

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:

Maksimović, S., 2016. Stroškovna analiza asfaltnih zmesi obrabnih plasti. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M.): 112 str.

Datum arhiviranja: 06-10-2016

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:

Maksimović, S., 2016. Stroškovna analiza asfaltnih zmesi obrabnih plasti. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M.): 112 pp.

Archiving Date: 06-10-2016

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

**PODIPLOMSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
PROMETNA SMER**

Kandidatka:

SIMONA MAKSIMOVIĆ

**STROŠKOVNA ANALIZA ASFALTNIH ZMESI
OBRABNIH PLASTI**

Magistrsko delo št.: 300

**COST ANALYSIS OF ASPHALT MIXTURES OF
SURFACE LAYERS**

Graduation – Master Thesis No.: 300

Mentor:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Član komisije:

doc. dr. Tomaž Maher

doc. dr. Peter Lipar

Ljubljana, 28. september 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

“Ta stran je namenoma prazna”

IZJAVA

Spodaj podpisana študentka **SIMONA MAKSIMOVIĆ**, vpisna številka **26108369**, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: **STROŠKOVNA ANALIZA ASFALTNIH ZMESI OBRABNIH PLASTI**

IZJAVLJAM,

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

- . a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- . b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobila vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označila;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnala v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobila soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljani

Datum: 26.09.2016

Podpis študentke:

“Ta stran je namenoma prazna”

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.85 (043.3)
Avtor:	Simona Maksimović, univ. dipl. inž. grad.
Mentor:	izr. prof. dr. Marijan Žura, univ. dipl. inž. grad.
Naslov:	Stroškovna analiza asfaltnih zmesi obrabnih plasti
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	112 str., 48 pregl., 47 sl.
Ključne besede:	asfalt, asfaltne zmesi, proizvodnja, asfaltni obrat, vhodni materiali, receptura, priprava asfaltne zmesi, stroškovna analiza

Izvleček

Asfalt je eden najpomembnejših gradbenih materialov. Znotraj evropskega cestnega omrežja je okrog 6,1 milijona kilometrov asfaltiranih cest, ki povezujejo tako večja urbana središča kot tudi majhne skupnosti. Obrabne asfaltne plasti voziščnih konstrukcij so najbolj neposredno izpostavljene prometnim in klimatskim obremenitvam. Prezvzeti in prenesti morajo različne sile, ki jih ustvarjajo vozila na vozni površini, ter hkrati zaščititi voziščno konstrukcijo pred vremenskimi vplivi. Tovrstne obremenitve zahtevajo neprekinjeno spremljanje strokovnega razvoja na področju asfaltov ter zagotavljanje kakovosti asfaltne zmesi in voziščnih konstrukcij, s čim manjšimi stroški proizvodnje, vgradnje, vzdrževanja in razgradnje. Intenzivna izgradnja avtocest in pripadajoče infrastrukture v obdobju med 1995 in 2010 v Sloveniji je pozitivno vplivala tudi na industrijo asfalta, ki se je vztrajno razvijala. Po letu 2008 se je proizvodnja asfaltnih zmesi drastično znižala in s tem prizadela asfaltne obrate.

V magistrskem delu je predstavljeno, na kakšen način asfaltni obrati določajo ceno asfaltnim zmesem obrabnih plasti. Glede na to, da so asfaltne zmesi obrabnih plasti s polimeri modificiranimi bitumni občutno dražje od asfaltnih zmesi obrabnih plasti z uporabo navadnih cestogradbenih bitumnov, je izvedena stroškovna analiza, na podlagi katere je razvidno, ali je višja cena le-teh upravičena, saj se na podlagi te razlike v ceni v praksi velikokrat dogaja, da se uporabi cenejša asfaltna zmes, ne glede na morebitne negativne posledice.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 625.85 (043.3)
Author: Simona Maksimović B.Sc.
Supervisor: Prof. Marijan Žura, Ph. D.
Title: Cost analysis of asphalt mixtures of surface layers
Document type: M. Sc. Thesis
Scope and tools: 112 p., 48 tab., 47 fig.
Keywords: asphalt, asphalt mixture, production, asphalt plant, input materials, recipe, preparation of asphalt mixtures, cost analysis

Abstract

Asphalt is one of the major construction materials. Within the European road network there are around 6.1 million km of paved roads, linking major urban centers as well as small communities. Surface layers of asphalt pavements are most directly exposed to traffic and climate loads. They have to undertake and transfer different forces that are generated by vehicles driving on the surface and at the same time protect the pavement from the weather effects. Such loads require continuously monitoring of professional development in the field of asphalts and ensuring the quality of asphalt mixtures and pavements with minimizing the cost of production, laying, maintenance and recycling. Intensive construction of motorways and associated infrastructure between 1995 and 2010 in Slovenia had a positive impact on the asphalt industry, which was constantly developing. After 2008 the production of asphalt mixtures drastically reduced, thereby affecting the asphalt plants.

The Master's thesis presents how asphalt plants determine the price of asphalt mixtures for surface layers. Due to the fact that the asphalt mixtures for surface layers with use of polymer modified bitumen are significantly more expensive than asphalt mixtures using a conventional bitumen, the cost analysis carried out show whether the higher cost is entitled, because in practice often happens, due to these price differences, that cheaper asphalt mixtures are used, regardless of negative consequences.

ZAHVALA

Hvala mentorju izr. prof. dr. Marijanu Žuri za pomoč pri nastajanju magistrskega dela.

Hvala podjetju Pomgrad – Tovarna asfalta Pomurje d.o.o. za zelo hiter odziv in posredovanje ključnih podatkov.

Hvala staršema, da mi že celo življenje pomagata in stojita ob strani.

Hvala sodelavcem, sošolcem in prijateljem.

Predvsem pa hvala Slobodanu, Mili in Kaji za ogromno potrpežljivosti, prilagajanja in podpore, ko sem jo najbolj potrebovala.

“Ta stran je namenoma prazna”

KAZALO VSEBINE

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VI
ZAHVALA.....	VII
KAZALO SLIK.....	XII
LIST OF FIGURES	XIV
KAZALO PREGLEDNIC.....	XVI
LIST OF TABLES	XVIII
KRATICE	XX
1. UVOD.....	1
1.1 PREGLED STANJA NA OBRAVNAVANEM STROKOVNEM PODROČJU.....	1
1.2 NAMEN IN CILJ MAGISTRSKEGA DELA.....	6
1.3 METODE DELA	7
1.4 VSEBINA MAGISTRSKEGA DELA	7
2. MATERIALI, KI SESTAVLJAJO ASFALTNO ZMES	9
2.1 AGREGAT – ZMES KAMNITIH ZRN.....	9
2.1.1 DROBLJENI AGREGAT	9
2.1.2 NARAVNI AGREGAT	10
2.1.3 ŽLINDRA	10
2.1.4 ODPADKI IZ RUDNIKA	10
2.1.5 UMETNI AGREGAT	10
2.1.6 RECIKLIRAN MATERIAL	10
2.2 PRESKUSI AGREGATOV.....	11
2.2.1 GEOMETRIJSKE LASTNOSTI.....	11
2.2.2 MEHANSKE LASTNOSTI.....	13
2.2.3 KEMIJSKE LASTNOSTI	17
2.2.4 PRIMERJAVA MINIMALNIH ZAHTEV ZA AGREGATE UPORABLJENE V RAZLIČNIH ASFALJNIH ZMESEH	19
2.3 VEZIVA – BITUMNI.....	25
2.3.1 NARAVNI ASFALT – BITUMEN	26
2.3.2 UMETNO PROIZVEDENI BITUMEN	27
2.3.2.1 SKUPINE UMETNIH BITUMNOV	28
2.3.2.2 KEMIJSKA SESTAVA BITUMNA.....	30
2.3.3 REZANI IN FLUKSIRANI BITUMEN.....	31
2.3.4 BITUMENSKÉ EMULZIJE.....	31
2.3.5 MODIFICIRANI BITUMNI	32
2.3.5.1 VLOGA IN UPORABA MODIFICIRANEGA BITUMNA.....	33
2.3.6 BARVNI BITUMNI.....	38
2.4 PRESKUSI BITUMNOV	38
2.4.1 PENETRACIJA	39

2.4.2 TOČKA ZMEHČIŠČA	39
2.4.3 INDEKS PENETRACIJE.....	39
2.4.4 DUKTILNOST.....	40
2.4.5 PRETRGALIŠČE PO FRAASSU	40
2.4.6 ELASTIČNA POVRATNA DEFORMACIJA	40
2.4.7 VISKOZNOST.....	41
3. ASFALTNE ZMESI.....	45
3.1 LASTNOSTI ASFALJNIH ZMESI OBRABNIH PLASTI	47
3.1.1 AC surf – BITUMENSKI BETON	47
3.1.2 SMA – DROBIR Z BITUMENSKIM MASTIKSOM.....	48
3.1.3 PA – DRENAŽNI ASFALT.....	49
3.1.4 MA – LITI ASFALT.....	51
3.1.5 SS – TANKOPLASTNE PREVLEKE PO HLADNEM POSTOPKU.....	52
3.1.6 SD – POVRŠINSKE PREVLEKE	53
4. POSTOPEK PROIZVODNJE ASFALJNIH ZMESI	55
4.1 ASFALJNI OBRAT S ŠARŽNO PROIZVODNJO	55
4.1.1 RAVNANJE Z AGREGATOM.....	56
4.1.2 OSKRBA Z BITUMENSKIM VEZIVOM.....	57
4.1.3 OGREVANJE IN SUŠENJE AGREGATA.....	57
4.1.4 SEJANJE IN SKLADIŠČENJE VROČEGA AGREGATA.....	58
4.1.5 MEŠANJE AGREGATA IN BITUMENSKEGA VEZIVA	59
4.1.6 NADZOR EMISIJ.....	61
4.2 ASFALJNI OBRAT Z MEŠALNIM BOBNOM Z VZPOREDNIH TOKOM MATERIALA IN VROČEGA ZRAKA.....	61
4.2.1 VSTOP AGREGATA	62
4.2.2 SISTEM GORILNIKA.....	62
4.2.3 OBLIKA LOPATK	64
4.2.4 VBRIZGANJE BITUMENSKEGA VEZIVA	64
4.2.5 MINERALNO POLNILO IN FINO POLNILO.....	65
4.2.6 RECIKLIRANA ASFALTNA ZMES	66
4.2.7 OCENA PROIZVODNJE	66
4.3 ASFALJNI OBRAT S PROTITOČNIM BOBNASTIM MEŠALNIKOM.....	68
4.3.1 SUŠENJE IN OGREVANJE AGREGATA.....	68
4.3.2 MEŠALNA ENOTA.....	69
4.4 RECEPTURA ASFALJNIH ZMESI.....	71
4.5 CENE OBRAVNAVANIH ASFALJNIH ZMESI TER CENE VHODNIH MATERIALOV	73
4.5.1 CENE OBRAVNAVANIH ASFALJNIH ZMESI.....	74
4.5.2 CENE VHODNIH MATERIALOV	74
4.5.3 STROŠKI VHODNIH MATERIALOV POSAMEZNE ASFALTNE ZMESI	75
4.5.4 FIKSNI STROŠKI	78
4.5.5 STROŠKI PORABE ENERGIJE	79
5. OVREDNOTENJE ASFALJNIH ZMESI TER PRIMERJAVA CEN	80
5.1 OVREDNOTENJE ASFALJNIH ZMESI.....	80
5.2 PRIMERJAVA DELEŽEV POSAMEZNIH KOMPONENT ASFALJNIH ZMESI.....	81

6. ANALIZA REZULTATOV IN SKLEPI	89
6.1 ANALIZA REZULTATOV.....	89
6.2 PRIMERJAVA CEN ASFALTNIH ZMESI V SLOVENIJI, AVSTRIJI, ŠVICI IN NA HRVAŠKEM	91
6.2.1 PRIMERJAVA CEN ASFALTNIH ZMESI MED DRŽAVAMI	92
6.2.2 PRIMERJAVA CEN ASFALTNIH ZMESI V POSAMEZNI DRŽAVI.....	97
6.3 SKLEPI.....	104
7. POVZETEK.....	106
8. SUMMARY	108
VIRI.....	110

KAZALO SLIK

<i>Slika 1: Proizvodnja asfaltnih zmesi v Sloveniji</i>	2
<i>Slika 2: Proizvodnja asfaltnih zmesi v Avstriji</i>	3
<i>Slika 3: Proizvodnja asfaltnih zmesi v Švici</i>	3
<i>Slika 4: Proizvodnja asfaltnih zmesi na Hrvaškem</i>	4
<i>Slika 5: Delež uporabe modificiranih bitumnov v Sloveniji</i>	4
<i>Slika 6: Delež uporabe modificiranih bitumnov v Avstriji</i>	5
<i>Slika 7: Delež uporabe modificiranih bitumnov v Švici</i>	5
<i>Slika 8: Delež uporabe modificiranih bitumnov na Hrvaškem</i>	6
<i>Slika 9: Shematski prikaz fracionirane destilacije surove nafte (Nikolaides, 2014, str. 100)</i>	28
<i>Slika 10: Mikroskopski pogled na bitumensko emulzijo (Nikolaides, 2014, str. 118)</i>	31
<i>Slika 11: Model sestave asfaltne/bituminizirane zmesi (Henigman et. al., 2011, str. 57)</i>	45
<i>Slika 12: Značilni prerez voziščne konstrukcije (Henigman et. al., 2011, str. 66)</i>	46
<i>Slika 13: Glavne komponente asfaltnega obrata s šaržno proizvodnjo (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 43)</i>	55
<i>Slika 14: Tipični protitočni sušilni boben (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 44)</i>	57
<i>Slika 15: Glavne komponente asfaltnega obrata z z mešalnim bobnom z vzporednim tokom materiala in izpušnih plinov (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 74)</i>	61
<i>Slika 16: Kombiniran dotok zraka gorilniku (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 81)</i> ..	63
<i>Slika 17: 100-odstotni zračni gorilnik (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 82)</i>	63
<i>Slika 18: Protitočni mešalni boben (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 48)</i>	68
<i>Slika 19: Protitočni mešalni boben z mešalno enoto obvito okrog sušilnika (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 48)</i>	69
<i>Slika 20: Asfaltni obrat Tovarna asfalta Pomurje d.o.o., Murska Sobota (Bilten od skupščine do skupščine, 2015, str. 8, ZAS)</i>	73
<i>Slika 21: Cena bitumenskega veziva v asfaltni zmesi</i>	82
<i>Slika 22: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja bitumensko vezivo</i>	82
<i>Slika 23: Cena zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi</i>	83
<i>Slika 24: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja zmes kamnitih zrn</i>	83
<i>Slika 25: Cena fiksnih stroškov v asfaltni zmesi</i>	84
<i>Slika 26: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavljajo fiksni stroški</i>	84
<i>Slika 27: Cena stroškov porabe energije v asfaltni zmesi</i>	85
<i>Slika 28: Delež cene asfaltne zmesi, ki jo predstavljajo stroški porabe energije</i>	85
<i>Slika 29: Cena skupnih stroškov v asfaltni zmesi</i>	86
<i>Slika 30: Delež cene asfaltne zmesi, ki jo predstavljajo vsi stroški</i>	86
<i>Slika 31: Višina zaslужka pri posamezni asfaltni zmesi</i>	87
<i>Slika 32: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja zaslужek</i>	87
<i>Slika 33: Primerjava cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 v Sloveniji, *Avstriji in na Hrvaškem</i>	92

<i>Slika 34: Primerjava cen AC 8 surf PmB 45/80-65 v Sloveniji, Avstriji, *Švici in na *Hrvaškem.....</i>	<i>93</i>
<i>Slika 35: Primerjava cen SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70 v Sloveniji, Avstriji, *Švici in na Hrvaškem.....</i>	<i>94</i>
<i>Slika 36: Primerjava cen AC 11 surf B50/70 (*B70/100) v Sloveniji, *Avstriji, Švici in na Hrvaškem</i>	<i>95</i>
<i>Slika 37: Primerjava cen AC 11 surf PmB45/80-65 (*PmB E 50/70) v Sloveniji, Avstriji, *Švici in na Hrvaškem.....</i>	<i>96</i>
<i>Slika 38: Primerjava cen asfaltnih zmesi v Sloveniji</i>	<i>97</i>
<i>Slika 39: Primerjava cen asfaltnih zmesi v Sloveniji</i>	<i>98</i>
<i>Slika 40: Primerjava cen asfaltnih zmesi v Švici</i>	<i>99</i>
<i>Slika 41: Primerjava cen asfaltnih zmesi na Hrvaškem.....</i>	<i>100</i>
<i>Slika 42: Razmerje cen AC 11 surf B50/70, *B70/100 in AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70.</i>	<i>101</i>
<i>Slika 43: Razmerje cen AC 11 surf B50/70, *B70/100 in AC 8 surf PmB 45/80-65</i>	<i>101</i>
<i>Slika 44: Razmerje cen AC 11 surf B50/70, *B70/100 in SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70</i>	<i>102</i>
<i>Slika 45: Razmerje cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 in AC 8 surf PmB 45/80-65.....</i>	<i>102</i>
<i>Slika 46: Razmerje cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 in AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70...</i>	<i>103</i>
<i>Slika 47: Razmerje cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 in SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70</i>	<i>103</i>

LIST OF FIGURES

<i>Figure 1: Production of asphalts mixtures in Slovenia</i>	2
<i>Figure 2: Production of asphalts mixtures in Austria</i>	3
<i>Figure 3: Production of asphalts mixtures in Switzerland</i>	3
<i>Figure 4: Production of asphalts mixtures in Croatia</i>	4
<i>Figure 5: The percentage of use of modified bitumen in Slovenia</i>	4
<i>Figure 6: The percentage of use of modified bitumen in Austria</i>	5
<i>Figure 7: The percentage of use of modified bitumen in Switzerland</i>	5
<i>Figure 8: The percentage of use of modified bitumen in Croatia</i>	6
<i>Figure 9: Schematic diagram of the fractional distillation of crude oil</i>	28
<i>Figure 10: Bitumen emulsion, photo taken by microscope</i>	31
<i>Figure 11: Composition model of asphalt / bituminous mix</i>	45
<i>Figure 12: Typical cross-section of the pavement</i>	46
<i>Figure 13: Major components of a batch plant</i>	55
<i>Figure 14: Typical counter-flow dryer</i>	57
<i>Figure 15: Major components of a parallel – flow drum – mix plant</i>	61
<i>Figure 16: Combined induced and forced draft burner</i>	63
<i>Figure 17: Forced – draft, total air, or 100 percent burner</i>	63
<i>Figure 18: Counter-flow drum mixer</i>	68
<i>Figure 19: Counter-flow drum mixer with mixing unit folded around aggregate dryer</i>	69
<i>Figure 20: Batch plant Tovarna asfalta Pomurje d.o.o., Murska Sobota</i>	73
<i>Figure 21: The price of bituminous binder in the asphalt mixture</i>	82
<i>Figure 22: The share price of asphalt mixture represented by bituminous binder</i>	82
<i>Figure 23: The price of aggregat in the asphalt mixture</i>	83
<i>Figure 24: The share price of asphalt mixture represented by aggregate</i>	83
<i>Figure 25: Fixed costs in asphalt mixture</i>	84
<i>Figure 26: The share price of asphalt mixtures which represent fixed costs</i>	84
<i>Figure 27: The price of energy consumption in the asphalt mixture</i>	85
<i>Figure 28: The share price of asphalt mixtures which represent energy consumption</i>	85
<i>Figure 29: Price of the total cost of asphalt mixtures</i>	86
<i>Figure 30: The share price of asphalt mixtures which represent the total cost</i>	86
<i>Figure 31: The amount of earnings for the individual asphalt mixture</i>	87
<i>Figure 32: The share price of asphalt mixtures which represents the earnings</i>	87
<i>Figure 33: Comparison of prices of AC 8 surf B50/70, *B70/100 in Slovenia, *Austria, Switzerland and Croatia</i>	92
<i>Figure 34: Comparison of prices of AC 8 PmB 45/80-65 in Slovenia, Austria, *Switzerland and *Croatia</i>	93

<i>Figure 35: Comparison of prices of SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70 in Slovenia, Austria, *Switzerland and Croatia.....</i>	<i>94</i>
<i>Figure 36: Comparison of prices of AC 11 surf B50/70 (*B70/100) in Slovenia, *Austria, Switzerland and Croatia</i>	<i>95</i>
<i>Figure 37: Comparison of prices of AC 11 PmB45/80-65(*PmB E 50/70) in Slovenia, Austria, *Switzerland and Croatia.....</i>	<i>96</i>
<i>Figure 38: Comparison of prices of asphalt mixtures in Slovenia.....</i>	<i>97</i>
<i>Figure 39: Comparison of prices of asphalt mixtures in Slovenia.....</i>	<i>98</i>
<i>Figure 40: Comparison of prices of asphalt mixtures in Switzerland.....</i>	<i>99</i>
<i>Figure 41: Comparison of prices of asphalt mixtures in Croatia.....</i>	<i>100</i>
<i>Figure 42: Price ratio of AC 11 surf B50/70, *B70/100 and AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70</i>	<i>101</i>
<i>Figure 43: Price ratio of AC 11 surf B50/70, *B70/100 and AC 8 surf PmB 45/80-65</i>	<i>101</i>
<i>Figure 44: Price ratio of AC 11 surf B50/70, *B70/100 and SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70..</i>	<i>102</i>
<i>Figure 45: Price ratio of AC 8 surf B50/70, *B70/100 and AC 8 surf PmB 45/80-65</i>	<i>102</i>
<i>Figure 46: Price ratio of AC 8 surf B50/70, *B70/100 and AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70</i>	<i>103</i>
<i>Figure 47: Price ratio of AC 8 surf B50/70, *B70/100 and SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70....</i>	<i>103</i>

KAZALO PREGLEDNIC

<i>Preglednica 1: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za bitumenski beton - AC surf (SIST 1038-1:2007, Preglednica 2).....</i>	<i>20</i>
<i>Preglednica 2: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za drobir z bitumenskim mastiksom - SMA (SIST 1038-5:2007, Preglednica 2).....</i>	<i>21</i>
<i>Preglednica 3: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za liti asfalt - MA (SIST 1038-6:2007, Preglednica 2).....</i>	<i>22</i>
<i>Preglednica 4: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za drenažni asfalt - PA (SIST 1038-7:2007, Preglednica 2).....</i>	<i>23</i>
<i>Preglednica 5: Modifikatorji/dodatki in izboljšave (Nikolaides, 2014, str. 142).....</i>	<i>34</i>
<i>Preglednica 6: Okvirne specifikacije za kakovostne zahteve standardnih cestogradbenih bitumnov (Henigman et. al., 2011, str. 21).....</i>	<i>42</i>
<i>Preglednica 7: Okvirne specifikacije za najpomembnejše kakovostne zahteve za lastnosti bitumnov, modificiranih s polimeri (SIST 1035:2008, str. 4).....</i>	<i>43</i>
<i>Preglednica 8: Priporočilo za uporabo bitumenskih veziv za asfaltne zmesi (TSC 06.300/06.410:2009, str. 9).....</i>	<i>44</i>
<i>Preglednica 9: Področje uporabe bituminiziranih zmesi bitumenskih betonov za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:2009, str. 24).....</i>	<i>47</i>
<i>Preglednica 10: Področje uporabe bituminiziranih zmesi bitumenskih betonov za asfaltne obrabne in obrabnonosilne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:2009, str. 24).....</i>	<i>48</i>
<i>Preglednica 11: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:2009, str. 25).....</i>	<i>49</i>
<i>Preglednica 12: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:2009, str. 26).....</i>	<i>49</i>
<i>Preglednica 13: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drenažnega asfalta za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:009, str. 26).....</i>	<i>50</i>
<i>Preglednica 14: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drenažnega asfalta za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:009, str. 27).....</i>	<i>50</i>
<i>Preglednica 15: Področje uporabe bituminiziranih zmesi litega asfalta za asfaltne obrabne in zaščitne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:009, str. 27).....</i>	<i>51</i>
<i>Preglednica 16: Področje uporabe bituminiziranih zmesi litega asfalta za asfaltne obrabne in zaščitne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:009, str. 28).....</i>	<i>51</i>
<i>Preglednica 17: Področje uporabe bituminiziranih zmesi za tankoplastne prevleke v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:009, str. 29).....</i>	<i>53</i>
<i>Preglednica 18: Področje uporabe bituminiziranih zmesi za tankoplastne prevleke v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:009).....</i>	<i>53</i>

<i>Preglednica 19: Področja uporabe površinskih prevlek na voziščih v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve in od vrste bitumenskega veziva (Henigman et. al., 2011, stran 95).....</i>	<i>54</i>
<i>Preglednica 20: Nominalne zmogljivosti različnih bobnov (privzeto po Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 89).....</i>	<i>67</i>
<i>Preglednica 21: Receptura asfaltne zmesi AC 8 surf B50/70 A3.....</i>	<i>71</i>
<i>Preglednica 22: Receptura asfaltne zmesi AC 8 surf PmB 45/80-65 A2, A3.....</i>	<i>72</i>
<i>Preglednica 23: Receptura asfaltne zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 A1,A2.....</i>	<i>72</i>
<i>Preglednica 24: Receptura asfaltne zmesi AC 11 surf B50/70 A2.....</i>	<i>72</i>
<i>Preglednica 25: Receptura asfaltne zmesi AC 11 surf PmB 45/80-65 A2.....</i>	<i>72</i>
<i>Preglednica 26: Cene obravnavanih asfaltnih zmesi.....</i>	<i>74</i>
<i>Preglednica 27: Cena bitumenskega veziva.....</i>	<i>74</i>
<i>Preglednica 28: Cena kamnitega materiala.....</i>	<i>74</i>
<i>Preglednica 29: Cena zmesi kamnitih zrn AC 8 surf B 50/70 A3.....</i>	<i>75</i>
<i>Preglednica 30: Cena zmesi kamnitih zrn AC 8 surf PmB 45/80-65 A2.....</i>	<i>76</i>
<i>Preglednica 31: Cena zmesi kamnitih zrn SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2.....</i>	<i>76</i>
<i>Preglednica 32: Cena zmesi kamnitih zrn AC 11 surf B50/70 A2.....</i>	<i>77</i>
<i>Preglednica 33: Cena zmesi kamnitih zrn AC 11 surf PmB 45/80-65 A2.....</i>	<i>78</i>
<i>Preglednica 34: Cena bitumenskega veziva v asfaltni zmesi.....</i>	<i>82</i>
<i>Preglednica 35: Cena zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi.....</i>	<i>83</i>
<i>Preglednica 36: Cena fiksnih stroškov v asfaltni zmesi.....</i>	<i>84</i>
<i>Preglednica 37: Cena stroškov porabe energije v asfaltni zmesi.....</i>	<i>85</i>
<i>Preglednica 38: Cena skupnih stroškov v asfaltni zmesi.....</i>	<i>86</i>
<i>Preglednica 39: Višina zaslužka.....</i>	<i>87</i>
<i>Preglednica 40: Cena asfaltne zmesi AC 8 surf B50/70, *B70/100.....</i>	<i>92</i>
<i>Preglednica 41: Cena asfaltne zmesi AC 8 surf PmB45/80-65.....</i>	<i>93</i>
<i>Preglednica 42: Cena asfaltne zmesi SMA 8 PmB45/80-65, *PmB E 50/70.....</i>	<i>94</i>
<i>Preglednica 43: Cena asfaltne zmesi AC 11 surf B50/70, *B70/100.....</i>	<i>95</i>
<i>Preglednica 44: Cena asfaltne zmesi AC 11 surf PmB45/80-65, *PmB E 50/70.....</i>	<i>96</i>
<i>Preglednica 45: Cene asfaltnih zmesi v Sloveniji.....</i>	<i>97</i>
<i>Preglednica 46: Cene asfaltnih zmesi v Avstriji.....</i>	<i>98</i>
<i>Preglednica 47: Cene asfaltnih zmesi v Švici.....</i>	<i>99</i>
<i>Preglednica 48: Cene asfaltnih zmesi na Hrvaškem.....</i>	<i>100</i>

LIST OF TABLES

<i>Table 1: Minimum requirements for stone aggregate mixes of asphalt concrete surf</i>	20
<i>Table 2: Minimum requirements for stone aggregate mixes of stone mastic asphalt</i>	21
<i>Table 3: Minimum requirements for stone aggregate mixes of mastic asphalt</i>	22
<i>Table 4: Minimum requirements for stone aggregate mixes of porous asphalt</i>	23
<i>Table 5: Bitumen modifiers/additives and improvements</i>	34
<i>Table 6: Framework specification for quality requirements of standard bitumen</i>	42
<i>Table 7: Framework specification for quality requirements of polymer modified bitumen</i>	43
<i>Table 8: Recommendation for use of asphalt mixture bituminous binders</i>	44
<i>Table 9: Scope of AC surf depending on the average annual daily traffic load</i>	47
<i>Table 10: Scope of AC surf depending on the average annual daily traffic density</i>	48
<i>Table 11: Scope of SMA depending on the average annual daily traffic load</i>	49
<i>Table 12: Scope of SMA depending on the average annual daily traffic density</i>	49
<i>Table 13: Scope of PA depending on the average annual daily traffic load</i>	50
<i>Table 14: Scope of PA depending on the average annual daily traffic density</i>	50
<i>Table 15: Scope of MA depending on the average annual daily traffic load</i>	51
<i>Table 16: Scope of MA depending on the average annual daily traffic density</i>	51
<i>Table 17: Scope of SS depending on the average annual daily traffic load</i>	53
<i>Table 18: Scope of SS depending on the average annual daily traffic density</i>	53
<i>Table 19: Scope of SD depending on the average annual daily traffic load and bituminous binder</i>	54
<i>Table 20: Nominal Drum – Mix Capacities</i>	67
<i>Table 21: Recipe of asphalt mixture AC 8 surf B50/70 A3</i>	71
<i>Table 22: Recipe of asphalt mixture AC 8 surf PmB 45/80-65 A2, A3</i>	72
<i>Table 23: Recipe of asphalt mixture SMA 8 PmB 45/80-65 A1,A2</i>	72
<i>Table 24: Recipe of asphalt mixture AC 11 surf B50/70 A2</i>	72
<i>Table 25: Recipe of asphalt mixture AC 11 surf PmB 45/80-65 A2</i>	72
<i>Table 26: Prices of asphalt mixtures</i>	74
<i>Table 27: The price of bituminous binder</i>	74
<i>Table 28: The price of the aggregates</i>	74
<i>Table 29: The price of the aggregates for AC 8 surf B 50/70 A3</i>	75
<i>Table 30: The price of the aggregates for AC 8 surf PmB 45/80-65 A2</i>	76
<i>Table 31: The price of the aggregates for SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2</i>	76
<i>Table 32: The price of the aggregates for AC 11 surf B50/70 A2</i>	77
<i>Table 33: The price of the aggregates for AC 11 surf PmB 45/80-65 A2</i>	78
<i>Table 34: The price of bituminous binder in the asphalt mixture</i>	82
<i>Table 35: The price of aggregat in the asphalt mixture</i>	83

<i>Table 36: Fixed costs in asphalt mixture</i>	<i>84</i>
<i>Table 37: The price of energy consumption in the asphalt mixture</i>	<i>85</i>
<i>Table 38: Price of the total cost of asphalt mixtures</i>	<i>86</i>
<i>Table 39: The amount of earnings</i>	<i>87</i>
<i>Table 40: The price of AC 8 surf B50/70, *B70/100.....</i>	<i>92</i>
<i>Table 41: The price of AC 8 surf PmB45/80-65.....</i>	<i>93</i>
<i>Table 42: The price of SMA 8 PmB45/80-65, *PmB E 50/70.....</i>	<i>94</i>
<i>Table 43: The price of AC 11 surf B50/70, *B70/100.....</i>	<i>95</i>
<i>Table 44: The price of AC 11 surf PmB45/80-65, *PmB E 50/70</i>	<i>96</i>
<i>Table 45: The prices of asphalt mixtures in Slovenia</i>	<i>97</i>
<i>Table 46: The prices of asphalt mixtures in Austria</i>	<i>98</i>
<i>Table 47: The prices of asphalt mixtures in Switzerland</i>	<i>99</i>
<i>Table 48: The prices of asphalt mixtures in Croatia.....</i>	<i>100</i>

KRATICE

AC surf – bitumenski beton

B 50/70 – cestogradbeni bitumen s penetracijo 50/70

B 70/100 – cestogradbeni bitumen s penetracijo 70/100

C – drobljena zrna

d – spodnja nazivna velikost agregata

D – zgornja nazivna velikost agregata

G_A – mešani agregat

G_C – grobi agregat

G_F – fini agregat

G_{TC} – značilna sestava agregata

I_p – indeks penetracije

LA – količnik Los Angeles

m.-% – masni delež

MA – liti asfalt

MB_F – vrednost metilen modro

M_{DE} – količnik mikro-Deval

MS – vrednost magnezijevega sulfata

NZ – ni zahteve

PA – drenažni asfalt

PmB 45/80-65 – s polimeri modificiran bitumen s penetracijo 45/80 in zmečkščem pri 65°C

PSV – vrednost odpornosti grobih zrn proti poliranju

PLDO – povprečna letna dnevna obremenitev

PLDP – povprečni letni dnevni promet

RP – zadržani delež agregata na posameznem situ

SB – vrednost Sonnenbrand

SD – površinske prevleke

SMA – drobir z bitumenskim mastiksom

SI – indeks oblike

SS – tankoplastne prevleke po hladnem postopku

SZ – vrednost udarne trdnosti

V – obstojnost prostornine

WA – vrednost vpijanja vode

WS – topnost v vodi

Z – razred zmesi zrn

1. UVOD

“Po definiciji je asfalt v naravi nastala ali tehnično proizvedena (t.j. naravna ali umetna) zmes bitumenskega veziva in kamnitih zrn ter morebitnih drugih potrebnih dodatkov za zagotovitev uporabnosti pri gradnji cest” (Henigman et. al., 2011, str. 315).

Izraz asfalt se uporablja po vsej Evropi. Znotraj evropskega cestnega omrežja je okrog 6,1 milijona kilometrov asfaltiranih cest, ki povezujejo tako večja urbana središča kot tudi majhne skupnosti. Več kot 75 % blaga in 83 % potnikov potuje po cestah, kar dokazuje, da je asfalt zelo pomemben gradbeni material. To potrjuje tudi podatek povprečne šestnajstletne proizvodnje v Sloveniji v obsegu 1,76 milijona ton. Kljub zelo razširjeni uporabi asfaltnih zmesi pri nas pa so stroški povezani s proizvodnjo in vgradnjo še zmeraj ključni dejavnik pri izbiri določene vrste asfaltne zmesi.

Kot piše Žmavc (1997) so obrabne asfaltne plasti voziščnih konstrukcij najbolj neposredno izpostavljene prometnim in klimatskim obremenitvam; prevzeti in prenesti morajo različne sile, ki jih ustvarjajo vozila na vozni površini ter hkrati zaščititi voziščno konstrukcijo pred vremenskimi vplivi, ki so v Sloveniji zelo veliki; prav tako morajo zagotoviti primerno torno sposobnost in ravnost vozne površine in izpolnjevati morajo pogoj, ki zagotavlja odpornost proti preoblikovanju ter nastanku škodljivih sprememb.

Tovrstne obremenitve zahtevajo stalno spremljanje strokovnega razvoja na področju asfaltov ter zagotavljanje kakovosti asfaltne zmesi in voziščnih konstrukcij, s čim manjšimi stroški vgradnje, vzdrževanja in razgradnje.

1.1 PREGLED STANJA NA OBRAVNAVANEM STROKOVNEM PODROČJU

V obdobju med letoma 1995 in 2010 je v Sloveniji potekala intenzivna izgradnja avtocest in pripadajoče infrastrukture. Posledica tega je bil vztrajni razvoj asfaltne industrije. Gospodarska kriza, ki je nastopila, je prizadela asfaltno industrijo v isti meri kot ostala področja gradbeništva kljub potrebi po nenehnem vzdrževanju prometnih površin in upanju, da se to ne bo pripetilo. Kot piše Henigman, (2013) je proizvodnjo ustavilo pet od osmih največjih proizvajalcev asfalta, več kot 20 odstotkov proizvodnih kapacitet je obstalo.

Glede na leto 2008, ko je bila v Sloveniji dosežena najvišja proizvodnja vročih asfaltnih zmesi, in sicer v obsegu 2,6 mio ton vročih asfaltnih zmesi (od tega je bilo vgrajenih 115.000 ton navadnih cestogradbenih bitumnov, z 22,0 % deležem s polimeri modificiranih bitumnov), je bila proizvodnja v

letu 2014 občutno nižja. Po podatkih članov Združenja asfalterjev Slovenije je bilo v letu 2014 v Sloveniji proizvedeno 1,406 mio ton vročih asfaltnih zmesi, kar pomeni, da je proizvodnja še zmeraj prenizka za zadovoljivo vzdrževanje cest oziroma njihovo izboljšanje kot tudi za prepotreben razvoj obstoječe asfaltne industrije.

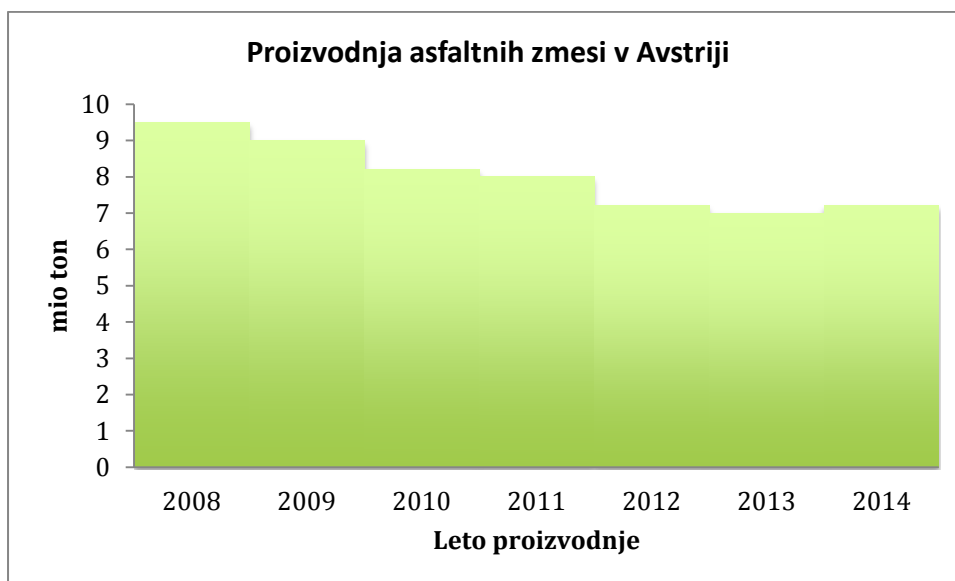


Slika 1: Proizvodnja asfaltnih zmesi v Sloveniji
Figure 1: Production of asphalt mixtures in Slovenia

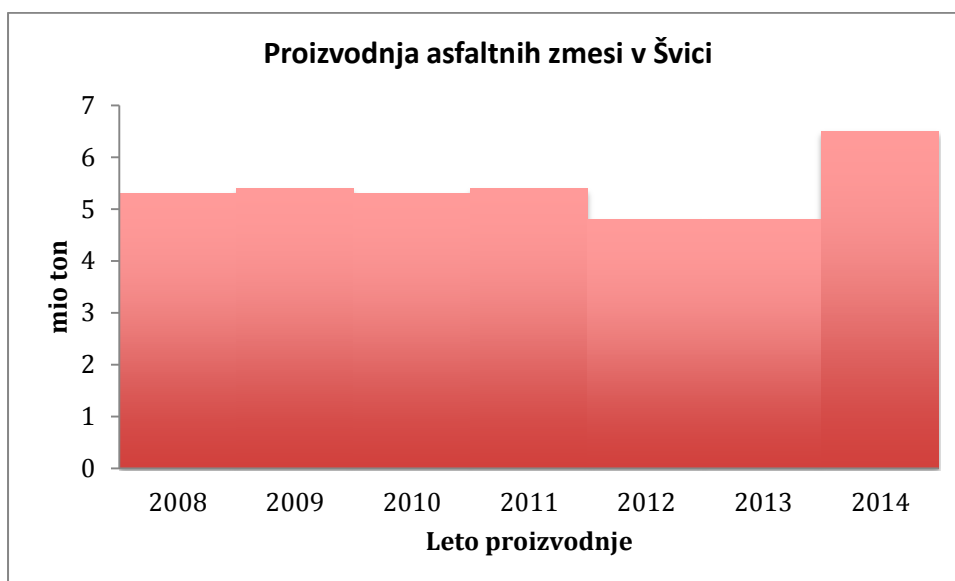
Po podatkih obsega proizvodnje asfaltnih zmesi, privzetih po "European Asphalt Pavement Association: Asphalt in Figures 2014", v Avstriji, Švici in na Hrvaškem ugotovimo, da se je tudi v sosednjih državah pojavil negativni trend. Izstopa Švica, kjer je proizvodnja v obravnavanem obdobju precej enakomerna, v letu 2014 pa se je precej povečala.

Glede na leto 2008 se je proizvodnja znižala najmanj v Avstriji, kjer je znašal padec 25 %, sledi ji Hrvaška s 45 % in Slovenija z največjim padcem, 46 % nižjo proizvodnjo.

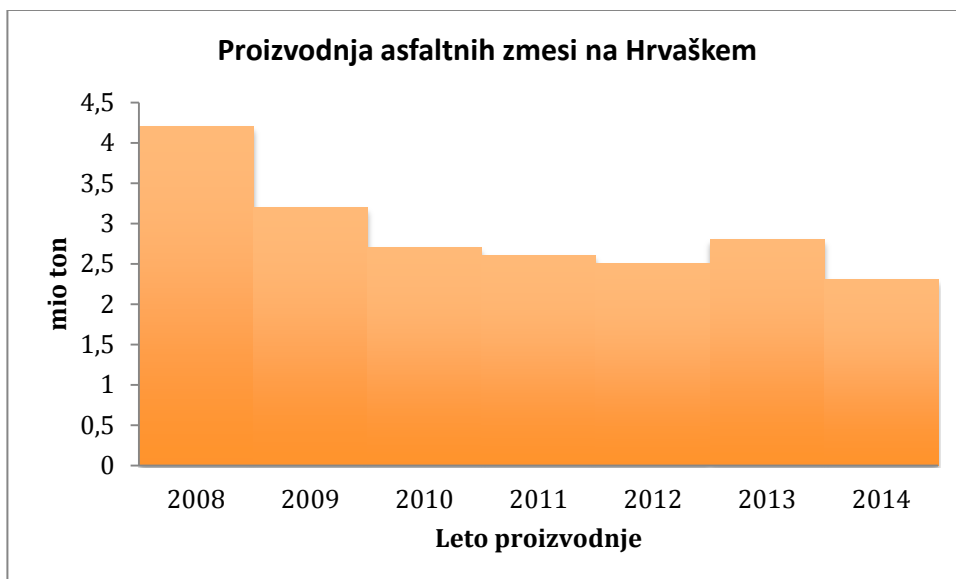
Primerjava proizvodnje v letu 2014 glede na leto 2013 kaže znatno povečanje v Švici, le-to znaša 35 %, sledi ji Slovenija s 33 % povečanjem. V Avstriji se je proizvodnja asfaltnih zmesi v letu 2014 glede na leto 2013 rahlo povečala, in sicer za 3 %, na Hrvaškem pa je proizvodnja precej nižja.



