

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 izvorna različica zaključnega dela.

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

Pevec, R., 2013. Tehnologija proizvodnje in analiza uporabe gumiranega asfalta. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žmavc, J., somentor Hribar, D.): 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:

Pevec, R., 2013. Tehnologija proizvodnje in analiza uporabe gumiranega asfalta. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žmavc, J., co-supervisor Hribar, D.): 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:

ROK PEVEC

**TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE IN ANALIZA
UPORABE GUMIRANEGA ASFALTA**

Diplomska naloga št.: 3315/PS

**PRODUCTION TECHNOLOGIES AND ANALYSIS OF
USE OF RUBBERISED ASPHALT**

Graduation thesis No.: 3315/PS

Mentor:
prof. dr. Janez Žmavc

Predsednik komisije:
izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:
mag. Dejan Hribar, univ.dipl.inž.grad.

Član komisije:
prof. dr. Roko Žarnić

Ljubljana, 26. 06. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

IZJAVE

Podpisani Rok Pevec izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Tehnologija proizvodnje in analiza uporabe gumiranega asfalta v primerjavi s trenutno uveljavljenimi obrabnimi plastmi«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Medvode, 25. 5. 2013

Rok Pevec

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	665.77:691.16.002(043.2)
Avtor:	Rok Pevec
Mentor:	prof. dr. Janez Žmavc
Somentor:	mag. Dejan Hribar
Naslov:	Tehnologija proizvodnje in analiza uporabe gumiranega asfalta
Tip dokumenta:	Diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema:	75 str., 25 pregl., 57 sl., 1 pril.
Ključne besede:	izrabljene avtomobilske pnevmatike, recikliranje, bitumenizirana zmes, tehnologija proizvodnje, delci gume

Izveček

Povsod po svetu predstavljajo izrabljene avtomobilske pnevmatike velik okoljski problem, saj se jih večina kot kurivo sežge v cementni industriji, dosti pa jih konča tudi na črnih odlagališčih v naravi. Ugotovljeno in v praksi potrjeno je, da se bitumenskim vezivom, katerim se doda delce gume, ki so produkt recikliranja izrabljenih avtomobilskih gum in gum delovnih strojev, in posledično asfaltnim zmesem, izboljšajo številne lastnosti. Raziskave na tem področju in uporaba takšnih asfaltov v tujini so obetajoče, kar pomeni koristno in okolju prijazno rešitev za velike količine zbranih odpadnih gum povsod po svetu. V nalogi smo predstavili različne tehnologije proizvodnje z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi in na podlagi domačih in tujih raziskav medsebojno primerjali bitumenizirane zmesi proizvedene z različnimi bitumni.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

- UDC:** 665.77:691.16.002(043.2)
- Author:** Rok Pevc
- Supervisor:** prof. Janez Žmavc, Ph.D.
- Cosupervisor:** Dejan Hribar, M.Sc.
- Title:** Production technologies and analysis of use of rubberised asphalt mixtures
- Document Type:** Graduation Thesis – University studies
- Scope and tools:** 75 p., 25 tab., 57 fig., 1 ann.
- Key words:** used tires, recycling, bituminous mixrure, production technologie, rubber particles

Abstract:

Used tires present a major environmental problem worldwide since most of them are burned as fuel in the cement industry, but most of them lie illegally in landfills in nature. It is identified and confirmed in practice that the properties of bituminous binder, to which rubber particles, which are the product of recycling waste automobile and truck tires, are added, and consequently also the properties of asphalt mixtures are significantly improved. Research in this area and the use of such asphalt mixtures abroad are promising, which represents a useful and environmentally friendly solution for large amounts of collected waste tires all over the world. In the paper we have presented different production technologies for the rubber modified bituminous mixtures and on the basis of domestic and foreign research we have compared bituminous mixtures produced with different binders.

ZAHVALA

Za nasvete in vodenje pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu ter somentorju mag. Dejanu Hribarju. Zahvaljujem se tudi mag. Primožu Pavšiču iz Cestnega podjetja Ljubljana, ter mag. Bojani Lukač, ki sta mi posredovala veliko potrebnih podatkov in nasvetov.

Nazadnje se zahvaljujem tudi družini in prijateljem, ki so mi v času študija in izdelave diplomske naloge vedno stali ob strani.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	GUMIRANI ASFALT.....	2
2.1	SPLOŠNO.....	2
2.2	ZGODOVINSKI RAZVOJ	3
2.3	MATERIAL	4
2.3.1	BITUMEN.....	5
2.3.2	DELCI GUME	7
2.3.2.1	MLETJE PRI SOBNI TEMPERATURI – AMBIENTNA RECIKLAŽA.....	8
2.3.2.2	KRIOGENI POSTOPEK – POSTOPEK S TEKOČIM DUŠIKOM	11
2.3.3	ZMES KAMNITIH ZRN.....	13
2.4	DOSEDANJE IZKUŠNJE IN REZULTATI	14
3	TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE.....	15
3.1	SPLOŠNO.....	15
3.2	POSTOPKI.....	15
3.2.1	PROIZVODNJA PO MOKREM POSTOPKU	15
3.2.2	PROIZVODNJA PO SUHEM POSTOPKU	16
3.3	IZBIRA USTREZNIH IZRABLJENIH PNEVMATIK	17
3.4	PRIMERJAVA POSTOPKOV.....	18
3.5	STROJNA OPREMA	19
3.5.1	SUHI POSTOPEK PROIZVODNJE	20
3.5.2	MOKRI POSTOPEK PROIZVODNJE.....	21
4	IZSLEDKI RAZISKAV NA BITUMENIZIRANIH ZMESEH Z ENAKO ZRNAVOSTNO SESTAVO IN RAZLIČNIMI BITUMNI	23
4.1	LABORATORIJSKE RAZISKAVE IN POSKUSNO POLJE V SLOVENIJI.....	23
4.1.1	TECROAD.....	23
4.1.2	POSKUSNA PROIZVODNJA	25
4.1.3	POSKUSNA VGRADNJA	29
4.1.4	LABORATORIJSKE RAZISKAVE, POVEZANE S POSKUSNO PROIZVODNJO IN VGRADNJO NA POSKUSNEM POLJU	31
4.1.4.1	RAZISKAVE ZMESI, PRIPRAVLJENIH V LABORATORIJU	31
4.1.4.2	RAZISKAVE NA POSKUSNEM POLJU ODVZETIH VZORCEV	35

4.1.5	DRUGE LABORATORIJSKE PREISKAVE	36
4.1.5.1	UPORABLJENI MATERIALI	36
4.1.5.2	PRIPRAVA IN PRESKUŠANJE GUMIRANEGA BITUMNA	37
4.1.5.3	PRIPRAVA IN PRESKUŠANJE BITUMENIZIRANIH ZMESI	43
4.1.5.4	ZAKLJUČNI KOMENTAR RAZISKAV	49
4.2	POSKUSNO POLJE V KOLUMBIJI	49
4.2.1	UVOD.....	49
4.2.2	UPORABLJENI MATERIALI.....	50
4.2.3	PROIZVODNJA.....	52
4.2.4	POSKUSNO POLJE.....	53
4.2.5	VGRADNJA	54
4.2.6	IZSLEDKI RAZISKAV	55
4.2.6.1	PROMETNE OBREMENITVE.....	56
4.2.6.2	RAZPOKANOST	56
4.2.6.3	SPLOŠNA OCENA STANJA	57
4.2.6.4	OCENA STRUKTURE	62
4.2.6.5	ZAKLJUČKI	68
5	EKONOMIKA	69
6	ZAKLJUČEK.....	71
	VIRI.....	73

KAZALO SLIK

Slika 1: Gumirana asfaltna vozna površina (Asphalt rubber usage guide).....	2
Slika 2: Shema zgradbe bitumna (Žmavc, 2007).....	5
Slika 3: Prostorska razporeditev asfaltenov v destiliranem bitumnu sol-tipa (Žmavc, 2007).....	6
Slika 4: Prostorska razporeditev asfaltenov v pihanem bitumnu gel-tipa (Žmavc, 2007).....	6
Slika 5: Shema obrata za pridobivanje prahu gume po ambientnem postopku proizvajalca ELDAN (Novljan, 2008).....	8
Slika 6: Super sekalnik (Novljan, 2008).....	9
Slika 7: Močni razrezovalnik (Novljan, 2008).....	10
Slika 8: Klasifikator (Novljan, 2008).....	10
Slika 9: Kovinski delci (Novljan, 2008).....	11
Slika 10: Tekstilna vlakna (Novljan, 2008).....	11
Slika 11: Shema obrata za reciklažo s tekočim dušikom (Novljan, 2008).....	11
Slika 12: Granulat gume (aurorarubberflooring)	12
Slika 13: Primer zrnastostne krivulje za bitumenizirano zmes AC 8 surf (Žmavc, 2007).....	13
Slika 14: Iz kupov odpadnih pnevmatik, do trajnih in tihih voznih površin (http://www.fnfunc.com)	14
Slika 15: Gumiran bitumen (Lukač, 2011/2012).....	16
Slika 16: Delci gume za uporabo pri suhem postopku (Crumbrubbersite.com).....	17
Slika 17: Centralni obrat za šaržno proizvodnjo bitumenizirane zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007).....	20
Slika 18: Slika prestavljive mešalne enote za gumirani bitumen (CEI Enterprises).....	21
Slika 19: Slika cisterne za gumirani bitumen z mešalom (CEI Enterprises).....	21
Slika 20: Bitumenizirani granulat gume tecroad (Rubbertec)	24

Slika 21: Dodajanje bitumenskega granulata gume preko drče direktno v mešalnik (Pavšič, idr., 2010).....	26
Slika 22: Sestavi zrnivosti AC 8 surf B 70/100 A3 z dodatkom in brez dodatka bitumeniziranega granulata gume (Pavšič, idr., 2010).....	28
Slika 23: Vgrajevanje z gumo modificirane zmesi na Litijski (Pavšič, idr., 2010).....	30
Slika 24: Z gumo modificirana bitumenizirana zmes AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumenskega granulata gume (Pavšič, 2013).....	31
Slika 25: Sestava zrnivosti laboratorijsko pripravljenih bitumeniziranih zmesi AC 8 surf A4 (Pavšič, idr., 2010).....	33
Slika 26: Izvajanje testa odpornosti bitumenizirane zmesi proti kolesnicam. (Lukač, 2011/2012)	35
Slika 27: Mešanje z mešalom Silverson L5M (Lukač, 2011/2012).....	37
Slika 28: Z gumo modificirani bitumen po končanem 90 minutnem mešanju (Lukač, 2011/2012)	37
Slika 29: Primerjava rutting parametrov med nestaranimi bitumni: cestogradbeni B50/70, s polimeri modificirani bitumen in z gumo modificirani bitumen (Lukač, 2011/2012)	39
Slika 30: Primerjava rutting parametra za RmB pred staranjem, po RTFOT staranju in PAV staranju (Lukač, 2011/2012).....	39
Slika 31: Naprava za staranje po RTFOT (Justin, idr., 2010).....	40
Slika 32: Naprava za simuliranje PAV staranja bitumna. (Prentex alloy fabricators, inc.).....	41
Slika 33: Priprava vzorcev za preiskavo BBR in Slika 34. Bending beam reometer (Lukač, 2011/2012)	42
Slika 35: Togost različnih veziv pri različnih temperaturah (Lukač, 2011/2012).....	42
Slika 36: Nagib različnih veziv pri različnih temperaturah (Lukač, 2011/2012).....	42
Slika 37: Laboratorijska priprava bitumenizirane zmesi SMA 8 RmB (Lukač, 2011/2012)	43
Slika 38: Bitumenizirana zmes SMA 8 z RmB (Lukač, 2011/2012).....	43
Slika 39: Sejalna krivulja za SMA 8 RmB. Mejne krivulje so vrisane glede na zahteve za SMA 8 (Lukač, 2011/2012).....	44

Slika 40. Valjasti zgoščevalnik za pripravo asfaltnih plošč, ki jih nato razžagamo na ustrezno velike preskušance (Lukač, 2011/2012).....	46
Slika 41: Primer kriogene natezne napetosti, natezne trdnosti in rezerve natezne trdnosti v odvisnosti od temperature asfalta (Asfalt. 2006).....	47
Slika 42. Pripravljeni vzorci za preiskavo odpornosti bitumenizirane zmesi proti nizkim temperaturam (Lukač, 2011/2012).....	48
Slika 43. Vpet vzorec v temperaturni komori pred začetkom preiskave (Lukač, 2011/2012)	48
Slika 44: Uporabljena mešalo in cisterna (Arguelles, idr., 2009)	52
Slika 45: Obstoječa cesta preden so na njej izvedli poskusno polje (Arguelles, idr., 2009)	53
Slika 46: Vgradnja poskusnih asfaltnih plasti (Arguelles, idr., 2009)	54
Slika 47: Prikazuje gostoto razpokanosti na posameznem sektorju ob določenem času (Arguelles, idr., 2009).....	57
Slika 48: Vrednosti indeksa MDR za posamezen sektor (Arguelles, idr., 2009)	59
Slika 49: Stanje površine AM80100 (Arguelles, idr., 2009)	60
Slika 50: Stanje površine PMSBS (Arguelles, idr., 2009)	60
Slika 51: Stanje površine ARW80100 (Arguelles, idr., 2009)	61
Slika 52: Stanje površine PMSBR (Arguelles, idr., 2009)	61
Slika 53: Georadar in udarni deflektometer uporabljena pri raziskavi (Arguelles, idr., 2009).	62
Slika 54: Debeline posameznih plasti, ki so jih dobili z georadarjem (Arguelles, idr., 2009).	64
Slika 55: Izmerjene vrednosti podajnosti v središču plošče (Arguelles, idr., 2009)	64
Slika 56: Izračunane vrednosti števila strukture SN za vsak sektor (Arguelles, idr., 2009).	66
Slika 57: Parameter utrujanja po specifikaciji SuperPave (Arguelles, idr., 2009)....	67

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z navadnim cestogradbenim bitumnom (Pavšič, 2013).....	25
Preglednica 2: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumenskega granulata gume (Pavšič, 2013).....	26
Preglednica 3: Lastnosti bitumeniziranih zmesi AC 8 surf B 70/100 A3 (Pavšič, idr., 2010)	27
Preglednica 4: Lastnosti ekstrahirane bitumna (B 70/100+tecRoad) in literaturni podatki za nekatere vrste bitumnov (Pavšič, idr., 2010)	29
Preglednica 5: Receptura za AC8 surf B70/100 A4 z dodatkom bitumenskega granulata gume (Pavšič, 2013).....	32
Preglednica 6: Receptura za AC8 surf B70/100 A4 z navadnim cestogradbenim bitumnom(Pavšič, 2013).....	32
Preglednica 7: Receptura za AC8 surf PmB 40/80-65 A4 s polimerno modificiranim bitumnom (Pavšič, 2013).....	32
Preglednica 8: Lastnosti laboratorijsko pripravljenih bitumeniziranih zmesi AC8 surf B70/100 A4 (Pavšič, idr., 2010).....	34
Preglednica 9: Rezultati osnovnih lastnosti veziv (Lukač, 2011/2012).....	38
Preglednica 10: Lastnosti bitumenizirane zmesi SMA 8 z različnimi vezivi (Lukač, 2011/2012)	45
Preglednica 11: Rezultati preiskave odpornosti gumiranega asfalta proti kolesnicam (Lukač, 2011/2012).....	46
Preglednica 12: Primerjava rezultatov nizkotemperaturnih preiskav (Lukač, 2011/2012)	48
Preglednica 13: Zrnovostna sestava delcev gume (Arguelles, idr., 2009)	50
Preglednica 14: Zrnovostna sestava kamnite zmesi (Arguelles, idr., 2009)	51
Preglednica 15: Lastnosti bituminiziranih zmesi (Arguelles, idr., 2009)	51
Preglednica 16: Temperature pri katerih so valjali (Arguelles, idr., 2009)	55
Preglednica 17: Razvrstitev prometnih obremenitev (Žmavc, 2007).....	56

Preglednica 18: Razvrstitev vozni površin glede na indekse IRI, MDR in OPI (Arguelles, idr., 2009)	58
Preglednica 19: Vrednosti regresijskih koeficientov (Arguelles, idr., 2009)	63
Preglednica 20: Povprečne vrednosti podajnosti in standardni odklon (Arguelles, idr., 2009)	65
Preglednica 21: Cene uporabljenih materialov (Pavšič, 2013).....	69
Preglednica 22: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom gumigranulata.....	69
Preglednica 23: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z navadnim cestogradbenim bitumnom.....	69
Preglednica 24: Receptura za AC8 surf PMB 40/80-65 A3 s polimerno modificiranim bitumnom.....	70
Preglednica 25: cena tone posamezne zmesi.....	70

KAZALO KRATIC

AC: bitumenski beton (ang. Asphalt Concrete)

SMA: drobir z bitumenskim mastiksom (ang. Stone Mastc Asphalt)

PA: drenažni asfalt (ang. Porous Asphalt)

RmB: z gumo modificiran bitumen (ang. Rubber modified Bitumen)

PmB: s polimeri modificiran bitumen (ang. Polymer modified Bitumen)

SBR: polimer sitren butadien guma (ang. Styrene Butadiene Rubber)

SBS: polimer stiren butadien stiren (ang. Styrene Butadiene Styrene)

ARW: gumiran asfalt narejen po mokrem postopku (ang. Asphalt Rubber Wet)

1 UVOD

V Sloveniji in nasplošno po svetu predstavljajo izrabljene avtomobilske pnevmatike velik okoljski problem, saj se jih večina kot kurivo sežge v cementni industriji, nekaj jih tako ali drugače predelajo, dosti pa jih konča tudi na črnih odlagališčih v naravi. V evropskem združenju za recikliranje gum (ETRA- The european tire recycling asociation) ocenjujejo, da nepredelanih pnevmatik ostane kar 23%. Pri nas se v zadnjih letih predela približno po 21.000 ton avtomobilskih pnevmatik na leto (Vidic, 2012).

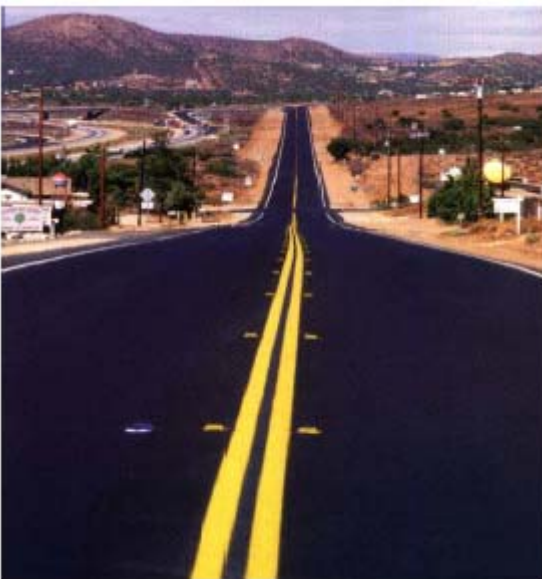
Eden izmed okolju prijaznih postopkov je drobljenje gum v delce, ki jih uporabimo za modifikacijo bitumna, s katerim proizvajamo bitumenizirane zmesi, katerim se na ta način izboljšajo številne lastnosti. Raziskave na tem področju, in uporaba takšnih asfaltov v tujini, so obetajoče, kar pomeni koristno in okolju prijazno rešitev za velike količine zbranih odpadnih gum povsod po svetu. Cilj diplomske naloge je predstaviti tehnologijo proizvodnje gumiranih asfaltov in jih primerjati z pri nas uveljavljenimi obrabnimi plastmi.

2 GUMIRANI ASFALT

2.1 SPLOŠNO

Gumirani bitumen (ang. asphalt rubber) je bitumen, ki vsebuje 15 ali več masnih procentov zmesi zrn gume. Kadar gumirani asfalt izdelujemo po mokrem postopku, uporabljamo gumeni prah (manjše frakcije), kjer delci gume predstavljajo modifikator bitumna. Kadar pa gumirani asfalt izdelujemo po suhem postopku, pa uporabljamo delce gume, ki predstavljajo delež v fini frakciji kamnite zmesi zrn.

Dodajanje delcev gume v bitumen izboljša lastnosti bitumna, ki so povezane z obnašanjem. Zelo se poveča odpornost proti utrujanju, kar izboljša odpornost proti tvorbi kolesnic. Bitumenizirane zmesi, ki jih proizvajamo z gumiranim bitumnom, so stabilnejše kot podobne zmesi s cestogradbenim bitumnom. Poleg tega izkazujejo večjo odpornost na visoke temperature, zmanjšujejo poškodbe, katerih vzroki so v spodnjih plasteh asfalta, zmanjšujejo hrupnost in zmanjšujejo občutljivost asfaltne plasti na nizke temperature. Poleg tega so plasti iz gumiranega asfalta odporne proti spremembam, ki jih pogojuje staranje bitumenskega veziva, kar pomeni, da se s tem poveča trajnost asfaltne plasti.



Slika 1: Gumirana asfaltna vozna površina (Asphalt rubber usage guide)

2.2 ZGODOVINSKI RAZVOJ

Raziskave gumiranih asfaltnih materialov za uporabo v cestogradnji so se v ZDA začele v poznih tridesetih letih prejšnjega stoletja. V zgodnjih petdesetih letih so v Biroju za javne ceste izvedli vrsto laboratorijskih preskusov, da bi ocenili vpliv različnih dodatkov gume na obnašanje tako narejenih asfaltov. Ker so bili rezultati obetajoči, se je zanimanje in delo na tem področju močno povečalo.

V 60 ih letih prejšnjega stoletja je Charles H. McDonald iz Phoenixa v Arizoni razvil tako imenovani »mokri proces« (po njem imenovan tudi McDonaldov proces) proizvodnje gumiranega asfalta. Bil je prvi, ki je tako izboljššan asfalt uporabljal sprva predvsem za vzdrževanje poškodovanih cest. Tako so začeli v Arizoni sprva krpati udarne jame s prefabriciranimi ploščami (60x60cm), ki so jih nato pobrizgali z gumibitumnom ter posipali s kamnitimi zrni. Kasneje pa so začeli z uporabo z gumibitumnom narejenih površinskih prevlek (pobrizg gumibitumna in posip s kamnito zmesjo) in so na ta način z majhnim stroškom podaljšali življenjsko dobobo številnih cest za skoraj 20 let. Promet se je nato toliko povečal, da površinske prevleke niso več zadoščale. Zato so začeli razvijati druge z gumo modificirane bitumenizirane zmesi, kjer so uporabili gumibitumen. Danes je z različnimi tipi gumenih asfaltov v Arizoni asfaltiranih približno 50% vseh cest. Razvoj na tem področju je v 70 ih letih prejšnjega stoletja potekal tudi v Kaliforniji in Teksasu, kmalu pa se je uporaba razširila še v druge države v ZDA.

