanja razine buke. "Zelena knjiga Europske komisije" od 1996. godine uputila je javnu kritiku vezanu na željeznički prijevoz koji uvelike utječe na povećanje razine buke te naglasila da je osnovni uvjet njegova većeg iskorištavanja smanjenje razine buke [8]. Smanjenje buke zbog prometovanja prisilno vođenih vozila može se postići:

- odabirom odgovarajućeg tipa konstrukcije gornjeg ustroja,
- održavanjem vozne površine tračnica i kotača vozila,
- odabirom odgovarajućeg tipa vozila (vagona),
- smanjenjem brzine kretanja vlakova i tramvaja.

#### *Tip konstrukcije gornjeg ustroja*

Veoma važnu ulogu u smanjenju širenja buke i vibracija na ljude i okolne objekte ima tip konstrukcije gornjeg ustroja i tramvajskoga i željezničkoga kolosijeka. Kad se govori o tipu konstrukcije gornjeg ustroja tu se ponajprije misli na tip pričvršćenja tračnice na podlogu te na način zatvaranja (popločavanja) kolosijeka.

Europska komisija preporučuje upotrebu dvostruko elastičnih pričvršćenja tračnice na podlogu, posebice ako se radi o kolosiječnim konstrukcijama na betonskoj podlozi. Kod takvih su konstrukcija razine buke i do 3 dB veće od klasičnih kolosiječnih konstrukcija s poprečnim pragovima. Odabir vrste pragova također utječe na razinu buke. Istraživanja provedena u Njemačkoj pokazala su da je razina buke zbog kretanja vlaka po kolosijeku s drvenim pragovima i do 2 dB manja nego na kolosijeku s betonskim pragovima.

Osim sistema pričvršćenja tračnice na podlogu i način zatvaranja (popločavanja) gornjeg ustroja kolosijeka ima veoma važnu ulogu u smanjenju širenja buke zbog prometovanja vozila na tračnicama. Zatvaranje klasične kolosiječne konstrukcije odgovarajućim apsorbirajućim materijalima najviše je naišlo na primjenu kod kolosijeka izvedenih na mostovima koji se nalaze u blizini naselja ili prolaze kroz njih. Kod tramvajskog se prometa načinu zatvaranja kolosijeka posvećuje znatno veća pažnja. To je posebice veliki problem u gradovima koji se koriste tramvajskim prometom kao okosnicom javnoga gradskoga prijevoza i nastoje u sve dijelove gradskih sredina uklopiti tramvajski promet kao dugotrajno, ekološki opravdano i estetski prihvatljivo rješenje. Zbog toga se na izvođenje tramvajskih kolosijeka u visokovrijednim gradskim površinama te na njegovo zatvaranje (popločavanje) postavljaju veliki zahtjevi radi dobivanja što kvali-

tetnije konstrukcije tramvajskog kolosijeka koja bi osim estetskih kvaliteta imala i što je moguće manji intenzitet širenja buke i vibracija zbog kretanja tramvaja [9].

### Vozna površina tračnice

Radna grupa Europske komisije koja se bavi bukom od željezničkog prometa donijela je na sastanku u Brusellu 2003. strategiju i prioritete za smanjenje buke od željezničkog prometa [10]. Najveća pažnja posvećena je buci zbog interakcije kotača i tračnice. Naime, razne geometrijske nepravilnosti i na kotačima (plosnata mjesta, nezaobljenost kotača, mehanička oštećenja) i na voznoj površini tračnice (valovita istrošenost, naborana istrošenost, sastavi tračnica, greške na zavarima) značajno utječu na povećanje razine buke [11]. Komisija je donijela strategiju pod nazivom "glatki kotač na ravnoj tračnici", radi poduzimanja strožih mjera kontrole te održavanja i kotača vozila i vozne površine tračnica.

