

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Korbar, P., 2013. Analiza in uporabnost črne jeklarske žindre v bituminiziranih zmesih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žmavc, J., somentor Hribar, D.): 102 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:

Korbar, P., 2013. Analiza in uporabnost črne jeklarske žindre v bituminiziranih zmesih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žmavc, J., co-supervisor Hribar, D.): 102 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:

PRIMOŽ KORBAR

**ANALIZA IN UPORABNOST ČRNE JEKLARSKE
ŽLINDRE V BITUMINIZIRANIH ZMESEH**

Diplomska naloga št.: 3334/PS

**THE ANALYSIS AND USE OF BLACK STEEL SLAG IN
BITUMINOUS MIXTURES**

Graduation thesis No.: 3334/PS

Mentor:

prof. dr. Janez Žmavc

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

mag. Dejan Hribar

Član komisije:

izr. prof. dr. Violeta Bokan-Bosiljkov

doc. dr. Sebastjan Bratina

Ljubljana, 24. 10. 2013

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **Primož Korbar** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: »**Analiza in uporabnost črne jeklarske žlindre v bituminiziranih zmesih**«.

Izjavljam, da je elektronska različica povsem enaka tiskani različici.

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

Ljubljana, 5. 10. 2013

Podpis:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.775 (043.2)
Avtor:	Primož Korbar
Mentor:	prof. dr. Janez Žmavc
Somentor:	mag. Dejan Hribar
Naslov:	Analiza in uporabnost črne jeklarske žindre v bituminiziranih zmesih
Tip dokumenta:	dipl.nal. – UNI
Obseg in oprema:	102 str., 49 pregl., 50 sl., 5 pril.
Ključne besede:	bituminizirana zmes, asfalt plast, črna jeklarska žindra, zmes zrn

Izvleček

V diplomski nalogi sem se ukvarjal z uporabo črne jeklarske žindre v cestogradnji. V uvodu naloge sem obravnaval splošne karakteristike materialov, ki jih uporabljamo pri gradnji cest. V nadaljevanju naloge pa sem se izključno posvetil črni jeklarski žindri. Opisal sem zgodovino uporabe žindre v gradbeništvu, različne vrste metalurških in jeklarskih žlinder ter predelavo črne in bele jeklarske žindre. Zanimale so me tudi pozitivne in negativne lastnosti žindre in njeni vplivi na lastnosti asfaltnih vozišč. Pri raziskovanju teh lastnosti so mi pomembno pomoč predstavljali strokovni članki iz Slovenije in tudi iz tujine. Dodatno sem opisal in analiziral dobre prakse iz Nemčije, Velike Britanije in Hrvaške.

Glavni del diplomske naloge je predstavljala analiza rezultatov bituminiziranih zmesi z zrnji žindre. Podatke sem pridobil v podjetju Gorenjska gradbena družba (v nadaljevanju GGD) in njenem hčerinskem podjetju Cestno podjetje Kranj. Ločil sem jih v dva sklopa. V prvem sklopu sem primerjal in analiziral bituminizirane zmesi z naravnimi eruptivnimi in karbonatnimi zrnji in zrnji žindre. V drugem sklopu pa sem se ukvarjal z bituminiziranimi zmesmi z zrnji žindre, pri katerih sem uporabil dve različni vrsti bitumna. Pri obeh sklopih sem analiziral osnovne lastnosti bituminiziranih zmesi in lastnost zmesi na odpornost proti trajnemu preoblikovanju. Za zaključek diplomske naloge sem preveril še razlike med cenami za različne bituminizirane zmesi.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.775 (043.2)
Author: Primož Korbar
Supervisor: Prof. Janez Žmavc, Ph. D.
Cosupervisor: M. Sc. Dejan Hribar
Title: The analysis and use of black steel slag in bituminous mixtures
Document type: graduation thesis – university studies
Scope and tools: 102 p., 49 tab., 50 fig., 5 ann.
Key words: bituminous mixture, asphalt layer, black steel slag, grain mixture

Abstract

In my diploma thesis I dealt with the use of black steel slag in road construction. In the introductory part of my work I discussed the general characteristics of the materials used in road construction and later on in the paper I focused exclusively on black steel slag. I described the history of the use of slag in the construction industry, various types of iron and steel slags, and the processing of black and white steel slag. I was interested in positive and negative characteristics of slag and its influence on the properties of asphalt roads. In exploring these properties I used technical articles from Slovenia as well as from abroad and they were of tremendous help to me. In addition, I described and analyzed the good practices from Germany, Great Britain and Croatia.

The main part of the thesis was the analysis of the results of bituminous mixes with the slag grains. Data were acquired in the company Gorenjska gradbena družba (hereinafter GGD) and its subsidiary Cestno podjetje Kranj. I separated the data into two groups. In the first set, I compared and analyzed bituminous mixtures with natural eruptive and carbonate grains and grains of slag. In the second part I dealt with bituminous mixtures with grains of slag, for which I used two different types of bitumen. In both sets I analyzed the basic properties of bituminous mixtures and properties of the mixture resistance to permanent transformation. In the conclusion of the thesis I checked the differences between the prices of different bituminous mixtures.

ZAHVALA

Za pomoč pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu, somentorju mag. Dejanu Hribarju in Luki Cudermanu (Gorenjska gradbena družba), ki so mi ves čas nastajanja diplome nudili strokovne nasvete in koristne napotke.

Iskreno se zahvaljujem svojim staršema in sestri, ki so mi skozi študijska leta stali ob strani in mi nudili finančno in moralno podporo.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	I
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	II
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	III
ZAHVALA	IV
1 UVOD	1
1.1 Namen diplomske naloge	1
1.2 Zgodovina in razvoj gradnje cest	1
2 OSNOVNI MATERIALI V CESTOGRADNJI	4
2.1 Splošno	4
2.2 Zmesi zrn	4
2.3 Veziva.....	6
2.4 Polnilo	8
2.5 Dodatki.....	8
2.6 Sestava bituminiziranih zmesi	9
3 PRIDOBIVANJE ŽLINDRE	11
3.1 Splošno o žlindri.....	11
3.1.1 Zgodovina uporabe žlindre v cestogradnji	12
3.1.2 Uporaba žlindre na različnih področjih gradbeništva.....	13
3.2 Metalurška in jeklarska žlindra	14
3.3 Predelava črne in bele žlindre.....	17
4 LASTNOSTI ČRNE JEKLARSKE ŽLINDRE.....	21
4.1 Mineralna in kemijska sestava črne žlindre	21
4.2 Mehansko-fizikalne lastnosti	23
4.2.1 Prostorninska masa zrn	24
4.2.2 Vpijanje vode v groba zrna (SIST EN 1097-6, dodatek 7)	24
4.2.3 Odpornost proti drobljenju (SIST EN 1097-2)	25
4.2.4 Odpornost proti zaglajevanju – poliranju (SIST EN 1097-8).....	26
4.2.5 Odpornost proti zmrzovanju in tajanju.....	26

4.3	Volumska stabilnost.....	27
4.4	Vsebnost težkih kovin v izlužku	28
4.5	Radioaktivnost.....	28
5	LASTNOSTI ASFALTNIH VOZIŠČ Z ZRNI ŽLINDRE	30
5.1	Torna sposobnost asfaltnih vozišč.....	30
5.1.1	Opis preiskave meritve torne sposobnosti (odpornost proti drsenju).....	31
5.1.2	Primer meritve torne sposobnosti iz prakse	32
5.2	Hrupnost asfaltnih vozišč	36
5.2.1	Kaj sta hrup in prometni hrup?.....	36
5.2.2	Primer meritve hrupa iz prakse	37
6	UPORABA ŽLINDRE V TUJINI IN PRIMERI UPORABE V SLOVENIJI.....	41
6.1	Nemčija.....	41
6.2	Velika Britanija	43
6.3	Hrvaška.....	44
6.4	Slovenija.....	47
7	ANALIZA ČRNE JEKLARSKE ŽLINDRE IZ PODJETJA ACRONI JESENICE.....	52
8	PRIMERJAVA BITUMINIZIRANIH ZMESI SILIKATNIH IN KARBONATNIH ZRN IN ZRN ŽLINDRE	54
8.1	Preiskave bituminiziranih zmesi silikatnih in karbonatnih zrn	54
8.1.1	<i>Preiskave vzorca bituminizirane zmesi.....</i>	54
8.1.1.1	Bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2010	54
8.1.1.2	Bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2008	56
8.1.1.3	Bituminizirana zmes AC 11 surf PmB 45/80-65 A2 – 2010	58
8.1.2	<i>Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Whell Tracking Test)</i>	60
8.1.2.1	SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2010.....	60
8.1.2.2	SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2008.....	62
8.1.2.3	AC 11 surf PmB 45/80-65 A2 – 2010	64
8.2	Preiskave bituminiziranih zmesi žlindre	65
8.2.1	<i>Preiskave vzorca bituminiziranih zmesi</i>	65
8.2.1.1	Bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1 – 2011.....	65
8.2.1.2	Bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011	67
8.2.1.3	Bituminizirana zmes AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011.....	69
8.2.2	<i>Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Whell Tracking Test)</i>	72
8.2.2.1	SMA 8 PmB 45/80-65 A1, žlindra 2011.....	72

8.2.2.2	SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011	74
8.2.2.3	AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011	76
8.3	Primerjava rezultatov in zaključki.....	78
9	PRIMERJAVA BITUMINIZIRANIH ZMESI ZRN ŽLINDRE Z BITUMNOM B 50/70 IN S POLIMERNIM BITUMNOM.....	79
9.1	Preiskave z bitumnom B 50/70	79
<i>9.1.1</i>	<i>Preiskave vzorca bituminiziranih zmesi.....</i>	<i>79</i>
9.1.1.1	Bituminizirana zmes AC 8 surf B 50/70	79
9.1.1.2	Bituminizirana zmes AC 11 surf B 50/70	81
<i>9.1.2</i>	<i>Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Whell Tracking Test)</i>	<i>83</i>
9.1.2.1	AC 8 surf B 50/70, žindra	83
9.1.2.2	AC 11 surf B 50/70, žindra	85
9.2	Preiskave s polimernim bitumnom	87
<i>9.2.1</i>	<i>Preiskave vzorca bituminiziranih zmesi.....</i>	<i>87</i>
9.2.1.1	Bituminizirana zmes AC 8 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011	87
9.2.1.2	Bituminizirana zmes AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011	89
<i>9.2.2</i>	<i>Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Whell Tracking Test)</i>	<i>89</i>
9.2.2.1	AC 8 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011	89
9.2.2.2	AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 2011	91
9.3	Primerjava rezultatov in zaključki.....	91
10	STROŠKOVNA ANALIZA	93
11	ZAKLJUČEK.....	95
VIRI.....		97

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Primerjava nekaterih glavnih lastnosti črne jeklarske žindre in naravnih eruptivnih zmesi zrn (Vir: [4]).....	6
Preglednica 2: Nazivne velikosti frakcij kamnitih zrn (Vir: [2]).....	10
Preglednica 3: Mineralna sestava žindre (Vir: [8])	22
Preglednica 4: Primerjava lastnosti črne žindre in eruptivnih zmesi zrn (Vir: [6]).....	24
Preglednica 5: Absorpcija vode (Vir: [2]).....	25
Preglednica 6: Vrednosti Los Angeles količnika (Vir: [2]).....	25
Preglednica 7: Rezultati težkih kovin v žindri (Vir: [6])	28
Preglednica 8: Rezultati specifične aktivnosti radionuklidov v žindri (Vir: [6]).....	29
Preglednica 9: Radioaktivna kontaminacija žindre (Vir: [6]).....	29
Preglednica 10: Lastnosti zmesi zrn črne jeklarske žindre (Vir: [12]).....	33
Preglednica 11: Rezultati preiskave asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom (Vir: [12]).....	34
Preglednica 12: Odpornost proti nastanku kolesnic in odpornost proti nastanku razpok (Vir: [12]).....	34
Preglednica 13: Karakteristike uporabljenih zmesi kamnitih zrn (Vir: [11]).....	38
Preglednica 14: Rezultati meritev globine kolesnic (Vir: [42]).....	43
Preglednica 15: Primerjava mehansko-fizikalnih lastnosti črne žindre in naravnih zmesi zrn (Vir: [43])	45
Preglednica 16: Sestava zmesi zrn za AC 11 (Vir: [13])	46
Preglednica 17: Primerjava lastnosti asfaltne zmesi AC 11 z žindro in optimalne asfaltne zmesi (Vir: [13])	46
Preglednica 18: Rezultati testa odpornosti proti nastanku kolesnic (Vir: [13])	47
Preglednica 19: Rezultati preiskav za asfaltno plast AC 8 surf B 70/100 A3 (Vir: [16]).....	51
Preglednica 20: Rezultati težkih kovin v izlužku iz žindre (Vir: Priloga A1)	52
Preglednica 21: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 8 PmB 45/80-65 (Vir: [19]).....	55
Preglednica 22: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 (Vir: [19]).....	56
Preglednica 23: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 11 PmB 45/80-65 (Vir: [20]).....	57
Preglednica 24: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 11 PmB 45/80-65 (Vir: [20]).....	58
Preglednica 25: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 11 surf PmB 45/80-65 (Vir: [21])	59
Preglednica 26: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 11 surf PmB 45/80-65 (Vir: [21])	60
Preglednica 27: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 8 PmB 45/80-65 (Vir: [23])	61
Preglednica 28: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 11 PmB 45/80-65 (Vir: [24])	63
Preglednica 29: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 11 PmB 45/80-65 (Vir: [25])	64
Preglednica 30: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 8 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])	66
Preglednica 31: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 8 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])	67
Preglednica 32: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22]) ...	68
Preglednica 33: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22]).....	69
Preglednica 34: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])	70
Preglednica 35: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22]).....	71

Preglednica 36: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 8 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26]).....	73
Preglednica 37: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26]).....	75
Preglednica 38: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 11 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26]).....	77
Preglednica 39: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 8 surf B 50/70, žindra (Vir: [27]).....	80
Preglednica 40: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 8 surf B 50/70, žindra (Vir: [27]).....	81
Preglednica 41: Rezultati sejalne analize kamene zmesi AC 11 surf B 50/70, žindra (Vir: [28]).....	82
Preglednica 42: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 11 surf B 50/70, žindra (Vir: [28]).....	83
Preglednica 43: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 8 surf B 50/70, žindra (Vir: [29]).....	84
Preglednica 44: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 11 surf B 50/70, žindra (Vir: [30]).....	86
Preglednica 45: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22]).....	88
Preglednica 46: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22]).....	89
Preglednica 47: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26]).....	90
Preglednica 48: Končna cena bituminizirane zmesi AC 11 surf s silikatno zmesjo zrn in prevoza.....	93
Preglednica 49: Končna cena bituminizirane zmesi AC 11 surf z zrn žindre in prevoza.....	94

KAZALO SLIK

Slika 1: Utrditev vozišča po Mc Adamu (l. 1820) (Vir: [1]).....	2
Slika 2: Utrditev cestišča po Telfordu (l. 1825) (Vir: [1])	2
Slika 3: Razporeditev uporabe žindre iz jeklarske industrije na različnih področjih (Vir: [32]).....	11
Slika 4: Proizvodnja žindre železnega izvora za leto 2010 (Vir: [7]).....	14
Slika 5: ABS – kristalna plavžna žindra (Vir: [33]).....	15
Slika 6: GBS – granulirana plavžna žindra (Vir: [33]).....	15
Slika 7: BOS – žindra iz oksidacijskih talilnih peči (Vir: [34]).....	16
Slika 8: EAF C – črna EOP žindra	17
Slika 9: Elektroobločna peč.....	17
Slika 10: Ohlajevanje črne žindre (Vir: [38])	18
Slika 11: Mokro sejanje (Vir: [38])	19
Slika 12: Struktura žindre (Vir: [6]).....	23
Slika 13: Struktura naravne eruptivne kamnine (Vir: [6])	23
Slika 14: Naprava za izvajanje Los Angeles preizkusa.....	26
Slika 15: Razpoke v asfaltu zaradi nabrekanja žindre v nasipnih plasteh pod asfaltom (Vir: [39])	27
Slika 16: Aparat za določanje volumske stabilnosti zrn črne jeklarske žindre (Vir: [40])	28
Slika 17: Nihalo SRT (Vir: [41])	31
Slika 18: Merilno kolo (Vir: [41]).....	32
Slika 19: SCRIMTEX vozilo (Vir: [41]).....	32
Slika 20: Rezultati merjenja torne sposobnosti (80 km/h) na avtocestnem odseku Postojna – Razdrto (Vir: [12])	35
Slika 21: Shema postavitve mikrofona ob cesti.....	39
Slika 22: Rezultati meritev emisij hrupa na različnih asfaltnih obrabnih plasteh pri povprečni hitrosti prometa 40 in 50 km/h (Vir: [11]).....	39
Slika 23: Rezultati meritev odpornosti proti drsenju - vrednosti PGM (Vir: [42]).....	42
Slika 24: Odpornost proti nastanku kolesnic (število prehodov in globina kolesnic) (Vir: [13])	47
Slika 25: Vgrajeni dve različni plasti bitumenskega betona v Tolminu (Vir: [6]).....	48
Slika 26: Vgrajena enoplastna površinska prevleka s posipom zrn žindre (Vir: [6])	48
Slika 27: Vgrajevanje asfaltne plasti na avtocestnem odseku Vrhnika – Logatec (Vir: [15])	49
Slika 28: Vgrajevanje asfaltne plasti na avtocestnem odseku Divača – Kozina (Vir: [15])	49
Slika 29: Vgrajen drenažni asfalt na cesti Portorož – Lucija (Vir: [15])	50
Slika 30: Vgrajevanje asfaltne plasti z zrn žindre (projekt ReBirth) (Vir: [16])	51
Slika 31: Diagram zrnivosti SMA 8 PmB 45/80-65.....	55
Slika 32: Diagram zrnivosti SMA 11 PmB 45/80-65.....	57
Slika 33: Diagram zrnivosti AC 11 Surf PmB 45/80-65.....	59
Slika 34: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [23]).....	61
Slika 35: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [24]).....	63
Slika 36: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [25]).....	65
Slika 37: Diagram zrnivosti SMA 8 PmB 45/80-65, žindra.....	66

Slika 38: Diagram zrnivosti SMA 11 PmB 45/80-65, žindra.....	68
Slika 39: Diagram zrnivosti AC 11 PmB 45/80-65, žindra.....	71
Slika 40: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26]).....	73
Slika 41: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26]).....	75
Slika 42: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26]).....	77
Slika 43: Diagram zrnivosti AC 8 surf B 50/70, žindra.....	80
Slika 44: Diagram zrnivosti AC 11 surf B 50/70, žindra.....	82
Slika 45: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 1 (AC 8) (Vir: [29]).....	84
Slika 46: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 2 (AC 8) (Vir: [29]).....	85
Slika 47: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 1 (AC 11) (Vir: [30]).....	86
Slika 48: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 2 (AC 11) (Vir: [30]).....	87
Slika 49: Diagram zrnivosti AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra	88
Slika 50: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26]).....	90

1 UVOD

1.1 Namen diplomske naloge

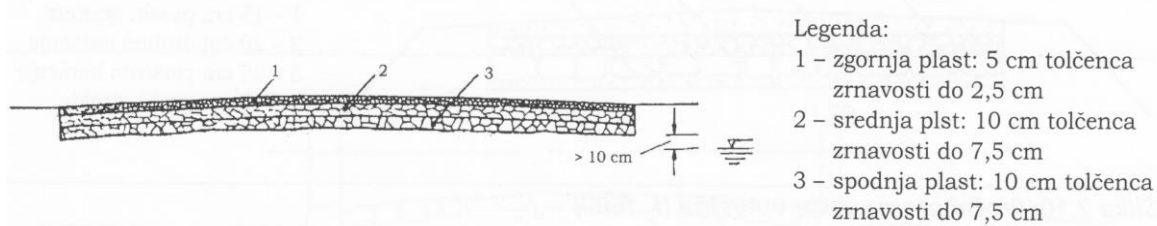
Namen in cilj diplomske naloge je ugotoviti primernost uporabe zmesi zrn črne jeklarske žlindre v bituminiziranih zmesih. Omenjena tema me je začela zanimati predvsem zaradi posebnosti črne jeklarske žlindre kot zmesi zrn za bituminizirane zmesi. Žlindra se je dolgo obravnavala kot odpadek jeklarske industrije. S porastom uporabe so jo preimenovali v industrijski stranski produkt. Prisotnost žlindre v bituminiziranih zmesih me je zanimala predvsem zaradi dveh ciljev, ki ju z njeno uporabo dosežemo: razbremenitev okolja (ukinjanje deponij za skladiščenje odpadka žlindre) in zmanjšanje uporabe naravnih materialov. V tej diplomski nalogi sem se orientiral predvsem na učinek zmanjšanja uporabe naravnih materialov. Vendar me zgolj uporaba žlindre v bituminiziranih zmesih ni zadovoljila. Zanimali so me tudi rezultati primernosti bituminiziranih zmesi z zrn žlindre v primerjavi z zrn naravnih materialov. V ta namen sem se povezal s podjetjem Gorenjska gradbena družba (GGD), kjer sem dobil podatke za analizo različnih bituminiziranih zmesi. Bituminizirane zmesi so se med seboj razlikovale po različni uporabi zmesi zrn kot tudi po različni uporabi veziva. Glavni cilj je bilo dokazati, da ima bituminizirana zmes z zrn žlindre enake, če ne boljše rezultate kot bituminizirana zmes z naravnim silikatnim materialom. Podlaga za postavitev takšnega cilja so bile druge strokovne preiskave, ki so bile na tem področju že izvedene. Pri analizi sem se osredotočil predvsem na osnovne lastnosti bituminizirane zmesi, lastnosti asfaltnih vozišč in na odpornost proti trajnemu preoblikovanju vozišča. Za zaključek me je zanimala še stroškovna analiza uporabe obeh zmesi zrn, saj ima v današnjem času cena zelo pomemben vpliv na uporabo.

1.2 Zgodovina in razvoj gradnje cest

Zgodovinski razvoj nam razkriva, da je človek vedno našel primerne materiale za izgradnjo poti, kasneje kolovozov in cest. Prvi zapisi uporabe naravnega asfalta segajo v obdobje okoli leta 600 pr. n. št. na območju Babilona. V preteklosti je omenjeni asfalt nastajal z »destilacijo«¹ surove nafte v daljšem časovnem obdobju, medtem ko so ga kasneje pridobivali z mešanjem bitumna z drobnimi kamnitimi zrn.

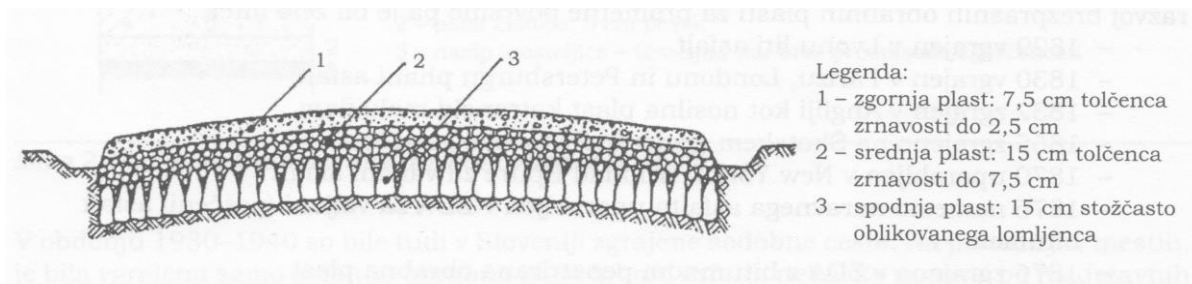
Prvo večje nahajališče naravnega asfalta je omenjeno leta 1595 na območju Trinidada, katerega je odkril Walter Raleigh. Omenjeno nahajališče je sicer prvi odkril že Krištof Kolumb, vendar ni poznal njegove uporabe. Kombinacija naravnega asfalta oziroma bitumenskega veziva ter kamnitih zrn je bila v praksi (obrabna plast prometne površine) prvič uporabljena leta 1747 v Dublinu. Zaradi spolzkosti v primeru mokrega stanja prometne površine so le-to morali posuti s peskom ([2]).

Zaradi vse večjih zahtev po primernejših prometnih površinah za težji promet sta se v začetku 19. stoletja pojavila dva postopka izgradnje voziščne konstrukcije: Mc Adam in Telford. Oba postopka sta temeljila na nevezanih kamnitih materialih. Mc Adam je v plasteh uporabljal enakozrnati tolčenec, medtem ko je planum posteljice moral biti 10 cm nad koto talne vode. Problem teh makadamskih vozišč se je skrival v preslabi ali nikakršni zgostitvi vozišča. Pozitivna stran teh vozišč pa je bila zelo skrbno vzdrževanje.



Slika 1: Utrditev vozišča po Mc Adamu (l. 1820) (Vir: [1])

Telfordov postopek je v primerjavi z omenjenim postopkom okrepil spodnjo plast z zaklinjenim lomljenjem. S tem je ustvaril boljši nosilen skelet cest ([1]).



Slika 2: Utrditev cestišča po Telfordu (l. 1825) (Vir: [1])

Sledil je hitrejši razvoj brezprašnih obrabnih plasti za prometne površine. Iz mešanice naravnega asfalta in drobljenih kamnitih zrn so izdelovali asfaltne plošče ali bloke. Z ustreznimi preizkusi so kasneje ugotovili, da asfaltne plošče niso primerne za bolj obremenjene prometne površine. Vendar je omenjena mešanica pomenila pričetek uporabe in proizvodnje bituminiziranih zmesi na področju gradnje cest. Prvo bituminizirano zmes so patentirali v ZDA leta 1872. Sestavljena je bila iz zmesi peska, manjšega deleža apnenca in 10 m.-% bitumna. Pri tem so ugotovili, da mora biti bitumenskega veziva v bituminizirani zmesi le določena količina. Tako se lahko določena kamnita zrna v zmesi dotikajo, pri tem pa bitumensko vezivo učinkuje kot lepilo. Izgradnja take asfaltne plasti je bila primerna tudi za težjo prometno obremenitev.

Kot enega ključnih faktorjev preboja gradnje asfaltnih vozišč po svetu uvrščamo izgradnjo rafinerije za kontinuirano destilacijo bitumna z vpihavanjem zraka leta 1973 v Bakuju ob Kaspijskem morju. Do tega trenutka so bile lastnosti bitumenskih veziv (pridobivanje iz naravnih asfaltov) zelo različne. S tem postopkom so lahko uporabljali čisti bitumen iz rafinerij namesto različnih bitumenskih veziv, pridobljenih iz naravnega asfalta. Omenjeni čisti bitumen je imel konstantne lastnosti, kar je za proizvodnjo in nadaljnji razvoj asfalta ključnega pomena.

Leta 1902 je dr. Guglielminetti predstavil uporabo pobrizga voznih površin s katranom, s katerim je preprečil dvigovanje prahu. Katran je v naslednjih letih, predvsem zaradi negativnih učinkov na zdravje ljudi, nadomestil pobrizg z bitumnom in dodatnim posipom zrn drobirja. V sodobni proizvodnji asfaltov je ta postopek znan kot površinska prevleka ([2]).

V Sloveniji so se prve posodobitve vozišč začele po letu 1930. Njihov razvoj je potekal po sledečem kronološkem zaporedju:

- leta 1935: makadamska podlaga s površinsko prevleko z bitumenskim vezivom na odseku Maribor–Šentilj
- leta 1935: phani asfalt na delu Miklošičeve ceste v Ljubljani
- obdobje med 1941–1945: obnova cest z asfaltno obrabno plastjo (Maribor–Ptuj, Maribor–Celje)
- do leta 1960: obnove cest izvršene s površinskimi prevlekami in s penetracijo nevezane makadamske podlage
- leta 1965: izvedba grobozrnatega drenažnega asfalta na odseku Podtabor–Črnivec
- leta 1970: začetek gradnje avtocest, krovne plasti v pretežni meri zgrajene iz bituminiziranih zmesi
- leta 1995: uporaba bituminiziranih zmesi drobirja z bitumenskim mastikom ([2])

Razvoj proizvodnje in vgrajevanja bituminiziranih zmesi se dopolnjuje in razvija ves čas. Preizkušajo se različne uporabe kamnitih zrn, bitumnov in dodatkov (polnila, plastika, vlakna, odpadni materiali – žindra ...). Uporaba bituminiziranih zmesi v svetu je vsak dan večja in pomembnejša pri gradnji cest.

2 OSNOVNI MATERIALI V CESTOGRADNJI

2.1 Splošno

Glavni cilj pri gradnji cest je čim bolj trajna, odporna in varna vozna površina. Predvsem zaradi številnih obremenitev težkih tovornih vozil moramo zagotavljati posodobitve cest, vzdrževanje in zagotavljanje njihove trajnosti proti poškodbam. Pri uresničitvi te naloge moramo uporabiti ustrezne materiale, ustrezno načrtovati, proizvajati in vgrajevati bituminizirane zmesi. Le tako lahko kasneje zagotovimo ustrezno asfaltno površino, ki bo prenesla velike obremenitve prometa in bo odporna na večje poškodbe vozne površine.

Vsi uporabljeni materiali v cestogradnji morajo biti preizkušeni po predpisanih standardih. Med osnovne materiale v asfaltni zmesi štejemo:

- zmes zrn
- vezivo
- dodatki

2.2 Zmesi zrn

Zmes zrn je sestavljena iz enega ali več razredov zrn ali frakcij. Nekatere zmesi zrn pa imajo že v naravi ustrezno sestavo zrn za določen namen uporabe. V večini asfaltnih zmesi je delež kamnitega materiala med 92 in 96 odstotkov. Omenjeni odstotek nam pove, da so kamnita zrna ključna pri izdelavi asfaltnih površin. Zato je še bolj pomembno, iz katere vrste kamnitih zrn in na kakšen način pridobivamo zmes zrn (zmesi naravnih, drobljenih, mešanih in recikliranih zrn).

Imamo več vrst kamnin, iz katerih pridobivamo zmes zrn. Za lažje prometne obremenitve uporabljamo sedimentne kamnine (apnenec in dolomit), medtem ko za srednje in težje prometne obremenitve uporabljamo silikatne (magmatske, eruptivne) kamnine. Med silikatne kamnine sodijo bazalt, keratofir, porfir, diabaz ... Prednost teh kamnin je vsekakor večja odpornost proti obrabi, saj vsebujejo minerale večje trdote (kremen, glinence, amfibole ...). Omenjene kamnine imajo tudi boljše odpornost proti poliranju v primerjavi z apnenecem (v primeru mokrega vozišča hitreje postane spolzko). Slabost teh kamnin je slabša možnost izkoriščanja oziroma premajhna proizvodnja glede na zahtevane količine porabe in tudi slabša kakovost le-teh. Zaradi teh razlogov se te kamnine uvažajo iz sosednjih držav, kar pa poveča stroške in skladiščenje ustreznih zalog ([2]; [3]). Alternativa tem problemom je vsekakor uporaba umetnih zmesi zrn, kot sta žindra in ekspanzirana glina – Leca.

Poleg vrste kamnin je pomemben tudi nastanek zmesi zrn. Glede na nastanek ločimo dve osnovni vrsti zmesi zrn: naravna in drobljena. Za naravne zmesi so značilni zaobljeni robovi in konice zrn, medtem ko imajo drobljene zmesi bolj ostre konice in robove ([1]). V praksi se večinoma uporabljajo drobljena zrna.

Pred uporabo zmesi zrn v bituminiziranih zmesih moramo opraviti zahtevane preizkuse in zagotoviti minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn. Med te lastnosti in preizkuse sodijo:

- geometrijske lastnosti

(sestava zmesi zrn, nazivna velikost, oblika grobih zrn, delež drobljenih zrn);

- mehanske lastnosti
(odpornost proti drobljenju, odpornost grobih zrn proti obrabi in zaglajevanju (poliranju), odpornost proti zmrzovanju in tajanju, vpijanje vode v groba zrna, kakovost finih delcev, obvitost grobih delcev z bitumnom);
- kemijske lastnosti
(določitev kemijske sestave in vsebnost lahkih kontaminantov, v primeru žlindre pa moramo izvesti preizkus razpada dikalcijevega silikata in železa v zračno hlajeni žlindri ter izvesti preskus volumske stabilnosti).

Uporaba industrijskih in gradbenih odpadkov v gradbeništvu (uporaba črne jeklarske žlindre v cestogradnji)

V svetu se vse bolj uveljavlja uporaba industrijskih in gradbenih odpadkov v gradbeništvu kot celoti. Namen njihove uporabe je razbremenitev okolja in zmanjšanje uporabe naravnih virov materialov. Med odpadke štejemo stranske produkte gradbene kot tudi drugih industrijskih panog. V obdobju od leta 2004 do 2008 je Sloveniji nastalo približno 2 milijona ton gradbenih odpadkov. Uporabo odpadkov vse bolj zagovarja tudi Evropa in v Sloveniji intenzivno spreminjamo in prilagajamo našo zakonodajo. Predvsem za proizvajalce odpadkov je možnost uporabe le-teh velika prednost, saj si z njihovo ponovno uporabo zmanjšajo ekološko takso za obremenjevanje okolja.

Uporabo odpadkov lahko zasledimo na različnih področjih gradbeništva:

- uporaba odpadkov pri gradnji prometnic ali nizkih gradnjah
- uporaba odpadnih snovi v proizvodnji betona
- uporaba odpadkov v opečni in keramični industriji
- uporaba odpadkov industrije polimerov

Pri vseh uporabah odpadkov moramo paziti na dolgoročno trajnost in stabilnost materialov, saj gradbene objekte gradimo za daljše časovno obdobje. V primeru, da odpadni material ne dosega primernih mehanskih, trajnostnih in drugih bistvenih karakteristik gradbenih materialov, je njihova uporaba neprimerna. Posledice neprimernih materialov pri gradnji se lahko pokažejo šele čez nekaj let. Poleg glavnih mehanskih in fizikalnih dejavnikov uporabe odpadkov je pomemben tudi ekonomski vidik uporabe. Omenjeni dejavnik se sicer spreminja od države do države in je odvisen od naslednjih dejavnikov:

- cena odlaganja odpadkov
- cena transporta odpadkov do mesta ponovne uporabe
- okoljevarstveni predpisi
- stroški dodatnih analiz

Eden od uporabnih odpadnih industrijskih materialov je tudi črna jeklarska žindra. Njena uporaba sega predvsem na področje cestogradnje. V svetu je njena uporaba vse bolj razširjena. Vzrok za to so predvsem dobre mehansko-fizikalne lastnosti materiala, ustrezne kakovostne zahteve, tehnologije in

kemijske inertnosti materiala. Predvsem zaradi neprimerne vgrajevanja in neustreznih kontrol žindre v preteklosti pa ima žindra negativno konotacijo pri uporabnikih.

Črna jeklarska žindra nastaja pri proizvodnji nelegiranih jekel v elektroobločnih pečeh. Kemijska sestava črne jeklarske žindre je sestavljena iz prevladujočih oksidov kalcija, železa, magnezija, silicija, aluminija ... Ena njenih glavnih slabosti je volumska stabilnost. Veliko več pa je prednosti uporabe črne jeklarske žindre. Predvsem zaradi njene kristaliničnosti in strukture se lahko enakovredno primerja z uporabo silikatnih kamnin. Omenjena primerjava je prikazana v naslednji preglednici.

Preglednica 1: Primerjava nekaterih glavnih lastnosti črne jeklarske žindre in naravnih eruptivnih zmesi zrn (Vir: [4])

Parameter	Črna žindra	Eruptivna kamnina
Prostorninska masa brez por in votlin, kg/m ³	3100–3600	2800–2900
Masni delež vpitja vode, m.-%	0,2–0,8	0,2–0,5
Izguba mase pri preskusu odpornosti proti zmrzovanju in odtajevanju (25 ciklusov), m.-%	0,0	0,0
Izguba mase pri preskusu odpornosti proti zmrzovanju po 5 ciklusih v Na ₂ SO ₄ , m.-%	0,0	0,0
Izguba mase pri preskusu odpornosti proti obrabi in udarcem (koeficient Los Angeles), m.-%	11–15	12–18

Omenjene lastnosti zagotavljajo široko uporabnost črne jeklarske žindre v cestogradnji. Uporablja se predvsem kot zmes zrn za obrabne oziroma obrabno zaporne bituminizirane zmesi. Pomembna lastnost je tudi odpornost proti zaglajevanju, zaradi katere se žindra uporablja za najbolj zahtevne odseke (območja križišč, zaviralni in pospeševalni pasovi na avtocestah ...). Poleg omenjene uporabe za obrabne plasti se žindra uporablja tudi za pripravo drugih plasti cestišča:

- temelje tal
- protizmrzovalne plasti
- tamponske plasti
- drenažne plasti

Za ustrezno uporabo žindre v cestogradnji pa moramo zagotoviti še nekatere pogoje: kontrola vhodnih surovin za polnjenje EOP (elektroobločne peči), sukcesivno drobljenje žindre (primerna oblika zrn agregata), odstranjevanje zaostalega železa in kontrola proizvodnje agregata ([4]).