Slika 2: Proizvodnja asfaltnih zmesi v Avstriji
Figure 2: Production of asphalts mixtures in Austria

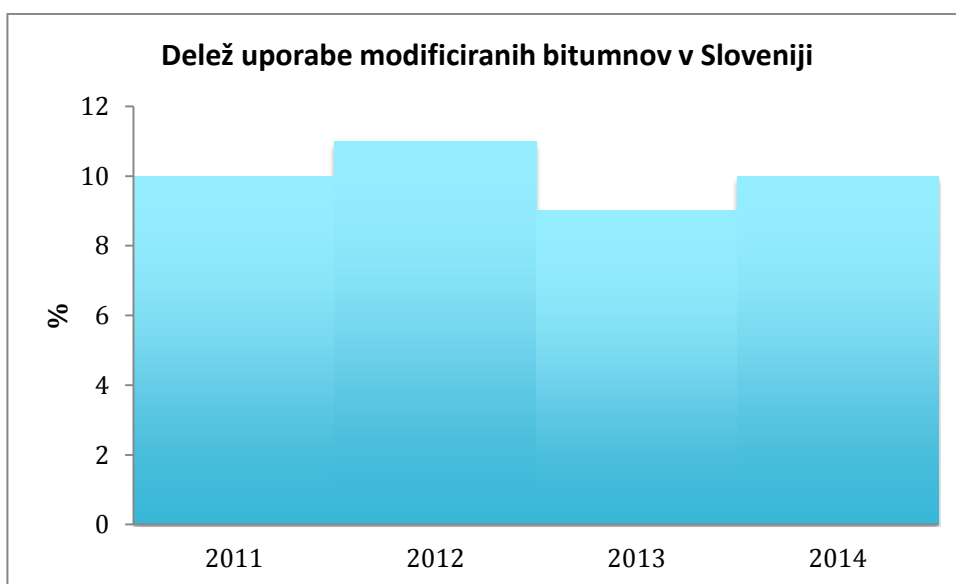


Slika 3: Proizvodnja asfaltnih zmesi v Švici
Figure 3: Production of asphalts mixtures in Switzerland



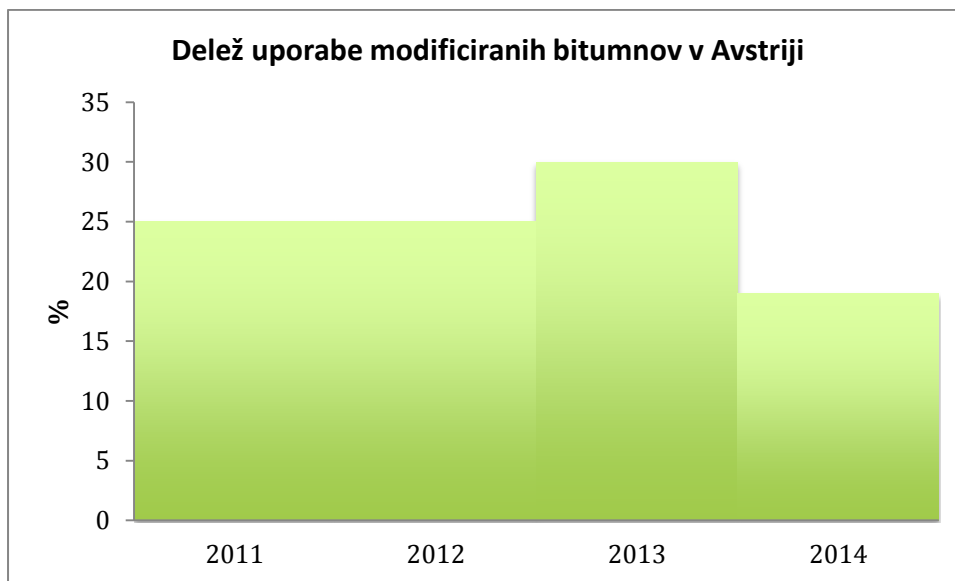
Slika 4: Proizvodnja asfaltnih zmesi na Hrvaškem
Figure 4: Production of asphalt mixtures in Croatia

V nadaljevanju je prikazana primerjava deleža uporabe s polimeri modificiranih bitumnov, ki je za vsako državo specifična. Delež uporabe s polimeri modificiranih bitumnov se giblje neodvisno od količine proizvodnje asfaltnih zmesi (podatki pridobljeni s strani "European Asphalt Pavement Association: Asphalt in Figures 2014"). V Sloveniji je, v primerjalnem obdobju med letoma 2011 in 2014, delež s polimeri modificiranih bitumnov glede na uporabo vseh bitumnov nihal od 9 % do 11 %. V letu 2011 je znašal delež 10 %, v letu 2012 se je povečal na 12 %, v letu 2013 je padel na 9 % in v letu 2014 se je spet povečal na 10 %.

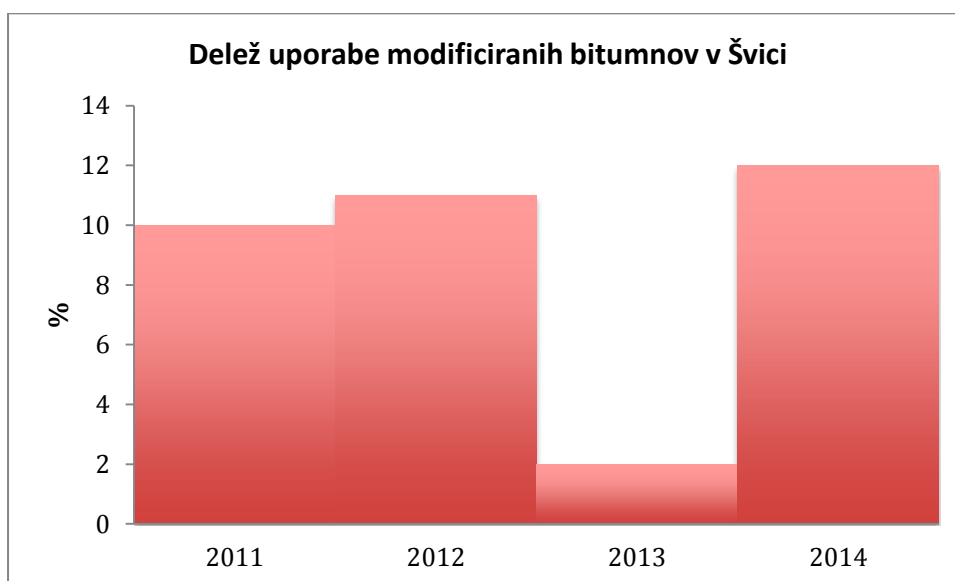


Slika 5: Delež uporabe modificiranih bitumnov v Sloveniji
Figure 5: The percentage of use of modified bitumen in Slovenia

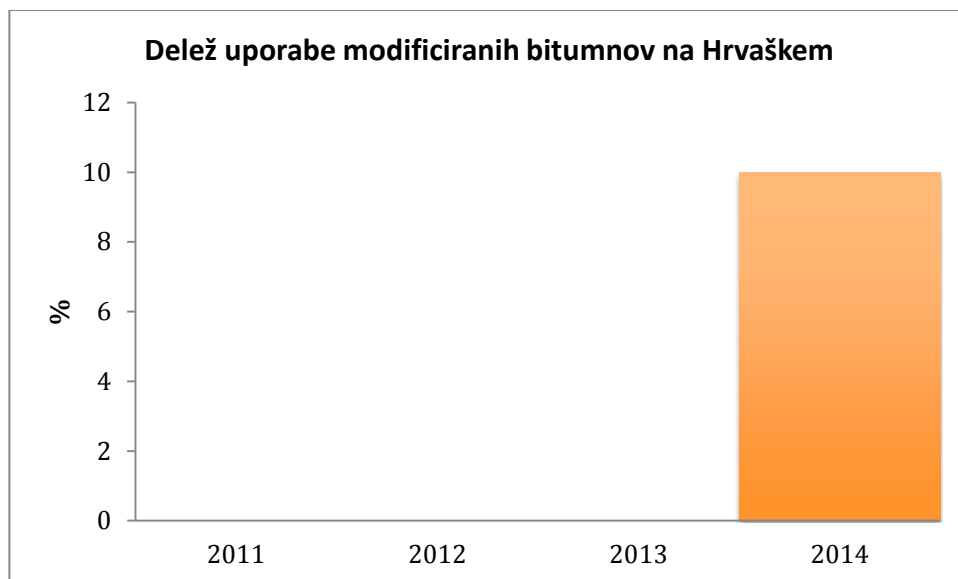
V Avstriji je delež uporabe s polimeri modificiranih bitumnov precej višji. V letih 2011 in 2012 je znašal 25 %, leta 2013 se je delež povečal na 30 %, leta 2014 pa je padel na 18,9 %. V Švici je delež uporabe s polimeri modificiranih bitumnov v letu 2011 znašal 10 %, v letu 2012 11 %, v letu 2013 le 2 %, v letu 2014 pa se je uporaba povečala na 12 %. Spremljanje deleža uporabe s polimeri modificiranih bitumnov na Hrvaškem zaradi pomanjkanja podatkov ni možno. Dostopen je le podatek uporabe v letu 2014, ki znaša 10 %.



Slika 6: Delež uporabe modificiranih bitumnov v Avstriji
Figure 6: The percentage of use of modified bitumen in Austria



Slika 7: Delež uporabe modificiranih bitumnov v Švici
Figure 7: The percentage of use of modified bitumen in Switzerland



Slika 8: Delež uporabe modificiranih bitumnov na Hrvaškem
Figure 8: The percentage of use of modified bitumen in Croatia

Švica je država z največjo gostoto avtocestne mreže, sledita ji Slovenija in Hrvaška ter na koncu Avstrija. Dejstvo, da Avstrija precej izstopa s količino uporabe s polimeri modificiranih bitumnov, pa nakazuje na kvalitetno izgradnjo tudi ostale prometno bolj obremenjene cestne mreže.

Asfaltna industrija in ostala področja gradbeništva so tesno povezana z gibanjem gospodarstva in odvisna od razmer ter pogojev na investicijskem trgu. Kot je omenjeno na začetku poglavja, je gospodarska kriza, ki je prizadela tako Slovenijo kot tudi večino evropskih držav, v zadnjih letih zelo skrčila gradbeno aktivnost. Ena izmed redkih držav, ki ni čutila krize v taki meri kot ostala Evropa, kar je razvidno tudi iz gibanja proizvodnje, je bila Švica. Tržišče je neizprosno in zahteva od podjetij vse večjo učinkovitost. Podjetja se morajo nenehno prilagajati novim zahtevam tržišča in izboljševati poslovanje, vendar pa razmere na trgu tega zmeraj ne omogočajo. Zato se poraja vprašanje, na kakšen način se s trenutnim stanjem v asfaltni industriji pri nas spopadajo posamezni asfaltni obrati. Ali so se glede na manjšo proizvodnjo asfaltnih zmesi spremenila razmerja pri določevanju končnih cen le-teh? Ter v primeru, da so se, na kakšen način?

1.2 NAMEN IN CILJ MAGISTRSKEGA DELA

Namen magistrskega dela je ugotoviti ali je višja cena asfaltnih zmesi obrabnih plasti z uporabo s polimeri modificiranih bitumnov v primerjavi s ceno asfaltnih zmesi obrabnih plasti z uporabo navadnih cestogradbenih bitumnov upravičena ali ne.

Glede na javno dostopne podatke različnih asfaltnih obratov v Sloveniji je razvidno, da so asfaltne zmesi obrabnih plasti z uporabo s polimeri modificiranih bitumnov občutno dražje kot asfaltne zmesi z

uporabo navadnih cestogradbenih bitumnov. Posledica tega je, da se v praksi velikokrat zaradi te razlike v ceni uporabi cenejša asfaltna zmes, ne glede na morebitne negativne posledice.

Cilj magistrskega dela je izvedba stroškovne analize obravnavanih asfaltnih zmesi, na podlagi katere bo razvidno, na kakšen način asfaltni obrati določajo cene asfaltnih zmesi. Pridobljeni podatki, izračuni in analize pa bodo podali odgovor na aktualno problematiko asfaltnih obratov.

1.3 METODE DELA

Metode uporabljene pri izdelovanju magistrskega dela temeljijo na proučevanju strokovne literature, raziskovanju, analiziranju ter poznavanju posebnosti povezanih z obravnavano tematiko.

Teoretični del magistrskega dela zajema predstavitev asfaltnih zmesi. Podroben opis materialov, ki sestavljajo obravnavane asfaltne zmesi obrabnih plasti. Opisane in opredeljene so zahtevane lastnosti agregata za posamezno asfaltno zmes, poseben poudarek je na opisu in primerjavi različnih tipov bitumnov. Pri modificiranih bitumnih so opisani modifikatorji ter njihov vpliv na lastnosti bitumna in na lastnosti asfaltne zmesi. Temu sledi opis lastnosti obravnavanih asfaltnih zmesi.

Raziskovalni del magistrskega dela zajema pridobitev potrebnih podatkov izbranega asfaltnega obrata, na podlagi katerih so izvedne analize. Podatki, potrebni za izvedbo stroškovne analize, so:

- cene obravnavanih asfaltnih zmesi ter cene vhodnih materialov,
- receptura posamezne asfaltne zmesi, ki določa natančen delež vhodnih materialov,
- postopek proizvodnje asfaltne zmesi.

Analitični del magistrskega dela zajema primerjavo cen posameznih komponent asfaltne zmesi oziroma določitev deleža cene, ki ga posamezna komponenta predstavlja. Rezultati vsebujejo podrobno pojasnilo, na kakšen način posamezni element oziroma postopek vpliva na končno ceno asfaltne zmesi ter način, po katerem asfaltni obrat določa končne cene asfaltnih zmesi.

1.4 VSEBINA MAGISTRSKEGA DELA

Magistrsko delo je razdeljeno na šest poglavij. V uvodnem poglavju je opisana obravnavana problematika, pregled stanja na obravnavanem strokovnem področju v Sloveniji ter v sosednjih državah: Avstriji, Švici in na Hrvaškem, metode dela ter struktura naloge.

V drugem poglavju so predstavljeni in opisani vsi materiali, ki sestavljajo asfaltno zmes, ter preskusi le-teh, ki preverjajo potrebne lastnosti posameznih materialov. Način predstavitve omenjenih materialov v nadaljevanju omogoča lažje razumevanje oznak/lastnosti asfaltnih zmesi.

Tretje poglavje opisuje asfaltne zmesi obrabnih plasti in njihove lastnosti.

Četrto poglavje obravnava proizvodnjo asfaltnih zmesi. Opisani so različni asfaltni obrati in postopki proizvodnje asfaltnih zmesi. Predstavljene so recepture obravnavanih asfaltnih zmesi ter stroški, ki se pojavijo pri proizvodnji. Stroški zajemajo dobavo vhodnih materialov in samo proizvodnjo.

V petem poglavju sledi ovrednotenje asfaltnih zmesi in primerjava deležev cene, ki jih predstavljajo posamezne komponente asfaltne zmesi.

V šestem poglavju je predstavljena analiza rezultatov ter primerjava cen obravnavanih asfaltnih zmesi v Sloveniji s cenami v Avstriji, Švici in na Hrvaškem. Poglavje se zaključuje s sklepi.

Sedmo poglavje predstavlja povzetek magistrskega dela.

2. MATERIALI, KI SESTAVLJAJO ASFALTNO ZMES

2.1 AGREGAT – ZMES KAMNITIH ZRN

Agregati, ki se uporabljajo v voziščni konstrukciji, so lahko drobljeni agregat, naravni agregat, žindra, odpadki iz rudnika, umetni agregat, reciklirani material ali katerikoli drugi material, ki izpolnjuje zahtevane geometrijske, mehanske in kemijske lastnosti za določeno plast voziščne konstrukcije, v kateri se uporablja. Prvi dve vrsti agregata sta opredeljeni kot konvencionalni ali "primarni" agregat, medtem ko se ostali lahko opredelijo kot "sekundarni" agregat.

2.1.1 DROBLJENI AGREGAT

Drobljeni agregat je proizveden v kamnolomu iz različnih kamnin z ustreznimi mehanskimi in kemijskimi lastnostmi. Kamnine so razdeljene v tri glavne skupine glede na izvor. In sicer v: magmatske kamnine, sedimentne kamnine in metamorfne kamnine.

Magmatske kamnine nastanejo z ohlajanjem staljene lave. Odvisno od hitrosti hlajenja so označene kot kamnine z "grobno" teksturo, na primer granit, ali kamnine s "fino" teksturo, na primer bazalt. Razvrščajo se glede na njihovo kemijsko ali mineralno sestavo, zlasti glede na vsebnost silicijevega dioksida (SiO_2). Opredelijo se lahko kot:

- (a) tiste, ki vsebuje visoko vsebnost silicijevega dioksida $> 65 \%$, na primer granit;
- (b) "vmesne", ki vsebujejo med 55% in 65% silicijevega dioksida, na primer andesit;
- (c) take, ki imajo nizko vsebnost silicijevega dioksida, okoli 45% – 55% , vsebnost železa in magnezija pa je običajno visoka, na primer bazalt in gabro;
- (d) take, ki imajo vsebnost silicijevega dioksida $< 45 \%$, na primer peridotit.

Razvrščajo se tudi v: gabre, bazalte, granite in porfirje. Gabri so kamnine z grobo zrnato teksturo iz skupine (c), bazalti so prav tako iz skupine (c), vendar imajo bolj fino zrnato strukturo, graniti iz skupine (a) so grobo zrnati in porfirji, skupina (a/b) fino zrnati z velikimi, jasno opaznimi, vgrajenimi kristali.

Sedimentne kamnine so razvrščene glede na njihov nastanek. Razdeljene so v štiri skupine:

- klastične sedimentne kamnine,
- biokemijske sedimentne kamnine,
- kemijske sedimentne kamnine,
- "druge" sedimentne kamnine, ki nastanejo zaradi trka, vulkanizacije in drugih procesov.

Klastične sedimentne kamnine so v glavnem sestavljene iz kremenca, glinenca, kamnitih fragmentov, glinenih mineralov in sljude. Nadalje se delijo na konglomerat, breč, peščenjake in glinavce.

Biokemijske sedimentne kamnine nastajajo iz apnenčastih skeletov organizmov. Glavna sestavina je mineral kalcit (CaCO_3). Najbolj znan predstavnik v tej kategoriji je apnenec. Kemijske sedimentne kamnine so oblikovane kot obori iz prenasičene raztopine. Primer kamnine v tej kategoriji je oolitiski apnenec.

Metamorfne kamnine nastanejo s preoblikovanjem drugih vrst kamnin, kot na primer magmatskih ali sedimentnih kamnin pod visoko temperaturo in visokim tlakom. Razdeljene so v skrilavce, amfibolite, marmorje in gnajse. Filiti, skrilavci in vse skale, za katere se zdi, da so v plasteh, so primeri skrilavcev. Marmor je preoblikovan apnenec, medtem ko gnajs izhaja iz preoblikovanega granita.

Večina magmatskih kamnin in peščenjaki iz sedimentnih kamnin so po navadi trde skale. Iz njih se proizvaja trajni drobljeni agregat, ki se lahko uporablja za vse plasti voziščne konstrukcije.

2.1.2 NARAVNI AGREGAT

Naravni agregati so znani kot prod, mešanica peska in proda ali naravni pesek. Najti jih je mogoče v nekoliko konsolidirani obliki, v starih strugah, planotah, ki so bile ustvarjene med postglacialno dobo, in v ustjih rek in potokov. Naravni materiali se lahko uporabljajo v različnih plasteh voziščne konstrukcije, kot je posteljica, in v nekaterih primerih kot tampon. Prav tako se lahko uporabljajo za izdelavo asfaltnih zmesi, pod pogojem, da se najprej obdelajo. Naravni materiali so mešanice različnih kamnin, večinoma so to apnenci, peščenjaki in graniti.

2.1.3 ŽLINDRA

Žlindra je stranski proizvod v proizvodnem procesu kovin, kot sta železo in nikelj. Žlindra se razlikuje glede na kemijsko sestavo, specifično težo in poroznost. Uporablja se predvsem kot nadomestek za agregate, ne samo v tamponu ali posteljici, ampak tudi za proizvodnjo asfaltnih zmesi. V nekaterih primerih se uporablja tudi kot nadomestek za polnilo.

2.1.4 ODPADKI IZ RUDNIKA

Odpadki iz rudnika se uporabljajo predvsem kot tampon ali posteljica.

2.1.5 UMETNI AGREGAT

Umetni agregati so večinoma proizvedeni iz žganih kamnin, kot je boksit, ki ima dobre protizdrsne lastnosti. Druge vrste umetnih agregatov imajo nizko gostoto ali specifično težo in se uporabljajo za proizvodnjo lahkega betona.

2.1.6 RECIKLIRAN MATERIAL

Recikliran material se proizvaja z drobljenjem in presejanjem starih asfaltnih materialov med

rekonstrukcijo. Lahko se uporablja kot zamenjava za agregat v novih asfaltnih zmeseh.

Agregat se deli v grobi agregat, fini agregat in polnilo. V skladu z evropskimi standardi, kot piše Nikolaidēs (2014), je grobi agregat za asfaltne zmesi opredeljen kot agregat, katerih delci se obdržijo na 2 mm situ in padejo skozi 45 mm sito. V primeru agregatov za nevezane plasti se kot grobi agregat opredeli agregat, katerih delci se obdržijo na 2 mm situ, brez določitve zgornje velikosti sita. Fini agregat za asfaltne zmesi je opredeljen kot agregat, katerih delci prehajajo skozi 2 mm sito in se zadržijo na 0.063 mm situ. V primeru agregatov za nevezane plasti se agregati, katerega delci prehajajo skozi sito s 6.3 mm odprtini, definirajo, kot da so v redu. Polnila so večinoma agregati, ki padejo skozi 0.063 mm sito. Uporabljajo se kot dodatki asfaltnim zmesem, z namenom izboljšanja določenih lastnosti.

2.2 PRESKUSI AGREGATOV

Zaradi variabilnosti agregatnih virov je agregate potrebno preskusiti, da se določi njihova primernost za uporabo v asfaltnih zmeseh, v tamponu ali posteljici. Prav tako pogojujejo ustrezne lastnosti agregata mehanske in klimatske obremenitve voziščne konstrukcije. Primernost agregata je opredeljena glede na geometrijske, mehanske in kemijske lastnosti.

2.2.1 GEOMETRIJSKE LASTNOSTI

Geometrijske lastnosti, kot so velikost delcev in porazdelitev velikosti delcev ter oblika delcev, vplivajo na mehanske lastnosti plasti voziščne konstrukcije. Od dobro sortiranih agregatov, ki imajo kubično obliko, majhen delež ploščatih zrn, se pričakuje, da imajo najboljšo mehansko obnašanje. Delci manjši od 0.002 mm, glina, pa lahko negativno vplivajo na povezanost asfaltne zmesi kot tudi na mehansko obnašanje asfalta in nevezane plasti, če je prisotna voda.

- *Nazivne velikosti*

V skladu z veljavnimi standardi velikost agregata označujeta spodnja "d" in zgornja nazivna velikost "D", izražena kot d/D. To imenovanje sprejema prisotnost nekaterih delcev, ki se zadržijo na zgornjem situ (nadmerna zrna), in nekaterih, ki prehajajo skozi spodnje sito (podmerna zrna). Razmerje mejnih velikosti zrn D/d mora v osnovnih frakcijah znašati 2.0, v vmesnih frakcijah pa ne sme biti manjše od 1.4. Nazivne velikosti osnovnih frakcij so: 0/4, 4/8, 8/16, 16/31, 31/63. Nazivne velikosti vmesnih frakcij pa so: 0/1, 0/2, 1/4, 2/4, 8/11, 11/16, 16/22, 22/31, 31/45, 31/56 in 45/63.

- *Sestava zmesi zrn*

Sestava zmesi zrn ali porazdelitev velikostih agregatnih delcev se določi s sejanjem ali sejhalno analizo. Cilj sejhalne analize je določiti sejhalno krivuljo. Za asfaltne zmesi ali nevezane plasti sta velikost in

število sit izbrana iz osnovnega niza sit in iz enega od dveh možnih nizov alternativnih sit.

Poleg sit velikosti 0.063 in 1 mm, CEN EN 933-1 (CEN EN 933-1 cit. po Nikolaides, A., 2014) priporoča uporabo enega ali več sit z velikostjo med 0.063 in 1 mm. Ta sita so 0.125, 0.250 in 0.500 mm ne glede na izbrani osnovni niz sit. Vsako sito je označeno s številko, ki ustreza odprtini sita. Sita, ki se uporabljajo za sejalne analize, imajo odprtine kvadratne oblike. Osnovni pogoj za sejalno analizo je, da se najprej pridobi reprezentativni vzorec agregata v razsutem stanju. Nato se uporabi ustrezno količino vzorca za sejalno analizo.

Postopek sejanja se izvede na suhem agregatu. V skladu s standardom CEN EN 933-1 (CEN EN 933-1 cit. po Nikolaides, A., 2014) je potrebno pred sejanjem vzorec agregata temeljito oprati in posušiti, dokler ne pridobi stabilno maso, kar omogoča določitev deležev. Po sejanju, ki traja določen čas, se masa, ki ostane na posameznem situ, stehta in je izražena kot zadržani delež (RP) skupne mase. Masa, ki ostane na posameznem situ, se nato izrazi kot kumulativni odstotek, ki gre skozi vsako sito. Na podlagi kumulativnega odstotka ustreznega sita se izriše sejalna krivulja.

- *Oblika grobih zrn*

Preskusa za določanje oblike grobih zrn sta indeks ploščatosti in modul oblike. Izvajata se predvsem na drobljenih agregatih. Oblika drobljenega agregata je odvisna od njegove petrološke sestave in procesa drobljenja.

Indeks ploščatosti: glede na CEN EN 933-3 (CEN EN 933-3 cit. po Nikolaides, A., 2014) morajo imeti agregati, ki se uporabljajo za preskus ploščatosti nazivni premer manjši od 80 mm in večji od 4 mm. Test sestoji iz dveh procesov sejanja. Najprej se vzorec razdeli na različne frakcije glede na njihovo velikost, torej zrna, ki padejo skozi zgornje sito D_i , in zrna, ki ostanejo na spodnjem situ d_i . Velikost frakcije je izražena kot d_i/D_i . Del iz vsake frakcije se nato preseje s sistemom posebnih sit. Skupni indeks ploščatosti se nato določi kot celotna skupna masa, ki pade skozi posamezno sito omenjenega sistema posebnih sit.

Modul oblike: v skladu s standardom SIST EN 933-4 (SIST EN 933-3 cit. po Henigman et. al., 2011) so posamezni delci razvrščeni glede na njihovo dolžino L in njihovo debelino E s pomočjo drsnega merilnika. Modul oblike se izračuna kot masa agregata z razmerjem dimenzij $L / E \geq 3$, izražen kot odstotek slabih zrn celotne suhe mase preskušene vzorca. Preskus se izvede na vsaki frakciji d_i/D_i , kjer je D (največja velikost delcev) $< 2d$ (najmanjša velikost delcev).

Modul oblike in indeks ploščatosti sta preskusni metodi bistvenega pomena za agregat, ki se uporablja v asfaltnih zmesih, zlasti v poroznem asfaltu in površinski prevleki. Na splošno velja, da oblika grobih

delcev agregata vpliva na mehanske lastnosti materiala, prav tako pa vpliva na umestitev in zgoščevanje.

- *Delež drobljenih zrn*

Preskus se izvaja v skladu s standardom SIST EN 933-5 (SIST EN 933-5 cit. po Henigman et. al., 2011) z grobim agregatom d_i/D_i , kjer je $D_i < 63$ mm in $d_i > 4$ mm. Zajema ročno ločevanje sestavljenega vzorca v dve skupini: na drobljene in lomljene delce, vključno s popolnoma zdobljenimi ali lomljenimi delci, in okrogle delce, vključno s popolnoma okroglimi delci. Masa vsake skupine se zabeleži in izrazi kot odstotek celotne mase vzorca. Popolnoma drobljeni delci so definirani kot delci z več kot 90 % popolnoma drobljenih zrn in so izraženi z indeksom C_{ic} . Delno drobljeni in popolnoma drobljeni delci so definirani kot delci z več kot 50 % delno in popolnoma drobljenih delcev in so izraženi z indeksom C_c . Okrogli delci so definirani kot delci s 50 % ali manj drobljenih delcev in so izraženi z indeksom C_r . Popolnoma okrogli delci delcev so definirani kot delci z več kot 90 % zaobljenih zrn in so izraženi z indeksom C_{ir} .

2.2.2 MEHANSKE LASTNOSTI

Odpornost proti drobljenju, odpornost proti zglajevanju in odpornost proti obrabi določajo mehansko obnašanje agregata pri prometni obremenitvi ter pri proizvodnji, vgrajevanju in zgoščevanju asfaltnih zmesi. Preskusa za ugotavljanje odpornosti proti drobljenju agregata sta: postopek Los Angeles in postopek udarne trdnosti. Glede odpornosti proti zglajevanju in odpornosti proti obrabi agregata se izvajata preskusa: postopek pospešenega poliranja in postopek micro - Deval.

- *Odpornost proti drobljenju*

Postopek "Los Angeles", po CEN EN 933-1 (CEN EN 933-1 cit. po Nikolaidis, A., 2014), je verjetno najstarejši in najbolj znan izmed vseh preskusov agregata. Določa obrabo agregata pod vplivom drobljenja ter obrabnih sil. Sile se razvijajo med vrtenjem agregata in jeklenih krogel v napravi imenovani Los Angeles. Stroj je sestavljen iz vrtečega se bobna z notranjimi dimenzijami 508 mm (dolžina) in 711 mm (premer). Standardna velikost agregata, ki se testira, je 10/14 mm. Masa testnega vzorca je 5000 ± 5 g, ki je pridobljen iz vzorčnega agregata z maso vsaj 15 kg. Zahteva se, da 60 % do 70 % mase preskusnega vzorca preide skozi 12.5 mm sito. Če se uporabi 11.2 mm sito, se odstotek spremeni na 30 % do 40 %. Suhemu agregatu se v bobnen doda enajst jeklenih krogel premera 45 do 49 mm in mase med 400 in 445 g. Boben se nato zapre in naredi 500 vrtljajev s hitrostjo 31 do 33 vrtljajev na minuto. Po končanem testu se agregat preseje, da se določi masa materiala, ki se obdrži na 1.6 mm situ. Količnik Los Angeles (LA) se izračuna kot:

$$LA = (5000 - m)/50,$$

kjer je m masa materiala, ki se je obdržala na 1.6 mm situ. Nižji kot je količnik Los Angeles, bolj vzdržljiv in odporen proti drobljenju je agregat.

Preskus udarne trdnosti je alternativni test za odpornost proti drobljenju in se izvaja v skladu s SIST EN 1097-2. Glede na Nikolaidesa (2014) se med preskusom agregat velikosti 8/12.5 mm doda v kovinski kalup in se ga drobi pod vplivom nabijala (10 udarcev z višine 370 mm). Po drobljenju se agregat preseje skozi testna sita velikosti 0.2, 0.63, 2, 5 in 8 mm. Vrednost udarne trdnosti (SZ) se izračuna kot:

$$SZ = \frac{M}{5} (\%),$$

kjer je M odstotek mase agregata, ki preide skozi vsako od petih omenjenih sit.

- *Odpornost grobih zrn proti poliranju*

Pospešeno poliranje se izvaja na grobih zrnih agregata, ki se uporabljajo za obrabne plasti voziščne konstrukcije in jih vozila obremenjujejo tudi z vodoravnimi silami. Test odpornosti grobih zrn proti poliranju določa upor grobih zrn agregata proti polirnemu delovanju pnevmatik. Test je sestavljen iz dveh delov: v prvem delu so preskušanci podvrženi polirnim ukrepom v stroju s pospešenim poliranjem; v drugem delu testa se meri drsnost s SRT nihalom. Vrednost odpornosti grobih zrn proti poliranju se nato izračuna glede na določitev trenja.

Preskus se izvede v skladu s SIST EN 1097-8 (SIST EN 1097-8 cit. po Henigman et. al., 2011). V skladu s standardom naj bi vsa zrna prehajala skozi 10 mm sito in se zadržala na 7.2 mm situ. Uporabljata se dva polirna medija, dve kolesi, čas poliranja je 6 h (3 h za vsak polirni medij). Približno 36 do 46 zrn agregata velikosti 7.2/10 mm se skrbno položi v kalup. Zrna agregata morajo biti položena v eni plasti. Medprostore med agregati se zapolni s peskom. Količina peska se uporabi tako, da je napolnjeno le tri četrtine globine vmesnega prostora. Nato se kalup napolni z epoksidno smolo. Ko se smola strdi, se vzorec temeljito očisti, da se odstranijo kakršne koli sledi peska in se prenese na polirni stroj. Polirana naprava ima kovinsko kolo s premerom 406 mm, na katerega so nameščeni preskušanci in kontrolna zrna. Skupno število nameščenih vzorcev je 14. Kolo se med preskusom vrti s hitrostjo 320 vrtljajev na minuto. Na koncu preskusa po 6 h se preskušanci očistijo in testirajo na trenje s pomočjo SRT nihala. Vrednost odpornosti grobih zrn proti poliranju se določi po naslednji enačbi:

$$PSV = S + 52.5 - C,$$

kjer je S povprečna torna vrednost za štiri preskušance in C srednja torna vrednost za štiri kontrolne vzorce. Določitev kategorije PSV je potrebna za ugotavljanje primernosti agregata za vse vrste obrabnih plasti voziščne konstrukcije. Agregat je primeren, če je njegova PSV kategorija večja ali

enaka vrednosti nacionalne specifikacije. PSV kategorije so povezane z velikostjo prometne obremenitve in kategorije ceste.

- *Odpornost grobih zrn proti obrabi*

Postopek micro - Deval je bil razvit v Franciji. Podoben je preskusu odpornosti proti drobljenju po postopku Los Angeles. Preskus v skladu s CEN EN 1097-1 (CEN EN 1097-1 cit. po Nikolaidis, A., 2014) uporablja agregat velikosti 14/10 mm (zrna, ki padejo skozi 14 mm sito in se zadržijo na 10 mm situ). Ključne razlike v primerjavi s postopkom Los Angeles so naslednje:

- (a) uporabljena je manjša količina agregata (500 ± 2 g);
- (b) boben je manjši z notranjim premerom 200 ± 1 mm in 154 ± 1 mm dolžine;
- (c) čas rotacije je daljši, traja 2 h;
- (d) hitrost vrtenja je večja (100 vrtljajev na minuto);
- (e) premer jeklenih krogel je manjši ($10 \pm 0,5$ mm);
- (f) v boben se doda $2,5 \pm 0,05$ l vode.

Po končanem preskusu se agregat posuši in preseje skozi 1.6 mm sito. Koeficient micro - Deval se izračuna kot:

$$M_{DE} = (500 - m)/5,$$

kjer je M_{DE} koeficient micro - Deval in m skupna masa (g), ki se je ohranila na 1.6 mm situ. Koeficient M_{DE} je srednja vrednost dveh vzorcev. Preskus se lahko izvede tudi brez dodajanja vode.

- *Odpornost proti zmrzovanju in tajanju*

Je zelo pomembna lastnost kamnitih zrn, saj neposredno vpliva na obstojnost voziščne konstrukcije. Če agregat ni odporen na spremembe temperature okolja, lahko razpad agregata povzroči izgubo nosilnosti plasti, razpoke ali razpad obrabne plasti voziščne konstrukcije. Preskus z magnezijevim sulfatom določa odpornost proti vremenskim vplivom ali razpadu agregata, ko je podvržen cikličnemu delovanju s potopitvijo v magnezijev sulfat in sušenju v pečici. To simulira dolgoročno odpornost na vremenske vplive zaradi spremembe volumna, ki jih povzročajo izmenične sezonske temperature.

Simulacijo sprememb prostornine se izvede s kristalizacijo in hidracijo magnezijevega sulfata (Mg_2SO_4) v pore agregatov med fazo sušenja nasičenih agregatov. 500 g agregatnih delcev med 10 in 14 mm, v skladu s SIST EN 1367-2 (SIST EN 1367-2 cit. po Henigman et. al., 2011), se potopi za $17 \pm 0,5$ h v raztopino magnezijevega sulfata. Agregat se $2 \pm 0,25$ h odceja in nato suši pri $110^\circ C \pm 5^\circ C$ 24 ± 1 h. Ta postopek se ponovi petkrat. Agregat se nato spere z vodo iz pipe, da se odstrani ves magnezijev sulfat. Nato se posuši pri $110^\circ C \pm 5^\circ C$ in ročno preseje s pomočjo 10 mm sita. Evidentira

se izguba teže in se izrazi kot odstotek prvotne mase vzorca. Srednja vrednost dveh testov, zaokrožena na najbližje celo število, se izrazi kot vrednost magnezijevega sulfata (MS).

Odpornost proti zmrzovanju in odtajanju zagotavlja informacije o obnašanju agregata, ki je podvržen cikličnemu delovanju zamrzovanja in odtajanja. Preskus po SIST EN 1367-1 (SIST EN 1367-1 cit. po Henigman et. al., 2011) se izvaja na agregatnih delcih od 4 do 63 mm. Vnaprej določena masa suhega agregata se najprej potopi v vodno kopel pri $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ za obdobje 24 h in nato se izpostavi postopnemu zamrzovanju pri $-17,5^{\circ}\text{C}$ za vnaprej določeno obdobje. Vzorec se nato odtajamo pri $20^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$. Ciklus se ponovi 10-krat. Vzorec se preseje skozi manjše sito, kot se je uporabilo za določanje testnega vzorca (uporabi se pol manjša velikost sita). Zabeleži se izguba teže zaradi zamrzovanja in odtajanja ter se izrazi kot odstotek začetne mase vzorca. Reprezentativna vrednost zamrzovanja in odtajanja je povprečje treh testnih vrednosti.

- *Vpijanje vode v groba zrna*

Za izvedbo preskusa so potrebni piknometri ustrezne prostornine (1000 do 5000 ml) za določanje gostote agregatnih delcev velikosti 4 do 31,5 mm. Opis preskusa po Nikolaides (2014): reprezentativen delež suhega agregata se nasuje v piknometer, ki se nato napolni z vodo. Piknometer se nežno valja, da se odstrani kakršenkoli ujet zrak. Ujet zrak se lahko odstrani tudi z uporabo vakuumu. Piknometer se nato postavi v vodno kopel s temperaturo $22^{\circ}\text{C} \pm 3^{\circ}\text{C}$ za $24 \pm 0,5$ h. Po 24 urah se piknometer odstrani iz vodne kopeli, obriše in stehta (M_2). Na tej točki se izmeri tudi temperatura vode. Nato se iz piknometra odstrani agregat, le-ta pa se ponovno napolni z vodo in stehta (M_3). Ponovno se zabeleži temperatura vode. Temperaturi med določanjem mase M_2 in M_3 se ne smeta razlikovati za več kot 2°C . Mokri agregat se razprostre na vpojni papir ali krpo, se osuši, dokler se morebitni presežek vode ne odstrani s površine. Nasičen, površinsko suh agregat se nato stehta (M_1). Agregat se nato osuši v peči na $110^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, dokler ne doseže konstantno maso (M_4).

Absorpcija vode (WA_{24}) po 24-urni potopitvi v vodo je izračunana kot

$$WA_{24} = 100 \times (M_1 - M_4)/M_4,$$

kjer je WA_{24} absorpcija vode (% mase suhega vzorca), M_1 je masa nasičenega, površinsko suhega agregata (g) in M_4 je masa posušenega agregata (g).

- *Kakovost finih delcev*

Preskus "metilen modro" se uporablja za določanje kakovosti finih delcev z ugotavljanjem obstoja aktivnih mineralov glin. V nasprotju z neaktivnimi glinenimi minerali, aktivni po navadi nabreknejo. Ta nabreklost ima škodljiv vpliv na vezane in nevezane plasti voziščne konstrukcije. Preskus temelji na načelu adsorpcije glinenih mineralov s pomočjo barvila metilen modro. Med preskusom se meri količina barvila, ki je potrebna za pokritje vseh glinenih delcev. Količina adsorbiranega barvila je

povezana s specifično površino mineralov glin (montmorilonit, illit in kaolinit). Aktivni glineni minerali imajo veliko specifično površino, neaktivni glineni minerali pa ne. Iz tega sledi, da je porabljena količina barvila "metilen modro" sorazmerna s količino in vrsto glinenih mineralov.

Preskus, v skladu s SIST EN 933-9 (SIST EN 933-9 cit. po Henigman et. al., 2011), se izvede na frakciji agregata 0/2 mm. Frakciji 0/2 mm, vsaj 200 g, se doda 500 ± 5 ml destilirane vode. Raztopina se meša 5 minut in nato se doda odmerek barvila "metilen modro" v velikosti 5 ml. Nadalje mešanje se izvaja vsaj 1 minuto. Nato se iz vzorca vzame kapljico suspenzije in se kapne na filtrirni papir ter preveri, ali je vzorec adsorbiral celotno barvilo. Končna točka preskusa se potrdi s ponovitvijo testa madeža v intervalu 1 min v časovnem obdobju 5 min, brez dodajanja dodatnega barvila v raztopino. Vrednost "metilen modro" (MB) frakcije 0/2 mm, izražena v gramih barve na kilogram, se določi na podlagi naslednjega razmerja:

$$MB = (V_1/M_1) \times 10 \text{ (g/kg)},$$

kjer je V_1 celotni volumen raztopine z vbrizganim barvilom (ml) in M_1 je masa preskusnega vzorca (g).

- *Obvitost grobih zrn z bitumnom*

Kamnita zrna se pred izvedbo preskusa obviije z bitumnom. Obravnavani vzorec se v steklenički z destilirano vodo obrača z določeno hitrostjo. Stopnja obvitosti delcev se določi po 6 in 24 urah rotacije vzorca.

2.2.3 KEMIJSKE LASTNOSTI

- *Petrografska sestava agregata*

Petrografska sestava naravnih in umetnih agregatov se določi glede na SIST EN 932-3. Ta standard določa osnovne postopke za petrografski pregled agregatov za namen generalne razvrstitve.

- *Določitev lahke kontaminacije (vsebnost lahkih kontaminantov)*

Test je metoda za oceno masnega deleža lahkih delcev v drobnih zrnih agregata (ali v grobih zrnih agregata), kot sta lignit in premog. Vsebnost lahkih kontaminantov se določi s standardom SIST EN 1744-1.

- *Določanje kislinsko-topnih sulfatov*

Določitev sulfatnih ionov se uporablja za naravni agregat in zračno hlajeno žlindro po SIST EN 1744-1 (SIST EN 1744-1 cit. po Henigman et. al., 2011). Sulfati se pridobijo iz reprezentativne mase agregata z razredčeno solno kislino in se ugotavljajo gravitacijsko. Vsebina sulfatnega iona je izražena kot masni delež agregata.

- *Določitev skupne vsebnosti žvepla*

Določitev skupne vsebnosti žvepla se uporablja za naravni agregat in zračno hlajeno žlindro iz plavža in se izvaja v skladu s SIST EN 1744-1. Vzorec agregata se obdela z bromom in dušikovo kislino, tako da se žveplove spojine spremenijo v sulfate. Sulfati v obliki BaSO_4 potonejo in se nato stehtajo. Skupna vsebnost žvepla je izražena kot masni delež agregata.

- *Razpad dikalcijevega silikata v zračno hlajeni žlindri*

Ta preizkus se uporablja na zdrobljeni zračno hlajeni žlindri, da se določi njena dovzetnost za razpad, ki je posledica inverzije dikalcijevega silikata iz oblike "b" v obliko "g". To se včasih imenuje "razpad apna". Po CEN EN 1744-1 (CEN EN 1744-1 cit. po Nikolaidēs, A., 2014) se površina zdrobljene žlindre fluorescira pod vplivom ultravijolične svetlobe na področju vidnega spektra. Vidik in barva fluorescence omogočata odkrivanje žlindre, ki povzroča razpad silikata. Ob koncu preskusa se opazovanja na sveže lomljenih površinah zabeležijo. Žlindra, ki kaže številne velike in majhne svetle lise rumene, bronaste ali barve cimeta na vijoličnem ozadju, se evidentira kot sum na razpad.

- *Razpad železa v zračno hlajeni žlindri*

Ta test se uporablja na drobljeni zračno hlajeni žlindri za določitev občutljivosti na razpad kot posledica hidrolize železa in manganovega sulfida. Po CEN EN 1744-1 (CEN EN 1744-1 cit. po Nikolaidēs, A., 2014) se razpad železa pojavi s staranjem v vlažni atmosferi, v dežju ali še hitreje v vodi. Trideset delcev žlindre velikosti 40 do 150 mm se potopi v vodo pri $20^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ za 2 dni. Če eden ali dva delca počita ali se zdrobita, se preskus ponovi za nadaljnjih 30 delcev. Če delec ponovno poča ali razpade, žlindra ne opravi testa.