V Evropi je od leta 2002 do 2005 potekal projekt SILVIA-Sustainable Road Surfaces for Traffic Noise Control, katerega namen je bil pripraviti smernice za uporabo tihih vozniških površin. Kasneje, od leta 2005 do 2008 je bil izveden, prav tako evropski, projekt SILENCE, katerega namen je bil razvoj integriranega sistema metodologij in tehnologij za učinkovito zmanjševanje hrupa in zaščito pred hrupom cestnega prometa v urbanih področjih. Ta dva projekta in pa pozitivne izkušnje uporabe gumiranih asfaltov v ZDA, sta spodbudila zanimanje za gumirane asfalte tudi v Evropi. Izvedenih je bilo precej poskusnih polj z gumiranimi bitumeniziranimi zmesmi tako po suhem kot po mokrem postopku (Italija, Švedska, Češka, Portugalska, Španija, Poljska, Avstija,...). Na izvedenih poskusnih poljih izvajajo meritve hrupa in zbirajo informacije glede lastnosti uporabljenih bitumeniziranih zmesi in trajnosti plasti (Lukač, 2011).

V Sloveniji smo glede uporabe gumiranih asfaltov trenutno v okviru spremljanja izkušenj v Evropi in ostalem svetu. V Cestnem podjetju Ljubljana so sprojektirali bitumenizirano zmes AC 8 surf z gumenimi delci, ki so bili predhodno delno že izpostavljeni reakciji z bitumnom. Nato so izvedli poskusno polje. Prav tako sta leta 2011 jeseni izvedli poskusno polje po suhem postopku podjetji CP Asfalt in vgrajevalec bitumeniziranih zmesi MAPRI. Cilj teh poskusnih polj je bil dokazati, da se lahko bitumenizirana zmes za lažje obremenitve kakovostno izboljša, če ji dodamo 1-2 *m*-% ustrezno obdelanega gumenega granulata. Izvedbo prvega poskusnega polja po mokrem postopku proizvodnje z lastno pripravo gumibitumna pa pričakujemo v prihodnosti.

Poleg izvedenih poskusnih polj se strokovnjaki v Laboratoriju za asfalte, bitumne in bitumenske proizvode na ZAG u že nekaj časa ukvarjajo predvsem z laboratorijsko pripravo gumibitumna in z mokrim postopkom priprave bitumeniziranih zmesi. Raziskovali so vpliv izbire in množine vhodnih materialov na končne lastnosti gumibitumna, iskali primeren čas mešanja gumibitumna, uvedli laboratorijske preskuse, ki se v svetu uporabljajo za preverjanje kakovosti proizvedenega gumibitumna. Ugotavljali so mehanske in reološke lastnosti za različne kombinacije uporabljenih materialov, preučevali staranje gumibitumna in skladiščne lastnosti gumibitumna. Projektirali in laboratorijsko so zamešali več različnih vrst gumiranih bitumeniziranih zmesi, predvsem tipa AC in SMA. Za bolj odprti SMA, ki je vseboval 6 *V*-% zračnih votlin, so preverjali mehanske lastnosti, občutljivost na vodo, odpornost proti tvorbi kolesnic in odpornost asfaltne plasti proti nizkim in visokim temperaturam.

2.3 MATERIAL

Materiali, ki jih uporabljamo za proizvodnjo gumiranega asfalta so:

- bitumen,
- gumeni delci in
- zmesi kamnitih zrn.

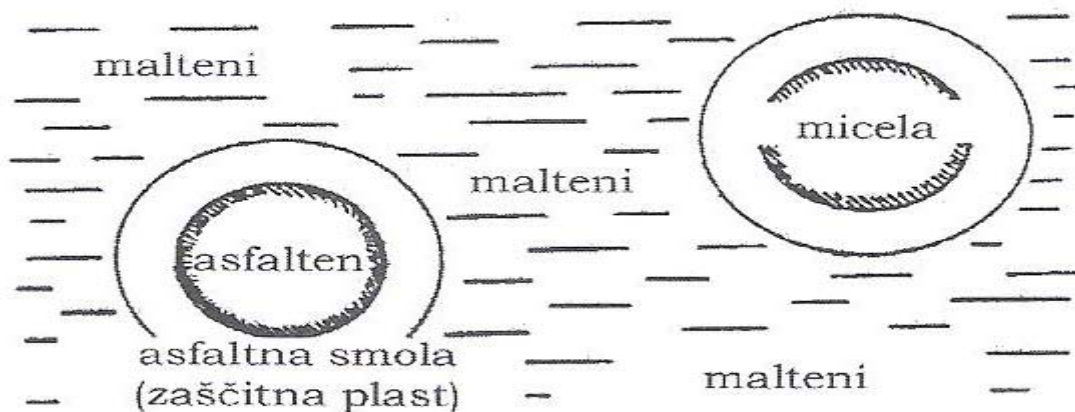
2.3.1 BITUMEN

Kemijska sestava bitumna je zelo raznolika, saj ga sestavlja veliko različnih organskih spojin.

V osnovi pa je mogoče razlikovati v bitumnu tri skupine struktur:

- aromatske spojine, t.j. nezasičene obroče ogljikovodikov
- aciklične spojine, t.j. zasičene obroče ogljikovodikov
- alifatske spojine, t.j. zasičene ogljikovodike v ravni ali razvejani verigi.

Sestava je odvisna od izvora nafte in procesa rafiniranja. Shematsko zgradbo bitumna lahko razložimo s sliko 2.

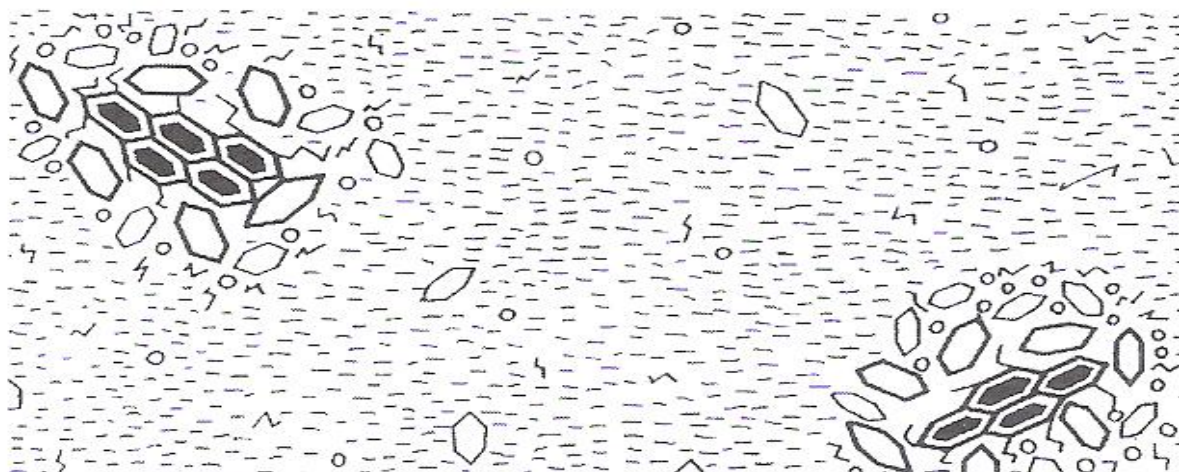


Slika 2: Shema zgradbe bitumna (Žmavc, 2007)

Bitumen sestoji iz trdih in krhkih delcev z največjo molekularno maso, t.j. asfaltenov, ki tvorijo jedra. Okoli teh jeder se združujejo delci z manjšo molekularno maso (adsorbirane asfaltne smole) v tkim. micelno strukturo. Zunanjo fazo okoli micel pa imenujemo malteni. Sestavljajo jo smole in olja.

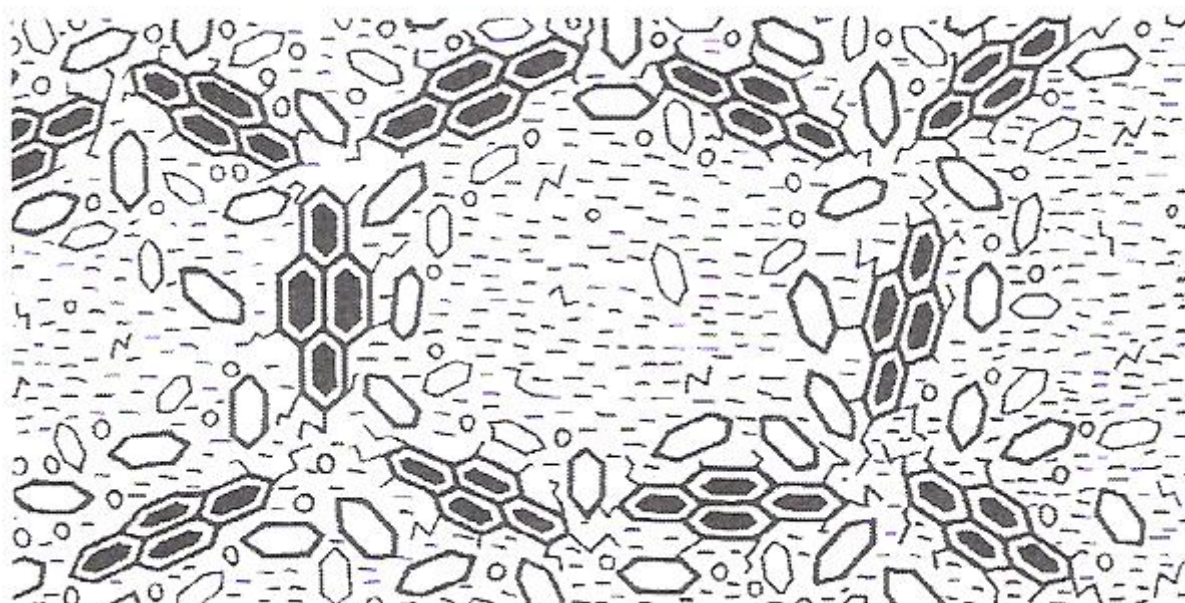
Micelna struktura bitumna lahko zavzame najrazličnejše oblike, odvisno od deleža asfaltenov in kemične narave posamezne faze. Glede na to razlikujemo sol-tip in gel-tip bitumna.

Sol- tip ali newtonski bitumen se obnaša kot newtonska tekočina, to pomeni popolnoma viskozno.



Slika 3: Prostorska razporeditev asfaltenov v destiliranem bitumnu sol – tipa (Žmavc, 2007)

Gel-tip pa kaže zaradi velikega deleža asfaltenov izrazito micelsko strukturo (mrežasta oz. skeletna struktura). Do določene mejne vrednosti so ti bitumni popolnoma elastično deformabilni.



Slika 4: Prostorska razporeditev asfaltenov v pihanem bitumnu gel – tipa (Žmavc, 2007)

Ostra razmejitev tipov bitumna pa ni mogoča, saj gel-tipi lahko kažejo pri visokih temperaturah precej newtonske značilnosti, sol-tipi pa imajo lahko pri nizkih temperaturah poleg viskoznih tudi elastične značilnosti preoblikovanja.

Ugotovimo torej, da imata kemijska sestava in temperatura močan vpliv na mehanske lastnosti ter na mikrostrukturo bitumna. Pri visokih temperaturah se v asfaltni plasti kot posledica newtonskega obnašanja bitumna lahko pojavijo kolesnice, pri nizkih pa, zaradi povečane krhkosti, razpoke. Da bi razširili uporabni temperaturni razpon veziva, se v bitumen vmešavajo različni dodatki, ki reagirajo z bitumnom in nadzorovano spreminjajo lastnosti bitumenskih veziv. Tako se uporabljajo dodatki, kot so amini, polifosforna kislina, apno, voski, zeoliti itd. Uporabljajo pa se tudi sredstva za modifikacijo bitumna, kot so polimeri in tudi prah gume, ki zelo spremeni lastnosti veziva ter s tem bitumenizirane zmesi in vgrajene plasti (Žmavc, 2007).

2.3.2 DELCI GUME

Zmes gume, iz katere je izdelan avtomobilski plašč, je kombinacija naravnega in sintetičnega kavčuka (najpogosteje uporabljen je stiren-butadien – SBR), različnih sestavin nafte, kemikalij in saj.

Delce gume oz. prah gume iz odpadnih pnevmatik proizvajajo predvsem z dvema postopkoma:

- z mletjem pri sobni temperaturi (ambientni postopek) in
- s kriogenim postopkom (postopek s tekočim dušikom).

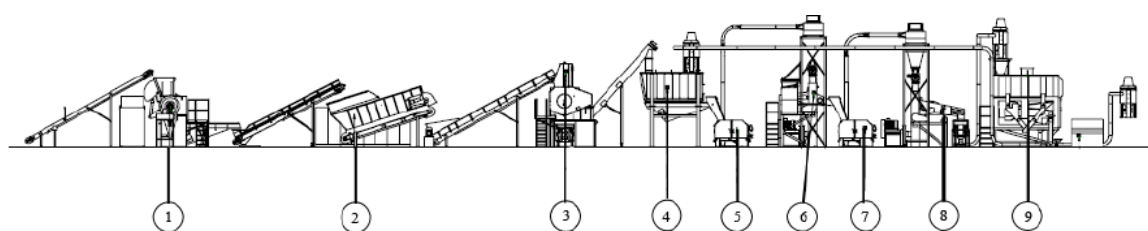
Z obema načinoma sicer pridobimo delce podobne velikosti, ki pa se razlikujejo v površinskih lastnostih. Za modificiranje bitumna (mokri postopek) so zaradi reakcijske površine primernejši delci, ki jih pridobimo z ambientnim postopkom, kjer se delci bolj cefrajo, kot pa delci, ki jih pridobimo s kriogenim postopkom, kjer se zmrznjena guma v procesu drobljenja gladko lomi.

Oba procesa se začneta tako, da se celotno gumo zmelje ali razreže. S tem prvim korakom dobimo kose gume (strgane pnevmatike) velike do 2 dm², s katerimi v nadaljevanju lažje ravnamo.

2.3.2.1 MLETJE PRI SOBNI TEMPERATURI – AMBIENTNA RECIKLAŽA

Postopek reciklaže v ambientnih pogojih sega že v prva leta reciklaže, torej z začetkom v letu 1920. Gre za postopek mletja in separacije s ponavljanjem mletja in vedno ostrejših pogojev, s čimer dobimo osnovne sestavne delce gume, tekstil in kovino. Tehnologija se iz leta v leto izboljšuje in rezultat je vedno večja čistost končnega produkta.

Shema obrata za pridobivanje prahu gume (CRM- crumb rubber modifier) pri sobni temperaturi je vidna na sliki 5.



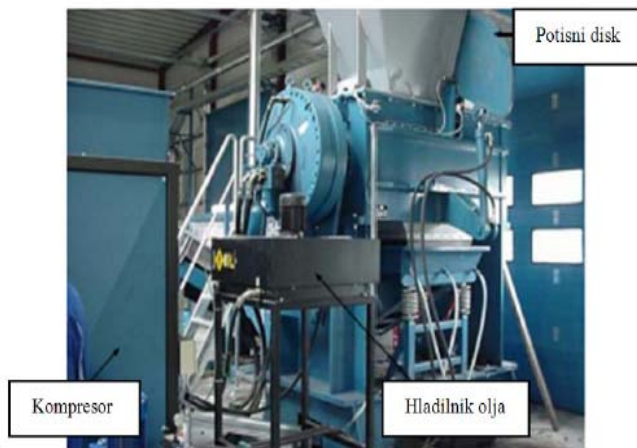
LEGENDA

- (1) - predrez v **super sekalniku**,
- (2) - zbiranje razsekanih delov gume v **silosu**,
- (3) - granulacija v **močnem razrezovalniku**
- (4) - zbiranje granulata gume v **silosu**,
- (5,7) - fina granulacija poteka v dveh **granulatorjih**,
- (6,8) - separacija tekstila in jekla v **klasifikatorju**,
- (9) - separacija tekstila in jekla v **aspiratorju**.

SLIKA 5: Shema obrata za pridobivanje prahu gume po ambientnem postopku proizvajalca ELDAN (Novljan, 2008)

Tak obrat za razrez gume omogoča procesiranje celih pnevmatik. Odstranitev jeklene sredice ni potrebna pred procesom, saj to omogoča sam postopek. Zgoraj naštetih strojev so povezani med seboj s silosi, tekočimi trakovi, vibracijskimi mizami, vijaki in pnevmatskimi transporterji. V nadaljevanju bo delovanje posameznih strojev, ki se jih modularno sestavi v na zgornji sliki prikazan obrat, tudi slikovno in tekstovno predstavljeno.

Super sekalnik je narejen, da lahko procesira celotno avtomobilsko in tovorno gumo ter ostale večje gume. Največji premer gume, ki ga procesira super sekalnik, je 1200 mm, največja širina plašča pa 450 mm. Kapaciteta vhodnega materiala je 3-4 tone na uro. V rotacijskih valjih so nameščeni noži za razrez gume v kose željene dimenzije. Odstranitev jeklenega obroča, ki predstavlja do 25% teže avtogume, ni potrebna pred procesom, saj jo omogoča sam sekalnik. Pri morebitnem zastoju gume ima stroj dodatni potisni disk, ki gumo potisne proti sekalnim čeljustim. Končni produkt iz super sekalnika so kosi, veliki približno 150 – 300 mm.



SLIKA 6: Super sekalnik (Novljan, 2008)

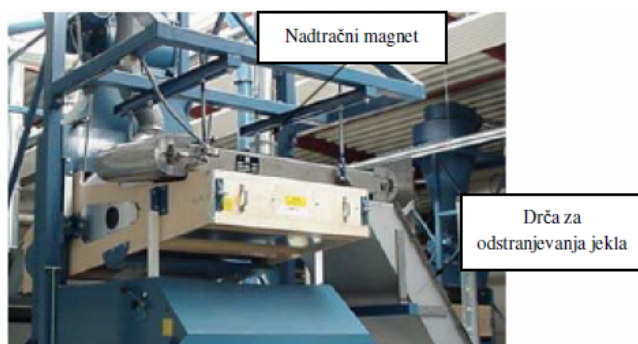
Silos omogoča, da se razsekani deli gume zberejo in transportirajo v nadaljnji razrezovalnik, s čimer se zagotovi maksimalna možna izraba super sekalnika. Močni razrezovalnik, kot ga vidimo na sliki 7, je namenjen prvi granulaciji. Ta stroj lahko predela cele ali že razrezane avtomobilske in tovrne gume. Opremljen je z zamenljivimi siti, ki omogočajo določitev velikosti izhodnega produkta – granulata v velikosti granul od 7 do 20 mm. Zamenljivost sit omogoča hitro prilagoditev potrebam naročila.

Granulat, pridobljen iz razrezanih gum, zberemo v silosu, da bi ga lahko transportirali v nadaljnjo fino granulacijo.



SLIKA 7: Močni razrezovalnik (Novljan, 2008)

Fino granulacijo opravi granulator 1 in 2 z nameščenimi zamenljivimi siti, kar omogoča željeno velikost granulata. Granule preko transportnih trakov in transportnih polžev potujejo do klasifikatorjev 1 in 2, kakršen je na sliki 8, s katerim odstranimo preostalo jeklo in tekstil iz gumenih zrn. Od tod se pot nadaljuje v aspirator, kjer se odstrani preostali tekstil iz gumenega produkta. Na ta način dobimo tri velikosti granulata, od katerih se dve avtomatsko pakirata v vreče, tretja pa se vrača nazaj v ponoven proces, da se doseže željeno velikost končnega produkta.



SLIKA 8: Klasifikator (Novljan, 2008)

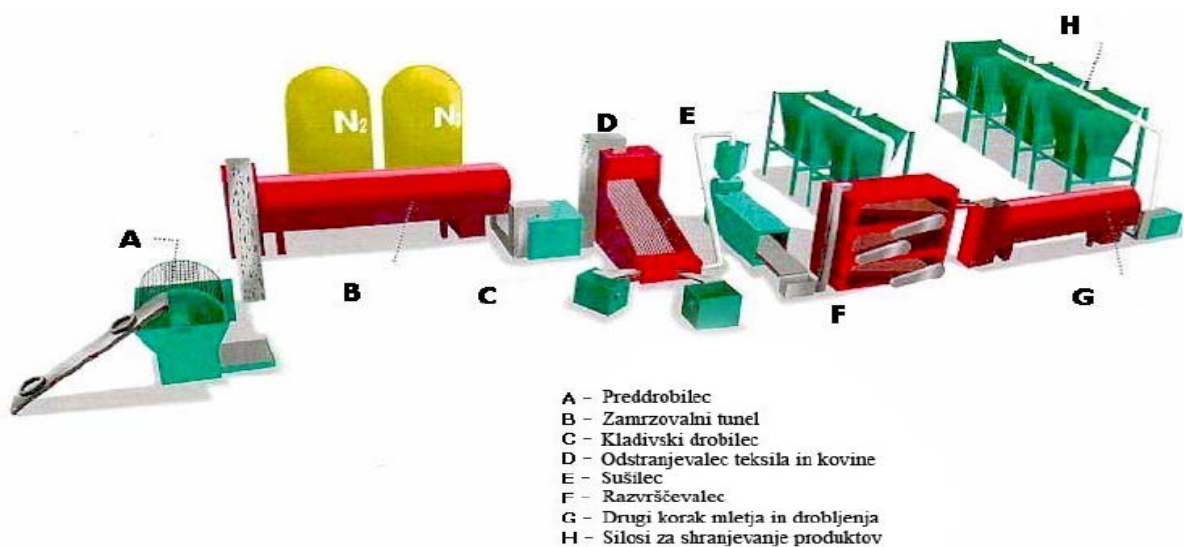
Postopek odstranjevanja kovinskih delov, ki jih vidimo na sliki 9, se izvaja s pomočjo magnetov, tako da magnetna sila izvleče jeklene niti iz gumene mase in jih odlaga na zbirno mesto. Prav tako se iz gume odstranjujejo tudi tekstilna vlakna, ki so vidna na sliki 10. Odstranjevanje teh izvajajo s kombinacijo vibracijskih sit in zračnih filtrov, tako da se tekstilna vlakna izločijo, kasneje pa jih zračni filtri vsrkavajo in zberejo v zbirne zaboje (Novljan, 2008).



