

Vladan Ilić¹
Sanja Milićević²

SAVREMENI KOLOVOZNI ZASTORI SA SMANJENIM NIVOOM BUKE

Rezime: Buka izazvana saobraćajem na putevima je problem od rastuće važnosti u mnogim svetskim metropolama i njihovoj neposrednoj okolini. Glavni uzrok buke na putevima je dodirivanje gume i površine kolovoza, što znači da gume i kolovozni zastori koji stvaraju manju količinu buke mogu doprineti znatnom smanjenju saobraćajne buke uopšte. Za značajne projekte putne infrastrukture saobraćajna buka na autoputevima je pitanje od najveće važnosti za okolne stanovnike. Na nivou generalnog projekta, pre izbora trase i izgradnje autoputa, potrebno je napraviti posebne simulacione modele za analizu uticaja saobraćajne buke. Buka izazvana kontaktom guma/kolovozni zastor predstavlja od 75 do 95% od ukupnog iznosa buke kotrljanja, koja nastaje usled kretanja motornih vozila. U ovom radu najveća pažnja će biti posvećena savremenim kolovoznim zastorima koji redukuju buku kotrljanja, jer bez obzira na sve druge tehničke mere zaštite za smanjenje buke na putevima, usvajanje optimalne konstrukcije kolovoznog zastora daje najveći doprinos smanjenju ukupnog nivoa buke kotrljanja.

Ključne reči: kontakt pneumatik - kolovoz, porozni asfalt - beton, SMA, struktura, tekstura, šupljine.

THE MODERN PAVEMENTS WITH REDUCED LEVEL OF NOISE

Summary: The noise caused by road traffic is the problem with growing importance in many capitals of the world and their close surroundings. The main cause of highway noise is contact between the car tire and pave surface, which means that tires and pavements that generate lower noise levels can generally contribute to significant reduction of traffic noise. For major road infrastructure projects traffic noise on motorways is the most important question for local inhabitants. At the level of General design, before selection of geometry alignment and motorway construction, it is necessary to develop special simulation models for analyzing the traffic noise impact. The noise induced by tire/pavement contact represents between 75 and 95% of the total rolling noise that was generated by the movement of vehicles. The largest part of this research work will be dedicated to modern pavements that reduce rolling noise, because despite of all other technical protection measures for reducing traffic noise on roads, the adoption of optimum pavement structure provides the highest reduction level of the total rolling noise.

Key words: tire - pavement contact, porous asphalt - concrete, SMA, structure, texture and cavities.

¹ Research Ass. Vladan Ilic, University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia, vilic@grf.bg.ac.rs

² Research Ass. Sanja Milicevic, University of Belgrade, Faculty of Civil Engineering, Bulevar kralja Aleksandra 73, 11000 Belgrade, Serbia, smilicevic@grf.bg.ac.rs

1. BUKA KOTRLJANJA I MEHANIZAM NJENOG NASTAJANJA

Buka kotrljanja kao pojava koja se javlja usled kretanja vozila i neposrednog kontakta pneumatika sa kolovozom sadrži u suštini više komponenata koje obuhvatamo tim zajedničkim imenom. Definisana je kao kombinacija aerodinamičke buke, buke pneumatika, buke od površine kolovoza i buke od karoserije vozila. Sve ove komponente pojavljuju se istovremeno tako da je teško okarakterisati pojedinačni uticaj. Savremeni aparati za merenje zvučne energije dozvoljavaju da se frekventnom selekcijom u značajnoj meri odvoje pojedine komponente, odnosno, uoči njihov veći ili manji uticaj na ukupan zvučni nivo. Zaključak takve analize je da buka od površine kolovoza i buka pneumatika predstavljaju dominantne komponente. Buka karoserije za određene uslove može dati i najviše zvučne nivoe, ali su oni po pravilu trenutnog karaktera. Aerodinamička buka nema bitnog uticaja na ukupni nivo buke kotrljanja.