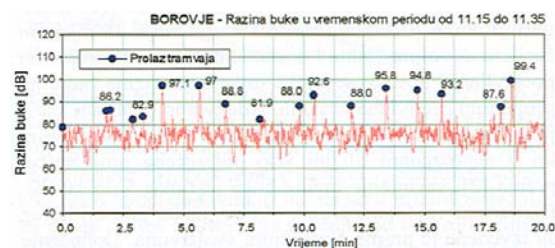
### Tip vozila (vagona)

Veoma važnu ulogu pri smanjenju širenja buke i vibracija na ljude i okolne objekte nema samo tip konstrukcije gornjeg ustroja tramvajskog kolosijeka, već i tip prisilno vođenog vozila [12]. Provedenim istraživanjima za potrebe grada Zagreba [13], ustanovljeno je da tip prisilno vođenih vozila (tramvaj, putnički ili teretni vlak) različito utječe na povećanje razine buke. Pri prolasku određenih tipova tramvajskih vozila (npr. GT-6, proizvođača Düwag) pojavljuje se manji porast razine buke nego pri ostalim tipovima tramvaja (npr. T4 i KT4, proizvođača ČKD Tatra). Navedeno se tumači činjenicom da konstrukcija tramvajskog vozila, posebice karakteristike krutosti i prigušenja ovjesa tramvajskog vozila te vrste kotača tramvaja (monoblok ili kotači s elastičnim elementima) doprinose smanjenju razine buke zbog prolaska tramvaja [14]. Mjerenja na lokaciji Retkovec, pokazala su da teretni vlakovi više utječu na povećanje razine buke od putničkih vlakova. Još 1993. predložena je Direktiva o najvišim dopuštenim razinama emisije buke tračničkih vozila. Navedeni je prijedlog direktive bio povučen s obzirom na to da većina vagona iz trećih zemalja ne bi zadovoljila standarde koji su bili predloženi. Međutim, neovisno o prijedlogu Europske komisije, Austrija je donijela ovakav zakon i propisala koje vrste vagona smiju prometovati po mreži austrijskih željeznica. Švicarske željeznice izradile su program smanjenja razine buke od putničkih i teretnih vagona koji je dobio visoku ocjenu Europske komisije. Program sadrži prijedlog dinamike provedbe ovih mjera i potrebna novčana sredstva [15].

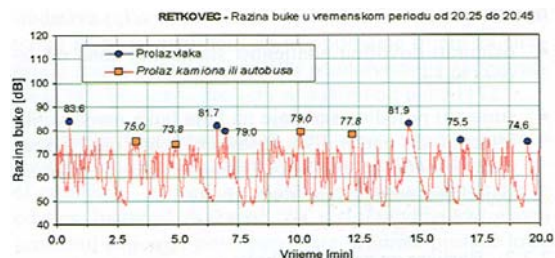
### Smanjenje brzine

Manje brzine kretanja prisilno vođenih vozila doprinose smanjenju razine buke. Kod velikih brzina dominantan

je izvor buke interakcija kotača i tračnice. Mjerenja razine buke od prometa, cestovnoga i željezničkoga, koja je inicirao Gradski ured za izgradnju grada Zagreba, a proveo Zavod za prometnice Građevinskog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu 2003., potkrepljuju navedeno [13]. Mjerenja su provedena u naselju Retkovec smještenom neposredno uz željezničku prugu Zagreb-Vinkovci te u naselju Borovje (smještenom uz tramvajsku prugu). Analizom rezultata mjerenja razine buke u naselju Retkovec (slika 5.), zaključeno je da se najveće razine buke pojavljuju pri prolazu vlakova posebice teretnih. Pri malim brzinama kretanja vlaka (otprilike 5 km/h) razine buke bile su 3 do 7 dB niže nego u slučaju kretanja vlaka operativnom brzinom. Mjerenja razine buke u naselju Borovje (slika 6.), pokazala su da tramvajski promet ima najveći utjecaj na osnovnu razinu buke, pri čemu je i na ovoj lokaciji pri manjim brzinama tramvajskih vozila razina buke bila niža i do 10 dB.



Slika 5. Utjecaj prometovanja vlakova na razinu buke (naselje Retkovec)



Slika 6. Utjecaj prometovanja tramvaja na razinu buke (naselje Borovje)

## 2.2 Smanjenje rasprostiranja buke

Kako smanjenjem razine buke na izvoru, u urbanim sredinama, ne možemo postići propisanu dopuštenu razinu, na mjestu emisije nerijetko se primjenjuju mjere smanjenja rasprostiranja buke koje obuhvaćaju primjenu raznih barijera za zaštitu od buke te planiranje i upravljanje prostorom u blizini prometnice.