SLIKA 9: Kovinski delci (Novljan, 2008) SLIKA 10: Tekstilna vlakna (Novljan, 2008)

2.3.2.2 KRIOGENI POSTOPEK – POSTOPEK S TEKOČIM DUŠIKOM

Pri tem postopku predhodno razrezane kose pnevmatik hladimo s tekočim dušikom na -80°C , tako da postanejo krhke, nato pa jih z vrsto različnih drobilnikov zdrobimo v manjše frakcije. Shematski prikaz obrata za reciklažo (drobljenje) pnevmatik s tekočim dušikom je razviden na sliki 11.



SLIKA 11: Shema obrata za reciklažo s tekočim dušikom (Novljan, 2008)

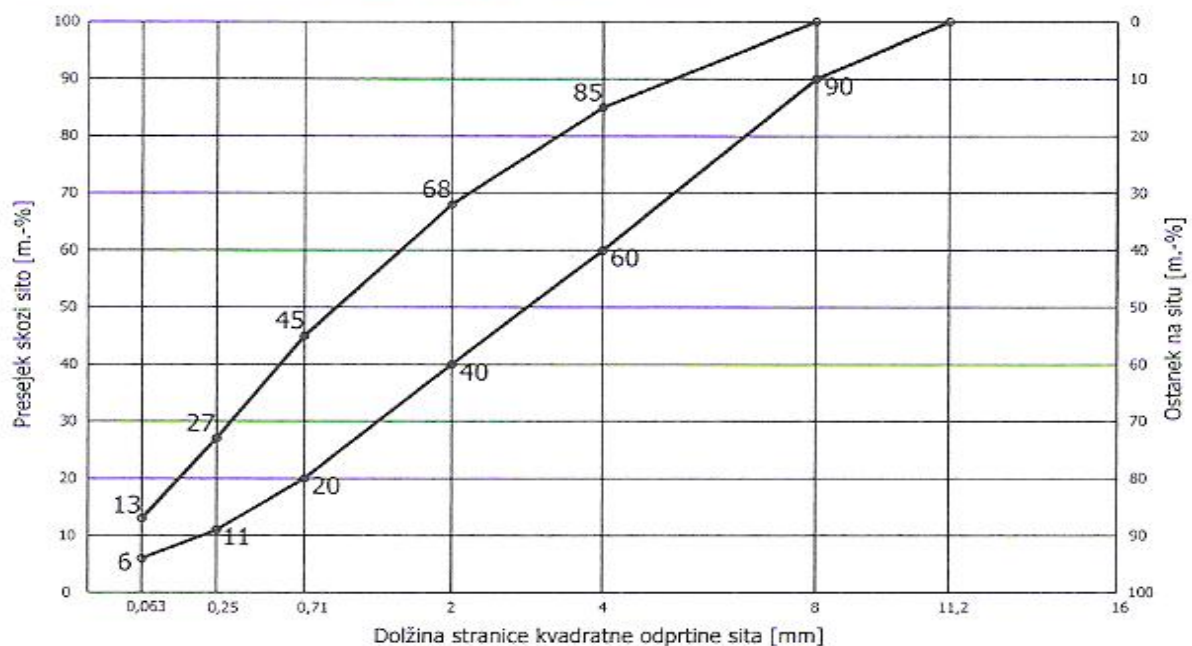
Kot smo že omenili in je razvidno tudi iz slike 11, se v preddrobilniku (super sekalniku) celotne pnevmatike najprej razrežejo na večje kose in se nato transportirajo v zamrzovalni tunel. Tukaj se ohladijo na primerno temperaturo, nato pa se nadalje drobijo najprej v kladivskem drobilcu ter kasneje, po tem ko se z magneti odstrani kovinske delce ter izpiha tekstilna vlakna, še v sekundarnih drobilcih (Novljan, 2008).



Slika 12: Granulat gume (aurorarubberflooring)

2.3.3 ZMES KAMNITIH ZRN

Vrsta zmesi kamniteih zrn, ki jo uporabljamo, je odvisna od namena uporabe. Načeloma uporabljamo za gumirane asfaltne zmesi enako zmes zrn kot za druge vrste asfaltov. Torej se držimo predpisanih mejnih zrnastvostnih krivulj za posamezne tipe asfaltov.



SLIKA 13: Primer zrnastvostne krivulje za bitumenizirano zmes AC 8 surf (Žmavc, 2007)

Krivuljo zrnastvostne sestave (zrnastvostno krivuljo) določimo tako, da zmes zrn presejemo in ostanke na posameznih sitih stehtamo ter zaporedno seštejemo po velikosti sit od najmanjšega navzgor. Presejna krivulja je torej vsotna krivulja presejkov t.j. razredov zmesi zrn.

Predstavlja delež mase posameznih razredov zrn do določene velikosti. Navadno jo prikažemo tudi grafično, kot kaže slika 13, saj tako zagotovimo možnost primerjave dejanske zmesi zrn z idealno (teoretično) ali zahtevano zmesjo za določen namen uporabe. V primeru, da imamo na razpolago določene frakcije kamnitih zrn, lahko po različnih teoretičnih ter praktičnih postopkih sestavimo željeno (zahtevano) zmes zrn (Žmavc, 2007).

2.4 DOSEDANJE IZKUŠNJE IN REZULTATI

Dosedanje izkušnje in rezultati v ZDA kot tudi drugod po svetu kažejo, da gumirani asfalt zmanjša hrup, ima daljšo življenjsko dobo, omogoča dobro odvodnjavanje, poleg tega pa se s pomočjo njegove proizvodnje znebimo velike količine izrabljenih avtomobilskih gum, ki sicer predstavljajo velik okoljski problem, saj se jih večina kot kurivo sežge v termoelektrarnah in cementni industriji, veliko pa jih konča tudi na črnih odlagališčih.



Slika 14: Iz kupov odpadnih pnevmatik do trajnih in tihih voznih površin (<http://www.fnfinc.com...>).

3 TEHNOLOGIJA PROIZVODNJE

3.1 SPLOŠNO

Proizvodnja tako po suhem kot po mokrem postopku, ki bo opisana v nadaljevanju, je pravzaprav zelo podobna proizvodnji klasičnih bitumeniziranih zmesi. Torej za proizvodnjo z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi potrebujemo le določene modifikacije asfaltnih obratov in ne popolnoma novih.

3.2 POSTOPKI

3.2.1 PROIZVODNJA PO MOKREM POSTOPKU

Pri tem postopku najprej pripravimo gumirani bitumen, ki se nato vodi v proizvodni proces mešanja bitumenizirane zmesi. Prah gume se vmeša v bitumen pri temperaturi od 170 do 220 °C in se v ustrezni mešalni napravi meša od 30 do 120 min. Dodatek gume znaša do 20 % mase bitumna, lahko pa tudi več, kar zavisi od kemijske sestave vhodnega bitumna.

Ko se gumeni delci potopijo v bitumen, le ti absorbirajo komponente podobne topnosti in hitro nabreknejo. Gre za absorbcijo nizkomolekularnih spojin, kot so na primer aromati. Močne transvezi med elastomernimi verigami preprečujejo delcem gume, da bi se v celoti raztopili v tekočem bitumnu. S podaljševanjem reakcijskega časa tekočina penetrira v notranjo strukturo gume in nabrekanje narašča. Ugotovili so, da nabrekanje linearno narašča prvih 90 sekund, nato pa z upadajočo hitrostjo (Lesueur, 2009, cit po Lukač, B., idr. 2010). Delci gume lahko nabreknejo 3 do 5 krat glede na začetno prostornino. Zaradi nabrekanja je med delci gume vedno manj prostora, zato je njihova mobilnost znotraj bitumna slabša. Hkrati postaja bitumen bogatejši z asfaltensko fazo, saj se guma oz. morebitni drugi polimeri in asfalteni ne mešajo in povzročijo nastanek heterogene zmesi.



Slika 15: Gumiran bitumen (Lukač, 2011/2012)

To povzroči zvišanje viskoznosti veziva v primerjavi z osnovnim bitumnom (Grawel, 2006, cit po Lukač, B., idr. 2010). Manjši delci gume začno nabrekati prej in bolj modificirajo vezivo kot večji delci. Nabrekanje gumenih delcev v bitumnu oziroma absorpcijske kapacitete gumenih delcev so v glavnem povezane z lastnostmi gume, izvorom surove nafte (kemijske sestave) in penetracijskimi lastnostmi bitumna, poleg tega pa še od temperature in kontaktnega časa mešanja ter velikosti delcev. Kemijska narava bitumna določa ravnotežno vrednost nabrekanja, medtem ko viskoznost bitumna določa hitrost nabrekanja (Peralta, 2009, cit po Lukač, B., idr. 2010).

Zaradi zgoraj naštetega je potrebno pred samim procesom proizvodnje v laboratorijih preveriti kompatibilnost posamezne vrste bitumna in gumenega dodatka ter določiti čas in temperaturo za reakcijo gume in bitumna. Poleg tega je potrebno izbrati primeren dodatek, ki olajša vmešavanje gumenega prahu in poveča nabrekanje gume v bitumnu (Lukač, B., 2011/2012).

Mokri postopek je primeren za vse vrste vročih bitumeniziranih zmesi, kot tudi za površinske prevleke in antistresne membrane, ki se vgrajujejo med plastmi ali kot vrhnja obrabna plast.

V mokri postopek bi lahko šteli tudi postopek, kjer se pri proizvodnji bitumenizirane zmesi v mešalni bobeni dodaja granulati, ki je mešanica bitumna in zrn gume. Na ta način lahko prednosti, ki jih nudi modifikacija bitumna z gumo, izkoristijo tudi asfaltne baze, ki niso posebej opremljene za shranjevanje in izdelavo gumiranih bitumnov.

3.2.2 PROIZVODNJA PO SUHEM POSTOPKU

Pri suhem postopku se dodaja gumeni granulati kot nadomestilo fine frakcije (od 1 do 3 % mase kamnitega materiala v zmesi). Delci gume se predhodno preparirajo, da se izboljša

njihovo nabrekanje, nato pa se mešajo z zmesjo kamnitih zrn. V zadnji fazi se dodaja bitumensko vezivo in polnilo (Žmavc, 2010).

Bitumenizirano zmes z delci gume lahko brez težav projektiramo po klasični metodi za projektiranje bitumeniziranih zmesi. Osnovni kriterij za projektiranje je vsebnost zračnih votlin, ki naj bi za bitumenski beton znašala od 2 do 4 *V*-%. Zrnavost kamnitih frakcij je potrebno sprojektirati tako, da je dovolj prostora za delce gume. Nezreagirana guma postane volumsko kot kamnita frakcija in zapolni prostor. Za gumirane asfaltne zmesi z manjšo nazivno zrnavostjo je potrebno uporabiti drobnejše frakcije gumenih delcev. Gumeni delci naj bodo čim bolj suhi (Žmavc, 2010).

Suhi postopek se lahko uporablja za vroče gumirane bitumenizirane zmesi vrst bitumenskih betonov (AC), drobirjev z bitumenskim mastiksom (SMA) in drenažnih asfaltov (PA), ni pa primeren za proizvodnjo hladnih asfaltnih zmesi ali za površinske prevleke (Žmavc, 2010).



Slika 16: Delci gume za uporabo pri suhem postopku (Crumbrubbersite.com)

3.3 IZBIRA USTREZNIH IZRABLJENIH PNEVMATIK

Po tehničnih specifikacijah Kalifornijskega ministrstva za promet (CALTRANS), mora gumeni granulat vsebovati 25 ± 2 *m*-% naravnega kavčuka (ang. high natural rubber) in 75 ± 2 *m*-% delcev gume pridobljenih iz zmletih avtomobilskih gum. Delci, pridobljeni iz avtomobilskih gum, so večinoma v velikostnem razredu od 600 μ m do 2 mm, medtem ko je naravni kavčuk navadno nekoliko finejši, večinoma v velikostnem razredu od 300 μ m do 1.18 mm.

Vir naravnega kavčuka so predvsem odpadne gume tovornih vozil, vsebujejo pa ga tudi teniške žogice.

Interakcija med bitumnom in gumenimi delci je odvisna od številnih dejavnikov, vključno z

- virom in tipom bitumna,
- vrsto gume v gumenih delcih,
- virom gumenih delcev,
- količino gumenih delcev,
- velikostjo gumenih delcev,
- reakcijskim časom med gumo in bitumnom in
- temperaturo mešanja.

Zaradi naštetih dejavnikov je potrebno glede na vir in količino ter granulacijo vhodnih materialov vedno načrtovati in po potrebi prilagoditi proizvodnjo z gumo modificiranega bitumna tako, da ima le ta glede na uporabljene materiale kar najboljše lastnosti.

3.4 PRIMERJAVA POSTOPKOV

Bistvene razlike med postopkoma so v:

- velikosti gumenih delcev,
- količini gumenih delcev,
- funkciji gumenih delcev in
- načinu vgradnje gumenih delcev.

Velikost delcev gume pri mokrem postopku je precej manjša od velikosti delcev pri suhem postopku. Pri mokrem postopku boljše učinke dosežemo z manjšimi zrn (velikostni razred manjši od 1 mm), medtem ko pri suhem postopku uporabljamo delce velike od 1 do 5 mm.

Količina delcev gume je pri suhem postopku od 2 do 3 krat večja kot pri mokrem postopku, saj pri mokrem postopku dodamo bitumnu do 20 *m*-% delcev gume pri čemer je količina tako dobljenega veziva v bitumenizirani zmesi v velikostnem razredu 5 do 10 *m*-. Pri suhem postopku pa gumena zrna predstavljajo 1 do 3 *m*-% kamnite zmesi.

Različna je tudi funkcija delcev gume v posameznem postopku. Pri suhem postopku se guma obnaša bolj kot zmes zrn, pri mokrem pa deluje kot modifikator (izboljša lastnosti) bitumna (veziva).

Zadnja razlika pa je, da pri suhem postopku pravzaprav ne potrebujemo nič drugačne opreme kot za izdelavo klasičnih bitumeniziranih zmesi po vročem postopku, saj se delci gume le vmešajo v zmes kamnitih zrn. Manjše modifikacije standardne opreme za izdelavo klasičnih bitumeniziranih zmesi pa potrebujemo pri vročem postopku proizvodnje z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi. Tak obrat mora biti opremljen z mešalnico gumiranega bitumna, imeti mora dovolj močne črpalke za pretakanje bolj viskoznega veziva in dovolj velike šobe, ki prepuščajo tudi nabrekle delce gume.

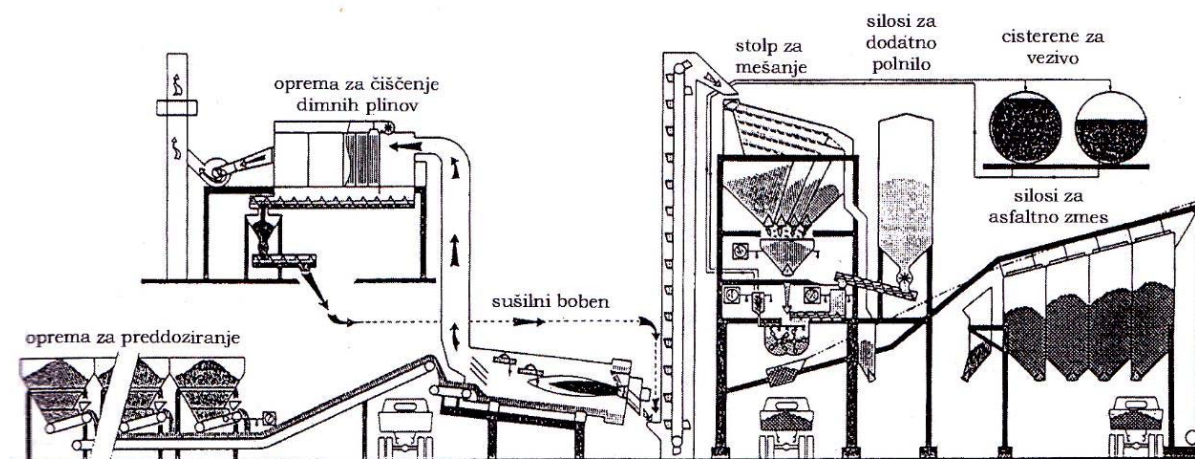
Nobene od omenjenih modifikacij pa ne potrebujemo pri mokrem postopku, kjer dodajamo granulato gume (mešanico bitumna in gume, ki sta predhodno delno že zreagirala) direktno v mešalni boben, kar je tudi njegovala največja prednost.

3.5 STROJNA OPREMA

Strojno opremo za proizvodnjo klasičnih bitumeniziranih zmesi je potrebno za proizvodnjo z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi le nadgraditi. Zato bomo najprej predstavili klasično strojno opremo, na koncu pa bomo podali potrebne modifikacije tako za mokri kot za suhi postopek proizvodnje z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi.

Standardna strojna oprema sodobnega obrata za proizvodnjo bitumeniziranih zmesi sestoji iz naslednjih sklopov:

- opreme za predhodno odmerjanje posameznih zrnivosti zmesi zrn (predozirnika), ki jo sestavlja ustrezno število silosov / prekatov z odmernimi napravami in zbirni tekoči trak
- sušilnega bobna
- opreme za ločevanje delcev prahu iz odsesanih dimnih plinov
- elevatorja
- stolpa za proizvodnjo bitumeniziranih zmesi, ki ga sestavljajo:
 - oprema za razsejanje posušene vroče zmesi zrn
 - silosi / prekati za vmesno skladiščenje posameznih zrnivosti zmesi zrn
 - oprema za odmerjanje zmesi zrn, polnila in veziva
 - mešalnik
- silosov za dodatno in lastno polnilo
- cistern za veziva in dodatke
- silosov za proizvedene bitumenizirane zmesi.



SLIKA 17: Centralni obrat za šaržno proizvodnjo bitumenizirane zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007)

3.5.1 SUHI POSTOPEK PROIZVODNJE

Pri suhem postopku proizvodnje bitumenizirane zmesi z dodanimi gumenimi delci potrebujemo sledeče dodatke:

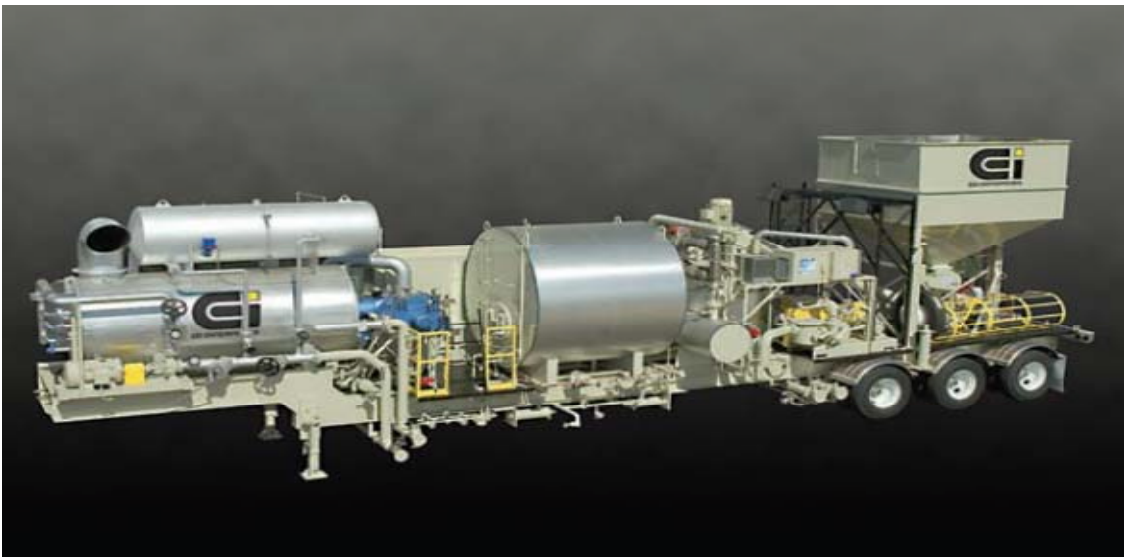
- cisterno za dodatek, ki izboljša nabrekanje delcev gume,
- silose za skladiščenje različnih frakcij delcev gume,
- opremo za odmerjanje,
- mešalnik za mešanje dodatka za izboljšanje nabrekanja in delcev gume,
- transportni trak za transport delcev gume do kamnitih delcev.

Glede na potrebno frakcijsko sestavo delcev gume, le te s pomočjo naprav za odmerjanje sestavimo in jim dodamo dodatek za izboljšanje nabrekanja. Vse skupaj nato preko transportnih trakov vodimo do kamnite zmesi zrn, kjer ju zmešamo. V zadnji fazi dodajamo bitumensko vezivo.

3.5.2 MOKRI POSTOPEK PROIZVODNJE

Pri tem postopku najprej pripravimo gumirani bitumen, ki se nato vodi v proizvodni proces mešanja bitumenizirane zmesi. Torej za proizvodnjo gumiranega bitumna potrebujemo dodatno opremo, ki sestoji iz:

- mešalne enote, kjer mešamo vhodni bitumen in delce gume,
- ogrevane cisterne za gumirani bitumen z mešalom, kjer delci gume reagirajo z bitumnom.



Slika18: Slika prestavljive mešalne enote za gumirani bitumen (CEI Enterprises)



Slika 19: Slika cisterne za gumirani bitumen z mešalom (CEI Enterprises)

Proces proizvodnje z opremo podjetja CEI Enterprises, ki je prikazana na slikah 18 in 19, poteka na sledeči način:

- delce gume se vsuje v koš mešalne enote preden se mešanje začne, nato pa se jih med mešanjem po potrebi dodaja, da jih ne zmanjka
- transportni vijak delce gume nato prenaša do mešalne komore
- v mešalni komori se delci gume mešajo s predhodno segretim bitumnom; mešanje poteka s hitrim mešalnikom pri 3400 vrtljajih na minuto
- ko se delci gume in bitumen zmešajo, se jih prečrpa v prvi prekat cisterne za gumibitumen; tukaj sveža mešanica odleži določen čas, da guma in bitumen medsebojno zreagirata
- zreagirani gumirani bitumen se nato prečrpa v drugi prekat cisterne, od koder se ga dalje črpa direktno v mešalnik asfaltne baze, kjer se proizvaja gumirane bitumenizirane zmesi; oba prekata cisterne za gumirani bitumen sta opremljena s horizontalno nameščenima polžema, ki gumirani bitumen neprestano mešata, da delci gume ostanejo enakomerno razporejeni.