2.3 Veziva

Drugi osnovni material v bituminizirani zmesi je vezivo. Njegova glavna naloga je povezati zrna med seboj v zmes. Njegova količina v zmesi je majhna, vendar je toliko bolj pomembno za doseg ustreznih lastnosti vozišča. V cestogradnji uporabljamo naslednje vrste veziv:

- cestogradbeni bitumni
- s polimeri modificirani bitumni

- hladna bitumenska veziva
- naravni asfalt

Cestogradbeni bitumen

Bitumen sodi med organska veziva, ki jih pridobivamo z destilacijo surove nafte. Kemijska sestava bitumna kot veziva ni točno poznana. Sestavljajo ga različne skupine organskih spojin. Med seboj lahko ločimo le nekatere izmed njih: nasičeni ogljikovodiki, aromati, smole, asfalteni ... Za določitev vrste standardnih cestogradbenih bitumnov (B 20/30, B 30/45, B 35/50, B 40/60, B 50/70, B 70/100, B 100/150, B 160/220) uporabljamo sledeče postopke:

- penetracija
- zmehčišča bitumna po postopku prstana in kroglice (PK)
- pretrgališče po Fraass-u
- indeks penetracije
- duktilnost

S polimeri modificirani bitumni

Razlike med modificiranimi bitumni in navadnimi bitumni nastanejo zaradi dodajanja umetnih snovi ali kavčuka. Pri modificiranih bitumnih se z dodatki izboljšajo reološke in standardne lastnosti (večja vrednost zmehčišča, znižanje pretrgališča, poveča se območje plastičnosti). Poleg omenjenih lastnosti se izboljša tudi oprijemljivost s kamnitimi zrni, poveča se odpornost na kolesnice in na nastanek razpok. Te lastnosti se izboljšajo predvsem zaradi prisotnosti umetnih ali naravnih polimerov (elastomeri, termoplasti, duroplasti ...) v bitumnu.

Hladna bitumenska veziva

V to skupini bitumenskih veziv sodijo naslednja veziva:

- bitumenske emulzije
Bitumenske emulzije nastanejo z mešanjem cestogradbenega bitumna in vode. Z dodajanjem emulgatorjev poskrbimo, da zmanjšamo napetosti na mejnih površinah. Ločimo dve vrsti emulgatorjev: anionske (bazične) in kationske (kisle). Od emulgatorja je odvisna tudi vrsta bitumenske emulzije. Poznamo anionske emulzije, ki niso primerne za uporabo v primeru kisljih kamnin, potrebe po hitrem vezenju in v vlažnem vremenu. Medtem ko so kationske emulzije primerne za vsako površino. Omenjene emulzije v cestogradnji uporabljamo za predhodni pobrizg podlage, za obdelavo vozišč s površinsko prevleko in pri popravilih vozišč.
- bitumenske raztopine
Za bitumenske raztopine je značilno, da jih proizvajamo z utekočinjenjem bitumna in vmešavanjem olj ali pa z raztopitvijo bitumna s topili. Pri obeh omenjenih proizvodnjah se zmanjša viskoznost in potrebna temperatura za uporabo. V to skupino sodijo tudi fluksirani in rezani bitumni. Osnova proizvodnje teh bitumnov so cestogradbeni bitumni (B 160/220 do B 70/110), katerim dodamo mineralna olja, ki ne vsebujejo fenolov ([1]; [2]).

Naravni asfalt

Naravni asfalt lahko pridobivamo na dva načina: z destilacijo surove nafte v naravi v daljšem časovnem obdobju ali z mešanjem bitumna z drobnimi kamnitimi zrni. Pri uporabi naravnega asfalta med seboj ločimo tri vrste:

- srednje trd naravni asfalt
- zelo trd naravni asfalt
- asfaltne kamnine ([1])

2.4 Polnilo

Polnilo je kamniti agregat zrnivosti do 0,09 mm. Nekaj odstotkov kamene moke je lahko zrnivosti tudi do 2 mm.

Za polnilo je značilno, da se uporablja za zapolnjevanje votlin, za izpolnitev pogojev sestave zrnivosti zmesi zrn in za izboljšano stabilnost in oprijemljivost med bitumnom in zrni ([2]). Zapolnitev votlin je ključnega pomena, saj moramo poskrbeti, da je bituminizirana zmes čim bolj zgoščena. Votline bi sicer lahko zapolnili tudi z vezivom, vendar vezivo ni nosilno. Pri dodajanju polnila moramo paziti, da ga ne dodamo preveč. V tem primeru ne bi bilo več mogoče dodati bitumna, ki nam omogoča trajno zmes.

V praksi uporabljamo dve vrsti polnil ali kamene moke:

- lastno polnilo
Lastno polnilo pridobivamo s sušenjem kamnitega agregata pri proizvodnji bituminizirane zmesi. Zanj je značilno, da je manj kvalitetno in manj primerno za uporabo v bituminizirani zmesi.
- tuje ali dodatno polnilo
Tuje ali dodatno polnilo se proizvede s proizvodnjo zmesi kamnitih zrn v kamnolomu. Njegova uporaba je primerna za zahtevnejše pogoje in je vsekakor bolj kvalitetno kot lastno polnilo. ([3])

2.5 Dodatki

Dodatki se v cestogradnji uporabljajo predvsem kot izboljšava k osnovnim materialom. Z njihovo uporabo lahko dosežemo boljše lastnosti bituminizirane zmesi, zato se v zadnjem času vedno več prakticira njihova uporaba. Omeniti velja nekaj prednosti njihove uporabe v praksi:

- bolj toga zmes pri visokih temperaturah, posledica je zmanjšanje nastajanja kolesnic
- zmanjšanje temperaturnih razpok
- večja odpornost proti utrujanju in obrabi
- zmanjšanje debeline voziščne konstrukcije
- boljša trajnost vozišča ([2])

Za dosego omenjenih izboljšav uporabimo različne vrste dodatkov:

- dodatki za boljšo oprijemljivost

Pri teh dodatkih je značilno, da izboljšajo vez med površino kamna in vezivom, ter preprečujejo luščenje bitumna s površine kamna.

- dodatki za stabilizacijo veziva

Ti dodatki stabilizirajo vezivo na kamnito površino in preprečijo iztekanje bitumna v času proizvodnje, transporta in vgrajevanja ([3]).

- drugi dodatki: dopolnila, plastike, odpadni material, steklo, guma, žindra ...

2.6 Sestava bituminiziranih zmesi

Pri projektiranju in pripravi bituminiziranih zmesi glavno vlogo odigra izbira materialov in njihovo razmerje v zmesi. To je pomembno predvsem z vidika, da ima končna bituminizirana zmes ustrezne lastnosti:

- primeren delež veziva za zagotavljanje obstojnosti oziroma trajnosti bituminizirane zmesi
- zadovoljivo stabilnost oziroma nosilnost bituminizirane zmesi za predvideno prometno obremenitev
- primerno vsebnost votlin v zgoščeni bituminizirani zmesi
- zadovoljivo vgradljivost in omogočeno razgrinjanje bituminizirane zmesi brez segregacije
- zadovoljive torne lastnosti ([2])

Vhodni materiali za bituminizirano zmes morajo biti zato preverjeni z ustreznimi preizkusi in z predloženimi izjavami o skladnosti materialov. Uporabljajo se sledeči vhodni materiali:

Kamena moka

Kamena moka je zmes zrn z zrnastostjo do 0,09 mm. Zrna do zrnastosti 0,71 mm pa ne smejo presežati deleža 35 m.-%. Kamnina, iz katere pridelujemo kameno moko, je večinoma karbonatnega izvora (dolomit). Skupna naloga kamene moke in bitumna je zapolnjevanje votlin v bituminizirani zmesi.

Pesek

Sestavni del zmesi kamnitih zrn v bituminizirani zmesi je tudi pesek. Poznamo dve osnovni velikosti peska:

- fini pesek 0/2 mm
- grobi pesek 0/4 mm

Za obe velikosti je značilno, da ju uporabimo kot naravni ali drobljeni pesek (pridobivanje z drobljenjem materiala).

Drobir in prod

Poleg kamene moke in peska zmes kamnitih zrn sestavljata še drobir in prod. Drobir pridobimo z drobljenjem kamnitih zrn, medtem ko je prod pridobljen iz naravnih kamnitih zrn. V pripravi bituminizirane zmesi moramo omenjena zrna pravilno razvrstiti v frakcije (Preglednica 2).

Preglednica 2: Nazivne velikosti frakcij kamnitih zrn (Vir: [2])

Osnovne frakcije (mm)	Vmesne frakcije (mm)
0/4	0/1
	0/2
	1/4
	2/4
4/8	
8/16	8/11
	11/16
16/31	16/22
	22/31
	31/45
31/63	31/56
	45/63

Bitumen

Naloga bitumna v bituminizirani zmesi je povezovanje kamnitih zrn med seboj. Njegov delež v zmesi je dokaj majhen, vendar je njegova prisotnost toliko bolj pomembna. V cestogradnji se uporabljata v glavnem dve vrsti bitumna: cestogradbeni bitumen in s polimeri modificirani bitumen. Za obe vrsti bitumnov moramo pred uporabo v bituminizirani zmesi preveriti glavne lastnosti:

- penetracija
- zmečičšče
- indeks penetracije
- gostota

Omenjene lastnosti in še nekaj drugih so navedene v standardih SIST EN 12591 (cestogradbeni bitumen) in SIST EN 14023 (s polimeri modificiran bitumen).

Dodatki

- **Asfaltni granulati**
Asfaltni granulati so obstoječa asfaltna zmes, ki jo s pomočjo rezkanja ali drobljenja ponovno uporabimo v bituminizirani zmesi. Za ponovno uporabo morajo biti uporabljena kamnita zrna in bitumen v asfaltnem granulatu ustreznih lastnosti (skladen s SIST EN 13108-8) ([2]).
- **Žlindra**
- **Z gume modificirana bitumenska veziva**
Vsako leto se ustvari veliko odpadnih gum iz avtomobilske industrije, zato so začeli zdrobljene gumirane delce vmešavati v bitumen in kasneje v bituminizirano zmes. Z leti so ugotovili vrsto pozitivnih lastnosti gumiranih delcev v bitumnu: boljša odpornost na preoblikovanje in nizke temperature, boljšo stabilnost, boljše torne sposobnosti, zmanjšanje hrupa ... Slabost uporabe gumiranih delcev v bitumnu se pojavi pri starejših asfaltnih bazah, ki ne omogočajo pravilnega skladiščenja materiala.

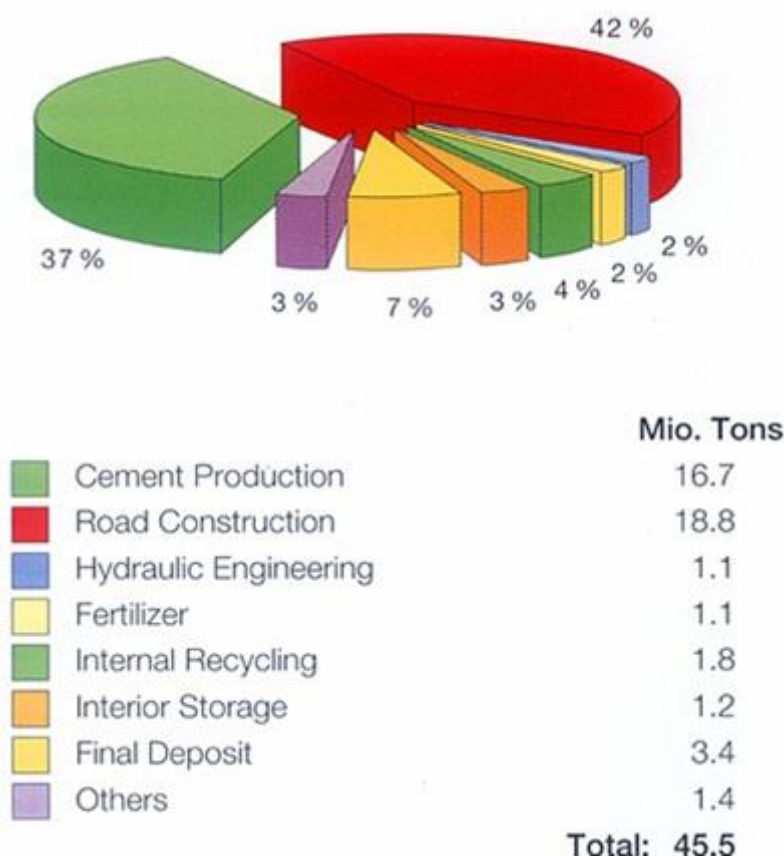
3 PRIDOBIVANJE ŽLINDRE

3.1 Splošno o žlindri

V splošnem žlindro obravnavamo kot industrijski stranski produkt. Njen izvor je odvisen od industrije, iz katere izhaja. Torej poznamo žlindre železnega (železo, jeklo) in neželeznega izvora. Za žlindre železnega izvora je značilen nastanek z metalurškimi procesi pri proizvodnji železa in jekla. Njene ugodne fizikalne in mehanske lastnosti nam omogočajo široko uporabo v različnih industrijah. Zastopanost žlindre železnega izvora je torej bistvenega pomena, medtem ko za žlindro neželeznega izvora oziroma barvnih kovin (baker, aluminij, cink) ne moremo trditi. Žlindra neželeznega izvora predstavlja zgolj 12 % celotne letne proizvodnje žlindre ([7]).

V Evropi se letno proizvede okvirno 45 milijonov ton žlindre železnega izvora. Od tega je približno 12 milijonov ton žlindre iz jeklarske industrije in kar 65 % te žlindre se uporabi v gradbeništvu (nadomeščanje silikatnih zmesi zrn v asfaltnih obrabnih slojih).

Slika 3 prikazuje razporeditev uporabe žlindre v 12 evropskih državah: Avstrija, Belgija, Danska, Nemčija, Finska, Francija, Luksemburg, Nizozemska, Slovenija, Slovaška, Španija in Velika Britanija.



Slika 3: Razporeditev uporabe žlindre iz jeklarske industrije na različnih področjih (Vir: [32])

Iz podatkov na sliki je razvidno, da se večina proizvedene žlindre uporabi v gradbeništvu za proizvodnjo cementnega betona in pri gradnji cest. Med države, kjer je uporaba žlindre vse bolj

prisotna, sodi tudi Slovenija. Letno se je proizvede približno 80000 ton. Za to gredo zasluge trem slovenskim jeklarnam: Acroni, Štore Steel in Metal Ravne.

3.1.1 Zgodovina uporabe žlindre v cestogradnji

Prvi zapisi uporabe žlindre v cestogradnji segajo v čas rimskega imperija. Rimljani so lomljene kose žlindre, pridobljene iz talilnic surovega železa, uporabljali za nosilne konstrukcije cest. Nato se je razvoj uporabe žlindre v cestogradnji upočasnil in šele leta 1813 so v Angliji začeli uporabljati žlindro za namen izgradnje cest. Potrebovali so le 17 let, da so zgradili prvo cesto iz žlindre. Bolj množična uporaba žlindre v različnih dejavnostih se je pričela v sredini 19. stoletja z odkritjem latentnih hidravličnih lastnosti granulirane plavžne žlindre. Tlakovane ceste iz blokov žlindre so se do leta 1880 dodobra uveljavile tako v Evropi kot tudi v Združenih državah Amerike. V Srednji Ameriki je po tlakovanih cestah iz žlindre izstopalo mesto San Juan v Puerto Ricu ([31]).

Nova prelomnica proizvodnje žlindre sega v čas prve svetovne vojne. Razlog je bil povečanje proizvodnje jekla in s tem tudi povečanje proizvodnje žlindre. Nastali problem s skladiščenjem odpadnega materiala žlindre so rešili z intenzivno gradnjo cest z žlindro za vojaški namen.

V Sloveniji se je žlindra začela uporabljati v šestdesetih letih prejšnjega stoletja. Pridobljena je bila v večini iz Siemens-Martinovih peči. Njena uporaba je bila omejena na nasipne in nevezane nosilne plasti. Na začetku so se pojavljale številne poškodbe, ki so bile posledica nestabilne mineralne sestave in s tem nabrekanja voziščne konstrukcije. Tako si je žlindra že v začetni stopnji uporabe pridobila negativno konotacijo. Z nadaljnjimi raziskavami so prišli do ugotovitev, da je potrebno žlindro le pravilno in kontrolirano predelati pod ustreznimi pogoji. Pri tem velja omeniti podjetje ECOlogic d. o. o. (od leta 2010 je predelavo črne žlindre prevzelo podjetje Harsco Minerali), ki je leta 2006 zgradilo objekte in naprave za predelavo črne žlindre v elektroobločni peči jeklarne Acroni. Proizvodnja črne žlindre je odvisna od proizvodnje jeklarne. Letno se v jeklarni Acroni proizvede med 35 in 40 tisoč ton črne žlindre, medtem ko je poraba agregata pri proizvodnji bitumenskih zmesi v letu 2010 znašala 150 do 200 tisoč ton. Omenjeno podjetje je aprila leta 2007 v sodelovanju s Cestnim podjetjem Kranj zgradilo prvi odsek ceste z uporabo žlindre kot glavnega agregata. Testni odsek je bil zgrajen na izvozu kamnoloma Kamna Gorica v dolžini 600 metrov. Poleg CP Kranj je pomembno vlogo pri razvoju žlindre v asfaltu odigralo Primorje d. d. Ravno tako so v letu 2007 zgradili več testnih polj (Ajdovščina–Lokavec, Idrsko–Peršeti, avtocestni odsek Vrhnika–Logatec, Divača–Kozina) z uporabo žlindre v asfaltnih zmesih.

V letu 2011 pa je nastal projekt Rebirth – Promocija recikliranja industrijskih in gradbenih odpadkov in njihova uporaba v gradbeništvu. Omenjeni projekt je financiran s strani Evropske komisije (program Life+), Ministrstva za kmetijstvo in okolje in drugi partnerji (Zavod za gradbeništvo, GZS ...). V tem projektu se ukvarjajo tudi z uporabo jeklarske žlindre v asfaltnih zmesih, saj žlindra sodi k industrijskim odpadkom.

3.1.2 Uporaba žlindre na različnih področjih gradbeništva

V svetu (ZDA, Nemčija, Francija, Velika Britanija, Italija, Avstrija) je uporaba žlindre na področju gradbeništva v porastu. Zasluga za njeno vedno večjo uporabo gre na račun njenih odličnih fizikalnih in mehanskih lastnosti (odpornost proti obrabi, dinamična žilavost ...) ter njene kemične inertnosti. Uporaba je razpršena na različna področja v gradbeništvu:

- žindra v cestogradnji

Največja uporaba žlindre sega na področje cestogradnje. Prisotna je v vseh plasteh voziščne konstrukcije. Uporabimo jo lahko v nevezanih nosilnih plasteh in kot agregat za obrabno oziroma obrabno-zaporne bituminizirane zmesi. Njena uporaba pa je najbolj smiselna v obrabno-zapornih plasteh, saj prisotnost žlindre povečuje odpornost bituminizirane zmesi proti zaglajevanju. Kljub začetnim težavam z volumsko stabilnostjo le-to sedaj lahko kontroliramo z ustrezno predelavo žlindre. Poleg tega je njena uporaba primerna, ker nam ni potrebno uvažati silikatnega materiala iz sosednjih držav, saj ga v Sloveniji primanjkuje. S tem lahko porabimo odpaden material, zmanjšamo stroške in zmanjšamo obremenitev na okolje. Poleg tega se lahko žindro uporabi za tamponske plasti, nasipe, zasipe in tudi protihrupne nasipe.

- železniške proge

Na železniških progah se žindra uporablja namesto visoko kakovostnega tolčenca.

- žindra v betonu

Žindro lahko uporabimo tudi kot dodatek k betonu. S svojimi lastnostmi izboljša kvaliteto samega betona in v povprečju 35 % do 65 % nadomesti uporabo Portland cementa v betonu. S tem prihranimo pri porabi Portland cementa in razbremenimo okolje, ker nam ni potrebno skladiščiti odpadnega industrijskega materiala.

- hidrotehnična dela

Zaradi velike prostorninske mase žlindre se le-ta uporablja za regulacijo vodnih poti, valobranov, erozijske zaščite in urejanja brežin vodotokov. Predvsem ustrezna je za valobrane (nasip ali zid, ki varuje obalo ali pristanišče), ker ima cement z dodatki žlindre veliko odpornost na morsko vodo (sol).

- ostalo

Žindra velikih frakcij se lahko uporablja za drenažne plasti, medtem ko se agregat fine frakcije lahko uporabi za peskanje kovinskih in betonskih konstrukcij, kjer nadomeščajo uporabo kremenčevega peska. Poleg tega se fine frakcije uporabljajo tudi za različne tesnilne plasti.

3.2 Metalurška in jeklarska žindra

Najbolj splošno ločevanje žlindre je opredeljeno glede na njen izvor. Izvor je odvisen od industrije, iz katere izhaja žindra, in ga ločimo na železni (železo, jeklo) in neželezni (barvne kovine) izvor. Za uporabo v cestogradnji je večinoma uporabljena žindra železnega izvora. Proizvodnjo žlindre železnega izvora delimo na metalurško (plavžno) in jeklarsko žindro. Žindra je torej stranski produkt metalurških procesov železarske in jeklarske industrije. Posamezne vrste žlindre so odvisne od vrste proizvodnega procesa pridobivanja železa in jekla ter jih v splošnem ločujemo na sledeči način:

- »plavžne žindre (Blast Furnace Slags – BFS)
 - i) granulirane plavžne žindre (Granulated Blast Furnace Slags – GBS)
 - ii) na zraku hlajene plavžne žindre (Air-Cooled Blast Furnace Slags – ABS)
- žindre oksidacijskih talilnih peči (Basic Oxygen Furnace Slags – BOS)
- žindre elektroobločnih peči (Electric ARC Furnace Slags – EAF)
 - i) nastale pri proizvodnji navadnih ogljikovih jekel – črna žindra (Slovenija) [EAF C]
 - ii) nastale pri proizvodnji nerjavnih oz. visoko legiranih jekel – bela žindra (Slovenija) [EAF S]
- žindre iz sekundarnih metalurških procesov [SECS]« (cit. po [7])



Slika 4: Proizvodnja žlindre železnega izvora za leto 2010 (Vir: [7])

Med plavžne žindre torej sodita granulirana plavžna žindra in na zraku ohlajena plavžna žindra. Že njuno ime nam pove, da ju pridobivamo v talilnih pečeh, ki jih imenujemo plavži oziroma visoke peči. Pridobivamo ju v procesu proizvodnje vroče kovine (surovega železa) s termokemično redukcijo in taljenjem oksidne železove rude. Za proces pridobivanja je značilno dodajanje apnenca, dolomita in ostalih dodatkov. Pomembno vlogo odigrajo redukcijska sredstva (koks in premog), ki s svojim izgorevanjem proizvedejo strupeni ogljikov monoksid (CO), ki povzroči, da se železova ruda stali v vročo kovino tekočega stanja. V spodnjem delu plavža torej dobimo vroče surovo železo in tekočo

žlindro (nečistoče). Žlindra se zaradi svoje manjše gostote nahaja nad železom. Nadaljnji postopki odvajanja žlindre iz peči so odvisni od predvidenega namena končne uporabe. V primeru ABS (kristalna plavžna žlindra) žlindre je značilno počasno ohlajanje na zraku. Žlindro deponiramo na ustrezno odlagališče, kjer jo izpostavimo atmosferskim vplivom. Pod omenjenim vplivom se formira material s kristalinsko strukturo. Tako dobimo ABS žlindro svetlo sive barve, ki je podobna kamenemu agregatu z veliko poroznostjo. Poleg tega jo običajno uvrščamo v skupino agregatov z normalno težo.



Slika 5: ABS – kristalna plavžna žlindra (Vir: [33])

Druga možnost pridobivanja plavžne žlindre je GBS žlindra (granulirana plavžna žlindra). Če je bilo za ABS žlindro značilno počasno ohlajanje na zraku, je za GBS žlindro značilno takojšnje hitro ohlajanje. Žlindro, ki jo dobimo direktno iz plavža, moramo razliti po tleh in takoj začeti ohlajati s hladno vodo ali pa prepustiti pršenju z vodo. Takšen način obdelave materiala lahko označimo tudi kot začetek procesa granulacije, saj se v njem začne izvajati več kemijskih reakcij. S tem procesom torej dobimo material steklaste oblike z latentnimi hidravličnimi lastnostmi. V primeru, da GBS žlindri dodamo ustrezen aktivator (kalcijev hidroksid), se bo material obnašal podobno kot Portland cement.



Slika 6: GBS – granulirana plavžna žlindra (Vir: [33])

Poleg plavžne žlindre se je v svetu razvila še proizvodnja jeklarske žlindre. Pri proizvodnji se uporabljajo vse vrste jekel, zato se jeklarske žlindre med seboj razlikujejo po sestavi in lastnostih. Poznamo dve osnovni vrsti jeklarske žlindre: BOS – Basic Oxygen Furnace Slags (žlindra iz

oksidacijskih talilnih peči) in EAF – Electric Arc Furnace Slags (žindre elektroobločnih peči). Za žindro, proizvedeno v oksidacijskih talilnih pečeh, je značilen proces, imenovan osnovni oksidacijski postopek. Zanj velja, da v oksidacijskih talilnih pečeh obdelujemo talino surovega železa, ki je obogatena z ogljikom. S pomočjo vpihovanja čistega kisika v vročo talino surovega železa zmanjšujemo raven ogljika v zmesi zlitine. S tem procesom dobimo nizko legirano jeklo in žindro kot industrijski stranski produkt. Proizvodnja tako pridobljene žindre je bistveno manjša kot v primeru pridobivanja žindre z elektroobločnimi pečmi.



Slika 7: BOS – žindra iz oksidacijskih talilnih peči (Vir: [34])

Druga vrsta jeklarske žindre se imenuje EAF – Electric Arc Slags. Njen nastanek je odvisen od procesa taljenja recikliranega odpadnega jeklenega materiala. Odpaden jeklen material se pridobiva pri proizvodnji surovega jekla v elektroobločni peči. V nadaljnjem procesu omenjenemu materialu dodamo vnaprej določene dodatke (apnenec, dolomit, apno ...). Tako jekleni material in odpadki s pomočjo električnega toka v peči segrejemo do te mere, da dobimo ustrezno talino. Torej iz tega procesa pridobivamo dve vrsti žindre: EAF C in EAF S. V Sloveniji ju imenujemo črna EOP žindra in bela EOP žindra. Obe sta odvisni od kvalitete vhodne surovine in od vrste nameravane kvalitete proizvodnega jekla. Poleg tega se žindri med seboj razlikujeta po kemični in mineralni sestavi. Od vseh teh lastnosti je odvisna tudi njuna uporaba v cestogradnji.

Za EAF C žindro je pomembna proizvodnja (nelegiranih) ogljikovih jekel, ki jih dobimo s pretaljevanjem odpadnih (navadnih) ogljikovih jekel. Na lastnosti teh jekel odločilno vpliva prisotnost ogljika, medtem ko ostali kemijski elementi nimajo tako pomembne vloge za sestavo jekel. Stranski produkt tega procesa sta prej omenjeni EAF C žindra ali črna EOP žindra.

Pri pridobivanju EAF S žindre pa je pomembna proizvodnja nerjavih oz. visoko legiranih jekel. Za to proizvodnjo potrebujemo odpadke iz visoko ali nizko legiranih jekel in ostalih potrebnih zlitin, s katerimi zagotovimo ustrezno kemijsko sestavo. Pri procesu izdelave visoko legiranih jekel dobimo stranski produkt v obliki EAF S žindre oziroma belo EOP žindro.

Prostorninska masa črne in bele EOP žindre je nekoliko večja, kot to velja za plavžne žindre in večino naravnih zmesi zrn kamenega izvora. Prav tako imata obe EOP žindri večji delež koncentracije težkih kovin v primerjavi s plavžno žindro, vendar jih z ustreznimi postopki ločimo iz njihove sestave. Eden ključnih elementov pri pridobivanju žindre z ustrezno kemično in mineralno sestavo je obdelava žindre pri izstopu iz talilnega procesa. To področje zajema tako deponiranje žindre na prostem, sekundarno ohlajanje in stabilizacijo v hladilnih bazenih. Pri deponiranju žindre

na prostem se material počasi ohlaja in pridobiva kristalinsko strukturo. Za sekundarno ohlajanje in stabilizacijo v hladilnih bazenih je značilno, da potekata dalj časa in vplivata na proces karbonatizacije apna v žindri. To pomeni, da žindra pridobi na svoji stabilnosti, saj ob nadaljnjem stiku z vodo žindra ne nabrekne. Po vseh teh procesih predelave žindre sledi še večstopenjsko drobljenje, sejanje in razvrščanje materiala na ustrezne frakcije, da ga kasneje lahko uporabimo na različnih področjih v gradbeni industriji ([7]).



Slika 8: EAF C – črna EOP žindra

3.3 Predelava črne in bele žindre

Črna žindra je stranski produkt pri pretaljevanju recikliranega nelegiranega jeklenega odpadka v elektroobločnih pečeh. Osnovna surovina je jeklen vložek oziroma staro razrezano železo, ki se mu v samem procesu doda apno, kasneje pa še ogljik in kisik. Talina v elektroobločni peči doseže temperaturo do 1600 °C.



Slika 9: Elektroobločna peč

Elektroobložna peč sestoji iz plašča in pokrova peči. Zaradi visokih temperatur je peč obložena z visokotemperaturno odporno opeko, ki služi kot izolacija med talino jekla in pečjo. V sami peči se črna žindra nahaja na površini raztaljenega jekla in tako lahko odteka v korito, ki se nahaja pod pečjo. Zaradi omejene prostornine korita pod pečjo moramo poskrbeti za stalen, reden in nemoten odvoz žindre. Prevoz je še toliko bolj pomemben, saj se v koritu žindra prične strjevati. Premeščanje žindre na deponijo v bližini jeklarne poteka s posebnimi bagri, ki naložijo žindro iz korita na za to primerne kamione. Ko žindro razporedimo na deponiji, se začne proces, ki ga imenujemo staranje žindre.



Slika 10: Ohlajevanje črne žindre (Vir: [38])

Prva faza staranja žindre poteka 15 dni. V teh dneh se žindro ves čas nadzoruje in hladi z vodnimi prhami. S temi postopki zagotovimo optimalno ohlajanje, ki pripomore k razvijanju kristalne strukture materiala ([35]). Poleg tega pa sočasno potekata tudi proces karbonatizacije apna v žindri in pretvorba v stabilno obliko apnenca, da kasneje v končnem agregatu ob stiku z vodo ne prihaja do nabrekanja ([36]). Omenjeni procesi so ključnega pomena za zagotavljanje končne kakovosti materiala.

Druga faza staranja žindre poteka naslednjih 30 dni. V tej fazi se agregat s kombinacijo suhih in mokrih postopkov dokončno predela.



Slika 11: Mokro sejanje (Vir: [38])

Po drugi fazi sledi še nekaj postopkov, ki so obvezni pred dokončno uporabo materiala v gradbeništvu: večstopenjsko izločanje železa (magnetno separiranje), večstopenjsko drobljenje in sejanje ob istočasnem izpiranju z vodo. S postopkom magnetne separacije izločimo železo iz materiala, medtem ko z drobljenjem in sejanjem dobimo agregat ustrezne nazivne frakcije.

V primeru, da sta predelava in proces nastajanja črne žlindre kakovostna, lahko črno žlindro imenujemo tudi umetni eruptivec. To lahko trdimo predvsem zaradi podobnih mehanskih karakteristik in podobnosti v mikrostrukturi med črno žlindro in eruptivnimi magmatskimi kamninami. Prav podobnost v mikrostrukturi materialov nam zagotavlja visoko stopnjo žilavosti in dolgoročno hrapavost zmesi zrn črne žlindre. To sta tudi bistveni lastnosti, da lahko žlindro uporabimo v obrabnih asfaltnih plasteh. Vendar se pri predelavi žlindre v agregat pojavita dve dodatni zahtevi, s katerima lahko žlindro primerjamo z naravnimi zrnji. Prva zahteva je povezana z že prej omenjeno zadostno stopnjo karbonatizacije agregata. To pomeni, da mora agregat vsebovati čim manjšo količino apna, saj z vlago iz zraka ali meteorno vodo prehaja v hidroksid, ki ima večji volumen kot apno. Posledica tega procesa je, da kompozit, v katerega je vgrajena žlindra, lahko nabrekne. Tej slabosti se lahko izognemo s primernim postopkom prej omenjenega staranja žlindre. Druga zahteva se nanaša na varovanje okolja. Sestava izlužka iz agregata ne sme vsebovati preveč toksičnih komponent, s čimer dokazujemo, da žlindra ni strupena za okolje. Tako lahko z laboratorijskimi raziskavami vsebovanosti apna v žlindri in toksičnih komponent v izlužku agregata zadostimo vsem standardom za nadaljnjo uporabo črne jeklarske žlindre v cestogradnji ([35]).

Bela jeklarska žlindra ravno tako kot črna nastaja v elektroobločni peči, vendar pri pretaljevanju recikliranega legiranega jeklenega odpadka. Postopek pridobivanja v elektroobločni peči je enak kot pri pridobivanju črne žlindre. Žlindri se med seboj razlikujeta tako po kemični in mineralni sestavi kot tudi pri sami predelavi po izstopu iz peči. Belo žlindro se iz peči odpelje na primerno deponijo, kjer je nameščen sistem za pršenje z vodo, ki je od žlindre oddaljen približno 1–3 metre. Glavna naloga

sistema pršenja z vodo je preprečevanje nekontroliranega prašenja ter ob tem še hladi in stabilizira vročo žindro. Sledi proces, pri katerem se izločijo večji kosi kovine. Izločanje kosov kovine poteka v zaprtem in zvočno izoliranem prostoru. Temeljni del omenjenega procesa je mehansko ločevanje brez kemikalij in le ob prisotnosti vode. Iz žindre se torej izloči kar 99 % kovinskih delcev, ki se kasneje vrnejo v proces proizvodnje jekla. Tako proizvedeno belo žindro lahko uporabimo v cestogradnji in tudi na področju inženirstva ([36]).

4 LASTNOSTI ČRNE JEKLARSKE ŽLINDRE

Lastnosti črne jeklarske žlindre so odvisne predvsem od različnih vrst proizvodnje jekel. Kot sem že omenil, se črna jeklarska žindra predela pri proizvodnji nelegiranih jekel v elektroobločnih pečeh. Postopek predelave se je iz leta v leto nadgrajeval, tako da je črna žindra pridobila vse potrebne lastnosti za ustrezno primerjavo z lastnostmi naravnih eruptivnih kamnin. Z nadgradnjami postopkov predelave je črna žindra izgubila negativni prizvok, ki si ga je ustvarila v preteklosti. Njene pozitivne lastnosti so dokazali z večjim številom potrebnih preiskav:

- preiskava mineralnih lastnosti žlindre
- mehansko-fizikalne lastnosti
 - I. prostorninska masa zrn
 - II. vpijanje vode
 - III. odpornost proti drobljenju
 - IV. odpornost proti zaglajevanju
 - V. odpornost proti zmrzovanju
- volumska stabilnost
- vsebovanost težkih kovin
- radioaktivnost

Vse našteje preiskave so pokazale, da se črna jeklarska žindra lahko primerja z lastnostmi naravnih eruptivnih kamnin. Zaradi ustreznih mehansko-fizikalnih, kemijskih in mineralnih lastnosti je črna žindra dobra sekundarna surovina. V gradbeništvu (cestogradnji) celo nadomešča naravne eruptivne kamnine v bituminiziranih zmeseh. Poudariti pa velja, da med posameznimi jeklarskimi žlindrami prihaja do malenkostnih razlik v lastnostih. Vzroki za razlike med žlindrami se skrivajo v različnih vrstah jekeln, različnih proizvodnih procesih jekla in žlindre, vrstah talilnih peči in sistemih skladiščenja.

4.1 Mineralna in kemijska sestava črne žlindre

Pomemben faktor pri uporabnosti črne žlindre je tudi mineralna sestava žlindre. Z ustrezno pripravo žlindre zagotovimo, da ne prihaja do nastajanja nezaželenih mineralnih faz (periklaz, apno). V primeru, da imamo v mineralni sestavi tudi periklaz in apno, se materialu v atmosferskih razmerah poveča prostornina. Torej pride do starega problema žlindre, da kompozit v stiku z vlago ali meteorno vodo nabrekne. Te količine lahko dodobra omejimo z ustreznimi dodatki pri pretaljevanju materialov. Z drugimi besedami so nezaželene faze in mineralna sestava odvisne tudi od kemične sestave vhodnih surovin, načina ohlajanja in staranja žlindre. Omenjeni parametri določajo uporabno vrednost žlindre ([9]).

