

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Bolčina, M., 2014. Nizkohrupne vozne površine. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M.): 75 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Bolčina, M., 2014. Nizkohrupne vozne površine. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M.): 75 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER

Kandidat:

MATJAŽ BOLČINA

NIZKOHRUPNE VOZNE POVRŠINE

Diplomska naloga št.: 3385/PS

LOW NOISE ROAD SURFACES

Graduation thesis No.: 3385/PS

Mentor:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Član komisije:

viš. pred. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 24. 04. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Matjaž Bolčina izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Nizkohrupne vozne površine«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Kovk, 9.4. 2014

Matjaž Bolčina

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.517:656.1(043.2)
Avtor:	Matjaž Bolčina
Mentor:	izr. prof. dr. Marijan Žura
Naslov:	Nizkohrupne vozne površine
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	75 str., 11 pregl., 49 sl., 4 pril.
Ključne besede:	Zmanjševanje hrupa, meritve hrupa, nizkohrupne vozne površine

Izвлеček

S hrupom se srečujemo vsepovsod. V večini primerov je hrup neprijeten zvok, ki ljudem povzroča številne težave, kot so motnje koncentracije, razdražljivost, motnje spanja, nenazadnje pa tudi številne zdravstvene težave. Najpogostejši je hrup katerega povzroča promet. Ukrepi proti prometnemu hrupu pa so v večini primerov gradnja protihrupnih ograj in zvočna izolacija stavb. Vendar pa oba ukrepa zmanjšujeta že nastali hrup, ne vplivata pa na njegov nastanek, obenem pa sta ukrepa tudi tehnološko in finančno zahtevna. Ukrep, ki prepreči nastanek prometnega hrupa je gradnja nizkohrupnih površin. V nalogi so opisane lastnosti vozniških površin, ki vplivajo na nastanek in razvoj hrupa med pnevmatiko in vozno površino, primerjava in značilnosti vozniških površin z vidika zmanjšanja hrupa, predstavljene so tudi najnovejše smernice pri izdelavi nizkohrupnih obrabnih plasti.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 628.517:656.1(043.2)
Author: Matjaž Bolčina
Supervisor: Assoc. Prof. Marijan Žura, Ph.D.
Title: Low-noise road surfaces
Document type: Graduation thesis – University studies
Scope and tools: 75 p., 11 tab., 49 fig., 4 ann.
Keywords: Decreasing road noise, noise measurements, low-noise road surfaces

Abstract

Noise is everywhere. Noise is a sound that makes people stressful and irritate. It often causes sleep disorders and also health problems like different cardiovascular disorders, hearing loss...In most cases traffic noise is the most disturbing. There are different ways to prevent people from traffic noise like building noise barriers and insulation of facades. However noise barriers and insulation of facades do not prevent noise formation, but are lowering existing noise. Another disadvantage is expensive construction of noise barriers and facade insulations. Way to prevent formation of noise is construction of low-noise road surfaces. In the paper we have presented different properties that effect on formation tyre – road noise, noise comparison of different surfaces and latest findings in building low-noise road surfaces.

ZAHVALA

Za nasvete in vodenje pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Marijanu Žuri. Zahvaljujem se tudi sodelavcem iz Cestnega podjetja Gorica, ki so mi posredovali veliko potrebnih podatkov in nasvetov.

Največja zahvala gre moji družini in dekletu Evi, vsi so mi v času študija in izdelave diplomske naloge vedno stali ob strani in mi nudili potrebno podporo in motivacijo.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	ZVOK	2
2.1	Zvok in njegovo širjenje	2
2.2	Ravni zvoka	4
2.2.1	Hitrost širjenja	4
2.2.2	Intenziteta in moč zvoka	5
2.2.3	Decibel	6
2.2.4	Več zvočnih izvirov	6
2.2.4.1	Seštevanje zvočnih ravni	6
2.2.4.2	Odštevanje zvočnih ravni.....	8
3	HRUP	9
3.1	Definicija hrupa	9
3.2	Vrste hrupa	9
3.2.1	Konstanten hrup	10
3.2.2	Občasen hrup	10
3.2.3	Impulzivni hrup	10
3.3	Širjenje hrupa	11
3.3.1	Vrste virov hrupa	12
3.3.1.1	Točkovni vir	12
3.3.1.2	Linijski vir	12
4	PROMETNI HRUP IN POVRŠINA CEST	13
4.1	Zakaj omejiti prometni hrup?	13
4.2	Nivoji prometnega hrupa in stopnje varstva pred hrupom	14
4.2.1	Nivoji hrupa.....	14
4.2.2	Stopnje varstva pred hrupom	15

4.3	Možni ukrepi za zmanjšanje prometnega hrupa	15
4.3.1	Raba prostora.....	15
4.3.2	Socialno-ekonomski ukrepi.....	16
4.3.3	Ukrepi na primarnih izvorih hrupa	16
4.3.4	Ukrepi upravljanja s prometom (prometna politika)	16
4.3.5	Pravni ukrepi.....	17
4.3.6	Ukrepi na (prometni) infrastrukturi.....	17
4.4	Mehanizmi nastanka hrupa med pnevmatiko in vozno površino.....	19
4.4.1	Mehanični procesi.....	19
4.3.1.1	Ogrodne vibracije	19
4.4.1.2	Radialne in tangencialne vibracije na pnevmatiki	20
4.4.2	Aerodinamični procesi	22
4.4.2.1	Resonančna luknja v kanalu pnevmatike	22
4.4.2.2	Črpanje zraka.....	22
4.4.3	Tornostni procesi	23
4.4.3.1	Zlepljanje – zdrs	23
4.4.3.2	Adhezija zlepljanja – odtrganja.....	24
4.4.4	Procesi prenašanja	24
4.4.4.1	Efekt roga	24
4.4.4.2	Absorpcija	25
5	METODE MERJENJA HRUPA IN STANDARDI	27
5.2	CPB meritve.....	27
5.3	SPB meritve	28
5.4	CPX metoda.....	28
5.5	Primerjava različnih metod meritev prometnega hrupa	30
5.6	Pomožne metode meritev	31
5.6.1	Tekstura vozne površine.....	31
5.6.2	Absorpcija zvoka	32
5.6.3	Meritve togosti vozne površine	33
5.7	Standardizacija.....	33
5.7.1	Metode merjenja hrupa.....	33

5.7.2	Pomožne metode.....	34
6	NIZKOHRUPNE VOZNE POVRŠINE	35
6.1	Vpliv teksture vozne površine	36
6.2	Izboljšava teksture vozne površine.....	38
6.2.1	Smolne prevleke	38
6.2.1.1	Vrste smolnih prevlek.....	39
6.2.1.2	Prednosti in slabosti.....	40
6.2.2	Prano-betonska podlaga.....	41
6.2.2.1	Lastnosti materialov in površine	43
6.2.2.2	Prednosti in slabosti prano betonske podlage	45
6.2.2.3	Rezultati raziskav hrupnosti.....	45
6.2.3	Žlebičenje v betonsko podlago.....	47
6.2.4	Tanke plasti	48
6.2.4.1	Osnovne lastnosti materialov	48
6.2.4.2	Prednosti in slabosti	49
6.3	Drobir z bitumenskim mastiksom	50
6.3.1	Osnovne lastnosti materialov	50
6.3.2	Prednosti in slabosti.....	51
6.3.3	Manj hrupni drobir z bitumenskim mastiksom (SMA LN)	52
6.3.3.1	Lastnosti materialov	52
6.3.3.2	Vgrajevanje.....	53
6.3.3.3	Prednosti in slabosti.....	53
6.4	Drenažne podlage	54
6.4.1	Drenažna asfalt betonska podlaga.....	54
6.4.1.1	Delitev asfalt betonskih drenažnih podlag	54
6.4.1.2	Osnovne lastnosti materialov	56
6.4.1.3	Prednosti in slabosti.....	58
6.4.1.4	Vzdrževanje in čiščenje asfaltnih betonskih drenažnih vozni površin	60
6.4.2	Drenažni cement beton.....	61
6.5	Prefabricirane podlage.....	62
6.6	Evfonične podlage	63

6.7	Elastične podlage.....	63
6.7.1	Asfalt z dodatkom gume	63
6.7.2	Elastične drenažne podlage.....	64
7	IZVEDBA POSKUSNEGA POLJA IZ NIZKOHROPNEGA ASFALTA PRI OBNOVI AC ODSEKA DIVAČA-KOZINA	67
7.1	Potek del	67
7.2	Podatki o poskusnem polju.....	68
7.3	Materiali in proizvodnja	68
7.4	Vgrajevanje in preiskave.....	69
7.5	Meritve	69
7.6	Rezultati	69
7.7	Stroški izvedbe poskusnih polj.....	71
7.8	Primerjava z izgradnjo protihrupne ograje.....	71
8	ZAKLJUČEK.....	72
VIRI	73

KAZALO SLIK

Slika 1: Ojačitve in oslabitve zvoka.	2
Slika 2: Valovanje tona ter zvena.	3
Slika 3: Valovanje šuma.	3
Slika 4: Seštevanje dveh zvočnih virov (Bruel&Kjaer).	7
Slika 5: Krivulja seštevanja dveh zvočnih virov (Bruel&Kjaer).	7
Slika 6: Krivulja odštevanja hrupa ozadja (Bruel&Kjaer).	8
Slika 7: Valovanja različnih vrst hrupa.	11
Slika 8: Porazdelitev glavnih virov hrupa.	14
Slika 9: Ogrodne vibracije pnevmatike okoli plašča in na zunanji strani kontaktne površine (Hribar, 2006).	20
Slika 10: Izolinije intenzitete zvoka kotaleče pnevmatike izmerjene v laboratoriju (Hribar, 2006).	20
Slika 11: Enostaven prikaz nastanka radialnih in tangencialnih vibracij na pnevmatiki (Hribar, 2006).	21
Slika 12: Nastanek radialnih vibracij ob stiku rebra pnevmatike s podlago (Hribar, 2006.). ...	21
Slika 13: Princip črpanja zraka (Hribar, 2006).	22
Slika 14: Zlepljanje – zdrs (Hribar, 2006).	24
Slika 15: Zlepljanje in odtrganje pnevmatike od podlage (Hribar, 2006).	24
Slika 16: Efekt roga (Hribar, 2006).	25
Slika 17: Shema merilne prikolice in postavitve mikrofona.	29
Slika 18: Primer merilne prikolice za izvajanje CPX meritev (vir: http://www.mplusp.eu/products/measuring-road-noise-go-comet-cpx , dne 21. 1. 2014).	30
Slika 19: Kundtova cev.	32
Slika 20: Primer različnih standardnih pnevmatik za izvajanje CPX meritev (Vir: FEHRL Report, 2006).	34
Slika 21: Amplituda in dolžina vala teksture vozne površine.	37
Slika 22: Razlika med mikro in makroteksturo.	37
Slika 23: Izboljšanje teksture s posipom.	39
Slika 24: Shema izdelave »GRIPROAD« površine.	40
Slika 25: Nivoji hrupa površine GRIPROAD.	41
Slika 26: Videz površine prano-betonske podlage.	41
Slika 27: Primer priključka za Unimog, s katerim se izvede krtačenje betona.	42
Slika 28: Stroj za izvedbo krtačenja površine (FEHRL Report 2006/02).	42

Slika 29: Primer gladilne plošče (FEHRL Report 2006/02).	43
Slika 30: Prerez betonske vozne površine na odstavnem pasu AC Vrhnika-Logatec (Mrzelj, 2010).	44
Slika 31: Graf hrupnosti prano betonske površine v odvisnosti od hitrosti.	46
Slika 32: CPX indeksi različnih vozni površin.	47
Slika 33: Diski za izvedbo žlebičenja.....	47
Slika 34: Videz žlebičenja vozne površine.....	48
Slika 35: Mejni krivulji za območje zmesi kamnitih zrn za SMA 11 in SMA 11 og (Henigman in sod., 2011).....	51
Slika 36: Diagram zrnivosti SMA 8 LN.	53
Slika 37: Vrhnja plast dvoslojne drenažne podlage deluje kot sito in ščiti votline v spodnji plasti.	55
Slika 38: Dvoplastni drenažni asfalt.	55
Slika 39: Mejni krivulji za območje zmesi kamnitih zrn za drenažni asfalt PA 8 (Henigman in sod., 2011).....	57
Slika 40: Mejni krivulji za območje zmesi kamnitih zrn za drenažni asfalt PA 11 (Henigman in sod., 2011).....	57
Slika 41: Primerjava pršenja iz nedrenažne (levo) in drenažne (desno) vozne površine.	58
Slika 42: Lepo viden prehod iz drenažne v nedrenažno podlago.	59
Slika 43: Zmanjšanje odboja svetlobe iz vozne površine (Takahashi, Partl, 2006).	59
Slika 44: Drenažna cement betonska površina.	61
Slika 45: Principi prefabriciranih nizko hrupnih vozni površin (Robert J. Bernhard, 2005). .	63
Slika 46: Primerjava hrupa iz asfalt betonske podlage in elastične drenažne podlage.	65
Slika 47: Primer vgradnje elastične drenažne podlage.....	65
Slika 48: Videz površin iz elastične drenažne podlage.....	66
Slika 49: Primerjava indeksov SPBI pri velikih hitrostih pri testnih obrabnih asfaltnih plasteh.	70

KAZALO TABEL

Tabela 1: Moč zvočnega valovanja glede na izvor zvoka	5
Tabela 2: Zmanjšanje hrupa pri različnih ukrepih prometne politike.	17
Tabela 3: Primerjava treh najpogostejših ukrepov za zmanjšanje hrupa iz cestnega prometa.	18
Tabela 4: : Korelacije za primerjavo rezultatov SPB in CPX meritev pri različnih merilnih napravah (empirično).	31
Tabela 5: Vpliv temperature in vrste podlage na zmanjšanje hrupa.	36
Tabela 6: Korekcijski faktorji vpliva vode na vozni površini na povečanje hrupa.....	36
Tabela 7: Nivoji hrupa iz cementnobetonskih vozni površin, izvedenih po metodi izpostavljenih zrn	46
Tabela 8: Nivo hrupa površine iz drobirja z bitumenskim mastiksom.....	52
Tabela 9: Mejne lastnosti za prostorske lastnosti vgrajenih zmesi drenažnega asfalta (TSC 06.418: 2011).....	56
Tabela 10: Nivoji hrupa drenažnih cementno betonskih vozni površin.....	62
Tabela 11: Indeksi SPBI pri katerih so upoštevana osebna in večosna težka vozila.	70

1 UVOD

Naše bivalno okolje je vedno bolj prometno onesnaženo. Narašča število prometnic, s katerih se širita tako onesnaženost zaradi izpušnih plinov kot tudi onesnaženost s hrupom, ki ga povzročajo vozila. Kljub manjši emisiji hrupa, ki ga povzročajo novejša vozila, pa se prometni hrup zaradi naraščanja števila in hitrosti prometa vseskozi povečuje. Hrup je postal ena izmed najpogostejših oblik onesnaženosti, saj se z njim srečujemo vsepovsod. Ima velik vpliv na bivanje doma, v službi in drugje. Onesnaženost s hrupom na dolgi rok povzroča človeku številne nevšečnosti, kot so stres, motnje spanja in zdravstvene težave.

Najpogostejši načini zmanjševanja prometnega hrupa so gradnja protihrupnih ograj ter izolacija fasad. Oba ukrepa sta sicer v določeni meri učinkovita, vendar sta običajno zelo draga, izgradnja pa je tehnološko zelo zahtevna. Težava omenjenih ukrepov je tudi v tem, da zgolj ublažijo že nastali hrup, ne vplivajo pa na njegov izvor. Rešitev za preprečevanje nastanka prometnega hrupa pri samem izvoru pa je lahko gradnja nizkohrupnih vozniških površin. Da bi sprejeli ustrezno rešitev v boju s hrupom, moramo najprej dobro spoznati njegov nastanek in širjenje.

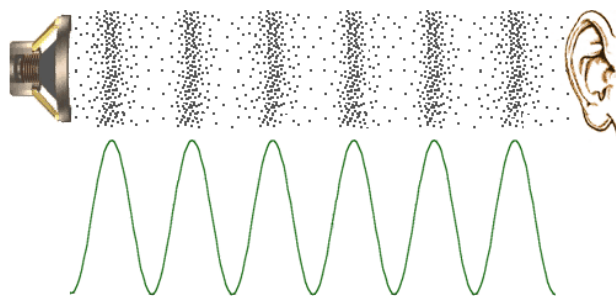
Vsaka vozna površina ima določene lastnosti, ki v veliki meri vplivajo na njeno hrupnost. Te lastnosti so togost, poroznost, hrapavost, stanje vozne površine ... S kombiniranjem teh lastnosti dobimo vozne površine, ki omogočajo večje ali manjše znižanje hrupa. Poznati je treba tudi mehanizme nastanka hrupa med pnevmatiko in vozno površino, saj lahko le z dobrim poznavanjem teh mehanizmov učinkovito načrtujemo manj hrupne vozne površine.

Preden lahko govorimo o nizkohrupni vozni površini, je potrebno preveriti, kakšni nivoji hrupa se ustvarijo z vožnjo vozil po njej. To preverimo z izgradnjo testnih polj, kjer z različnimi metodami meritev hrupa ovrednotimo povzročene nivoje le-tega. S primerjavo nivojev hrupa, povzročenih iz testnih polj in običajnih vozniških površin, ugotovimo uspešnost ukrepov, preizkušenih pri načrtovanju testnih polj in na podlagi rezultatov lahko površino označimo za nizkohrupno.

2 ZVOK

2.1 Zvok in njegovo širjenje

Vsi, ki imamo normalno razvit sluh, se vsakodnevno srečujemo z najrazličnejšimi vrstami zvoka, ker pa je zvok vseskozi prisoten temu ne pripisujemo velike pozornosti. Zvok definiramo kot valovanje, ki se lahko širi vzdolžno (longitudinalno) ali prečno (transverzalno). V kapljevinah in plinih zvok vzdolžno valovi, zato je tako valovanje tudi največkrat obravnavano. V trdninah pa je možno izzvati tudi prečno zvočno valovanje. Širjenje zvoka po zraku bi lahko opisali kot motnjo, ki povzroča zgoščine (ojačitve) in razredčine (oslabitve) zraka in potuje od izvora navzven. Ko zvočno valovanje pride do ušes, se pretvori v živčne signale, ki jih možgani procesirajo kot zvok. S študijami zvoka in njegovim širjenjem se ukvarja posebna veda, ki jo imenujemo akustika. Za osnovno poznavanje zvoka in njegovega širjenja moramo poznati njegovo hitrost, valovno dolžino in frekvenco.



Slika 1: Ojačitve in oslabitve zvoka.

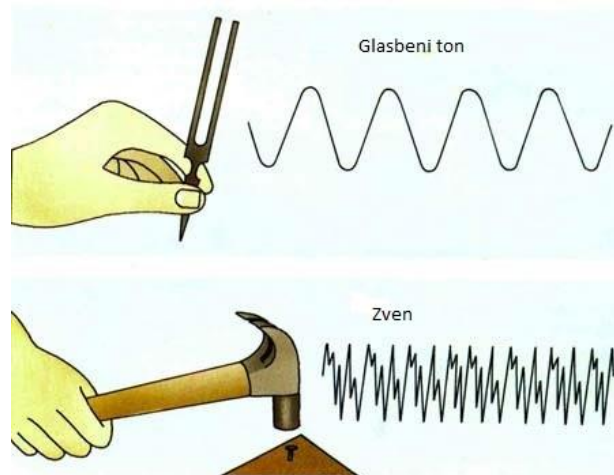
Valovna dolžina, ki jo označimo z oznako λ , je razdalja med dvema ojačitvama ali oslabitvama. Človeško uho je še sposobno zaznati zvok z valovno dolžino od 2 cm do 20 m.

Frekvenca z oznako γ nam pove, kolikokrat motnja zaniha v časovni enoti (običajno sekundi). Merska enota za frekvenco je Hertz (Hz oz. s^{-1}). Zvok, ki ga lahko slišimo, ima frekvence od 16 do 20.000 Hz. Valovanje s frekvenco nad 20.000 Hz imenujemo ultrazvok, valovanje s frekvenco pod 16 Hz pa označimo kot infrazvok. Ker ima infrazvok zelo nizko frekvenco, se lahko širi zelo daleč, saj se v zraku le malo absorbira.

Zmnožek valovne dolžine in frekvence valovanja pomeni hitrost valovanja zvoka. Hitrost zvoka je v običajnih pogojih (suho, 20 °C) 344 m/s, kar ni veliko, zato se pojavijo zakasnitve zvoka pri prenosu zvočnega valovanja na daljše razdalje. Hitrost zvoka je odvisna od različnih dejavnikov, kot so temperatura, vrsta medija, vlažnost ... Pri višjih temperaturah se

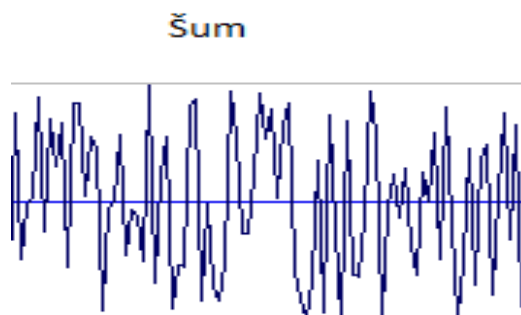
molekule hitreje gibljejo, kar ima za posledico večjo hitrost zvoka. V povprečju se pri zvišanju temperature za 1 °C hitrost zvoka poveča za 0,6 m/s. Hitrost zvoka v heliju pa je skoraj 1000 m/s, v ogljikovem dioksidu pa zgolj 270 m/s. Še hitreje, kot v plinih pa se zvok širi v kapljevinah in trdnih snoveh. Hitrost zvoka v vodi je 1500 m/s, v jeklu pa kar 6000 m/s.

Zvoke lahko razdelimo na šume, zvone in tone. Fizikalni ton je za uho neprijeten, saj povzroča v ušesu le nihanja v ozkem frekvenčnem območju in na enem mestu, zato večina detektorskih laskov v ušesnem polžu ne sodeluje pri detekciji zvoka. Za človeško uho so prijetnejši glasbeni toni in zveni. Ti zvoki so bolj frekvenčno razgibani, sestavljajo jih različne frekvence, ki so mnogokratniki osnovne frekvence.



Slika 2: Valovanje tona ter zvena.

Tretja vrsta zvoka je šum. Valovanje šuma je sestavljeno iz različnih frekvenc, ki pa niso v lepem sorazmerju (niso mnogokratniki osnovne frekvence). Ker časovni graf šuma ni periodična funkcija, ne moremo določiti nihajnega časa in osnovne frekvence takega zvoka.



Slika 3: Valovanje šuma.

Kot za vsa ostala valovanja so tudi za zvok značilni valovni pojavi. Prvi takšen pojav je interferenca zvoka. Interferenca se pojavi pri zvoku, ki ga oddajata dva medsebojno odvisna izvora (enake frekvence) in z enakomernim faznim zamikom. Tako pride do ojačitev in oslabitev, saj se valovanji seštevata in odštevata. Interferenca pa se lahko pojavi tudi pri enem samem valovanju. Pri tem gre za odboj valovanja od neke ovire. Pri tem nastane stoječe valovanje. Do ojačitev in oslabitev valovanja pride zaradi seštevanja in odštevanja valovanja, ki ga povzroča izvor valovanja ter odbito valovanje. Poseben pojav je tudi Dopplerjev pojav in je značilen izključno za zvočno valovanje. Dopplerjev pojav je pojav, kjer zaradi gibanja vira, opazovalca ali obeh nastane navidezna razlika v valovni dolžini zvoka. Kadar se izvor valovanja giblje, opazovalec zazna valovanje s spremenjeno frekvenco, ki je odvisna od hitrosti izvora glede na sprejemnik. Ko se izvor približuje, je frekvenca večja, ko se oddaljuje, pa manjša. Pojav je mogoče zaznati, kadar poslušamo prižgano sireno na vozečem vozilu na nujni vožnji. Vsako valovanje ima neko energijo, zato tudi zvok ni izjema. Glede na gostoto energijskega toka merimo glasnost zvoka, enota je decibel (dB). Značilen primer je tudi resonanca, kjer vsiljujemo nihanje s frekvenco blizu lastne frekvence, kar povzroči večanje amplitude.

2.2 Ravni zvoka

2.2.1 Hitrost širjenja

Kot je bilo že omenjeno, je hitrost zvoka odvisna od medija, po katerem zvok potuje ter od temperature. Hitrost zvoka, s katero se zvočni valovi širijo skozi tekočino ali trdno telo izračunamo po enačbi:

$$c = \sqrt{\frac{E}{\rho}}$$

V enačbi nastopajo:

c ... hitrost širjenja zvoka

E ... Youngov elastični modul

ρ ... gostota medija

Enačba za širjenje skozi plin pa ima naslednjo obliko:

$$c = \sqrt{\frac{\gamma * p}{\rho}}$$

Novi simboli pomenijo:

p ... zračni tlak

γ ... izentropski koeficient (1,4 za zrak)

Ker vemo, da je hitrost širjenja odvisna tudi od temperature, je potrebno zapisati tudi:

$c = 20,05 * \sqrt{K}$, kjer K predstavlja temperaturo zraka v stopinjah kelvina.

2.2.2 Intenziteta in moč zvoka

S širjenjem zvočnih valov se v prostoru energija prenaša preko elastičnega medija.

Energijski tok, ki prepotuje skozi enoto površine v enoti časa, imenujemo intenziteta zvoka (I). Ker vemo, da je energija na enoto časa enaka moči (P), lahko povežemo intenziteto in moč:

$I = \frac{P}{A}$, kjer A podaja površino valov.

Če imamo točkovni izvor zvoka, velja, da se intenziteta zvoka inverzno zmanjšuje s kvadratom razdalje od izvora.

Zvok	Moč zvoka (W)
Komaj še slišen zvok	10^{-12}
Dihanje	10^{-11}
Običajen pogovor	$7 * 10^{-6}$
Povečan promet	10^{-5}
Boben	10
Diskoteka	50–100

Tabela 1: Moč zvočnega valovanja glede na izvor zvoka.

Človeško uho je torej sposobno zaznave zvoka v velikih razponih moči. Prav zaradi tako velikega razpona glasnosti zvoka ne merimo v vatih, ampak uporabljamo decibele dB, ki so podani v logaritemskem merilu.

2.2.3 Decibel

Količino, ki izraža nivo jakosti zvoka, nivo zvočne intenzitete in nivo zvočnega pritiska imenujemo decibel (dB). Decibel se je začel uporabljati zaradi prevelikega razpona intenzitet, zato se je za praktično uporabo začel uporabljati logaritemski način izražanja. Tako so razponi veliko manjši. Ugotovljeno je tudi, da takšen sistem ustreza načinu registriranja zvoka s sluhom.

Logaritemsko razmerje dveh moči se izraža v belih (B), zaradi praktičnosti pa je sprejeta desetkrat manjša enota decibel (dB). Izrazimo ga lahko:

$$L = 20 \log \frac{p_1}{p_2}$$

Decibel je relativna mera, saj predstavlja razmerje med dvema tlakoma. Da bi lahko podali jakost zvoka, moramo poznati referenčni tlak p_2 . Le-ta je določen na osnovi praga slišnosti in znaša $2 \cdot 10^{-5}$ Pa (velja za čist ton s frekvenco 1000 Hz). Najšibkejši s človeškim ušesom še slišen zvok je velikosti 1 dB, meja bolečine pa je 120 dB. Velja tudi, da je 1 dB najmanjša sprememba zvoka, ki jo je človeško uho še sposobno zaznati.

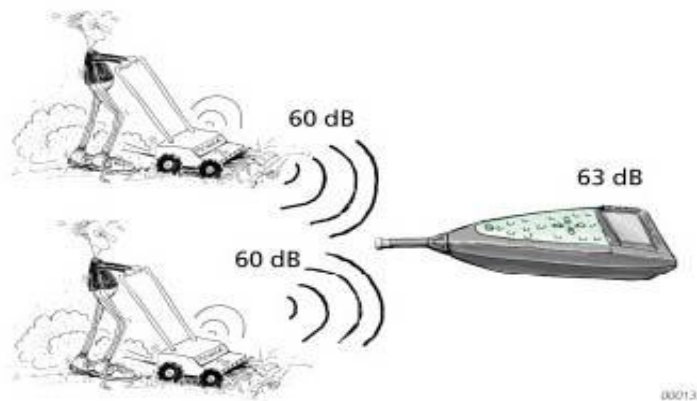
Problem predstavlja dejstvo, da človeško uho sliši zvoke enakih intenzitet, toda različnih frekvenc različno glasno. Zato je treba pri merjenju nivoja jakosti uporabiti frekvenčne filtre, ki izmerjeni signal spremenijo na podoben način, kot človeško uho. Za merjenje nivoja glasnosti zvoka, ki se ujema z zaznavo človeškega ušesa, je tako treba uporabiti A filter. Zato se za zvok, katerega jakost zaznavamo z ušesom, uporablja enota dB(A).

2.2.4 Več zvočnih izvirov

2.2.4.1 Seštevanje zvočnih ravni

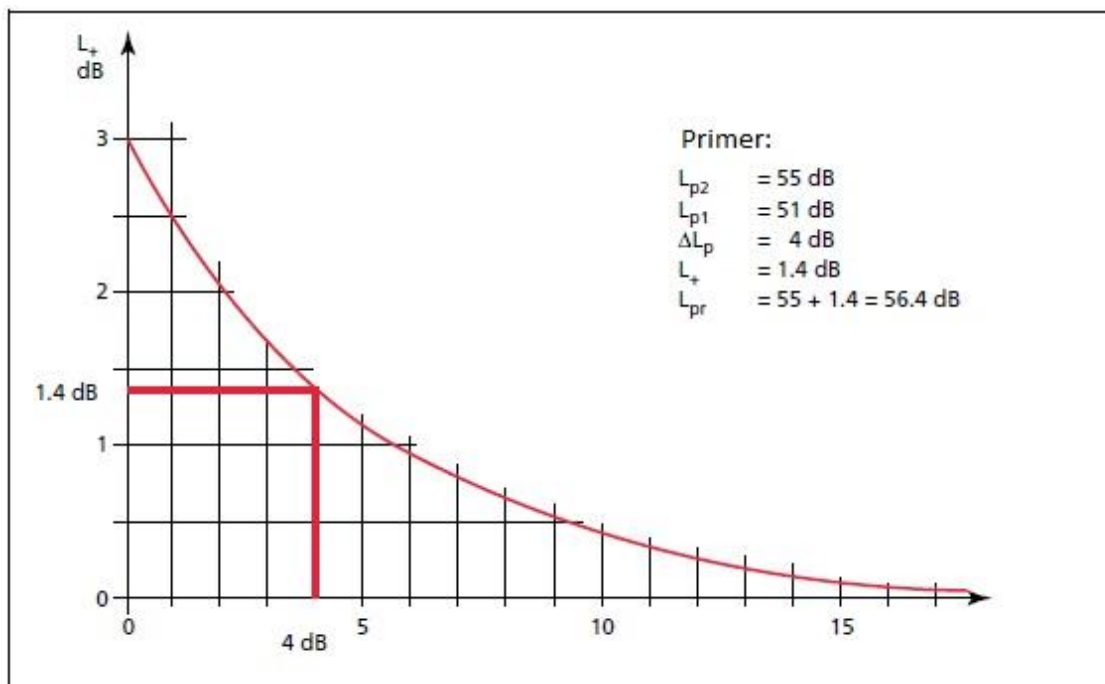
Ko imamo dva zvočna izvora, se energija valovanja sešteva. Če enemu zvočnemu izvoru dodamo nov zvočni izvor s popolnoma enako močjo, se intenziteta zvoka podvoji, nivo intenzitete pa ne. Kot vemo, je nivo intenzitete (decibel) logaritemsko dobljena vrednost, zato navadno seštevanje ni ustrezno. Prvi način seštevanja decibelov je, da posamezne vrednosti najprej pretvorimo v linearne vrednosti, jih seštejemo in ponovno logaritmiramo:

$$L_{p_skupni} = 10 \cdot \log (10^{(L_{p1}/10)} + 10^{(L_{p2}/10)} + \dots + 10^{(L_{pn}/10)})$$



Slika 4: Seštevanje dveh zvočnih virov (Bruel&Kjaer).