- *Stabilnost volumna žlindre*

S testom se določi občutljivost žlindre na ekspanzijo kot posledica hidratacije prostega apna ali prostega magnezijevega oksida. Po CEN EN 1744-1 (CEN EN 1744-1 cit. po Nikolaidēs, A., 2014) se zgoščena žlindra izpostavi toku pare pri 100°C v parni enoti pri sobnem tlaku za 24 ali 168 ur (7 dni), odvisno od vrste žlindre. Vsaka sprememba prostornine zaradi reakcije vlage s prostim apnom ali magnezijevim oksidom se zapiše s pomočjo merilne ure. Rezultat je izražen kot odstotek povečanja volumna glede na začetno prostornino stisnjene vzorca.

- *Topnost polnila in agregata*

Po CEN EN 1744-1 (CEN EN 1744-1 cit. po Nikolaidēs, A., 2014) je primeren preskusni delež vzorec sestavljen iz grobega agregata $2 \pm 0,3$ kg, finega agregata 500 ± 75 g in polnila $10 \pm 0,2$ g. Po 24-urni ekstrakciji se agregat posuši in stehta.

Topnost v vodi (WS) se izračuna po naslednji formuli:

$$WS = ((m_{11} - m_{12})/m_{11}) \times 100 (\%),$$

kjer je m_{11} masa agregata pred ekstrakcijo (g) in m_{12} masa agregata po ekstrakciji (g).

2.2.4 PRIMERJAVA MINIMALNIH ZAHTEV ZA AGREGATE UPORABLJENE V RAZLIČNIH ASFALJNIH ZMESEH

Agregat, ki se uporablja kot sestavni del asfaltne zmesi, mora ustrezati SIST 1043. Standard razlikuje šest razredov kamnitih zrn, Z1–Z6. Glede na posamezno plast v voziščni konstrukciji se uporabljajo razredi kamnitih zrn na naslednji način:

- obrabne plasti (surface): Z1, Z2, Z3
- obrabno-nosilne plasti (surface): Z3
- zaščitne plasti na objektih in izravnalne plasti: Z4
- vezne plasti (binder): Z4
- nosilne plasti (base): Z4, Z5, Z6

Za vsak razred (Z) agregata veljajo minimalne zahteve za lastnosti, katere mora le-ta izpolniti. V spodnjih preglednicah so predstavljene minimalne zahteve agregata, ki se uporablja v obrabnih plasteh voziščne konstrukcije, in sicer za bitumenski beton (AC surf), drobir z bitumenskim mastiksom (SMA), liti asfalt (MA) in drenažni asfalt (PA).

Preglednica 1: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za bitumenski beton - AC surf (SIST 1038-1: 2007, Preglednica 2)

Table 1: Minimum requirements for stone aggregate mixes of asphalt concrete (surface)

Zveza s SIST EN 13043 in SIST 1043		Zahteve Razred zmesi kamnitih zrn in referenčne vrednosti			
Točka	Značilnost po CE - označitvi	Z1	Z2	Z3	Z4
4.1.3	Zrnavost po SIST EN 933-1	V splošnem frakcije 0/2, 0/4, 2/4, 4/8, 8/11			
4.1.3.2	Zrnavost po SIST EN 933-1 za zmesi drobnih zrn ($D \leq 8$ mm)	G_{TC20}			
4.1.4	Delež finih delcev po SIST EN 933-1	grobi: f_1 fini: f_{16}			
4.1.5	Kakovost finih delcev po SIST EN 933-4	MB_{f10} ; največ 5g/kg			
4.1.6	Oblika grobih zrn po SIST EN 933-4	SI_{20}			
4.1.7	Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn po SIST EN 933-5	C100/0	C90/1		
4.2.2	Odpornost grobih zrn proti drobljenju po SIST EN 1097-2, točka 5	LA20	LA25	LA30	
4.2.3	Odpornost grobih zrn proti zglajevanju po SIST EN 1097-8	PSV50	PSV50 PSV30	PSV30	PSVNR
4.2.5	Odpornost proti obrabi po SIST EN 1097-1	M_{DE} NR – navesti vrednost			
4.2.9.1	Vpijanje vode v groba zrna po SIST EN 1097-6	WA_{241}			
4.2.9.2	Odpornost grobih zrn (8/16mm) proti zmrzovanju/tajanju po SIST EN 1367-2	MS_{18} ; manjši od 5 m.-%			MS_{NR} – navesti vrednost
4.2.10	Odpornost zrn proti temperaturnemu šoku po SIST EN 1367-5	Navesti vrednosti			
4.2.11	Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom po SIST EN 12697-11, postopek A	Najmanj 80 %			
4.2.12	Preskus Sonnenbrand bazalta po SIST EN 1367-3	SB_{LA} – navesti vrednosti			
4.3.4.3	Prostorninska stabilnost žindre po SIST EN 1744-1	$V_{3,5}$			

Preglednica 2: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za drobir z bitumenskim mastiksom - SMA (SIST 1038-5:2007, Preglednica 2)

Table 2: Minimum requirements for stone aggregate mixes of stone mastic asphalt

Zveza s SIST EN 13043 in SIST 1043		Zahteve			
		Razred zmesi kamnitih zrn in referenčne vrednosti			
Točka	Značilnost po CE - označitvi	Z1	Z2	Z3	Z4
4.1.3	Zrnavost po SIST EN 933-1	V splošnem frakcije 0/2, 0/4, 2/4, 4/8, 8/11			
4.1.3.2	Zrnavost po SIST EN 933-1 za zmesi drobnih zrn ($D \leq 8$ mm)	G _{TC20}			
4.1.4	Delež finih delcev po SIST EN 933-1	grobi: f ₁ fini: f ₁₆			
4.1.5	Kakovost finih delcev po SIST EN 933-4	MB _{f10} ; največ 5g/kg			
4.1.6	Oblika grobih zrn po SIST EN 933-4	SI ₂₀			
4.1.7	Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn po SIST EN 933-5	C _{100/0}	C _{90/1}		
4.2.2	Odpornost grobih zrn proti drobljenju po SIST EN 1097-2, točka 5	LA ₂₀	LA ₂₅	LA ₃₀	
4.2.3	Odpornost grobih zrn proti zglajevanju po SIST EN 1097-8	PSV ₅₀ PSV ₅₀	PSV ₅₀ PSV ₃₀	PSV ₃₀	PSV _{NR}
4.2.5	Odpornost proti obrabi po SIST EN 1097-1	M _{DE} NR – navesti vrednost			
4.2.9.1	Vpijanje vode v groba zrna po SIST EN 1097-6	WA ₂₄ 1			
4.2.9.2	Odpornost grobih zrn (8/16mm) proti zmrzovanju/tajanju po SIST EN 1367-2	MS ₁₈ ; manjši od 5 m.-%			MS _{NR}
4.2.10	Odpornost zrn proti temperaturnemu šoku po SIST EN 1367-5	Navesti vrednosti			
4.2.11	Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom po SIST EN 12697-11, postopek A	Najmanj 80 %			
4.2.12	Preskus Sonnenbrand bazalta po SIST EN 1367-3	SB _{LA} – navesti vrednosti			
4.3.4.3	Prostorninska stabilnost žlindre po SIST EN 1744-1	V _{3,5}			

Preglednica 3: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za liti asfalt - MA (SIST 1038-6:2007, Preglednica 2)

Table 3: Minimum requirements for stone aggregate mixes of mastic asphalt

Zveza s SIST EN 13043 in SIST 1043		Zahteve Razred zmesi kamnitih zrn in referenčne vrednosti			
Točka	Značilnost po CE - označitvi	Z1	Z2	Z3	Z4
4.1.3	Zrnavost po SIST EN 933-1	V splošnem frakcije 0/2, 0/4, 2/4, 4/8, 8/11			
4.1.3.2	Zrnavost po SIST EN 933-1 za zmesi drobnih zrn ($D \leq 8$ mm)	G_{TC20}			
4.1.4	Delež finih delcev po SIST EN 933-1	grobi: f_1 fini: f_{16}			
4.1.5	Kakovost finih delcev po SIST EN 933-4	MB_f10 ; največ 5g/kg			
4.1.6	Oblika grobih zrn po SIST EN 933-4	SI_{20}			
4.1.7	Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn po SIST EN 933-5	$C_{100/0}$	$C_{90/1}$		
4.2.2	Odpornost grobih zrn proti drobljenju po SIST EN 1097-2, točka 5	LA_{20}	LA_{25}	LA_{30}	
4.2.3	Odpornost grobih zrn proti zglajevanju po SIST EN 1097-8	PSV_{50} PSV_{50}	PSV_{50} PSV_{30}	PSV_{30}	PSV_{NR}
4.2.5	Odpornost proti obrabi po SIST EN 1097-1	$M_{DE NR}$ – navesti vrednost			
4.2.9.1	Vpijanje vode v groba zrna po SIST EN 1097-6	WA_{241}			
4.2.9.2	Odpornost grobih zrn (8/16mm) proti zmrzovanju/tajanju po SIST EN 1367-2	MS_{18} ; manjši od 5 m.-%			MS_{NR}
4.2.10	Odpornost zrn proti temperaturnemu šoku po SIST EN 1367-5	Ni zahteve			
4.2.11	Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom po SIST EN 12697-11, postopek A	Najmanj 80 %			
4.2.12	Preskus Sonnenbrand bazalta po SIST EN 1367-3	SB_{LA} – navesti vrednosti			
4.3.4.3	Prostorninska stabilnost žindre po SIST EN 1744-1	$V_{3,5}$			

Preglednica 4: Minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn za drenažni asfalt - PA (SIST 1038-7:2007, Preglednica 2)

Table 4: Minimum requirements for stone aggregate mixes of porous asphalt

Zveza s SIST EN 13043 in SIST 1043		Zahteve Razred zmesi kamnitih zrn in referenčne vrednosti			
Točka	Značilnost po CE - označitvi	Z1	Z2	Z3	Z6
4.1.3	Zrnavost po SIST EN 933-1	V splošnem frakcije 0/2, 0/4, 2/4, 4/8, 8/11, 8/16, 11/16			Frakcije in zmesi zrn, dopustne
4.1.3.2	Zrnavost po SIST EN 933-1 za zmesi drobnih zrn ($D \leq 8$ mm)	G_{TC20}			G_{TCNR}
4.1.4	Delež finih delcev po SIST EN 933-1	grobi: f_1 fini: f_{16}			grobi: f_2 fini: f_{NR}
4.1.5	Kakovost finih delcev po SIST EN 933-4	MB_{f10} ; največ 5g/kg			
4.1.6	Oblika grobih zrn po SIST EN 933-4	SI_{20}			
4.1.7	Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn po SIST EN 933-5	$C_{100/0}$	$C_{90/1}$		C_{NR}
4.2.2	Odpornost grobih zrn proti drobljenju po SIST EN 1097-2, točka 5	LA_{20}	LA_{25}	LA_{30}	LA_{40}
4.2.3	Odpornost grobih zrn proti zglajevanju po SIST EN 1097-8	PSV_{50}	PSV_{50} PSV_{30}	PSV_{30}	PSV_{NR}
4.2.5	Odpornost proti obrabi po SIST EN 1097-1	$M_{DE NR}$ – navesti vrednost			$M_{DE NR}$
4.2.9.1	Vpijanje vode v groba zrna po SIST EN 1097-6	WA_{241}			
4.2.9.2	Odpornost grobih zrn (8/16mm) proti zmrzovanju/tajanju po SIST EN 1367-2	MS_{18} ; manjši od 5 m.-%			
4.2.10	Odpornost zrn proti temperaturnemu šoku po SIST EN 1367-5	Ni zahteve			
4.2.11	Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom po SIST EN 12697-11, postopek A	Najmanj 80 %			
4.2.12	Preskus Sonnenbrand bazalta po SIST EN 1367-3	SB_{LA} – navesti vrednosti			
4.3.4.3	Prostorninska stabilnost žindre po SIST EN 1744-1	$V_{3,5}$			

Primerjava minimalnih zahtev iz predstavljenih preglednic za agregat obrabnih plasti kaže:

- *Razred zmesi kamnitih zrn (agregata):*

Za obrabne plasti bitumenskega betona AC surf se uporabljajo razredi Z1, Z2 in Z3, za obrabno – nosilno plast pa Z4; za drobir z bitumenskim mastiksom SMA in liti asfalt MA se uporabljajo razredi Z1, Z2, Z3 in Z4; za drenažni asfalt PA pa Z1, Z2, Z3 in Z6.

- *Zrnastost po SIST EN 933-1:*

Za AC surf, SMA in MA velja zahteva po uporabi naslednjih frakcij: 0/2 mm, 0/4 mm, 2/4 mm, 4/8 mm, 8/11 mm. Za PA velja uporaba še dodatnih frakcij: 8/16, 11/16, medtem ko za razred Z6 ni omejitve glede uporabe določenih frakcij.

- *Kakovost finih delcev po SIST EN 933-4:*

Za AC surf, SMA, MA in PA velja kategorija MB_F10, največ 5g/kg, kar pomeni, da je lahko ostanek barvila, ki ga vzorec ni adsorbiral, maksimalno 5 g na kilogram frakcije.

- *Oblika grobih zrn po SIST EN 933-4:*

Za vse obravnavane obrabne plasti velja indeks SI₂₀, ki pravi, da mora biti delež slabih zrn v kamniti zmesi ≤ 20. Slaba zrna so podolgovata in ploščata zrna z razmerjem med dolžino in širino > 3.

- *Delež drobljenih zrn po SIST EN 933-5:*

Za razred Z1 velja C_{100/0}, kar pomeni 100 m.-% delež drobljenih zrn v kamniti zmesi, oziroma 0 m.-% delež okroglih, nedrobljenih zrn v kamniti zmesi. Za razrede Z2, Z3 in Z4 velja C_{90/1}, kar pomeni 90 do 100 m.-% delež drobljenih kamnitih zrn v kamniti zmesi ter 0 do 1 m.-% delež okroglih, nedrobljenih zrn v kamniti zmesi. Za razred Z6 ni posebnih zahtev glede deleža drobljenih oziroma okroglih, nedrobljenih zrn v kamniti zmesi.

- *Odpornost grobih zrn proti drobljenju po SIST EN 1097-2:*

Glede na odpornost zmesi kamnitih zrn proti drobljenju se zmesi razporejajo v kategorije: LA₂₀, LA₂₅, LA₃₀, LA₄₀. Za razred Z1 velja količnik Los Angeles manjši ali enak 20. Tej zahtevi zadoščajo silikatne kamnine. Za razred Z2 velja količnik Los Angeles manjši ali enak 25. Tej zahtevi zadoščajo silikatne ali karbonatno-silikatne kamnine. Za razrede Z3, Z4 velja količnik Los Angeles manjši ali enak 30, za razred Z6 pa količnik Los Angeles manjši ali enak 40.

- *Odpornost grobih zrn proti zglajevanju po SIST EN 1097-8:*

Razred Z1 ima količnik PSV (Polished stone value), ki zagotavlja potrebno torno sposobnost, vrednosti 50 ali več, kar velja za silikatne kamnine. Vrednost PSV za razred Z2 je 50/30, dopustna je uporaba silikatnih ali silikatno/karbonatnih kamnin. Razred Z3 ima količnik PSV vrednosti 30 ali več, temu zadostujejo karbonatne ali karbonatno/silikatne kamnine. Za razrede Z4 in Z6 ni zahteve po določenem količniku PSV.

- *Odpornost proti obrabi po SIST EN 1097-1:*

Za odpornost grobih zrn v bituminiziranih zmesih v asfaltnih obrabnih plasteh proti obrabi zahteva ni opredeljena. V primeru zahteve za izvedbo preskusa se navede ugotovljena vrednost.

- *Vpijanje vode v groba zrna po SIST EN 1097-6:*

Vpijanje vode v groba zrna velja za AC surf, SMA, MA in PA enako. Le-to ne sme biti večje od 1 m.-% (kategorija WA₂₄1).

- *Odpornost grobih zrn (8/16 mm) proti zmrzovanju/tajanju po SIST EN 1367-2:*

Za PA je zahteva za vse razrede kamnitih zrn MS₁₈ delež odkruškov manjši od 5 m.-%; za AC surf, SMA in MA pa velja MS₁₈ delež odkruškov manjši od 5 m.-% za razrede Z1, Z2 in Z3; za razred Z4 pa MS_{NR} (ni zahteve).

- *Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom po SIST EN 12697-11:*

Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom mora za vse obrabne plasti znašati najmanj 80 %. Iz primerjave je razvidno, da z višjim razredom kamnitih zrn Z delež drobljenih zrn pada, prav tako pada količnik PSV, zahteva po odpornosti proti poliranju. Obratno se zgodi s količnikom Los Angeles, ki z višjim razredom kamnitih zrn Z raste, vendar to pomeni, da se odpornost proti drobljenju manjša.

2.3 VEZIVA – BITUMNI

Bitumen se uporablja že od antičnih časov, saj je najstarejši konstrukcijski material. Uporablja se od leta 6000 pred našim štetjem kot hidroizolacija in vezivni material odlične kakovosti. Konkreten primer uporabe bitumna je naveden v Stari zavezi, saj je bil uporabljen kot premaz Noetove barke. Sumerci so ga uporabljali v ladjedelništvu, medtem ko so ga Babilonci uporabljali kot vezivo pri gradnji babilonskega stolpa. Naravni asfalt so Egipčani uporabljali tudi za mumificiranje trupel in za vodotesne rezervoarje. Okoli 3000 pred našim štetjem so Perzijci uporabili bitumen za gradnjo cest. Grška beseda “asphaltos” je bila uporabljena v homerskih časih in je pomenila stabilno in trdno snov. Rimljani so uporabljali besedo “asphaltus”, zato se je izraz asfalt ohranil vse do zdaj v vseh modernih jezikih.

Do začetka 20. stoletja je bil asfalt ali bitumen, ki se je uporabljal, naravni produkt. Prvi naravni bitumen je bil najden v Mrtvem morju, kjer je bitumen priplaval na površje in se odlagal na obali. Površinsko odlaganje asfalta obstaja tudi v drugih delih Bližnjega vzhoda. Kasneje, okoli 13.–14. stoletja, so odkrili največje površine nahajališča naravnega asfalta na svetu v Trinidadu ter na obali Venezuele. Naravni asfalt obstaja tudi v obliki kamnine obogatene z bitumnom, poznan kot kamniti asfalt ali katranski pesek. Kamnine z bitumnom so našli v Alberti v Kanadi, vzhodni Venezueli, Madagaskarju, Utahu, Kaliforniji, New Mexicu in Kentuckyu v ZDA, Buton Islandu v Indoneziji, Albaniji, Romuniji, Kazahstanu in v manjših količinah na številnih drugih področjih. Razen asfalta iz Trinidada in Venezuele so se vsi drugi viri naravnega asfalta uporabljali v cestogradnji le občasno. Danes se izkorišča le nekaj zgoraj omenjenih najdišč, predvsem najdišča v Albaniji, Romuniji in Kazahstanu. Vzrok majhne eksploatacije je visoka cena pridobivanja asfalta iz kamnine.

Poleg naravnega asfalta obstaja tudi "umetni asfalt", ki je ostanek frakcionirane destilacije surove nafte in se preprosto imenuje bitumen. Bitumen se poleg uporabe v cestogradnji uporablja tudi kot hidroizolacija, zaščitni premaz in vrsta različnih industrijskih izdelkov.

2.3.1 NARAVNI ASFALT – BITUMEN

Naravni asfalt izhaja iz naravne mutacije nafte. Ta mutacija se je zgodila pred milijoni let zaradi delovanja bakterij. Posledica bakterijske razgradnje nafte je zmanjšana vsebnost nasičenih ogljikovodikov, predvsem n-alkilena in lahkih olj, snov je postala težja in bolj viskozna in se je formirala v asfalt. Po CEN EN 12597 (CEN EN 12597 cit. po Nikolaides, A., 2014) je naravni asfalt opredeljen kot "relativno trd bitumen, najden v naravnih nahajališčih, pogosto mešan s finimi ali zelo fininimi mineralnimi snovmi, ki je praktično trden pri 25°C in viskozna tekočina pri 175°C".

- Trinidadski asfalt

Asfalt, ki prihaja iz Trinidada, je najbolj znan naravni asfalt, v pol-trdni ali zelo viskozni obliki in se uporablja v voziščnih konstrukcijah cest. Nahajališča so površinska v obliki "jezer", zaradi česar je znan tudi kot "jezerski asfalt". Največje jezero asfalta se nahaja v južnem delu Trinidada. Celotna površina jezera je približno 500.000 m², z največjo globino približno 90 m. Ocenjuje se, da vsebuje 15 milijonov ton asfalta. Predstavlja eno največjih nahajališč zelo dobre kakovosti naravnega asfalta na svetu. Trinidadski naravni asfalt vsebuje majhno količino vode in tujih materialov, predvsem zgornje plasti zemlje in kamenja, ki se odstranijo, ko se asfalt segreje na 160°C in preseje. Končni izdelek, znan kot trinidadski jezerski asfalt (TLA), ima naslednjo tipično sestavo: 54 % asfalta, 36 % mineralnih snovi in 10 % organskih snovi. Njegova specifična teža se giblje od 1,39 do 1,44 g/cm³. Čisti trinidadski asfalt (Trinidad Epure) je zelo trd, zato se pri proizvodnji asfaltnih zmesi zelo težko uporablja samostojno. Meša se z mehkim bitumnom pridobljenim iz surove nafte.

- Venezuelski asfalt

Naravni asfalt iz Venezuele, iz območja Guanoco, prav tako tvori površinska jezera. Območje jezera je veliko približno 4.000.000 m², vendar z manjšo globino (največja globina je 3 m) kot jezero v Trinidadu. Količina naravnega asfalta je približno enaka kot v Trinidadu, vsebuje pa 64 % asfalta. Uporaba venezuelskega asfalta je precej manjša kot uporaba trinidadskega asfalta.

- Kamniti asfalt

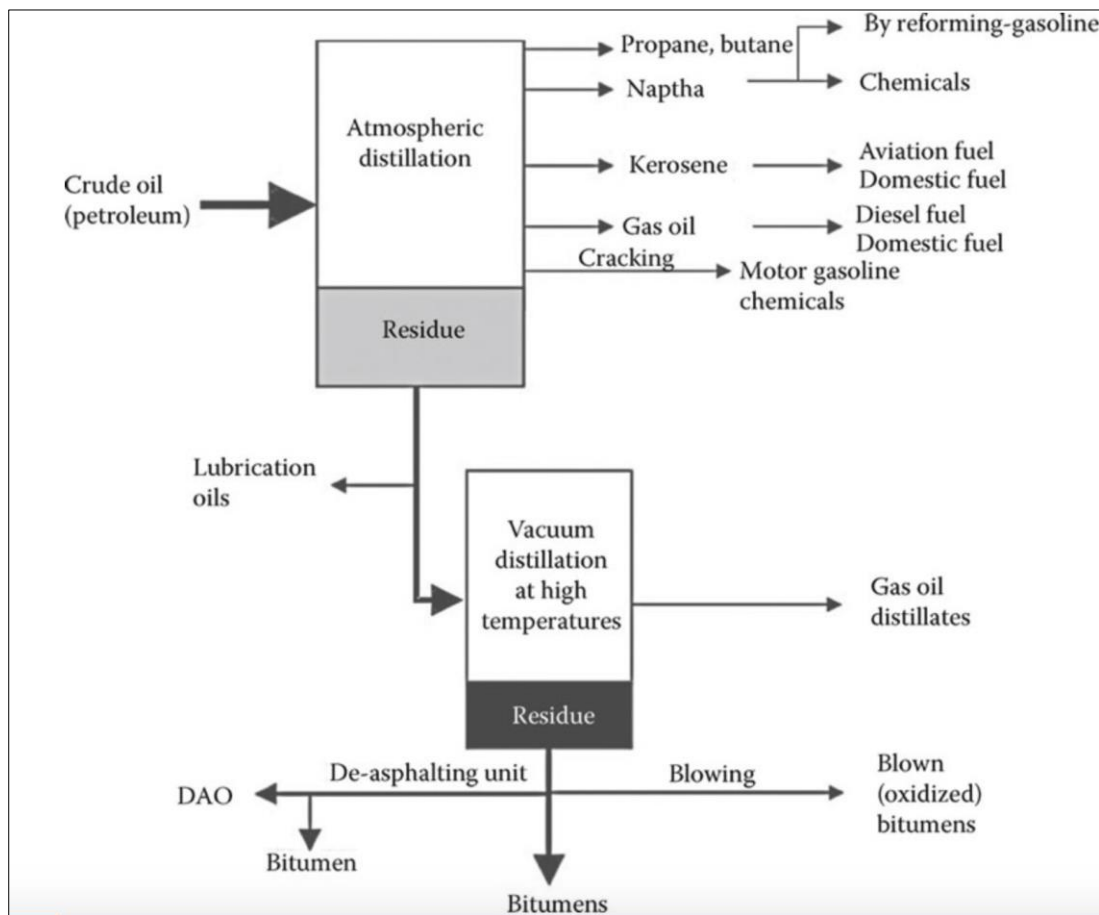
Kamniti asfalt je naravni asfalt v trdni obliki. Nastal je pred milijoni let, ko so se plasti nafte strdile, potem ko so se težje komponente razporedile, lažje komponente pa izparele. Strjevanje je v večini primerov potekalo v porah kamnin (predvsem apnenca ali peščenjaka). Zato se v kamnitem asfaltu nahajajo številne mineralne snovi. Kamniti asfalt se je v preteklosti uporabljal za inženirske objekte, danes pa je njegova uporaba v cestogradnji redka. Kamniti asfalt se uporablja le kot dodatek k

proizvedenemu bitumnu iz nafte, saj je zelo trd in njegova uporaba strdi naftni bitumen. Največje naravne površine nahajališča kamnitega asfalta so v Utahu v Združenih državah Amerike (28 km²) in Kermanšahu v Iranu.

2.3.2 UMETNO PROIZVEDENI BITUMEN

Proizvedeni bitumen je izdelek frakcionirane destilacije surove nafte. Surova nafta izvira iz organskih snovi (rastlin, morskih organizmov), ki so bili pred milijoni let deponirani v zelo debelih plasteh, skupaj z blatom in kamenjem na dnu oceanov. Pod vplivom pritiska prekrivnega materiala so se oblikovale sedimentne kamnine. Slano okolje je povzročilo razpad organskih snovi, ki so se pod vplivom visokega pritiska, temperature, bakterijskih aktivnosti in verjetno sevanja, preoblikovale v ogljikovodike v obliki surove nafte. Dodatni pritisk novih usedlin v naslednjih letih je "stisnil" surovo nafto skozi pore kamnine proti zemeljskemu površju. Na mestih, kjer so kamnine neprepustne, je surova nafta s plini oblikovala podzemne rezervoarje, v katerih ostane, dokler se ne izčrpa. Glede na začetno sestavo organskih snovi kot tudi prevladujočih pogojev je surova nafta pridobila fizikalne lastnosti in kemijsko sestavo. Posledica tega je, da se nafta razlikuje od enega naftnega polja do drugega in se giblje od črne, viskozne tekočine do rjave, nizko viskozne tekočine.

Bitumen se pridobiva s frakcionirano destilacijo surove nafte pri visoki temperaturi v vakuumu. Prav tako se uporablja dodaten postopek (ločevanje) v deasfaltirni enoti topila, navadno postavljeni po destilacijskem stolpu. Deasfaltirna enota topila loči alifatske spojine iz asfaltenov, proizvaja pa tudi deasfaltirano olje visoke kakovosti. Nadaljnjo obdelavo se lahko izvaja tudi s "pihanjem" (oksidacijo), če se proizvaja težji in bolj viskozen bitumen. Produkt je imenovan oksidirani bitumen. Shematska predstavitev proizvodnje bitumna je prikazana na Sliki 9.



Slika 9: Shematski prikaz frakcionirane destilacije surove nafte (Nikolaides, 2014, str. 100)

Figure 9: Schematic diagram of the fractional distillation of crude oil

Vrsta proizvedenega bitumna se določi z izvorom surove nafte, vakuumom in temperaturnimi pogoji v destilacijskem stebru. Bitumen se lahko nadaljnje obdeluje kot emulgiranje ali raztapljanje s topili. V teh primerih se proizvedejo bitumenske emulzije in rezani oziroma fluksirani bitumen. Bitumnu se lahko dodajajo različni kemični dodatki in s tem dobimo modificirane bitumne.

2.3.2.1 SKUPINE UMETNIH BITUMNOV

Bitumen in bitumenska veziva lahko razdelimo v tri glavne skupine:

- (a) cestogradbeni bitumni,
- (b) trdi bitumni,
- (c) oksidirani bitumni.

- Cestogradbeni bitumni

Cestogradbeni bitumni so označeni z nazivno penetracijo ali z območjem viskoznosti. Cestogradbeni bitumni so razdeljeni v tri skupine: (a) bitumen od 20 do 220 dmm penetracije, pri 25°C; (b) bitumen od 250 do 900 dmm penetracije, pri 25°C in (c) mehki bitumen, ki je določen s kinematično

viskoznostjo, pri 60°C. Bitumni, ki se uporabljajo pri gradnji in vzdrževanju cest, letališč in drugih površin, so bitumni z vrednostmi penetracije od 20 do 220 dmm. Znotraj tega razpona se razlikuje osem tipov, in sicer 20/30, 30/45, 35/50, 40/60, 50/70, 70/100, 100/150 in 160/220. Izbira najprimernejšega tipa temelji na klimatskih pogojih in prometnih razmerah.

Cestogradbene bitumne odlikuje trdota (določi test penetracije), trdota pri povišanih temperaturah (določena z zmehčiščem ali s testom viskoznosti) in vzdržljivost. Krhkost pri nizki temperaturi (se določi s pretrgališčem po Fraassu) in sprememba viskoznosti v odvisnosti od temperature (določi se z indeksom penetracije) morata biti opredeljeni, da se izpolnijo regionalne zahteve, kot so skrajna temperaturna nihanja okolice. V Sloveniji sta glede na klimatske pogoje najpogosteje uporabljena tipa bitumna 50/70 in 70/100.

- Trdi bitumni

Trdi bitumni imajo zelo visoke vrednosti modula trdnosti in se uporabljajo za gradnjo in vzdrževanje cest in letališč ter drugih vrst asfaltiranih površin. Običajno se uporabljajo na lokacijah z zelo veliko prometno obremenitvijo, ko so letne temperature okolice srednje ali visoke. Trdi bitumni so, v skladu z veljavnim standardom SIST EN 13924, označeni z vrednostjo penetracije pri 25°C. Kot pri cestogradbenih bitumnih se opravljajo preskusi tudi na trdih bitumnih, s katerimi se določa njihova trdota na srednji temperaturi (penetracija) in pri povišani temperaturi (točka zmehčišča in dinamični test viskoznosti) ter vzdržljivost. Pri specifikaciji trdih bitumnov je koristno, da se določi kinematično viskoznost, točko preloma po Fraassu, plamenišče in topnost.

- Oksidirani bitumni

Oksidirani bitumen se uporablja predvsem pri strešnih kritinah, hidroizolaciji, lepilih in izolaciji. Proces oksidacije poteka po proizvodnji bitumna in sestoji iz pihanja zraka skozi segret bitumen (temperature med 240°C in 320°C). Oksidacija "dehidririra" in "polimerizira" bitumen. Kot posledica tega je povečana molekulska masa asfaltenov, ustvarjajo se dodatni asfalteni iz stalne oljne faze in tako nastaja bitumen z višjo molekulsko maso. Zaradi teh sprememb bitumen postane trši in manj občutljiv na temperaturne spremembe. Vendar pa zaradi kaljenja oksidirani bitumen lažje razpoka pri temperaturah pod 0°C. Obseg sprememb reoloških lastnosti bitumna, ki potekajo med oksidacijo, je odvisen od viskoznosti bitumna, porekla surove nafte, trajanja oksidacije in temperature, pri kateri se oksidacija izvaja. V nasprotju s cestogradbenimi bitumni so oksidirani bitumni razdeljeni v različne tipe s kombinacijo vrednosti zmehčišča in penetracijo pri 25°C, izraženo na naslednji način: za oksidirani bitumen 85/25 pomeni, da je zmehčišče med 80°C in 90°C in penetracija med 20 in 30 dmm. Tipične stopnje oksidiranih bitumnov so naslednje: 85/25, 85/40, 95/25, 95/35, 100/40, 105/35, 110/30 in 115/15.

2.3.2.2 KEMIJSKA SESTAVA BITUMNA

Bitumen je kompleksna spojina sestavljena pretežno iz ogljika in vodika (ogljikovodika), z majhno količino heterocikličnih spojin, ki vsebujejo žveplo, dušik in kisik (Traxler, 1936, cit. po Nikolaides, A., 2014).

Bitumen vsebuje tudi sledove kovin, vključno niklja, magnezija, železa, vanadija in kalcija v obliki anorganskih soli in oksidov. Elementarna analiza bitumnov proizvedenih iz različnih virov surove nafte je pokazala, da večina bitumna vsebuje ogljik 82 %–88 %, vodik 8 %–11 %, kisik 0 %–1,5 % in dušik 0 %–1 %. Natančna sestava bitumna se razlikuje in je odvisna tako od vira surove nafte kot spremembe med frakcionirano destilacijo. Odvisna je tudi od prihajajočega staranja v fazi uporabe (Shell Bitumen, 2003, cit. po Nikolaides, A., 2014).

Kljub kompleksnosti kemijske sestave bitumna, se bitumen deli v dve večji kemijski skupini, asfaltene in maltene. Malteni se delijo še naprej na nasičene ogljikovodike, aromatske ogljikovodike in smole.

- Asfalteni

Asfalteni so kompleksne polarne aromatske spojine, črno ali temno rjave trdne snovi, netopne v n-heptanu, z veliko molekulsko maso, ki vsebujejo poleg ogljika in vodika nekaj dušika, žvepla in kisika. Vsebina asfaltena neposredno vpliva na reološke lastnosti bitumna. Ko se količina asfaltena v bitumnu poveča, postane le-ta trši in bolj viskozen. Odstotek asfaltenov v bitumnu običajno znaša od 5 % do 28 %.

- Malteni

Se delijo na: smole, aromate in nasičene maščobne kisline. Smole imajo podobne sestavne dele kot asfalteni, vendar so topne v n-heptanu. So trdne ali poltrdne, temno rjave barve in močno sprijemljive. Smole so disperzijska sredstva asfaltenov in njihov delež v povezavi z asfalteni določa tip bitumna gel ali sol. Njihova molekulska masa je manjša od asfaltenov. Aromati so naftenski aromatski ogljikovodiki z najnižjo molekulsko maso spojin v bitumnu in predstavljajo glavni disperzijski medij asfaltenov. So viskozne tekočine, temno rjave barve in predstavljajo 40 % do 65 % bitumna. Nasičene maščobne kisline so alifatski ogljikovodiki, skupaj z alkilnimi nafteni in alkilnimi aromati. Njihova molekulska masa je podobna molekulski masi aromatom in njihovi sestavni deli vsebujejo tako voskaste, kot nevoskaste nasičene maščobne kisline. So svetlo rumene do bele barve, njihov delež v bitumnu pa se giblje od 5 % do 20 %.

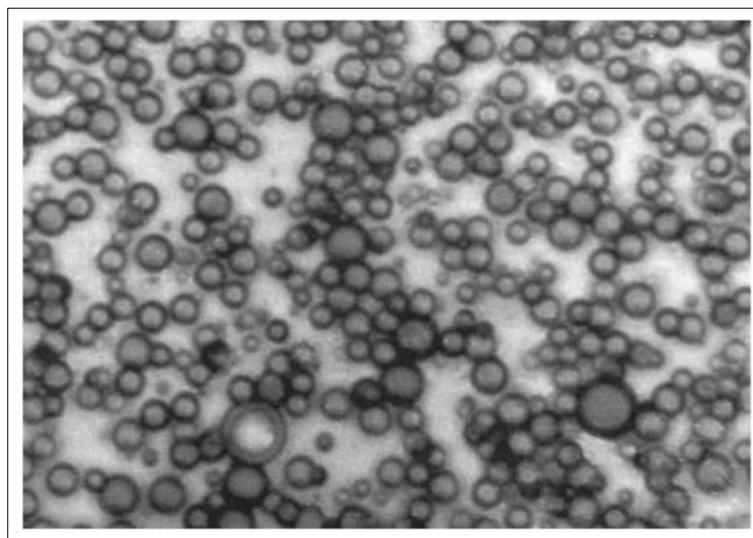
Za bitumen velja, da je koloidni sistem, sestavljen iz micel z visoko molekulsko maso, dispergiranih ali raztopljenih v razpršenem naftnem mediju z nižjo molekulsko maso v maltenih (Girdler, 1965, cit. po Nikolaides, A., 2014).

2.3.3 REZANI IN FLUKSIRANI BITUMEN

Rezani bitumen predstavlja bitumen, katerega viskoznost se je zmanjšala z dodatkom lahkih mineralnih olj. Predstavnik lahkih mineralnih olj sta beli špirit in kerozin. Ko je viskoznost bitumna zmanjšana z dodatkom težkih mineralnih olj, se bitumen imenuje fluksirani bitumen. Tipično težko mineralno olje je plinsko olje. Rezani bitumni in fluksirani bitumni se obravnavajo kot "tekočine" in zahtevajo veliko manj energije za ogrevanje med uporabo v primerjavi s "trdimi" bitumni. Rezana in fluksirana bitumenska veziva so primerna za uporabo pri gradnji in vzdrževanju cest, letališč in drugih površin. Rezani bitumni in v manjši meri fluksirani bitumni so se na veliko uporabljali v preteklosti. Danes je njihova uporaba omejena na površinske prevleke, v proizvodnji hladnih in srednje toplih asfaltnih zmesi, zlasti na oddaljenih območjih, stran od asfaltnih obratov vročih zmesi in za proizvodnjo asfaltnih zmesi za vzdrževalna dela.

2.3.4 BITUMENSKA EMULZIJE

Bitumenske emulzije so emulzije, v katerih disperzijsko fazo (nezvezna faza) tvorita bitumen in voda, kontinuirno fazo pa vodna raztopina. Poleg navedenih osnovnih sestavin lahko bitumenska emulzija v zelo majhnih količinah vsebuje tudi: stabilizatorje, agente proti lomljenju, regulatorje kislosti, izboljševalce za obvitje ali agente proti luščenju. Ko se proizvajajo modificirane bitumenske emulzije, se dodajo tudi polimeri. Velikost razpršenih bitumenskih delcev je v območju od približno 0,0001 do približno 0,015 mm. Slika 10 prikazuje mikroskopski pogled na bitumensko emulzijo.



Slika 10: Mikroskopski pogled na bitumensko emulzijo (Nikolaides, 2014, str. 118)
Figure 10: Bitumen emulsion, photo taken by microscope

V nemodificiranih bitumenskih emulzijah masni delež bitumna, vode, emulgatorjev in drugih dodatkov predstavlja: 40 %–70 % bitumna, 58 %–28 % vode, 0,5 %–1,5 % emulgatorja in manj kot 1

% drugih dodatkov. Odvisno od površinskega naboja delcev se bitumenske emulzije delijo v dve osnovni kategoriji: kationske, kjer so bitumenski delci pozitivno nabiti, in anionske, kjer so bitumenski delci negativno nabiti. Obstajajo tudi neionske bitumenske emulzije, kjer so bitumenski delci v suspenziji nevtralnega vodnega okolja (pH okoli 7). Te emulzije se v cestogradnji redko uporabljajo.

Anionske bitumenske emulzije so prve, ki so se uporabljale v cestogradnji na začetku 20. stoletja (Barth, 1962, cit. po Nikolaidis, A., 2014). V začetku leta 1960 so bile razvite kationske emulzije, ki so rešile težavo, povezano s ponovnim emulgiranjem anionskih bitumenskih emulzij. Danes se uporabljajo skoraj izključno kationske emulzije.

Bitumenske emulzije se uporabljajo pri proizvodnji hladnih asfaltnih zmesi za obrabne plasti, površinske prevleke, tankoplastne prevleke in za stabilizacijo brežin. Uporaba bitumenskih emulzij v primerjavi z rezani bitumni in navadnimi cestogradbenimi bitumni ima naslednje prednosti:

- zahtevajo manj energije za proizvodnjo in uporabo;
- prispevajo k zmanjšanemu onesnaževanju ozračja;
- asfaltna zmes z bitumensko emulzijo deluje bolj varno;
- uspešno obvijajo mokri agregat ali mokre površine z bitumnom;
- pospešijo delovanje bitumna in izboljšajo produktivnost voziščne konstrukcije;
- preprečujejo staranje bitumna, ki se pojavi zaradi dolgotrajnega ogrevanja.

Zgoraj navedene prednosti izhajajo iz dejstva, da zaradi nizke viskoznosti v primerjavi z rezanimi bitumni uporaba bitumenskih emulzij ne predvideva ogrevanja v katerikoli fazi uporabe. Kot posledica je delo varnejše in se izvaja pri nizkih temperaturah. Nadalje nizka viskoznost se doseže z dodatkom vode in ne s topili. Na ta način izhlapeva samo voda in ne drage snovi, ki zahtevajo visoko porabo termalne energije. V nasprotju s topili, izhlapevanje vode ne prispeva k onesnaženju zraka. Kot je količinsko opredelila Mednarodna zveza bitumenske emulzije (IBEF) izdelava tipične nemodificirane vroče asfaltna zmesi (HMA) predstavlja 21 kg emisij CO₂/t in stroške energije 277 MJ/t. Vzporedno s tem proizvodnja hladne asfaltna zmesi (CMA) predstavlja le 3 kg CO₂/t emisij in stroške energije 36 MJ/t (McNally, T., 2011).

2.3.5 MODIFICIRANI BITUMNI

Modificirani bitumni so bitumni, katerih reološke lastnosti so spremenjene med proizvodnjo z uporabo enega ali več modifikatorjev. Modifikatorji izboljšajo nekatere lastnosti bitumna, kar ima za posledico izboljšanje lastnosti ustrezne asfaltna zmesi in s tem izboljšano kakovost voziščne konstrukcije.

Dejavniki, kot so hitro povečanje prometne in osne obremenitve, višje zahteve uporabnikov za boljšo kakovost vožnje in motnje uporabnikov med vzdrževalnimi deli, so prispevali k potrebi za

izboljšanjem bitumenskih lastnosti. Zahtevane izboljšave se nanašajo na občutljivost na temperaturo, togost, elastičnost, lepljivost (oprijemljivost) in staranje bitumna; z drugimi besedami, bitumen ne sme postati preveč mehek pri visokih temperaturah, ne sme postati krhek pri nizkih temperaturah, bitumen se mora manj deformirati zaradi obremenitve, imeti mora boljšo oprijemljivost z agregatom in počasneje se mora starati. Kemijska industrija je izpolnila navedene zahteve in predstavila široko paleto aditivov, ki izpolnjujejo nekatere ali skoraj vse navedene zahteve.

Po standardu SIST 1035 je opredeljenih pet tipov bitumnov modificiranih s polimeri: PmB 10/40-60, PmB 25/55-65, PmB 45/80-50, PmB 45/80-65 in PmB 90/150-45, ki se lahko uporabljajo na območju Slovenije. Prvi dve vrednosti označujeta mejni vrednosti penetracije pri 25°C, tretja vrednost pa je temperatura zmehčišča, izražena v °C. Pri nas se v praksi najpogosteje uporablja bitumensko vezivo tipa PmB 45/80-65, ki ima najustreznejše lastnosti za uporabo na področju mediteranske ali celinske klime na prometno bolj obremenjenih cestah.

2.3.5.1 VLOGA IN UPORABA MODIFICIRANEGA BITUMNA

Modificirani bitumen se lahko uporablja za proizvodnjo asfaltnih zmesi (vročih in hladnih) v površinskih prevlekah, tankoplastnih prevlekah in izolacijah. Modificirane bitumne lahko uporabimo "neposredno" ali v obliki rezanega bitumna, bitumenske emulzije ali mešanega z naravnim asfaltom.

Vloga modificiranega bitumna v cestogradnji je predvsem:

- povečanje odpornosti asfaltnih zmesi pred trajnimi deformacijami,
- zmanjšanje utrujanja asfaltnih zmesi,
- povečanje modula togosti,
- izboljšanje oprijema med bitumnom in agregatnimi delci.

Povečanje odpornosti proti trajnim deformacijam asfaltnih zmesi rešuje problem prezgodnjega staranja. Zmanjšanje utrujanja asfaltnih zmesi zavira nastanek razpok. Povečanje modula togosti izboljšuje sposobnost prenosa obremenitve asfaltne plasti. Izboljšanje oprijema med bitumnom in agregatnimi delci poveča mehansko trdnost asfaltne zmesi. Za modificirane bitumne so značilni relativno visoki proizvodni in dobavni stroški. Vendar pa to ne bi smel biti odvrčilni dejavnik pri uporabi, saj je potrebno upoštevati skupne stroške vgradnje in vzdrževanja voziščne konstrukcije, ki so pri uporabi modificiranih bitumnov precej nižji.