Najpomembnejše komponente kemijske sestave žlindre so CaO, SiO₂ in FeO. Poleg teh treh imamo še nekaj pomembnejših komponent, kot so MgO, MnO in Al₂O₃. Če omenjene komponente kemijske sestave žlindre izrazimo v masnih %, je ta sestava približno takšna:

- CaO = 30 m.-%
- FeO in Fe₂O₃ = 30 m.-%

- $\text{SiO}_2 = 15 \text{ m.-%}$
- $\text{Al}_2\text{O}_3 = 8 \text{ m.-%}$
- $\text{MnO} = 4,5 \text{ m.-%}$
- $\text{Cr}_2\text{O}_3 = 1,5 \text{ m.-%}$
- $\text{MgO} = 8 \text{ m.-%}$ ([8])

Poleg kemijske sestave žlindre imamo tudi glavne minerale, ki jih najdemo v žlindri:

- silikati: CaMgSiO_4 , CaSiO_4 , Mg_2SiO_4 , CaSiO_3 , $\text{Mg}_2\text{FeSiO}_5$
- alumosilikati: $\text{CaAl}_2\text{SiO}_6$...
- špineli: MgFe_2O_4 , CaFe_2O_4 , MgAl_2O_4 , FeCr_2O_4 , Fe_3O_4 , MgCr_2O_4
- minerali prostih oksidov: CaO , MgO , FeO , MnO ...
- fosfati: $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$
- sulfidi: CaS , MnS , FeS ... ([8])

V splošnem ne moremo določiti enake mineralne sestave za vse vrste žlinder. Spremembe mineralne sestave se lahko pojavijo zaradi različnih vzrokov pri predelavi žlindre (temperatura, delež surovin, način ohlajanja). Lahko pa določimo neko okvirno mineralno sestavo žlindre, ki je prikazana v preglednici 3 ([8]).

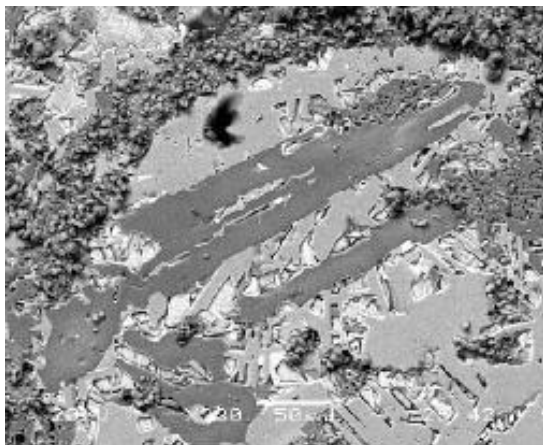
Preglednica 3: Mineralna sestava žlindre (Vir: [8])

Minerali	Vol %
Kalcijevi silikati (C_3S , C_2S)	45
Wustit (Fe , Mn , MgO)	43,5
Brownmillerit (C_4AF)	7
Mayenit (C_{12}A_7)	1,5
Špinel (kromit - fCr)	1
CaO	1,5
MgO	0,5

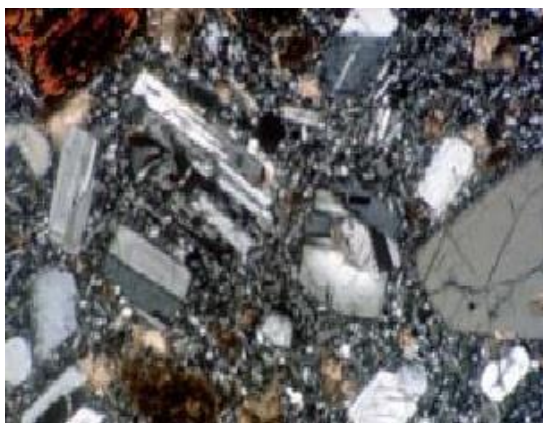
Iz preglednice je razvidno, da v mineralni sestavi črne žlindre prevladujeta dva glavna minerala, to sta kalcijev silikat in wustit. Poleg teh dveh mineralov se pojavijo še drugi silikati in aliminati.

Kot sem že v točki 3.3 omenil, lahko črno žlindro enakovredno primerjamo z naravnimi eruptivnimi kamninami. To trditev dokažemo tudi s primerjavo struktur obeh materialov. Zaradi dobre kristaličnosti in strukture lahko primerjamo črno žlindro s porfirsko strukturo naravnih eruptivnih kamnin. Takšna struktura materiala pripomore k visoki žilavosti in dolgoročni hrapavosti agregata v obrabnih asfaltnih plasteh. Preden pa žlindra pridobi takšno strukturo, jo moramo pravilno ohlajevati. V primeru pravilnega počasnega ohlajanja ima material dovolj časa, da vsi kristalni nukleusi kristalizirajo. Pri tem dobimo zrna, ki jih imenujemo vtrošniki ali fenokristali. Zanje je značilno, da dosežejo večje dimenzije kot ostala zrna in se pod mehanskimi vplivi drugače obrabljajo kot ostala kristalizirana masa. Velikokrat pa se zgodi, da agregat želijo prehitro poslati na trg. Pri tem pride do prehitrega ohlajanja in vsi kristalni nukleusi nimajo dovolj časa, da se kristalizirajo. Posledica tega

dejanja je deloma porfirska in deloma steklasta struktura materiala. Pri nadaljnjih preiskavah je to glavni vzrok, da dobimo slabše rezultate na odpornost proti drobljenju (Los Angeles) in na odpornost proti zaglajevanju (PSV) ([10]).



Slika 12: Struktura žindre (Vir: [6])



Slika 13: Struktura naravne eruptivne kamnine (Vir: [6])

4.2 Mehansko-fizikalne lastnosti

Mehansko-fizikalne lastnosti so pomemben faktor pri primerjavi črne žindre in naravnih silikatnih kamnin. Lastnosti črne žindre so v večini karakteristik celo boljše kot to velja za silikatne kamnine. Tako za črno žindro velja, da ima odlično odpornost proti zaglajevanju in drobljenju. Rezultata odpornosti proti zmrzovanju in taljenju sta vsaj enakovredna, če ne boljša kot v primeru silikatnih kamnin. Zaradi precej večje poroznosti materiala žindre pa zanj velja, da ima nekoliko večjo vodovpojnost. Omenjena karakteristika vpliva tudi na malce višje vpijanje bitumna v bituminizirano zmes. V preglednici 4 so prikazane le nekatere mehansko-fizikalne lastnosti obeh materialov ([6]).

Preglednica 4: Primerjava lastnosti črne žindre in eruptivnih zmesi zrn (Vir: [6])

Zaporedno število	Lastnosti	Metoda preiskave	Enote	Žindra A	Žindra B	Žindra C	Eruptive c D	Eruptive c E
1	Prostorninska masa zrn	SIST EN 1097-6	Mg/m ³	3,81	3,95	3,60	2,95	2,87
2	Vpijanje vode	SIST EN 1097-6	%	1	2,5	3,1	<1	<1
3	Odpornost proti drobljenju	SIST EN 1097-2	%	15	16	18	18	17
4	Odpornost proti zaglajevanju	SIST EN 1097-8	kategorija	PSV ₆₁	PSV ₅₆	PSV ₆₁	PSV ₅₀	PSV ₅₀
5	Odpornost proti zmrzovanju in tajanju z magnezijevim sulfatom	SIST EN 1367-2	%	0	—	0,1	—	—
6	Odpornost proti zmrzovanju in tajanju	SIST EN 1367-1	kategorija	—	F ₁	—	F ₁	F ₁

4.2.1 Prostorninska masa zrn

Prostorninska masa zrn črne žindra je ena redkih slabosti, ki prihaja do izraza pri uporabi zrn črne žindre. V večini primerov se prostorninska masa zrn žindre giblje med 3,2 in 3,8 Mg/m³. V primerjavi z naravnimi silikatnimi materiali je vrednost presežena za okvirno 1 Mg/m³. Zaradi tega prihaja do večjih transportnih stroškov pri uporabi žindre, saj kamion lahko na gradbišče pripelje manjšo količino bituminizirane zmesi.

4.2.2 Vpijanje vode v groba zrna (SIST EN 1097-6, dodatek 7)

»Preizkus se izvaja na posameznih frakcijah, katere predhodno mokre presejemo in jim v piknometrih določimo gostoto. Mokra zrna pustimo, da z njih odteče odvečna voda in jih obrišemo s krpo. Zrna razprostremo po krpi in pustimo na zraku, da se površinski film vode posuši, zrna pa so še vedno vlažna (zrna so površinsko suha, vendar so nasičena z vodo). Zrna nato posušimo. Absorbcijo vode se določi kot razliko mase med površinsko suhimi zrni, ki so nasičena z vodo, ter čisto suhimi zrni. Rezultat se podaja v masnem deležu vode glede na suha zrna« (cit. po [2]).

V preglednici 4 je razvidno, da se dobljeni rezultati med materialoma najbolj razlikujejo prav v vrednostih vpijanja vode. Vzrok lahko iščemo predvsem v večji poroznosti žindre in večji prostorninski masi žindre, saj je slednja v povprečju večja za 20 % glede na prostorninsko maso eruptivnega materiala.

Preglednica 5: Absorbpcija vode (Vir: [2])

Absorbpcija vode (m.-%)	Kategorija WA
≤ 1	WA 1
≤ 2	WA 2
Opomba: absorbpcija vode se ne more prevzeti za plavžno žindro	

4.2.3 Odpornost proti drobljenju (SIST EN 1097-2)

Ena od pomembnejših mehanskih lastnosti materiala je tudi odpornost proti drobljenju. S to lastnostjo določamo trajnost zrn žindre v voziščni konstrukciji. Na trajnost samih zrn bistveno vplivajo mineralna sestava, velikost, oblika in prostorska razporeditev ter svežina mineralov v materialu. Za določanje odpornosti proti drobljenju poznamo dva postopka:

- postopek Los Angeles
- postopek udarne trdnosti

»Preskus zmesi zrn po postopku Los Angeles (LA) temelji na določanju odpornosti zrn proti drobljenju in istočasni obrabi zrn zaradi medsebojnega trenja med postopkom preskusa. Pri postopku LA določeno število jeklenih krogel z določeno maso, vstavljenih skupaj z zmesjo zrn v predpisani boben, med vrtenjem drobi in melje zrna.« (cit. po [2]) Količnik LA določimo s pomočjo v naprej predpisane formule, ki je sledeča:

$$LA = \frac{m_0 - m_1}{m_0} * 100 [kN/m^2]$$

m_0 – masa vzorca zmesi zrn pred preiskavo (g)

m_1 – masa vzorca zmesi zrn po preiskavi, ki je ostal na situ 2 mm po izpiranju drobnejših zrn ([1])

Preglednica 6: Vrednosti Los Angeles količnika (Vir: [2])

Los Angeles količnik	Kategorija LA
≤ 20	LA ₂₀
≤ 25	LA ₂₅
≤ 30	LA ₃₀
≤ 40	LA ₄₀
≤ 50	LA ₅₀
Ni zahteve	LA _{NZ}



Slika 14: Naprava za izvajanje Los Angeles preizkusa

Odpornost proti drobljenju je tudi dober pokazatelj žilavosti in dolgoročne obstojnosti materiala. Za črno jeklarsko žindro je značilno, da količnik Los Angeles v skladu s SIST EN 1097-2 znaša 17.

4.2.4 Odpornost proti zaglajevanju – poliranju (SIST EN 1097-8)

Odpornost proti zaglajevanju je pomembna mehanska lastnost predvsem za obrabno zaporno plast vozišča. Iz več študij je bilo dokazano, da je drsenje vozil na mokrih voznih površinah eden glavnih vzrokov za številne prometne nesreče. Vozna površina nam mora nuditi zadostno odpornost proti zdrsom, kar zagotovimo z ustrežno grobo in fino hrapavostjo zrn. V primeru kamnin, kot je apnenec, se vozna površina pri trenju hitro zglati in postane spolzka. To pa ne velja za eruptivne kamnine in žindro, saj imajo njuni minerali selektivno obrabo, kar jima daje prednost pri uporabi v cestogradnji. Odpornost grobih zrn proti zaglajevanju mora biti preizkušena po postopku pospešenega zaglajevanja in ovrednotena kot količnik PSV (Polished stone value). »Pri preskusu je treba v modelček zložiti 36 do 46 zrn velikosti 7,2 do 10 mm in jih zaliti z epoksidnim lepilom. Na kolo aparature za poliranje je treba vpeti modelček s preskušanimi zrnji in modelček s kontrolnimi zrnji. Sledi poliranje z abrazivnim materialom (320 min). Na kontrolnih in testnih vzorcih se z aparaturo za merjenje drsnosti (nihalom SRT) izmeri drsnost. Rezultat se odčita na merilni skali.« (cit. po [2])

Iz preglednice 4 je razvidno, da so vrednosti količnika PSV pri črni žindri še večje kot so pri naravnem eruptivnem materialu. V standardu SIST EN 1097-7 je zapisano, da mora imeti črna žindra količnik PSV vsaj 61. S tem lahko zagotovimo, da črna žindra zagotavlja potrebno torno sposobnost voznih površin. Poleg tega to velja tudi za obremenitev z zelo težko prometno obremenitvijo.

4.2.5 Odpornost proti zmrzovanju in tajanju

Odpornost proti zmrzovanju je bistvena lastnost za zagotavljanje uporabnosti kamnitih ali žilindrinih zrn v obrabno zapornih asfaltnih plasteh. Zaradi izpostavljenosti materiala zmrzovanju in tajanju se v njem pojavijo veliki pritiski. Posledice so vidne v prizadetosti posameznih zrn in kasneje lahko pride do razpadanja obrabne plasti, če je omenjenih zrn veliko.

»Trajnost kamnitih zrn je opredeljena z njihovo odpornostjo proti razpadanju pri preizkusu z zmrzovanjem in tajanjem z magnezijevim ali natrijevim sulfatom v skladu z zahtevami standarda SIST

EN 1367-2. Preskus se izvaja na posameznih frakcijah, ki se jih potopljene v vodo izpostavi desetim ciklusom zmrzovanja pri $-17,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ in tajanja v vodi pri $20\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rezultat analize je izguba mase vzorca (v m.-%) in zapis o morebitnih vizualnih spremembah na vzorcih. Pri preskusu odpornosti kamnitih zrn proti razpadanju z zmrzovanjem in tajanjem je treba ugotovljene vrednosti deležev odkruškov kategorizirati. V primeru, ko za določeno zmes kamnitih zrn vgrajeno v nosilno ali obrabno plast že obstojijo pisna dokazila o trajnosti, preskus odpornosti proti razpadanju ni potreben (cit. po [2]).«
Iz preglednice 4 je razvidno, da so rezultati odpornosti proti zmrzovanju in tajanju materiala žlindre primerljivi z eruptivnimi materiali.

4.3 Volumska stabilnost

V preteklosti je bil glavni problem žlindre volumska nestabilnost. Volumsko nestabilnost sta povzročila kalcijev oksid – apno (CaO) in magnezijev oksid – periklaz (MgO). Oba reagirata z vlago iz zraka in meteorno vodo, kar povzroči nadaljnjo kemično reakcijo, saj dobimo kalcijev hidroksid (Ca(OH)_2) in magnezijev hidroksid (Mg(OH)_2). Ob nadaljnjem stiku z zrakom, predvsem s CO_2 , se tvorijo karbonati, ki povzročijo povečanje prostornine. Posledica tvorbe karbonatov je nabrekanje kompozita, v katerega je žindra kot material vgrajena. S transformacijo prostega CaO in MgO v stabilno obliko pa preprečimo nabrekanje kompozita.



Slika 15: Razpoke v asfaltu zaradi nabrekanja žlindre v nasipnih plasteh pod asfaltom (Vir: [39])

Temu problemu se lahko izognemo z ustrežno obravnavo sveže žlindre, ki jo moramo v določenem obdobju deponirati na primerno odlagališče. Pri tem moramo s procesom, imenovanim »stiranje« žlindre, poskrbeti, da nestabilna minerala vežeta vodo iz atmosfere ter postanejo stabilni komponenti ([6]).

Volumska stabilnost mora biti v skladu s standardom SIST EN 1744-1.



Slika 16: Aparat za določanje volumske stabilnosti zrn črne jeklarske žlindre (Vir: [40])

4.4 Vsebnost težkih kovin v izlužku

Črno jeklarsko žlindro uvrščamo med odpadne materiale, zato zanjo veljajo posebni predpisi o dokazovanju neškodljivosti omenjenega materiala za naravno okolje. Predpisi velevajo, da moramo dokazati neškodljivost materiala z določanjem težkih kovin v njihovi sestavi. Za določanje vsebnosti težkih kovin uporabljamo izlužke iz žlindre, ki jih preiskujemo v Kemijskem inštitutu v Ljubljani. Vsebnost težkih kovin je predpisana z nacionalnimi zahtevami v Pravilniku o obremenjevanju tal z vnašanjem odpadkov (Ur. list RS 3/2003, priloga 1, tabela 3). V preglednici 7 so prikazani rezultati preiskave treh žlinder in njihove vsebnosti določenih težkih kovin v sestavi materiala ([6]).

Preglednica 7: Rezultati težkih kovin v žlindri (Vir: [6])

Kovina	Žlindra			Mejna vrednost parametra izlužka L/S = 10 l/kg
	A	B	C	
Živo srebro (Hg)	<0,001		<0,001	0,01
Cink (Zn)	<0,01	<0,001	<0,4	4
celotni Krom (Cr)	<0,03	<0,001	<0,3	0,5
Nikelj (Ni)	<0,01		<0,04	0,4
Baker (Cu)	<0,01		<0,2	2
Svinec (Pb)	<0,01	<0,001	<0,05	0,5
Kadmij (Cd)	<0,001		<0,004	0,04
Arzen (As)	<0,005		<0,05	0,5

Iz preglednice 7 je razvidno, da nobena od treh žlinder ne vsebuje prevelike količine težkih kovin v svoji sestavi. Njihove vrednosti so v primerjavi z vrednostmi v pravilniku po večini bistveno manjše, medtem ko so vrednosti med samimi primerki žlinder zelo podobne.

4.5 Radioaktivnost

Pred uporabo črne jeklarske žlindre v gradbeništvo so morali pregledati sestavo materiala glede na radioaktivnost. S pomočjo Zavoda za varstvo pri delu d. d., Centra za fizikalne meritve in Laboratorija za merjenje specifičnih aktivnosti radionuklidov so v letu 2007 opravili vse potrebne teste za tri vzorce žlindre. Na teh vzorcih so ugotavljali specifično aktivnost radionuklidov. Izmerjene vrednosti so podane v preglednici 8 ([6]).

Preglednica 8: Rezultati specifične aktivnosti radionuklidov v žindri (Vir: [6])

Radionuklid	Žindra (Bq/kg)		
	A	B	C
^{40}K	< 2	$5,9 \pm 2,0$	< 2
^{210}Pb	$3,1 \pm 1,8$	$1,1 \pm 1,0$	< 2
^{232}Th (^{228}Ra)	$4,1 \pm 0,4$	$5,5 \pm 0,4$	$6,0 \pm 0,6$
^{232}Th (^{228}Th)	$4,4 \pm 0,5$	$4,4 \pm 0,4$	$5,5 \pm 0,7$
^{238}U	$13,8 \pm 2,0$	$9,2 \pm 2,4$	$15,3 \pm 2,3$
^{226}Ra	$20,9 \pm 0,8$	$13,3 \pm 0,5$	$19,0 \pm 0,8$

Bq-enaota za aktivnost, 1 razpad na sekundo

Pridobljene rezultate so primerjali z vrednostmi, ki so predpisane v Uredbi o mejnih dozah, radioaktivni kontaminaciji in intervencijskih nivojih (Ur. list RS 49/2004, 32. člen). Omenjen uredba določa mejne vrednosti kontaminacije gradbenih materialov, ki so sledeče:

- 200 Bq/kg za ^{232}Th
- 300 Bq/kg za ^{226}Ra
- 3000 Bq/kg za ^{40}K

Za te vrednosti mora biti izpolnjen naslednji pogoj, ki ga določimo s sledečo enačbo:

$$\frac{C_T}{200} + \frac{C_R}{300} + \frac{C_K}{3000} \leq 1$$

Vrednosti C_T , C_R in C_K so radioaktivne kontaminacije, ki so odvisne od ^{232}Th , ^{226}Ra in ^{40}K . Za omenjene tri vzorce žindre so vrednosti za radioaktivno kontaminacijo prikazane v preglednici 9 ([6]).

Preglednica 9: Radioaktivna kontaminacija žindre (Vir: [6])

ŽLINDRA	Radionuklid (Bq/kg)			Vrednost indeksa
	C_K (^{40}K)	C_T (^{232}Th)	C_R (^{226}Ra)	
Žindra A	< 2	4,1	20,9	0,09
Žindra B	5,9	5,5	13,3	0,07
Žindra C	< 2	6	19	0,09
dovoljena vrednost (max)	3000	200	300	1

Iz izmerjenih vrednostih je razvidno, da so v mejah dovoljenega. Vrednosti so skladne tako po prej omenjeni enačbi kot tudi po mejnih vrednostih, ki so predpisane z Uredbo. Za vse tri vzorce žindre lahko trdimo, da so primerne za uporabo kot gradbeni material ali kot agregat v obrabnih plasteh.

5 LASTNOSTI ASFALJNIH VOZIŠČ Z ZRNI ŽLINDRE

Črna jeklarska žindra v praksi uporabljamo zaradi več razlogov. Z njeno uporabo zmanjšujemo porabo naravnih virov in s tem zmanjšujemo vpliv človeka na okolje. Pri tem nam ni potrebno skrbeti za dodatne deponije odlaganja žindre. Poleg tega so lastnosti asfaltnih vozišč z zrni žindre po raziskavah vsaj enakovredne, če ne boljše od asfaltnih vozišč s silikatnimi in karbonatnimi zrni. Eden od razlogov za to trditev je visoka odpornost zrn žindre proti zaglajevanju. Odlična odpornost proti zaglajevanju je ključnega pomena pri zagotavljanju torne sposobnosti vozne površine v mokrem stanju. Za boljše lastnosti bituminizirane zmesi pripomore tudi odlična odpornost agregata žindre proti drobljenju. Rezultati preiskav in praktični primeri so pokazali tudi boljšo odpornost bituminizirane zmesi proti nastanku kolesnic (visoke temperature) in razpok (nizke temperature). Črna jeklarska žindra pa se uporablja tudi v bituminiziranih zmesih za zmanjšanje emisij hrupa na vozišču. Ena od slabosti uporabe žindre je približno 20 % večja prostorninska masa. S tem se povečujejo stroški transporta bituminizirane zmesi na gradbišče, saj morajo kamioni večkrat peljati na gradbišče. Kljub tej slabi lastnosti se je uporaba agregata razširila v cestogradnji.

5.1 Torna sposobnost asfaltnih vozišč

Torna sposobnost (odpornost proti drsenju) asfaltnih vozišč je ena ključnih lastnosti pri zagotavljanju varnosti v prometu. Drsenje vozil na mokrih in spolzkih vozniških površinah je osnovni in glavni vzrok za vrsto prometnih nesreč. Ker pa pri gradnji cest kot osnovni pogoj zahtevamo varnost vožnje, moramo poznati lastnosti vgrajenih materialov, njihovo obnašanje in spreminjanje torne sposobnosti v daljšem časovnem obdobju.

Torna sposobnost lahko opredelimo kot silo trenja med pnevmatiko in vozno površino. Pri tem moramo zagotoviti ustrezen prenos sil z vozila na vozišče in oprijemljivost pnevmatike z voziščem. Te lastnosti so zagotovljene, če imamo drobno geometrijsko oblikovanost vozne površine (hrapavost) ter ustrezno kakovost in sestavo kamnitih zrn, ki so vgrajena v bituminizirane zmesi. Poznamo dve drobni geometrijski oblikovanosti vozne površine:

- ostrino vozne površine – fina hrapavost
- drenažno sposobnost vozne površine – groba hrapavost

Fino hrapavost zagotovimo s površinsko ostrino. Površinska ostrina je prisotna, kadar je vozna površina motna. V primeru, da se vozna površina blešči, je površinske ostrine premalo. Za fino hrapavost je pomembna tudi ostrina robov in konic zrn, ki jih vsebuje obrabna plast. Druga lastnost drobne geometrijske oblikovanosti vozne površine je groba hrapavost. Omenjeno lastnost ustvarimo z drenažnim sistemom med zrni ali z vtisnjenim drenažnim sistemom ([1]).

Za zagotavljanje ustrezne torne sposobnosti sta potrebni obe hrapavosti. V primeru, da vozna površina nima ustrezne hrapavosti, nastane med pnevmatiko in vozno površino vmesna plast. Če je ta vmesna plast voda, pride do pojava »hidroplaninga«. Zanj je značilno, da voda prepreči ustrezen stik pnevmatike z vozno površino oziroma slab prenos sile s pnevmatike na vozno površino.

V primerih, ko imamo zagotovljeno samo eno hrapavost, ne moremo zagotoviti varne vožnje pri vseh hitrostih. Ko vozna površina vsebuje le fino hrapavost, je torna sposobnost zadovoljiva pri majhnih

hitrostih, ne pa tudi pri večjih. V nasprotnem primeru pa je lastnost torne sposobnosti ravno obrnjena. Za varno vožnjo sta torej potrebni obe hrapavosti.

5.1.1 Opis preiskave meritve torne sposobnosti (odpornost proti drsenju)

Za merjenje torne sposobnosti poznamo dva glavna postopka:

- nihalo SRT (Skid Resistance Tester)
- merilna naprava SCRIMTEX

Nihalo SRT uporabljamo predvsem za merjenje vozniških površin, kjer je hitrost omejena na 50 km/h ali v omejenih prostorih za kontinuirane meritve in za meritve v laboratoriju. S pomočjo gumijaste ploščice in vozne površine lahko posredno izmerimo silo trenja. Gumijasta ploščica je pritrjena na kladivce, ki se nahaja na koncu nihala. Ko nihalo spustimo proti vozni površini, se pri prehodu gumijaste ploščice preko hrapave vozne površine izmeri odpornost proti drsenju. Velikost odpornosti pa odčitamo na skali naprave in jo izrazimo z brezdimenzijsko enoto SRT.



Slika 17: Nihalo SRT (Vir: [41])

V Sloveniji se je za meritve torne sposobnosti uveljavil postopek z merilno napravo SCRIMTEX. Naprava SCRIMTEX je namenjena ugotavljanju hrapavosti in torne sposobnosti vozne površine. Omenjena naprava zagotavlja najbolj neposredne rezultate meritve odpornosti proti drsenju. Napravo SCRIMTEX sestavljajo naslednji elementi:

- merilni mehanizem odpora drsenja z merilnim kolesom
- laserski merilnik hrapavosti
- merilnik temperature zraka in vozne površine
- sistem za dovajanje curka vode pred merilno kolo
- merilni mehanizem s prikazovalnikom merjenih podatkov

Odpornost proti drsenju merimo s pomočjo prosto kotalečega merilnega kolesa s pnevmatiko brez profila, ki je vgrajeno na ogrodje merilnega mehanizma na sredini vozila. Merilno kolo je obremenjeno z znano obtežbo, medtem ko se kotali vzdolž desne kolesnice pod kotom 20° glede na

smer vožnje naprave. V času izvajanja meritve sistem za dovajanje curka vode ves čas moči vozišče z vodo in s tem simulira neugodne razmere na vozni površini. Simulacija mokre vozne površine ima velik vpliv na merjenje oprijemljivosti med pnevmatiko in vozno površino kot tudi na samo odpornost proti drsenju. Ker je merilno kolo nameščeno pod določenim kotom, se pri merjenju pojavi dodatna stranska sila. Stransko silo merimo s pretvornikom sile. Za določanje odpornosti proti drsenju torej uporabimo razmerje med bočno in vertikalno silo. Pridobljene rezultate izrazimo v brezdimenzijskih enotah SR, ki jih kasneje glede na hitrost meritve in temperature vozišča pretvorimo na korigirane enote SR (V, T). S korigiranimi enotami lahko primerjamo pridobljene rezultate meritev iz različnih časovnih obdobj.

Poleg tega je v napravi vgrajen laserski senzor, ki meri hrapavost vozne površine. Kot rezultat te meritve dobimo globino profila vozne površine ([12]).



Slika 18: Merilno kolo (Vir: [41])



Slika 19: SCRIMTEX vozilo (Vir: [41])

5.1.2 Primer meritve torne sposobnosti iz prakse

V Sloveniji so se prvi primeri nadomeščanja naravnega silikatnega in karbonatnega materiala z agregatom črne jeklarske žlindre v obrabno zapornih asfaltnih plasteh pojavili v okviru projekta SPENS. V letu 2008 so izvedli testno polje na avtocesti Postojna – Razdrto. Izvajalec je bilo podjetje

Primorje d. o. o., ki je izvedlo zamenjavo obrabne asfaltne plasti. Vgradili so obrabno bituminizirano zmes, kjer je prevladoval agregat črne jeklarske žindre iz podjetja Acroni. Njihov glavni cilj je bil dokazati, da črna jeklarska žindra doseže zadovoljive rezultate torne sposobnosti v primerjavi z naravnim silikatnim materialom. Pridobljene rezultate so lahko analizirali po kronološkem razvoju tornih sposobnosti kot tudi s primerjavo odseka z naravnim agregatom. Meritve torne sposobnosti so opravili z merilno napravo SCRIMTEX.

Karakterizacija zmesi zrn črne jeklarske žindre in bituminizirane zmesi

Kot sem že omenil, je bil za testno polje Postojna – Razdrto uporabljen agregat črne jeklarske žindre iz podjetja Acroni. Iz preglednice 10 je razvidno, da zmes zrn črne jeklarske žindre zadosti bistvenim zahtevam glede uporabnosti. Bistveni parametri, kot so odpornost proti drobljenju, odpornost proti zaglajevanju, vpijanju vode in volumski stabilnosti, so vsi skladni s standardi. Torej omenjeni parametri in ostali parametri iz preglednice 10 dokazujejo, da je žindra primerna za uporabo v bituminiziranih zmesih ([12]).

Preglednica 10: Lastnosti zmesi zrn črne jeklarske žindre (Vir: [12])

Parameter	Vrednost
Odpornost proti drobljenju - količnik LA (SIST EN 1097-2)	17
Odpornost proti abraziji (SIST EN 1097-1)	8
Odpornost proti zmrzovanju (SIST EN 1367-1)	0,0 mas %
Odpornost proti kristalizaciji soli (SIST EN 1367-2)	0,0 mas %
Vsebovanost finih delcev (SIST EN 933-1)	0,7 mas %
Vpijanje vode (SIST EN 1097-6)	0,5 mas %
Prostorninska masa (SIST EN 1097-6)	3,8 Mg/m ³
Volumska stabilnost (SIST EN 1744-1)	1,6 %
Odpornost proti zaglajevanju (SIST EN 1097-7)	61
Kemijska analiza izlužka (priprava izlužka po SIST EN 1744-6)	Vsebnost težkih kovin je nižja, kot je dovoljeno za inertna odlagališča.

Agregat črne jeklarske žindre so nato uporabili za izdelavo bituminizirane zmesi. Uporabili so frakcije 2/4, 4/8 in 8/11 mm iz agregata črne jeklarske žindre in frakcijo 0/2 mm iz apnenčevega agregata iz kamnoloma Laže. Poleg tega so dodali s polimeri modificiran bitumen, oznake PmB 45/80-65. Tako so v asfaltni bazi Laže proizvedli bituminizirano zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A2. Rezultati preiskave bituminizirane zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom so podane v preglednici 11 ([12]).

Preglednica 11: Rezultati preiskave asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom (Vir: [12])

Preiskava		Vrednost							
Temperatura vzorca		160 °C							
Topni delež bitumna (SIST EN 12697-1)		5,70 %							
Presevki (SIST EN 12697-2)	Sito (mm)	0,063	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16
	Presevek (%)	9,6	12,2	14,7	20,9	31,6	64,1	99,6	100
Največja gostota zmesi (SIST EN 12697-5)		3,042 Mg/m ³							
Prostorska gostota zmesi (SIST EN 12697-6)		2,93 Mg/m ³							
Delež celokupnih votlin (SIST EN 12697-8)		3,7 % (V.-%)							
Delež votlin v mineralnem agregatu (SIST EN 12697-8)		20,1 % (V.-%)							
Zapolnjenost votlin v kamenem materialu (SIST EN 12697-8)		81,4 % (V.-%)							
Prostorninska masa agregata		3,456 Mg/m ³							

Poleg preiskave bituminizirane zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom so opravili preiskave vzorcev omenjene bituminizirane zmesi na odpornost proti nastanku kolesnic in odpornost na nizke temperature. Vrednosti, ki smo jih pridobili s preiskavo, dokazujejo ustreznost asfaltne zmesi za uporabo. Rezultati odpornosti proti nastanku razpok so primerljivi z bituminizirano zmesjo, ki vsebuje silikatne kamnine ([12]).

Preglednica 12: Odpornost proti nastanku kolesnic in odpornost proti nastanku razpok (Vir: [12])

Preiskava	Vrednost
Odpornost proti nastanku kolesnic (SIST EN 12697-22)	
proporcionalna globina kolesnice PRD (%)	3,3
stopnja WTS (mm/1000)	0,03
Odpornost proti nastanku razpok pri nizkih temp. (SIST EN 12697-6:2004+A1:2007)	
temp. pri največji rezervi natezne trdnosti (°C)	-13,9
največja rezerva natezne trdnosti (Mpa)	6,12

Meritve torne sposobnosti

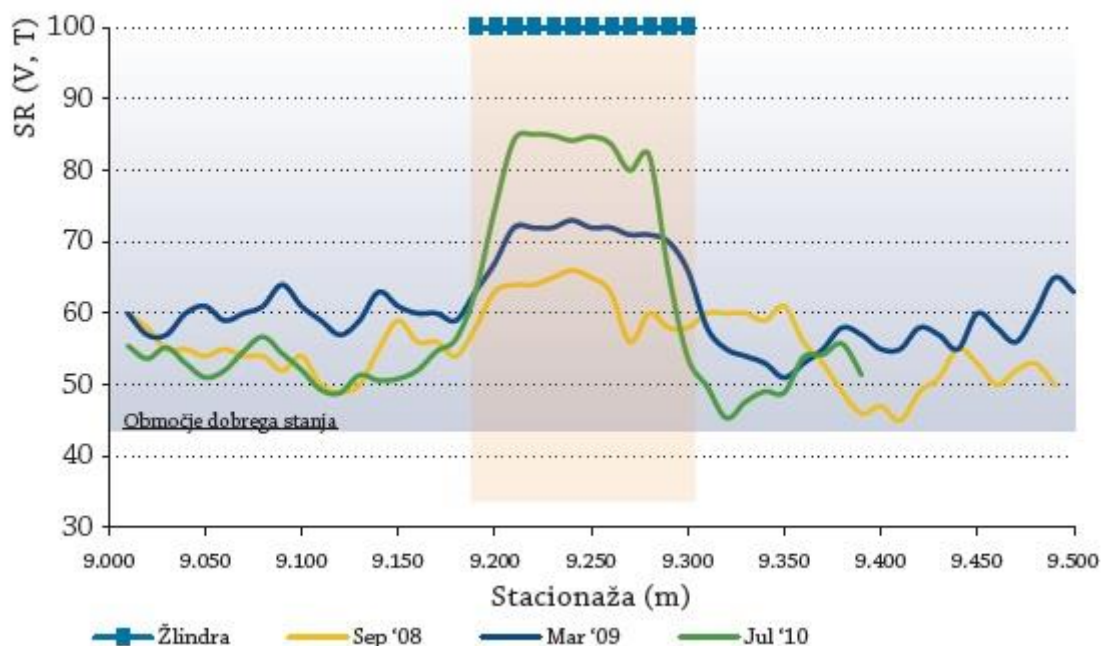
Testno polje, kjer so merili torno sposobnost obrabne asfaltne plasti z agregatom črne jeklarske žindre, se nahaja na avtocestnem odseku A1/0056 med Postojno in Razdrtim. Obrabno zaporno asfaltno plast so izvedli na desnem voznem pasu v smeri proti Kopru. Zanimala sta jih odziv in obnašanje črne jeklarske žindre na tem odseku. Poleg voznega pasu, kjer so bila uporabljena zrna črne jeklarske žindre, so merili odpornost proti drsenju tudi na sosednjih pasovih, kjer so bila v obrabnih asfaltnih plasteh uporabljena zrna naravnega silikatnega materiala. Namen merjenja sosednjih voznih pasov je predvsem primerjava med odzivom zrn črne jeklarske žindre in naravnimi silikatnimi zrn v obrabnih asfaltnih plasteh.

Prve meritve odpornosti proti drsenju so bil izvedene septembra 2008. Iz meritev je bilo razvidno, da je odsek z zmesjo zrn črne jeklarske žindre ne samo primerljiv z odsekom z naravnimi silikatnimi

zrni, temveč so bile vrednosti še nekoliko višje. V povprečju so bile vrednosti pred in po testnem polju z vgrajenim naravnim silikatnim agregatom med 54 in 55 enotami. Na samem testnem polju z žlindro so bile vrednosti v povprečju okoli 61 enot. Razlika med obravnavanima poljema je bila torej razvidna že po prvem merjenju.

Naslednji meritev je bila izvedena marca 2009. Torej po skoraj enoletni uporabi testnega odseka so meritve pokazale še večjo razliko med merjenimi testnimi polji. Povečanje odpornosti proti drsenju je bilo razvidno tudi na testnem polju, kjer so bila vgrajena naravna silikatna zrna. Merjena povprečna vrednost je znaša okoli 60 enot. Izrazito povečanje se je pokazalo na testnem polju z vgrajeno črno jeklarsko žlindro. Povprečna vrednost merjenih rezultatov je znašala 70 enot.