Pri drugem načinu seštevanja si namesto z računanjem lahko pomagamo s krivuljo, s katere odčitamo posamezne vrednosti in jih seštejemo.



Slika 5: Krivulja seštevanja dveh zvočnih virov (Bruel&Kjaer).

Postopek določitve je naslednji:

- i. Izmerimo nivo intenzitete zvoka posameznega vira (L_{p1} , L_{p2}).
- ii. Določimo razliko (ΔL) med izmerjenima vrednostma ($L_{p2} - L_{p1}$).
- iii. Razliko poiščemo na x – osi zgornjega grafa, nato se pomaknemo navpično navzgor, kjer se navpičnica seka s krivuljo, odčitamo vrednost na y – osi.

- iv. Odčitano vrednost na y – osi prištejemo k intenziteti zvoka glasnejšega vira (L_{p2}), rezultat je vsota nivojev intenzitet dveh zvočnih virov.
- v. Kadar imamo več kot dva zvočna vira, zgornje korake ponavljamo, le da drugič uporabimo za seštevek nov vir in v prejšnjem koraku dobljeno vrednost.

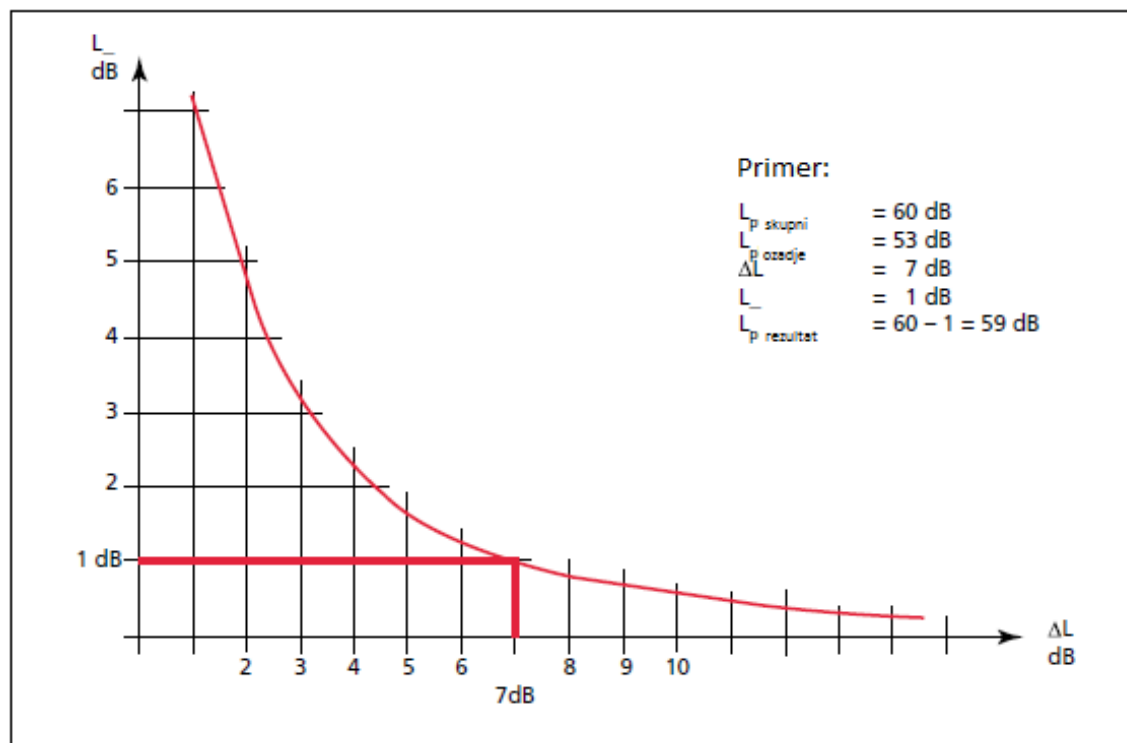
Ko pa imamo dva ločena vira z enako jakostjo ($\Delta L = 0$), se nivo intenzitete zvoka poveča za 3 dB(A), kar je tudi razvidno iz zgornjega grafa. V primeru, ko je razlika med dvema izmerjenima vrednostma več kot 10 dB(A), lahko nižjo izmerjeno vrednost zanemarimo, jakost je tako enaka glasnejšemu viru.

2.2.4.2 Odštevanje zvočnih ravni

V praksi je treba običajno določiti zgolj jakost zvoka posameznega vira, zato moramo iz celotne izmerjene vrednosti zvoka (L_{p_skupni}) odšteti hrup ostalih virov (ozadja L_{p_ozadje}):

$$L_{p_rezultat} = 10 \cdot \log (10^{(L_{p_skupni}/10)} + 10^{(L_{p_ozadje}/10)})$$

Prav tako kot pri seštevanju pa lahko namesto matematičnega izraza uporabimo spodnjo krivuljo. Pozorni moramo biti, da je razlika ΔL večja od 3 dB(A), saj je v nasprotnem primeru nivo intenzitete hrupa ozadja previsok za natančno meritev. V primeru, da je razlika ΔL večja kot 10 dB, lahko hrup ozadja zanemarimo.



Slika 6: Krivulja odštevanja hrupa ozadja (Bruel&Kjaer).

3 HRUP

3.1 Definicija hrupa

S hrupom označujemo zvok, ki je zaradi svoje oblike, časa trajanja in višine moteč in zato nezaželen. Ker človeško uho pri istem nivoju hrupa zaznava nizke frekvence drugače od visokih, so visoke frekvence pri istem nivoju bolj moteče.

Hrup je torej vsak zvok, ki je neprijeten, človeku onemogoča skoncentriranost pri delu, moti počitek, je tudi zvok, ki lahko škoduje človekovemu zdravju in počutju. Vsak lahko dojema zvok drugače, zato ne moremo govoriti o enoličnem merilu za hrup, saj je dožemanje le-tega precej subjektivno. Primer je poslušanje glasne glasbe, ki je nekomu všeč, drugi pa le-to imenuje za precej neprijeten in moteč hrup. Hrup kot mehansko valovanje prizadene veliko število ljudi. Dolgotrajna izpostavljenost glasnim zvokom povzroča začasno ali celo trajno izgubo sluha. Moteči učinki se pojavijo že pri jakosti nad 50 dB(A). Najpogostejši viri hrupa na urbanih področjih so cestni in železniški promet, industrija ... Škodljiv hrup je tisti, pri katerem dnevna ali tedenska izpostavljenost presega 85 dB(A). Poleg hrupa v zunanjem okolju je pomemben tudi hrup v notranjih prostorih. Le-ta v notranjih prostorih po priporočilih Svetovne zdravstvene organizacije (WHO) ne sme presegati 30 dB(A), saj človek v povprečju skoraj 90 % časa preživi v zaprtih prostorih. Varstvo pred hrupom postaja v urbanih okoljih vse pomembnejše, saj se vse večji del mestnega prebivalstva in prebivalstva na obrobju zaradi stalne izpostavljenosti različnim nezaželenim zvokom počuti ogroženega.

3.2 Vrste hrupa

Doma in na delovnem mestu smo pogosto izpostavljeni hrupu, ki ga povzročajo različne naprave, kot so klimatske naprave in naprave za prezračevanje ali ogrevanje. Takšen hrup je komaj zaznaven in nemoteč, saj ne vsebuje poudarjenih tonov. Razlog za to je neprekinjeno in enakomerno delovanje, na katerega se človeško uho »navadi«. Na prisotnost hrupa postanemo pozorni, ko vir preneha ali se v njem pojavi poudarjen – dominanten ton, takrat hrup zaznamo kot motnjo. Značilnost našega sluha je prepoznavanje informacij v zvoku, ki ga zaznamo. Zvočne informacije, ki jih ne potrebujemo in so odveč, označimo kot hrup. Značilnost zvoka, ki nas pripravi do poslušanja in vzbudi našo pozornost pa so toni ali spremembe v ravni zvoka. Bolj, kot so toni izraziti ali sprememba nenadna, bolj je hrup opazen.

Ob merjenju hrupa je treba vedeti, s kakšno vrsto hrupa imamo opravka, da lahko določimo parametre za meritev, izberemo pravo opremo in primeren čas trajanja meritve.

3.2.1 Konstanten hrup

Konstanten (stalen) hrup najpogosteje povzročajo delovni stroji, klimatske in prezračevalne naprave, ventilatorji, črpalke ... Naprave, ki povzročajo stalen hrup, delujejo neprekinjeno in enakomerno. Za določitev ravni takega hrupa je običajno dovolj že nekaj minutna meritev z ročnim merilnikom hrupa, v primerih, ko je prisotnost poudarjenih tonov očitna oziroma hrup vsebuje nizke tone, je treba opraviti tudi frekvenčno analizo. Frekvenčni spekter, ki ga dobimo iz frekvenčne analize, je v veliko pomoč pri kasnejši analizi lastnosti vira, izdelavi poročila in sanaciji vira.

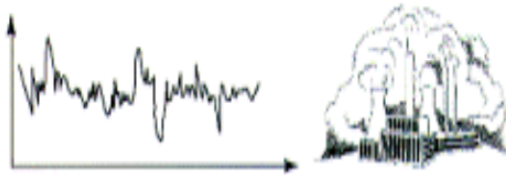
3.2.2 Občasen hrup

Občasen hrup je posledica virov hrupa, ki delujejo ciklično. Takšen hrup je prelet letala, vožnja reševalnega vozila, vlak ... Skupna lastnost takšnih virov je hitro povečanje in hitro zmanjšanje ravni hrupa. Merjenje občasnega hrupa poteka na podoben način kot merjenje stalnega hrupa, le da je tu treba zabeležiti še čas trajanja posameznega dogodka. Dogodek predstavlja prelet letala, zvok sirene reševalnega vozila ... Da bi izmerili hrup dogodka, kot parameter meritve uporabimo raven izpostavljenosti hrupu (SEL), ki združuje čas trajanja dogodka in nivo hrupa v eno vrednost. Namesto SEL lahko uporabimo tudi najvišjo RMS raven zvočnega tlaka L_{max} . Za regularno oceno povprečne vrednosti je treba opraviti večje število ponovitev podobnega dogodka.

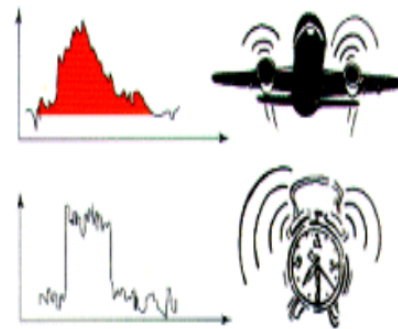
3.2.3 Impulzivni hrup

Impulzivni hrup je posledica močnih udarcev ali eksplozij. Dogodki, ki označujejo impulzivni hrup, so eksplozija bombe, petarde, strel iz puške, padec težkega bremena iz velike višine na tla, prometna nesreča ... Tovrstni hrup ima kratek čas trajanja, začetek delovanja hrupa pa je nenaden. Njegov učinek je največkrat veliko bolj moteč, kot bi to pričakovali glede na izmerjen nivo takšnega hrupa. Eden izmed načinov določitve impulzivnega karakterja hrupa je lahko razlika nivojev hrupa, izmerjenih z dinamiko hitro in počasi. Pomemben podatek za vrednotenje impulznega hrupa je število ponovitev v časovni enoti (sekunda, ura, dan), kar je prav tako treba zabeležiti.

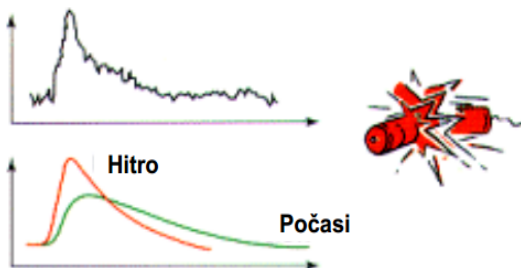
Konstantni hrup



Hrup z daljšimi presledki



Impulzivni hrup



Slika 7: Valovanja različnih vrst hrupa.

3.3 Širjenje hrupa

Ko želimo ovrednotiti glasnost nekega hrupa, se je treba zavedati, da je rezultat odvisen od različnih dejavnikov, kot so oddaljenost od vira, morebitne vmesne ovire, veter ... Rezultati meritev se lahko zaradi različnih dejavnikov med seboj razlikujejo tudi za 10 dB(A) ali več, čeprav vir ostane nespremenjen. Da bi razumeli, zakaj pride do odstopanj, moramo upoštevati širjenje hrupa po zraku in način, kako zvok potuje do sprejemnika (emisijske točke).

Najpomembnejši dejavniki, ki vplivajo na širjenje hrupa, so:

- Oddaljenost vira
- Ovire (protihrupne ograje, zgradbe ...)
- Vrsta vira (točkovni, linijski)
- Vremenski pogoji (veter, vlaga, temperatura)
- Odboji

Pri pridobivanju reprezentativnega rezultata je treba upoštevati vse dejavnike, ki lahko vplivajo na širjenje hrupa. V kolikšni meri in na kakšen način bomo posamezen dejavnik upoštevali, je odvisno od predpisov in standardov, ki jih uporabljamo pri vrednotenju hrupa.

3.3.1 Vrste virov hrupa

3.3.1.1 Točkovni vir

Ko so dimenzije vira majhne v primerjavi z razdaljo do poslušalca, vir obravnavamo kot točkovni. Točkovni viri so na primer eksplozija bombe, sirena, zvok ventilatorja. Zvočna energija se v takem primeru širi v vse smeri enakomerno in s tem je raven zvočnega tlaka na isti oddaljenosti iz katerekoli smeri enaka. Ob dvakrat večji razdalji od vira, se raven zvočnega tlaka zmanjša za 6 dB(A) (zanemarimo dušenje zraka in tal).

Za točkovni zvočni vir z ravno zvočne moči L_t , ki je tik nad tlemi, lahko raven zvočnega tlaka L_r izračunamo po naslednji enačbi:

$$L_r = L_t - 20 \cdot \log(r) - 8 \text{ dB(A)}$$

3.3.1.2 Linijski vir

Pri linijskem zvočnem viru je širina vira majhna v primerjavi z njegovo dolžino, prav tako pa je širina vira majhna v primerjavi z razdaljo do imisijske točke. Linijski vir je lahko deroča reka, kolona avtomobilov, železnica ...

Raven zvoka se širi v prostor cilindrično, zato je nivo zvoka enak na vseh točkah, ki imajo isto razdaljo od linije. Ob podvojitvi razdalje se je tako raven zvočnega tlaka zmanjšala za 3 dB(A), če zanemarimo dušenje v zraku in v tleh. Za zvočni vir z močjo/meter (L_l/m), je raven zvočnega tlaka L_r pri razdalji r :

$$L_r = L_l - 10 \cdot \log(r) - 5 \text{ dB(A)}$$

4 PROMETNI HRUP IN POVRŠINA CEST

4.1 Zakaj omejiti prometni hrup?

Po podatkih svetovne zdravstvene organizacije (WHO) ima hrup širok vpliv na zdravje človeka in drugih živih bitij. Hrup vpliva na:

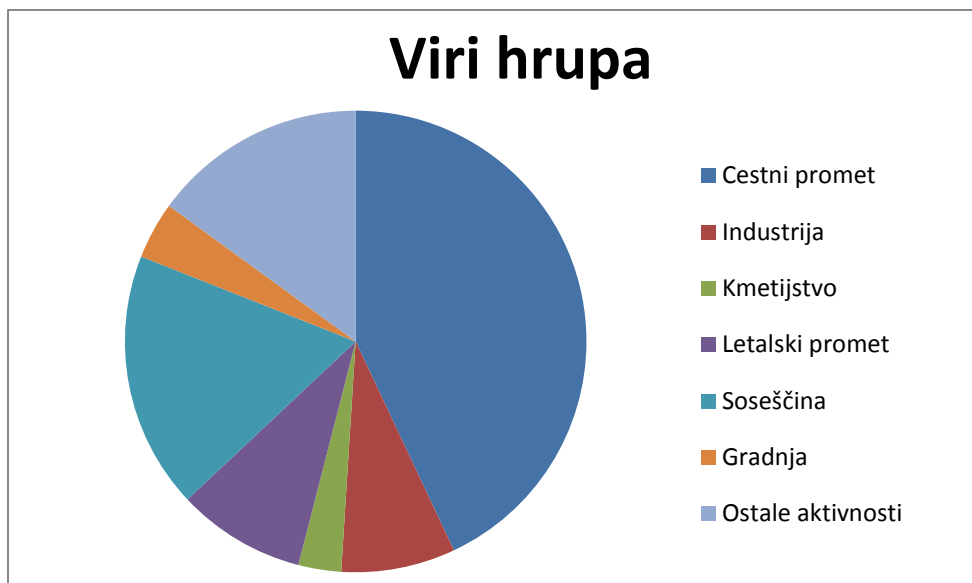
- Razdražljivost
- Storilnost na delu in v izobraževalnih procesih
- Neposredno na srce in ožilje
- Motnje spanja in s tem povezane težave na kratki in dolgi rok
- Oslabitev hrupa in »zvonjenje« v ušesih
- Motnje v socialnem obnašanju (agresivnost, živčnost, hitra razdražljivost)
- Delovanje hormonov ter posledično na metabolizem in imunski sistem

Ocenjeno je, da je samo v Evropski uniji (EU) izpostavljenih preko 90 milijonov ljudi različnim stopnjam hrupa, ki povzročajo zgoraj omenjene težave. Več kot 180 milijonov ljudi živi na tako imenovanih »sivih območjih«, kjer hrup že povzroča neprijetno motnjo. Vseskozi prisotna motnja, ki jo povzroča onesnaženost okolja s hrupom, ima največji vpliv na zdravje in počutje ljudi. Motnje spanja lahko štejemo kot drugo najpomembnejšo negativno posledico hrupa. Zadnje raziskave so pokazale, da hrup z jakostjo več kot 60 dB(A) že lahko vpliva na bolezni srca in ožilja.

Okoljski hrup pa nima vpliva zgolj na zdravje ljudi in drugih živih bitij, temveč tudi na ekonomijo. Ugotovljeno je, da posledice hrupa vplivajo na bruto domači proizvod (BDP) v velikosti od 0,2 do celo 2 %. Evropska unija (EU) je tako na letni ravni zaradi hrupa oškodovana za okrog 12 milijard evrov.

Hrup lahko nastaja iz najrazličnejših virov, vendar ima pri tem hrup, ki ga povzroča transport, posebej hrup iz prometnih virov (cest), zdaleč najpomembnejšo vlogo.

Naslednja slika prikazuje porazdelitev glavnih virov hrupa znotraj Evropske unije po študiji iz leta 2008.



Slika 8: Porazdelitev glavnih virov hrupa.

Po tej študiji je več kot 40 % ljudi izpostavljenih hrupu cestnega prometa. Če primerjamo stopnjo izpostavljenosti tega hrupa v daljšem časovnem obdobju, hitro ugotovimo, da se hrup iz cestnega prometa vseskozi povečuje, kar je seveda posledica naraščanja prometa. Samo v zadnjih desetih letih se je stopnja hrupa iz cestnega prometa povečala za skoraj 10 %, medtem ko je hrup iz ostalih virov ostal na enaki ravni oziroma se je pri določenih dejavnostih (izvorih) celo zmanjšal.

4.2 Nivoji prometnega hrupa in stopnje varstva pred hrupom

4.2.1 Nivoji hrupa

Ločimo emisije in imisije prometnega hrupa. Pri emisiji govorimo o nivojih hrupa na izvoru, pri imisijah pa o nivoju hrupa v prostoru, ki jih zazna poslušalec ali sprejemnik. Nivo hrupa se običajno opisuje s srednjim ali ekvivalentnim nivojem L_{eq} .

$$L_{eq} = 10 \log \frac{1}{T} \int_0^T 10^{0,1L(t)} dt$$

Podvojitvev časa delovanja pomeni povečanje nivoja hrupa za 3 dB(A). Podvojitvev prometa pomeni povečanje nivoja hrupa za 3 dB(A), pri tem ni pomembno ali se število vozil poveča iz 10 na 20 ali iz 5.000 na 10.000.

Hrup, ki nastane iz motornega prometa, se lahko poleg ekvivalentnega hrupa opiše tudi z drugimi nivoji hrupa, kot so L_1 , L_5 , L_{50} , L_{90} , L_{95} , L_{99} .

- L_1 , L_5 , L_{10} predstavljajo vrednosti nivojev hrupa, ki so presežene v 1, 5 in 10 % meritev hrupa.
- L_{50} je nivo, presežen v polovici delovanja hrupa (L_{eq} običajno leži navadno nad L_{50}).
- L_{90} , L_{95} , L_{99} nivoji hrupa, ki so bili preseženi v 90, 95 in 99 % merjenja hrupa. L_{99} velja tudi za nivo ozadja.

4.2.2 Stopnje varstva pred hrupom

Naše naravno in življenjsko okolje je po določenih zakonodaje glede na stopnjo varstva pred hrupom razdeljeno v 4 skupine, ki so določene glede na občutljivost posameznega območja naravnega in življenjskega okolja za hrup. Na podlagi te klasifikacije izhaja določitev, kolikšna je dovoljena raven hrupa na posameznem območju, kakšna je dejanska celotna obremenitev območja s hrupom oziroma kdaj vir hrupa povzroča čezmerno obremenitev okolja s hrupom.

- I. stopnja varstva pred hrupom so območja nacionalnih parkov, naravnih rezervatov ...
- II. stopnja varstva pred hrupom – zdravstvena oziroma bolnišnična okolja, turistični objekti, območja čiste stanovanjske gradnje
- III. stopnja varstva pred hrupom so urbana okolja, območja splošne stanovanjske gradnje, trgovine
- V IV. stopnjo varstva pred hrupom spadajo območja nakupovalnih centrov, industrijske cone ...
- V IV. coni že samo območje proizvaja hrup

4.3 Možni ukrepi za zmanjšanje prometnega hrupa

Poznamo več vrst ukrepov, s katerimi lahko zmanjšamo, ali vsaj omilimo stopnjo prometnega hrupa v našem ožjem okolju. V nadaljevanju so predstavljeni najpogostejši ukrepi, s katerimi omejemo prometni hrup.

4.3.1 Raba prostora

Že pri snovanju novih naselij in prometnic lahko odločilno vplivamo na stopnjo izpostavljenosti hrupa v prihodnosti na način, ki je velikokrat tudi najugodnejši s finančnega vidika. Na žalost se ta vidik snovanja uporablja šele zadnja desetletja, zato je po svetu

ogromno naselij, ki so zaradi neupoštevanja hrupa pri snovanju v preteklosti danes močno izpostavljena onesnaženosti s hrupom. Za ta mesta je nujno potrebno poiskati nove ukrepe za reševanje tega problema.

4.3.2 Socialno-ekonomski ukrepi

Ti ukrepi zajemajo ozaveščanje javnosti o problemu hrupa v okolju, o izobraževanju in o sprejemanju drugih ukrepov, kot so različne subvencije, ki spodbujajo razvoj manj hrupnega okolja. Ti ukrepi so lahko tudi posledica drugih ukrepov, kot so na primer ukrepi za zmanjšanje onesnaženosti zraka, prometne varnosti ipd. Izkaže se lahko, da imajo tudi ti ukrepi pozitiven učinek na zmanjšanje hrupa iz prometa.

4.3.3 Ukrepi na primarnih izvorih hrupa

Že sam primarni izvor hrupa ima lahko različne lastnosti, zaradi katerih nastaja hrup. Zavedati se je treba, da imajo različna vozila različne karakteristike in zato različne izvore hrupa. Tipični izvori hrupa pri vozilih so:

- Zvok pnevmatike
- Zvok iz izpušnega lonca
- Aerodinamika vozila
- Zvok motorja

Ti ukrepi za zmanjšanje hrupa imajo lahko povezavo med pravnimi (največji dovoljeni zvok iz izpušnega lonca) in infrastrukturnimi ukrepi (obnašanje pnevmatike in podlage ...)

4.3.4 Ukrepi upravljanja s prometom (prometna politika)

Na hrup, ki ga proizvaja cestni promet, lahko vplivamo s hitrostjo prometnega toka. Ena izmed možnosti je omejitev hitrosti vozil, s katero je mogoče zmanjšati nivo hrupa (za primer lahko vzamemo Avstrijo, kjer je v okolici večjih mest hitrost tovornega prometa na avtocestah od 22. do 6. ure zjutraj omejena na 60 km/h). Druga možnost je prometni tok voditi tako, da je čim manj ustavljanj in pospeševanj vozil (prometno odvisno krmiljenje, ki semaforje krmili v smislu čim manj ustavljanj – zeleni val ...).

Zmanjšanje hrupa s pomočjo upravljanja s prometom je podano v naslednji tabeli:

Ukrep prometne politike	Zmanjšanje hrupa
Zmanjšanje hitrosti prometa	do 4 dB(A)
Območje umirjenega prometa (npr. cona 30 km/h)	do 2 dB(A)
Grbine	do 2 dB(A)
Krožna križišča	do 4 dB(A)

Tabela 2: Zmanjšanje hrupa pri različnih ukrepih prometne politike.

4.3.5 Pravni ukrepi

S sprejetimi pravnimi ukrepi je mogoče na dolgi rok prisiliti v manj hrupno načrtovanje prometnic, naselij ter prevoznih sredstev. Ukrepi, ki jih sprejmemo, nimajo takojšnjega vpliva na zmanjšanje hrupa, njihova učinkovitost se pokaže šele v prihodnosti (načrtovanje manj hrupnih motornih agregatov, pnevmatik ...).

4.3.6 Ukrepi na (prometni) infrastrukturi

Na prometni infrastrukturi se lahko sprejmejo najrazličnejši ukrepi, s katerimi je mogoče v veliki meri zmanjšati nivoje hrupa. Za primer lahko vzamemo načrtovanje manj hrupnih vozniških površin (s čimer preprečimo nastanek hrupa), gradnjo protihrupnih ograj in ustrezno izolacijo stavb. Vsaka izmed omenjenih možnosti ima svoje prednosti in slabosti. Posebej je treba paziti tudi na vzdrževanje vozniških površin, saj poškodovano vozišče vpliva na povečanje ravnih hrupa. Treba je preprečiti in odstraniti neravnine, pragove, stopnje in deformacije. Pokrovi jaškov ali druge instalacije na vozišču morajo biti postavljene na mestih, ki so čim manj povožena, to je izven kolesnic. Paziti je potrebno tudi na dilatacije na objektih, ki morajo biti izvedene čim manj moteče, da je hrup pri prehodu vozila čim manjši.

Vrsta ukrepa	Nizkohrupne vozne površine	Protihrupne ograje	Izolacija stavb
Delovanje ukrepa	Preprečitev nastanka hrupa.	Preprečitev širjenja hrupa.	Preprečitev širjenja hrupa.
Učinkovitost	Zmanjšanje hrupa v rangu od 2 do 10 dB(A).	Zmanjšanje hrupa v rangu od 3 do 12 dB(A).	Zmanjšanje hrupa v rangu od 8 do 18 dB(A).
Videz	Neopazen	Opazen	Neopazen
Način delovanja ukrepa	Zmanjšanje hrupa pri izvoru.	Zmanjšanje hrupa je uspešno le, če so ograje postavljene v bližini izvora.	Zmanjšanje hrupa v bivanjskem prostoru s tem, da so okna zaprta
Ekonomičnost rešitve	Ekonomsko ugoden ukrep.	Drag ukrep, saj je potrebna posebna konstrukcija.	V večini primerov najdražji možni ukrep.
Trajnost ukrepa	Velikost zmanjšanja hrupa se s starostjo površine običajno zmanjšuje.	Enakomeren vpliv na zmanjšanje hrupa skozi celotno dobo.	Enakomeren vpliv na zmanjšanje hrupa skozi celotno dobo.
Občutljivost na uničenje s strani vandalov	Neobčutljiv na uničenje s strani vandalizma.	Pogosto vandalizem povzroča škodo na protihrupnih ograjah (grafiti, razbijanje ...).	Neobčutljiv na vandalizem.
Vzdrževanje ukrepov	Potrebno ustrezno vzdrževanje vozne površine.	Potrebno vzdrževanje in nadomeščanje poškodovanih delov.	Posebno vzdrževanje ni potrebno.

Tabela 3: Primerjava treh najpogostejših ukrepov za zmanjšanje hrupa iz cestnega prometa.

4.4 Mehanizmi nastanka hrupa med pnevmatiko in vozno površino

Z razvojem vse tišjih motornih agregatov in izpušnih loncev, ki v veliki meri absorbirajo hrup, proizveden iz motornih agregatov, ima zvok, ki ga povzroča stik pnevmatike s podlago prevladujoč vpliv že pri zelo nizkih hitrostih. Pri najnovejših vozilih je ta hitrost nekje med 20 in 40 km/h pri starejših pa med 30 in 60 km/h.

Zvok, ki ga povzroča stik pnevmatike vozila in podlage, je posledica različnih mehanizmov, ki ustvarjajo energijo in jih delimo v dve glavni skupini:

- Izvorno povzročeni mehanizmi
- Zvočno povišani mehanizmi

Hrup med pnevmatiko in vozno površino nastane kot kombinacija fizikalnih procesov, ki jih razvrščamo na:

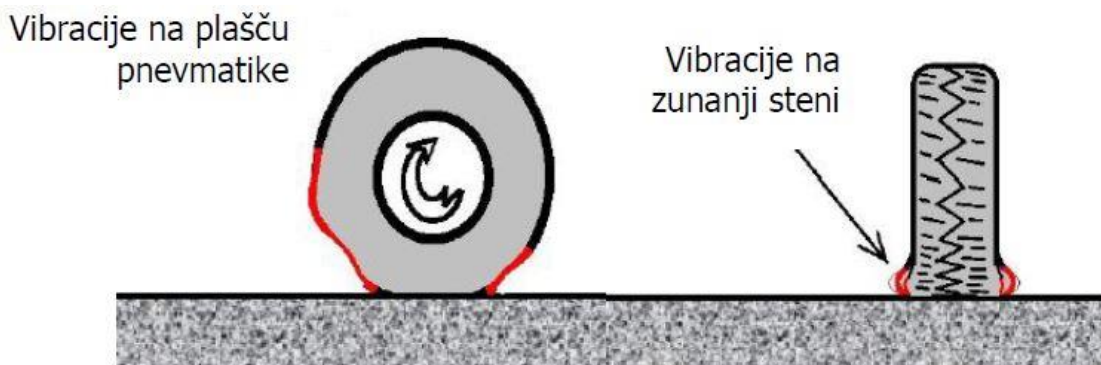
- *mehanične procese*: udarci in trki na kontaktu med profilom pnevmatike in vozno površino ustvarjajo radialne in tangencialne vibracije,
- *aerodinamične procese*: proces, ki nastane v notranjosti med pnevmatiko in vozno površino,
- *tornostne procese*: adhezija in efekt mikro-premikanja profila pnevmatike, ko je v kontaktu s cesto in
- *širitvene procese*: akustične neugodne karakteristike na podlagi vplivajo na širitveno pot.

Ti procesi vplivajo tako na karakteristike vozne površine, kot tudi na karakteristike pnevmatike.

4.4.1 Mehanični procesi

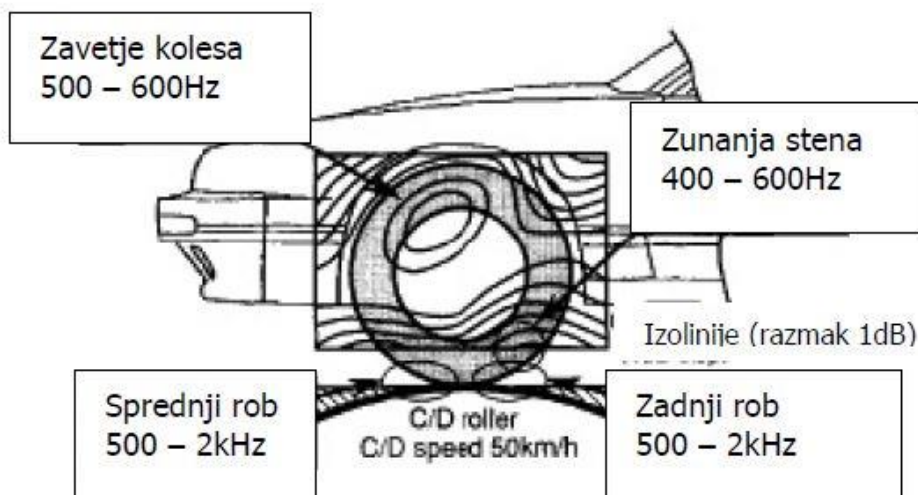
4.3.1.1 Ogrodne vibracije

Stik pnevmatike in podlage povzroča vibracije v profilu pnevmatike, ta vibracija se prenaša na zunanjo steno pnevmatike in tako na podoben način, kot pri gramofonski plošči nastaja zvok. Na površini profila in na zunanji steni pnevmatike nastajajo visoke frekvence, ki povzročijo nastanek hrupa.



