

Andraž Zalar, mag. inž. grad.
andraz.zalar@zag.si
Zavod za gradbeništvo Slovenije,
Dimičeva ulica 12, Ljubljana



Strokovni članek

UDK/UDC: 628.517.2:625.745

PRIMERJAVA PRESKUSNIH METOD DOLOČANJA ZVOČNE IZOLATIVNOSTI PROTIHRUPNIH OGRAJ

COMPARISON OF TEST METHODS FOR DETERMINATION OF SOUND INSULATION PERFORMANCE OF NOISE BARRIERS

Povzetek

Protihrupne ograje so dobra rešitev za zaščito bivalnega okolja pred prometnim hrupom. Prispevek predstavlja zvočno izolativnost ograj. Ugotavlja se z laboratorijskimi in terenskimi merilnimi metodami, pri čemer se rezultati meritev po obeh metodah zaradi različnih zvočnih polj nekoliko razlikujejo. V nadaljevanju se s primerjavo rezultatov laboratorijskih in terenskih meritev zvočne izolativnosti na istih vzorcih ograj določi medsebojna povezava rezultatov obeh vrst meritev v obliki linearne regresije. To se primerja z regresijo, dobljeno v študiji projekta QUIESST. Treba je poudariti, da je zvočna izolativnost vzorcev v prispevku obravnavanih ograj večinoma bistveno manjša od zvočne izolativnosti ograj, obravnavanih v študiji QUIESST.

Ključne besede: protihrupne ograje, zvočna izolativnost, merilne metode, primerjava merilnih metod

Summary

Noise barriers are a good solution to protect the residential environment from traffic noise. This research paper presents sound insulation performance of barriers. It is determined by laboratory and in-situ measurement methods, although the results of measurements using both methods differ somewhat due to the different sound fields. In the following, by comparing the results of laboratory and in-situ sound insulation measurements on the same test samples of barriers, the correlation between both types of measurements is determined in the form of linear regression. This regression is compared with the one obtained in the study of the QUIESST project. It should be emphasized that the samples measured in this paper mostly perform significantly lower in terms of sound insulation than those used in the QUIESST study.

Key words: noise barriers, sound insulation performance, measurement methods, comparison of measurement methods

1 UVOD

Splošno najbolj moteč hrup v bivalnem okolju je hrup cestnega prometa [Čudina, 2001]. Zaradi povečevanja števila motornih vozil ta hrup še narašča, zato se omejuje z različnimi protihrupnimi ukrepi. Med najpogostejše ukrepe v Sloveniji sodijo protihrupne ograje, saj z vidika zmanjšanja hrupa predstavljajo učinkovito in enostavno rešitev. Najmanj posegajo v sam vir hrupa oz. cestni promet in sprejemnike, npr. stanovanjske objekte, zaščitijo pa lahko velika območja v bližini cest. V prispevku so predstavljene akustične lastnosti ograd in njihov vpliv na učinkovitost pri zaščiti pred hrupom prometa. V nadaljevanju prispevek prikaže ovrednotenje akustičnih lastnosti ograd z uporabo standardiziranih laboratorijskih in terenskih merilnih metod ugotavljanja zvočne izolativnosti. Po laboratorijskih in terenskih merilnih metodah dobljene vrednosti zaradi uporabe različnih zvočnih polj medsebojno niso neposredno primerljive. Zaradi različnih v nadaljevanju prispevka opisanih dejavnikov je smiselno iz vrednosti rezultatov laboratorijskih meritev določiti vrednosti rezultatov terenskih meritev in obratno.

Namen prispevka je potrditi, da je z laboratorijskimi in terenskimi meritvami zvočnih izolativnosti istih vzorcev ograd možno določiti regresijo, ki opiše povezavo med vrednostmi rezultatov laboratorijskih in terenskih meritev zvočne izolativnosti. Naslednji cilj je potrditev skladnosti dobljene regresije z regresijo, dobljeno v študiji projekta QUIESST (QUIetening the Environment for a Sustainable Surface Transport), kjer je pri meritvah sodelovalo več evropskih laboratorijev [Conter, 2021]. Ograje, obravnavane v prispevku, imajo večinoma majhno zvočno izolativnost. Študija QUIESST takih ograd ni obravnavala. Torej se z določitvijo regresije, dobljene v prispevku, potrdi njena uporabnost tudi za ograje z majhno zvočno izolativnostjo.