Zadnje merjenje testnega polja je potekalo julija 2010. Na odsekih, kjer so bila vgrajena naravna silikatna zrna, so bile vrednosti primerljive z rezultati, ki smo jih dobili pri prvem merjenju omenjenega odseka. Glede na rezultate odseka z naravnimi silikatnimi zrni bi lahko pričakovali podobne rezultate tudi pri odseku z žlindro. Vendar do tega ni prišlo, saj so se vrednosti pri testnem polju z žlindro še povečale. Povprečna merjena vrednost je znašala 77 enot, kar je bistveno več kot pri polju z naravnimi silikatnimi zrni. Zaradi občutnega povečanja odpornosti proti drsenju na testnem polju z žlindro so rezultate potrdili z večkratnim merjenjem na isti dan. Torej lahko trdimo, da so se odlične torne sposobnosti zrn žlindre pokazale tudi pri končnem vgrajenem proizvodu. Merjene vrednosti torne sposobnosti testnega polja in polj pred in za njim so prikazane na sliki 20 ([12]).



Slika 20: Rezultati merjenja torne sposobnosti (80 km/h) na avtocestnem odseku Postojna – Razdrto (Vir: [12])

Zaključek

Celotno merjeno polje je v območju dobrega stanja glede na odpornost proti drsenju. To trditev lahko potrdimo s kriteriji, ki so podani v »Tehničnih specifikacijah za ceste TSC 06.620: Lastnosti vozni

površin – Torna sposobnost«. Območje z naravno silikatno zmesjo zrn lahko pri prvem in tretjem merjenju obravnavamo kot dobro do zelo dobro glede na odpornost proti drsenju. V primeru drugega merjenja pa celo kot zelo dobro. Še boljše rezultate smo dobili pri odseku z zmesjo zrn črne jeklarske žindre. Pri vseh treh meritvah omenjenega odseka je stanje odpornosti proti drsenju zelo dobro.

Na avtocestnem odseku Postojna – Razdrto je bilo leta 2008 prvič izvedeno testno polje, kjer so za glavno zmes zrn obrabne asfaltne plasti uporabili črno jeklarsko žindro. Rezultati torne sposobnosti so bili odlični. Izkazalo se je, da odsek z zmesjo zrn črne jeklarske žindre zagotavlja boljše lastnosti glede varnosti kot odsek z naravno silikatno zmesjo zrn. Poleg tega, da so rezultati glede torne sposobnosti odlični, je pomembno omeniti tudi, da ni prišlo do nikakršnih znakov poškodb vozne površine, kljub temu da je bilo testno območje vsa tri leta obremenjeno z največjo prometno obremenitvijo. Za zaključek lahko torej povzamemo, da testno območje z zmesjo zrn črne jeklarske žindre izkazuje odlično stanje vozne površine.

5.2 Hrupnost asfaltnih vozišč

Hrupnost vozne površine sodi med osnovne lastnosti vozniških površin. Pri zagotavljanju udobne, varne in gospodarne vožnje moramo hrup vozil kar najbolj omejiti. Seveda hrupa, ki nastane pri odvijanju prometa, nikakor ne moremo čisto preprečiti, lahko pa ga z ustrezno uporabo materialov zmanjšamo. Predvsem z ustrezno izbiro zmesi zrn in bitumna lahko zagotovimo boljše obnašanje obrabne asfaltne plasti na problem hrupa v prometu. Pri tem se velikokrat srečamo s problemom velikih finančnih sredstev, ki so potrebna, da izboljšamo lastnosti vozne površine. Vsekakor pa izvora hrupa ne moremo omejiti le na relaciji pnevmatika – voziščna konstrukcija. Poleg omenjenega izvora hrupa poznamo še hrup pogona motorja in aerodinamični hrup.

5.2.1 Kaj sta hrup in prometni hrup?

Človeško telo je ves čas obdano z zvokom. Zvok obravnavamo kot spremembe v zračnem pritisku, ki se odvijajo zelo hitro. Torej je tudi hrup neke vrste zvok. Vendar se moramo zavedati, da vsak zvok tudi ni nujno hrup. Hrup je opredeljen kot zvok, ki v človeku zbudi neprijetne občutke, vzbuja nemir in negativno vpliva na okolje.

Eden od virov hrupa je tudi prometni hrup. Prometni hrup vsebuje vse zvoke, ki so na kakršen koli način povezani z odvijanjem prometa. Poznamo več vrst oblike prometnega hrupa. Prvi izvor hrupa v prometu je hrup pogona motorja. Sem sodijo zvoki, ki jih proizvajajo motor vozila, izpušna cev, dovodna cev ... Naslednji in najbolj pomemben izvor hrupa v prometu je hrup med pnevmatiko in voziščno konstrukcijo. To je hrup, ki se proizvaja ob kotaljenju pnevmatike po voziščni površini. Tretji izvor hrupa v prometu je aerodinamični hrup. Omenjeni hrup nastane kot zvok turbulence okrog vozila. Pri vseh virih prometnega hrupa pomembno vlogo odigra velikost vozila. V primeru vožnje težkih tovornih vozil na avtocestah se proizvede tudi do 10 % več zvočne energije kot pri povprečnem vozilu. Vzrok temu je večja pogonska moč motorja in velikost pnevmatik ([11]).

Za nastanek hrupa med pnevmatiko in voziščno konstrukcijo ima pomembno vlogo značilnost obrabne plasti. Zmanjšanje hrupa kotaljenja pnevmatike po vozni površini je odvisno predvsem od makrostrukture ali grobe hrapavosti obrabne plasti. Zmanjšanje hrupa zagotovimo z vmesnimi prostori

na vozni površini, zaradi katerih se zmanjša predvsem visokofrekvenčni hrup. Od tod sledi, da v bituminiziranih zmesih uporabimo zrna velikosti do 10 mm. Pri uporabi večjih zrn prihaja do valovitosti vozne površine, kar povečuje nastanek hrupa. Torej v bituminiziranih zmesih uporabimo zrna frakcij do 8 mm ali do 11 mm.

5.2.2 Primer meritve hrupa iz prakse

Na lokalni cesti med Portorožem in Lucijo so izvedli testno polje z uporabo zmesi zrn črne jeklarske žindre. Njihov cilj je bil proizvesti trajnostni asfalt, ki bo imel dobro torno sposobnost in majhne emisije hrupa. Za uresničitev zastavljenih ciljev so vgradili bituminizirano zmes, ki vsebuje dobre lastnosti drobirja z bitumenskim mastiksom in drenažnim asfaltom. Po veljavnih evropskih standardih je bil vgrajen drenažni asfalt, ki ima oznako PA 8 PmB 45/80-65 A3.

Karakterizacija agregata iz črne jeklarske žindre in asfaltne zmesi

V asfaltne zmesi so kot glavni kamniti material uporabili karbonatne frakcije 0/2 in žindro frakcije 2/4 in 4/8 (preglednica 13). Za žindro so se odločili iz dveh razlogov. Kot prvo ima material žindra visoko odpornost proti zaglajevanju, kar pripomore k izboljšani torni sposobnosti vozne površine. Drugi razlog uporabe žindre je bil izkoristek odpadnega industrijskega materiala oziroma stranskega produkta metalurške industrije. S tem so uporabili odpadni material, ki ima odlične lastnosti za ponovno uporabo, ter se izognili uvozu eruptivnih kamenih zrn iz tujine. Poleg tega so frakcije 2/4 in 4/8 skladne z velikostjo zrn, ki jih moramo uporabiti za zagotavljanje grobe hrapavosti obrabne plasti in zmanjšujemo visokofrekvenčni hrup ([11]).

Preglednica 13: Karakteristike uporabljenih zmesi kamnitih zrn (Vir: [11])

Zveza s SIST EN 13043: 2004 in SIST 1043					
	Oznaka frakcije		0/2	2/4	4/8
	Izvor materiala		karbonat	žindra	
1.	Prostorninska masa zrn po SIST EN 1097-6 (Mg/m ³)		2,67	3,64	
2.	Kakovost finih delcev po SIST EN 933-9	vrednost (g/kg)	2,6	-	
		kategorija	MB _{F10}		
	Oblika grobih zrn po SIST EN 933-4	kategorija	-	SI ₁₅	
3.	Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn po SIST EN 933-5 (kategorija)		-	C _{100/0}	
4.	Odpornost grobih zrn proti drobljenju po SIST EN 1097-2:1998, pogl. 5	kategorija	LA ₂₅	LA ₁₈	
5.	Odpornost grobih zrn proti zaglajevanju po SIST EN 1097-8	kategorija	PSV ₃₇	PSV ₆₁	
6.	Odpornost proti obrabi po SIST EN 1097-1	kategorija	M _{10E10}	M _{10E20}	
7.	Odpornost agregatov proti zmrzovanju in odtaljevanju Preskus z magnezijevim sulfatom po SIST EN 1367-2	kategorija	MS ₁₈ (F ₁)	MS ₁₈ (F ₁)	
8.	Odpornost zrn proti temperaturnemu šoku po SIST EN 1367-5 (%)		V _{LA=5} I=2,5	V _{LA=3}	
9.	Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom po SIST EN 12697-11, postopek A (%)		-	90	
10.	Prostorska stabilnost žindre po SIST EN 1744-1		-	V _{3,5}	

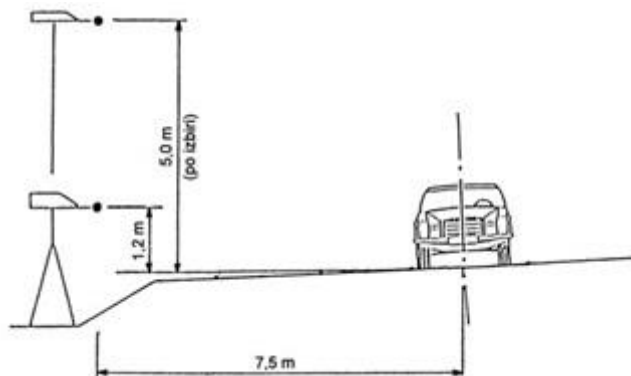
Poleg izbire kamnitega materiala so morali izbrati tudi primerno vezivo. Odločili so se za polimerni bitumen tipa PmB 45/80-65. Značilnost s polimeri modificiranih bitumnov je povečana odpornost bituminizirane zmesi proti nastanku kolesnic in boljši bitumenski film okrog zrn. S tem zagotavljamo daljšo življenjsko dobo zmesi in manjše stroške pri vzdrževanju vozne površine ([11]).

Rezultati meritev emisij hrupa

Meritve emisij hrupa je opravil Zavod za gradbeništvo Slovenije (Laboratorij za akustiko). Meritve so bile izvedene 14. 7. 2009. Namen izvajanja preiskave hrupa je bila primerjava novozgrajene vozne površine glede na že znane podatke o emisijah hrupa na drugih vrstah vozniških površin. Meritve so bile izvedene kljub temu, da niso bili zadoščeni vsi pogoji, ki jih zahteva standard. Prva pomanjkljivost je bila prenizka povprečna hitrost merjenih vozil. Naslednja pomanjkljivost je, da so na testiranem odseku merili le hrup osebnih vozil. Poleg tega pa niso dosegli zahtevanega števila merjenih osebnih vozil, ki jih določa standard. Število merjenih vozil je bilo premajhno predvsem zaradi motenj v okolju in zgoščenega okolja. Vendar so meritve hrupa kljub pomanjkljivostim izvedli. Z meritvami so želeli pokazati, da so emisije hrupa na novozgrajenem vozišču manjše kot na drugih značilnih površinah v Sloveniji ([11]).

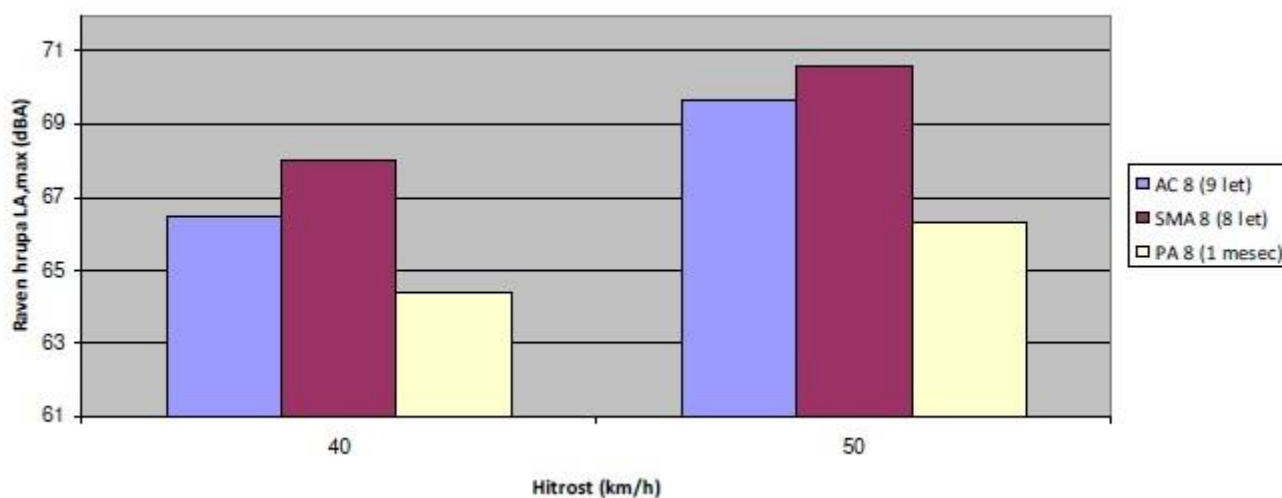
Meritve hrupa so bile izvedene z metodo »pass-by«. Za omenjeno metodo je značilno, da hrup merimo z mikrofonom ob robu ceste. Mikrofoni so oddaljeni 7,5 m od osi ceste in postavljeni na višini 1,2 m (5

m) nad ravnino vozne površine. S pomočjo mikrofona merimo maksimalno raven hrupa $L_{A, max}$ in hitrost vozil, ki vozijo mimo merilnega mikrofona ([11]).



Slika 21: Shema postavitve mikrofona ob cesti

Rezultate meritev hrupa na cesti Portorož – Lucija smo primerjali z meritvami, pridobljenimi na ostalih slovenskih cestah. V obeh primerih so bile meritve opravljene za hitrost 40 km/h in 50 km/h. Iz rezultatov je razvidno, da so emisije hrupa na novi vozni površini (PA 8) manjše kot na ostalih površinah (AC 8 in SMA 8) ([11]).



Slika 22: Rezultati meritev emisij hrupa na različnih asfaltnih obrabnih plasteh pri povprečni hitrosti prometa 40 in 50 km/h (Vir: [11])

Zaključek

Preiskava je pokazala dobre rezultate emisij hrupa. V primerjavi z ostalimi asfaltnimi obrabnimi plastmi je raven hrupa nižja. S tem so dokazali, da z združitvijo več različnih dejavnikov pridobimo bolj trajno bituminizirano zmes. Projektirana bituminizirana zmes torej dosega nižje emisije hrupa, dobre lastnosti torne sposobnosti in omogoči drenažno sposobnost, saj je obrabna plast drenažni asfalt. Omenjene dobre lastnosti asfaltne obrabne plasti so vsekakor odvisne od lastnosti vhodnih materialov. Z uporabo črne jeklarske žindre so povečali torno sposobnost bituminizirane zmesi. Poleg tega žindra zadovoljuje kriterije velikosti zrn za zmanjšanje hrupa voziščne površine. Od uporabe polimernega veziva pa pričakujemo večjo trajnost asfaltne obrabne plasti. Po opravljenih preizkusih lahko trdimo,

da so vhodni materiali in bituminizirana zmes skladni s standardi. Pridobljeni rezultati testnega polja so spodbudni in primerni za nadaljnjo obravnavo.

6 UPORABA ŽLINDRE V TUJINI IN PRIMERI UPORABE V SLOVENIJI

V večjem delu Evrope se razvitost cestne infrastrukture iz leta v leto izboljšuje. Predvsem obremenitve s težkimi tovornimi vozili so nas prisilile k zagotavljanju večje trajnosti cestne infrastrukture in hkrati povečale pogostost posodobitve cest. V Evropi so se v ta namen začele odvijati raziskave novih in bolj odpornih materialov, ki bodo hkrati skladni z že sprejetimi standardi na tem področju.

Raziskave materialov segajo tudi na področje že poznanih materialov, vendar še neizkoriščenih. V to skupino materialov sodi tudi žindra. Njene uporabnosti v obrabnih asfaltnih plasteh se inženirji sprva niso zavedali ali so jo zavračali zaradi začetnih slabosti z volumsko stabilnostjo. Pravilna predelava in raziskave so pokazale njihove pozitivne lastnosti. Druga prednost uporabe žlindre je okoljska ozaveščenost. Kot sem že večkrat omenil, je žindra industrijski stranski produkt. Z nalaganjem žlindre na odlagališčih se je pojavil problem z onesnaževanjem okolja. V Nemčiji so v ta namen celo uskladili svojo zakonodajo o odpadkih, saj s predpisi zahtevajo uporabo odpadkov, če je to seveda mogoče. Če je takšna alternativa mogoča, imajo uporabni odpadki prednost pred uporabo novih materialov. Pri tem ne smemo pozabiti, da morajo odpadni materiali zagotavljati ustrezne lastnosti, ki so predpisane s standardi.

6.1 Nemčija

Nemčija je ena od držav, ki se je kmalu zavedala uporabnosti uporabe odpadka, imenovanega žindra. Že davnega leta 1941 so nemški standardi objavili predpise o metalurški in železni žindri v gradbeništvu (DIN 4301). V standardu so navedli zahtevane lastnosti žlindre in določili karakteristike za izpolnitev zahtev, predpisanih s standardom.

Ravno tako kot drugod po svetu, sta se tudi v Nemčiji razvila dva glavna tipa žlindre. Poznamo ju pod imenom plavžna žindra in žindra elektroobločnih peči. Omenjena produkta sta tudi glavni obliki žlindre, ki sta na voljo na trgu. Vendar so raziskave bituminiziranih zmesi pokazale, da pri plavžni žindri prihaja do problema volumske stabilnosti. Na drugi strani predelava elektroobločne žlindre omogoča, da žindra vsebuje majhen ostanek kalcijevega karbonata, kar zagotavlja boljšo volumsko stabilnost. Volumska stabilnost elektroobločnih peči je torej bistveno boljša, kot to velja za plavžno žindro, saj se pri plavžni žindri pojavljajo velike razlike volumske stabilnosti med posameznimi serijami.

V zadnjih več kot 20 letih so v Nemčiji raziskave uporabnosti žlindre iz elektroobločne peči pokazale izjemno dobre rezultate. Odpornost proti drsenju se ohranja na visoki ravni daljše časovno obdobje. Za dosego odlične odpornosti proti drsenju so zaslužna visoko kvalitetna drobljena zrna, pridobljena iz jeklene žlindre. Omenjena drobljena zrna imajo zelo grobo površinsko teksturo. Poleg tega se z dodajanjem drobljenega peska, narejenega iz jeklene žlindre (frakcije 0/2 mm), še dodatno poveča odpornost proti drsenju. Medtem je deformacijska odpornost jeklene žlindre povečana in odlična sprijetost zrn podaljšuje površinsko življenje bituminizirane zmesi. Vse našteje lastnosti so v eni izmed raziskav primerjali z norveškim granitom. Lastnosti so primerljive, če ne pri posameznih

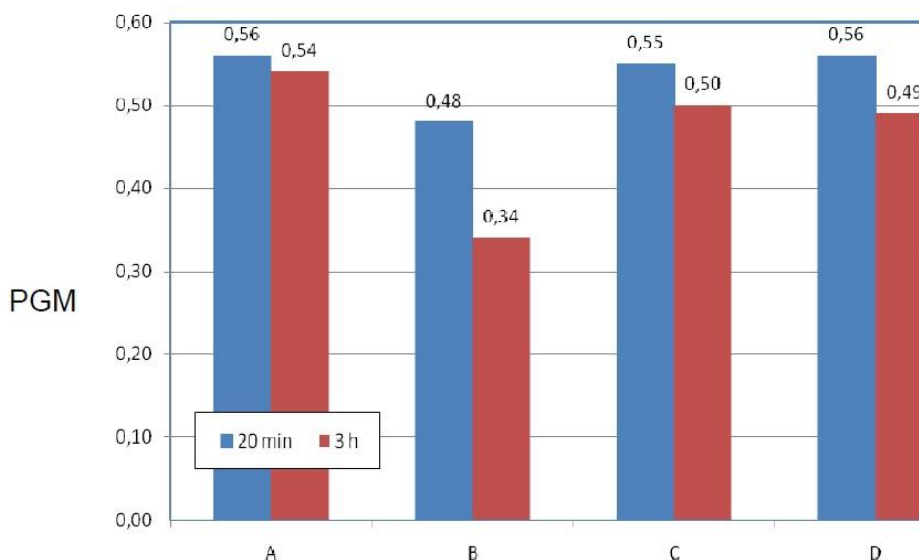
preiskavah še boljše kot pri materialu granit. Za oba materiala pa so rezultati pokazali, da sta skladna z zahtevami standardov.

Žlindro iz elektroobločnih peči so v Nemčiji uporabljali za nevezane nosilne plasti in za asfaltne krovne plasti. S spremljanjem cestnih odsekov so poizkušali dokazati, da žlindra nima negativnih učinkov ter da izboljšuje odpornost proti drsenju in deformacijsko odpornost. Deformacijsko odpornost so poizkušali povečati predvsem na cestah z veliko osno obremenitvijo. V letu 2002 so izvedli preiskavo obrabne asfaltne plasti z namenom dokazati boljšo odpornost proti drsenju in deformacijsko odpornost. Preiskave je opravil neodvisni inštitut IFB/Gauer. V preiskavo so vključili štiri različne asfaltne zmesi:

- SMA 0/11 S s 100 % deležem drobljenih zrn žlindre
- SMA 0/11 S s 100 % deležem drobljenih zrn kremen-porfir
- SMA 0/11 S s 11 % deležem drobljenih zrn žlindre, ostalo drobljena zrna kremen-porfir
- SMA 0/11 S s 100 % deležem drobljenih zrn kremen-porfir in drobljenega peska iz žlindre

Pri vseh zgoraj naštetih bituminiziranih zmesih so uporabili polimerni modificiran bitumen.

Meritve odpornosti proti drsenju so bile opravljene z napravo SRIMTEX. Rezultati preizkusa so podani v vrednostih PGM. Opravljeni sta bili dve preiskavi. Prva preiskava je trajala 20 minut. S tem so zagotovili skladnost bituminiziranih zmesi SMA s standardi ter omogočili primerjavo vrednosti s preizkusom čez 4 leta. Pri omenjenem preizkusu morajo biti vrednosti PGM večje od 0,53, če želimo, da je bituminizirana zmes primerne kvalitete. Drugi preizkus v celoti poteka 3 ure in pri tem simulira življenjsko stanje voziščne površine. Pridobljene vrednosti ne smejo biti nižje od 0,49 PGM. Poleg preiskave odpornosti proti drsenju so opravili še preizkus globine kolesnic. Rezultate odpornosti proti drsenju so prikazani v sliki 23, rezultati globine kolesnic pa v preglednici 14 ([42]).



Slika 23: Rezultati meritev odpornosti proti drsenju - vrednosti PGM (Vir: [42])

Preglednica 14: Rezultati meritev globine kolesnic (Vir: [42])

Vzorci	Globina kolesnic
A	2,5 mm
B	4,0 mm
C	2,9 mm
D	3,1 mm

Analiza rezultatov

V bituminizirani zmesi, kjer so bila glavna zrna žlindre, so rezultati odpornosti proti drsenju in globine kolesnic zelo dobri. Pri ostalih vzorcih bituminizirane zmesi je razvidno, da kvaliteta pridobljenih rezultatov z zmanjševanjem prisotnosti žlindre pada. Po pričakovanjih se je najslabše odrezal vzorec B, kjer zmes zrn sestavljajo kremen-porfirjeva drobljena zrna. Presenetljivo dobre rezultate so dobili pri vzorcu D, ki se od vzorca B razlikuje le po drugačni uporabi drobljenih zrn frakcije 0/2 mm. Pri vzorcu D so uporabili drobljen pesek, pridobljen iz elektroobločne žlindre, ki bistveno izboljša odpornost proti drsenju. Če povzamemo celotno preiskavo, lahko trdimo, da elektroobločna žindra pripomore k boljšim rezultatom odpornosti proti drsenju kot tudi odpornosti proti nastanku kolesnic. Prav omenjeni dobri rezultati preiskav so pripomogli k večji uporabi elektroobločne žlindre v bituminiziranih zmesih v Nemčiji. V letu 2003 so v hamburški železarni začeli s povečano proizvodnjo elektroobločne žlindre. Seveda je morala biti žindra skladna z vsemi do takrat sprejetimi standardi na tem področju. Do leta 2011 so v severnem delu Nemčije proizvedli okoli 5 milijonov ton bituminiziranih zmesi, ki vsebujejo elektroobločno žindro iz hamburških železarn ([42]).

6.2 Velika Britanija

Velika Britanija je ena vodilnih držav, ki se pospešeno ukvarja z uporabnostjo črne jeklarske žlindre v bituminiziranih zmesih. Pomembno vlogo pri razvoju žlindre v bituminiziranih zmesih ima podjetje SteelPhalt. Podjetje SteelPhalt je eno od podjetji znotraj Harsco Metals, ki so del Harsco Corporation. Omenjena korporacija je združenje mednarodnih podjetij, ki se ukvarjajo z različnimi dejavnostmi, storitvami in inženirskimi proizvodi znotraj jeklarske in železarske industrije. V Sloveniji je korporacija prisotna v podjetju Harsco Minerali d. o. o.

V podjetju SteelPhalt se ukvarjajo s predelavo črne in bele jeklarske žlindre. Za svojo dejavnost uporabljajo žindro iz elektroobločnih peči s področja južnega Yorkshira. Žindro iz jeklarn prepeljejo na ustrezne deponije, kjer jo po predpisanih postopkih predelajo (staranje, drobljenje in separiranje). Okvirne ocene so, da letno predelajo 115.000 ton črne jeklarske žlindre (EAF C) in 50.000 ton bele jeklarske žlindre (EAF S). Njihov obrat ima dnevno kapaciteto 1000 ton predelane žlindre. Poleg tega ima črna jeklarska žindra odlične mehansko-fizikalne lastnosti. Količnik odpornosti proti zaglajevanju je 62, medtem ko je koeficient Los Angeles 14. Skoraj identični rezultati lastnosti črne jeklarske žlindre so bili pridobljeni tudi v Sloveniji. Tako predelano žindro pa ne prodajo cestnim podjetjem za nadaljnjo uporabo, ampak imajo lasten asfaltni obrat, kjer porabijo zrna žlindre za bituminizirane zmesi. Njihova značilnost so inovativne bituminizirane zmesi za specializirane namene uporabe:

- »SteelSurf – za najtežje industrijske prometne površine
- SteelPave – tankoslojni manj hrupni SMA
- SteelFlow – tankoslojna površinska prevleka
- SteelStop – visoko torni sposobna površinska prevleka za prometno nevarna območja križišč, krožišč, mestnih cest v urbanih naseljih in prehodih za pešce
- UltraGrip – tankoslojni manj hrupni SMA s PmB vezivom« (cit. po [18])

V svojem asfaltnem obratu proizvedejo okoli 300.000 ton različnih bituminiziranih zmesi. Tako proizvedene bituminizirane zmesi nato prodajo podjetjem, ki se ukvarjajo z vgrajevanjem le-teh.

Na ogledu omenjenega podjetja so bili tudi slovenski strokovnjaki, ki so si ogledali nekaj odsekov cest z uporabo črne jeklarske žindre. Vsi odseki cest so brez vidnih poškodb, kljub temu da so nekateri odseki stari že 16 let. Poleg tega so bili odseki projektirani za različne prometne obremenitve, od zelo težkih do lahkih. Omenjen obisk je dobrodošel predvsem za prepotrebne izkušnje, ki jih z ustreznim sodelovanjem lahko podajo angleški strokovnjaki.

6.3 Hrvaška

Na Hrvaškem se je razvoj uporabe žindre pričel dokaj pozno. Razlog za to se skriva v pozni uveljavitvi predpisov in standardov, skladnih z direktivami Evropske unije na področju uporabe žindre v cestogradnji. Ravno tako kot v drugih evropskih državah so uporabili žindro iz elektroobločnih peči, saj v primerjavi s plavžno žindro ne prihaja do problema volumske stabilnosti. Omenjeno žindro imenujemo črna jeklarska žindra ali EAF C žindra. Črna jeklarsko žindro pridobivajo kot stranski produkt pri proizvodnji (nelegiranih) ogljikovih jekel. Še staljeno črna jeklarsko žindro so prepeljali na deponije in jo na primernih mestih začeli ohlajati z vodo. Ohlajanje staljene žindre je potekalo po prav določenem postopku (opis v poglavju 3.3). Nato so sledili procesi drobljenja, večstopenjskega izločanja jekla in sejanja. Na ta način so pridobili vzorce črne jeklarske žindre različnih nazivnih frakcij (0/4 mm, 4/8 mm, 8/16 mm in 16/32 mm).

Njihova naslednja naloga je bila oceniti primernost in zmogljivost uporabe črne jeklarske žindre v bituminiziranih zmesih. Za ta namen je bilo potrebno izvesti več različnih analitskih metod (Optical Microscopy, X-Ray Diffraction ...). S temi metodami so pridobili podatke o mineraloški in kemični sestavi črne jeklarske žindre. Vzorci črne jeklarske žindre so bili testirani v akreditiranih laboratorijih ter preverjeni z uveljavljenimi predpisi in standardi ([43]).

Povzetek rezultatov:

- Mineraloška analiza črne jeklarske žindre je pokazala dobro kristalnost zrn ter razmeroma homogeno strukturo. S to ugotovitvijo lahko primerjamo žindro s porfirsko strukturo naravnih eruptivnih kamnin.
- Kemijska analiza črne jeklarske žindre: CaO 33,2 %, Fe₂O₃ 29,64 %, SiO₂ 10,08 %, Al₂O₃ 1,66 %, MnO 6,18 %, MgO 13,09 %.

Ustreznost kemijske sestave črne jeklarske žindre je odvisna od količine prostih oksidov kalcija in magnezija. Omenjena oksida povzročata volumsko nestabilnost žindre. Zatorej so morali za ustreznost uporabe žindre izvesti še test volumske stabilnosti žindre. Rezultat testa je znašal 2,9 %, kar je v skladu z veljavnimi standardi za uporabo žindre v proizvodnji bituminiziranih zmesi.

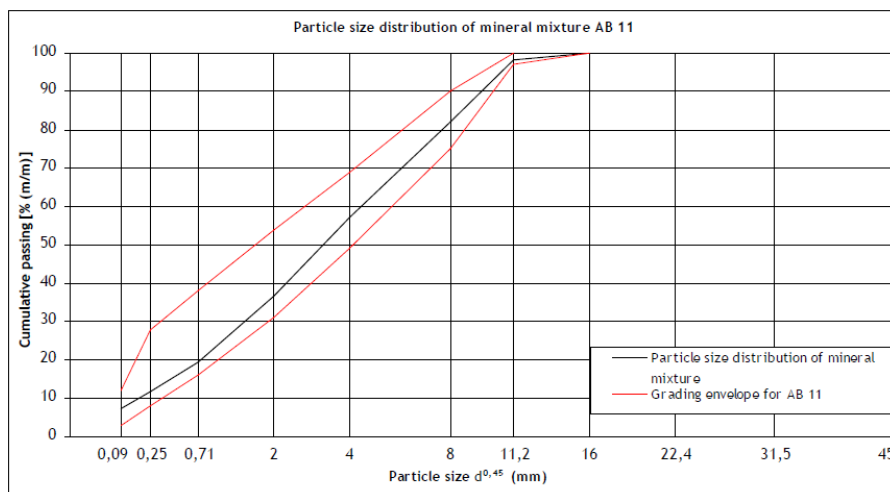
- Primernost uporabe zrn črne žindre v asfaltnih plasteh so dokazovali tudi s testiranjem geometrijskih in mehansko-fizikalnih lastnosti. Geometrijske lastnosti so zadovoljile tudi najzahtevnejše kriterije. Frakciji 4/8 in 8/16 mm izpolnjujeta najvišje kriterije zrnivosti G_C 90/10. Oblika grobih zrn (večja od 4 mm), izražena z indeksom plastičnosti (FI) ali z moduloma oblike zrn (SI), izpolnjuje najvišje kriterije za material (FI_{10} ; SI_{15}). Rezultate mehansko-fizikalnih lastnosti zmesi zrn črne jeklarske žindre so primerjali z rezultati naravnih silikatnih in karbonatnih materialov. Črna jeklarska žindra je bila pri vseh preizkusih primerljiva, če ne boljša kot naravni material. Najbolje se je odrezala pri odpornosti grobih zrn proti drobljenju in odpornosti proti zaglajevanju. Več rezultatov je podanih v preglednici 15 ([43]).

Preglednica 15: Primerjava mehansko-fizikalnih lastnosti črne žindre in naravnih zmesi zrn (Vir: [43])

Lastnosti	EAFS	Naravni agregat	
		Diabaz	Karbonat
Odpornost grobih zrn proti drobljenju (LA količnik)	13	15	29
Odpornost proti obrabi	8	8	11
Odpornost proti zmrzovanju in odtajevanju	0.4	0.0	0.3
Odpornost grobih zrn proti zaglajevanju (PSV)	70	NA	32
Absorbcija vode	>1	<1	<1
Prostorninska masa zrn (Mg/m^3)	3,4	2,8	NA
Volumska stabilnost	2,9	NR	NR

V splošnem lahko trdimo, da je material črne jeklarske žindre, ki ga pridobivajo na Hrvaškem, primeren za uporabo v bituminiziranih zmesih. To lahko trdimo na podlagi odličnih geometrijskih in mehansko-fizikalnih lastnosti materiala. Poleg tega sta ustrezni tudi obdelava in predelava črne žindre. Eden od pokazateljev odlične obdelave je volumska stabilnost, kjer se vpliv oksida kalcija in magnezija občutno zmanjša.

Analiza bituminizirane zmesi AC 11 z agregatom črne jeklarske žindre je bila v našem primeru izvedena leta 2009. Testiranja zmesi so opravili v laboratoriju za asfalt na inštitutu IGH. Glavne sestavine, ki so bile uporabljene v zmesi, so bile: zmes zrn črne jeklarske žindre, zdrobljena karbonatna kamnina, mineralno polnilo iz karbonata in bitumensko vezivo tipa 50/70. Sestava zmesi zrn je bila v skladu s standardi za bituminizirano zmes AC 11, kar je prikazano v preglednici 16. V preglednici 17 pa so prikazane osnovne lastnosti preizkušene bituminizirane zmesi AC 11 v primerjavi z optimalno bituminizirano zmesjo.

Preglednica 16: Sestava zmesi zrn za AC 11 (Vir: [13])**Preglednica 17: Primerjava lastnosti asfaltne zmesi AC 11 z žlindro in optimalne asfaltne zmesi (Vir: [13])**

Lastnosti asfaltne zmesi	AC 11 z žlindro	Optimalna asfaltna zmes
Količina bitumna v asfaltni zmesi [m.-%]	5,1	5
Navidezna gostota bituminizirane zmesi [Mg/m ³]	2,723	2,624
Gostota zmesi zrn [Mg/m ³]	2,894	2,859
Vsebnost votlin v zgoščeni asfaltni zmesi [V.-%]	5,9	4,2
Delež votlin v kamni zmesi [V.-%]	19,5	16,5
Stopnja zapolnjenosti votlin z bitumnom [V.-%]	69,7	74,4

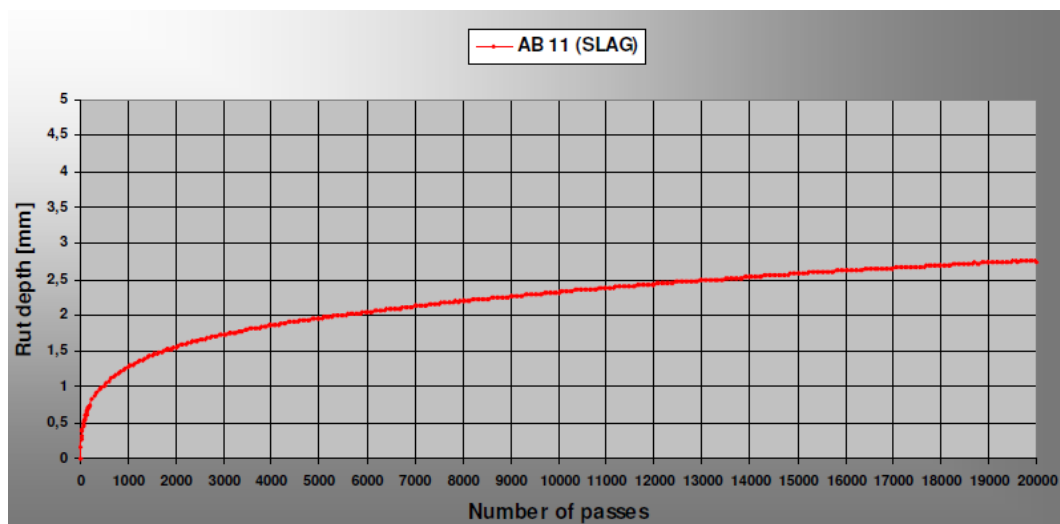
Poleg omenjenih testiranj bituminizirane zmesi so v laboratoriju inštituta IGH opravili še sledeče preizkuse:

- odpornost na trajnostne poškodbe – nastanek kolesnic
- stopnja zgostitve
- debelina asfaltne plasti

Vse našete preizkuse so opravili na podlagi vzorcev premera 100 in 200 mm. Za določanje odpornosti proti nastanku kolesnic so vzeli vzorce s premerom 200 mm. Vzorce so izpostavili 20000 prehodom kolesa. Obremenitev kolesa je znašala 700 N, medtem ko je frekvenca obremenjevanja znašala 26,5 krogov na minuto. Končno število krogov obremenjevanja je bilo 10000. Rezultati odpornosti proti nastanku kolesnic so prikazani v preglednici 18 in sliki 24.