Slika 9: Ogradne vibracije pnevmatike okoli plašča in na zunanji strani kontaktne površine (Hribar, 2006).

Spodnja slika prikazuje intenziteto zvoka, izmerjeno na osebni vozilu, na katerem se je pnevmatika kotalila po gladkem valju (laboratorijska meritev).

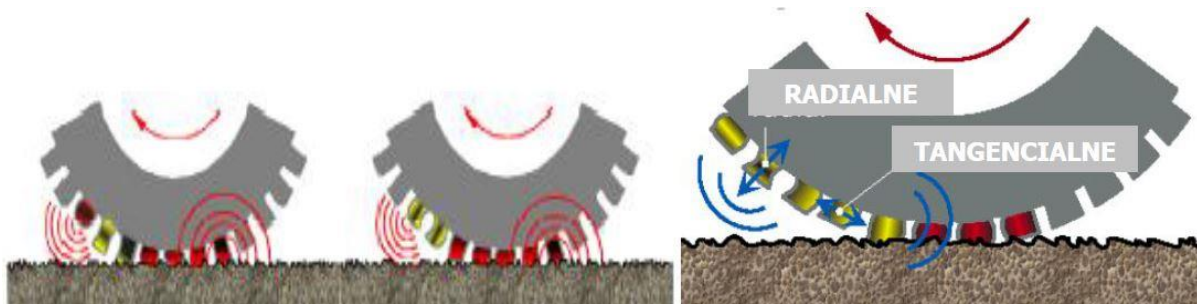


Slika 10: Izolinije intenzitete zvoka kotaleče pnevmatike izmerjene v laboratoriju (Hribar, 2006)

Za kotalečo pnevmatiko osebnega vozila je prikazano, da nastajata dve kritični točki, in sicer: ravno pred sprednjim robom in desno pred zadnjim robom, kjer pnevmatika doseže kontakt s podlago. Vibracije na plašču pnevmatike so kombinacije različnih tipov valovanja, ki predstavljajo različne frekvence. Ugotovljeno je, da se ogradne vibracije mnogo bolj učinkovito širijo in zato so glavne povzročiteljice širjenja hrupa (Hribar D., 2006).

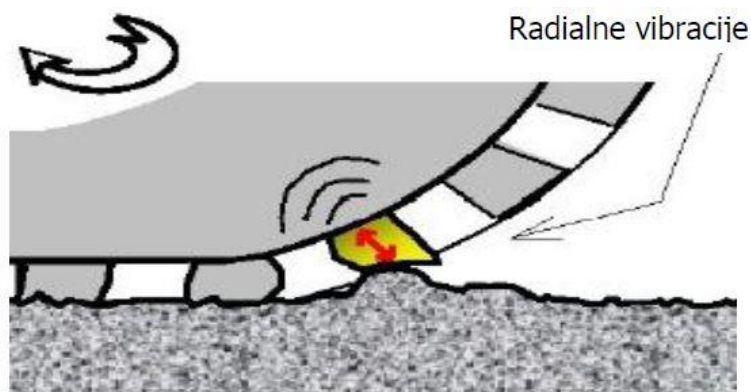
4.4.1.2 Radialne in tangencialne vibracije na pnevmatiki

Te vibracije nastajajo v notranjosti pnevmatike. Nastanejo zaradi trkov in neravnin na vozni površini. Vibracije nastanejo takrat, ko rebresa pnevmatike vstopijo in zapustijo kontaktno površino med pnevmatiko in vozno površino in se tako ustvari gibanje elementov na pnevmatiki.



Slika 11: Enostaven prikaz nastanka radialnih in tangencialnih vibracij na pnevmatiki (Hribar, 2006).

Radialne vibracije se ustvarjajo, ko rebo pnevmatike udari z vozno površino in se prenašajo v notranjost pnevmatike (glej spodnjo sliko). Podobno je, ko rebresa pnevmatike zapuščajo kontaktno površino, takrat se rebra ponovno počasi povrnejo v prvotno lego, hkrati pa nastane gibanje reber. To naglo gibanje privede med tem procesom do vznurjenosti obeh vibracij (radialne in tangencialne) v strukturi pnevmatike. Sam proces je bolj znan pod imenom »snap out«. Ko se pnevmatika na območju kontakta splošči, nastane sprememba oblike pnevmatike, ustvarijo se tangencialne sile, ki se upirajo trenju med pnevmatiko in vozno površino. Ko sile premikanja prekoračijo sile trenja, pogaženi elementi pnevmatike zdrsnejo po podlagi. Ta gibanja prav tako vzbujejo primarne tangencialne vibracije v strukturi pnevmatike.



Slika 12: Nastanek radialnih vibracij ob stiku reba pnevmatike s podlago (Hribar, 2006.).

Količina in velikost vibracij v kotaleči pnevmatiki je odvisna od profila pnevmatike, vrste pnevmatike (letna, zimska), teksture vozne površine, adhezije med pnevmatiko in podlago, togosti vozne površine ... Frekvence, ki jih ustvarjajo takšne vibracije na pnevmatiki, so manjše od 1000 Hz (Hribar D., 2006).

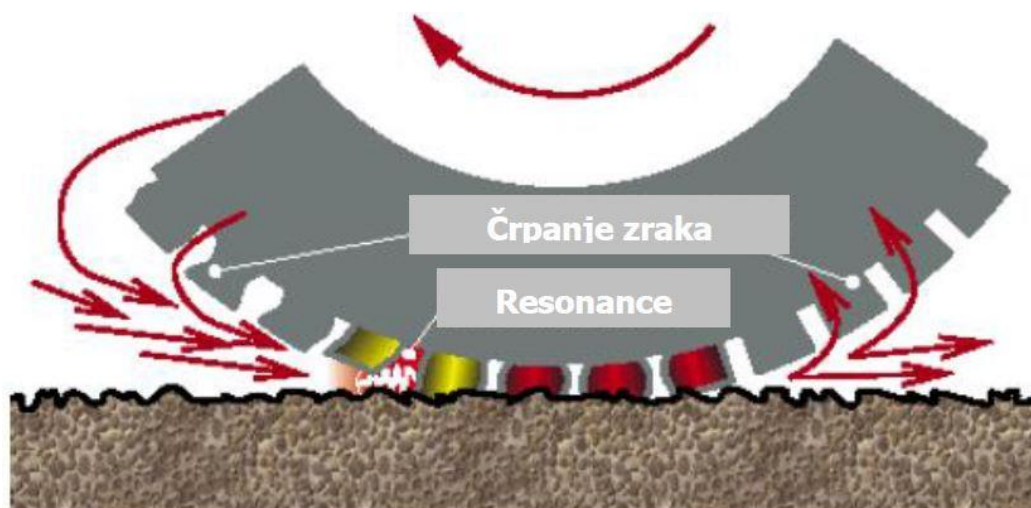
4.4.2 Aerodinamični procesi

4.4.2.1 Resonančna luknja v kanalu pnevmatike

Gre za nastanek hrupa znotraj same pnevmatike. Resonančne luknje so večje na mestih s poškodovano vozno površino (udarne jame, dilatacije, železniški prehodi ...). Resonančnim luknjam ne pripisujemo bistvenega vpliva na širjenje hrupa.

4.4.2.2 Črpanje zraka

Črpanje zraka pomeni hitro odtekanje ujetega zraka v žlebovih (profilu) pnevmatike ali v teksturi vozne površine. S kotaljenjem pnevmatike se v profilu le-te ujet zgoščen zrak sprošča od podlage in tako nastaja hrup. Črpanje zraka je v večini primerov glavni povzročitelj hrupa, ki nastane zaradi stika pnevmatike s podlago. Raziskave o črpanju zraka podajajo ugotovitve, da kotaleča pnevmatika odmika zrak od pnevmatike, ko se predel začetka kontakta deformira. Zgoščen zrak med pnevmatiko in podlago se sprošča, ko se od podlage odlepijo žlebovi in zareze pnevmatike, v katerih je le-ta ujet. Pritisk zraka dosega pomemben nivo hrupa pri frekvenci 1000–3000 Hz. Bolj, kot je površina gladka in zaprta (neporozna) tem večji pritisk se lahko ustvari. Zaradi Helmholtzovega efekta lahko resonanca še poveča nastali hrup. Najučinkovitejši ukrep za omejitev hrupa, nastalega zaradi črpanja zraka, je ustrezna vozna površina, s katero razpršimo zrak, ki se ujame v žlebovih (Hribar D., 2006).



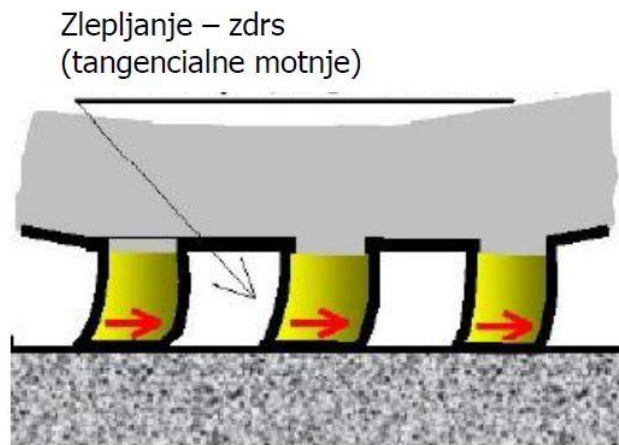
Slika 13: Princip črpanja zraka (Hribar, 2006).

Pod aerodinamične procese štejemo tudi turbulenco zraka okoli pnevmatike, cevno resonanco ter Helmholtzovo resonančno širjenje, vendar ti procesi ne vplivajo bistveno na nivo hrupa, ki ga povzročata pnevmatika in podlaga.

4.4.3 Tornostni procesi

4.4.3.1 Zlepljanje – zdrs

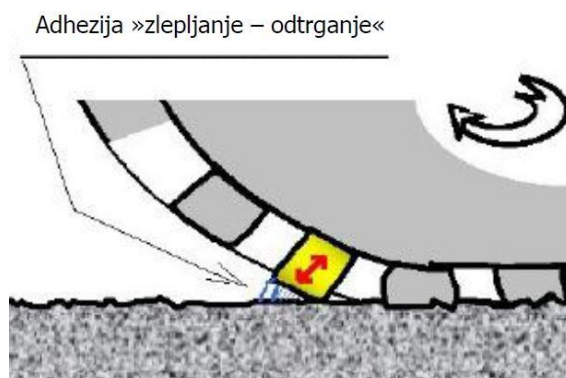
Zlepljanje – zdrs ali trenjske vibracije so povzročene zaradi vibracij pnevmatike, združene s trenjskimi silami na kontaktu med pnevmatiko in vozno površino. Ko se pnevmatika na kontaktni površini splošči, nastane spremenjen radij pnevmatike, ki ustvarja tangencialne sile (horizontalne) med pnevmatiko in cesto (Slika 14). Omenjene sile se upirajo trenju, togosti pnevmatike in preostalim silam, ki se razgubijo ob zdrs pnevmatike po vozni površini. Trenje med pnevmatiko in vozno površino je razdeljeno na histerezno in adhezijsko komponento trenja. Komponenta adhezije nastane na molekularni ravni in zelo vpliva na stopnjo karakteristike fine hrapavosti ali ostrine vozne površine. Pri drsenju se med pnevmatiko in vozno površino adhezijske vezi, ki se ustvarijo med njima, pretrgajo in razpadejo tako, da med njima ni več kontakta. Rebrom pnevmatike je s tem prosto, tako da lahko zdrsne po vozni površini. Ponovno je vzpostavljen kontakt, ko so upirajoče se sile izničene. Histerezne sile se nanašajo na fenomen povečanja, ki prav tako sodeluje pri drsenju po podlagi. Na kontaktu med rebrom pnevmatike in podlago nastane okoli ostrih zrn na vozni površini pritisk, ki je po velikosti simetričen na obe strani zrna. Ko se zgodi zdrs, rebro pnevmatike povzroči na sprednji strani podlage neenakomerno nalaganje in začne zavirati kontakt na padajočem nagibu zrna v podlagi. To pripomore k dvigu nastanka nesimetričnega pritiska in mrežnih sil, ki se upirajo motnjam zdrsa. Pri velikih hitrostih je ta mehanizem bolj izrazit. Histerezna komponenta trenja med pnevmatiko in vozno površino se velikokrat kontrolira z ostrino podlage, ki vsebuje teksturo dolžine vala v odvisnosti od velikosti zrna materiala, ki je v podlagi. Vibracije nastanejo v kombinaciji zdrsa elementov s podlago kot izguba adhezije na kontaktu podlage in nato nastanku histereznih trenjskih sil, ki povzročajo deformacije pnevmatike. To prispeva k procesu zlepljenja – zdrsa na naležni površini in vibracije na pnevmatiki. Vibracije na pnevmatiki s tem mehanizmom povzročajo hrup, ki je odvisen od hitrosti drsenja elementov po podlagi (Hribar D., 2006).



Slika 14: Zlepljanje – zdrs (Hribar, 2006).

4.4.3.2 Adhezija zlepljanja – odtrganja

Proces nastaja pri kotaljenju pnevmatike po podlagi. Izrazit je zlasti pri visokih temperaturah (uporaba mehkih zimskih pnevmatik poleti) in čisti vozni površini. Pnevmatika se za kratek čas zlepi s podlago, odtrganje pnevmatike od podlage pa povzroči vibracije. Omenjeni proces ne vpliva na večje nastajanje hrupa.



Slika 15: Zlepljanje in odtrganje pnevmatike od podlage (Hribar, 2006).

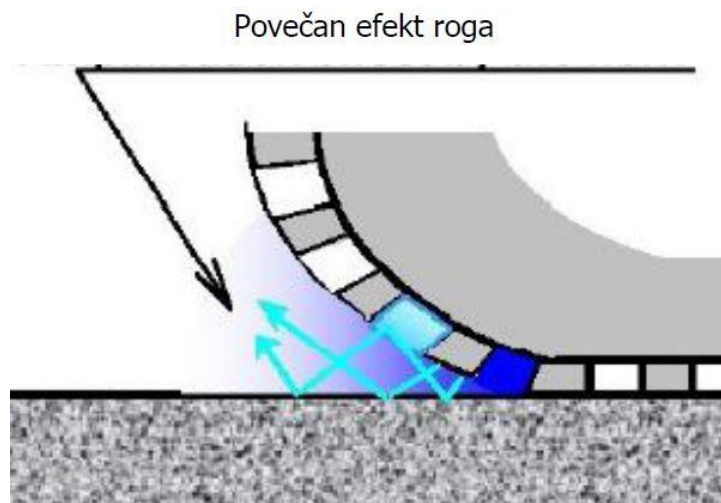
4.4.4 Procesi prenašanja

4.4.4.1 Efekt roga

Vozna površina skupaj s pnevmatiko ustvari neke vrste votlino, iz katere se nato zvok, ki nastane med pnevmatiko in podlago učinkovitejše širi. Proces je osredotočen na osnovi dveh lastnosti zvoka:

- povečan nivo tlaka
- povečanje moči širjenja zvoka

Največje povečanje lahko privede do zvoka s frekvenco 2000 Hz.



Slika 16: Efekt roga (Hribar, 2006).

4.4.4.2 Absorpcija

Nivo hrupa se z večanjem razdalje od vira hrupa zmanjšuje s koeficientom oslabitve, ki je odvisen od različnih dejavnikov (ovire, vlage, zračnega tlaka ...). Za idealizirano akustično točko nastanka hrupa se zvočni valovi širijo. Čeprav vozila ne moremo opisati kot idealno akustično točko nastanka hrupa, lahko podobna oslabitvena funkcija doseže ob relativno dolgi razdalji od ceste za izolirano vozilo hrup, ki se širi kot odraz močnega odboja od tal. Princip geometričnega širjenja energije zvoka je lahko pomemben takrat, ko se zgodijo odboji od tal. Ko imamo vozno površino porozno (drenažni asfalt), je treba upoštevati dodatne faktorje pri izračunu ravni hrupa. Na poroznih voziščih se energija zvoka absorbira na površini ceste v pore vozišča. Zvok uhaja v zgornje plasti voziščne konstrukcije, kjer se delno širi in absorbira. Absorpcija pomeni, da se energija zvoka preoblikuje v termično energijo. Pri cestah se to odraža kot:

- efekt izgube viskoznosti, ko tlačni valovi pritiskajo zrak pri izhodu votline v podlagi ceste,
- termo-elastično vlaženje.

Porozna vozna površina ne absorbira vsega nastalega zvoka. Absorpcija je predvsem odvisna od frekvence in od parametrov:

- debeline sloja
- hrapavosti
- poroznosti

Če nadaljujemo, absorpcija je odvisna tudi od kota pojava zvočnih valov na vozni površini. Element, ki prikazuje absorpcijo, je tudi Helmholtzov resonator v vozni podlagi. Resonator lahko deluje kot absorber takrat, ko je pri resonančni frekvenci vsa prisotna energija absorbirana (Hribar D., 2006).

5 METODE MERJENJA HRUPA IN STANDARDI

Za ocenjevanje hrupa, ki ga povzroča kotaljenje pnevmatike po podlagi, se uporabljajo posebne metode, s katerimi lahko ovrednotimo posamezne vozne površine. Tri osnovne metode, s katerimi določamo nivoje hrupa vozne površine, so:

- CPB meritve (Controlled Pass-By)
- SPB meritve (Statistical Pass-By)
- CPX meritve (Close ProXimity)

Poznamo pa tudi tri pomožne meritve, s katerimi določamo karakteristike vozne površine, ki vplivajo na njeno hrupnost:

- Meritve teksture vozne površine
- Meritve absorpcije zvoka vozne površine
- Meritve togosti vozne površine

Možne pa so še dodatne meritve, ki lahko dopolnjujejo osnovne metode merjenja hrupa.

5.2 CPB meritve

S to metodo merimo konico hrupa, ki ga povzroči vozilo, 7,5 m oddaljeno od mikrofona, s katerim merimo hrup. Mikrofon je nameščen 1,2 m nad tlemi. Vozila, ki povzročijo hrup, so izbrana referenčna vozila, na katerih so nameščene referenčne pnevmatike. Glede na vrsto meritve se spreminjajo pogoji, v katerih se meritve izvajajo. Referenčno vozilo je lahko na normalni vožnji, v prostem teku ali pa ima celo ugasnjen motor, da se izmeri le hrup, ki ga povzroča kotaljenje pnevmatike po podlagi. Tudi hitrost vozila se spreminja, nato pa se opravijo ustrezne korekcije, s katerimi primerjamo nivoje hrupa pri različnih hitrostih.

Spreminjajo se tudi prestave pri vožnji vozila, stanje podlage (suho, vlažno, mokro ...) ipd.

Za primer lahko vzamemo dva postopka: prvi postopek, ki ga uporablja BRRC (Belgian Road Research Center) je postopek, pri katerem se uporablja samo eno vozilo ter Francosko-nemški postopek, pri katerem se uporabljajo kombinacije štirih različnih vozil in pnevmatik.

Na ta način se lahko ugotavlja hrupnost podlage v zvezi s hrupnostjo posamezne vrste pnevmatike. Meritve se izvajajo z lahкими vozili, težka tovorna vozila so v obeh postopkih izzeta. Prav tako se v obeh postopkih meritev izvaja pri izklopljenem motorju vozila.

5.3 SPB meritve

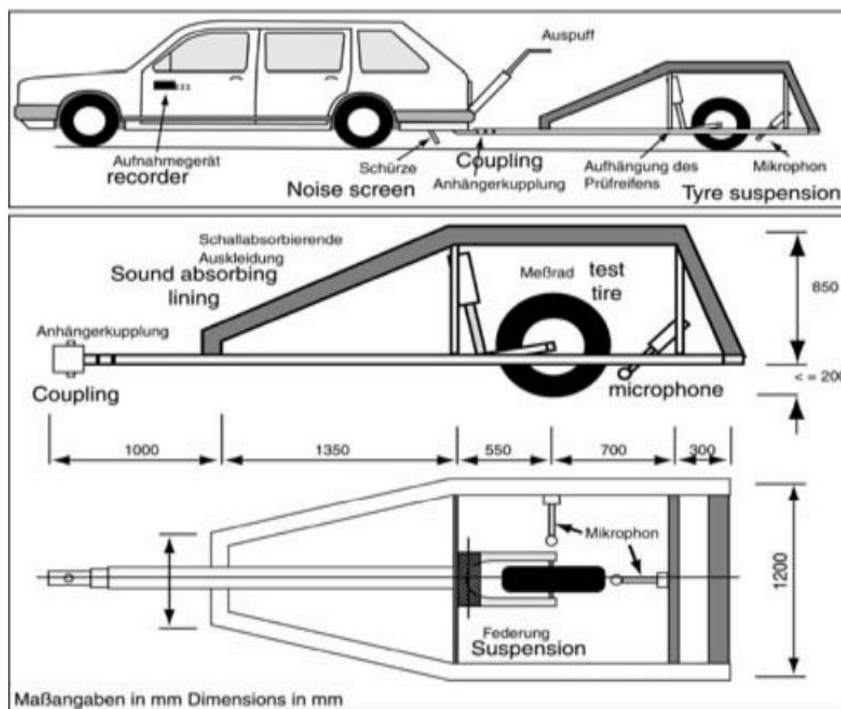
Naprave za merjenje so enake kot pri CPB metodi, enaka je tudi postavitvev merilnih naprav. Vozila pri tej meritvi niso posebej izbrana, temveč se meri hrup vozil v prostem prometnem toku. Meri se nivo hrupa posameznega vozila, ki je naključno izbran iz prometnega toka. Z laserskimi merilniki hitrosti se določi tudi hitrost vozila, pri katerem se meri hrup. Na takšen način se določajo nivoji hrupa posameznih kategorij vozil v odvisnosti od hitrosti. Paziti je potrebno, da se meritve opravijo na zadostnem številu vozil posamezne kategorije in pri različnih hitrostih, saj lahko le tako dobimo ustrezen reprezentativen vzorec. Metoda je postala ISO standard, uporablja pa se tudi že kot evropski standard. Določeno je minimalno število meritev hrupa v posamezni kategoriji vozil, določene so referenčne hitrosti znotraj posamezne kategorije vozil. Referenčne hitrosti vozil so odvisne tudi od vrste prometnice (regionalna cesta, glavna cesta, avtocesta ...). Glede na dobljene vrednosti standard predlaga razvrstitev vozni površin po SPBI indeksu. Indeks podaja odvisnost hrupnosti vozne površine glede na različne dejavnike. Ti dejavniki so skupek različnih kategorizacij vozil, referenčnih hitrosti in teže vozil, razvrščenih v kategorije lahkih, srednjih in zelo težkih vozil. Ti dejavniki podajajo reprezentativne vrednosti na različnih vrstah prometnic, razvrščenih v tiste za nizke, srednje in velike hitrosti. Glede na referenčne hitrosti in težo vozil v posameznih kategorijah lahko SPB metoda razvršča prometne razmere na tiste v urbanih okoljih in izven naselij.

Pri meritvah po tej metodi je pomembno, da v bližini mikrofona ni objektov, ki lahko povzročajo odboj zvoka. Zagotavljanje tega pogoja je še posebno zahtevno v mestnih okoljih, kjer stavbe in številni drugi objekti (ograje, reklamni platoji ...) povzročajo odboj zvoka. Z namenom uporabe SPB metode tudi v teh predelih, so v Veliki Britaniji naredili izboljšavo te metode na način, da so neposredno za mikrofona postavili ploščo, ki reflektira zvok. Ta pristop se šteje kot dodatek k ISO standardu, ki opisuje SPB metodo.

5.4 CPX metoda

Pri tej metodi enega ali več mikrofona namestimo zelo blizu roba kolesa (običajno 20 cm). Takšna meritev poda emisije zvoka v neposredni bližini kotalečega kolesa. Mikrofon so lahko nameščeni na enem izmed koles običajnega vozila ali v ta namen prilagojene prikolice. V obeh primerih je treba meritev zaščititi pred turbulencami vetra, ki se pojavijo med vožnjo, hrupom okolnega prometa in hrupom vozila ali prikolice, na katerih so nameščeni merilni instrumenti. Natančnejši pogoji meritev so bili določeni s strani ISO komiteja. Rezultati

meritev so posebej odvisni od izbire referenčne pnevmatike, na kateri izvajamo meritev ter izbere pozicije mikrofona, nameščenega ob obravnavanem kolesu.



Slika 17: Shema merilne prikolice in postavitev mikrofona.

V Evropi je za namen te metode razvitih veliko prikolic in posebnih vozil, problem pa je, da so si med seboj različne. Leta 1998 je bilo v Evropi enaindvajset prikolic ter štiri vozila za izvajanje meritev po CPX metodi. Narejenih je bilo precej primerjav med posameznimi merilnimi vozili, ki so pokazala precejšna odstopanja v rezultatih, zato bi bilo treba sprejeti podrobnejša navodila za izvajanje takšnih meritev.



Slika 18: Primer merilne prikolice za izvajanje CPX meritev (vir: <http://www.mplusp.eu/products/measuring-road-noise-go-comet-cpx>, dne 21. 1. 2014).

5.5 Primerjava različnih metod meritev prometnega hrupa

Glavna prednost CPX metode je v tem, da se meritev lahko izvaja v urbanih okoljih, ne da bi na meritev vplivali odboji zvoka od bližnjih stavb, kar za drugi dve metodi meritev ne moremo trditi. Prednost CPX metode je tudi v tem, da se lahko le-ta izvaja na daljšem odseku, pri drugih metodah pa smo omejeni na mesto postavitve mikrofona.

Seveda pa postavitve mikrofonov neposredno ob kolesu ne prikaže realnih ravni hrupa v človeškem bivanjskem okolju, saj ne upošteva pogojev v okolju, kot so odboji in oslabitve hrupa. Eden izmed glavnih problemov metode je primerjava dobljenih rezultatov z drugima dvema metodama. Razlike v rezultatih so odvisne od številnih dejavnikov, kot so hitrost, vrsta pnevmatike, frekvenca zvoka, absorpcije hrupa v podlago ... Primerjave posebnega projekta SILVIA, ki se ukvarja z meritvami in analizami hrupa, so pokazale precej različne korelacijske faktorje med SPB in CPX rezultati meritev. Kažejo se velika odstopanja med korelacijskimi faktorji pri različnih napravah za meritve po CPX metodi (različna vozila, prikolice).

CPX merilna oprema	Regresijska enačba	Korelacijski koeficient	σ (dB(A))
Avstrija	$SPB=1,1*CPX-28,9$ dB(A)	0,96	0,70
Nizozemska (DWW)	$SPB=1,22*CPX-42,3$	0,56	1,47
Nizozemska (M+P)	$SPB=0,79*CPX+2,0$	0,40	1,63
Poljska (TUG)	$SPB=1,22*CPX-40,9$	0,95	0,73

Tabela 4: Korelacije za primerjavo rezultatov SPB in CPX meritev pri različnih merilnih napravah (empirično).

Odstopanje je še posebej veliko pri drenažnih površinah, saj CPX meritve ne upoštevajo absorpcije zvoka take površine. Prav tako je narejenih zelo malo CPX meritev na kolesih težkih tovornih vozil, saj so te meritve zahtevnejše, zato je večina meritev narejena za avtomobilske pnevmatike.

Največje slabosti CPX metode so razlike v merilnih instrumentih in napravah za merjenje ter merjenje dejanskega hrupa, ki vpliva na širšo okolico in ne zgolj na neposredno bližino kolesa.

CPB metoda na drugi strani upošteva celoten hrup, ki ga povzroča vozilo (ne zgolj hrup pnevmatike), težava pa je v tem, da izbor pnevmatike in vozila, ki ga merimo, odločilno vpliva na rezultate, zato je lahko reprezentativnost vprašljiva.

Reprezentativnost meritve je v veliki meri rešena s SPB metodo, saj ta upošteva različne vrste vozil v različnih vozniških pogojih. Težava metode lahko nastane takrat, ko želimo meritev obnoviti oziroma opraviti ponovno, saj bo vzorec vozil pri vnovični meritvi zagotovo različen. Statistika zato podaja minimalno število meritev vozil v vsaki kategoriji, s čimer lahko razlike v ponovitvah meritev zmanjšamo na minimum. Pozornost pri primerjavi prometnic v različnih državah je treba nameniti tudi strukturi in kakovosti vozil v posamezni državi. V namen poenotenja standardov in predpisov o meritvi hrupa znotraj Evropske unije je ustanovljena posebna projektna skupina IPG.

5.6 Pomožne metode meritev

5.6.1 Tekstura vozne površine

Kot je bilo že omenjeno, je hrup, kot posledica teksture vozne površine, odvisen od njene makro oziroma megateksture. Čeprav obstaja veliko modernih metod za merjenje makroteksture, se še vedno uporablja metoda zapolnitve s peskom ter volumetrična metoda. Pomembno je, da meritev omogoča meritev širokega razpona megateksture, saj ta v največji

meri vpliva na raven hrupa. Modernejše merilne naprave uporabljajo posebne laserje, s katerimi lahko izmerimo zelo široke razpone v makro in megateksturi v zgolj eni meritvi. Poznanih je več naprav, lahko so nepomične, pomične (te je možno poljubno premikati), mobilne (pomerimo in gremo na naslednjo lokacijo). Najmodernejše naprave omogočajo meritev teksture vozne površine celo med vožnjo.

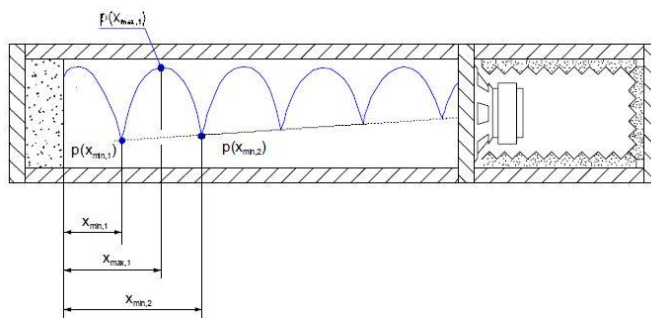
5.6.2 Absorpcija zvoka

Koeficient absorpcije zvoka je razmerje med močjo zvočnega valovanja, ki vstopa na površino vzorca (brez vrnitve) in močjo ravnega zvočnega valovanja, ki pod pravim kotom vpada na površino vzorca. V splošnem je koeficient absorpcije zvoka odvisen od frekvence zvoka in kota, pri katerem nastaja zvočno valovanje.

Možnih je več načinov meritev koeficienta absorpcije zvoka:

- Metoda upora v votli cevi – Kundtova cev

Vzorec je pritrjen na eno stran toge gladke Kundtove cevi. Vzorec se mora cevi točno prilegati. Cev naj bi bila tesno zaprta (tight fit). Na drugem koncu cevi generira zvočnik vpadno sinusno valovanje. Zaradi superpozicije vpadnega valovanja in odbitega valovanja pride do stoječega valovanja. Iz izmerjenih veličin sledi izračun.



Slika 19: Kundtova cev.

- Izračun s pomočjo prenosne funkcije med dvema ravninama

Zvočni tlak merimo na dveh ravninah v bližini vzorca. Izračunamo prenosno funkcijo zvočnega tlaka med vpadnim in odbitim valovanjem. Iz prenosne funkcije lahko izračunamo faktor refleksije in nato še absorpcijski koeficient zvoka.

Meritev lahko izvajamo na dva načina:

- a.) Meritev z dvema mikrofonom. Znati moramo korigirati fazno razliko in razliko med amplitudnim odzivom različnih mikrofonom.
- b.) Meritev z enim mikrofonom. Zahteva stabiliziran izvor zvoka. Za to meritev se porabi več časa, vendar ne potrebujemo korekcije faze in amplitudnega odziva mikrofona.

- Meritev v odmevajoči sobi (odmevnici)

V sobi s stenami, ki dobro odbijajo zvok (ni absorpcije zvoka), se zvok lahko enakomerno razprši po celotnem prostoru. Vzorec, ki ga postavimo v takšno sobo, je tako izpostavljen enakomernemu zvočnemu valovanju. Absorpcijski koeficient se pridobi kot zmanjšanje odmeva (odboja) zvoka v določenem času.