Dodatno mora imeti obrat za proizvodnjo gumirane bitumenizirane zmesi po mokrem postopku še

- dovolj močne črpalke za pretakanje gumiranega bitumna, ki je nekoliko bolj gost, in
- dovolj velike šobe, ki prepuščajo nabrekle delce gume.

4 IZSLEDKI RAZISKAV NA BITUMENIZIRANIH ZMESEH Z ENAKO ZRNAVOSTNO SESTAVO IN RAZLIČNIMI BITUMNI

4.1 LABORATORIJSKE RAZISKAVE IN POSKUSNO POLJE V SLOVENIJI

Poskusno proizvodnjo in vgradjo bitumenizirane zmesi AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumeniziranega granulata gume tecRoad, ki je prikazan na sliki 20, je izvedlo Cestno podjetje Ljubljana, nekatere osnovne laboratorijske raziskave pa PMA d.o.o.

4.1.1 TECROAD

Firma Rubbertec ponuja dva različna izdelka tecRoad:

- tecRoad-premium,
- tecRoad-standard

TecRoad-premium ja granulata iz gume in bitumna, ki vsebuje 35-40 *m*-% gume, pri tecRoad-standard pa je delež gume 30-35 *m*-%.

Pridobivajo ju tako, da raztapljajo prah gume, pridobljen iz avtomobilskih in gum tovornih vozil z mletjem pri sobnih temperaturah, v cestogradbenem bitumnu, navadno tipa B 70/100, pri točno določenih pogojih. Na ta način pridobijo »gumirani bitumen«, ki ga v nadaljnjih fazah obogatijo z dodatki in polnili, nato pa po posebnem postopku granulirajo v trdno, praškasto obliko končnega proizvoda.

V Rubbertecu priporočajo sledeče zaporedje pri postopku mešanja:

- dodajanje zmesi kamnitih zrn,
- dodajanje tecRoad a – čas suhega mešanja 5 – 15 s,

- dodajanje polnila,
- po cca. 5-15 s dodajanje cestogradbenega bitumna,
- sledi cca 20 s mokrega mešanja in
- izpraznitev.

Temperatura mešanja ostane enaka kot sicer, torej med 150 do 170 °C.



Slika 20: Bitumenizirani granulat gume tecroad (Rubbertec)

V Sloveniji je leta 2011 ekskluzivno zastopanje podjetja Rubbertec prevzelo podjetje GumTeh. Cena tone materiala je trenutno, glede na skromno prodajo pri nas 1495 €, ob naročilu večjih količin pa bi le ta lahko bila tudi za 10 do 15% nižja (Pocek, 2013).

Rubbertec navaja šest razlogov, zakaj je njihov izdelek dobro uporabiti:

- Boljša kakovost po nižji ceni. S tecRoad-standard dobimo asfalte primerljive kvalitete tistim s polimerno modificiranimi bitumni, pri čemer so stroški na splošno nižji. Pri drenažnih asfaltih se večinoma uporablja tecRoad-premium, ki da asfalte boljše kakovosti kot so tisti, ki so narejeni s polimernimi vezivi. Tukaj je cena sicer višja, vendar ima tak asfalt daljšo življenjsko dobo in je tako zopet bolj ekonomičen.

- Enostavna uporaba. Granulat se dodaja direktno v mešalni boben, pri čemer se mešalni čas le malenkostno podaljša.
- Ne potrebujemo posebnih ogrevanih cistern.
- Enostavno shranjevanje. TecRoad je navoljo v plastičnih vrečah po 10 ali 15 kg in v velikih 1000 kg vrečah. V vrečah ga lahko hranimo več mesecev ne da bi se zmanjšala kakovost.
- Enostavno, natančno merjenje. Glede na želen delež dodatka gume ga lahko natančno odmerimo s tehtanjem.
- Takojšen in enostaven preklop. Ker je material v obliki granulata, lahko zamenjamo med uporabo tecRoad premiuma na standard kadar koli.

4.1.2 POSKUSNA PROIZVODNJA

V Sloveniji je bilo junija 2010 izvedeno poskusno polje z asfaltom AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumeniziranega granulata gume na cesti Ljubljana (Litijska) – Zadvor, R3-645/1188, od km 0+650 do km 0+685 levo. Gre za granulat gume tecRoad, ki je mešanica bitumna in gume in sicer v razmerju 66/34%. Njegova prednost je predvsem ta, da ga lahko dodajamo direktno v mešalni boben, kar pa pomeni, da lahko z gumo modificirane bitumenizirane zmesi proizvajajo tudi asfaltne baze, ki niso posebej opremljene za shranjevanje gumi bitumnov.

Zmes so proizvedli na asfaltni bazi tipa WIBAU WKM 130 Cestnega podjetja ljubljana d.d. v Podutiku. Receptura proizvedene bitumenizirane zmesi je prikazana v preglednici 2.

Preglednica 1: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z navadnim cestogradbenim bitumnom (Pavšič, 2013)

FRAKCIJA	MASA
Kamena moka	77 kg
0-3	380 kg
3-6	270 kg
6-10	460 kg
B 70/100	65 kg
Gumi granulat	0 kg

Receptura se je od standardne bitumenizirane zmesi AC 8 surf B 70/100 A3, ki je prikazana na preglednici 1, razlikovala le v tem, da je bila sestava proizvedene zmesi (sestava zrnivosti, delež ekstrahirane bitumna) enaka sestavi zmesi brez dodatka, pri čemer so upoštevali 10 kg dodatka tecRoda na šaržo (kamena zmes+bitumen+bitumenski granulati gume =1252 kg).

Preglednica 2: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumenskega granulata gume (Pavšič, 2013)

FRAKCIJA	MASA
Kamena moka	72 kg
0-3	380 kg
3-6	270 kg
6-10	460 kg
B 70/100	61 kg
Gumi granulati	10 kg

Iz primerjave obeh zmesi vidimo, da je bilo potrebno spremeniti delež kamene moke in dodanega bitumna, saj je bilo v predhodnih raziskavah ugotovljeno, da v tecRoadu 34 m-% predstavlja bitumen, 66 m-% pa sestavljajo granulati gume in polnila.

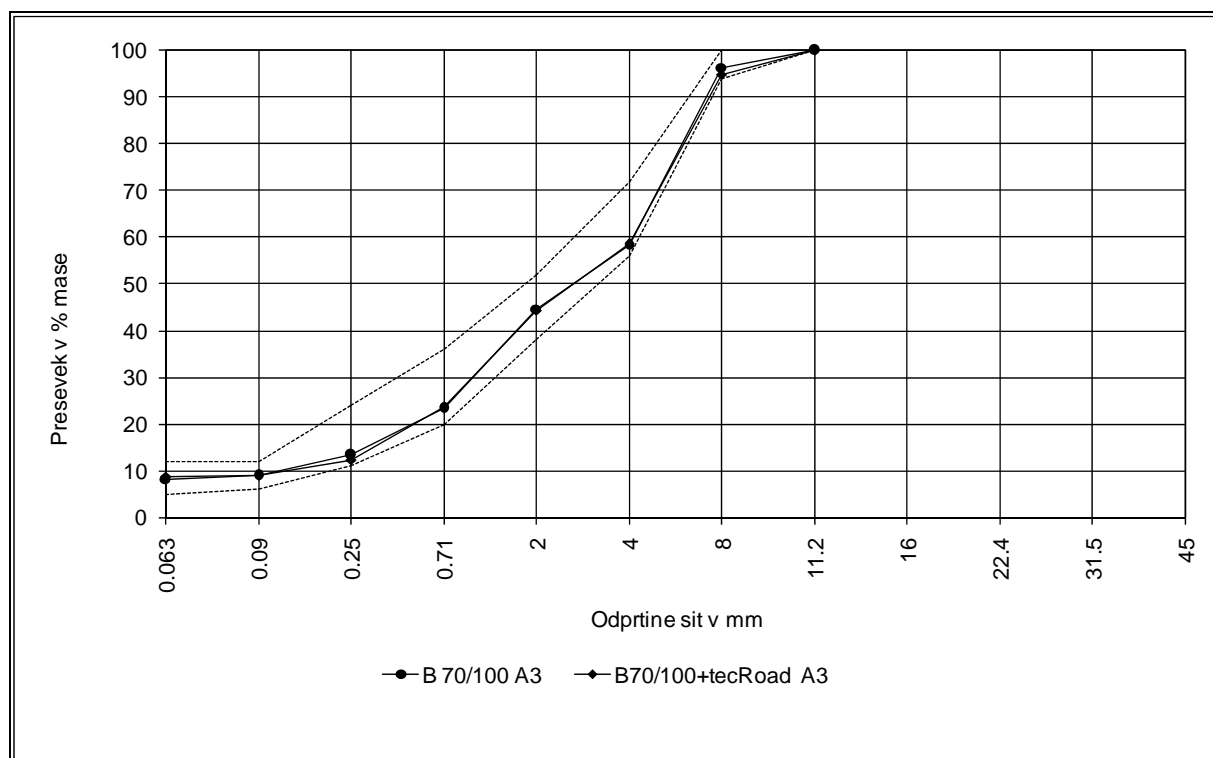


Slika 21: Dodajanje bitumenskega granulata gume preko drče direktno v mešalnik (Pavšič, idr., 2010)

Bitumenizirani granulati gume so dodajali preko drče direktno v mešalnik v tok vroče kamene zmesi (slika 21). Mešanico kamene zmesi in dodatka so najprej suho premešali, nato pa so dodali še bitumen. Celoten mešalni čas se je podaljšal s 40s pri bitumenizirani zmesi brez dodatka bitumeniziranega granulata gume na 44s pri bitumenizirani zmesi z dodatkom, kar pa pomeni tudi nekoliko nižjo kapaciteto proizvodnje. Prav tako je proizvodnja potekala pri nekoliko povišani temperaturi in sicer 185 – 190°C. Proizvedli so 15 ton z gumo modificirane bitumenizirane zmesi AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumeniziranega granulata gume, ki so jo vgradili na poskusnem polju. Lastnosti proizvedene bitumenizirane zmesi AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumeniziranega granulata gume in brez dodatka so podane v preglednici 3 in na sliki 22 (Pavšič, idr. 2010).

Preglednica 3: Lastnosti bitumeniziranih zmesi AC 8 surf B 70/100 A3 (Pavšič, idr., 2010)

MEHANSKE LASTNOSTI		POSTOPEK ZA PRESKUS SIST EN	REZULTATI PRESKUSOV	
			Z DODATKOM	BREZ DODATKA
Delež bitumna	%	12697-1	5,2	5,1
Prostorska masa	g/cm ³	12697-6	2,535	2,530
Navidezna prost. masa	g/cm ³	12697-5	2,607	2,608
Vsebnost votlin v bit. zmesi	%		2,8	2,9
Prost. vsebnost bitumna	%		12,9	12,6
Vsebnost votlin v kamniti zmesi	%		15,6	15,5
Prost. zapolnjenost z bitumnom	%		82,3	81,6
Indirektna natezna trdnost	kPa	12697-12	1494	1226
Stabilnost pri 60°C	kN	12697-34	12,0	10,5
Tečenje pri 60°C	mm	12697-34	3,1	2,2
Togost pri 60°C	kN/mm	12697-34	3,9	4,8



Slika 22: Sestavi zrnivosti AC 8 surf B 70/100 A3 z dodatkom in brez dodatka bitumeniziranega granulata gume (Pavšič, idr., 2010)

Vidimo, da se je ob praktično enaki sestavi stabilnost zmesi z gumenim dodatkom povečala za 20%, indirektna natezna trdnost pa za 22%.

Poleg lastnosti proizvedenih zmesi so v Laboratoriju za asfalt, bitumen in bitumenske proizvode ZAG Ljubljana izvedli tudi nekatere preskuse na ekstrahiranem bitumnu z gumo modificirane bitumenizirane zmesi. Rezultati preiskav so skupaj z nekaterimi podatki iz literature podani v preglednici 4 (Pavšič, idr. 2010).

Preglednica 4: Lastnosti ekstrahirane bitumna (B 70/100+tecRoad) in literaturni podatki za nekatere vrste bitumnov (Pavšič, idr., 2010)

LASTNOSTI	VEZIVO			
	B 70/100 + tecRoad	B 70/100	PmB 45/80-65	B 50/70
Penetracija	61 mm/10	90 mm/10	57 mm/10	62 mm/10
Zmehčišče (PK)	48,6 °C	46 °C	86,5 °C	49,9 °C
Indeks plastičnosti	-1,09	-0,80	-	-
Duktilnost	>107 cm	>100 cm	-	-
Maksimalna sila	1,7 N	-	-	-
Energija	0,1 J/cm ²	-	-	-
Fraass	-11 °C	-12°C	-22°C	-14 °C

Vidimo, da se zmanjša penetracija, medtem ko se zmehčišče poviša. Pri ostalih osnovnih karakteristikah pa ni opaziti bistvenih sprememb. Glede na te parametre bi takšen bitumen sodil v tip B50/70.

Ker je večina osnovnih preiskav (penetracija, zmehčišče, duktilnost) empiričnih, jih uporabljamo predvsem za razvrstitev bitumnov, ne moremo pa na podlagi le teh predvideti obnašanja bitumna v bitumenizirani zmesi. Zato je smiselno preveriti predvsem lastnosti bitumeniziranih zmesi, pri čemer pa so tudi osnovni podatki o lastnostih uporabljenih bitumnov dobrodošli.

4.1.3 POSKUSNA VGRADNJA

Z gumo modificirano bitumenizirano zmes AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bituminiziranega granulata gume, so na Litijski cesti v Ljubljani vgradili v okviru sanacijskih del junija 2010. Zmes je bila vgrajena v širini cca. 2,5 m, dolžini 35 m in debelini 3 cm.

Vgrajevali so jo strojno s finišerjem ABG 326 Titan, valjali pa z valjarjema Bomag 174 in Bomag 138 AD.



Slika 23: Vgrajevanje z gumo modificirane zmesi na Litijski (Pavšič, idr., 2010)

Da bi preprečili morebitno ekspandiranje prisotnih delcev gume, so vgrajeno zmes valjali, dokler se vgrajena asfaltna plast ni ohladila na okoli 70°C . Izgled vgrajene zmesi se ne razlikuje od izgleda zmesi brez gumenega dodatka. Ob samem vgrajevanju pa je prisoten specifičen vonj po gumi (Pavšič, idr., 2010).



Slika 24: Z gumo modificirana bitumenizirana zmes AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom bitumenskega granulata gume (Pavšič, idr., 2010)

Poskusno polje bodo v nadaljnjem raziskovalnem delu uporabili kot vir dodatnih informacij o kakovosti in obnašanju z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi. Prav tako bodo izkušnje, ki so jih pridobili ob poskusni proizvodnji in vgradnji, uporabili pri morebitni prihodnji večji poskusni vgradnji, kjer so predvidene tudi dodatne raziskave na področju vplivov na znižanje hrupa (Pavšič, idr., 2010).

4.1.4 LABORATORIJSKE RAZISKAVE, POVEZANE S POSKUSNO PROIZVODNJO IN VGRADNJO NA POSKUSNEM POLJU

Raziskave so potekale na zmesih, pripravljenih v laboratoriju in tudi na odvzetih vzorcih na Litijski cesti.

4.1.4.1 RAZISKAVE ZMESI, PRIPRAVLJENIH V LABORATORIJU

V laboratoriju PMA d.o.o. so medsebojno primerjali bitumenizirane zmesi AC8 surf B70/100 A4 z dodatkom bitumenskega granulata gume, AC8 surf B70/100 A4 z navadnim

cestogradbenim bitumnom in AC8 surf PmB 40/80-65 A4 s polimerno modificiranim bitumnom, ki so bili pripravljene v laboratoriju.

Recepture za proizvodnjo bitumeniziranih zmesi so prikazane v preglednicah 5, 6 in 7.

Preglednica 5: Receptura za AC8 surf B70/100 A4 z dodatkom bitumenskega granulata gume (Pavšič, 2013)

FRAKCIJA	MASA
Kamena moka	72 kg
0-3	380 kg
3-6	270 kg
6-10	460 kg
B 70/100	61 kg
Gumi granulati	10 kg

Preglednica 6: Receptura za AC8 surf B70/100 A4 z navadnim cestogradbenim bitumnom (Pavšič, 2013)

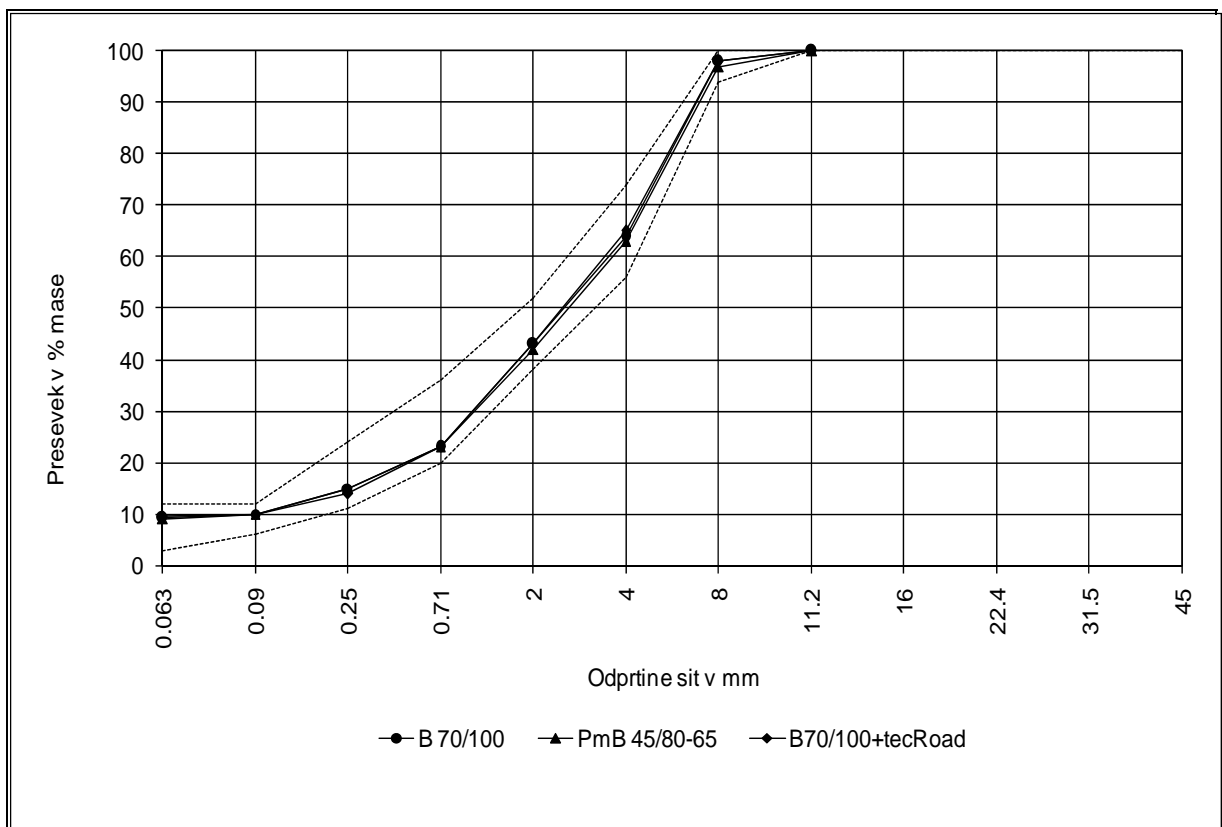
FRAKCIJA	MASA
Kamena moka	77 kg
0-3	380 kg
3-6	270 kg
6-10	460 kg
B 70/100	65 kg
Gumi granulati	0 kg

Preglednica 7: Receptura za AC8 surf PmB 40/80-65 A4 s polimerno modificiranim bitumnom (Pavšič, 2013)

FRAKCIJA	MASA
Kamena moka	77 kg
0-3	380 kg
3-6	270 kg
6-10	460 kg
PMB 45/80-65	65 kg
Gumi granulati	0 kg

V laboratoriju so proizvedli manjše količine, ohranili pa so enaka razmerja, kot so navedena v zgornjih preglednicah.

Bituminizirane zmesi so imele praktično enako sestavo zrnivosti (slika 26) in vsebnost bitumna po ekstrakciji. Do določenih razlik pri recepturi pride zaradi sestave bitumenskega granulata gume tecRoad, kjer 34 *m*-% predstavlja bitumen, 66 *m*-% pa sestavljajo granulati gume in polnila (Pavšič, P. idr. 2010).



Slika 25: Sestava zrnivosti laboratorijsko pripravljenih bitumeniziranih zmesi AC 8 surf A4 (Pavšič, idr., 2010)

Mehanske in prostorske lastnosti pripravljenih zmesi so podane v preglednici 8.

Preglednica 8: Lastnosti laboratorijsko pripravljenih bitumeniziranih zmesi AC 8 surf B 70/100 A4 (Pavšič, idr., 2010)

MEHANSKE LASTNOSTI		POSTOPEK ZA PRESKUS SIST EN	REZULTATI PRESKUSOV		
			B 70-100 Z DODATKOM	B 70/100 BREZ DODATKA	PmB 45/80- 65 BREZ DODATKA
Delež bitumna	%	12697-1	5,8	5,8	5,9
Prostorska masa	g/cm ³	12697-6	2,406	2,412	2,417
Navidezna prost. masa	g/cm ³	12697-5	2,469	2,479	2,478
Vsebnost votlin v bit. zmesi	%		2,6	2,7	2,5
Prost. vsebnost bitumna	%		13,6	13,6	13,7
Vsebnost votlin v kamniti zmesi	%		16,1	16,3	16,1
Prost. zapolnjenost z bitumnom	%		84,2	83,4	84,7
Indirektna natezna trdnost	kPa	12697-12	1429	992	1228
Stabilnost pri 60°C	kN	12697-34	10,3	8,9	13,3
Tečenje pri 60°C	mm	12697-34	2,5	2,4	3,4
Togost pri 60°C	kN/mm	12697-34	4,1	3,7	3,9

Ob praktično enaki sestavi in primerljivih prostorskih lastnostih opazimo, da ima bitumenizirana zmes z dodatkom bitumeniziranega granulata gume za 7,5% večjo stabilnost od bitumenizirane zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom, vendar pa je stabilnost pri uporabi s polimeri modificiranega bitumna še precej večja. Največji vpliv modificiranja z gumo se pokaže pri indirektni natezni trdnosti. Le ta je pri z gumo modificirani bitumenizirani zmesi za 16% večja kot pri zmesi s polimernim bitumnom in kar 44% večja kot pri zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom (Pavšič, idr., 2010).