Preglednica 18: Rezultati testa odpornosti proti nastanku kolesnic (Vir: [13])

Lastnost		AC 11 (slag)
Stopnja tvorjenja kolesnic	mm/1000 krogov	0,09
Proporcionalna globina kolesnic	%	5,7
Globina kolesnic	mm	2,7



Slika 24: Odpornost proti nastanku kolesnic (število prehodov in globina kolesnic) (Vir: [13])

Preizkusa stopnje zgostitve in debeline asfaltne plasti so izvedli na vzorcu premera 100 mm. Stopnja zgostitve vzorca je znašala 98,2 %, kar je skladno s standardi. Ti predpisujejo zgostitev asfaltne plasti pri težki prometni obremenitvi najmanj 98 %. V primeru debeline asfaltne plasti so dobili rezultat 45,4 mm. Tudi ta lastnost je zadovoljiva, saj standardi predpisujejo debelino plasti med 35 in 50 mm.

Pridobljeni rezultati so pokazali ustreznost zmesi zrn črne jeklarske žindre za uporabo v asfaltnih plasteh. Žlindro torej lahko uporabljamo namesto silikatnih zrn, saj so lastnosti žindre ravno tako dobre kot lastnosti silikatnih zrn. Recimo rezultat odpornosti proti zaglajevanju je še celo boljši, kot ga dobimo pri uporabi s silikatnimi zrn. Asfaltna plast z žlindro ima tudi dobro odpornost proti trajnim deformacijam in dobro stabilnost. Rezultati so definitivno spodbudni za dejansko uporabo črne jeklarske žindre v praksi ([13]).

6.4 Slovenija

V Sloveniji so se reciklirani gradbeni in industrijski odpadki v preteklosti le malokrat uporabili za vnovično uporabo v gradbeništvo. Razlog je predvsem v nepoznavanju možnosti recikliranja odpadkov in nepoznavanju kvalitete na novo proizvedenih izdelkov. Med slednje surovine sodi tudi črna jeklarska žindra. Vendar so v preteklih letih nekatera slovenska gradbena podjetja začela razvijati in izvajati projekte s prisotnostjo črne jeklarske žindre v asfaltnih plasteh. Med omenjena podjetja sodijo Gorenjska gradbena družba d. d., Primorje in projekt ReBirth. V podjetju Gorenjska gradbena družba d. d. so izvedli testna polja, kjer so bila kot zmes zrn uporabljena zrna črne jeklarske

žindre iz podjetja Acroni. Rezultate, ki so bili pridobljeni v podjetju Gorenjska gradbena družba, bom analiziral v nadaljevanju diplomske naloge.

Pomembno vlogo pri razvoju uporabe črne jeklarske žindre v Sloveniji ima tudi podjetje Primorje. V podjetju Primorje so od leta 2007 do danes zgradili več testnih polj z uporabo črne jeklarske žindre. Namen izvedbe testnih polj je bilo nadomestiti naravne silikatne in karbonatne kamnine v bituminiziranih zmesih s črno jeklarsko žindro. Bituminizirane zmesi so proizvedli v asfaltni bazi Vrtojba in asfaltni bazi Laže. Primeri testnih polj:

1. Odsek ceste 1006 Idrijski – Peršeti (od km 11,250 do km 11,550)

Bituminizirana zmes je bila vgrajena 6. 6. 2007 v dolžini 300 m in širini 6 m. Na enem voznem pasu so vgradili bitumenski beton AC 11 surf z zrnji žindre (0/4, 4/8, 8/11) in s peskom (Tolmin) frakcije 0/2 v debelini 4 cm. Na drugem voznem pasu so vgradili bitumenski beton AC 11 surf z drobirjem eruptivne kamnine (2/4, 4/8, 8/11) in s peskom (Tolmin) frakcije 0/2 v debelini 4 cm.



Slika 25: Vgrajeni dve različni plasti bitumenskega betona v Tolminu (Vir: [6])

2. Odsek ceste 1008 Ušnik – Plave (od km 2,600 do km 2,850)

Bituminizirana zmes je bila vgrajena 14. 8. 2007 v dolžini 250 m in širini 3,5 m. Na desnem voznem pasu, če gledamo v smeri stacionaže, so vgradili enoplastno površinsko prevleko s posipom črne jeklarske žindre frakcije 4/8. Na drugem voznem pasu pa so vgradili enoplastno površinsko prevleko s posipom eruptivne frakcije 4/8.



Slika 26: Vgrajena enoplastna površinska prevleka s posipom zrn žindre (Vir: [6])

3. Odsek avtoceste A1 0053 Vrhnika – Logatec (od km 1,740 do km 4,532)

Rekonstrukcija avtocestnega odseka je bila izvedena oktobra 2009. Vgradili so bituminizirano zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1 (izredno težka prometna obremenitev). Iz oznake bituminizirane zmesi je razvidno, da so uporabili polimerni bitumen. Debelina asfaltne plasti je bila 4 cm, dolžina odseka je znašala 2792 m.



Slika 27: Vgrajevanje asfaltne plasti na avtocestnem odseku Vrhnika – Logatec (Vir: [15])

4. Odsek avtoceste A1 0060 Divača – Kozina (od km 0,000 do km 6,420)

Rekonstrukcija avtocestnega odseka je bila izvedena julija 2010. Vgradili so bituminizirano zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A2 (zelo težka ali težka prometna obremenitev). Iz oznake bituminizirane zmesi je razvidno, da so uporabili polimerni bitumen. Debelina asfaltne plasti je bila 4 cm, dolžina odseka je znašala 6420 m.



Slika 28: Vgrajevanje asfaltne plasti na avtocestnem odseku Divača – Kozina (Vir: [15])

5. Občinska cesta Portorož – Lucija

Rekonstrukcija cestnega odseka je bila izvedena junija 2009. Vgradili so bituminizirano zmes PA 8 PmB 45/80-65 A3 (srednja prometna obremenitev). Iz oznake bituminizirane zmesi je razvidno, da so uporabili polimerni bitumen. Debelina asfaltne plasti je bila 4 cm. Na tem odseku so izvedli meritve hrupa, ki sem jih opisal v točki 5.2.2 ([6] in [15]).



Slika 29: Vgrajen drenažni asfalt na cesti Portorož – Lucija (Vir: [15])

V Sloveniji ima pomembno vlogo pri razvoju in uporabi črne jeklarske žlindre v gradbeništvu tudi evropski projekt ReBirth. Projekt ReBirth je predlog slovenskih podjetij in institucij k večji uporabi gradbenih in industrijskih odpadkov v gradbeništvu. Evropski program LIFE+ je septembra 2011 sprejel in odobril omenjeni projekt, ki so ga poimenovali Promocija recikliranih industrijskih in gradbenih odpadkov in njihova uporaba v gradbeništvu – ReBirth. V projektu sodeluje šest slovenskih partnerjev: Zavod za gradbeništvo Slovenije (koordinator), Gospodarska zbornica Slovenije, PKG Šprinzer Mirko, Structum (pred stečajem Primorje), Klaro in Mayer McCann. Projekt je sofinanciran s strani Evropske komisije in Ministrstva za kmetijstvo in okolje.

Glavne naloge, ki jih partnerji v projektu želijo doseči, so:

- »trajna rast recikliranja gradbenih in industrijskih odpadkov
- za 10 odstotkov višja stopnja recikliranja gradbenih odpadkov do leta 2015
- za 15 odstotkov višja stopnja recikliranja industrijskih odpadkov do leta 2015
- 1,5-odstotni prihranek naravnih materialov
- zasuk trenda nelegalnega odlaganja gradbenih odpadkov
- prispevek k uresničitvi nacionalnega cilja, 70-odstotna stopnja recikliranja gradbenih odpadkov do leta 2020« (cit. po [14])

Aktivnosti v okviru projekta so torej razširjene na recikliranje gradbenih in industrijskih odpadkov kot tudi na varstvo okolja. V ta namen so se v letu 2011 in 2012 odvijale številne akcije. Ena od njih je bila prikaz uporabe agregata iz črne jeklarske žlindre v cestogradnji. Omenjena akcija je potekala 14. junija 2012 na regionalni cesti R2-403, odsek 1072 Kneža–Podbrdo, od km 15,320 do km 15,950. Na tem odseku so uredili povsem novo voziščno konstrukcijo, ki je bila sestavljena iz dveh asfaltnih plasti:

- »asfaltna nosilna plast AC 22 base B 50/70 A3 iz frakcije naravnih kamenih agregatov v debelini 6 cm in
- asfaltna obrabno-zaporna plast AC 8 surf B 70/100 A3 iz frakcije naravnega drobljenega kamenega agregata 0/2 in kamene moke iz separacije Tolmin ter frakcije 2/4 in 4/8 iz

umetnega agregata iz žindre Acroni ter predelane v drobilnici in separaciji HARSCO v debelini 3 cm« (cit. po [16])

Za asfaltno obrabno-zaporno plast AC 8 surf so izvedli kontrolo vseh uporabljenih materialov, tehnologij in vgrajene asfaltni plasti. Rezultati so pokazali, da so vse lastnosti skladne z zahtevami in veljavnimi standardi ter s tehničnimi specifikacijami za bitumenski beton. V preglednici 19 so podani rezultati preiskav.

Preglednica 19: Rezultati preiskav za asfaltno plast AC 8 surf B 70/100 A3 (Vir: [16])

AC 8 surf B 70/100 A3	Bitumen	Kamena zmes	Asfaltna zmes	Vgrajena plast	Tehnične zahteve
Vrsta bitumna	B 70/100	-	-	-	B 70/100
Delež bitumna	5,3 %	-	-	-	-
Vsebovanost kamene zmesi	-	94,7 %	-	-	-
Prostorninska masa (kg/m ³)	-	3207	2765	2716	-
Vsebovanost votlin v asfaltni zmesi	-	-	4,0 %	-	3-6 %
Debelina asfaltni plasti	-	-	-	3 cm	2,5 – 4,0 cm
Stopnja zgoščenosti	-	-	-	98,2 %	min. 97 %
Vsebovanost votlin	-	-	-	5,7 %	2–9 %



Slika 30: Vgrajevanje asfaltni plasti z zrnji žindre (projekt ReBirth) (Vir: [16])

Z izvedbo te akcije smo se prepričali, da naravni material lahko nadomestimo z ustrezno pripravljeno žindro. Lastnosti pravilno pridobljene žindre so ekvivalentne naravnim materialom. To pa ni edina prednost uporabe žindre v asfaltnih plasteh. Z njeno uporabo ohranjamo naravne vire, zmanjšujemo vplive na okolje in izboljšamo nekatere lastnosti cestišča.

7 ANALIZA ČRNE JEKLARSKE ŽLINDRE IZ PODJETJA ACRONI JESENICE

Podjetje Acroni z Jesenic je poleg proizvodnje različnih vrst jekel poznano tudi po proizvodnji stranskega produkta črne jeklarske žlindre. Črno jeklarsko žlindro pridobivajo pri proizvodnji jekla v elektroobločni peči (EOP). Pri tem je potrebno poudariti, da podjetje Acroni skrbi za celotno predelavo materiala. V ta sklop postopkov sodijo: prevzem žlindre izpod elektroobločne peči, prevoz materiala na ustrezno deponijo, staranje žlindre (mokrenje in ohlajanje), večstopenjsko izločanje železa, drobljenje in sejanje. Za ustrezno in pravilno delovanje vseh postopkov je v obdobju od leta 2006 do 2011 skrbelo podjetje ECOlogic d. o. o., ki ga je za svoje potrebe najela jeklarna Acroni. V podjetju ECOlogic so v letu 2006 poskrbeli za pravočasno izgradnjo objektov in naprav za predelavo črne jeklarske žlindre. V tem obdobju so pridobili vse potrebne evropske certifikate in izjave o skladnosti za uporabo črne jeklarske žlindre v cestogradnji. V letu 2011 pa so bile storitve, ki jih je opravljalo podjetje ECOlogic, prodane podjetju Harsco Mineral. Tudi omenjeno podjetje je pridobilo vse potrebne certifikate in izjave o skladnosti za uporabo črne jeklarske žlindre (Priloge 1–5).

Kot je iz certifikatov razvidno, je kemijska sestava črne jeklarske žlindre, predelane s strani Harsco Minerali, sledeča:

- CaO – 33,5 %
- Fe₂O₃ – 27 %
- SiO₂ – 12 %
- MgO – 7,5 %
- MnO – 3 %

Naslednja pomembna lastnost je vsebovanost težkih kovin v izlužku. Omenjena lastnost je pomembna predvsem za dokazovanje neškodljivosti materiala za naravno okolje. Vsi parametri so manjši od dovoljenih s pravilnikom. Rezultati so podani v preglednici 20.

Preglednica 20: Rezultati težkih kovin v izlužku iz žlindre (Vir: Priloga A1)

Kovina	Vrednost parametra izlužka mg/l
Živo srebro (Hg)	< 0,001
Cink (Zn)	< 0,01
Celotni Krom (Cr)	< 0,03
Nikelj (Ni)	< 0,01
Baker (Cu)	< 0,01
Svinec (Pb)	< 0,01
Kadmij (Cd)	< 0,001
Arzen (As)	< 0,005

Volumska stabilnost zrn je v skladu s standardom SIST EN 1744-1 in znaša V_{3,5}. Omeniti velja tudi dobro odpornost proti drobljenju (LA₁₅) in odpornost proti zaglajevanju (PSV₅₆).

Najpomembnejše ugotovitve so:

- zrna iz črne žlindre so volumsko stabilna
- odpornosti proti drobljenju in proti zaglajevanju sta visoki in celo boljši kot pri zrnih iz naravnih silikatnih materialov
- zrna iz črne žlindre so dokazano neškodljiva za naravno okolje
- prostorninska masa zrn žlindre je občutno večja kot pri naravnih eruptivnih materialih
- vrednosti vpivanja vode ustrezajo kakovostnim kriterijem za uporabo v cestogradnji

8 PRIMERJAVA BITUMINIZIRANIH ZMESI SILIKATNIH IN KARBONATNIH ZRN IN ZRN ŽLINDRE

Glavni cilj moje diplomske naloge je ugotoviti primernost uporabe zrn črne jeklarske žlindre namesto naravnih silikatnih in karbonatnih materialov v bituminiziranih zmesih. Za doseg tega cilja so mi v pomoč priskočili v Gorenjski gradbeni družbi oziroma v njenem hčerinskem podjetju CP Kranj. V CP Kranj so že leta 2007 začeli s prvimi raziskavami na tem področju. Velja tudi omeniti, da so bili eni prvih v Sloveniji, ki so se začeli podrobneje ukvarjati s to problematiko. V omenjenem podjetju sem pridobil vsa potrebna poročila o preiskavah bituminiziranih zmesi kot tudi rezultate o preiskavi odpornosti asfalta proti trajnemu preoblikovanju. Nekatere preiskave so strokovnjaki v podjetju opravili v lastnem laboratoriju v Naklem. To velja predvsem za preiskave, ki se nanašajo na same lastnosti bituminiziranih zmesi. Preiskave o odpornosti asfalta proti trajnemu preoblikovanju so za podjetje opravili bodisi v Zavodu za gradbeništvo (v nadaljevanju ZAG) v Ljubljani kot tudi v Igmatu (Inštitut za gradbene materiale). Moja naloga je torej analizirati vse pridobljene rezultate in podati zaključno oceno primernosti uporabe zrn črne jeklarske žlindre v bituminiziranih zmesih.

8.1 Preiskave bituminiziranih zmesi silikatnih in karbonatnih zrn

8.1.1 Preiskave vzorca bituminizirane zmesi

8.1.1.1 Bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2010

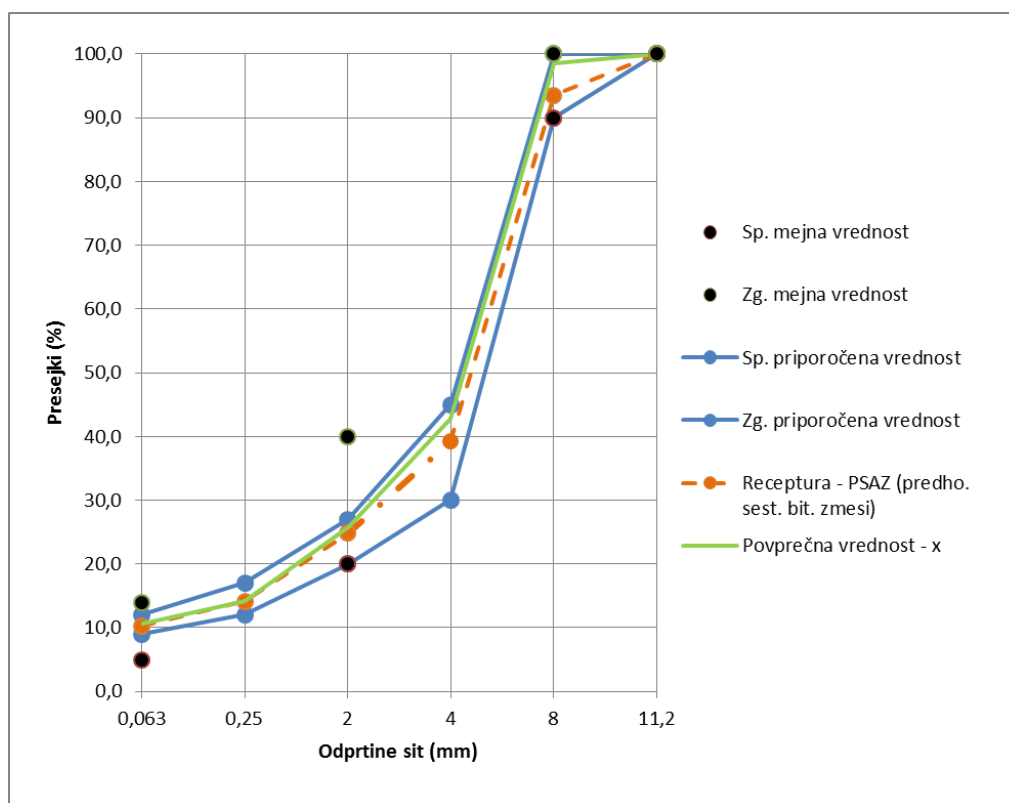
Prvi preizkušeni vzorec je bila bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2. Bituminizirana zmes je bila namenjena za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, ki je obremenjena z izredno ali zelo težko prometno obremenitvijo. Mesto proizvodnje zmesi je bila asfaltna baza Naklo (CP Kranj).

Kamena zmes je bila sestavljena iz kamene moke, frakcije 0/2 mm dolomita ter frakcije 2/4 in 4/8 eruptivnega materiala. Vsi materiali so bili pridobljeni iz lastnega kamnoloma Kamna Gorica. Zrnavostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes SMA 8. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-5. Za kameno zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja bistveno ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnivosti je prikazan na sliki 31.

Za vrsto bitumna so izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Lastnost penetracije bitumna pri 25 °C je bila 53,3 (enota desetinka mm), kar je skladno z zahtevami standarda SIST 1035:2008. Topni delež veziva v zmesi je znašal 6,7 m.-%, kar zadosti standardom, ki zahtevajo minimalno vrednost 6,5 m.-%.

Preglednica 21: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 8 PmB 45/80-65 (Vir: [19])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi								
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	
Po SIST EN				1038-5	1038-5								
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	7-ASF-2010	7. 4. 2010	PmB	6,7	10,7	11,9	14,2	17,3	25,7	42,8	98,5	100	
Spodnja mejna vrednost				6,5	5				20		90	100	
Zgornja mejna vrednost					14				40		100	100	
Spodnja priporočena vrednost					9		12		20	30	90	100	
Zgornja priporočena vrednost					12		17		27	45	100	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				6,7	10,3	11,3	14,1	17,8	24,8	39,2	93,5	100	
Statistična obdelava													
Povprečna vrednost - x				6,7	10,7	11,9	14,2	17,3	25,7	42,8	98,5	100	



Slika 31: Diagram zrnivosti SMA 8 PmB 45/80-65

Pri preizkusu gostote bitumenskega preizkušanca in največje gostote zmesi so rezultati pokazali veliko skladnost z recepturo te zmesi. Prav tako so vse ostale preizkušene lastnosti skladne s standardi SIST 1038-5 in so prikazane v preglednici 22.

Preglednica 22: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 (Vir: [19])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Zahteve po standardu
		7-ASF-10	7. 4. 2010	PmB	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2269			-
Največja gostota	kg/m ³	2368			-
Proste votline v zmesi	V.-%	4,2			2,5 – 4,5
Stopnja zapolnjenosti votlin	%	78			74 – 89
Votline v kam. materialu	V.-%	19			VMA _{min NR}
Odtekanje veziva	m.-%	0,1			0,6
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	2612			-
Občutljivost na vodo	%	92			ITSR _{NR}

V splošnem lahko trdimo, da je bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 skladna z zahtevami za ceste, ki so izpostavljene izredni oziroma zelo težki prometni obremenitvi. Tako proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

8.1.1.2 Bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2008

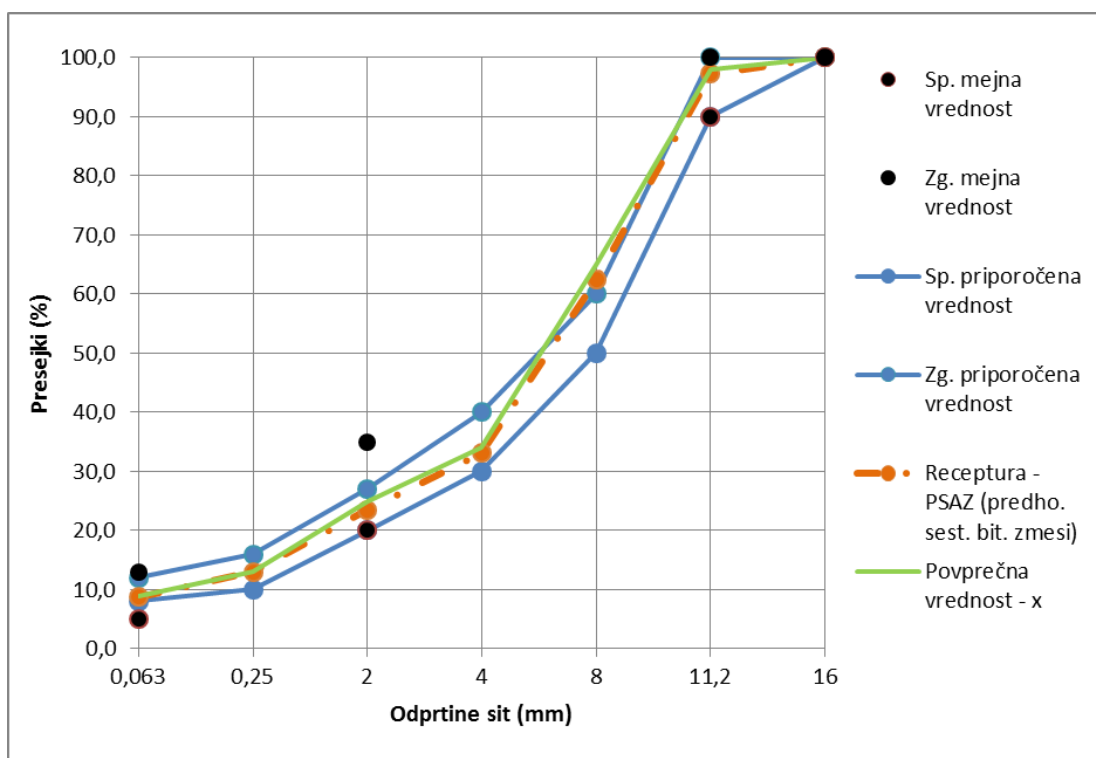
Drugi preizkušeni vzorec je bila bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2. Zmes so vgradili kot obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, ki je bila izpostavljen izredni ali zelo težki prometni obremenitvi. Mesto proizvodnje je bila asfaltna baza Naklo.

Kamena zmes je bila sestavljena iz kamene moke, frakcij 0/2 dolomita in frakcij 2/4, 4/8 ter 8/11 eruptivnega materiala. Vsi materiali so bili pridobljeni v lastnem kamnolomu Kamna Gorica. Zrnavostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes tipa SMA 11. Presejna krivulja kamene zmesi je v splošnem znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki jih določa standard SIST 1038-5. Manjše odstopanje presejne krivulje kamene zmesi opazimo na situ 8 mm. Določena odstopanja na situ 8 mm opazimo že pri sami recepturi oziroma predhodni sestavi bituminizirane zmesi. Diagram zrnavosti je prikazan na sliki 32.

Že opis bituminizirane zmesi nam pove, da so za vezivo izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Njegova penetracija je znašala 55,7 desetink mm, kar je skladno z zahtevami standarda SIST 1035:2008. Topni delež veziva v zmesi je znašal 6,4 m.-%, kar zadosti standardom, ki zahtevajo minimalno vrednost 6,3 m.-%.

Preglednica 23: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 11 PmB 45/80-65 (Vir: [20])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi									
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)									
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16	
Po SIST EN				1038-5	1038-5									
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	90-ASF-08	17. 7. 2008	PmB	6,4	8,9	10	13	17	25	34	65	98	100	
Spodnja mejna vrednost				6,3	5				20			90	100	
Zgornja mejna vrednost					13				35			100	100	
Spodnja priporočena vrednost					8		10		20	30	50	90	100	
Zgornja priporočena vrednost					12		16		27	40	60	100	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				6,3	8,7	10,2	13	16,8	23,5	33,1	62,4	97,2	100	
Statistična obdelava														
Povprečna vrednost - x				6,4	8,9	10	13	17	25	34	65	98	100	



Slika 32: Diagram zrnivosti SMA 11 PmB 45/80-65

Lastnosti proizvedene bituminizirane zmesi SMA 11 PmB 45/80-65 so v splošnem skladne tako s predhodno sestavo bituminizirane zmesi (recepturo) kot tudi z zahtevami standardov. Vse lastnosti so prikazane v preglednici 24.

Preglednica 24: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 11 PmB 45/80-65 (Vir: [20])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta Bitumna	Zahteve po standardu
		90-ASF-08	17.7.2008	PmB	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2305			–
Največja gostota	kg/m ³	2380			–
Proste votline v zmesi	V.-%	3,1			2,5 – 4,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	81,8			74 – 89
Votline v kam. materialu	V.-%	17,4			VMA _{min NR}
Odtekanje veziva	m.-%	0,1			0,6
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	2612			–
Občutljivost na vodo	%	90,0			ITSR _{NR}

Kakovost proizveden bituminizirane zmesi ni povsem skladna s standardi za izredno oziroma zelo težko prometno obremenitev. Odstopanje je zabeleženo pri presejni krivulji kamene zmesi, vendar so vse ostale preizkušene vrednosti skladne z zahtevami standardov. Proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

8.1.1.3 Bituminizirana zmes AC 11 surf PmB 45/80-65 A2 – 2010

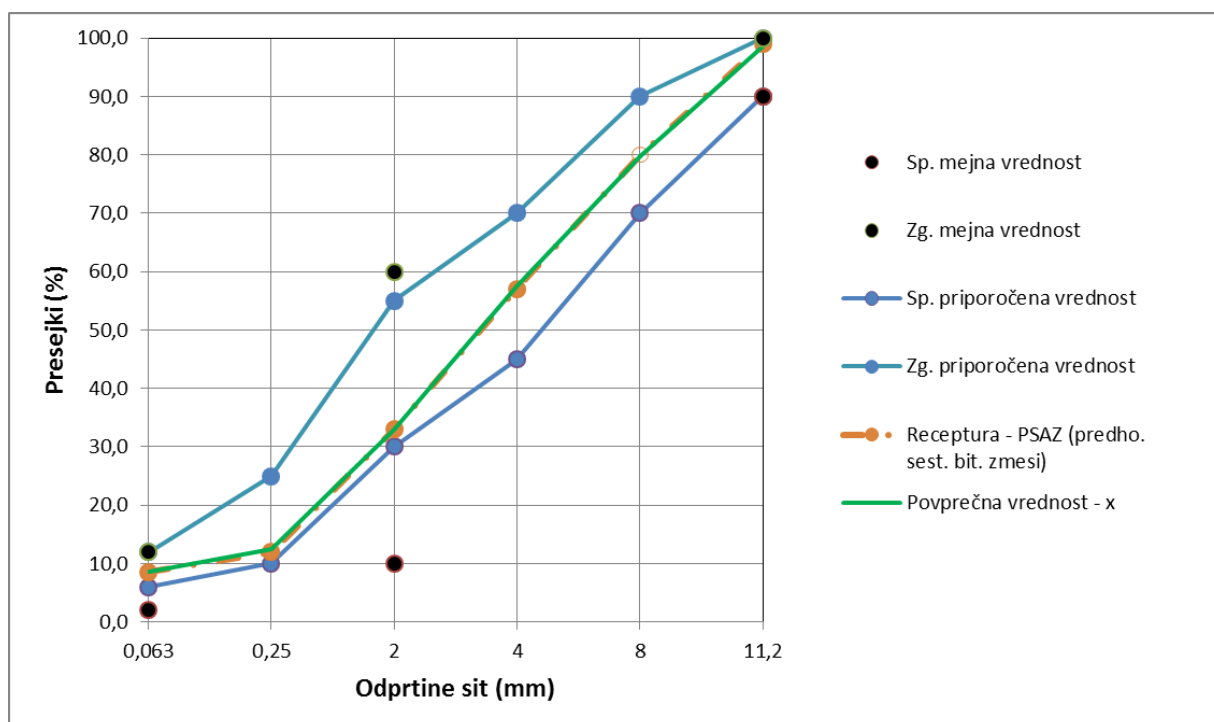
Tretji obravnavani vzorec je bila bituminizirana zmes AC surf PmB 45/80-65 A2. Zmes je bila ravno tako namenjena za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, ki je bila izpostavljena zelo težki prometni obremenitvi. Mesto proizvodnje je bila asfaltna baza Naklo.

Kamena zmes je bila sestavljena iz kamene moke, frakcij 0/2 dolomita in frakcij 2/4, 4/8 ter 8/11 eruptivnega materiala. Vsi materiali so bili pridobljeni v lastnem kamnolomu Kamna Gorica. Zrnavostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes tipa AC 11 surf. Presejna krivulja kamene zmesi je znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki jih določa standard SIST 1038-1. Diagram zrnivosti je prikazan na sliki 33.

Že opis bituminizirane zmesi nam pove, da so za vezivo izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Topni delež veziva v zmesi znaša 5,5 m.-%.

Preglednica 25: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 11 surf PmB 45/80-65 (Vir: [21])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi								
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	
Po SIST EN				1038-1	1038-1								
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	144-ASF-10	19. 9. 2010	PmB	5,5	8,6	9,4	12,4	17,3	33	57,5	79,8	98,5	
Spodnja mejna vrednost					2				10			90	
Zgornja mejna vrednost					12				60			100	
Spodnja priporočena vrednost					6		10		30	45	70	90	
Zgornja priporočena vrednost					12		25		55	70	90	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				5,5	8,6	9	12	17	33	57	80	99	
Statistična obdelava													
Povprečna vrednost - x				5,5	8,6	9,4	12,4	17,3	33	57,5	79,8	98,5	



Slika 33: Diagram zrnivosti AC 11 Surf PmB 45/80-65

Lastnosti proizvedene bituminizirane zmesi AC surf 11 PmB 45/80-65 so v splošnem skladne tako s predhodno sestavo bituminizirane zmesi (recepturo) kot tudi z zahtevami standardov. Rezultati lastnosti bituminizirane zmesi so prikazani v preglednici 26.

Preglednica 26: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 11 surf PmB 45/80-65 (Vir: [21])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta Bitumna	Zahteve po standardu
		144-ASF-10	19. 9. 2010	PmB	SIST EN
Gostota bitumenskega preizkušanca	kg/m ³	2325			-
Največja gostota	kg/m ³	2458			-
Proste votline v zmesi	V.-%	5,4			3 – 6,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	69,5			65 – 80
Votline v kam. materialu	V.-%	17,8			VMA _{min NR}
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	2672			-
Občutljivost na vodo	%	90,0			ITSR _{NR}

Kakovost proizvedene bituminizirane zmesi je povsem skladna s standardi za zelo težko prometno obremenitev. Odstopanje ni zabeleženo pri nobeni vrednosti. Iz rezultatov je razvidno, da so vse vrednosti skladne z zahtevami standardov. Proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

8.1.2 Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Wheel Tracking Test)

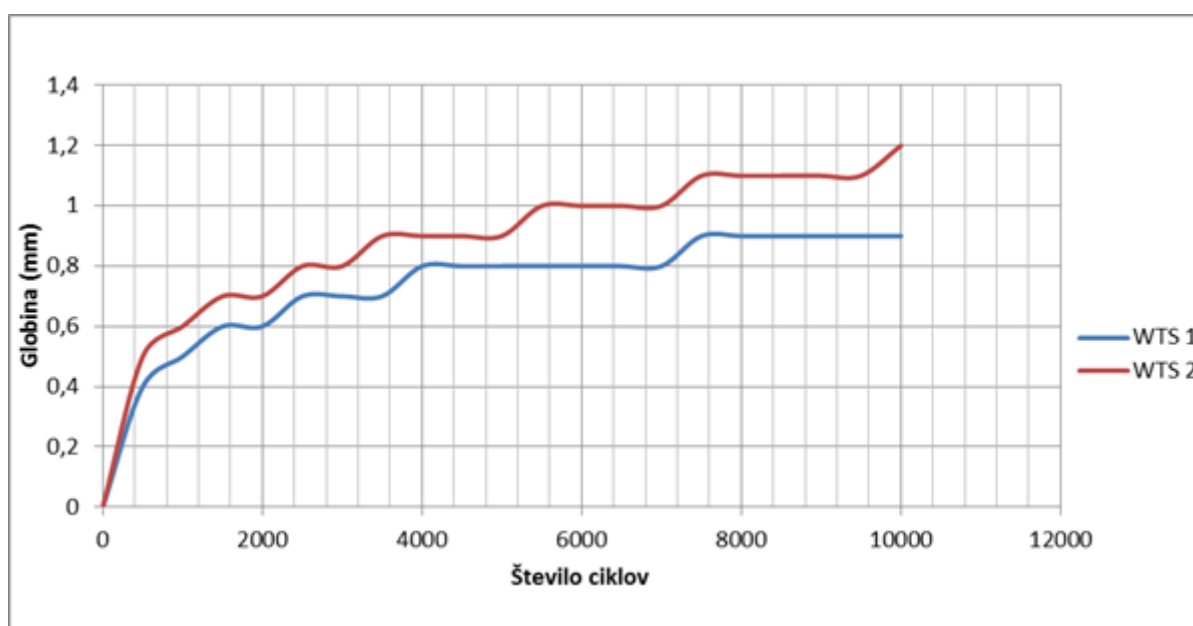
8.1.2.1 SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2010

Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju je opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2004. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene asfaltne plasti. Asfaltna plast ne sme imeti zrna večja od 32 mm in maksimalna debelina vzorca ne sme presegati 80 mm. Preizkušena vzorca se vpnete v preizkusne kalupe, kjer morata biti zgornji ploskvi kalupa in vzorca vzporedni. Za določanje odpornosti proti nastanku kolesnic se uporablja kolesnica (obteženo kolo), ki obremenjuje asfaltno plast s ponavljajočimi prehodi pri konstantni temperaturi 60 °C. Preiskava nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) ([2]).

Odvzeta vzorca asfaltne plasti SMA 8 PmB 45/80-65 sta imela debelino 33 in 36 mm. Stopnja zgoščenosti plasti je skladna s standardi in je presegala vrednost 97 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljenje s standardom. Torej lahko trdimo, da je kakovost vgrajene plasti skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 27 in na sliki 34.