2 AKUSTIČNE LASTNOSTI PROTIHRUPNIH OGRAJ

Pri cestah brez protihrupnih ograd se zvok med prometom, ki predstavlja zvočni vir, in sprejemnikom prenaša nepo-

sredno ter z odbojem zvoka od tal do sprejemnika [Kotzen, 2009]. S postavitvijo ograje se ti dve poti prekineta. Kot je prikazano na sliki 1, se pri tem zvok deloma prenaša skozi ograjo, deloma od nje odbija, deloma v njej absorbira in deloma ukloni preko nje. Od zvočnega vira na eni strani do sprejemnika na drugi strani ograje se prenaša zvok torej neposredno skozi ograjo in z uklonom okrog stranskih robov ograje ter preko ograje.

3 ZVOČNA IZOLIRNOST

V splošnem predstavlja mero za zvočno izolativnost ograje zvočna izolirnost R , ki je definirana kot logaritemsko razmerje vpadle in prenesene zvočne moči. Določi se z enačbo [Simons, 2004]:

$$R = 10 \cdot \log\left(\frac{1}{\tau}\right) = 10 \cdot \log\left(\frac{W_1}{W_2}\right) \quad (\text{dB}), \quad (1)$$

kjer je:

τ - koeficient prenosa zvoka (/),

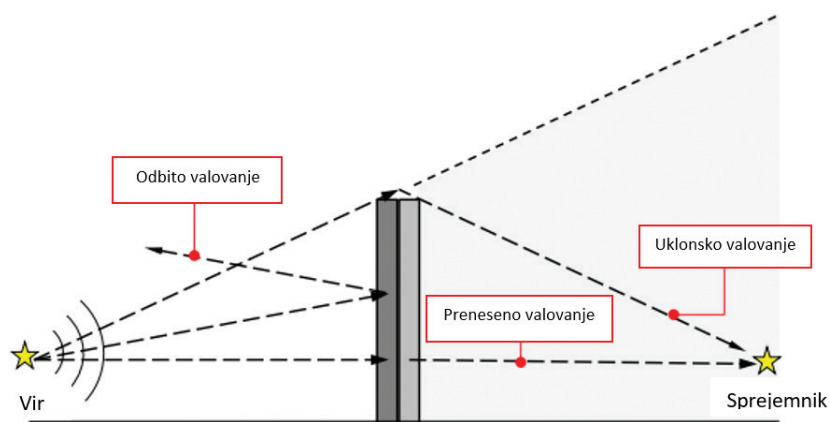
W_1 - zvočna moč, ki vpada na ograjo s strani vira (W),

W_2 - zvočna moč, ki se prenaša skozi ograjo in seva proti sprejemniku (W).

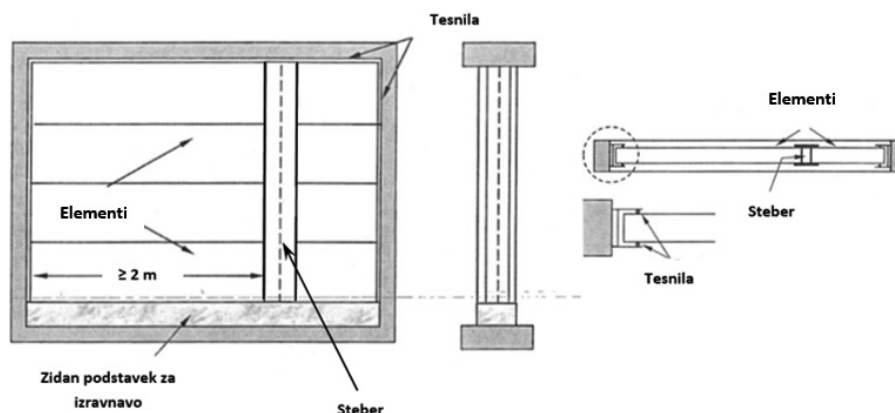
Konkretno za hrup prometa se zvočna izolativnost ograje ovrednoti z enoštevlično vrednostjo izolirnosti pred zvokom v zraku DL_R , izmerjeno v laboratoriju, in enoštevlično vrednostjo izolirnosti pred zvokom v zraku DL_{SR} , izmerjeno na terenu. Obe vrednosti sta predstavljeni v nadaljevanju prispevka.

