

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:

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. (mentor Žmavc, J.): 107 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Hrovat, T. 2013. Vpliv napak pri proizvodnji asfaltnih zmesi na poškodbe vgrajenih asfaltnih plasti. M.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žmavc, J.): 107 pp.

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo

Jamova 2, p.p. 3422
1115 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si



**MAGISTRSKI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER**

Kandidatka:

TEA HROVAT, univ. dipl. inž. vod. in kom. inž.

**VPLIV NAPAK PRI PROIZVODNJI ASFALTNIH ZMESI
NA POŠKODBE VGRAJENIH ASFALTNIH PLASTI**

Magistrsko delo štev.: 238

**IMPACT OF DEFECTIVE PRODUCTION OF ASPHALT
MIXTURE RESULTING IN DAMAGED ASPHALT
LAYERS**

Master of Science Thesis No.: 238

Mentor:

prof. dr. Janez Žmavc, UL FGG, upok.

Predsednik in član komisije:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Član komisije:

doc. dr. Alojzij Juvanc, UL FGG, upok.

Ljubljana, 2. julij 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna.«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisana Tea Hrovat izjavljam, da sem avtorica magistrskega dela z naslovom: »**VPLIV NAPAK PRI PROIZVODNJI ASFALTNIH ZMESI NA POŠKODBE VGRAJENIH ASFALTNIH PLASTI**«.

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

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

Ljubljana, 10.7.2013

Tea Hrovat

»Ta stran je namenoma prazna.«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	665.775.4:(043.3)
Avtor:	Tea Hrovat
Mentor:	prof. dr. Janez Žmavc
Naslov:	Vplivi napak pri proizvodnji asfaltnih zmesi na poškodbe vgrajenih asfaltnih plasti
Tip dokumenta:	magistrsko delo
Obseg in oprema:	107 str., 26 pregl., 27 sl., 2 diag.
Ključne besede:	asfalt, asfaltne zmesi, proizvodnja, asfaltni obrat, vhodni materiali, človeški faktor, poškodbe, razpoke, preoblikovanje, razgraditev

Izvleček

V praksi se pogosto dogaja, da se na novo zgrajeni cesti že zelo kmalu po vgraditvi asfaltne zmesi, pojavijo napake ali poškodbe, za katere pa ni nujno kriv izvajalec vgrajevanja asfalta, ampak lahko izvirajo iz samega postopka proizvodnje asfaltne zmesi. Takšne napake v proizvodnji asfaltne zmesi težko dokažemo, saj se proizvajalci sklicujejo na avtomatičen postopek mešanja zmesi na asfaltnem obratu. Med celotno proizvodnjo se namreč jemljejo vzorci vhodnih materialov, na koncu proizvodnje pa se vzorči tudi proizvedeno asfaltno zmes. Neustrezna asfaltna zmes pri mešanju v asfaltnem obratu lahko nastane zaradi napak na strojni opremi, neustreznih vhodnih materialov ali človeškega faktorja. Ne smemo izključiti, da stroje in računalniški program, ki upravlja dele strojne opreme na asfaltnem obratu, vseeno nadzoruje človek. Nadzoruje tudi pravilno skladiščenje vhodnih materialov. Ob nepravilno proizvedeni asfaltni zmesi se vodja asfaltnega obrata odloči ali bo tako zmes vseeno izdal ali pa jo bo zavrzel.

Magistrsko delo raziskuje, kje so vzroki napak pri proizvodnji, ki se izvaja povsem avtomatsko, preko računalniškega programa. Analizirana je veljavna slovenska zakonodaja s področja proizvodnje asfaltnih zmesi in ustrezne tehnične specifikacije za ceste. Podrobno razčlenjuje vhodne materiale, dele asfaltnega obrata, potek proizvodnje in izvajanje kontrole, kjer je opisana vsebina poslovnika kontrole kakovosti na asfaltnem obratu. Na koncu dela so zbrane najpogostejše poškodbe na asfaltnih voziščih, ki so lahko posledica napak pri proizvodnji asfaltne zmesi, izvirajo pa iz poslabšanja materialov. Do poslabšanja materialov lahko pride zaradi nepravilnega shranjevanja vhodnega materiala, napak pri odmerjanju količin, premajhne temperature mešanja, časa mešanja in drugih možnih vzrokov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 665.775.4:(043.3)
Author: Tea Hrovat
Supervisor: Prof. Janez Žmavc, Ph. D.
Title: Impact of defective production of asphalt mixture resulting in damaged asphalt layers
Document type: M. Sc. Thesis
Scope and tools: 107 p., 26 tab., 27 fig., 2 diag.
Keywords: asphalt, asphalt mixture, production, asphalt plant, input materials, human factor, damage, cracks, transformation, decomposition

Abstract

In practice it often happens that a newly built road soon, after the asphalt mixture is added, starts showing first cracks and damages, which are not necessarily always a fault of the contractor, who built in the asphalt mixture, but can derive from the production of asphalt mixture. Such mistakes in the production of the asphalt mixture are hard to prove, since all the contractors usually put the blame on the automatic mixing production in the asphalt plant. During the production of the asphalt mixture, samples of input materials are taken, while the produced asphalt mixture is also sampled at the end of the production process. An inadequate asphalt mixture can be produced within the asphalt plant due to the damages in its machinery, inadequate input materials or the human factor plays a role in it, since we must not forget that all the machinery within the asphalt plant and computer programmes are supervised by man. Human factor also plays a role in the correct storing of input materials. It is the authority of the head of the asphalt plant to decide to ship the mixture to the contractor or not.

The Master's thesis researches the reasons for errors in the production which is completely automated since it is based on a computer programme. The current Slovene legislation on the production of asphalt mixtures and technical specification for roadways was analysed. The legislation defines in detail the input materials, parts of the asphalt plant, the production procedure and the enforcement of the control, and includes the contents of the procedural book of quality control in the asphalt plant. All the most common damages to asphalt roadways, which may be a result of errors in the asphalt mixture production and may derive from material deterioration, are given at the end of the Master's thesis. Material deterioration can be a result of inadequate storing of input materials, errors in measuring dosages, temperatures that are too low during the mixing process, the time of mixing and of numerous other reasons.

ZAHVALA

Za mentorsko pomoč in podporo pri nastajanju magistrske naloge, se zahvaljujem mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu.

Drago, brez tvoje strokovne pomoči, nasvetov, razmišljanj in predvsem tvoje spodbude, bi težko dosegla zastavljen cilj. Hvala.

Zahvaljujem se tudi Slavcu, ki mi je pomagal pri pridobivanju nekaterih virov in pri tolmačenju tujih virov.

Romanu se zahvaljujem za namige in oporne točke v začetnih korakih nastajanja te naloge ter za raziskave in fotografije.

Mojca, hvala, za potrpežljivo prebiranje in lektoriranje vseh mojih zaključnih izdelkov.

Zahvaljujem se tudi moji družini, ki mi je vsa leta mojega šolanja nudila vso podporo in pomoč.

Iskrena hvala!

KAZALO

KAZALO	VI
1 UVOD	1
1.1 OPREDELITEV OBRAVNAVANE TEME	1
1.2 NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE MAGISTRSKEGA DELA	1
1.3 METODOLOGIJA	2
1.4. STRUKTURA RAZISKAVE	3
2 ZAHTEVE ZA VHODNE MATERIALE	4
2.1 KAMNITI MATERIAL	4
2.2 VEZIVO	16
2.2.1 Cestogradbeni bitumen	18
2.2.2 Bitumni modificirani s polimeri	20
2.2.3 Hladna bitumenska veziva	21
2.2.4 Staranje bitumenskega veziva	21
2.2.5 Temperatura asfaltne zmesi	22
2.3 DODATKI	23
2.3.1 Polnila	25
2.3.2 Dopolnila	25
2.3.3 Gume	26
2.3.4 Plastike	26
2.3.5 Vlakna	26
2.3.6 Oksidanti in antioksidanti	26
2.3.7 Ogljikovodiki	27
2.3.8 Dopi	27
2.3.9 Odpadki	27
2.3.10 Drugi materiali	28
3 PROIZVODNJA ASFALTNIH ZMESI	29
3.1 STANDARDNA STROJNA OPREMA	29
3.1.1 Skladišče kamnitih frakcij (deponija)	30
3.1.2 Predozatorji in/ali silosi za kamnite materiale	32
3.1.3 Sušilni boben	32
3.1.4 Cisterne za bitumensko vezivo	33
3.1.5 Odpraševalna naprava	35
3.1.6 Oprema za vračanje zbranega polnila	36
3.1.7 Silosi za polnilo in kontrole polnjenja	37
3.1.8 Oprema za dodajanje vlaken	37
3.1.9 Mešalni stolp	37
3.1.10 Silosi za vročo asfaltno zmes in oprema za praznjenje asfaltne zmesi iz silosa ...	38
3.2 PRIMERJAVA POSTOPNE IN NEPRETRGANE PROIZVODNJE	39
3.2.1 Obrat s postopno (šaržno) proizvodnjo	39
3.2.2 Obrat z nepretrgano (kontinuirano) proizvodnjo	43
3.2.3 Oprema, ki je skupna obema vrstama asfaltnih obratov	45
3.3 POSTOPEK MEŠANJA ASFALTNE ZMESI	46
3.3.1 Priprava asfaltnega obrata	46

3.3.2	Predhodno odmerjanje.....	47
3.3.3	Priprava zmesi kamnitih zrn, bitumenskega veziva in dodatkov (sušenje, segrevanje).....	47
3.3.4	Odpraševanje	47
3.3.5	Sejanje odmerjene zmesi kamnitih zrn.....	48
3.3.6	Mešanje asfaltnih zmesi	49
3.3.7	Skladiščenje vročih asfaltnih zmesi.....	49
3.4	POMANJKLJIVOSTI ASFALTNIH ZMESI.....	50
3.4.1	Sestava kamnitih zrn v zmesi	50
3.4.2	Sestava zmesi zrn v asfaltni zmesi: preveč grobih zrn	51
3.4.3	Sestava zmesi zrn v asfaltni zmesi: preveč finih zrn v polnilu (kameni moki)	52
3.4.4	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi premajhna.....	53
3.4.5	Vsebnost votlin v asfaltni zmesi prevelika	53
3.4.6	Delež veziva v asfaltni zmesi prevelika	54
3.4.7	Delež veziva v asfaltni zmesi premajhen	54
3.4.8	Delež veziva v asfaltni zmesi prekomerno niha	54
3.4.9	Obvitje zrn v asfaltni zmesi z bitumnom slabo	54
3.4.10	Nihanje temperature proizvedene asfaltne zmesi	55
4	KONTROLA KAKOVOSTI.....	56
4.1	POSLOVNIK KOTROLE KAKOVOSTI NA ASFALTNEM OBRATU	56
4.1.1	Organizacijska struktura	57
4.1.1.1	Odgovornosti in pooblastila	57
4.1.1.2	Predstavnik vodstva.....	57
4.1.1.3	Notranja presoja.....	57
4.1.1.4	Vodstveni pregled.....	58
4.1.1.5	Podpogodbena dela.....	58
4.1.2	Obvladovanje dokumentov	58
4.1.3	Kontrolni postopki.....	59
4.1.3.1	Osnovni materiali	59
4.1.3.2	Proizvodi, dobavljeni s strani kupca asfaltne zmesi	59
4.1.4	Kontrola procesov	59
4.1.5	Rokovanje, skladiščenje in dobava asfaltne zmesi	60
4.1.6	Kalibracija asfaltnega obrata in vzdrževanje.....	60
4.1.7	Pregledi in preizkušanje.....	61
4.1.7.1	Osnovni materiali	61
4.1.7.2	Asfaltna zmes	64
4.1.8	Neskladnosti	65
4.1.8.1	Splošno	65
4.1.8.2	Neskladnost osnovnih materialov pri skladiščenju	66
4.1.8.3	Neskladnost pri proizvodnji, skladiščenju in dobavi asfaltne zmesi	66
4.1.9	Osnovni pogoji za kontrolo kakovosti.....	68
4.1.9.1	Laboratorij	68
4.1.9.2	Asfaltni obrat	68
4.1.9.3	Zapisi	68
4.1.9.4	Izobraževanje.....	68
4.1.9.5	Dodatki standardu SIST EN 13108-21:2006.....	69
4.2	NOTRANJA IN ZUNANJA KONTROLA	70

4.2.1 Notranja kontrola	70
4.2.2 Zunanja kontrola	70
4.2.3 Ocena skladnosti	71
5 POŠKODBE ASFALTNIH OBRABNIH PLASTI.....	72
5.1 PREOBLIKOVANJE.....	72
5.2 RAZPOKE	78
5.3 RAZGRADITEV	84
5.4 POŠKODBE POVRŠINE	86
6 ZAKLJUČKI.....	90
7 POVZETEK.....	94
8 SUMMARY	99
LITERATURA IN VIRI	105

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Nazivne velikosti frakcij kamnitih zrn d/D (Henigman et al., 2006, str. 15)	6
Preglednica 2: Delež podmernih in nadmernih kamnitih zrn v frakcijah ter kategorije po SIST EN 13043 (Henigman et al., 2006, str. 16)	7
Preglednica 3: Kategorije maksimalnih vrednosti modula oblike, SIST EN 933-4 (Henigman et al., 2006, str. 17)	8
Preglednica 4: Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn (Henigman et al., 2011, str. 36)	9
Preglednica 5: Kategorije maksimalnih vrednosti količnika Los Angeles (Henigman et al., 2006, str. 18)	10
Preglednica 6: Kategorije za minimalne vrednosti odpornosti proti poliranju (Henigman et al., 2006, str. 19)	11
Preglednica 7: Kategorije maksimalnih vrednosti magnezijevega sulfata (Henigman et al., 2006, str. 20)	11
Preglednica 8: Kategorije za vpijanje vode v groba zrna (Henigman et al., 2011, str. 39)	12
Preglednica 9: Kategorije kakovosti finih delcev (Henigman et al., 2011, str. 40)	12
Preglednica 10: Združena preglednica za minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn po SIST 1038-1,5,6,7	14
Preglednica 11: Razvrstitev dodatkov asfaltnim zmesem po Terrel-u in Walterju (Henigman et al., 2011, str. 49)	24
Preglednica 12: Zahteve za kalibriranje delov asfaltnega obrata (SIST EN 13108:2006, str. 8)	61
Preglednica 13: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj zmesi kamnitih zrn (SIST EN 13108:2006, str. 8)	62
Preglednica 14: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj za polnilo (interno gradivo)	63
Preglednica 15: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj veziva (SIST EN 13108:2006, str. 9)	63
Preglednica 16: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj dodatkov (SIST EN 13108:2006, str. 9)	64
Preglednica 17: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj asfaltnega granulata (SIST EN 13108: 2006, str. 9)	64
Preglednica 18: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj dobavljene asfaltne zmesi (interno gradivo)	65
Preglednica 19: Presejki zmesi kamnitih zrn za vzorec AC 11 surf B 50/70 A2	75
Preglednica 20: Delež bitumna, vsebnost zračnih votlin ter stopnja zapolnjenosti votlin za vzorec AC 11 surf B 50/70 A2	77
Preglednica 21: Vhodni materiali za asfaltno zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A2	81
Preglednica 22: Presejki zmesi kamnitih zrn za vzorec SMA 8 PmB 45/80-65 A2	81
Preglednica 23: Lastnosti bitumenskega veziva Olexobit 45	82
Preglednica 24: Lastnosti asfaltne zmesi in asfaltne plasti	83
Preglednica 25: Presejki zmesi kamnitih zrn za vzorec SMA 11 PmB 45/80-65 A1,A2	88
Preglednica 26: Delež bitumna, vsebnost zračnih votlin ter stopnja zapolnjenosti votlin za vzorec SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2	89

LIST OF TABLES

Table 1: Nominal size stone aggregate fractions of d / D	6
Table 2: The content of undersized and oversize stone aggregate in fractions and categories according to SIST EN 13043	7
Table 3: Categories maximums module forms, SIST EN 933-4	8
Table 4: The content of grain in the crumbed mixture of coarse grains	9
Table 5: Categories maximums ratio Los Angeles	10
Table 6: Categories for the minimum value of resistance to polishing	11
Table 7: Categories maximums of magnesium sulphate	11
Table 8: Categories for water absorption in the coarse grain	12
Table 9: Categories of quality for fine particles	12
Table 10: Combined table for the minimum requirements for a mineral aggregate SIST 1038-1,5,6,7.....	14
Table 11: Classification accessories asphalt mixtures (Terrel and Walter)	24
Table 12: Requirements for calibration parts asphalt plant	61
Table 13: Requirements for frequency of inspections and examinations of mineral aggregate	62
Table 14: Requirements for frequency of inspections and examinations of filler aggregate ..	63
Table 15: Requirements for frequency of inspections and examinations of bituminous binder	63
Table 16: Requirements for frequency of inspections and examinations of additives	64
Table 17: Requirements for frequency of inspections and examinations of asphalt granulate	64
Table 18: Requirements for frequency of inspections and examinations of asphalt mixture ..	65
Table 19: Distribution of stone aggregate for sample AC 11 surf B 50/70 A2	75
Table 20: Binder content, voids content and rate of void filling for sample AC 11 surf B 50/70 A2.....	77
Table 21: Input materials for asphalt mixture SMA 8 PmB 45/80-65 A2.....	81
Table 22: Binder content, voids content and rate of void filling for sample SMA 8 PmB 45/80-65 A2	81
Table 23: Characteristics of bituminous binders Olexobit 45.....	82
Table 24: Characteristics of asphalt mixture and asphalt layer.....	83
Table 25: Distribution of stone aggregate for sample SMA 11 PmB 45/80-65 A1,A2.....	88
Table 26: Binder content, voids content and rate of void filling for sample SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2	89

KAZALO SLIK

Slika 1: Shema zgradbe bitumenskega veziva (Žmavc, 2007, str. 69).....	17
Slika 2: Heukelomov diagram za oceno značilnih lastnosti bitumenskega veziva (Žmavc, 2007, str. 80).....	19
Slika 3: Obrat za šaržno proizvodnjo asfaltnih zmesi (Henigman et al., 2006, str. 113)	30
Slika 4: Deponija karbonatnih in silikatnih frakcij (foto: osebni arhiv).....	31
Slika 5: Predozatorji za frakcije (foto: osebni arhiv).....	32
Slika 6: Prerez sušilnega bobna z lopaticami (Asphalt Handbook, 2010, str. 320).....	33
Slika 7: Del strojne opreme na mobilnem asfaltnem obratu Lormanje (foto: osebni arhiv)	34
Slika 8: Bobnast zbiralnik dimnih plinov (Asphalt Handbook, 2010, str. 324)	35
Slika 9: Sistem za vračanje lastnega polnila z vrečastim zbiralnikom (Astec Videos, 2013)..	36
Slika 10: Mešalni stolp – levo: sprednja stran, desno: zadnja stran stolpa (SINOSUN Group, 2013).....	38
Slika 11: Silos za vročo asfaltno zmes (Wibau, 2013).....	39
Slika 12: Shema klasičnega stabilnega centralnega obrata za šaržno proizvodnjo asfaltnih zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007)	40
Slika 13: Shema mobilne klasične opreme za šaržno proizvodnjo asfaltnih zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007, str 123).....	41
Slika 14: Potovanje materiala preko tipičnega sistema sit (Asphalt Handbook, 2010, str. 334)	42
Slika 15: Shema prestavljive opreme za neprekinjen postopek proizvodnje asfaltne zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007, str. 124).....	44
Slika 16: Sušilnik, ki je vgrajen v mešalnik (Asphalt Handbook, 2010, str. 342).....	45
Slika 17: Nakladalna rampa za polnjenje predozatorjev (foto: osebni arhiv)	47
Slika 18: Potek čiščenja dimnih plinov z vrečastim zbiralnikom (Astec Videos, 2013).....	48
Slika 19: Sito za sejanje zmesi zrn (Reliable Asphalt Products, 2013).....	48
Slika 20: Silos za asfaltno zmes z nakladalno postajo mobilnega asfaltne obrata Lormanje (foto: osebni arhiv)	49
Slika 21: Kolesnica (http://en.wikipedia.org/wiki).....	73
Slika 22: Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije - primer kolesnic	75
Slika 23: Primera razpok (foto: Roman Bašelj).....	80
Slika 24: Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije - primer razpok	80
Slika 25: Primer krušenja (foto: Roman Bašelj).....	84
Slika 26: Iztisnjenje bitumenske malte (foto: Roman Bašelj)	86
Slika 27: Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije – primer iztisnjenja bitumenske malte	87

LIST OF FIGURES

Figure 1: Schematic view of the bituminous binder	17
Figure 2: Heukelom diagram to assess the unique characteristics of bituminous binders.....	19
Figure 3: Batch plant for the production of asphalt mixes.....	30
Figure 4: Storage for carbonate and silicate fractions.....	31
Figure 5: Cold feed bins for fractions	32
Figure 6: Cross-section of the dryer drum with blades	33
Figure 7: Part of hardware on asphalt plant Lormanje.....	34
Figure 8: Drum dust collector	35
Figure 9: Dust return equipment	36
Figure 10: Mixing tower - left: front side, right: back side of the tower	38
Figure 11: Hot mix asphalt storage silos.....	39
Figure 12: Sheme of a classical stable central batch plant for the production of asphalt mixtures by hot mixing process	40
Figure 13: Scheme of mobile classical equipment for batch production of asphalt mixtures by hot mixing process	41
Figure 14: Material flow across a typical screen deck.....	42
Figure 15: The scheme of removable equipment for continuous process manufacturing asphalt with the hot process mixing	44
Figure 16: Dryer built into the mixer	45
Figure 17: Loading ramp for cold feed bins	47
Figure 18: Flow of dust gases inside the baghouse.....	48
Figure 19: Sieve for sifting mineral aggregate.....	48
Figure 20: Silos for asphalt mixture with docks of mobile asphalt plant Lormanje.....	49
Figure 21: Rut	73
Figure 22: Characteristic cross-section of pavement - rut example.....	75
Figure 23: Examples of cracks.....	80
Figure 24: Characteristic cross-section of pavement - crack example.....	80
Figure 25: Example of crumbling	84
Figure 26: Bleeding of bituminus mortar.....	86
Figure 27: Characteristic cross-section of pavement - bleeding of bituminus mortar	87

OPISI UPORABLJENIH OZNAČB

- AC – bitumenski beton (asphalt concrete)
- C – drobljena zrna (crushed particles)
- d – premer najmanjšega zrna oziroma velikost najmanjše odprtine sita
- D – premer največjega zrna oziroma velikost največje odprtine sita
- f – delež drobnih zrn (fines)
- G – zrnavaost (grading)
- G_A – sestavljena zrnavaost (grading all in)
- G_C – groba zrnavaost (grading coarse)
- G_F – drobna zrnavaost (grading fine)
- G_{TC} – značilna sestava zmesi zrn (typical grading)
- LA – količnik Los Angeles
- MA – liti asfalt (mastic asphalt)
- MB_F – vrednost metilen modro (methylene blue fraction)
- M_{DE} – količnik mikro-Deval (micro-Deval coefficient)
- MS – vrednost magnezijevega sulfata
- NZ, (NR) – ni zahteve (no requirement)
- PA – drenažni asfalt (porous asphalt)
- PmB – polimerni bitumen (polymer modified bitumen)
- PSV – vrednost odpornosti proti zaglajevanju (polished stone value)
- SB – vrednost Sonnenbrand
- SI – indeks oblike (shape index)
- SMA – drobir z bitumenskim mastiksom (stone mastic asphalt)
- V – obstojnost prostornine (volume stability)
- WA – vrednost vpijanja vode (water absorption value)
- Z – razred zmesi zrn

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

1.1 OPREDELITEV OBRAVNAVANE TEME

Ko se zgradi nova asfaltna cesta se pričakuje, da bo služila svojemu namenu najmanj za načrtovano življenjsko dobo. Žal marsikatera cesta začne kazati prve poškodbe že v garancijski dobi, ki je za novogradnje 5 let. Te mora izvajalec popraviti na lastne stroške. Poškodbe asfaltne plasti so posledica prevelikih prometnih obremenitev, klimatskih vplivov, pomanjkljive izvedbe, slabega vzdrževanja ter neprimerne uporabe in največkrat nastopijo iz več vzrokov skupaj.