Preglednica 27: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 8 PmB 45/80-65 (Vir: [23])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		10. 9. 2010	10. 9. 2010		–
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		1618-A-10	1618-A-10		–
Debelina vzorca	(mm)	33	36	35	20 – 40
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2273	2278	2276	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	100,2	100,4	100,3	≥ 97
Delež zračnih votlin	(%)	4	3,8	3,9	V _{min 1,5} - V _{min 7}
Datum preskusa WTT		13. 9. 2010	13. 9. 2010		–
Laboratorijska številka		1618-A-10	1618-A-10		–
Debelina vzorca	(mm)	33	36	35	20 – 40
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	0,9	1,2	1,1	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	2,7	3,3	3,0	PRD _{AIR} 5,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,03	0,04	0,03	WTS _{AIR} 0,03



Slika 34: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [23])

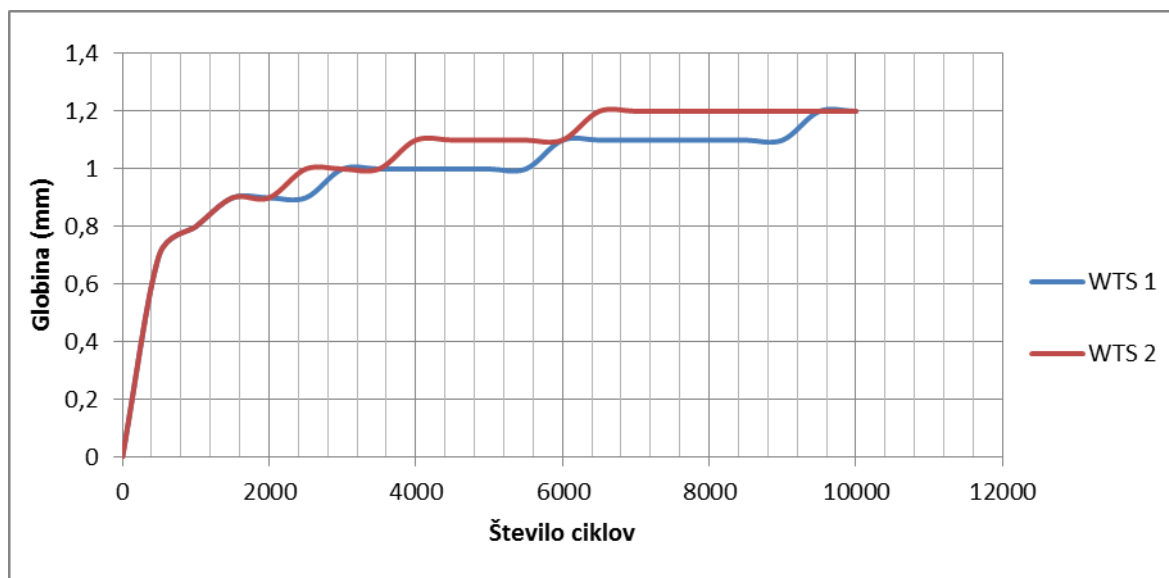
Na osnovi rezultatov dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti SMA 8 lahko ocenimo, da je globina kolesnic dokaj majhna. Poleg tega je sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR}) 2,7 % in 3,3 %. Obe vrednosti sta znotraj omejitve za bituminizirano zmes SMA 8 PmB 45/80-65, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-5 in znaša PRD_{AIR} 5,0 %. Tudi lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,03, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2006. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Dovolj je le razvrstitev vrednosti v vnaprej predpisane kategorije. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast SMA 8 z zrni naravnega silikatnega in karbonatnega materiala ocenjena kot primerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

8.1.2.2 SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2008

Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za bituminizirano zmes SMA 11 PmB 45/80-65 je opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2004 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene asfaltna plasti. Odvzeta vzorca asfaltna plasti SMA 11 PmB 45/80-65 sta imela debelino 41 mm. Stopnja zgoščenosti plasti je skladna s standardi in je presegala vrednost 97 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljene s standardom. Torej lahko trdimo, da je kakovost vgrajene plasti skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 28 in na sliki 35.

Preglednica 28: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 11 PmB 45/80-65 (Vir: [24])

Lastnosti asfaltnih plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		12. 7. 2011	12. 7. 2011		–
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		644-A-11	644-A-11		–
Debelina vzorca	(mm)	41	41	41	25 – 50
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2304	2300	2302	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	100,8	100,6	100,7	≥ 97
Delež zračnih votlin	(%)	3,2	3,4	3,3	$V_{\min 1,5} - V_{\min 7}$
Datum preskusa WTT		19. 7. 2011	19. 7. 2011		–
Laboratorijska številka		666-A-11	666-A-11		–
Debelina vzorca	(mm)	41	41	41	25 – 50
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	1,2	1,2	1,2	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	2,9	2,9	2,9	PRD _{AIR} 5,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,02	0,02	0,02	WTS _{AIR} 0,02



Slika 35: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [24])

Glede na rezultata dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti SMA 11 lahko ocenimo, da je globina kolesnic dokaj majhna. Poleg tega je sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR}) v obeh primerih

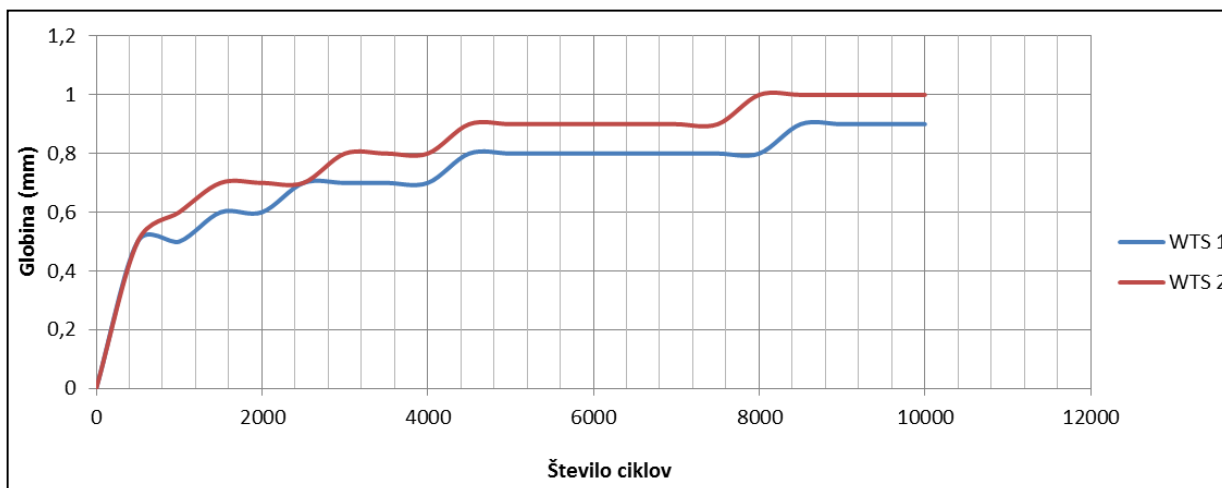
2,9 %. Vrednosti sta znotraj omejitve za bituminizirano zmes SMA 11 PmB 45/80-65, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-5 in znaša PRD_{AIR} 5,0 %. Tudi lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,02, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2008. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Potrebno je le razvrstiti vrednosti v vnaprej predpisane kategorije. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast SMA 11 z zrni naravnega silikatnega in karbonatnega materiala ocenjena kot primerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

8.1.2.3 AC 11 surf PmB 45/80-65 A2 – 2010

Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za bituminizirano zmes AC 11 PmB 45/80-65 je opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2004. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene asfaltne plasti. Odzeta vzorca asfaltne plasti AC 11 PmB 45/80-65 sta imela debelino 40 mm. Stopnja zgoščenosti plasti je skladna s standardi in je presegala vrednost 98 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljene s standardom. Torej lahko trdimo, da je kakovost vgrajene plasti skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 29 in na sliki 36.

Preglednica 29: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 11 PmB 45/80-65 (Vir: [25])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		19. 9. 2010	19. 9. 2010		
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		1782-A-10	1782-A-10		
Debelina vzorca	(mm)	40	40	40	30 – 50
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2306	2306	2306	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	99,2	99,2	99,2	≥ 98
Delež zračnih votlin	(%)	5,2	5,2	5,2	$V_{min 2}$ - $V_{min 8,5}$
Datum preskusa WTT		12. 10. 2010	12. 10. 2010		
Laboratorijska številka		1821-A-10	1821-A-10		
Debelina vzorca	(mm)	40	40	40	30 – 50
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	0,9	1,0	1,0	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	2,3	2,5	2,4	PRD_{AIR} 7,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,02	0,03	0,02	WTS_{AIR} 0,03



Slika 36: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [25])

Na osnovi rezultatov dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti AC 11 lahko ocenimo, da je globina kolesnic dokaj majhna. Poleg tega je sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR}) 2,3 % in 2,5 %. Obe vrednosti sta znotraj omejitve za bituminizirano zmes AC 11 PmB 45/80-65, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-1 in znaša PRD_{AIR} 7,0 %. Tudi lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,03, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2006. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast AC 11 z zrn naravnega silikatnega in karbonatnega materiala ocenjena kot primerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

8.2 Preiskave bituminiziranih zmesi žlindre

8.2.1 Preiskave vzorca bituminiziranih zmesi

8.2.1.1 Bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1 – 2011

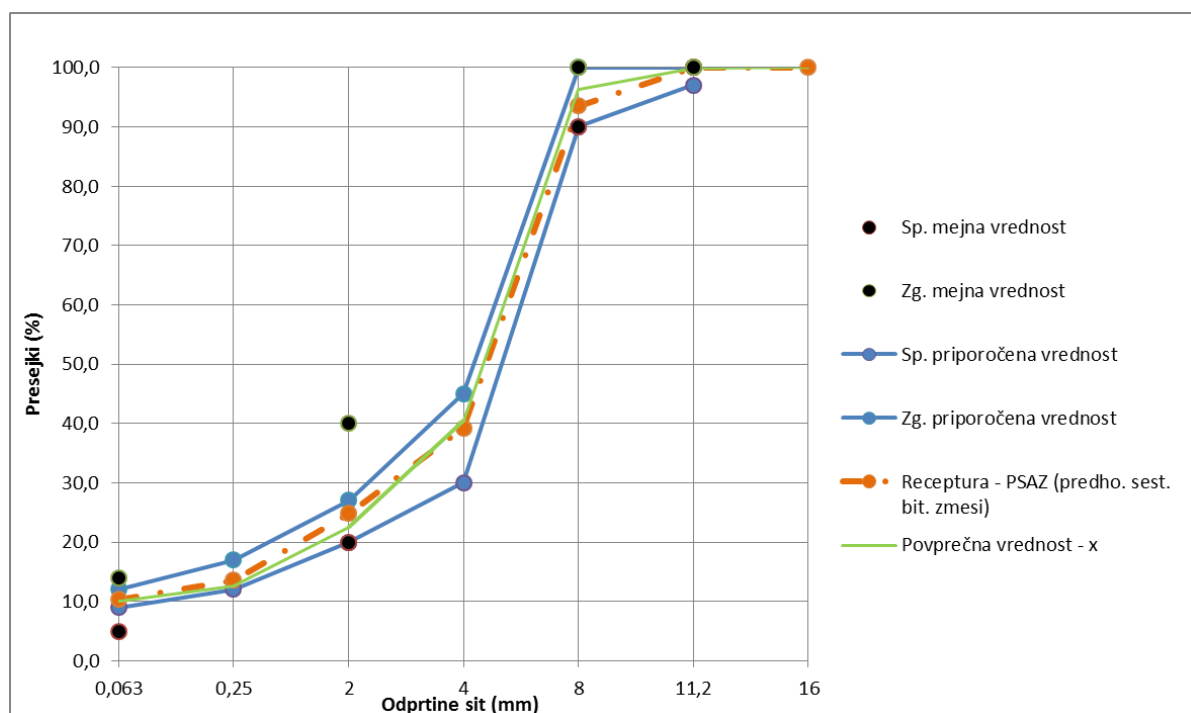
Prvi preizkušeni vzorec z žlindro je bila bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1. Bituminizirana zmes je bila namenjena za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, ki je obremenjena z izredno težko prometno obremenitvijo. Mesto proizvodnje zmesi je bila asfaltna baza Naklo (GGD d. d.).

Kamena zmes je bila sestavljena iz kamene moke, frakcije 0/2 mm dolomita ter frakcije 2/4 in 4/8 črne jeklarske žlindre. Materiala kamene moke in dolomita so pridobili iz lastnega kamnoloma Kamna Gorica, medtem ko so črno jeklarsko žlindro kupili od podjetja Harsco Minerali. Zrnovostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes SMA 8. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-5. Za kameno zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja bistveno ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnivosti je prikazan na sliki 37.

Za vrsto bitumna so izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Topni delež veziva v zmesi znaša 7,3 m.-%, kar zadosti standardom, ki zahtevajo minimalno vrednost 6,5 m.-%.

Preglednica 30: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 8 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi									
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)									
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16	
Po SIST EN				1038-5	1038-5									
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	62-ASF-201	1. 12. 2011	PmB	7,3	10,1	10,7	12,6	15,2	22,5	40,5	96,3	99,8	100	
Spodnja mejna vrednost				6,5	5			20		90	100			
Zgornja mejna vrednost					14			40		100	100			
Spodnja priporočena vrednost					9		12	20	30	90	97			
Zgornja priporočena vrednost					12		17	27	45	100	100			
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				6,7	10,3	11,3	13,6	17,8	24,8	39,2	93,5	100	100	
Statistična obdelava														
Povprečna vrednost - x				7,3	10,1	10,7	12,6	15,2	22,5	40,5	96,3	99,8	100	

**Slika 37: Diagram zrnivosti SMA 8 PmB 45/80-65, žindra**

Pri preizkusu gostote bitumenskega preizkušanca in največje gostote zmesi so rezultati pokazali odstopanja od recepture te zmesi. Vzrok odstopanja je predvsem v večji prostorninski masi zrn žindre v primerjavi z eruptivnim materialom, za katerega je narejena receptura zmesi. Manjša odstopanja od zahtevanih vrednosti so zabeležena še pri tečenju in togosti bituminizirane zmesi. Rezultati preiskav

prostih votlin v zmesi, stopnje zapoljenosti votlin in votlin v kamenem materialu so skladni s standardi SIST 1038-5 in so prikazani v preglednici 31.

Preglednica 31: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 8 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta Bitumna	Zahteve po standardu
		62-ASF-201	1. 12. 2011	PmB	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2799			–
Največja gostota	kg/m ³	2886			–
Proste votline v zmesi	V.-%	3			2,5 – 4,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	86,7			74 – 89
Votline v kam. materialu	V.-%	22,8			WMA _{min} NR
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	3360			–
Stabilnost	kN	9,3			≥ 8
Tečenje	mm	6,7			≤ 4
Togost	kN/mm	1,4			≥ 2,2

V splošnem lahko trdimo, da je bituminizirana zmes SMA 8 PmB 45/80-65 z zni žindre skladna z zahtevami za ceste, ki so izpostavljene izredno težki prometni obremenitvi. Tako proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

8.2.1.2 Bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

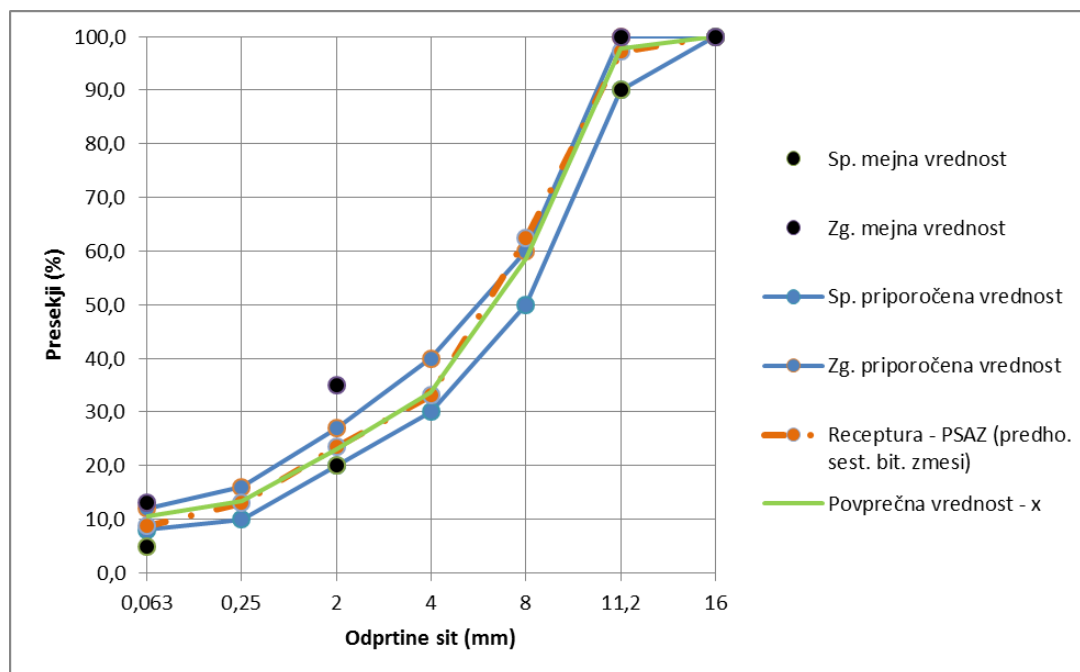
Drugi preizkušeni vzorec z žindro je bila bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2. Bituminizirana zmes je bila namenjena za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, ki je obremenjena z izredno ali zelo težko prometno obremenitvijo. Mesto proizvodnje zmesi je bila ravno tako asfaltna baza Naklo (GGD d. d.).

Kamena zmes je bila sestavljena iz kamene moke, frakcije 0/2 mm dolomita ter frakcije 2/4, 4/8 in 8/11 črne jeklarske žlindre. Materiala kamene moke in dolomita so pridobili iz lastnega kamnoloma Kamna Gorica, medtem ko so črno jeklarsko žindro kupili od podjetja Harsco Minerali. Zrnavostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes SMA 11. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-5. Za kameno zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja bistveno ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnavosti je prikazan na sliki 38.

Za vrsto bitumna so izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Topni delež veziva v zmesi znaša 6,4 m.-%, kar zadosti standardom, ki zahtevajo minimalno vrednost 6,3 m.-%.

Preglednica 32: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn SMA 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi									
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)									
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16	
Po SIST EN				1038-5	1038-5									
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	263-ASF-11	1. 12. 2011	PmB	6,4	10,5	11,1	13,3	16,4	23,1	33,6	58,7	97,8	100	
Spodnja mejna vrednost				6,3	5				20			90	100	
Zgornja mejna vrednost					13				35			100	100	
Spodnja priporočena vrednost					8		10		20	30	50	90	100	
Zgornja priporočena vrednost					12		16		27	40	60	100	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				6,3	8,7	10,2	13	16,8	23,5	33,1	62,4	97,2	100	
Statistična obdelava														
Povprečna vrednost - x				6,4	10,5	11,1	13,3	16,4	23,1	33,6	58,7	97,8	100	



Slika 38: Diagram zrnivosti SMA 11 PmB 45/80-65, žindra

Rezultati so pokazali odstopanje vrednosti gostote bitumenskega preizkušanca in največje gostote zmesi od recepture te zmesi. Vzrok odstopanja je predvsem v večji prostorninski masi zrn žindre v

primerjavi z eruptivnim materialom, za katerega je narejena receptura zmesi. Manjše odstopanje od zahtevanih vrednosti je zabeleženo še pri togosti bituminizirane zmesi. Odlične so lastnosti stopnja zapoljenosti votlin in proste votline v zmesi. Rezultata obeh karakteristik sta skladna s standardi SIST 1038-5.

Preglednica 33: Lastnosti bituminizirane zmesi SMA 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Lastnosti ASFALTNE ZMESI	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Zahteve po standardu
		263-ASF- 11	1. 12. 2011	PmB	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2849			–
Največja gostota	kg/m ³	2926			–
Proste votline v zmesi	V.-%	2,6			2,5 – 4,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	86,8			74 – 89
Votline v kam. materialu	V.-%	20,4			VMA _{min} NR
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	3348			–
Stabilnost	kN	10,5			≥ 8
Tečenje	mm	3,3			≤ 4
Togost	kN/mm	3,2			≥ 2,2

V splošnem lahko trdimo, da je bituminizirana zmes SMA 11 PmB 45/80-65 z zrnji žindre skladna z zahtevami za ceste, ki so izpostavljene izredni ali zelo težki prometni obremenitvi. Tako proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno-zaporno plast voziščne konstrukcije.

8.2.1.3 Bituminizirana zmes AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

Zadnji preizkušeni vzorec z žindro v tem sklopu je bila bituminizirana zmes AC 11 PmB 45/80-65 A1, A2. Bituminizirana zmes je bila namenjena za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, kar je veljajo tudi za vse prejšnje primere. Zmes je bila projektirana na izredno ali zelo težko prometno obremenitev. Mesto proizvodnje zmesi je bila asfaltna baza Naklo (GGD d. d.).

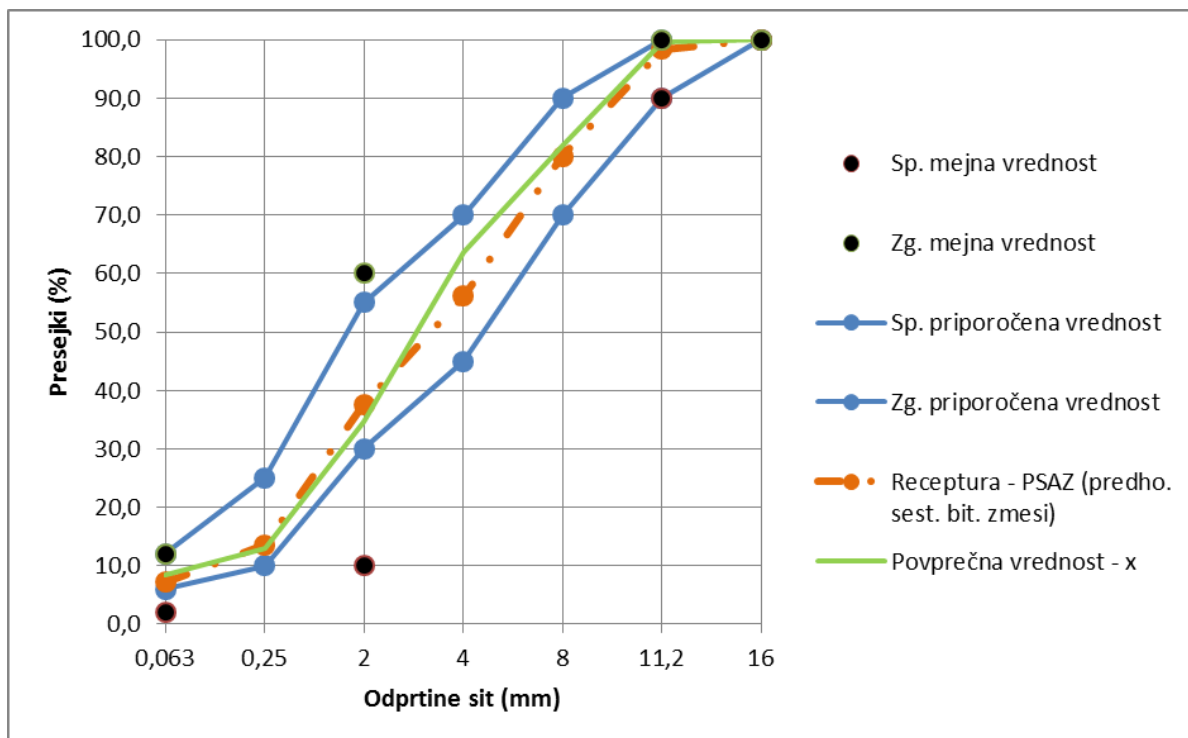
Kamena zmes je bila sestavljena iz kamene moke, frakcije 0/2 mm dolomita ter frakcije 2/4, 4/8 in 8/11 črne jeklarske žindre. Materiala kamene moke in dolomita so pridobili iz lastnega kamnoloma Kamna Gorica, medtem ko so črno jeklarsko žindro kupili od podjetja Harsco Minerali. Zrnavostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes AC 11. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-1. Za kameno

zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja bistveno ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnivosti je prikazan na sliki 39.

Za vrsto bitumna so izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Topni delež veziva v zmesi znaša 5,6 m.-%, kar zadosti standardom, ki eksplicitno ne zahtevajo minimuma ali maksimuma topnega deleža veziva za to vrsto bituminiziranih zmesi.

Preglednica 34: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi									
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)									
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	16	
Po SIST EN				1038-1	1038-1									
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	259-ASF-11	1. 12. 2011	PmB	5,6	8,5	9,3	13	19	34,7	63,6	81,9	99,6	100	
Spodnja mejna vrednost					2				10			90	100	
Zgornja mejna vrednost					12				60			100	100	
Spodnja priporočena vrednost					6		10		30	45	70	90	100	
Zgornja priporočena vrednost					12		25		55	70	90	100	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				5,7	7,2	8,3	13,6	20,9	37,6	56,1	80,1	98,4	100	
Statistična obdelava														
Povprečna vrednost - x				5,6	8,5	9,3	13	19	34,7	63,6	81,9	99,6	100	



Slika 39: Diagram zrnivosti AC 11 PmB 45/80-65, žindra

Preizkus gostote bitumenskega preizkušanca in največje gostote zmesi je pokazal večje odstopanje gostote od enakih zmesi z eruptivnim naravnim materialom. Enaka razlika je bila opazna že pri prejšnjih dveh primerih z zrni žindre. Vzrok lahko iščemo pri večji prostorninski masi zrn žindre. Pri ostalih treh lastnostih (proste votline v zmesi, stopnja zapoljenosti votlin in votline v kamenem materialu) so rezultati skladni z zahtevami standarda SIST 1038-1.

Preglednica 35: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Lastnosti ASFALTNE ZMESI	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Zahteve po standardu
		259-ASF-11	1. 12. 2011	PmB	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2802			–
Največja gostota	kg/m ³	2921			–
Proste votline v zmesi	V.-%	4,1			3 – 6,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	78,9			65 – 80
Votline v kam. materialu	V.-%	19,4			VMA _{min} NR
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	3280			–

Bituminizirana zmes AC 11 PmB 45/80-65 z zrnji žindre izpolnjuje vse zahteve standardov za izredno ali zelo težko prometno obremenitev za katero je bila zmes projektirana. Tako proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

8.2.2 Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (*Wheel Tracking Test*)

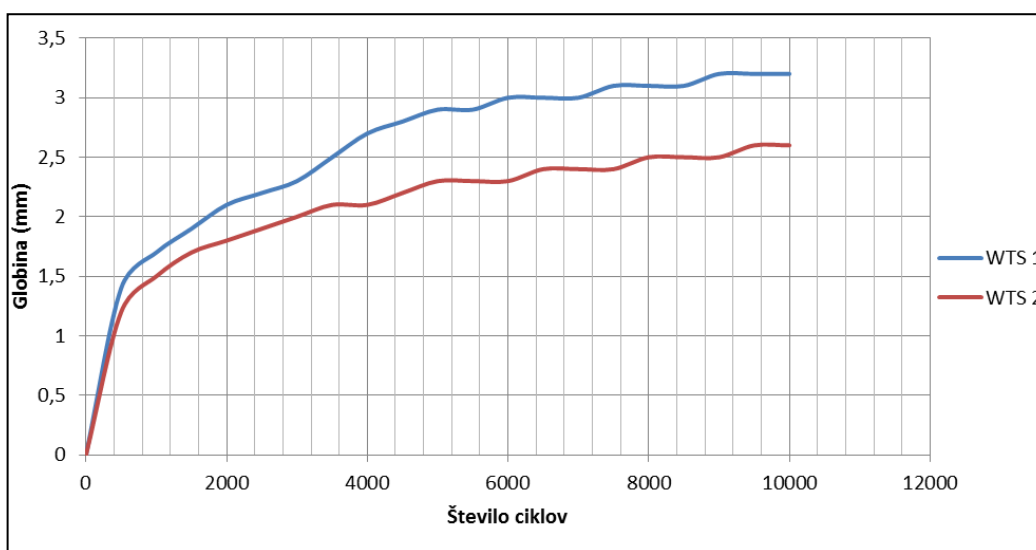
8.2.2.1 SMA 8 PmB 45/80-65 A1, žindra 2011

Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju je za GGD opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2007 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene obrabno-zaporne plasti. Preiskava odpornosti proti nastanku kolesnic nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnice (WTS_{AIR}).

Odvzeta vzorca asfaltne plasti SMA 8 PmB 45/80-65 z zrnji žindre sta imela debelino 51 in 50 mm. Debelino vzorcev za preiskavo so morali zmanjšati na 40 mm, da je bila skladna z zahtevami standardov. Asfaltna plast ni bila vgrajena v ustrezni debelini. Stopnja zgoščenosti plasti je zadovoljiva in je presegala predpisano vrednost 97 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljenije s standardom. Torej lahko trdimo, da kakovost vgrajene plasti ni povsem skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 36 in na sliki 40.

Preglednica 36: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 8 PmB 45/80-65, žilindra (Vir: [26])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		14. 4. 2012	14. 4. 2012		–
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		147-A-12	147-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	51	50	51	20 – 40
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2793	2795	2794	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	99,8	99,9	99,8	≥ 97
Delež zračnih votlin	(%)	3,2	3,2	3,2	V _{min 1,5} - V _{min 7}
Datum preskusa WTT		19. 4. 2012	19. 4. 2012		–
Laboratorijska številka		156-A-12	156-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	40	40	40	20 – 40
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	3,2	2,6	2,9	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	8	6,5	7,3	PRD _{AIR} 5,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,094	0,086	0,09	WTS _{AIR} 0,10



Slika 40: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26])

Na podlagi rezultatov dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti SMA 8 (žilindra) lahko ocenimo, da je globina kolesnic dokaj majhna. Vrednosti sorazmerne globine kolesnic (PRD_{AIR}) sta 8,0 % in 6,5

% . Vrednosti nista znotraj zahtevanih omejitev za bituminizirano zmes SMA 8, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-5 in znaša PRD_{AIR} 5,0 %. Glede na to, da sta preizkušena vzorca iz iste proizvedene zmesi, je razlika med rezultati PRD_{AIR} dokaj velika. Lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,10, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2008. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast SMA 8 (žindra) ocenjena kot neprimerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

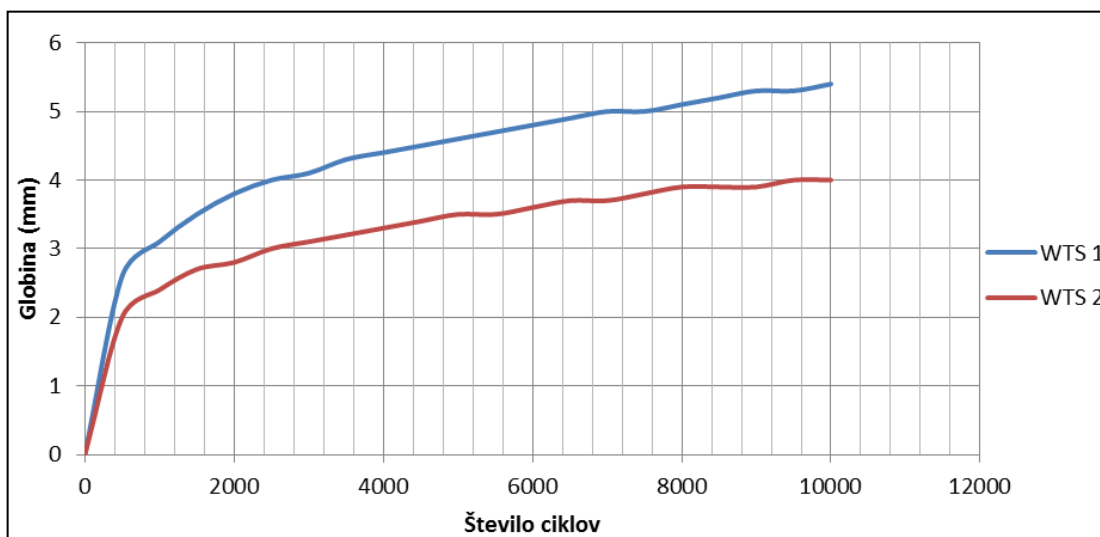
8.2.2.2 SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju je za GGD opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2007 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene obrabno zaporne plasti. Preiskava odpornosti proti nastanku kolesnic nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnice (WTS_{AIR}).

Odvzeta vzorca asfaltna plast SMA 11 PmB 45/80-65 z zrnji žindre sta imela debelino 69 in 68 mm. Debelino vzorcev za preiskavo so morali zmanjšati na 50 mm, da je bila skladna z zahtevami standardov, ki zahtevajo debelino vzorca med 25 in 50 mm. Asfaltna plast ni bila vgrajena v ustrezni debelini. Stopnja zgoščenosti plasti je zadovoljiva in je presegala predpisano vrednost 97%. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljenje s standardom. Torej lahko trdimo, da kakovost vgrajene plasti ni povsem skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 37 in na sliki 41.

Preglednica 37: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic SMA 11 PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		14. 4. 2012	14. 4. 2012		–
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		146-A-12	146-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	69	68	69	25 – 50
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2878	2872	2875	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	101	100,8	100,9	≥ 97
Delež zračnih votlin	(%)	1,6	1,8	1,7	$V_{\min 1,5} - V_{\min 7}$
Datum preskusa WTT		20. 4. 2012	20. 4. 2012		–
Laboratorijska številka		159-A-12	159-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	50	50	50	25 – 50
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	5,4	4,0	4,7	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	10,8	8	9,4	PRD _{AIR} 5,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,15	0,114	0,132	WTS _{AIR} 0,15



Slika 41: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26])

Na podlagi rezultatov dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti SMA 11 (žindra) lahko ocenimo, da je globina kolesnic srednje velika. Vrednosti sorazmerne globine kolesnic (PRD_{AIR}) sta 10,8 % in 8 %. Vrednosti nista znotraj zahtevanih omejitev za bituminizirano zmes SMA 11, ki je v Sloveniji

določena s standardom SIST 1038-5 in znaša PRD_{AIR} 5,0 %. Glede na to, da sta preizkušena vzorca iz iste proizvedene zmesi, se ponovno pojavi velika razlika med dobljenimi vrednostmi PRD_{AIR} . Vzrok za občutno razliko med vzorcema lahko iščemo pri zmanjšanju debeline vzorca. Lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,15, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2008. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast SMA 11 (žindra) ocenjena kot neprimerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

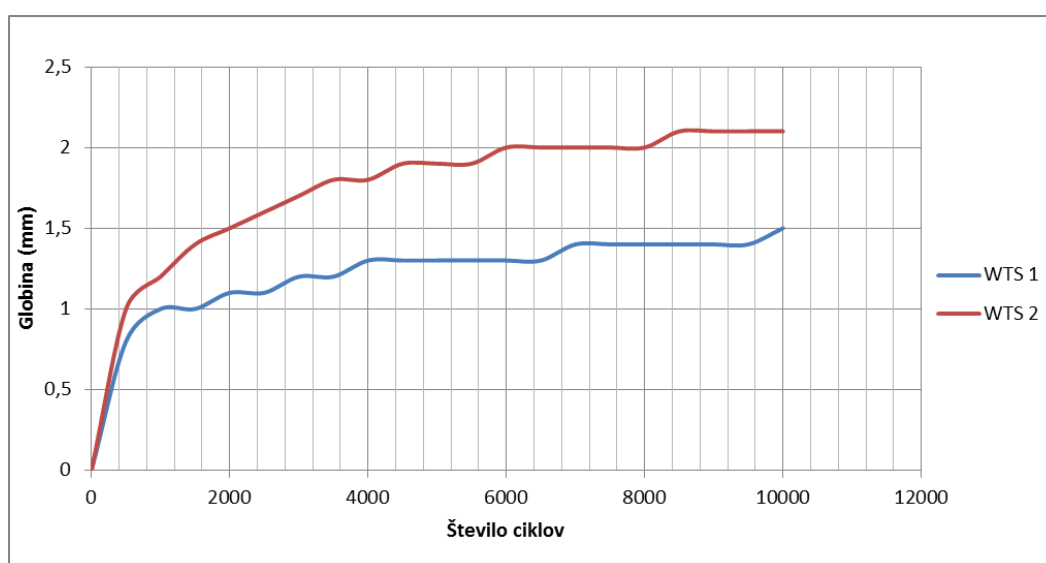
8.2.2.3 AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

Tudi za zadnji primer bituminizirane zmesi je preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za GGD opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2007 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene obrabno zaporne plasti AC 11 surf. Preiskava odpornosti proti nastanku kolesnic nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnice (WTS_{AIR}).

Odvzeta vzorca asfaltna plasti AC 11 surf PmB 45/80-65 z zrni žindre sta imela debelino 64 in 58 mm. Debelino vzorcev za preiskavo so morali zmanjšati na 50 mm, da je bila skladna z zahtevami standardov, ki zahtevajo debelino vzorca med 30 in 50 mm. Asfaltna plast ni bila vgrajena v ustrezni debelini. Stopnja zgoščenosti plasti je zadovoljiva in je presegala predpisano vrednost 98 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljenje s standardom. Torej lahko trdimo, da kakovost vgrajene plasti ni povsem skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 38 in na sliki 42.

Preglednica 38: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 11 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		14. 4. 2012	14. 4. 2012		–
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		145-A-12	145-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	64	58	61	30 – 50
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2846	2825	2836	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	101,6	100,8	101,2	≥ 98
Delež zračnih votlin	(%)	2,6	3,3	2,9	V _{min 2} - V _{min 8,5}
Datum preskusa WTT		18. 4. 2012	18. 4. 2012		–
Laboratorijska številka		153-A12	153-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	47	50	49	30 – 50
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	1,5	2,1	1,8	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	3,2	4,2	3,7	PRD _{AIR} 7,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,03	0,038	0,034	WTS _{AIR} 0,05



Slika 42: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26])

Dobljeni rezultati globine kolesnic za obrabno zaporno plast AC 11 so ocenjeni za dokaj majhne. Vrednosti sorazmerne globine kolesnic (PRD_{AIR}) sta 3,2 % in 4,2 %. Vrednosti lahko umestimo znotraj zahtevanih omejitev za bituminizirano zmes AC 11, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-1 in znaša PRD_{AIR} 7,0 %. Lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,05, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2008. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast AC 11 (žindra) ocenjena kot primerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

8.3 Primerjava rezultatov in zaključki

V praksi se največ uporabljata bituminizirani zmesi bitumenski beton (AC) in drobir z bitumenskim mastiksom (SMA) s silikatnimi in karbonatnimi zrni. Njuna dolgoletna uporaba je pripomogla k odličnim rezultatom same bituminizirane zmesi. To velja tudi za naše primere vzorcev SMA 8, SMA 11 in AC 11. Diagrami zrnivosti in lastnosti bituminiziranih zmesi so skladni z zahtevami standardov. Vsi trije vzorci imajo odlično vrednost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Nedvomno so vsi trije vzorci primerni za uporabo v obrabno zapornih plasteh voziščne konstrukcije.

