Tihi asfalt

Majić, Oliver

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:229114

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-28**

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository

Sveučilište
Sjever

Završni rad br. 354/GR/2019

Tihi asfalt

Oliver Majić, 4230/601

Varaždin, rujan 2019. godine

Sveučilište
Sjever

Odjel Graditeljstva

Završni rad br. 354/GR/2019

Tihi asfalt

Student

Oliver Majić, 4230/601

Mentor

doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović, dipl.ing.kem.tehn

Varaždin, rujan 2019. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

UNIVERSITY NORTH

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za graditeljstvo

STUDIJ preddiplomski stručni studij Graditeljstvo

PRISTUPNIK Oliver Majić | MATIČNI BROJ 4230/601

DATUM 8.05.2019. | KOLEGIJ Zaštita okoliša

NASLOV RADA Tihi asfalt

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU Quiet asphalt

MENTOR doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović | ZVANJE docentica

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Danko Markovinović - predsjednik povjerenstva
2. prof.dr.sc. Božo Soldo
3. doc.dr.sc. Lovorka Gotal Dmitrović
4. izv.prof.dr.sc. Milan Rezo
5. Mirna Amadori, v.pred.

Zadatak završnog rada

BROJ 354/GR/2019

OPIS

U radu opisati važnost asfalta za održiv razvoj. Objasniti povezanost pojam održiv razvoj, s razvojem cestogradnje kao sastavnice okoliša, koja svojom razvijenošću pridonosi razvoju društva.

Pozitivne i negativne učinke cestogradnje, objasniti u drugom dijelu rada s naglaskom na buku kao najveći negativni učinak prometa u antropogenim sredinama. Primjenom tihog asfalta emisija buke se može značajno smanjiti, a opise vrsta tihog asfalta te načine i rezultate ispitivanja istog navesti i objasniti u zadnjem poglavlju.

Poglavlja:
- Uvod
- Cestovni prijevoz
- Utjecaj cestovnog prijevoza na okoliš
- Tihi asfalt
- Zaključak

REPUBLIKA HRVATSKA 5 KOPRIVNICA SVEUČILIŠTE SJEVER

ZADATAK URUČEN 02.09.2019 | POTPIS MENTORA

SVEUČILIŠTE SJEVER

SADRŽAJ

SAŽETAK 1
ABSTRACT 1
1. UVOD 2
2. CESTOVNI PRIJEVOZ 4
3. UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA OKOLIŠ 6
3.1. Utjecaj cestovnog prometa na zrak 6
3.2. Utjecaj cestovnog prometa na tlo 8
3.3. Utjecaj cestovnog prometa na vodu 8
4. TIHI ASFALT 10
4.1. Općenito o asfaltu 10
4.2. Vrste asfalta 11
4.3. Vrste „tihog asfalta“ 11
4.3.1. Porozni asfalt – jednoslojni 12
4.3.2. Porozni asfalt – dvoslojni 13
4.3.3. Kameni matrični asfalt [eng. Stone mastic asphalt (SMA)] 13
4.3.4. Tanki, jako tanki i ultra tanki površinski sloj asfalta 14
4.3.5. Gumirani asfalt (eng. Asphalt rubber friction course) 16
4.3.6. Poroelastične površine (eng. Poroelastic road surface) 17
4.4. Mjerenje razine buke 18
5. ZAKLJUČAK 23
POPIS LITERATURE 26

SAŽETAK

U svijetu danas, buka je postala jedan od najraznolikijih oblika onečišćenja okoliša. Buka je posvuda. To utječe na naše živote kod kuće, na poslu i u igri. Gdje god žive ljudi postoji buka. Buka, po definiciji, je bilo koji neželjeni ili prekomjeran zvuk. To može biti neugodnost, ometajući spavanje, rad ili rekreaciju. Postoji jedna vrsta buke koja se može učinkovito liječiti na svom izvoru: cestovna buka. Usavršavajući ceste i autoceste s asfaltom, buka koju smo iskusili u zatvorenom i na otvorenom, u kući i na poslu može se značajno smanjiti. Istraživanja u SAD-u i Europi nam pokazuju da asfaltni kolnik s mješavinom kamenog matričnog asfalta (SMA) ili asfalt s otvorenim stupnjem trenja (OGFC) smanjuju buku autoceste za 3 do 5 dB ili više. Prosječnoj osobi ta redukcija je jednaka udvostručavanju udaljenosti između izvora buke i njihove lokacije. Prilikom uspoređivanja smanjenja šuma odabirom asfaltnog kolnika vidimo koliko je praktičniji odabir kolničkih površina važniji od konstrukcije zidova barijere. U radu se detaljno obrađuje tema tihog asfalta koji uvelike utječe na smanjenje buke. Postavljanjem ovakve vrste asfalta utječe se na cjelokupnu kvalitetu življenja svakog čovjeka.

Ključne riječi: onečišćenje, buka, asfalt, tihi asfalt

ABSTRACT

In the world today, noise has become one of the most resilient forms of environmental pollution. Noise is everywhere. It affects our lives at home, at work, and at play. Wherever people live, there is a noise. Noise, by definition, is any unwanted or excessive sound. It may be discomfort, disturbing sleep, work or recreation. There is one kind of noise that can be effectively treated at its source: road noise. By perfecting the roads and the highway with the asphalt, the noise that we has experienced indoor and outdoor homes and work can be significantly reduced. Studies in the US and Europe show that the crude road with a mixture of stone matrix asphalt (SMA) or OGFC (OGFC) will reduce the noise of the highway by 3 to 5 dB or more. For an average person, this reduction is equal to doubling the distance between the noise source and their location. When comparing the noise reduction possible by selecting the asphalt pavement, we see how much more convenient the choice of cargo surfaces is more inportant than the structure of the barrier walls. The paper deals with the topic of a quiet asphalt that greatly affects noise reduction. By placing this kind of asphalt affects the overall quality of life of every man.

Keywords: pollution, noise, asphalt, silent asphalt.

1. UVOD

Život u gradu ima svoje prednosti, ali i mane. Jedna od mana svakodnevno utječe na naš život, samo smo na nju toliko navikli da je skoro ni ne doživljavamo. No, odlaskom u prirodu, postajemo je itekako svjesni. „Nedostaje“ nam buka.

Čak 80 % buke u gradovima stvaraju prometnice odnosno automobili. Problem nastaje zbog površinske strukture automobilske gume u koju ulazi zrak koji se tijekom vožnje stišće između gume i asfalta te potom širi uz glasno šuštanje. U kombinaciji s bukom motora i ispušnih sustava, u ulici s prometom srednjeg intenziteta buka će biti oko 80dB (A), a na prometnici s intenzivnim prometom oko 90 dB (A).

U stambenim četvrtima buka tijekom dana ne bi smijela biti viša od 55dB (A), a noću 45 dB (A), no često prelazi 70dB (A). Štetan utjecaj buke na zdravlje uočava se nakon duljeg vremena, a manifestira se kao loše raspoloženje, umor, nesanica, glavobolja, gubitak koncentracije i trajno oštećenje sluha.

Kako površina, tekstura i stupanj poroznosti asfalta također utječu na buku tijekom vožnje, Savezno ministarstvo za javne radove i tehnologiju u Austriji provelo je studiju o smanjenju buke korištenjem tihog asfalta (*eng. silent asfalt - FIOsterasphalt*). Testovi su provedeni na 12 km dionice autoceste Angath. Na postojeći asfalt stavili su dvoslojnu podlogu, od izuzetno elastičnog bitumenskog veziva, koja se primjenjuje bez spojeva u debljini od 3 - 8 cm.

Studija je pokazala da korištenje tihog asfalta smanjuje razinu buke od 4.1 - 5.5 dB. Rezultati mjerenja na suhoj površini pokazuju da je razina buke na sve 4 mjerne točke, po danu i po noći, u prosjeku smanjena za 4-8 dB.

Također, na uobičajenoj mokroj podlozi buka je veća za 0.6 dB , dok na tihom asfaltu nema razlike u razini buke između suhog i mokrog stanja na cesti. To se pripisuje visokom kapacitetu površinske apsorpcije vlage, glatkoći, elastičnosti, fleksibilnosti i protukliznim svojstvima koje tihi asfalt čine dobrim izolatorom zvuka.

Njegova vrlo elastična membrana osigurava savršenu izolaciju od prodora vode u dublje slojeve i zadovoljavajuću odvodnju površinske vode te zbog toga na mokroj cesti iza automobila tijekom vožnje skoro da nema prskanja. U odnosu na uobičajene površine otpornost na eroziju veća je od 40%, a fleksibilnost pri niskim temperaturama za 60 % od uobičajenog bitumena.