Faktori koji utiču na intenzitet buke kotrljanja, takođe su vrlo različiti i mnogobrojni. Treba, pre svega, istaći sve one koji karakterišu kontakt pneumatik – kolovoz, dakle sve karakteristike kolovoza koje se odnose na njegovu površinu, sve karakteristike pneumatika, a zatim i karakteristike vozila, brzinu kretanja i druge. Izučavanje ovih faktora vezano je po prirodi za određene naučne discipline. Problem pneumatika tretira se u oblasti automobilske industrije, dok problem optimizacije kolovozne konstrukcije predstavlja predmet interesovanja građevinskih inženjera specijalizovanih za oblast putnog inženjerstva.

Činjenica da navedeni faktori dovode do određenih pojava, koje uzrokuju nastajanje zvučnog pritiska, dovodi do njihovog uopštavanja u četiri kategorije:

- Usisavanje i izduvavanje vazduha na kontaktu pneumatik – kolovoz,
- Radijalne i transverzalne membranske oscilacije pneumatika,
- Strujanje vazduha kao posledica kretanja točka,
- Istiskivanje i odbacivanje vode za slučaj mokrog kolovoza.

Usisavanje i izduvavanje vazduha između profilacije pneumatika i neravnosti kolovozne površine predstavlja značajnu pojavu koja daje osnovno obeležje buci kotrljanja. Formiranje nekoliko teorijskih modela na ovom principu dalo je zadovoljavajuće rezultate samo za neke slučajeve kontakta pneumatika i kolovozne površine. Razvoj savremene računarske tehnologije i automatike omogućio je da se mnogo brže izvode eksperimentalna istraživanja u ovoj oblasti, a sami proizvođači guma za motorna vozila su pod velikim pritiskom proizvođača automobila, koji zbog stalnih pooštavanja ekoloških propisa vezanih za emisiju buke u razvijenim zemljama, moraju da plasiraju na tržište sve “tiše“ i “štedljivije“ automobile. Značajan problem predstavljaju teretna vozila koja po pravilu imaju znatno šire pneumatike u odnosu na automobile, pa svojim kretanjem i manje aerodinamičnim karoserijama generišu veće nivoe buke. Iako je poslednjih deset godina usled velike konkurentnosti na tržištu, učinjen veliki pomak u konstrukciji pneumatika za teretnjake, još uvek postoji prostor za dalja istraživanja i eksperimente.

Radialne i transverzalne membranske oscilacije pneumatika takođe predstavljaju značajnu pojavu za nastajanje buke kotrljanja. Naletanjem površine pneumatika na površinske neravnine kolovoza dolazi do pojave njenih oscilacija. Ovakva konstatacija može imati i svojih protivrečnosti, jer se može zaključiti da idealno ravan kolovoz (poliran) daje i najnižu buku kotrljanja, što ipak nije slučaj. Ova činjenica se donekle može objasniti da idealno ravan kolovoz i idealno reflektuje zvuk stvoren na kontaktu, dok kolovoz sa optimalnom teksturom vrši njegovu apsorpciju.

Buka kotrljanja nastala istiskivanjem i odbacivanjem vode kod mokrih kolovoza je po pravilu za oko 10 dB (A) veća od svih nivoa nastalih navedenim pojavama. Veliki uticaj na visinu zvučnog pritiska ima visina vodenog filma, drenažne karakteristike kolovoza i pneumatika, a naročito brzina kretanja vozila. Smanjenje buke kotrljanja za mokre kolovoze iziskuje takođe optimalnu teksturu, a pri samom projektovanju sistema odvodnje kolovozne konstrukcije, treba birati rešenja koja će u najkraćem roku pokupiti svu vodu sa površine kolovoza i odvesti je van kontakta pneumatika i kolovoza.