Vzorec, ki ga postavimo v sobo, mora biti raven in dovolj velik, lahko je predhodno pripravljen v laboratoriju ali pa gre za vzorec izvzet iz podlage, kar je manj praktično. Vzorec za preizkus se s pomočjo Kundtove cevi izvrti iz dejanske podlage, paziti je treba na pravilno velikost izvrtanega vzorca. Poznana pa je tudi metoda, kjer se lahko preizkus opravi že na terenu. Prav tako pa se lahko tudi druga metoda izvaja na terenu, merilne naprave so nameščena na posebno vozilo, ki lahko opravlja meritve z ustavljanjem ali kar med vožnjo.

5.6.3 Meritve togosti vozne površine

Kot vzrok za večjo hrupnost betonskih vozniških površin v primerjavi z asfaltnimi, je dolgo veljala togost vozne površine. Novejše preiskave pa so pokazale, da se pri enaki teksturi obeh vrst površin po hrupnost bistveno ne razlikujeta. Projekt SILVIA je pokazal, da imata veliko večji vpliv na hrupnost togost vozne površine in pnevmatik. Dokazano je, da bolj podobni, kot sta togost vozne površine in pnevmatik, tem višje zmanjšanje hrupa se lahko doseže. Spoznanje je močno v korist drenažno elastičnim vozniškim površinam (PERS), ki so narejena iz odpadnih pnevmatik. Če se bo material v prihodnosti še razvijal in se bodo odpravile nekatere težave (zlepljenost s podlago, cena, hitra obraba ...), se bo lahko uveljavila kot zelo učinkovita površina proti nastajanju hrupa, hkrati pa bo treba določiti nove metode za določanje, kako togost takšnih podlag vpliva na hrupnost.

5.7 Standardizacija

5.7.1 Metode merjenja hrupa

Za določanje hrupnosti vozniških površin, ki ga povzročajo vozila, se uporabljajo predvsem metodi SPB in CPX. CPB metoda ni nikjer standardizirana, saj njeni rezultati temeljijo zgolj na preizkusu nekaj vrst vozil (lahko tudi zgolj enega vozila). Problem je torej v reprezentativnosti in obnovljivosti take meritve.

SPB metoda je podana v standardu SIST EN ISO 11819-1:2002. CPX metoda je v razvoju že precej časa. Pojavljajo se osnutki standardov, predvsem ISO/CD 11819-2:2000. Bistvene težave za standardizacijo se nanašajo na reprezentativnost ter trajna določitev vrst

referenčnih pnevmatik (vseskozi se ponavljajo nove vrste pnevmatik, stare izumirajo).

Težave poskuša rešiti delovna skupina ISO/TC43/SC1/WG33.



Slika 20: Primer različnih standardnih pnevmatik za izvajanje CPX meritev (Vir: FEHRL Report, 2006).

5.7.2 Pomožne metode

Trenutno so znane internacionalne in evropske standardizacije za meritev absorpcije hrupa in teksture vozne površine. Nikjer še ni moč najti ustreznega standarda za meritev togosti vozne površine v povezavi z njeno hrupnostjo.

Na začetku raziskovanj vpliva vozne površine na hrup so spoznali, da ima njena makrotekstura velik vpliv na hrupnost. Makrotekstura se izmeri po metodi zapolnitve s peskom, njen rezultat je srednja globina teksture (MTD – mean texture depth). Meritev najdemo v standardu EN 13036-1:2012. Namesto peska se lahko uporabijo tudi kristali stekla. Novejše tehnologije uporabljajo laserje, ki lahko merijo teksturo tudi med vožnjo. Rezultat je srednja globina profila (MPD – mean profile depth), iz katerega lahko dobimo tudi MTD vrednost. MPD je podan v standardu EN ISO 13473-1:2004. Izkazalo se je, da meritve, kot sta MTD in MPD, ne omogočajo dovolj dobrih rezultatov v povezavi teksture s hrupnostjo vozne površine. Megatekstura se je pokazala kot pomemben dejavnik v zvezi s hrupnostjo vozne površine. Ustrezen standard, ki podajal napotke za vrednotenje megateksture površine v povezavi s hrupom še ni izoblikovan.

Absorpcija zvoka, ki jo omogoča vozna površina, se lahko meri v odmevajoči sobi, standarda ISO 354:2003 in EN 20354:1993 podajata ustrezne napotke.

6 NIZKOHROPNE VOZNE POVRŠINE

Šele na začetku 80. let prejšnjega stoletja se je pojavilo zavedanje vpliva vozne površine na nastanek in širjenje hrupa. Ugotovili so, da grobe površine delujejo negativno na nastanek in širjenje hrupa, medtem ko so fine vozne površine ugodnejše, saj zrak, preden se ujame in stisne med profil pnevmatike in podlago, odteče po horizontalnih kanalih med pnevmatiko in podlago. Fina tekstura vozne površine pa ni nujna na drenažnih površinah, saj lahko v tem primeru zrak odteče vertikalno med prazninami skozi podlago in tako ne pride do stiskanja zraka. Drenažne podlage z ustrezno načrtovanimi prehodnimi prazninami in ustrezno debelino plasti so tako lahko odličen absorber zvoka.

Osnovne zahteve za nizkohrupne vozne površine so:

- **Drenažne vozne površine**
 - Dolžina valov najmanjše megateksture in najmanjše makroteksture mora biti v mejah od 10–50 mm.
 - Vsebnost praznin mora biti čim višja, vsaj 10 %, za boljši učinek še večja.
 - Debelina drenažne plasti 40 mm ali več.
- **Zaprte vozne površine – zaprti asfalt betoni**
 - Dolžina valov najmanjše megateksture in najmanjše makroteksture mora biti v mejah med 10–50 mm.
 - Dolžina valov največje makroteksture v mejah med 1–8 mm.

V zadnjih desetletjih je bilo v praksi iznajdenih veliko rešitev za izpolnitev zgornjih zahtev, pri načrtovanju pa je bilo treba upoštevati še druge zahteve, kot so na primer torna odpornost, odpornost na preoblikovanje (kolesnice) ter trajnost vozne površine.

Zgoraj so omenjene zgolj zahteve za megateksturo in makroteksturo, vendar pa je treba tu omeniti še mikrostrukturo, ki sicer nima neposrednega vpliva na hrup, vpliva pa posredno preko oprijemljivosti, ki v manjši meri tudi lahko vpliva na hrup. Oprijemljivost med pnevmatiko in podlago bi morala biti majhna, s tem bi bil pri visokih frekvencah tudi hrup majhen. Za obrabne plasti je treba uporabljati materiale, odporne proti zaglajevanju (silikatna kamnina, žindra), saj so zglajene vozne površine bolj hrupne.

Poleg teksture in absorpcije zvoka je tretji parameter, ki vpliva na nastanek hrupa tudi togost vozne površine in pnevmatike. Dokazano je, da čim bližji sta si togosti pnevmatike in vozne površine, tem večje je lahko zmanjšanje hrupa (celo do 10, 12 db(A)). V praksi je na tem

področju še veliko rezerve, saj sta tekstura vozne površine in absorpcija zvoka že precej izpopolnjena in zato je nemogoče pričakovati velike dosežke na teh dveh področjih.

Vpliv temperature na zmanjšanje hrupa je odvisen od pnevmatike in teksture vozne površine. Višja temperatura povzroča mehčanje gume in s tem se ustvari manj vibracij ter posledično manjši hrup pnevmatike. Zmanjšanje hrupa zaradi temperature je podano v Tabeli 5.

Zaprte vozne površine (AC)	Odprte vozne površine (PA)	V povprečju asfaltne površine	Betonske vozne površine
-0,061 dB(A)/°C	-0,052 dB(A)/°C	-0,057 dB(A)/°C	-0,043 dB(A)/°C

Tabela 5: Vpliv temperature in vrste podlage na zmanjšanje hrupa.

Voda na vozni površini lahko v veliki meri vpliva na hrup, vendar pa so znani le okvirni faktorji, ki opišejo vpliv vode na povišanje hrupa. V nobeni raziskavi ni opisano, kako količina vode vpliva na nivo hrupa. Korekcijski faktorji za zaprte asfalt betone (AC) in drobir z bitumenskim mastiksom (SMA) so podani v Tabeli 6. Na drenažnih vozni površinah (PA) v raziskavah ni bilo dokazano, da voda v veliki meri vpliva na povečanje hrupa, kar lahko štejemo kot pomembno prednost za to vrsto podlage, še zlasti na področjih z deževnim podnebjem.

Količina vode na vozni površini	0–60 km/h	61–80 km/h	81–130 km/h
suho	0 dB(A)	0 dB(A)	0 dB(A)
vlažno	+ 2 dB(A)	+ 1 dB(A)	+ 0 dB(A)
mokro (manjši dež)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)	+ 2 dB(A)
mokro (naliv)	+ 6 dB(A)	+ 4 dB(A)	+ 3 dB(A)

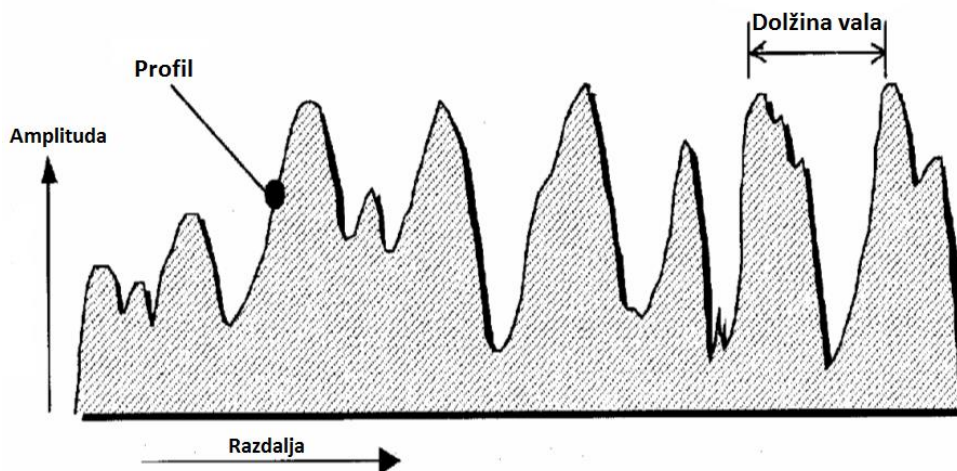
Tabela 6: Korekcijski faktorji vpliva vode na vozni površini na povečanje hrupa.

6.1 Vpliv teksture vozne površine

Tekstura vozne površine je odvisna od vrste obrabne plasti (njene zrnivosti, sestave) ter dodatnih ukrepov pri gradnji ali od ukrepov, ki so bili izvedeni po izgradnji (sanacija s finim rezkanjem).

Teksturo vozne površine podamo z dvema parametroma:

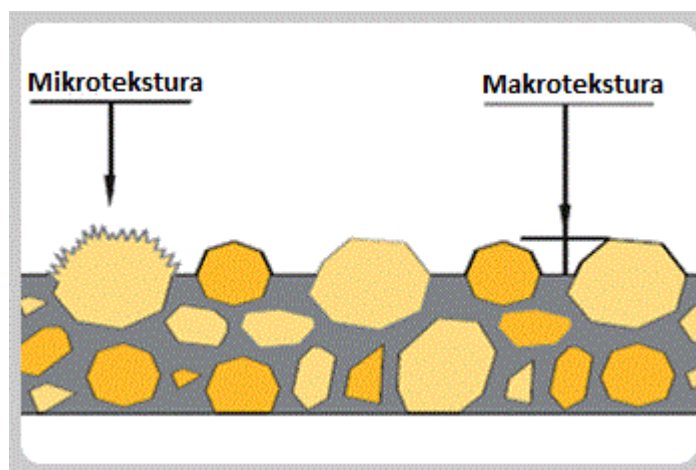
- a) Amplituda (vertikalni odklon)
- b) Dolžina valov (vodoravna periodičnost)



Slika 21: Amplituda in dolžina vala teksture vozne površine.

Pri določanju teksture vozne površine se v cestogradnji običajno uporablja razvrstitev po PIARC (svetovno cestno združenje), ki ločuje:

- Mikroteksturo (fina hrapavost) z dolžino valov do 0,5 mm
- Makroteksturo (groba hrapavost) z dolžino valov med 0,5 in 50 mm
- Megateksturo z dolžino valov med 50 in 500 mm.



Slika 22: Razlika med mikro in makroteksturo.

Ker se stanje vozniških površin neprestano spreminja (zaglajevanje, vlaga, umazanija, poškodbe površine), ne moremo govoriti o natančnem vplivu posamezne teksture vozne površine na hrup, v splošnem pa velja:

- Pri nizkih frekvencah (manj kot 1000 Hz) se hrup povečuje z amplitudo teksture v mejah dolžine valov od 10 do 500 mm.

- Pri visokih frekvencah (več kot 1000 Hz) pa se hrup zmanjšuje z amplitudo teksture v mejah dolžine valov od 0,5 do 10 mm.

Mikrotekstura vpliva zgolj na oprijemljivost, ki pa v manjši meri vpliva tudi na hrup. Tako lahko tudi mikrotekstura posredno vpliva na hrup.

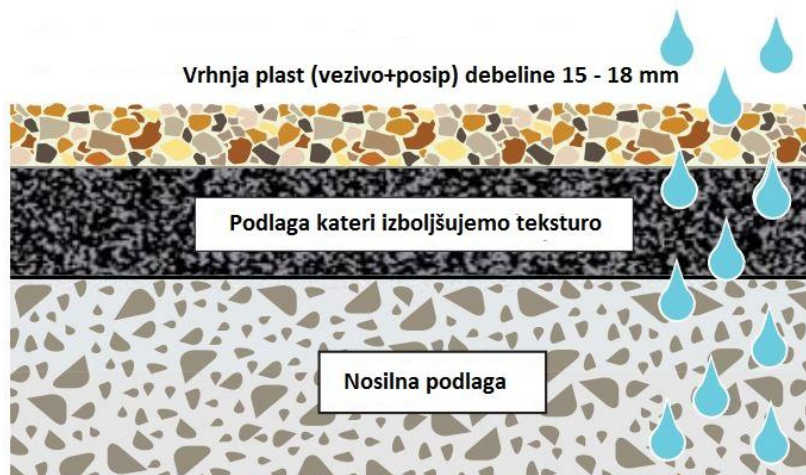
Makrotekstura mora zagotoviti velike amplitude v območju dolžine valov od 0,5 do 10 mm in majhne amplitude, v območju dolžine valov od 10 do 500 mm. V praksi je takšne zahteve nemogoče doseči. Ugotovljeno je bilo razmerje med globino hrapavosti in dolžino valov približno od 0,7 do 0,9, kar ustreza vozni površini z dolžino valov 5 ali 50 mm. To pomeni, da je treba za zmanjšanje hrupa v obrabne plasti vgrajevati zrna do velikosti 10 mm.

Velika megatekstura povzroči nizke frekvence hrupa. Takšni megateksturi se izognemo z uporabo drobnejših zrn drobirja v obrabni plati. Megatekstura vozne površine mora biti tudi homogena, saj prekomerne votline v obrabni plasti povečajo megateksturo in s tem tudi hrupnost (Žmavc, 2007).

6.2 Izboljšava teksture vozne površine

6.2.1 Smolne prevleke

To so prevleke, sestavljene iz veziva (različne smole) ter posipa. Posip mora imeti ustrezne lastnosti, predvsem visoko vrednost PSV (polished stone value), torej mora zagotoviti ustrezno hrapavost oziroma torno sposobnost. To dosežemo z uporabo agregatov iz silikatnih kamnin ali žlindre. Običajna zrnata sestava agregata je 2/4. Taka izvedba prevlek omogoča dolgo trajnost podlage ter ima trajno učinkovito torno sposobnost, zato je še posebej ustrezna za uporabo v krivinah, avtocestnih izvozi in predorih. Takšna površina je nizkohrupna, saj ima gladko megateksturo, le-to namreč zapolni vezivo (smola), posip pa poskrbi za ustrezno makroteksturo.



Slika 23: Izboljšanje teksture s posipom.

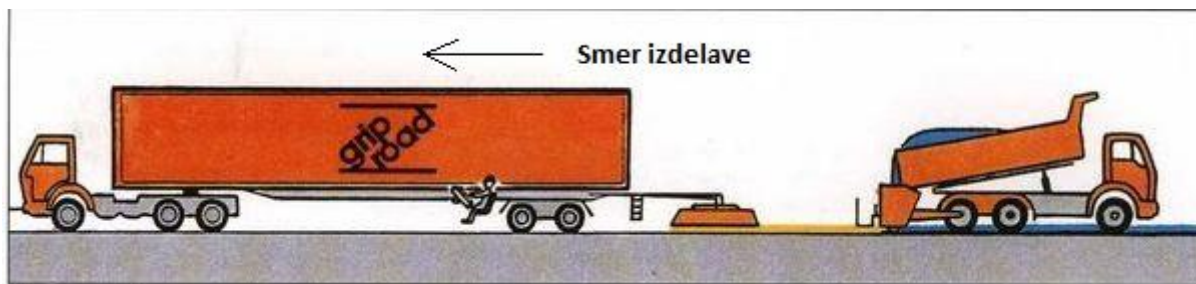
6.2.1.1 Vrste smolnih prevlek

Poznanih je več vrst takšnih površin, ki se razlikujejo v velikostih zrn agregata in uporabljenim vezivom. Večina takšnih prevlek je zaščitena s patenti. Najbolj znane prevleke z epoksi smolo so:

ITALGRIP: Ta vrsta podlage je bila razvita v Italiji, uporablja pa se tudi v Združenih državah Amerike. Razvita je bila z namenom izboljšanja torne sposobnosti vozne površine. Nanaša se na običajne asfaltne ali betonske površine. Na obstoječo podlago se najprej nanese lepilo (epoksi smola), ki zapolni megateksturo. Preden lepilo otrdi, se na površino posuje ustrezno frakcijo agregata. Običajno je agregat žindra velikosti 1–4 mm. Študija zmanjšanja hrupa tako sanirane površine se je izvajala na betonski podlagi hitre ceste v ZDA, kjer je bilo ugotovljeno zmanjšanje hrupa za 3–4 dB(A).

GRIPROAD: Gre za nemški produkt, ki se uporablja za sanacije asfaltnih in betonskih voznih površin. Na suho in čisto podlago se enakomerno nanese vezivo, nato se na površino posuje ustrezno frakcijo. Najprimernejše frakcije so 1–2 mm, 2–3 ali 3–4 mm.

EP-GRIP: Produkt je razvilo avstrijsko podjetje Possehl Spezialbau GmbH. Uporablja se za izboljšanje torne sposobnosti in zmanjševanje hrupnosti betonskih voznih površin. Doseženo zmanjšanje hrupa takšne podlage je 4–6 dB(A). Postopek izdelave površine je podoben kot pri Griproad.



Slika 24: Shema izdelave »GRIPROAD« površine.

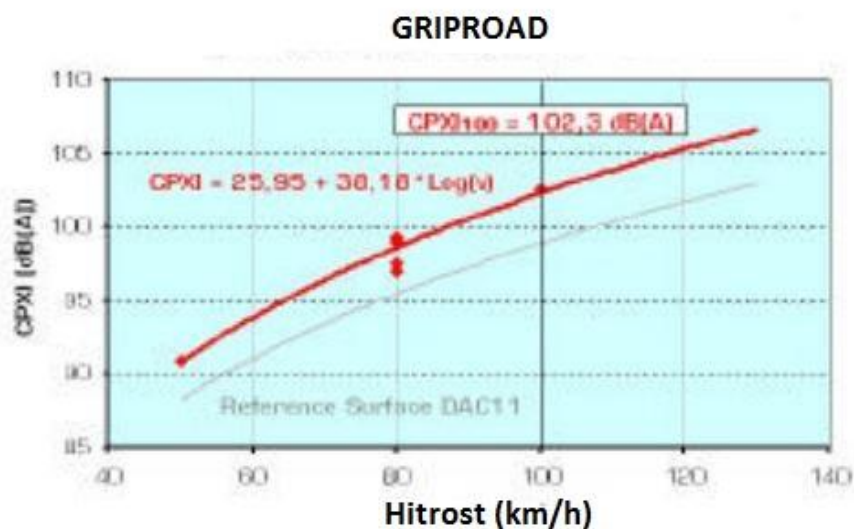
6.2.1.2 Prednosti in slabosti

Prevleke z epoksi vezivom se največkrat uporabljajo na kritičnih mestih, kjer se zahteva velika torna sposobnost. Takšna mesta so ostri zavoji in križišča. Ker je sanacija vozišč na takšen način zelo hitra in učinkovita, je ukrep še posebej primeren za sanacijo površin v predorih, na mostovih in viaduktih.

Prednost takšne površine je tudi v vlažnih pogojih, saj je možnost akvaplaninga na takšnih podlagah veliko manjša kot na običajnih vozniških površinah. Z uporabo ustreznega svetlejšega agregata se lahko izboljša vidljivost v dežju in v mraku.

Na takšnih površinah se v povprečju doseže za 2–4 dB(A) zmanjšanje nivoja hrupa v primerjavi z obstoječo asfaltno ali betonsko podlago. Velika prednost takšne površine je trajno zmanjšanje hrupnosti, kar za podobne površine ne velja (drenažni asfalt, drobir z bitumenskim mastiksom ...).

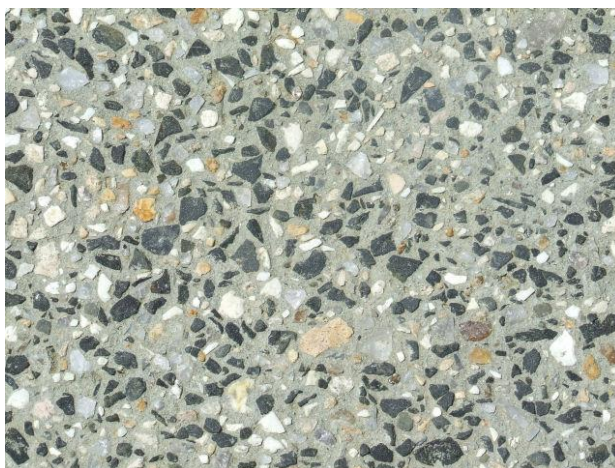
Zaradi majhne debeline smolnih prevlek je zmanjšanje hrupa, ki ga dosežemo, v veliki meri odvisno od vzdolžne ravnosti osnovne površine. Kljub velikemu izboljšanju torne sposobnosti in znižanja hrupnosti tako saniranih površin je največja težava zelo visoka cena takšnih površin. Visoka cena je posledica predvsem visoke cene veziva (epoksi smola). Veliko težavo pa predstavlja tudi obnavljanje in recikliranje takšnih površin.



Slika 25: Nivoji hrupa površine GRIPROAD.

6.2.2 Prano-betonska podlaga

Površina iz pranege betona je definirana kot površina, kjer je pred strditvijo odstranjeno površinsko cementno mleko betonirane podlage.



Slika 26: Videz površine prano-betonske podlage.

Ta vrsta betonske površine zahteva ustrezno nego po betoniranju. Takoj po betoniranju je treba površino poškopiti z ustreznim sredstvom za nego betona (zaviralce strjevanja – sladkor, zaščita betona proti solem ...) ter pokriti s tanko folijo, da se prepreči prehitro izsuševanje. Po 12–16 urah se izdelata potrebne dilatacije. Krtačenje oziroma izpiranje cementnega mleka se izvede od 24 do 72 ur po betoniranju, odvisno od okoljskih pogojev (temperatura, veter, vlaga ...) in izbire zavlačevalca vezanja. Odstranjevanje cementnega mleka je najzahtevnejši del postopka. Če se mleko začne odstranjevati prezgodaj, lahko od

podlage med krtačenjem začnejo izpadati tudi zrna agregata, če se je mleko že preveč strdilo, pa ga ni več moč dovolj odstraniti, zato ne dobimo ustrezne teksture podlage. Postopek določanja časa začetka krtačenja (odstranjevanja mleka) je razvit v Veliki Britaniji in temelji na določanju zrelosti betona. Ugotovljeno je, da je najbolje začeti z brušenjem po 16 urah od betoniranja, pri temperaturi zraka 20 °C. Pri določanju časa krtačenja se lahko predhodno naredijo poskusna polja, kjer se nato pri različnih pogojih določa najprimernejši čas krtačenja. Če je krtačenje izvedeno v 48 urah po betoniranju, se po krtačenju podlaga dodatno poškropi s sredstvi za nego betona.



Slika 27: Primer priključka za Unimog, s katerim se izvede krtačenje betona.



Slika 28: Stroj za izvedbo krtačenja površine (FEHRL Report 2006/02).

Prvotni namen cementno betonskih voznih površin, izvedenih po metodi izpostavljenih zrn je bil izboljšanje torne sposobnosti betonske podlage. Kasnejše raziskave pa so pokazale tudi precejšnje zmanjšanje hrupa v primerjavi z drugimi asfaltnimi in betonskimi površinami.

6.2.2.1 Lastnosti materialov in površine

Bolj odprte cementne mešanice so se pokazale kot ugodnejše s strani zmanjševanja hrupa vozne površine. Najbolje so se izkazale površine, sestavljene iz 15 % deleža finega in 85 % deleža grobega kamenega agregata. Zrna agregata morajo biti čim bolj enakomerno oblikovana. Pomembno je, da ima podlaga optimalno makroteksturo in čim manjšo megateksturo. Majhno megateksturo je moč doseči z:

- Glajenjem betona z gladilno vibracijsko ploščo, ki zravnava in zgladi površino.
- Uporabo čim manjših maksimalnih zrn agregata.



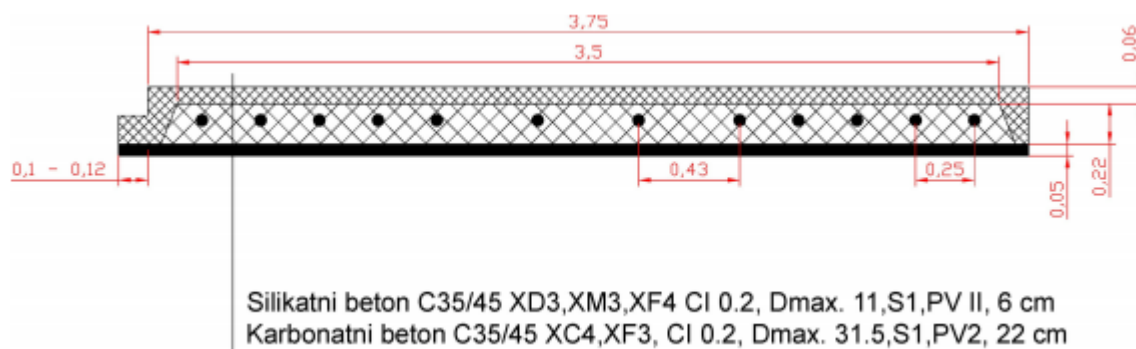
Slika 29: Primer gladilne plošče (FEHRL Report 2006/02).

Zrna agregata velikosti 4–8 mm omogočajo optimalno makroteksturo cementno betonske površine. Za doseganje trajno visoke torne sposobnosti pa je treba uporabiti agregate z visoko odpornostjo proti zaglajevanju (vrednost PSV vsaj 53). To je mogoče doseči z uporabo agregata iz silikatnih kamnin ali žlindre.

Cementno betonska vozna površina, izvedena po metodi izpostavljenih zrn, je lahko zgrajena kot enoslojna ali dvoslojna konstrukcija. Največkrat se uporablja dvoslojna metoda izvedbe. Debelina spodnje (nosilne) plasti je odvisna od obremenitve ceste in znaša med 20 in 30 cm, vrhnja obrabna plast pa je debeline med 4 in 8 cm. Z namenom zmanjšanja stroškov se zato dražje in z vidika torne sposobnosti in odpornosti na obrabo boljše agregate

uporablja zgolj v vrhnji (obrabni) plasti. Spodnja plast je zgrajena kot običajna betonska vozna površina. Materiali v spodnji plasti so lahko pridobljeni iz lokalnih virov (ker ni daljšega transporta, so cenovno najugodnejši), prav tako je mogoče uporabiti določen delež recikliranega materiala.

Za doseganje čim večjega nivoja znižanja hrupa je v vrhnji plasti treba uporabiti zrna agregata, ki niso večja od 8 mm, v spodnji plasti pa so lahko maksimalna zrna velikosti 32 mm. Z upoštevanjem zgornjih priporočil se v povprečju doseže znižanje nivoja hrupa za 2 dB(A) v primerjavi z običajnimi betonskimi vozišči. Uporaba maksimalnega zrna agregata velikosti 11 mm v zgornji plasti izboljša torno sposobnost, vendar se pri tem zmanjša redukcija hrupa take površine.



Slika 30: Prerez betonske vozne površine na odstavnem pasu AC Vrhnika-Logatec (Mrzelj, 2010).

Vsebnost zračnih por v betonski mešanici:

Z namenom doseganja zmrzlinke odpornosti betona je v mešanici treba upoštevati vsebnost zračnih por. Povečano zmrzlinsko odpornost betona lahko dosežemo z dodajanjem aeranta v svežo betonsko mešanico, ustreznost aeriranja pa v praksi preverjamo z določitvijo celotnega deleža zraka v betonu. Na zmrzlinško odpornost pa bolj kot celoten delež zraka vplivajo karakteristike zračnih por, predvsem njihovo število in porazdelitev po velikosti. Upoštevati je treba, da je pri razmerju vode in cementa, ki je nižje od 0,45, maksimalna vsebnost zračnih por odvisna tudi od maksimalnega zrna agregata. V splošnem velja:

- Pri maksimalnem zrnu 14 mm naj bo vsebnost zračnih por manjša od 4 %.
- Pri maksimalnem zrnu 8 mm naj bo zračnih por manj kot 5 %.

Izpostavljenost krovne plasti betona

Ker je krovna plast betona vseskozi izpostavljena zunanjim vplivom, je treba uporabiti različne dodatke za nego betona, ki izboljšujejo odpornost betona proti solem in drugim

sredstvom, ki se uporabljajo pri vzdrževanju cest v zimskem času. Na znižanje hrupa vozne površine ima največji vpliv krtačenje oziroma odstranjevanje odvečnega mleka s površine, da se pridobi ustrezno makroteksturo površine. Krtačenje se izvede v isti smeri, kot je predvidena smer vožnje vozil, za krtačenje pa se uporabljajo trdne plastične ščetke ali ščetke z jeklenimi ščetinami. Izbira ustrezne ščetke je odvisna od želene globine krtačenja. Za optimalno površinsko izpostavljenost zrn agregata je globina krtačenja odvisna od maksimalnega zrna. Globina brušenja znaša $1/3$ velikosti najmanjšega zrna v mešanici. Če je globina brušenja večja, lahko prihaja do izpadanja zrn agregata iz površine. Takoj po krtačenju je treba betonsko podlago očistiti z metlami.

6.2.2.2 Prednosti in slabosti prano betonske podlage

Pri pravilni izvedbi je lahko znižanje hrupa, ki ga dosežemo s takšno podlago, primerljivo s podlago, izdelano iz drobirja z bitumenskim mastiksom (SMA) oziroma tankoslojnimi prevlekami. Izbira ustreznega agregata zadovoljuje potrebam torne sposobnosti, natančna izvedba pa omogoča ustrezno ravnost podlage. Velika prednost cementno-betonskih vozniških površin, izvedenih po metodi izpostavljenih zrn v primerjavi z drugimi nizko hrupnimi površinami, je dolga življenjska doba (od 20 do 30 let). Skozi življenjsko dobo površine je redukcija hrupa enakomerna, kar ne velja za drenažne površine.

Z ustreznim zimskim vzdrževanjem je površina varna tudi v zimskem času, uporaba soli in drugih sredstev proti zmrzali, je enaka kot pri ostalih betonskih vozniških površinah.

Tehnike, ki se uporabljajo za izdelavo cementno betonskih vozniških površin, izvedenih po metodi izpostavljenih zrn, so tehnično zelo zahtevne in zahtevajo ustrezno kakovost materialov, vgrajenih v takšne površine. Zrna, ki podlagi dajejo togost in trdnost, obenem onemogočajo ustrezno teksturo vozne površine, zato je težko hkrati zagotoviti obema pogojema. V ta namen se zato uporablja dvoslojna izvedba takšnih površin, kjer spodnja plast zagotavlja trdnost in togost, vrhnja pa ustrezno teksturo podlage.