3.1 Laboratorijska metoda ugotavljanja zvočne izolirnosti ograd

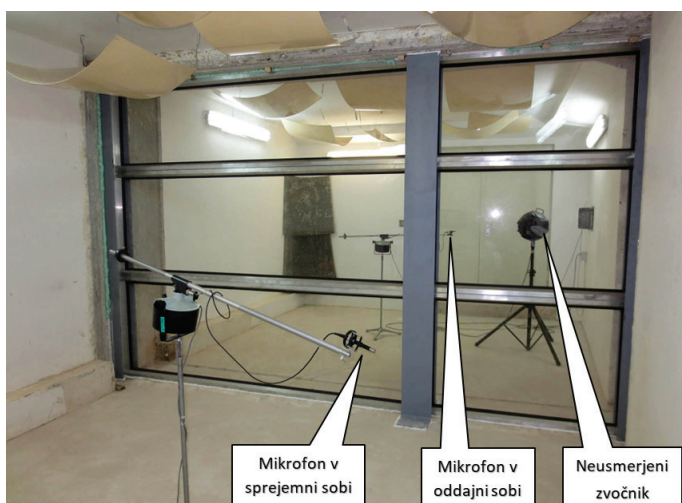
Enoštevlično vrednost izolirnosti pred zvokom v zraku DL_R se uporablja za prikaz in primerjavo splošne zvočnoizolacijske učinkovitosti različnih ograd, projektiranih za ceste v odmevnih pogojih, na primer v globokih vkopih ali ob visokih stavbah. Dobljena je v laboratoriju z meritvami po preskusni metodi za ugotavljanje izolirnosti ograd pred zvokom v zraku v difuznem (razpršenem) zvočnem polju. Metoda je



Slika 1. Prenos zvoka pri postavljeni ograji [Vanhooreweder, 2017].



Slika 2. Skica postavitve vzorca ograje v laboratorijski preskusni odprtini [SIST, 2018a].



Slika 3. Laboratorijsko merjenje zvočne izolirnosti ograje.

določena v standardu [SIST, 2018a]. Pri meritvah se uporabljata dve sosednji sobi. Ena je soba z virom hrupa (oddajna soba), druga pa sprejemna soba. Preskusni vzorec ograje, sestavljen iz akustičnih elementov in stebra, je vstavljen v preskusno odprtino med obema sobama in sestavljen na enak način kot na terenu (sliki 2 in 3). V oddajni sobi je postavljen neusmerjeni zvočnik, ki ustvarja odmevne pogoje kot približek difuznega zvočnega polja. Difuzno zvočno polje je definirano kot idealno odmevno zvočno polje, v katerem je gostota zvočne energije enakomerna po celotnem prostoru, in če izberemo katerokoli točko v prostoru, bo obstajala enaka verjetnost, da bo zvočni val, ki prihaja v to točko, prispel v kateremkoli trenutku iz katerekoli smeri [Hopkins, 2007]. Neprekinjeno premikajoča se mikrofona, eden v oddajni in drugi v sprejemni sobi, istočasno po prostoru merita ravni zvočnega tlaka v terčnih frekvenčnih pasovih s srednjimi frekvencami med 100 in 5000 Hz [SIST, 2021]. V sprejemni sobi se izvedejo še meritve odmevnega časa. To je čas, ki je potreben, da po prekinitvi zvoka iz zvočnika pade raven zvočnega tlaka v prostoru za 60 dB [SIST, 2004].

Izmerjene ravni zvočnega tlaka v oddajni in sprejemni sobi ter odmevni čas so osnova za izračun laboratorijske zvočne izolirnosti R_i i-tega terčnega pasu po enačbi [SIST, 2021]:

$$R_i = L_{1i} - L_{2i} + 10 \cdot \log \frac{S \cdot T_i}{0,16 \cdot V} \quad (\text{dB}), \quad (2)$$

kjer je:

- L_{1i} - povprečna raven zvočnega tlaka i-tega terčnega pasu v oddajni sobi (dB),
- L_{2i} - povprečna raven zvočnega tlaka i-tega terčnega pasu v sprejemni sobi (dB),
- S - površina odprtine med oddajno in sprejemno sobo, v katero je vstavljen preskusni vzorec (m^2),
- T_i - odmevni čas i-tega terčnega pasu (s),
- V - volumen sprejemne sobe (m^3).