### 2.2.1 Planiranje i upravljanje prostorom

Poznato je da cestovne prometnice te tramvajске i željezničke pruge 'generiraju' povišene razine buke u svojoj

okolini. Kada se nova prometnica ili rekonstrukcija postojeće planira izvesti kroz urbana područja, velika se pažnja mora posvetiti zaštiti postojećih objekata. U takvim slučajevima potrebno je razgraničiti dvije situacije, prvu kada je prostor u neposrednoj blizini prometnice rjeđe i drugu kada je gusto izgrađen. Pravilnim planiranjem prometnice kroz područje rjeđe izgrađenosti mogu se izbjeći neželjene posljedice povećanih razina buke od prometa. Ako se zahvati na prometnoj infrastrukturi planiraju izvesti u već gusto izgrađenim područjima, velika se pažnja mora posvetiti zaštiti postojećih objekata. Pod ovim se podrazumijeva urbanističko planiranje gradskih zona i prometnica u odnosu na stambene zgrade te definiranje dopuštenih planskih razina buke za pojedine zone. Primjerice, ovaj dio u gradu Zagrebu napravljen je donošenjem Generalnog urbanističkog plana, [16].

Pod planiranjem i upravljanjem prostorom u smislu smanjenja rasprostiranja buke moguće je poduzeti sljedeće mjere:

- osigurati dovoljnu udaljenost stambenih zona od izvora buke,
- smjestiti pojedine sadržaje na koje buka nema veliki utjecaj (npr. parkirališta, trgovački centri i sl.) u područja između izvora buke i stambenih zona koje su 'osjetljive' na povišene razine buke.

### 2.2.2 Barijere za zaštitu od buke

Barijere za zaštitu od buke postavljane neposredno uz prometnice (cestovne ili željezničke) najčešći su i najsigurniji način smanjenja rasprostiranja buke. Primjenom barijera dovoljne visine i dostatne duljine, odmah nakon postavljanja postiže se efekt smanjenja razine buke na projektom predviđenu razinu. Adekvatno odabrane barijere mogu smanjiti razinu buke i do 15 dB. Ako su objekti u neposrednoj blizini vrlo opterećene prometnice, prema [2], smanjenje razine buke jest oko 5 do 10 dB. Barijere se razlikuju prema obliku, materijalu od kojeg su izvedene te prema akustičnim svojstvima. Donošenje odluke o njihovu postavljanju te određivanje tipa barijere, interdisciplinarni je projekt stručnjaka raznih profila: akustičara, arhitekata i građevinara. Istraživanja koja je 1999. proveo 'I-INCE' (*The International Institute of Noise Control Engineering*) pokazala su da se najčešće primjenjuju zaštitne barijere s apsorbirajućim svojstvima, iako su skuplje u usporedbi s ostalim.

Postojeći objekti kao npr. zgrade, zaslони (ograde, reklamni panoi), vegetacija (npr. drvodredi) i sl., koji se često nalaze neposredno uz prometnice, danas su najčešća varijanta barijera za zaštitu od buke iako im to nije osnovna funkcija. Podaci govore da je na ovaj način u nekim slučajevima razina buke moguće sniziti i do 12 dB [2].

Smještanje prometnica u usjeka (denivelacija) ili u slučaju zahtjeva velikog stupnja smanjenja razine buke, izgradnja tunela, također su metode smanjenja buke od prometa. Tuneli se grade u urbanim zonama gdje je cijena zemljišta vrlo visoka i najdjelotvorniji su način zaštite od buke. Ipak ova se mjera rijetko primjenjuje, budući da su cijene građenja, održavanja, rasvjete te ventilacije vrlo visoke. Na ulazu u tunele zidovi su uglavnom obloženi apsorbirajućim panelima kako bi se smanjilo rasprostiranje buke u okolinu. Oblaganje zidova panelima našlo je također veliku primjenu na ulazima i izlazima iz podvoznjaka koji su više zastupljeni u urbanim sredinama. Naime, oblaganjem zidova apsorbirajućim panelima razina buke može se smanjiti i do 10 dB [2].