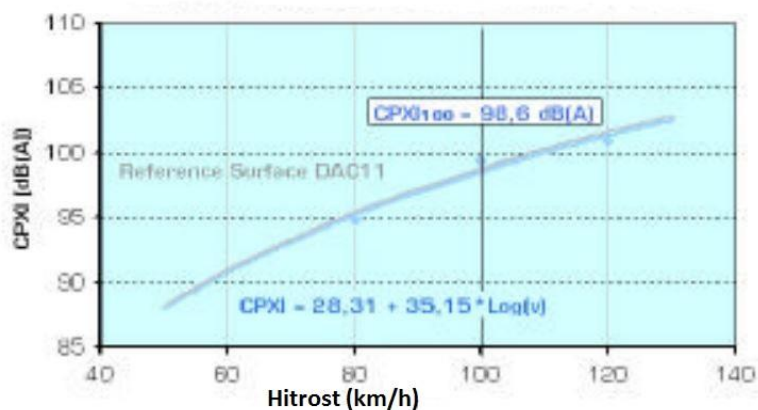
6.2.2.3 Rezultati raziskav hrupnosti

Naslednja tabela prikazuje nivoje hrupa prane betonske površine, izmerjene po določenem časovnem obdobju časovnem obdobju.

Vrsta vozila	Hitrost (km/h)	Starost površine (leta)	Nivo hrupa po SPB metodi (dB(A))	Maksimalna velikost zrna agregata (mm)
Osebni avto	80	4	75,5	7
Osebni avto	110	5,5	83,9	10
Dvoosno tovorno vozilo	85	5,5	85,5	10
Večosno tovorno vozilo	85	5,5	87,5	10

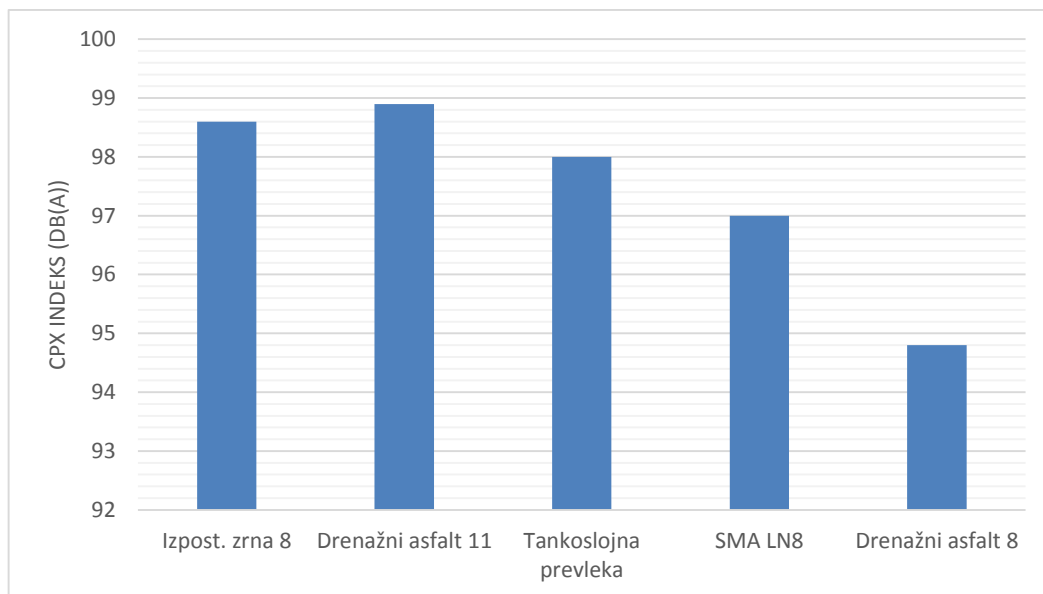
Tabela 7: Nivoji hrupa iz cementno betonskih vozni površin, izvedenih po metodi izpostavljenih zrn.

Na avstrijskih avtocestah so bile izvedene tudi meritve po CPX metodi. Slika 31 prikazuje CPX indekse na novi cementno betonski vozni površini, izvedeni po metodi izpostavljenih zrn (maksimalno zrno = 8 mm) v odvisnosti od hitrosti. Dodana je še krivulja, ki prikazuje hrup iz drenažne asfaltne betonske površine.



Slika 31: Graf hrupnosti prano betonske površine v odvisnosti od hitrosti.

Slika 32 prikazuje primerjavo nivojev hrupa cementno betonske vozne površine glede na druge vrste vozni površin (hitrost vozil pri opravljeni meritvi je bila 100 km/h).



Slika 32: CPX indeksi različnih voznih površin.

6.2.3 Žlebičenje v betonsko podlago

S posebnim strojem (frezo) se v betonsko površino izdolbe tanke (običajno 3 mm široke) vzporedne longitudinalne kanale. Žlebičenje odstrani tudi manjše neravnine in druge površinske nepravilnosti betonske podlage. Na ta način lahko uspešno saniramo teksturo betonske podlage, ki pa mora biti v dobrem stanju. Tako sanirani podlagi se zmanjša nivo hrupa za okoli 5 dB(A). Življenjska doba ukrepa je lahko do 10 let, medtem ko je na območjih, kjer pozimi uporabljajo pnevmatike z žebli, ukrep manj primeren, saj se tako sanirana površina lahko obrabi že v 2 letih. Po obrabi se lahko žlebičenje ponovi do štirikrat. Ukrep se veliko uporablja v Združenih državah Amerike. Slabost je draga izvedba, saj je cena za 1 m² globine 1 mm skoraj 1 EUR.



Slika 33: Diski za izvedbo žlebičenja.



Slika 34: Videz žlebičenja vozne površine.

6.2.4 Tanke plasti

Sanacije površin in novejšje vozne površine so običajno sestavljene iz »tankih« plasti. Tanke plasti so zamenjale običajne vroče valjane vozne prevleke, uporabnost le-teh se je z večanjem težkega tovornega prometa zmanjšala zaradi pojava kolesnic.

Mešanice za tanke plasti so v večini primerov proizvedene po vročem postopku, običajne debeline takšnih plasti so med 20 in 40 mm. Tehnologije postopkov za izdelavo tankih plasti so bile najprej razvite v Evropi, predvsem v Nemčiji, Franciji, na Nizozemskem in v Skandinavskih državah. Mešanice za tanke plasti so nastale z namenom razvoja trajne, varne in vzdržljive podlage, ki bi lahko prevzela obremenitve, povzročene s strani naraščajočega prometa. Najbolj prepoznavne lastnosti tankih plasti so skelet kamnitih zrn ovit z najkakovostnejšimi bitumenskimi vezivi z dodatkom polimerov, s katerimi se izrazito poveča odpornost zmesi proti nastanku kolesnic in deformacijam ter njeno dolgoročno trajnost ter s tem pozitivno vpliva na življenjsko dobo plasti.

6.2.4.1 Osnovne lastnosti materialov

Običajno so tanke plasti sestavljene iz drobnih zrn, debeline plasti so med 30 in 40 mm, v zadnjih letih pa se razvijajo še tanjše plasti debelin 15 mm ali celo manj. V bistvu lahko govorimo o različnih vrstah tankih plasti, ki jih razdelimo v 3 podkategorije:

- Zelo tanke plasti z debelino med 20 in 40 mm
- Ultra tanke plasti z debelino med 12 in 18 mm
- Mikro plasti z debelino med 6 in 12 mm

Če vzamemo širšo kategorizacijo, lahko pod tanke plasti spadajo tudi bitumenske mešanice proizvedene, po hladnem postopku ter smolne prevleke.

K zelo tankim plastem spadajo:

- Drobir z bitumenskim mastiksom (SMA)
- Drenažne plasti (PA)

Tanke plasti so kompromis med akustičnimi lastnostmi drenažnih asfaltnih plasti in trajnostjo drobirja z bitumenskim mastiksom (SMA). Da se optimizira tekstura plasti, je treba uporabiti manjše frakcije agregata, saj je redukcija hrupa tankih plasti posledica teksture podlage in ne absorpcije zvoka (zaradi tanke plasti je absorpcijska krivulja pri zelo visoki frekvenci (približno 2000 Hz)). Kljub temu pa je drenažna površina ugodna s strani črpanja zraka. Bitumenske mešanice so običajno modificirane z različnimi dodatki, kot so elastomeri in vlakna. Zrna tvorijo skelet in se tako odlično upirajo preoblikovanju (kolesnice).

Zmanjšanje hrupa, ki ga lahko dosežemo s tankimi plastmi, je od 1–6 dB(A), odvisno od vrste tanke plasti (SMA do 4 dB(A), PA do 6 dB(A)). Tanke plasti se, kot ukrep, zaradi cenovno ugodnega načina izvedbe v Evropi za zmanjšanje hrupa prometa največ uporabljajo.

6.2.4.2 Prednosti in slabosti

- Prednosti:

Tanke plasti (še posebej drobir z bitumenskim mastiksom, ko je uporabljen kot tanka plast) imajo veliko odpornost proti deformacijam in nastanku kolesnic. Vzrok je v postavitvi zrn, ki tvorijo skelet in velikemu deležu veziva, obogatenega z različnimi dodatki.

Zaradi majhne debeline plasti je gradnja hitra in omogoča preplastitev velikih površin v relativno kratkem času, kar pomeni, da je promet manj časa oviran.

Prednost tankih plasti je tudi v zmožnosti recikliranja, saj je mogoče reciklirati več kot 70 % materialov, uporabljenih v takšnih prevlekah.

- Slabosti:

Zaradi tankega filma veziva, ki obliva zrna na površini podlage, je takoj po položitvi plasti zmanjšana torna sposobnost, ki se nato čez čas izboljša (vozila odstranijo površinski film veziva).

Za doseganje visoke torne sposobnosti in velike odpornosti proti zaglajevanju je potrebna uporaba agregatov iz silikatnih kamnin ali žilindre, ker so ti materiali težje dostopni in jih je običajno treba dovažati na velike razdalje, se izvedba tankih prevlek močno podraži.

Zaradi visokega deleža polimernega veziva je lahko recikliranje oteženo, nevarno in ob nepravilni izvedbi ogroža zdravje.

6.3 Drobir z bitumenskim mastiksom

Asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom (Stone mastix asphalt – SMA) so značilne za obrabne plasti, ki se na sodobnih voziščnih konstrukcijah uveljavljajo predvsem za zmanjšanje prekomernega preoblikovanja in hrupnosti, na začetku pa so bile namenjene za povečanje odpornosti obrabnih plasti proti obrabi. Medtem ko običajna asfaltna zmes – bitumenski beton (AC) – vsebuje razmeroma enakomerno sestavljeno zmes kamnitih zrn, vsebuje drobir z bitumenskim mastiksom pretežno večja in odpornejša zrna drobirja, ki ustvarjajo nosilni skelet, votline v njem pa so v večini zapolnjene z bitumenskim mastiksom (J. Žmavc, 2007).

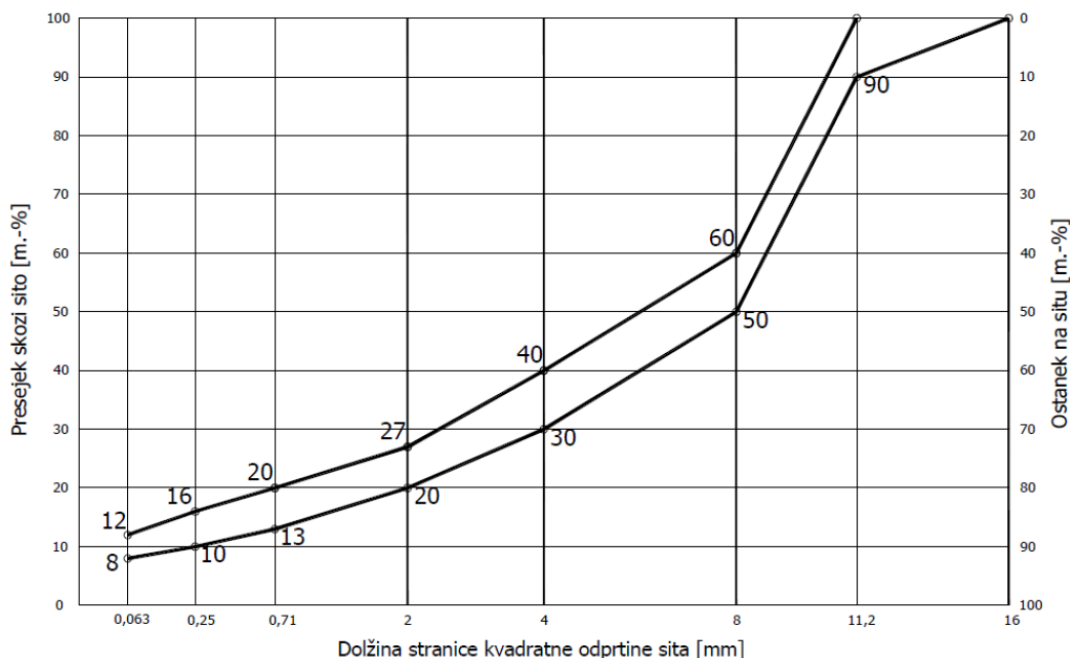
Za asfaltne zmesi drobirjev z bitumenskim mastiksom je značilno, da poleg velike odpornosti proti preoblikovanju do določene mere tudi zmanjšajo hrup, ki ga povzročajo motorna vozila. Prav v ta namen pa se je razvila nova vrsta drobirja z bitumenskim mastiksom, poznana pod imenom SMA LN (Stone mastix asphalt low noise), ki ima povečano vsebnost votlin in tako združuje lastnosti navadnega drobirja z bitumenskim mastiksom in drenažnega asfalta.

6.3.1 Osnovne lastnosti materialov

Običajno drobir z bitumenskim mastiksom vsebuje od 70 do 85 m.-% kamenega agregata, 5–14 m.-% kamene moke (filerja) od 5–8 m.-% bitumenskega veziva in 0,3–0,4 m.-% mineralnih oziroma celuloznih vlaken (VIATOP). Običajna volumska vsebnost votlin je med 2 in 8 v.-%. Deleži posameznih sestavin se spreminjajo glede na lokalne pogoje in zahteve (klimatski pogoji, prometna obremenitev ...).

Pri proizvodnji drobirjev z bitumenskim mastiksom je treba paziti na vsak korak proizvodnje. Potrebna je uporaba ustreznih agregatov, paziti je treba na ustrezno skladiščenje celuloznih ali mineralnih vlaken ... Temperatura mešanja je običajno malenkost višja kot pri običajnih asfaltnih mešanicah, s čimer se doseže ustrezna viskoznost mastiksa. Mineralna ali celulozna vlakna omogočajo ustrezno vgradnjo zmesi s povečanim deležem bitumna (vlakna vpijejo bitumen in preprečijo, da se bi pri vgrajevanju bitumen izločal na površini).

Zmes zrn drobirja z bitumenskim mastiksom ima večji delež večjih zrn, ki tako tvorijo skelet in manj zrn manjših od 2 mm (pri običajnem asfalt betonu je delež majhnih zrn večji od 40 m.-%).



Slika 35: Mejni krivulji za območje zmesi kamnitih zrn za SMA 11 in SMA 11 og (Henigman in sod., 2011).

Debelejši film bitumenskega veziva, ki ovija kamnita zrna, upočasnjuje nastanek škodljivih sprememb, ki so v veliki meri posledica staranja bitumenskega veziva. Bitumensko vezivo uporabljeno v mešanici, je lahko navaden cestno-gradbeni bitumen, vendar se običajno uporablja polimerni bitumen ali bitumen z dodatkom gume, s čimer se doseže večja odpornost na deformacije in daljšo življenjsko dobo asfaltne površine.

6.3.2 Prednosti in slabosti

Ob pravilno načrtovani proizvodnji in vgrajevanju omogoča drobir z bitumenskim mastiksom odlične vozne lastnosti, kot so ravnost, odlična torna sposobnost, visoka odpornost proti nastanku kolesnic, deformacijam in razpokam. V primerjavi z običajnimi asfaltnimi podlagami omogoča drobir z bitumenskim mastiksom redukcijo hrupa do 3 dB(A). Pri izvedbi take podlage pa je treba veliko pozornosti nameniti pravilnemu vgrajevanju (ustrezno zgoščanje). Takoj po izgradnji površine je zaradi filma bitumna, ki ovija površinska zrna zmanjšana torna sposobnost. Vozila površinski film bitumna z vožnjo po površini odstranijo, s čimer se poveča torna sposobnost.

Vrsta vozila	Hitrost (km/h)	Starost površine (leta)	Nivo hrupa po SPB metodi (dB(A))	Maksimalna velikost zrna agregata (mm)
Osebni avto	80	3,5	78,5	11
Osebni avto	110	3,5	82,2	11
Dvoosno tovorno vozilo	85	3,5	85,2	11
Večosno tovorno vozilo	85	3,5	88,1	11

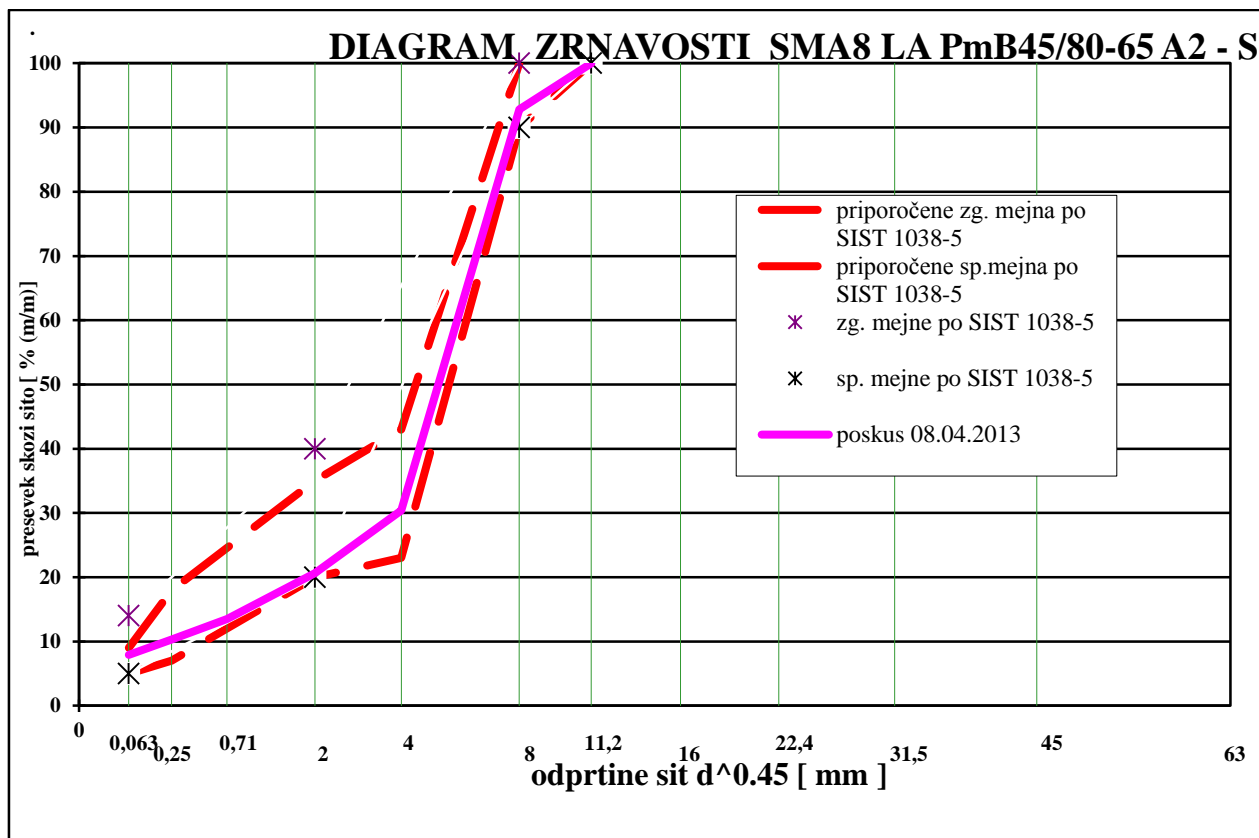
Tabela 8: Nivo hrupa površine iz drobirja z bitumenskim mastiksom.

6.3.3 Manj hrupni drobir z bitumenskim mastiksom (SMA LN)

Manj hrupni drobir z bitumenskim mastiksom (SMA LN) je z vidika hrupa optimizirana zmes drobirja z bitumenskim mastiksom. Pri tem je zlasti pomembno, da se način vgradnje in stroški proizvodnje bistveno ne razlikujejo od običajnega drobirja z bitumenskim mastiksom. Ena izmed bistvenih lastnosti SMA LN je povečana vsebnost votlin, s čimer je omogočena višja absorpcija zvoka. Raven hrupa se lahko zmanjša za do 5 dB(A) v primerjavi z običajno asfalt-betonsko podlago. V primerjavi z drenažnim asfaltom je pri SMA LN možno pričakovati daljšo življenjsko dobo in manjše stroške vzdrževanja.

6.3.3.1 Lastnosti materialov

V splošnem velja, da so materiali in količine uporabljene v SMA LN enake kot v navadnem SMA z nekaterimi razlikami. Za doseganje ustrezne teksture je velikost kamnitih zrn v zmesi omejena na 8 mm, treba je določiti takšno sejalno krivuljo, ki omogoča povečano vsebnost votlin (10–12 v.-%).



Slika 36: Diagram zrnivosti SMA 8 LN.

6.3.3.2 Vgrajevanje

Vgrajevanje SMA LN poteka z enakimi stroji in na podoben način kot pri vgrajevanju drugih asfalt betonskih podlag. Kot podlago za SMA LN se priporoča asfaltna vezna plast asfalt betona AC 16 Base, saj je tako zmanjšana segregacija zmesi v primerjavi z zmesjo AC 22 Base, poleg tega pa zagotavlja enakomerno strukturo površine. Za doseganje ustrezne zlepljenosti se podlago pobrizga z nestabilno kationsko emulzijo v običajnih količinah med 0,5 in 0,6 kg/m², istočasno pa brizganje učinkuje tudi kot zatesnitev podlage (SMA LN se namreč, zaradi povečane vsebnosti votlin, upošteva kot pol prepustna podlaga). Za zgoščevanje plasti SMA LN se uporabljajo zgolj statični prehodi. Za doseganje lastnosti zmanjševanja hrupa se asfaltnih plasti iz SMA LN ne sme posuti z zrni drobirja, začetna slabša torna sposobnost se kljub temu izboljša v nekaj tednih po spustitvi v promet.

6.3.3.3 Prednosti in slabosti

Manj hrupen drobir z bitumenskim mastiksom predstavlja kompromis med navadnim SMA in drenažnim asfaltom. Zaradi povečane vsebnosti votlin omogoča višje zmanjšanje hrupa (podobno kot PA), pri tem pa se njegova življenjska doba bistveno ne zmanjša. V primerjavi

z drenažnim asfaltom ni občutljiv na izpadanje zrn, zato se lahko uporablja tudi na območjih s počasnejšim prometom ter v krivinah. Posebno vzdrževanje (čiščenje) ni potrebno.

6.4 Drenažne podlage

6.4.1 Drenažna asfalt betonska podlaga

Drenažni asfalti (PA) se po vsem svetu uporabljajo zaradi ugodnih vozni lastnosti. Zaradi svoje grobe teksture in velikega deleža votlin (več kot 20 v. %) imajo izboljšano odpornost proti drsenju in zagotavljajo dobro vodljivost v mokrem, saj zmanjšujejo pršenje vode za vozili in zastajanje vode na vozišču. To v veliki meri pripomore k varnejšemu odvijanju prometa in večji pretočnosti. Poleg učinkovitosti v deževnih pogojih pa je drenažni asfalt zelo učinkovit pri zmanjšanju hrupnosti, ki jo povzroča kotaljenje pnevmatike po podlagi. S tem se zmanjšujejo stroški za izgradnjo protihrupnih ukrepov in izboljšajo bivalne razmere prebivalcev v vplivnem območju cest.

6.4.1.1 Delitev asfalt betonskih drenažnih podlag

Drenažne asfaltne plasti lahko delimo na:

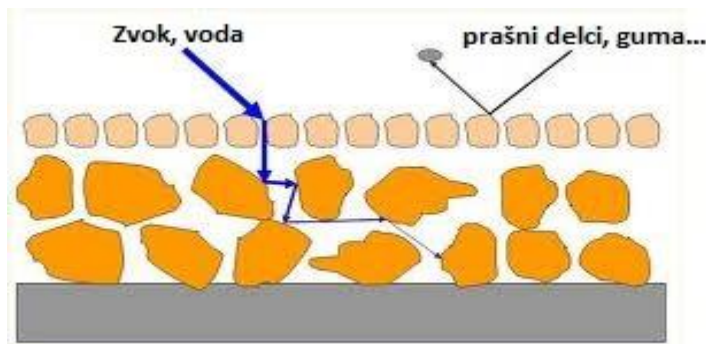
- Enoslojno asfalt betonsko drenažno podlago

Zaradi odličnih absorpcijskih lastnosti drenažne plasti je tako možna redukcija hrupa, ki ga povzroča kotaljenje kolesa po podlagi kot redukcija hrupa, nastalega iz pogonskega sistema vozila. V povprečju se jakost hrupa pri višjih hitrostih vozil zmanjša za 3 dB(A). Zaradi uporabe grobih agregatov tekstura (govorimo o megateksturi) vozne površine ni idealna. Drenažna plast je lahko bolj ali manj učinkovita pri zmanjševanju hrupa, odvisno od recepture, po kateri je pripravljena (krivulja zrnivosti, vsebnost votlin ...). V nekaterih primerih so meritve hrupa pokazala večje zmanjšanje (celo do 9 dB(A)) v drugih pa se je raven hrupa celo povečala (do 3 dB(A)), zato ne moremo z gotovostjo trditi, da je vsaka drenažna plast zagotovilo za nizko hrupno površino.

- Dvoslojno asfalt betonsko drenažno podlago

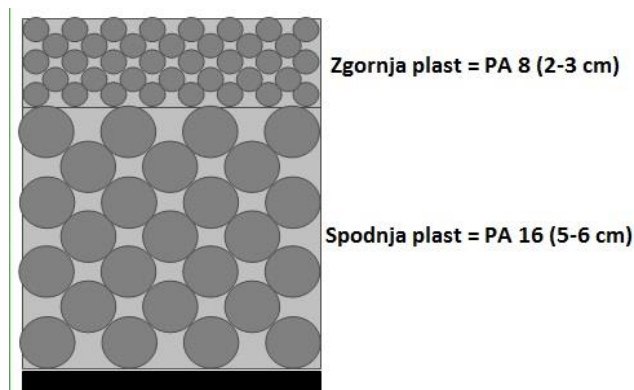
Dvoslojna asfaltna drenažna podlaga je bila razvita na Nizozemskem na začetku 90-ih let prejšnjega stoletja. Ugotovili so, da je z dvoslojno drenažno plastjo možno doseči še večje zmanjšanje hrupa, kot z enoslojno. Dvoslojna asfaltna drenažna podlaga je sestavljena iz spodnje plasti drenažnega asfalta PA 16, debeline 4–6 cm grobe zrnivosti in zgornje plasti PA 8 ali manj debeline 2–4 cm s finejšo zrnivostjo. Zgornja plast služi kot sito in preprečuje

večjim delcem nečistoč prodiranje v spodnjo plast z večjimi votlinami, kar ohrani votline dalj časa. Prednost manjših zrn v vrhni plasti se kaže tudi v zmanjšanju vibracij pnevmatike. Oboje tako uspešno vpliva na redukcijo hrupa.



Slika 37: Vrhna plast dvoslojne drenažne podlage deluje kot sito in ščiti votline v spodnji plasti.

Tako izvedena drenažna površina ima izboljšano teksturo (gornja plast iz finejšega agregata), visoka vsebnost votlin (25–30 v.-%) pa omogoča še boljšo absorpcijo hrupa. Zmanjšanje hrupa je tako velikosti od 4 do 6 dB(A) pri osebnih vozilih s hitrostjo 50 km/h in do 8 dB(A) pri hitrosti vozil 100 km/h, zato veljajo dvoslojne drenažne površine za najtišje vozne površine. Različice s finejšimi agregati v gornji plasti (2/4, 3/6) v povprečju omogočajo še do 1,5 dB(A) večjo redukcijo hrupa, kot tiste z večjimi zrnji (4/8). Tako je mogoče z ustrezno optimizirano dvoslojno drenažno površino doseči zmanjšanje hrupa v velikosti do 9 dB(A). V začetku so se za zgornjo plast uporabljala zrna velikosti 4–8 mm, v zadnjem času pa se vse bolj uveljavljajo zrna velikosti 3–6 mm. Preizkusi so bili izvedeni tudi za zrna 2–4 mm, vendar se je izkazalo, da se taka plast hitro zapolni z nečistočami in tako ni več drenažnega učinka. Poleg tega pa so se pojavile tudi kolesnice.



Slika 38: Dvoplastni drenažni asfalt.

6.4.1.2 Osnovne lastnosti materialov

Struktura drenažnega asfalta je drugačna od strukture navadnih tako imenovanih gostih asfaltov (bitumenskih betonov AC, drobir z bitumenskim mastiksom SMA). Drenažni asfalt je sestavljen predvsem iz grobega agregata z majhnimi količinami peska in polnila, s čimer je ustvarjena odprta tekstura in prepustna struktura z visoko poroznostjo.

Glede na sestavo zmesi kamnitih zrn poznamo več tipov drenažnih asfaltov:

- PA 8
- PA 8 og
- PA 11
- PA 11 og
- PA 16 (ni več v uporabi)

Oznaka »og« v angleškem jeziku pomeni »Open Graded«, kar predstavlja nekakšno kombinacijo med drobirjem z bitumenskim mastiksom (SMA) in drenažnim asfaltom (PA) v smislu sestave zmesi kamnitih zrn. Bolj zvezna sestava torej vsebuje večji delež drobnih zrn kot tipični drenažni asfalt. Ta vrsta sestave drenažnih asfaltov je novost pri nas.

Debelina vgrajene obrabne plasti z drenažnega asfalta je natančno določena v tehniških specifikacijah za ceste (TSC). Glede na vrsto drenažnega asfalta se razlikuje tudi njegova vgrajena debelina.

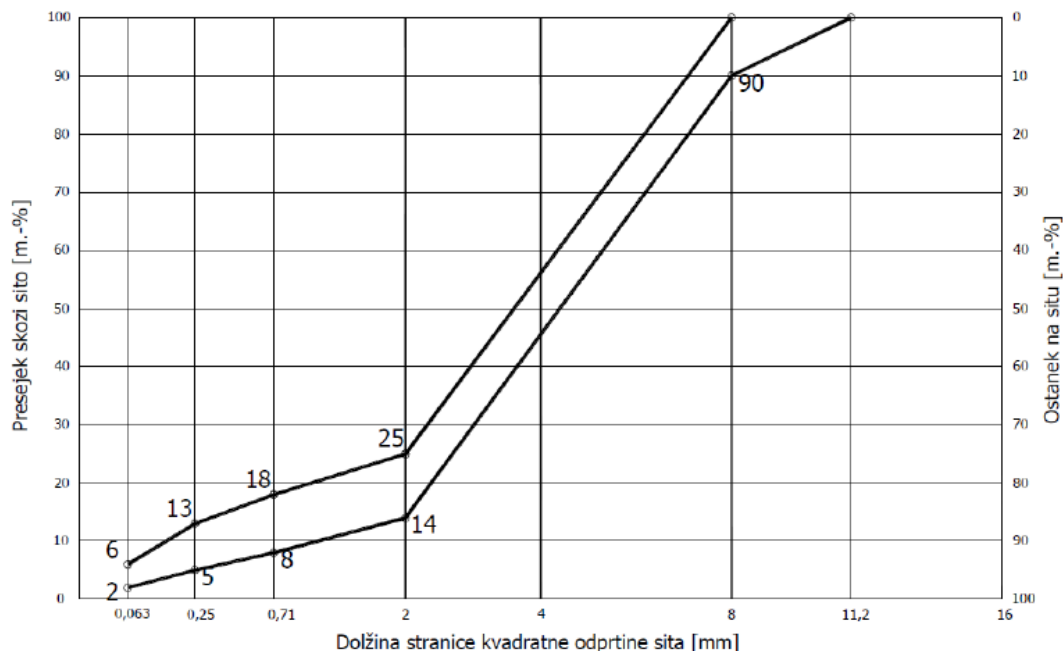
Ena bistvenih lastnosti vgrajenega PA je njegova porozna oziroma odprta sestava. Vsebnost votlin je eden najpomembnejših podatkov pri gradnji drenažnega asfalta. Vsebnost votlin je namreč bistveno večja, kot pri ostalih vrstah obrabnih plasti (SMA ima v povprečju med 3 in 8 v. % votlin).