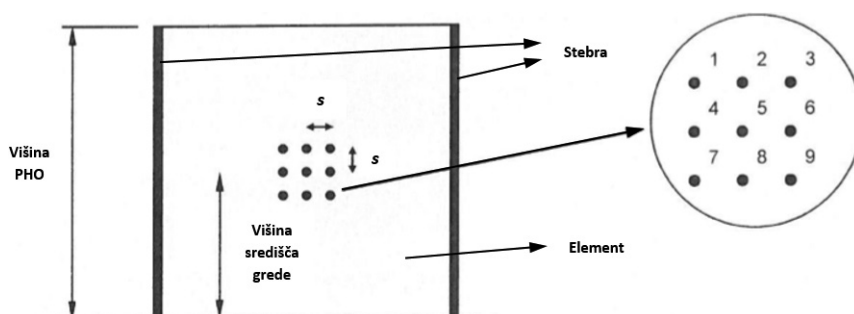
Posamezne izmerjene zvočne izolirnosti R_i v i-tih terčnih pasovih med 100 in 5000 Hz se utežijo z uporabo v standardu [SIST, 1999] definiranih ravni zvočnega tlaka za frekvenčni spekter prometnega hrupa, kar je osnova za izračun enoštevilčne vrednosti izolirnosti ograje DL_R po enačbi [SIST, 2018a]:

$$DL_R = -10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_{1i}} \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i}}{\sum_{i=1}^{18} 10^{0,1 \cdot L_{1i}}} \right] \quad (\text{dB}), \quad (3)$$

kjer je:

- R_i - zvočna izolirnost i-tega terčnega pasu (dB),
- L_{1i} - raven zvočnega tlaka za frekvenčni spekter prometnega hrupa v i-tem terčnem pasu ob upoštevanju korekcije po korekcijski krivulji A (dB).

Pri ograji z vrednostjo DL_R vsaj 25 dB je prispevek skozi ograjo prenesenega zvoka zanemarljiv v primerjavi s celotnim zvokom, ki se prenese od zvočnega vira na eni do sprejemnika na drugi strani ograje. V tem primeru se predpostavi, da se celoten zvok prenese z uklonom okrog robov pri straneh ograje ali preko vrha ograje. Takšna ograja ima zadostno izolirnost in se obravnava kot zvočno neprepustna [Kotzen, 2009].



Slika 4. Merilna greda in merilne točke [SIST, 2018b].

3.2 Terenska metoda ugotavljanja zvočne izolirnosti ograj

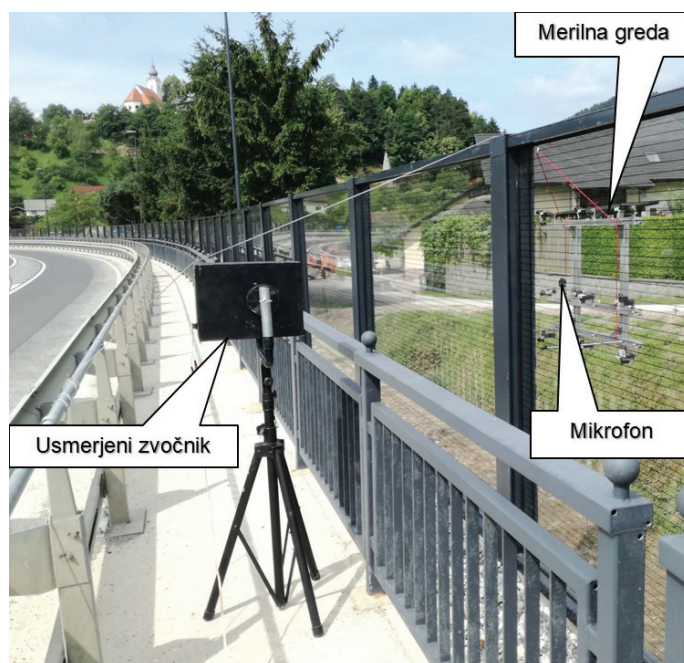
Enoštevilčna vrednost izolirnosti pred zvokom v zraku DL_{SI} se uporablja za prikaz in primerjavo splošne zvočnoizolacijske učinkovitosti različnih ograj, projektiranih za ceste v neodmevnih pogojih, ocenjevanje ustrezne zvočne izolirnosti ograj na terenu in preverbo skladnosti vgrajenih ograj z načrti. Dobljena je na mestu vgradnje ograj ali na testnem polju s terenskimi meritvami po preskusni metodi za ugotavljanje izolirnosti ograj pred zvokom v zraku v usmerjenem zvočnem polju. Metoda je določena v standardu [SIST, 2018b].