Tihi asfalt ima duži vijek trajanja, a primjenjuje se lako i u kratkom roku, primjer je testirana dionica autoceste Angath s površinom od 30.000 m2 koja je dovršena u roku od 8 dana. Osim toga, tihi asfalt je ekološki proizvod jer se može u potpunosti reciklirati. Tiha površina ceste

smatra se najučinkovitijim sredstvom za smanjenje prometne buke. Za prosječnu osobu smanjenje buke od 3 - 5 dB je isto kao udvostručenje udaljenosti između izvora buke i njezinog položaja odnosno dvostruko smanjenje intenziteta prometa odnosno smanjenje prosječne brzine za 25 %.

U Americi se koristi već druga generacija tog elastičnog bitumenskog veziva koje je razvijeno 1974. g. u suradnji rafinerije i Instituta za asfalt u Arizoni. Tihi asfalt se koristi u Europi od 1981. g. kada je prvi put korišten u Belgiji, a s vremenom je postao sve važnija komponenta u Europskoj prometnoj mreži s ciljem daljnje implementacije na što više gradskih cestovnih površina i autocesta.

2. CESTOVNI PRIJEVOZ

Već gotovo 2 st. najveća civilizacijska dostignuća ovise ili su omogućena upravo razvojem prijevoza. Suvremenoj civilizaciji su, pored abecede i tiska, najviše pridonijeli izumi u prometu. Promet je jedan od najvažnijih gospodarskih i uopće ljudskih djelatnosti čiji je napredak ugrađen u gotovo sva civilizacijska dostignuća. To je djelatnost koja je nekoliko puta revolucionirala progres ljudske civilizacije.

Mijenjajući poziciju prostorne i vremenske dimenzije ljudskog života, uklanjajući različite prepreke i barijere koje se postavljaju pred mobilnost ljudi i robe, prijevoz je danas inkorporiran u gotovo sve segmente ljudske civilizacije, a prostor i vrijeme relativizirani su do krajnjih granica.

Cestovni prijevoz je gospodarska djelatnost premještanja (prijevoza), prijenosa robe i putnika svim vrstama cestovnih vozila i na svim vrstama cestovnih puteva, bez obzira na njihovu namjenu u (ne)gospodarske svrhe (Zelenika, 2001:44).

Cestovni promet je širi pojam od cestovnog prijevoza. Ako se prihvati definicija izraza promet moglo bi se reći da cestovni promet obuhvaća prijevoz robe i putnika cestovnim prijevoznim vozilima po cestovnim putevima kao i sve operacije i komunikacije u cestovnom prijevozu. To zapravo znači da izraz cestovni promet obuhvaća i djelatnosti koje su u izravnoj ili neizravnoj vezi s cestovnim prijevozom, kao što su neke djelatnosti ili poslovi na kopnenim terminalima (kontejnerskim, za rasute materijale, za drva, za žive životinje).

Bez operacija utovara, istovara, pretovara, pakiranja, sortiranja određenih špediterskih i sličnih poslova cestovni promet se nebi mogao optimalno odvijati. U cestovni promet, u širem smislu riječi, mogu se uključiti i djelatnosti (Zelenika, 2001:44):

- pakiranja robe,
- kontrole utovara ili istovara robe,
- osiguranje cestovnih vozila, robe i putnika u cestovnome prijevozu.

Osnovne pretpostavke za optimalno funkcioniranje cestovnoga prijevoza i cestovnoga prometa jesu (Zelenika, 2001:45):

- visok stupanj razvijenosti cestovne infrastrukture,
- visok stupanj razvijenosti cestovne suprastrukture,
- primjerena organizacija rada, upravljanja i rukovođenja,
- primjerena upotreba suvremenih prijevoznih tehnologija.

Za cestovni prijevoz kao i promet općenito karakteristično je da se odvija po raznim vrstama cesta i puteva, te pomoću raznih vrsta cestovnih vozila: motornim vozilima, električnim i zaprežnim vozilima, biciklima, pješice, itd. Dva osnovna faktora potrebna za odvijanje cestovnog transporta su prijevozni put te prijevozno sredstvo.

Cestovni prijevoz u osnovnim vidovima, prema Zakonu o cestama (NN 84/11, 22/13, 54/13, 148/13, 92/14) dijeli se na: prijevoz robe (prijevoz kamionima) i prijevoz putnika (prijevoz autobusima i taxi prijevoz), a prema načinu prijevoza na: javni cestovni prijevoz i prijevoz za vlastite potrebe. Prema pravcima kretanja cestovni prijevoz može biti: domaći prijevoz (tuzemni) ili međunarodni prijevoz (inozemni).

Kontinuirani rast svjetskoga gospodarstva, praćen sve većim porastom razmjene robe i usluga između nacionalnih i/ili regionalnih gospodarstava, zahtijeva daljnju izgradnju transportnoga sustava, namećući novu dvojbu koja glasi: promet i održivi razvitak. To više, što transport, posebno nove transportne tehnologije, ispunjavajući narasle zahtjeve za brzinom, pouzdanošću, efikasnošću i sigurnošću, pored toga što utječu na cijenu robe, na lociranje pojedinih proizvodnih objekata, na rentabilnost investicijskih ulaganja, na razinu i strukturu međunarodne razmjene, oplemenjuju i obogaćuju okoliš, istodobno uzrokuju i ozbiljne ekološke probleme naglašavaju Zelenika i Pupavac (2000.).

3. UTJECAJ CESTOVNOG PROMETA NA OKOLIŠ

U uvjetima suvremene globalne proizvodnje, globalne tržišne ekonomije i globalne razmjene, globalna tržišta roba i usluga, a to znači i tržišta transportnih i prometnih usluga postaju mjesta na kojima se susreću interesi i suprotnosti brojnih nositelja globalne robne i ne tržišne razmjene raznih društveno-ekonomskih razmjera s različitim stupnjem razvijenosti proizvodnih snaga, proizvodnih i društvenih odnosa. Gotovo svaki posao povezan je s prijevozom robe, pri čemu posebno mjesto zauzima cestovni prijevoz robe. Kod kopnenog prijevoza robe znatno prevladava cestovni prijevoz i po kriteriju težine i po kriteriju vrijednosti robe.

Zbog razvoja automobilske industrije svijet je preplavljen automobilima. Ljudska populacija 2 puta veća od 1950. g., a broj automobila 12 puta veći. Prema analitičkim procjenama broj motornih vozila će se u slijedećih 10 g. udvostručiti. Razvoj cestovnoga prometa izazvao je nepoželjne i nepredvidive poslijedice za čovjeka i okoliš.

3.1. Utjecaj cestovnog prometa na zrak

Područja s najvećim brojem automobila na cesti u prosjeku imaju višu razinu onečišćenja zraka. Motorna vozila su jedan od većih izvora zagađenja u svijetu. Sporije kretanje prometa emitira više onečišćenja nego kada se automobili kreću većom brzinom po autocesti stoga su prometni zastoji veliki uzročnici onečišćenja zraka.

Automobil sagorijeva najviše goriva dok ubrzava. Održavanjem konstantne brzine, usprkos otpornosti vjetra, sagorijeva skoro konstantnu količinu goriva. Stalno ubrzavanje i kočenje uzrokuje povećanu potrošnju goriva i stoga automobil ispušta više onečišćenja u zrak.

Međutim, odnos između brzine vožnje i onečišćenja nije linearan. Neočišćeni zrak je u osnovi plinska smjesa dušika (N_2) 78% volumena i kisika (O_2) 21% volumena, plemenitih plinova, ugljik (IV) oksida (CO_2) i metana, dušičnih oksida (NO_X), vodika (H_2), vodene pare i raznih ugljikovodika. Sastojci atmosfera u tragovima: plinskom obliku i čestičnom obliku (utjecaj na čovjekov okoliš - toksični, radioaktivni) - utječu na klimu; čestice – utječu na stvaranje naoblake i intenzitet padalina. Onečišćenje zraka mjeri se kao vrijeme “poluživota” tj. vrijeme potrebno da polovica količine u zrak emitiranoga onečišćenja napusti atmosferu, prelaskom u vodu, tlo ili neki drugi receptor. To vrijeme mjeri se u danima (SO_2, NO, NO_2, NH_3, H_2S), mjesecima (CO) i godinam (CO_2) (Tablica 1).