Kao osnovne karakteristike buke kotrljanja, javljaju se njen intenzitet i frekventni spektar. Za brzine veće od 80 km/h intenzitet buke kotrljanja kreće se od 75 pa do preko 80 dB (A). Brzina vozila se javlja kao osnovni činilac intenziteta buke kotrljanja, no za istu brzinu postoji pak niz činilaca koji mogu taj intenzitet smanjiti ili povećati. Za sve suve kolovozne zastore maksimalni nivoi buke kotrljanja leže u domenu frekvencija od 1000 Hz, dok se za mokrak kolovoz ekstrem pomera u domenu od 2 – 4000 Hz.

2. NAJVAŽNIJI UTICAJNI PARAMETRI ZA SMANJENJE NIVOVA BUKE

Prilikom projektovanja tihih kolovoznih zastora moraju se uzeti u obzir ne samo materijalne komponente sastava, već i mnogi drugi parametri koji mogu i najmanje doprineti smanjenju ukupnog nivoa buke. Osnovni parametri koji se razmatraju su:

- smanjenje veličine zrna agregata (mala i negativna tekstura) može da redukuje buku nastalu interakcijom pneumatika sa površinom puta,
- apsorpcija buke može se povećati poroznošću,
- debljina sloja (deblji su tiši),
- važan je diskontinuitet mešavine (fleksibilne kolovozne konstrukcije),
- uticaj temperature kolovoza, vreliji putevi su generalno tiši od hladnijih (odnosi se samo na asfaltne kolovoze),
- krute kolovozne konstrukcije mogu da budu glasnije od fleksibilnih i
- dodavanjem gume u mešavinu buka se smanjuje do 1 dB(A).

3. ASFALT-BETONSKI KOLOVOZNI ZASTORI

Asfalt-betonski kolovozni zastori, koji su efikasni u redukciji buke, su oni koji su izgrađeni od jednoslojnih i dvoslojnih poroznih asfalta i tankih slojeva. Za evaluaciju postignutih efekata redukcije buke na rehabilitovanim ili rekonstruisanim putnim deonicama, tihi kolovozni zastori najčešće se porede sa klasičnim zbijenim asfaltima.

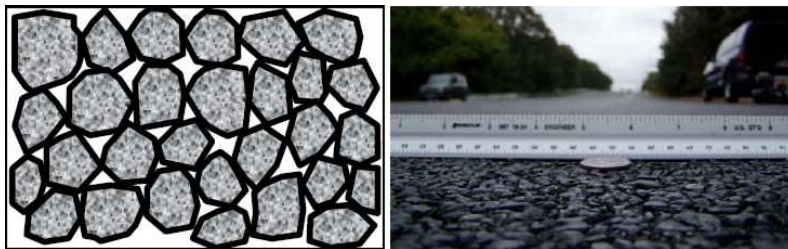
3.1. Porozni asfalt - beton

Prve porozne mešavine eksperimentisane su prvo u Sjedinjenim Američkim Državama, a kasnije, krajem šezdesetih i u Evropi. Porozni asfalti mogu biti jednoslojni i dvoslojni. Jednoslojni porozni asfalt ima vrlo visok kameni sadržaj (81-85%), koji obezbeđuje visok sadržaj vazdušnih šupljina (oko 20%) (slika 1). Postoje dva koncepta:

Američki: OGFC koga karakteriše debljina 25 mm, granulacija od 0/10 mm sa diskontinuitetom na 2/7 i sadržaj šupljina 12-16%.

Evropski koncept: PA (porozni asfalt) koga karakteriše debljina 40-50 mm, granulacija 0/14 i ponekad 0/20 (naročito u Velikoj Britaniji), 0/10 u Francuskoj, 0/16 u Holandiji, sa diskontinuitetom na 2/7 ili 2/10. Sadržaj šupljina je obično 20-24%.

Veličina agregata, struktura poroznosti, osobine vezivanja, stepen trenja i trajnost se smatraju kritičnim karakteristikama.