Meritve potekajo na način, da se na eno stran ograje namesti zvočnik z usmerjenim zvočnim poljem, ki generira impulzni zvočni signal, na drugo stran pa merilno gredo, sestavljeno iz okvirja, na katerem je devet vertikalnih in medsebojno enako razporejenih mikrofonskih pozicij v kvadratni 3x3 razporeditvi (sliki 4 in 5). Mikrofon, ki se namesti na vsako izmed devetih merilnih mest merilne grede, z meritvijo impulznega odziva beleži signal skozi ograjo prenesenega zvoka. Načrt postavitve pri meritvah je podan na sliki 6.

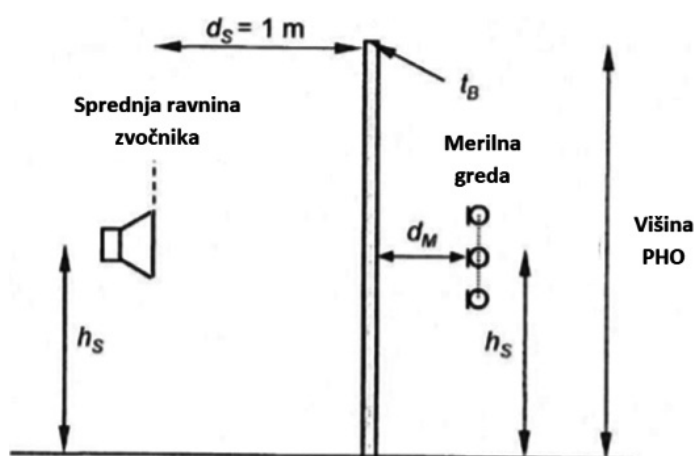
Za pridobitev rezultatov referenčnega direktnega zvoka v prostem polju se enaka meritev kot pri merjenju z ograjo ponovi še na mestu brez vmesne ograje. S primerjavo močnostnih spektrov direktnega in skozi ograjo prenesenega signala, ki predstavljata porazdelitev moči signala po frekvencah tega signala, se določi posamezna impulzna zvočna izolirnost ograje v i -tem terčnem pasu SI_i med 100 in 5000 Hz. Pri tem v obravnavo ne sme biti zajet uklon zvoka preko robov ograje, kar je odvisno od najmanjše dimenzije (višine ali dolžine) obravnavane ograje. Zato se z grafa, prikazanega v standardu [SIST, 2018b], določi glede na najmanjšo dimenzijo ograje najnižji za upoštevanje pri določitvi izolirnosti SI_i , še zanesljiv terčni pas od 100 Hz navzgor f_{min} . Posamezne izolirnosti SI_i se utežijo z uporabo ravni zvočnega tlaka za frekvenčni spekter prometnega hrupa, kar je osnova za izračun enoštevilske vrednosti izolirnosti ograje DL_{SI} po enačbi [SIST, 2018b]:

$$DL_{SI} = -10 \cdot \log \left[\frac{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i} \cdot 10^{-0,1 \cdot SI_i}}{\sum_{i=m}^{18} 10^{0,1 \cdot L_i}} \right] \quad (\text{dB}),$$

(4)



Slika 5. Merilna greda z mikrofonom pri terenskih meritvah zvočne izolirnosti z vmesno ograjo.



Slika 6. Prikaz merjenja skozi ograjo prenesenega zvoka pri terenskih meritvah zvočne izolirnosti [SIST, 2018b].

kjer je:

- m - število najnižjega še zanesljivega terčnega pasu od 100 Hz navzgor f_{min} ,
- L_i - raven zvočnega tlaka za frekvenčni spekter promennega hrupa v i -tem terčnem pasu ob upoštevanju korekcije po korekcijski krivulji A (dB),
- SI_i - impulzna zvočna izolirnost ograje v i -tem terčnem pasu (dB).

V primeru, da je ograja sestavljena iz akustičnih elementov in stebrov, se meritev in izračun vrednosti DL_{SI} izvedeta tako pri akustičnem elementu kot tudi pri stebri. S kombinacijo obeh vrednosti se določi skupna vrednost $DL_{SI,G}$ po enačbi [SIST, 2018b]:

$$DL_{SI,G} = -10 \cdot \log \left[\frac{10^{-0,1 \cdot DL_{SI,E}} + 10^{-0,1 \cdot DL_{SI,P}}}{2} \right] \quad (\text{dB}), \quad (5)$$

kjer je:

- $DL_{SI,E}$ - enoštevnična vrednost izolirnosti akustičnega elementa (dB),
- $DL_{SI,P}$ - enoštevnična vrednost izolirnosti stebra (dB).