4.1.4.2 RAZISKAVE NA POSKUSNEM POLJU ODVZETIH VZORCEV

Preiskavo o odpornosti proti trajnemu preoblikovanju so izvedli v Laboratoriju za asfalt, bitumen in bitumenske proizvode ZAG. Preiskava je bila narejena na vzorcih v obliki asfaltnih jeder premera 200 mm po standardu SIST EN 12697-22.

Poročilo o odpornosti proti trajnemu preoblikovanju je podano v prilogi (tč. 8).

Rezultat preiskave se podaja kot stopnja tvorjenja kolesnice (WTS) v mm na 1000 ciklusov (2000 prehodov) in se izračuna po formuli:

$$WTS_{AIR} = (d_{10000} - d_{5000}) / 5$$

Kjer je:

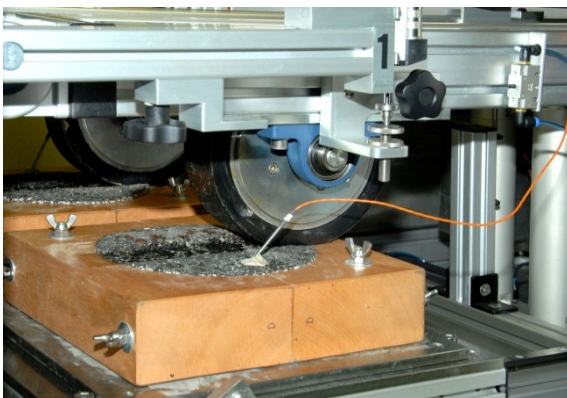
WTS_{AIR} – stopnja tvorjenja kolesnice v mm na 1000 ciklusov (2000 prehodov)

d_{5000} – globina kolesnice v mm po 5000 ciklusih (10000 prehodih)

d_{10000} - globina kolesnice v mm po 10000 ciklusih (20000 prehodih)

Trajanje preiskave za 10000 ciklusov je približno 6 ur.

Kot rezultat preiskave se navaja povprečna globina kolesnice po 10000 ciklusih, proporcionalna globina kolesnice (glede na prvotno debelino plasti) PRD_{AIR} in WTS_{AIR} (stopnja tvorjenja kolesnice v mm na 1000 ciklusov).



Slika 26: Izvajanje testa odpornosti bitumenizirane zmesi proti kolesnicam (Lukač, 2011/2012)

Iz rezultatov preiskave na asfaltnih jedrih vezane obrabne in zaporne plasti AC8 surf B 70/100 A3 z dodatkom bitumeniziranega granulata gume je razvidno, da je že po 4000 prehodih (2000 ciklusih) ugotovljena prevelika proporcionalna globina kolesnice PRD_{AIR} (v povprečju 22,4% prvotne debeline asfaltne plasti), zato so preiskavo predčasno prekinili (Pavšič, 2013).

4.1.5 DRUGE LABORATORIJSKE PREISKAVE

V Laboratoriju za asfalt, bitumen in bitumenske proizvode ZAG so raziskovali tudi obnašanje laboratorijsko pripravljene z gumo modificiranega bitumna. Uporabili so cestogradbeni bitumen tipa B 50/70 s 15 m-% dodanega granulata gume. S tem bitumnom so v laboratoriju pripravili bitumenizirano zmes SMA 8 s 5 do 6 V-% zračnih votlin in nato preiskovali njene standardne lastnosti ter odziv na nizke in visoke temperature. Rezultate so nato primerjali z obnašanjem bitumeniziranih zmesi SMA 8, ki so bile pripravljene s polimerno modificiranim bitumnom.

4.1.5.1 UPORABLJENI MATERIALI

MATERIALI ZA PRIPRAVO GUMIRANEGA BITUMNA

Uporabljen je bil cestogradbeni bitumen tipa 50/70 iz Madžarske in granulati gume z oznako GG0005, proizveden na Hrvaškem. Za dodatek, ki pospešuje reakcijo med gumenimi delci in bitumnom, pa so uporabili Interlene (Interlene in/400-S1 (alkilamidimidazopoliamin, Italija)).

MATERIALI ZA PRIPRAVO BITUMENIZIRANE ZMESI SMA 8 RmB

Uporabljene so bile kamnite frakcije 0/2, 2/4, in 4/8 mm eruptivnega izvora iz Hrvaške ter kamena moka iz Slovenije in z gumo modificiran bitumen tipa 50/70, kateremu je bilo dodano 15 m-% granulata gume in 0,4 m-% amina.

4.1.5.2 PRIPRAVA IN PRESKUŠANJE GUMIRANEGA BITUMNA

PRIPRAVA

Sestavine so ob stalnem mešanju z mešalom Silverson L5M (slika 27) kuhali pri 190⁰C 90 minut. Ker so imeli za gumirani bitumen s 15 *m*-% dodatkom granulata gume največ podatkov iz predhodnih testiranj, so uporabili tolikšen dodatek granulata gume kjub temu, da so ugotovili, da 18 *m*-% dodatka še dodatno izboljša lastnosti veziva. 0,4% masni delež amina so dodali, ker le ta poveča obseg nabrekanja delcev in tako izboljša mehanske in reološke lastnosti veziva (Lukač, 2011/2012).



Slika 27: Mešanje z mešalom Silverson L5M (Lukač, 2011/2012)



Slika 28: Z gumo modificirani bitumen po končanem 90 minutnem mešanju (Lukač, 2011/2012)

PRESKUSI

Preskušali so:

- z mehčiče po PK – SIST EN1427,
- penetracijo – SIST EN 1426 s konusom,
- duktilnost – SIST EN 13589,
- pretrgališče po Fraassu SIST EN 12593,
- prožnost po EN 13880-3,
- obnašanje z gumo modificiranega bitumna pri nizkih temperaturah po metodi z BBR – SIST EN 14771,
- dinamično viskoznost pri različnih temperaturah s Haake reometrom.

Poleg tega pa so pripravljeno vezivo starali kratkoročno po metodi z RTFOT - SIST EN 12607-1)

REZULTATI

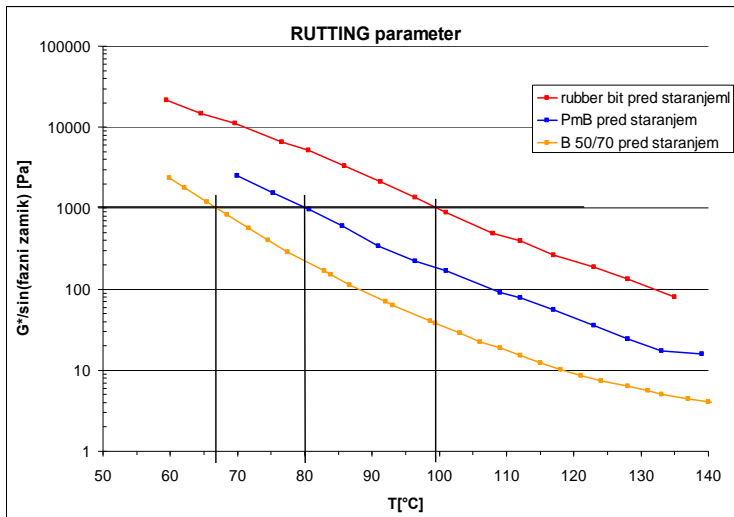
Kakovosten bitumen mora zagotavljati ustrezno ravnotežje med togostjo in elastičnostjo, saj le tako dobimo dobro obnašanje pri nizkih in pri visokih temperaturah.

Osnovne lastnosti preskušanih bitumnov so zbrane v preglednici 9.

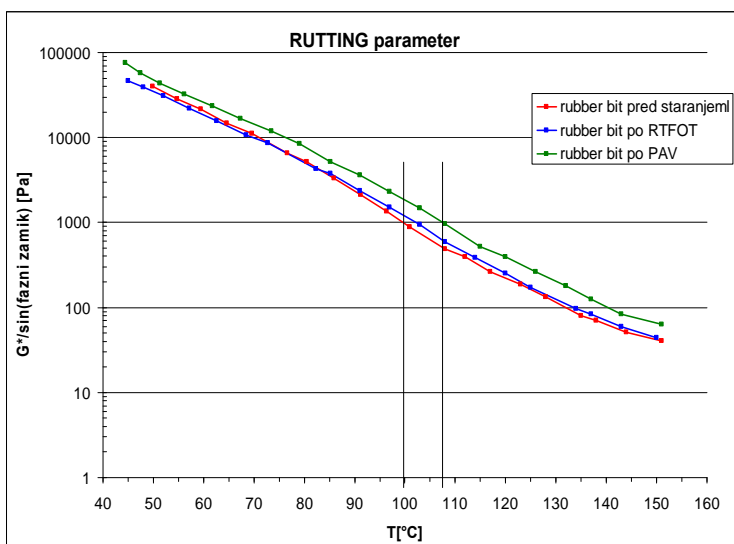
Preglednica 9: Rezultati osnovnih lastnosti veziv (Lukač, 2011/2012)

VRSTA VEZIVA	LASTNOSTI VEZIVA			
	Penetracija pri 25 °C (mm/10)	Zmehčiče po PK (°C)	Pretrgališče po Fraassu (°C)	Prožnost (%)
Cestogradbeni B 50 /70	62	49,4	-14	7
Gumirani 15 m-% GG 0,4 m-% amini	40	72,4	-18	36,5
Polimerni PmB	60	77,8	-16,3	39

Pri preskusu **odpornosti veziva na visoke temperature** so dobili rezultate, prikazane na slikah 29 in 30.



Slika 29: Primerjava rutting parametrov med nestaranimi bitumni: cestogradbeni B50/70, s polimeri modificirani bitumen in z gumo modificirani bitumen (Lukač, 2011/2012)



Slika 30: Primerjava rutting parametra za RmB pred staranjem, po RTFOT staranju in PAV staranju (Lukač, 2011/2012)

Odpornost veziva na visoke temperature so preverjali po standardu SIST EN 14770 in sicer s t.i. rutting parametrom ($G^*/\sin\delta$), ki se izračuna iz kompleksne viskoznosti in faznega kota.

Bitumne so razvrstili po sistemu PG (Performance Graded System), ki razvršča bitumne na podlagi dosežene temperature pri vrednosti rutting parametra 1000 Pa. Višja kot je temperatura pri določeni vrednosti rutting parametra, bolj je bitumen tog in s tem asfaltna plast bolj odporna proti tvorbi kolesnic (Lukač, 2011/2012).

Vidimo lahko, da je z gumo modificiran bitumen vrednost rutting parametra 1000 Pa dosegel šele pri temperaturi 99⁰C, polimerno modificiran bitumen pri 80⁰C, nemodificiran navadni cestogradbeni bitumen pa že pri 67⁰C.

Z gumo modificirani bitumen so tudi starali po dveh različnih postopkih in sicer s postopkom RTFOT in postopkom PAV, saj se bitumenskemu vezivu z oksidacijo in drugimi vplivi iz okolja spremenijo lastnosti.. Tako naj bi dobili bitumen, kakršen bi bil po proizvodnji in vgradnji v bitumenizirani zmesi. Vidimo, da se s staranjem bitumna odpornost bitumenizirane zmesi proti kolesnicam le še poveča.

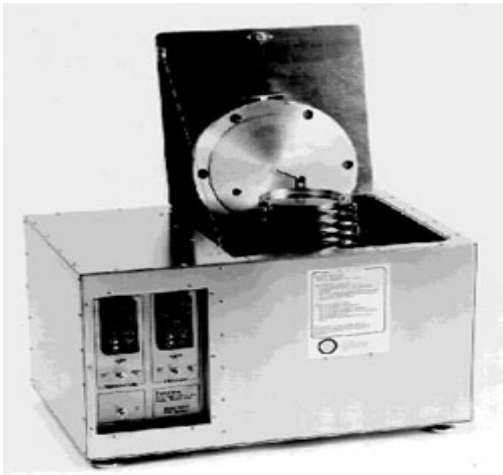
Postopek RTFOT (ang. rolling thin film oven test) simulira kratkoročno staranje veziva, ki predstavlja staranje (oksidacijo) med proizvodnjo, prevozom in vgradnjo asfaltne zmesi. Slika 31 prikazuje napravo za staranje po postopku RTFOT. Staranje se izvaja z rotiranjem valjastih posodic, v katere se natehta 35g bitumna, v komori, segreti na 163 °C, pri čemer se vpihuje zrak s pretokom 240 L/h. Test traja 75 min (Justin, idr., 2010).



Slika 31: Naprava za staranje po RTFOT (Justin, idr., 2010)

Postopek PAV (ang. pressurized aging vessel) simulira spremembo že vgrajenega bitumenskega veziva v daljšem času. Ta metoda se izvaja pri povišanem tlaku in temperaturi,

kar močno poveča hitrost staranja bitumna. Na ta način lahko v dvajsetih urah v laboratoriju simuliramo pet do deset letno staranje vgrajenega bitumenskega veziva v asfaltni plasti, ki je na terenu (Justin, idr., 2010).



Slika 32: Naprava za simuliranje PAV staranja bitumna. (Prentex alloy fabricators, inc.)

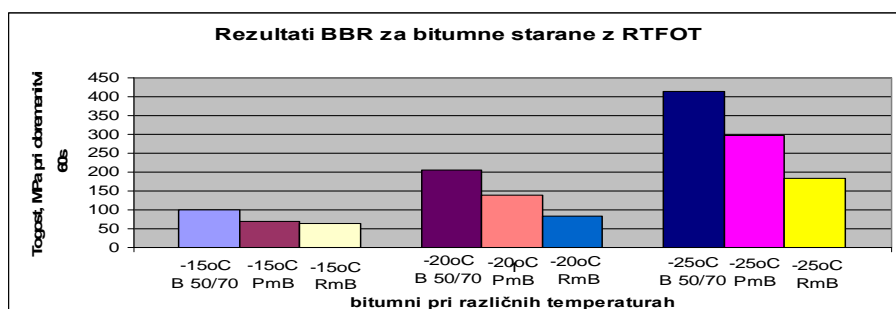
Preskus **odpornosti veziva na nizke temperature.**

Ker je postopek določanja točke loma po Fraassu najbolj primeren za zelo homogena veziva, ki se dajo na ploščico nanesti v primerno tankem sloju in se pri vezivih, kot je z gumo modificiran bitumen, lahko izkaže za nekoliko nenatančnega, so se odločili za v tem primeru točnejšo in nekoliko bolj dolgotrajno preiskavo z aparatom bending beam rheometer (BBR), pri katerem se točkasto obremenjuje ploščati vzorec z določeno silo in določen čas v odvisnosti od temperature. Pri tem se meri lezenje (uklon) vzorca po 60 sekundah obremenjevanja. Podatek, ki se ga tako dobi, je v korelaciji s togostjo materiala pri določeni temperaturi. Nato se izračuna še nagib krivulje pri 60 sekundah, kar predstavlja m-vrednost (Lukač, 2011/2012).

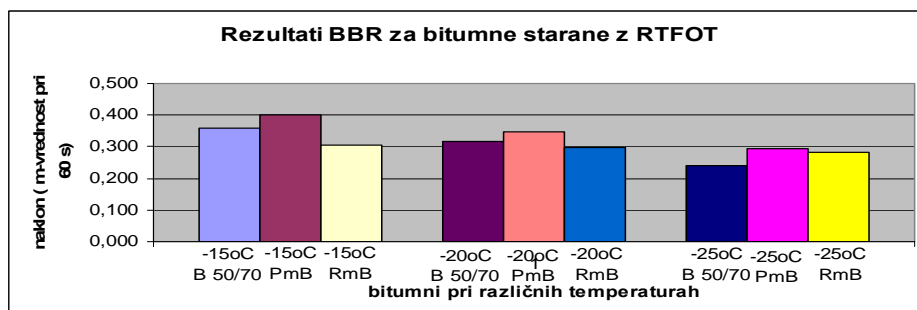


Slika 33: Priprava vzorcev za preiskavo z BBR in slika 34: Bending beam reometer-BBR (Lukač, 2011/2012)

Rezultate preiskave so vrednotili glede na zahteve AASHTO standarda M-320-09, kjer je zahtevano, da togost pri uklonu (S) ne sme preseči 300Mpa, m-vrednost pa naj bi bila najmanj 0,300 pri -15°C . Za primerjavo so v graf na slikah 35 in 36 vnesli še vrednosti pri -20°C in -25°C .



Slika 35: Togost različnih veziv pri različnih temperaturah (Lukač, 2011/2012)



Slika 36: Nagib različnih veziv pri različnih temperaturah (Lukač, 2011/2012)

Vidimo, da najmanjšo togost pri vseh temperaturah dosega z gumo modificirani bitumen, kar naj bi posledično pomenilo, da bi bila asfaltna plast, narejena z njim, najbolj elastična in s tem odporna na razpokanje pri nizkih temperaturah. Zahtevi za *m*-vrednost iz AASHTO standarda vsi bitumni pri -15°C ustrezajo, pri temperaturi -25°C pa nobeni več. Opaziti pa je zopet, da z nižanjem temperature *m*-vrednost najmanj pade prav pri z gumo modificiranem bitumnu. Večja kot je *m*-vrednost, hitreje je vezivo sposobno sanirati napetosti, ki jih povzročajo nizke temperature.

4.1.5.3 PRIPRAVA IN PRESKUŠANJE BITUMENIZIRANIH ZMESI

PRIPRAVA

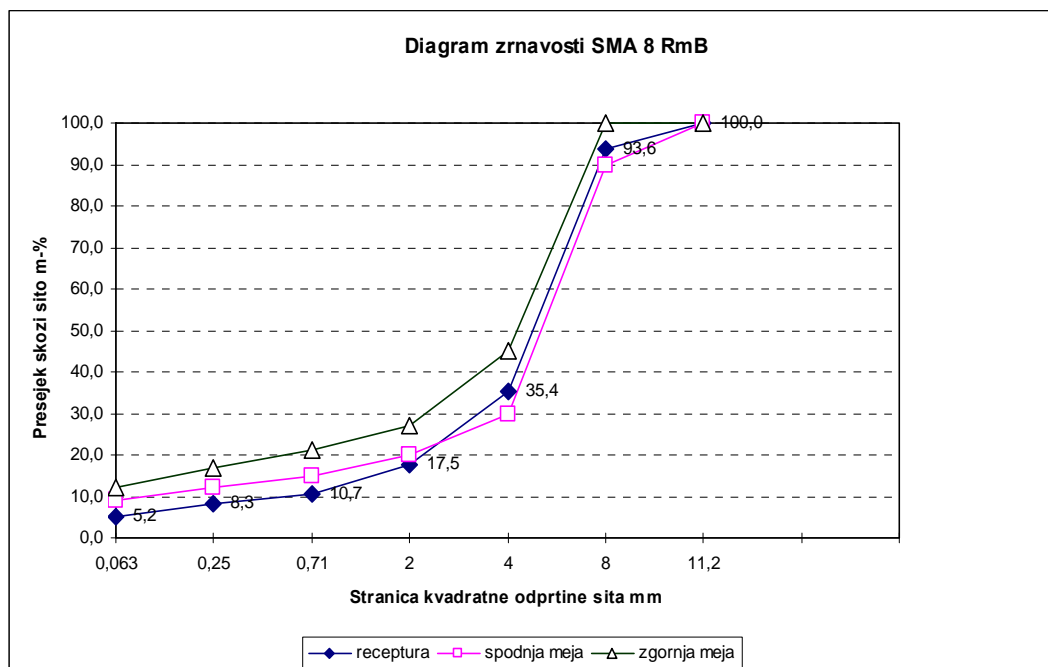
Projektirali so nekoliko bolj odprt tip SMA 8, kot prikazuje sejalna krivulja z mejnima krivuljama za SMA 8 na sliki 39, da bi tako izboljšali protihrupne lastnosti bitumenizirane zmesi. Pri projektiranju zmesi SMA 8 RmB so upoštevali tudi potrebno zmanjšanje deleža polnila in fine kamnite frakcije ter povečanje *m*-% veziva zaradi dodatka gumenih delcev v primerjavi s klasično bitumenizirano zmesjo SMA 8 (Lukač, 2011/2012).



Slika 37: Laboratorijska priprava bitumenizirane zmesi SMA 8 RmB (Lukač, 2011/2012)



Slika 38: Bitumenizirana zmes SMA 8 z RmB (Lukač, 2011/2012)



Slika 39: Sejalna krivulja za SMA 8 RmB. Mejne krivulje so vrisane glede na zahteve za SMA 8 (Lukač, 2011/2012)

PRESKUSI

Preskušali so:

- zrnavost po SIST EN 12697-2,
- največjo gostoto po SIST EN 12697-5,
- gostoto bitumenskih preskušancev po SIST EN 12697-6,
- vsebnost zračnih votlin po SIST EN 12697-8,
- odpornost proti kolesnicam – odpornost na visoke temperature,
- odpornost na nizke temperature po prSIST EN 12697-46.

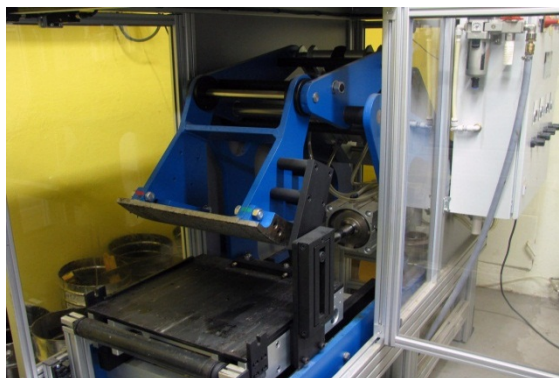
REZULTATI

V preglednici 10 so podani rezultati standardnih laboratorijskih testov za zmes SMA 8 z različnimi vezivi. Vidimo, da so bile zmesi projektirane tako, da je vsebnost votlin v vseh zmesih enaka in da je v zmesi z gumo modificiranim bitumnom večja zapolnjenost votlin z vezivom ter hkrati manjša prostorska vsebnost kamnite zmesi, kar pa pozitivno vpliva na trajnost asfaltne plasti.

