

S. Grubeša, A. Petošić, M. Suhanek, I. Đurek*

ZAŠTITA OD BUKE – ZVUČNE BARIJERE

UDK 628.517.2
PRIMLJENO: 28.9.2018.
PRIHVAĆENO: 17.4.2019.

Ovo djelo je dano na korištenje pod Creative Commons Attribution 4.0 International License 

SAŽETAK: U ovom preglednom radu razmotrit će se problem buke u smislu zagađivanja okoliša te će se izložiti moguća rješenja. Zvuk je oblik energije koja se prenosi zvučnim valovima, s time da postoje poželjni i nepoželjni zvukovi. Svaki nepoželjni zvuk naziva se bukom, dok je percepcija buke subjektivna i individualna. Drugim riječima, jedna osoba može određeni zvuk okarakterizirati kao ugodan, dok druga kao nepoželjan i neugodan. Stoga, u ovom radu je detaljno objašnjen sam pojam buke, indikatori buke kao fizikalne veličine, te način na koji buka negativno djeluje na čovjeka. Čak i danas, zagađenje bukom ima naizgled malo značenje jer naoko nema izravni utjecaj na zdravlje ljudi. Međutim, kao i kod svih zagađenja, izloženost buci ima akumulirajući karakter, dakle uočava se tek nakon duljeg vremena i može se manifestirati kao loše raspoloženje, umor, nesanica, glavobolja i gubitak koncentracije, te time izravno utječe na kvalitetu života. Fokus samog rada je postavljen na buku prometa, te moguća rješenja za smanjenje takve buke. Glavnina zvučne energije buke prometa nalazi se u području srednjih frekvencija, što također odgovara i području najveće osjetljivosti ljudskog uha. Kod projektiranja novih prometnica, smanjenje utjecaja buke na ljude i okoliš moguće je postići odabirom trase izvan naseljenih mjesta i uklapanjem u postojeći reljef. S obzirom na već postojeće prometnice u blizini naseljenih mjesta, predlažu se zaštitne barijere, odnosno bukobrani. Stoga je u radu detaljno objašnjen pojam bukobrana te je dan pregled vrsta bukobrana. Također su razmotrene prednosti i nedostaci svake vrste bukobrana.

Ključne riječi: buka, zaštita od buke, zvučne barijere – bukobrani

UVOD

Zvuk je oblik energije koja se prenosi zvučnim valovima koje ljudsko uho može detektirati. Izvor zvuka mogu biti glazbeni instrumenti, ljudski glas, itd. Primjerice, kada netko svira gitaru, vibracije s gitare prenose se na čestice zraka i stvara se zvučni val. Ljudsko uho detektira taj zvučni val i tada osoba čuje zvuk gitare. Govor i glazba su poželjni zvukovi za one koji ih žele slušati, no, za druge ljude koji, primjerice, razgovaraju ili spavaju, predstavljaju neželjeni zvuk. Svaki neželjeni

zvuk prema definiciji zove se bukom. Percepcija buke je subjektivna i individualna. Faktori kao što su amplituda, trajanje, frekvencijski sastav i učestalost pojavljivanja utječu na subjektivni doživljaj buke.

Zbog titranja čestica zraka zvuk se prenosi s izvora u okolinu, a razina zvučnog tlaka smanjuje se udaljavanjem od izvora. Smanjenje zvučnog tlaka ovisi o apsorpciji zvuka u zraku, udaljenosti od izvora, vrsti izvora, itd.

Izvori buke mogu biti povezani s prostorom u kojem ljudi rade i borave, odnosno s proizvodnim procesom ili okolinom u kojoj žive. Izvori buke mogu biti i vanjski, odnosno nevezani s radnom aktivnošću ljudi koji su njima izloženi.

*Dr. sc. Sanja Grubeša, (sanja.grubesa@fer.hr), izv. prof. dr. sc. Antonio Petošić, (antonio.petosic@fer.hr), dr. sc. Mia Suhanek, (mia.suhanek@fer.hr), prof. dr. sc. Ivan Đurek, (ivan.djurek@fer.hr), Sveučilište u Zagrebu, Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zavod za elektroakustiku, Unska 3, 10000 Zagreb.