4 PRIMERJAVA LABORATORIJSKE IN TERENKE METODE

Laboratorijska in terenska metoda preiskav za ugotavljanje zvočne izolirnosti ograj imata vsaka svoje prednosti. Z laboratorijskimi preiskavami proizvajalci ograj ugotavljajo ustreznost ograj še pred njihovo izgradnjo na terenu. Terenske preiskave so glede na laboratorijske enostavnejše za izvedbo, saj ograj ni treba transportirati v laboratorij, ampak se lahko preverjajo kar na samem mestu vgradnje. Pomembna prednost terenskih preiskav je tudi odkrivanje in odpravljanje različnih napak pri sami izvedbi vgradnje, kot so npr. vrzeli, slabi stiki, neustrezna sestava ograj in drugo.

Pri načrtovanju ograj je npr. lahko zahtevano, da se morajo ograje uvrstiti v določeno kategorijo zvočnoizolacijske učinkovitosti, ki je definirana le v standardu o laboratorijskih preiskavah [SIST, 2018a], v standardu o terenskih preiskavah [SIST, 2018b] pa ne. S kategoriziranjem se preveri akustična ustreznost ograj. V primeru, da je možno izvesti le terenske preiskave, npr. zaradi že vgrajenih ograj na samem mestu vgradnje, ali če želimo npr. ugotoviti zvočno izolirnost ograje v neodmevnih zvočnih pogojih, ki so prisotni na mestu vgradnje, vendar pa v laboratoriju niso zagotovljeni, je treba rezultate terenskih preiskav pretvoriti v laboratorijske.

Ti rezultati medsebojno niso neposredno primerljivi [SIST, 2018b], saj je, kot že omenjeno, pri terenskih preiskavah zvočno polje usmerjeno (zvočno valovanje se od zvočnika proti mikrofону brez odbojev širi pod določenim vpadnim kotom), pri laboratorijskih pa je odmevno (vsi vpadni koti zvočnih valov na mikrofón so enako verjetni). Zato se je izvedla raziskava, s katero se je ugotavljalo, v kakšni medseboj-

ni povezavi so rezultati obeh meritev. Opravile so se meritve zvočne izolirnosti različnih vzorcev ograj. Vsak vzorec se je meril tako na terenu kot v laboratoriju. Iz dobljenih rezultatov meritev se je nato s pomočjo linearne regresije določila povezanost laboratorijskih in terenskih rezultatov.

V raziskavi ugotovljena linearna regresija, ki rezultatom laboratorijskih meritev zvočne izolirnosti ograj DL_R priredi rezultate $DL_{SI,I}$, ki bi bili dobljeni s terenskimi meritvami, je predstavljena z enačbo:

$$DL_{SI,I} = 1,251 \cdot DL_R - 1,750 \quad (\text{dB}). \quad (6)$$

Z linearno regresijo se lahko ugotavlja tudi obratno, torej da rezultatom terenskih meritev zvočne izolirnosti DL_{SI} priredi rezultate $DL_{RI,I}$, ki bi bili dobljeni z laboratorijskimi meritvami, in sicer z naslednjo enačbo, določeno na podlagi izvedene raziskave:

$$DL_{RI,I} = 0,799 \cdot DL_{SI} + 1,399 \quad (\text{dB}). \quad (7)$$

Korelacijski koeficient linearne regresije R^2 je 0,988, kar nakazuje, da z dobljeno linearno regresijo lahko zelo dobro opišemo povezavo med laboratorijskimi in terenskimi rezultati.