### 2.3 Zaštita od buke na mjestu imisije

Ako ne postoji mogućnost primjene metoda za smanjenje buke na izvoru te metoda za sprječavanje njezina rasprostiranja, ponekad je potrebno primijeniti mjere zaštite od buke na mjestu imisije. Navedena mjera zaštite od buke obuhvaća korištenje zvučnom izolacijom te veću pažnju pri projektiranju objekata. Kod primjene zvučne izolacije najviše se postiže izoliranjem zidova, prozora i vrata objekata. Uporaba zvučnih izolacija kao zaštite od buke uglavnom se razmatra kao posljednja varijanta zbog visoke cijene koštanja. Naime, cijena dodatne zvučne zaštite stambenog objekta jest otprilike 15% od cijene samog objekta kada je vanjska razina buke od 75 do 77 dB [2]. No, otvoreni prostori objekta (npr. balkoni, dvorišta, vrtovi) i dalje će imati povišene razine buke.

Radi smanjenja razine buke u samom objektu, sve se veća pažnja posvećuje projektiranju samog objekta. Kod objekata smještenih uz prometnice, najveći problem s povišenim razinama buke pojavljuje se u prostorijama koje su neposredno orijentirane na prometnicu. Radi smanjenja cijene zvučne izolacije takvog objekta, već se u fazi projektiranja manje osjetljivi prostori (kuhinje, kupaoalice, ostave) mogu orijentirati prema prometnici, kako bi preostali dijelovi (spavaće, dnevne i radne sobe) bili s 'tiše' strane objekta.

### 2.4 Ekonomske mjere i regulativa

Ekonomske mjere zaštite popraćene regulativom obuhvaćaju naknade za vozila čija je razina buke veća od propisane, poticaje kojima se podupire smanjenje razine buke, formiranje cijene goriva (npr. cijena eurosupera u odnosu na cijenu diesela [2]), osnivanje fondova kojih su sredstva namijenjena provođenju mjera zaštite od buke, istraživanje i razvoj.

Iako se ekonomskim mjerama može na jednostavan način djelovati na smanjenje razine buke, one se i u razvijenim europskim zemljama primjenjuju ograničeno.

U Hrvatskoj se mjere tog oblika još uvijek ne provode, iako je u srpnju 2003. stupio na snagu Zakon o Fondu za zaštitu okoliša i energetska učinkovitost. On predviđa iskorištavanje sredstava fonda isključivo za akcije smanjenja zagađenja od emisije štetnih plinova, dok fondovi iz kojih bi se financirala rješenja problema povišenih razina buke ne postoje.

### 3 Optimalne mjere smanjenja razine buke

Mjere koje se odnose na smanjenje brzine, uređenje i zamjenu vozne površine kolnika, brušenje vozne površine tračnica, održavanje vozila, ponašanje vozača u prometu te na upravljanje prometom u smislu preusmjerenja prometa i ograničavanja prometa u vremenu i prostoru svakako bi uvelike doprinijele smanjenju razine buke u urbanim sredinama. Međutim to zasigurno nije realno očekivati u kraćem razdoblju. Ocjena rezultata primjene nekih od mjera zahtijevala bi dugoročna promatranja i učestala mjerenja razine buke.

Tablica 1. Smanjenje buke u ovisnosti o izboru mjere zaštite

MJERA zaštite od buke	Efekt mjere [dB]
Smanjenje buke na izvoru Cestovni promet	
• rad motora vozila	3 – 5
• smanjenje brzine	2 – 8
• vozna površina	2 – 5
• upravljanje prometom	2 – 4
• preusmjerenje prometa	5 – 10
• ponašanje vozača	0 – 5
Promet na tračnicama	
• smanjenje brzine	3 – 7 (10)
• interakcija kotač/tračnica	0 – 6
• tip konstrukcije gornjeg ustroja	0 – 5
Smanjenje rasprostiranja buke Planiranje prostorom	
• dovoljna udaljenost od prometnica	3 – 5
Zaklanjanje prostora koji se štiti	
• primjena barijera	0 – 15
• smještanje prometnica u usjeke	0 – 5
• smještanje prometnica u tunele	0 – 30
Zaštita od buke na mjestu imisije	
• zvučna izolacija objekata	3 – 10
• raspored prostorija u objektu	0 – 12
Ekonomske mjere i regulativa	
• plaćanje naknada za 'bučna' vozila	–
• formiranje cijene goriva (diesel/super)	–
• subvencije za novija 'tiha' vozila	–