Vendar za napake in poškodbe ni vedno kriv izvajalec vgrajevanja asfalta, ampak lahko izvirajo iz samega postopka proizvodnje asfaltne zmesi. Magistrsko delo se posveča raziskavi, kje so vzroki in zakaj pride do napak pri proizvodnji, ki se izvaja avtomatsko preko računalniškega programa. Pri tem temelje postavlja veljavna slovenska zakonodaja s področja proizvodnje asfaltnih zmesi in ustrezne tehnične specifikacije za ceste. Podrobna razčlenitev delov asfaltne obrate, potek proizvodnje in izvajanje kontrole po pokazala, kje lahko pride do napak, ki se na asfaltni plasti kasneje lahko pokažejo kot poškodbe.

Napake pri mešanju asfaltnih zmesi težko dokažemo, saj se proizvajalci sklicujejo na avtomatičen postopek mešanja, med samo proizvodnjo pa se jemljejo tudi kontrolni vzorci asfaltne zmesi. Neustrezna asfaltna zmes pri mešanju v asfaltne obrate lahko nastane zaradi napak na strojni opremi, neustreznih vhodnih materialov ali zaradi človeškega faktorja. Ne smemo pozabiti, da stroje in računalniški program, ki upravlja stroje, nadzoruje človek. Ob nepravilni zmesi tudi odloči ali bo tako zmes vseeno izdal ali pa jo bo zavrgel.

1.2 NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE MAGISTRSKEGA DELA

Osrednji namen magistrskega dela je ugotoviti ali se lahko pojavljajo napake pri proizvodnji asfaltnih zmesi. Vse prevečkrat se namreč poškodbe valijo na izvajalca in njegovo nepravilno vgrajevanje asfaltne zmesi. Z laboratorijskimi raziskavami vzorcev iz

proizvedenih ali vgrajenih asfaltnih zmesi, se lahko prepričamo ali je bila napaka storjena že v procesu proizvodnje asfaltne zmesi.

Namen dela bo dosežen ob potrditvi ali ovržbi naslednje delovne hipoteze:

Poškodbe na vgrajeni asfaltni plasti izvirajo tudi iz napak pri proizvodnji asfaltne zmesi.

Za dosego tega je potreben:

- pregled vhodnih materialov, kot potencialnega elementa napak,
- razčlenitev asfaltnega obrata in njenih posameznih delov,
- razčlenitev poteka proizvodnje asfaltne zmesi,
- pregled kontrol kakovosti vzpostavljenih na asfaltnem obratu,
- opredelitev vzrokov za poslabšanje materialov in iz tega sledeče poškodbe.

1.3 METODOLOGIJA

Pri izdelavi magistrske naloge so uporabljene predvsem metode, ki temeljijo na proučevanju strokovnih podlag, praktičnega znanja ter poznavanja posebnosti, povezanih z obravnavano snovjo. V pomoč je strokovna literatura domačih in tujih avtorjev ter ameriških spletnih strani na tematiko asfaltnih zmesi in asfaltiranja cest, ki vsebujejo precej zanimivih člankov. S praktičnimi izkušnjami pri delu v proizvodnji asfaltnih zmesi so dopolnjeni rezultati uporabljenih metod za preverjanje napak pri proizvodnji.

Za preverjanje hipoteze so bile uporabljene naslednje metode:

- deskriptivna metoda (razlaga posameznih pojmov, opis delovanja določenega procesa, postavitve hipoteze),
- induktivna metoda (zaključki na podlagi pregleda posameznih spoznanj),
- deduktivna metoda (poznavanje splošnih stališč, načel na podlagi katerih se izvede konkretno stališče ali zaključek),
- metoda opazovanja (zbiranje podatkov in informacij v zvezi s pojavi oziroma procesi ter spoznavanje odnosov in povezav med njimi),
- analitična metoda

- razčlenitev primarnih virov (pregled standardov in tehničnih specifikacij za ceste),
- razčlenitev sekundarnih virov (knjige, strokovno gradivo in članki),
- razčlenitev internetnih virov (pregled spletnih strani institucij),
- metoda proučevanja primerov (na podlagi rezultatov kontrol izvedemo določene zaključke).

1.4. STRUKTURA RAZISKAVE

Magistrsko delo sestavlja šest poglavij.

Prvo poglavje predstavlja uvod v tematiko na splošno, namen, cilje in metode dela ter strukturo raziskave.

Z namenom, da bo magistrska naloga čimbolj celovita, je *drugo poglavje* naloge posvečeno vhodnim materialom in njihovi razčlenitvi. Materiali morajo dosegati določene zahteve, da so v asfaltnih plasteh ustrezni glede na izbrano recepturo in zahteve kakovosti, ki jih proizvajalec izda kupcu na certifikatu.

Naslednja tema je proizvodnja asfaltnih zmesi. V ta namen bo proizvodnja v *tretjem poglavju* natančno opisana z vsemi njenimi pomembnimi sestavnimi deli in postopki, ki se dogajajo znotraj njih. Analiza postopka mešanja asfaltnih zmesi se zaključi s primerjavo postopne (šaržne) in nepretrgane proizvodnje.

V *četrtm poglavju* sledi podrobna analiza sestavnih delov poslovnika kakovosti, ki zahteva natančno sledenje in obvladovanje vseh vrst dokumentov, kontrol in preizkušanj. Ta dokument je osnova za uspešno in kakovostno proizvodnjo ter sledenje vsem spremembam, ki so vedno prisotne v asfaltnem obratu.

Peto poglavje bo obravnavalo poškodbe, ki nastanejo ob morebitnih napakah pri proizvodnji asfaltnih zmesi ali ob koncu življenjskega cikla asfaltnih zmesi. Ta del se osredotoča na poškodbe asfaltnih zmesi, katerih vzrok je v napaki pri proizvodnji.

2 ZAHTEVE ZA VHODNE MATERIALE

Asfaltno zmes sestavljajo zmes kamnitih zrn, bitumensko vezivo in dodatki v določenih razmerjih glede na recepturo asfaltna zmesi. Vse navedene sestavine morajo zadoščati zahtevam iz standardov, da bo končna zmes ustrezne kakovosti.

2.1 KAMNITI MATERIAL

Kamniti material pridobivamo iz magmatskih, sedimentnih in metamorfnih kamnin. Da ugotovimo katere kamnine so uporabne za določene vrste rabe, moramo opraviti preiskave mineraloških, prostorskih in mehanskih lastnosti kamnin. Glede na to, da kamniti material v asfaltnih zmesih predstavlja delež okrog 92-96% glede na maso, oziroma okrog 80-85% glede na prostornino, je pomembno natančno poznati vse značilnosti tega materiala. Kamniti material v asfaltni zmesi skrbi za prenos prometne obremenitve iz obrabne plasti na nevezano nosilno plast, pri tem pa je kakovost kamnitega materiala izrednega pomena.

Preiskave ločimo na značilnosti posameznih kamnin in značilnosti zmesi kamnitih zrn.

Tehnično uporabnost kamnin ugotovimo preko preiskav *mineraloških značilnosti kamnin*, saj minerali v kamnini določajo njeno lomljivost, trdoto ter odpornost proti zunanjim vplivom. Ostale mineraloške značilnosti, kot piše Žmavc (2007), so:

- *petrografska sestava kamnin*,
- *delež gline* v kamnini (glina preprečuje oprijemljivost z bitumnom),
- *oprijemljivosti kamnine z bitumnom*, (gladke in zaprte (steklaste) prelomne ploskve preprečujejo oprijemljivost z bitumnom),
- *odpornost proti vročini* (kamnine počijo, če imajo določeno sestavo mineralov in določen delež vlage, ker se lupina bolj segreje kakor njeno jedro),
- *odpornost proti kemikalijam* (odpornih je večina magmatskih kamnin, medtem ko so karbonatne kamnine skoraj neodporne),
- *trdota* (kadar so nekateri minerali v sestavi kamnine krhki, ovrednotenje trajnih deformacij ni mogoče),
- *razkolnost* (je pomembna za dinamično obremenjene kamnine, določa jo struktura kristalov v kamnini) in

- *izgled prelomne ploskve* (preperelost kamnine).

Od **prostorskih značilnosti**, nas pri kamnini zanimajo:

- *količina in razporeditev por* v kamnini,
- *stopnja gostosti in poroznosti* kamnine,
- *kapilarnost* (zaradi kapilarnosti je potrebno določene kamnine dalj časa sušiti, da se osušijo tudi »znotraj«, s tem se izognemo težavam, ki bi jih vlaga v odprtih porah povzročala kasneje pri proizvodnji),
- *obstojnost na mrazu* (ker vpijejo manj vlage, so goste kamnine obstojnejše na mrazu, porozne kamnine pa so manj obstojne) in
- *specifična gostota kamnin*.

Poroznost kamnine določa delež vode (lahko pa tudi veziva), ki jo kamnina lahko absorbira. Delež vode v porah kamnine lahko znaša tudi do 2 m.-%. Bolj porozni so mehki apnenci, medtem ko ima večina magmatskih kamnin majhno poroznost.

Med **mehanske lastnosti kamnin** štejemo *elastičnost*, *trdnost* in *obrus* oziroma *zaglajevanje* kamnin. Magmatske kamnine imajo najboljše mehanske lastnosti, ki so odvisne od mehanskih lastnosti mineralov, povezanosti zrn in sestave kamnine.

Trajnost celotne voziščne konstrukcije je odvisna od trajnosti zmesi kamnitih zrn, ki jo pogojujejo njihove geometrijske in mehanske značilnosti, opisane v nadaljevanju.

»Posamezno zrno v zmesi bo tem manj obremenjeno, čim bolj ustrezna je sestava zmesi zrn. V določeni sestavi bo posamezno zrno podprto z več zrn od različnih strani: mehanska obremenitev zrna bo v takšnem primeru najmanjša, raznos obremenitve v vgrajeni zmesi pa največji« (Žmavc, 2007, str. 41). Ker so v zmesi kamnitih zrn različne frakcije kamnitih zrn zastopane v različnih razmerjih, je potrebno vsako zmes preiskati in ugotoviti, kakšne so njene pomanjkljivosti ali prednosti.

Geometrijske značilnosti zmesi zrn so:

- *sestava zmesi zrn* (porazdelitev velikosti zrn, zrnastost)

Je osnovna značilnost, ki določa uporabnost pri proizvodnji asfaltnih zmesi. Frakcije nazivnih velikosti so označene s spodnjo (d) in zgornjo (D) mejno velikostjo stranic kvadratnih odprtih na sitih (preglednica 1).

Preglednica 1: Nazivne velikosti frakcij kamnitih zrn d/D (Henigman et al., 2006, str. 15)

Table 1: Nominal size stone aggregate fractions of d / D

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

V osnovnih frakcijah mora razmerje D/d znašati 2,0, v vmesnih frakcijah pa to razmerje ne sme biti manjše od 1,4. Preiskava sestave zmesi zrn poteka po postopku, ki ga določa standard SIST EN 933-1. Sestavo zmesi zrn grafično prikažemo na diagramu s krivuljo presejkov. Namen grafičnega prikaza je v tem, da je s takim prikazom omogočena primerjava dejanske zmesi zrn z idealno (teoretično) zmesjo zrn po recepturi.

V nazivnih velikostih frakcij so lahko prisotna tudi nadmerna in podmerna zrna, katerih delež ne sme biti škodljiv za kakovost zmesi zrn. Standard SIST EN 13043 določa kategorije nazivnih frakcij zmesi v odvisnosti od količine podmernih in nadmernih zrn (preglednica 2).

Preglednica 2: Delež podmernih in nadmernih kamnitih zrn v frakcijah ter kategorije po SIST EN 13043 (Henigman et al., 2006, str. 16)

Table 2: The content of undersized and oversize stone aggregate in fractions and categories according to SIST EN 13043

Zmes kamnitih zrn	Velikost zrn [mm]	Sito					Kategorija
		2D	1,4D	D	d	d/2	
Groba	D > 2	100	100	90 - 99	0 - 10	0 - 2	G _c 90/10
		100	98 - 100	90 - 99	0 - 15	0 - 5	G _c 90/15
		100	98 - 100	90 - 99	0 - 20	0 - 5	G _c 90/20
		100	98 - 100	85 - 99	0 - 15	0 - 2	G _c 85/15
		100	98 - 100	85 - 99	0 - 20	0 - 5	G _c 85/20
		100	98 - 100	85 - 99	0 - 35	0 - 5	G _c 85/35
Fina-drobno zrnata	D ≤ 2	100	-	85 - 99	-	-	G _f 85
Mešana	D ≤ 45 in d = 0	100	98 - 100	90 - 99	-	-	G _A 90
		100	98 - 100	85 - 99	-	-	G _A 85

- površina zmesi zrn

Hrapavost in poroznost površine zrn pogojuje potrebno količino veziva. Ta lastnost pomembno vpliva na mehanske lastnosti zmesi. Tu so mišljene voljnost za zgostitev, notranje trenje, odpornost proti preoblikovanju in torna sposobnost.

- oblika zrn (naravna, drobljena)

Neprimerno oblikovano zrno se bo pri mehanski obremenitvi prej preoblikovalo ali zdrobilo, zato je zelo pomembna ustrezna tehnološka predelava. Najboljša so kubična zrna, ki imajo enake prostorske osi (preglednica 3). Slabša zrna so tista, pri katerih je razmerje med dolžino in širino večje od 3.

Preglednica 3: Kategorije maksimalnih vrednosti modula oblike, SIST EN 933-4
(Henigman et al., 2006, str. 17)

Table 3: Categories maximums module forms, SIST EN 933-4

Modul oblike	Kategorija SI
≤ 15	SI ₁₅
≤ 20	SI ₂₀
≤ 50	SI ₅₀
Ni zahteve	SI _{NZ}

- *gostota zmesi zrn*

Gostejša kot je zmes zrn, bolj je urejena razporeditev zrn, bolj je podobna trdni snovi. Število frakcij v zmesi zrn pogojuje gostoto zmesi zrn.

Gostoto zmesi določimo z vibriranjem. Posamezna zrna v zrahljani zmesi na ta način prerazporedimo tako, da bo med njimi vedno manj votlin, zapoljenih z zrakom. S tem dosežemo večjo koncentracijo mase, ki pogojuje manjšo težnjo po spremembi oblike.

- *notranje trenje zmesi zrn (določajo ga prej naštetе lastnosti)*

- *delež drobljenih zrn*

Delež se določi na tistih zrnih, ki so večja od spodnje nazivne vrednosti (d) in manjša od zgornje nazivne vrednosti (D). Na podlagi vizualne ocene obsega drobljene površine ločimo zrna na drobljena, popolnoma drobljena, okrogla in popolnoma okrogla. Glede na masni odstotek posamezne skupine določimo kategorijo C (preglednica 4).

Preglednica 4: Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn (Henigman et al., 2011, str. 36)

Table 4: The content of grain in the crumbed mixture of coarse grains

Popolnoma drobljena zrna m.-%	Delno drobljena in popolnoma drobljena zrna m.-%	Popolnoma okrogla zrna m.-%	Kategorija C
90 do 100	100	0	C _{100/0}
30 do 100	95 do 100	0 do 1	C _{95/1}
30 do 100	90 do 100	0 do 1	C _{90/1}
	50 do 100	0 do 10	C _{50/10}
	50 do 100	0 do 30	C _{50/30}
	<50	>30	C _{navesti vrednost}
Ni zahteve	Ni zahteve	Ni zahteve	C _{NR}

Mehanske lastnosti zmesi zrn so:

- *odpornost proti drobljenju*

Je osnovni dejavnik trajnosti kamnitih zrn. Na kakšen način se bodo obnašala zrna pod vplivom udarcev je v veliki meri odvisno od mineralne sestave, velikosti, oblike, prostorskega razporeda in svežine mineralov. Določanje odpornosti zmesi zrn proti drobljenju izvajamo po postopku »Los Angeles« (preglednica 5 - SIST EN 1097-2), kjer: »...določeno število jeklenih krogel z določeno maso, vstavljenih skupaj z zmesjo zrn v predpisani bobni, med vrtenjem drobi in melje zrna« (Henigman et al., 2006, str. 17).

Preglednica 5: Kategorije maksimalnih vrednosti količnika Los Angeles (Henigman et al., 2006, str. 18)

Table 5: Categories maximums ratio Los Angeles

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

- *odpornost proti obrabi*

Odvisna je od trdote mineralov, načina povezanosti in količinskega odnosa, določevanje količnika odpornosti proti obrabi po postopku micro-Deval – preizkus po SIST EN 1097-1.

- *odpornost proti zglajevanju oziroma poliranju*

Je pomembna lastnost zmesi zrn, ki se uporabljajo za obrabne plasti vozišč. Najbolj odporne so eruptivne kamnine, kar posledično zagotavlja boljšo tornno sposobnost vozišč. Preizkus se opravi po postopku pospešenega zglajevanja, vrednoti se kot količnik PSV - Polished stone value (preglednica 6 - SIST EN 1097-8).

Preglednica 6: Kategorije za minimalne vrednosti odpornosti proti poliranju (Henigman et al., 2006, str. 19)

Table 6: Categories for the minimum value of resistance to polishing

Vrednost poliranja kamna	Kategorija PSV
≥ 50	PSV ₅₀
≥ 44	PSV ₄₄
Vmesne vrednosti in < 44	PSV _{deklariran}
Ni zahteve	PSV _{NZ}

- *odpornost proti nizkim in visokim temperaturam oziroma zmrzovanju in tajanju*

Spremembe temperature okolice lahko povzročijo preperevanje, drobljenje, krušenje, kamnitih zrn, zaradi delovanja vode, ki v porah kamnin povzroča pritiske. Za ugotavljanje odpornosti kamnitih zrn proti razpadanju zaradi delovanja visokih in nizkih temperatur, uporablja preizkus z zamrzovanjem in tajanjem z magnezijevim ali z natrijevim sulfatom (preglednica 7 - SIST EN 1367-2).

Preglednica 7: Kategorije maksimalnih vrednosti magnezijevega sulfata (Henigman et al., 2006, str. 20)

Table 7: Categories maximums of magnesium sulphate

Vrednost magnezijevega sulfata (m.-%)	Kategorija MS
≤ 18	MS ₁₈
≤ 25	MS ₂₅
Ni zahteve	MS _{NZ}

Zmes kamnitih zrn po preizkusu po SIST EN 1097-6 (dodatek B) lahko ovrednotimo kot odporno tudi kadar ugotovimo vpijanje vode v frakciji 4/8 mm do 0,5 m.%.

- *vpijanje vode v groba zrna*

Razlika mase med površinsko suhimi zrni, ki so nasičena z vodo in čisto suhimi zrni, poda količino vpijanja vode v groba zrna (preglednica 8 - SIST EN 1097-6, dodatek 7).

Preglednica 8: Kategorije za vpijanje vode v groba zrna (Henigman et al., 2011, str. 39)

Table 8: Categories for water absorption in the coarse grain

Absorpcija vode (m.-%)	Kategorija WA_{24}
≤ 1	$WA_{24} 1$
≤ 2	$WA_{24} 2$
Opomba: absorpcija vode se ne more prevzeti za plavžno žlindro	

- *kakovost finih delcev* (kakovost se določa v frakciji 0/2 mm s poskusom adsorpcije barvila, preglednica 9 - SIST EN 933-9)

Preglednica 9: Kategorije kakovosti finih delcev (Henigman et al., 2011, str. 40)

Table 9: Categories of quality for fine particles

MBF-vrednost (g/kg)	Kategorija MB_F
-	$MB_F NT^a$
≤ 10	$MB_F 10$
≤ 25	$MB_F 25$
> 25	MB_F navesti vrednost
Ni zahteve	$MB_F NR$
^a Kategorija $MB_F NT$ določa, da ni zahteve za test	

- *obvitost zrn z bitumnom* (vizualna ocena obvitosti zrn se določi po 6 do 24 urah rotacije vzorca, SIST EN 12697-11)

Zmes kamnitih zrn mora ne glede na želeno končno asfaltno zmes ustrezati SIST EN 13043 in SIST 1043 (preglednica 10). Razredi prekomernih vrednosti od navedenih so dopustni v primerih minimalnih zahtev. Za vsak razred (Z) zmesi kamnitih zrn veljajo minimalne zahteve za lastnosti teh zmesi. Razred zmesi kamnitih zrn in nazivno zrnastost se pri projektiranju izbere glede na pričakovano prometno obremenitev in predvideno debelino asfaltne plasti.

Za vse asfaltne zmesi veljajo navedene minimalne zahteve za zmesi zrn (preglednica 10). Zmesi drobirja z bitumenskim mastiksom (SMA) in liti asfalt (MA) nimata razredov Z5 in Z6. Razred Z4 se lahko izjemoma uporablja samo za zaščitne plasti. Drenažni asfalt (PA) nima razredov od Z4 do Z5. V preglednici 10 so dovoljeni razredi za posamezne asfaltne zmesi osenčeni.

V preglednici 10 so poleg nekaterih vrednosti tudi naslednje označbe, ki pomenijo:

- 1) Velja za zmes 0/2; groba zrna morajo biti proizvedena iz kamnine, ki ustreza zahtevi PSV50.
- 2) Velja kot predhodni preizkus odpornosti grobih zrn proti mrazu (če je zahtevan).
- 3) V izjemnih primerih je dovoljena vrednost LA25, če je strokovno utemeljena.

Pri bitumenskih betonih (AC) je treba razlikovati šest razredov zmesi kamnitih zrn:

- za obrabne plasti so dovoljeni razredi Z1, Z2 in Z3,
- za nosilne plasti so dovoljeni razredi Z4, Z5 in Z6,
- za vezne plasti je dovoljen razred Z4,
- za obrabno nosilne plasti je dovoljen razred Z3,
- za zaščitne plasti na objektih in izravnalne plasti je dovoljen razred Z4 (SIST 1038-1, str 7).