- Modifikatorji, metode za izvedbo modificiranja in bistvene spremembe lastnosti bitumna

Bitumenski modifikatorji so lahko sintetični polimeri, naravne gume (lateks) in nekateri kemijski dodatki, kot so žveplo ter nekatere organsko-kovinske spojine. Preglednica 5 prikazuje nekaj tipičnih bitumenskih modifikatorjev kot tudi pomembne izboljšave asfaltnih zmesi. Najpogostejša vrsta bitumenskih modifikatorjev so polimeri. Termoplastični elastomeri pa predstavljajo najbolj priljubljen

polimer. Preglednica 5 navaja tudi nekatere dodatke, kot so polnila ali vlakna, ki se občasno dodajo asfaltnim zmesem, da vplivajo na njihove mehanske lastnosti, ne spremenijo pa bitumna. Večina bitumenskih modifikatorjev in drugih dodatkov so v trdni obliki (predvsem drobni delci), medtem ko so ostali v tekoči obliki (predvsem oljne raztopine). Termoplastični modifikatorji se dodajo bitumnu v ločenem postopku mešanja – modifikacije pred proizvodnjo asfaltni zmesi. Modificirani bitumen se lahko hrani v silosu.

Preglednica 5: Modifikatorji/dodatki in izboljšave (Nikolaides, 2014, str. 142)

Table 5: Bitumen modifiers/additives and improvements

Vrsta dodatka			Izboljšanje lastnosti
POLIMERI	Termoplastični elastomeri	stiren-butadien-stiren (SBS), stiren-butadien kavčuk (SBR), stiren-izopren-stiren (SIS), stiren-etil-butadien-stiren (SEBS), etil-propildien-tetropolimer (EPDM), izobuten-izopren kopolimer (IIR), polibutadien (PBD), naravna guma	(1), (2), (3), (4), [8], [9], [10], [11], [13]
	Termoplastični polimeri	zmleta guma, etil-vinil-acetat (EVA), etilen-metil-akrilat (EMA), etilen-butil-akrilat (EBA), polietilen (PE), polipropilen (PP), polivinilklorid (PVC), polistiren (PS)	(2), [8], [9], [11] (2), (3), [8], [9], [10]
TERMOODPORNIPOLIMERI	Smole	epoksidne smole, akrilne smole, poliuretanske smole, fenolne smole	(2), (3), (4), (6), [8], [9], [10]
KEMIJSKI MODIFIKATORJI		žveplo, lignin, nekatero organsko-kovinske spojine	(2), (5), (6), [8], [9], [12]
NARAVNI ASFALTI		trinidadski jezerski asfalt, kamniti asfalt, gilsonit	(2), (4), (6), [8], [9]
POLNILA		hidrirano apno, apno, saje, pepel	(4), (6), [8], [9]

se nadaljuje...

...nadaljevnje Preglednice 5

VLAKNA		celuloza, mineralna vlakna, plastike, steklo, azbestna vlakna	[9], [11]
OGLJIKOVODIKI		reciklirana olja	(5), (7), [12]

Izboljšane lastnosti bitumna:

- (1) izboljša elastično obnašanje,
- (2) izboljša toplotno občutljivost,
- (3) izboljša sposobnost oprijemljivosti,
- (4) zavira staranje,
- (5) zmanjša viskoznost,
- (6) otrdi bitumen,
- (7) pomladi bitumen.

Izboljšane lastnosti asfaltne zmesi:

- [8] poveča togost,
- [9] poveča se odpornost na trajno deformacijo,
- [10] izboljšanje kohezije,
- [11] večja odpornost proti nastajanju razpok zaradi utrujenosti materiala,
- [12] poveča se uporabnost,
- [13] večja odpornost proti razpokam zaradi temperaturnega delovanja.

Termoodporni modifikator sta dve tekoči spojini, ki se najprej zmešata med sabo in nato z bitumnom, le nekaj sekund pred uporabo kot površinske prevleke ali pred mešanjem z agregati za proizvodnjo vročih asfaltnih zmesi. Zmleta guma se bodisi meša z bitumnom ali se doda agregatu v mešalnik preden se v mešalnik doda bitumen. Prvi postopek je znan kot mokri postopek in učinkovito spreminja lastnosti bitumna. Drugi postopek je znan kot suhi postopek in učinkovito spreminja lastnosti asfalta. Boljši rezultati se pričakujejo pri uporabi mokrega postopka. Vlakna in polnila dodamo v mešalnik asfaltnega obrata med proizvodnjo vročih in hladnih asfaltov. Modifikacija bitumna s termoplastičnimi elastomeri zagotavlja pravilno disperzijo modifikatorja, popolno polimerizacijo in homogenost končnega izdelka. Homogenost in optimalna modifikacija sta odvisni od trajanja in načina mešanja (visoko strižno mešanje ali počasno mešanje) in obdobja sprostitve, poleg tega pa tudi od izvora bitumna in kompatibilnosti z uporabljenim modifikatorjem. Sprostitev je obdobje, ki je potrebno za popolno polimerizacijo in razvoj vseh navzkrižnih povezav. Med procesom modifikacije bitumna se pojavijo kemijske in fizikalno-kemijske spremembe, odvisno od vrste uporabljenega modifikatorja. Te spremembe vplivajo na značilne lastnosti bitumna, kot so: penetracija, točka zmečkaišča, viskoznost, kohezija, odpornost na kaljenje, elastoviskozno obnašanje in na pretrgališče po Fraassu.

- Modifikacija bitumna s termoplastičnimi elastomeri

Modifikacija bitumna z elastomeri je trenutno najbolj običajna metoda za proizvodnjo modificiranega

bitumna, ki se uporablja v cestogradnji. Proizveden bitumen se pogosto imenuje elastomerni bitumen. Termoplastični elastomeri ali elastomeri so označeni kot elastični polimeri, ki se lahko po polimerizaciji pod vplivom natezne sile podaljšajo, z odstranitvijo sile pa se lahko hitro vrnejo v svojo začetno dolžino. Elastično obnašanje teh polimerov je posledica dejstva, da se deli v makromolekularni verigi pri sobni temperaturi premikajo pod vplivom sil in tudi vračajo nazaj v njihov začetni položaj po odstranitvi sile, če je temperatura steklastega prehoda nižja od sobne temperature. Kategorija elastomerov zajema širok spekter izdelkov, kot so naravne gume (NR), stiren-butadien-kavčuk (SBR), stiren-butadien-stiren (SBS), stiren-izopren-stiren (SIS), poliuretan kavčuk, polieter-poliester kopolimera, olefinski kopolimeri, etilen-propilenski kavčuk (EPR) in tako naprej. Iz omenjenih elastomerov so tisti, ki se danes pogosto uporabljajo za proizvodnjo elastomernih bitumnov, SBS, SBR, SIS in v manjši meri NR. Potrebno je omeniti, da so v to kategorijo posredno uvrščeni tudi drobcji rabljenih gum.

Med polimerizacijo se tvorijo linearni in nelinearni kopolimeri. Med disperzijo elastomera v vročem bitumu elastomer absorbira komponente iz bitumna (maltene) in polimer se razširi (nabrekne) (Vonk in Van Gooswilligen, 1989, cit. po Nikolaidēs, A., 2014).

Termoplastični elastomeri pridobivajo moč in elastičnost od povezovanja fizičnih molekul v prostoru. Moč je zagotovljena s polistirenom, elastičnost se pripiše polibutadienu (Vonk in Van Gooswilligen, 1989, cit. po Nikolaidēs, A., 2014).

Značilne lastnosti z elastomeri modificiranega bitumna

Dodatek elastomera bitumnu spremeni njegove značilne lastnosti in končni izdelek, modificirani bitumen, postane bolj elastičen in manj občutljiv na spremembe temperature. Poleg tega ima bitumen, modificiran z elastomeri, boljše kohezijske lastnosti in večjo odpornost proti staranju. Še posebej se izboljša sposobnost relaksiranja. Tipične vrednosti 25 % do 35 %, pri 25°C, za konvencionalne bitumne se lahko povečajo tako, da doseže modificirani bitumen vrednosti več kot 95 %. Kar pomeni povečanje elastičnih deformacij in zmanjšanje plastičnih deformacij. Z dodajanjem elastomera se bitumnu zniža vrednost penetracije, točka zmečičišča se poveča, prav tako se poveča indeks penetracije. Te spremembe kažejo, da bitumen postane trši in manj dovzeten za temperaturne spremembe. Dodatek elastomera znižuje tudi točko zloma po Fraassu. Pričakuje se, da modificirani bitumen počni pri nižjih temperaturah kot navadni cestogradbeni bitumen. Končno, sprememba z elastomeri poveča viskoznost bitumna. To pomeni, da je potrebno povečanje delovne temperature za doseganje enake viskoznosti kot pri nespremenjenem bitumnu, da se izvede mešanje, vgrajevanje in utrjevanje.

Ugotovljeno je bilo tudi, da se SBS-modificirani bitumen stara veliko manj kot navadni cestogradbeni bitumen (Nikolaides in Tsochos, 1992, cit. po Nikolaides, A., 2014).

Nedavna študija je pokazala, da zmleta guma (velikosti 0/0,8 mm in 5 %, 10 % in 15 % masnega deleža bitumna) pri mešanju tipa bitumna 70/100 in 50/70 izboljša penetracijo, točko zmečkaišča, upogibno togost in strižni modul. Količina zmlete gume in izvor bitumna neposredno vplivata na zgornje lastnosti modificiranega bitumna (Neutag in Beckedahl, 2011, cit. po Nikolaides, A., 2014).

Značilne lastnosti asfaltov z bitumni modificiranimi z elastomeri

Asfaltne zmesi, proizvedene s pomočjo z elastomeri modificiranih bitumnov imajo predvsem izboljšane elastične lastnosti. Asfaltna plast z modificiranim bitumnom z elastomeri ima boljšo odpornost proti trajnim deformacijam in utrujanju v primerjavi z asfaltno plastjo z običajnim bitumnom.

- Modifikacija bitumna s termoplastičnimi polimeri

Modificiranje bitumna s termoplastičnimi polimeri ni tako pogosto kot modificiranje bitumna z elastomeri. Termoplastični polimeri pri segrevanju nad določeno temperaturo (temperatura steklastega prehoda, T_g) postanejo mehki in upogljivi ali oblikovalni. Ko temperatura pade, se strdijo in ohranijo svojo obliko. Sposobnost premikanja makromolekularnih verig in vračanja v svoj prvotni položaj pri sobni temperaturi je omejena. Medmolekularne vezi polimerne verige lahko absorbirajo le vibracije in torzijo in so manj odporne na pokanje. Termoplastični polimeri ne predstavljajo elastičnih lastnosti pri sobni temperaturi. Glavni termoplasti, ki se uporabljajo za modifikacijo bitumna, so: etilen vinil acetat (EVA), polivinilklorid (PVC), polietilena (PE), polipropilen (PP), polistiren (PS), etilen metil akrilat (EMA) in etilen butil akrilat (EBA). Učinkovitost termoplastičnih polimerov in s tem nastalih značilnih lastnosti modificiranega bitumna je odvisna od vrste in količine uporabljenih polimerov, kemijske sestave bitumna in v manjšem obsegu od načina in časa mešanja. Kristalna struktura etilena, ki je odgovoren za zagotavljanje trdnosti, predstavlja odločilni faktor obnašanja kopolimera (Gilby, 1985; Woolley, 1986, cit. po Nikolaides, A., 2014).

Dodatek termoplastičnega polimera bitumnu povečuje viskoznost in zato postane trši pri sobni temperaturi. Na elastičnost bitumna bistveno ne vpliva. Glavna pomanjkljivost termoplastičnih bitumnov je ta, da se elastičnost bitumna bistveno ne izboljša in se lahko zgodi, da lahko pride do ločitve termoplastičnega polimera med segrevanjem. Slednji se povrne v veliki meri z nadaljnjim mešanjem ali recirkulacijo modificiranega bitumna pred uporabo.

Značilne lastnosti s termoplastičnimi polimeri modificiranega bitumna in asfalta

Nekatere značilne lastnosti termoplastičnih polimerov se spremenijo, ko so dodani bitumnom. Penetracija se zmanjša in točka zmečkaišča se poveča. Te spremembe kažejo, da bitumen postane trši in manj dovzeten za temperaturne spremembe. Poleg tega se poveča sposobnost oprijemljivosti bitumna. Uporaba modificiranega bitumna s termoplastičnimi polimeri v asfaltni zmesi bistveno poveča dinamični in statični modul togosti asfalta.

Vendar pa to ne izboljša elastično obnašanje asfaltna zmesi. Asfalti s termoplastično polimerno modificiranim bitumnom predstavljajo dobre odpornosti na deformacije pri visokih temperaturah, vendar je njihova odpornost proti razpokam podobna asfaltom z nespremenjenimi bitumni. V ocenjevalni študiji asfaltov z modificiranimi bitumni je bilo ugotovljeno, da je asfaltna plast z bitumnom modificiranim s termoplastičnim polimerom dosegla slabše rezultate pri pojavljanju razpok kot asfaltna plasti, kjer je bil uporabljen modificirani bitumen z elastomerom (Anderson et al., 1999, cit. po Nikolaidēs, A., 2014). Zaradi zgoraj navedenih lastnosti in rezultatov je uporaba termoplastičnih polimerno modificiranih bitumnov priporočljiva na območjih z visoko temperaturo, kjer so asfaltna plasti izpostavljene visokim prometnim obremenitvam, saj uporaba termoplastičnega polimerno modificiranega bitumna v asfaltni zmesi poveča stabilnost.

2.3.6 BARVNI BITUMNI

Barvni ali pigmentirani bitumni so tisti, katerih barva je drugačna od črne in ko se zmešajo z agregatom, je površina asfaltna zmesi obarvana. Večina barvnih bitumnov je proizvedenih z dodatkom pigmenta med postopkom mešanja z agregatom. Najpogostejši uporabljeni pigment je železov oksid, s katerim se proizvede najboljše obarvana (rdeča) asfaltna zmes.

Slabosti barvnih bitumnov so naslednje:

- višja cena asfaltna zmesi zaradi visokih stroškov pigmenta;
- dejstvo, da je edina zares stabilna barva, ki se jo lahko doseže, rdeča, ki se pa zaradi sledi pnevmatik hitro umaže.

V zadnjih nekaj letih so se razvila sintetična veziva, ki se lahko obarvajo v katerokoli barvo, z relativno manjšimi stroški. Sintetični bitumni imajo skoraj enake lastnosti kot navadni cestogradbeni bitumni. Za ohranitev barve na površini vozišča je priporočljiva uporaba agregata iste barve, kot je pigmentiran bitumen. Barvne so lahko tudi površinske prevleke in tankoplastne prevleke, ki se jih proizvaja z uporabo barvnih bitumenskih emulzij.

2.4 PRESKUSI BITUMNOV

Namen laboratorijskih preskusov, opravljenih na bitumnih, je opredelitev karakterističnih lastnosti bitumna z namenom preveritve njegove ustreznosti in predviditi njegovo obnašanje med življenjsko

dobo v asfaltni zmesi. Osnovne lastnosti bitumna so penetracija, točka zmečkaišča, indeks penetracije, duktilnost, pretrgališče po Fraassu in viskoznost. Vse zgoraj navedene lastnosti predstavljajo glavne kriterije za primernost oziroma skladnost bitumna z določenimi standardi.

2.4.1 PENETRACIJA

Test penetracije je najbolj znan test, ki se je razvil konec 19. stoletja in se še vedno uporablja za razvrščanje bitumna. Ta metoda določa po CEN EN 1426 (CEN EN 1426 cit. po Nikolaidis, A., 2014) skladnost bitumna in bitumenskih veziv na vmesni delovni temperaturi. Višja vrednost penetracije pomeni mehkejšo konsistenco bitumna. Preskus vključuje določitev globine penetracije standardne penetracijske igle v bitumensko vezivo v standardnih pogojih pri temperaturi 25°C, z določeno obremenitvijo, v določenem času. Standardizirana igla se najprej dotakne površine bituminoznega vzorca in nato jo pustimo, da prode v vzorec pod vplivom lastne teže in dodatne obremenitve, tako da je skupna obremenitev $100 \pm 0,1$ g, za 5 s. Po obremenitvi se penetracija globine igle izmeri v 0,1 mm. Izvedejo se vsaj tri meritve iz različnih mest vzorčne površine (razdalja ≥ 10 mm). Povprečna vrednost, zaokrožena na najbližje celo število, predstavlja vrednost penetracije bitumna.

2.4.2 TOČKA ZMEHČIŠČA

Skladnost bitumna in bitumenskih veziv pri povišani temperaturi je empirično določena s preskusom točke zmečkaišča, znanim tudi kot postopek "prstan-kroglica". Bitumen, viskozno elastični material, nima določenega tališča. Pri dvigu temperature postopoma postane mehkejši in manj viskozen. Točka zmečkaišča je po CEN EN 1427 (CEN EN 1427 cit. po Nikolaidis, A., 2014) opredeljena kot temperatura, pri kateri material pod standardnimi pogoji preskusa doseže določeno konsistenco. Preskus se uporablja za določitev zmečkaišča bitumna v območju 28°C do 150°C. Dva medeninasta prstana, napolnjena z bitumenskim vezivom, damo v držalo in segrevamo z nadzorovano hitrostjo v tekoči kopeli, medtem ko vsak podpira jekleno kroglico. Točka zmečkaišča je srednja vrednost temperature, pri kateri se bitumensko vezivo zmečka tako, da posamezna jeklena kroglica, obdana z bitumenskim vezivom, doseže stopnjo deformacije 25,0 mm. Povprečje dveh meritev, zaokroženo navzgor, je opredeljeno kot točka zmečkaišča ($t_{R\&B}$).

2.4.3 INDEKS PENETRACIJE

Indeks penetracije (I_p) po CEN EN 12591 (CEN EN 12591 cit. po Nikolaidis, A., 2014) označuje temperaturno dovzetnost bitumnov za tipe od 20/30 do 160/220. Indeks penetracije se izračuna iz vrednosti penetracije pri 25°C in določene točke zmečkaišča.

Mejne teoretične vrednosti indeksa penetracije so -10 za bitumne z visoko občutljivostjo na temperaturna nihanja, do +20 za bitumne skoraj neodvisne od temperaturnih nihanj. V praksi se indeks penetracije giblje med -3 in 7 za cestogradbene bitumne in oksidirane bitumne. Manjši kot je indeks

penetracije, bolj občutljiv je bitumen na temperaturna nihanja.

2.4.4 DUKTILNOST

Test duktilnosti posredno meri natezne lastnosti bituminoznih materialov. Med preskusom duktilnosti po CEN EN 13589 (CEN EN 13589 cit. po Nikolaides, A., 2014) se bitumenski vzorec razpotegne z določeno hitrostjo in pri določeni temperaturi (50 mm/min, 25°C), dokler se ne pretrga. Dolžina, raztezek pri pretrganju, izmerjen v centimetrih, je opredeljen kot raztezna vrednost bitumna. Preskus se izvaja na treh preskušancih in povprečje treh vrednosti določa duktilnost bitumna.

2.4.5 PRETRGALIŠČE PO FRAASSU

Pretrgališče po Fraassu predstavlja merilo krhkosti bitumna in bitumenskih veziv pri nizkih temperaturah. Izvaja se po CEN EN 12593 (CEN EN 12593 cit. po Nikolaides, A., 2014). Uporaba preskusa se je zelo razširila s prihodom modificiranih bitumnov, saj se z izvedbo preskusa lahko določi vpliv kemičnih dodatkov na obnašanje modificiranih bitumnov. Pretrgališče po Fraassu je temperatura, pri kateri bitumensko vezivo določene (enakomerne) debeline počne pod določenimi pogoji obremenitve.

Testne plošče iz kaljenega vzmetnega jekla so dimenzije: dolžina 41 mm, širina 20 mm in debelina 0,15 mm. Količina bitumenskega veziva, ki se ga "namaže" na testne plošče, je $0,40 \times \rho_{25}$ (g), kjer je ρ_{25} gostota veziva pri 25°C (v g/cm³), s točko zmečkaišča $\leq 100^\circ\text{C}$. Premazana testna plošča se postavi na aparaturo, pri začetni temperaturi najmanj 15°C nad pričakovano prelomno točko in se upogiba s postopnim zniževanjem temperature s hitrostjo 1°C na minuto. Temperatura, pri kateri se pojavi prva razpoka, se tretira kot pretrgališče po Fraassu. Povprečje dveh rezultatov se upošteva kot končna vrednost pretrgališča, pod pogojem, da se izmerjeni vrednosti ne razlikujeta za več kot 2°C.

2.4.6 ELASTIČNA POVRATNA DEFORMACIJA

Preskus elastične povratne deformacije po CEN EN 13398 (CEN EN 13398 cit. po Nikolaides, A., 2014) se uporablja za določitev elastične obnovitve bituminoznih veziv v duktilometru pri dani temperaturi. Uporablja se predvsem za modificirane bitumne, lahko pa se izvaja tudi z običajnimi bitumni ali drugimi bituminoznimi vezivi, ki ustvarijo minimalno elastično povratno deformacijo. Preskus se izvede z isto aparaturo in postopkom kot test duktilnosti. Temperatura med testiranjem je običajno 25°C. Edina razlika je, da se vzorec bitumna ne raztegne do preloma, ampak le do vnaprej določenega raztezka. Vzorec bitumna se na sredini prereže, tako da dobimo dve polovici. Po preteku vnaprej določenega časa za okrevanje se skrajšani polovici vzorca izmeri in izrazi kot odstotek dolžine raztezanja. Elastična povratna deformacija (R_E) je določena z naslednjim odnosom:

$$R_E = (d/200) \times 100,$$

kjer je d dolžina skrčka (mm) in R_E je elastična povratna deformacija (%), zaokrožena na cel odstotek. Preskus se izvede na dveh vzorcih, njuna aritmetična sredina, zaokrožena na 1%, se upošteva kot reprezentativna vrednost elastične povratne deformacije bitumenskega veziva.

2.4.7 VISKOZNOST

Viskoznost je temeljna lastnost bitumna, saj določa, na kakšen način se bo obnašal bitumen pri določeni temperaturi. Viskoznost opisuje notranje trenje premikajoče se tekočine. Je izraz za pretočnost, ki se zmanjša, ko se temperatura zviša, in poveča, ko temperatura pada. V osnovnem načinu merjenja viskoznosti je prostor med dvema vzporednima ploščama napolnjen s tekočino, v tem primeru z bitumnom. Sila, ki nasprotuje gibanju, se razvije zgolj zaradi prisotnosti bitumna. Sila (F) je sorazmerna s površino (A), pokrito s tekočino in z relativno hitrostjo gibanja ene plošče proti drugi (v) in obratno sorazmerna z razdaljo (d) med ploščama. Če se uvede konstanta (η), ki predstavlja viskoznost, potem velja naslednja relacija:

$$F = \eta \times A \times v/d \text{ ali } \eta = (F \times d)/(A \times v).$$

Z zgoraj navedenim načinom merjenja viskoznosti, to je z drsno ploščo, se meri absolutna ali dinamična viskoznost (CEN EN 12596 cit. po Nikolaidis, A., 2014). Viskoznost se lahko meri tudi z viskozimetri, kjer se gibanje ali sila razvije zaradi gravitacije lastne teže tekočine. V tem primeru se meri kinematična viskoznost (CEN EN 12595 cit. po Nikolaidis, A., 2014) in merska enota je v kvadratnih milimetrih na sekundo. Med kinematično in dinamično viskoznostjo velja naslednja relacija:

Kinematična viskoznost (η_k) = dinamična viskoznost (η_d)/gostota tekočine.

Za uporabnost bitumna v cestogradnji so pomembne še naslednje lastnosti bitumna:

gostota bitumna, razteznost bitumna, prevodnost bitumna, termoviskozno obnašanje bitumna, elastoviskozno obnašanje bitumna, sposobnost relaksiranja bitumna, utrujanje bitumna, oprijemljivost bitumna, obnašanje bitumna v vodi, obnašanje bitumna v olju in topilu, obnašanje bitumna v kemikalijah in obnašanje bitumna na zraku in svetlobi.

»Pri izbiri bitumenskega veziva je potrebno upoštevati prometne obremenitve, poleg njih pa tudi klimatske in mikroklimatske razmere, mesto vgraditve bituminizirane zmesi (vzponi, pasovi za počasni promet, križišča), odpornost bitumenskega veziva na termične obremenitve v postopku proizvodnje, prevoza in vgrajevanja ter oddaljenosti gradbišča od obrata za proizvodnjo bituminizirane zmesi« (TSC 06.300/06.410:2009, str. 8).

Preglednica 6: Okvirne specifikacije za kakovostne zahteve standardnih cestogradbenih bitumnov (Henigman et. al., 2011, str. 21)

Table 6: Framework specification for quality requirements of standard bitumen

Lastnosti	Postopek za preskus	Enota mere	Tip bitumna					
			20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetracija pri 25°C	EN 1426	0.1 mm	20 - 30	35 - 50	50 - 70	70 -100	100 - 150	160 - 220
Zmehčišče	EN 1427	°C	55 - 63	50 - 58	46 - 54	43 - 51	39 - 47	35 - 43
Odpornost proti otrjevanju pri 163°C:	EN 12607- 1							
- ohranjena vrednost penetracije		%	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
- zvišanje zmehčišča, največ- zahtevnost 1 ali		°C	≤ 8	≤ 8	≤ 9	≤ 9	≤ 10	≤ 11
- zvišanje zmehčišča, največ- zahtevnost 2		°C	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
Plamenišče	EN ISO 2592	°C	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Topnost	EN 12592	%	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Sprememba mase po RTFOT	EN 12607-1	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Posebni nacionalni pogoji: - Indeks penetracije	SIST EN 12591 Dodatek B		- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7
- Kinematična viskoznost pri 135°C	EN 12595	mm ² /s	≥ 530	≥ 370	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135
- Dinamična viskoznost pri 60°C	EN 12596	Pa.s	≥ 440	≥ 225	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
- Pretrgališče po Fraass-u	EN 12593	°C	-	≤ - 5	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 12	≤ - 15

Preglednica 7: Okvirne specifikacije za najpomembnejše kakovostne zahteve za lastnosti bitumnov, modificiranih s polimeri (SIST 1035:2008, str. 4)

Table 7: Framework specification for quality requirements of polymer modified bitumen

Osnovne zahteve	Lastnosti	Postopek za preskus SIST	Enota mere	Tip bitumna				
				PmB 10/40-60	PmB 25/55-65	PmB 45/80-50	PmB 45/80-65	PmB 90/150-45
Konsistenca pri srednji temperaturi uporabe	Penetracija pri 25 °C	EN 1426	0,1 mm	10 – 40	25 – 55	45 – 80	45 – 80	90 - 150
Konsistenca pri povišani temperaturi uporabe	Zmehčišče	EN 1427	°C	≥ 60	≥ 65	≥ 50	≥ 65	≥ 45
Kohezija	Duktilnost z meritvijo sile	EN 13703 EN 13589	J/cm ² J/cm ²	≥ 2 pri 10 °C	≥ 3 pri 5 °C	≥ 3 pri 5 °C	≥ 3 pri 5 °C	≥ 2 pri 5 °C
	Natezna trdnost pri 25 °C	EN 13703 EN 13589	J/cm ²	ni določena				
	Vialit nihalo	EN 13566	J/cm ²	ni določena				
Trajnost (odpornost proti otrjevanju po SIST EN 12607-3)	Sprememba mase	EN 12607-1 ali 12607-3	%	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5
	Ohranjena vrednost penetracije	EN 1426	%	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 60	≥ 50
	Porast zmehčišča	EN 1427	°C	ni določen				
Druge lastnosti	Plamenišče	EN ISO 2592	°C	≥ 250	≥ 250	≥ 250	≥ 250	≥ 235

Preglednica 8: Priporočilo za uporabo bitumenskih veziv za asfaltne zmesi (TSC 06.300/06.410:2009, str. 9)

Table 8: Recommendation for use of asphalt mixture bituminous binders

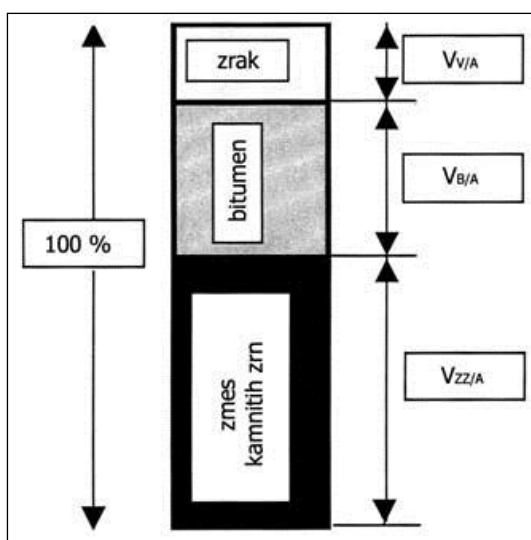
Značilnosti za uporabnost		Tip cestogradbenega bitumna						Tip polimernega bitumna				
		20/30	30/50	50/70	70/100	100/150	160/220	10/40-60	25/55-65	45/80-50	45/80-65	90/150-45
Vrsta bituminizirane zmesi	AC surf (BB)	-	+	+	+	+	+	-	-	+	+	+
	AC bin	-	+	+	+	-	-	-	+	+	+	-
	AC base (BD, BP)	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
	SMA (DBM)	-	-	+	+	+	-	-	-	+	+	-
	PA (DA)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+
Razred prometne obremenitve (TSC 06.511)	IT (izredno težka)	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
	ZT (zelo težka)	+	+	+	-	-	-	+	+	+	+	-
	T (težka)	-	+	+	-	-	-	+	+	+	+	+
	S (srednja)	-	-	+	+	-	-	+	+	+	+	+
	L (lahka)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+
	ZL (zelo lahka)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	-	+
Gostota prometa (PLDP)	> 20.000	+	+	+	-	-	-	+	+	-	+	-
	10.000 - 20.000	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+	-
	5.000 - 10.000	-	+	+	+	-	-	-	-	+	+	+
Hitrost prometa	P (počasen) ²⁾	+	+	-	-	-	-	+	+	-	+	-
	H (hiter)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+
Klimatsko področje	M (mediteransko) ¹⁾	+	+	+	+	-	-	+	+	+	+	-
	C (celinsko)	-	-	+	+	+	+	-	-	+	+	+

Legenda:

- uporaba ni priporočena
- + uporaba je priporočena
- ¹⁾ Vipavska dolina, obalno območje
- ²⁾ ≤ 35 km/h

3. ASFALTNE ZMESI

»Bituminizirana (asfaltna) zmes je zmes kamnitih zrn polnila, peska, drobirja in/ali proda, bitumenskega veziva in morebitnih dodatkov, proizvedena po vročem postopku ali v asfaltnem obratu« (TSC 06.300/06.410:2009, str. 6).



Slika 11: Model sestave asfaltn/bituminizirane zmesi (Henigman et. al., 2011, str. 57)

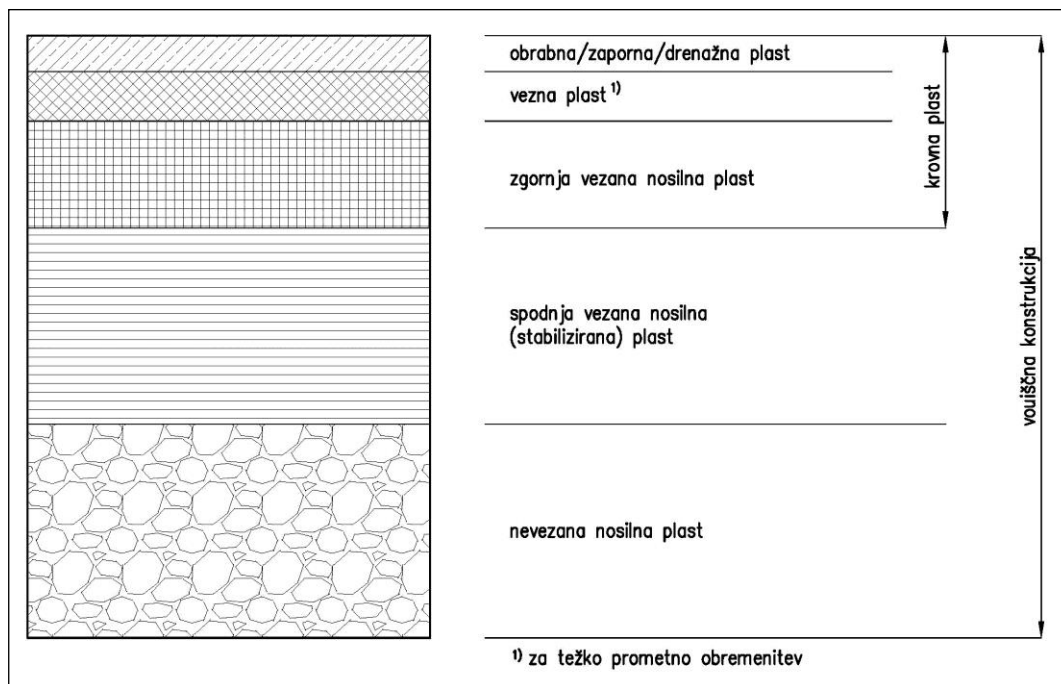
Figure 11: Composition model of asphalt/bituminous mix

VV/A – prostorska vsebnost votlin v asfaltni zmesi

VB/A – prostorska vsebnost bitumna v asfaltni zmesi

VZZ/A – prostorska vsebnost zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi

Asfaltna zmesi, ki so vgrajene v voziščne konstrukcije, morajo biti sposobne prevzeti specifične obremenitve ter izpolnjevati lastnosti, ki jih pogojujejo posamezne plasti. Delijo se glede na njihove značilnosti, in sicer: po sestavi, po temperaturi priprave in vgrajevanja, po načinu vgrajevanja, po načinu priprave in po namenu uporabe. V voziščni konstrukciji ima vsaka plast svojo nalogo, zato mora biti v posamezno plast vgrajena ustrezna asfaltna zmes.



Slika 12: Značilni prerez voziščne konstrukcije (Henigman et. al., 2011, str. 66)

Figure 12: Typical cross-section of the pavement

»Vrste bituminiziranih zmesi za asfaltne plasti:

v obrabno, zaporno ali obrabnozaporno plast voziščne konstrukcije so lahko vgrajene naslednje bituminizirane zmesi:

- bitumenski beton z oznako **AC surf** (**Asphalt Concrete – surface**); lahko se vgradi tudi kot obrabnonosilna plast,
- drobir z bitumenskim mastiksom z oznako **SMA** (**Stone Mastic Asphalt**),
- drenažni asfalt z oznako **PA** (**Porous Asphalt**),
- liti asfalt z oznako **MA** (**Mastic Asphalt**); lahko se vgradi tudi kot zaščitna plast,
- tankoplastna prevleka z oznako **SS** (**Slurry Surfacing**),
- površinska prevleka z oznako **SD** (**Surface Dressing**),

v vezno nosilno plast so lahko vgrajene bituminizirane zmesi bitumenskega betona z oznako **AC bin** (**Asphalt Concrete – binder**),

v zgornjo nosilno plast so lahko vgrajene bituminizirane zmesi bitumenskega betona z oznako **AC base** (**Asphalt Concrete – base**),

v spodnjo vezano nosilno plast so lahko vgrajene plasti bituminizirane zmesi bitumenskega betona z oznakami **AC base, stab** (**Asphalt Concrete – base, stabilized**)« (Henigman et. al., 2011, str. 66).

Asfaltne zmesi morajo izpolnjevati številne zahteve. Še posebej morajo: biti odporne na trajne deformacije, biti odporne na pojav razpok zaradi utrujanja, prispevati k nosilnosti voziščne konstrukcije, biti neprepustne za vodo, biti lahko vgradljive, se enostavno vzdrževati in biti stroškovno

učinkovite. Poleg tega morajo asfaltne zmesi obrabnih plasti: biti odporne proti polirnemu delovanju pnevmatik, biti odporne na ekstremne vremenske razmere, poskrbeti s svojo gladko površino za udobno in varno vožnjo, zagotavljati takšno površino, da je hrup, ki ga povzročajo kolesa vozil, še dopusten in predstavljati površino, ki zahteva čim manj vzdrževanja.

3.1 LASTNOSTI ASFALTNIH ZMESI OBRABNIH PLASTI

3.1.1 AC surf – BITUMENSKI BETON

Bitumenski beton je sestavljen iz grobega in finega agregata ter polnila. Trdnost in stabilnost asfaltne zmesi izhajata iz razporeditve delcev agregata in trdote bitumna. Bitumenski betoni imajo majhno vsebost votlin. Material, ki se uporablja za vezivo v zmesih AC surf, je navadni cestogradbeni bitumen ali modificirani bitumen. Agregat, groba in fina zrna ter polnilo so lahko naravnega izvora, proizvedene ali iz recikliranega materiala v skladu z veljavnim standardom. Dodano polnilo je mineralnega izvora, lahko pa se uporabi tudi cement ali apno. Drugi dodatki, kot so vlakna in barvila, se lahko uporabljajo pod pogojem, da so v skladu z zahtevami iz ustreznega standarda.

Mejne vrednosti za prostorske in mehanske lastnosti proizvedenih bitumenskih betonov za asfaltne obrabne in nosilnoobrabne plasti so navedene v SIST 1038-1:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 1. del: Bitumenski beton – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-1.

Področje uporabe zmesi bitumenskih betonov glede na PLDO in PLDP pa je predstavljeno v preglednici 9 in preglednici 10.

Preglednica 9: Področje uporabe bituminiziranih zmesi bitumenskih betonov za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:2009, str. 24)

Table 9: Scope of AC surf depending on the average annual daily traffic load

Skupina prometne obremenitve	PLDO (NOO100kN)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi			
				AC 4 surf	AC 8 surf	AC 11 surf	AC 16** surf
izredno težka	> 3000	A1	Z1*	-	-	+	-
zelo težka	> 800 do 3000	A2	Z2*	-	+	+	-
težka	> 300 do 800			-	+	+	-
srednja	> 80 do 300	A3	Z2*	-	+	+	-
lahka	> 30 do 80	A4	Z3*	+	+	+	+
zelo lahka	≤ 30			+	+	+	+

*Za bituminizirane zmesi za zaščitne plasti je dovoljena uporaba zmesi zrn razreda Z4

**Bituminizirane zmesi za obrabnonosilne plasti

Preglednica 10: Področje uporabe bituminiziranih zmesi bitumenskih betonov za asfaltne obrabne in obrabnonosilne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:2009, str. 24)

Table 10: Scope of AC surf depending on the average annual daily traffic density

Skupina gostote prometa	PLDP (vozil)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi			
				AC 4 surf	AC 8 surf	AC 11 surf	AC 16** surf
izredno velika	> 20000	A1	Z1*	-	-	+	-
zelo velika velika	>10000 do 20000 > 5000 do 10000	A2	Z2*	-	+	+	-
srednje velika	> 2000 do 5000	A3	Z2*	-	+	+	-
majhna zelo majhna	> 1000 do 2000 ≤ 1000	A4	Z3*	+	+	+	+
hodniki za pešce, kolesarske steze	-	A5	Z3	+	+	+	-

*Za bituminizirane zmesi za zaščitne plasti je dovoljena uporaba zmesi zrn razreda Z4

**Bituminizirane zmesi za obrabnonosilne plasti

3.1.2 SMA – DROBIR Z BITUMENSKIM MASTIKSOM

Glavni vzrok za razvoj drobirja z bitumenskim mastiksom je bila zahteva za izdelavo zmesi, ki ima dobro odpornost na trajne deformacije in dolgo življenjsko dobo. Značilnost drobirja z bitumenskim mastiksom je, da je skelet, ki sestoji iz grobih zrn agregata, povezan z mastiksom (bitumen, pesek, polnila in vlakna). Značilna je višja vsebnost bitumna, kar zagotavlja daljšo življenjsko dobo, vendar pa povečuje stroške. Asfaltne zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom so zelo odporne proti preoblikovanju, zato se uporabljajo predvsem za vozišča, obremenjena s težkim prometom.

Mejne vrednosti za prostorske in mehanske lastnosti proizvedenih zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom so navedene v SIST 1038-5:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 5. del: Drobir z bitumenskim mastiksom – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-5.

Področje uporabe zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom glede na PLDO in PLDP pa je predstavljeno v preglednici 11 in preglednici 12.

Preglednica 11: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:2009, str. 25)

Table 11: Scope of SMA depending on the average annual daily traffic load

Skupina prometne obremenitve	PLDO (NOO100kN)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi		
				SMA4	SMA8	SMA11
Izredno težka	> 3000	A1	Z1*/Z2*	-	+	+
zelo težka	> 800 do 3000	A2	Z1*/Z2*	-	+	+
težka	> 300 do 800					
srednja	> 80 do 300	A3	Z2*	-	+	+
lahka	> 30 do 80	A4	Z2*/Z3*	+	+	+
zelo lahka	≤ 30					

**Za bituminizirane zmesi za zaščitne plasti je dovoljena uporaba zmesi zrn razreda Z4*

Preglednica 12: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:2009, str. 26)

Table 12: Scope of SMA depending on the average annual daily traffic density

Skupina gostote prometa	PLDP (vozil)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi		
				SMA4	SMA8	SMA11
izredno velika	> 20000	A1	Z1*/Z2*	-	+	+
zelo velika	>10000 do 20000 > 5000 do 10000	A2	Z2*	-	+	+
velika						
srednje velika	> 2000 do 5000	A3	Z2*	-	+	+
majhna	> 1000 do 2000 <= 1000	A4	Z3*	+	+	+
zelo majhna						
hodniki za pešce, kolesarske steze	-	A5	Z4	+	+	-

**Za bituminizirane zmesi za zaščitne plasti je dovoljena uporaba zmesi zrn razreda Z4*

3.1.3 PA – DRENAŽNI ASFALT

Drenažni asfalt je bitumenska zmes z visoko vsebnostjo votlin, ki omogočajo prehod vode in zraka z namenom zagotovitve kompaktne zmesi z lastnostjo odtekanja vode in zmanjšanja hrupa. Uporablja se za obrabne plasti in ga je mogoče vgrajevati v enem ali več slojih. Površina cestišča z drenažnim asfaltom ima zelo dobro makro teksturo in dober torni koeficient, tudi če je površina mokra. Zaradi svoje strukture površine je zmanjšan odboj svetlobe žarometov vozila. Hitro odstranjevanje deževnice in odprava akvaplaninga rezultira v drastičnem zmanjšanju razpršene vode in s tem bolj varno vožnjo.

Mejne vrednosti za prostorske in mehanske lastnosti proizvedenih zmesi drenažnega asfalta so navedene v SIST 1038-7:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 7. del: Drenažni asfalt – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-7.

Področje uporabe zmesi drobirja drenažnega asfalta glede na PLDO in PLDP pa je predstavljeno v preglednici 13 in preglednici 14.

Preglednica 13: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drenažnega asfalta za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:009, str. 26)

Table 13: Scope of PA depending on the average annual daily traffic load

Skupina prometne obremenitve	PLDO (NOO100kN)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi	
				PA8	PA11
izredno težka	> 3000	A1	Z1	+	+
zelo težka	> 800 do 3000	A2	Z2	+	+
težka	> 300 do 800				
srednja	> 80 do 300	A3	Z2	+	+
lahka	> 30 do 80	A4	Z3	+	+
zelo lahka	≤ 30				

Preglednica 14: Področje uporabe bituminiziranih zmesi drenažnega asfalta za asfaltne obrabne in zaporne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:009, str. 27)

Table 14: Scope of PA depending on the average annual daily traffic density

Skupina gostote prometa	PLDP (vozil)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi		
				PA8	PA11	PA16
izredno velika	> 20000	A1	Z1	+	+	-
zelo velika	>10000 do 20000	A2	Z2	+	+	-
velika	> 5000 do 10000					
srednje velika	> 2000 do 5000	A3	Z2	+	+	-
majhna	> 1000 do 2000	A4	Z3	+	+	-
zelo majhna	≤ 1000					
športni objekti	-	A5	Z3	+	+	+

3.1.4 MA – LITI ASFALT

Primarne funkcije litega asfalta v primerjavi z vsemi zgoraj omenjenimi asfalti so: visoka vsebnost polnila, večja vsebnost veziva, skoraj nična prepustnost, uporaba tršega bitumna in visoka cena predvsem zaradi velike vsebnosti veziva. MA je označen kot bituminozna zmes, pri kateri volumen polnila in volumen veziva presegata preostali volumen praznin v mešanici.