Tablica 1. Vrijeme boravka pojedinih sastojaka u atmosferi
(Izvor: *Golubić, J. Promet i okoliš, FPZ Zagreb, 1999.*)

Vrijeme boravka	**Sastojak**
do 1 sekunda	OH
1 sekunda do 1 minuta	CH_3CCI_3, HO_2
1 sat do 1 dan	H_2CO, H_2O_2, NO_2, H_2S
1 dan do 1 godine	H_2SO_4, HNO_3, SO_2, CS_2, O_3, CO
1 godina do 10 godina	CH_4, H_2
10 godina do 100 godina	N_2O

Aeropolutanti, nastali prometom, mogu se podijeliti u 5 pet štetnih skupina:

- sumporni spojevi nastali izgaranjem fosilnih goriva
- ugljik (II) oksid (CO)
- dušični oksidi (NO_X)
- ugljikovodici
- čađa, čestice, aerosol

Motorna vozila emitiraju primarne aeropolutante, koji u atmosferi reagiraju s npr. vodenom parom te nastaju sekundarni aeropolutanti koji u vidu kiselih kiša dodatno onečišćuju okoliš. Čak 80% onečišćenja okoliša uslijed prometa, dolazi iz skupine cestovnog prometa (Tablica 2).

Tablica 2. Emisija onečišćivača zraka po vrstama prometa
(Izvor: *Mlinarić I., Missoni E., Prometna medicina, FPZ Zagreb, 1994.)*

Naziv štetnih tvari	**% u jediničnoj količini**	**Po vrstama prometa**			
		Željeznički	Cestovni	Zračni	Vodeni
Ugljični monoksid (CO)	68	1	98	0,3	0,2
Dušični oksid (NO_X)	17	4	90,5	0,5	5
Ugljikovodik (CH)	9	1	95	1	3
Sumporni dioksid (SO_2)	2	10	74	2	14
Krute čestice	1	5	85	3	7
Ostali nusprodukti (olovo, gorivo, gume, azbestne čestice…)	3				

Ispušni plinovi vozila sastoje se od neštetnih i štetnih tvari (1%). U neštetne spadaju[1]: dušik (N_2), vodena para (H_2O), kisik (O_2) i ugljik (IV) oksid (CO_2), a u štetne: ugljik (II) oksid (CO) (0,85%), ugljikovodici (CH) (0,05%), sumpor (IV) oksid (SO_2) (<0,01%), dušični oksidi (NO_X) (0,08%), čvrste čestice: olovo (Pb) i spojevi te čađa i dim (0,02%).

3.2. Utjecaj cestovnog prometa na tlo

Tlo je gornji sloj Zemljine kore, smješten između kamene podloge i površine. Tlo se sastoji od čestica minerala, organske tvari, vode, zraka i živih organizama. Tlo je prirodna tvorevina, nastala složenim i uglavnom dugotrajnim procesima djelovanja klima, vegetacije, makro i mikro organizama na matičnu stijenu, odnosno supstrat. Koliko su to dugotrajni procesi najbolje govore podaci da se za sloj tla od 30 cm proces nastajanja kreće u rasponu od nekoliko tisuća do preko milijun godina, što zavisi o značajkama supstrata. Na ovaj način, a ovisno o danim uvjetima, na površini Zemlje su nastajala tla različite građe.

Kisele kiše, potiču ubrzano otapanje hranjivih tvari u tlu, ubrzano otapanje minerala (npr. kalcija koji je neophodan za normalan razvoj stanica biljaka) te porast koncentracija bakra, aluminija, kadmija i žive (i male koncentracije ovih elemenata uzrokuju velika onečišćenja).

3.3. Utjecaj cestovnog prometa na vodu

Čak je 71% Zemljine površine pod vodom, a i sam je život nastao u vodi te se do danas često povezuje s njom. Padaline koje padnu na površinu kopna jednim dijelom odmah ishlape i vraćaju se u atmosferu, dijelom otječu po površini, dijelom se akumuliraju u zemlju, a jedan njihov dio pridonosi stvaranju podzemnih voda.

Osnovni uzroci onečišćenja voda su antropogeni uzročnici, u koje spada promet. Emisije iz cestovnog prometa i aktivnosti koje se odnose na cestovni promet izvori su onečišćenja akumuliranih na površinama urbanih područja. Ti zagađivači su uglavnom anorganski.

Ispušni plinovi i njihove čestice čađe mogu biti na prvom mjestu, što predstavlja samo oko 5% ukupnog prometa emisije. Ostalih 95% dolazi od zagađenih guma i karoserija automobila, njihove abrazije i korozije, rasipanje transportiranih materijala i izlijevanja ulja i naftnih derivata.

[1] Vilke, S. *Predavanje 3.Urbani promet i okoliš,* Sveučilište u Rijeci Pomorski fakultet u Rijeci

Upravo sponemuti zagađivači su organski, ali nisu biorazgradivi. Sa stajališta onečišćenja promet karakterizira njegova gustoća, omjer osobnih automobila, kamiona i njihovih tehničkih uvjeta.

Cestovne konstrukcije i uvjeti također jako utječu na onečišćenje Na primjer, ispuštanje zagađivača s asfaltnih cesta može biti prema procjeni za nekih 80% više nego na betonskoj površini.

Sastojci kontaminacije potječu s autocesta i glavnih prometnica i dovode se do prihvatnih voda i kanalizacije kao ne-točkastih izvora. Kišnica, prije dolaska u vodu, može biti kontaminirana: tijekom pada kroz atmosferu, u procesu površinskog otjecanja i odvoda cijevi u sustavu odvodnje. Tako promet utječe na drugi proces zbog difuznog onečišćenja koji se odnose na površinsko otjecanje.

Cestovni promet zahtijeva velike zemljišne površine što je posebice uočljivo u gradskim sredinama gdje prometna mreža zauzima od 20-50% ukupne urbane površine. Nadalje, na površini cestovnih prometnica talože se teški metali (cink, olovo, itd.) koji se uslijed kiše i drugih oborina ispiru sa ceste te tako dospijevaju na tlo i utječu na njegovo zagađenje. Prodiranjem tako onečišćene vode u tlo dolazi i do zagađenja podzemnih voda. Intenzitet zagađenja podzemnih voda ovisi o veličini prometa pa je vrlo važno voditi računa o mjerama zaštite od onečišćenja, posebno na vodoopskrbnim područjima.

3.4. Zagađenje bukom uslijed prometa

Buka cestovnog prometa je vodeći zagađivač bukom, zbog velikog broja cestovnih vozila koja imaju motore s unutarnjim sagorijevanjem koji energiju razvijaju na osnovi kontrolirane eksplozije u svojoj unutrašnjosti. Električni automobili, bez motora s unutrašnjim sagorijevanjem su tiši, ali samo odsustvo motora nije jedini preduvjet za manju količinu buke vozila.

Buka uslijed cestovnog prometa je zbroj buke: motora, usisnog sustava, ispušnog sustava, ventilatora i buke kotača. Kotači cestovnih vozila u kontaktu s podlogom stvaraju buku. Ovisno o konstrukciji kotača i pneumatika, grubosti kolničkog zastora (asfalt, kamen, makadam) i brzini vozila, stvaraju se različite karakteristične vrste buke. Povećavanjem brzine za jednu četvrtinu, buka kotača povećava se dvostruko.

4. TIHI ASFALT

4.1. Općenito o asfaltu

Asfalt (grč. *ἄσφαλτος:* paklina, asfalt), crna ili tamnosmeđa, čvrsta ili polučvrsta amorfna masa, prirodna ili umjetna smjesa bitumena i mineralnih tvari. Zagrijavanjem postaje mekan, ljepljiv i plastičan ili prelazi u tekuće stanje. *Prirodni asfalt (paklina)* upotrebljava se od davnina kao vezivo u građevinama i za brtvljenje pukotina brodova, a vjerojatno najstariji asfaltni put nađen je na prilazu babilonskoj kuli. U antici i srednjem vijeku gotovo nestaje iz uporabe, a ponovno se počinje koristiti početkom XIX. st. Nagli razvoj asfaltnih cesta omogućen je tek industrijskom preradbom nafte, odnosno primjenom umjetno proizvedenih bitumena. Smatra se da je prirodni asfalt nastao na isti način kao i nafta, taloženjem *sapropela,* taloga od organizama u raspadu, a moguć je i njegov nastanak od nafte, isparavanjem njezinih lakših sastojaka, te naknadnom oksidacijom, polimerizacijom i kondenzacijom.[2]

Asfalt je mješavina mineralnih tvari i bitumena kao vezivnog sredstva koji s obzirom na sastav smjese može zauzimati različit količinski udio. S obzirom na varijabilnost svojih komponenti (vrsta i količina) moguće je proizvesti asfalt koji će imati različite osobine - na taj način asfalt je moguće prilagoditi svakoj individualnoj potrebi i svakom zahtjevu.

Pojedini su zahtjevi ponajprije determinirani kasnijim uvjetima u kojima se asfalt iskorištava a to su jačina prometa i vanjske vremenske prilike kako ljeti tako i zimi. Iz tog je razloga svakom proizvodnom procesu potrebno obratiti posebnu pozornost (na primjer priprema smjese, skladištenje, transport, ugradnja i zaptivanje).