Preglednica 10: Združena preglednica za minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn po SIST 1038-1,5,6,7

Table 10: Combined table for the minimum requirements for a mineral aggregate SIST 1038-1,5,6,7

Zveza z SIST EN 13043 in SIST 1043			Zahteve					
			Razred zmesi zrn in referenčne vrednosti					
Točka	Značilnost po CE-označitvi	SIST EN	Z1	Z2	Z3	Z4	Z5	Z6
Bitumenski betoni (AC)								
Drobir z bitumenskim mastiksom (SMA)								
Drenažni asfalt (PA)								
Liti asfalt (MA)								
4.1.3	Zrnavost	933-1	V splošnem 0/2, 0/4, 2/4, 4/8, 8/11				Frakcije zmesi zrn dopustne	
4.1.3.2	Zrnavost za zmesi drobnih zrn ($D < 8\text{mm}$)	933-1	G_{TC20}				G_{TCNR}	
4.1.4	Delež finih delcev	993-1	grobi: f_1 fini: f_{16}				grobi: f_2 fini: f_{NR}	
4.1.5	Kakovost finih delcev	933-9	MB_{F10} ; največ 5 g/kg					
4.1.6	Oblika grobih zrn	933-4	SI_{20}					
4.1.7	Delež drobljenih zrn v zmesi grobih zrn	933-5	$C_{100/0}$	$C_{90/1}$			$C_{50/30}$	C_{NR}
4.2.2	Odpornost grobih zrn proti drobljenju	1097-2, točka 5	$LA_{20}^{3)}$	LA_{25}	LA_{30}			LA_{40}
4.2.3	Odpornost grobih zrn proti zaglajevanju	1097-8	PSV_{50}	PSV_{50} $PSV_{30}^{1)}$	PSV_{30}	PSV_{NR}		
4.2.5	Odpornost proti obrabi	1097-1	M_{DE}^{NR} – navesti vrednost				M_{DE}^{NR}	
4.2.9.1	Vpijanje vode v groba zrna ²⁾	1097-6	WA_{24I}					
4.2.9.2	Odpornost grobih zrn (8/16 mm) proti zmrzovanju /tajanju	1367-1	MS_{18} ; manjši m.-%			MS_{NR} – navesti vrednost		
4.2.10	Odpornost proti temperaturnemu šoku	1367-5	navesti vrednost					
4.2.11	Obvitost grobih zrn z bitumenskim vezivom	12697-11, postopek A	najmanj 80%					
4.2.12	Preizkus Sonnenbrand bazalta	1367-3	SB_{LA} – navesti vrednost					
4.3.4.3	Prostorninska stabilnost žlindre	1744-1	$V_{3,5}$					

V točki 4.1.3 (zrnastost po SIST EN 933-1) so dovoljene frakcije zrn za bitumenske betone tudi 8/16, 11/16, 16/22, 16/32, 22/32.

Pri drobirju z bitumenskim mastiksom razlikujemo štiri razrede zmesi kamnitih zrn. To so Z1, Z2, Z3 in Z4. Enako velja za liti asfalt. Obe asfaltni zmesi imata na prvi pogled skoraj enake minimalne zahteve za zmesi kamnitih zrn s to razliko, da za drobir ni zahtev za:

- zrnastost po SIST EN 933-1 za zmesi drobnih zrn ($D < 8\text{mm}$),
- vpijanje vode v groba zrna²⁾ po SIST EN 1097-6 in
- preizkus Sonnenbrand bazalta po SIST EN 1367-3.

Razlike so še v točki 4.1.5 – kakovost finih delcev, kjer je poleg zahteve MB_{F10} , zahteva, da je po preizkusu SIST EN 933-9 le 4 grame ostanka barvila na kilogram frakcije, namesto 5g/kg, kot je to določeno v ostalih asfaltnih zmesih.

Naslednja razlika je tudi v točki 4.2.9.2 – odpornost grobih zrn proti zmrzovanju in tajanju. Za razred Z4 pri AC in MA velja kategorija MS_{NR} , kar pomeni, da za ta razred ni zahteve glede odpornosti proti zmrzovanju in tajanju. Pri SMA pa tu velja ista zahteva kot za razrede Z1 do Z3, to je, da je MS_{18} , oziroma da je vrednost magnezijevega sulfata manjša od 5 m.-%.

Drenažni asfalt obsega štiri razrede zmesi kamnitih zrn Z1, Z2, Z3 in Z6. Razlika glede minimalnih zahtev za zmesi kamnitih zrn je v točki 4.1.3 (zrnastost po SIST EN 933-1), po kateri so dovoljene frakcije zrn (poleg navedenih v tabeli) še 8/16 in 11/16.

Po točki 4.2.9.2 (odpornost grobih zrn proti zmrzovanju in tajanju) za Z6 velja ista zahteva kot za razrede od Z1 do Z3, torej MS_{18} kar pomeni, da je vrednost magnezijevega sulfata manjša od 5 m.-%.

Največje razlike med razredi zmesi kamnitih zrn, ki določajo značilnosti posameznih razredov Z so v točkah: 4.1.7 – delež drobljenih zrn v zmesi, 4.2.2 – odpornost grobih zrn proti drobljenju in 4.2.3 – odpornost grobih zrn proti zaglajevanju.

Za razred Z1 velja, da mora biti delež drobljenih zrn 100 m.-% oziroma, da okrogla nedrobljena zrna ne smejo biti prisotna v kamniti zmesi. Los Angeles količnik mora biti manjši ali enak 20. Vrednost poliranja PSV, ki zagotavlja potrebno torno sposobnost, mora biti večja ali enaka 50 (ta vrednost velja za silikatne kamnine, pri karbonatnih kamninah, za lažjo prometno obremenitev, je dovoljena vrednost 30).

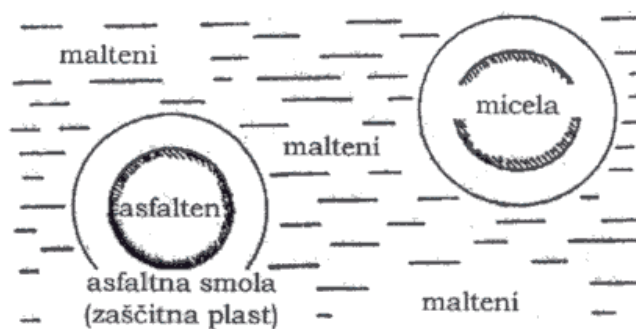
Zmesi Z2, Z3 in Z4 morajo vsebovati najmanj 90 m.-% popolnoma drobljenih zrn, okroglih, oziroma nedrobljenih zrn pa je lahko do 1 m.-%. To daje kategorijo C_{90/1}. Razred Z2 se od razredov Z3 in Z4 loči še po zahtevah v količniku LA, ki mora biti manjši ali enak 25 ter ima vrednost poliranja kamna večjo ali enako 50. Razred Z3 se od Z4 loči po odpornosti grobih zrn proti zaglajevanju, ki mora imeti vrednost večjo ali enako 30, medtem ko razred Z4 nima določene vrednosti.

Iz razpredelnice lahko opazimo, da količnik LA z razredom raste, kar pomeni, da ima razred zmesi kamnitih zrn z višjo številko - manjšo odpornost proti drobljenju. Prav tako z višjim razredom Z padata delež drobljenih zrn in odpornost proti zaglajevanju.

V povezavi s prometno obremenitvijo in razredom bituminizirane zmesi (A1 – A5) so določeni tudi razredi zmesi kamnitih zrn. Na splošno velja, da z naraščanjem prometne obremenitve narašča dovoljena vsebnost votlin v asfaltni zmesi ter pada vsebnost votlin, zapoljenih z bitumnom. Kolikšna je ta vsebnost pa je določeno glede na vrsto bituminizirane zmesi.

2.2 VEZIVO

Bitumensko vezivo v asfaltni zmesi predstavlja šibkejši člen, vendar pa pomembno učinkuje kot stabilizator zmesi zrn in izboljšuje lastnosti voziščne konstrukcije. Bitumen se pridobiva s frakcionirano destilacijo surove nafte, ki vsebuje veliko naftenov in aromатов. Sestavlja ga veliko število visokomolekularnih ogljikovodikov ter manjše količine žvepla, kisika, dušika in drugih snovi. Po molekularni strukturi je bitumensko vezivo koloid, kar ga uvršča na vmesno stopnjo med pravo raztopino in suspenzijo.



Slika 1: Shema zgradbe bitumenskega veziva (Žmavc, 2007, str. 69)

Figure 1: Schematic view of the bituminous binder

Kot vezivo se lahko dodaja tudi naravni asfalt, če ustreza zahtevam standarda SIST EN 13108-4, dodatek B. »Naravni asfalti nastajajo z »destilacijo« naft v naravi v daljših časovnih obdobjih (geoloških dobah) in mešanjem nastalega bitumenskega veziva z drobnimi kamnitimi zrni (kamena moka – polnilo, melj, drobni pesek) ali vulkanskim pepelom« (Žmavc, 2007, str. 87).

Bitumenska veziva in naravni asfalt spadajo med organska veziva.

V cestogradnji se pretežno uporabljajo:

- cestogradbeni bitumni (v naših klimatskih pogojih sta najpogosteje uporabljena tipa 50/70 in 70/100),
- s polimeri modificirani bitumni in
- hladna bitumenska veziva.

Za bitumenski beton in liti asfalt se uporablja cestogradbeni bitumen, modificirani bitumen ali trdi bitumen.

Za drobir z bitumenskim mastiksom in drenažni asfalt pa se uporablja cestogradbeni bitumen in modificirani bitumen.

»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).

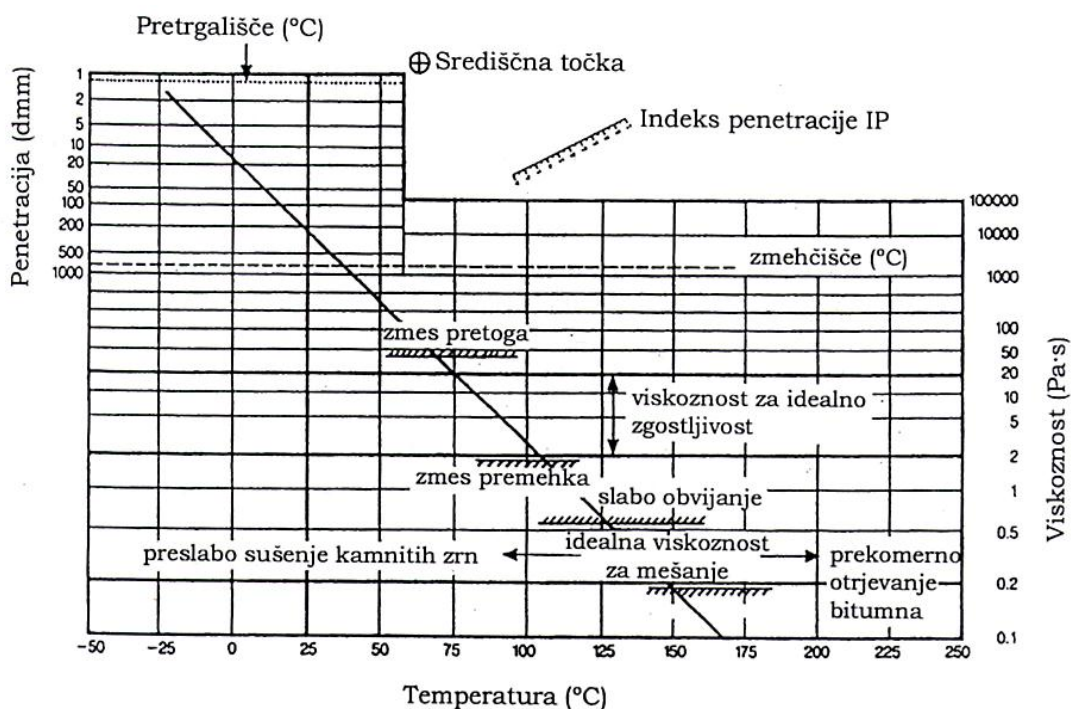
2.2.1 Cestogradbeni bitumen

Standard SIST EN 12591 določa lastnosti cestogradbenih bitumnov. V standardu je določenih osem različnih tipov standardnih bitumnov. Vsak posamezen tip bitumna ima določene fizikalne lastnosti, katerih vrednosti ga določajo. Označba tipa cestogradbenega bitumna predstavlja mejne vrednosti penetracije pri 25 °C v milimetrih. Na ta način ločimo naslednjih osem tipov cestogradbenih bitumnov: 20/30, 30/45, 35/50, 40/60, 50/70, 70/100, 100/150 in 160/220.

V sklopu preiskav bitumenskega veziva preverimo naslednje lastnosti bitumenskega veziva:

- *penetracija* (merilo trdote bitumenskega veziva pri 25°C), je osnova za razvrstitev bitumnov v tipe,
- *zmehčišče* predstavlja temperaturo začetka tečenja bitumenskega veziva,
- *indeks penetracije* predstavlja spremembo viskoznosti v odvisnosti od temperature, (izračuna se iz izmerjenih vrednosti zmehčišča in penetracije),
- *duktilnost* oziroma *raztegljivost* določa meje raztezanja, ne da bi se nitka bitumenskega vzorca pretrgala,
- *pretrgališče po Fraassu* je točka loma oziroma začetek krhkega območja bitumenskega veziva pri nizkih temperaturah,
- *viskoznost* je merilo notranjega trenja bitumenskega veziva v različnih fazah predelave.

Slika 2 prikazuje Heukelomov diagram, ki ga uporabljamo za oceno primernosti bitumenskega veziva (njegova kakovost, reološke lastnosti in možnost uporabe pri določeni temperaturi). Iz diagrama je razvidno, da je viskoznost nad vrednostjo 2 Pa.s najbolj idealna za valjanje, saj je bitumensko vezivo do viskoznosti 20 Pa.s najbolj idealno zgostljiv. Idealna viskoznost za mešanje je med 0,2 in 0,5 Pa.s pri temperaturi 125-150 °C.



Slika 2: Heukelomov diagram za oceno značilnih lastnosti bitumenskega veziva (Žmavc, 2007, str. 80)

Figure 2: Heukelom diagram to assess the unique characteristics of bituminous binders

Druge lastnosti bitumenskega veziva so še:

- *gostota* bitumenskega veziva;

Vroče bitumensko vezivo je lažje od hladnega in mehko bitumensko vezivo je lažje od trdega.

- *razteznost* bitumenskega veziva;

Vroče bitumensko vezivo zapolnjuje več votlin zaradi večje prostornine, zato je vroče asfaltno zmes lažje zgoščevati. Hladna asfaltna zmes se skrči, zato razpoka in odstopi od stabilnih mejnih površin, kot so robniki ali jaški.

- *prevodnost* bitumenskega veziva je majhna (je izolator),

- *termoviskozno obnašanje*;

Ima osnovni pomen za predelavo in uporabo; trše bitumensko vezivo mora biti pri predelavi bolj vroče kot mehkejše. S segrevanjem že ohlajene asfaltno zmesi omogočimo njeno dodatno zgostitev, profiliranje, obdelavo stikov, recikliranje.

- *elastoviskozno obnašanje;*

Je plastično ali elastično; viskozni delež celotne deformacije je večji, čim mehkejša je bitumensko vezivo. S staranjem elastičnost bitumenskega veziva narašča, po prehodu preko maksimuma pa se zmanjšuje:
- *sposobnost relaksiranja;*

Povezana je z elastoviskoznim obnašanjem; zmanjšuje vsiljene napetosti. Zmanjševanje napetosti je hitrejše, če je bitumensko vezivo mehkejše.
- *utrujanje;*

Če se obremenitev ponavlja, se bitumensko vezivo utruja. Kadar so raztezki majhni, lahko do utrujenosti pride kasneje, če so raztezki veliki, pa se bitumensko vezivo hitreje utruja. Meje raztezanja bitumenskega veziva so odvisne od temperature, vrste bitumenskega veziva in debeline bitumenskega filma.
- *oprijemljivost;*

Boljšo oprijemljivost omogočajo suha in čista zrna ter hrapava površina zrn. Če je oprijemljivost bitumenskega veziva z zrnji dobra, potem bo asfaltna zmes bolj trajna. Boljšo oprijemljivost lahko dosežemo z določenimi dodatki (na primer amini, amidi).
- *obnašanje v vodi;*

Bitumen je v vodi netopljiv.
- *obnašanje v olju ali topilu;*

Bitumen je v olju topljiv, če sta bitumen in olje podobnega izvora.
- *obnašanje v kemikalijah;*

Trši kot je bitumen, bolj je odporen proti kemikalijam.
- *obnašanje na zraku in svetlobi;*

Staranje bitumna je posledica vpliva kisika, UV žarkov in temperature, ki povzročijo spremembe lastnosti bitumenskega veziva; ki se kaže kot otrjevanje.

2.2.2 Bitumni modificirani s polimeri

To so bitumni, ki so jim dodane umetne snovi in/ali kavčuk. Dodatek polimerov lahko poveča penetracijo, izboljša oprijemljivost (lepljivost), poveča se viskoznost, poveča se

fleksibilnost in elastičnost, poveča se termična stabilnost in izboljša se odpornost proti nastanku preoblikovanj (kolesnic), razpok ter staranju.

Po standardu SIST 1035:2008 se glede na njihove lastnosti uporablja 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. Prvi dve vrednosti označujeta mejni vrednosti penetracije pri 25°C (v milimetrih). Tretja vrednost pa je temperatura zmečkaišča, izražena v °C. Pri nas se v praksi najpogosteje uporablja bitumensko vezivo tipa PmB 45/80-65, ki ima najustreznejše lastnosti za uporabo v naših klimatskih pogojih na prometno bolj obremenjenih cestah.

Posebna preizkusa modificiranih bitumnov sta preizkus stabilnosti proti razmešanju in elastična povratna deformacija.

2.2.3 Hladna bitumenska veziva

Hladna bitumenska veziva so bitumenske emulzije in rezani oz. fluksirani bitumni. Olga Naglič (v Henigman et al., 2006, str. 26) piše: »*Bitumenska emulzija je v vodi s pomočjo emulgatorjev dispergirani cestogradbeni, razredčeni ali polimerni bitumen; v odvisnosti od vrste emulgatorjev so emulzije kationske, anionske in neionske*«. Najbolj uporabljane so kationske emulzije, saj jih je zaradi njihove narave delovanja mogoče uporabiti z vsemi vrstami kamnitih zrn. Uporabljajo se za predhodni pobrizg, za izdelavo površinske ali tankoplastne prevleke ter za popravila asfaltnih vozišč.

Pomembni so naslednji preizkusi: meritve viskoznosti, oprijem na kamnita zrna in plamenišče, določitev stabilnosti in obstojnost pri skladiščenju ter vsebnost hlapnih komponent.

2.2.4 Staranje bitumenskega veziva

Staranje bitumenskega veziva lahko razvrstimo v tri tipe: zaradi izhlapevanja olj (destilacija), oksidativno staranje in strukturno staranje.

Izhlapevanje olj iz bitumenskega veziva se začne že ob proizvodnji bitumenskega veziva z vpihovanjem zraka, predelavi bitumenskega veziva, med skladiščenjem bitumenskega veziva v cisternah, pri proizvodnji ali prevozu asfaltnih zmesi.

Oksidacija je največja po vgraditvi asfaltnih zmesi in tudi najbolj škodljivo vpliva na spremembe v bitumnu. Oksidativno staranje se začne počasi, z naraščanjem radikalov pa se pospešuje. Na ta način bitumensko vezivo otrjuje. Bitumensko oksidativno staranje poteka pospešeno samo na površini, ki je v stiku s kisikom in sončno svetlobo. V bitumnu zaradi delovanja kisika in UV žarkov nastanejo spremembe - polarne kisikove spojine, katerih končni proizvod so asfalteni. To spreminjanje seže globoko v film bitumenskega veziva, zato je pomembna debelina bitumenskega veziva; večja kot je, bolj je bitumensko vezivo odporno na staranje. Pri tem pa je oksidacija bitumenskega veziva odvisna tudi od kakovosti uporabljene zmesi zrn, deleža votlin v asfaltni zmesi in temperature.

Povečanje deleža asfaltenov in naftnih smol v bitumnu (oziroma koloidno dispergiranih delcev) vodi v *strukturno staranje*. Proces poteka tako, da se dispergirani delci koagulirajo in se združijo v večje sprimke. Tako bitumensko vezivo postopoma iz tekoče faze prehaja v gel, ki pa ni popolni koloidni sistem, zato se bitumensko vezivo še naprej stara in pridobiva na trdoti in posledično izgublja svojo elastičnost (veča se nevarnost nastanka razpok). Bitumnu se lahko ob tem zmanjša tudi prostornina. Ko preneha koloidno disperzno stanje, se konča strukturno staranje.

2.2.5 Temperatura asfaltne zmesi

Vrsta uporabljenega bitumenskega veziva določa kasneje tudi temperaturo, ki jo mora imeti končna asfaltna zmes, skladno s SIST 1038-(1,5,6 in 7):2007. V primeru uporabe cestogradbenega bitumenskega veziva je treba izmeriti temperaturo po zahtevah iz SIST EN 12697-13. Najvišja temperatura bitumenizirane zmesi se tako meri v asfaltnem obratu, najnižjo temperaturo pa merimo na mestu vgrajevanja. Pri uporabi modificiranega bitumenskega veziva mora biti temperatura prilagojena pogojem uporabe, dokumentirana in navedena na listini z oznako CE.

Iz SIST 1038-(1,5,6 in 7):2007 sta izbrani zahtevi za priporočeno in najvišjo temperaturo asfaltna zmesi za dva tipa najpogosteje uporabljenih bitumenskih veziv v Sloveniji:

- za bitumenski beton, drobir z bitumenskim mastiksom in drenažni asfalt je pri uporabi bitumenskega veziva tipa 50/70 priporočena temperatura 150 °C, najvišja pa 170 °C,
- pri bitumnu tipa 70/100 pa je priporočena temperatura 145 °C, najvišja pa 165 °C.

Za liti asfalt so zahtevane temperature nekoliko višje. Za obe vrsti bitumenskega veziva velja, da je priporočena temperatura 190 °C, najvišja pa lahko znaša 230 °C.

2.3 DODATKI

Dodatke se dodaja v asfaltno zmes v majhnem deležu glede na ostale sestavine. Njihova uporaba omogoča izboljšanje posameznih lastnosti asfaltnih zmesi. Preglednica 11 na naslednji strani prikazuje vrsto dodatkov.

Pred uporabo dodatkov se je potrebno vprašati, kaj želimo z uporabo določenega dodatka doseči, kateri je najprimernejši dodatek, kako in kdaj dodatek primešati zmesi, kolikšni so stroški uporabe in njihov vpliv na zdravje in varnost.

Glede na težave, na katere naletimo po letih uporabe asfaltnega vozišča, želimo z dodatki

- dobiti bolj togo zmes, da ob visokih temperaturah ne bi nastajale kolesnice,
- dobiti mehkejšo zmes, da ne bodo nastajale razpoke pri nizkih temperaturah,
- asfaltni zmesi povečati odpornost proti utrujanju,
- preprečiti, da se asfaltna plast ne bi luščila - povečati oprijemljivost med bitumnom in kamnitimi zrnji,
- povečati odpornost proti obrabi,
- olajšati vgrajevanje,
- povečati trajnost asfaltno zmesi, s tem, da se doseže debelejši film bitumenskega veziva okrog kamnitih zrn,
- zmanjšati pojav znojenja bitumenskega veziva,
- zaustaviti oksidacijo - staranje bitumenskega veziva,

- omogočiti manjšo debelino asfaltne plasti in
- vplivati na katere druge lastnosti.