Mejne vrednosti za mehanske lastnosti proizvedenih zmesi litega asfalta so navedene v SIST 1038-6:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 6. del: Liti asfalt – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-6.

Področje uporabe zmesi litega asfalta glede na PLDO in PLDP pa je predstavljeno v preglednici 15 in preglednici 16.

Preglednica 15: Področje uporabe bituminiziranih zmesi litega asfalta za asfaltne obrabne in zaščitne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:009, str. 27)

Table 15: Scope of MA depending on the average annual daily traffic load

Skupina prometne obremenitve	PLDO (NOO100kN)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi		
				MA4	MA8	MA11
Izredno težka	> 3000	A1	Z1*	-	-	+
zelo težka	> 800 do 3000 > 300 do 800	A2	Z2*	-	+	+
srednja	> 80 do 300	A3	Z3*	-	+	+
lahka	> 30 do 80	A4	Z3*	+	+	+
zelo lahka	≤ 30					

*Za bituminizirane zmesi za zaščitne plasti je dovoljena uporaba zmesi zrn razreda Z4

Preglednica 16: Področje uporabe bituminiziranih zmesi litega asfalta za asfaltne obrabne in zaščitne plasti v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:009, str. 28)

Table 16: Scope of MA depending on the average annual daily traffic density

Skupina gostote prometa	PLDP (vozil)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi		
				MA4	MA8	MA11
izredno velika	> 20000	A1	Z1	-	-	+
zelo velika	>10000 do 20000 > 5000 do 10000	A2	Z2	-	+	+

se nadaljuje...

...nadaljevnje Preglednice 16

srednje velika	> 2000 do 5000	A3	Z2	-	+	+
majhna zelo majhna	> 1000 do 2000 <= 1000	A4	Z3	+	+	+
hodniki za pešce, kolesarske steze	-	A5	Z3	+	+	-

**Za bituminizirane zmesi za zaščitne plasti je dovoljena uporaba zmesi zrn razreda Z4*

3.1.5 SS – TANKOPLASTNE PREVLEKE PO HLADNEM POSTOPKU

Tankoplastne prevleke po hladnem postopku se pogosto uporabljajo po vsem svetu za vzdrževanje asfaltnih površin ter za obnovo torne sposobnosti avtocest, mestnih cest in letaliških stez. Tankoplastna prevleka, ki se uporablja za površinsko obdelavo, je sestavljena iz mešanice agregata, bitumske emulzije, vode in dodatkov. Vgrajuje se lahko kot ena ali več plasti. Tankoplastna prevleka, v kateri je bitumska emulzija modificirana s polimeri, je znana kot mikro-prevleka. Le-ta običajno vsebuje večja zrna agregata in velja za zelo zmogljiv material. Hladne asfaltne zmesi za površinsko obdelavo se proizvajajo in vgrajujejo na kraju samem s posebnim transportnim obratom. Poleg tega, da se jih vgrajuje hitreje kot katero koli drugo asfaltno zmes, imajo naslednje prednosti in lastnosti:

- zagotavljajo odlično torno sposobnost;
- delujejo kot tesnilni sloj,
- višina nivelete se bistveno ne spreminja; posledično prilagoditev pokrovov jaškov ni potrebna,
- uporabljajo se za popravilo manjših površinskih nepravilnosti,
- zagotavljajo varnejše delovne pogoje,
- povzročajo manjše onesnaževanja ozračja,
- zagotavljajo stroškovno najbolj učinkovito rešitev za obnovo torne sposobnosti.

Da se doseže kakovostna vgraditev in trajnost tankoplastne prevleke, mora biti voziščna konstrukcija, na katero se vgrajuje, stabilna.

Področje uporabe zmesi tankoplastne prevleke po hladnem postopku glede na PLDO in PLDP je predstavljeno v preglednici 17 in preglednici 18.

Preglednica 17: Področje uporabe bituminiziranih zmesi za tankoplastne prevleke v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve (TSC 06.300/06.410:009, str. 29)

Table 17: Scope of SS depending on the average annual daily traffic load

Skupina prometne obremenitve	PLDO (NOO100 kN)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi			
				SS 2	SS 4	SS 6	SS 8
težka	> 300 do 800	A2	Z1	-	-	+	+
srednja	> 80 do 300	A3	Z1	-	+	+	+
lahka zelo lahka	> 30 do 80 <= 30	A4	Z3	+	+	+	+
hodniki, kolesarske steze, parkirišča, odstavni pasovi	-	A5	Z3	+	+	+	-

Preglednica 18: Področje uporabe bituminiziranih zmesi za tankoplastne prevleke v odvisnosti od povprečne letne dnevne gostote prometa (TSC 06.300/06.410:009)

Table 18: Scope of SS depending on the average annual daily traffic density

Skupina gostote prometa	PLDP (vozil)	Razred bituminizirane zmesi	Razred zmesi kamnitih zrn	Vrsta bituminizirane zmesi			
				SS 2	SS 4	SS 6	SS 8
izredno velika	> 20000	A1	Z1	-	-	-	+
zelo velika velika	>10000 do 20000 > 5000 do 10000	A2	Z1	- -	- +	+ +	+ +
srednja	> 2000 do 5000	A3	Z1	-	+	+	+
majhna zelo majhna	> 1000 do 2000 <= 1000	A4	Z2	- +	+ +	- -	- -

3.1.6 SD – POVRŠINSKE PREVLEKE

»Površinske prevleke je mogoče izvajati po vročem ali hladnem postopku. Pri vročem postopku se lahko uporablja bitumensko vezivo, ki je samo v vročem stanju tekoče, tako da ga je mogoče brizgati. Zaradi razmeroma hitre ohladitve veziva je za vroči postopek značilna hitra vezava zrn. To pa pogojuje zahtevnejšo izvedbo in omejuje uporabo v odvisnosti od vremenskih razmer in temperature podlage. Pri hladnem postopku se lahko uporablja samo emulgirana bitumenska veziva, za katera je značilno počasnejše vezanje, ki je odvisno od fizikalno-kemijskih lastnosti veziva in vremenskih razmer. Površinsko prevleko, narejeno po hladnem postopku, je mogoče polno obremeniti šele po določenem času«(TSC 06.417:2001, str. 4).

Uporaba površinskih prevlek je namenjena izboljšanju torne sposobnosti vozniških površin. Tako kot pri tankoplastnih prevlekah je tudi pri površinskih prevlekah pomembna stabilnost podlage, ki omogoča, da bo le-ta zadostila namenu izvedbe. Prednosti, ki jih predstavljajo površinske prevleke, so:

- izboljšanje torne sposobnosti,
- izboljšanje drenažnih lastnosti,
- izboljšanje vodotesnosti,
- preprečitev razgraditve obstoječe površine.

Vrste površinskih prevlek:

- enoplastna površinska prevleka z enojnim posipom,
- enoplastna površinska prevleka z dvojnimi posipom,
- dvoplastna površinska prevleka,
- obrnjena dvoplastna površinska prevleka,
- površinska prevleka sendvič,
- površinska prevleka z zaključnim muljem.

Področje uporabe zmesi površinske prevleke po hladnem postopku glede na PLDO in PLDP je predstavljeno v preglednici 19.

Preglednica 19: Področja uporabe površinskih prevlek na voziščih v odvisnosti od povprečne letne dnevne prometne obremenitve in od vrste bitumenskega veziva (Henigman et. al., 2011, stran 95)

Table 19: Scope of SD depending on the average annual daily traffic load and bituminous binder

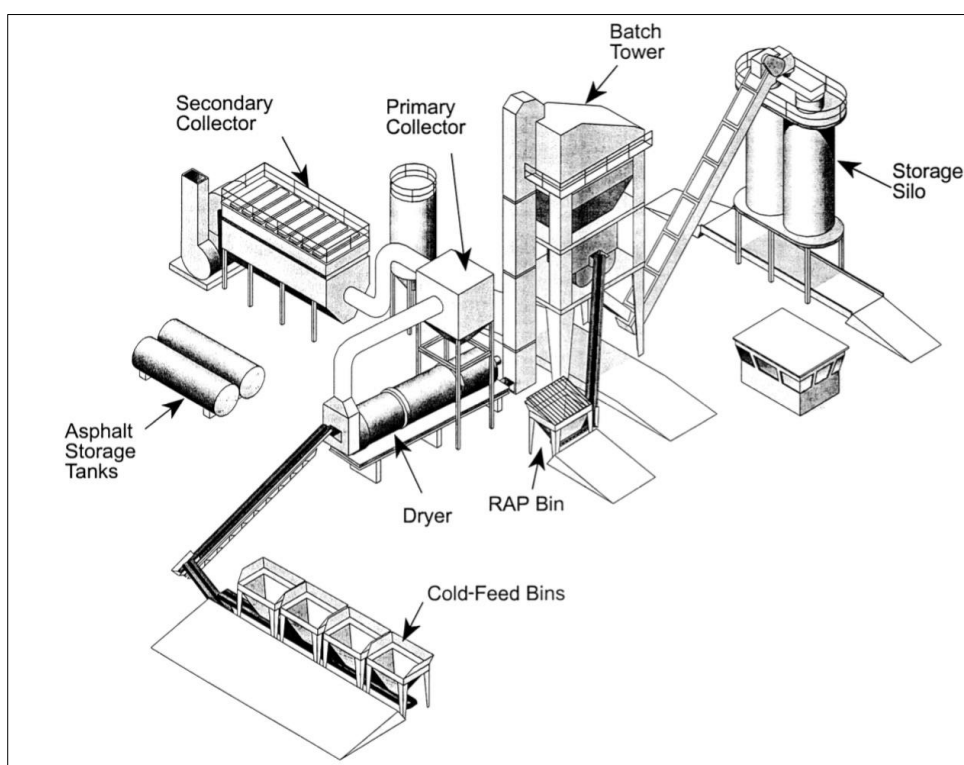
Skupina gostote prometa	PLDP (vozil)	Tip bitumenskega veziva			
		cestogradbeni bitumen B 160/220	polimerni bitumen PmB 90/150-45	bitumenska emulzija	
				BE C69B4	PmBEC69BP4
izredno težka	> 20000				
zelo težka	> 10000 do 20000	-	+	-	+
težka	> 5000 do 10000				
srednja	> 2000 do 5000	-	+	+	+
lahka	> 1000 do 2000	+	+	+	+
zelo lahka	≤ 1000				

4. POSTOPEK PROIZVODNJE ASFALTNIH ZMESI

Namen asfaltnih obratov je mešanje agregata in bitumenskega veziva pri povišani temperaturi z namenom proizvodnje homogene asfaltne zmesi.

Trije osnovni tipi asfaltnih obratov so: asfaltni obrat s šaržno proizvodnjo, asfaltni obrat z neprekinjeno proizvodnjo z vzporednim tokom materiala in vročega zraka v bobnu ter asfaltni obrat z neprekinjeno proizvodnjo s protitočnim bobnom. Vsi trije tipi služijo istemu končnemu namenu. Končna asfaltna zmes mora biti enaka ne glede na vrsto naprave, ki se uporablja za njeno proizvodnjo. V Sloveniji je večina asfaltnih obratov s šaržno proizvodnjo, saj je le-ta pogoj za proizvodnjo najzahtevnejših asfaltnih zmesi.

4.1 ASFALTNI OBRAT S ŠARŽNO PROIZVODNJO



Slika 13: Glavne komponente asfaltnega obrata s šaržno proizvodnjo (*Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 43*)

Figure 13: Major components of a batch plant

Glavne komponente asfaltnega obrata za šaržno proizvodnjo:

- a) predozator z zbirnim transportnim trakom,
- b) sušilni boben z integriranim gorilnikom,

- c) odpraševalna naprava (primarni kolektor/sekundarni kolektor),
- d) mešalni stolp,
- e) preddozator za recikliran material,
- f) silos za vročo asfaltno zmes,
- g) cisterne za bitumensko vezivo.

4.1.1 RAVNANJE Z AGREGATOM

- Zaloge agregata – skladiščenje agregata – deponije

Skladiščenje agregata na deponijah je enako ne glede na vrsto proizvodnega procesa. Pravilno skladiščenje agregata je zelo pomembno za delovanje asfaltnega obrata s prekinjenim proizvodnim procesom kot tudi za asfaltni obrat z neprekinjenim proizvodnim procesom. Zlasti je treba upoštevati, da so ločene frakcije različnih velikosti in da se prepreči segregacija posamezne frakcije na deponiji. Posledica nepravilnega skladiščenja, kot je mešanje različnih frakcij agregata ali segregacija, je preveč ali premalo napolnjen eden ali več prekatov silosa za shranjevanje vročih frakcij agregata.

- Preddozatorji

Večina asfaltnih obratov ima preddozatorje, ki so opremljeni z dozirnimi trakom s spremenljivo hitrostjo. Količino agregata, ki gre iz posameznega preddozatorja, uravnava velikost odprtine preddozatorja in hitrost traku. Deleži posameznih frakcij agregata se zberejo na zbirnem tekočem traku, ki poteka pod vsako posodo preddozatorja. Če se uporabljajo sita, se frakcije presejejo in se nato preko transportnega traku uvedejo v sušilni boben. V primeru, ko se sita v tej fazi ne uporabljajo (kar je običajneje, saj so sita na vrhu mešalnega stolpa), se material z zbirnega traku neposredno prenese na transportni trak.

- Preddozator za reciklirano asfaltno zmes

Reciklirana asfaltna zmes je običajno shranjena v ločenem preddozatorju, ki je opremljen bodisi z dozirnimi trakom s spremenljivo hitrostjo ali z dozirnimi trakom s konstantno hitrostjo. Reciklirana asfaltna zmes se iz preddozirnika odlaga na dozirni trak ali zbirni trak, s katerim potuje do sita. Po prehodu skozi sito se reciklirana asfaltna zmes odlaga na transportni trak, preko katerega se le-ta dostavi do obrata. Reciklirana asfaltna zmes se ne more segrevati v sušilniku, ker bi s tem ustvarila vidne emisije ogljikovodikov, medtem ko bi bila izpostavljena visokotemperaturnim izpušnim plinom iz gorilnika. Zato se reciklirana asfaltna zmes dodaja na eni izmed treh osnovnih lokacij po sušilnem bobnu, ki so: dno dvigala za vroči agregat, eden od prekatov silosa za vroč agregat, tehtnica, ki je najprimernejša lokacija za večino asfaltnih obratov.

4.1.2 OSKRBA Z BITUMENSKIM VEZIVOM

- Cisterna za bitumensko vezivo

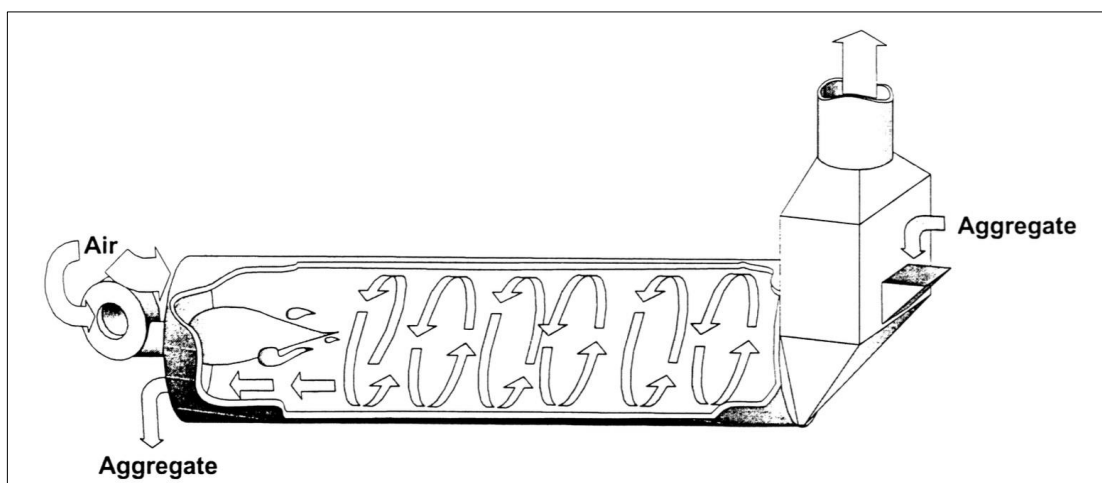
Cisterna, ki se uporablja za shranjevanje bitumenskega veziva, je enaka za neprekinjeni proces proizvodnje asfaltnih zmesi in za prekinjeni proces proizvodnje asfaltnih zmesi. Material je običajno shranjen pri temperaturi med 149 °C in 177 °C, odvisno od stopnje viskoznosti bitumenskega veziva. Vezivo mora biti dovolj tekoče, da se v mešalniku pravilno zmeša z agregatom.

- Sistem črpanja

Vsebnost bitumenskega veziva v mešanici je določena z maso in ne z volumnom. Črpalka črpa bitumensko vezivo iz cisterne in ga dostavi na tehtnico v mešalnem stolpu ali ga vrne v cisterno, odvisno od odprtja krmilnega ventila na tehtnici. Ko je ventil za tehtanje odprt, se bitumensko vezivo prečrpa v vedro tehtnice, dokler se ne doseže želena teža. Takrat se ventil zapre in višek bitumenskega veziva se vrne nazaj v cisterno.

4.1.3 OGREVANJE IN SUŠENJE AGREGATA

Sušilni boben na konvencionalnem asfaltnem obratu s šaržnim procesom proizvodnje deluje na principu nasprotnega toka. Njegovo delovanje je podobno delovanju protitičnega mešalnega bobna v asfaltnih obratih z neprekinjenim procesom proizvodnje. Agregat se polni v sušilnem bobnu na zgornjem delu bobna in se premika skozi boben s pomočjo vrtečih se lopatk in svojo lastno težo. Na spodnjem delu se nahaja gorilnik, ki izpušne pline, ki se tvorijo pri zgorevanju in sušenju, potiska proti zgornjemu delu sušilnega bobna v nasprotni smeri toka agregata.



Slika 14: Tipični protitočni sušilni boben (*Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 44*)

Figure 14: Typical counter-flow dryer

Sušilnik je rotacijski boben prereza od 1,5 do 3,0 m in dolžine 6 do 12 m. Funkcija sušilnega bobna je odstranjevanje vlage iz agregata in segrevanje materiala na želena temperaturo, ki se nahaja v območju

od 138°C do 163°C. Vsebnost vlage agregata pri izhodu iz sušilnika mora biti manjša od 0.5 % oziroma v najboljšem primeru manjša od 0.2 %. Agregat dovaja v sušilni boben transportni trak bodisi preko žleba na vrhu sušilnega bobna ali občasno na dnu sušilnega bobna. Lopatke znotraj sušilnega bobna premešajo agregat po celem preseku bobna, obenem pa na ta način premikajo agregat naprej po sušilnem bobnu. Medtem ko se agregat pomika po sušilnem bobnu, se ogreva z vročim tokom zraka iz gorilnika in se na ta način segreva in suši. Zaradi večje učinkovitosti principa nasprotnega toka se v asfaltnih obratih običajno porabi manj goriva za ogrevanje in sušenje določene količine agregata kot pa v asfaltnih obratih z mešalnimi bobni s principom vzporednega toka.

4.1.4 SEJANJE IN SKLADIŠČENJE VROČEGA AGREGATA

- Dvigalo za vroč agregat

Ogret in posušen agregat preide iz sušilnega bobna v dvigalo. Vroč material se prevaža v posodah, ki krožijo in dostavljajo vroč agregat na vrh mešalnega stolpa, na vibracijski sistem sit.

- Sistem sit

Agregat se iz posode dvigala strese na niz vibracijskih sit, ki se uporabljajo za ločevanje agregata po frakcijah. Uporabljajo se štiri različna sita. Vibracijsko sito na vrhu se uporablja za odstranitev vseh prekomernih zrn iz mešanice agregata. Prekomerna zrna se odstranijo preko bypass-a ali prelivnega žleba. Preostala tri sita presejejo mešanico agregata v štiri različne frakcije. Količina materiala v vsaki frakciji je odvisna od velikosti in oblike odprtine na situ. Vsak sito ima lahko več različnih velikosti odprtin z namenom izboljšanja učinkovitosti presejanja in zaščite sit z manjšimi odprtinami pred prevelikim agregatom. Sita imajo lahko kvadratne ali pravokotne odprtine. V tipičnem asfaltnem obratu s šaržno proizvodnjo so kvadratne odprtine sit dimenzije 32 mm na najvišjem, prvem situ, 12 mm za drugim situ, 8 mm na tretjem situ ter 4 mm na četrtem, najnižjem situ. Frakcija agregata 0/4 mm prehaja neposredno skozi vsa sita in se deponira v prekat silosa številka 1. Frakcija agregata 4/8 mm se preko prvega sita deponira v prekat silosa številka 2. Za vsako posamezno mešanico agregata je treba uporabiti primerna sita, da se dobi zahtevana porazdelitev kamnitih zrn v asfaltni zmesi. Velikokrat se uporabljajo sita z deljeno površino, kjer je na istem nivoju nameščeno sito z dvema različnima velikostima odprtin. Ta ureditev izboljša učinkovitost faze presejevanja.

- Silos s prekati za vroč agregat

Skupna kapaciteta silosa za vroč agregat je običajno sorazmerna z velikostjo mešalnika. Kapacitete posameznega prekata pa se zelo razlikujejo. Prekat številka 1 ima največjo kapaciteto, običajno 40–50 m.-% agregata dostavljenega z dvigalom se preseje skozi sita v ta prekat. Zmogljivost preostalih treh prekatov znaša 25–30 m.-% za prekat številka 2, 15–20 m.-% za prekat številka 3 in 10 m.-% za prekat številka 4. Delna segregacija agregata se pojavi v vsakem prekatu, zlasti v prekatu številka 1.

Segregacija povzroča neposreden prehod finih zrn posamezne frakcije skozi sita, medtem ko se groba zrna presejejo počasneje. Zato je agregat na strani bližje dvigalu v vsakem prekatu bolj fin, kot agregat na drugi strani prekata. Čeprav je naloga sistema vibracijskih sit razvrstiti agregat, ki se dovaja iz preddozatorjev, mora biti delež posamezne frakcije pravilen, sicer se lahko zgodi, da bo posamezen prekat silosa za vroč agregat prazen ali preveč poln. Ker vse frakcije agregata iz preddozatorja pristanejo v asfaltni mešanici, je zelo pomembno brezhibno delovanje in dosledno polnjenje preddozatorjev. Sistem vibracijskih sit se ne sme uporabljati z namenom reševanja težav neprimerne porazdelitve frakcij agregata.

- Sistem tehtnic

Če se proizvaja asfaltna zmes zgornje nosilne plasti (AC base), so vsi štirje prekati napolnjeni z agregatom. Če se proizvaja vezna (AC bin) ali obrabno nosilna plast (AC surf), sta običajno napolnjena le dva ali trije prekati. Agregat se iz prekatov lahko spusti na sistem tehtnic ne glede na vrstni red. Po navadi se grobi agregat odvaja najprej, da se prepreči uhajanje finega agregata na dnu sistema tehtnic. Običajno so vrata na dnu tretjega prekata odprta in agregat se odvaja na tehtnico, dokler se ne doseže zahtevana teža. Vrata tretjega prekata se nato zaprejo in odprejo se vrata drugega prekata, tehtnica se napolni z dodatno frakcijo, dokler se ne doseže kumulativna teža (skupna masa frakcije iz drugega in tretjega prekata). Na enak način se dodajo še frakcije iz prvega in četrtega prekata. Tehtanje posamezne frakcije traja okoli 5 sekund.

4.1.5 MEŠANJE AGREGATA IN BITUMENSKEGA VEZIVA

Agregat in bitumensko vezivo se skupaj mešata v mešalniku z dvojno gredo. Mešalne lopatice, so pritrjene na dve vodoravni gredi, ki se vrtita v nasprotnih smereh. Najprej se v mešalnik strese agregat, ki se meša zelo kratek čas, temu pravimo suho mešanje, nato se doda bitumensko vezivo in prične se mokro mešanje. Ko je mešanje končano, se asfaltna zmes iz mešalnika neposredno naklada na tovornjak ali pa se deponira v silos za vročo asfaltno zmes.

- Kapaciteta mešalnika

Velikost proizvedene šarže je odvisna od velikosti mešalnika. Večina asfaltnih obratov ima mešalnike kapacitete 1,8 do 4,5 ton. Eden izmed največjih mešalnikov lahko zmeša 10,4 ton asfaltno zmes v eni šarži. Skupni čas mešanja, ne glede na velikost mešalnika, pa je enak. Po navadi 35 sekund ena šarža. Edina razlika je velikost šarže, ne pa čas, potreben za njeno izdelavo. Nominalna kapaciteta mešalnika je odvisna od dimenzij območja učinkovanja mešanja. Velikost šarže se ne sme spreminjati od serije do serije; skladna velikost šarž je ključna za dosledno proizvodnjo mešanice. Optimalni pristop je, da se izbere velikost šarže malo pod nazivno kapaciteto mešalnika in se proizvede vse šarže na tej tonaži.

- Čas mešanja

Suho mešanje se začne z začetkom polnjenja agregata v mešalnik in konča z dodajanjem bitumenskega veziva. Čas suhega mešanja mora biti minimalen, praviloma ne več kot 1 ali 2 sekundi. Čeprav je agregat v posodi tehtnice v plasteh, se različne frakcije agregata ustrezno premešajo v ciklu mokrega mešanja. Glavni namen suhega mešanja je, da pride agregat v mešalnik pred bitumenskim vezivom, tako da tekočina veziva ne steče skozi odprtino na dnu mešalnika. Povečanje časa suhega mešanja zmanjša hitrost proizvodnje asfaltnega obrata, nima posebne koristi za asfaltno mešanico in povzroča nepotrebno obrabo lopatk in podloge mešalnika. Poleg tega vsako povečanje v časa suhega mešanja povečuje stroške proizvodnje asfaltno mešanice. Torej čas suhega mešanja mora biti čim krajši.

Medtem ko se agregat odvaja v mešalnik, se že začne dodajanje bitumenskega veziva, bodisi težnostno ali z vbrizgavanjem skozi eno cev v središču mešalnika ali preko dveh cevi, ena nad vsakim od dveh valjev. Čas mokrega mešanja se prične z vstopom bitumenskega veziva v mešalnik. Dodajanje veziva traja običajno 5 do 10 sekund. Čas mokrega mešanja ne sme biti daljši, kot je potrebno, da se zrna agregata popolnoma obvijajo z bitumenskim vezivom. Če so lopatke mešalnika v dobrem stanju in če je mešalnik poln, lahko čas mokrega mešanja traja le 27 sekund. Če so lopatke obrabljene, se čas mokrega mešanja nekoliko podaljša, vendar ni daljši od 33 sekund. Ker stanje lopatk vpliva na čas mokrega mešanja, jih je potrebno redno preverjati in – ko je potrebno – tudi zamenjati. Splošno pravilo je, da je 30 sekund mokrega mešanja več kot primerno za enakomerno porazdelitev bitumenskega veziva in obvitje agregata.

Čas mešanja mora biti čim krajši, da se prepreči prekomerno strjevanje bitumenskega veziva, v tankem filmu obvitom okoli agregata, ki je posledica izpostavljenosti visokim temperaturam.

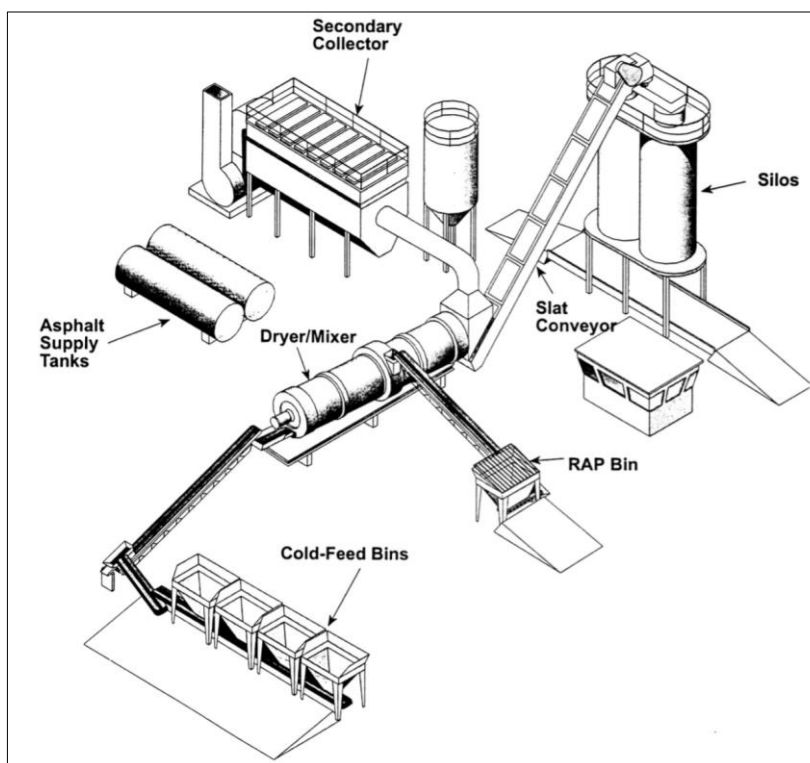
Skupni čas mešanja ima neposreden vpliv na proizvodno zmogljivost asfaltnega obrata. Če traja suho mešanje 1 sekundo in mokro mešanje 27 sekund, je skupni čas mešanja 28 sekund. Glede na to, da je potrebno upoštevati 7 sekund za odpranje vrat na dnu mešalnika, praznjenje mešalnika in zapiranje vrat, znaša skupni čas cikla, potrebnega za proizvodnjo ene šarže 35 sekund. Skupni čas mešanja je enak ne glede na velikost šarže. Teoretično, če ima asfaltni obrat zmogljivost mešalnika 4,5 ton in dela neprekinjeno 1 uro, lahko proizvede 465 ton asfaltno zmesi. Če traja suho mešanje 5 sekund in mokro mešanje 35 sekund, znaša skupni čas cikla za proizvodnjo mešanice 47 sekund. Čas proizvodnje enega cilka se je povečal na 47 sekund in s tem se je zmanjšala količina proizvedene asfaltno zmesi v mešalniku z zmogljivostjo 4,5 tone iz 465 ton na 348 ton na uro. To dokazuje, kako velik vpliv na količino proizvodnje asfaltno zmesi ima čas suhega in mokrega mešanja.

4.1.6 NADZOR EMISIJ

Ker se bitumensko vezivo ne dodaja agregatu znotraj sušilnega bobna, je količina prahu, ki izhaja iz sušilnega bobna, na splošno večja od količine, ki izhaja iz mešalnega bobna z vzporednim tokom. Delovanje odpraševalne naprave je enako, ne glede na tip asfaltnega obrata. "Odpraševalna naprava je sestavljena iz hladilnika z zbirnim polžem za grobo lastno polnilo, filtra z vrečami za čiščenje dimnih plinov in z zbirnim polžem za fino lastno polnilo, sesalnega ventilatorja z dušilno loputo in dimnika" (Henigman et. al., 2011, str. 144).

Če se fini delci iz vrečastega filtra vračajo v asfaltno mešanico, jih je treba hraniti v posebnem silosu, iz katerega potujejo preko merilnega sistema za polnjenje v posodo za tehtanje v mešalnem stolpu. Ta postopek zagotavlja enakomerno dostavo polnila v mešanico. Na nekaterih asfaltnih obratih se polnilo dostavi na dno dvigala za vroči agregat in se nasuje na sveži agregat, ki pride iz sušilnega bobna. Dokler se fini delci dodajajo dosledno, je ta metoda sprejemljiva, še posebej v primeru, ko gre polnilo skupaj z agregatom skozi sistem sit.

4.2 ASFALJNI OBRAT Z MEŠALNIM BOBNOM Z VZPOREDNIM TOKOM MATERIALA IN VROČEGA ZRAKA



Slika 15: Glavne komponente asfaltnega obrata z z mešalnim bobnom z vzporednim tokom materiala in izpušnih plinov (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 74)
Figure 15: Major components of a parallel – flow drum – mix plant

Opis opreme asfaltnega obrata za kontinuirano proizvodnjo:

- a) preddozator z zbirnim transportnim trakom,
- b) mešalni boben,
- c) ogrevana cisterna za bitumensko vezivo,
- d) preddozator za recikliran material,
- e) odpraševalna naprava,
- f) dvigalo za asfaltno zmes,
- g) silos za vročo asfaltno zmes.

4.2.1 VSTOP AGREGATA

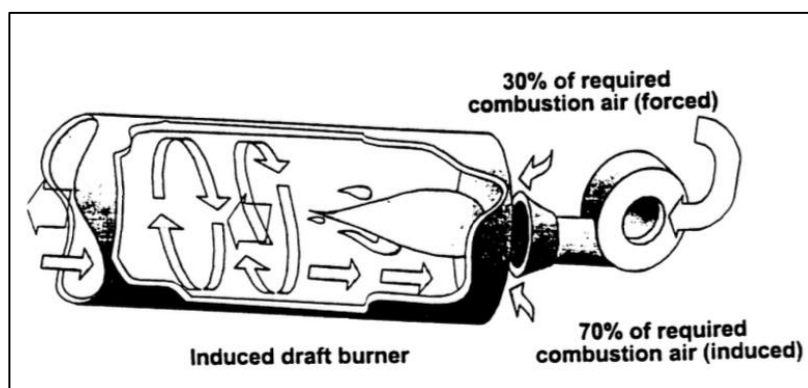
Obstajata dva načina, na katera se uvede agregat s transportnega traku v mešalni boben. Prvi način je s pomočjo polnilnega žleba/jaška, ki se nahaja nad gorilnikom. Jašek je montiran pod kotom, da potisne agregat proč od neposrednega stika s plamenom gorilnika proti zadnjemu delu bobna. Agregat se lahko dostavi tudi preko transportnega traku, ki se nahaja pod gorilnikom. Na nekaterih asfaltnih obratih se lahko hitrost traka spremeni tako, da se agregat deponira dlje po bobnu navzdol, stran od plamena gorilnika.

4.2.2 SISTEM GORILNIKA

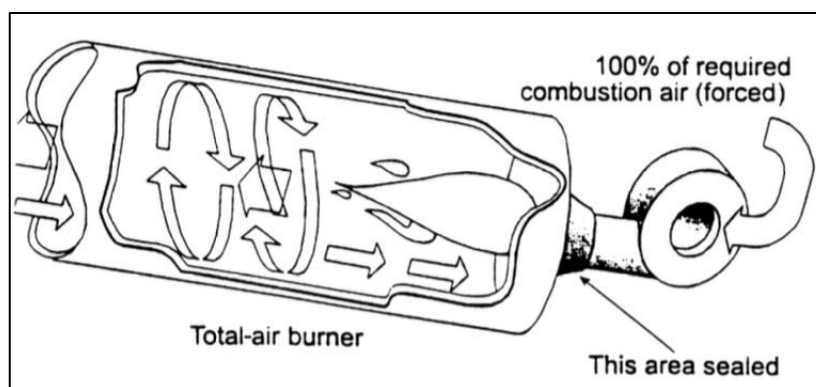
Gorilnik greje in suši agregat. Večina gorilnikov lahko z manjšimi spremembami v nastavitvah uporablja različne vrste goriva. Uporabljajo se tri vrste goriva: plinasto, tekoče in trdno gorivo. Plinasta goriva vključujejo zemeljski plin in utekočinjeni naftni plin. Tekoča goriva vsebujejo propan, butan, kurilno olje in predelano nafto. Premogovni prah in peleti biomase so primeri trdnih goriv. Izbrano gorivo mora imeti pravilno konsistenco za popolno atomizacijo ob izgorevanju. Gorivo, ki ne zgori popolno, lahko povzroči težave z gorilnikom, asfaltnim obratom in asfaltno mešanico. Nepopolno izgorevanje lahko povzroči vstop nezgorelega goriva v opremo za nadzor emisij, kjer lahko prekrije stene vrečastih filtrov in poveča nevarnost požara. Nepopolno zgorevanje tudi zmanjša količino toplote, ki je na voljo, da posuši agregat in s tem poveča porabo goriva in obratovalne stroške. Nadalje lahko zniža temperaturo izpušnih plinov, kar lahko povzroči kondenzacijo vlage v vrečastih filterih. Poleg tega lahko nepopolno zgorevanje goriva spremeni lastnosti asfaltnega obrata. Prvič, gorivo lahko zmanjša viskoznost bitumenskega veziva in zmanjša utrjevanje veziva med postopkom mešanja. Nezgorelo gorivo lahko tudi neposredno vpliva na površino grobih agregatnih delcev in posledično nastanek rjavega madeža na agregatu in mehčanje debeline filma na zrnih agregata. Ti dve težavi lahko vplivata na togost, stabilnost in moč proizvedene asfaltne zmesi.

Primarna funkcija gorilnika je mešanje ustrezne količine zraka in goriva, da se doseže popolno zgorevanje goriva. Uporabljata se dve osnovni vrsti gorilnikov v sušilnikih in mešalnih bobnih, bodisi

v protitočnih bobnih ali bobnih z vzporednim tokom. Mnogi asfaltni obrati so opremljeni z gorilnikom, ki zahteva od 30 do 45 odstotkov zraka, potrebnega za zgorevanje, ki pride v gorilnik s pomočjo ventilatorja, ki je montiran ob gorilniku. Preostalih 70–55 odstotkov zraka pa pride v cono zgorevanja okoli gorilnika z izpušnega ventilatorja na asfaltne obratu. Ta vrsta opreme s kombiniranim dotokom zraka gorilniku je prikazana na Sliki 16. Nekateri gorilniki dovajajo ves zrak za zgorevanje z ventilatorjem. Druga vrsta gorilnika, ki je prikazana na Sliki 17, je znana kot 100-odstotni zračni gorilnik. Slednji gorilniki so na splošno precej tišji kot prva vrsta in imajo bolj učinkovito porabo goriva.



Slika 16: Kombiniran dotok zraka gorilniku (*Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 81*)
Figure 16: Combined induced and forced draft burner



Slika 17: 100-odstotni zračni gorilnik (*Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 82*)
Figure 17: Forced – draft, total air, or 100 percent burner

Večina gorilnikov je opremljenih z avtomatsko napravo, ki nadzira vnos goriva za ohranitev konstantne temperature agregata na izhodu. Pomanjkanje bodisi zraka ali goriva zmanjša učinkovitost gorilnika. Po navadi je razpoložljivost zraka omejevalni dejavnik. Izpušni ventilator, poleg zagotavljanja zraka, mora odstraniti tudi vlago, ki nastane v procesu sušenja in proizvode izgorovanja.

Zmogljivost ventilatorja je kontrolni dejavnik pri ogrevanju in sušenju agregata. Obseg izpušnih plinov (zraka, hlapov vlage in produktov zgorevanja), ki jih povleče ventilator, je konstanten, odvisen od nastavitve lopute v sistemu. Na učinkovitost sistema vpliva tudi uhajanje zraka. Uhajanje zraka je potrebno odpraviti, da se zagotovi potrebna količina zraka v gorilniku za doseg popolnega zgorevanja goriva.

4.2.3 OBLIKA LOPATK

Agregat se premika po bobnu navzdol s kombinacijo toka gravitacije in lopatk, medtem ko se bobnen vrti. Dejavniki, ki vplivajo na dolžino časa, potrebnega za potovanje posameznega delca agregata skozi bobnen, vključujejo dolžino in premer bobna, nagib bobna, število in vrsto lopatk znotraj bobna, hitrost vrtenja bobna in velikost agregatnih delcev. Na splošno velja, da traja približno 4 do 8 minut, da dohodni delec agregata prispe do konca bobna. Naloga lopatk je izpostaviti agregat toploti plinov gorilnika, ne da bi ga spustile skozi plamen, odstraniti vlago iz agregata, obviti agregat z bitumenskim vezivom in segreti asfaltno mešanico na pravilno temperaturo. Ko se uporablja mešalni bobnen z vzporednim tokom, mora biti plamen gorilnika kratek in košat, da se s tem zaščiti bitumensko vezivo pred visokimi temperaturami. Plamen gorilnika mora imeti dovolj prostora, da se razširi in da je omogočeno popolno zgorevanje goriva. Agregat se ne sme odlagati neposredno v ogenj, saj ga lahko pogasi. Zato se prve lopatke na zgornjem koncu bobna uporabljajo za usmerjanje agregata v bobnen izven konice plamena.

Naslednje lopatke se uporabljajo za dvigovanje agregata iz dna bobna, da material pada skozi izpušne pline iz gorilnika. Medtem ko se agregat pomika po bobnu navzdol, se vedno večja količina agregata dviga in pada. Na sredini dolžine bobna se razvije "tančica" agregata na celotnem območju prečnega prereza. Ta "tančica" je bistvenega pomena za doseganje prenosa toplote izpušnih plinov in s tem sušenje in segrevanje agregata. Bolj popolna je "tančica", bolj učinkovit in racionalen bo proces prenosa toplote, porabljen bo manj goriva in nižje bodo emisije delcev iz obrata.

Naprej po bobnu navzdol se vbrizga bitumensko vezivo in lopatke se uporabljajo za mešanje agregata z vezivom. Lopatke prav tako omogočajo, da se zrna obvita z bitumenskim vezivom še naprej ogrevajo z izpušnimi plini, da se dokonča postopek prenosa toplote ter da se dvigne temperatura asfaltna zmesi na zeleno raven. Na zadnji strani bobna je naloga lopatk deponiranje materiala v jašek za transport asfaltna zmesi do silosa.

4.2.4 VBRIZGANJE BITUMENSKEGA VEZIVA

Na asfaltnih obratih z mešalnim bobnom z vzporednim tokom je dovod bitumenskega veziva različen, lahko je na sredini ali med dvema tretjinama poti po bobnu navzdol. Premer cevi je odvisen od

zmogljivosti obrata, in sicer od 50 do 100 mm. Bitumensko vezivo se običajno vbrizga v boben skozi cev.

Ena od prednosti zgodnje uvedbe bitumenskega veziva je hiter zajem prašnih delcev v agregatu. Ta ukrep zmanjša količino prašnih delcev. Obstajajo pa tri slabosti: bitumensko vezivo se lahko preveč utrdi, ker je bolj izpostavljeno izpušnim plinom visoke temperature, povečanje pojavnosti modrega dima (vidne emisije) zaradi višjih temperatur izpušnih plinov in lahko pride do povečanja vsebnosti vlage v zmesi, ker bitumensko vezivo obviije zrna agregata, preden je bila odstranjena vsa vlaga. Iz tega sledi, da ni dobra praksa injicirati bitumensko vezivo blizu gorilnika mešalnega bobna. V večini asfaltnih obratov z vzporednim tokom se bitumensko vezivo vbrizga preko cevi s premerom 100 mm, ki vstopa z zadnje strani bobna. V mnogih primerih je lokacija vstopa bitumenskega veziva na točki približno 40 do 30 odstotkov dolžine bobna gledano z nasprotne smeri gorilnika (60 do 70 odstotkov dolžine bobna gledano v smeri gorilnika). Na tej lokaciji je majhna količina vlage v agregatu, zato se lahko takoj prične mešanje, oziroma obviije agregata z bitumenskim vezivom.

4.2.5 MINERALNO POLNILO IN FINO POLNILO

V asfaltnih obratih se uporabljata dve vrsti polnila, mineralno polnilo in fino polnilo iz vrečastega filtra, ki se lahko dodajata bodisi posamezno ali v kombinaciji. Osnovna oprema, potrebna za ravnanje s posamezno vrsto materiala, je v bistvu enaka. Razlika med različnimi sistemi se nanaša na stopnjo dovršenosti v kontroli, ki se uporablja za odmerjanje materiala.