INDIKATORI BUKE

Indikator buke je fizikalna veličina koja opisuje buku okoliša i u uskoj je vezi sa štetnim učincima buke na čovjeka. Četiri osnovna indikatora buke označavaju se s L_{den} , L_{day} , $L_{evening}$ i L_{night} , a vrednovana su po A težinskoj krivulji (ISO 1996-1:2016). L_{den} je indikator ukupnog smetajućeg djelovanja buke za razdoblje dana, večeri i noći, definiran je izrazom [1] i izražava se u decibelima. L_{day} je ekvivalentna stalna razina zvuka, utvrđivana svakog dana tijekom jedne godine i označava indikator smetajućeg djelovanja buke nekog izvora tijekom dana na određenom mjestu. Razina zvučnog tlaka na problematičnom mjestu dobiva se mjerenjima (prema ISO 1996-2:2017) ili proračunima (ISO 9613-2:1996) iz poznate snage izvora (dobivene mjerenjem snage industrijskog postrojenja prema ISO 8297:1994 ili manjeg izvora prema ISO 3744:2010) i uzimanjem svih propagacijskih efekata (divergencije, prigušenja atmosfere, refleksije od tla, ogiba oko prepreka na putanji širenja). Ako je izvor tonalnog ili impulsnog karaktera, na izmjerenu ili proračunatu razinu buke dodaju se još dodatne korekcije zbog osjetljivosti sluha na takvu buku. $L_{evening}$ je ekvivalentna stalna razina zvuka, utvrđivana svake večeri tijekom jedne godine i označava indikator smetajućeg djelovanja buke tijekom večeri. L_{night} ekvivalentna je stalna razina zvuka, utvrđivana svake noći tijekom jedne godine i označava indikator buke za remećenje sna. Prema Zakonu o zaštiti od buke, dan traje 12 sati, večer 4 sata, a noć 8 sati, dok godina označava relevantnu godinu povezanu s emisijom zvuka i prosječnu godinu povezanu s meteorološkim prilikama.

$$L_{den} = 10 \log \left(12 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 4 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right) \quad [1]$$

Vrijednosti 5 dBA za razdoblje večeri i 10 dBA za razdoblje noći su dodane zbog toga što čovjek nije jednako osjetljiv na buku iste razine u različitim razdobljima dana (radno vrijeme, večer ili razdoblje noći).

UTJECAJ BUKE NA ČOVJEKA

U svakodnevnom životu i radu svaki pojedinac izložen je djelovanju buke. Od mnogo različitih zagađenja okoliša kojima smo danas izloženi,

ni, zagađenje bukom ima naizgled malo značenje jer naoko nema izravni utjecaj na zdravlje ljudi. Kao i kod svih zagađenja, izloženost buci ima akumulirajući karakter, što znači da se štetni utjecaj buke uočava tek nakon duljeg vremena i prvenstveno se manifestira kao loše raspoloženje, umor, nesanica, glavobolja i gubitak koncentracije, što uzrokuje smanjenu radnu sposobnost, a u konačnici i trajno oštećenje sluha. U Pravilniku o najvišim dopuštenim razinama buke u sredinama u kojima ljudi rade i borave (dalje u tekstu: Pravilnik) navedene su najviše dopuštene razine buke u otvorenom i zatvorenom prostoru (Tablica 1).

Tablica 1. Najviše dopuštene vrijednosti ocjenske razine buke imisije u otvorenom prostoru prema Pravilniku

Table 1. Maximum values for the level of imission noise outdoors, according to Croatian Book of Regulations

Zona buke	Namjena prostora	Najviše dopuštene ocjenske razine buke imisije L_{RAeq} u dB(A)	
		dan (L_{day})	noć (L_{night})
1.	Zona namijenjena odmoru, oporavku i liječenju	50	40
2.	Zona namijenjena samo stanovanju i boravku	55	40
3.	Zona mješovite, pretežito stambene namjene	55	45
4.	Zona mješovite, pretežito poslovne namjene sa stanovanjem	65	50
5.	Zona gospodarske namjene (proizvodnja, industrija, skladišta, servisi)	Na granici građevne čestice unutar zone – buka ne smije prelaziti 80 dB(A) Na granici ove zone buka ne smije prelaziti dopuštene razine zone s kojom graniči	

Zona prema Tablici 1.	1	2	3	4	5
Najviše dopuštene ekvivalentne razine buke L_{Req} u dB(A) – za dan	30	35	35	40	40
– za noć	25	25	25	30	30