Tehnički je danas važan *umjetni asfalt*. To je građevinski materijal koji se dobiva miješanjem kamenog agregata (kameno brašno, prirodni ili drobljeni pijesak i kamena sitnež) i bitumena proizvedenog destilacijom nafte ili bitumenskih prerađevina (razrijeđeni bitumeni i bitumenske emulzije).[3]

[2] Asfalt, http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4156
[3] Asfalt, http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4156

4.2. Vrste asfalta

S obzirom na činjenicu za što će se koristiti asfaltne površine određuje se debljina i način postavljanja asfaltnih slojva. Preko svakog pojedinog sloja na podlogu se trajno i učinkovito prenosi svako opterećenje koje dolazi s površine. Razlikujemo nosivi asfaltni sloj, vezni asfaltni sloj i krovni/površinski asfaltni sloj.

Asfalt je:

- moguće vrlo brzo obnoviti.
- jednostavno održavati.
- materijal vrlo dugog vijeka trajanja.

4.3. Vrste „tihog asfalta“

Umjesto konvencionalnog gusto gradiranog asfalta, smjesa za tihi asfalt formulirana je s više slobodnog prostora kako bi zrak lakše izbjegao između guma i njegove površine. Takva rješenja za smanjenje buke zajednički su poznata kao "Tihi asfalt". Ispituju se i primjenjuju na cestama diljem Zemlje - s realnim rezultatima.

Tihi asfaltni kolnik možemo podijeliti na: [4]

- Porozni asfalt - jednoslojni
- Porozni asfalt - dvoslojni
- Kameni matrični asfalt [eng. Stone mastic asphalt (SMA)]
- Tanki, jako tanki i ultra tanki površinski sloj asfalta
- Gumirani asfalt (eng. Asphalt rubber friction course)
- Poroelastične površine (eng. Poroelastic road surface)

Niti jedna podloga ne odgovara svim cestama. Slaba strana tihog asfaltnog kolnika je cijena. Zbog toga je Tihi asfaltni kolnik "općenito financijski opravdan u urbanim područjima s velikim prometom gdje je buka na cesti ozbiljan problem ", rekao je dr. Michael Heitzman, pomoćnik ravnatelja Nacionalnog centra za tehnologiju asfalta ", ali ne i za ruralne ceste na kojima je manje prometa i manji broj ljudi koji bi bili uznemireni.

[4] Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). Quiet pavement technologies. PIARC Publication.

4.3.1. Porozni asfalt – jednoslojni

Porozni se asfalt uglavnom koristi kao pojedinačni porozni sloj. U Americi asfalti s vrućom mješavinom s visokim sadržajem zračnih šupljina nazivaju se asfaltima s otvorenim stupnjevima trenja [eng. Open-graded friction course (OGFC)].

Konvencionalni OGFC je sloj asfalta koji se sastoji od agregata uniformne veličine s minimalnim iznosom sitnih čestica. U prošlosti su ti pločnici obično imali sadržaj šupljina od 12% do 15 ili 16%. U SAD-u sadržaj šupljina u poroznom asfaltu rijetko premašuje 20% dok u drugim zemljama iznosi od 15% do 30% . U SAD-u debljina poroznog asfalta se kreće od 2-5cm dok u ostalim zemljama ta debljina iznosi 4-5cm. OGFC nudi iznimna svojstva izdržljivosti i odlično prigušuje buku. U Njemačkoj OGFC sadrži manje od 15% šupljina što daje sjajnu izdržljivost i dugoročnost ali buku ne reducira jednako dobro.

Stručnjaci smatraju da je tajna dugoročne izdržljivosti modifikacija polimera asfaltnog veziva. OGFC-ovi mogu biti polimer-modificirani i mogu uključivati mineralna ili celulozna vlakna za stabilnost veziva tijekom polaganja. Polimerni modifikator učvršćuje vezivo za asfalt, dodajući fleksibilnost, pomažući joj da se odupre ravelingu gornjeg sloja agregata.

Nekoliko agencija za prijevoz utvrdilo je vrlo dobre rezultate, dok su ih drugi prestali koristiti jer su rezultati izostali. Ono oko čega se svi slažu je činjenica da se poboljšanja postižu dobrom praksom projektiranja i izgradnje. U Francuskoj se najčešće upotrebljava 40 mm debeli sloj mješavine 0/10 mm s čistim 50/70 bitumenom.

U Njemačkoj Schäfer izvještava o nekim iskustvima treće generacije poroznih tvari i asfaltu od 1996. godine koji se sastoji od mješavine 40 mm 0/8 mm s minimalnim sadržajem šupljina od 22% i asfaltno vezivo s visokim sadržajem polimera. Životni vijek se procjenjuje od 6 godina od 10 godina. Nova generacija OGFC-a koristi se u Texas-u u SAD-u s velikim uspjehom. Na primjer, u San Antoniju, ovaj materijal znatno je smanjio razinu buke i poboljšao kvalitetu života. Ovaj materijal ujedno je povećao otpornost na klizanje. Stručnjaci preporučuju da se OGFC-i koriste na prometnicama velikih brzina. [5]

OGFC tekstura je takva da omogućuje smanjenje razine buke i povećava otpornost kolnika na klizanje (osobito u vlažnim uvjetima i za velike brzine). Trošak OGFC-a je različit, ali procjenjuje se da je 30 do 40 % veći od običnih asfaltnih mješavina.

[5] Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). Quiet pavement technologies. PIARC Publication.

4.3.2. Porozni asfalt – dvoslojni

Sastoji se od dvoslojnog poroznog asfalta (uobičajena ukupna debljina u rasponu 50-90 mm) kojeg čini grublji porozni sloj s finijim poroznim površinskim slojem na vrhu [Goubert et al 2005]. Normalno, temeljni sloj ima maksimalnu veličinu agregata od 12,5 mm do 19 mm i sloj je oko 35 do 60 mm ukupne debljine.[6]

U američkim sastavima materijala zračnih šupljina ima između 15% i 19% dok u Europi i Japanu zračne šupljine mogu doseći od 20% do 30%. Ovaj asfalt je vrlo učinkovit u smanjenju buke, međutim, njegova je proizvodnja znatno složenija u odnosu na jednoslojni. Dva sloja je nužno spojiti brzo kako bi se izbjeglo korištenje adhezijskog sloja koji bi smanjio učinkovitost svojstva otjecanja vode i smanjenje buke.

Danski studiji o dvoslojnim poroznim asfaltnim površinama na gradskim cestama ukazuju na manjenje buke od 4 do 6 dB (u usporedbi s referentnom površinom gustog asfalta). U pogledu trajnosti, životni vijek dvoslojnog poroznog asfalta varira od samo 3,3 godine do više od 10 godina. Najizdržljiviji kolnici izgrađeni su u Nizozemskoj, koji su služili više od 10 godina.

Dvoslojna površina sastoji se od donjeg sloja s velikim česticama i gornjeg sloj sa sitnim česticama. Gornji sloj s malim česticama od 4 do 8 mm osigurava ravnomjernu površinu što smanjuje razinu buke. Ovaj sloj djeluje poput filtera koji zadržava dio prljavštine. Donji sloj se sastoji od krupnijih čestica te osigurava da se voda koja prodire iz gornjeg sloja može odvesti bez začepljenja pora. Dvoslojna porozna tekstura asfalta omogućuje smanjenje razine buke i povećanje otpornosti na klizanje kolnika. [6]

Dvoslojni porozni asfalt pokazuje vrlo dobra svojstva prskanja i prskanja tijekom prve godine života; međutim, nakon četiri ili pet godina šupljine se začepljuju no to ovisi o vrsti ceste, održavanju, izvedbi, količini prometa.

4.3.3. Kameni matrični asfalt [eng. Stone mastic asphalt (SMA)]

SMA (eng. Stone Mastic Asphalt) je asfalt visokih kvaliteta zbog svoje diskontinuirane granulometrijske krivulje. SMA spada u grupu habajućih slojeva, a radi se od zrna agregata veličine 4 mm, 8 mm, 11 mm i 16 mm.[7] Postoje mnogo vrsta SMA. Općenito, SMA sadrži smrvljeni materijal. U Europi, SMA potječe iz Njemačke i koristi se u mnogim drugim

[6] Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). Quiet pavement technologies. PIARC Publication.

[7] http://www.colas.hr/hr/stranica/sma-en-13108-5/54

zemljama (npr. u cijelom Ujedinjenom Kraljevstvu, istočnim i planinskim dijelovima Francuske, Nizozemska, Danska)[8].