Slika 1. Porozni asfalt [5]

U Evropi se koriste dvoslojni porozni asfalti (slika 2), kod kojih površinski sloj čini agregat čija je gornja granica 6-8 mm. Poređenjem sa mešavinama u Sjedinjenim Američkim Državama agregat u završnom sloju je maksimalne veličine 9.5-12.5 mm. Ovi asfalti su za 4 dB(A) tiši od jednoslojnih, a skuplji su 25-35%. U odnosu na uobičajene zbijene asfalte, dvoslojni porozni su tiši za 8-9 dB(A).



25 mm gornji sloj (2/6 ili 4/8)

45 mm donji sloj (11/16)

Slika 2. Dvoslojni porozni asfalt (TLPA) [3]

Poroznost je dobra za smanjenje buke, ali je loša u smislu trajnosti. Potreban je visok stepen trenja na svim kolovoznim površinama i godišnje se proverava u okviru programa za održavanje kolovoznih zastora. Kvalitet puta je takođe visoko kontrolisana odlika. Iako su porozni kolovozni zastori malo skuplji, oni pružaju 50% veću efikasnost troškova u poređenju sa istim nivoom redukcije buke koju pruža barijera ili druge tehničke mere zaštite.

Zbog svoje otvorene teksture, porozni asfalt minimizira efekte prskanja i raspršavanja, a kod novog sloja ove pojave smanjene su i za više od 95% (slika 3). Ova osobina se menja tokom vremena, umanjuje se za trećinu posle perioda između 5 i 10 godina. Za dobro oticanje vode važno je da postoji dovoljna drenažna sposobnost.

Za porozne asfalte održavanje je veoma važno. Čiste se vodenim mlazom pod visokim pritiskom, nakon čega se koristi vakuum, kako bi se otklonila tečnost i čvrsti komadi. Radove izvode komunalni radnici uz pomoć specijalne opreme. Prvo čišćenje se obavlja tri meseca nakon izgradnje, a onda se sprovodi na svakih šest meseci. Ukoliko se kolovoz ne čisti redovno posle dve godine ili manje, on može postati previše zapušen.



Slika 3. Kamion na putnoj sekciji zbijenog (levo) i poroznog (desno) asfalt-betona [1]

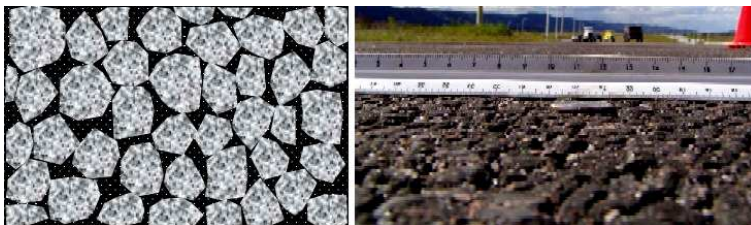
Tokom zimskog perioda zahteva se dodatno održavanje zbog potencijalnog zaleđivanja. Upotreba soli se povećava za 50% u odnosu na druge površine. Stvaranje crnog leda je dodatni problem. Najbolje rešenje je nakvašena so, koja se upotrebljava čim površina počne da mrzne.

U slučaju produžene zime, u so se mora dodati rastvor kalcijum-hlorida kako bi se otklonio sloj leda i nanosi snega iz šupljina poroznih površina. Koristi se kombinacija suve soli, vlažne soli, vlažne soli obogaćene kalcijumom i čist rastvor kalcijum-hlorida, u zavisnosti od površinskih uslova (led u odnosu na sneg), preventiva u odnosu na sanaciju, kao i vlažna u odnosu na suhu površinu.

3.2. Skeletni mastiks asfalt SMA

SMA je diskontinualna mešavina koja se sastoji od krupnijeg agregata i mešavine veziva i najsitnijih frakcija, a obično sadrži i vlakna (slika 4). Za vreme građenja veće kamenje je poravnato, tako da je u kontaktu jedno sa drugim i oblikuje uklešten „skeleton“. Prisutnost komponenata, kod uobičajene mešavine SMA, je sledeća: 70-85% krupnog agregata, 5-14% punila, 5-8% bitumena i 0.3-0.4% vlakana. Tipična SMA uključuje 0/5, 0/6, 0/8, 0/10, 0/11, 0/14 i 0/16. Sadržaj šupljina je obično između 1.5 i 8%.