SPEKTAR BUKE PROMETA

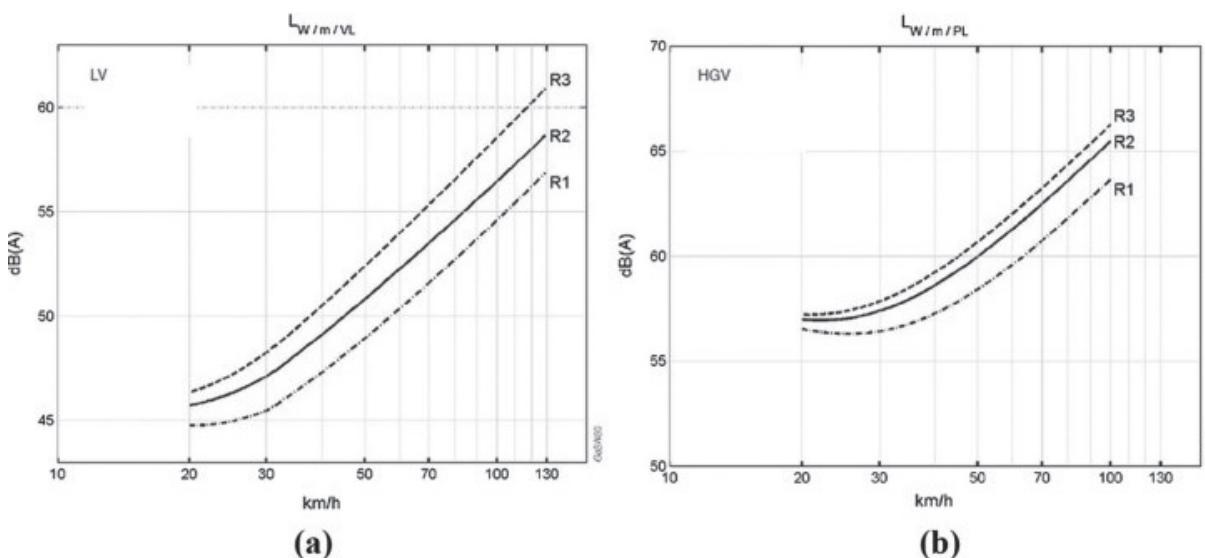
Kod buke cestovnog prometa dominantan izvor buke pri malim brzinama je buka motora, a pri većim brzinama buka zbog kontakta guma s asfaltom. Na slici 1. kategorije prometnica označene su sa R1, R2 i R3 što odgovara hrapavosti prometnice (R1-najslabija, R3-najjača); (Besnard et al., 2009/2011.). Zvučna snaga najviše ovisi o brzini i kategoriji vozila te o vrsti vozila.

Ako se promatra cestovni promet, za razmatranje učinkovitosti barijera obično se upotrebljava normirani spektar prometa (Tablica 2), u skladu s CEN/TS 1793-3:1997. Iz tablice je vidljivo kako se glavnina zvučne energije buke prometa nalazi u području srednjih frekvencija (oko 1 kHz), što također odgovara i području najveće osjetljivosti ljudskog uha. Očigledno je da upravo frekvencije između 500 Hz i 2 kHz značajno određuju razinu buke imisije prometa.

Tablica 2. Normirani spektar buke prometa L_i

Table 2. Normalized levels of road traffic noise L_i for one-third octave frequency bands

f_i (Hz)	100	125	160	200	250	315	400	500	630	800	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
L_i (dB)	-20	-20	-18	-16	-15	-14	-13	-12	-11	-9	-8	-9	-10	-11	-13	-15	-16	-18



Slika 1. Ovisnost zvučne snage po metru duljine prometnice kategorije (R1, R2 i R3) o brzini i vrsti vozila: a) LV do 3,5 t i b) HGV iznad 3,5 t

Figure 1. Dependence of sound power and length for road categories R1, R2, and R3 considering vehicle speed and type: a) light vehicles up to 3.5 tonnes, and b) heavy vehicles above 3.5 tonnes

Zaštita od buke prometa

Mjere zaštite od buke prometa mogu biti različite. Kod projektiranja novih prometnica, smanjenje utjecaja buke na ljude i okoliš moguće je postići odabirom trase izvan naseljenih mjesta i uklapanjem u postojeći reljef. Za postojeće prometnice rješenja su uglavnom usmjerena na izvedbu zvučnih barijera – bukobrana. Učinkovitost barijera ovisi o njihovom dizajnu.

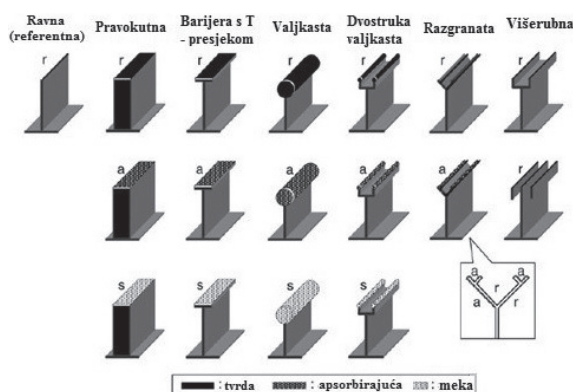
ZVUČNE BARIJERE – BUKOBRANI

Poznato je da su karakteristika izvora, te položaj i geometrija barijere prvenstveno njezina visina, važni parametri za procjenu učinkovitosti barijere. Iz estetskih i praktičnih razloga nije prikladno graditi barijere vrlo velikih visina. Za poboljšanje učinkovitosti barijere potrebno je projektirati nove oblike barijera uz uvjet da se zadrži razumna visina, odnosno potrebna visina da bi

zvučna barijera smanjila razinu buke na mjestu koje se štiti. Porastom visine barijere raste i njezina cijena, ali uz to postoji i građevinski problem pri postavljanju barijere koja u stvarnosti mora imati potrebnu stabilnost.

Problem visine barijere može se riješiti dodavanjem elemenata na vrh barijere. Tako se mogu dobiti razni oblici barijera kao što su ravne, kružne, Y i T barijere, itd.