Mineralno polnilo, kot je hidratizirano apno, Portland cement, pepel in apnenčev prah, se hrani v silosu in se dostavi preko sistema dozirnih tekočih trakov ali preko majhne posode za tehtanje, ki se nahaja na dnu silosa. Hitrost tekočega traku je povezana s količino svežega in recikliranega agregata. Mineralno polnilo preko dozirnega tekočega traku vstopi v dostavno cev in se pnevmatsko transportira v zadnji del bobna. Lahko se deponira na agregat na dnu bobna ali se vodi v napravo za mešanje, kjer se mineralno polnilo in bitumensko vezivo zmešata, preden padeta v boben. Pri neposrednem dovajanju mineralnega polnila v mešalnik bobna je to mogoče storiti pred ali za točko vbrizganja bitumenskega veziva. Če se polnilo deponira pred točko vstopa bitumenskega veziva, običajno pade neposredno na agregat na dno bobna. Polnilo se lahko dvigne v tok izpušnih plinov in večji del materiala se odvede iz bobna v odpraševalno napravo. Pri dovajanju mineralnega polnila v boben iz napajalne cevi, po vbrizganju bitumenskega veziva v mešalnik bobna, se večji del polnila običajno zajame z vezivom. Ko se mineralno polnilo in bitumensko vezivo premešata, je minimalna možnost, da se mineralno polnilo odvede iz bobna.

Fino polnilo se običajno ne meri, ampak se odreja v boben na podoben način kot mineralno polnilo.

Vrnjeno fino polnilo je treba vključiti v asfaltno zmes in ne dovoliti, da kroži nazaj v vrečasti filter. To se doseže tako, da se prepreči neposreden stik finega polnila in izpušnih plinov visoke hitrosti, in sicer s hitrim obvitjem z bitumenskim vezivom. Količina finega polnila, ki se vrne v asfaltno zmes v notranjosti bobna, ima pomemben vpliv na lastnosti proizvedene asfaltne zmesi.

4.2.6 RECIKLIRANA ASFALTNNA ZMES

Z ločenim sistemom dovajanja svežega agregata in recikliranega materiala se sveži agregat dostavi v bobnen na konec gorilnika, recikliran material pa preko posebne vstopne točke v bližini sredine bobna. Za uvedbo recikliranega materiala v bobnen se uporabljajo različni sistemi. Po navadi ima bobnen več vhodov, da se omogoči recikliranemu materialu vstop. V točki, kjer vstopi recikliran material v bobnen, se na kratki dolžini odstranijo lopatke ali se nastavijo tako, da se zlahka dodaja z bitumenskim vezivom obvit material svežemu agregatu. Recikliran material se začne ogrevati takoj, ko vstopi v bobnen. Kombinirano zmes lopatke mešajo in segrevanje ter sušenje se nadaljuje.

4.2.7 OCENA PROIZVODNJE

Proizvodnja asfaltnih obratov se ocenjuje glede na število ton asfaltne zmesi, ki se lahko proizvede v eni uri. Proizvodna zmogljivost je običajno povezana s temperaturo prihajajočega agregata, s temperaturo proizvedene asfaltne zmesi, s specifično toploto agregata in s povprečno vrednostjo vlage, ki jo je potrebno odstraniti v fazi proizvodnje. Na kapaciteto obrata vplivajo tudi številne druge spremenljivke, vključno s premerom bobna, vrsto goriva, hitrostjo izpušnih plinov, zmogljivostjo ventilatorja, količino presežka zraka v gorilniku, oceno uhajanja zraka v sistem in atmosferskih razmer. Tudi porazdelitev agregata je lahko dejavnik, ki vpliva na kapaciteto. Mešanice, ki vsebujejo velik delež grobega agregata, se težje enakomerno segrevajo.

Ena od spremenljivk, ki ima največji učinek na stopnjo proizvodnje asfaltne obrata, je povprečna vsebnost vlage v grobih in finih zrnih agregata. Vsebnost vlage finega agregata je običajno višja kot vsebnost vlage grobega agregata. Povprečna vsebnost vlage je torej odvisna od količine vlage grobega agregata in njegovega deleža v mešanici ter količine vlage finega agregata in njegovega deleža v mešanici. Če, na primer, 60 odstotkov mešanice predstavlja grobi agregat s 3 % vlago in 40 odstotkov mešanice finega agregata z 8 % vlage, znaša vsebnost vlage kombiniranega agregata 5 %. Če se vlaga finega agregata zniža na 6 %, se vlaga v agregatu pred vstopom v bobnen zmanjša na 4,2 %. Ko se povprečni odstotek vlage v agregatu povečuje, se proizvodna kapaciteta mešalnega bobna danega premera zmanjšuje. Pri konstantni povprečni vsebnosti vlage vhodnega agregata se stopnja proizvodnje poveča z večjim premerom bobna. Teoretično razmerje med povprečno vsebnostjo vlage, premerom in dolžino bobna ter izračunano stopnjo proizvodnje asfaltne obrata (pri temperaturi asfaltne zmesi 132°C) je prikazano v preglednici 20.

Preglednica 20: Nominalne zmogljivosti različnih bobnov (privzeto po Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 89)

Table 20: Nominal Drum – Mix Capacities

Premer in dolžina bobna (m)	Kapaciteta (t/h) glede na vsebnost površinske vlage (%)								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,5 x 6,70	161	127	105	91	76	72	67	57	53
1,8 x 7,30	252	200	161	143	124	110	105	91	81
2,1 x 9,15	381	305	248	214	186	167	148	133	124
2,4 x 9,80	490	390	319	276	239	214	190	176	157
2,7 x 11,00	652	524	433	372	324	286	258	233	214
3,0 x 12,20	867	690	571	491	429	390	343	309	286

Preglednica 20 kaže, da ima pri povprečni vsebnosti vlage 5 %, asfaltni obrat z mešalnim bobnom, ki ima premer 1,8 m, teoretično proizvodno zmogljivost 143 ton zmesi na uro. Če se uporablja boben s premerom 2,4 m, se stopnja proizvodnje poveča do 276 ton zmesi na uro. Za mešalni boben premera 3,0 m stopnja proizvodnje naraste do 491 ton mešanice na uro pri odstranjevanju 5 % vlage. Ko se vsebnost vlage v agregatu zmanjša s 5 % na 3 %, se stopnja proizvodnje asfaltnega obrata z mešalnim bobnom s premerom 2,4 m poveča z 276 ton na uro na 391 ton asfaltne mešanice na uro. Če ima agregat večjo vsebnost vlage (na primer 8 %), pade proizvodnja istega mešalnega bobna s premerom 2,4 m na le 191 ton asfaltne zmesi na uro. Iz tega je razviden neposreden vpliv povprečne vsebnosti vlage agregata na sposobnost proizvodnje asfaltnega obrata.

Temperatura proizvedene asfaltne zmesi, ki je bila konstantna pri 132°C v zgornjem primeru, prav tako vpliva na hitrost proizvodnega obrata: ko se temperatura proizvedene asfaltne zmesi zniža pri določeni vsebnosti vlage in določeni velikosti mešalnega bobna, se proizvodnja poveča.

Na stopnjo proizvodnje asfaltnega obrata vpliva tudi obseg in hitrost izpušnih plinov, katere se z ventilatorjem povleče skozi sistem. Čim se obseg in hitrost plinov zmanjšata, je proizvodna zmogljivost mešalnega bobna manjša. Za asfaltne obrate, ki imajo ločen sistem dovajanja svežega agregata in recikliranega materiala, je stopnja zmogljivosti proizvodnje asfaltnih zmesi odvisna od obsega recikliranega materiala, ki se dovaja v mešalni boben. Ko količina recikliranega materiala presega 50 odstotkov celotne zmesi agregata, se zmogljivost obrata zmanjša. To zmanjšanje je posledica pomanjkanja ustrezne količine svežega agregata v zgornjem koncu mešalnega bobna, ki bi zagotovil pravilni prenos toplote izpušnih plinov. To posledično zmanjšuje prenos toplote med svežim agregatom in recikliranim materialom.

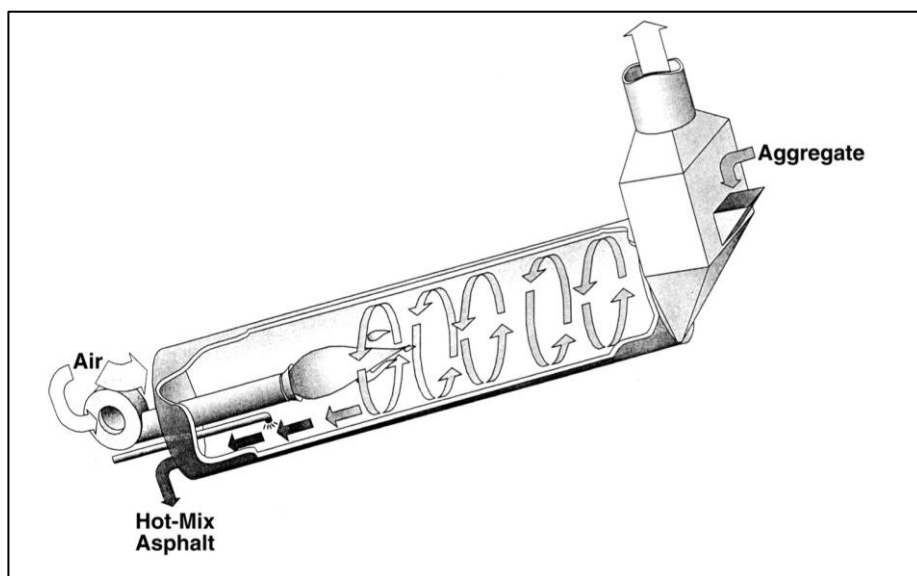
4.3 ASFALJNI OBRAT S PROTITOČNIM BOBNASTIM MEŠALNIKOM

Asfaltni obrat, razvit v začetku leta 1930, je v zadnjih letih nadomestil asfaltno obrate z mešalnim bobnom z vzporednim tokom. Protitočni bobnasti mešalnik je podoben tistemu, ki se uporablja za ogrevanje in sušenje agregata pri asfaltnih obratih s šaržno proizvodnjo, razlika je le v tem, da je dodana še mešalna enota.

V uporabi sta dva različna tipa asfaltnih obratov s protitočnim mešalnim bobnom. Prvi, bolj konvencionalni asfaltni obrat, ima mešalno enoto na podaljšanem koncu sušilnega bobna pod gorilnikom. Drugi tip asfaltnega obrata ima mešalno enoto ovito okrog sušilnika. Oba tipa asfaltnega obrata imata enak postopek za ogrevanje in sušenje agregata, dodajanja polnila in reciklirane asfaltno zmesi, dodajanja bitumenskega veziva in mešanja vseh sestavin, skupaj s proizvodnjo visoko kakovostnih vročih asfaltnih zmesi.

4.3.1 SUŠENJE IN OGREVANJE AGREGATA

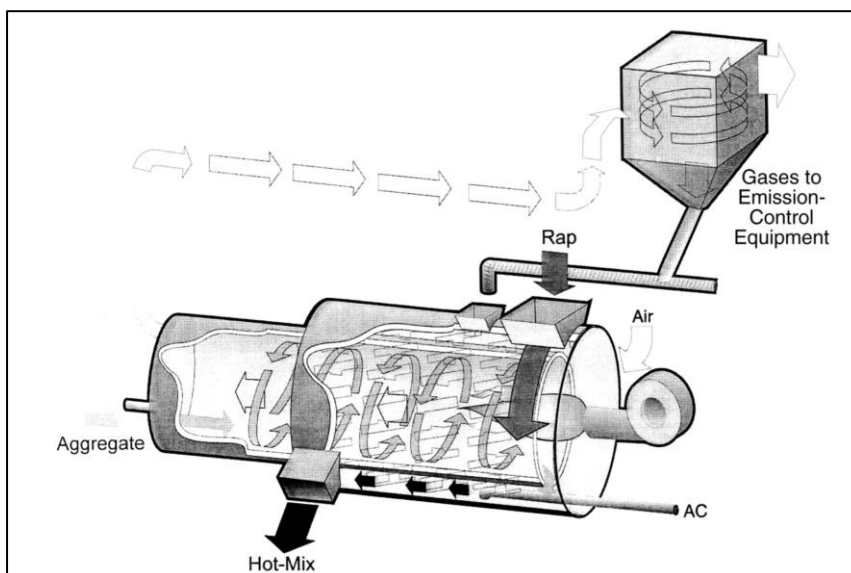
Agregat vstopi v protitočni boben v zgornjem delu bobna, podobno kot pri sušilnem bobnu asfaltnega obrata s šaržno proizvodnjo. Na konvencionalnem protitočnem bobnu z mešalno enoto za sušilnikom je glava gorilnika vgrajena v vrteč bobnen. Čeprav je sam gorilnik zunaj bobna, se gorivo ne vžge, dokler ne doseže glave gorilnika. Ves zrak, potreben za zgorevanje goriva, se dovaja skozi gorilnik. Dodatni zrak potegne v boben ventilator skozi cevi, ki obdajajo gorilnik in ga ščitijo pred poškodbami agregata. Slika 18 prikazuje glavo gorilnika, pot agregata, ki se pomika proti gorilniku, in izpušne pline, ki se gibljejo v nasprotni smeri.



Slika 18: Protitočni mešalni boben (*Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 48*)

Figure 18: Counter-flow drum mixer

Pri protitočnem bobnu z mešalno enoto obvito okrog sušilnika je lokacija gorilnika podobna konvencionalnemu protitočnemu bobnu. Položaj gorilnika je razviden s Slike 19.



Slika 19: Protitočni mešalni boben z mešalno enoto obvito okrog sušilnika (Hot Mix Asphalt Paving Handbook Part II, stran 48)

Figure 19: Counter-flow drum mixer with mixing unit folded around aggregate dryer

Ogrevanje in sušenje agregata se izvede, ko material potuje skozi sušilnik z delovanjem rotacije lopatk. Gorilnik se nahaja v spodnjem delu sušilnika, medtem ko potuje po bobnu se agregat približuje gorilniku. Izpušni plini iz gorilnika se pomikajo v nasprotni smeri toka agregata. Ko se agregat premika proti gorilniku, se segreva in vlaga s površine agregatnih delcev se odstrani. Segrevanje agregata in odstranjevanje vlage se nadaljuje, dokler ni dosežena zahtevana temperatura agregata. Če se agregatu doda reciklirana asfaltna zmes, se temperatura agregata poveča na raven, ki je potrebna za omogočanje prenosa toplote med pregretim agregatom in recikliranim materialom, ki ima veliko nižjo temperaturo. Ta praksa je podobna dodatnemu ogrevanju agregata, ko se recikliran material uporablja v šaržnem postopku proizvodnje. V nasprotju z mešalnim bobnom z vzporednim tokom se v sušilni del bobna ne dodaja bitumenskega veziva. Prav tako se gorvodno od gorilnika ne dodaja mineralnega polnila, finega polnila ali recikliranega materiala.

4.3.2 MEŠALNA ENOTA

Konvencionalni protitočni boben

V protitočnem bobnu, kjer je gorilnik vgrajen v boben, se mešanje odvija v podaljškem sušilniku, kamor ogrevan in posušen agregat prehaja skozi pregrade ali retencijski obroč, ki se nahaja tik za glavo gorilnika. Ko ogrevan agregat vstopi v mešalno komoro bobna, se v primeru uporabe doda recikliran material. Ker se recikliran material uvede v boben za gorilnikom, ni izpostavljen plamenu gorilnika.

Zaradi tega emisije ogljikovodikov niso problematične.

Prenos toplote agregata se začne takoj, ko se materiala srečata na zgornjem koncu mešalne enote. Vlago, ki jo vsebuje recikliran material, se odstrani iz mešalne enote z ventilatorjem. Prav tako se emisije ogljikovodikov, ki se sproščajo s segrevanjem recikliranega materiala, odvajajo iz mešalne naprave in ko potujejo skozi območje gorilnika, se ti plini sežgejo. Tako je proizvodnja modrega plina v protitočnih bobnih zmanjšana. Kmalu zatem, ko se doda v mešalno enoto recikliran material, se doda še vse ostale dodatke, ki so potrebni pri proizvodnji vroče asfaltno zmesi, vključno s finim polnilom in mineralnim polnilom. Mešanje vseh dodatnih surovin z agregatom se začne takoj, ko so materiali vneseni v mešalno komoro. Ko se vse komponente zmešajo, se doda bitumensko vezivo. Obvite agregata poteka med mešanjem in premikanjem zmesi proti koncu mešalne enote. Odvisno od kota, pod katerim je postavljen boben, kakor tudi od števila in vrste lopatk v mešalni komori, traja čas mešanja. Le-ta je v območju od 45 do 60 sekund. Na koncu postopka mešanja se vroča asfaltna zmes odpelje v silos.

Protitočni boben z mešalno enoto obvito okrog sušilnika

Obravnavani protitočni boben ima mešalno komoro obvito okrog sušilnika. Ta mešalna naprava je posebna, ker se ne vrti. Kot je razvidno na sliki 19, se ogrevan in posušen agregat odreja izpod gorilnika navzdol v ne-rotirajočo zunanjo lupino ali mešalnik. To se zgodi na spodnjem delu bobna. Kmalu zatem, ko agregat vstopi v mešalno komoro, se v primeru uporabe doda recikliran material, ki se premeša s pregretim agregatom. Prenos toplote z vročega agregata na recikliran material se začne takoj. Kot pri konvencionalnem protitočnem bobnu se vlaga recikliranega materiala in ogljikovodiki, ki se razvijejo med segrevanjem, potegnejo nazaj v sušilno enoto preko ventilatorja. Vlaga se odvede v opremo za nadzor emisij (odpraševalna naprava), emisije ogljikovodikov iz recikliranega materiala pa se sežgejo z gorilnikom. Ko je reciklirana zmes v zunanji lupini, se dodajo vsi dodatki, ki so potrebni v mešanici. Le-ti se dodajajo v zunanjo lupino na isti lokaciji.

Ko so vsi materiali v zunanji lupini, se mešanici doda bitumensko vezivo. V večini protitočnih bobnov z mešalno enoto obvito okrog sušilnika lahko bitumensko vezivo dodamo na dveh različnih lokacijah. Če v mešanici ni recikliranega materiala, se bitumensko vezivo dodaja v najkrajšem možnem času, kmalu potem, ko agregat, fino in mineralno polnilo napolnijo zunanji boben. Če se mešanici doda recikliran material, se dodajanje bitumenskega veziva odloži, tako da lahko poteka prenos toplote med pregretim agregatom in recikliranim materialom. Bitumensko vezivo se doda v zunanjo lupino nekoliko dlje v smeri toka. Mešanje izvajajo lopatke pritrjene na zunanji strani notranjega bobna. Lopatke so montirane pod določenim kotom za lažje potiskanje zmesi agregata, finega in mineralnega polnila, recikliranega materiala in bitumenskega veziva navzgor. Mešajo materiale, ki potujejo v ozkem prostoru med vrtečim notranjim bobnom in ne-rotirajočim zunanjim bobnom. Mešanje se pojavi

le v spodnji četrtini oboda zunanje lupine; mešanica se ne prenese na vrh notranjega bobna. Poleg prenosa toplote, ki poteka z direktnim stikom agregata in ostalimi komponentami zmesi, se mešanica dodatno greje, ko pride v stik z notranjim bobnom in s sevanjem toplote iz notranjosti bobna v zunanjo lupino. Da se doseže učinkovito mešanje, je potrebno vzdrževati primerno razdaljo med lopatkami in zunanjo lupino. Redno je potrebno izvajati pregled lopatk in notranjost zunanje lupine, da se preveri obrabljenost ter da se zagotovi ustrezno mešanje brez lepljenja mešanice na zunanjo lupino. Odvisno od velikosti in proizvodne zmogljivosti bobna traja mešanje vseh komponent manj kot 60 sekund. Ob zaključku postopka mešanja se vroča asfaltna zmes transportira v silos.

4.4 RECEPTURA ASFALTNIH ZMESI

Stroškovna analiza asfaltnih zmesi obrabnih plasti je izvedena za tiste asfaltne zmesi, katerih proizvodnja v Sloveniji je največja (AC surf 757.000 t, SMA 53.000 t). Obravnavane asfaltne zmesi so naslednje:

- AC 8 surf B50/70 A3,
- AC 8 surf PmB 45/80-65 A2,
- SMA 8 PmB 45/80-65 A2,
- AC 11 surf B50/70 A2 in
- AC 11 surf PmB 45/80-65 A2,

kjer pomeni:

SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2:

SMA Stone Mastic Asphalt = drobir z bitumenskim mastiksom

8 največja velikost nazivnega zrna v zmesi

PmB 45/80-65 s polimeri modificiran bitumen s penetracijo 45/80 in z mehčičem 65°C

A1, A2 razred bituminizirane zmesi

- AC 8 surf B50/70 A3

Preglednica 21: Receptura asfaltne zmesi AC 8 surf B50/70 A3

Table 21: Recipe of asphalt mixture AC 8 surf B50/70 A3

CELOKUPNI DELEŽ BITUMNA	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI						
	Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)						
m.-%	0,063	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2
m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
6,2	7,1	17,0	26,0	47,0	67,0	97,0	100,0

- AC 8 surf PmB 45/80-65 A2, A3

Preglednica 22: Receptura asfaltne zmesi AC 8 surf PmB 45/80-65 A2, A3

Table 22: Recipe of asphalt mixture AC 8 surf PmB 45/80-65 A2, A3

CELOKUPNI DELEŽ BITUMNA	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI						
	Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)						
	0,063	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2
m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
6,0	8,5	15,5	26,3	47,3	67,6	98,7	100,0

- SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2

Preglednica 23: Receptura asfaltne zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2

Table 23: Recipe of asphalt mixture SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2

CELOKUPNI DELEŽ BITUMNA	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI						
	Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)						
	0,063	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2
m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
7,6	9,3	14,2	16,8	24,3	36,6	97,4	100,0

- AC 11 surf B50/70 A2

Preglednica 24: Receptura asfaltne zmesi AC 11 surf B50/70 A2

Table 24: Recipe of asphalt mixture AC 11 surf B50/70 A2

CELOKUPNI DELEŽ BITUMNA	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI							
	Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)							
	0,063	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0
m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
5,7	7,1	12,9	20,6	37,1	53,1	80,1	98,2	100,0

- AC 11 surf PmB 45/80-65 A2

Preglednica 25: Receptura asfaltne zmesi AC 11 surf PmB 45/80-65 A2

Table 25: Recipe of asphalt mixture AC 11 surf PmB 45/80-65 A2

CELOKUPNI DELEŽ BITUMNA	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI							
	Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)							
	0,063	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0
m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
5,7	7,2	13,0	20,7	37,2	53,6	80,7	98,4	100,0

4.5 CENE OBRAVNAVANIH ASFALTNIH ZMESI TER CENE VHODNIH MATERIALOV

Cene obravnavanih asfaltnih zmesi za izvedbo stroškovne analize je posredovalo podjetje Pomgrad – Tovarna asfalta Pomurje d.o.o. Asfaltni obrat v Murski Soboti obratuje od leta 2009. Kapaciteta asfaltnega obrata je 240 t asfaltnih zmesi na uro. Letno proizvedejo 140.000 t asfaltnih zmesi. Asfaltni obrat deluje 8–9 mesecev na leto. Energenta, ki se uporabljata v asfaltnem obratu, sta plin in kurilno olje. Tip asfaltnega obrata je ABP 240-320 Universal podjetja Ammann, ki nudi možnost razvoja veliko različnih vrst asfaltnih zmesi. Ponuja široko paleto zmogljivosti, konfiguracij ter možnosti skladiščenja. Je klasični asfaltni obrat s šaržno ali postopno proizvodnjo. Čas mešanja obravnavanih asfaltnih zmesi je enak za asfaltne zmesi z uporabo cestogradbenega bitumenskega veziva in za asfaltne zmesi z uporabo s polimeri modificiranega bitumenskega veziva. Razlika se pojavi v temperaturi skladiščenja bitumenskega veziva. Navadno cestogradbeno bitumensko vezivo B 50/70 se skladišči pri temperaturi 150°C, s polimeri modificirano bitumensko vezivo PmB 45/80-65 pa se skladišči pri 165°C.



Slika 20: Asfaltni obrat Tovarna asfalta Pomurje d.o.o., Murska Sobota (Bilten od skupščine do skupščine, 2015, str. 8, ZAS)

Figure 20: Batch plant Tovarna asfalta Pomurje d.o.o., Murska Sobota

4.5.1 CENE OBRAVNAVANIH ASFALTNIH ZMESI

Cena asfaltne zmesi:

Preglednica 26: Cene obravnavanih asfaltnih zmesi

Table 26: Prices of asphalt mixtures

Vrsta asfaltne zmesi	Cena brez ddv (€/t)
AC 8 surf B 50/70 A3	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65 A2	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65 A2	130,80
AC 11 surf B50/70 A2	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65 A2	105,00

4.5.2 CENE VHODNIH MATERIALOV

Cena bitumenskega veziva:

Dobavitelja bitumenskih veziv sta podjetji MOL (Zalaegerszeg – Madžarska) in OMV (Schwechat – Avstrija).

Preglednica 27: Cena bitumenskega veziva

Table 27: The price of bituminous binder

Tip bitumna	Cena brez ddv (€/t)
B 50/70	226,00
PmB 45/80-65	402,00

* Prodajne cene za bitumenska veziva veljajo fco kamion (cisterna), brez stroška dostave.

Cena agregata:

Obravnavani asfaltni obrat ne proizvaja lastnega kamnitega materiala, ampak ga dobavlja od zunanjega proizvajalca, podjetja Kaming d.d. s Hrvaške.

Preglednica 28: Cena kamnitega materiala

Table 28: The price of the aggregates

Kamniti material	Frakcija (mm)	Cena brez ddv (€/t)
apnenčasti agregat	0–2	13,89
apnenčasti agregat	2–4	8,51
apnenčasti agregat	0–4	9,86
apnenčasti agregat	4–8	7,48
apnenčasti agregat	8–11,2	8,41

se nadaljuje...

...nadaljevnje Preglednice 32

apnenčasti agregat	8–16	7,48
eruptivni agregat	0–2	13,49
eruptivni agregat	2–4	13,75
eruptivni agregat	4–8	12,96
eruptivni agregat	8–11,2	14,02
eruptivni agregat	11,2–16	14,02

**Prodajne cene za agregate veljajo fco kamion naloženo na separaciji. Cene so privzete z objavljenega cenika na spletni strani proizvajalca na dan 21.05.2016 (Kamnig d.d., Ljubeščica. 2016. Cenik proizvodov)*

4.5.3 STROŠKI VHODNIH MATERIALOV POSAMEZNE ASFALTNE ZMESI

Pri vseh obravnavanih asfaltnih zmesih je upoštevan razred zmesi kamnitih zrn Z2. Za frakcijo 0–2 mm je privzeta cena apnenčastega (karbonatnega) agregata, za frakcije 2–4 mm, 4–8 mm, 8–11,2 mm, 11,2–16 mm pa cena eruptivnega (silikatnega) agregata.

AC 8 surf B 50/70 A3:

- *Zmes kamnitih zrn*

Preglednica 29: Cena zmesi kamnitih zrn AC 8 surf B 50/70 A3

Table 29: The price of the aggregates for AC 8 surf B 50/70 A3

Frakcija kamnite zmesi (mm)	Delež frakcije v kamniti zmesi (%)	Cena frakcije brez ddv (€/t)	Cena frakcije v kamniti zmesi brez ddv (€/t)
0–2	47	13,89	6,53
2–4	20	13,75	2,75
4–8	30	12,96	3,89
8–11,2	3	14,02	0,42
Skupaj	100		13,59

Cena zmesi kamnitih zrn za izbrano asfaltno zmes znaša 13,59 €/t, stroški dostave so ocenjeni na 12 % cene zmesi kamnitih zrn, kar pomeni 1,63 €/t. Končna cena zmesi kamnitih zrn znaša 15,22 €/t. Delež zmesi kamnitih zrn v obravnavani asfaltni zmesi znaša 93,8 %. Se pravi, da strošek zmesi kamnitih zrn predstavlja **14,28 €/t**.

- *Bitumensko vezivo*

Cena bitumenskega veziva tipa B50/70 je 226,00 €/t, pri tem je potrebno upoštevati še stroške dostave, ki so ocenjeni na 12 % cene bitumenskega veziva, kar pomeni 27,12 €/t. Končna cena bitumenskega veziva znaša 253,12 €/t.

Delež bitumenskega veziva v obravnavani asfaltni zmesi znaša 6,2 %. Strošek bitumenskega veziva predstavlja **15,69 €/t**.

AC 8 surf PmB 45/80-65 A2:

- *Zmes kamnitih zrn*

Preglednica 30: Cena zmesi kamnitih zrn AC 8 surf PmB 45/80-65 A2

Table 30: The price of the aggregates for AC 8 surf PmB 45/80-65 A2

Frakcija kamnite zmesi (mm)	Delež frakcije v kamniti zmesi (%)	Cena frakcije brez ddv (€/t)	Cena frakcije v kamniti zmesi brez ddv (€/t)
0-2	47,3	13,89	6,57
2-4	20,3	13,75	2,79
4-8	31,1	12,96	4,03
8-11,2	1,3	14,02	0,18
Skupaj	100		13,57

Cena zmesi kamnitih zrn za izbrano asfaltno zmes znaša 13,57 €/t, stroški dostave so ocenjeni na 12 % cene zmesi kamnitih zrn, kar pomeni 1,63 €/t. Končna cena zmesi kamnitih zrn znaša 15,20 €/t. Delež zmesi kamnitih zrn v obravnavani asfaltni zmesi znaša 94,0 %. Strošek zmesi kamnitih zrn predstavlja **14,29 €/t**.

- *Bitumensko vezivo*

Cena bitumenskega veziva tipa PmB 45/80-65 je 402,00 €/t, pri tem je potrebno upoštevati še stroške dostave, ki so ocenjeni na 12 % cene bitumenskega veziva, kar pomeni 60,30 €/t. Končna cena bitumenskega veziva znaša 462,30 €/t. Delež bitumenskega veziva v obravnavani asfaltni zmesi znaša 6,0 %. Strošek bitumenskega veziva predstavlja **27,74 €/t**.

SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2:

- *Zmes kamnitih zrn*

Preglednica 31: Cena zmesi kamnitih zrn SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2

Table 31: The price of the aggregates for SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2

Frakcija kamnite zmesi (mm)	Delež frakcije v kamniti zmesi (%)	Cena frakcije brez ddv (€/t)	Cena frakcije v kamniti zmesi brez ddv (€/t)
0-2	24,3	13,89	3,37
2-4	12,3	13,75	1,69
4-8	60,8	12,96	7,88
8-11,2	2,6	14,02	0,36
Skupaj	100		13,30

Cena zmesi kamnitih zrn za izbrano asfaltno zmes znaša 13,30 €/t, stroški dostave so ocenjeni na 12 % cene zmesi kamnitih zrn, kar pomeni 1,60 €/t. Končna cena zmesi kamnitih zrn znaša 14,90 €/t. Delež zmesi kamnitih zrn v obravnavani asfaltni zmesi znaša 92,4 %. Strošek zmesi kamnitih zrn predstavlja **13,77 €/t**.

- *Bitumensko vezivo*

Cena bitumenskega veziva tipa PmB 45/80-65 je 402,00 €/t, pri tem je potrebno upoštevati še stroške dostave, ki so ocenjeni na 12 % cene bitumenskega veziva, kar pomeni 60,30 €/t. Končna cena bitumenskega veziva znaša 462,30 €/t. Delež bitumenskega veziva v obravnavani asfaltni zmesi znaša 7,6 %. Strošek bitumenskega veziva predstavlja **35,13 €/t**.

AC 11 surf B50/70 A2:

- *Zmes kamnitih zrn*

Preglednica 32: Cena zmesi kamnitih zrn AC 11 surf B50/70 A2

Table 32: The price of the aggregates for AC 11 surf B50/70 A2

Frakcija kamnite zmesi (mm)	Delež frakcije v kamniti zmesi (%)	Cena frakcije brez ddv (€/t)	Cena frakcije v kamniti zmesi brez ddv (€/t)
0-2	37,1	13,89	5,15
2-4	16,0	13,75	2,20
4-8	27,0	12,96	3,50
8-11,2	18,1	14,02	2,54
11,2-16	1,8	14,02	0,25
Skupaj	100		13,64

Cena zmesi kamnitih zrn za izbrano asfaltno zmes znaša 13,64 €/t, stroški dostave so ocenjeni na 12 % cene zmesi kamnitih zrn, kar pomeni 1,64 €/t. Končna cena zmesi kamnitih zrn znaša 15,28 €/t. Delež zmesi kamnitih zrn v obravnavani asfaltni zmesi znaša 94,3 %. Strošek zmesi kamnitih zrn predstavlja **14,41 €/t**.

- *Bitumensko vezivo*

Cena bitumenskega veziva tipa B50/70 je 226,00 €/t, pri tem je potrebno upoštevati še stroške dostave, ki so ocenjeni na 12 % cene bitumenskega veziva, kar pomeni 27,12 €/t. Končna cena bitumenskega veziva znaša 253,12 €/t. Delež bitumenskega veziva v obravnavani asfaltni zmesi znaša 5,7 %. Strošek bitumenskega veziva predstavlja **14,43 €/t**.

AC 11 surf PmB 45/80-65 A2:

- *Zmes kamnitih zrn*

Preglednica 33: Cena zmesi kamnitih zrn AC 11 surf PmB 45/80-65 A2

Table 33: The price of the aggregates for AC 11 surf PmB 45/80-65 A2

Frakcija kamnite zmesi (mm)	Delež frakcije v kamniti zmesi (%)	Cena frakcije brez ddv (€/t)	Cena frakcije v kamniti zmesi brez ddv (€/t)
0–2	37,2	13,89	5,17
2–4	16,4	13,75	2,26
4–8	27,1	12,96	3,51
8–11,2	17,7	14,02	2,48
11,2–16	1,6	14,02	0,22
Skupaj	100		13,64

Cena zmesi kamnitih zrn za izbrano asfaltno zmes znaša 13,64 €/t, stroški dostave so ocenjeni na 12 % cene zmesi kamnitih zrn, kar pomeni 1,64 €/t. Končna cena zmesi kamnitih zrn znaša 15,28 €/t. Delež zmesi kamnitih zrn v obravnavani asfaltni zmesi znaša 94,3 %. Strošek zmesi kamnitih zrn predstavlja **14,41 €/t**.

- *Bitumensko vezivo*

Cena bitumenskega veziva tipa PmB 45/80-65 je 402,00 €/t, pri tem je potrebno upoštevati še stroške dostave, ki so ocenjeni na 12 % cene bitumenskega veziva, kar pomeni 60,30 €/t. Končna cena bitumenskega veziva znaša 462,30 €/t. Delež bitumenskega veziva v obravnavani asfaltni zmesi znaša 5,7 %. Strošek bitumenskega veziva predstavlja **26,35 €/t**.

4.5.4 FIKSNI STROŠKI

“Stalni (fiksni) stroški so neodvisni od obsega proizvodnje; to pomeni, da jih ne povzroča proizvodnja, pač pa pripravljenost na proizvodnjo; sem spadajo na primer stroški zavarovanja pr. sredstev, stroški časovne amortizacije, obresti dolgoročnih kreditov, najemnine, plače vodilnih delavcev ... Fiksni stroški se spreminjajo na enoto proizvoda, kot celota pa ne, oziroma se spremenijo šele takrat, ko se na trgu spremenijo cene fiksnih inputov (na primer stroški zavarovanja)” (Rebernik, M., 1994. Ekonomika podjetja, Ljubljana, Gospodarski vestnik).

Delež fiksnih stroškov pri proizvodnji posamezne asfaltni zmesi znaša cca. 12 %. Ne glede na vrsto asfaltni zmesi je delež fiksnih stroškov zmeraj enak.

4.5.5 STROŠKI PORABE ENERGIJE

Posebno postavko pri določanju cene posamezne asfaltne zmesi predstavlja poraba energije. Obravnavani asfaltni obrat ima možnost uporabe dveh energentov, in sicer zemeljskega plina in kurilnega olja. Trenutno asfaltni obrat uporablja zemeljski plin.

Delež stroškov porabe energije pri proizvodnji posamezne asfaltne zmesi znaša cca. 5 %. Ne glede na vrsto asfaltne zmesi je delež stroškov porabe energije enak.

5. OVREDNOTENJE ASFALTNIH ZMESI TER PRIMERJAVA CEN

V sledečem poglavju je predstavljena primerjava cen posameznih asfaltnih zmesi razčlenjena tako, da je razvidno, kolikšen znesek predstavlja posamezni vhodni material v asfaltni zmesi glede na masni delež, ki ga predstavlja v zmesi; kolikšen znesek predstavljajo fiksni stroški in kolikšen znesek predstavlja poraba energije. Sledi izračun deležev posameznih elementov in njihov grafični prikaz.

5.1 OVREDNOTENJE ASFALTNIH ZMESI

V želji po natančnih rezultatih oziroma vplivih na ceno asfaltne zmesi sledi ovrednotenje, določitev cene posamezne komponente, ki sestavlja asfaltno zmes, ter stroškov priprave asfaltne zmesi.

- **Asfaltna zmes AC 8 surf B 50/70 A3:**

<u>Cena asfaltne zmesi</u>	99,70 €/t
Cena bitumenskega veziva	15,69 €/t
Cena zmesi kamnitega materiala	14,28 €/t
Cena fiksnih stroškov	11,96 €/t
Cena stroškov porabe energije	4,98 €/t

Vsota vseh stroškov znaša 46,91 €/t, kar predstavlja 47,05 % cene asfaltne zmesi.

- **Asfaltna zmes AC 8 surf PmB 45/80-65 A2:**

<u>Cena asfaltne zmesi</u>	112,20 €/t
Cena bitumenskega veziva	27,74 €/t
Cena zmesi kamnitega materiala	14,29 €/t
Cena fiksnih stroškov	13,46 €/t
Cena stroškov porabe energije	5,61 €/t

Vsota vseh stroškov znaša 61,10 €/t, kar predstavlja 54,45 % cene asfaltne zmesi.

- **Asfaltna zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A1, A2:**

<u>Cena asfaltne zmesi</u>	130,80 €/t
Cena bitumenskega veziva	35,13 €/t
Cena zmesi kamnitega materiala	13,77 €/t
Cena fiksnih stroškov	15,70 €/t
Cena stroškov porabe energije	6,54 €/t

Vsota vseh stroškov znaša 71,14 €/t, kar predstavlja 54,39 % cene asfaltne zmesi.

- **Asfaltna zmes AC 11 surf B 50/70 A2:**

<u>Cena asfaltne zmesi</u>	98,00 €/t
Cena bitumenskega veziva	14,43 €/t
Cena zmesi kamnitega materiala	14,41 €/t
Cena fiksnih stroškov	11,76 €/t
Cena stroškov porabe energije	4,90 €/t

Vsota vseh stroškov znaša 45,50 €/t, kar predstavlja 46,43 % cene asfaltne zmesi.

- **Asfaltna zmes AC 11 surf PmB 45/80-65 A2:**

<u>Cena asfaltne zmesi</u>	105,00 €/t
Cena bitumenskega veziva	26,35 €/t
Cena zmesi kamnitega materiala	14,41 €/t
Cena fiksnih stroškov	12,60 €/t
Cena stroškov porabe energije	5,25 €/t

Vsota vseh stroškov znaša 58,61 €/t, kar predstavlja 55,82 % cene asfaltne zmesi.

5.2 PRIMERJAVA DELEŽEV POSAMEZNIH KOMPONENT ASFALTNIH ZMESI

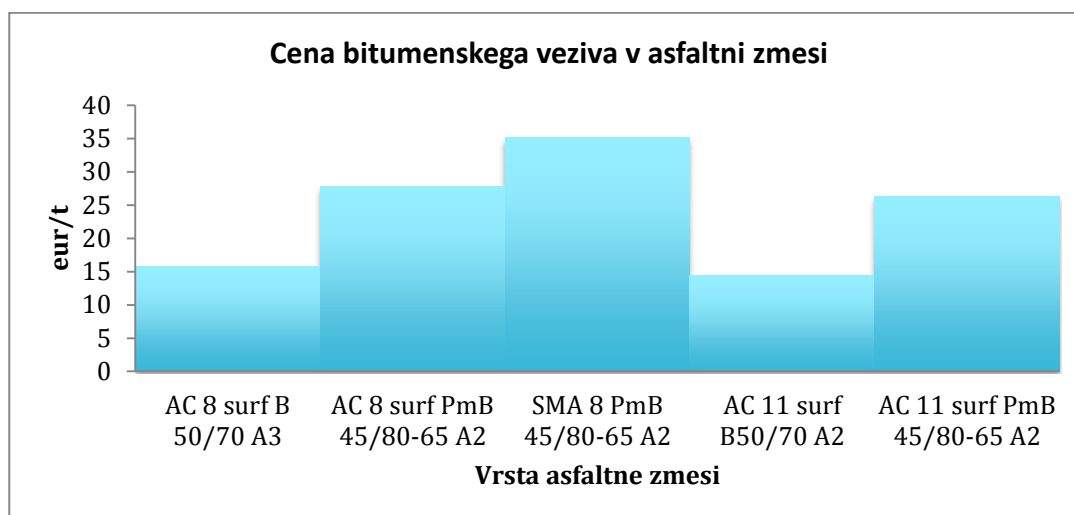
V nadaljevanju je tabelarično in grafično prikazan delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja določen segmet, upoštevan pri skupni ceni asfaltne zmesi.