Preglednica 11: Razvrstitev dodatkov asfaltnim zmesem po Terrel-u in Walterju
(Henigman et al., 2011, str. 49)

Table 11: Classification accessories asphalt mixtures (Terrel and Walter)

Vrsta dodatka	Generični primeri dodatkov
Polnilo	Mineralna polnila: kamena moka, apno Portland cement, elektrofilterski pepel, saje
Dopolnila	Žveplo, lignin
Guma naravni lateks sintetični lateks blok kopolimer	Naravna guma Stiren-butadien (SBR) Polikloropren lateks Sitren-butadien-stiren (SBS)
Plastike	Polietilen / polipropilen Etilen akrilat-kopolimer Etil-vinil-acetat (EVA) Polivinil klorid (PVC) Etilen propilen (EPDM) Poliolenfini
Kombinacije	Mešanice polimerov iz gume in plastike
Vlakna	Naravna: azbestna in kamnita volna Umetna: polipropilenska, poliesterska, steklena, mineralna, celulozna
Oksidanti	Manganske soli
Antioksidanti	Svinčene spojine Ogljik Kalcijeve soli
Ogljikovodiki	Olja za recikliranje in obnovitev Trdi in naravni bitumni Voski
Sredstva proti luščenju	Amini Apno
Odpadni materiali	Strešna kritina Resiklirana guma Steklo
Razno	Silikoni Zrnasti kalcijev klorid Zeoliti

2.3.1 Polnila

Z dodajanjem dodatkov izboljšamo nekatere lastnosti, druge pa se lahko na ta račun tudi poslabšajo.

Na primer: če dodajamo polnilo, pričakujemo, da bomo:

- povečali stabilnost zmesi ter izboljšali sprejemljivost med bitumnom in kamnitimi zrn
- z dodajanjem polnila pa zmanjšamo količino dodanega bitumenskega veziva, saj zapolnimo proste votline v zmesi.

Manjša količina bitumenskega veziva pomeni manjšo debelino bitumenskega filma okoli kamnitih zrn, posledično manj trajno asfaltno plast. Zaradi tega je ponekod predpisano razmerje med polnilom in bitumnom od 0,6 do 1,2.

Kadar je polnilo iz odprašnega materiala iz filtrov (tako imenovano lastno polnilo) to lahko vsebuje glino. Glina v asfaltni zmesi pa poslabša sprejemljivost zrn z bitumnom, zato obstaja nevarnost odstopanja. To preprečimo na ta način, da uporabljamo kontrolirano kupljeno polnilo, ali pa da na asfaltnem obratu redno kontroliramo ustreznost lastnega polnila.

Tudi apno se kot polnilo uporablja za preprečevanje odstopanja bitumenskega veziva z zrn. Saje so nekakšno mikropolnilo in jih dodajamo za povečevanje togosti zmesi in posledično preprečevanje nastanka kolesnic in obrabe. Pomagajo pa tudi zmanjšati oksidacijsko otrjevanje bitumenskega veziva.

2.3.2 Dopolnila

Kot dopolnilo se uporablja predvsem žveplo, ki je stranski proizvod pri odžvepljevanju naravnega plina. Žveplo vezivu zniža viskoznost ter poveča gostoto. Asfaltna zmesi z dodatkom žvepla se praktično obnašajo enako kot običajne zmesi, so pa odpornejše proti deformacijam. Edina pomanjkljivost pri uporabi žvepla je, da pri temperaturah nad 150 °C oddaja emisije vodikovega sulfida.

2.3.3 Gume

Gumeni dodatki so v zadnjem času v Sloveniji v postopku preskušanja, vendar je za uporabo tega dodatka potrebno naše asfaltne obrate ustrezno prilagoditi. Pomembno je namreč kdaj in kako primešamo gumo ostalim materialom. Slabost pri uporabi tega dodatka je dražji proizvod. V Sloveniji nimamo predelovalca gum, ki bi iz izrabljenih pnevmatik izdeloval gumena zrna za uporabo v asfaltnih zmesih, zato jih je potrebno kupovati na tujih trgih. Guma kot dodatek je zanimiva predvsem zaradi tega, ker omogoča izdelavo bolj odporne asfaltne zmesi, primerne za uporabo zelo obremenjenih asfaltnih plasti. Guma kot dodatek omogoča izdelavo bolj elastične zmesi, ki je dobro odporna proti nastanku razpok zaradi utrujanja. Z dodatkom gume pa lahko izdelamo asfaltno zmes, ki je odporna tudi pri nizkih temperaturah uporabe in zmanjšuje hrup prometa.

2.3.4 Plastike

Kot piše Ljubič (V: Henigman et al., 2006, str. 37) imajo plastomeri trdno in togo tridimenzionalno mrežo, ki je odporna proti deformiranju. Njihova edina pomanjkljivost je lomljivost. Dodajanje plastomerov bitumnu pomeni, da bo njegova viskoznost in togost večja, elastičnost pa ne bo povečana. Uporabljamo jih enako kot gumene polimere, pri skladiščenju pa jih je potrebno nenehno mešati, da ostane vezivo homogeno.

2.3.5 Vlakna

Vlakna se uporabljajo za povečanje natezne trdnosti in kohezije asfaltnih zmesi. Z uporabo vlaken lahko povečamo delež bitumenskega veziva v asfaltni zmesi (debelejši film bitumenskega veziva okrog zrn), kar je posebej dobrodošlo pri izdelavi drenažnega asfalta in drobirja z bitumenskim mastiksom.

2.3.6 Oksidanti in antioksidanti

Oksidanti (na primer manganske soli) otrjujejo vezivo, zato jih uporabljamo pri mehkejših bitumnih. Na ta način povečujejo togost, ne zmanjšajo pa trajnosti asfaltne zmesi, kar bi se zgodilo ob uporabi tršega bitumenskega veziva.

Antioksidantov, na primer svinčene spojine, ogljik, kalcijeve soli, zmanjšujejo otrjevnaje bitumenskega veziva in s tem povečujejo trajnost asfaltne zmesi.

2.3.7 Ogljikovodiki

Ogljikovodiki so uporabni za modificiranje bitumenskega veziva, kadar uporabljamo reciklirane asfaltne zmesi. Omogočajo mehčanje starega veziva, zato jih imenujemo tudi dodatki za revitalizacijo. Pri doziranju dodatkov za revitalizacijo je potrebno nekaj več previdnosti, saj se lahko majhna odstopanja zelo odražajo pri obnašanju in kakovosti asfaltne zmesi.

2.3.8 Dopii

Dopi so sredstva, ki se uporabljajo proti odstopanju bitumenskega veziva od kamnitih zrn (Gestrata, 2002; Wehner, 1977). Dopi vsebujejo amine, amide, montanski vosek in so v obliki tekočine. Obstajajo pa tudi dopi na osnovi apna. Tekoči dodatki zmanjšujejo površinsko napetost in zato izboljšujejo sprijemljivost s kamnitimi zrnii. Dodaja se jih bitumnu pred mešanjem s kamnitimi zrnii. Dodatke na osnovi apna se dodaja zmesi kamnitih zrn pred mešanjem z bitumnom.

2.3.9 Odpadki

Zaradi nenehnega nastajanja raznih vrst odpadkov, pa naj bodo to gradbeni (cementni beton, asfalt, opeka), industrijski (celulozni odpadki, elektrofilterski pepel,...), rudniški (jalovina) ali pa povsem običajni odpadki (odpadna guma, steklo, strešna kritina,...), se vedno več ljudi ukvarja z vprašanjem, kako te odpadke ponovno uporabiti na drugačen način, da bi čim bolj zmanjšali količino odpadkov, ki jih moramo odložiti na deponijo. Nekatere odpadke se precej uspešno in enostavno vrača v proizvodnjo, spet druge je potrebno predelati. Tako se razvijajo različne ideje za ponovno uporabo odpadkov v različnih industrijah. Režkanec, ki ga pridobimo pri odstranjevanju (režkanju) vgrajenih asfaltnih plasti, je eden takih odpadkov, ki ga lahko ponovno uporabimo v proizvodnji asfaltnih zmesi.

Konkretno pri proizvodnji asfaltnih zmesi pa je potrebno v zvezi z uporabo odpadkov dobiti tudi odgovore na (Ljubič A., 2006. Materiali, Dodatki. V: Henigman et al., 2006, str. 40)

- *tehnična vprašanja: vpliv na lastnosti, na proizvodnjo in kasneje na možnost ponovne uporabe*
- *ekološka vprašanja: emisije, dim vonj, izluževanje ter postopki obdelave in rokovanja*
- *ekonomska vprašanja: cena vgradnje, cena v toku eksploatacije, preostala vrednost in finančna vzpodbuda za uporabo teh materialov.*

2.3.10 Drugi materiali

Med druge materiale, ki se jih uporablja kot dodatek, uvrščamo silikon in kalcijev klorid.

Silikon se dodaja v zelo majhnih količinah, uporaben pa je za preprečevanje penjenja pri proizvodnji in vgradnji ter za upočasnitev oksidacijskega otrjevanja veziva med skladiščenjem.

Ljubič (V: Henigman et al., 2006, str. 40) piše, da za upočasnitev nastajanja ledu na površini vozišča in za lažje odstranjevanje ledu s površine uporabljamo v asfaltnih zmesih za obrabne plasti kalcijev klorid (poznani kot Verglimit). Njegova funkcija v asfaltni zmesi je, da se, kadar je izpostavljen vlagi, širi in prebije na površino vozišča, kjer vlago absorbira, dokler se ne stopi.

3 PROIZVODNJA ASFALTNIH ZMESI

3.1 STANDARDNA STROJNA OPREMA

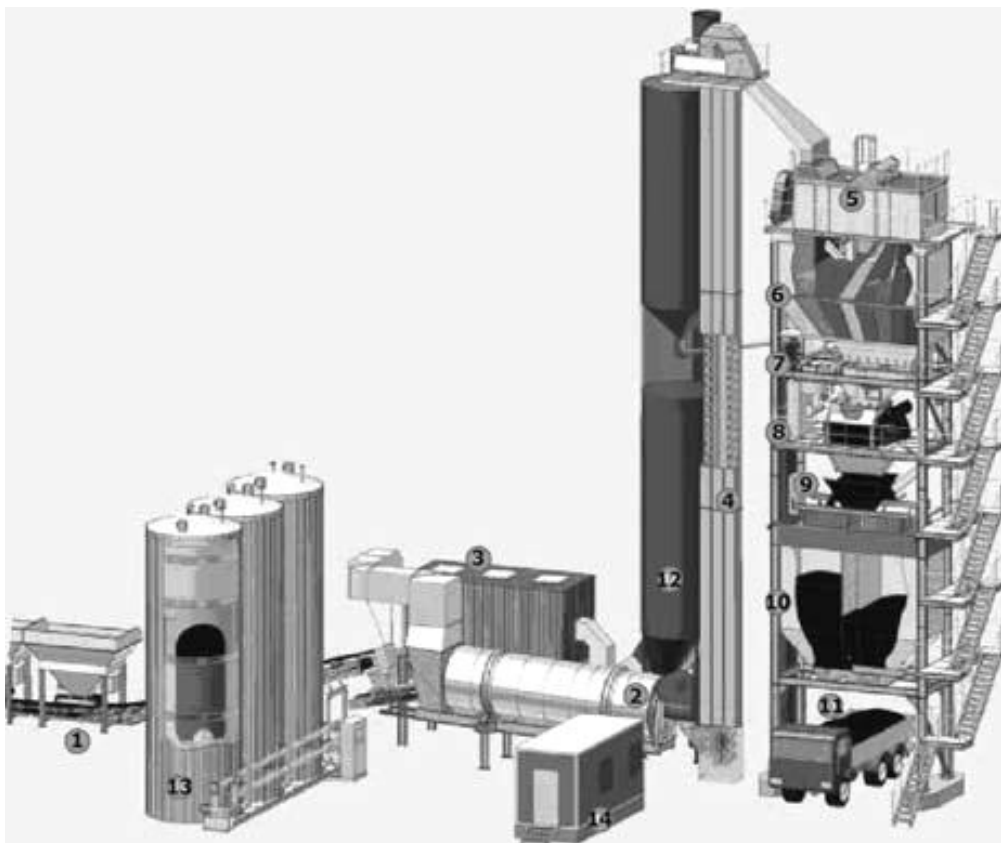
Pravilno delovanje, oziroma rokovanje s posamezno opremo asfaltnega obrata je lahko za pravilno izdelavo asfaltne zmesi izjemnega pomena. Tudi sama organiziranost asfaltnega obrata ter upoštevanje vseh pravil igra veliko vlogo.

Standardno strojno opremo za proizvodnjo asfaltnih zmesi sestavljajo naslednji sklopi, ki so na sliki 3 prikazani pod posamezno številko (Žmavc, 2007):

- *oprema za predhodno odmerjanje* posameznih frakcij zmesi zrn, ki jo sestavlja ustrezno število silosov / prekatov z odmernimi napravami (preddozirniki) in zbirni tekoči trak, (1)
- *sušilni boben*, (2)
- *oprema za ločevanje delcev prahu* iz odsesanih dimnih plinov, (3)
- *elevator*, (4)
- *stolp za proizvodnjo asfaltnih zmesi*, ki ga sestavljajo:
 - *oprema za razsejanje* posušene vroče zmesi zrn oziroma sistem sit (5)
 - *silosi / prekati* za vmesno skladiščenje posameznih vročih frakcij zmesi zrn z by pass žepom, (6)
 - *oprema za odmerjanje* zmesi zrn, polnila in veziva - sistem tehtnic (7)
 - *mešalnik*, (8)
- *vsipni lijak* za spust vročih asfaltnih zmesi v posamezen silos, (9)
- *silosi za proizvedene asfaltne zmesi*, (10)
- *direktno nakladanje na tovorna vozila*, (11)
- *silosi za dodatno in lastno polnilo*, (12)
- *cisterne za veziva in dodatke*, (13)
- *komandni kontejner* z jakostnimi in nizkonapetostnimi elektrooomarami, (14).

V nadaljevanju sledi podrobnejši opis posameznih delov ter možne težave ob pomanjkljivostih. Fotografije posameznih delov opreme v nadaljevanju, so iz mobilnega asfaltnega obrata Lormanje, ki je bila zgrajena za potrebe izgradnje avtoceste na relaciji

Maribor – Madžarska meja, na odseku Lenart – Spodnja Senarska). Delovala od leta 2007 do 2010.



Slika 3: Obrat za šaržno proizvodnjo asfaltnih zmesi (Henigman et al., 2006, str. 113)

Figure 3: Batch plant for the production of asphalt mixes

3.1.1 Skladišče kamnitih frakcij (deponija)

Tla deponije morajo biti iz utrjene podlage: betonska ali asfaltna. Pri nas takšno podlago uporabljamo samo za finejše frakcije, ki so bolj podvržene onesnaženju pri nakladanju. Če tla niso utrjena, lahko nakladač zajame poleg kamnite frakcije tudi podlago, ki ima poleg kamenja tudi druge primesi. Poleg tega mora biti podlaga takšna, da je možno odvodnjavanje. Zato je dobro, da je podlaga asfaltirana in v nagibu.

V skladišču kamnitih frakcij lahko pride do več vrst onesnaženja. Posamezne frakcije morajo biti zato ločene z ločilnimi stenami.



Slika 4: Deponija karbonatnih in silikatnih frakcij (foto: osebni arhiv)

Figure 4: Storage for carbonate and silicate fractions

Dobro je, da so kamnite frakcije zaščitene pred dežjem s streho. Saj vlaga vpliva na proizvodnjo obrata in predvsem na porabo goriva za sušenje in gretje kamnitega materiala. Ker so stroški za te postopke lahko višji in sušenje materiala dolgotrajnejše, je bolje investirati finančna sredstva vsaj v izgradnjo strehe za zaščito ali v izgradnjo cementnobetonskih silosov za kamnite frakcije, kjer kamniti materiali niso podvrženi vremenskim vplivom oziroma vlagi.

Če je na deponiji veliko tresljajev zaradi vožnje težkih tovornjakov, se lahko kupi kamnitih frakcij segregirajo. Finejši deli frakcij potonejo, grobi pa ostanejo na površju. Zato lahko dela na deponiji le nakladač. Pomembno je, da tovornjaki, ki prevažajo asfaltno zmes, ne vozijo preko deponije kamnitih zrn. S tovornjakov, ki prevažajo asfaltno zmes, lahko odpada asfalt, kar še povečuje možnosti onesnaženja pri nepozornem nakladanju na kup ali v preddozatorje. Napaka pri rokovanju z osnovnimi materiali je tudi, če nakladač pred nakladanjem ne premeša zmesi zrn na robu kupa z notranjostjo kupa. Če se to zgodi, lahko naloži samo grobi del kamnite frakcije.

3.1.2 Preddozatorji in/ali silosi za kamnite materiale

»Preddozatorji so kovinski v obliki obrnjene prisekane piramide, namenjeni so za doziranje kamnitih zrn. Postavljeni so na kovinsko ogrodje, na spodnjem delu pa je pritrjena dozirna naprava, ki sestoji iz dozirne lopute, dozirnega traku s pogonskim motorjem, reduktorjem, sklopko in sonde. Ta kontrolira pretok materiala v preddozatorju in javlja v zadevni računalnik, če materiala v preddozatorju zmanjka« (Henigman, 2011, str. 143).



Slika 5: Preddozatorji za frakcije (foto: osebni arhiv)

Figure 5: Cold feed bins for fractions

Prostornina posameznega preddozatorja je lahko od 6 do 15 m³, silosi pa lahko sprejmejo do 400 m³. Izbira je odvisna od velikosti asfaltnega obrata in njegove proizvodnje. Pod preddozatorji in silosi se nahaja eden ali več zbirnih trakov, ki prenašajo kamnita zrna v sušilni boben.

3.1.3 Sušilni boben

Sušilni boben je podolgovate valjaste oblike, v katerem se kamniti material osuši in ogreje na določeno temperaturo. Nanj je priključena odpraševalna naprava, ki odvaja dim. Material skozi nagnjen sušilni boben potuje zaradi vrtenja preko vzdolžnih lopatic, ki material tudi premešajo. Na koncu bobna je gorilnik (oljni, plinski, na mazut, na premogov

prah ali kombiniran). Ob njem je ventilator, ki dovaja gorilniku svež zrak, obenem pa oba skupaj ustvarjata vroč tok zraka, ki suši zmes zrn. Material nikoli ne gre direktno skozi ogenj, saj bi to povzročilo nepopolno zgorevanje in kontaminacijo z ogljikovodikom. Zadrževalni čas potovanja skozi sušilni boben je odvisen od njegove dolžine, ponavadi pa traja od 3 do 5 minut.



Slika 6: Prerez sušilnega bobna z lopaticami (Asphalt Handbook, 2010, str. 320)

Figure 6: Cross-section of the dryer drum with blades

Zmes drobnih zrn lahko vsebuje več vlage kot zmes grobih zrn, zato potrebuje večjo moč gorilnika. Lahko pa zmanjšamo hitrost potovanja materiala skozi sušilni boben. Vlago v materialu lahko nadzorujemo s tehtanjem pred in po sušenju. Zato je na izpustu iz bobna nameščen termometer. Lopatice se rade hitro obrabijo zaradi grobega kamnitega materiala in jih je potrebno pogosto preverjati in vzdrževati.

Eden od znakov, da sušilni boben ne deluje dovolj učinkovito, je izrazit padec temperature materiala od procesa sušenja do konca proizvodnje. Kadar se to pokaže v padcu temperature za 14 do 17 °C, je čas za natančen pregled vseh sestavnih delov sušilnega bobna. Ob tem je potrebno narediti test zadrževanja vlage v asfaltni zmesi. Če test pokaže, da vlaga ni prisotna, lahko zmes dodatno pregrejemo, da kompenziramo padec temperature.

3.1.4 Cisterne za bitumensko vezivo

Bitumensko vezivo se mora shranjevati znotraj izoliranih in ogrevanih cistern. Prav tako morajo biti ogrevane in izolirane tudi cevi, po katerih se bitumensko vezivo pretaka v

mešalnik. Cisterne se ogreva s termalnim oljem ali elektriko. Termalno olje, segreto na približno 200 °C, se pretaka po ceveh, preko katerih se vezivo v cisterni segreva.

Ponavadi ima asfaltni obrat več cistern s kapaciteto za 20 do 80 ton veziva, za vsako vrsto bitumenskega veziva posebej. Na mobilnem asfaltnem obratu v Lormanjah so imeli tri rezervoarje za bitumensko vezivo. Na sliki 7 je prikazan del strojne opreme asfaltnega obrata (od leve proti desni strani): preddozatorji, sušilni boben (za modro cisterno za kurilno olje), dva agregata (rumene barve), odpraševalna naprava, v ozadju - cisterna za polnilo in tri cisterne za bitumensko vezivo.



Slika 7: Del strojne opreme na mobilnem asfaltnem obratu Lormanje (foto: osebni arhiv)

Figure 7: Part of hardware on asphalt plant Lormanje

V rezervoarjih je vgrajeno mešalo ali cirkulacijske črpalke, ki stalno mešajo bitumensko vezivo. Opremljene morajo biti tudi s črpalke za polnjenje, podestom z obtočnimi črpalkami, ki dozirajo vezivo na tehtnico in s pipami za jemanje vzorcev. Cisterne so povezane s kontrolno sobo asfaltnega obrata, kjer se stalno preverja temperaturo bitumenskega veziva v njih. Temperatura bitumenskega veziva namreč vpliva tako na učinkovitost črpanja in merjenja kot tudi na zmožnost obvitja kamnitih zrn.

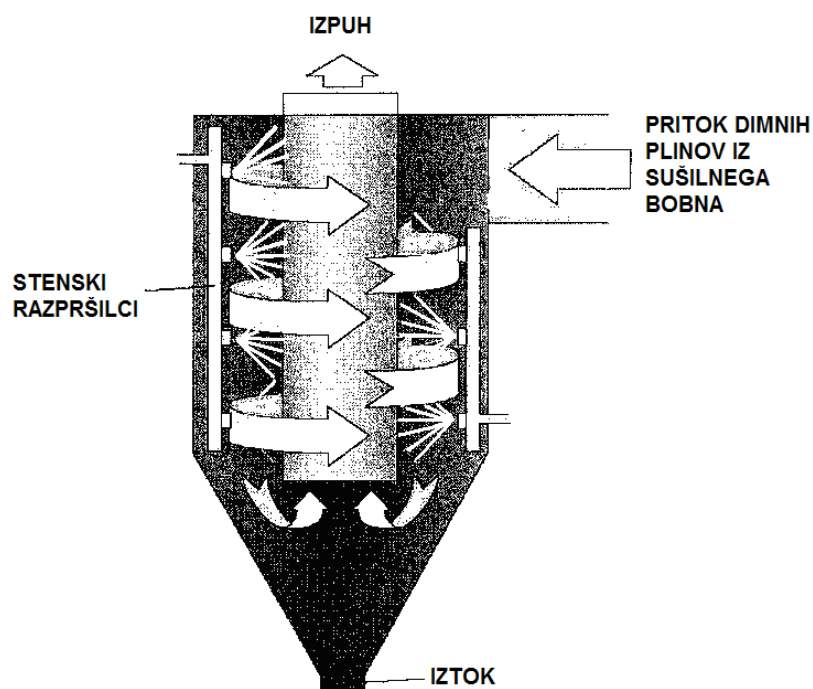
Temperature bitumenskega veziva v cisternah so opredeljene glede na zahteve za vsak nazivni tip bitumenskega veziva. Če je temperatura previsoka, se bitumensko vezivo začne zbirati ob grelcih in počasi otrdi. Visoke temperature pa povzročijo tudi prezgodnje staranje

bitumenskega veziva. Zato je priporočljivo beleženje spreminjanja temperature v cisternah, s katerim lahko dokažemo, da temperatura ni preseгла dovoljene vrednosti.