Lastnost vgrajene bituminizirane zmesi	Postopek za preskus	Enota mere	Vrsta bituminizirane zmesi			
			PA 8	PA 8 og	PA 11	PA 11 og
- zgoščenost plasti	TSC 06.711	%	≥ 97		≥ 97	
- vsebnost votlin v plasti	SIST EN 12697-8	V.-%	$V_{min15} - V_{max28}$	$V_{min2,5} - V_{max11}$	$V_{min15} - V_{max28}$	$V_{min2,5} - V_{max11}$

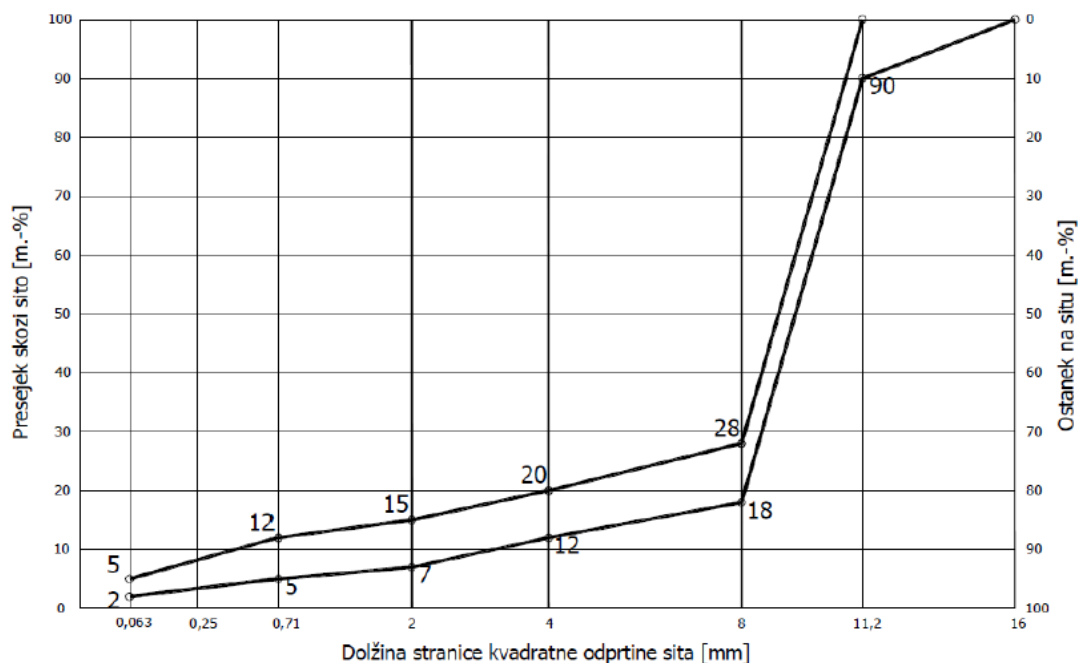
Tabela 9: Mejne lastnosti za prostorske lastnosti vgrajenih zmesi drenažnega asfalta (TSC 06.418: 2011).

Sestava zmesi kamnitih zrn je pri drenažnih asfaltih specifična, saj vsebuje zelo majhen delež frakcij, manjših od 2 mm. Ima pa v svoji sestavi zelo veliko največjih dovoljenih zrn za

posamezno vrsto drenažnega asfalta. Tako ima PA 11 največ zrn velikosti med 8 in 11 mm, PA 8 pa med 4 in 8 mm.



Slika 39: Mejni krivulji za območje zmesi kamnitih zrn za drenažni asfalt PA 8 (Henigman in sod., 2011).



Slika 40: Mejni krivulji za območje zmesi kamnitih zrn za drenažni asfalt PA 11 (Henigman in sod., 2011).

Hitro staranje z odprtimi votlinami bogate bituminizirane zmesi v plasti drenažnega asfalta je treba zmanjšati oziroma upočasniti z ustreznim izborom in razmeroma velikim deležem

bitumenskega veziva oziroma bitumenske malte. Optimalni vezivi, ki sta sposobni zagotoviti potrebne značilnosti, sta polimerni in gumirani bitumen (Henigman in sod., 2011).

6.4.1.3 Prednosti in slabosti

Poleg posebej omenjene sposobnosti zmanjševanja hrupa iz vozne površine ima drenažna asfaltna podlaga še druge pomembne prednosti.

Zmanjšuje pršenje vode za vozili in zastajanje vode na vozišču.

V nasprotju z gostimi bituminiziranimi zmesmi lahko pri uporabi drenažnega asfalta površinska voda odteče skozi pore, ki jih ima vozna površina v deležu od 16 do 26 %.

Takšna asfaltna plast omogoča dobro vidljivost tudi v deževnih razmerah. Absorpcija površinske vode je učinkovita pri zmanjšanju akvaplaninga, ki se pojavi kot posledica tanke plasti vode, po kateri se premikajo vozila. Dokazano je, da drenažni asfalt prispeva k zmanjšanju števila nesreč v deževnih dneh. Še posebej učinkovite so drenažne asfaltna plasti na vijačnih prehodih, kjer prihaja zaradi spreminjanja prečnega naklona vozišča do zastajanja ali pretakanja vode po površini vozišča (Fortuna, 2011). Druga možna varianta izvedbe odvodnjavanja vode z vijačnega prehoda je izvedba žlebičenja. Na spodnjih fotografijah se jasno vidi zmanjšano pršenje vode in hkrati boljšo vidljivost v prometu.



Slika 41: Primerjava pršenja iz nedrenažne (levo) in drenažne (desno) vozne površine.



Slika 42: Lepo viden prehod iz drenažne v nedrenažno podlago.

Odlično odvajanje vode drenažne plasti pa ima za posledico tudi zmanjšanje odboja svetlobe in bleščanja žarometov, še zlasti v nočnem času.



Slika 43: Zmanjšanje odboja svetlobe iz vozne površine (Takahashi, Partl, 2006).

Prednost drenažne vozne površine je tudi izboljšana odpornost proti drsenju (torna sposobnost) v mokrih pogojih. V primerjavi z ostalimi asfaltnimi voznimi površinami je tako torna sposobnost v mokrih razmerah boljša za 10–15 % (povprečna SR vrednost je 78). Pri tem pa je treba omeniti tudi slabost, saj je v prvih mesecih po izgradnji na površini okrog zrn še plast bitumna, kar pomeni, da zrna ne nudijo ustrezne mikroteksture, kar močno zmanjšuje torno sposobnost. Plast bitumna nato v nekaj mesecih vozila odstranijo s površine.

Kljub številnim prednostim ima drenažni asfalt kar nekaj lastnosti, ki vplivajo na njegovo krajšo življenjsko dobo. Odprta struktura zmesi ponuja veliko površino, na katero vplivajo zrak (kisik – oksidacija veziva), sonce in voda, kar vodi do hitrega staranja veziva in s tem do hitrejšega izpadanja zrn oziroma luščenja površine. Tudi nizke zimske temperature povzročajo pospešeno staranje veziva in s tem izpadanje zrn s površine. Prav tako pa se lahko zaradi zamašitve por z umazanijo (delci gum, prah) zmanjša njegova drenažna sposobnost in zmožnost absorpcije hrupa. V splošne imajo drenažni asfalti krajšo življenjsko dobo, ki v povprečju znaša 8–10 let, nakar so običajno potrebne prve sanacije. Kljub temu pa je treba zaradi pozitivnih karakteristik drenažnih asfaltnih plasti povečati površine drenažnih asfaltnih plasti, predvsem na cestah v priobalnem območju in področjih z malo snežnimi padavinami. Na ostalih območjih pa je potrebno iti v smeri izvedbe obrabnih površin s pol-drenažnimi asfalti ali drobirjem z bitumenskim mastiksom s povečanim deležem votlin. S takšno bituminizirano zmesjo obdržimo tako prednosti drenažnih asfaltov kot prednosti gostih asfaltnih zmesi.

6.4.1.4 Vzdrževanje in čiščenje asfaltnih betonskih drenažnih voznih površin

Osnovni namen vzdrževanja drenažnega asfalta je preprečitev zapolnjenja prostih votlin z drobnim materialom, ki se nabira po vozišču. Za vzdrževanje čistega drenažnega asfalta, ki je sposoben ustrezno odvajati padavinsko vodo ter zmanjševati hrup v vsej življenjski dobi, je treba površino vsaki dve leti posesati z ustrezno sesalno napravo (npr. vakuumska krtača). Posebno pozornost je treba nameniti vzdrževanju zasejanih površin, ki mejijo na drenažni asfalt, in sicer tako, da se zemlja ne izpira na vozno površino.

Obrabne plasti drenažnih asfaltov je prepovedano posipati s peskom, saj lahko pesek zamaši oz. zapolni zračne pore na drenažnem asfaltu, kar bi odločilno vplivalo na emisije hrupa in sposobnost dreniranja vode. Tako se vozne površine z drenažnega asfalta posipava izključno s soljo oziroma solno tekočino. Na obrabni plasti bitumenskega betona se sol na mokri cesti (podlagi) stopi. Pri drenažnih obrabnih plasteh pa je veliko več zračnih por in sol

se porazgubi v te male votlinice. Zato je količino soljenja treba povečati od 25 do 100 % (Greibe, 2008).

6.4.2 Drenažni cement beton

Vozne površine sestavljene iz drenažnega cementa in betona so še v fazi razvoja. Receptura za drenažni cementni beton je podobna recepturi za drenažni asfaltni beton, le da se za vezivo namesto bitumna uporabi cement. Osnovne karakteristike takšnih površin (pršenje, torna sposobnost ...), so podobne drenažnim površinam iz asfaltnega betona. Zmanjšanje hrupa je enake velikosti kot pri drenažnem asfaltu (okrog 5 dB(A)), v nekaterih primerih celo malenkost večje.



Slika 44: Drenažna cement betonska površina.

Ideja drenažnih cementno betonskih površin se je pojavila zaradi boljše odpornosti proti izpadanju zrn takšne podlage v primerjavi z asfaltnimi drenažnimi površinami. Vsebnost votlin v takšne površine je med 25 in 30 v.-%, medtem ko se pri asfaltnih drenažnih površinah pri vsebnosti votlin več kot 20 v.-% pojavi velik problem izpadanja zrn. V Združenih državah Amerike se razvija tehnologija drenažnih cementnih betonskih površin v dveh slojih, kar obeta še boljše rezultate.

Prednosti v primerjavi z asfaltnimi drenažnimi površinami so daljša življenjska doba in boljša odpornost proti nastanku kolesnic. Izdelava take podlage je draga, saj je v mešanici treba uporabiti veliko število polimernih dodatkov, prav tako je treba pri betoniranju paziti na ustrezno teksturo površine. Največ odsekov s to vrsto podlage najdemo v ZDA, Nemčiji in na Nizozemskem.

Vrsta vozila	Hitrost (km/h)	Starost površine (leta)	Nivo hrupa po SPB metodi (dB(A))	Maksimalna velikost zrna agregata (mm)
Osebni avto	80	4	74,5	7
Osebni avto	110	1,5	77	8
Dvoosno tovorno vozilo	85	1,5	80,2	8
Večosno tovorno vozilo	85	1,5	83,5	8

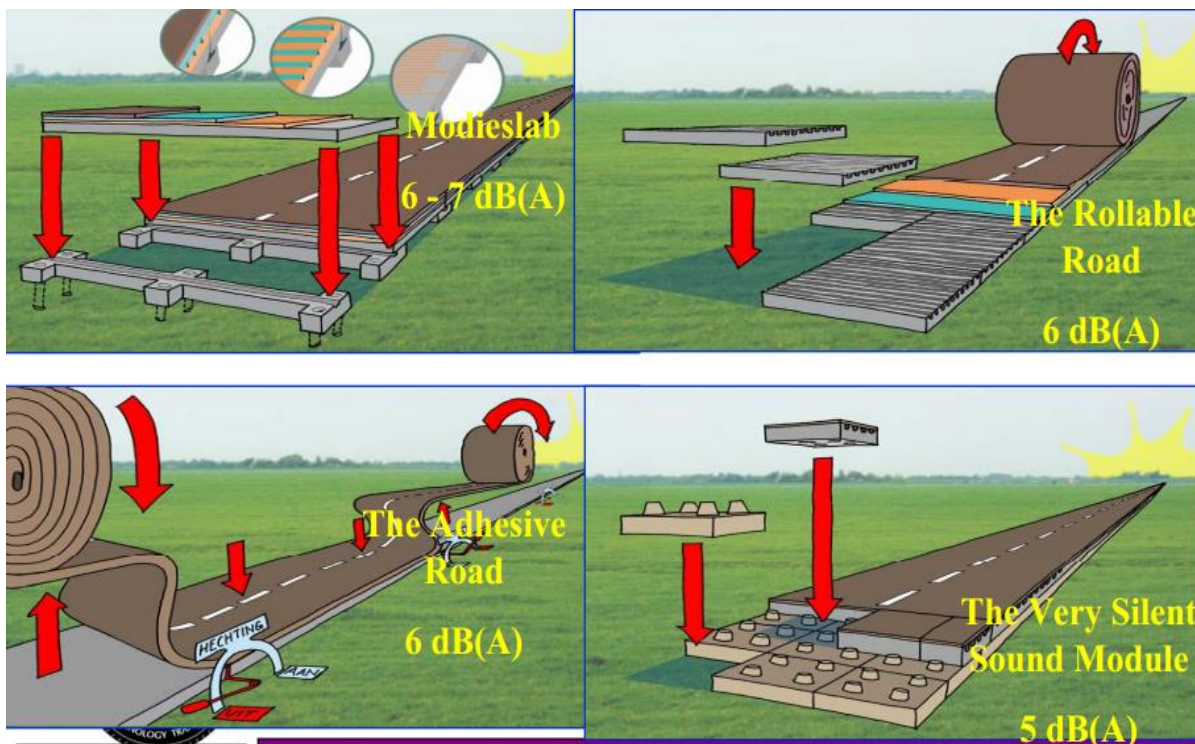
Tabela 10: Nivoji hrupa drenažnih cementno betonskih voznih površin.

6.5 Prefabricirane podlage

Raziskave na prefabriciranih vozni površinah se izvajajo predvsem na Nizozemskem.

Takšne podlage so sestavljene iz več plasti, pri katerih ima vsaka plast določen namen (zmanjševanje hrupa, vodoprepustnost ...). Najbolj znana imena takšnih podlag so:

- Modieslab: Dvoslojna drenažna cement betonska plošča posebej dimenzionirana za polaganje na pilote. Podlaga je namenjena za področja s slabo nosilno podlago. Zmanjšanje hrupa je 7 dB(A) v primerjavi z asfalt betonsko podlago.
- The Rollable Road: V cement betonsko podlago vgrajen Helmholtzov resonator. Na betonsko podlago je položena tanka prevleka iz roliranega drenažnega asfalta.
- The Very Silent Noise Module: Koncept podoben kot pri Rollable Road, z zelo tanko plastjo nizko hrupnega asfalta.
- The Adhesive Road: Roliran drenažni asfalt položen na spodnjo nosilno plast. Stik med plastema nudijo močna lepila.



Slika 45: Principi prefabriciranih nizko hrupnih voznih površin (Robert J. Bernhard, 2005).

V večini primerov gre zgolj za ideje, ki pa so za enkrat težko izvedljive. Od omenjenih površin se izvajajo raziskave in razvoj predvsem na izdelku Modieslab in The Very Silent Noise Module (Rollpave). Največ pozornosti v razvoju takšnih površin posvečajo na Nizozemskem.

6.6 Evfonične podlage

Gre za podlage, sestavljene iz vrhnje plasti drenažnega sloja debeline 40–60 mm in spodnjo armiranobetonsko ploščo z vgrajenim Helmholtzovim resonatorjem prostornine cca. 500 cm³. Resonator absorbira frekvence, ki so blizu lastnim frekvencam (rezonanca). Uporaba takšnih površin bi bila ustrezna v mestih, kjer prevladuje hrup motorja in izpušnega sistema. Čeprav so laboratorijske raziskave pokazale, da gre za uspešen koncept pa se v praksi takšna podlaga ni izkazala za posebej učinkovito. Zmanjšanje hrupa je bilo v primerjavi z dvoslojno drenažno podlago slabše za 1–2 dB(A), kar nikakor ne zadovolji izjemno dragih in zahtevnih izgradenj konstrukcije.

6.7 Elastične podlage

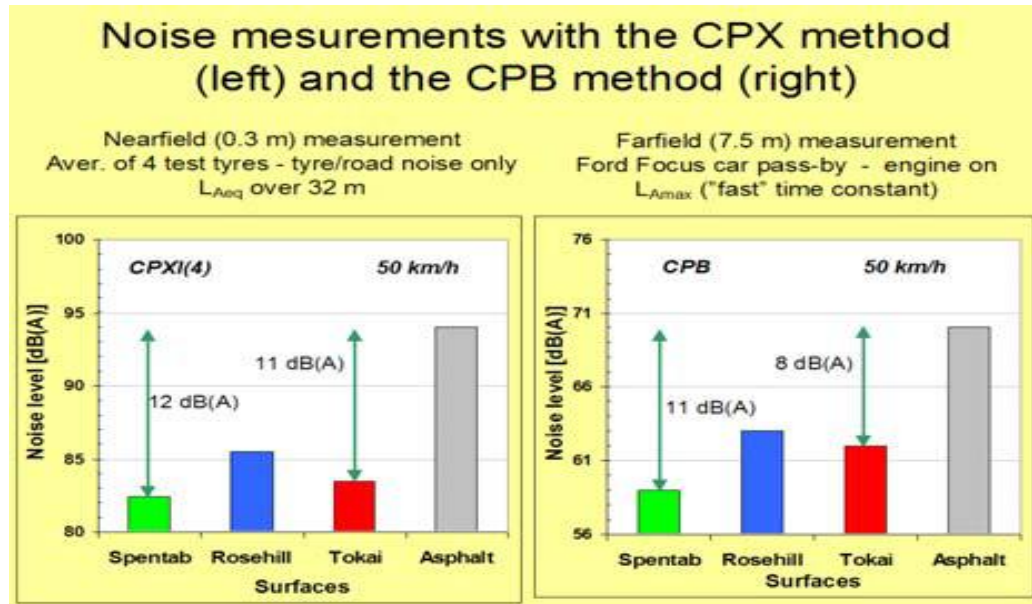
6.7.1 Asfalt z dodatkom gume

Običajni asfalt betoni ali drobirji z bitumenskim mastiksom (SMA) z dodanim določenim deležem gumi granulata. Gumi granulati se lahko dodaja v bitumensko mešanico (običajno je delež gumi granulata med 3 in 6 % skupne teže), takrat govorimo o suhem postopku, če pa

uporabimo gumo kot dodatek bitumnu (med 15 in 20 m.-%), govorimo o t. i. mokremu postopku proizvodnje. Moker postopek se lahko uporablja kot dodatek k vezivu pri proizvodnji drenažnih asfaltnih podlag. Do leta 2003 je veljalo, da dodajanje gume v bitumensko mešanico ne vpliva na zmanjšanje hrupa vozne površine, raziskave, izvedene leta 2004 pa so pokazale, da je redukcija hrupa gumiranih asfalt betonskih vozni površin (RAC) le malo manjša kot pri dvoslojnih drenažnih asfaltnih površinah. Tako je mogoče pričakovati zmanjšanje hrupa v velikosti od 6 do 8 dB(A) v primerjavi z običajno asfalt betonsko podlago. Gumirana asfalt betonska površina (RAC) je podobna površini iz drobirja z bitumenskim mastiksom (SMA) debeline 2,5 cm z vsebnostjo od 8 do 10 m.-% veziva. Mešanica iz gume in asfalta običajno vsebuje od 14 do 20 % masnega deleža gumenega agregata. Prvi poskusi dodajanja gume v asfaltno mešanico so bili izvedeni na Švedskem (RUBIT). Prednosti bituminiziranih zmesi z gumiranim bitumenskim vezivom so tudi velika elastičnost, odpornost proti preoblikovanju in spremembam, ki jih pogojuje staranje bitumenskega veziva.

6.7.2 Elastične drenažne podlage

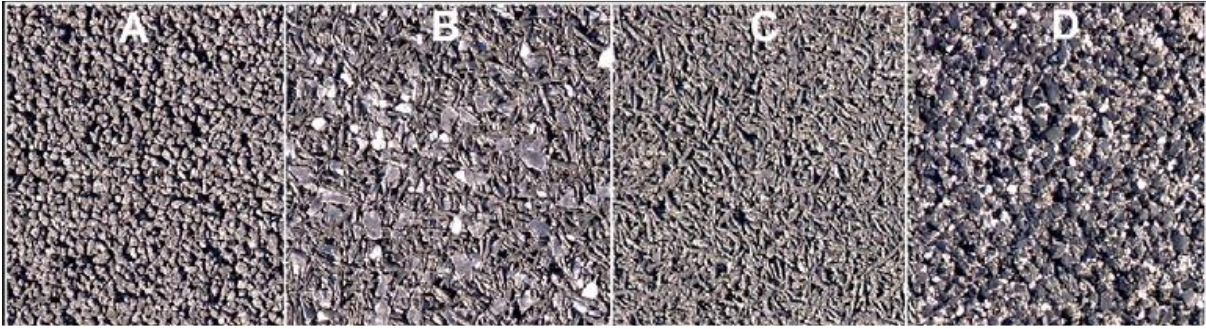
Elastična drenažna cestna podlaga (PERS) ima velik delež (vsaj 20 % prostornine, običajno 30 %) med seboj povezanih votlin ter najmanj 20 % masnega deleža gumenega dodatka. Skozi takšno površino zlahka prehajata tako voda kot zrak, istočasno pa je zaradi dodatka gume takšna površina elastična. Običajna mešanica za takšno podlago je sestavljena iz kockastih ali vlaknastih delcev gume (vir so običajno izrabljene pnevmatike), kamenega agregata ustrezne zrnivosti, ki omogoča boljšo torno sposobnost v vlažnih razmerah ter veziva (bitumen, poliuretan ...). Običajna debelina plasti je 3–4 cm. Elastična drenažna cestna podlaga se lahko izdeluje na licu mesta ali pa je kot prefabriciran izdelek zlepljen na trdno spodnjo nosilno plast. Običajno se za zlepljenje uporabljajo lepila na epoksi osnovi. Takšne podlage zagotavljajo izredno veliko zmanjšanje hrupa (do 12 dB(A)). Za zdaj znane pomanjkljivosti takšnih podlag so nezadostna zlepljenost plasti s spodnjo nosilno plastjo, velike poškodbe povzročene s strani snežnih plugov, slabša torna sposobnost takšnih vozni površin ter slaba požarna odpornost. Konstrukcija in izvedba takšnih površin je izjemno draga, predvsem zaradi velike vsebnosti dragih surovin (vezivo, lepilo). Ta vrsta podlage je še v fazi eksperimentiranja in testnega preizkušanja.



Slika 46: Primerjava hrupa iz asfalt betonske podlage in elastične drenažne podlage.



Slika 47: Primer vgradnje elastične drenažne podlage.



Slika 48: Videz površin iz elastične drenažne podlage.

7 IZVEDBA POSKUSNEGA POLJA IZ NIZKOHROPNEGA ASFALTA PRI OBNOVI AC ODSEKA DIVAČA-KOZINA

V okviru obnove avtocestnih odsekov A1 0659 Gabrk-Divača od 2.270 km do 2.878 km in A1 0660 od 0.000 km do 6.420 km sta se izvedli poskusni polji iz nizkohrupnega drobirja z bitumenskim mastiksom (SMA LN) in gumiranega drenažnega asfalta (PA RmB). Pred izvedbo poskusnih polj na avtocesti pa je bilo treba izvesti tudi krajše testno polje (cca. 500 m²), ki je bilo izvedeno v bližini asfaltne baze Laže.

7.1 Potek del

Najprej je bilo treba izdelati začasne označbe na smernem vozišču, na katerem je v času obnove potekala preusmeritev prometa. Zapora oziroma preusmeritev prometa je bila tipa C2 + 1.

V okviru obnove voziščne konstrukcije je bilo treba najprej odstraniti jekleno varnostno ograjo, nato so se izvedle lokalne sanacije na posameznih mestih. Lokalne sanacije so obsegale rezkanje obrabne plasti v debelini 4 cm, če so bile nadalje ugotovljene poškodbe v vezni in nosilni plasti, se je izvedlo tudi rezkanje teh plasti. Sledilo je čiščenje podlage in brizg s polimerno kationsko bitumensko emulzijo v količini 0,6 kg/m² in izdelava nosilne plasti iz ustrezne bituminizirane plasti (AC 32 base B 50/70 A2 ali AC 22 base B 50/70 A2).

Po lokalnih sanacijah se je celotno površino očistilo z Unimog metlo in vodnimi curki ter pobrizgalo s polimerno kationsko emulzijo. Sledila je izdelava vezne plasti. Ker sta bili bituminizirani zmesi za odstavnici (AC 22 base B 50/70 A4) ter vozni in prehitevalni pas (AC 22 bin PmB 45/80-65 A2) različni, je vgradnja potekala z dvema finišejerjema v celotni širini. Vgrajevanje je potekalo z vodenjem višin »ob žici«, s pomočjo katere je elektronika korigirala potrebno debelino vezne plasti, ki je v povprečju znašala 9 cm. Po izgradnji vezne plasti je sledil brizg podlage z bitumensko emulzijo in izdelava obrabne plasti. Plasti za odstavnici (AC 11 surf B 70/100 A4) in vozni ter prehitevalni plast (SMA 11 PmB 45/80-65 A2) sta bili tudi tokrat različni, zato je vgrajevanje potekalo na podoben način kot pri vezni plasti, debelina plasti je bila 4 cm, vgrajevanje je potekalo na debelino. Treba je omeniti, da je bil na področju vijačenja izveden tudi 80 m pas z drenažnega asfalta, kje je bilo treba pred izvedbo drenažne plasti izvesti zatesnitev podlage s polimernim bitumnom PmB v količini 1,0 kg/m² in posip z zrni drobirja frakcije 8/11 v količini 7 do 10 kg/m² s čimer se je preprečilo sprijemanje bitumna na pnevmatike tovornjakov.

Po vgradnji obrabne plasti bituminizirane zmesi je sledila ponovna montaža jeklene varnostne ograje in izdelava označb na vozišču.

7.2 Podatki o poskusnem polju

Poskusni polji sta bili izvedeni na avtocesti A1 odsek 0660 Divača–Kozina, in sicer:

- Iz gumiranega drenažnega asfalta PA 11 og RmB A2 je izvedeno od 1.420 km do 1.770 km, dolžina polja je 350 m.
- Poskusno polje iz manj hrupnega drobirja z bitumenskim mastiksom SMA LN 8 PmB 45/80-65 A2 pa od 1.770 km do 2.470 km, dolžina polja je 700 m.

Obe polji sta vgrajeni v celotni širini smernega vozišča (10,50 m) in sta debeline 3 cm.

7.3 Materiali in proizvodnja

Receptura za manj hrupen drobir z bitumenskim mastiksom je nastala v službi za raziskave in kakovost družbe CPG d. d. Pri tem so kot osnove služile recepture za običajen SMA in drenažni asfalt ter recepture, pridobljene iz sosednjih držav.

Sestavo gumiranega drenažnega asfalta PA 11 og RmB je bila pripravljena v sodelovanju družb Asphalt Rubber Italia S. l. r. in Structum d. o. o. Pri pripravi je bil že upoštevan osnutek TSC-ja, ki določa smernice in tehnične pogoje za asfaltne obrabne plasti za zmanjšanje hrupa (TSC 06.418:2010).

Kamnita zrna in kamena moka sta bila proizvedena v separaciji Laže (CPG d. d.), frakcije žlindre (2/4, 4/8, 8/11) pa so bile pripeljane v obrat Laže iz Acroni Jesenic.

Kot vezivo za SMA LN se je uporabil polimerni bitumen PmB 45/80-65, vezivo za PA 11 og RmB je bil gumirani bitumen, proizveden po mokrem postopku v obratu Asphalt Rubber Italia v bližini Firenc. Pri transportu gumiranega bitumna iz Firenc v Laže se je uporabila posebna avtociстerna, opremljena z ogrevanjem in mešalom. Bitumen se je nato v obratu Laže prečrpalo v stacionarno cisterno, ki je prav tako opremljena z mešalom in gretjem.

Proizvodnja obeh poskusnih asfaltnih zmesi za zmanjšanje hrupa je potekala v Asfaltnem obratu Laže, katerega upravlja CPG d. d. Začetek proizvodnje je bil ob 6:30, najprej je potekala proizvodnja zmesi PA 11 og RmB, temperatura obeh zmesi je bila v povprečju 165 °C.

7.4 Vgrajevanje in preiskave

Vgrajevanje je potekalo ob sončnem vremenu, temperatura zraka je bila 28 °C. Pred vgradnjo se je na vezno plast pobrizgalo polimerno bitumensko emulzijo v količini 0,6 kg/m². Vgradnja obeh preizkusnih obrabnih plasti se je zaradi doseganja večje ravnosti površine izvedla brez ustavljanj finišeja. Vgrajevanje je potekalo z dvema finišejerjema v celotni širini ceste z minimalnim vzdolžnim zamikom obeh finišejev, da se je omogočil stik po sistemu vroče na vroče. Na voznem in prehitevalnem pasu se je za vgrajevanje uporabil finišeer Vögele Super 2100 s širino deske 8 m, na odstavnem pasu pa je bil uporabljen finišeer Vögele 1800-1.

Zgoščevanje je potekalo z dvokolesnimi valjarji z jeklenimi bandažami teže med 80 in 100 kN. Za prehode valjarjev so veljala enaka pravila kot običajno, posebnost zgoščevanja je bila v tem, da je zgoščevanje potekalo zgolj s statičnimi prehodi valjarjev (običajno se uporabljajo statično in vibracijsko valjanje), prav tako je bila vibracija deske na finišeerju nastavljena na nižjo raven kot običajno.

7.5 Meritve

Meritve emisij hrupa na preizkusnih poljih so bile izvedene 4 mesece po izgradnji. Meritve so bile izvedene po standardu SIST EN ISO 11819-1:2002, kar pomeni, da gre za SPB meritve. Merilni mikrofoni so bili nameščeni ob vozišču v 1.730 km za poskusno polje iz PA 11 og RmB, v 1.900 km za poskusno polje iz SMA LN 8. Da bi lahko rezultate primerjali z običajnim podlagami, ki se uporabljajo na avtocestah, so se izvedle tudi meritve v 3.500 km, kjer je podlaga iz običajnega (navadnega) drobirja z bitumenskim mastiksom (SMA 11). Meritve so se izvedle za različne kategorije vozil (osebna in večosna težka vozila) in pri različnih hitrostih vozil.

Meritve emisij hrupa je izvedel Zavod za gradbeništvo Slovenije – ZAG. Uporabljen je bil merilnik zvočnih ravni Bruel & Kjaer tip 2260 ter tip 2260F. Ob meritvah hrupa je naprava istočasno zmožna tudi izmeriti hitrost vozila. Za določitev indeksov SPBI je treba tudi ustrezno korigirati temperaturo meritve, zato je bilo v času izvajanja meritev izmeriti tudi temperaturo, za kar je bil uporabljen merilnik digitalni termometer Volcraft.