Na slici 2 prikazan je referentni ravni bukobran i nekoliko drugih tipova bukobrana koji su dobiveni dodavanjem kape na vrh takvog ravnog bukobrana, pri čemu su kape napravljene od različitih materijala); (*Ishizuka, Fujiwara, 2004.*)



Slika 2. Primjer nekoliko tipova zvučnih barijera

Figure 2. Different types of noise barriers

Postavljanje difuzora na barijeru povezano je s povećanjem troškova izgradnje barijere, pogotovo ako se radi o difuzorima građanim od zvukopojnih materijala. Opravdanost povećanja cijene pronalazi se u povećanju učinkovitosti barijere, odnosno u povećanom smanjenju razine buke zbog postavljanja barijere (*engl. Insertion Loss*).

Smanjenje razine buke zbog postavljanja barijere

Tri osnovna parametra kojima se opisuje barijera su uneseni gubici (*engl. Insertion Loss IL*), preneseni gubici (*engl. Transmission losses TL*) i koeficijent apsorpcije barijere. Zvučne barijere mogu se definirati kao zvučno neprozirne prepreke između izvora zvuka i promatrača, preko kojih ili oko kojih se širi zvuk. Kod realnih barijera zvuk se širi i kroz barijeru, što se obično zanemaruje jer je udio zvuka koji prođe kroz barijeru bitno ma-

nji od udjela preko barijere. Zvuk koji prođe kroz barijeru, tj. preneseni gubici trebaju biti barem 10 dB niže razine od zvuka koji se ogiba oko barijere. Smanjenje razine buke koje se postiže postavljanjem zvučne barijere naziva se dodatnim smanjenjem razine buke, jer će se ona prvenstveno smanjiti zbog udaljenosti od izvora i apsorpcije zraka, a još dodatno i zbog same zvučne barijere. Za opis smanjenja razine buke često se koristi i parametar uneseni gubici koji se definira kao smanjenje razine buke zbog postavljanja zvučne barijere (*engl. Insertion Loss*). On predstavlja razliku između zvučnih tlakova p_p i p_n koji se mjere na mjestu promatrača prije i nakon postavljanja zvučne barijere, uz istu konfiguraciju tla i položaj izvora i prijarnika, a računa se prema izrazu [2]. Upravo se taj parametar obično upotrebljava za usporedbu učinkovitosti različitih barijera.

$$IL = -20 \log \left(\frac{p_p}{p_n} \right) \quad [2]$$

Parametar smanjenja razine buke zbog postavljanja zvučne barijere ovisi o obliku barijere i materijalu od koje je napravljena te frekvenciji, vrsti izvora zvuka, položaju zvučne barijere u odnosu na izvor i promatrača i apsorpcijskim svojstvima tla s obje strane zvučne barijere. Kako učinkovitost barijere izravno ovisi o frekvenciji zvuka koji se širi preko nje, tako je i parametar IL ovisan o frekvenciji. Zato se uvodi parametar prosječnog smanjenja razine buke (*engl. Mean Insertion Loss*) koji se definira kao aritmetička sredina smanjenja razine buke za vrijednosti tercnih pojaseva u području u kojem je bitna učinkovitost barijere, odnosno od 100 Hz do 4 kHz.

Zvukopojna svojstva barijere kvalificiraju se prema normi EN 1793-1, a indeks zračne zvučne izolacije koji odgovara prenesenim gubicima barijere definira se u normi EN 1793-2.

Vrste barijera

Postoje tri osnovne vrste zvučnih barijera. To su nasipi za zaštitu od buke, zvučne barijere za zaštitu od buke i kombinacija prva dva tipa.

Nasipi za zaštitu od buke izgrađeni su od prirodnih zemljanih materijala kao što su zemlja, kamen, stijene ili šljunak. Ove vrste barijera obično su konstruirane od viška materijala na mjestu koje

se štiti od buke, a izvor i dostupnost takvih materijala su čimbenici koji mogu značajno utjecati na cijenu ovakve zaštite od buke. Nasipi za zaštitu od buke zauzimaju više prostora nego same zvučne barijere. Razlog tome je nagib nasipa koji mora postupno rasti da bi bilo moguće održati stabilnost konstrukcije. Porast je definiran omjerom $m:n$, gdje je m rast u horizontalnom smjeru, a n rast u vertikalnom. Za većinu nasipa primjenjuje se omjer 2:1 ili 1,5:1, dok za nasipe od kamena porast obično ima omjer 1:1.

Bukobrani, odnosno zvučne barijere mogu biti:

- panelni, slika 3
- zidani, slika 4 (Gregg et al., 2018.)
- samostojeći koji mogu biti:
 - betonski lijevani na samom mjestu postavljanja, slika 5 (Gregg et al., 2018.)
 - betonske ploče proizvodne u kontroliranim uvjetima, dopremljene na mjesto ugradnje gdje se postavljaju, slika 6
 - kamene
 - zelene vertikalne barijere (engl. vertical gardens).