3.1.5 Odpraševalna naprava

Namen te naprave je izločevanje dimnih plinov iz sušilnega bobna zaradi okoljevarstvenih razlogov. Dimne pline mora očistiti večine prašnih delcev, tako da jih ostane manj kot 20 mg/m^3 (Henigman et al., 2006).

Naprava je sestavljena iz primarnega in sekundarnega kolektorja. Kar se zbere v primarnem kolektorju, se lahko v celoti vrne v sistem mešanja. Sekundarni kolektorji pa so lahko tipa »mokra pranje« ali vrečasti - iz tekstila. S tipom »mokra pranje« je mišljeno, da se v kolektor injektira voda. S tem delci prahu postanejo težji in padejo iz plinastega toka na dno. Pomanjkljivost tega tipa je, da tako zbranega praha ne moremo vrniti v proizvodnjo mešanja.



Slika 8: Bobnast zbiralnik dimnih plinov (Asphalt Handbook, 2010, str. 324)

Figure 8: Drum dust collector

Z vrečastim zbiralnikom prestrežemo večje delce; zraku in ostalim plinom pa omogočimo prehod skozi tkanino filtra. Tako zbran prah pa lahko vrnemo v proizvodnjo.

Odpraševalna naprava ima lahko tudi hladilnik, kjer se hladilni plini ohladijo. *»Če so prevročni, se avtomatsko odpre loputa za sveži zrak, nakar se iz njih izločijo grobi delci (grobno polnilo), katere se preko zbirnega polža transportira v silos za lastno polnilo. Dimni plini se nato odvajajo skozi dušilno loputo in sesalni ventilator ter dimnik v ozračje. Dušilna loputa služi za regulacijo podtlaka v sušilnem bobnu, kar je pogoj za dobro izgorevanje in brezhibno delovanje gorilnika in filtra«* (Henigman et al., 2006, str. 114).

3.1.6 Oprema za vračanje zbranega polnila

Nekateri asfaltni obrati imajo tudi opremo, s katero vračajo zbrano polnilo v proces mešanja s polžem, pnevmatsko - s stisnjenim zrakom ali puhalom. Mogoče je uporabiti samo del zbranega polnila ali pa vsega, odvisno od recepture asfaltne zmesi.



Slika 9: Sistem za vračanje lastnega polnila z vrečastim zbiralnikom (Astec Videos, 2013)

Figure 9: Dust return equipment

V asfaltnih obratih, kjer ponovno uporabijo zbrano polnilo, se morajo držati nekaj pravil:

- Odpraševalna naprava se mora ustaviti takoj, ko se ustavi sušilni boben. S tem ukrepom se prepreči, da bi večje količine zbranega prahu vstopile v mešalni boben ali bile deponirane v silose za polnilo.

- Izogibati se je treba velikim in hitrim povečanjem proizvodnje. Prah potrebuje čas, da se zbere v vrečah, iz katerih se nato izprazni in vrne v proces mešanja. Nasproten učinek ima veliko in hitro znižanje proizvodnje.
- Oprema za vračanje prahu v mešalni proces mora biti redno pregledovana.

Če v proizvodnji ne porabimo celotnega zbranega lastnega polnila, silosi pa so že prenapolnjeni, se ponavadi zbrani prah odvaža na odpad, lahko pa se ga porabi pri proizvodnji drugih izdelkov (Asphalt handbook, 2010).

3.1.7 Silosi za polnilo in kontrole polnjenja

Silosi so pokončni kovinski valji, ki so na spodnjem robu konusno oblikovani. V asfaltnih obratih sta ponavadi nameščena vsaj dva, za lastno in tuje polnilo.

»Silosi se praznijo na spodnji (konusni) strani, kjer so opremljeni z rotirnim zapiralom, lahko pa tudi z vibratorjem, ki omogoča lažji pretok polnila v polže, ki vodijo na tehtnico« (Henigman et al., 2006, str. 114).

3.1.8 Oprema za dodajanje vlaken

Vlakna se dodajajo v asfaltno zmes zato, da se prepreči bitumnu, da bi odtekel ter da enakomerno obviije kamnita zrna v zmesi. V uporabi so mineralna ali celulozna vlakna. Dodatki se uporabljajo v zmesih, ki jih sestavlja večja količina grobih zrn in zelo malo finih zrn, tudi da bi zapolnili votline. Dodaja se jih pnevmatsko s cevmi v mešalni boben. Za določanje teže dodatkov se uporablja tehtnica, ki neprestano meri težo silosa, kjer so shranjeni dodatki in sporoča razliko, ki nam podaja odvzeto količino dodatkov. Dodatke v nekaterih obratih dodajajo tudi ročno, kjer so dodatki že pripravljene v odmerjenih količinah v vrečah.

3.1.9 Mešalni stolp

V mešalnem stolpu se zmešajo odmerjene frakcije kamnitih zrn, nato pa še vezivo, razni dodatki in polnilo.

»Je lahko sestavljen iz vročega elevatorja z razdelilnimi loputami, vibracijskih sit, vmesnih vročih silosov (prekatov) z dozirnimi loputami za segreta in presejana kamnita zrna,

tehtnic, hidravlične črpalke ali kompresorja za stisnjen zrak in mešalnika. Včasih je v mešalni stolp vključen tudi silos za vročo asfaltno zmes» (Henigman et al., 2006, str. 115).



Slika 10: Mešalni stolp – levo: sprednja stran, desno: zadnja stran stolpa (SINOSUN Group, 2013)

Figure 10: Mixing tower - left: front side, right: back side of the tower

Elevator transportira posušena in segreta kamnita zrna na vrh stolpa, kjer se dozirajo na sita. Kamnita zrna padajo preko sit v prekate za vroče kamnite frakcije. Na spodnjem delu silosa je loputa, ki se odpira hidravlično ali na stisnjen zrak. Kapaciteta silosov je od 10 do 50 ton. Pod silosi so nameščene tehtnice za kamnita zrna, vezivo, polnilo in razne dodatke. Stehtan material pade nato direktno v mešalnik, ki mora biti dvoosni s prisilnim mešanjem. Na koncu mešalnika je loputa za izpust asfaltne zmesi v silos.

3.1.10 Silosi za vročo asfaltno zmes in oprema za praznjenje asfaltne zmesi iz silosa

Silose se uporablja za shranjevanje pripravljene vroče asfaltne zmesi. Uporabni so predvsem, kadar imamo veliko naročilo določene asfaltne zmesi, zato jo mešamo na zalogo. S tem se poveča proizvodnja asfaltne obrata, saj tem naročnikom ni treba čakati na zaključek procesa mešanja posamezne asfaltne zmesi, ampak lahko dobijo naročeno asfaltno zmes takoj iz silosa, hkrati pa lahko obrat naprej meša tudi druge asfaltne zmesi. Silosi so lahko pretočni ali skladiščni. Pretočni silosi so namenjeni za mobilni asfaltni obrat in ponavadi niso izolirani. V njih se asfaltna zmes iz mešalnega bobna odloži le za toliko

časa, da se proizvede zadostna količina, ki jo potem takoj natovorijo na tovornjak. Gre bolj za vmesno enoto med mešalnim bobnom in natovarjanjem. Skladiščni silosi pa so ogrevani in izolirani. Omogočajo daljše shranjevanje asfaltnih zmesi, ne da bi te izgubile primerno temperaturo ali oksidirale. Paziti je potrebno, da se shranjena asfaltna zmes ne pregreva na stikih z grelci.



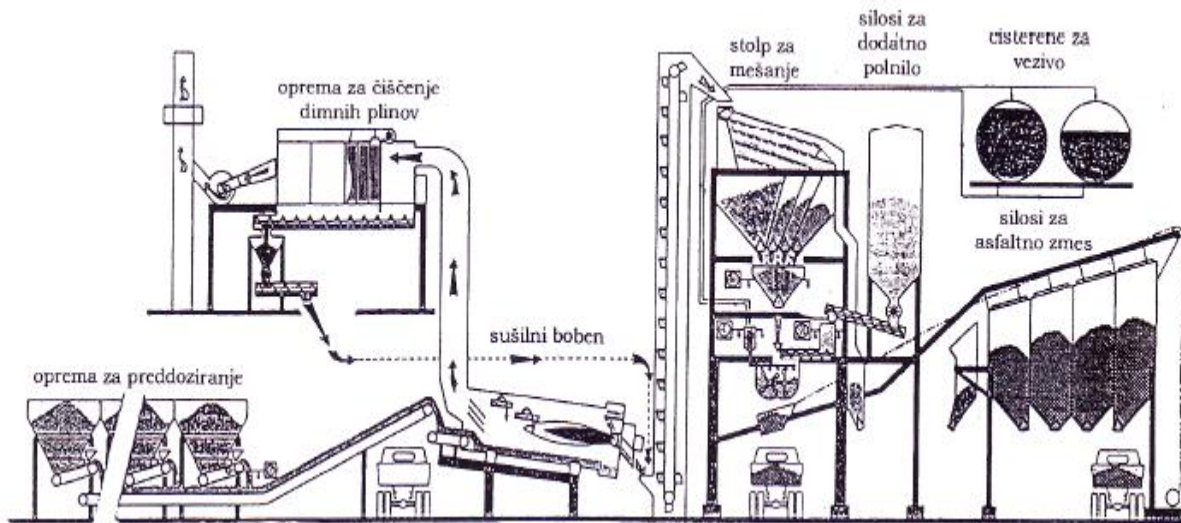
Slika 11: Silos za vročo asfaltno zmes (Wibau, 2013)

Figure 11: Hot mix asphalt storage silos

3.2 PRIMERJAVA POSTOPNE IN NEPRETRGANE PROIZVODNJE

3.2.1 Obrat s postopno (šaržno) proizvodnjo

V Sloveniji se asfaltne zmesi meša v klasičnih asfaltnih obratih s *postopno* ali t.i. *šaržno proizvodnjo* (slika 12), ki je sicer pogojena tudi za mešanje zahtevnejših asfaltnih zmesi. Večinoma imamo stabilne centralne asfaltne obrate (slika 12) z zmogljivostjo do 300 ton proizvedene asfaltne zmesi na uro, pa tudi nekaj mobilnih. Po strojni opremi se ne razlikujejo, razen v tem, da imajo mobilni asfaltni obrati manjšo zmogljivost (okrog 160 ton na uro).



Slika 12: Shema klasičnega stabilnega centralnega obrata za šaržno proizvodnjo asfaltnih zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007)

Figure 12: Sheme of a classical stable central batch plant for the production of asphalt mixtures by hot mixing process

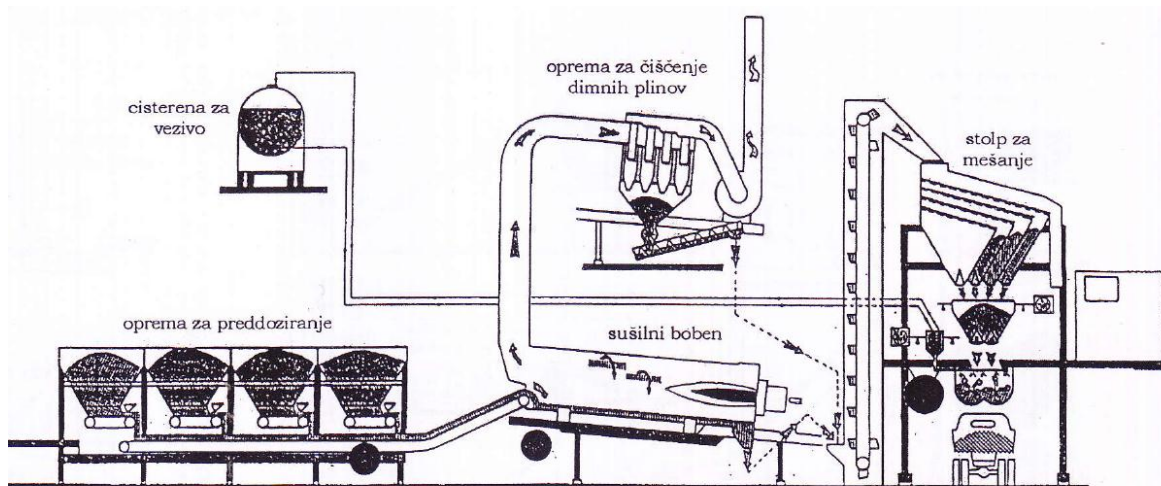
Poznamo dve podvrsti postopne proizvodnje, ki se razlikujeta le v velikosti določenih sklopov in načinu vodenja proizvodnje (Henigman et al., 2006):

Obrat s postopno proizvodnjo z neprekinjenim procesom (primer: asfaltni obrat Smodinovec)

- celoten postopek mešanja poteka brez prekinitev od zajema materiala na deponijah do končnega produkta, to pomeni do asfaltne zmesi v silosih za vročo asfaltno zmes;
- primeren je za proizvodnjo enake asfaltne zmesi v daljšem časovnem intervalu;
- ne potrebuje velikih silosov za vroče frakcije kamnitih zrn;
- potrebuje večje število preddozatorjev (do števila vseh uporabljenih frakcij na obratu), da se delo pri menjavi vrste asfaltne zmesi ne zaustavlja; druga možnost je da se izprazni preddozatorje po zaključku proizvodnje vsake posamezne zmesi, vendar ta opcija predstavlja dodatne stroške in izgubo časa.

Obrat s postopno proizvodnjo in prekinjenim procesom (primer: Tovarna asfalta Črnuče)

- proces sušenja zmesi zrn je ločen od procesa mešanja, s čimer postane obrat veliko bolj fleksibilen, saj omogoča večjemu številu odjemalcev različne tipe asfaltnih zmesi;
- obrat ima velike silose oziroma prekate, ki omogočajo shranjevanje tudi do 1000 ton posušenih zmesi kamnitih zrn;
- pogosto ima ločeno sita za karbonatna zrna in za silikatna zrna; v tem primeru ima tudi dve vrsti silosov za vroče zmesi kamnitih zrn;
- pri tem tipu je mogoče obratovati brez silosov za vroče asfaltne zmesi, saj se mešalnik prazni direktno na tovorna vozila; tu je pomembno čim natančnejše naročanje, da se v procesu sušenja pripravi dovolj vroče zmesi zrn, ki se jo dovolj zgodaj porabi, saj se tudi v silosih kamnita zrna ohlajajo, s čimer postaja material po določenem času neuporaben.



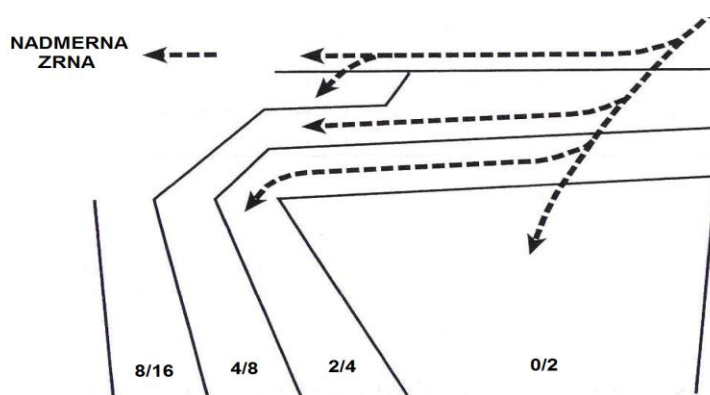
Slika 13: Shema mobilne klasične opreme za šaržno proizvodnjo asfaltnih zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007, str 123)

Figure 13: Scheme of mobile classical equipment for batch production of asphalt mixtures by hot mixing process

Obrat šaržne proizvodnje je lahko tudi mobilni (slika 13). Od stacionarnega asfaltnega obrata se razlikuje le v zmogljivosti proizvodnje, ki je približno za polovico manjša.

V obratu za šaržno proizvodnjo se kamnite frakcije preverja na dveh mestih: v preddozirnikih in na sitih.

Sita ločujejo kamnita zrna na posamezne frakcije, kar je prva naloga mešalnega stolpa. Danes lahko naročimo že pripravljeno zmes kamnitih zrn, zato so se tudi razvili obrati z neprekinjeno proizvodnjo. V šaržni proizvodnji tako lahko preskočimo fazo sejanja kamnitih zrn preko sit, s čimer pospešimo proizvodnjo. Tako imenovani »bypass« izloči obrabljanje in trganje sit, ki je pogosto eden večjih stroškov, njihovo vzdrževanje, menjava ali popravilo pa pogosto vzame veliko dragocenega časa. Menjava sit se opravi pozimi, ko se pregleda celoten asfaltni obrat in vse njegove sestavne dele ter popravi oziroma zamenja iztrošene dele.



Slika 14: Potovanje materiala preko tipičnega sistema sit (Asphalt Handbook, 2010, str. 334)

Figure 14: Material flow across a typical screen deck

Na sestavo zmesi kamnitih zrn, ki preko sit padajo v vroče silose, lahko negativno vplivajo:

- blokiran ali zataknjen preddozirnik ali transportni trak, ki lahko zmanjša potrebno količino določene frakcije zrn;
- napačno nastavljeno razmerje kamnitih zrn v preddozatorjih;
- preveč zrn katerekoli velikosti lahko preseže kapaciteto sit v stolpu, kar ima za posledico, da material potuje v naslednji večji silos; sestava zrn postane zato v zadnji frakciji finejša;
- prekoračenje kapacitete ločevanja na sitih lahko povzroči efekt predoziranja in spet postane sestava zrn postane v zadnji frakciji finejša;
- obrabljena ali poškodovana sita prepuščajo večja zrna, da padejo v napačen vroči silos; s tem postane sestava zrn v naslednji frakciji bolj groba;

- če so sita umazana in vlažen material zapolni luknjice, se zmanjša učinkovitost sejanja, kar pomeni, da potujejo manjša zrna preko sita, v silos; sestava zrn postane zato v predhodni frakciji finejša;
- luknje v žlebu, na katerega padajo presejana zrna, lahko povzročijo, da gre večji ali finejši material v napačen silos; enako težavo povzročajo luknje v vročih silosih.

Nekatere od teh napak so operacijske, druge so vezane na vzdrževanje. Osebe asfaltnega obrata mora biti pozorno na kapaciteto ločevanja zrn na sitih.

3.2.2 Obrat z nepretrgano (kontinuirano) proizvodnjo

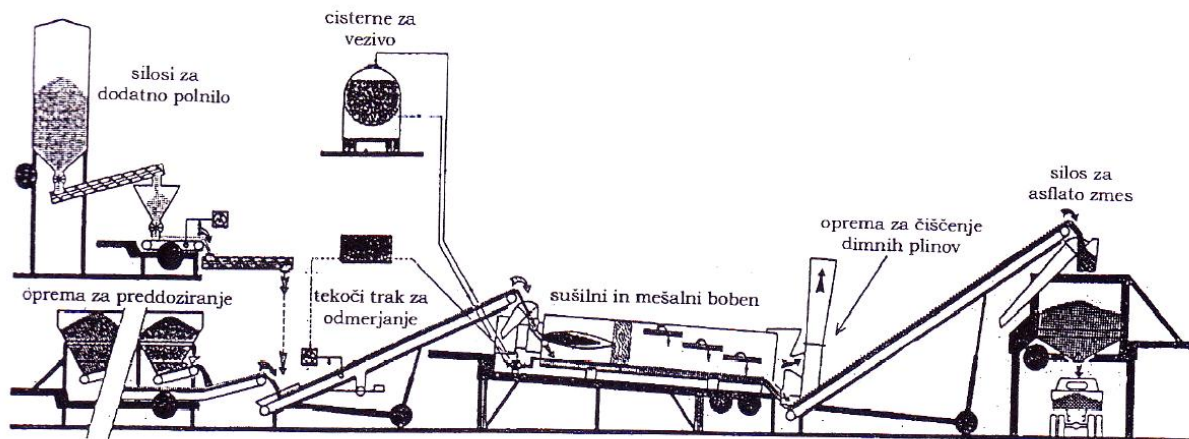
V svetu, kjer vgrajujejo dnevno večje količine asfalta, uporabljajo tudi asfaltni obrati z *nepretrgano (kontinuirano) proizvodnjo*, v katerih lahko zmešajo tudi do 1000 ton na uro. Pri nas te vrste asfaltnih obratov ne pridejo v poštev zaradi premajhnih naročil iste vrste asfaltnih zmesi. V ameriški literaturi označujejo te vrste proizvodnje z izrazom »drum mix«, s čimer označujejo bistveni del proizvodnje – bobnast mešalnik, ki opravlja delo dveh naprav: sušilnega bobna in mešalnika. Lahko bi celo trdili, da praktično nadomešča celoten mešalni stolp, saj nima niti sistema sit niti silosov za vroče frakcije. Sistem tehtnic nadomešča tekoči trak za odmerjanje, preko katerega posamezne frakcije (že odmerjene v potrebni količini) iz preddozatorjev potujejo v bobnast mešalnik.

V prvotnih obratih je potekal tok materiala v bobnu vzporedno s tokom vročega zraka iz gorilnika. Tako se je lahko na koncu bobna dodajalo že vezivo. Takšen obrat potrebuje manj investicijskih izdatkov za začetno opremo, je bolj prilagodljiv za selitve na oddaljene lokacije, ne zahteva veliko časa za namestitev in potrebuje manj vzdrževanja.

Vse to pa je mogoče edino:

- z dobavo enakomerno proizvedenih in stalnih velikosti zmesi zrn; kar pomeni, da prejmemo že končno kamnito zmes zrn, ki vsebuje vse potrebne frakcije zrn v določenem deležu za posamezno asfaltno zmes;
- z razvojem velikih motorjev s spremenljivo hitrostjo; s katerimi lahko opremimo preddozirnike, da določajo delež frakcij, ki ga vsebuje želena končna zmes;
- z razvojem tekočega traku za odmerjanje zmesi zrn in merilnikov pretoka;

- z razvojem silosa za shranjevanje končne asfaltne zmesi, iz katerega lahko asfaltno zmes nalagamo na tovornjake.



Slika 15: Shema prestavljive opreme za neprekinjen postopek proizvodnje asfaltne zmesi z mešanjem po vročem postopku (Žmavc, 2007, str. 124)

Figure 15: The scheme of removable equipment for continuous process manufacturing asphalt with the hot process mixing

Razvoj posameznih delov je potekal neodvisno drug od drugega, s čimer je kasneje postalo jasno, da ne potrebujemo več razdeljevanja zmesi kamnitih zrn po frakcijah preko sistema sit.

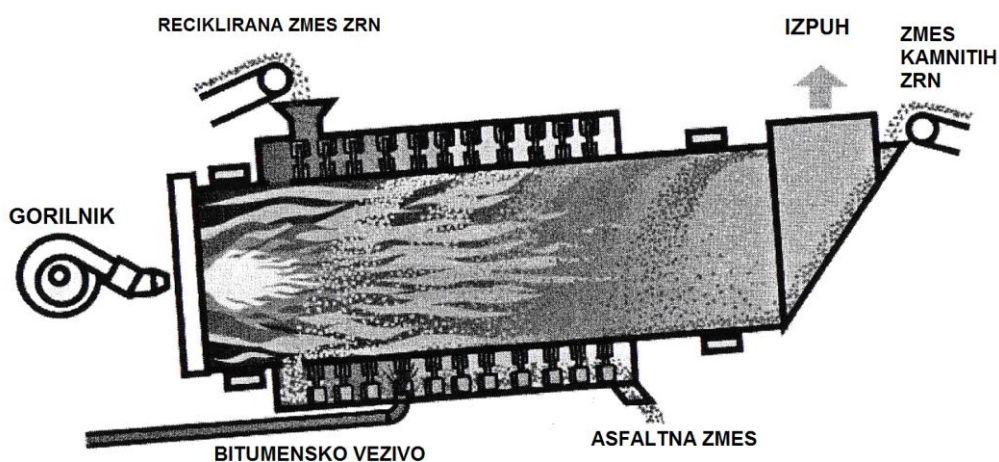
Obrati z nepretrgano proizvodnjo so brez mešalnega stolpa nižje, lažje za premikanje in cenejše za nakup in vzdrževanje v primerjavi s klasičnimi. Danes se v ZDA 80 % vseh asfaltnih zmesi proizvede v obratih z neprekinjeno proizvodnjo. Glede na vse prednosti, manjše vzdrževalne stroške ter boljšo prilagodljivost in konkurenčnost na trgu, so v ZDA marsikateri šaržni obrat spremenili v obrat z nepretrgano proizvodnjo. Pogosto so mešalni stolp zamenjali z bobnastim mešalnikom ali preprosto dodali bobnast mešalnik zraven mešalnega stolpa, s čimer so ustvarili kombiniran asfaltni obrat.