Posebno je upitno preusmjerenje prometa s jedne prometnice na drugu ili s jednog oblika prijevoza na drugi. Sumarni prikaz utjecaja pojedinih mjera za zaštitu od buke (prezentiranih u točki 2.) za smanjenje razine buke u urbanim sredinama, gdje su brzine uglavnom 30 do 60 km/h (pojedine prometnice u gradovima imaju dopuštene brzine i do 70 km/h) prikazan je u tablici 1.

Iz podataka prikazanih u tablici vidljivo je da bi se smještanjem prometnica u tunele dobio najveći efekt smanjenja razine buke od prometa. No, primjena navedene mjere zahtijeva velika novčana sredstva i može se primijeniti samo na određenim potezima (glavnim gradskim prometnicama). Od ostalih mjera najučinkovitija bila bi zvučna izolacija objekta (smanjenje buke do 10 dB), smanjivanje brzine kretanja vozila (smanjenje buke 2 do 8 dB) te izgradnja barijera za zaštitu od buke koje ovisno od vrsti primijenjene barijere snižavaju razinu do 15 dB. Kako primjena zvučne izolacije zahtijeva značajna novčana sredstva (oko 15% cijene objekta) iz iznesenog razmatranja može se zaključiti da bi optimalne mjere za smanjenje razine buke, sa stajališta učinkovitosti i ekonomičnosti, bile izgradnja barijera za zaštitu od buke [17].

Promatraju li se autoceste ili željezničke pruge koje prolaze pokraj naselja, izgradnja barijera ne predstavlja veći problem. Važno je proračunati potrebne dimenzije te odabrati materijal za izradu. No, u slučajevima kad glavni prometni smjerovi pojedinih vrsta prometa prolaze kroz naselja odnosno poslovno-stambene zone, postavlja se pitanje kako u takvom slučaju primijeniti mjeru zaštite od buke, a da navedena mjera rezultira ne samo smanjenjem razine buke već i da se uklopi u prostor. Za ilustraciju zgodno je prikazati nekoliko rješenja.

Prijedlog rješenja za zaštitu stambenog kompleksa *Theodor Körner*, koji je izrađen u okviru projekta SYLVIE, a koji je financirala gradska uprava Beča te austrijske državne željeznice [1], prikazan je na slici 7. Stambeni kompleks (oko 1000 stanovnika) nalazi se u blizini željezničke pruge i ulice Gürtel koja je jedna od najprometnijih i najbučnijih bečkih prometnica. Zaštita je zamišljena u obliku prozirnih panela koji su ujedno i kolektori za prikupljanje sunčeve energije. Na ovaj se način ne bi dobila samo arhitektonski zanimljiva te ekološki opravdana već i ekonomski pogodna zaštita od buke.

Slična varijanta izvedena je u Parizu pri zaštiti od buke stambeno-poslovne zone Peripherique [18]. Takva su rješenja vrlo zanimljiva za stambene zone koje se nalaze neposredno uz brze prometnice (npr. naselje Lanište u Zagrebu).

Križanja gradske prometnice s onom velikoga prometnoga opterećenja redovito su rješenja izvan razine pri čemu jedna od njih dijelom prolazi kroz podvožnjak ili





Slika 7. Prozirna barijera za zaštitu od buke (Beč) [1]

tunel. Kako bi se smanjilo širenje buke u okolinu izvan podvožnjaka ili tunela, potrebno je zidove objekata obložiti apsorberajućim panelima. Dodatna povećanja razina buke na izlazu iz podvožnjaka posljedica su ubrzavanja vozila pri kretanju na usponu. Na slici 8. prikazan je primjer oblaganja zidova podvožnjaka apsorberajućim panelima.