- Bitumensko vezivo

Preglednica 34: Cena bitumenskega veziva v asfaltni zmesi

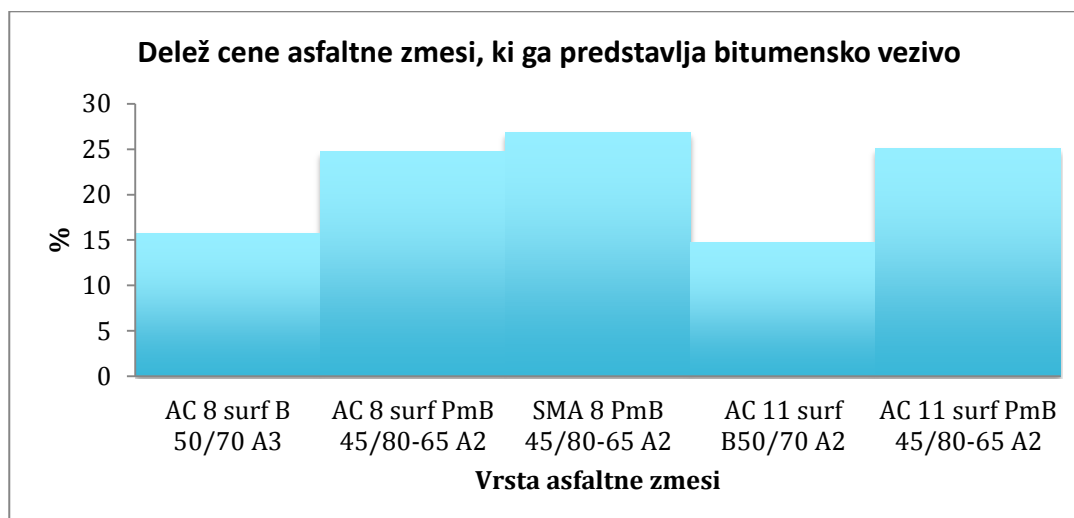
Table 34: The price of bituminous binder in the asphalt mixture

Vrsta asfaltne zmesi	Delež bitumenske veziva v asfaltni zmesi (%)	Cena bitumenskega veziva v asfaltni zmesi (€/t)	Cena asfaltne zmesi (€/t)
AC 8 surf B50/70	6,2	15,69	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65	6,0	27,74	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	7,6	35,13	130,80
AC 11 surf B50/70	5,7	14,43	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65	5,7	26,35	105,00



Slika 21: Cena bitumenskega veziva v asfaltni zmesi

Figure 21: The price of bituminous binder in the asphalt mixture



Slika 22: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja bitumensko vezivo

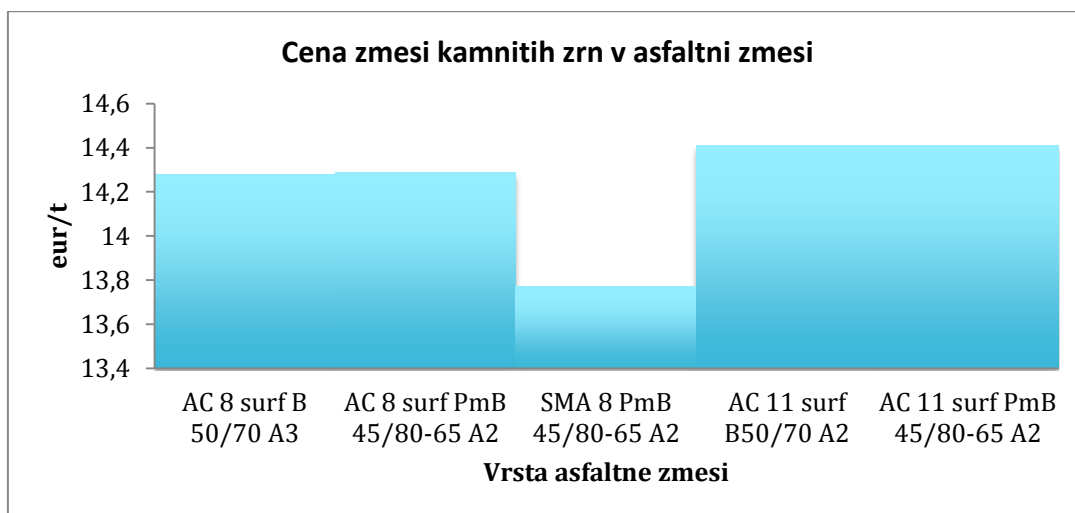
Figure 22: The share price of asphalt mixture represented by bituminous binder

- Zmes kamnitih zrn

Preglednica 35: Cena zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi

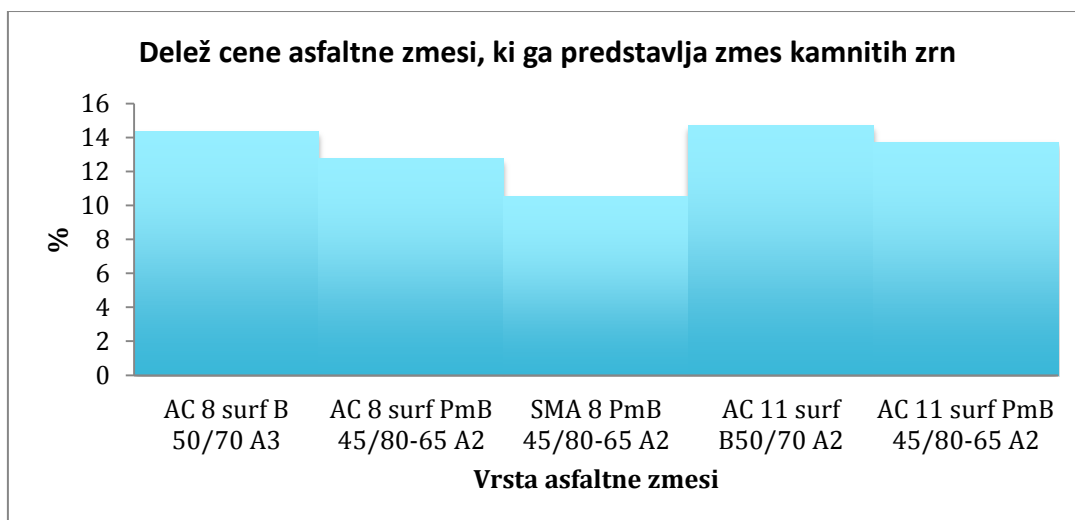
Table 35: The price of aggregate in the asphalt mixture

Vrsta asfaltna zmesi	Delež zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi (%)	Cena zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi (€/t)	Cena asfaltna zmesi (€/t)
AC 8 surf B50/70	93,8	14,28	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65	94,0	14,29	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	92,4	13,77	130,80
AC 11 surf B50/70	94,3	14,41	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65	94,3	14,41	105,00



Slika 23: Cena zmesi kamnitih zrn v asfaltni zmesi

Figure 23: The price of aggregate in the asphalt mixture



Slika 24: Delež cene asfaltna zmesi, ki ga predstavlja zmes kamnitih zrn

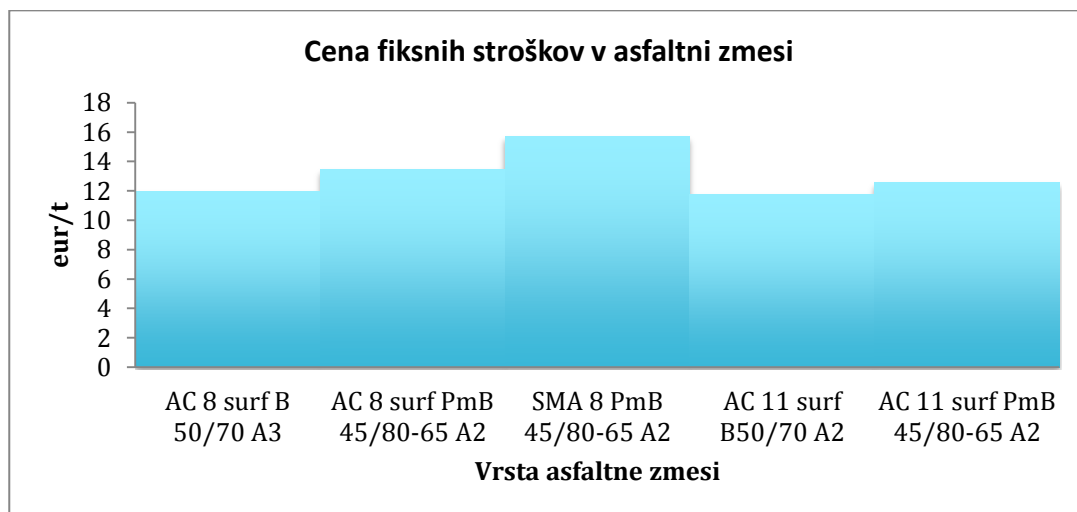
Figure 24: The share price of asphalt mixture represented by aggregate

- Fiksni stroški

Preglednica 36: Cena fiksnih stroškov v asfaltni zmesi

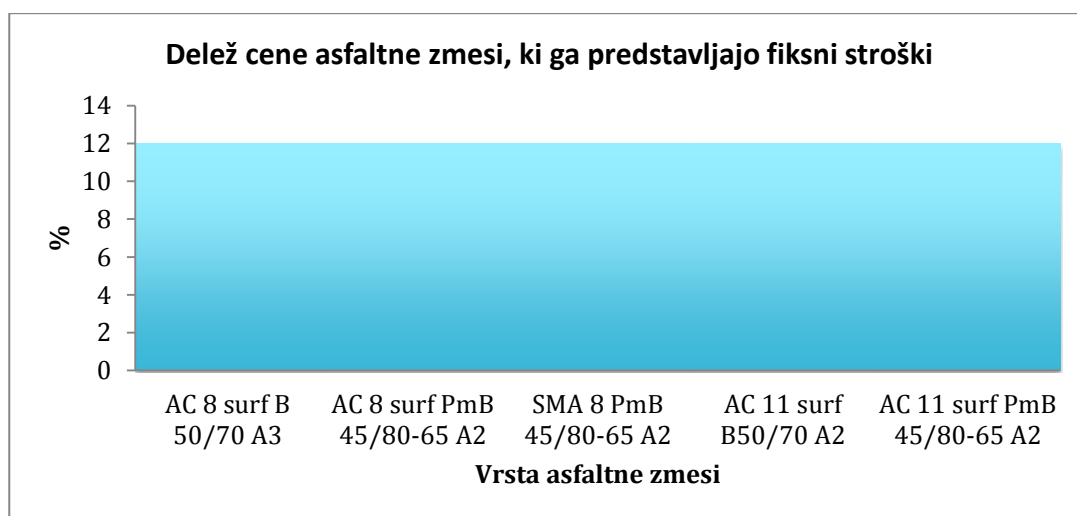
Table 36: Fixed costs in asphalt mixture

Vrsta asfaltne zmesi	Cena fiksnih stroškov v asfaltni zmesi (€/t)	Cena asfaltne zmesi (€/t)
AC 8 surf B50/70	11,96	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65	13,46	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	15,70	130,80
AC 11 surf B50/70	11,76	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65	12,60	105,00



Slika 25: Cena fiksnih stroškov v asfaltni zmesi

Figure 25: Fixed costs in asphalt mixture



Slika 26: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavljajo fiksni stroški

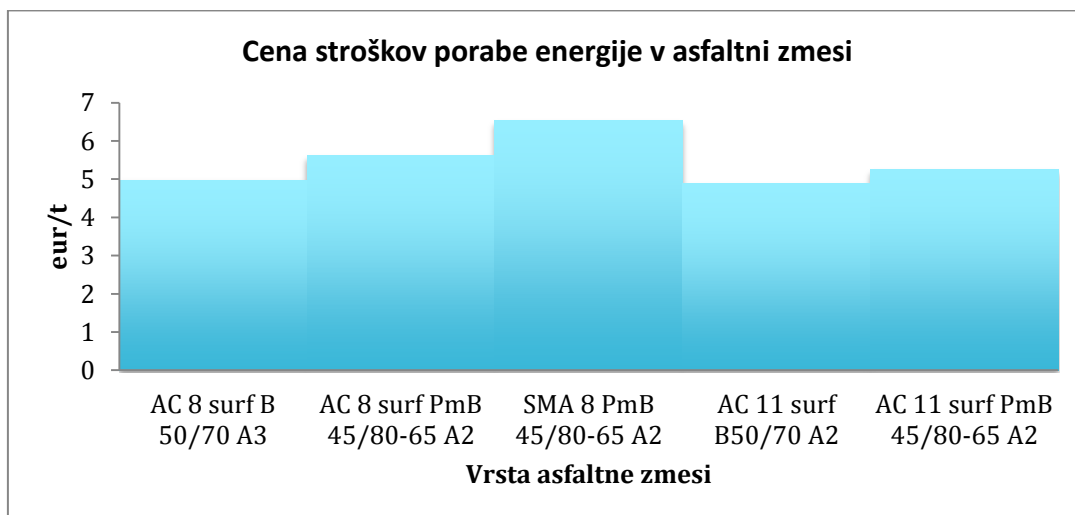
Figure 26: The share price of asphalt mixtures which represent fixed costs

- Stroški porabe energije

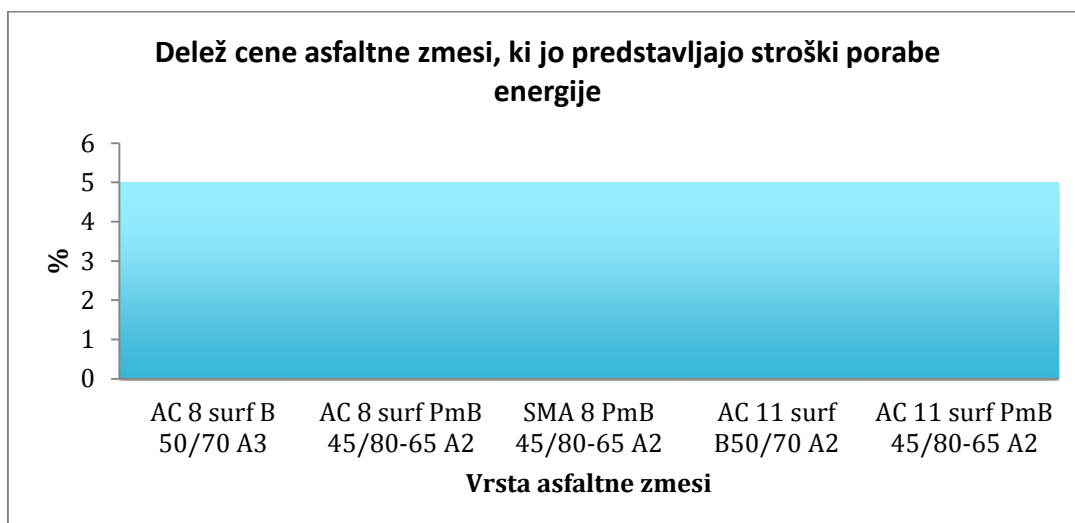
Preglednica 37: Cena stroškov porabe energije v asfaltni zmesi

Table 37: The price of energy consumption in the asphalt mixture

Vrsta asfaltna zmesi	Cena stroškov porabe energije v asfaltni zmesi (€/t)	Cena asfaltna zmesi (€/t)
AC 8 surf B50/70	4,98	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65	5,61	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	6,54	130,80
AC 11 surf B50/70	4,90	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65	5,25	105,00



Slika 27: Cena stroškov porabe energije v asfaltni zmesi
Figure 27: The price of energy consumption in the asphalt mixture



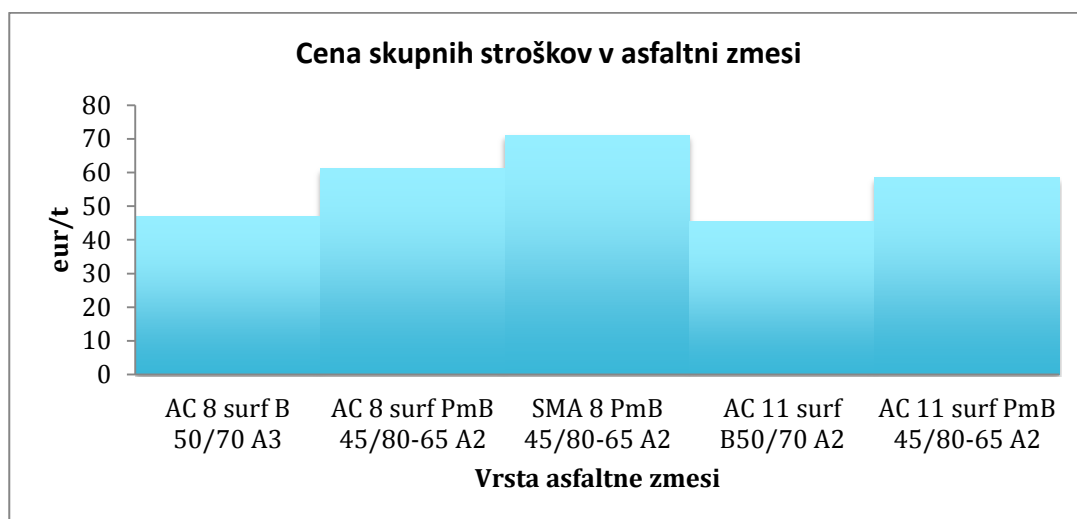
Slika 28: Delež cene asfaltna zmesi, ki jo predstavljajo stroški porabe energije
Figure 28: The share price of asphalt mixtures which represent energy consumption

- Skupni stroški

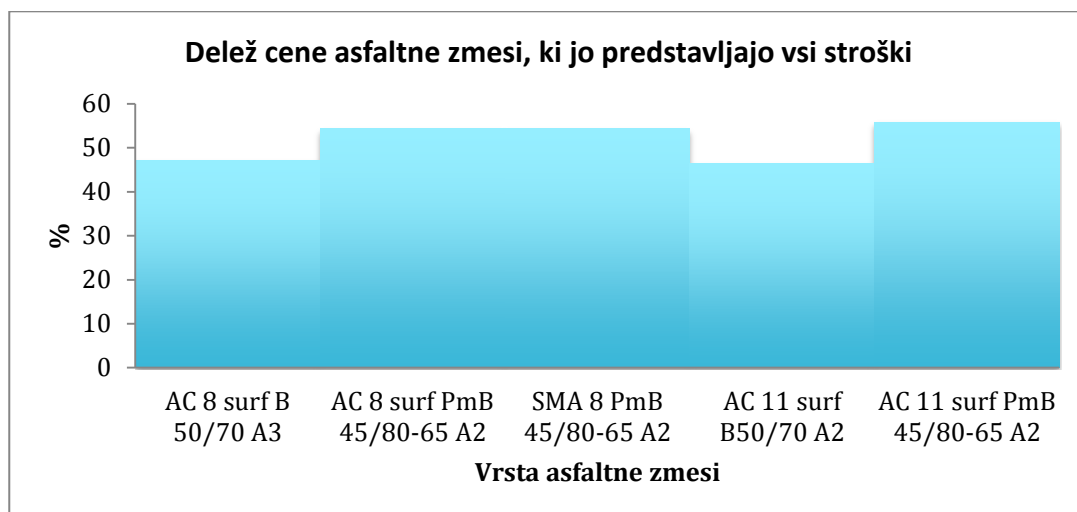
Preglednica 38: Cena skupnih stroškov v asfaltni zmesi

Table 38: Price of the total cost of asphalt mixtures

Vrsta asfaltne zmesi	Cena skupnih stroškov v asfaltni zmesi (€/t)	Cena asfaltne zmesi (€/t)
AC 8 surf B50/70	46,91	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65	61,10	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	71,14	130,80
AC 11 surf B50/70	45,50	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65	58,61	105,00



Slika 29: Cena skupnih stroškov v asfaltni zmesi
Figure 29: Price of the total cost of asphalt mixtures



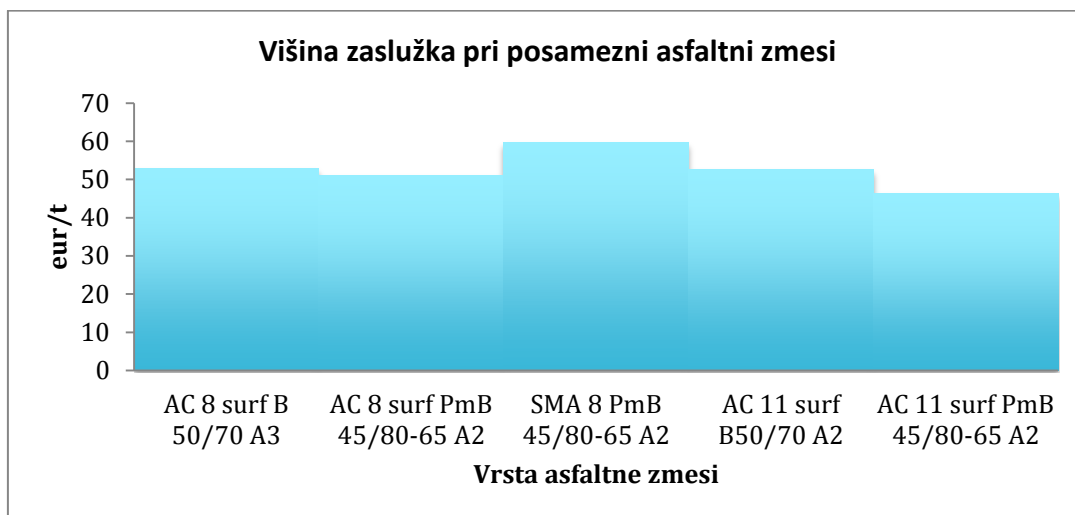
Slika 30: Delež cene asfaltne zmesi, ki jo predstavljajo vsi stroški
Figure 30: The share price of asphalt mixtures which represent the total cost

- Zasluzek

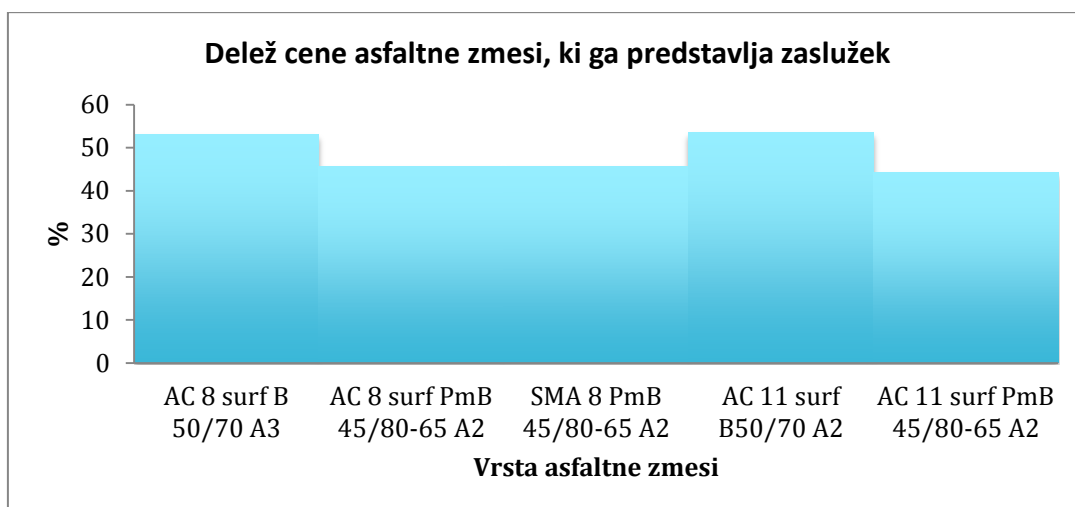
Preglednica 39: Višina zasluzka

Table 39: The amount of earnings

Vrsta asfaltne zmesi	Višina zasluzka v asfaltni zmesi (€/t)	Cena asfaltne zmesi (€/t)
AC 8 surf B50/70	52,79	99,70
AC 8 surf PmB 45/80-65	51,10	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	59,66	130,80
AC 11 surf B50/70	52,50	98,00
AC 11 surf PmB 45/80-65	46,39	105,00



Slika 31: Višina zasluzka pri posamezni asfaltni zmesi
Figure 31: The amount of earnings for the individual asphalt mixture



Slika 32: Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja zasluzek
Figure 32: The share price of asphalt mixtures which represents the earnings

Pri določanju cen asfaltnih zmesi, ki jih ponuja asfaltni obrat, se ne uporablja posebnih normativov, ki bi bili enotni za vse asfaltne obrate. Vsak posamezni asfaltni obrat določa ceno glede na gibanje cen vhodnih materialov in energentov. Ker cene predvsem bitumenskih veziv precej nihajo, se pripravljajo novi ceniki asfaltnih zmesi vsak mesec.

6. ANALIZA REZULTATOV IN SKLEPI

6.1 ANALIZA REZULTATOV

V magistrskem delu je bilo analiziranih pet različnih asfaltnih zmesi obrabnih plasti, in sicer:

- AC 8 surf B 50/70 A3,
- AC 8 surf PmB 45/80-65 A2,
- SMA 8 PmB 45/80-65 A2,
- AC 11 surf B50/70 A2,
- AC 11 surf PmB 45/80-65 A2.

Oznaka A predstavlja razred bituminizirane zmesi (A1, A2, A3, A4, A5), ki je opredeljen glede na PLDO = povprečno letno dnevno prometno obremenitev in PLDP = povprečno letno dnevno gostoto prometa.

- **Razred A2:** zelo težka/težka prometna obremenitev (> 800 do 3000 / > 300 do 800 , PLDO) oziroma zelo velika/velika gostota prometa (> 10000 do 20000 / > 5000 do 10000 , PLDP);
- **Razred A3:** srednja prometna obremenitev (> 80 do 300 , PLDO) oziroma srednje velika gostota prometa (> 2000 do 5000 , PLDP);

Končna cena asfaltnih zmesi:

Če primerjamo končno ceno asfaltnih zmesi, je razvidno, da so asfaltne zmesi AC surf s polimeri modificiranim bitumnom 7–12 % dražje od asfaltnih zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom. Še večja je razlika med AC 11 surf z navadnim cestogradbenim bitumnom in SMA 8 s polimeri modificiranim bitumnom, kjer je slednja asfaltna zmes dražja kar za 25 %.

Cena vhodnih podatkov:

- Bitumensko vezivo: razlika v ceni bitumenskega veziva B50/70 in PmB 45/80-65 je več kot očitna. S polimeri modificiran bitumen je od navadnega cestogradbenega bitumna dražji za kar 44 %.

Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja bitumensko vezivo, se precej razlikuje glede na uporabljen tip bitumenskega veziva. Giblje se med 14,7–15,7 % za asfaltne zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom ter med 24,7–26,9 % za asfaltne zmesi s polimeri modificiranim bitumnom.

Masni delež bitumenskega veziva predstavlja 5,7–6,2 % v asfaltnih zmesih z uporabo B50/70 in 6,0–7,6 % v asfaltnih zmesih z uporabo PmB 45/80-65.

Razlika v deležu cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja bitumensko vezivo, se pojavi zaradi precej dražjega PmB 45/80-65, nekaj pa prispeva tudi delež bitumenskega veziva v sami asfaltni zmesi, ki je pri uporabi PmB 45/80-65 višji.

- Agregat: pri vseh obravnavanih asfaltnih zmesih je bil upoštevan razred zmesi kamnitih zrn Z2, kar pomeni, da se za frakcijo 0–2 mm lahko uporabi karbonatni agregat, za frakcije 2–4 mm, 4–8 mm, 8–11.2 mm, 11.2–16 mm pa je zahtevan silikatni agregat. Cena zmesi kamnitih zrn je odvisna od sestave (deleža posamezne frakcije). Frakciji 0–2 mm in 11.2–16 mm (8–11.2 mm) sta najdražji, vendar kljub temu največja razlika v ceni med posameznima frakcijama ni velika in znaša 1,06 €/t.

Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja agregat, se razlikuje manj glede na uporabljen tip bitumenskega veziva kot pri deležu bitumenskega veziva. Giblje se med 14,32–14,70 % za asfaltne zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom ter med 10,53–13,72 % za asfaltne zmesi s polimeri modificiranim bitumnom.

Masni delež agregata pa predstavlja 93,8–94,3 % v asfaltnih zmesih z uporabo B50/70 in 92,4–94,3% v asfaltnih zmesih z uporabo PmB 45/80-65. Delež cene asfaltne zmesi, ki jo predstavlja agregat, je večji pri asfaltnih zmesih z uporabo B50/70 in manjši pri asfaltnih zmesih z uporabo PmB 45/80-65. Razlika je posledica večjega masnega deleža agregata v asfaltnih zmesih z bitumenskim vezivom B50/70 ter višje končne cene asfaltne zmesi z bitumenskim vezivom PmB 45/80-65.

Cena fiksnih stroškov:

Delež cene asfaltne zmesi, ki ga predstavljajo fiksni stroški, je ocenjen na 12 % in je pri vseh asfaltnih zmesih enak. Če pa primerjamo višino fiksnih stroškov v €/t, je fiksni strošek za vsako posamezno zmes drugačen. Vezan je na končno ceno asfaltne zmesi, ki je za vsako posamezno asfaltno zmes drugačna. Npr. SMA 8 PmB 45/80-65 A2, ki je najdražja med obravnavanimi asfaltnimi zmesmi, ima tudi najvišje fiksne stroške.

Cena stroškov porabe energije:

Prav tako kot pri fiksnih stroških je pri stroških porabe energije ocenjen enotni delež za vse asfaltne zmesi, ki znaša 5 %. Tudi tu je višina stroškov porabe energije vezana na končno ceno asfaltne zmesi. Najdražja asfaltna zmes ima najvišje stroške porabe energije, najcenejša asfaltna zmes pa najnižje.

Cena skupnih stroškov:

Višina skupnih stroškov narašča sorazmerno z višino končne cene asfaltne zmesi. Asfaltne zmesi z uporabo bitumenskega veziva B50/70 so cenejše, zato so tudi stroški nižji, medtem ko so asfaltne zmesi z uporabo bitumenskega veziva PmB 45/80-65 dražje ter cena skupnih stroškov višja.

Višina zaslužka:

Delež zaslužka se giblje od 45,54 do 53,57 % cene asfaltne zmesi. Večji delež zaslužka je pri asfaltnih zmesih z navadnim cestogradbenim bitumnom, manjši pa pri asfaltnih zmesih s polimeri modificiranih bitumenskih vezivih. Če primerjamo še višino zaslužka v €/t, pa se situacija spremeni. Najvišji zaslužek 59,66 €/t zasledimo pri asfaltni zmesi SMA 8 PmB 45/80-65, sledita ji asfaltni zmesi AC 8 surf B50/70 z 52,79 €/t in AC 11 surf B50/70 z 52,50 €/t ter AC 8 surf PmB 45/80-65 z 51,10 €/t in na zadnjem mestu AC 11 surf PmB 45/80-65 s 43,39 €/t.

Stroškovna analiza posameznih asfaltnih zmesi je pokazala zanimive rezultate. Bitumenska veziva modificirana s polimeri so približno 44 % dražja od navadnih cestogradbenih bitumenskih veziv, tako da je iz tega vidika višja cena asfaltnih zmesi z uporabo s polimeri modificiranih bitumnov upravičena.

Vpliv bitumenskega veziva na končno ceno asfaltne zmesi je 14,7–15,7 % za asfaltne zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom ter med 24,7–26,9 % za asfaltne zmesi s polimeri modificiranim bitumnom. Tudi ta podatek kaže na višjo ceno asfaltnih zmesi z uporabo PmB 45/80-65. Delež cene, ki ga predstavlja agregat, je precej podoben ne glede na uporabljen tip bitumenskega veziva. Giblje se od 10,53 do 13,72 %. Če upoštevamo še fiksne stroške, ki so ocenjeni na 12 % cene asfaltne zmesi in stroške porabe energije, ki so ocenjeni na 5 % cene asfaltne zmesi, dobimo delež, ki predstavlja zaslužek. Giblje se med 45,54 do 53,57 %. Višji delež zaslužka je pri asfaltnih zmesih z B50/70, ta znaša 52,95 % oziroma 53,57 %, nižji delež zaslužka pa pri asfaltnih zmesih s PmB 45/80-65, ki znaša 44,18–45,61 %.

6.2 PRIMERJAVA CEN ASFALTNIH ZMESI V SLOVENIJI, AVSTRIJI, ŠVICI IN NA HRVAŠKEM

V sledečem poglavju je predstavljena primerjava cen asfaltnih zmesi v Sloveniji, Avstriji, Švici in na Hrvaškem. Izbira držav izvira predvsem na podobnih klimatskih pogojih ter na podlagi tega tudi proizvodnji podobnih oziroma enakih asfaltnih zmesi.

Cene obravnavanih asfaltnih zmesi so bile posredovane s strani podjetja Pomgrad – Tovarna asfalta Pomurje d.o.o. iz Murske Sobote, Slovenija, cene podjetja Salzburger Liefer – Asphalt GmbH & Co OG iz Salzburga, Avstrija, so bile pridobljene s spleta, prav tako so bile s spleta pridobljene cene

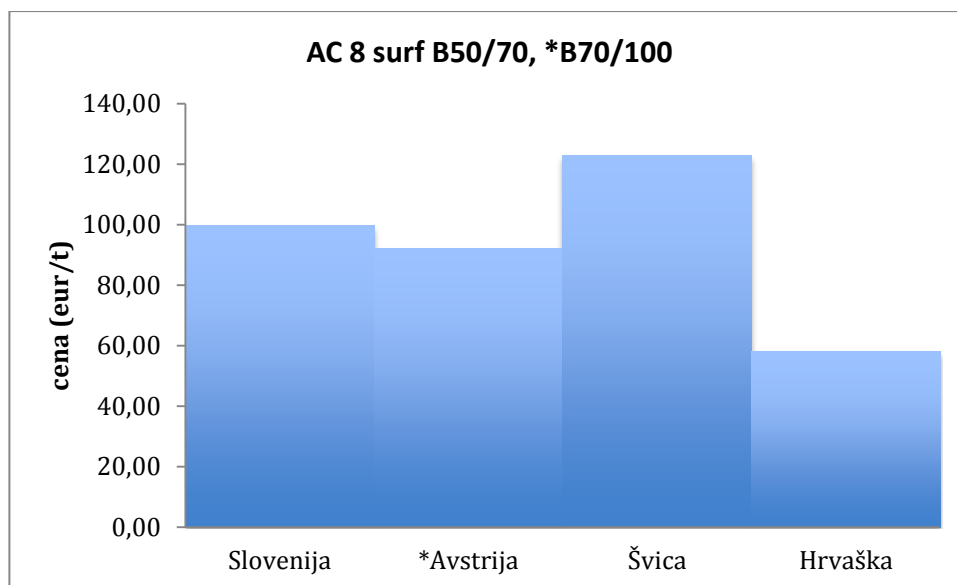
podjetja Belagswerk Hasle AG iz Burgdorfa, Švica. Cene asfaltnih zmesi na Hrvaškem pa je posredovalo podjetje Hvar d.o.o. iz Samobora. Primerjava različnih držav bo pokazala razmerje med cenami obravnavanih asfaltnih zmesi v vsaki posamezni državi ter podobnosti oziroma razlike s cenami v Sloveniji. Tuje valute (CHF in HRK) so bile preračunane v evre (€) po tečajni listi Banke Slovenije na dan 06.09.2016.

6.2.1 PRIMERJAVA CEN ASFALTNIH ZMESI MED DRŽAVAMI

*Preglednica 40: Cena asfaltne zmesi AC 8 surf B50/70, *B70/100*

*Table 40: The price of AC 8 surf B50/70, *B70/100*

AC 8 surf B50/70 *B70/100	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
Slovenija	99,70
*Avstrija	91,99
Švica	122,68
Hrvaška	57,94



*Slika 33: Primerjava cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 v Sloveniji, *Avstriji in na Hrvaškem*

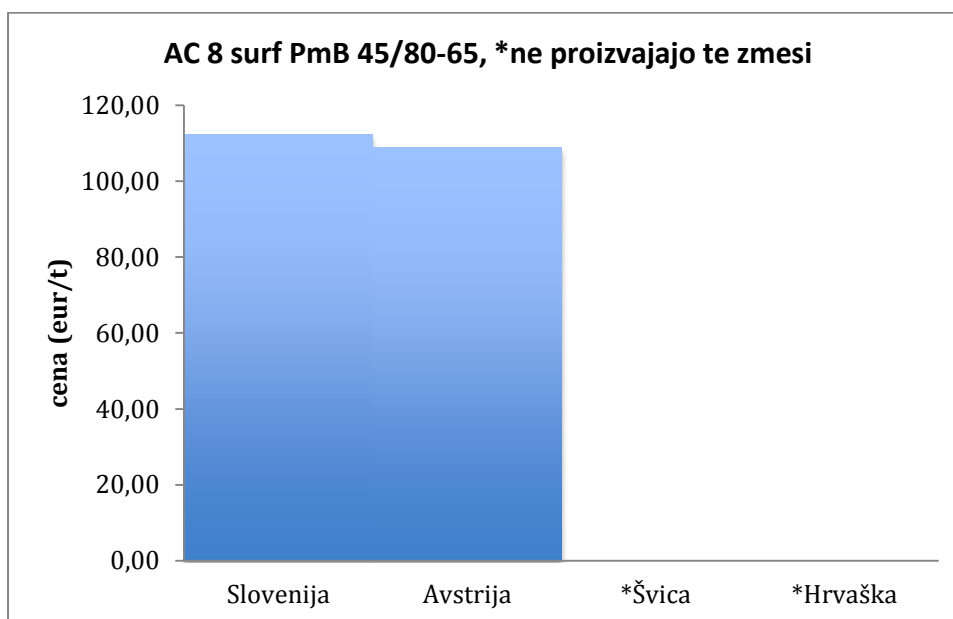
*Figure 33: Comparison of prices of AC 8 surf B50/70, *B70/100 in Slovenia, *Austria, Switzerland and Croatia*

Asfaltno zmes AC 8 surf B50/70 proizvajajo v Sloveniji, Švici in na Hrvaškem, medtem ko obravnavani asfaltni obrat v Avstriji proizvaja asfaltno zmes z mehkejšim bitumnom, in sicer AC 8 surf B70/100. Cene se gibljejo od 57,94 €/t na Hrvaškem do 122,68 €/t v Švici. Cena asfaltne zmesi v Sloveniji in Avstriji pa je podobna in znaša 99,70 €/t oziroma 91,99 €/t.

Preglednica 41: Cena asfaltne zmesi AC 8 surf PmB45/80-65

Table 41: The price of AC 8 surf PmB45/80-65

AC 8 surf PmB 45/80-65	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
Slovenija	112,20
Avstrija	108,73
Švica	Ne proizvajajo te zmesi
Hrvaška	Ne proizvajajo te zmesi



Slika 34: Primerjava cen AC 8 surf PmB 45/80-65 v Sloveniji, Avstriji, *Švici in na *Hrvaškem

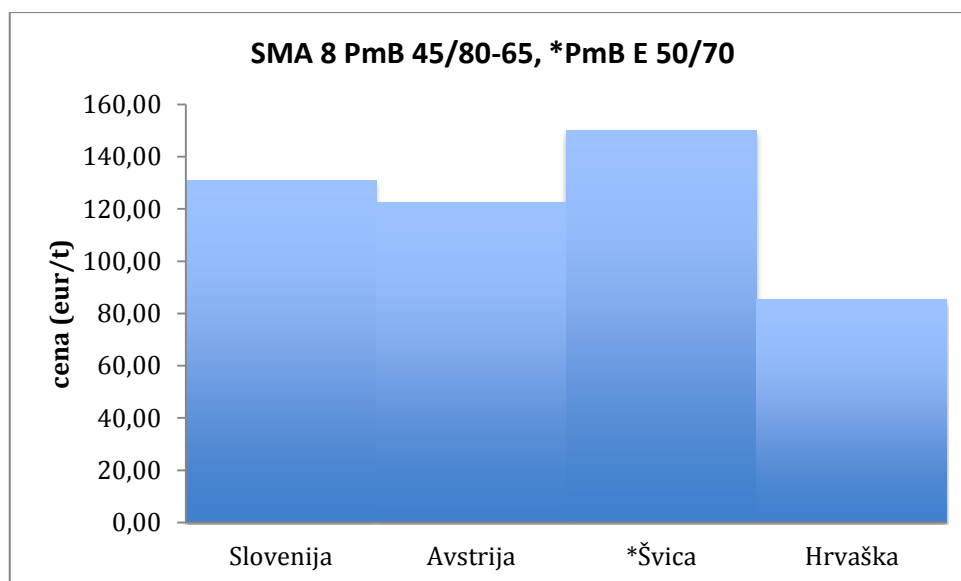
Figure 34: Comparison of prices of AC 8 PmB 45/80-65 in Slovenia, Austria, *Switzerland and *Croatia

Primerjava cen asfaltne zmesi AC 8 surf PmB 45/80-65 v Sloveniji in Avstriji je še bolj podobna kot pri prejšnji zmesi, saj razlika znaša le 3,47 €/t; V Sloveniji znaša cena AC 8 surf PmB 45/80-65 112,20 €/t, v Avstriji pa 108,73 €/t. V Švici in na Hrvaškem obravnavane asfaltne zmesi ne proizvajajo.

Preglednica 42: Cena asfaltne zmesi SMA 8 PmB45/80-65, *PmB E 50/70

Table 42: The price of SMA 8 PmB45/80-65, *PmB E 50/70

SMA 8 PmB 45/80-65 *PmB E 50/70	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
Slovenija	130,80
Avstrija	122,57
*Švica	150,14
Hrvaška	85,34



Slika 35: Primerjava cen SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70 v Sloveniji, Avstriji, *Švici in na Hrvaškem

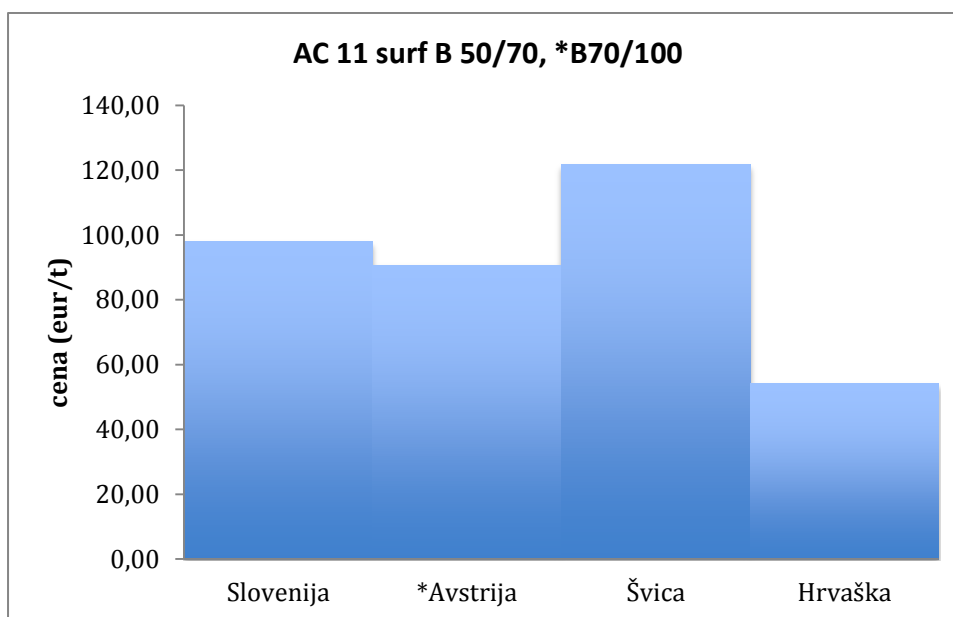
Figure 35: Comparison of prices of SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70 in Slovenia, Austria, *Switzerland and Croatia

Drobir z bitumenskim mastiksom z uporabo s polimeri modificiranega bitumna se proizvaja v vseh obravnavanih asfaltnih obratih v vseh štirih državah. Posebnost se pojavi le pri asfaltni zmesi, ki se proizvaja v Švici, kjer ima s polimeri modificirano bitumensko vezivo malo drugačne karakteristike. Cena SMA 8 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70 je v primerjavi z ostalimi asfaltnimi zmesmi najvišja. Giblje se od 85,34 €/t na Hrvaškem do 150,14 €/t v Švici. V Sloveniji znaša cena za obravnavano asfaltno zmes 130,80 €/t, v Avstriji pa 122,57 €/t.

Preglednica 43: Cena asfaltne zmesi AC 11 surf B50/70, *B70/100

Table 43: The price of AC 11 surf B50/70, *B70/100

AC 11 surf B50/70 *B70/100	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
Slovenija	98,00
*Avstrija	90,72
Švica	121,76
Hrvaška	54,27



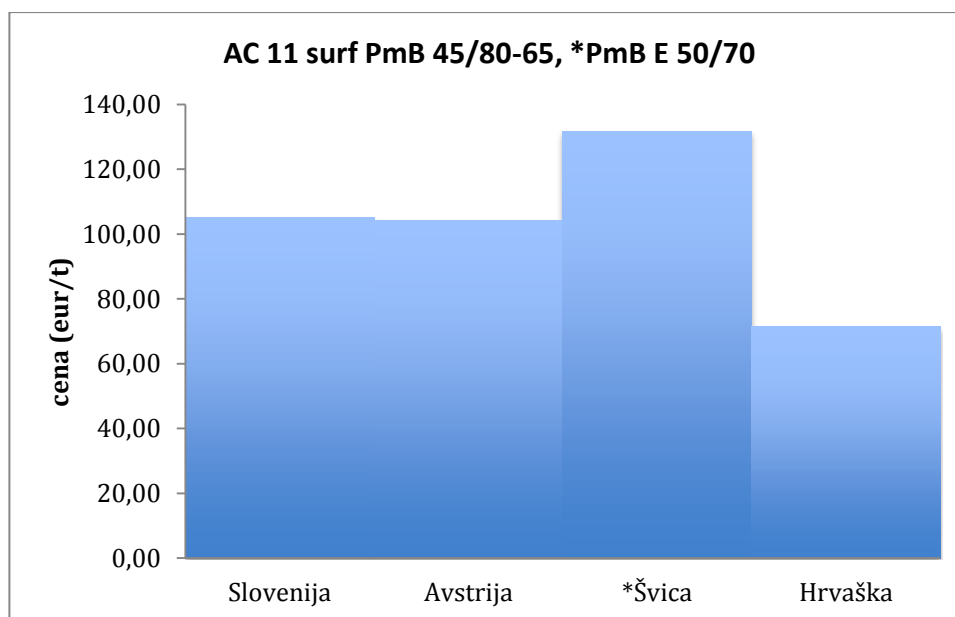
Slika 36: Primerjava cen AC 11 surf B50/70 (*B70/100) v Sloveniji, *Avstriji, Švici in na Hrvaškem

Figure 36: Comparison of prices of AC 11 surf B50/70 (*B70/100) in Slovenia, *Austria, Switzerland and Croatia

Prav tako kot asfaltno zmes AC 8 surf B50/70 tudi AC 11 surf B50/70 proizvajajo asfaltni obrati v Sloveniji, Švici in na Hrvaškem, asfaltni obrat v Avstriji pa proizvaja AC 11 surf B70/100. Najnižja cena asfaltne zmesi je na Hrvaškem, kjer znaša 54,27 €/t, najvišja pa v Švici, kjer znaša 121,76 €/t. Kot je razvidno tudi pri ostalih asfaltnih zmesih, sta si ceni v Sloveniji in Avstriji najbolj podobni. V Sloveniji znaša cena 98,00 €/t, v Avstriji pa 90,72 €/t.