Uloga kamenog skeleta je noseća, a veziva povećanje trajnosti. Kada je pravilno projektovana, proizvedena i ugrađena, obezbeđuje odlične karakteristike, visoku otpornost i trajnost u smislu deformacija, a takođe smanjuje i buku i raspršavanje. Skuplja je u odnosu na uobičajeni zbijeni asfalt beton, jer zahteva trajan agregat, veći sadržaj asfalta, modifikovano asfaltno vezivo i vlakna. Ali, ekonomičnija je zbog veće otpornosti i poboljšane trajnosti, a i buku može smanjiti za 3 dB(A).



Slika 4. Diskontinualna mešavina SMA [5]

3.3. Tanki asfalti

Tanki asfaltni zastori prvi put su izvedeni u Nemačkoj 1960-te godine. U Francuskoj su počeli da se koriste 1980-te, da bi se poboljšale površinske karakteristike (otpornost na klizanje, buka). Prema debljini dele se na:

- Vrlo tanke asfaltno zastore (BBTM), debljine između 20 i 25 mm,
- Ultra tanke asfaltno zastore (BBUM), debljine između 12 i 18 mm i
- Mikro zastore, debljine između 6 i 12 mm.

Postoje dve klase vrlo tankih asfalta (BBTM), a razlikuju se po sadržaju šupljina (TIP 1: 6 do 17% šupljina, TIP 2: 18 do 25% šupljina). Sadrže 0/6, 0/10 i 0/14 granulacije koje su često diskontinualne. Vezivo može biti bez dodataka, modifikovano polimerima ili sa dodatkom vlakana. Najčešće se koriste mešavine TIP-a 1 tankog asfalta granulacije od 0/10 sa nedostajućim frakcijama od 2/6 i nešto sitnije granulacije od 0/6 sa diskontinuitetom frakcije od 2/4.

Mešavine TIP-a 2 vrlo tankog asfalta, sa otvorenom teksturom, odgovaraju poroznim asfaltima u tankim slojevima (slika 5). Karakteriše ih granulacija od 0/6, 0/8 ili 0/10 sa diskontinuitetom najčešće od 2/4 ili 2/6. Proizvode se jedino sa polimerizovanim vezivima. Njihova upotreba je još uvek ograničena.



Slika 5. BBTM 0/6, TIP 2 [1]

Ultra tanki zastori se danas ne koriste toliko puno jer koštaju isto koliko i veoma tanki. Maksimalne veličine agregata koje se danas koriste su 6 mm i 10 mm. Upotreba 0/14 mm-skih mešavina je prekinuta zbog nedostatka u pogledu prijanjanja (nema dovoljno mikrotekture), kao i zbog toga što su prebučne. Granični pojasevi mešavina prikazani su u Tabeli 1 [2]:

Karakteristike	BBTM (vrlo tanki asfalti)		BBUM (ultra - tanki asfalti)
	TIP 1	TIP 2	
6/10 ili 4/6 (%)	70 – 80	75 - 88	70 - 85
0/2 (%)	20 – 27	10 - 22	15 - 28
Sitnih čestica (%)	7 – 9	4 - 5	4 - 8
Sadržaj bitumena			
0/6 (%)	6.2 - 6.7	5.0 - 5.5	5.8 – 6.4
0/10 (%)	5.7 - 6.2	4.5 – 5.5	5.0 – 5.8

Tabela 1. Granični pojasevi mešavina za BBTM i BBUM [2]

Karakteristike koje se odnose na vodonepropusnost, povećanu ravnost, reflektovanje prslina i apsorpciju zvuka, moguće je porediti kod svih asfaltnih slojeva. Vodonepropusnost se postiže povećanom količinom bitumena, koji je kompenzovan malom zbijenošću, pod pretpostavkom da su slojevi korektno i kontinualno postavljeni.