Razvoj se tukaj ni ustavil, saj se je iskalo način, ki bo za okolje prijaznejši. Problem je bil v tem, da je bitumensko vezivo, dodano direktno v sušilnik, povzročalo izhajanje

ogljikovodikovih delcev v obliki dima ali vonjav iz obrata. Glavni namen je bil torej oblikovati napravo tako, da bo dodajanje veziva ločeno od sušilnika.

Nastalo je več oblik bobnastih mešalnikov (Asphalt Handbook, 2010, str. 341-342):

- protitočni bobnasti mešalniki, kjer je gorilnik na nasprotnem koncu vstopanja zmesi zrn v sušenje
- sušilnik z ločenim mešalnikom
- sušilnik, ki je vgrajen v mešalnik (slika 16).



Slika 16: Sušilnik, ki je vgrajen v mešalnik (Asphalt Handbook, 2010, str. 342)

Figure 16: Dryer built into the mixer

Po obeh postopkih lahko mešamo vse asfaltni zmesi. Tudi postopek mešanja je podoben; zmesi zrn se mešajo v potrebnem deležu glede na recepturo, sušijo in ogrevajo, v zadnjem koraku pa se jim doda še vezivo v zahtevanem razmerju.

3.2.3 Oprema, ki je skupna obema vrstama asfaltnih obratov

Za nemoteno obratovanje obeh vrst asfaltnih obratov je potrebna naslednja oprema:

- cisterna za bitumensko vezivo
- skladišče kamnitih frakcij (deponija)
- preddozatorji

- tekoči trak za zmesi zrn
- sušilni boben
- oprema za zbiranje dimnih plinov iz sušilnega bobna
- oprema za vračanje zbranega polnila
- silosi za polnilo in kontrole polnjenja
- silosi za apno in kontrole polnjenja (v ameriških obratih),
- oprema za dodajanje vlaken
- silosi za vročo asfaltno zmes in oprema za izsipanje asfaltne zmesi iz silosov.

Dejstvo, da obrat za nepretrgano proizvodnjo nima sit in silosov za vroče frakcije, je lahko prednost zaradi stroška, ki ga na primer predstavlja obraba sit in ogrevanje silosa za vroče frakcije. Ker je manj opreme, je v večji meri prirejen za premikanje, kar predstavlja dodatno pozitivno lastnost. Pomanjkljivosti obrata pa predstavljajo:

- velika odvisnost od dobavitelja zmesi kamnitih zrn,
- manjša točnost doziranja,
- velik vpliv vlage na nihanje količine bitumenskega veziva v asfaltni zmesi,
- nezmožnost hitre spremembe v proizvodnji (Henigman et al., 2006).

3.3 POSTOPEK MEŠANJA ASFALTNE ZMESI

3.3.1 Priprava asfaltne obrata

Pred pričetkom mešanja se mora celoten obrat segreti. Glede na tehnološko shemo se vključujejo posamezni pogoni, eden za drugim, nazadnje tudi gorilnik. Primerna temperatura, ki je približno 100 °C, se meri v dimnih plinih, ki nastajajo v sušilnem bobnu. Takrat se vključi tudi preddozatorje in postopek mešanja se lahko začne. Na računalniku je potrebno samo še vnesti pravo recepturo za mešanje. Vse to seveda ob predpostavki, da imamo na zalogi vse potrebne sestavine. Celoten postopek proizvodnje asfaltne zmesi poteka v sodobnih obratih popolnoma avtomatično, saj je krmiljen z mikroprocesorji.

3.3.2 Predhodno odmerjanje

Posamezne frakcije zrn v preddozatorju lahko predhodno odmerimo z višino izstopne odprtine na dnu silosa. Ali pa natančno, s tehtnico pod prekatom, ki usmerja naprave za odpiranje izstopne odprtine na dnu silosa. Pri tem je potrebno upoštevati tudi masni delež vode, ki ga vsebuje posamezna zrnava.

3.3.3 Priprava zmesi kamnitih zrn, bitumenskega veziva in dodatkov (sušenje, segrevanje)

Najprej je potrebno pripraviti zmes kamnitih zrn, bitumensko vezivo in ostali dodatki pa morajo že segreti čakati pri mešalniku na prvo zmes vročih kamnitih zrn. Odmerjene frakcije zrn se od preddozatorjev preko transportnega traka prenaša v sušilni boben, kjer se osušijo in segrejejo na približno 160 do 180 °C.



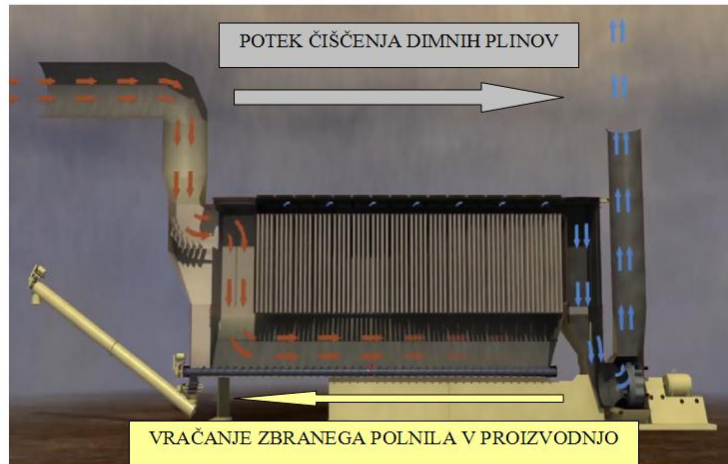
Slika 17: Nakladalna rampa za polnjenje preddozatorjev (foto: osebni arhiv)

Figure 17: Loading ramp for cold feed bins

3.3.4 Odpraševanje

V sušilnem bobnu je v območju gorilnika temperatura tudi do 800 °C. Dimni plini se iz bobna dvigajo skozi hladilnik, ki jih ohladi, zaradi česar se izločijo grobi delci. Finejše delce lovi tkaninski filter, očiščeni dim pa se izpusti v ozračje. Na ta način dobimo lastno polnilo, ki ga s polžem vračamo v elevator, kjer se dodaja v vročo zmes zrn ali pa se ga premesti v silos za lastno polnilo. Lastno polnilo uporabljamo bolj izjemoma, saj bi ga

morali natančno preiskati. Pri tujem (kupljenem) polnilu pa poznamo vse karakteristike, na podlagi katerih dobimo natančno takšno zmes, kot je mišljena z recepturo.



Slika 18: Potek čiščenja dimnih plinov z vrečastim zbiralnikom (Astec Videos, 2013)

Figure 18: Flow of dust gases inside the baghouse

3.3.5 Sejanje odmerjene zmesi kamnitih zrn

Zmes zrn iz sušilnega bobna potuje z elevatorjem na vrh stolpa za mešanje ter se stresa na sistem sit. Ta sita presejejo zmes na posamezne zrnivosti v prekate vročega silosa. Pri enostavnejših asfaltnih zmesih, lahko sita izpustimo, tako da kamnita zrna odmerjene zmesi potujejo direktno v silos za vročo zmes zrn.



Slika 19: Sito za sejanje zmesi zrn (Reliable Asphalt Products, 2013)

Figure 19: Sieve for sifting mineral aggregate

3.3.6 Mešanje asfaltnih zmesi

Frakcije kamnitih zrn se stehta na tehtnici pod silosi. Frakcije se nato zmešajo v mešalniku. Posebej se odmeri tudi količino veziva, dodatkov in polnila. Različne literature navajajo različne čase mešanja. Tako je v ameriški literaturi navedeno, da traja suhi cikel približno 2 do 5 sekund, mokri cikel pa od 25 do 45 sekund (večinoma pa 30 do 35 sekund). Naša literatura (Henigman et al., 2006) za čas mešanja posamezne šarže opredeljuje cikel v dolžini 1 minute. Čas mešanja je odvisen od zmogljivosti obrata in vrste asfaltne zmesi. Določen je subjektivno oziroma vizualno, saj ga določimo glede na to, koliko časa preteče, da dobimo homogeno asfaltno zmes z dobro obvitimi kamnitimi zrn.

3.3.7 Skladiščenje vročih asfaltnih zmesi

Asfaltno zmes, se lahko izprazni direktno na tovornjak ali pa se transportira v silos za vročo asfaltno zmes. Silosi so lahko del mešalnega stolpa, kapacitete do 200 ton, ali pa stojijo ločeno, vanje lahko shranimo do 400 ton in več. Silosi pridejo prav, če mešamo eno asfaltno zmes na zalogo, na primer tisto, ki je naročniki naročajo več, nato pa lahko obrat meša druge naročene vrste asfaltnih zmesi. S tem se poveča rentabilnost proizvodnje v obratu. Asfaltne mešanice lahko v teh izoliranih silosih počakajo na vgradnjo tudi do 12 ur.



Slika 20: Silos za asfaltno zmes z nakladalno postajo mobilnega asfaltnega obrata Lormanje (foto: osebni arhiv)

Figure 20: Silos for asphalt mixture with docks of mobile asphalt plant Lormanje

3.4 POMANJKLJIVOSTI ASFALTNIH ZMESI

Za kar najboljši izdelek je potreben skrben pristop k proizvodnji asfaltnih zmesi. Uvesti in uporabljati je potrebno najboljšo operativno prakso. Asfaltna zmes mora biti prave konsistence, imeti mora dovolj veziva in pravo temperaturo. S takšno asfaltno zmesjo, ki se jo da primerno zgostiti, ni težav pri vgrajevanju.

Celoten urnik od proizvodnje do vgrajevanja mora teči usklajeno. Ne sme se prekinjati proizvodnje, saj to povzroči nekonsistentno zmes v obratu. Podrobno je potrebno načrtovati hitrost proizvodnje, čas razgrinjanja in valjanja asfaltna; posebej pomembno pa je izbrati zadostno število tovornjakov, ki enakomerno krožijo in nimajo večjih zastojev na poti med asfaltnim obratom in lokacijo vgrajevanja.

Žal ne moremo vedno predvideti vseh napak, ki se lahko zgodijo. Najslabše je, če se zgodijo napake v proizvodnji. Za napake na strojni opremi je dobro imeti pri roki vodič, kako odpraviti nastale težave. V ameriški literaturi je takšen vodič že objavljen za posamezen tip obrata, ki je v nadaljevanju povzet po *Manufacture of Hot Mix Asphalt, Asphalt handbook* (2010).

Reševanje pomanjkljivosti na asfaltnem obratu s postopno (šaržno) proizvodnjo, kot je uveljavljena v Sloveniji, pogojuje številne specifične preveritve. Bistvene napake se lahko pokažejo v sestavi zmesi kamnitih zrn, vsebnosti votlin v asfaltni zmesi, deležu veziva, obvitju kamnitih zrn z vezivom in nihanju temperature proizvedene asfaltna zmesi. V nadaljevanju so podani namigi, kaj je potrebno preveriti na opremi asfaltnega obrata, če se odkrije katera od naslednjih desetih bistvenih pomanjkljivosti v asfaltni zmesi.

3.4.1 Sestava kamnitih zrn v zmesi

Preveriti je potrebno:

- ali obstajajo poškodbe na situ (pretrganine ali lom);
- izrabo ene ali več drč, ki vodijo zmesi zrn izpod sit v silose za vroče frakcije zrn;
- izrabo ene ali več sten med posameznimi vročimi silosi za vroče frakcije;

- nastavljeno razmerje v preddozirnikih: sprememba v zmesi zrn vpliva na granulometrijsko sestavo v vročih silosih;
- morebitne prepreke v pretoku iz preddozirnikov, ki vplivajo na sestavo frakcij v vročih silosih;
 - če preddozatorji (posebej pri grobih frakcijah) nimajo vgrajene vsipne mreže, lahko pride zaradi večjih kosov kamnin ali kovinskih delov, ki zaprejo presip, do delne ali popolne prekinitve dovajanja ene od frakcij na zbirni trak.
- morebitno spremembo hitrosti skupnega zbirnega traku;
 - če se zaradi napake spremeni hitrost vrtenja traku, se spremeni tudi količina frakcij na zbirnem traku, kar vpliva na granulometrijsko sestavo v vročih silosih;
 - v preddozatorjih se s hitrostjo vrtenja traku regulira volumen posamezne frakcije zrn, ki ob stalni površini izpusta pada na skupni zbirni trak.
- morebitno spremembo sestave zmesi zrn posameznih frakcij, ki vpliva na sestavo v vročih silosih;
 - ob proizvodnji je veliko odvisno od vlažnosti zmesi zrn in obrabe kladiv ali letev – zgornja in spodnja meja sta lahko točni, vmes pa lahko obstaja le ena frakcija (npr. pretežno 2 mm namesto 2/4 mm).
- pravilnosti nakladanja zmesi zrn na deponiji, ki vpliva na sestavo v vročih silosih.

3.4.2 Sestava zmesi zrn v asfaltni zmesi: preveč grobih zrn

Preveriti je potrebno:

- mešanje v vročih silosih zaradi vibracij/prostega teka;
- morebitne spremembe v stopnji proizvodnje, npr. iz manjše v večjo hitrost; vrečasti filtri potrebujejo čas, da ulovijo spremembo v preddozirnikih;
- če je sušilni boben morebiti preobremenjen;
 - manj finih delcev v zmesi zrn, povzroči, da je le ta bolj odprta v primerjavi s predhodno sestavo ali tipično stopnjo proizvodnje, skupaj z deležem finih delcev iz vrečastih filtrov, ki ga zavržemo ali delno vrnemo v sistem;

- je podtlak v sistemu velik, zato v filter potegne tudi grobe delce polnila, s tem pa se sestava zmesi zrn spremeni v bolj grobo;
- morebitno napako v delovanju vrečastih filtrov ali v dodatku mineralnega polnila, kar lahko povzroča zmanjšano vračanje prahu iz vrečastih filtrov ali zmanjšano dodajanje mineralnega polnila;
- sestavo frakcij, ki se dodajajo (glej točko 3.3.1);
- morebitno spremembo v stopnji delovanja preddozirnikov ali spremembe pri mešanju, ki vplivajo na sestavo frakcij v vročih silosih (glej točko 3.3.1).

3.4.3 Sestava zmesi zrn v asfaltni zmesi: preveč finih zrn v polnilu (kameni moki)

Preveriti je potrebno:

- oddvajanje finih delcev kamene moke s sten cistern za lastno ali tuje polnilo;
- razmešanje v vročih silosih zaradi vibracij/prostega teka;
- velike spremembe v stopnji proizvodnje: iz velike na majhno proizvodnjo; vrečasti filtri potrebujejo čas, da ujamejo spremembo doziranja v preddozirnikih;
- če sušilni boben deluje pod manjšo obremenitvijo;
 - nastane več finih delcev v zmesi zrn, ki prihaja skozi loputo; loputa je lahko manj odprta glede na prejšnje stanje ali tipično stopnjo proizvodnje, skupaj z deležem iz vrečastih filtrov polnila (ki ga lahko zavržemo ali delno vrnemo v sistem);
 - podtlak v sistemu je manjši, s tem pa manj delcev izpiha v filter; sestava lastnega polnila je veliko bolj fina;
- morebitno napako v delovanju vrečastih filtrov ali v dodatku mineralnega polnila kar lahko povzroča povečano vračanje finih delcev polnila iz vrečastih filtrov ali povečano dodajanje mineralnega polnila;
- sestavo frakcij, ki se dodajajo (glej točko 3.3.1);
- morebitno spremembo v stopnji delovanja preddozirnikov ali spremembe pri mešanju, ki vplivajo na sestavo frakcij v vročih silosih (glej točko 3.3.1).

3.4.4 Vsebnost votlin v asfaltni zmesi premajhna

Preveriti je potrebno:

- oddvajanje sloja finih delcev kamene moke s sten cistern za lastno ali tuje polnilo;
- razmešanje v vročih silosih zaradi vibracij/prostega teka;
- morebitno napako pri vračanju finih delcev polnila ali dodajanju polnila;
- spremembe v stopnji proizvodnje: iz velike na majhno proizvodnjo (z neposrednim vzorčenjem);
- morebitno pomanjkanje osnove zaradi ostankov finih delcev v sušilnem bobnu, primarno v primerjavi z deležem v vrečastih filtrih (in fini delci iz vrečastih filtrov se lahko zavržejo ali uporabijo le deloma);
- sestavo frakcij, ki se dodajajo (glej točko 3.3.1);
- morebitno spremembo v stopnji delovanja preddozirnikov ali spremembe pri mešanju, ki vplivajo na sestavo frakcij v vročih silosih;
- količino dodanega veziva, če ni prevelika;
- morebitno spremembo specifične teže posameznih frakcij kamnitih zrn.

3.4.5 Vsebnost votlin v asfaltni zmesi prevelika

Preveriti je potrebno:

- morebitno razmešanje v vročih silosih zaradi vibracij/prostega teka;
- morebitno napako pri vračanju finih delcev polnila ali dodajanju polnila;
- spremembo v stopnji proizvodnje (z majhne na veliko proizvodnjo (s takojšnjim vzorčenjem asfaltne zmesi));
- če je sušilni boben morebiti preobremenjen, kar pogojuje več finih delcev v vrečastem filtru (primarni in fini delci iz vrečastih filtrov se lahko zavržejo ali uporabijo le deloma);
- sestavo frakcij, ki se dodajajo;
- morebitno spremembo v stopnji delovanja preddozirnikov ali spremembe pri mešanju, ki vplivajo na sestavo frakcij v vročih silosih;
- količino dodanega veziva, če ni premajhna;
- morebitno spremembo specifične teže posameznih frakcij kamnitih zrn.

3.4.6 Delež veziva v asfaltni zmesi prevelika

Preveriti je potrebno:

- točnost delovanja tehtnice, težnostnih sond ali pretočnega merila;
- stanje šob za vbrizgavanje veziva v mešalnik;
- stanje mešalnika (zvite roke in/ali obrabljene ali polomljene lopate, zaradi česar asfaltna zmes ni enakomerno zmešana);
- umerjenost tehtnice za vezivo;
- morebitno avtomatsko napako (stalno zgrešena ciljna količina).

3.4.7 Delež veziva v asfaltni zmesi premajhen

Preveriti je potrebno:

- točnost delovanja tehtnice, težnostnih sond ali pretočnega merila;
- stanje šob za vbrizgavanje veziva v mešalnik;
- stanje mešalnika (zvite roke in/ali obrabljene ali polomljene lopate, zaradi česar asfaltna zmes ni enakomerno zmešana);
- umerjenost tehtnice za vezivo;
- morebitno avtomatsko napako (stalno zgrešena ciljna količina).

3.4.8 Delež veziva v asfaltni zmesi prekomerno niha

Preveriti je potrebno:

- točnost delovanja tehtnice, težnostnih sond ali pretočnega merila;
- stanje šob za vbrizgavanje veziva v mešalnik;
- stanje mešalnika (zvite roke in/ali obrabljene ali polomljene lopate, zaradi česar asfaltna zmes ni enakomerno zmešana);
- morebitno avtomatsko napako (nekonsistentnost).

3.4.9 Obvitje zrn v asfaltni zmesi z bitumnom slabo

Preveriti je potrebno:

- čas mokrega mešanja, če ni prekratek;

- stanje mešalnika (zvite roke in/ali obrabljene ali polomljene lopate, zaradi česar asfaltna zmes ni enakomerno zmešana);
- količino uporabljenega ločilnega sredstva za transportni voziček vroče asfaltno zmesi ali pa, če sistem ni v okvari;
- neustreznost sušenja in suhost kamnitih zrn;
- morebitno izdvajanje lastnega polnila;
- temperatura uporabljenega veziva, če ni prenizka.

3.4.10 Nihanje temperature proizvedene asfaltno zmesi

Preveriti je potrebno:

- obrabljenost lopatic v sušilniku, če so še sposobne zadovoljivo opravljati nalogo na vseh stopnjah proizvodnje;
- nihanje vlage v frakcijah v preddozirniku (gorilnik se ne more dovolj hitro prilagajati hitrim spremembam vlažnosti zmesi kamnitih zrn);
- čas shranjevanja vroče zmesi zrn, ki se med skladiščenjem ohlaja;
- morebitno napako pri termočlenu, ki meri temperaturo asfaltno zmesi;
- če termočlen ni prekrit z zmesjo ali pravilno lociran v toku zmesi zrn.

4 KONTROLA KAKOVOSTI

4.1 POSLOVNIK KOTROLE KAKOVOSTI NA ASFALTNEM OBRATU

Stalna notranja kontrola proizvodnega procesa zagotavlja kvaliteten proizvod. Kako, kdaj in v kakšnem obsegu, oziroma pogostosti izvajanja kontrole in preizkušanj, mora proizvajalec zapisati v poslovnik kakovosti. V sistem kakovosti spadajo tudi organizacijski postopki, delovna navodila, tehnološka in kontrolna dokumentacija, tehnične specifikacije ter zapisi o kakovosti.

Poslovnik kontrole proizvodnje natančno opredeljuje postopke, odgovornosti, pooblastila in odnose osebja, ki sodeluje v procesu proizvodnje asfaltnih zmesi, skladno z zahtevami SIST EN 13108-1, SIST EN 13108-5 in SIST EN 13108-7. Z njim proizvajalec uvede in ohranja svojo politiko kakovosti in postopke za kontrolo proizvodnje v obratu. Po njih morajo postopati vsi zaposleni. Cilji politike kakovosti so zagotavljanje skladnosti in kakovosti asfaltnih zmesi, širjenje in utrjevanje zaupanja kupcev, rentabilno poslovanje asfaltnih obratov ter zmanjševanje stroškov zaradi neustreznosti asfaltnih zmesi.

»Dokument temelji na določenih zahtevah EN ISO 9001 vendar je samostojen in ne zahteva sklicevanja na EN ISO 9001 za svojo uporabo« (SIST EN 13108-21, str. 4).

Poslovnik kakovosti mora tako vsebovati:

- *organizacijsko strukturo proizvajalca glede skladnosti in kakovosti;*
- *obvladovanje dokumentov;*
- *kontrolne postopke za sestavne materiale in izdelke dobaviteljev;*
- *kontrolno procesov;*
- *zahteve za rokovanje in skladiščenje izdelka;*
- *kalibracije in vzdrževanje obrata;*
- *zahteve za preglede in preskušanje procesov in izdelkov;*
- *postopke za rokovanje z neskladnostmi*
(SIST EN 13108-21, str. 5).