Slika 8. Oblaganje zidova podvožnjaka apsorberajućim panelima [19]

Uz glavne gradske prometnice koje prolaze kroz poslovno-stambene zone optimalna je primjena prozirnih barijera. Njihova je prednost što ne predstavljaju vizualnu prepreku, osiguravaju prodiranja svjetla te ne ograničavaju doživljaj prostora što je posebice značajno u urbaniziranom području s uskim prometnim koridorima.



Slika 10. Zaštitna barijera na pruzi Neue HL-Strecke Westbahn, Austrija [19]

Općenito na takvim je lokacijama veliki problem mali prostor u kojem je potrebno smjestiti barijere (npr. blizina pješačkih staza). Na slici 9. prikazano je dobro rješenje prozirnom barijerom neposredno uz prometnicu u središtu naseljenog mjesta.



Slika 9. Prozirna barijera za zaštitu od buke [20]

Kretanje vlakova uzrokuje znatno povećanje razine buke što je dijelom prikazano i na slici 5. (točka 2.1). U blizini naseljenih mjesta, uz željezničku prugu, najčešća je primjena barijera bilo da se radi o denivelaciji kolosijeka ili postavljanju zaštitnih barijera koje većinom nisu prozirne (slika 10.).

#### 4 Zaključak

Povećana razina buke u urbanim sredinama jest konstantan problem. Većina gradova povećane razine buke nastoji smanjiti na dopuštene vrijednosti propisane zakonom. Da bi se odgovorilo na pitanje koju je mjeru smanjenja razine buke najefikasnije primijeniti, potrebno je registrirati stanje u okolišu na predmetnoj lokaciji, analizirati mogućnost primjene pojedinih mjera te donijeti relevantnu odluku. Sustavna istraživanja zahtijevaju znatna financijska sredstva pa je to razlog što se kod nas ne provode. Međutim ipak se u ograničenom opsegu provode pojedinačna istraživanja. Treba reći da su u pojedinim europskim zemljama još sedamdesetih i osamdesetih godina zaživjela ovakva istraživanja te su redovito bila financirana iz državnog proračuna ili proračuna pojedine gradske uprave. U Francuskoj je od 1971. do 1982. u istraživanja uloženo 2,7 mil. eura, u Njemačkoj od 1978. do 1983. oko 4,0 mil. eura, a u Velikoj Britaniji od 1989. do 1995. oko 6,5 mil. eura [2]. Europa i dalje konstantno i ubrzano radi na istraživanjima zaštite od buke. U izradi je istraživački projekt *Noise Innovation Program Road Traffic*, pokrenut 2003. godine u Nizozemskoj, koji su inicirali Ministarstvo prometa i Ministarstvo zaštite okoliša. Proračun projekta iznosi 50 milijuna eura, a postavio je sljedeće ciljeve: smanjenje broja objekata koji



su izloženi razinama buke > 70 dB za 100%, razinama buke većim od 65 dB za 90% te razinama buke većim od 60 dB za 50%, i to do 2030. godine [21].

Rezultati navedenih istraživanja općenito uvelike doprinose donošenju novih smjernica i propisa vezanih za zaštitu od buke. Vlastita su istraživanja ipak nezamjenjiva zbog prilagođavanja lokalnim uvjetima života i rada. Do sada se u Hrvatskoj zaštita od buke razmatrala i provodila isključivo uz autoceste. Pritužbe građana koji

žive i rade u sredinama kroz koje prolaze prometnice velikoga prometnoga opterećenja u posljednje su vrijeme učestale, što je ponukalo neke gradske uprave da pokrenu postupke kojima bi se to stanje poboljšalo (Zagreb [13], Varaždin [22]). Takve su aktivnosti, iako manjeg opsega, doprinos rješavanju ovoga problema te pokazuju nastojanje gradskih vlasti da život svojim građanima učine što je moguće kvalitetnijim.