Rezultati promatranja kolnika i mjerenja buke na autocestama M18 i A50 u Ujedinjenoj Kraljevini pokazuju da je SMA površinska obrada nudi vrlo dobro riješenje za smanjenje buke kolnika, osobito kada se gleda nakon 4 ili 5 godina od ugradnje . Nivo buke izmjeren na SMA dionicama na ovim autocestama u Ujedinjenom Kraljevstvu bio je niže od vrijednosti izmjerenih na dionicama kolnika na kojima se koriste standardne asfaltne mješavine. U Velikoj Britaniji studije pokazuju da SMA smanjuje buku kolnika od 3 do 4 dB, u usporedbi s brušenim cementnim betonom.[9]

Ovaj se materijal vrlo često koristi kao cestovni sloj u SAD-u, što je rezultiralo smanjenjem razine buke kolnika u usporedbi s tradicionalnim 12,5 mm ili 19 mm. Također je popularan u raznim zemljama Europe; međutim, strukturni sastav i performanse SMA u bilo kojem dijelu svijeta su različite. Pozivajući se na grubi agregat, SMA izgleda slično poroznom asfaltu i obje vrste kolnika se sastoje od agregatne strukture relativno grubog agregata. Međutim, razina šupljina je različita. Troškovi ugradnje SMA povećavaju cijenu projekta za 20 do 25 % u odnosu na kovencionaolne mješavine.

4.3.4. Tanki, jako tanki i ultra tanki površinski sloj asfalta

Tanki, jako tanki i ultra tanki površinski sloj asfalta daju svojstava koja se očekuju od završnog asfaltnog sloja, a to su:

- sigurnost (dobra otpornost na klizanje i dobra makro-tekstura, dobra poprečna ravnost),
- udobnost (dobra uzdužna ravnost i niska razina buke)

Tanki asfaltni sloj Rugovia M u potpunosti odgovara Europskoj normi EN 13108-1 (koja je usvojena i kao hrvatska norma), ima 6–12% šupljina, diskontinuiranu krivulju s kamenim agregatom 0/10 mm, a kao vezivo se koristi modificirani bitumen. Izvodi se u uobičajenoj debljini od 40 mm (100 kg/m^2) i samim time pojačava kolničku konstrukciju, a ugrađuje se s konvencionalnom opremom za ugradnju i zbija čeličnim valjcima.

Vrlo tanki asfaltni sloj VTAC – Rugovia TM u potpunosti odgovara Europskoj normi EN 13108-2 (koja je usvojena i kao hrvatska norma), ima 10–17% šupljina, diskontinuiranu krivulju s kamenim agregatom 0/6 i 0/10 mm a kao vezivo se koristi bitumen. Izvodi se u

[8] Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). Quiet pavement technologies. PIARC Publication.

uobičajenoj debljini od 20 do 30 mm (50 kg/m^2), a ugrađuje se s konvencionalnom opremom za ugradnju i zbija čeličnim valjcima

Ove završne asfaltne slojeve karakterizira:[9]

- vrlo homogena površina,
- dobra otpornost na habanje, deformacije i puzanje,
- vrlo dobra i trajna makro-tekstura (početne vrijednosti 1,0 do 1,5 mm, nakon devet/deset godina 0,9 mm (0/6) do 1,3 mm (0/10) uz promet od 1250 kamiona/dan),
- niska razina buke i odlična otpornost na klizanje, vrlo dobra i nakon deset godina.

Rezultati mjerenja koeficijenta trenja takvog sloja ugrađenog 1987. godine u ovisnosti o brzini i nakon deset godina vrijednosti koeficijenta trenja su pri gornjoj granici propisanih vrijednosti u Francuskoj. Najvažnije značajke ovih slojeva su:[10]

- Paleta tankih i vrlo tankih završnih asfaltnih slojeva omogućava odabir optimalnih traženih svojstava – udobnosti, otpornosti na klizanje, trajne deformacije, razine buke
- Otporni su na niske temperature (visoki postotak šupljina) zbog korištenja polimerom modificiranog bitumena
- U tenderima treba propisati razinu makro-teksture, razinu i trajnost otpornosti na klizanje prema EN 13108-2
- Mogu se primijeniti za sve razine prometa
- Vrlo tanki asfaltni sloj – Rugovia TM pruža vrlo dobru površinsku strukturu i ravnost, visoku i trajnu otpornost na klizanje, dobro dreniranje površine (odlična makro-tekstura), uz niske troškove
- Veličina zrna 0/6 i diskontinuirana krivulja rezultira niskom razinom buke uz izvrsna površinska svojstva

Mogućnosti smanjenja buke su manje učinkovite za teške kamione nego u slučaju poroznih asfaltnih slojeva, uglavnom zbog manje teksture površinskih obrada. Postiže se smanjenje buke u cestovnom prometu između 3 i 5 dBA u odnosu na konvencionalne guste asfaltne površine.

Nanosoft, u novom stanju, omogućava smanjenje buke trenja za oko 9 dB u usporedbi s tradicionalnim referentnim asfaltnim kolnikom. MASTERpave napravljen s maksimalnom

[9] Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). Quiet pavement technologies. PIARC Publication.

veličinom agregata od 14 mm dao je najbolje rezultate u smislu smanjenja buke na površini s agregatima veličine 14 mm, čime se postiže smanjenje od 3,7 dB u dobi od dva mjeseca.

Troškovi asfaltiranja vrlo su različiti, kako zbog dostupnosti, tako zbog troškova koji proizlaze iz različitih izvođača. Troškovi mogu biti u rasponu od 6,0 - 25 €/m^2 u Europi.

4.3.5. Gumirani asfalt (eng. Asphalt rubber friction course)

Svaka inovacija ili nova tehnologija koja pridonosi smanjenju troškova izgradnje i održavanja prometnica, pa čak i u malom postotku, rezultira uštedama od nekoliko milijardi eura na globalnoj razini. Provedena su značajna istraživanja u području tehnologije proizvodnje asfalta kako bi se pronašla rješenja za proizvodnju trajnijih asfaltnih kolnika uz što manji utrošak energije. Usvajanje rezultata spomenutih istraživanja moglo bi biti vrlo korisno s ekonomskog i tehničkog aspekta te zaštite okoliša.

Povećanje prometnog opterećenja, kao i klimatske promjene uvjetuju strože standarde za svojstva asfaltnih mješavina. Zato se istraživači i usredotočuju na asfaltne kolnike i bitumen.

Rezultat toga je pojava različitih sintetičkih polimera u tehnologiji proizvodnje asfalta, kojima je značajno poboljšana kvaliteta cestograđevnog bitumena. Međutim, u zadnjih je nekoliko godina cijena modificiranog bitumena naglo porasla, zbog čega se javila potreba za alternativnim rješenjima.[10]

Ovaj postupak se odnosi na postupno miješanje gumenog granulata vrućim bitumenom, a vrijeme reakcije je približno jedan sat. Gumeni granulat se djelomično otapa te na taj način postaje aktivni sastojak u modificiranom bitumenu.

Takav bitumen modificiran gumenim granulatom, koji ima korisna inženjerska vojstva oba sastojka, primjenjuje se za pripremu asfaltnih mješavina. Zasad su svojstva asfaltnih mješavina koje se pripremaju "mokrim" postupkom bolja od onih pripremljenih "suhim" postupkom.

Iako se primjena bitumena s dodatkom gumenog granulata dobivenim "mokrim" postupkom pokazala uspješnom, što dokazuju brojne ceste izgrađene tijekom posljednja tri desetljeća, još uvijek postoje značajne poteškoće koje sprječavaju širu primjenu. Naime, potrebna je posebna oprema zbog znatno veće viskoznosti bitumena stabiliziranog gumenim granulatom *(eng. chemically stabilized crumb rubber bitumen - CSRB)* u odnosu na cestograđevni bitumen.

Promjenjiva kvaliteta gumenog granulata utječe na kvalitetu bitumena. Zbog taloženja gumenog granulata, preporučuje se primjena modificiranog bitumena u roku četiri sata od trenutka proizvodnje, pa se time ograničava transportna udaljenost. Zbog toga se u SAD-u

[10] Lajos Kisgyörgy, Csaba Tóth, András Geiger Modul elastičnosti asfalta s bitumenom modificiranim gumenim granulatom kao vezivom, GRAĐEVINAR **68** (2016) 7, 533-541

koriste mobilna postrojenja za proizvodnju bitumena modificiranog gumom, a proces proizvodnje se odvija u neposrednoj blizini mjesta ugradnje.[11] U Arizoni je postignuto smanjenje buke do 6,7 dB(A). U drugim studijama u istoj državi, buka je u mjerenjima u usporedbi s betonskim površinama smanjena u rasponu od 7,3 dB(A) 13,1 dB(A).

4.3.6. Poroelastične površine (eng. Poroelastic road surface)

S povećanjem prometra i sve većim potrebama za korištenjem vozila zahtjevi za proizvodnju guma i recikliranje istih se povećava. Svake godina nastane oko 5 miliona tona otpadne gume što ponovnu upotrebu gume kojoj je u prirodi potrebno 600 godina da se razgradi čini izazovom.