Preglednica 10: Lastnosti bitumenizirane zmesi SMA 8 z različnimi vezivi (Lukač, 2011/2012)

LASTNOSTI		VRSTA VEZIVA		
		B 50/70	PmB	RmB
Količina veziva v bitumenizirani zmesi	m-%	6,9	6,6	8,7
Prostorska vsebnost kamnite zmesi	v-%	79,0	79,1	75,0
Vsebnost votlin v zgoščeni bitumenizirani zmesi	v-%	5,0	5,0	5,1
Delež votlin v kamniti zmesi	v-%	21,0	20,9	25,0
Stopnja zapolnjenosti votlin v zmesi zrn z vezivom	v-%	76,4	75,9	79,6

Odpornost bitumenizirane zmesi proti visokim temperaturam so preverjali z Whell tracking testom po standardu SIST EN 12697-22. Preskus je bil izveden pri 60 °C, pri čemer so bitumenizirano zmes SMA 8 RmB zgoščili z valjastim zgoščevalnikom, ki je prikazan na sliki 40 (Lukač, 2011/2012).



Slika 40: Valjasti zgoščevalnik za pripravo asfaltnih plošč, ki jih nato razžagamo na ustrezno velike preskušance (Lukač, 2011/2012)

Dobljeni rezultati so prikazani v preglednici 11.

Preglednica 11: Rezultati preiskave odpornosti gumiranega asfalta proti kolesnicam (Lukač, 2011/2012)

Debelina plasti	Povpreč.globina kolesnice	Proporc.globina kolesnice PRD_{AIR}	Stopnja WTS_{AIR}
mm	mm	%	mm/1000
45	3,60	8,0	0,14
45	3,91	8,7	0,16
povprečje		8,4	0,15

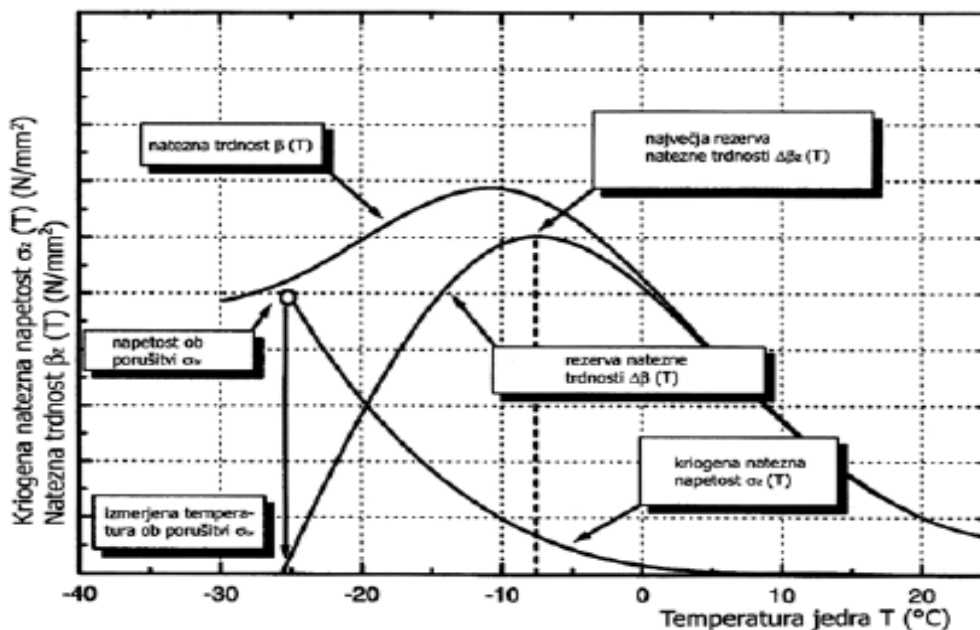
V rezultatih je podana povprečna globina kolesnice po 10000 ciklusih (20000 prehodih), proporcionalna globina kolesnice (glede na prvotno debelino plasti) PRD_{AIR} in WTS_{AIR} (stopnja tvorjenja kolesnice v mm na 1000 ciklusov).

Odpornost bitumenizirane zmesi proti nizkim temperaturam so preverili z nateznim testom in ohlajevalnim testom po standardu SIST EN 12697-46.

Ohlajevalni test poteka tako, da se preskušavec togo vpne in se mu tako onemogoči skrčenje, pri tem pa se ga ohlaja tako dolgo, dokler se ne poruši. Kot rezultat dobimo kriogeno napetost v odvisnosti od temperature $\sigma_k(T)$ [MPa], napetost pri porušitvi $\sigma_{k,p}$ [MPa] in temperaturo pri porušitvi T_p [°C].

Enoosni natezni preskus pa se izvaja tako, da se preskušavec enakomerno razteguje s hitrostjo 1 mm/min v osi pri konstantnih temperaturah in sicer pri 20°C, 5°C, -10°C, -25°C. Kot rezultat dobimo natezno trdnost in raztezek pri porušitvi pri posamični temperaturi preskušanja (Lukač, 2011/2012).

Na podlagi obeh raziskav pa se določi rezerva natezne trdnosti. Določimo jo kot razliko med vrednostmi natezних trdnosti in kriogenih napetosti pri določeni temperaturi.



SLIKA 41: Primer kriogene natezne napetosti, natezne trdnosti in rezerve natezne trdnosti v odvisnosti od temperature asfalta (Asfalt. 2006)



Slika 42: Pripravljeni vzorci za preiskavo
 odpornosti bitumenizirane zmesi proti
 nizkim temperaturam (Lukač, 2011/2012)



Slika 43: Vpet vzorec v temperaturni
 komori pred začetkom preiskave (Lukač,
 2011/2012)

Preglednica 12: Primerjava rezultatov nizkotemperaturnih preiskav (Lukač, 2011/2012)

LASTNOSTI		VRSTA BITUMENIZIRANE ZMESI			
		SMA 8 RmB	SMA 8 PmB	SMA 11 PmB	AC 11 B 50/70
Temperatura pri poružitvi (T_p)	°C	-31,1	-30,2	-30,6	-25
Največja rezerva natezne trdnosti ($\Delta\beta_T$)	MPa	2,737	5,028	5,61	4,29
Temperatura pri $\Delta\beta_T$ ($T(\Delta\beta_T)$)	°C	-11,3	-12	-12,94	-7,5

V preglednici 12 so podani rezultati preiskav na laboratorijsko pripravljenih bitumeniziranih zmesih SMA 8 z gumiranim bitumenskim vezivom in AC 11 B 50/70, ostale bitumenizirane zmesi pa so bile narejene v asfaltnem obratu in zgoščene na terenu. Podane so povprečne vrednosti raziskav.

Rezultati kažejo da je zmes SMA 8 RmB dosegla najnižjo temperaturo pri ohlajevalnem testu, medtem ko je pri temperaturi pri največji rezervi natezne trdnosti že zaostala za zmesmi s polimerno modificiranim bitumnom. Najslabše se je z gumo modificirana zmes odrezala pri največji rezervi natezne trdnosti, kar kljub visokim pričakovanjem kaže na to, da ni dobro odporna proti utrujanju.

4.1.5.4 ZAKLJUČNI KOMENTAR RAZISKAV

Menim, da lahko opazimo nekatere izboljšave bitumeniziranih zmesi, ki so proizvedene z gumiranimi bitumni. Zato bi, glede na to, da je bilo ugotovljeno, da bi 18 *m*-% dodatka gume v bitumnu njegove lastnosti še dodatno izboljšalo, bilo potrebno v prihodnje preskuse izvajati z gumiranim bitumnom, kateri bo imel večji *m*-% gumenih delcev. Glede na to, da postopek priprave na asfaltni bazi zajema bolj intenzivno mešanje, s čimer so lahko prednosti modifikacije izkoriščene v še večji meri in da se v laboratoriju vzorcev ne da zgostiti do enake mere kot na terenu, bi bilo veliko bolj smiselno, ali da se medsebojno primerja vzorce, narejene v laboratoriju, ali pa tiste, ki so odvzeti na terenu. Na ta način bi, glede na razlike v postopkih, bitumenizirane zmesi lahko medsebojno kvalitetno primerjali.

Ker pri nas take raziskave še niso bile narejene, smo se odločili, da v diplomsko delo vključimo še rezultate raziskav v tujini.

4.2 POSKUSNO POLJE V KOLUMBIJI

4.2.1 UVOD

V Kolumbiji so leta 2004 izvedli poskusno polje z bitumeniziranimi zmesmi enake zrnovostne sestave in z različnimi vezivi. Štiri leta so podrobno opazovali in raziskovali obnašanje vsake posamezne zmesi. Na enem odseku so uporabili standardni cestogradbeni bitumen B 80/100 (Barranca), na drugem s polimeri modificiran bitumen tipa Styrene Butadiene Rubber- SBR, na tretjem modificiran bitumen tipa Styrene Butadiene Styrene-SBS, na zadnjem odseku pa so uporabili z gumo modificiran bitumen. Poskusno polje je bilo izpostavljeno enaki obremenitvi in sicer prometu na tem odseku, ki ga sestavljajo tako osebna vozila, kot tudi tovorna vozila (Arguelles, idr., 2009).

Raziskave sta izvajala Univerza iz Los Andesa in inštitut de Desarrollo Urbano iz Bogote – IDU, da bi ocenili lastnosti z gumo modificiranih kolumbijskih veziv v primerjavi s tistimi, ki jih sicer uporabljajo.

4.2.2 UPORABLJENI MATERIALI

DELCI GUME

Uporabili so delce gume, ki so bili pridobljeni z ambientnim postopkom, torej z mletjem gum pri sobni temperaturi. Ker so bili nekateri delci večji od 2 mm, so se odločili za uporabo delcev, ki so šli skozi sito s premerom 595 μm , pri čemer so uporabili povprečne deleže, ki jih priporoča Kalifornijski inštitut za transport (CALTRANS), 1994. Zrnavostna sestava delcev gume je prikazana v preglednici 13 (Arguelles, idr., 2009).

Preglednica 13: Zrnavostna sestava delcev gume (Arguelles, idr., 2009)

VELIKOST SITA	PRESEJEK (<i>m</i> -%)
595 μm	100
297 μm	7,5
74 μm	1,5

BITUMENSKA VEZIVA

Uporabili so standardni cestogradbeni bitumen Barrancabermeja 80/100. Nato so z njim po mokrem postopku proizvedli z gumo modificiran bitumen. Poleg teh dveh pa so za kasnejšo primerjavo bitumeniziranih zmesi uporabili še dva komercialna s polimeri modificirana bitumna in sicer Styrene Butadiene Styrene-SBS in Styrene Butadiene Rubber-SBR.

Z gumo modificiran bitumen so pripravili tako, da so zmešali cestogradbeni bitumen Barrancabermeja 80/100 in delce gume v razmerju 82 *m*-% in 18 *m*-%. Reakcijski čas je bil 25 minut (Arguelles, idr., 2009).

BITUMENIZIRANE ZMESI

Za vse štiri tipe bitumeniziranih zmesi so uporabili enake zmesi kamnitih zrn tipa A CA 0/14, ki se sicer večinoma uporabljajo v Bogoti. Zrnovostna sestava je prikazana v preglednici 14.

Preglednica 14: Zrnovostna sestava kamnite zmesi (Arguelles, idr., 2009)

VELIKOST ZRN	0/14
mm	PRESEJEK (<i>m</i> -%)
14	94-100
10	72-84
6,3	50-66
4	40-54
2	28-40
0,08	7-10

Oznake bitumeniziranih zmesi so sledeče:

- Bitumenizirana zmes s standardnim bitumnom tipa B80/100 (AM80/100),
- z gumo modificirana bitumenizirana zmes, narejena po mokrem postopku (ARW80/100),
- s polimeri modificirana bitumenizirana zmes SBR (PMSBR),
- s polimeri modificirana bitumenizirana zmes SBS (PMSBS).

Lastnosti bitumeniziranih mešanic, ki so jih vgradili, so podane v preglednici 15.

Preglednica 15: Lastnosti bitumeniziranih zmesi (Arguelles, idr., 2009)

BITUMENIZIRANA ZMES	PROSTORSKA MASA (g/cm^3)	VSEBNOST VOTLIN V BIT. ZMESI (<i>V</i> -%)	KOLIČINA VEZIVA V BIT. ZMESI (<i>m</i> -%)
AM80100	2,13	6,5	6,89
ARW80100	2,13	6,5	6,78
PMSBS	2,16	6,4	6,35
PMSBR	2,14	6,5	6,72

4.2.3 PROIZVODNJA

Pri proizvodnji gumiranega bitumna so morali zadostiti trem pomembnim pogojem. Prvi je ta, da so ohranjali konstantno temperaturo pri 155⁰C. Paziti so morali na količino vhodnih materialov na šaržo, katere velikost je bila le 0,21 m³, nazadnje pa so se morali odločiti še za primeren tip mešala.

Glede na te zahteve so izbrali mešalno cisterno z mešalom, ki sta prikazana na sliki 44.



Slika 44: Uporabljeni mešalo in cisterna (Arguelles, idr., 2009)

Latnosti mešalne opreme so sledeče:

- mešalo zagotavlja osni (vertikalni) pretok,
- maksimalna temperatura mešane zmesi je lahko 220⁰C,
- motor z močjo 5 ks,
- mešalna hitrost 1800 obratov na minuto,
- mešalo in cisterna sta iz nerjavečega jekla.

V tako sestavljeni cisterni so pripravili gumirani bitumen z 18 *m*-% delcev gume. Vhodni bitumen z delci gume so pri temperaturi 163⁰C mešali 25 minut. Pod temi pogoji so vzdrževali Brookfieldsovo viskoznost med 2000 in 2500 cP. Upoštevali so tudi druge pogoje, ki jih predpisuje AASHTO standard (Arguelles, idr., 2009).

4.2.4 POSKUSNO POLJE

Cesta, na kateri je bilo izvedeno poskusno polje, se nahaja v Bogoti, Kolumbija. Izbrana je bila na podlagi sledečih kriterijev: Na njej poteka kanaliziran promet, kar pomeni, da so obremenitve na vseh sektorjih enake, prav tako je povsod enaka spodnja nevezana plast. Na ta način so zagotovili enake pogoje na celotnem poskusnem polju (Arguelles, idr., 2009).

Poskusno polje je dolgo 270 m in je bilo razdeljeno na štiri 7 m široke odseke dolžine 54 m. Preden so poskusno polje izvedli, je bila obstoječa cesta v precej slabem stanju, kar prikazuje slika 45.



Slika 45: Obstoječa cesta preden so na njej izvedli poskusno polje (Arguelles, idr., 2009)

4.2.5 VGRADNJA

Najprej so odstranili obstoječe asfaltne plasti, ki so bile debele 17 cm. Prvih 10 cm so zdrobili in jih zmešali z 10 cm obstoječih nevezanih nosilnih plasti. To zmes so nato položili nazaj in jo primerno zgostili. Na tako pripravljeno nevezano nosilno plast so na vsak sektor položili 7 cm debele poskusne asfaltne plasti. Skozi celoten proces vgradnje so izvajali strogo kontrolo kakovosti na vsakem sektorju tako, da so merili gostoto z izotopskim merilnikom gostote in merili temperaturo z digitalnim termometrom (Arguelles, idr., 2009).

Asfaltne plasti so bile položene s finišerjem in sicer v širini 3,5 m. Za zgoščevanje so uporabili dva valjarja: enega z jekleno bandažo, drugi pa je bil valjar s kolesi (slika 46). Po treh ciklih zgoščanja z valjarjem z jekleno bandažo so uporabili še valjar s kolesi.



SLIKA 46: Vgradnja poskusnih asfaltnih plasti (Arguelles, idr., 2009)

Čas med proizvodnjo in vgradnjo posamezne asfaltne plasti je bil pri vseh tipih enak in je znašal približno 1 uro. V preglednici 16 so podane temperature, pri katerih so valjali bitumenizirane zmesi.

Preglednica 16: Temperature, pri katerih so valjali (Arguelles, idr., 2009)

BITUMENIZIRANA ZMES	TEMPERATURE, PRI KATERIH SO VALJALI (°C)
AM80100	135
ARW80100	162

4.2.6 IZSLEDKI RAZISKAV

Lastnosti poskusnega polja so v prvi fazi spremljali v prvem letu po izgradnji. Izvedli so različne meritve, da bi ugotovili razvoj možnih poškodb v vsakem sektorju. Poleg tega so želeli s poskusnim poljem potrditi rezultate, ki so jih predhodno pridobili z obširnimi laboratorijskimi raziskavami o reoloških lastnostih gumiranih bitumnov in o mehanskih lastnostih z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi (Arguelles, idr., 2009).

Sledeče parametre so preverjali vsake tri mesece prvega leta:

- meritve prometa 12 ur dnevno,
- meritve mednarodnega indeksa hrapavosti (IRI),
- ocena poškodb z World Bank methodology,
- reološke teste, na jedrih iz asfaltnih plasti,
- vzdolžne in prečne profile in
- podajnost.

Leta 2009 je bilo poskusno polje v uporabi 4 leta. Namen raziskave je bil predstaviti obnašanje vsakega odseka po štirih letih, zato so vključili še

- vizualno oceno stanja in

- oceno strukture bitumenizirane zmesi tako, da so merili deformacije z udarnim deflektometrom (FWD) in uporabili georadar (GPR).

4.2.6.1 PROMETNE OBREMENITVE

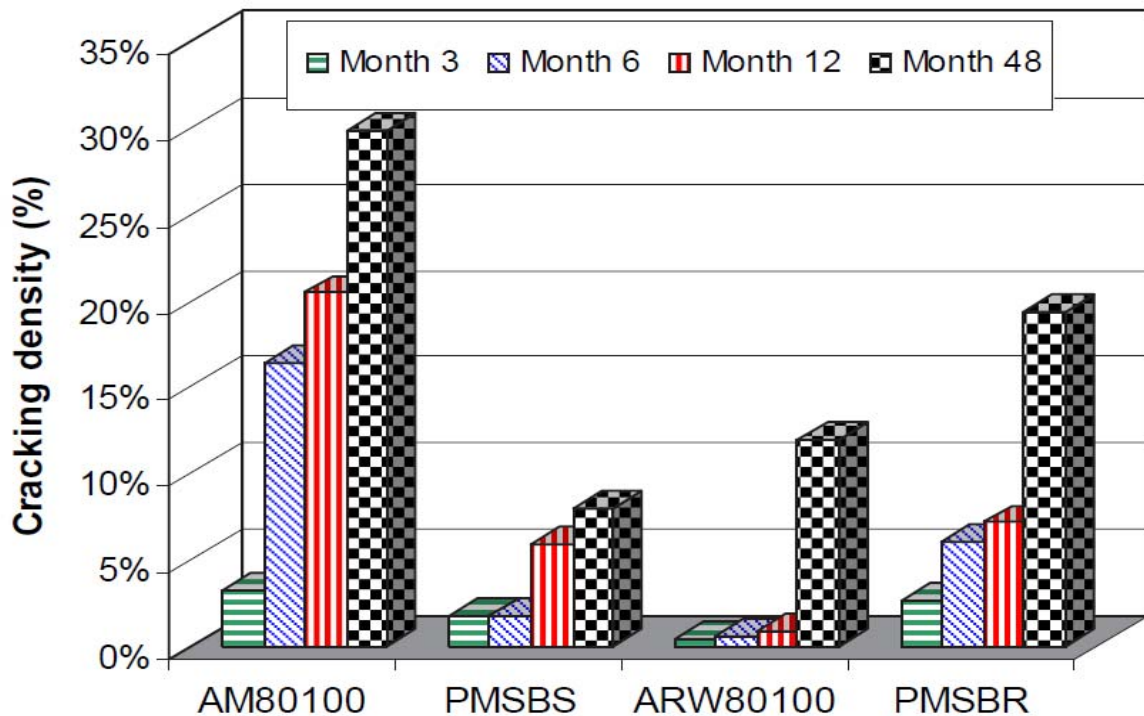
Meritve prometa so pokazale, da je vsak sektor v 4 letih imel povprečno 106 nominalnih osnih obremenitev (NOO) na dan, pri čemer je bila nominalna osna obremenitev 80 kN. Taka obremenitev spada po naši razporeditvi, za dobo trajanja 20 let, med srednje prometne obremenitve, kar kaže preglednica 17.

Preglednica 17: Razvrstitev prometnih obremenitev (Žmavc, 2007)

SKUPINA PROMETNE OBREMENITVE	ŠTEVILO PREHODOV NOMINALNE OSNE OBREMENITVE 82 kN	
	NA DAN	V 20. LETIH
Izredno težka	nad 3000	nad 2×10^7
Zelo težka	nad 800 do 3000	nad 6×10^6 do 2×10^7
Težka	nad 300 do 800	nad 2×10^6 do 6×10^6
Srednja	nad 80 do 300	nad 6×10^5 do 2×10^6
Lahka	nad 30 do 80	nad 2×10^5 do 6×10^5
Zelo lahka	do 30	do 2×10^5

4.2.6.2 RAZPOKANOST

Kot rezultat teh prometnih obremenitev so se na sektorjih pojavile različne poškodbe, kot so mrežaste razpoke, pravokotne razpoke (ang. block crackings) in udarne jame. Gostoto razpokanosti na sektorjih v določenem času prikazuje graf na sliki 47 (Arguelles, idr., 2009).



Sika 47: Prikazuje gostoto razpokanosti na posameznem sektorju ob določenem času (Arguelles, idr., 2009)

Opazimo lahko, da je bila pri z gumo modificiranem asfaltu (ARW80100) v prvem letu razpokanost najmanjša, medtem ko je bila razpokanost pri asfaltu s standardnim cestogradbenim bitumnom (AM80100) pričakovano največja in je že po prvem letu dosegla vrednost okoli 20%. Po štirih letih pa je gostota razpokanosti ARW80100 presegla gostoto razpokanosti s polimeri modificiranega asfalta tipa Stiren Butadien Stiren (PMSBS) in je dosegla vrednosti okrog 11%. Na daljši rok je tako boljše odpornost proti razpokam pokazal PMSBS.