Panelni bukobrani

Panelni bukobrani sastoje se od ploče, odnosno panela koji može biti drveni, metalni ili betonski te može biti napravljen od jednog komada ili se na mjestu postavljanja sastavlja od više komponenti. Paneli se montiraju između temeljenih potpornih stupova. Osnovni elementi ovog tipa barijera su: stup i elementi kojima se on pričvršćuje na temelj, paneli i elementi kojima se paneli vežu za stupove.



Slika 3. Panelni bukobrani
Figure 3. Panel noise barriers

Postoji nekoliko načina postavljanja, odnosno izrade temelja za stupove:

- armiranobetonski temelj sa stupom usidrenim na vrh temelja pomoću sidrenih vijaka
- armiranobetonski temelj kod kojega je stup djelomično utopljen u betonsku masu pri betoniranju
- kontinuirani temeljni zid
- nearmirani betonski temelj sa stupom utopljenim na punu dubinu temelja
- drveni stupovi ukopani u bušene cilindrične rupe s kamenom ispunom.

Zidani bukobrani

Zidani bukobrani izgrađeni su od gotove opeke ili su zidani od gotovih betonskih blokova. Obje vrste bukobrana mogu biti zidane na mjestu postavljanja ručno ili strojno, a mogu biti i unaprijed proizvedeni u obliku blokova koji se spajaju na mjestu postavljanja. Kod zidanja bukobrana na mjestu postavljanja moguće je postići veću fleksibilnost i bolju prilagodbu terenu na koji se bukobran postavlja, dok je prednost modula proizvedenih unaprijed u kontroliranom okolišu veća uniformnost, bolja trajnost i redovito manji troškovi. Nedostatak takvih modula je i potreba da na prostoru gdje se postavljaju mora biti omogućen pristup radnim strojevima (dizalice i transportna vozila) kako bi ih bilo moguće postaviti.



Slika 4. Zidani bukobrani
Figure 4. Masonry noise barriers

Samostojeći bukobrani

Samostojeći bukobrani mogu biti betonski bukobrani lijevani na samom mjestu postavljanja. Proces njihove izgradnje uključuje kopanje za oslonac, postavljanje čelične armature, izlivanje betona, površinsku obradu i stvrdnjavanje. Kod ovakve konstrukcije lijevanje betonske mase i stvrdnjavanje izvodi se u različitim vremenskim

uvjetima što može utjecati na samu kvalitetu finalnog proizvoda. Prednost takvih bukobrana je u činjenici da je oblik i način postavljanja u potpunosti moguće prilagoditi terenu, što je i razlog da se takvi bukobrani najčešće koriste na mostovima i vijaduktima. Dodatna prednost ovakvih bukobrana je i njihova velika strukturna čvrstoća i otpornost na oštećenja zbog čega se, osim za samu funkciju zaštite od buke, vrlo često koriste i kao potporni zidovi ili zidovi za razdvajanje prometnih traka iz sigurnosnih razloga.



Slika 5. Samostojeći lijevani bukobrani
Figure 5. Cast-in place noise barriers

Samostojeći bukobrani mogu biti i predgotovljeni odnosno bukobrani za koje se betonske ploče proizvode u kontroliranim uvjetima (tvornicama, postrojenjima) te se dopremaju na mjesto ugradnje gdje se postavljaju (slika 6). Također samostojeći bukobrani mogu biti zelene vertikalne zvučne barijere (*engl.* vertical gardens); (slika 7). Zelene vertikalne zvučne barijere se u zadnje vrijeme često koriste u gradovima jer osim što smanjuju buku, služe i za smanjenje zagađenja zraka, a ne zauzimaju dodatni prostor nego se ugrađuju u postojeće samostojeće zidove ili fasade.



Slika 6. Samostojeći predgotovljeni bukobrani
Figure 6. Precast concrete noise barriers



Slika 7. Samostojeće zelene vertikalne barijere
Figure 7. Green vertical noise barriers

Sve ove vrste zvučnih barijera koriste se za zaštitu od buke prometa, odabir same barijere ovisi o razini buke na lokaciji na kojoj se barijera ugrađuje (akustička svojstva izvora). Također odabir ovisi o položaju same barijere (udaljenost barijere od izvora, odnosno prijemnika), te dopuštenoj visini same zvučne barijere.

Svojstva materijala

Konstrukcija bukobrana izvodi se od različitih materijala. Moguće su konstrukcije bukobrana od samo jednog materijala, no mnogo su češće konstrukcije bukobrana od više različitih materijala. Izbor materijala ovisi o nekoliko osnovnih čimbenika: akustička svojstva, vrsta i razina izvora buke od koje se štiti neki prostor, mehanička svojstva, estetski zahtjevi s obje strane barijere, zakonske regulative te cijena investicije u zaštitu od buke na nekom prostoru. Osim navedenih i opisanih osnovnih materijala (beton, metali, drvo...), u praksi se često upotrebljavaju zvučno-apsorpcijski materijali (primjerice kamena vuna). Takvi materijali mogu se upotrebljavati kao ispunja barijere i sa svojim zvukopojnim svojstvima povećavaju učinkovitost barijere.