Jedno od riješenja je iskorstiti otpadnu gumu za dobivanje novih materijala kao što su asfaltne površine s poboljšanim svojstvima. Uz mehaničke prednosti dodatne pogodnosti su te što činimo dobro i za okoliš jer se smanjuju količine otpada na odlagalištima.

Proelastične površine su mješavine koje sadrže od 20 do 40% zraka u šupljinama i izrađena je od otpadnih guma. Sadržaj gume je oko 20% volumena mješavine. Agregati i guma vezani su polimer modificiranim asfaltom ili poliuretanskim vezivom. Pruža vrlo elastičnu površinu koja je pogodna za valjanje i smanjuje buku koju stvaraju gume vozila.

Prema švedsko-japanskim studijama, poroelastičnost površina ceste omogućuje učinkovito smanjenje buke kolnika između 5 i 15 dB u usporedbi s konvencionalnim gustim asfaltnim površinama. Ova vrsta površine može osigurati učinkovito smanjenje buke naspram cestovnog prometa. Smanjenje buke može biti između 5 i 15 dB u usporedbi s konvencionalnim gusim asfaltnim površinama, kako pokazuju rezultati švedskih studija.

[11] Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). Quiet pavement technologies. PIARC Publication.

4.4. Mjerenje razine buke

Prometna buka je jedna od najmanje prihvatljivih mjerljivih pojava na dnevnoj bazi. Ispitivanja javnog mišljenja pokazuju da je jednog od tri stanovnika velikih gradova uznemiruje prometna buka.

Znanstvenici na svim poljima prometa već desetljećima traže prikladna rješenja za poboljšanje uvjeta života uz prometnice izložene gustom prometu. Do sada se zaštita uglavnom bazirala na strukturne mjere usmjerene na zvučnu izolaciju.

Poduzete mjere pasivne zaštite uglavnom se sastojala od izgradnje zidnih barijera, strme zemljane obale, postavljanje zvučno izolacijskih prozora ili kombinacija tih rješenja zaštite. Međutim, ove mjere vrlo često nagrđuju krajolik.

Ukupna razina buke koju proizvode vozila u osnovi se određuje prema vrsti gume, površina ceste i brzine vozila. Snimanje rezultata mjerenja buke u ovisnosti o površini ceste, radi se pomoću preciznih mjerača razine buke s automatskim određivanjem energetskog ekvivalenta stalne razine zvuka i prekoračene razine. Mjerni instrumenti moraju zadovoljavati zahtjeve propisane norme.

Mjerenja razine zvuka izvršena su na istim mjestima neposredno prije i nakon primijene tihog asfalta. Popis prometa i mjerenja brzine provedeni su s obje strane ceste. Nadalje, meteorološki podaci poput temperature, relativne vlažnosti zraka, brzine i smjera vjetra bilježe se za svako mjerenje.

Budući da različite vrste kolnika za ceste u vlažnom stanju proizvode različite razine buke nego u suhom stanju simulirali su se uvjeti olujne vode prskanjem kolnika vodom. Prije i nakon svakog mjerenja kalibrirani su mjerni instrumenti i snimači.

Prometna buka koja je zabilježena u osnovi se sastoji od buke ceste/gume i buke motora. Cestovni kolnik prekriven tihim asfaltom promijenit će buku ceste ne samo s obzirom na razinu buke, nego i s obzirom na frekvencijske karakteristike. Vozači ispitnih vozila voze po sredini trake na čijim rubovima su postavljeni mikrofoni, tako da su udaljenosti između vozila i mikrofona gotovo jednaka.

Za opisivanje uzorka buke zabilježene su sljedeće razine:

L_{eq}- trajna razina zvuka ekvivalentna energiji - ponderirana energija ekvivalentna stalna razina zvuka u dB; izračunava se iz razine buke koja je u slučaju trajnog djelovanja jednaka neprekidnoj buci ili buci s fluktuirajućom razinom zvuka.

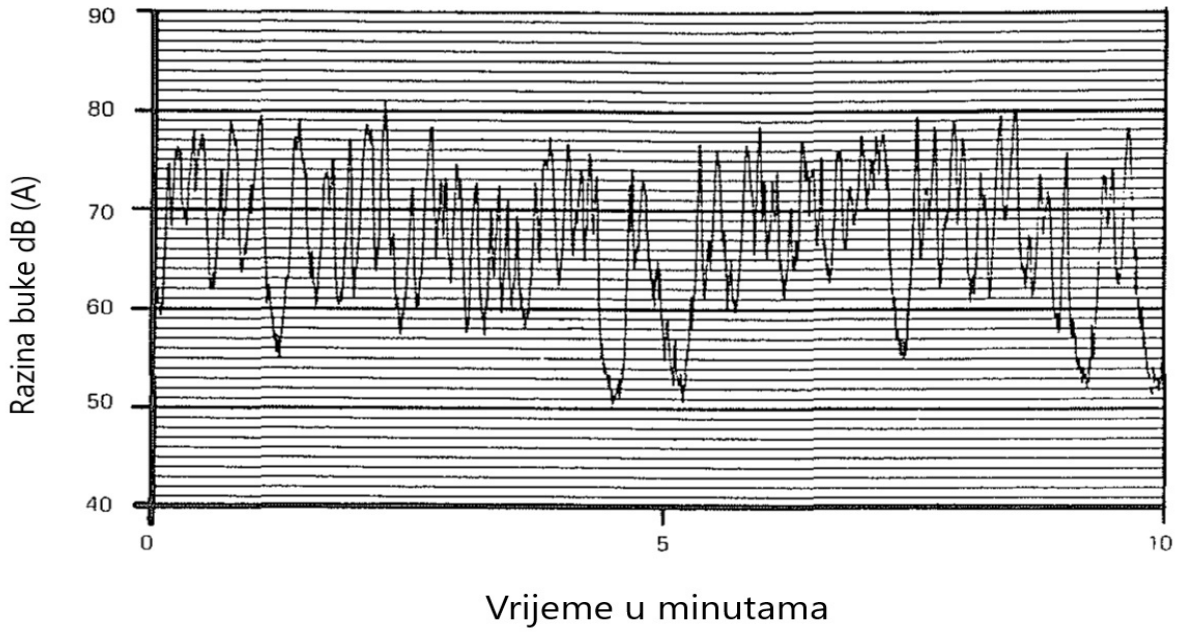
L_{95}- Razina pozadinske buke - najmanja izmjerena razina zvuka u dB na jednom mjestu tijekom određenog vremenskog razdoblja, uzrokovana od strane udaljenih zvukova (šumova).

L_5- 5% najvećih zabilježenih vrijednosti (razine vrha, česti vrhovi), odnosno najviša razina ispitivanja premašena je za 5 % razdoblja ispitivanja.

L_1- 1% najvećih zabilježenih vrijednosti (neobični vrhovi) odnosno najviša razina ispitivanja premašena je za 1 % razdoblja ispitivanja

Za opis jake fluktuirajuće buke koristi se stalna razina zvuka L_{eq}. Za procjenu razvoja ili situacije sa bukom, potrebne su i raspodjele frekvencija (pozadinska razina buke i vršna razina) za raspon fluktuacija razina zvuka i za određivanje pozadinske situacije.

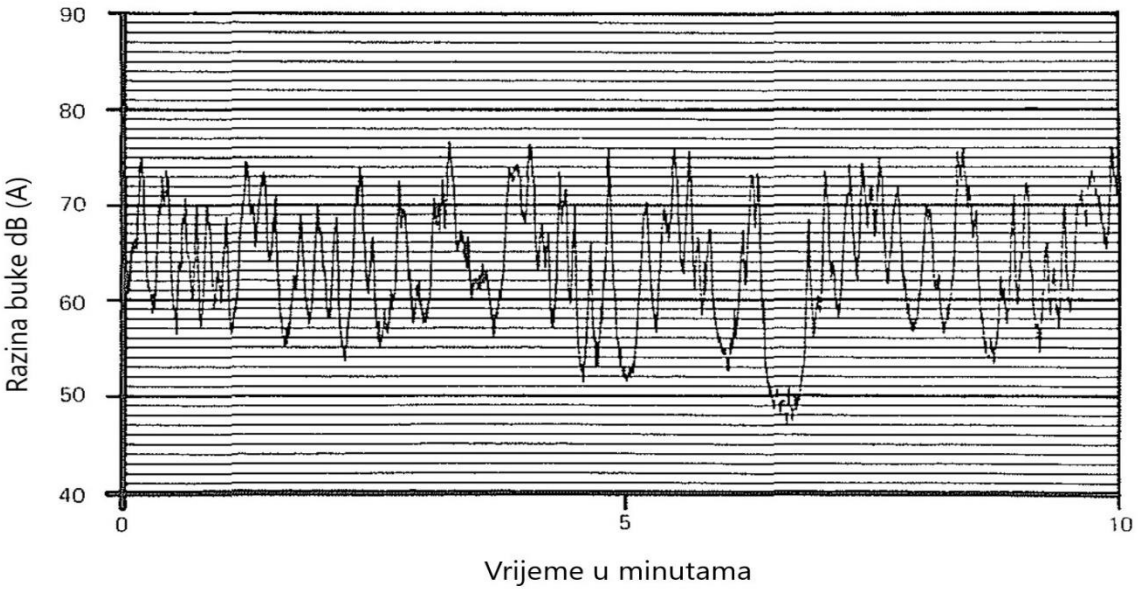
Razlika rezultata mjerenje buke korištenjem betonskog kolnika i korištenjem tihog asfalta na jednom mjernom mjestu, kod istih meteoroloških uvjeta prikazani su u tablici 3 i tablici 4. te grafički na slici 1. i slici 2.