4.2.6.3 SPLOŠNA OCENA STANJA

Ocena stanja je bila izvedena glede na U.S Army Corps of Engineers methodology-Paver2, ki je definirana tudi v Pavement Management Guide of the Instituto de Desarrollo Urbano de Bogotá (IDU, 1999).

Metodologija določa dva indeksa:

OPI: Splošni indeks vozišča (Overall Pavement Index)

MDR: Modificirana ocena stanja (Modified Distress Rating)

OPI indeks opisuje splošno stanje vozišča glede na hrapavost.

Indeksi so med seboj povezani z enačbama 1 in 2 :

$$OPI = MDR \times \left(\frac{(5 \times e^{(0,198 - 0,261 \times IRI)})}{5} \right)^{0,12} \dots\dots\dots(1)$$

$$MDR = 100 - \sqrt{pni^2} \dots\dots\dots(2)$$

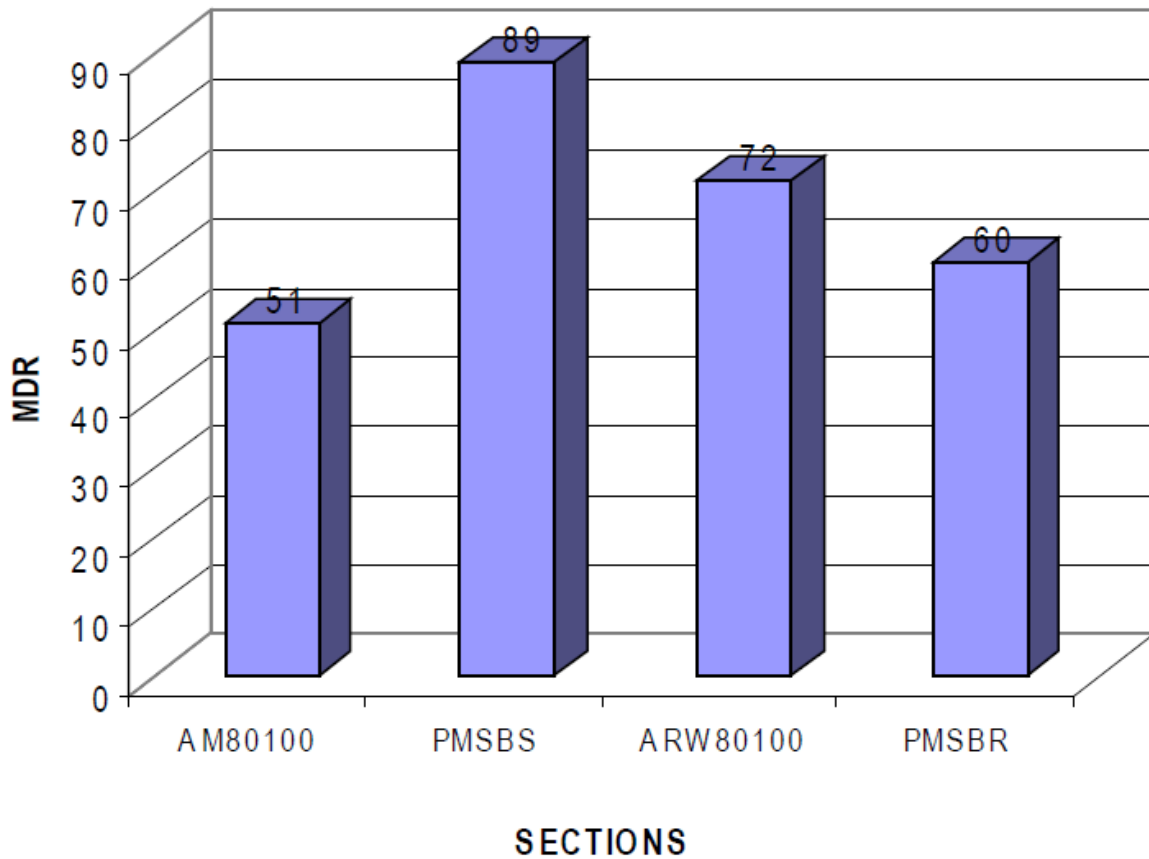
Kjer indeks pni predstavlja utežno funkcijo (ponder) glede na gostoto in resnost poškodb , ki se ocenjuje kot visoka, srednja in nizka.

Glede na vrednosti teh indeksov je po Pavement Management Guide (IDU, 1999) ocena vozne površine razvrščena kot kaže preglednica 18.

Preglednica 18: Razvrstitev vozni površin glede na indekse IRI, MDR in OPI (Arguelles, idr., 2009)

OBMOČJE IRI (m/Km)	OBMOČJE MDR	OBMOČJE OPI	OBNAŠANJE
0-4	79-100	71-100	odlično
5-6	59-78	51-70	dobro
7-9	40-58	31-50	zadostno
Nad 10	0-39	0-30	nezadostno

Iz grafa na sliki 48 lahko razberemo, da so vrednosti MDR za vse tipe asfaltov logično razporejene glede na gostoto razpokanosti v grafu na sliki 47. Vidimo, da je ARW80100 dosegel MDR vrednost 72, ki jo je presegela le s polimerni modificirana zmes PMSBS. Pričakovano je najnižji indeks MDR dosegela zmes AM80100, ker je znašal le 51. V poročilu rezultatov za indeks OPI niso predstavili.



Slika 48: Vrednosti indeksa MDR za posamezen sektor (Arguelles, idr., 2009)

Splošno stanje na vsakem sektorju je razvidno iz slik 49 do 52.



Slika 49: Stanje površine AM80100 Arguelles, idr., 2009)



Slika 50: Stanje površine PMSBS (Arguelles, idr., 2009)



Slika 51: Stanje površine ARW80100 (Arguelles, idr., 2009)



Slika 52: Stanje površine PMSBR (Arguelles, idr., 2009)

4.2.6.4 OCENA STRUKTURE

Oceno strukture so izvedli po celem poskusnem polju tako, da so uporabili udarni deflektometer (slika 53) na vsakih 10 m posameznega sektorja z uporabo sile 40 kN. Uporabili so tudi georadar (slika 53), da so ugotovili točno debelino asfaltne plasti. Z rezultati, ki sta jih dala udarni deflektometer in georadar, so izvedli analizo z Rohdeovo metodo (Rohde's method (Rohde, 1994)).



Slika 53: Georadar in udarni deflektometer, uporabljena pri raziskavi (Arguelles, idr., 2009)

Rohdeova metoda ovrednoti indeks strukture asfaltne voziščne konstrukcije (SIP), ki predstavlja celotno podajnost, ki ob padcu uteži nastane v voziščni konstrukciji:

$$SIP = D_0 - D_{1.5HP}$$

kjer je:

D_0 - največja podajnost, izmerjena pri standardni 4000 kg obtežbi udarnega deflektometra,

$D_{1.5HP}$ - podajnost površine, izmerjena pri standardni obtežbi na oddaljenosti 1.5 Hp od osi obtežbe,

Hp - celotna debelina asfaltne voziščne konstrukcije.

Število strukture asfaltne voziščne konstrukcije (SN) se lahko izračuna s celotno debelino asfaltne voziščne konstrukcije (Hp) in z vrednostjo strukturnega indeksa asfaltne voziščne konstrukcije (SIP). Funkcija, ki je bila uporabljena v analizi, je sledeča:

$$SN = k_1 \times SIP^{k_2} \times Hp^{k_3}$$

kjer je:

SN - število strukture asfaltne voziščne konstrukcije,

SIP - indeks strukture asfaltne voziščne konstrukcije,

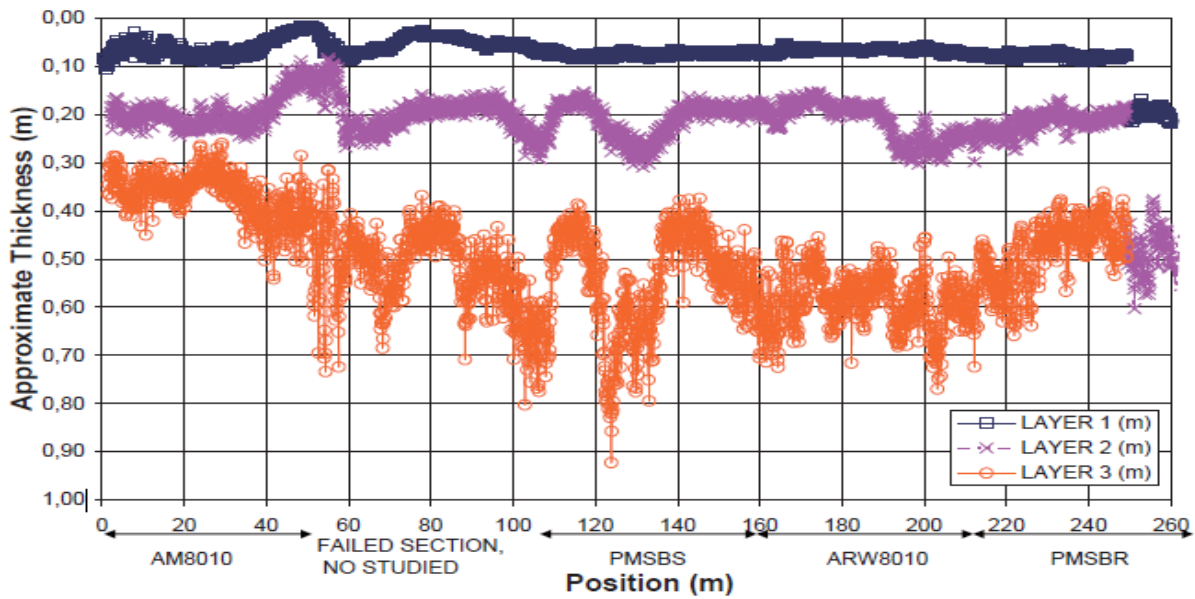
Hp - celotna debelina asfaltne voziščne konstrukcije,

k_1, k_2, k_3 - regresijski koeficienti (preglednica 19).

Preglednica 19: Vrednosti regresijskih koeficientov (Arguelles, idr., 2009)

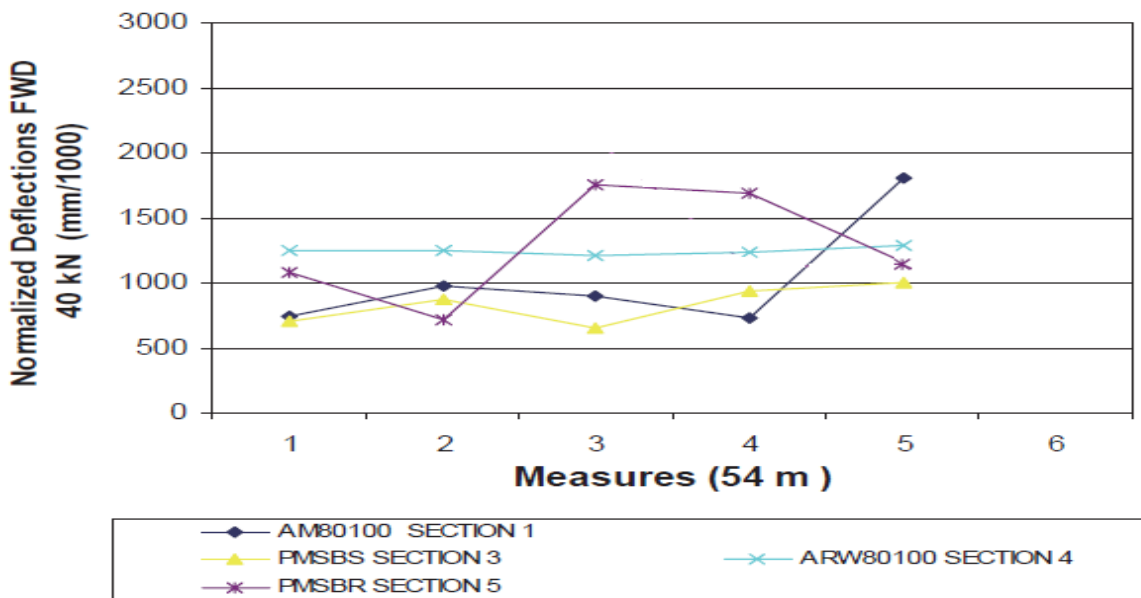
TIP POVRŠINE	k1	k2	k3
Površinska prevleka	0,1165	-0,3248	0,8241
Nosilno obrabna plast	0,4728	-0,4810	0,7581

Rezultati, ki so jih pridobili z georadarjem, so prikazani na sliki 54. Kot je bilo omenjeno že v poglavju 4.2.5, je bila na vsakem odseku položena nosilnoobrabna asfaltna plast v debelini 7 cm in nevezana nosilna plast v debelini 10 cm iz obstoječega materiala in zdrobljene predhodne asfaltne plasti. Pod njima pa je različno debela nevezana plast v debelini od 20 do 60 cm, kar so ugotovili z vrtanjem pred izgradnjo poskusnega polja (Arguelles, idr., 2009).



Slika 54: Debeline posameznih plasti, ki so jih dobili z georadarjem (Arguelles, idr., 2009)

Na sliki 55 so podane izmerjene vrednosti podajnosti na vsakih 10 m na vsakem sektorju poskusnega polja.



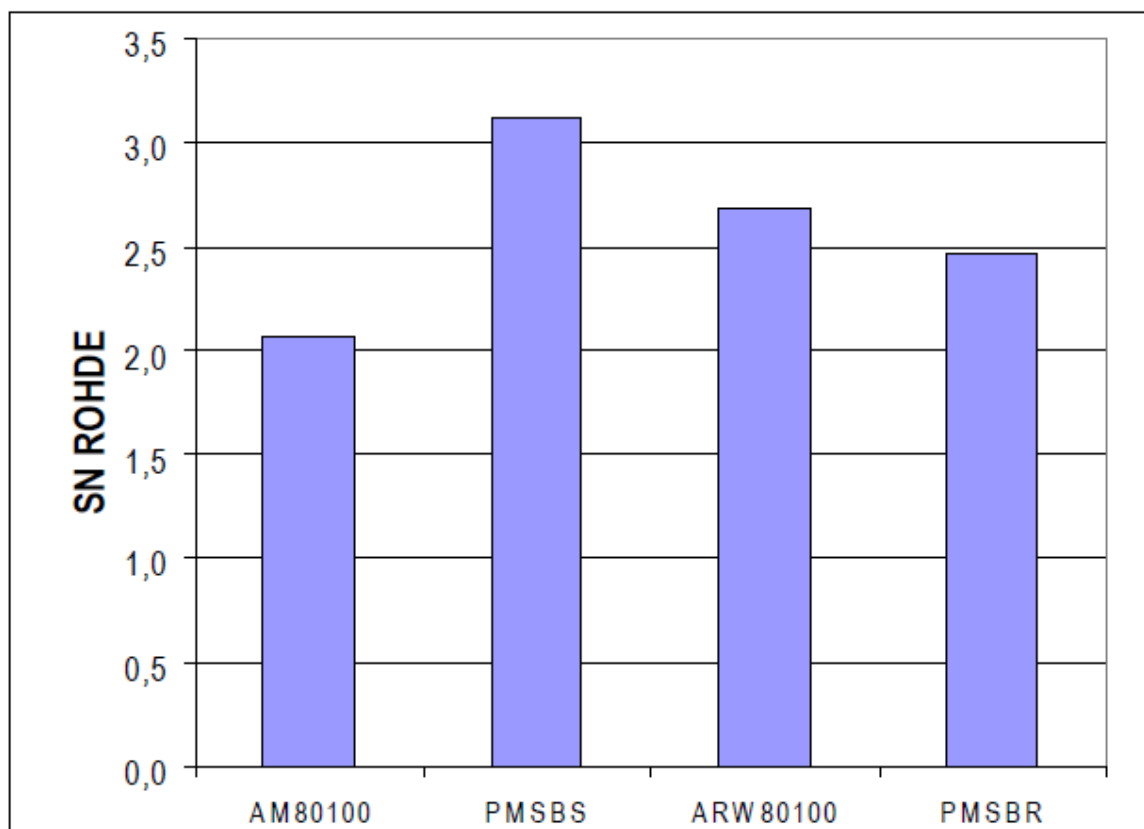
Slika 55: Izmerjene vrednosti podajnosti v središču plošče (Arguelles, idr., 2009)

Iz grafa na sliki 55 lahko razberemo podajnost vsakega sektorja poskusnega polja. Pri sektorju s PMSBR lahko opazimo veliko nihanje. V povprečju kaže z gumo modificiran asfalt ARW80100 drugo največjo podajnost, medtem ko sta PMSBS in AM80100 dosegla podobne vrednosti. Povprečne vrednosti podajnosti in standardni odklon so zapisane v preglednici 20.

Preglednica 20: Povprečne vrednosti podajnosti in standardni odklon (Arguelles, idr., 2009)

SEKTOR	PODAJNOST	
	POVPREČJE (mm/1000)	STANDARDNI ODKLON
AM80100	1031	448
PMSBS	833	153
ARW80100	1243	30
PMSBR	1277	438

Število strukture so izračunali iz podatkov, dobljenih z udarnim deflektometrom in z georadarjem po enačbama 1 in 2 (Rohde, 1994). Slika 56 prikazuje vrednosti števila strukture (SN), ki so bile izračunane za vsak sektor. Opazimo, da je sestava PMSBS dosegla največjo vrednost SN, sledi pa ji ARW80100. Najmanjšo vrednost je po pričakovanjih dosegel AM80100, pri čemer pa je potrebno poudariti, da je bila nevezana nosilna plast na tem območju najtanjša.

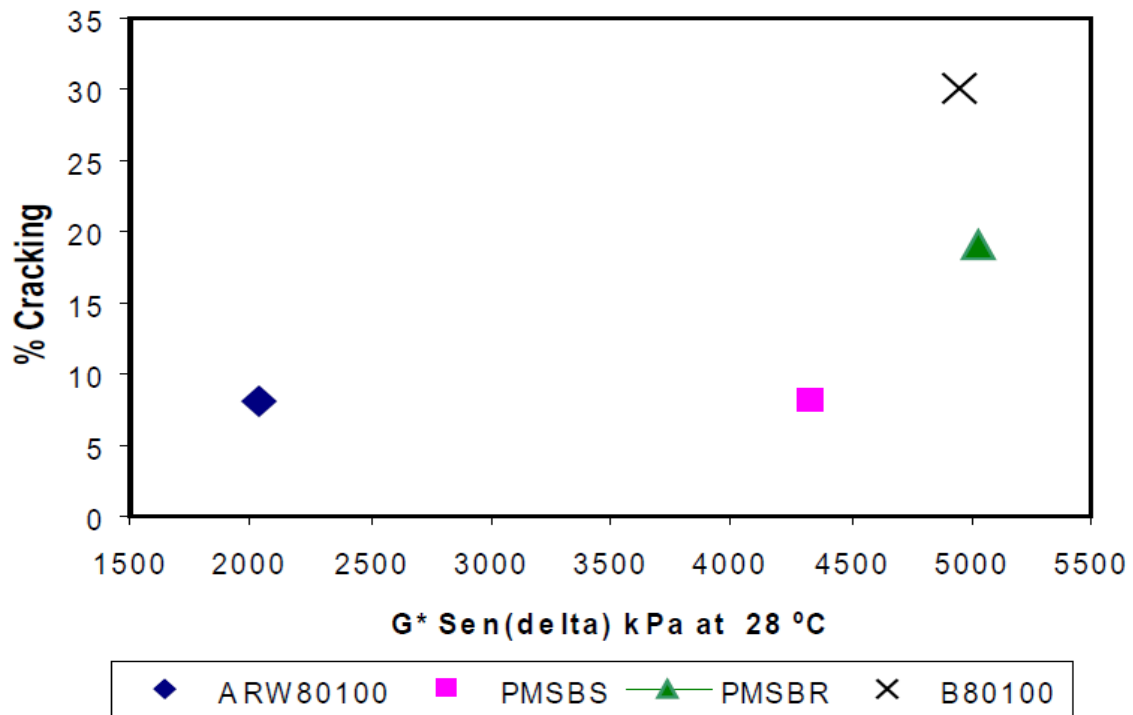


Slika 56: Izračunane vrednosti števila strukture SN za vsak sektor (Arguelles, idr., 2009)

Za razumevanje obnašanja vsakega sektorja lahko povežemo gostoto razpok in rezultate udarnega deflektometra ter georadarja. Pri grafu na sliki 47 je bilo ugotovljeno, da imata PMSBS in ARW80100 najmanjšo gostoto razpokanosti pri, tem pa je bila pri ARW80100 ugotovljena veliko večja podajnost kot pri PMSBS in celo večja kot pri AM80100. To pa v primerjavi z drugimi poskusnimi zmesmi dokazuje veliko večjo odpornost gumiranih asfaltov na nastajanje razpok zaradi utrujanja.

Specifikacija SuperPave glede razpok, ki so nastale zaradi utrujanja, razvršča bitumenska veziva glede na parameter utrujanja. Ker je gostota razpokanosti neposreden znak utrujanja voziščne konstrukcije, so določili parameter utrujanja za vsako vezivo, da bi lahko ugotovili povezavo med gostoto razpok in tipom bitumna na posameznem odseku. Rezultati so bili pridobljeni z vzorci bitumnov v laboratoriju, ki so jih starali najprej s postopkom RTFO in nato še s PAV. Po specifikaciji SuperPave naj bi s takim postopkom dobili bitumenska

veziva, ki naj bi imela enake lastnosti kot tista, ki bi bila v položeni bitumenizirani zmesi v uporabi že 3 do 5 let. Slika 57 prikazuje parameter utrujanja po SuperPave pri 28°C za vsako vezivo po obeh postopkih staranja (Arguelles, idr., 2009).



Slika 57: Parameter utrujanja po specifikaciji SuperPave (Arguelles, idr., 2009)

Opazimo, da izkazuje z gumo modificirano vezivo, uporabljeno v ARW80100, najboljše lastnosti glede utrujanja. Odpornost proti utrujanju se ARW80100 v primerjavi z AM80100 poveča za kar 60%. To dejstvo potrjuje izjemno izboljšanje standardnih cestogradbenih bitumnov, če jih modificiramo z delci gume. Parameter utrujanja po SuperPave specifikaciji kaže na izjemno odpornost veziv, modificiranih z gumo in posledično s takimi vezivi narejenih bitumeniziranih zmesi na utrujanje, kar potrjujejo tudi rezultati na poskusnem polju.