Beton

Beton je jedan od najčešće upotrebljivanih građevinskih materijala. Beton lijevan u blokove koji se transportiraju na mjesto postavljanja ili lijevan na samom mjestu postavljanja smatra se jednim od najizdržljivijih. Robustan je i može izdržati visoke temperature, jaku sunčevu svjetlost, vlagu, led i sol. Lako se oblikuje i boji, pa njegov izgled može varirati. Svestranost betona također se odnosi i na oblik i veličinu ploča koje se mogu proizvesti (lijevane na mjestu postavljanja, unaprijed proizvedeni betonski blokovi). Osim toga, beton omogućuje različite instalacijske tehnike.

Metali

Kod konstrukcije bukobrana najčešće se upotrebljavaju tri vrste metala: čelik, aluminij i nehrđajući čelik. Čelik je najjeftiniji i najčešći od svih metala koji se upotrebljavaju općenito u građevinarstvu pa tako i pri konstrukciji bukobrana, posebno kad se kombinira s betonom. Čelik se sastoji od smjese željezne rude, ugljena, i male količine drugih metala, pri čemu se omjer sastojaka mijenja ovisno o željenim fizičkim svojstvima.

Za konstrukcije koje zahtijevaju nešto manju masu najčešće služi aluminij, uglavnom kao lagana legura s dodacima mangana, silicija, bakra i/ili magnezija. Ovisno o vrsti elemenata dodanih aluminiju u leguri i njihovu omjeru, dobivaju se i različita mehanička, termička, industrijska i akustička svojstva. Aluminij i njegove legure otporni su na atmosferilije, a vrlo se jednostavno mogu plastificirati i eloksirati u različite boje što ih čini pogodnima za instalacije sa specifičnim estetskim zahtjevima.

Nehrđajući čelik, koji je legura nisko ugljičnog čelika i minimalno 10,5 % kroma, a vrlo često mu se dodaje i nikal, molibden i titan, vrlo je izdržljiv i otporan na koroziju zbog svojstva kroma iz legure da se veže s atomima kisika iz zraka čime stvara nevidljivi tanki zaštitni film na površini metala koji štiti metal od oksidacije i oštećenja. Budući da je nehrđajući čelik gotovo potpuno otporan na koroziju, površina mu ne mora biti obložena ili dodatno zaštićena, a vrlo često se koristi na mjestima s velikom vlagom, posebno ako se bukobran nalazi u doticaju ili blizini morske vode.

Metalni paneli imaju veliku prednost pred betonskim materijalima, a to je mala težina. Njihova mala težina čini ih posebno korisnima za vertikalna proširenja postojećih zidova, odnosno za ugradnju na postojeće potporne zidove te za ugradnju na mostove. Zbog jednostavne strojne obrade i mogućnosti jednostavne montaže, bilo pričvršćivanjem ili zavarivanjem, često se koriste na mostovima i vijaduktima za postavljanje na postojeće nosive elemente konstrukcije samog mosta.

Drvo

U proizvodnji bukobrana danas se upotrebljavaju različite vrste drva. Konstrukcije variraju od

vrlo jednostavnih, sastavljenih od nekoliko drvenih panela, pa do vrlo kompleksnih konstrukcija iz više drvenih komada koji nerijetko mogu biti i od različitih vrsta drva. Drvo je prirodan, ekološki prihvatljiv materijal, vrlo jednostavan za obradu i male mase. Paneli od drva koji se ugrađuju u bukobrane mogu biti instalirani komad po komad na mjestu postavljanja ili se mogu djelomično sastaviti na tlu prije ugradnje. Ovakve bukobrane lako je rastaviti, odnosno ukloniti, a drvo se lako estetski uklapa u okoliš te ne provodi električnu struju. Problem drva je njegova zapaljivost, a dim i plinovi koji nastaju zbog njegova izgaranja su toksični. Osim što gori, drvo i vrlo brzo truli u dodiru s vlagom, zbog čega ga je potrebno zaštititi kemijskim konzervansom, što dodaje kompleksnost u postupak proizvodnje bukobrana i potrebu za češćim održavanjem. Drvni proizvodi nisu dimenzijski stabilni i imaju tendenciju promjene oblika zbog čega nastaju otvorene pukotine između spojeva, a tendencija promjene oblika je veća što su veće i dimenzije samog drvenog komada bukobrana.

Transparentni paneli

Transparentni paneli mogu biti napravljeni od stakla ili plastičnih materijala, kao što su pleksi-glas, Lexan, Akрил itd. (slika 8).