Slika 1. Razina buke kod podloge od betonskog kolnika
(Izvor: Gottfried Nievelt, Gerhard Stehno, Helmut Stickler, Johann Ertl- Noise level reduction through silent asphalt)

Tablica 3. Mjerenje razine buke kod podloge od betonskog kolnika
(Izvor: Gottfried Nievelt, Gerhard Stehno, Helmut Stickler, Johann Ertl- Noise level reduction through silent asphalt)

Mjerenje razine buke- betonski kolnik						
Vrijeme	L_{eq}	L_{95}	L_5	L_1	**Podloga**	**Stanje kolnika**
	dB					
11:00-11:15	70,8	52,8	77	78,5		
11:15-11:30	71	51	77,3	79,3		
11:30-11:45	70,4	52,5	76,8	79		**Suho**
11:45-12:00	70,6	54,5	76,8	78,8		
11:00-12:00	70,7	52,9	77	78,9		
14:53-15:08	69,5	54,7	75,8	77,4		
15:08-15:23	71,8	59,4	77,1	79,3		**Vlažno nakon pranja kolnika**
15:23-15:28	72,1	56	77,8	80		
14:53-15:28	71	57,5	76,7	78,7		
16:15-16:30	71,3	56,3	77,5	79,8		
16:30-16:45	71,3	57,5	76,5	79,3		
16:45-17:00	72	57,5	77,8	79,3	**Beton**	**Suho**
17:00-17:15	72,3	59,5	78	79,8		
16:15-17:15	71,7	57,9	77,5	79,6		
21:00-21:15	71,5	53,8	78	80,8		
21:15-21:30	69,4	49,3	76	78,5		
21:30-21:45	69,6	49,3	76,8	80		**Suho**
21:45-22:00	69,1	47,5	76,5	78,8		
21:00-22:00	70,1	50,7	76,9	79,6		



Slika 2. Emisija buke kod podloge od tihog asfalta
(Izvor: Gottfried Nievelt, Gerhard Stehno, Helmut Stickler, Johann Ertl- Noise level reduction through silent asphalt)

Tablica 4. Mjerenje razine buke korištenjem podloge od tihog asfalta
(Gottfried Nievelt, Gerhard Stehno, Helmut Stickler, Johann Ertl- Noise level reduction through silent asphalt)

Mjerenje razine buke- tihi asphalt						
Vrijeme	L_{eq}	L_{95}	L_5	L_1	Podloga	Stanje kolnika
	dB					
10:30-10:45	66,2	52,3	72,3	75,3	Tihi asfalt	Suho
10:45-11:00	66,5	52,8	71,5	74,3		
11:00-11:15	66,6	52,5	72,8	75,3		
11:15-11:30	66,1	52,5	72,3	74,8		
10:30-11:30	66,1	52,5	72,2	74,9		
13:31-13:46	66,8	55,9	72	75,2		Vlažno nakon pranja kolnika
13:46-14:01	66,4	53,7	71,8	74,5		
13:31-14:01	66,6	54,9	71,9	74,8		
15:00-15:15	68	54	73,5	76,8		
15:15-15:30	67	53,3	73	74,5		Suho
15:30-15:45	67	53	73,3	76		
15:45-16:00	67,7	55,3	73,8	75,5		
15:00-16:00	67,4	54	73,4	75,8		
21:30-21:45	64,5	47	71,4	75		
21:45-22:00	65,1	44,8	72	75,8		Suho
22:00-22:15	66	46,5	73,3	76,5		
22:15-22:30	64,3	42,3	71,8	74,8		
21:30-22:30	65	45,5	72,2	75,6		

Na temelju rezultata zaključeno je da se primjenom tihog asfalta u odnosu na betonski kolnik razina emisije buke smanjila za 4,1 - 5,5 dB. Maksimalno smanjenje razine dobiveno je tijekom noćnih mjerenja (prosjek – 5,3 dB), nakon čega slijedi "mokro mjerenje" (4,9 dB) i dnevno mjerenje (4,3 dB).

Vlažni betonski pločnik je za 4,9 dB glasniji od mokrog tihog asfalta. Tihi asfalt je bitumenizirana cesta s visokim sadržajem praznina, te se prolazom vozila voda istisne u otvorene pore i iscuri. Kao rezultat toga, površina kolnika nije bila mokra, već vlažna.

Stalna razina buke za vlažni betonski pločnik je za 0,6 dB veća od suhog, ali stalna razina buke vožnjom po vlažnoj podlozi od tihog asfalta još je manje od suhog.

Za rezultirajuću emisiju i, posebno, za stupanj u kojem se opaža buka kao smetnja, važno je znati koje frekvencije komponenti i do koje su mjere eliminirane. Visokofrekventne komponente ljudi doživljavaju kao dosadnije nego niskofrekventne iste glasnosti. Tihi asfalt donosi uglavnom smanjenje frekvencija za komponente iznad 100 Hz.

Visoko, bučno zviždanje tijekom vožnje koja se opaža na betonskom kolovozu uklanja se tihim asfaltom. Vrlo se jasno primjećuje prijelaz s betonskog kolnika do tihog asfalta. Prvi relativno visokofrekventni zvuk mijenja se u dubok.

Dakle, tihi asfalt ne samo da smanjuje energetski ekvivalent razine zvuka, nego stvaranjem pomaka u frekvencijskom spektru znatno smanjuje zagađenje bukom uslijed prometa.

5. ZAKLJUČAK

Zagađenje bukom dolazi u mnogim oblicima i može duboko utjecati na zajednice – od socijalnih poteškoća, poremećaj sna, u ekstremnim slučajevima duševnih bolesti i srčanih poremećaja do niže vrijednosti same nekretnine uz bučne prometnice. Smanjenje buke zvučnim barijerama može biti skupo i u nekim područjima ih je teško konstruirati zbog raznoraznih okolnosti. Iz tih razloga vlasnici cesta i industrija kolnika rade na riješavanju prometne buke na izvoru uz pametan izbor kolnika – asfalta.

U današnjem svijetu buka je postala jedan od najrasprostranjenijih oblika onečišćenja okoliša. Buka je posvuda. Utječe na naše živote kod kuće, na poslu i u igri. Gdje god ljudi žive, postoji buka. Buka je po definiciji bilo koji neželjeni ili pretjerani zvuk. To može biti smetnja, ometanje sna, rada ili rekreacije, a u ekstremnim situacijama može dovesti do tjeskobe, stresa i drugih zdravstvenih problema.

Kao što znamo iz naših srednjoškolskih nastava, zvučni valovi nastaju kada se objekt pomiče ili vibrira. Kada ovi valovi dosegnu naše uši, oni uzrokuju vibraciju naših bubnjića, šaljući signale mozgu koje tumačimo kao zvuk. Mjerenje vala koje putuje zrakom koristi se kao pokazatelj intenziteta zvuka ili njegovog volumena i opisuje se u obliku skale koja se zove decibel (dB). Mjerenja buke napravljena filtriranjem visokih i niskih zvukova - približno jednaka načinu na koji prosječna osoba čuje zvukove - naziva se A-vrednovana razina ili dB (A). DB (A) ljestvica počinje na nuli, što predstavlja najslabiji zvuk koji ljudi mogu čuti s vrlo dobrim sluhom. Razgovori se odvijaju u rasponu od 50 dB (A), a lančana pila proizvodi oko 100 dB (A). Uobičajeni zvukovi prometa na autocestama kreću se oko 75 dB (A), a mlazni zrakoplovi oko 90 dB (A). Za većinu ljudi, nelagoda počinje u rasponu od 70 do 80 dB (A), s pragom boli oko 140 dB (A). Savezna uprava za autoceste (FHWA) odabrala je 67 dB kao granicu iznad koje državne i savezne agencije moraju razmotriti smanjenje razine buke.