4.2.6.5 ZAKLJUČKI

Rezultati, predstavljeni v tem prispevku, kažejo na koristno izvedbo prvega poskusnega polja, obremenjenega z realnimi prometnimi in meteorološkimi vplivi, ki je bilo zgrajeno leta 2004. Eden glavnih ciljev pri poskusnem polju je bilo opazovanje napredovanja poškodb in porušnih mehanizmov. Pri odseku z gumiranim asfaltom ARW80100 so od leta 2005 pričakovali napredovanje poškodb, vendar do tega ni prišlo, saj je ta odsek deloval odlično.

Iz raziskave lahko izvlečemo sledeče zaključke:

1. Glede na gostoto razpokanosti in indeks MDR (modificirana ocena stanja po U.S Army Corps of Engineers methodology-Paver2) odseka s PMSBS in ARW80100 kažeta največjo odpornost na utrujanje, medtem ko je AM80100 pričakovano dosegel najslabši rezultat.
2. Ocena strukture poskusnega polja je bila izvedena z uporabo udarnega deflektometra in georadarja. Največjo podajnost, izmerjeno pod ploščo udarnega deflektometra, je izkazal odsek z ARW80100, kljub temu pa relativno majhna gostota razpok kaže na to, da lahko ARW80100 prenese še večje deformacije. Število strukture SN, pridobljeno po Rhodeovi metodi, je imelo podobne vrednosti pri vseh modificiranih zmesih (PMSBS, PMSBR, AR80100).
3. Primerjava med gostoto razpok na poskusnem polju in parametrom utrujanja ($G \cdot \sin \delta$), dobljenim po specifikaciji SuperPave, je potrdila sposobnost, da s parametrom utrujanja na bitumenskem vezivu lahko napovemo odpornost bitumenizirane zmesi na utrujanje. Z gumo modificiran bitumen je imel za kar 60% večjo odpornost proti utrujanju kot standardni cestogradbeni bitumen.

5 EKONOMIKA

V poglavju 4.1.2 (poskusna proizvodnja), smo podali recepture bitumeniziranih zmesi. Na podlagi cen podanih v preglednici 21 in receptur, ki so podane v preglednicah 22, 23 in 24, lahko določimo proizvodno ceno posamezne bitumenizirane zmesi.

Preglednica 21: Cene uporabljenih materialov (Pavšič, 2013)

FRAKCIJA	CENA (€/tono)
Kamena moka	86
0-3	8
3-6	20
6-10	20
B 70/100	600
PMB 45/80-65	700
Gumi granulati	1270

Recepture za proizvodnjo bitumeniziranih zmesi so sledeče:

Preglednica 22: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom gumigranulata

FRAKCIJA	MASA	CENA
Kamena moka	72 kg	6,2€
0-3	380 kg	3,0€
3-6	270 kg	5,4€
6-10	460 kg	9,2€
B 70/100	61 kg	36,6€
Gumi granulati	10 kg	12,7€

Preglednica 23: Receptura za AC8 surf B70/100 A3 z navadnim cestogradbenim bitumnom

FRAKCIJA	MASA	CENA
Kamena moka	77 kg	6,6€
0-3	380 kg	3,0€
3-6	270 kg	5,4€
6-10	460 kg	9,2€
B 70/100	65 kg	39€
Gumi granulati	0 kg	0€

Preglednica 24: Receptura za AC8 surf PMB 40/80-65 A3 s polimerno modificiranim bitumnom

FRAKCIJA	MASA	CENA
Kamena moka	77 kg	6,6€
0-3	380 kg	3,0€
3-6	270 kg	5,4€
6-10	460 kg	9,2€
PMB 45/80-65	65 kg	45,5€
Gumi granulati	0 kg	0€

Proizvodna cena posamezne bitumenizirane zmesi je podana v preglednici 25.

Preglednica 25: Cena posamezne zmesi

ZMES	CENA (€/tono)
AC8 surf B70/100 A3 z dodatkom gumigranulata	58,3€
AC8 surf B70/100 A3 z navadnim cestogradbenim bitumnom	50,5€
AC8 surf PMB 40/80-65 A3 s polimerno modificiranim bitumnom	55,7€

Ugotovimo torej, da je že sama proizvodna cena bitumeniziranih zmesi, proizvedenih z gurno modificiranim bitumnom, za okoli 5% višja od bitumenizirane zmesi, ki je proizvedena s polimeri modificiranim bitumnom. Poleg tega bi bilo potrebno upoštevati še manjšo proizvodnjo zaradi daljših časov mešanja in višje stroške vgradnje zaradi nižjih temperatur, do katerih je potrebno vgrajeno zmes valjati.

6 ZAKLJUČEK

Zaradi trenutnega krča v gradbeniški panogi v Sloveniji so raziskave na področju z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi zastale. Morda je na to vplivalo tudi dejstvo, da se z gumo modificiranim zmesem sicer znatno izboljšajo številne lastnosti v primerjavi z zmesmi z navadnim cestogradbenim bitumnom, vendar generalno gledano ne dosegajo kakovosti, ki jih dosegajo zmesi, narejene s polimeri modificiranimi bitumni, se jim pa zelo približajo.

Z raziskavami, ki so bile narejene v Sloveniji, smo ugotovili številne izboljšave bituminiziranih zmesi, ki so bile proizvedene z gumiranimi bitumni. Zato bi, glede na to, da je bilo ugotovljeno, da bi 18 *m*-% dodatka gume v bitumnu njegove lastnosti še dodatno izboljšalo, bilo potrebno v prihodnje preskuse izvajati z gumiranim bitumnom, kateri bo imel večji *m*-% delcev gume. Glede na to, da postopek priprave na sami asfaltni bazi zajema bolj intenzivno mešanje, s čimer so lahko prednosti modifikacije izkoriščene v še večji meri in da se v laboratoriju vzorcev ne da zgostiti do te mere kot na terenu, bi bilo veliko bolj smiselno, ali da se medsebojno primerja vzorce, narejene v laboratoriju, ali pa tiste, ki so odvzeti z terena. Na ta način bi glede na razlike v procesih bitumenizirane zmesi lahko medsebojno kvalitetno primerjali.

Za proizvodnjo z gumo modificiranih bitumeniziranih zmesi po mokrem postopku potrebujemo nadgraditev klasičnih asfaltnih obratov z mešalnico gumiranega bitumna in močnejšimi črpalkami za pretakanje bolj viskoznega veziva ter z dovolj velikimi šobami, ki prepuščajo nabrekle delce gume. Gre torej za precejšnjo investicijo, ki je v sedanjih gospodarskih razmerah težko rentabilna.

Nobene od omenjenih modifikacij pa ne potrebujemo pri mokrem postopku, kjer dodajamo bitumeniziran gumiran granulato direktno v mešalni boben, kar je tudi njegova največja prednost. Gre za bitumeniziran gumiran granulato tecRoad proizvajalca Rubbertec, ki je zmes že predhodno zreagirane bitumna in gume. Njegova prednost je predvsem ta, da ga lahko dodajamo direktno v mešalni boben, kar pa pomeni, da lahko z gumo modificirane bitumenizirane zmesi proizvajajo tudi asfaltne baze, ki niso posebej opremljene za shranjevanje gumiranih bitumnov. V tem primeru torej ne potrebujemo nadgradnje obstoječih asfaltnih obratov, vendar je bilo ugotovljeno, da je že sama proizvodna cena bituminiziranih zmesi, proizvedenih s tecRoadom, za okoli 5% višja od bitumenizirane zmesi, ki je proizvedena s polimeri modificiranim bitumnom. Poleg tega bi bilo potrebno upoštevati še manjšo proizvodnjo zaradi daljših mešalnih časov in višje stroške vgradnje zaradi nižjih temperatur, do katerih je potrebno vgrajeno zmes valjati, kar bi končno ceno še povišalo. Tudi v tem primeru pridemo do problema konkurenčnosti v primerjavi z ostalimi pri nas uporabljenimi bitumeniziranimi zmesmi, vendar je potrebno upoštevati, da bi s proizvodnjo gumiranih asfaltov znatno razbremenili okolje, zaradi različnih oblik onesnaževanja, ki ga predstavljajo izrabljene avtomobilske pnevmatike. Problem konkurenčnosti gumiranih asfaltov bi lahko rešili z delnim subvencioniranjem s strani države, katera bi na ta način pripomogla k čistejšemu življenjskemu okolju.

Na podlagi vseh ugotovitev, do katerih smo prišli, menim, da bi bilo v prihodnosti v Sloveniji potrebno narediti poskusno polje na določenem odseku ceste z asfalti z enako sestavo zrnivosti in različnimi bitumni ter na teh odsekih odvzeti vzorce in na njih narediti enake preiskave. Le na ta način bi asfalte lahko kvalitetno primerjali. Potrebno bi bilo narediti tudi analizo cene za vsako posamezno vrsto in tako ugotoviti ekonomsko upravičenost.

VIRI

Arguelles, G. M., Yaruro, L. C., Hormaza, B.C., Herrera, D. G. 2009. 4 years of performance of a test track using crumb rubber asphalt and other modifiers. V: Sousa, J.,B., (ur.), Cao, R. (ur.). Proceedings of the Asphalt Rubber 2009 Conference, Nanjing, China, November 2009. Hong Kong, Everbright Press: p. 171-189.

Asfalt. 2006. Združenje asfalterjev Slovenije. http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/Knjiga_Asfalt_ZAS.pdf (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Asphalt Crumb Rubber Blending. 2009. Hot-mix magazine 14,1: 20-21.
http://www.hotmixmag.com/images/vol14num1/ASTEC_HOT_MIX_MAG_VOL14_NO1.pdf (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Asphalt rubber usage guide, State of California Department of transportation, September 30, 2006.
http://www.dot.ca.gov/hq/maint/Pavement/Offices/Pavement_Engineering/PDF/Asphalt-Rubber-Usage-Guide.pdf (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Eldan recycling. 2013. <http://www.eldan-recycling.com/> (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Justin, D., Bohinc, D., 2010. Vpliv staranja na reološke lastnosti bitumnov. V: 10. kongres o cestah in prometu, Portorož, 20.-22. oktobra 2010. Ljubljana, DRC: str. 1385-1393.
<http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/VIII/1385-1393.pdf> (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Lukač, B. 2011. Aktivnosti za zniževanje hrupa cestnega prometa. Mineral 11: 20-22.

Lukač, B. 2011/2012. Gumirane asfaltne zmesi pri nizkih in visokih temperaturah. Gradbenik 15, 1: 28-31.

Lukač, B., Justin, D. 2012. Obnašanje asfaltne zmesi SMA 8 RmB pri nizkih in visokih temperaturah. Osebna komunikacija. (20. 8. 2012.)

Lukač, B., Valant, A., Z. 2010. Raziskovanje obnašanja gumibitumna kot veziva za proizvodnjo gumiranih asfaltnih zmesi. Gradbeni vestnik 59, 11: 261-268.

- Novljan, J. 2008 . Ponovna uporaba izrabljenih avtomobilskih gum, Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta (samozaložba J. Novljan): 41 str.
- 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.
- Pavšič, P. 2013. ZAG, poročilo št. P 431/10 – 760 – 4. Osebna komunikacija. (22. 4. 2013.)
- Pocsek, D. 2013. GumTeh d.o.o. Osebna komunikacija. (15. 3. 2013.)
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Dunning, R. L. 1989. Investigation and evaluation of ground tire rubber in hot mix asphalt. <http://www.management-courses.bece.auburn.edu/research/centers/ncat/files/reports/1989/rep89-03.pdf> (Pridobljeno 29. 5. 2013.)
- Rubbertec. 2013. Welcome to the world of innovative material technology. <http://www.rubbertec.org> (Pridobljeno 29. 5. 2013.)
- Vidic, T. Statistični urad RS, Oddelek za statistiko okolja in energetike. Osebna komunikacija (18. 11. 2012.)
- Zareh, A., Way, G. B. 2009. Asphalt-Rubber 40 Years of use in Arizona, Arizona Department of Transportation, Recycle Tire Engineering and Research Foundation. V: Sousa, J.B. (ur.), Cao, R. (ur.). Proceedings of the Asphalt Rubber 2009 Conference, Nanjing, China, November 2009. Hong Kong, Everbright Press: p. 25-47.
- Žmavc, J. 2007. Gradnja Cest, Voziščne konstrukcije. 2. izdaja, Ljubljana, DRC: 357 str.
- Žmavc, J. 2010. Vodilo za proizvodnjo gumiranih asfaltnih zmesi po suhem postopku. Osebna komunikacija. (12. 3. 2013.)

SLIKE:

Slika 12. <http://www.aurorarubberflooring.com/images/Rubber%20Mulch/image26.jpeg>
(Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Slika 14.
http://www.fnfinc.com/system/main_images/21/original/FNF_SR%20195_1.jpg?1302187138
(Pridobljeno 29. 5. 2013.)

<http://1800recycling.com/wp-content/uploads/2010/06/tyreMount.jpg> (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

http://static.freepik.com/free-photo/arrow-right-green-clip-art_427400.jpg (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Slika 16. http://crumbrubbersite.com/images/crumb_rubber_img.jpg (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Slika 18. http://www.ceienterprises.com/images/img_arsys/mixunit05.jpg (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Slika 19. http://www.ceienterprises.com/images/AR_Sys_C.jpg (Pridobljeno 29. 5. 2013.)
http://www.rubbertec.org/EN/Products/Tec_Road/Product/ (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

Slika 32.
http://www.prentex.com/pagefiles/pressure_aging_vessel_pav_9300_71072pressure_aging_vessel_9300.jpg (Pridobljeno 29. 5. 2013.)

SEZNAM PRILOG

Priloga A: POROČILO Št. P 334/06-760-55 o preiskavi odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za vzorec vezane obrabne in zaporne plasti AC 8 surf B 70/100 A3 z dodatkom gumigranulata.....A

PRILOGA



Oddelek za geotehniko in prometnice
Laboratorij za asfalte, bitumne in bitumenske proizvode



SLOVENSKA
AKREDITACIJA
SIST EN ISO/IEC 17025
LP-005

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, 20.08.2010

Gradbišče: Litijska cesta Ljubljana

POROČILO

Št. P 334/06 - 760 - 55

o preiskavi odpornosti proti trajnemu preoblikovanju
(Wheel Tracking Test)
za vzorec vezane obrabne in zaporne plasti
AC 8 surf B70/100 A3
(z dodatkom gumigranulata)

Naročnik: Cestno podjetje Ljubljana d.d., Stolpniška 10, 1112 Ljubljana
Naročilo/pogodba: naročilnica št. 29569 z dne 14.03.2006

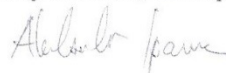
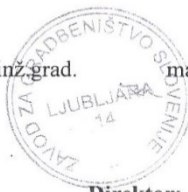
Nosilec naloge:

Aleksander Ipavec, univ.dipl.inž.grad.



Vodja laboratorija:

mag. Bojana Lukač, univ.dipl.inž.kem.tehn.

Direktor:

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



Rezultati preskušanja se nanašajo izključno na preskusne primerke. Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.
Rok za reklamacije je 15 dni od izdaje poročila. Skupno število strani: 4; število prilog: -.

Obr. P.S. 12-001-01/2

1. SPLOŠNI PODATKI O VZORCIH

Proizvajalec asfaltne zmesi:	CP Ljubljana d.d.
Vgrajevalec asfaltne zmesi:	CP Ljubljana d.d.
Skupina prometne obremenitve:	srednja
Vrsta asfaltne zmesi in plasti:	AC 8 surf B 70/100 A3
Oznaka predhodne sestave PSAZ:	ni podatka
Poročilo o začetnem preskusu:	ni podatka
Kamena moka:	Calcit Stahovica
Kameni material:	0/2 Laže, 2/4, 4/8 Bleiberg
Vrsta bitumna:	B 70/100 z dodatkom gumigranulata
Datum vgrajevanja plasti:	18.06.2010
Datum odvzema vzorcev plasti (jeder):	julij 2010
Datum preiskave:	20.08.2010

Vzorci so bili v obliki asfaltnih jeder premera 200 mm.

2. OPIS PREISKAVE TVORJENJA KOLESNIC

Preiskava tvorjenja kolesnic je bila izvedena po standardu SIST EN 12697-22 (mala naprava, zračni medij, postopek B) pri 60°C. Z napravo lahko preiskujemo laboratorijsko pripravljene vzorce (plošče) ali vzorce odvzete iz asfaltne plasti (jedra).

Rezultat preiskave se podaja kot stopnja tvorjenja kolesnice (WTS) v mm na 1000 ciklusov (2000 prehodov) in se izračuna po formuli:

$$WTS_{AIR} = (d_{10000} - d_{5000}) / 5$$

WTS_{AIR} - stopnja tvorjenja kolesnice v mm na 1000 ciklusov (2000 prehodov)

d₅₀₀₀ - globina kolesnice v mm po 5000 ciklusih (10000 prehodih)

d₁₀₀₀₀ - globina kolesnice v mm po 10000 ciklusih (20000 prehodih)

Trajanje preiskave za 10000 ciklusov je približno 6 ur 17 minut.

3. REZULTATI PREISKAVE

Kot rezultat preiskave se navaja povprečna globina kolesnice po 10000 ciklusih, proporcionalna globina kolesnice (glede na prvotno debelino plasti) PRD_{AIR} in WTS_{AIR} (stopnja tvorjenja kolesnice v mm na 1000 ciklusov).

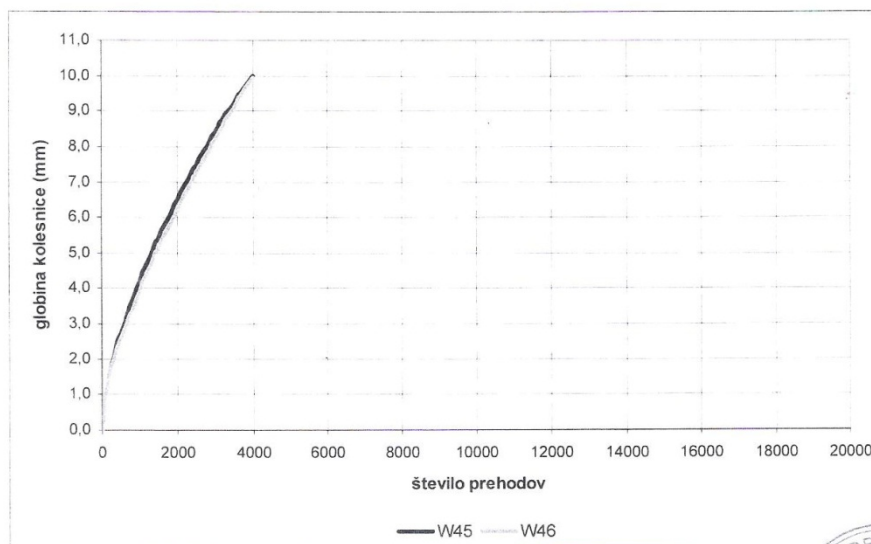
Tabela 1:

Oznaka jedra	Lastnosti asfaltne zmesi *		Prosto. gostota jedra	Zgošče -nost plasti	Delež votlin v plasti	Debelina jedra	Povpreč. globina kolesnice	Proporc. globina kolesnice PRD _{AIR} #	Stopnja WTS _{AIR}
	Marsh.	specif.							
Metoda preiskave	SIST EN 12697-6	SIST EN 12697-5	SIST EN 12697-6	SIST EN 12697-9	SIST EN 12697-8	SIST EN 12697-36	SIST EN 12697-22	SIST EN 12697-22	SIST EN 12697-22
Enota	kg/m ³	kg/m ³	kg/m ³	%	% (V/V)	mm	mm	%	mm/1000
W45	2518	2597	2533	100,6	2,5	44	9,99	22,7 #	/ #
W46	2518	2597	2523	100,2	2,8	45	9,95	22,1 #	/ #
povprečna vrednost								22,4 #	/ #
za srednjo prometno obrem. v SIST 1038 - 1 ni zahteve									

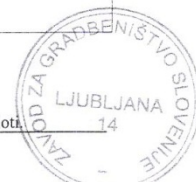
* rezultati notranje kontrole proizvajalca (laboratorij PMA d.o.o.)

zaradi prevelike kolesnice je bila preiskava prekinjena že po 4000 prehodih (2000 ciklusi), ko je globina kolesnic dosegla 10 mm. Zato se izračunane vrednosti PRD_{AIR} nanašajo le na to obdobje.

Slika 1: Potek preoblikovanja pri obeh vzorcih (jedrih)



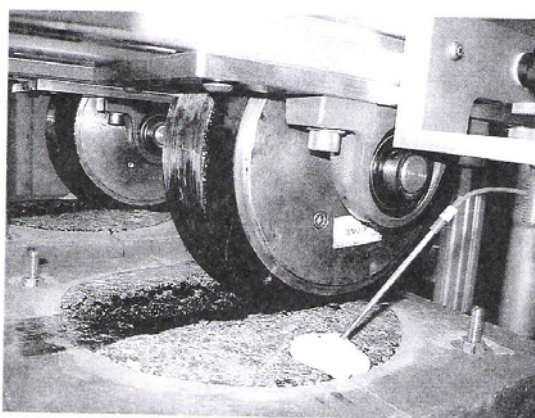
Rezultati preskušanja se nanašajo izključno na preskusne primerke. Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.
Obr. P.S. 12-001-01/2



4. OCENA

Iz rezultatov preiskave tvorjenja kolesnice (WTT) na asfaltnih jedrih vezane obrabne in zaporne plasti AC 8 surf B 70/100 A3 je razvidno, da je že po 4000 prehodih (2000 ciklusih) ugotovljena prevelika proporcionalna globina kolesnice PRD_{AIR} (v povprečju 22,4 % prvotne debeline asfaltne plasti), zato je bila preiskava predčasno prekinjena.

Fotografiji vzorcev ob zaključku preiskave :



Poročilo pripravil: Aleksander Ipavec, univ.dipl.inž.grad.

Aleksander Ipavec



Rezultati preskušanja se nanašajo izključno na preskusne primerke. Poročilo se sme reproducirati samo v celoti.
Obr. P.S. 12-001-01/2