Vzorci s silikatnimi in karbonatnimi zrni sem primerjal z bituminiziranimi zmesmi z zrni žlindre. Obravnaval sem enake vrste bituminiziranih zmesi, saj le tako lahko pridobimo ustrezne primerjave med vzorci. Zrnovostna sestava zmesi je primerna pri vseh treh vzorcih. Tudi lastnosti posameznih bituminiziranih zmesi so skladne z zahtevami, kot sem opisal že v analizah vsakega vzorca posebej. Če bi torej upoštevali zgolj pridobljene lastnosti bituminiziranih zmesi z zrni žlindre, bi jih brez problema uporabili kot obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije. Vendar se razlika v kakovosti vzorcev pojavi pri lastnosti odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Bituminizirani zmesi SMA 8 in SMA 11 imata prevelike globine kolesnic in sorazmerne globine kolesnic. Njuna uporaba v obrabno zapornih plasteh voziščne konstrukcije torej ni priporočljiva, saj bi prišlo do nastanka kolesnic in s tem potreba po zamenjavi plasti. Kolesnice imajo tudi negativen vpliv na varnost in udobnost vožnje ter na trajnost voziščne konstrukcije. V nasprotju z omenjenima zmesema so pri vzorcu AC 11 odlične vrednosti globine kolesnic in sorazmerne globine kolesnic. Bituminizirano zmes AC 11 z zrni žlindre lahko ocenimo kot primerno za vgrajevanje v obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije. Zmes AC 11 z zrni žlindre bi lahko takoj uporabljali v praksi in nadomestili enako zmes z zrni naravnega silikatnega in karbonatnega materiala.

Za zaključek preiskav lahko omenimo, da so rezultati zadovoljivi. Zavedati se moramo, da so to prvi rezultati, ki jih je podjetje GGD pridobilo na področju uporabe črne jeklarske žlindre. Zmes AC 11 surf se je odlično izkazala na vseh preiskavah in je že primerna za uporabo. Brez težav lahko v zmesi AC 11 surf naravna eruptivna zrna nadomestimo z zrni žlindre. Ostali dve zmesi, SMA 8 in SMA 11, pa tudi nista veliko zaostajali za potrebnimi zahtevami standardov. Z nadaljnjimi preiskavami, s poizkusi in z izobraževanjem bi lahko dosegli zadovoljive rezultate za uporabo omenjenih zmesi.

9 PRIMERJAVA BITUMINIZIRANIH ZMESI ZRN ŽLINDRE Z BITUMNOM B 50/70 IN S POLIMERNIM BITUMNOM

Drugi del moje diplomske naloge je ugotovitev primernosti uporabe zrn črne jeklarske žlindre z različnim bitumnom v bituminiziranih zmesih. Podatke sem pridobil v podjetju GGD oziroma CP Kranj. Primerjal bom uporabo bituminiziranih zmesi s polimernim modificiranim bitumnom in z običajnim cestogradbenim bitumnom. Znano je, da ima polimerni modificiran bitumen z dodatki izboljšane lastnosti. Zato me je zanimalo, kako bitumen vpliva na karakteristike bituminizirane zmesi žlindre. Ravno tako kot v prejšnji točki bom tudi sedaj analiziral samo bituminizirano zmes in rezultate le te na preiskavah odpornosti asfalta proti preoblikovanju.

Preiskave o lastnostih bituminiziranih zmesi in o odpornosti asfalta proti nastanku kolesnic so za podjetje GGD opravili v ZAG-u in tudi Igmata-u (Inštitut za gradbene materiale). Moja naloga je torej analizirati vse pridobljene rezultate in podati zaključno oceno primernosti uporabe zrn črne jeklarske žlindre z različno vrsto bitumna.

9.1 Preiskave z bitumnom B 50/70

9.1.1 Preiskave vzorca bituminiziranih zmesi

9.1.1.1 Bituminizirana zmes AC 8 surf B 50/70

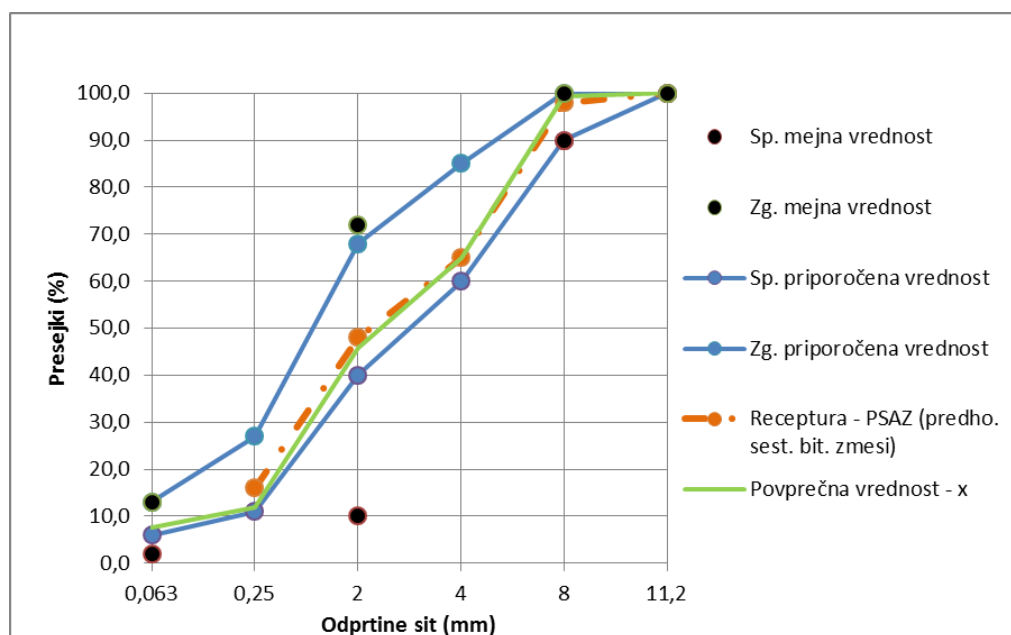
Bituminizirana zmes AC 8 surf B 50/70 (BB 8s) je bila prva preizkušena zmes s cestogradbenim bitumnom tipa B 50/70. Namenjena je bila za vezano obrabno in zaporno plast voziščne konstrukcije. Mesto proizvodnje zmesi je bila asfaltna baza Naklo (CP Kranj).

Sestava kamene zmesi je bila sledeča: kamena moka, frakcije 0/2, 2/4 in 4/8 mm črna jeklarska žindra. Material kamene moke so pridobili iz kamnoloma Kamna Gorica, medtem ko so črno jeklarsko žindro kupili od podjetja ECOlogic. Zrnovostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes AC 8. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-1. Za kameno zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja bistveno ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnivosti je prikazan na sliki 43.

Za vrsto bitumna so izbrali cestogradbeni bitumen tipa 50/70. Lastnost penetracije bitumna pri 25 °C je bila 37 (enota desetinka mm), kar ni skladno z zahtevami standarda SIST 1035:2008. Tudi zmečkaišče bitumna ni skladno z zahtevami standardov, saj znaša 54,8 °C. Lastnost penetracije in zmečkaišča sta ustrezni za bitumen tipa 35/50. Topni delež veziva v zmesi je znašal 6 m.-%, kar zadosti standardom, ki eksplicitno ne zahtevajo minimuma ali maksimuma topnega deleža veziva za to vrsto bituminiziranih zmesi.

Preglednica 39: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 8 surf B 50/70, žindra (Vir: [27])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi								
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	
Po SIST EN				1038-1	1038-1								
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	AC 8	20. 4. 2007	B 50/70	6	7,6	8,3	11,9	21,1	45,9	65	99,4	100	
Spodnja mejna vrednost					2				10		90	100	
Zgornja mejna vrednost					13				72		100	100	
Spodnja priporočena vrednost					6		11		40	60	90	100	
Zgornja priporočena vrednost					13		27		68	85	100	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				-	-	10,7	16	22	48	65	98	100	
Statistična obdelava													
Povprečna vrednost - x				6	7,6	8,3	11,9	21,1	45,9	65	99,4	100	

**Slika 43: Diagram zrnivosti AC 8 surf B 50/70, žindra**

Pri preiskavi prostorninskih lastnosti bituminiziranih zmesi je bilo ugotovljeno odstopanje prostih votlin v zmesi, kar pa je še v okviru tehnično sprejemljivega odstopanja. Druga pomembna lastnost je stopnja zapolnjenosti votlin v zmesi, ki pa je v mejah zahtev, podanih s standardom. Nekoliko večje vrednosti od načrtovanih so dobili pri največji gostoti zmesi, gostoti bitumskega preizkušanca in pri lastnosti tečenja.

Preglednica 40: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 8 surf B 50/70, žindra (Vir: [27])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Zahteve po standardu
		BB 8s	20. 4. 2007	B 50/70	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2990			-
Največja gostota	kg/m ³	3206			-
Proste votline v zmesi	V.-%	6,7			3 – 6,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	72,1			65 – 80
Votline v kam. materialu	V.-%	24,2			VMA _{min} NR
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	3706			-
Stabilnost	kN	11,2			≥ 8
Tečenje	mm	2,8			≤ 4
Togost	kN/mm	4			≥ 2,2

V splošnem ne moremo trditi, da je bituminizirana zmes AC 8 surf B 50/70 povsem skladna z zahtevami za ceste, ki so izpostavljene težki prometni obremenitvi. Tako proizvedena bituminizirana zmes pa je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije, saj so odstopanja vsebnosti votlin še v mejah sprejemljivega.

9.1.1.2 Bituminizirana zmes AC 11 surf B 50/70

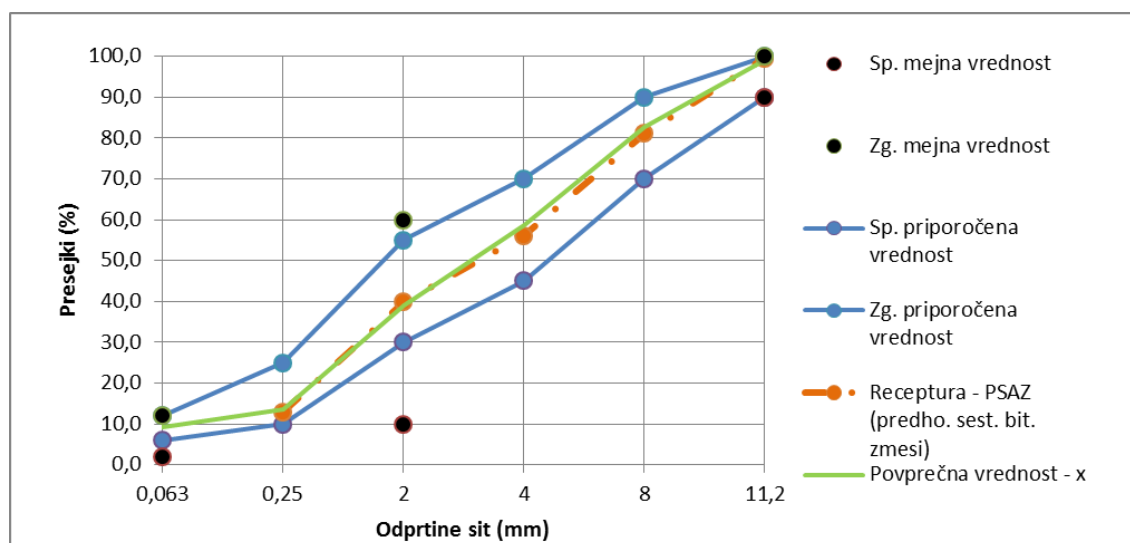
Bituminizirana zmes AC 11 surf B 50/70 (BB 11s) je bila naslednja preizkušena zmes s cestogradbenim bitumnom tipa B 50/70. Namenjena je bila za vezano obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije. Mesto proizvodnje zmesi je bila asfaltna baza Naklo (CP Kranj).

Sestava kamene zmesi je bila sledeča: kamena moka, frakcije 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 mm črna jeklarska žindra. Material kamene moke so pridobili iz kamnoloma Kamna Gorica, medtem ko so črno jeklarsko žindro kupili od podjetja ECOlogic. Zrnovostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes AC 11. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-1. Za kameno zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnivosti je prikazan na sliki 44.

Za vrsto bitumna so izbrali cestogradbeni bitumen tipa 50/70. Lastnost penetracije bitumna pri 25 °C je bila 38 (enota desetinka mm), kar ni skladno z zahtevami standarda SIST 1035:2008. Penetracija ustreza bitumnu tipa 35/50. Zmehčišče bitumna je še v mejah zahtevanih s standardi, saj znaša 54 °C. Topni delež veziva v zmesi znaša 5,5 m.-%, kar zadosti standardu, ki eksplicitno ne zahteva minimuma ali maksimuma topnega deleža veziva za to vrsto bituminiziranih zmesi.

Preglednica 41: Rezultati sejalne analize kamene zmesi AC 11 surf B 50/70, žlindra (Vir: [28])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi								
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	
Po SIST EN				1038-1	1038-1								
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	AC 11	20. 4. 2007	B 50/70	5,5	9,3	9,9	13,6	19,8	39	58,6	82,6	99,2	
Spodnja mejna vrednost					2				10			90	
Zgornja mejna vrednost					12				60			100	
Spodnja priporočena vrednost					6		10		30	45	70	90	
Zgornja priporočena vrednost					12		25		55	70	90	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				-	-	8,8	13	18	39,8	56,1	81,1	99,5	
Statistična obdelava													
Povprečna vrednost - x				5,5	9,3	9,9	13,6	19,8	39	58,6	82,6	99,2	

**Slika 44: Diagram zrnivosti AC 11 surf B 50/70, žlindra**

Prostorninske in mehanske lastnosti bituminizirane zmesi ustrezajo zahtevam, ki so podane s standardom in so prikazane v preglednici 42.

Preglednica 42: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 11 surf B 50/70, žindra (Vir: [28])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Zahteve po standardu
		AC 11	20. 4. 2007	B 50/70	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	3063			-
Največja gostota	kg/m ³	3190			-
Proste votline v zmesi	V.-%	4			3 – 6,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	80,4			65 – 80
Votline v kam. materialu	V.-%	20,3			VMA _{min} NR
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	3633			-
Stabilnost	kN	12,5			≥ 8
Tečenje	mm	3,4			≤ 4
Togost	kN/mm	3,7			≥ 2,2

V splošnem lahko trdimo, da je bituminizirana zmes AC 11 surf B 50/70 povsem skladna z zahtevami za ceste, ki so izpostavljene težki prometni obremenitvi. Tako proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

9.1.2 Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Whell Tracking Test)

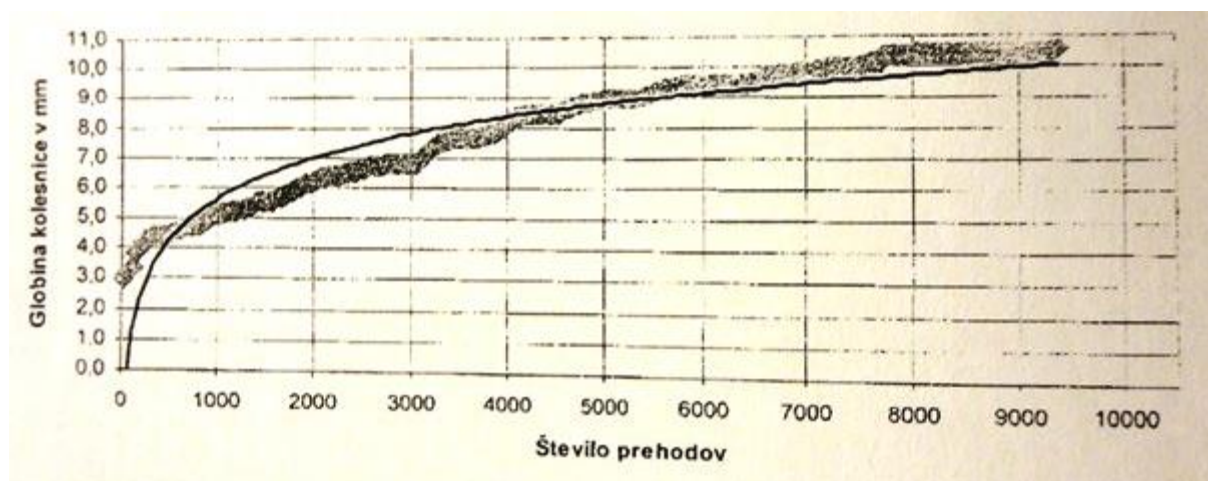
9.1.2.1 AC 8 surf B 50/70, žindra

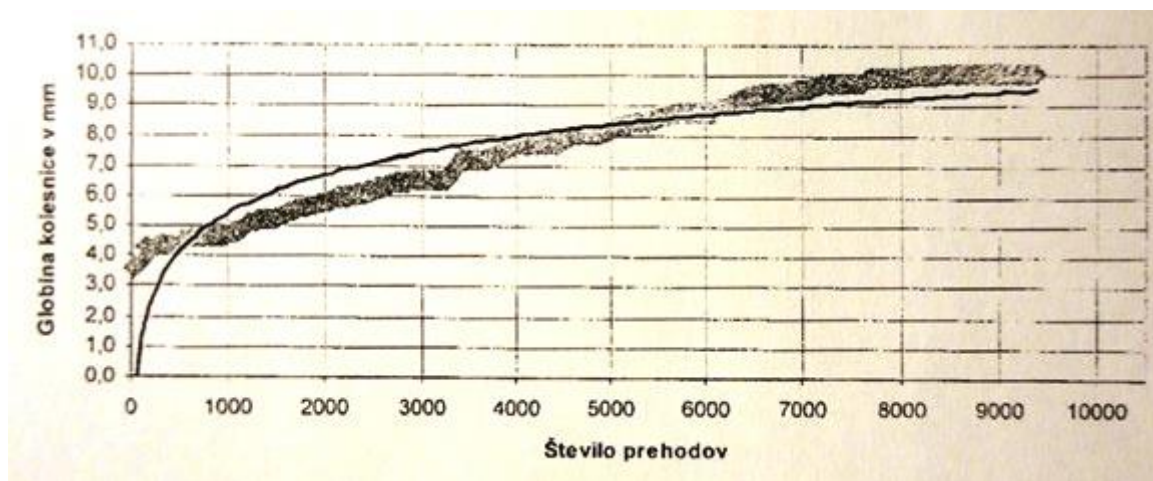
Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju je za podjetje ECOlogic in GGD opravil Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG). Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene obrabno zaporne plasti. Preiskava odpornosti proti nastanku kolesnic nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnice (WTS_{AIR}).

Odvzeta vzorca asfaltne plasti AC 8 surf B 50/70 z zrnji žlindre sta imela debelino 34 in 35 mm. Debelina vzorcev za preiskavo je skladna z zahtevami standardov. Stopnja zgoščenosti plasti je zadovoljiva in je presegala predpisano vrednost 98 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljene s standardom. Torej lahko trdimo, da je kakovost vgrajene plasti skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 43 in na slikah 45 in 46.

Preglednica 43: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 8 surf B 50/70, žindra (Vir: [29])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		5. 6. 2007	5. 6. 2007		–
Debelina vzorca	(mm)	34	35	34,5	25 – 40
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2986	2988	2987	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	99,9	99,9	99,9	≥ 98
Delež zračnih votlin	(%)	6,9	6,8	6,85	V _{min 2} - V _{min 8,5}
Datum preskusa WTT		5.6.2007	5.6.2007		–
Debelina vzorca	(mm)	34	35	34,5	25 – 0
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	10,5	10,1	10,3	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	30,9	28,9	29,9	PRD _{AIR} 7,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,32	0,38	0,35	WTS _{AIR} 0,40

**Slika 45: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 1 (AC 8) (Vir: [29])**



Slika 46: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 2 (AC 8) (Vir: [29])

Na podlagi rezultatov dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti AC 8 (žindra) lahko ocenimo, da je globina kolesnic velika. Vrednosti sorazmerne globine kolesnic (PRD_{AIR}) sta 30,9 % in 28,9 %. Vrednosti nista znotraj zahtevanih omejitev za bituminizirano zmes AC 8, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-1 in znaša PRD_{AIR} 7,0 %. Vrednosti PRD_{AIR} so občutno prevelike. Lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,40, ki je določena po standardu SIST EN 13108-1:2006. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Torej lahko trdimo, da je vgrajena asfaltna plast AC 8 (žindra) ocenjena kot neprimerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

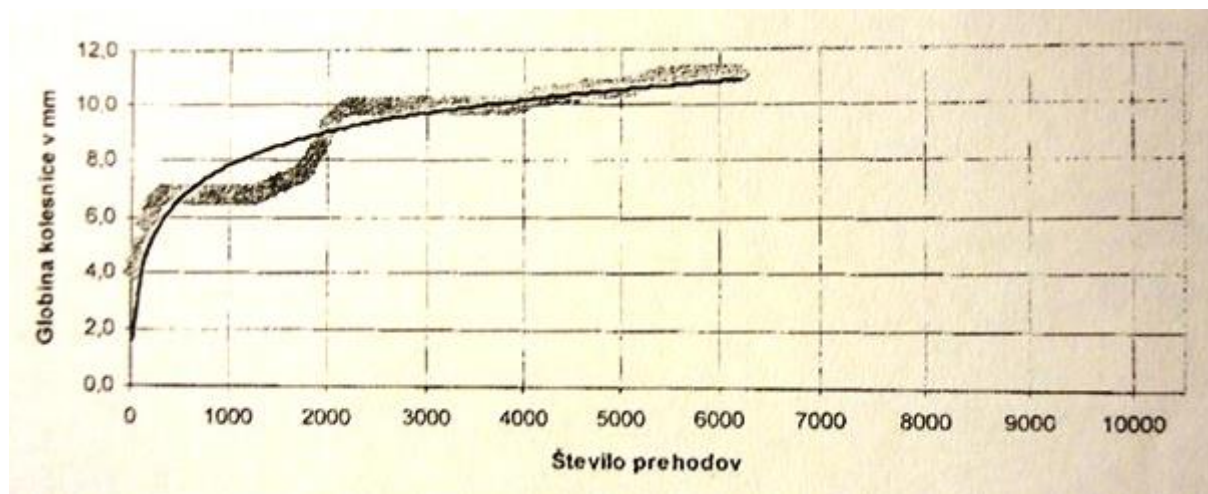
9.1.2.2 AC 11 surf B 50/70, žindra

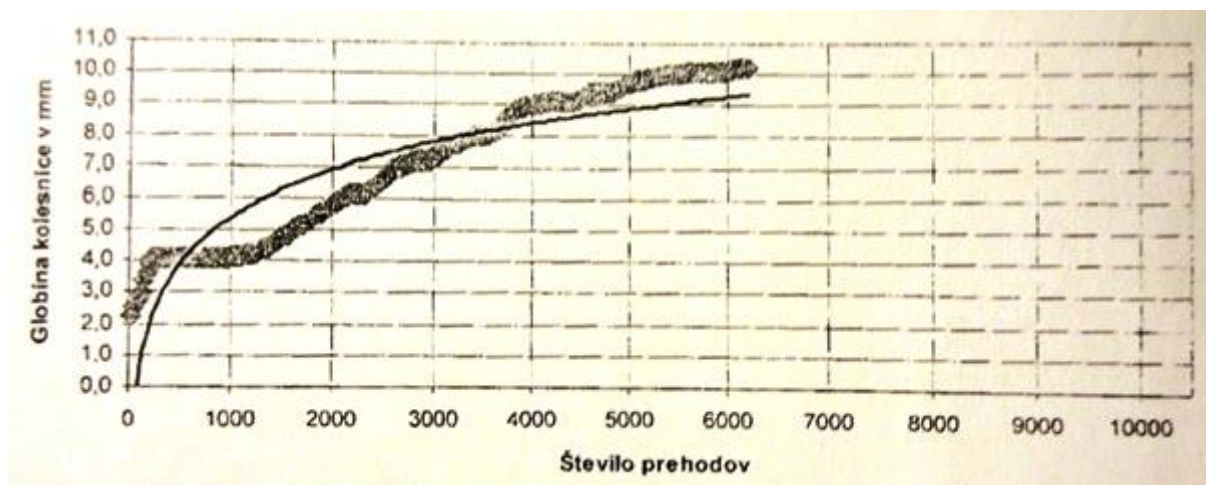
Preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju je za podjetje ECOlogic in GGD opravil Zavod za gradbeništvo Slovenije (ZAG). Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene vezane obrabno zaporne plasti. Preiskava odpornosti proti nastanku kolesnic nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnice (WTS_{AIR}).

Odvzeta vzorca asfaltna plasti AC 11 surf B 50/70 z zrnj žindre sta imela debelino 37 in 38 mm. Debelina vzorcev za preiskavo je skladna z zahtevami standardov. Stopnja zgoščenosti plasti ni zadovoljiva in ni dosegla predpisanih vrednosti, ki zahtevajo stopnjo zgoščenosti vsaj 98 %. Tudi delež zračnih votlin ni v zahtevanih mejah, ki so dovoljene s standardom. Torej lahko trdimo, da kakovost vgrajene plasti ni skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 44 in na slikah 47 in 48.

Preglednica 44: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 11 surf B 50/70, žindra (Vir: [30])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		11. 5. 2007	11. 5. 2007		–
Debelina vzorca	(mm)	37	38	37,5	30 – 50
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2840	2796	2818	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	92,7	91,3	92	≥ 98
Delež zračnih votlin	(%)	11	12,4	11,7	V _{min 2} - V _{min 8,5}
Datum preskusa WTT		11. 6. 2007	11. 6. 2007		–
Debelina vzorca	(mm)	37	38	37,5	30 – 50
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	11,1	10,2	10,7	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	30	26,8	28,4	PRD _{AIR} 7,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	-	-	-	–

**Slika 47: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 1 (AC 11) (Vir: [30])**



Slika 48: Diagram nastanka kolesnic – vzorec 2 (AC 11) (Vir: [30])

Na podlagi rezultatov dveh asfaltnih vzorcev obrabno zaporne plasti AC 11 (žlindra) lahko ocenimo, da je globina kolesnic tudi v tem primeru velika. Vrednosti sorazmerne globine kolesnic (PRD_{AIR}) sta 30 % in 26,8 %. Vrednosti nista znotraj zahtevanih omejitev za bituminizirano zmes AC 11, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-1 in znaša PRD_{AIR} 7,0 %. Vrednosti PRD_{AIR} so občutno prevelike. Rezultati lastnosti stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) v tej preiskavi niso podani. Razlog je v prevelikih kolesnicah, zato je bila preiskava predčasno prekinjena. Iz pridobljenih rezultatov lahko trdimo, da je vgrajena asfaltna plast AC 11 (žlindra) ocenjena kot neprimerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

9.2 Preiskave s polimernim bitumnom

9.2.1 Preiskave vzorca bituminiziranih zmesi

9.2.1.1 Bituminizirana zmes AC 8 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

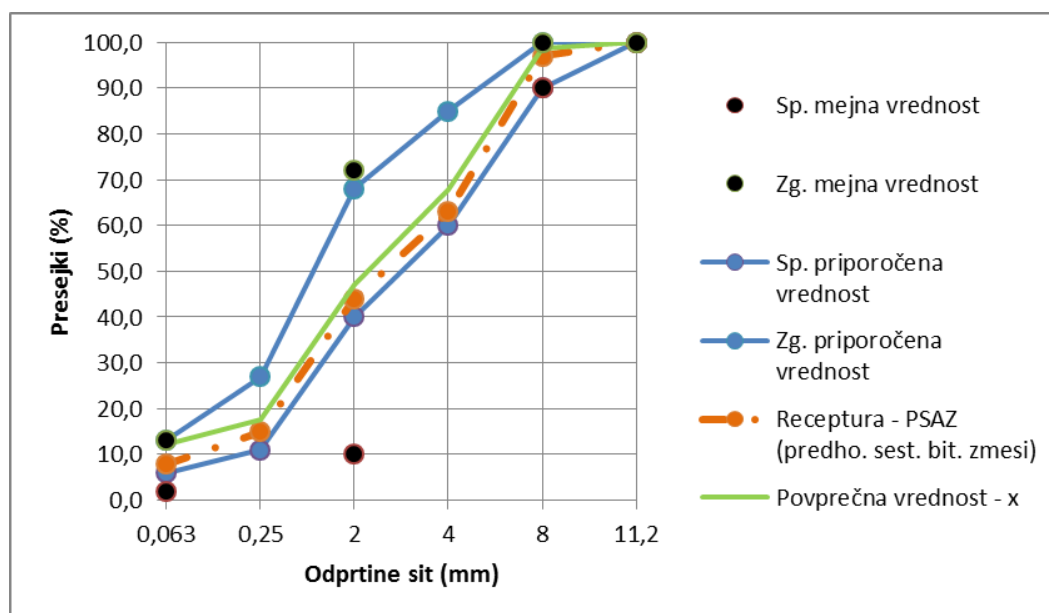
Bituminizirana zmes AC 8 surf je bila preizkušena zmes s polimerno modificiranim bitumnom tipa 45/80-65. Namenjena je bila za vezano obrabno in zaporno plast voziščne konstrukcije. Mesto proizvodnje zmesi je bila asfaltna baza Naklo (CP Kranj).

Sestava kamene zmesi je bila sledeča: kamena moka, frakcije 0/2, 2/4 in 4/8 mm črna jeklarska žlindra. Material kamene moke so pridobili iz kamnoloma Kamna Gorica, medtem ko so črno jeklarsko žlindro kupili od podjetja Harsco Minerali. Zrnastostna sestava zmesi je primerna za bituminizirano zmes AC 8. Presejna krivulja kamene zmesi poteka znotraj priporočenih oziroma mejnih vrednosti, ki so določene s standardom SIST 1038-1. Za kameno zmes lahko trdimo, da njena presejna krivulja bistveno ne odstopa od predhodne sestave bituminizirane zmesi. Diagram zrnastosti je prikazan na sliki 49.

Za vrsto bitumna so izbrali polimerni modificirani bitumen tipa 45/80-65. Topni delež veziva v zmesi znaša 6,3 m.-%, kar zadosti standardom, ki eksplicitno ne zahtevajo minimuma ali maksimuma topnega deleža veziva za to vrsto bituminiziranih zmesi.

Preglednica 45: Rezultati sejalne analize kamene zmesi zrn AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Zap. št.	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Topni delež veziva	Lastnosti kamnite zmesi								
					Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
					0,063	0,09	0,25	0,71	2	4	8	11,2	
Po SIST EN				1038-1	1038-1								
Enote				m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
1	260-ASF-11	1. 12. 2011	PmB	6,3	12,2	13	17,6	25,4	47,1	67,8	98,6	100	
Spodnja mejna vrednost					2				10		90	100	
Zgornja mejna vrednost					13				72		100	100	
Spodnja priporočena vrednost					6		11		40	60	90	100	
Zgornja priporočena vrednost					13		27		68	85	100	100	
Receptura - PSAZ (predhodna sestava bituminizirane zmesi)				6	7,9	9	15	25	44	63	97	100	
Statistična obdelava													
Povprečna vrednost - x				6,3	12,2	13	17,6	25,4	47,1	67,8	98,6	100	

**Slika 49: Diagram zrnivosti AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra**

Prostorninske in mehanske lastnosti bituminizirane zmesi ustrezajo zahtevam, ki so podane s standardom. Lastnosti bituminizirane zmesi so podani v preglednici 46.

Preglednica 46: Lastnosti bituminizirane zmesi AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [22])

Lastnosti bituminizirane zmesi	Enote	Lab. št.	Datum	Vrsta bitumna	Zahteve po standardu
		260-ASF-11	1. 12. 2011	PmB	SIST EN
Gostota bitum. preizkušanca	kg/m ³	2754			–
Največja gostota	kg/m ³	2924			–
Proste votline v zmesi	V.-%	5,8			3 – 6,5
Stopnja zapolnj. votlin	%	74,2			65 – 80
Votline v kam. materialu	V.-%	22,5			VMA _{min NR}
Spec. masa kamn. materiala	kg/m ³	3332			–

Iz pridobljenih rezultatov preiskav lahko trdimo, da je bituminizirana zmes AC 8 surf PmB 45/80-65 povsem skladna z zahtevami za ceste, ki so izpostavljene izredno oziroma zelo težki prometni obremenitvi. Tako proizvedena bituminizirana zmes je primerna za obrabno zaporno plast voziščne konstrukcije.

9.2.1.2 Bituminizirana zmes AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

Bituminizirana zmes AC 11 surf PmB 45/80-65 je bila analizirana že v točki 8.2.1.3.

9.2.2 Preiskave odpornosti proti trajnemu preoblikovanju (Whell Tracking Test)

9.2.2.1 AC 8 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 – 2011

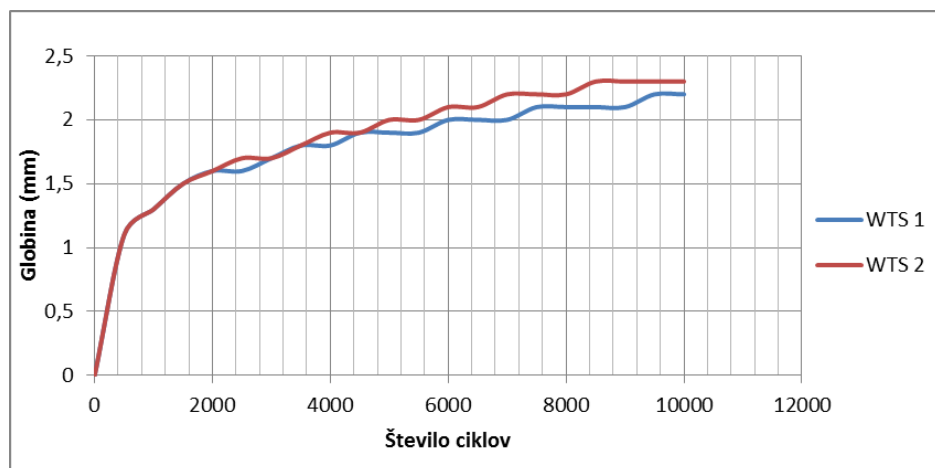
Za bituminizirano zmes AC 8 surf je preiskavo odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za GGD opravil Inštitut za gradbene materiale Igmata. Preiskava je bila izvedena v skladu s standardom SIST EN 12697-22:2007 pri temperaturi 60 °C. Obravnavana vzorca sta bila pridobljena iz vgrajene obrabno zaporne plasti AC 8 surf. Preiskava odpornosti proti nastanku kolesnic nam poda rezultate globine nastale kolesnice, sorazmerne globine kolesnice (PRD_{AIR}) in stopnjo tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}).

Odvzeta vzorca asfaltne plasti AC 8 surf PmB 45/80-65 z zrnimi žlindre sta imela debelino 60 in 59 mm. Debelino vzorcev za preiskavo so morali zmanjšati na 40 mm, da je bila skladna z zahtevami standardov, ki zahtevajo debelino vzorca med 30 in 50 mm. Asfaltna plast ni bila vgrajena v ustrezni debelini. Stopnja zgoščenosti plasti je zadovoljiva in je presejala predpisano vrednost 98 %. Tudi delež zračnih votlin je v zahtevanih mejah, ki so dovoljene s standardom. Torej lahko trdimo, da

kakovost vgrajene plasti ni povsem skladna z zahtevami. Rezultati preiskave so podani v preglednici 47 in na sliki 50.

Preglednica 47: Rezultati preiskave odpornosti proti nastanku kolesnic AC 8 surf PmB 45/80-65, žindra (Vir: [26])

Lastnosti asfaltne plasti	Enota mere	Št. vzorca		Povprečna vrednost	Zahteve po standardu
		1	2		
Datum priprave vzorca		14. 4. 2012	14. 4. 2012		–
Laboratorijska številka prejema vzorca IGMAT d.d.		144-A-12	144-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	60	59	60	25 – 40
Prostorska gostota (po SIST EN 12697-6 B)	(kg/m ³)	2767	2753	2760	–
Stopnja zgoščenosti	(%)	100,5	100	100,2	≥ 98
Delež zračnih votlin	(%)	5,4	5,8	5,6	V _{min 2} - V _{min 8,5}
Datum preskusa WTT		17. 4. 2012	17. 4. 2012		–
Laboratorijska številka		152-A-12	152-A-12		–
Debelina vzorca	(mm)	40	40	40	25 – 40
Temperatura vzorca	(°C)	60	60	60	60
Globina kolesnic	(mm)	2,2	2,3	2,3	–
Sorazmerna globina kolesnic (PRD_{AIR})	(%)	5,5	5,8	5,6	PRD _{AIR} 7,0
Stopnja tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR})	(mm/10 ³ p)	0,06	0,072	0,066	WTS _{AIR} 0,07



Slika 50: Diagram nastanka kolesnic (Vir: [26])

Dobljeni rezultati globine kolesnic za obrabno zaporno plast AC 8 so ocenjeni za dokaj majhne. Vrednosti sorazmerne globine kolesnic (PRD_{AIR}) sta 5,5 % in 5,8 %. Vrednosti lahko umestimo znotraj zahtevanih omejitev za bituminizirano zmes AC 8 surf, ki je v Sloveniji določena s standardom SIST 1038-1 in znaša PRD_{AIR} 7,0 %. Lastnost stopnje tvorjenja kolesnic (WTS_{AIR}) lahko razvrstimo v kategorijo WTS_{AIR} 0,07, ki je določena po standardu SIST EN 13108-5:2008. Vendar vrednost stopnje tvorjenja kolesnic ni posebej določena s standardom za posamezno bituminizirano zmes. Torej lahko v splošnem trdimo, da je vgrajena asfaltna plast AC 8 (žindra) ocenjena kot primerna za dano prometno obremenitev, kar zadeva lastnost odpornosti proti trajnemu preoblikovanju.