O samoj kvaliteti, ali i udobnosti prometa koji svakodnevno koristi veći broj građana, ovisi i vrsta asfalta koja je postavljena na cestama. Mnogi ljudi u gradu zbog buke često imaju problema sa spavanjem, ali europskim poticajima sve više i više se potiče na razmišljanje o ugradnji tihog asfalta na dionice koje su posebno prometne, a uz to i na pozicijama punim stanovnika.

Prilikom asfaltiranja tihim asfaltom radi smanjenja emisije buke uzrokovane prometom u područjima gdje ta ista buka stvara poteškoće postoji više vrsta tihog asfalta koji se mogu primijeniti. Najčešće korištena riješenja su jednoslojni ili dvoslojni porozni asfalt (OGFC), kameni matrični asfalt *[eng. Stone mastic asphalt (SMA)]*, tanki, jako tanki i ultra tanki

površinski sloj asfalta, gumirani asfalt (eng. Asphalt rubber friction course) te poroelastične asfaltne površine *(eng. Poroelastic road surface)*.

Porozni asfalt (OGFC) je s više međusobno povezanih praznina kroz koje zrak i voda mogu prolaziti, te njegova tekstura omogućuje smanjenje razine buke i povećava otpornost kolnika na klizanje. Tanki, jako tanki i ultra tanki površinski sloj asfalta daju svojstava koja se očekuju od završnog asfaltnog sloja, a to su sigurnost i udobnost.

Gumeni asfalt sadrži bitumen modificiran gumenim granulatom koji pruža savijanje na površini ceste dok gume prolaze preko njega, omogućujući zraku malo više vremena da se istisne pod nižim tlakom. Kamen-matriks asfalt uglavnom koristi grubi agregat za stvaranje kamenog skeleta, vezan zajedno asfaltnim vezivima i vlaknima.

Poroelastišne asfaltne povšine pružaju vrlo elastičnu površinu koja je pogodna za valjanje i smanjuje buku koju stvaraju gume vozila. Uz to je vrlo dobro riješenje za recikliranje starih guma vozila koje stvaraju veliki problem nakon što su iskorištene.

Svaka od ovih opcija dolazi s različitim aspektima habanja, otpornosti na klimu i troškova. Niti jedno rješenje ne odgovara svim cestama.

Nedostatak tihog asfaltnog kolnika je cijena. Cijena pripreme i postavljanja tihih asfaltnih kolnika ovisi o odabranoj opciji naspram uobičajenih HMA (vruće miješajući asfalt) i WMA (topli miks asfalta).

To je razlog zašto je tihi asfaltni kolnik "financijski opravdan u gradskim područjima s velikim prometom u kojima buka na cestama ozbiljno zabrinjava", rekao je dr. Michael Heitzman, pomoćnik direktora Nacionalnog centra za tehnologiju asfalta, "ali ne za ruralne ceste na kojima je manje prometa.“

Korištenjem tihog asfalta u usporedbi s betonskom podlogom, smanjuje se energetski ekvivalent stalne razine zvuka, izmjeren na suhoj cesti, za 4,3 dB tijekom dnevnih mjerenja i za 5,3 dB tijekom noćnih mjerenja. Razlika između dnevnog i noćnog mjerenja vjerojatno je posljedica različitog sastav prometa u doba dana i noći.

Mokri tihi asfalt je za 4,9 dB manje bučan nego mokra betonska cesta. Na tihom asfaltu, zbog visokog sadržaja praznina, voda se brzo apsorbira i ispušta iz ceste. Iza motornih vozila gotovo da i nema prskanja, kakav je slučaj kod vožnje po betonskoj podlozi.

Ispitivanja na suhom tihom asfaltu pokazala su za neobične vrhove (L_1) vrijednosti i po 4,3 dB niže, a za česte vrhove (L_5), vrijednost za 4,7 dB niža nego na suhoj betonskoj podlozi. Za vršne razine nije utvrđena značajna razlika između suhe i mokre podloge. Razina pozadinske buke L_{95} bila je niža na tihom asfaltu unatoč većem obimu prometa. Uz razinu zvučnog tlaka,

frekvencijski je spektar važan čimbenik procjene prometne buke. Visokofrekventni zvuk ljudi percipiraju više nego niskofrekventni.

Suhi tihi asfalt je u frekvencijskom rasponu od 250 Hz do 10 kHz manje bučan, s glavnim razlikama u razinama, koje se pojavljuju od 1 000 Hz naviše. Visokofrekventni zvuk vozila proizveden na betonskoj podlozi jedva je primijetan na podlozi od tihog asfalta.

Vlažna podloga pokazuje slične karakteristike kao i suha što se tiče razlike u frekvencijama. Analiza noćnih mjerenja pokazuje da je imisija buke korištenjem podloge od tihog asfalta preko cijelog frekvencijskog područja manja od imisije uslijed vožnje po betonskoj podlozi.

POPIS LITERATURE

1. Andrijanić I., et.al.: „**Transportno i špeditersko poslovanje**“, Mikrorad, Zagreb, 2001.

2. Asfalt http://www.enciklopedija.hr/natuknica.aspx?id=4156

3. Božičević J., Perić T.: „**Razvitak hrvatskog gospodarstva sa stajališta razvitka prometa***“*, Ekonomski pregled, Vol. 52., No.7-8., 2001., str. 753-773.
4. Časopis „**Hrvatske vode**“, 4 (1996) 14; Darko Mayer, „Manjak pitke vode-najveći problem 21. Stoljeća.

5. Čavrak, V.: „**Makroekonomski management i strategija prometa Hrvatske**“, Politička kultura, Zagreb, 2003.
6. Črnjar, M.: "**Ekonomija i zaštita okoliša**", Školska knjiga, Glosa, Zagreb-Rijeka 1997.
7. Siniša Vilke, Predavanje 3.**Urbani promet i okoliš,** Sveučilište u Rijeci

8. Donavan, P.R., L.M. Pierce, D.M. Lodico, J.L. Rochat, and H.S. Knauer (2013). NCHRP Report 738: **Evaluating Pavement Strategiesand Barriers for Noise Mitigation**. Transportation Research Boardofthe National Academies, Washington D.C.

9. Lajos Kisgyörgy, Csaba Tóth, András Geiger Modul elastičnosti asfalta s bitumenom

10. Paden, J.: „**Prometna politika Hrvatske***“*, Masmedia, Zagreb, 2003.
11. Padjen J.: „**Strategija razvoja mreže javnih cesta u Republici Hrvatskoj, Privredna kretanja i ekonomska politika***“*, Vol.8., No.68., 1998., str. 31-79.

12. PIARC (2013). **Quiet Pavement Technologies**. Report 2013R10EN. F.G. Practicòand M. Swanlund (eds.). World Road Association (PIARC), La Défense, France.

13. Praticò, Filippo & , Swanlund & Anfosso, Fabienne & George, Luc-Amaury & Tremblay, Guy & Tellez, Rodolfo & Kamiya, Keizo & del Cerro, Jose & Van der Zwan, Jan & Dimitri, Georges. (2013). **Quiet pavement technologies.** PIARC Publication.

14. Ruža F., Dvorski S.: „**Kvaliteta prometnog sustava kao jedan od čimbenika ulaganja inozemnog kapitala u hrvatsko gospodarstvo**“, Ekonomski pregled, Vol.53., No.5-6., 2002., str. 566-577.

15. Shafizadeh, K., F.Mannering, and L. Pierce (2002). **A Statistical Analysis of Factors Associated With Driver-Perceived Road Roughness on Urban Highways**. Report WA-RD 538.1. Washington State Transportation Center, University of Washington, Seattle, Washington.

16. Smit. A.de F (2008). Synthesisof NCAT Low-Noise HMA Studies. NCAT Report 08-01. National Center for Asphalt Technology, Auburn, University, Auburn, Alabama.

17. Wayson, R.L. (1998). NCHRP Synthesisof Highway Practice: **Relationship Between Pavement Surface Textureand Highway Traffic Noise**. TRB, National Research Council, Washington, D.C.

18. Zelenika R., Nikolić G.: „**Multimodalna ekologija- čimbenik djelotvornoga uključivanja hrvatske u europski prometni sustav***"*, Naše more, Vol.50., No.3-4., 2003., str. 137-144.
19. Zelenika R., Pupavac D.: „**Transport - čimbenik proboja začaranog kruga razvitka tranzicijskih zemalja***"*, Ekonomski pregled, Vol. 51., No. 9-10., 2000., str. 970-986.

20. Zelenika R.: „**Prometni sustavi- tehnologija, organizacija, ekonomika, logistika, menadžment**", Ekonomski fakultet u Rijeci, Rijeka, 2001.

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, OLIVER MAJIC *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Tihi asfalt *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

_____
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, OLIVER MAJIC *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom Tihi asfalt *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

_____
(vlastoručni potpis)