Vrlo tanki asfaltni slojevi dopuštaju jasan napredak u komforu vožnje. Ultra-tanki asfaltni slojevi, takođe, dopuštaju napredak u pogledu ravnosti, osim kada je sloj na koji se postavljaju neravan, tada variranje debljina može biti štetno po karakteristike zastora. Reflektovanje prslina kod vrlo tankih asfaltnih slojeva je veoma aktivno (npr. kod poprečnih pukotina usled skupljanja). One se pokazuju na površini vrlo brzo, ponekad čak posle prve godine od postavljanja ultra-tankog asfaltnog sloja. Taj proces je sporiji kod vrlo tankih asfalta granulacije 0/10.

Visok stepen trenja i trajnost ovih slojeva postiže se upotrebom agregata koji ima visok stepen uglačanosti (PSV 0.5-0.55). Gubitak trenja na vrlo tankim i ultra-tankim zastorima je sličan kao i kod standardnih asfaltnih slojeva. Posle mnogo eksperimentisanja, Francuzi su pronašli da je mešavina sa granulacijom 0/6 mm najefektivnija kod umanjenja buke i povećanja kočionog otpora.

4. CEMENT - BETONSKI KOLOVOZNI ZASTORI

Kod ovakvih kolovoznih zastora sigurnost je na prvom mestu, potrebno je postići dovoljan stepen trenja pri mokrom kolovozu. Efikasnost betonskih kolovoznih zastora zavisi od osobina upotrebljenog agregata (kao što su oblik, veličina, uglačanost, čvrstoća i trajnost) i metode obrade površine. Osiguravanje tihih površina se postiže visokim stepenom kontrole kvaliteta, naročito po pitanju teksture. U Evropi, tehnika izrade savremenih, tihih, cement-betonskih kolovoznih zastora podrazumeva izloženi agregat na površini cement-betonske ploče (EACC) i porozni beton (PCC).

EACC se dobija struganjem - čišćenjem površinskog maltera čeličnim četkama kako bi se obezbedila bolja hrapavost površine. Veličina izloženog agregata treba da bude 4-8 mm, da bi se obezbedila povoljna makrotekstura. Takođe, agregat treba da ima visok stepen uglačanosti ($PSV \geq 0.55$), kako bi se postigao visok stepen trenja i njegova trajnost. EACC može biti izrađen kao jednoslojni i dvoslojni. Da bi se minimizirao nivo buke, maksimalna veličina agregata za pokrivajući sloj je smanjena na 8 mm, dok je za donji sloj 32 mm. Na ovaj način se buka smanjuje za 2 dB(A) u odnosu na uobičajene betonske kolovozne zastore. Poboļjšani EACC može smanjiti buku kao upotreba optimiziranog SMA i tankih slojeva. Prednost u odnosu na druge tihe kolovozne zastore je trajnost (20-30 godina), i to što za vreme celog svog veka trajanja omogućuje približno istu redukciju buke.

Porozni cement-beton ima otvorenu, samodrenažnu strukturu, sličnu poroznom asfaltu, samo što je u ovom slučaju vezivo cement. U skorije vreme, nekoliko zemalja (Nemačka, Holandija, Francuska i SAD) se bave aktivnim ispitivanjem ovog tipa kolovoznih zastora. Ispitivanja u Holandiji su pokazala da poroznost od 25% smanjuje buku. Problemi sa zabltnjavanjem, koji su karakteristični za porozne površine, manje su izraženi kod poroznog cement-betona. Poroznost od 25-30% je moguće postići bez ikakvih strukturnih i građevinskih problema. Nedostatak PCC je cena, za oko 40% skuplji je od zbijenog cement-betona. Takođe, postoje problemi sa zimskim održavanjem. Ali prednost je što smanjuje buku za oko 5 dB(A).