Staklene ploče obično su izrađene od kaljenog ili laminiranog kaljenog stakla. Kaljenje stakla jača staklo, pa takav proizvod postaje otporniji na lomljenje. Ako se i razbije, krhotine su male i zrnate, s komadima u pravilu ne većim od 12 mm, što je daleko sigurnije nego krhotine nalik nožu koje nastaju kod lomljenja stakla koje nije termički obrađeno. Osim kaljenjem, stakleni panel također može biti ojačan laminiranjem. Ovaj tip stakla proizvodi se tako da se između dviju ploča kaljenog stakla umeće međusloj od prozirnog, gumenog i fleksibilnog materijala. Kada se takvo staklo razbije, nastaju male zrnate krhotine koje ostaju zalijepljene na međusloj.

Transparentni paneli su idealni za smanjenje ili potpuno uklanjanje vizualnog utjecaja bukobrana, no njihovi troškovi mogu biti 20 puta veći od onih izrađenih od betona ili čelika. Opravdanost njihove visoke cijene može se naći u poboljšanju sigurnosti na mjestima gdje neproziran bukobran može imati nepovoljan utjecaj na vidljivost. Ove

vrste panela su osjetljivije na oštećenja od letećih krhotina te abrazivno djelovanje kao posljedice efekta pjeskarenja koji neminovno nastaje zbog uskovitlane prašine koja je uvijek prisutna na kolničkom sloju.



Slika 8. Primjer transparentne barijere na Slavenskoj aveniji u gradu Zagrebu

Figure 8. An example of a transparent noise barrier on Slavenska Avenue in Zagreb

Plastika

Postoji nekoliko tipova plastičnih materijala dostupnih i često korištenih kod konstrukcije zvučnih barijera: polietilen, PVC (polivinil klorid) i stakloplastika. Plastični paneli mogu se ugraditi u gotovo svakoj situaciji, imaju izrazito malu masu, jednostavno se oblikuju i otporni su na atmosferilije. Zbog svega toga sve se češće koriste za konstrukciju bukobrana, posebno onih složenijeg oblika. Problem plastičnih materijala je nešto manja strukturna čvrstoća te laka zapaljivost, a dim i plinovi koji nastaju kod izgaranja plastike su vrlo toksični.

Kompozitni materijali

Kompozitni materijali kod barijera mogu se definirati kao bilo koji proizvod sastavljen od dva ili više osnovnih materijala, npr. drvo pomiješano s betonom i onda postavljeno na betonski temelj. Kombiniranjem osnovnih materijala mijenjaju se karakteristike finalnog proizvoda (bukobrana) te njegova trajnost, a u nekim slučajevima i sigurnost.

Tipične vrijednosti prenesenog gušenja barijere

Tipične vrijednosti prenesenog gušenja barijere kada se gleda A-vrednovana karakteristika su

od 10 dBA do 15 dBA. Barijere bi trebale biti konstruirane od materijala čija je minimalna gustoća 20 kg/m². Uz napomenu da se gustoća od 20 kg/m² može postići lakšim i debljim ili težim i tanjim materijalima, tj. što je veća gustoća materijala, takav materijal može biti tanji. Tablica 3. daje približne TL vrijednosti za neke uobičajene materijale, testirane za tipične A-ponderirane prometne frekvencije autocesta. Ove vrijednosti mogu se koristiti kao grubi vodiči u projektiranju zvučnih barijera. Za preciznije vrijednosti potrebno je naći izvješća o ispitivanju materijala od ovlaštenih laboratorija. Vrijednosti u Tablici 3. dane su za materijale koji sadrže otvore ili šupljine u materijalu od kojeg je konstruirana barijera (Gregg et al., 2018.).

Tablica 3. Približne vrijednosti prenesenih gubitaka materijala

Table 3. Approximate values of Transmission Loss Parameter for different types of materials

Materijal	Debljina (mm)	Specifična gustoća (kg/m ²)	TL (dBA)
Betonski blok, 200 mm x 200 mm x 405 mm	200	151	34
Beton velike gustoće	100	244	40
Željezo	1,27	10	25
Željezo	0,95	7,3	22
Željezo	0,79	6,1	20
Željezo	0,64	4,9	18
Aluminij	1,59	4,4	23
Aluminij	3,18	8,8	25
Aluminij	6,35	17,1	27
Drvo - jela	12	8,3	18
Drvo - jela	25	16,1	21
Drvo - jela	50	32,7	24
Šperploča	12	8,3	20
Šperploča	25	16,1	23
Staklo	3,18	7,8	22
Pleksiglas	6	7,3	22