4.1.1 Organizacijska struktura

4.1.1.1. Odgovornosti in pooblastila

Organizacijska struktura ter matrika odgovornosti zajema osebe, ki je pooblaščen za:

- začetek preventivnega delovanja proti pojavljanju neskladnosti izdelkov ter
- identifikacijo in zabeleženje kakršnihkoli problemov s kakovostjo izdelkov (SIST EN 13108-21:2006).

4.1.1.2 Predstavnik vodstva

Proizvajalec imenuje osebo s primernimi pooblastili, znanjem in izkušnjami za nadzor kontrole proizvodnje v obratu in za izvajanje in ohranjanje zahtev poslovnika kakovosti (SIST EN 13108-21:2006).

4.1.1.3 Notranja presoja

Notranjo presojo skladnosti kakovosti proizvodnje asfaltnega obrata opravi enkrat letno komisija (presojevalec) z namenom zagotoviti pregled ustreznosti proizvodnje asfaltnih zmesi. Po opravljenem pregledu v skladu s poslovníkom izdela poročilo. Ob ugotovitvi eventualnih neskladnosti o njih izda zapise, vodja asfaltnega obrata pa je dolžan izvesti korektivne ukrepe, da se odpravijo v notranji presoji ugotovljene neskladnosti in o tem poročati presojevalcu.

Presojevalec (oziroma določena oseba kot presojevalec) mora v roku, določenem v korektivnem ukrepu, preveriti odpravo neskladnosti in izvedbo korekcijskih ukrepov.

Komisijo, ki izvaja notranjo presojo kontrole kakovosti proizvodnje, vsako leto v ta namen imenuje pooblaščen organ proizvajalca.

Zapisnike o opravljenih notranjih presojah hranita tako pooblaščen organ proizvajalca kot vodja asfaltne obrata.

4.1.1.4 Vodstveni pregled

Vodstveni pregled sistema kontrole proizvodnje enkrat letno opravi s strani vodstva proizvajalca pooblaščen oseba na osnovi interne presoje in vseh njenih opomb ter skladno s planom predvidenih vodstvenih pregledov.

Zapisnike o pregledih hranita tako pooblaščen oseba kot pooblaščen organ proizvajalca, dosegljivi pa morajo biti tudi pri vodji asfaltne obrata.

4.1.1.5 Podpogodbena dela

Vse podpogodbenike se mora vključiti v postopek kontrole kakovosti. To pomeni, da se določi, na kakšen način se bodo izvajali odnosi za notranje Transporte materialov ter kdo bo skrbel za vzdrževanje sistema kakovosti. Pri tem se navede pravno podlago in kdaj je bila ta sklenjena.

4.1.2 Obvladovanje dokumentov

Proizvajalec mora uvesti in ohranjati dokumentirane postopke za kontrolo vseh dokumentov in podatkov, ki se nanašajo na zahteve poslovnika kontrole (SIST EN 13108-21:2006).

V poslovniku kontrole so navedeni eksterni in interni dokumenti ter kje in kdo jih hrani.

Eksterni dokumenti so regulativna dokumentacija, dokumenti naročnika in strokovna literatura. Interni dokumenti so: sistem kontrole, obvladovanje procesa v organizacijski enoti, poslovnik kontrole proizvodnje, navodila, obrazci ter izvedbeni dokumenti. Tudi tu je

navedeno, kdo je odgovoren za posamezen dokument in njegovo ustrezno dopolnjevanje, v kolikor je to potrebno.

4.1.3 Kontrolni postopki

4.1.3.1 Osnovni materiali

V tej točki so opredeljene zahteve, da morajo biti v asfaltnem obratu na razpolago primerne količine osnovnih materialov. S tem se zagotovi skladnost asfaltne zmesi, saj nikoli ne zmanjka potrebnega materiala.

Dobavitelji osnovnih materialov (zmesi kamnitih zrn, bitumenskih veziv in dodatkov) morajo dokazati s kontrolnimi postopki, da so sposobni dobavljati zahtevano kakovost materialov in zagotoviti njihovo skladnost z začetnim tipskim preizkusom. Zahtevano je, da imajo dobavitelji potrdilo o skladnosti in certifikat CE, ki ga hrani vodja asfaltne obrata, lahko pa tudi katera druga imenovana oseba.

Opremljen je postopek naročanja, prevzemanja zmesi kamenitih zrn, bitumenskega veziva in dodatkov. S tem se zagotovi, da je poleg urejenosti skladišča preprečeno tudi premešanje, onesnaženje ali poslabšanje materialov.

4.1.3.2 Proizvodi, dobavljeni s strani kupca asfaltne zmesi

Vsak sestavni material, ki ga dobavi kupec z željo po vključitvi v proizvodnjo asfaltnih zmesi zanj, se tretira na enak način, kot da bi bil lasten in se z njim tako tudi rokuje, skladišči in ga ohranja.

4.1.4. Kontrola procesov

Obvezna je naslednja vsebina poslovnika:

- opis toka materialov in z njimi izvajanih procesov od vstopa v asfaltni obrat do dobave asfaltnih zmesi kupcu,

- izjava o postopkih, s katerimi se ohranja skladnost s specifikacijami, na primer, da se proizvodnja opravlja po predhodno odobrenih recepturah, ki so usklajene s predpisi in standardi, da ima obrat računalnik, ki ohranja šaržni protokol, v katerem so za vsako kadarkoli proizvedeno šaržo podani podatki o posameznih uporabljeni materialih,
- preglednica, ki opisuje nadziranje obnašanja procesa, skladno z najmanjšimi pogostostmi pregledov preddozatorjev, veziva in proizvedene asfaltne zmesi. Za vsako vrsto je zapisan način pregleda, njegov namen in pogostost.

4.1.5 Rokovanje, skladiščenje in dobava asfaltne zmesi

V poslovniku kakovosti morajo biti opredeljeni postopki za zagotavljanje rokovanja, skladiščenja in dobave asfaltne zmesi z najmanjšo možno segregacijo ali poslabšanjem pogojenih lastnosti. Poleg tega je tu postavljena zahteva, da mora biti iz proizvodnih podatkov vedno možno ugotoviti posamezno asfaltno zmes; zagotovljena pa mora biti tudi njena sledljivost.

Proizvajalčev poslovník kakovosti mora imeti natančno določeno do kam sega njegova odgovornost za rokovanje, skladiščenje in dobavo asfaltne zmesi. Zahtevan je tudi opis lastnosti vročih skladiščnih sistemov in način njihovega delovanja.

4.1.6 Kalibracija asfaltnega obrata in vzdrževanje

Poslovník kakovosti mora vsebovati popis tiste merilne tehnike, ki mora biti kalibrirana. Ti deli so: oprema za tehtanje, šaržni serijski sistem, oprema za nadzor temperature, razdelilnik dodatkov, merilnik pretoka ter sorazmerni sistem (na kontinuiranih obratih). Pogostost teh kalibracij mora biti zapisana v preglednici skupaj z načinom pregleda in namenom.

4.1.7 Pregledi in preizkušanje

4.1.7.1 Osnovni materiali

V poslovniku kakovosti mora biti določeno, kako pogosto in po katerih postopkih je potrebno pregledovati in preizkušati osnovne materiale. Pregledi osnovnih materialov potekajo skladno z načrtom pregledov, s čimer se vseskozi zagotavlja enakomerno kakovost.

V poslovniku kakovosti pa morajo biti podane tudi zahteve za kalibriranje delov asfaltnega obrata (preglednica 12), za pogostost pregledov in preizkušanj:

- kamnitih materialov (preglednica 13),
- polnila (preglednica 14),
- veziva (preglednica 15),
- dodatkov (preglednica 16) ter
- asfaltnega granulata (preglednica 17).

Preglednica 12: Zahteve za kalibriranje delov asfaltnega obrata (SIST EN 13108:2006, str. 8)

Table 12: Requirements for calibration parts asphalt plant

Del obrata	Pregled/preizkus	Namen	Najmanjša pogostost
Oprema za tehtanje	Vizualni pregled	Zagotavljanje pravičnega delovanja	- Dnevno
	Preizkus natančnosti	Zagotovitev natančnosti meritev	- Letno - v primeru dvoma - ob postavitvi
Razdelilniki dodatkov	Organoleptični pregled	Za zagotavljanje pravičnega delovanja razdelilnikov	- Prva šarža dneva, ki vsebuje dodatke
	Preskušanje natančnosti	Za zagotavljanje natančnosti v skladu z zahtevami poslovnika kakovosti	- Ob postavitvi - vsako leto - v primeru dvoma
Merilniki pretoka	Primerjava dejanske količine z merjeno količino z uskladitvijo	Za zagotavljanje natančnosti v skladu z zahtevami poslovnika	- Ob postavitvi - vsako leto - v primeru dvoma

		kakovosti	
Šaržni serijski sistem	Primerjava dejanske mase sestavnih delov šarže s tehtano	Zagotovitev natančnosti sestave mase šarže	- Letno - v primeru dvoma
Oprema za nadzor temperature	Vizualni pregled	Zagotavljanje pravilnega delovanja	- Dnevno
	Preizkus natančnosti	Zagotovitev natančnosti meritev	- Letno - v primeru dvoma - ob postavitvi

Vzorci zmesi kamnitih zrn na deponijah se odvijajo po SIST EN 932-1, točka 7.8, Aneks C.1, vzorci bitumenskega veziva pa po SIST EN-58.

Preglednica 13: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj zmesi kamnitih zrn (SIST EN 13108:2006, str. 8)

Table 13: Requirements for frequency of inspections and examinations of mineral aggregate

Pregled/Preizkus	Namen	Pogostost
Preizkusi bistvenih lastnosti zmesi kamnitih zrn	Preverjanje primernosti za nameravano uporabo	Pred začetkom dobav, CE znak
Pregled dobavnice	Preverjanje pošiljke (naročeno, vir)	Vsaka dobava
Organoleptično preverjanje deponije	Primerjanje z običajnim izgledom glede vira, zrnivosti, oblike in nečistoč	Dnevno
Sejalna analiza	Ocena skladnosti s standardom ali z drugo dogovorjeno zrnivostjo	- Prva dobava iz novega vira - v primeru dvoma po organoleptičnem preverjanju - na vsakih 2000 ton dobav posamezne zrnivosti
Oblika, indeks dobljenih zrn	Ocena skladnosti s standardom ali z drugo dogovorjeno specifikacijo	- Prva dobava iz novega vira - v primeru dvoma po organoleptičnem preverjanju - kot je določeno v poslovniku kakovosti npr.: na vsakih 5000 ton dobav posamezne frakcije
Delež vlage	Kontrola procesa	Kot je določeno v poslovniku kakovosti

Preglednica 14: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj za polnilo (interno gradivo)

Table 14: Requirements for frequency of inspections and examinations of filler aggregate

Pregled/Preizkus	Namen	Pogostost
Preizkusi bistvenih lastnosti polnila (prostorska gostota, indeks otrditve, itd.)	Preverjanje primernosti za nameravano uporabo	Pred začetkom dobav, CE znak
Pregled dobavnice	Preverjanje pošiljke (naročeno, vir)	Vsaka dobava
Sejalna analiza	Ocena skladnosti s standardom ali z drugo dogovorjeno zrnavostjo	- Prva dobava iz novega vira - v primeru dvoma po kontroli lastnega proizvoda - na vsakih 2000 ton dobavljenega polnila

Preglednica 15: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj veziva (SIST EN 13108:2006, str. 9)

Table 15: Requirements for frequency of inspections and examinations of bituminous binder

Pregled/Preizkus	Namen	Pogostost
Preizkusi bistvenih lastnosti veziva	Potrditev lastnosti veziva in skladnosti z odgovarjajočo specifikacijo	Potrditev vira pred začetno uporabo
Pregled dobavnice	Preverjanje pošiljke (naročeno, vir)	Vsaka dobava
Temperatura	Preverjanje, ali je vezivo znotraj dovoljenih temperaturnih meja, z običajnim izgledom glede vira in nečistoč	Vsaka dobava
Lastnosti vrste (penetracija ali točka zmehčišča)	Ocena skladnosti s specifikacijo	Na vsakih 300 ton
Organoleptično preverjanje (pregled vzorca ali cisterne)	Primerjava z običajnimi zaznavnimi lastnostmi	Vsaka dobava

Preglednica 16: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj dodatkov (SIST EN 13108:2006, str. 9)

Table 16: Requirements for frequency of inspections and examinations of additives

Pregled/Preizkus	Namen	Pogostost
Primerni preizkusi za določitev bistvenih lastnosti	Potrditev lastnosti dodatka, preverjanje skladnosti s specifikacijo	Potrditev izvora pred začetno uporabo
Pregled dobavnice	Preverjanje pošiljke (naročeno, vir)	Vsaka dobava
Organoleptično preverjanje pošiljke	Primerjava z običajnim izgledom	Vsaka dobava

Preglednica 17: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj asfaltne granulate (SIST EN 13108: 2006, str. 9)

Table 17: Requirements for frequency of inspections and examinations of asphalt granulate

Pregled/Preizkus	Namen	Pogostost
Organoleptično preverjanje	Ločevanje po tipu, določitev škodljivih ali kvarnih sestavin	Ob sprejemu vsake pošiljke (v primeru dvoma, t.j. vsebnosti katrana, je potrebno dodatno preizkušanje)
Klasifikacija pridobljenega materiala (vizualno preverjanje oblike, petrološkega tipa ipd.)	Ocenitev primernosti za uporabo v različnih asfaltnih zmesih	Na vsakih 1000 ton
Delež vlage	Kontrola procesa	Kot je določeno v poslovniku kakovosti

4.1.7.2 Asfaltna zmes

Asfaltna zmes se pregleduje po postopkih, ki jih predvidevajo standardi, (tabela 25 in dodatek A iz standarda SIST EN 13108-21:2006 Bitumenske zmesi – Specifikacije materialov 21. del: Kontrola proizvodnje). Za nadziranje in dokazovanje procesnih zmožnosti in lastnosti asfaltnih zmesi je potrebno voditi primerne statistične zapise.

Kadar naročnik asfaltne zmesi izvaja prevoz sam, ga je potrebno seznaniti s postopki pri prevozu. V tej fazi dela preneha odgovornost proizvajalca asfaltnih zmesi.

Dolžnost voznika transportnega vozila je, da je le-to ustrezno očiščeno, keson mora biti pobrizgan s fluidom, ki preprečuje sprijetje asfaltne zmesi na stene in dno kesona ter ne škoduje asfaltni zmesi. Prav tako je dolžnost voznika, da je vozilo opremljeno s ponjavo za ustrezno prekrivanje transportirane asfaltne zmesi in da to ponjavo tudi uporablja. Za nadzor postopkov pri transportu in predaji je odgovoren voznik transportnega vozila.

Preglednica 18: Zahteve za pogostost pregledov in preizkušanj dobavljene asfaltne zmesi (interno gradivo)

Table 18: Requirements for frequency of inspections and examinations of asphalt mixture

Pregled/Preizkus	Namen	Pogostost
Organoleptično preverjanje proizvedene asfaltne zmesi	Primerjava z običajnim izgledom glede zrnivosti, enakomernosti in primerne obvitosti kamenihzrn	Vsak tovornjak
Temperatura	Zagotovitev skladnosti s specifikacijami ali drugimi zahtevami	Vsaka šarža v šaržnem protokolu
Zrnavost zmesi in delež veziva	Zagotovitev skladnosti s specifikacijami	Glede na dosežen nivo po dodatku A (NSO A, NSO B ..)
Ostale značilnosti, vključene v tehničnih specifikacijah	Za oceno skladnosti	- Tipski preizkus se ponavlja na vsakih 5 let - ob prestavitvi asfaltnega obrata - ob spremembi vhodnih materialov
Primernost vozil za prevoz z vizualno oceno	Preverjanje primernosti transportnega vozila	- pred prvo uporabo prevoznega sredstva, - v primeru dvoma
Čistost vozil za prevoz z vizualno oceno	Preprečitev onesnaženja asfaltne zmesi	Vsak tovornjak pred natovarjanjem

4.1.8 Neskladnosti

4.1.8.1 Splošno

Neskladnosti se lahko pojavijo pri

- sestavnih materialih in skladiščenju,
- predelovanju (proizvodnji) proizvoda in / ali
- ob rokovanju, skladiščenju in dobavi asfaltne zmesi.

V vsakem odkritem primeru neskladnosti je potrebno raziskati vzroke zanjo in uvesti korektivno delovanje, da se ji v nadaljnje izognemo. Voditi je treba zapise o teh odkritjih in potrebno je obvestiti uporabnike, če ni bilo možno preprečiti razpošiljanje asfaltne zmesi.

4.1.8.2 Neskladnost osnovnih materialov pri skladiščenju

Glede na vzrok neskladnosti in odstopanje posameznega osnovnega materiala od zahtevanih karakteristik se po opaženi neskladnosti, oziroma obvestilu tehnologa ali laboranta, vodja asfaltnega obrata odloči za izločitev osnovnega materiala iz procesa proizvodnje in njegovo odstranitev. Lahko se odloči za vrnitev nazaj k proizvajalcu, lahko pa se dogovori s tehnologom za uporabo materiala pri proizvodnji takšnih asfaltnih zmesi, ki bi jim glede zahtevanih lastnosti osnovni material morebiti odgovarjal.

Kot korektivno delovanje je lahko tudi obvestilo komercialistu nabave blaga (ki ocenjuje pogodbene dobavitelje) in njegovo posredovanje pri zagotavljanju neoporečnega materiala s strani dobavitelja.

4.1.8.3 Neskladnost pri proizvodnji, skladiščenju in dobavi asfaltne zmesi

4.1.8.3.1 Procesni del

Pri procesni napaki se vodja asfaltnega obrata (ob po posvetovanju z vodjo operativne izvedbe del oziroma stranko) lahko odloči za preusmeritev proizvedene asfaltne zmesi na tako gradbišče, kjer sestava asfaltne zmesi odgovarja zahtevam. V primeru, da ta rešitev ni mogoča, se neskladna asfaltna zmes odstrani iz procesa z možnostjo naknadne reciklaže.

Kot korektivni ukrep se, zaradi neskladnega delovanja, izreče opomin povzročitelju. Zahteva se dodatno izobraževanje povzročitelja o sestavi posameznih asfaltnih zmesi in njihovih zahtevah. V nasprotnem primeru se povzročitelja prerazporedi na drugo delovno mesto.

4.1.8.3.2 Neskladnost pri proizvodnji in skladiščenju asfaltne zmesi

Če se ugotovi neskladnost pri proizvodnji asfaltne zmesi, se v odvisnosti od vzroka, vodja asfaltnega obrata, ob sodelovanju tehnologa v laboratoriju, odloči za ukrepanje v skladu s stanjem na asfaltne obratu (zaustavitev proizvodnje do odprave vzroka, sprememba nastavitve predhodnih sestav asfaltnih zmesi, izobraževanje vodje proizvodnje asfalta).

Korektivno delovanje je odvisno od vzroka neskladnosti. Ob enkratnem pojavu praviloma zadostuje odprava vzroka, pri sistemskih ali človeških vzrokih pa je potrebna omejitev in preprečitev možnosti nadaljnjega vpliva kritičnih faktorjev pri proizvodnji na kvaliteto asfaltne zmesi.

Morebitne neskladnosti asfaltne zmesi ob skladiščenju ali ob njenem vgrajevanju lahko ugotovita tehnolog in laborant laboratorija notranje kontrole. O tem poročata vodji laboratorija, ki o neskladnosti obvesti vodjo asfaltnega obrata. Ta lahko v primeru hitre intervencije preusmeri neustrezno asfaltno zmes na gradbišče, kjer zadovoljuje zahtevane kriterije.

Vodja asfaltnega obrata lahko, v dogovoru s kupcem, odobri pošiljko neskladne asfaltne zmesi, katero se lahko vgrajuje na namensko gradbišče. O neskladnem proizvodu se mora obvezno vedno obvestiti kupca, ki se mora z vgradnjo neskladnega asfaltne zmesi strinjati.

V drugem primeru se neskladno asfaltno zmes odstrani iz procesa, z možnostjo naknadne reciklaže.

Za korektivni ukrep, zaradi neskladnega delovanja, se povzročitelju izreče opomin, dodatno pa se ga izobrazi o skladiščenju, transportu ali vgradnji posamezne vrste asfaltne zmesi. V primeru nadaljnjih kršitev se povzročitelja prerazporedi na drugo delovno mesto.

Neskladno asfaltno zmes se lahko vgrajuje tudi na namensko gradbišče. O ugotovitvi neskladne asfaltne zmesi se mora obvezno vedno obvestiti kupca, vgradi pa le pod pogojem, da se kupec z vgradnjo take asfaltne zmesi strinja.

4.1.9 Osnovni pogoji za kontrolo kakovosti

»Proizvajalec mora kontrolirati, kalibrirati in ohranjati primernost merilne in preizkusne opreme« (SIST EN 13108-21:2006).

4.1.9.1 Laboratorij

V poslovniku kontrole kakovosti mora biti navedeno, kako je urejen laboratorij in kakšne pogoje zagotavlja za preiskavo in hranjenje vzorcev. Opisano mora biti tudi, kako je označena preizkuševalna oprema in kje so hranjeni zapisi o kalibraciji, ki se vršijo po planu vzdrževanja in kalibriranja. Ker se morajo meritve izvajati na podlagi standardov, je potrebno zapisati, kje in kdo hrani standarde ter delovna navodila.

4.1.9.2 Asfaltni obrat

V asfaltnem obratu mora biti določeno kako in na kakšen način je opredeljeno kalibriranje merilne opreme in kdo skrbi za organizacijo kalibracij in vodenje zapisov o teh postopkih.

Opremo za proizvodnjo asfaltne zmesi je prav tako potrebno vzdrževati in kontrolirati. Kdo in na kakšen način jo izvaja, mora biti navedeno v poslovniku.

4.1.9.3 Zapisi

Zapisi so pomemben del proizvodnje asfaltnih zmesi, saj omogočajo zgodovinski pregled dobavljenih materialov, pregled vseh kontrol proizvodnje, ki so bile izvedene, in njihovo pogostost. Zapise o kontroli proizvodnje vodi pooblaščen laboratorij. Zapise o dobavljenih materialih in korektivnih ukrepih pa hrani vodja asfaltne obrata. V primeru reklamacij služijo vsi ti zapisi kot dokaz kakovosti proizvodnje. Zapise se hrani za čas trajanja garancije za asfaltno zmes (izdelano ali vgrajeno), to pomeni 5 let.

4.1.9.4 Izobraževanje

Vsak proizvajalec asfaltnih zmesi mora zagotoviti, da je njegovo osebje primerno izobraženo, šolano ali izkušeno za delo v asfaltnem obratu, kjer je pomembna kakovost proizvedene zmesi. Zaradi napredka pri izdelavi asfaltnih zmesi in njihovega razvoja je

potrebno vsaj enkrat letno organizirati dodatno izobraževanje delavcev. Ob tem je potrebno hraniti zapise izobrazbe in usposobljenosti delavcev.

4.1.9.5 Dodatki standardu SIST EN 13108-21:2006

Standard (SIST EN 13108-21:2006) vsebuje tudi dodatka A in B, ki sta normativna, ter dodatke C, D in E, ki so informativni. Kratka pojasnila k dodatkom.

Dodatek A - Dovoljena odstopanja in pogostost preskušanja zamešane asfaltne zmesi

- Opisana so dovoljena odstopanja in preskušanja za namen ocene skladnosti še nevgrajene asfaltne zmesi med proizvodnjo in dobavo ter dovoljena odstopanja za oceno skladnosti rezultatov preskušanja.