5. ZAKLJUČAK

Uspeh velikog i modernog autoputa ili nekog drugog značajnog putnog pravca, ne meri se samo njegovim kapacitetom i upotrebnom vrednošću, već i postignutim nivoom zaštite protiv buke svih naselja i stanovništva u njegovoj okolini.

Od svih testiranih asfalt-betonskih kolovoznih zastora, dvoslojni porozni asfalt je najtiši pri svim brzinama. Pri velikim brzinama tiši je 4 dB(A) nego jednoslojni porozni, a čak je 9 dB(A) tiši od uobičajenog zbijenog asfalta. Zbog toga je posebno interesantan za izgradnju i primenu na glavnom sistemu autoputeva, gde su brzine najveće. Takođe je primećeno da ovi porozni asfalti nemaju tako dobre osobine kada ima više kočenja, ubrzavanja ili okretanja, što su sve karakteristike koje se mogu očekivati u urbanim sredinama. Zbog toga se u urbanim sredinama preporučuje upotreba tankih slojeva asfalta, koji su pokazali bolju trajnost od poroznih pri malim brzinama koje su dominantne u gradu. Oni su finansijski najefikasniji i najizdržljiviji, ali pružaju samo ograničenu redukciju buke 1-3 dB(A).

Kod cement-betonskih kolovoznih zastora, radi obezbeđenja sigurnosti, potrebno je postići dovoljan stepen trenja pri mokrom kolovozu. Efikasnost zavisi od osobina upotrebljenog agregata (kao što su oblik, veličina, uglačanost, čvrstoća i trajnost) i izbora odgovarajuće poduzne ili poprečne teksture. U Evropi, tehnika izrade cement-betonskih kolovoznih zastora podrazumeva izloženi agregat na površini cement-betonske ploče (EACC) i porozni cement-beton (PCC). Porozni cement-betoni su ugrađeni na mnogim probnim sekcijama, na kojima se vrše intenzivni eksperimenti. Dvoslojni PCC se ispituje u Sjedinjenim Američkim Državama i u budućnosti se puno od njega očekuje, pre svega zbog stalnog poskupljenja bitumena na svetskom tržištu.

Svaki odgovoran građevinski inženjer, sa profesionalnim odnosom prema struci, mora objektivno razmatrati društvene i ekološke posledice pored ekonomskih i tehničkih aspekata projekta. Iako je borba protiv saobraćajne buke odavno počela ona konstantno dobija na intenzitetu, najviše zbog porasta masovne i potpuno slobodne upotrebe putničkih automobila. Samo marljivim, upornim radom i ulaganjem novih potencijala u dalja naučna istraživanja, čovečanstvo može pobediti buku, koja kao "kuga" napada njegove gradove. Svako novo, efikasno i inovativno rešenje koje danas osmislimo, spasiće buduće generacije i znatno im poboljšati nivo kvaliteta životne sredine.

6. REFERENCE

1. Abbott P. i ostali: Guidance Manual for the Implementation of Low-Noise Road Surfaces, FEHRL, Brussels-Belgium, February 2006, p. 142.
2. Cvetanović A., Banić B.: Kolovozne konstrukcije, Akademski misao, Beograd-Srbija, 2007 god., strana 270.
3. Gibbs C. D. i ostali: Quiet Pavement Systems in Europe, Federal Highway Administration, U.S. Department of Transportation, Washington, May 2005, p. 8-10 and p. 18.
4. Pichaud Y., Anfosso-Ledee F.: Acoustic monitoring of a road network, Seminar SURF, Portorož, Slovenija, Oktobar 2008. god., strana 6-11.
5. Rasmussen O. R., Bernhard J. R., Sandberg U., Mun P. E.: The Little book of quieter pavements, Federal Highway Administration, Washington, July 2007, p. 25-30.
6. Tsunokawa K., Hoban C.: Roads and the Environment, World Bank Technical Paper No. 376, Washington D.C., November, 1997, p. 156-162.