*Preglednica 44: Cena asfaltne zmesi AC 11 surf PmB45/80-65, *PmB E 50/70**Table 44: The price of AC 11 surf PmB45/80-65, *PmB E 50/70*

AC 11 surf PmB45/80-65, *PmB E 50/70	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
Slovenija	105,00
Avstrija	104,21
*Švica	131,83
Hrvaška	71,52

*Slika 37: Primerjava cen AC 11 surf PmB45/80-65 (*PmB E 50/70) v Sloveniji, Avstriji, *Švici in na Hrvaškem**Figure 37: Comparison of prices of AC 11 PmB45/80-65(*PmB E 50/70) in Slovenia, Austria, *Switzerland and Croatia*

Tudi zadnja primerjava cen, ki zajema AC 11 surf PmB45/80-65 (*PmB E 50/70), kaže enako razporeditev cen. Najceneša asfaltna zmes je na Hrvaškem, in sicer 71,52 €/t, najdražja pa v Švici, kjer znaša 131,83 €/t. Sledi ji Slovenija s ceno 105,00 €/t in Avstrija s ceno 104,21 €/t.

Vzorec razmerja med cenami različnih asfaltnih zmesi se v obravnavanih državah ponavlja. V Švici, kot najbolj stabilni državi, z najvišjim standardom so cene vseh asfaltnih zmesi najvišje. Na Hrvaškem, ki ima najnižji standard, so posledično cene vseh asfaltnih zmesi najnižje. Najbolj podobne, pri posameznih asfaltnih zmesih skoraj enake, pa so cene v Sloveniji in Avstriji. Preseneča pa dejstvo, da so cene, čeprav za odtenek, v Sloveniji višje.

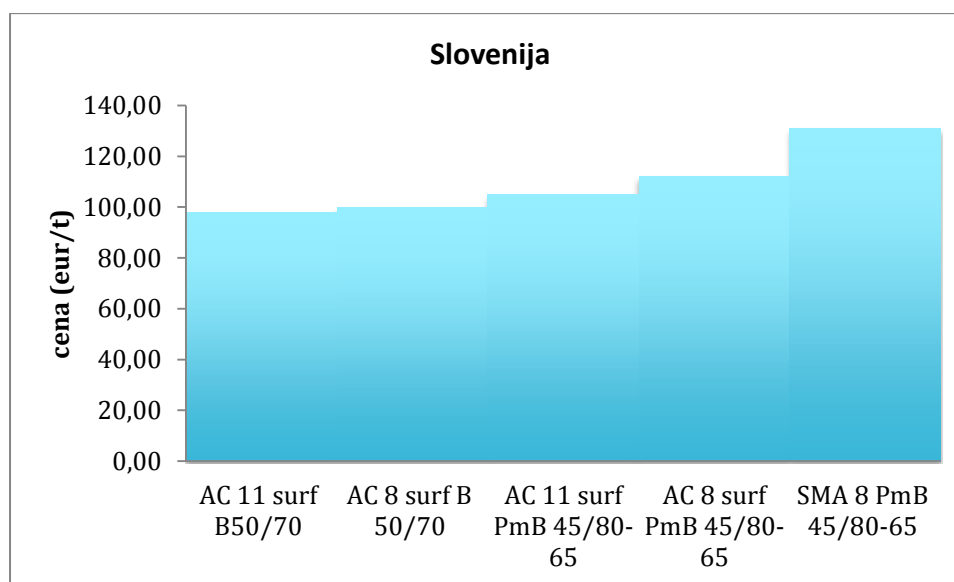
6.2.2 PRIMERJAVA CEN ASFALTNIH ZMESI V POSAMEZNI DRŽAVI

- Slovenija

Preglednica 45: Cene asfaltnih zmesi v Sloveniji

Table 45: The prices of asphalt mixtures in Slovenia

Vrsta asfaltne zmesi	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
AC 11 surf B50/70	98,00
AC 8 surf B50/70	99,70
AC 11 surf PmB 45/80-65	105,00
AC 8 surf PmB 45/80-65	112,20
SMA 8 PmB 45/80-65	130,80



Slika 38: Primerjava cen asfaltnih zmesi v Sloveniji

Figure 38: Comparison of prices of asphalt mixtures in Slovenia

Razmerje med cenami posameznih asfaltnih zmesi glede na uporabo določenega tipa bitumenskega veziva je naslednje:

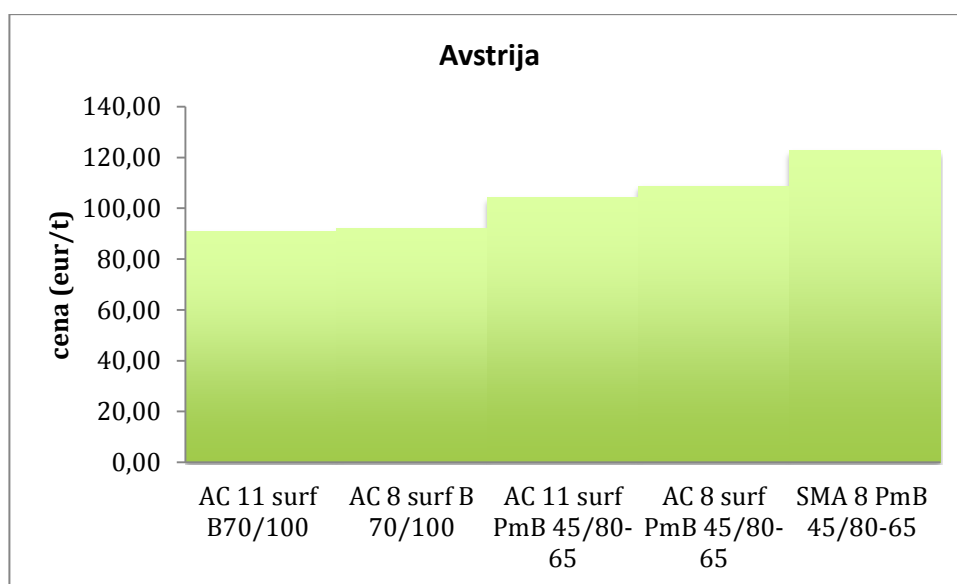
- AC 11 surf B50/70 je 6,7 % cenejša od AC 11 surf PmB 45/80-65,
- AC 11 surf B50/70 je 12,6 % cenejša od AC 8 surf PmB 45/80-65,
- AC 11 surf B50/70 je 25 % cenejša od SMA 8 PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B50/70 je 11,1 % cenejša od AC 8 surf PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B50/70 je 5% cenejša od AC 11 surf PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B50/70 je 23,8 % cenejša od SMA 8 PmB 45/80-65.

- Avstrija

Preglednica 46: Cene asfaltnih zmesi v Avstriji

Table 46: The prices of asphalt mixtures in Austria

Vrsta asfaltne zmesi	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
AC 11 surf B70/100	90,72
AC 8 surf B70/100	91,99
AC 11 surf PmB 45/80-65	104,21
AC 8 surf PmB 45/80-65	108,73
SMA 8 PmB 45/80-65	122,57



Slika 39: Primerjava cen asfaltnih zmesi v Sloveniji

Figure 39: Comparison of prices of asphalt mixtures in Slovenia

Razmerje med cenami posameznih asfaltnih zmesi glede na uporabo določenega tipa bitumenskega veziva je naslednje:

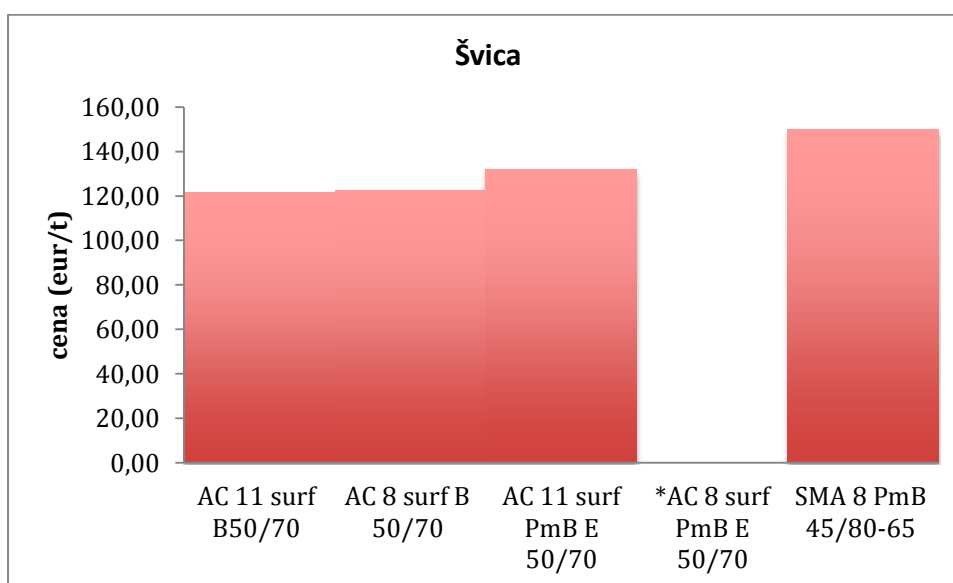
- AC 11 surf B70/100 je 12,9 % cenejši od AC 11 surf PmB 45/80-65,
- AC 11 surf B70/100 je 16,5 % cenejši od AC 8 surf PmB 45/80-65,
- AC 11 surf B70/100 je 26 % cenejši od SMA 8 PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B70/100 je 15,4 % cenejši od AC 8 surf PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B70/100 je 11,7 % cenejši od AC 11 surf PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B70/100 je 25 % cenejši od SMA 8 PmB 45/80-65.

- Švica

Preglednica 47: Cene asfaltnih zmesi v Švici

Table 47: The prices of asphalt mixtures in Switzerland

Vrsta asfaltne zmesi	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
AC 11 surf B50/70	121,76
AC 8 surf B50/70	122,68
AC 11 surf PmB E 50/70	131,83
*AC 8 surf PmB E 50/70	/
SMA 8 PmB E 50/70	150,14



Slika 40: Primerjava cen asfaltnih zmesi v Švici

Figure 40: Comparison of prices of asphalt mixtures in Switzerland

Razmerje med cenami posameznih asfaltnih zmesi glede na uporabo določenega tipa bitumenskega veziva je naslednje:

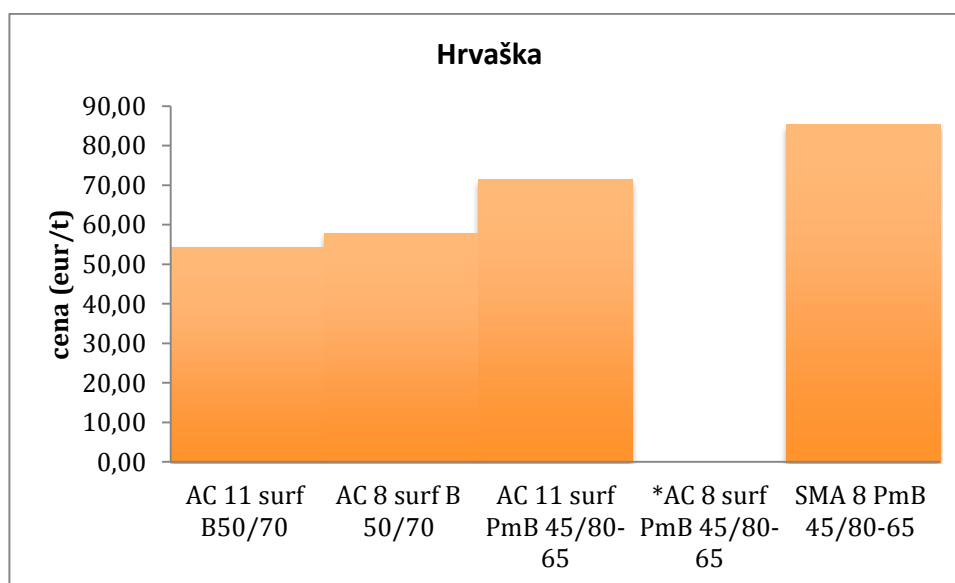
- AC 11 surf B50/70 je 7,6 % cenejši od AC 11 surf PmB E 50/70,
- AC 11 surf B50/70 je 18,9 % cenejši od SMA 8 PmB E 50/70,
- AC 8 surf B50/70 je 6,9 % cenejši od AC 11 surf PmB E 50/70,
- AC 8 surf B50/70 je 18,3 % cenejši od SMA 8 PmB E 50/70.

- Hrvaška

Preglednica 48: Cene asfaltnih zmesi na Hrvaškem

Table 48: The prices of asphalt mixtures in Croatia

Vrsta asfaltne zmesi	Cena asfaltne zmesi (€/t brez DDV)
AC 11 surf B50/70	54,27
AC 8 surf B50/70	57,94
AC 11 surf PmB 45/80-65	71,52
*AC 8 surf PmB 45/80-65	/
SMA 8 PmB 45/80-65	85,34



Slika 41: Primerjava cen asfaltnih zmesi na Hrvaškem
Figure 41: Comparison of prices of asphalt mixtures in Croatia

Razmerje med cenami posameznih asfaltnih zmesi glede na uporabo določenega tipa bitumenskega veziva je naslednje:

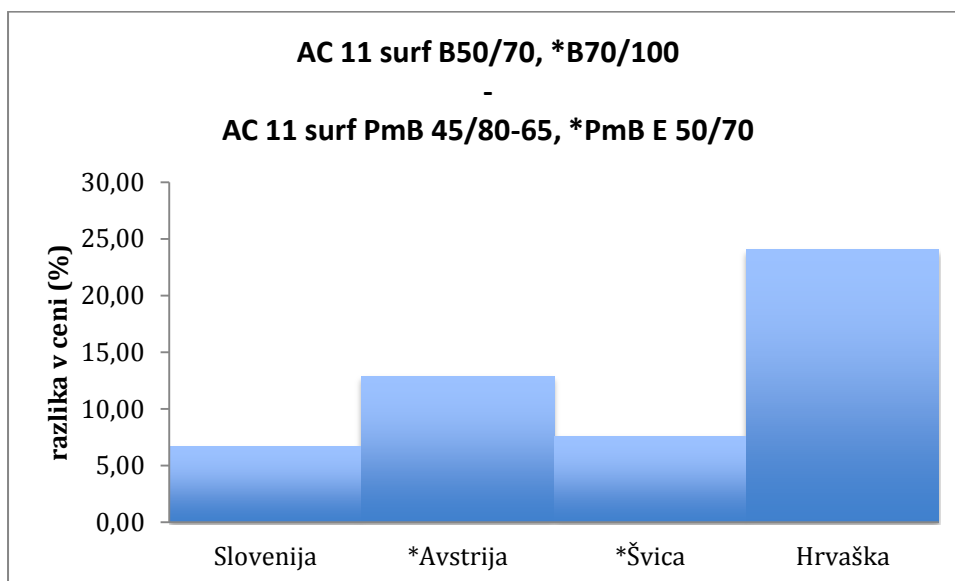
- AC 11 surf B50/70 je 24,1 % cenejši od AC 11 surf PmB 45/80-65,
- AC 11 surf B50/70 je 36,4 % cenejši od SMA 8 PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B50/70 je 19% cenejši od AC 11 surf PmB 45/80-65,
- AC 8 surf B50/70 je 32,1 % cenejši od SMA 8 PmB 45/80-65.

Če primerjamo cene glede na vrsto asfaltne zmesi in tip bitumna, uporabljenega v posamezni zmesi od najcenejše do najdražje zmesi, je vrstni red v vseh državah sledeč:

- AC 11 surf B50/70, *B70/100,
- AC 8 surf B50/70, *B70/100,

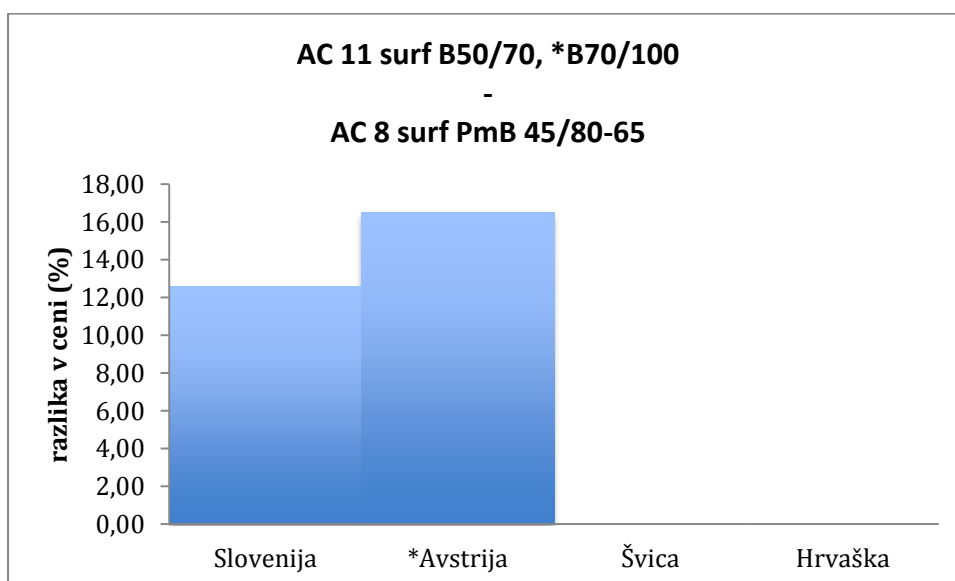
- AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70,
- AC 8 surf PmB 45/80-65,
- SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70.

Če primerjamo razmerje med cenami posameznih asfaltnih zmesi glede na uporabo določenega tipa bitumenskega veziva v obravnavanih državah, pa dobimo sledeče rezultate:



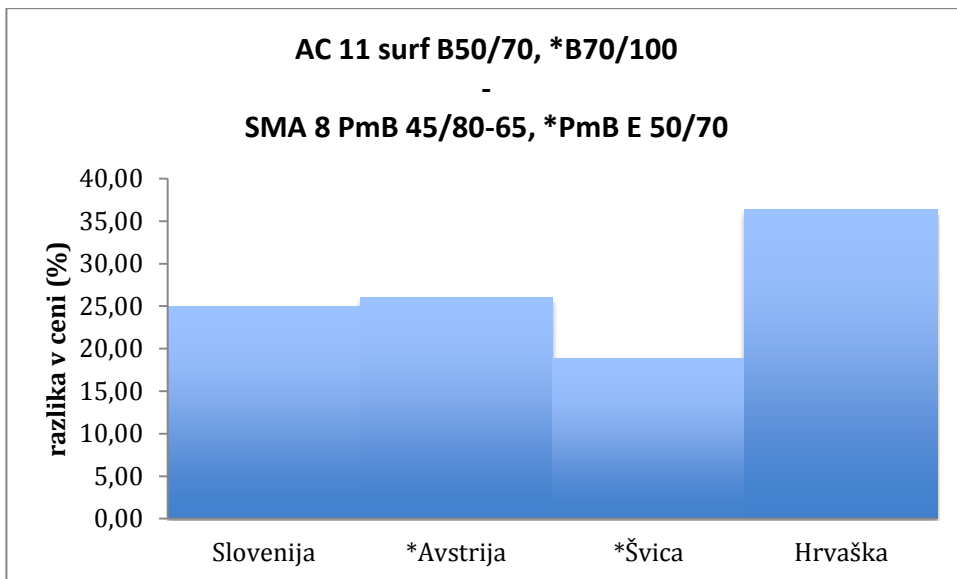
Slika 42: Razmerje cen AC 11 surf B50/70, *B70/100 in AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70

Figure 42: Price ratio of AC 11 surf B50/70, *B70/100 and AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70

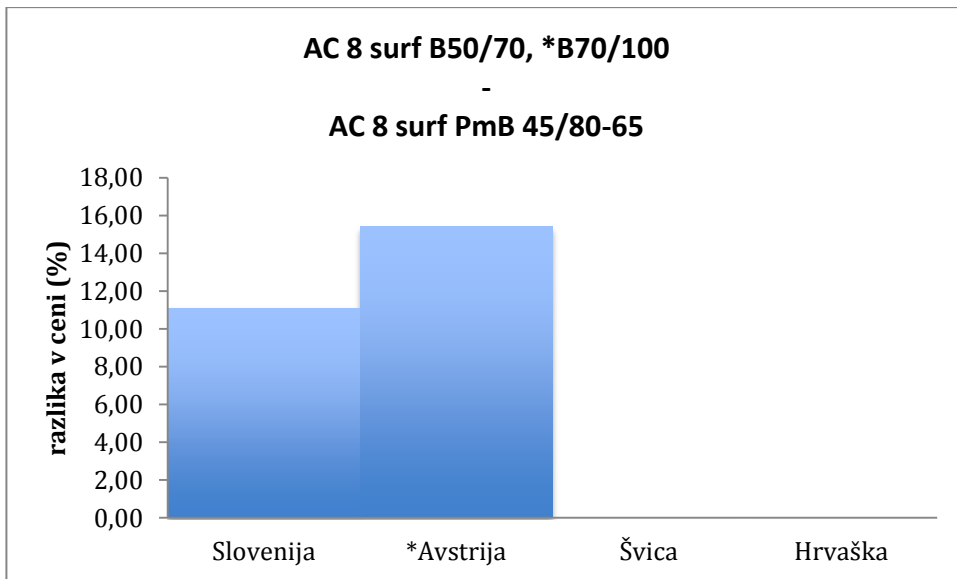


Slika 43: Razmerje cen AC 11 surf B50/70, *B70/100 in AC 8 surf PmB 45/80-65

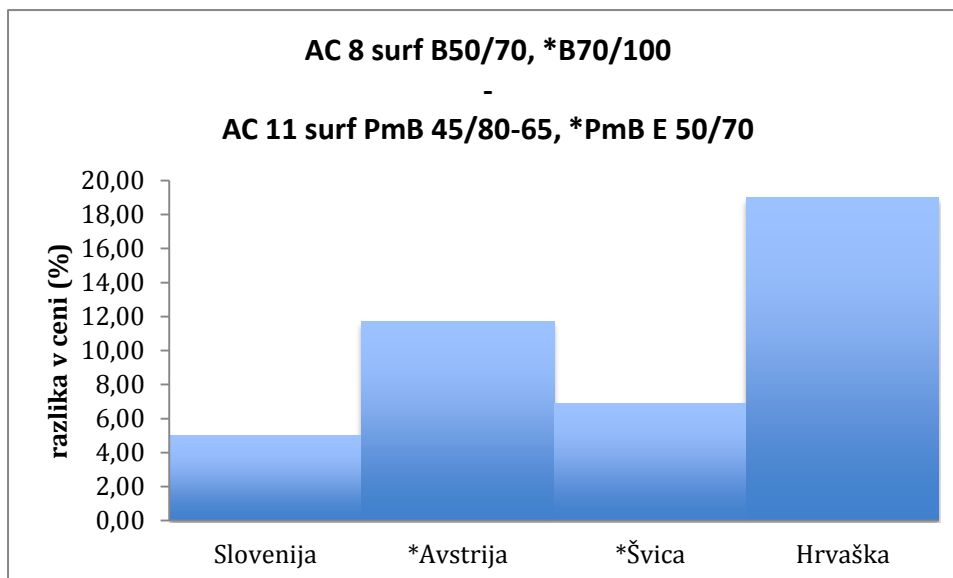
Figure 43: Price ratio of AC 11 surf B50/70, *B70/100 and AC 8 surf PmB 45/80-65



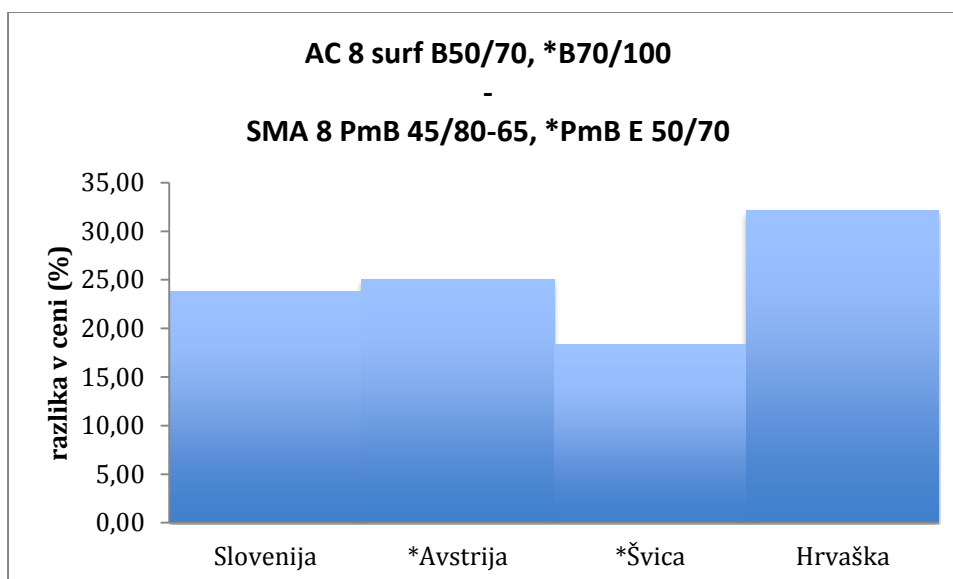
Slika 44: Razmerje cen AC 11 surf B50/70, *B70/100 in SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70
Figure 44: Price ratio of AC 11 surf B50/70, *B70/100 and SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70



Slika 45: Razmerje cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 in AC 8 surf PmB 45/80-65
Figure 45: Price ratio of AC 8 surf B50/70, *B70/100 and AC 8 surf PmB 45/80-65



Slika 46: Razmerje cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 in AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70
Figure 46: Price ratio of AC 8 surf B50/70, *B70/100 and AC 11 surf PmB 45/80-65, *PmB E 50/70



Slika 47: Razmerje cen AC 8 surf B50/70, *B70/100 in SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70
Figure 47: Price ratio of AC 8 surf B50/70, *B70/100 and SMA 8 PmB 45/80-65, *PmB E 50/70

Najmanjšo razliko med ceno asfaltne zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom v primerjavi z asfaltno zmesjo s polimeri modificiranim bitumnom imata Slovenija in Švica. Sledi jima Avstrija, na koncu, z največjo razliko, pa je Hrvaška. V Sloveniji so asfaltne zmesi z uporabo navadnega cestogradbenega bitumna cenejše od 5 % do 25 %, v Švici (obravnavani asfaltni obrat ne proizvaja AC 8 surf PmB 45/80-64) od 6,9 % do 18,9 %, v Avstriji od 11,7 % do 26 % in na Hrvaškem (obravnavani asfaltni obrat ne proizvaja AC 8 surf PmB 45/80-64) od 19 % do 36,4 %.

6.3 SKLEPI

Namen magistrskega dela je bil ugotoviti upravičenost višje cene asfaltnih zmesi obrabnih plasti, ki vsebujejo s polimeri modificirana bitumenska veziva. Izkazalo se je, da je določitev upravičenosti višje cene zelo kompleksna. Na končno ceno asfaltne zmesi vplivajo različni dejavniki, kot so: cena vhodnih materialov, ki jih predstavljata bitumensko vezivo in zmes kamnitih zrn, cena fiksnih stroškov asfaltne obrata ter cena stroškov porabe energije. Poleg same cene vhodnega materiala je pomemben tudi masni delež, ki ga predstavlja posamezna surovina.

Kot je opisano v poglavju proizvodnje asfaltnih zmesi, vplivata na stopnjo proizvodnje asfaltne obrata in s tem na končno ceno asfaltne zmesi tudi vsebnost vlage vstopnega agregata in temperatura proizvedene asfaltne zmesi, vendar ti dve komponenti pri izvedeni stroškovni analizi nista bili posebej obdelani, zajeti sta bili v postavki stroškov porabe energije.

Izhodišče za izvedbo stroškovne analize asfaltnih zmesi obrabnih plasti so bile recepture obravnavanih asfaltnih zmesi ter končne cene, ki so bile posredovane s strani podjetja Pomgrad – Tovarna Asfalta Pomurje d.o.o., Murska Sobota. Za izvedbo analize in lažje razumevanje vpliva posamezne komponente v asfaltni zmesi so v začetnih poglavjih predstavljene in opisane lastnosti vhodnih materialov, lastnosti asfaltnih zmesi ter postopek proizvodnje asfaltnih zmesi.

Dve glavni razliki med asfaltnimi zmesmi z uporabo B50/70 in PmB 45/80-65, ki neposredno vplivata na končno ceno asfaltne zmesi, sta: 44 % višja cena PmB 45/80-65 in temperatura skladiščenja bitumenskega veziva. Navadno cestogradbeno bitumensko vezivo B 50/70 se skladišči pri temperaturi 150°C, s polimeri modificirano bitumensko vezivo PmB 45/80-65 pa se skladišči pri 165°C.

Glede na analizo vseh stroškov, ki se pojavijo pri določanju končne cene asfaltnih zmesi je višja cena asfaltnih zmesi, ki vsebujejo s polimeri modificirana bitumenska veziva, upravičena. Presenetljivo se izkaže, da je delež zaslужka pri asfaltnih zmesih, ki vsebujejo navadni cestogradbeni bitumen, precej večji kot pri asfaltnih zmesih s polimeri modificiranim bitumnom. In na podlagi te ugotovitve se poraja vprašanje, kolikšen delež končne cene asfaltne zmesi, ki ga predstavlja zaslужek, je še sprejemljiv?

Izvedena je bila tudi primerjava cen obravnavanih asfaltnih zmesi v Sloveniji s cenami v Avstriji, Švici in na Hrvaškem. Primerjava cen glede na vrsto asfaltne zmesi in tip bitumna, uporabljenega v posamezni zmesi od najcenejše do najdražje zmesi je enaka v vseh štirih državah. Tako kot v Sloveniji so tudi v ostalih državah precej dražje asfaltne zmesi z uporabo s polimeri modificiranega

bitumenskega veziva od asfaltnih zmesi z uporabo cestogradbenega bitumna. Iz tega lahko zaključimo, da je določanje cen asfaltnih zmesi v obravnavanih asfaltnih obratih podobno.

Razlika med obravnavanimi državami se je pojavila pri primerjavi razmerja med cenami posameznih asfaltnih zmesi glede na uporabo določenega tipa bitumenskega veziva. V Sloveniji so asfaltne zmesi z navadnim cestogradbenim bitumnom v povprečju cenejše od asfaltnih zmesi s polimeri modificiranih bitumnov za 14 %, v Avstriji za 18 %, v Švici za 13 % in na Hrvaškem za 28 %.

7. POVZETEK

Asfaltne zmesi so zelo pomemben gradbeni material, saj večina prometa tako potniškega kot tudi prometa blaga poteka po cestah. Glede na množično uporabo asfaltnih zmesi je potrebno prevzeti odgovornost za vgradnjo asfaltnih zmesi, ki zmanjšajo vplive na okolje, ki ga povzroča gradnja, so vzdržljive in omogočajo enostavno vzdrževanje cest. Zato je potrebno nenehno izboljševati materiale, da se z vgradnjo asfaltnih zmesi zagotovi čim večja varnost, udobje in trajnost. Vse to pa seveda vpliva tudi na ceno asfaltnih zmesi.

Asfaltna industrija in ostala področja gradbeništva so tesno povezana z gibanjem gospodarstva in odvisna od razmer ter pogojev na investicijskem trgu. Gospodarska kriza, ki je prizadela tako Slovenijo kot večino evropskih držav, je v zadnjih letih zelo skrčila gradbeno aktivnost. Zaradi neizprosnega tržišča se morajo asfaltni obrati nenehno prilagajati novim zahtevam in izboljševati poslovanje. Zato se poraja vprašanje, na kakšen način se s trenutnim stanjem v asfaltni industriji pri nas spopadajo posamezni asfaltni obrati. Ali so se glede na manjšo proizvodnjo asfaltnih zmesi spremenila razmerja pri določevanju končnih cen le-teh? Ter v primeru, da so se, na kakšen način?

Cilj magistrskega dela je bila izvedba stroškovne analize asfaltnih zmesi obrabnih plasti, na podlagi katere se lahko potrdi ali ovrže upravičenost višje cene asfaltnih zmesi z uporabo s polimeri modificiranih bitumenskih veziv.

Za lažjo izvedbo stroškovne analize in razumevanje kompleksnosti sestave asfaltne zmesi kot tudi njene proizvodnje je v magistrskem delu podroben opis vseh materialov, ki sestavljajo asfaltno zmes. Opredelitev zahtevanih lastnosti posameznega materiala, opis lastnosti obravnavanih asfaltnih zmesi obrabnih plasti ter postopek proizvodnje.

Stroškovna analiza je bila izvedena za pet različnih asfaltnih zmesi:

- AC 8 surf B50/70,
- AC 8 surf PmB 45/80-65,
- SMA 8 PmB 45/80-65,
- AC 11 surf B70/100,
- AC 11 surf PmB 45/80-65.

Kot kažejo rezultati stroškovne analize, je višja cena asfaltnih zmesi z uporabo s polimeri modificiranih bitumenskih veziv upravičena, saj so modificirana bitumenska veziva približno 44 % dražja od navadnih cestogradbenih bitumenskih veziv. Vpliv bitumenskega veziva na končno ceno asfaltne zmesi je približno 11 % višji za asfaltne zmesi z modificiranim bitumenskim vezivom. Prav

tako je višji tudi masni delež bitumenskega veziva v sami asfaltni zmesi. Še en dejavnik, ki potrjuje upravičenost višje cene, je temperatura shranjevanja bitumenskih veziv, ki je pri shranjevanju modificiranih veziv 15°C višja.

Za potrditev dobljenih rezultatov stroškovne analize je bila izvedena primerjava cen obravnavanih asfaltnih zmesi s cenami v Avstriji, Švici in na Hrvaškem. Izbira držav je temeljila na podobnih klimatskih pogojih ter na podlagi tega tudi proizvodnji podobnih oziroma enakih asfaltnih zmesi. Razmerje med cenami posameznih asfaltnih zmesi je v obravnavanih državah zelo podobno. Najvišje cene asfaltnih zmesi so v Švici, najnižje pa na Hrvaškem. Najbolj podobne, pri posameznih asfaltnih zmesih skoraj enake, pa so cene v Sloveniji in Avstriji. Primerjava cen glede na vrsto asfaltne zmesi in tip bitumna, uporabljenega v posamezni zmesi od najcenejše do najdražje zmesi pa je enaka v vseh štirih državah. Povsod so bistveno dražje asfaltne zmesi z uporabo modificiranih bitumenskih veziv. Zato lahko zaključimo, da je določanje cen asfaltnih zmesi v obravnavanih asfaltnih obratih podobno ter višja cena asfaltnih zmesi z uporabo modificiranih bitumenskih veziv upravičena.

Problematika, ki se kaže na področju cestogradnje v Sloveniji, ki je bila povod za izdelavo dotičnega magistrskega dela, je uporaba in vgradnja najcenejših materialov, ki je postala samoumevna, ne glede na posledice, ki jih prinesejo dolgoročno. Že na samem začetku investicije, pri pripravi projektne dokumentacije, ki je osnova za dobro izvedena dela, kot pri dobavi materialov in izvedbi, najnižja cena ne zagotavlja optimalne rešitve. Zato je potrebno stremeti k cilju, da se pri gradnji cest uporabijo kvalitetni in najprimernejši materiali za posamezno vrsto ceste, ki niso izbrani samo na podlagi cene.

8. SUMMARY

Asphalt mixtures are very important building material, since the majority of traffic, both passenger as well as goods transport, occurs on the road. The widespread use of asphalt mixtures demands the use of those that reduce the environmental impacts, that are durable and easy to maintain. Therefore it is necessary to continuously improve the materials to ensure maximum safety, comfort and durability of roads. This results in higher prices of asphalt mixtures.

The asphalt industry and other areas of construction are closely related to changes in the economy and depends on the situation and conditions in the investment market. The economic crisis that has affected Slovenia and the majority of European countries in recent years, had limited construction activity. Due to unrelenting market, the asphalt plants must constantly adapt to the new requirements and improve existing operations. The question is, how are asphalt plants dealing with the current situation in the asphalt industry. How did, according to the lower production of asphalt mixture, the proportions in determining the final price of asphalt mixture, change?

The goal of the master thesis was to carry out a cost analysis of asphalt mixtures for surface layers which may confirm or refute the eligibility of higher prices of asphalt mixtures using polymer-modified bituminous binders.

To facilitate the implementation of a cost analysis and understanding the complex composition of the asphalt mixture as well as its production, the master thesis offeres detailed description of all the used materials. It defines the required properties of each material, characterisation of the asphalt mixtures for surface layers and the manufacturing process.

Cost analysis was carried out for five different asphalt mixtures:

- AC 8 surf B50/70;
- AC 8 surf PmB 45/80-65;
- SMA 8 PmB 45/80-65;
- AC 11 surf B70/100;
- AC 11 surf PmB 45/80-65.

According to the results of a cost analysis, the higher price of asphalt mixtures using polymer-modified bituminous binders is justified, since the modified bituminous binder is about 44% more expensive than ordinary penetration bitumen binders. The impact of bituminous binder on the final price of the asphalt mixture is approximately 11% higher when using modified bitumen binder. Also, the percentage of bituminous binder in the asphalt mixture is higher. Another factor that confirms the

eligibility of higher prices is the storage temperature of bitumen binders, which is 15°C higher for modified bitumen binders.

To confirm the results obtained cost analysis, the comparison was made between prices of the asphalt mixtures in Slovenia with prices in Austria, Switzerland and Croatia. Country selection was based on similar climate conditions and the production of similar or equal asphalt mixtures. The ratio between the prices of various asphalt mixtures in selected countries is very similar. The highest prices of asphalt mixtures are in Switzerland and the lowest in Croatia. The most similar, for some asphalt mixtures almost the same, are the prices in Slovenia and Austria. The comparison of type of asphalt mixtures and type of bitumen used in the mixture resulted with exactly the same layout in all four countries. In each country the asphalt mixtures using modified bituminous binders are significantly more expensive. Therefore, we can conclude that the pricing of asphalt mixtures is similar in all asphalt plants in all countries and the higher price of asphalt mixture using modified bituminous binders is justified.

The problem that manifests in the field of road construction in Slovenia, which is also the reason to write affected master's thesis, is the use of the cheapest materials, which has become a matter of course, regardless of the long-term consequences. At the very beginning of the investment in the design process as in the supply of materials and execution, lowest price does not guarantee optimal solutions. Therefore, it is necessary to pursue the quality and the most suitable materials to be used for each type of road which are not selected solely on the basis of price.

VIRI

UPORABLJENI VIRI

Henigman, S., et al., Žmavc, J. (ur.). 2011. *Asfalt*². Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije (ZAS): 334 str.

McNally, T. 2011. Polymer modified bitumen: properties and characterization: 1–15.

Nikolaides, A. 2014. Highway Engineering: Pavements, Materials and Control of Quality: 51–305.

Žmavc, J. 1997. *Gradnja cest: voziščne konstrukcije*. Ljubljana, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroke Slovenije; Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 155.

AC (Advisory Circulars) 150/5370-14B – Hot-Mix Asphalt Paving Handbook. US Army Corps of Engineers, Federal Aviation Administration: 41–95.

SIST EN 1035:2008 Bitumen in bitumenska veziva – Cestogradbeni bitumni, modificirani s polimeri – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 14023.

SIST EN 1043:2009 Agregati za bitumenske zmesi in površinske prevleke za ceste, letališča in druge prometne površine – Zahteve.

SIST 1038-1:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 1. del: Bitumenski beton – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-1.

SIST 1038-5:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 5. del: Drobir z bitumenskim mastiksom – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-5.

SIST 1038-6:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 6. del: Liti asfalt – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-6.

SIST 1038-7:2007 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 7. del: Drenažni asfalt – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-7

TSC 06.300/06.410:2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti.

TSC 06.417:2001. Vezane obrabne in zaporne plasti, Površinske prevleke.

European Asphalt Pavement Association and Eurobitumen., 2011, Asphalt Paving: Save, Comfortable, Sustainable.

<http://www.eapa.org/userfiles/2/Publications/Asphalt%20Paving%20%20Fit%20for%20Tomorrow%20Brochure.pdf> (Pridobljeno 14.04.2014)

Henigman, S., 2013. Uvodnik, str. 3, Bilten od skupščine do skupščine, Združenje asfalterjev Slovenije.

http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/17_Od_Skupscine_do_Skupscine_letnik_2013.PDF
(Pridobljeno 08.04.2014)

Henigman, S., 2015. Proizvodnja asfaltnih zmesi, str. 17, Bilten od skupščine do skupščine, Združenje asfalterjev Slovenije.

http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/19_Od_Skupscine_do_Skupscine_letnik_2015.pdf
(Pridobljeno 16.05.2016)

Rebernik, M., 1994. Ekonomika podjetja, Ljubljana, Gospodarski vestnik.

www.fpp.uni-lj.si/mma_bin.php?id=201111217371059 (Pridobljeno 21.05.2016)

Kamning d.d., Ljubeščica. 2016. Cenik proizvodov.

http://www.kaming.hr/index.php?option=com_content&task=view&id=17&Itemid=31#2
(Pridobljeno 21.05.2016)

European Asphalt Pavement Association, 16/02/2016, EAPA: Asphalt in Figures 2014.

<http://www.eapa.org/promo.php?c=174> (Pridobljeno 24.08.2016)

Belagswerk Hasle AG. 2016. Presiliste.

<http://www.belagswerk-hasle.ch/data/docs/download/8533/de/BLH-Preisliste-2016.pdf>
(Pridobljeno 06.09.2016)

Salzburger Liefer-Asphalt GmbH & Co OG. 2016. Presiliste.

<http://www.sla-asphalt.at/pictures/Preisliste.pdf>

(Pridobljeno 06.09.2016)

OSTALI VIRI

Toraldo, E., Mariani, E. 2014. Effect of polymer additives on bituminous mixtures. Construction and building materials 65, 38–42. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.04.108.

Združenje asfalterjev Slovenije, 2010. Priročnik za asfalterska dela.

http://www.zdruzenje-zas.si/Material/Pdf/Prirocnik_za_izvajanje_asfalterskih_del-december_2010.pdf (Pridobljeno 12.05.2016)

Hrovat, T. 2013. Vpliv napak pri proizvodnji asfaltnih zmesi na poškodbe vgrajenih asfaltnih plasti. Magistrska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/4245/1/GRM238_Hrovat.pdf (Pridobljeno 14.04.2014)

Golavšek, K. 2010. Polimerizacija cestogradbenih bitumnov z različnimi umetnimi polimeri. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za kemijo in kemijsko tehnologijo.

<https://dk.um.si/Dokument.php?id=15433> (Pridobljeno 23.02.2016)

Jurjavčič, P., Mladenovič, A., Cotič, Z. 2014. Priročnik za uporabo agregata iz črne jeklarske žindre iz elektroobločnih peči v asfaltnih obrabnih plasteh. Konzorcij projekta ReBirth.

<http://www.structum.si/images/news/Prirocnik%20za%20uporabo%20zindre.pdf> (Pridobljeno 30.08.2014)

Korbar, P. 2013. Analiza in uporabnost črne jeklarske žindre v bituminiziranih zmeseh. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

http://drugg.fgg.uni-lj.si/4445/1/GRU3334_Korbar.pdf (Pridobljeno 04.09.2014)

Emission Factor Documentation for AP-42, Section 11.1, Hot Mix Asphalt Plants, Final Report, 2004. US Environmental Protection Agency.

<https://www3.epa.gov/ttnchie1/ap42/ch11/final/c11s01.pdf> (Pridobljeno 12.06.2016)

The Asphalt Handbook. 1989. Lexington, Ky.: Asphalt Institute, Manual Series NO. 4 (MS-4).

Lu, X., Said, S., Soenen, H., Heyrman, S., Redelius, P. Evaluation of Test Sections with Polymer Modified Bitumens.

<http://www.nynas.com/en/product-areas-solutions/bitumen-for-paving/bitumen-for-paving-applications/knowledge-tank/evaluation-of-test-sections-with-polymer-modified-bitumens/>
(Pridobljeno 09.05.2016)

Behbahani, H., Ziari, H., Fazaeli, H., Rahmani, J. 2009. Comparison of Performance of Asphalt Mixtures Containing Polymer Modifiers. Journal of testing and evaluation 37(5), 431–435.

Dimonie, M., Dimonie, D., Vasilievici, G., Beica, V., Bombos, D. 2007. Road bitumens modification with polymers. Materiale plastice 44(1), 72–76.