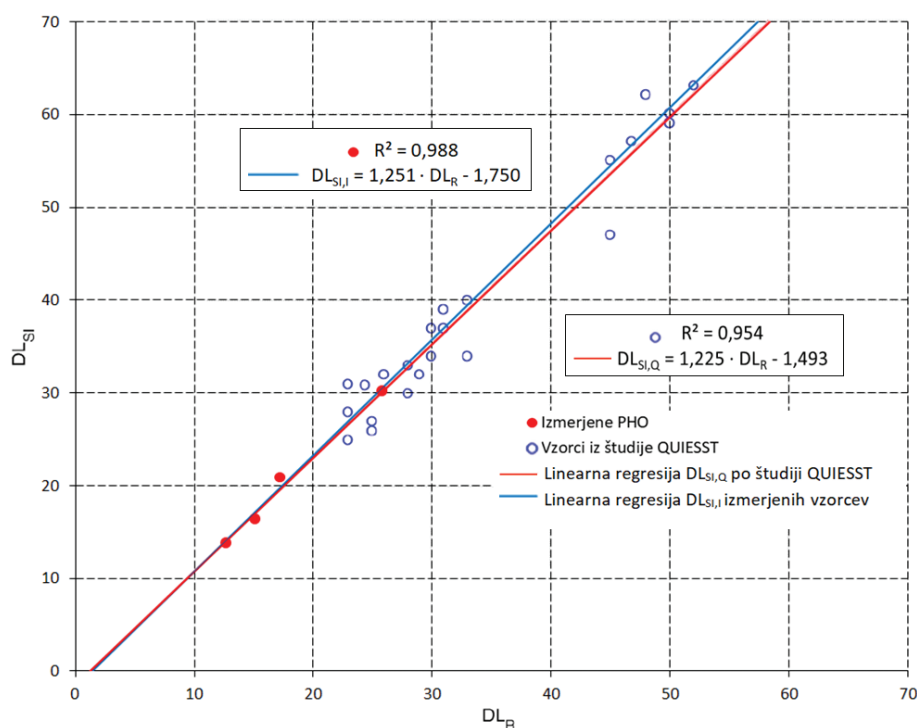
Dobljeni rezultati so se primerjali z rezultati raziskovalne študije, narejene v okviru evropskega projekta QUIESST, kjer so se izvedli medlaboratorijski preizkusi za različne vrste ograj. Po študiji QUIESST je linearna regresija, ki iz rezultatov laboratorijskih meritev zvočne izolirnosti ograj DL_R priredi rezultate terenskih meritev $DL_{SI,Q}$, podana z naslednjo enačbo:

$$DL_{SI,Q} = 1,225 \cdot DL_R - 1,493 \quad (\text{dB}). \quad (8)$$

Korelacijski koeficient linearne regresije R^2 je po tej enačbi 0,954. Tudi študija QUIESST torej potrjuje zelo dobro povezanost med laboratorijskimi in terenskimi rezultati.

Na sliki 7 so prikazane primerjalne vrednosti laboratorijskih in terenskih meritev zvočne izolirnosti, izmerjene na vzorcih v prispevku predstavljene študije in dobljene iz rezultatov vzorcev iz študije QUIESST, poleg tega pa še premici linearne regresije izmerjenih vzorcev $DL_{SI,I}$ in linearne regresije iz študije QUIESST $DL_{SI,Q}$. Linearni regresiji $DL_{SI,I}$ in $DL_{SI,Q}$ sta enakovredni, kar je razvidno iz grafičnega ujemanja obeh regresijskih premic na sliki 7. Analitično pa se njuno enakovrednost potrdi z izračunom standardne napake linearne regresijske ocene za $DL_{SI,I}$ in $DL_{SI,Q}$ pri čemer je seštevek obeh standardnih napak večji od medsebojne razlike med realno največjima izračunanimi terenskima vrednostma zvočne izolirnosti $DL_{SI,I}$ in $DL_{SI,Q}$ po enačbah (6) in (8).

Kot je razvidno s slike 7, je večina v študiji izmerjenih vzorcev ograj imela nizke vrednosti izolirnosti (DL_R pod 25 dB). Takih vzorcev študija QUIESST ni zajela v obravnavo. Tako se je z določitvijo linearne regresije potrdila njena uporabnost tudi pri zvočno manj izolativnih ograjah z DL_R vrednostjo, manjšo od 25, vendar večjo od 10 dB.