## LITERATURA

- [1] *Kooperatives Lärmsanierungsverfahren, initiierung und begleitend der pilotprojekte*, Endbericht, SYLVIE - SYstematisch Lärm-sanierung von innerstädtischen WohnVIERteln, Wien, October 2002.
- [2] European Commission Working Group 5: *Inventory of noise mitigation methods*, Brussels, 2002.
- [3] De Graaff, D. F.: *A Speed and Acceleration Limit in the Noise Type Approval of Vehicles Will Enable Silent Cars to Reveal Their Silence*, The 30<sup>th</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering – INTERNOISE 2001, The Hague, The Netherlands, 2001.
- [4] Phillips, S.; Kinsey, P.: *Aspects of vehicle and traffic noise control*, UBA Workshop – Further noise reduction for motorised road vehicles, Berlin, 2001.
- [5] Litzka, J.; Jürgen, H.: *Actual research on noise reduction road surfaces*, 7<sup>th</sup> Slovenian Road and Transportation Congress, Portorož, Slovenia, 2004.
- [6] McKeown, A.; Parry, A., R.; Ferne, B., W.; Willett, M., R.; Mercer, J.: *Improving the longitudinal profile and evenness of asphalt pavements*, 4<sup>th</sup> International symposium on pavement surface characteristics of roads and airfields, Nantes, France, pp. 33-42, 2000.
- [7] Dragčević, V.; Lakušić, S.; Rukavina, T.; Kecur, R.: *The impact of reconstruction and traffic regulation on the noise level*, The 33<sup>rd</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering – INTERNOISE 2004, Paper N254, Prague, Czech Republic, 2004.
- [8] European Commission: *Green Paper – Future Noise Policy*, Brussels, 1996.
- [9] Lakušić, S.; Dragčević, V.; Rukavina, T.: *The effect of tram track permanent way closure system on the level of noise*, 9<sup>th</sup> International Conference on Urban Transport and the Environment (URBAN TRANSPORT 2003), (Eds. L.J. Sucharov & C.A. Brebbia), Crete, Greece, pp. 403-412, 2003.
- [10] *Executive Summary of the Position Paper on the European strategies and priorities for railway noise abatement*, The Working Group Railway Noise of the European Commission, Brussels, 2003.
- [11] Esveld, C.: *Modern Railway Track, Second Edition*, MRT Productions, TU Delft, The Netherlands, 2001.
- [12] Lakušić, S., Rukavina, T., Dragčević, V.: *The Impact of Tram Motion on the Vibration Intensity of the Tram Track*, Eleventh International Congress on Sound and Vibration, St. Petersburg, Russia, pp. 1967-1974, 2004.
- [13] Lakušić, S., Dragčević, V., Rukavina, T.: *Utjecaj buke od prometa u poslovno-stambenim zonama grada Zagreba*, Elaborat, Građevinski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Zagreb, 2004.
- [14] *Light Rail in Germany*, Federal Ministry of Transport, Building and housing & Association of German Transport Undertakings, VDV Promotional Group, Düsseldorf, 2000.
- [15] *Noise Reduction Mesures on the Swiss Railways*, Federal Office of Transport, Bern, 2004.
- [16] *Generalni urbanistički plan grada Zagreba*, Službeni glasnik br.14/2003.
- [17] Watts, G.R.: *Traffic Noise Barriers*, TRL Annual Review, 1995.
- [18] Kotzen, B. English, C.: *Environmental NoiseBarriers- A Guide to their Acoustic and Visual Design*, E & FN SPON, London and New York, 1999.
- [19] Forster Metallbau GmbH, *Noise protection*, reklamni materijal.
- [20] Stanzel, B.: *Lärmschutzprojekte in Wien*, Architekturbüro Stanzel, Wien, 2000.
- [21] Nijland, R., Vos, E., Hoogwerff, J.: *The Dutch Noise Innovation Program Road Traffic (IPG)*, The 32<sup>th</sup> International Congress and Exposition on Noise Control Engineering – INTERNOISE 2003, Paper Number N591, Seogwipo, Korea, 2003.
- [22] Kauzler, N., Kraš D., Šestanjan-Perić, M.: *Mjerenja buke prometa – grad Varaždin*, Izvještaj, Vizor d.o.o., Varaždin, 2003.