9.2.2.2 AC 11 Surf PmB 45/80-65 A1, A2 2011

Preiskava odpornosti proti preoblikovanju je za bituminizirano zmes AC 11 surf PmB 45/80-65 opisana v točki 8.2.2.3.

9.3 Primerjava rezultatov in zaključki

Preiskave bituminiziranih zmesi z zrnji žlindre, ki vsebujejo običajni cestogradbeni bitumen, je opravil ZAG. Predmet preiskave sta bili dve zmesi tipa AC 8 surf in AC 11 surf. Pri obeh vzorcih so uporabili cestogradbeni bitumen tipa B 50/70. V rezultatih preiskave bitumna je razvidno, da omenjeni bitumen ni zadovoljiv zahtevam, ki so predpisane s standardi za bitumen tipa B 50/70. V obeh primerih so vrednosti ustrezne za bitumen tipa B 35/50. Kot glavna zrna v zmesi so uporabili zrna črne jeklarske žlindre.

Lastnosti obeh bituminiziranih zmesi so skladne s standardi in primerne za vgrajevanje kot obrabno zaporna plast voziščne konstrukcije. Predhodna trditev pa ne drži prav dolgo. Pridobljeni rezultati pri preiskavi odpornosti proti trajnemu preoblikovanju in lastnosti asfaltne plasti so pokazali, da sta obe vgrajeni plasti padli na vsaj enem od omenjenih testov. Značilnost obeh plasti je dobra zlepljenost s podlago in ustrezna debelina plasti. Razlika se pojavi pri stopnji zgoščenosti plasti in vsebovanosti votlin. Če sta omenjeni lastnosti v plasti AC 8 surf skladni z zahtevami, tega ne moremo trditi za plast AC 11 surf. Asfaltna plast AC 11 surf ni primerna za uporabo, saj je njena stopnja zgoščenosti premajhna in posledično je vsebovanost votlin prevelika. Naslednji slabši rezultati so pridobljeni pri preiskavi odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Obe zmesi imata občutno prevelike vrednosti globine kolesnic, sorazmerne globine kolesnic in stopnjo tvorjenja kolesnic. Kakovost obeh vgrajenih plasti je torej neprimerna za dano prometno obremenitev. Zaradi nastanka velikih kolesnic so preiskavo predhodno prekinili v obeh primerih. V primeru plasti AC 8 surf je prekinitev preiskave sledila po približno 9370 prehodih, medtem ko pri plasti AC 11 surf že po 6200 prehodih obteženega kolesa.

Bituminizirani zmesi AC 8 surf in AC 11 surf sem analiziral še z uporabo polimerno modificiranega bitumna tipa 45/80-65. Obe bituminizirani zmesi sta primerni za vgrajevanje kot obrabno zaporna plast voziščne konstrukcije. Vse pridobljene lastnosti so skladne z zahtevami standardov. Prav tako smo ustrezne rezultate dobili za lastnosti asfaltne plasti in odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Kakovost vgrajenih plasti je primerna za dano prometno obremenitev. Torej lahko trdimo, da se

bituminizirane zmesi s polimerno modificiranim bitumnom obnašajo bistveno bolje kot z običajnim cestogradbenim bitumnom.

10 STROŠKOVNA ANALIZA

V času, v katerem živimo, je poleg kvalitete vedno bolj pomembna tudi cena izdelkov. To je bil pglavitni razlog, zakaj sem se odločil preveriti, kakšne so cenovne razlike med bituminiziranimi zmesmi z naravnimi silikatnimi in karbonatnimi zrni in z zrni žlindre. Zanimala me je razlika med osnovno ceno zmesi za posamezni odsek ceste in tudi, kakšne so razlike v ceni glede na prevoz zmesi na gradbišče. Obravnaval sem bituminizirano zmes AC 11 surf z naravnim eruptivnim agregatom in isto zmes z zrni črne jeklarske žlindre. V obeh zmesih je bil uporabljen polimerni modificiran bitumen tipa 45/80-65. Topni delež bitumna je pri obeh zmesih skorajda enak, zato bistveno ne vpliva na razliko v ceni.

Na podlagi dobljenih receptur bituminizirane zmesi AC 11 surf z naravnimi eruptivnimi zrni (točka 8.1.1.3) sem izračunal, kolikšna je cena tone omenjene zmesi. Izračun za bituminizirano zmes z eruptivnimi zrni je bil 68,06 € na tono. Nato sem izbral dva virtualna odseka:

- odsek 1 – dolžina 300 m, širina 6 m in projektirana debelina plasti 40 mm
- odsek 2 – dolžina 1500 m, širina 6 m in projektirana debelina plasti 40 mm

Volumen odsek 1 je 72 m³, volumen odseka 2 pa znaša 360 m³. Od tu sem izračunal, koliko ton zmesi potrebujemo za vsak odsek posebej, saj vemo, da je gostota zmesi 2325 kg/m³. Odsek 1 potrebuje 167,4 tone zmesi, medtem ko odsek 2 potrebuje 837 ton zmesi. Končna cena za zmes na odseku 1 je 11.393 €, na odseku 2 pa 56.966 €. Pri tej končni ceni nisem upošteval prevoza ter stroškov proizvodnje bituminizirane zmesi (obraba asfaltne baze, plačilo delavcev).

Vpliv prevoza na končno ceno zmesi sem želel ponazoriti z dvema gradbiščema različnih oddaljenosti od asfaltne baze. Gradbišči sta od asfaltne baze oddaljeni 10 in 70 km. Ker mora tovorno vozilo prevoziti tudi pot nazaj, sem pri izračunu upošteval vrednosti 20 in 140 km. Cena prevoza tovornega vozila je približno 1,1 € na prevožen kilometer. Nosilnost tovornega vozila sem izbral 15 ton. Iz nosilnosti vozila sem ugotovil, da potrebujem za vgradnjo zmesi 12 vozil za odsek 1 in 56 vozil za odsek 2.

Preglednica 48: Končna cena bituminizirane zmesi AC 11 surf s silikatno zmesjo zrn in prevoza

	Cena zmesi	Odd. 10 km	Končna cena
Dolžina odseka 300 m	11.393 €	264 €	11.657 €
Dolžina odseka 1500 m	56.966 €	1.232 €	58.198 €
	Cena zmesi	Odd. 70 km	Končna cena
Dolžina odseka 300 m	11.393 €	1.848 €	13.241 €
Dolžina odseka 1500 m	56.966 €	8.624 €	65.590 €

Pri drugem izračunu sem obravnaval bituminizirano zmes AC 11 surf z zrni žlindre. Celoten postopek izračuna je ostal enak. S pomočjo recepture (točka 8.2.1.3) sem izračunal ceno zmesi, ki je 52,5 € na tono. Iz podatkov za odseka sem izračunal, kolikšna je potreba zmesi po tonah. Izračunal sem, da za odsek 1 potrebujemo 201,6 tone zmesi, za odsek 2 pa 1008 ton. Večja teža zmesi na odsek je posledica večje prostorninske teže žlindre, ki znaša 2800 kg/m³. Končna cena za zmes na odseku 1 je 10.584 €,

na odseku 2 pa 52.920 €. Tudi pri tem izračunu nisem upošteval prevoza in stroškov proizvodnje bituminizirane zmesi.

Pri upoštevanju prevoza prihaja do večje potrebe tovornih vozil, predvsem zaradi večje teže zmesi. Za vgrajevanje odseka 1 potrebujemo 14 vozil, za odsek 2 pa 68 vozil.

Preglednica 49: Končna cena bituminizirane zmesi AC 11 surf z zrnji žindre in prevoza

	Cena zmesi	Odd. 10 km	Končna cena
Dolžina odseka 300 m	10.584 €	308 €	10.892 €
Dolžina odseka 1500 m	52.920 €	1.496 €	54.416 €
	Cena zmesi	Odd. 70 km	Končna cena
Dolžina odseka 300 m	10.584 €	2.156 €	12.740 €
Dolžina odseka 1500 m	52.920 €	10.472 €	63.392 €

Končna cena bituminizirane zmesi z zrnji žindre je na krajšem odseku cenejša za 809 €, na daljšem pa je cenejša za 4.046 €. Iz teh podatkov lahko trdimo, da se z daljšim odsekom razlika med cenama zmesi bistveno poveča. Ta razlika med cenama se zmanjša z upoštevanjem prevoza zmesi na gradbišče. Tu pa se razmerje med cenami ravno zamenja. Z daljšo oddaljenostjo gradbišča, se cena bituminizirane zmesi z žindro v primerjavi z eruptivnimi zrnji poveča, vendar je zmes z zrnji žindre še vedno cenejša. Skupno najmanjšo razliko med cenama dobimo na odseku 300 metrov in oddaljenosti gradbišča od asfaltne baze 70 kilometrov. Največjo razliko med cenama dobimo na odseku 1500 metrov in oddaljenosti gradbišča od asfaltne baze 10 kilometrov. Na podlagi teh rezultatov je evidentno, da se uporaba žindre najbolj izplača pri vgrajevanju daljših odsekov ter čim bližje asfaltne baze.

11 ZAKLJUČEK

Žindra si je z uporabo v preteklosti pridobila vrsto negativnih prizvokov. Njena uporaba je bila praktično nesprejemljiva za inženirje gradbeništva. Vzrok temu sta bila nepoznavanje materiala in nestrokovna predelava le tega. S pomanjkanjem naravnih materialov za uporabo v cestogradnji so se v tujini začele iskati alternative naravnim materialom. Eden od teh materialov je bila tudi črna jeklarska žindra. Z njeno uporabo bi porabili odpadni material metalurške in jeklarske industrije, zmanjšali potrebe po skladiščenju odpadne žindre, zmanjšali negativne vplive na okolje in zmanjšali izkoriščanje naravnih materialov v cestogradnji. Pri tem so strokovnjaki v tujini naleteli na glavni problem žindre, ki je volumska nestabilnost materiala. Z vrsto raziskav so ugotovili, da s primerno predelavo ta problem lahko učinkovito omejimo in zmanjšamo njegov vpliv na minimum. S to ugotovitvijo so se podali v nadaljnje preiskave uporabe črne jeklarske žindre v bituminiziranih zmesih. Prvi rezultati lastnosti materiala in bituminiziranih zmesi so bili spodbudni, kar je vodilo k nadaljnjemu razvoju. Danes se žindra v tujini uporablja kot enakovredna naravnim eruptivnim kamninam v bituminiziranih zmesih. Vrsto uspešnih praktičnih uporab sem v tej diplomski nalogi tudi opisal. Predvsem uspešna uporaba materiala v tujini me je še posebej motivirala k raziskavi uporabnosti v Sloveniji.

V Sloveniji je uporaba žindre še pri začetnih raziskavah. Material črne jeklarske žindre sta v Sloveniji dodobra preizkusila in pripravila za uporabo podjetji Ecologic in Harsco Minerali. Omenjenima podjetjema lahko pripišemo glavne zasluge za večjo uporabo v gradbeništvu. S svojimi raziskavami so prikazali odlične lastnosti samega materiala. Pri tem velja omeniti predvsem odlično odpornost proti zaglajevanju, drobljenju in volumski stabilnosti materiala.

V tej diplomski nalogi pa me ni zanimal material kot tak, ampak njegova uporaba v bituminiziranih zmesih. S preiskavami vzorcev iz podjetja GGD sem prišel do zanimivih spoznanj. Vsekakor je črna jeklarska žindra primeren material za uporabo v bituminiziranih zmesih. Res je, da se vsi vzorci niso dobro izkazali na preiskavah. Predvsem to velja za začetna preizkušena vzorca bitumenskega betona v letu 2007, kjer so uporabili običajni cestogradbeni bitumen. Lastnosti bituminizirane zmesi so bile sicer skladne z zahtevami standardov, vendar je zmes popolnoma padla na testu odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Vzroke za njune slabše rezultate lahko iščemo v prvih raziskavah na tem področju, ki so se jih lotili v podjetju GGD. Naslednja dva vzorca drobirja z bitumenskim mastiksom sta imela že boljše lastnosti. Uporabili so tudi s polimeri modificiran bitumen, ki ima boljše lastnosti kot običajni cestogradbeni bitumen. Oba vzorca sta imela zadovoljive lastnosti bituminizirane zmesi, vendar se je zmes nekoliko slabše izkazala na testu odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Omenjene slabše rezultate bi z nadaljnjimi raziskavami lahko izboljšali ter dosegli primernost uporabe zmesi v obrabno zapornih plasteh voziščne konstrukcije. Zadnja dva vzorca bitumenskega betona s polimerno modificiranim bitumnom pa sta dosegla odlične rezultate na vseh področjih. Odlične rezultate smo pridobili pri lastnostih same bituminizirane zmesi kot tudi pri testu odpornosti proti trajnemu preoblikovanju. Moje mnenje je, da bi z nadaljnjimi raziskavami in preizkusi dosegli odlične bituminizirane zmesi z zrnji žindre za praktično uporabo. Omenjene zmesi bi bile primerljive z zmesmi z zrnji naravnih silikatnih in karbonatnih kamnin.

Moja želja je bila preizkusiti asfaltne plasti z zrnji žindre tudi na testu torne sposobnosti in hrupnosti. To na žalost ni bilo mogoče. Vzrok za to so slabe ekonomske razmere v gradbeništvu v tem trenutku.

Kljub temu sem našel primere v Sloveniji, ki so ti dve lastnosti raziskali. Predvsem lastnosti torne sposobnosti bituminiziranih zmesi z zrni žindre so bile odlične. Z leti obremenjevanja vozišča s težko prometno obremenitvijo so se rezultati torne sposobnosti samo še izboljševali. Omeniti velja, da je torna sposobnost zmesi z zrni žindre bistveno večja od običajnih zmesi z zrni eruptivne kamnine. V primeru hrupnosti pa žindra nima tako pomembnega vpliva. Pri tej lastnosti sta bolj pomembni ustrezna izbira bitumna in pravilna uporaba frakcij materiala. Kljub temu se je kombinacija žindre in polimernega bitumna odlično odrezala na testu hrupnosti.

V zadnjem času ima v gradbeništvu vse bolj pomembno vlogo tudi cena. Podjetja in naročniki stremijo k čim manjšim stroškom ter istočasno želijo obdržati kvaliteto proizvoda. To je bil glavni razlog, zakaj sem se odločil izvesti stroškovno analizo bituminiziranih zmesi. Pri cenovnem ovrednotenju bituminiziranih zmesi sem upošteval zgolj material in prevoz zmesi na gradbišče. Prišel sem do zaključka, da je bituminizirana zmes z zrni žindre cenejša. Razlika v ceni bi bila še večja, če ne bi pri bituminiziranih zmesih z žindro porabili več denarja pri prevozu na gradbišče. Vzrok za to je večja prostorninska teža žindre.

Na začetku so se mi porajala številna vprašanja o primernosti uporabe črne jeklarske žindre v cestogradnji. Z raziskovanjem in s prebiranjem strokovnih člankov sem prišel do mnenja, da je žindra vsekakor material prihodnosti. Njene dobre lastnosti so me prepričale, da je žindro potrebno raziskovati in vlagati vanjo še naprej, saj smo v kratkem času prišli do odličnih in spodbudnih rezultatov. Upam, da bodo inženirji gradbeništva še naprej spodbujali alternativne rešitve, kot uporaba žindre vsekakor je.

Viri

- [1] Žmavc, Janez. 2007. Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 357 str.
- [2] Henigman, S., Bašelj, R., Britovšek, Z., itd. 2011. Asfalt². Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 334 str.
- [3] Tominc, A. 2006. Asfalt v cestogradnji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 92 str.
- [4] Šelih, J., Ducman V., Mladenovič A. 2004. Možnost uporabe odpadkov v gradbeništvo in industriji gradbenih materialov. Ljubljana, Inštitut za kovinske materiale in tehnologijo, ZAG: str. 79–86
<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-OX2E2MOA/> (Pridobljeno 20. 5. 2012.)
- [5] Jeseničnik, M. 2009. Tehnologija predelovanja črne žindre za potrebe gradbeništva. Diplomaska delo. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 69 str.
- [6] Cotič, Z., Čibej K. 2007. Žindra v asfaltu. V: Zbornik referatov - 11. Kolokvij o asfaltih in bitumnih, Kranjska Gora. November 2007. Ljubljana, ZAS – Združenje asfalterjev Slovenije: str. 73-81.
- [7] Jurjavčič, P. 2012. Vrste žindre kot proizvodi v gradbeništvo. Mineral 21: 28-31
- [8] Medić, I. 2010. Raziskave jeklarske žindre in njihova uporabnost kot sekundarne surovine v gradbeništvo. Diplomsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta: 101 str.
- [9] Bradaškja, B., Triplat, J., Dobnikar, M., Mirtič, B. 2004. Mineraloška karakterizacija jeklarskih žlinder. Ljubljana, Naravoslovnotehniška fakulteta, oddelek za geologijo: str. 205-208
- [10] Mladenovič, A. 2006. Naravni in alternativni viri surovine za proizvodnjo agregatov v Sloveniji. V: 13. Slovenski kolokvij o betonih, Ljubljana. 18. maj 2006. Ljubljana, Irma: str. 21-26.
http://www.irma.si/irma_slo/kolokviji/13kolokvij.pdf (Pridobljeno 20. 5. 2012.)
- [11] Cotič, Z., Jurjavčič, P., Čibej, K. 2010. Primer asfalta za 21. stoletje. V: 10. Slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož. 20.-22. oktobra 2010. Ljubljana, DRC: str. 1305-1314.
<http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/VIII/1305-1314.pdf> (Pridobljeno 22. 5. 2012.)

- [12] Kokot, D., Mladenovič, A., Cotič, Z. 2010. Torne lastnosti asfaltnih vozišč z agregatom iz črne jeklarske žindre. V: 10. Slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož. 20.-22. oktobra 2010. Ljubljana, DRC: str. 1367-1371.
<http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/VIII/1367-1371.pdf> (Pridobljeno 22. 5. 2012.)
- [13] Fistrić, M., Strineka, A., Roskovic, R. 2010. Properties of steel slag aggregate and steel slag asphalt concrete. V: 10. Slovenski kongres o cestah in prometu, Portorož. 20.-22. oktobra 2010. Ljubljana, DRC: str. 1385-1366.
<http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/VIII/1358-1366.pdf> (Pridobljeno 22. 5. 2012.)
- [14] Mauko, A., Mladenovič, A. 2012. Uporaba recikliranih industrijskih in gradbenih odpadkov v gradbeništvo: Projekt ReBirth – odpadki so začetek novega!. Mineralne surovine v letu 2011, Zavod za gradbeništvo, Ljubljana. str. 171–175.
<http://www.re-birth.eu/clanki/> (Pridobljeno 22. 1. 2013.)
- [15] Cotič, Z. 2013. Možnost uporabe odpadkov v gradbeništvo – izkušnje iz prakse. ZAG – Delavnica za študente FGG, Projekt ReBirth, Ljubljana.
<http://www.re-birth.eu/domov/?id=20> (Pridobljeno 22. 1. 2013.)
- [16] Jurjavčič, P., Cotič, Z. 2012. Črna jeklarska žindra v asfaltu. Mineral 25: 40–44
<http://www.re-birth.eu/clanki/> (Pridobljeno 22. 1. 2013.)
- [17] Mladenovič, A., Vižintin, N. 2003. Poročilo št. P 690/03 – 420 – 1 int. K/V 38/02 o analizah črne jeklarske žindre, Uporabnost v gradbeništvo. Ljubljana. Oddelek za materiale, Laboratorij za kamen in agregat. Ljubljana. 5 str.
- [18] Cotič, Z., Willenpart, B. 2012. Poročilo o strokovnem obisku in ogledu podjetja Harsco v Veliki Britaniji od 29. do 31. marca 2012. V: Od skupščine do skupščine, Ljubljana. Maj 2012. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: str. 28-30
[http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/16 Od Skupscine do Skupscine letnik 2012.pdf](http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/16%20Od%20Skupscine%20do%20Skupscine%20letnik%202012.pdf)
(pridobljeno 22. 1. 2013.)
- [19] Cuderman, L. 2010. Poročilo o začetnem preizkusu SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2. Naklo, Asfaltna baza Naklo. 5 str.
- [20] Cuderman, L. 2008. Poročilo o začetnem preizkusu SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2. Naklo, Asfaltna baza Naklo. 5 str.
- [21] Cuderman, L. 2010. Poročilo o začetnem preizkusu AC 11 Surf PmB 45/80-65 A2. Naklo, Asfaltna baza Naklo. 1 str.

- [22] Cuderman, L. 2011. Poročilo o začetnem preizkusu SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2, žindra, SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2, žindra, AC 11 surf PmB 45/80-65 A1, A2 in AC 8 surf PmB 45/80-65 A1, A2, žindra. Naklo, Asfaltna baza Naklo. 4 str.
- [23] Ljubič, A. Prosen, J. 2010. Poročilo o preiskavi odpornosti proti nastanku kolesnic (obrabno zaporna plast SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2). Ljubljana-Polje, Igmata d. d.-(Inštitut za gradbene materiale), CP Kranj: 4 str.
- [24] Ljubič, A. Prosen, J. 2011. Poročilo o preiskavi odpornosti proti nastanku kolesnic (obrabno zaporna plast SMA 11 PmB 45/80-65 A2). Ljubljana-Polje, Igmata d. d.-(Inštitut za gradbene materiale), GGD: 4 str.
- [25] Ljubič, A. Prosen, J. 2010. Poročilo o preiskavi odpornosti proti nastanku kolesnic (obrabno zaporna plast AC 11 PmB 45/80-65 A2). Ljubljana-Polje, Igmata d. d.-(Inštitut za gradbene materiale), CP Kranj: 4 str.
- [26] Ljubič, A. Prosen, J. 2012. Poročilo o preiskavi odpornosti proti nastanku kolesnic (obrabno zaporna plast SMA 8 PmB 45/80-65 A1, žindra, SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2, žindra, AC 8 surf PmB 45/80-65 A2, žindra in AC 11 surf PmB 45/80-65 A2, žindra). Ljubljana-Polje, Igmata d. d.-(Inštitut za gradbene materiale), GGD: 16 str.
- [27] Ipavec, A. Lukač, B. 2007. Poročilo št. P 826/07–760–3 o preiskavah vzorca asfaltne zmesi BB 8s (0/2, 2/4, 4/8 žindra). Ljubljana, ZAG–Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za geotehniko in prometnice. ECOlogic d. o. o.: 5 str.
- [28] Ipavec, A. Lukač, B. 2007. Poročilo št. P 826/07–760–1 o preiskavah vzorca asfaltne zmesi BB 11s (0/2, 2/4, 4/8, 8/11 žindra). Ljubljana, ZAG–Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za geotehniko in prometnice. ECOlogic d. o. o.: 5 str.
- [29] Ipavec, A. Lukač, B. 2007. Poročilo št. P 826/07–760–7 o preiskavah odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za vezano obrabno in zaporno plast BB 8s. Ljubljana, ZAG–Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za geotehniko in prometnice. ECOlogic d. o. o.: 4 str.
- [30] Ipavec, A. Lukač, B. 2007. Poročilo št. P 826/07–760–5 o preiskavah odpornosti proti trajnemu preoblikovanju za vezano obrabno in zaporno plast BB 11s. Ljubljana, ZAG–Zavod za gradbeništvo Slovenije, Oddelek za geotehniko in prometnice. ECOlogic d. o. o.: 4 str.

Spletne strani:

- [31] National Slag Association. Slag in History. 2009.
<http://www.nationalslag.org> (Pridobljeno 11. 07. 2012.)

- [32] Sustainable Production and Consumption (SUSPROC) . Aggregates Case Study. 2008.
http://susproc.jrc.ec.europa.eu/activities/waste/documents/Aggregates_Case_Study_Final_Report_UBA_080331.pdf (Pridobljeno 13. 07. 2012.)
- [33] Transport Research and Innovation Portal. Sustainable and Advanced Materials for Road InfraStructure. 2010.
http://www.transport-research.info/Upload/Documents/201003/20100310_134040_3529_Samaris_Final_Summary_Report.pdf (Pridobljeno 17. 07. 2012.)
- [34] The European Slag Association. Properties. 2012.
<http://www.euroslag.com/products/properties/> (Pridobljeno 26. 07. 2012.)
- [35] Spletne strani in poslovni dnevnik Finance. Agregati iz črne jeklarske žlindre so odličen gradbeni proizvod iz industrijskega odpadka. 2010.
<http://www.finance.si/283929/Agregati-iz-%C4%8Drne-jeklarske-%C5%BEindre-so-odli%C4%8Den-gradbeni-proizvod-iz-industrijskega-odpadka> (Pridobljeno 31. 07. 2012.)
- [36] Promocija uporabe recikliranih gradbenih in industrijskih odpadkov v gradbeništvo – Rebirth. Uporaba jeklarske žlindre. 2012.
<http://www.re-birth.eu/marec/?id=1> (Pridobljeno 31. 07. 2012.)
- [37] Slika 9. <http://image.made-in-china.com/4f0j00YvOTBAzqLIky/Electric-Arc-Furnace.jpg>
(Pridobljeno 31. 07. 2012.)
- [38] ECOlogic. Predelava črne žlindre. 2008.
http://www.ecologic.si/dejavnosti/postopki_predelave/ (Pridobljeno 31. 07. 2012.)
- [39] Slovensko geotehniško društvo. Vloga geotehnike pri prepoznavanju in odpravljanju tveganj, ki jih v okolju predstavljajo odpadne snovi – nekaj primerov iz Slovenije. 2004.
<http://www.sloged.si/LinkClick.aspx?fileticket=JOfJtr1I27g%3D&tabid=126>
(Pridobljeno 20. 8. 2012.)
- [40] Zavod za gradbeništvo Slovenije. Določanje volumske stabilnosti agregata iz črne jeklarske žlindre. 2008.
http://www.zag.si/image_view.php?gal=41&img=3&lang=si (Pridobljeno 20. 8. 2012.)
- [41] DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije. Zagotavljanje ustreznega odpora proti drsenju na betonskih voziščih. 2006.
<http://www.drc.si/Portals/1/Referati/T4-Kokot.pdf> (Pridobljeno 28. 8. 2012.)

- [42] Australian asphalt pavement association. Steel slag - Conversion of an industrial waste material into a value adding asphalt ingredient. 2011.
http://www.aapaq.org/q/2011st/CAPSA2011/FA2_08_193_1116.pdf (Pridobljeno 19. 9. 2012.)
- [43] Italian association of chemical engineering. Characterization of the eaf steel slag as aggregate for use in road construction. 2010.
<http://www.aidic.it/CISAP4/webpapers/17Sofilic.pdf> (Pridobljeno 19. 9. 2012.)

Standardi:

- SIST 1038-1 – Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 1. del: Bitumenski beton – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-1
- SIST EN 13108-1:2006 – Bitumenske zmesi – Specifikacije materialov – 1. del: Bitumenski beton
- SIST 1038-5 – Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 5. del: Drobir z bitumenskim mastiksom – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-5
- SIST EN 13108-5:2006 – Bitumenske zmesi – Specifikacije materialov – 5. del: Drobir z bitumenskim mastiksom

SEZNAM PRILOG

Priloga A: Certifikat za drobljeno črno žindro frakcij 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 (Vir: Harsco Minerali)


Priloga B: Certifikat za drobljeno črno žindro frakcije 0/25 (Vir: Harsco Minerali)

Priloga C: Certifikat za drobljeno črno žindro frakcije 0/50 (Vir: Harsco Minerali)

Priloga D: EC izjava o skladnosti črne žindre frakcij 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 (Vir: Harsco Minerali)

Priloga E: EC izjava o skladnosti črne žindre frakcij 0/25 in 0/50 (Vir: Harsco Minerali)


Priloga A: Certifikat za drobljeno črno žlindra frakcij 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 (Vir: Harsco Minerali)

 1404				
HARSCO MINERALI d.o.o. Cesta Borisa Kidriča 44, SI-4270 JESENICE 11 1404-CPD-1724				
SIST EN 13043 : 2002 AGREGATI ZA BITUMENSKE ZMESI IN POVRŠINSKE PREVLEKE ZA CESTE, LETALIŠČA IN DRUGE PROMETNE POVRŠINE Drobljena črna žlindra iz separacije Acroni Jesenice Agregati 0/2, 2/4, 4/8, 8/11				
VELIKOST AGREGATA (d/D)	0/2	2/4	4/8	8/11
ZRNAVOST	$G_{\neq 85}$	$G_{\neq 90/15}$	$G_{\neq 90/15}$	$G_{\neq 90/15}$
VSEBNOST FINIH DELCEV	f_3	f_1	f_1	f_1
OBLIKA ZRN – MODUL PLOŠČATOSTI	***	***	Fl_{15}	Fl_{15}
PROSTORNINSKA MASA ZRN (Mg/m ³)	3,74	3,73	3,73	3,73
KAKOVOST FINIH DELCEV (MB)	$MB_{\neq 10}$	***	***	***
ODPORNOST PROTI DROBLJENJU	***	***	LA_{15}	LA_{15}
VPIJANJE VODE	$WA_{241,7}$	$WA_{241,1}$	$WA_{241,1}$	$WA_{241,0}$
POLIRNOST (PSV)	***	***	***	PSV_{56}
OVITOST ZRN Z BITUMNOM (%)	***	***	***	90
ODPORNOST PROTI TEMP. ŠOKU	***	***	***	0,2 %
ODPORNOST PROTI ZMRZOVANJU IN TAJANJU	***	***	***	MS_{18}
ODPORNOST PROTI OBRABI	***	***	***	$M_{DE} 10$
VOLUMSKA STABILNOST	$V_{3,5}$	$V_{3,5}$	$V_{3,5}$	$V_{3,5}$
KEMIJSKA SESTAVA ČRNE ŽLINDRE (%)				
CaO	Fe ₂ O ₂	SiO ₂	MgO	MnO
33,5	27	12,5	7,5	3
DOLOČITEV ANORGANSKIH PARAMETROV V IZLUŽKU (mg / l)				
Hg < 0,001	Zn < 0,01	Cr < 0,03	Ni < 0,01	Cu < 0,01
Pb < 0,01	Cd < 0,001	As < 0,005		

Priloga B: Certifikat za drobljeno črno žindro frakcije 0/25 (Vir: Harsco Minerali)

 1404				
HARSCO MINERALI d.o.o., Cesta Borisa Kidriča 44, SI- 4270 Jesenice Separacija Acroni Jesenice 11 1404-CPD-1724				
SIST EN 13242 AGREGATI ZA NEVEZANE IN HIDRAVLIČNO VEZANE MATERIALE ZA UPORABO V INŽENIRSKIH OBJEKTIH IN ZA GRADNJO CEST Drobljena črna žindra Agregat 0/25				
VELIKOST AGREGATA	0/25			
ZRNAVOST	G _A 85			
VSEBNOST FINIH DELCEV	f ₂			
OBLIKA ZRN – MODUL OBLIKE	Sl ₂₀			
PROSTORNINSKA MASA ZRN Mg/m ³	3,71			
VOLUMSKA STABILNOST	V _{3,5}			
ODPORNOST PROTI DROBITVI	LA ₂₀			
VODOVPOJNOST	WA ₂₄ =0,5%			
DOLOČEVANJE VSEBNOSTI HUMUSA	svetlejša od standardne raztopine			
KEMIJSKA SESTAVA ČRNE ŽINDRE				
CaO	Fe ₂ O ₂	SiO ₂	MgO	MnO
%	%	%	%	%
33,5	27	12,5	7,5	3

Priloga C: Certifikat za drobljeno črno žlindro frakcije 0/50 (Vir: Harsco Minerali)

 1404				
HARSCO MINERALI d.o.o., Cesta Borisa Kidriča 44, SI-4270 Jesenice Separacija Acroni Jesenice 11 1404-CPD-1724				
SIST EN 13242 AGREGATI ZA NEVEZANE IN HIDRAVLIČNO VEZANE MATERIALE ZA UPORABO V INŽENIRSKIH OBJEKTIH IN ZA GRADNJO CEST Drobljena črna žlindra Agregat 0/50				
VELIKOST AGREGATA		0/50		
ZRNAVOST		G _A 85		
VSEBNOST FINIH DELCEV		f ₂		
OBLIKA ZRN – MODUL OBLIKE		SI ₂₀		
PROSTORNINSKA MASA ZRN Mg/m ³		3,71		
VOLUMSKA STABILNOST		V _{3,5}		
ODPORNOST PROTI DROBITVI		LA ₂₀		
VODOVPOJNOST		WA ₂₄ =0,5%		
DOLOČEVANJE VSEBNOSTI HUMUSA		svetlejša od standardne raztopine		
KEMIJSKA SESTAVA ČRNE ŽLINDRE				
CaO	Fe ₂ O ₂	SiO ₂	MgO	MnO
%	%	%	%	%
33,5	27	12,5	7,5	3

Priloga D: EC izjava o skladnosti črne žlindre frakcij 0/2, 2/4, 4/8 in 8/11 (Vir: Harsco Minerali)

HARSCO MINERALI d.o.o.
Cesta Borisa Kidriča 44, SI-4270 Jesenice

Tel.: 00386 (0) 5 92 50 010
Fax: 00386 (0) 4 58 41 972
E-pošta: pkern@harsco.com
Spletna stran: www.harscominerals.com

EC IZJAVA O SKLADNOSTI

za proizvode
0/2 , 2/4 , 4/8 , 8/11

Na podlagi 25.člena Zakona o gradbenih proizvodih in na podlagi seznama standardov, katerih uporaba ustvari domnevo o skladnosti gradbenih proizvodov za nameravano rabo (Ur.list RS št. 49/07), spodaj podpisani v imenu proizvajalca

HARSCO MINERALI d.o.o.
Cesta Borisa Kidriča 44, SI-4270 Jesenice

IZJAVLJA

na osnovi

EC - CERTIFIKATA KONTROLE PROIZVODNJE
številka: 1404-CPD-1724

ki ga je izdal priglašeni certifikacijski organ

Zavod za gradbeništvo Slovenije ZAG , Dimičeva 12, SI - 1000 Ljubljana,

da so agregati zrnivosti **0/2, 2/4, 4/8 in 8/11** mm za bitumenske zmesi in površinske prevleke za ceste, letališča in druge prometne površine iz obrata separacije Acroni na Jesenicah skladni z zahtevami harmoniziranega standarda

SIST EN 13043: 2002

Datum: 01.09.2011

Direktor: Bart Vanderlinden

Harsco Minerali d.o.o.
Cesta Borisa Kidriča 44
4270 Jesenice
Slovenija
Matična št.: 38300390000
ID za DDV: SI 23788542



Priloga E: EC izjava o skladnosti črne žlindre frakcij 0/25 in 0/50 (Vir: Harsco Minerali)

HARSCO MINERALI d.o.o.
Cesta Borisa Kidriča 44, SI-4270 Jesenice

Tel: 00386 (0) 5 92 50 010
Fax: 00386 (0) 4 58 41 972
E-mail: pkern@harsco.com
Spletna stran: www.harsco.minerals.com

EC IZJAVA O SKLADNOSTI

za proizvode
0/25 in 0/50

Na podlagi 25.člena Zakona o gradbenih proizvodih in na podlagi seznama standardov, katerih uporaba ustvari domnevo o skladnosti gradbenih proizvodov za nameravano rabo (Ur.list RS št 49/07), spodaj podpisani v imenu proizvajalca

HARSCO MINERALI d.o.o.
Cesta Borisa Kidriča 44, SI-4270 Jesenice

IZJAVLJA

na osnovi

EC - CERTIFIKATA KONTROLE PROIZVODNJE
številka: 1404-CPD-1724

ki ga je izdal priglašeni certifikacijski organ

Zavod za gradbeništvo Slovenije ZAG, Dimičeva 12, SI - 1000 Ljubljana,

da sta agregata zrnivosti **0/25 in 0/50** mm za nevezane in hidravlično vezane materiale za uporabo v inženirskih objektih in za gradnjo cest iz obrata separacije Acroni na Jesenicah skladna z zahtevami harmoniziranega standarda

SIST EN 13242: 2003

Datum: 01.09.2011

Direktor: Bart Vanderlinden

Harsco Minerali d.o.o.
Cesta Borisa Kidriča 44
4270 Jesenice
Slovenija
Matična št.: 88300390000
ID za DDV: SI 23788542