Slika 7. Primerjalne vrednosti laboratorijske in terenske zvočne izolirnosti izmerjenih vzorcev in vzorcev iz študije QUIESST ter premici linearne regresije DL_{SLI} in $DL_{SLI,Q}$

5 UKLON ZVOKA

V povezavi s prenosom zvoka od zvočnega vira na eni strani ograje do sprejemnika na drugi strani je treba omeniti tudi uklon zvoka okrog robov pri straneh ograje in preko vrha ograje, saj je ta najpomembnejši vzrok omejevanja zvočnoizolacijske učinkovitosti ograj. Njegov vpliv na zvočnoizolacijsko učinkovitost ograj je sicer neizogiben, vendar lahko k njegovemu zmanjšanju in posledično večji učinkovitosti ograj največ prispevajo višje in bolj navpične ograje. Dodatno lahko k temu pripomoreta še povečanje površine absorpcijskih oblog na ograjah in namestitve dodatnih ovir na vrhu ograj. Pri višjem deležu tovornega prometa glede na promet osebnih vozil je učinkovitost ograj manjša, saj se nizkofrekvenčni zvok, ki ga v prometu ustvarjajo predvsem tovorna vozila, v primerjavi z visokofrekvenčnim veliko enostavneje uklanja preko ograje [Vanhooreweder, 2017].

6 SKLEP

Laboratorijski in terenski rezultati meritev zvočne izolirnosti ograj zaradi različnih zvočnih polj med seboj niso neposredno primerljivi. Lahko se zgodi, da je zaradi izpolnjevanja zahtev treba ograje uvrstiti v določene kategorije zvočnoizolacijske učinkovitosti, ki so definirane le pri laboratorijskih meritvah. Zato je v primeru, ko je možna le izvedba terenskih meritev, treba določiti povezavo med rezultati obeh vrst meritev. V prispevku obravnavana študija je potrdila, da

je z laboratorijskimi in terenskimi meritvami zvočnih izolirnosti istih vzorcev ograj možno določiti linearno regresijo, ki dobro opiše to povezavo. Dobljena linearna regresija se ujema z linearno regresijo iz študije projekta QUIESST. Obravnavane ograje so imele večinoma manjšo zvočno izolirnost od tistih, zajetih v študiji QUIESST. V prispevku predstavljena povezava med rezultati laboratorijskih in terenskih meritev je torej potrdila njeno uporabnost tudi pri ograjah z nizkimi vrednostmi zvočnih izolirnosti, katerih izmerjena vrednost DL_R pa je večja od 10 dB.

7 LITERATURA

Conter, M., Deliverable 2.2: Final report on the main results of WP2 (including M2.1, M2.2. and M2.3) - Acoustic assessment of the intrinsic performances of noise barriers. CEDR Transnational Road Research Programme 2018, spletna stran portala - <https://drive.google.com/file/d/1zYBkZZiiUqyyOefSLsgpesUR81lWXdj/view?pli=1>, 2021.

Čudina, M., Tehnična akustika. Merjenje, vrednotenje in zmanjševanje hrupa in vibracij, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, 2001.

Hopkins, C., Sound Insulation. 1st ed., Oxford, Burlington, Elsevier Ltd., 2007.

Kotzen, B., English, C., Environmental Noise Barriers. A guide to their acoustic and visual design, London, New York, Spon Press, 2009.

Simons, M. W., Waters, J. W., Sound Control in Buildings. A Guide to Part E of the Building Regulations, Oxford, Blackwell Publishing Ltd., 2004.

SIST, SIST EN 1793-3: 1999, Protihrupne ovire za cestni promet - Preskusna metoda za ugotavljanje akustičnih lastnosti - 3. del: Normalizirani spekter hrupa cestnega prometa, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 1999.

SIST, SIST EN ISO 354: 2004, Akustika - Merjenje absorpcije zvoka v odmevnici, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2004.

SIST, SIST EN 1793-2: 2018, Protihrupne ovire za cestni promet - Preskusna metoda za ugotavljanje akustičnih lastnosti - 2. del: Karakteristike, značilne za izolacijo pred zvokom v zraku, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2018a.

SIST, SIST EN 1793-6: 2018, Protihrupne ovire za cestni promet - Preskusna metoda za ugotavljanje akustičnih lastnosti - 6. del: Bistvene karakteristike - Terenske vrednosti izolirnosti pred zvokom v zraku pri usmerjenem zvočnem polju, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2018b.

SIST, SIST EN ISO 10140-2: 2021, Akustika - Laboratorijsko merjenje zvočne izolirnosti gradbenih elementov - 2. del: Merjenje izolirnosti pred zvokom v zraku, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2021.

Vanhooreweder, B., Marcocci, S., De Leo, A., Technical Report 2017-02. State of the art in managing road traffic noise: noise barriers. Conference of European Directors of Roads, Bruselj, CEDR's Secretariat, spletna stran portala - <https://www.cedr.eu/download/Publications/2017/CEDR-TR2017-02-noise-barriers.pdf>, 2017.