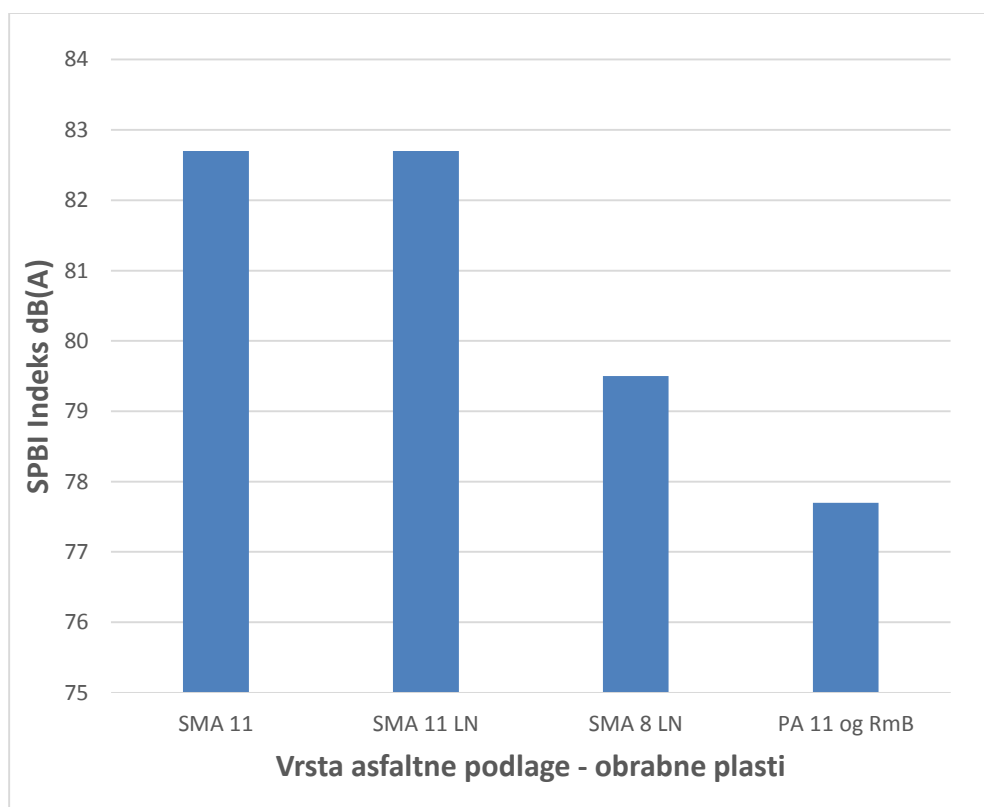
7.6 Rezultati

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati meritev hrupa in primerjava asfaltnih obrabnih zmesi preizkusnih polj ter asfaltne obrabne zmesi iz navadnega SMA, ki je v največji meri uporabljen na slovenskih avtocestah. Podani so tudi rezultati meritev poizkusnega polja iz

SMA 11 LN, ki je bilo zgrajeno leta 2012 v okviru sanacije vozišča avtocestnega odseka Gabrk–Sežana (A3/0668).

Hitrost vozil	Indeks SPBI v dB(A)			
	SMA 11	SMA 11 LN	SMA 8 LN	PA 11 og RmB
majhna	76,7	75,7	70,0	67,3
srednja	80,2	81,4	75,9	73,7
velika	82,7	82,7	79,5	77,7

Tabela 11: Indeksi SPBI, pri katerih so upoštevana osebna in večosna težka vozila.



Slika 49: Primerjava indeksov SPBI pri velikih hitrostih pri testnih obrabnih asfaltnih plasteh.

Z grafa je lepo razvidno, da so nivoji hrupa pri obrabni plasti poskusnega polja iz PA 11 og RmB najmanjši, nekoliko višji nivoji so pri obrabni plasti poskusnega polja iz SMA 8 LN, medtem ko sta obrabni plasti iz SMA 11 in SMA 11 LN najhropnejši, med njima pa ni zaznati bistvenih razhajanj v nivojih hrupa.

7.7 Stroški izvedbe poskusnih polj

Pri stroških, ki so nastali z izdelavo poskusnih polj, je treba upoštevati več dejavnikov.

Prvi dejavnik je višja cena gumiranega bitumna RmB. Cena ene tone gumiranega bitumna skupaj s prevozom je bila 1.134,26 EUR. Celoten strošek dobave gumiranega bitumna RmB je bil 23.500 EUR.

Drugi strošek povezan z izdelavo poskusnih polj, je priprava posebnih receptur za nizkohrupne asfaltne zmesi ter svetovanje s strani različnih strokovnjakov. Ti stroški so bili ocenjeni na 22.000 EUR.

Zadnji dodatni stroški, ki so nastali z izdelavo preizkusnih polj, so različne meritve. Zaradi novih še ne preverjenih receptur za asfaltne zmesi je bilo potrebno izvesti meritve togosti, utrujanja in odpornosti na nizke temperature. Med stroške meritev pa je treba všteti tudi meritve hrupa. Vsi nastali stroški meritev so bili 31.900 EUR.

Seštevek vseh dodatnih stroškov izvedbe preizkusnih polj so bili tako 77.400 EUR, kar pomeni, da je bil kvadratni meter preizkusnega polja za 7,02 EUR ($= 77.400 \text{ EUR} / (350 \text{ m} + 700 \text{ m}) * 10,5 \text{ m}$) dražji od kvadratnega metra iz običajne obrabne plasti.

Kljub relativno visoki ceni izvedbe poskusnih polj pa bi bil dejanski dodatni strošek pri razširjeni gradnji nizkohrupnih vozni površin zagotovo manjši. Z višjim deležem takih površin bi se namreč zmanjšala cena gumiranega bitumna, odpadli bi stroški meritev hrupa, priprave recepture in tehničnega svetovanja. Po hitri oceni bi se tako strošek gradnje nizkohrupnih površin lahko le malo razlikoval od stroška gradnje običajnih obrabnih plasti.

7.8 Primerjava z izgradnjo protihrupne ograje

Za primerjavo vzemimo ceno izgradnje protihrupnih ograj na avtocestnem odseku AC 0055/0655 Unec–Postojna. Ponudbena cena izvedbe protihrupnih ograj na omenjenem odseku v dolžini 935 m na obeh straneh odseka z vsemi deli je znašala 3.150.000 EUR. Zmanjšanje hrupa pri prehodu zvoka skozi protihrupno ograjo mora znašati vsaj 25 dB(A), kar pomeni, da je strošek zmanjšanja hrupa za 1 dB(A) približno 126.000 EUR. Iz tabele 11 lahko odčitamo, da je zmanjšanje hrupa, ki smo ga dosegli pri poskusnem polju iz PA 11 og RmB v primerjavi s SMA 11 enako 5 dB(A), kar pomeni da je bil strošek zmanjšanja hrupa za 1 db(A) zgolj 15.480 EUR, kar je skoraj 10-krat manj kot pri izgradnji protihrupne ograje.

8 ZAKLJUČEK

Vse večje krčenje sredstev namenjenim projektom gradnje in vzdrževanja cest gradbeno stroko prisili v iskanje novih rešitev, s katerimi bi lahko z manj denarja naredili več, obenem pa bi bil rezultat enak oziroma boljši. Da bi sprejeli ustrezne rešitve pa se je potrebno vseskozi poučevati o novih materialih in tehnologijah, ki se vseskozi razvijajo.

Prometni hrup je v našem okolju velika težava, preprečevanje širjenja prometnega hrupa pa je z običajnimi načini, kot sta gradnja protihrupnih ograj in zvočna izolacija tehnološko precej zahtevno, predvsem pa za izgradnjo potrebujemo veliko denarja. Iz tega razloga pa je treba poiskati nove rešitve.

Najboljša rešitev omenjenega problema je preprečiti nastanek hrupa oziroma njegov nastanek vsaj omejiti. To lahko dosežemo s pravilno načrtovano vozno površino, katera ima takšno teksturo, ki prepreči nastanek hrupa hkrati pa lahko del že nastalega hrupa absorbira. Odličen primer takšnih površin so drenažne površine, v zadnjem času pa se vse več omenja tudi modificiran drobir z bitumenskim mastiksom, poznan pod imenom SMA LN (low noise). Problem drenažnih asfaltnih površin je namreč kratka življenjska doba v območjih z mrzlim podnebjem, medtem ko je življenjska doba SMA LN bistveno daljša. Poznane pa so že nove površine, ki bodo ob odpravi nekaterih trenutnih pomanjkljivosti v prihodnosti zagotovo nadomestile današnje vozne površine.

Pred širšo uporabo novih še neveljavljenih površin je treba dokazati dejansko učinkovitost in smotrnost izgradnje. Izgradnja poskusnih polj na avtocestnem odseku 0660 Divača–Kozina se je izkazala kot zelo uspešna, saj smo na obeh poskusnih površinah izmerili manjše nivoje hrupa v primerjavi z običajno vozno površino.

V prihodnosti bi bilo potrebno vse več vozni površin bolj prometnih cest in cest, ki potekajo v bližini naselij, nadomestiti z gradnjo nizkohrupnih vozni površin, saj s tem na najcenejši način omejimo nastanek hrupa in se tako izognemo gradnji dragih protihrupnih ograj oziroma potrebne površine protihrupnih ograj močno zmanjšamo.

VIRI

Cotič, Z., Jurjavčič, P., Čibej, K. 2010. Primer asfalta za 21. stoletje.V: Zbornik referatov. 10. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, 20.-22. oktobra 2010. Ljubljana, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str. 55-62.

Cotič, Z., Jurjavčič, P. 2012. Manj hrupni drobir z bitumenskim mastiksom (SMA) – Pregled tehnične regulative v Evropi. <http://www.structum.si/images/news/Referat%20SMA.pdf> (Pridobljeno 13. 02. 2014.)

Descornet, G., Goubert, L. 2006. Noise classification of road pavements. Task 1: Technical background information.
[http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Documentaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica/Noise%20classification%20road%20pavements%20\(technical\).pdf](http://www.ciccp.es/ImgWeb/Castilla%20y%20Leon/Documentaci%C3%B3n%20T%C3%A9cnica/Noise%20classification%20road%20pavements%20(technical).pdf) (Pridobljeno 11. 10. 2013.)

Križaj, K. 2009. Protihrupna zaščita. <http://www-f1.ijs.si/~ziherl/ProtihrupnaZascita.pdf> (Pridobljeno 11. 10. 2013)

Attenberger, A. 2010. Offenporiger Asphalt. Bayerisches Landesamt für Umwelt.
<http://www.lfu.bayern.de/laerm/opa/projektbeschreibung/doc/2opa.pdf> (Pridobljeno 12. 01. 2014.)

Brüel&kjaer Sound& Vibration Measurement A/S. 2001. Environmental noise.
<http://www.bksv.com/doc/br1626.pdf> (Pridobljeno 12. 01. 2014.)

European Asphalt Industry Association (EAPA). 2004. Environmental Impacts and Fuel Efficiency of Road Pavements. Fuel Efficiency Report: 17 str.
http://www.eapa.org/usr_img/position_paper/fuel_efficiency_report.pdf (Pridobljeno 3. 12. 2013.)

European Asphalt Industry Association (EAPA). 2007. LongLife Asphalt Pavements. Technical verison.
http://www.eapa.org/usr_img/position_paper/llp_technical2007.pdf (Pridobljeno 12. 01. 2013.)

European Asphalt Industry Association (EAPA. 2010). Asphalt in figures 2010: 3 str.

http://www.eapa.org/usr_img/Asphalt%20in%20figures%20Version%2022-12-2011.pdf

(Pridobljeno 2. 12. 2013.)

FEHRL Report. 2006. Guidance manual for the implementation of low-noise road surfaces.

SILVIA –Sustainable road surfaces for traffic noise control.

http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/silvia_guidance_manual.pdf (Pridobljeno 2. 12. 2013.)

Henigman, S., Bašelj, R., Bradeško, S., idr. 2006. Asfalt. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: str. 156-161

Henigman, S. 2006. Nekatere inovativne rešitve na področju voziščnih konstrukcij in izzivi v prihodnje. V: Zbornik referatov/ 8. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, oktober 2006. Ljubljana, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str. 62-68.

Fortuna, I. 2011. Izkušnje z uporabo drenažnega asfalta (PA) v Sloveniji. V: Zbornik referatov. 13. Kolokvij o asfaltih in bitumnih, Bled, 24.-25. november 2011. Ljubljana, ZAS - Združenje asfalterjev Slovenije: str. 128-137.

Litzka, J., Haberl, J. 2009. Manj hrupne vozne površine – prispevek k zmanjšanju hrupa prometa. V: Zbornik referatov. 10. kolokvij o asfaltih in bitumnih, Kranjska gora, november 2009. Vienna, University of Technology in Heller Engineering Ltd, Austria: str. 29-38.

Nilsson, R., Nordlander, J.-O., Sliwa, N. 2005. Design Guidelines for Durable, Noise Reducing Pavement. Silvia Project Deliverable

http://www.trl.co.uk/silvia/Silvia/pdf/Main_Outputs/SILVIA-SKANSKA-018-01-WP4-231105.pdf (Pridobljeno 02. 01. 2014.)

Sandberg, U., Goubert, L. 2005. Poroelastic Road Surface (PERS): A review of 30 years of R&D work: str. 1-8.

Hribar, D. 2006. Hrup na vozni površini. V: Zbornik referatov. 8. slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož, oktober 2006. Ljubljana, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: str. 490-496.

Pavšič, P., Šobak, K. 2010. Z gumo modificirane asfaltne zmesi. V: 10. kongres o cestah in prometu, Portorož, 20.-22. oktobra 2010. Ljubljana, DRC: str. 1315-1321.

Žmavc, J. 2007. Gradnja cest: Voziščne konstrukcije, 2.izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani in DRC, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 143, 154-178, 317-322.

STANDARDI IN TEHNIČNE SPECIFIKACIJE ZA CESTE:

TSC: 06.418:2011. Smernice in tehnični pogoji za asfaltne obrabne plasti za zmanjšanje hrupa. str: 20-24.

TSC 06.413:2003. Vezane asfaltne in obrabne plasti – Drenažni asfalti. str :12-15.

TSC 06.300/06.410:2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. str: 6,7, 26, 27.

SIST 1038-7:2008. Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 7.del: Drenažni asfalt – Zahteve - Pravila za uporabo.

SIST 1038-5:2008. Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 7.del: Drobir z bitumenskim mastiksom – Zahteve – Pravila za uporabo.

»Ta stran je namenoma prazna.«

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Poročilo št. P815/13-520-3 Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako SMA 11 na emisijo hrupa cestnega prometa v okolje.

Priloga B: Poročilo št. P815/13-520-4 Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako SMA 11 LN PmB 45/80-65 A2 na emisijo hrupa cestnega prometa v okolje.

Priloga C: Poročilo št. P815/13-520-2 Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako SMA 8 LN PmB 45/80-65 A2 na emisijo hrupa cestnega prometa v okolje.

Priloga D: Poročilo št. P815/13-520-1 Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako PA 8 og PmB 25/55-60 A1 na emisijo hrupa cestnega prometa v okolje.

»Ta stran je namenoma prazna.«

Oddelek za gradbeno fiziko
Laboratorij za toplotno zaščito in akustiko

Zavod za gradbeništvo Slovenije
Slovenian National Building and Civil Engineering Institute
Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www.zag.si>, e-mail: info@zag.si

Ljubljana, 6.11.2013

POROČILO

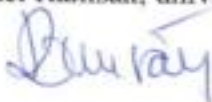
št. P 815/13-520-3

Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako
SMA 11 na emisijo hrupa cestnega prometa v
okolje

Naročnik: CPG, d.d., Industrijska cesta 2, Kromberk, SI-5000 Nova Gorica

Naročilo/pogodba: naročilnica št. G/22-013, z dne 25.7.2013

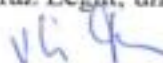
Nosilec naloge:
mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.grad.




Vodja laboratorija:
Friderik Knez, univ.dipl.fiz.



Direktor:
izr.prof.dr. Andraž Legat, univ.dipl.fiz.



1.0. UVOD

Na željo naročnika smo dne 9.8.2013 na AC odseku A1/0660 Divača – Kozina na testnem polju med km 2.470 in km 6.420 izvedli meritve hrupa, ki ga emitira v okolje tekoči promet cestnih vozil, ko vozijo po obrabnem sloju vozišča SMA 11. Merilni mikrofon je bil nameščen ob avtocestnem odseku A1/0660 v km 3.500 (slika 1)



Slika 1: Lokacija meritev obrabne plasti vozišča SMA 11

2.0. PODATKI O MERJENEM OBRABNEM SLOJU VOZIŠČA

Površina merjenega vozišča je predstavljena na sliki 2



Slika 2: površina vozišča SMA 11

Obrabni sloj vozne površine SMA 11 je bil položen okoli en mesec pred izvedbo meritve in tem mesecu že pod običajno prometno obremenitvijo.

3.0. NAČIN MERITEV

Izvedene so bile meritve po metodologiji standarda SIST EN ISO 11819-1:2002, torej meritve po statistični »pass-by« metodi (SPB) po omenjenem standardu. Po tej metodi se na oddaljenosti 7,5 m od osi vožnje in na višini 1,2 m nad ravnijo površine vozišča meri maksimalne ravni hrupa $L_{A,max}$ posameznih po testnem odseku mimo vozečih vozil ob sočasnem merjenju hitrosti vozil, ko peljejo mimo lokacije merilnega mikrofona.

Glede na objektivne okoliščine na lokaciji izvajanja meritev je potrebno opozoriti, da je na razpoložljivem testnem odseku delež dvoosnih težkih vozil v celotni strukturi prometa neznaten in zato za ugotavljanje vpliva na emisijo hrupa v okolje neuporaben.

4.0. MERILNI INSTRUMENTI

4.1. Meritve hrupa in analiza rezultatov

Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260 (ID 3340108)
Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260F (ID 3340110)

4.2. Meritve hitrosti

Avtomatski sistem za meritve hitrosti in za daljinsko krmiljenje analizatorja hrupa Bruel & Kjaer tip 2260.

4.3. Meritve površinske temperature vozišča

Digitalni termometer Voltcraft (ID 3230132)

5.0. DATUM MERITEV: 9.8.2013

6.0. MERITVE IN IZVREDNOTENJE

REZULTATOV: Davor Radič, inž.grad.
Rok Rudolf, univ.dipl.fiz.
mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.

7.0. VREMENSKI POGOJI OB ČASU MERITEV

Vreme ob času izvedbe meritev je bilo suho in brez močnega vetra. V zadnjih dveh dnevih pred izvedbo meritev na območju testnih odsekov ni bilo padavin. Povprečna temperatura površine vozišča ob času izvedbe meritev dne 9.8.2013 je bila 28,5°C.



8.0. REZULTATI MERITEV

Izmerjene vrednosti ravni zvoka L_{Amax} v dB(A) ob sočasno izmerjenih vrednostih hitrosti so za osebna vozila in za večosna težka vozila predstavljene v diagramih 1 do 4.

Emitirana raven zvočnega tlaka je sorazmerna z logaritmom hitrosti vozil, zato so v diagramih 2 in 4 prikazane izmerjene ravni L_{Amax} v odvisnosti od logaritma hitrosti, pripadajoča regresijska premica ter 95% interval zaupanja regresijske premice.

Iz regresijske premice ugotovljene ravni za posamezne vrste vozil pri značilnih hitrostih vozil ter iz vrednoteni indeksi SPBI so predstavljeni v preglednicah 1 do 3. Pri določanju indeksov SPBI je privzeta struktura prometa po standardu SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer je delež prometa dvoosnih težkih vozil pripisan večosnim težkim vozilom.

Diagram 1 - osebna vozila

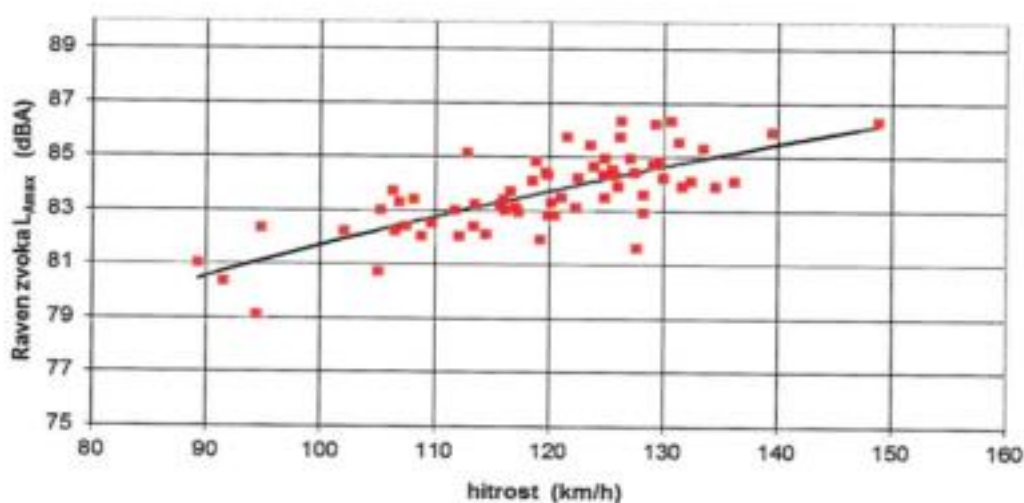
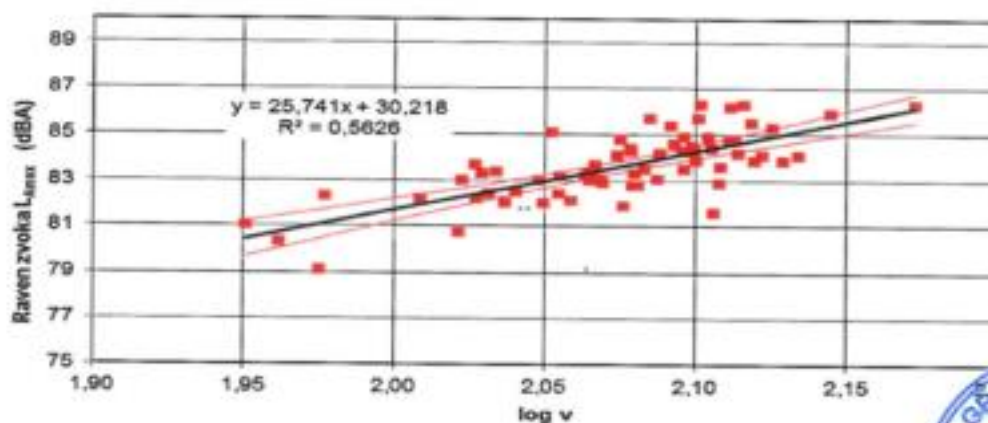


Diagram 2 - osebna vozila



Iz regresijske premice iz vrednotene ravni emitiranega hrupa osebnih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 1.

Preglednica 1 – osebna vozila

v km/h	$L_{veh,1}$ dB(A)
50	74,0
80	79,2
110	82,8

Diagram 3 - večosna težka vozila

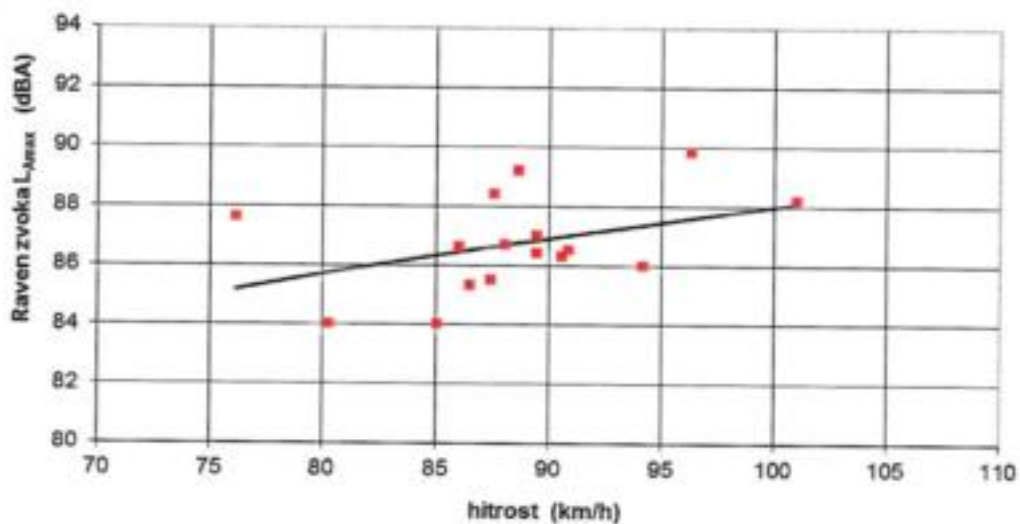
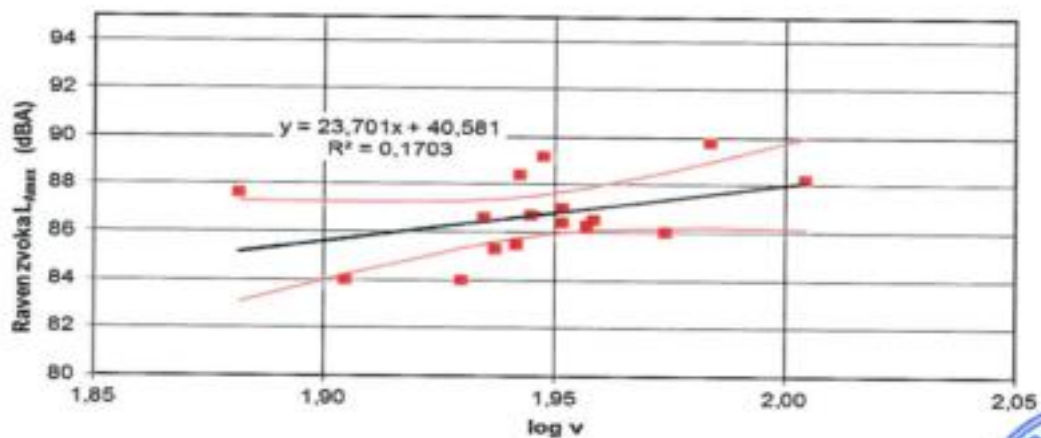


Diagram 4 - večosna težka vozila



Iz regresijske premice izvednotene ravni emitiranega hrupa večosnih težkih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 2.

Preglednica 2 – večosna težka vozila

v km/h	$L_{veh,2b}$ dB(A)
50	80,8
70	84,3
80	85,7
85	86,3

Statistični indeksi SPBI so za značilne razrede hitrosti predstavljeni v naslednji preglednici. Pri tem je upoštevana standardna struktura prometa po SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer delež dvoosnih težkih vozil nadomestimo z dodatnimi večosnimi težkimi vozili. Pri določitvo indeksov SPBI je upoštevana temperaturna korekcija $0,04^{\circ}\text{C}/\text{dB}$ (redukcija na referenčno temperaturo vozne površine 20°C).


Preglednica 3 – indeksi SPBI, upoštevana osebna vozila in večosna težka vozila

Hitrost	SPBI dB(A)
majhna	75,7
srednja	81,4
velika	85,1

Iz digramov je razvidno, da je hitrost merjenih osebnih vozil znašala med okoli 90 km/h in okoli 150 km/h, hitrost večosnih težkih vozil pa med okoli 75 km/h in 100 km/h. To pomeni, da so najzaneslivejši rezultati meritev za velike hitrosti, kar je razvidno tudi iz intervalov zaupanja v diagramih 2 in 4. Vrednosti L_{veh} in SPBI pri srednjih in majhnih hitrostih so zato zelo negotove in jih je potrebno obravnavati z zadržkom.

Poročilo pripravil:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.




Oddelek za gradbeno fiziko
Laboratorij za toplotno zaščito in akustiko

Zavod za gradbeništvo Slovenije
Slovenian National Building and Civil Engineering Institute
Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www.zag.si>, e-mail: info@zag.si

Ljubljana, 10.11.2013

POROČILO

št. P 815/13-520-4

Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako
SMA 11 LN PmB 45/80-65 A2 na emisijo
hrupa cestnega prometa v okolje

Naročnik: CPG, d.d., Industrijska cesta 2, Kromberk, SI-5000 Nova Gorica

Naročilo/pogodba: naročilnica št. G/22-013, z dne 25.7.2013

Nosilec naloge:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.grod.




Vodja laboratorija:

Friderik Knez, univ.dipl.fiz.



Direktor:

izr.prof.dr. Andraž Legat, univ.dipl.fiz.



1.0. UVOD

Na željo naročnika smo v dneh 16.9. in 10.10.2013 na AC odseku A3/0668 Gabrk - Sežana na testnem polju med km 2.300 in km 2.400 izvedli meritve hrupa, ki ga emitira v okolje tekoči promet cestnih vozil, ko vozijo po obrabnem sloju vozišča SMA 11 LN PmB 45/80-65 A2. Merilni mikrofon je bil nameščen ob avtocestnem odseku A3/0668 v km 2.350 (slika 1)



Slika 1: Lokacija meritev obrabne plasti vozišča SMA 11 LN PmB 45/80-65 A2

2.0. PODATKI O MERJENEM OBRABNEM SLOJU VOZIŠČA

Površina merjenega vozišča je predstavljena na sliki 2



Slika 2: površina vozišča SMA 11 LN PmB 45/80-65 A2

Obrabni sloj vozne površine SMA 11 LN PmB 45/80-65 A2, je bil ob času izvedbe meritev star 1 leto.

3.0. NAČIN MERITEV

Izvedene so bile meritve po metodologiji standarda SIST EN ISO 11819-1:2002, torej meritve po statistični »pass-by« metodi (SPB) po omenjenem standardu. Po tej metodi se na oddaljenosti 7,5 m od osi vožnje in na višini 1,2 m nad ravnijo površine vozišča meri maksimalne ravni hrupa $L_{A,max}$ posameznih po testnem odseku mimo vozečih vozil ob sočasnem merjenju hitrosti vozil, ko peljejo mimo lokacije merilnega mikrofona.

Glede na objektivne okoliščine na lokaciji izvajanja meritev je potrebno opozoriti, da je na razpoložljivem testnem odseku delež dvoosnih težkih vozil v celotni strukturi prometa neznaten in zato za ugotavljanje vpliva na emisijo hrupa v okolje neuporaben.

4.0. MERILNI INSTRUMENTI

4.1. Meritve hrupa in analiza rezultatov

Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260 (ID 3340108)

Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260F (ID 3340110)

4.2. Meritve hitrosti

Avtomatski sistem za meritve hitrosti in za daljinsko krmiljenje analizatorja hrupa Bruel & Kjaer tip 2260.

4.3. Meritve površinske temperature vozišča

Digitalni termometer Voltcraft (ID 3230132)

5.0. DATUM MERITEV: 16.9. in 10.10.2013

6.0. MERITVE IN IZVREDNOTENJE

REZULTATOV: Davor Radič, inž.grad.
Rok Rudolf, univ.dipl.fiz.
mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.

7.0. VREMENSKI POGOJI OB ČASU MERITEV

Vreme ob času izvedbe meritev je bilo suho in brez močnega vetra. V zadnjih dveh dnevih pred izvedbo meritev na območju testnih odsekov ni bilo padavin. Povprečna temperatura površine vozišča ob času izvedbe meritev dne 16.9.2013 je bila 33,3°C, dne 10.10.2013 pa 16°C.



8.0. REZULTATI MERITEV

Izmerjene vrednosti ravni zvoka L_{Amax} v dB(A) ob sočasno izmerjenih vrednostih hitrosti so za osebna vozila in za večosna teška vozila predstavljene v diagramih 1 do 4.

Emitirana raven zvočnega tlaka je sorazmerna z logaritmom hitrosti vozil, zato so v diagramih 2 in 4 prikazane izmerjene ravni L_{Amax} v odvisnosti od logaritma hitrosti, pripadajoča regresijska premica ter 95% interval zaupanja regresijske premice.

Iz regresijske premice ugotovljene ravni za posamezne vrste vozil pri značilnih hitrostih vozil ter iz vrednoteni indeksi SPBI so predstavljeni v preglednicah 1 do 3. Pri določanju indeksov SPBI je privzeta struktura prometa po standardu SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer je delež prometa dvoosnih težkih vozil pripisan večosnim težkim vozilom.