ZAKLJUČAK

U ovome radu detaljno je objašnjen pojam bukobrana te je dan pregled vrsta bukobrana. Također su razmotrene prednosti i nedostaci svake vrste bukobrana. Konstrukcija bukobrana izvodi se od različitih materijala. Niti za jednu vrstu zvučnih barijera ne može se reći da je bolja od druge, odnosno odabir zvučne barijere ovisi o razini buke na lokaciji na kojoj se barijera ugrađuje (akustička svojstva, vrsta i razina izvora buke). Također odabir ovisi o položaju same barijere (udaljenost barijere od izvora, odnosno prijemnika), te dopuštenoj visini same zvučne barijere. Izbor materijala od kojeg je bukobran konstruiran također ovisi o akustičkim svojstvima (vrsti i razini izvora buke od koje se štiti neki prostor), mehaničkim svojstvima, estetskim zahtjevima s obje strane barijere (uklapanje u postojeći prostor), zakonskoj regulativi, a posebno o cijeni investicije u zaštitu od buke na nekom prostoru. Ako se pravilno projektira i ugradi, bukobran postaje dobro i kvalitetno rješenje u borbi s prekomjernom razinom buke u prometu.

LITERATURA

American Society Of Heating, Air-conditioning and Refrigeration Engineers Inc., dostupno na: www.ashrae.org. ASHRAE 2003 Applications Handbook, prevedeno na hrvatski, pristupljeno: 3.9.2018.

Besnard, F. et al.: *Road noise prediction*, Part 1 – Calculating sound emissions from road traffic. SETRA, Paris, 2009/2011.

CEN/TS 1793-3:1997, Road traffic noise reducing devices - Test method for determining the acoustic performance. Part 3: Normalized traffic noise spectrum.

EN 1793-1-2017, *Barijere za zaštitu od buke s cesta* – Metoda određivanja akustičkih svojstva – 1. dio: Značajke zvučne apsorpcije proizvoda

EN 1793-2-2017, *Barijere za zaštitu od buke s cesta* – Metoda određivanja akustičkih svojstva – 2. dio: Značajke uzdužne zvučne izolacije proizvoda

Environmental protection department, Good practice in ventilation systems, 2006.

Gregg, G., Fleming, G., Knauer, H.S., Lee, C.S.Y., Pedersen, S.: *Noise Barrier Design-Handbook*, dostupno na: https://www.fhwa.dot.gov/environment/noise/noise_barriers/design_construction/design/index.cfm, pristupljeno: 3.9.2018.

HRN ISO 1996-1:2016 Akustika - Opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša

HRN ISO 1996-2:2017 Akustika - Opis, mjerenje i utvrđivanje buke okoliša

HRN ISO 9613-2:1996 Akustika - Prigušenje zvuka pri širenju na otvorenom -- 2. dio: Opća metoda proračuna

HRN ISO 8297:1994 Akustika - Određivanje razina zvučne snage industrijskih postrojenja s više izvora radi utvrđivanja razina zvučnog tlaka u okolišu -- Inženjerska metoda

HRN EN ISO 3744:2010 Akustika - Određivanje razina zvučne snage i razina zvučne energije izvora buke mjerenjem zvučnog tlaka - Inženjerske metode za pretežno slobodno polje na reflektirajućoj ravnini

Ishizuka, T., Fujiwara, F.: Performance of noise barriers with various edge shapes and acoustical conditions. *Applied Acoustics*. 65, 2004., 2, 125-141.

Pravilnik o najvišim dopuštenim razinama buke u sredini u kojoj ljudi rade i borave, N.N., br. 145/04.

Zakon o zaštiti od buke, N.N., br. 30/09., 55/13., 153/13., 41/16.

NOISE REDUCTION – NOISE BARRIERS

SUMMARY: This paper deals with the issue of noise as an environmental pollutant, and furthermore it suggests possible solutions for this issue. Sound is a form of energy transmitted by sound waves. In general, sounds may be perceived as desirable or undesirable. Sounds which are considered undesirable and unwanted can be observed as noise, however the perception of sound in general is significantly subjective and individual. In particular, one person can perceive a certain sound as pleasant, whereas another could characterize it as annoying, unpleasant, and generally undesirable. This paper explains the term "noise" in detail, noise indicators as numerical values, and the ways noise can have a negative impact on people. Even today, noise pollution is often neglected compared to other environmental pollutions (i.e. water pollution, soil pollution, air pollution etc.). However, exposure to noise has an accumulative character. The consequences are noticeable after a prolonged exposure and can manifest themselves as bad mood, fatigue, insomnia, headache and loss of concentration, thereby having a direct influence on the quality of life. The focus of this paper is traffic noise and acoustical solutions which can reduce it. The dominant part of sound energy produced by traffic is in the middle-frequency range, which coincides with the range of maximum sensitivity of human hearing. When planning a new traffic route the negative influence of noise on people and the environment can be reduced by choosing the route which is remote from populated areas. In cases when the roads are fitted into the existing terrain and near populated areas, they can be equipped with protective noise barriers. The paper gives a detailed explanation on what noise barriers are, and an overview of different types of noise barriers that are currently in use. In addition, the advantages and disadvantages of different types of noise barriers are discussed.

Key words: *noise, noise reduction, noise barriers*

*Subject review
Received: 2018-09-28
Accepted: 2019-04-17*