Diagram 1 - osebna vozila

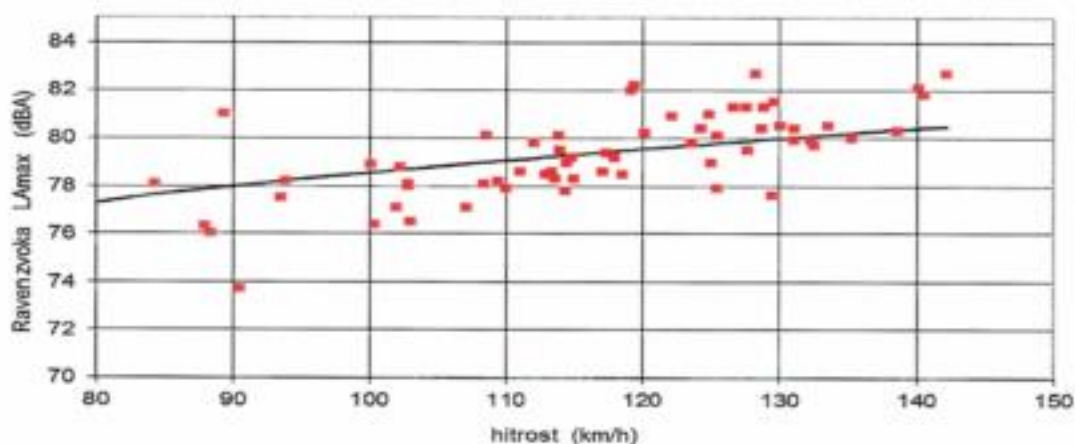
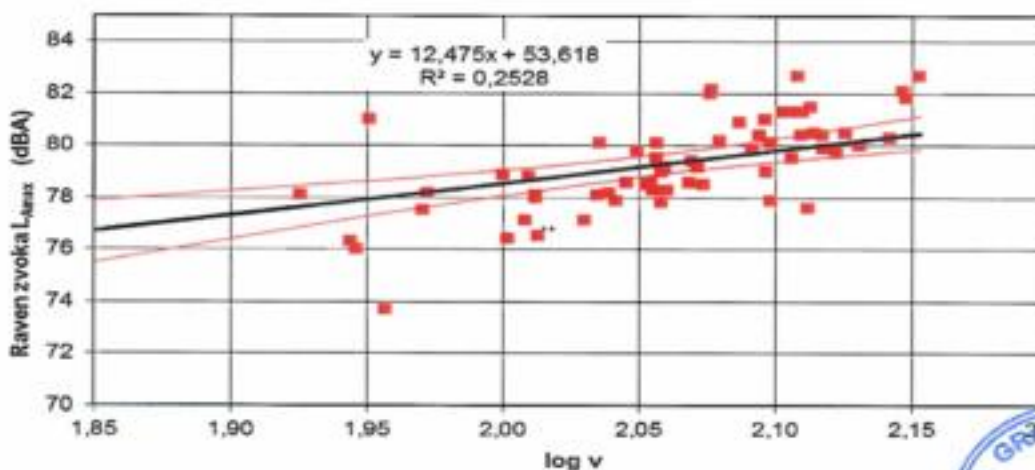


Diagram 2 - osebna vozila



Iz regresijske premice iz vrednotene ravni emitiranega hrupa osebnih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 1.

Preglednica 1 – osebna vozila

v km/h	$L_{veh,t}$ dB(A)
50	74,8
80	77,4
110	79,1

Diagram 3 - večosna težka vozila

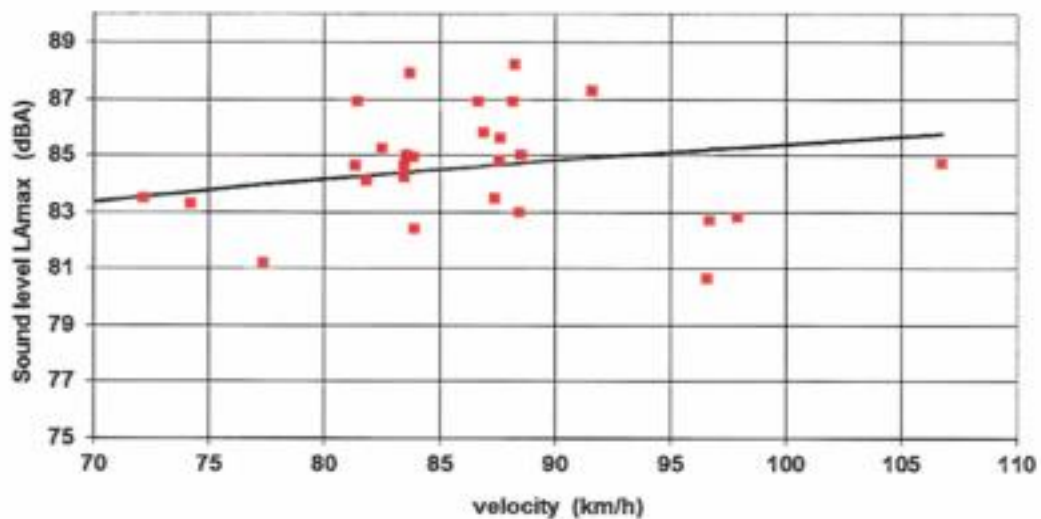
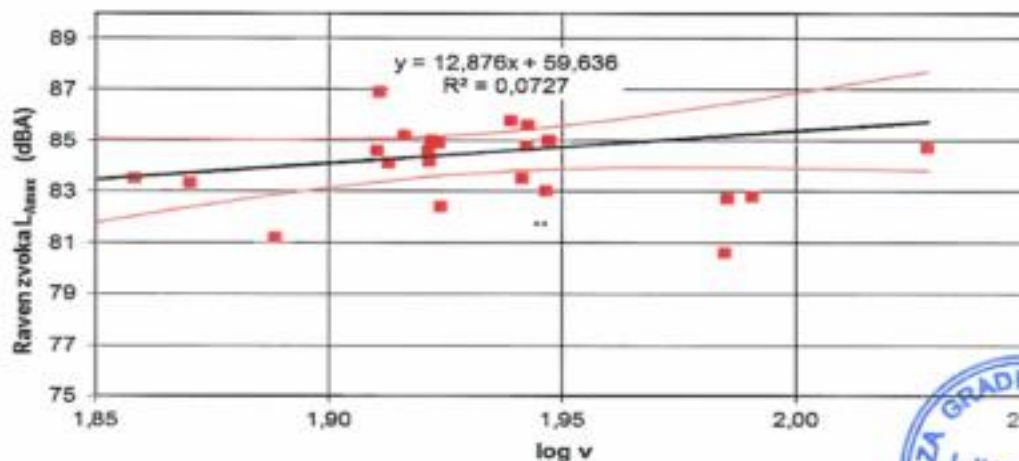


Diagram 4 - večosna težka vozila



Iz regresijske premice iz vrednotene ravni emitiranega hrupa večosnih težkih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 2.

Preglednica 2 – večosna težka vozila

v km/h	$L_{veh,2b}$ dB(A)
50	81,5
70	83,4
80	84,1
85	84,5

Statistični indeksi SPBI so za značilne razrede hitrosti predstavljeni v naslednji preglednici. Pri tem je upoštevana standardna struktura prometa po SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer delež dvoosnih težkih vozil nadomestimo z dodatnimi večosnimi težkimi vozili. Pri določitvi indeksov SPBI je upoštevana temperaturna korekcija $0,04^{\circ}\text{C}/\text{dB}$ (redukcija na referenčno temperaturo vozne površine 20°C).

Preglednica 3 – indeksi SPBI, upoštevana osebna vozila in večosna težka vozila

Hitrost	SPBI dB(A)
majhna	76,7
srednja	80,2
velika	82,7

Iz digramov je razvidno, da je hitrost merjenih osebnih vozil znašala med okoli 80 km/h in okoli 150 km/h, hitrost večosnih težkih vozil pa med okoli 70 km/h in 110 km/h. To pomeni, da so najzaneslivejši rezultati meritev za velike hitrosti, kar je razvidno tudi iz intervalov zaupanja v diagramih 2 in 4. Vrednosti L_{veh} in SPBI pri srednjih in majhnih hitrostih so zato zelo negotove in jih je potrebno obravnavati z zadržkom.

Poročilo pripravil:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.grad.




Oddelek za gradbeno fiziko
Laboratorij za toplotno zaščito in akustiko

Zavod za gradbeništvo Slovenije
Slovenian National Building and Civil Engineering Institute
Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www.zag.si>, e-mail: info@zag.si

Ljubljana, 6.11.2013

POROČILO

št. P 815/13-520-2

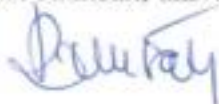
Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako
SMA8 LN PmB45/80-65 A2 na emisijo hrupa
cestnega prometa v okolje

Naročnik: CPG, d.d., Industrijska cesta 2, Kromberk, SI-5000 Nova Gorica

Naročilo/pogodba: naročilnica št. G/22-013, z dne 25.7.2013

Nosilec naloge:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.grad.




Vodja laboratorija:

Friderik Knez, univ.dipl.fiz.



Direktor:

izr.prof.dr. Andraž Legat, univ.dipl.fiz.



1.0. UVOD

Na željo naročnika smo v dneh 13.9. in 10.10.2013 na AC odseku A1/0660 Divača – Kozina na testnem polju med km 1.770 in km 2.470 izvedli meritve hrupa, ki ga emitira v okolje tekoči promet cestnih vozil, ko vozijo po obrabnem sloju vozišča SMA8 LN PmB45/80-65 A2. Merilni mikrofoni so bili nameščeni ob avtocestnem odseku A1/0660 v km 1.900 (slika 1)



Slika 1: Lokacija meritev obrabne plasti vozišča SMA8 LN PmB45/80-65 A2

Obrabni sloj vozne površine SMA8 LN PmB45/80-65 A2, je bil položen okoli en mesec pred izvedbo meritve in v tem mesecu že pod običajno prometno obremenitvijo.

2.0. NAČIN MERITEV

Izvedene so bile meritve po metodologiji standarda SIST EN ISO 11819-1:2002, torej meritve po statistični »pass-by« metodi (SPB) po omenjenem standardu. Po tej metodi se na oddaljenosti 7,5 m od osi vožnje in na višini 1,2 m nad ravnijo površine vozišča meri maksimalne ravni hrupa $L_{A,max}$ posameznih po testnem odseku mimo vozečih vozil ob sočasnem merjenju hitrosti vozil, ko peljejo mimo lokacije merilnega mikrofona.

Glede na objektivne okoliščine na lokaciji izvajanja meritev je potrebno opozoriti, da je na razpoložljivem testnem odseku delež dvoosnih težkih vozil v celotni strukturi prometa neznaten in zato za ugotavljanje vpliva na emisijo hrupa v okolje neuporaben.

3.0. MERILNI INSTRUMENTI

3.1. Meritve hrupa in analiza rezultatov

Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260 (ID 3340108)

Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260F (ID 3340109)



3.2. Meritve hitrosti

Avtomatski sistem za meritve hitrosti in za daljinsko krmiljenje analizatorja hrupa Bruel & Kjaer tip 2260.

3.3. Meritve površinske temperature vozišča

Digitalni termometer Voltcraft (ID 3230132)

4.0. DATUM MERITEV: 13.9. in 10.10.2013

5.0. MERITVE IN IZVREDNOTENJE

REZULTATOV: Davor Radič, inž.grad.
Rok Rudolf, univ.dipl.fiz.
mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.

6.0. VREMENSKI POGOJI OB ČASU MERITEV

Vreme ob času izvedbe meritev je bilo suho in brez močnega vetra. V zadnjih dveh dnevih pred izvedbo meritev na območju testnih odsekov ni bilo padavin. Povprečna temperatura površine vozišča ob času izvedbe meritev dne 13.9.2013 je bila 23,8°C, dne 10.10.2013 pa 18,1°C.

7.0. REZULTATI MERITEV

Izmerjene vrednosti ravni zvoka L_{Amax} v dB(A) ob sočasno izmerjenih vrednostih hitrosti so za osebna vozila in za večosna težka vozila predstavljene v diagramih 1 do 4.

Emitirana raven zvočnega tlaka je sorazmerna z logaritmom hitrosti vozil, zato so v diagramih 2 in 4 prikazane izmerjene ravni L_{Amax} v odvisnosti od logaritma hitrosti, pripadajoča regresijska premica ter 95% interval zaupanja regresijske premice.

Iz regresijske premice ugotovljene ravni za posamezne vrste vozil pri značilnih hitrostih vozil ter iz vrednoteni indeksi SPBI so predstavljeni v preglednicah 1 do 3. Pri določanju indeksov SPBI je privzeta struktura prometa po standardu SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer je delež prometa dvoosnih težkih vozil pripisan večosnim težkim vozilom.



Diagram 1 - osebna vozila

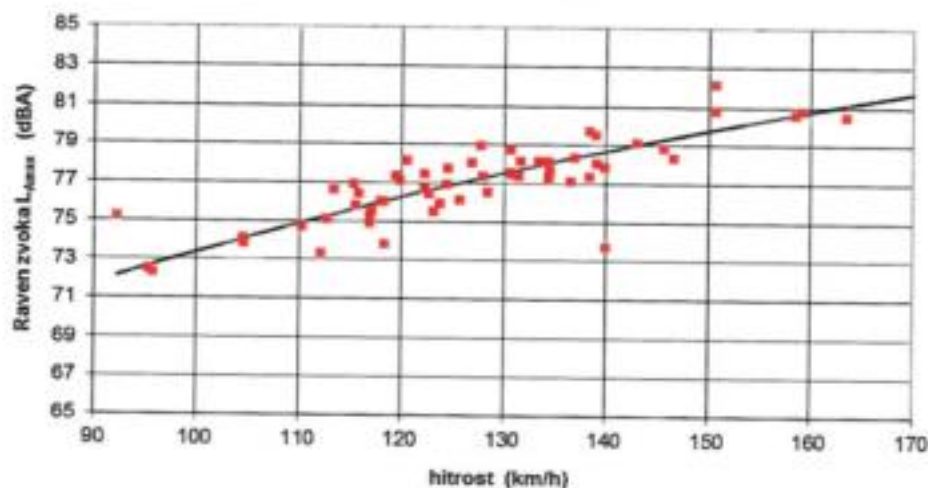
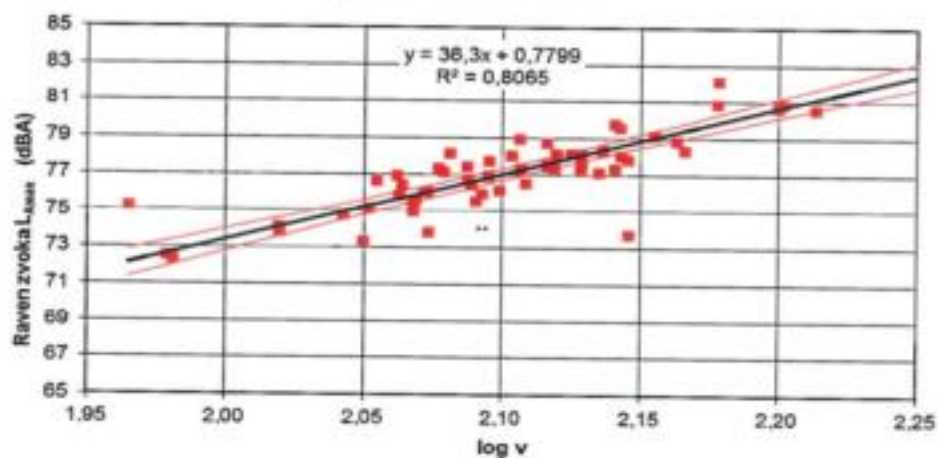


Diagram 2 - osebna vozila



Iz regresijske premice iz vrednotene ravni emitiranega hrupa osebnih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 1.

Preglednica 1 – osebna vozila

v km/h	$L_{veh,t}$ dB(A)
50	62,5
80	69,9
110	74,9



Diagram 3 - večosna težka vozila

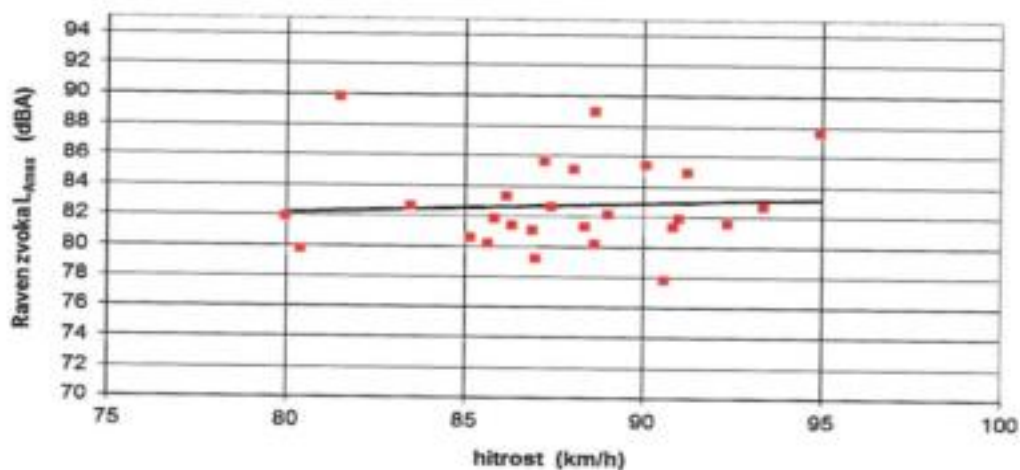
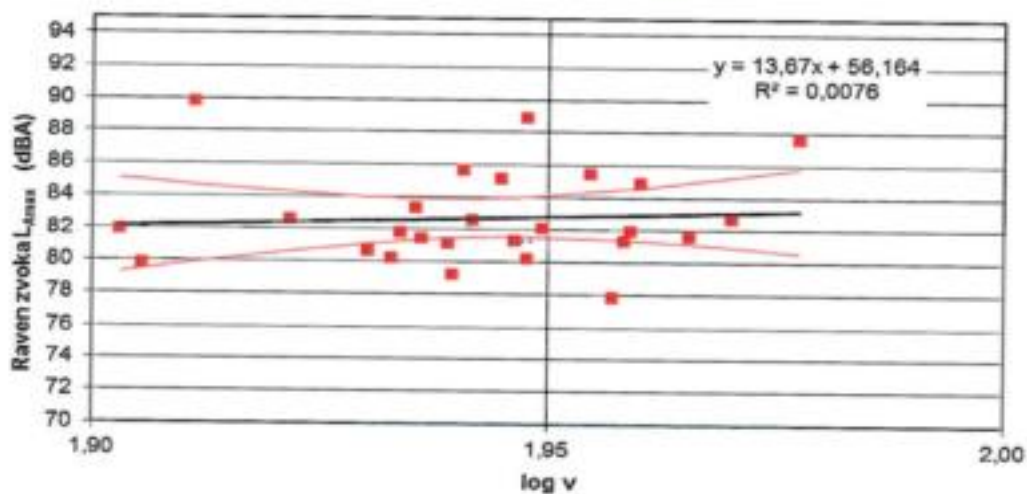


Diagram 4 - večosna težka vozila



Iz regresijske premice iz vrednotene ravni emitiranega hrupa večosnih težkih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 2.

Preglednica 2 – večosna težka vozila

v km/h	$L_{veh,20}$ dB(A)
50	79,4
70	81,4
80	82,2
85	82,5



Statistični indeksi SPBI so za značilne razrede hitrosti predstavljeni v naslednji preglednici. Pri tem je upoštevana standardna struktura prometa po SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer delež dvoosnih težkih vozil nadomestimo z dodatnimi večosnimi težkimi vozili. Pri določitvi indeksov SPBI je upoštevana temperaturna korekcija $0,04^{\circ}\text{C}/\text{dB}$ (redukcija na referenčno temperaturo vozne površine 20°C).

Preglednica 3 – indeksi SPBI, upoštevana osebna vozila in večosna težka vozila

Hitrost	SPBI dB(A)
majhna	70,0
srednja	75,9
velika	79,5

Iz digramov je razvidno, da je hitrost merjenih osebnih vozil znašala med okoli 90 km/h in okoli 170 km/h, hitrost večosnih težkih vozil pa med okoli 80 km/h in 95 km/h. To pomeni, da so najzaneslivejši rezultati meritev za velike hitrosti, kar je razvidno tudi iz intervalov zaupanja v diagramih 2 in 4. Vrednosti L_{veh} in SPBI pri srednjih in majhnih hitrostih so zato zelo negotove in jih je potrebno obravnavati z zadržkom.

Poročilo pripravil:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.




Oddelek za gradbeno fiziko
 Laboratorij za toplotno zaščito in akustiko

Zavod za gradbeništvo Slovenije
 Slovenian National Building and Civil Engineering Institute
 Dimičeva ulica 12, 1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www.zag.si>, e-mail: info@zag.si

Ljubljana, 6.11.2013

POROČILO

št. P 815/13-520-1

Meritve vpliva obrabne plasti vozišča z oznako
 PA11 og PmB25/55-60 A1 na emisijo hrupa
 cestnega prometa v okolje

Naročnik: CPG, d.d., Industrijska cesta 2, Kromberk, SI-5000 Nova Gorica

Naročilo/pogodba: naročilnica št. G/22-013, z dne 25.7.2013

Nosilec naloge:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.grad.




Vodja laboratorija:

Friderik Knez, univ.dipl.fiz.



Direktor:

izr.prof.dr. Andraž Legat, univ.dipl.fiz.



1.0. UVOD

Na željo naročnika smo v dneh 13.8. in 10.10.2013 na AC odseku A1/0660 Divača – Kozina na testnem polju med km 1.420 in km 1.770 izvedli meritve hrupa, ki ga emitira v okolje tekoči promet cestnih vozil, ko vozijo po gumiranem obrabnem sloju vozišča PA11 og PmB25/55-60 A1. Merilni mikrofoni je bil nameščen ob avtocestnem odseku A1/0660 v km 1.730 (slika 1)



Slika 1: Lokacija meritev obrabne plasti vozišča PA11 og PmB25/55-60 A1

2.0. PODATKI O MERJENEM OBRABNEM SLOJU VOZIŠČA

Površina merjenega vozišča je predstavljena na sliki 2



Slika 2: površina vozišča PA11 og PmB25/55-60 A1

Obrabni sloj vozne površine PA11 og PmB25/55-60 A1, je bil položen okoli en mesec pred izvedbo meritve in v tem mesecu že pod običajno prometno obremenitvijo.



3.0. NAČIN MERITEV

Izvedene so bile meritve po metodologiji standarda SIST EN ISO 11819-1:2002, torej meritve po statistični »pass-by« metodi (SPB) po omenjenem standardu. Po tej metodi se na oddaljenosti 7,5 m od osi vožnje in na višini 1,2 m nad ravnijo površine vozišča meri maksimalne ravni hrupa $L_{A,max}$ posameznih po testnem odseku mimo vozečih vozil ob sočasnem merjenju hitrosti vozil, ko peljejo mimo lokacije merilnega mikrofona.

Glede na objektivne okoliščine na lokaciji izvajanja meritev je potrebno opozoriti, da je na razpoložljivem testnem odseku delež dvoosnih težkih vozil v celotni strukturi prometa neznamen in zato za ugotavljanje vpliva na emisijo hrupa v okolje neuporaben.

4.0. MERILNI INSTRUMENTI

4.1. Meritve hrupa in analiza rezultatov

Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260 (ID 3340108)
Merilnik zvočnih ravni in analizator hrupa Bruel & Kjaer tip 2260F (ID 3340110)

4.2. Meritve hitrosti

Avtomatski sistem za meritve hitrosti in za daljinsko krmiljenje analizatorja hrupa Bruel & Kjaer tip 2260.

4.3. Meritve površinske temperature vozišča

Digitalni termometer Voltcraft (ID 3230132)

5.0. DATUM MERITEV: 13.8. in 10.10.2013

6.0. MERITVE IN IZVREDNOTENJE

REZULTATOV: Davor Radič, inž.grad.
Rok Rudolf, univ.dipl.fiz.
mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.

7.0. VREMENSKI POGOJI OB ČASU MERITEV

Vreme ob času izvedbe meritev je bilo suho in brez močnega vetra. V zadnjih dveh dnevih pred izvedbo meritev na območju testnih odsekov ni bilo padavin. Povprečna temperatura površine vozišča ob času izvedbe meritev dne 13.8.2013 je bila 31,8°C, dne 10.10.2013 pa 16°C.



8.0. REZULTATI MERITEV

Izmerjene vrednosti ravni zvoka L_{Amax} v dB(A) ob sočasno izmerjenih vrednostih hitrosti so za osebna vozila in za večosna teška vozila predstavljene v diagramih 1 do 4.

Emitirana raven zvočnega tlaka je sorazmerna z logaritmom hitrosti vozil, zato so v diagramih 2 in 4 prikazane izmerjene ravni L_{Amax} v odvisnosti od logaritma hitrosti, pripadajoča regresijska premica ter 95% interval zaupanja regresijske premice.

Iz regresijske premice ugotovljene ravni za posamezne vrste vozil pri značilnih hitrostih vozil ter iz vrednoteni indeksi SPBI so predstavljeni v preglednicah 1 do 3. Pri določanju indeksov SPBI je privzeta struktura prometa po standardu SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer je delež prometa dvoosnih težkih vozil pripisan večosnim težkim vozilom.

Diagram 1 - osebna vozila

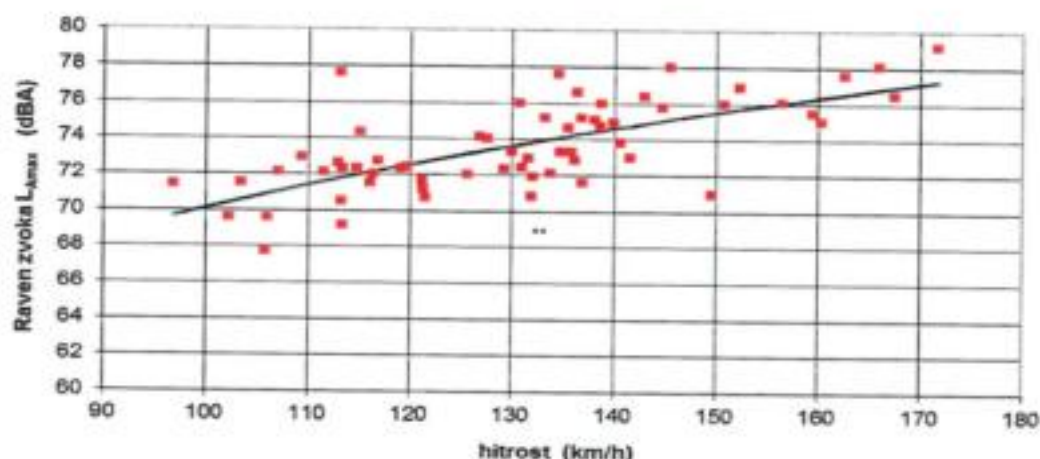
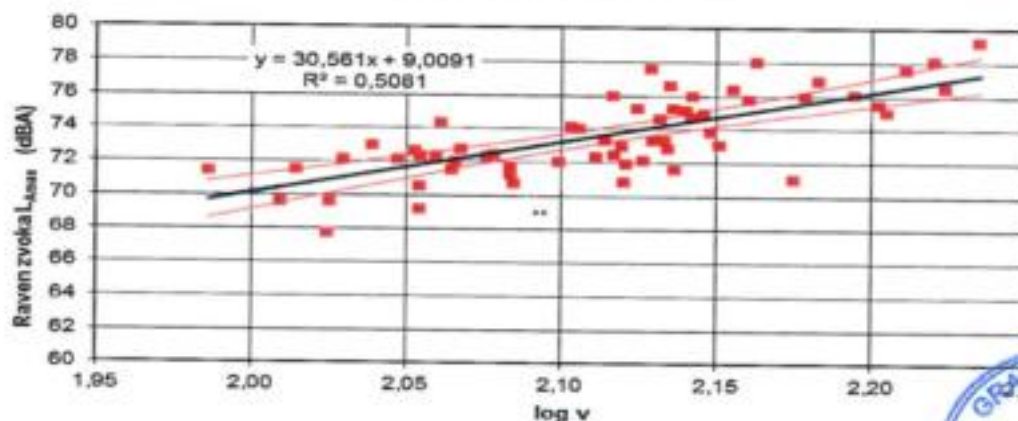


Diagram 2 - osebna vozila



Iz regresijske premice iz vrednotene ravni emitiranega hrupa osebnih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 1.

Preglednica 1 – osebna vozila

v km/h	$L_{veh,1}$ dB(A)
50	60,9
80	67,2
110	71,4

Diagram 3 - večosna težka vozila

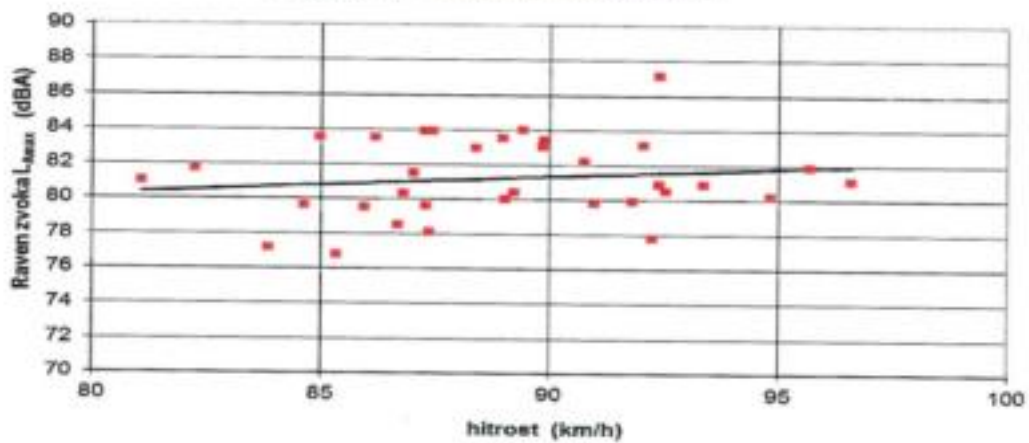
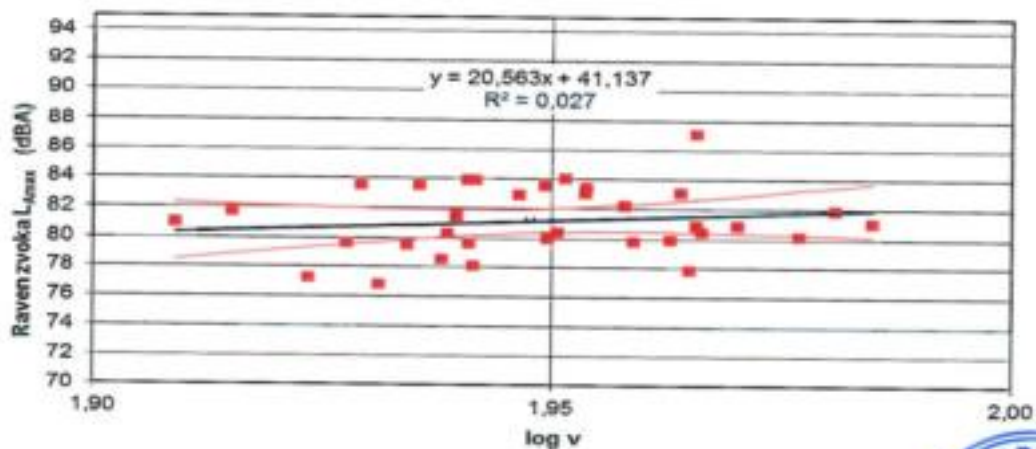


Diagram 4 - večosna težka vozila



Iz regresijske premice izvednotene ravni emitiranega hrupa večosnih težkih vozil pri značilnih hitrostih so predstavljene v preglednici 2.

Preglednica 2 – večosna težka vozila

v km/h	$L_{veh,2b}$ dB(A)
50	76,1
70	79,1
80	80,3
85	80,8

Statistični indeksi SPBI so za značilne razrede hitrosti predstavljeni v naslednji preglednici. Pri tem je upoštevana standardna struktura prometa po SIST EN ISO 11819-1:2002, pri čemer delež dvoosnih težkih vozil nadomestimo z dodatnimi večosnimi težkimi vozili. Pri določitvo indeksov SPBI je upoštevana temperaturna korekcija $0,04^{\circ}\text{C}/\text{dB}$ (redukcija na referenčno temperaturo vozne površine 20°C).

Preglednica 3 – indeksi SPBI, upoštevana osebna vozila in večosna težka vozila

Hitrost	SPBI dB(A)
majhna	67,3
srednja	73,7
velika	77,7

Iz digramov je razvidno, da je hitrost merjenih osebnih vozil znašala med okoli 100 km/h in okoli 170 km/h, hitrost večosnih težkih vozil pa med okoli 80 km/h in 100 km/h. To pomeni, da so najzaneslivejši rezultati meritev za velike hitrosti, kar je razvidno tudi iz intervalov zaupanja v diagramih 2 in 4. Vrednosti L_{veh} in SPBI pri srednjih in majhnih hitrostih so zato zelo negotove in jih je potrebno obravnavati z zadržkom.

Poročilo pripravil:

mag. Mihael Ramšak, univ.dipl.inž.