Dodatek B - Začetni pregled in presoja obrata in kontrole proizvodnje v obratu in stalni nadzor kontrole proizvodnje v obratu za asfaltne zmesi

- Dodatek obravnava običajen postopek začetne presoje in nadzora proizvodnje v obratu.

Dodatek C - Vodilo za vrednotenje skladnosti

Dodatek D - Dodatno preskušanje lastnosti zmesi

- Opisuje metodo za določanje fizikalnih lastnosti vzorcev asfaltnih zmesi iz redne proizvodnje. Rezultati, ki jih dobimo, se deklarirajo in uporabijo za podporo razširjeni validaciji tipskega preizkusa.

Dodatek E - Posebne zahteve za letališča

4.2 NOTRANJA IN ZUNANJA KONTROLA

4.2.1 Notranja kontrola

Zagotavljanje notranje kontrole je dolžnost proizvajalca. Izvaja jo lahko laboratorij proizvajalca ali drug neodvisen laboratorij, ki mora rezultate svojih kontrol posredovati izvajalcu zunanje kontrole.

Preizkusi notranje kontrole zajemajo tako značilnosti proizvedene asfaltne zmesi (temperatura, sestava, mehanske in prostorske značilnosti asfaltne zmesi – sestava ekstrahirane zmesi zrn, delež in lastnosti ekstrahiranega veziva, vsebnost votlin, zapoljenost votlin z vezivom,...), kot tudi vgrajene asfaltne zmesi (debelina plasti, zlepljenost plasti, gostota, vsebnost votlin v plasti, ravnost, višina in nagib planuma).

Pogostost izvajanja preizkusov se vrši na 1000 ton proizvedene asfaltne zmesi za vezane nosilne plasti, za obrabne plasti se preizkuse izvaja na 500 ton. V kolikor je proizvodnja manjša, se preizkuse izvaja za vsako vrsto asfaltne zmesi. Ko gre za že vgrajeno asfaltno zmes v nosilni plasti, se preizkuse izvaja na vsakih 200 m² in na 100 m², kadar gre za obrabne zmesi.

4.2.2 Zunanja kontrola

Neodvisni akreditirani laboratorij preverja rezultate preizkusov notranje kontrole. Pod drobnogled se vzame predvsem skladnost dobavljenih asfaltnih zmesi z izjavami proizvajalca o skladnosti s CE informacijo. Kontrolira pa se tudi prevoze in vgrajevanje asfaltnih zmesi.

Izvajalec zunanje kontrole izdelava končno poročilo o kakovosti, ki je povzetek notranje in zunanje kontrole kakovosti. Če obstaja dvom v rezultate notranje kontrole kakovosti, se upošteva le rezultate zunanje kontrole.

Preizkusi zunanje kontrole zajemajo več vrst preiskav, kot jih izvaja tudi notranja kontrola. Tako se preizkusi lastnosti ekstrahiranega veziva (penetracija pri 25 °C, zmehčišče, indeks penetracije, pretrgališče po Fraassu) in prostorsko maso po Marshallu. Pogostost izvajanja preizkusov je na 4000 ton proizvedene asfaltne zmesi za vezane nosilne zmesi, pri obrabnih plasteh je pogostost na 2500 ton. Na vgrajenih nosilnih plasteh je pogostost preizkusov na 400 m², za obrabne plasti pa na 200 m².

Zunanja kontrola izvaja tudi dodatne preizkuse asfaltnih zmesi. Za zelo težke prometne obremenitve se preverja obnašanje vgrajenih asfaltnih plasti pri visokih temperaturah (nastanek kolesnic) in pri nizkih temperaturah (nastanek razpok). Drenažne asfalte se preverja na izgubo delcev. Delež silikatnih zrn pa se preizkuje v razredih asfaltnih zmesi A1 in A2 (razred kamnitih zrn Z1 in/ali Z2).

4.2.3 Ocena skladnosti

Po zaključku del ali faze posameznih del se mora izvesti statistične analize proizvedene in vgrajene asfaltne zmesi. Pripravita jo izvajalca notranje in zunanje kontrole. Pri tem oceno skladnosti rezultatov kontrol poda izvajalec zunanje kontrole in jo predloži nadzorniku del.

Rezultati preiskav notranje kontrole so večinoma znani šele potem, ko je asfaltna zmes že vgrajena. Zato je izločanje neustrezne asfaltne zmesi na asfaltnem obratu skoraj nemogoče. Ob prevzemu asfaltne zmesi na gradbišču se lahko preveri le podatek ali je imela asfaltna zmes na izhodu proizvodnje ustrezno temperaturo (ta je zapisana na dobavnici, ki jo dobi prevoznik) ali pa kadar je asfaltna zmes očitno vizuelno neustrezna. Za vizuelno oceno neustreznosti asfaltne zmesi pa so potrebne večletne izkušnje pri proizvodnji in vgrajevanju asfaltnih zmesi.

5 POŠKODBE ASFALJNIH OBRABNIH PLASTI

Poškodbe na voziščih nastanejo iz različnih vzrokov: kot posledica normalne uporabe ceste, skritih napak pri pripravi asfaltnih zmesi ali pri vgrajevanju in zaradi zunanjih obremenitev, na primer staranja in namerne porušitve. Če je vzrok napaka na asfaltnem obratu pri mešanju asfaltne zmesi, je to lahko posledica uporabe napačnega materiala, napake na strojni opremi ali je za napako kriv človeški faktor.

Poškodbe na asfaltnih voziščih glede na njihovo obliko razvrščamo v 4 glavne skupine:

- preoblikovanja
- razpoke
- razgraditev
- poškodbe površine.

Vsaka od teh skupin vsebuje podskupine. Nekatero od teh so opisane podrobneje v nadaljevanju. Izpostavljene so namreč tiste vrste poškodb cest, katerih nastanek je lahko tudi posledica napake pri proizvodnji asfaltnih zmesi.

5.1 PREOBLIKOVANJE

Poškodba v obliki preoblikovanja nastane zaradi prekoračitev tlačnih in strižnih trdnosti vgrajene asfaltne plasti. Prekomerne napetosti so posledica temperaturne in prometne obremenitve. Vgrajena asfaltna plast se preoblikuje v navpični in vodoravni smeri. Preoblikovanje asfaltnih vozišč je praviloma plastično, kar pomeni, da se asfaltna plast po razbremenitvi ne vrne v prvotno obliko.

Ločimo tri oblike preoblikovanj:

- prečna
- vzdolžna
- nepravilno oblikovana.

Med prečna preoblikovanja štejemo kolesnice, žlebove in povese. Vz dolžna preoblikovanja so valovi, perilniki in grebeni. Nepravilno oblikovana preoblikovanja pa so grbine, grebeni, posedki in izbokline. Na preobremenjeni asfaltni plasti nastanejo različne oblike preoblikovanj velikokrat istočasno. Preoblikovanja otežujejo predvsem odvodnjavanje in pluzenje vozišča, pri večjih preoblikovanjih, kot je prikazano na sliki 21, pa je oteženo tudi vodenje vozil.



Slika 21: Kolesnica (<http://en.wikipedia.org/wiki>)

Figure 21: Rut

Eden izmed možnih vzrokov za nastanek kolesnice (tako zaobljene in široke kot tudi zarezane in ozke) so *neustrezne lastnosti vgrajenih materialov*. Tu so bistvenega pomena:

- izbira *neustreznega tipa veziva* glede na klimatske in prometne razmere,
- *prekomeren ali premajhen delež veziva*,
- *neustrezna sestava zmesi kamnitih zrn in/ali*
- *neustrezna sestava asfaltne zmesi*, vgrajene v plast voziščne konstrukcije.

Pomembni sta tudi:

- *vsebnost votlin* v asfaltni zmesi/plasti (ta ne sme biti niti premajhna niti prevelika) in
- *zapolnjenost votlin z vezivom*.

Premajhna vsebnost votlin v asfaltni plasti omogoča njihovo zapolnitev z bitumenskim vezivom in popolno plastično preoblikovanje. Kadar je vsebnost votlin v asfaltni plasti velika, pa lahko bitumensko vezivo hitreje oksidira. Oksidacija bitumenskega veziva pomeni, da bitumensko vezivo otrdeva, se stara. S tem procesom postane bitumensko

vezivo manj odporno na nizke temperature, kar vodi v hitrejše napredovanje nastajanja poškodb/razpok v asfaltni plasti.

Ostali vzroki za nastanek preoblikovanja so:

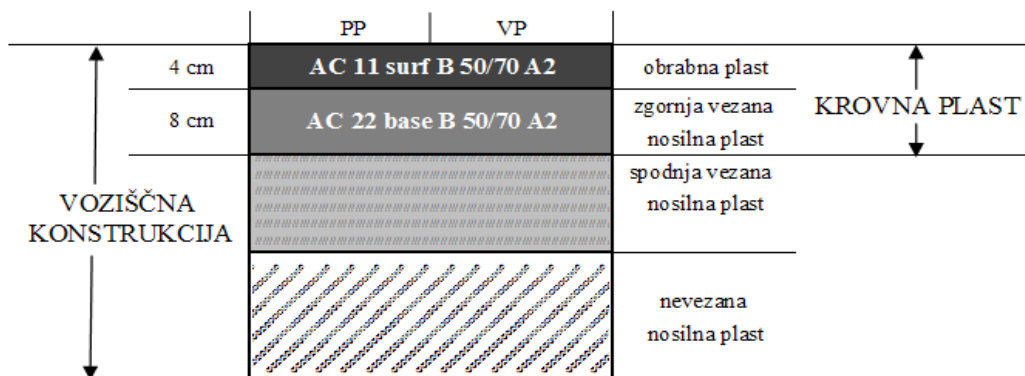
- pomanjkljivo vgrajevanje (zgostitev)
- pomanjkljivo ali poškodovano odvodnjavanje
- prezgodnja pripustitev prometa
- visoke temperature (prisojna ali sončna lega)
- preobremenitev voziščne konstrukcije (križišča, vzponi, ulice, avtobusna postajališča, zunanji robovi vozišč v krivinah) ali prešibka voziščna konstrukcija (Žmavc, 1987).

Preoblikovanje asfaltnih plasti nastane iz več vzrokov. Odpornost asfaltnih plasti proti preoblikovanju pa je predvsem »...odvisna od

- *togosti bitumenske malte (konsistence bitumenskega veziva),*
- *stabilizacijskega učinka polnila in*
- *stabilnosti (notranjega trenja) skeleta zmesi kamnitih zrn«* (Žmavc, 2010, str. 51).

V laboratorijskih preiskavah pri notranji ali zunanji kontroli se pozornost usmerili na zmes kamnitih zrn in bitumensko vezivo. Ugotovljene lastnosti omogočajo napoved možnosti nastanka preoblikovanja pri proizvedeni oziroma vgrajeni asfaltni zmesi.

Za prikaz potencialnega pojava kolesnic vzemimo naslednji primer poškodbe asfaltne obrabne plasti zaradi neustrezne sestave zmesi kamnitih zrn in prevelikega deleža bitumenskega veziva. Krovna plast voziščne konstrukcije je sestavljena iz 8 cm debele zgornje vezane nosilne plasti AC 22 base B 50/70 A2 in 4 cm debele obrabne plasti AC 11 surf B 50/70 A2.



Slika 22: Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije - primer kolesnic

Figure 22: Characteristic cross-section of pavement - rut example

V laboratoriju so med proizvodnjo asfaltne zmesi AC 11 surf B 50/70 A2 odvzeli vzorec te asfaltne zmesi in jo preiskali, kot je to zahtevano v sklopu notranje kontrole. Rezultati so zapisani v naslednjih dveh preglednicah. Preglednica 19 prikazuje lastnosti kamnite zmesi zrn, preglednica 20 pa delež bitumna in vsebnost zračnih votlin v asfaltni zmesi AC 11 surf B 50/70 A2.

Preglednica 19: Presejki zmesi kamnitih zrn za vzorec AC 11 surf B 50/70 A2

Table 19: Distribution of stone aggregate for sample AC 11 surf B 50/70 A2

ZAP. ŠT.	LAB. ŠT.	DATUM	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI								
			Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
			0,063	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16
			m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	
SIST EN	898-A-08	28.04.08	12697-2	12697-2	12697-2	12697-2	12697-2	12697-2	12697-2	12697-2	
RECEPTURA			7,8	8,4	11,1	18,5	36,3	55,4	80,3	97,3	100,0
VZOREC			8,9	9,6	12,6	20,7	40,1	53,3	81,4	97,8	100,0
RAZLIKA			1,1	1,2	1,5	2,2	3,8	-2,1	1,1	0,5	0,0
spodnja mejna vrednost SIST 1038-1				6	8	16	31	49	75	95	100
zgornja mejna vrednost SIST 1038-1				11	18	30	48	65	87	100	100

V rumeni vrstici z naslovom RECEPTURA so zapisane vrednosti, ki jih mora asfaltna zmes AC 11 surf B 50/70 A2 dosegati po recepturi. Pod to vrstico so rezultati notranje

preiskave vzorca proizvedene asfaltne zmesi. V vrstici z naslovom RAZLIKA je podana razlika med vrednostmi po recepturi in dejansko izmerjenimi vrednostmi vzorca proizvedene asfaltne zmesi. Pozitivne vrednosti predstavljajo večje deleže kot po recepturi, negativne vrednosti pa manjše deleže kot je to navedeno v recepturi.

Rdeče obarvane številke v preglednici 19 prikazujejo kritične vrednosti. Vsebnost frakcije 0/2 mm je namreč previsoka glede na recepturo, posledica tega je, da ima zmes premalo prostih votlin.

Na podlagi vrednosti iz preglednice 19 je izdelana sejalna krivulja na diagramu 1. Rdeča linija prikazuje sejnalno krivuljo vzorca. Modra linija je zgornja meja po SIST 1038-1. Roza krivulja prikazuje spodnjo mejo po SIST 1038-1. Črna črtkana linija pa povezuje vrednosti recepture.

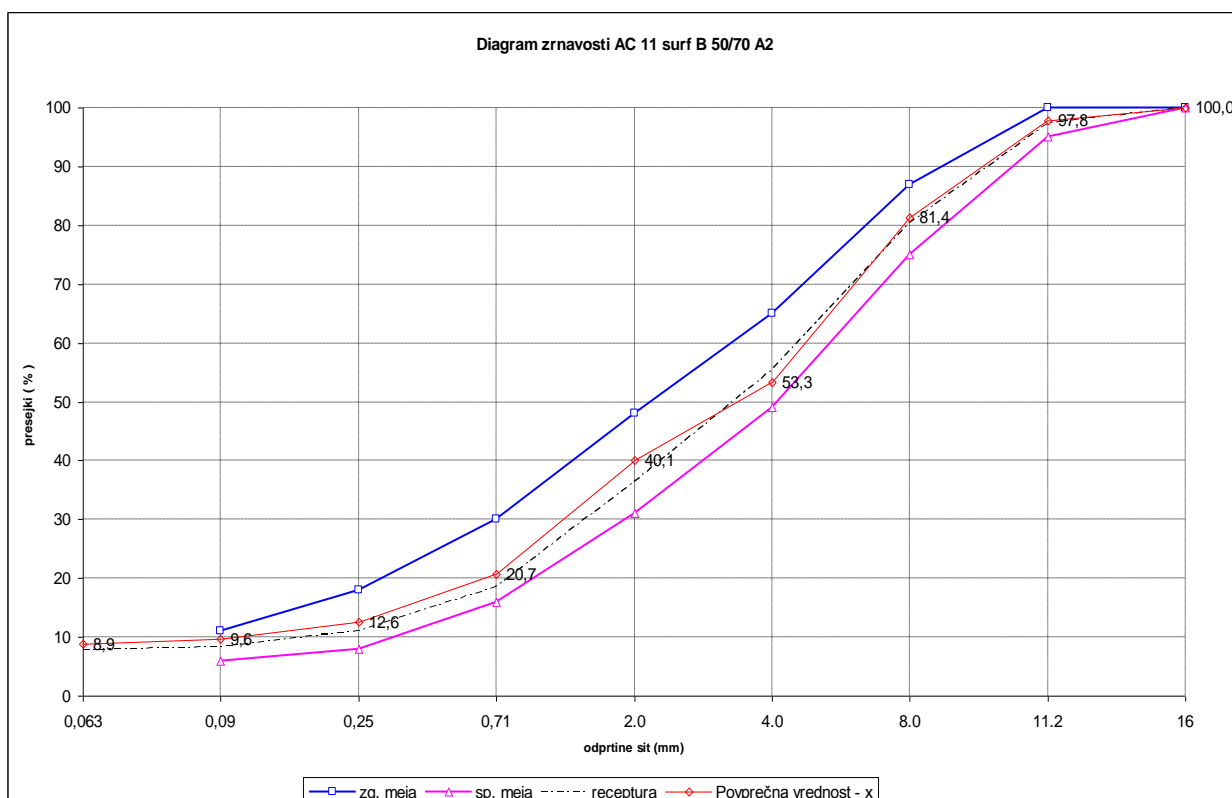


Diagram 1: Zrnivost za AC 11 surf B 50/70 A2

Diagram 1: Grading of AC 11 surf B 50/70 A2

Rdeča linija vzorca mora biti znotraj zgornje in spodnje meje, vendar pa že samo odstopanje od črne črtkaste linije, kaže nagnjenost k pomanjkljivostim asfaltne zmesi. V omenjeni recepturi lahko ugotovimo, da najbolj odstopajo vrednosti presejkov do 2 mm.

Preglednica 20: Delež bitumna, vsebnost zračnih votlin ter stopnja zaplnjenosti votlin za vzorec AC 11 surf B 50/70 A2

Table 20: Binder content, voids content and rate of void filling for sample AC 11 surf B 50/70 A2

ZAP. ŠT.	LAB. ŠT.	DATUM	VRSTA BITUMNA	DELEŽ BITUMNA	LASTNOSTI ASFALTNE ZMESI		
					Vsebnost zračnih votlin	Stopnja zaplnjenost votlin	Votline v kamnitem materialu
					m.-%	V.-%	%
SIST EN	898-A-08	28.04.08	B 50/70	12697-1	12697-8	12697-8	
RECEPTURA				5,2	4,5	73,2	16,7
VZOREC				5,7	1,9	87,9	15,5
RAZLIKA				0,5	-2,6	14,7	-1,2
sp. mejna vrednost SIST 1038-1				4,7	3,0	65,0	-
zg. mejna vrednost SIST 1038-1				5,7	6,5	80,0	-

V preglednici 20 so prikazani rezultati preiskav bitumna in zračnih votlin. Delež bitumna je v vzorcu za 0,5 m.-% večji kot je predvidena vrednost po recepturi za to asfaltno zmes. Po recepturi je predvideno, da bo imela proizvedena asfaltna zmes 4,5 V.-% votlin, iz preglednice 20 pa lahko ugotovimo, da jih vsebuje le 1,9 V.-%. Votlin v kamnitem materialu primanjkuje za 1.2 V.-%. Oba podatka sta posledica povečane vsebnosti frakcije 0/2 mm. Zaplnjenost votlin v zmesi je zaradi večjega deleža bitumna za 14,7 % večja kot predvidena v recepturi.

Večji delež bitumna v povezavi s visoko vsebnostjo frakcije 0/2 mm povečuje možnosti za nastanek kolesnic. Takšna asfaltna zmes se bo pod obremenitvami (visoke temperature, prometne obremenitve) preoblikovala na mestih, ki so bolj obremenjena in se umaknila na mesta, ki so manj obremenjena.

5.2 RAZPOKE

Na nastanek razpok vpliva prekoračitev nateznih trdnosti vgrajenih asfaltnih zmesi. Ta prekoračitev pa je lahko »...*posledica*

- *strukturnih sprememb bitumenskega veziva v asfaltnih zmesih zaradi staranja,*
- *velikih temperaturnih sprememb v času uporabe,*
- *prekomernih prometnih obremenitev in/ali*
- *pomanjkljivosti pri graditvi*« (Žmavc, 2010, str. 54).

Bitumensko vezivo je pri nastanku razpok prvi faktor, ki ga lahko »okrivimo« za nastanek razpok. V asfaltni plasti ima namreč med drugim tudi to funkcijo, da se s preoblikovanjem prilagaja vsiljenim napetostim in jih zmanjšuje. Kako hitro je takšno prilagajanje, je odvisno od viskoznosti oziroma *raztegljivosti bitumenskega veziva*. Mehkejše kot je, hitreje se zmanjšujejo napetosti. Na mehkost oziroma trdoto bitumenskega veziva, ki jo določa njegov tip, pomembno vpliva temperatura okolice. Tudi *debelina obvitja kamnitih zrn* pomembno vpliva na raztegljivost bitumenskega veziva. Večkratno raztezanje in krčenje bitumenskega veziva pa ima za posledico utrujenost in nastanek razpok.

Staranje oziroma otrditev bitumenskega veziva lahko povzroči nastanek razpok. Te strukturne spremembe v bitumenskem vezivu pred vgraditvijo nastanejo zaradi previsoke temperature pri proizvodnji asfaltnih zmesi, dolgotrajnega skladiščenja v netesnjenih silosih in/ali prekomerne ohladitve.

Vezivo pa ni edini vzrok za nastanek razpoke. Vzrok je lahko tudi neustrezna sestava zmesi kamnitih zrn, ki vsebuje *prekomeren ali premajhen delež posamezne frakcije*.

Razpoke so lahko linijske ali mrežaste. Slednje so lahko površinske ali globoke. Linijske pa lahko razdelimo na: prečne, vzdolžne ali nepravilno oblikovane.

Razpoke nastanejo lahko tudi zaradi dinamičnih vplivov prometa, ki povzročajo nihanje premostitvenih objektov.

Lasaste razpoke (široke do 1 mm) lahko nastanejo na površini obrabne plasti, v kolikor le-ta vsebuje *premalo veziva ali pa je to prežgano*. Druga možnost je tudi, da vsebuje asfaltna zmes *preveč polnila*. V kolikor se razpoke ne zalijejo z ustrežno zalivno zmesjo, se širijo in napredujejo po površini. Tako nastanejo glede na širino še t.i. srednje razpoke, ki so široke do 5 mm, široke razpoke (do 25 mm) in zelo široke razpoke (nad 25 mm).

Če povzamemo, se zaradi napak v proizvodnji asfaltnih zmesi, razpoke pojavijo zaradi:

- bitumenskega veziva,
 - če je pretrdo (neustrezen tip veziva),
 - če je debelina obvitja kamnitih zrn premajhna,
 - če je premalo veziva v zmesi,
 - če je prežgano,
 - če se prehitro stara oziroma otrjuje,
- prekomernega ali premajhnega deleža posamezne frakcije,
- preveč polnila.

Razpoke niso problematične, dokler so majhne in samo na površini asfaltnih plasti. Takšne lahko zalijemo z zalivno zmesjo in s tem podaljšamo trajnost voziščne konstrukcije. Kadar pa so razpoke globoke in goste, voda pronica skozi in v nižje plasti voziščne konstrukcije in podlago. S tem poslabša lastnosti vezljivih materialov pod voziščno konstrukcijo in v času zmrzovanja lahko tudi zamrzne in privzdigne voziščno konstrukcijo. Ko se okolica spet otopli, voda ne more odteči, konstrukcija podlage pa zaradi prekomernega deleža vode izgubi svojo prvotno nosilnost. To povzroči še hitrejše propadanje celotne voziščne konstrukcije.

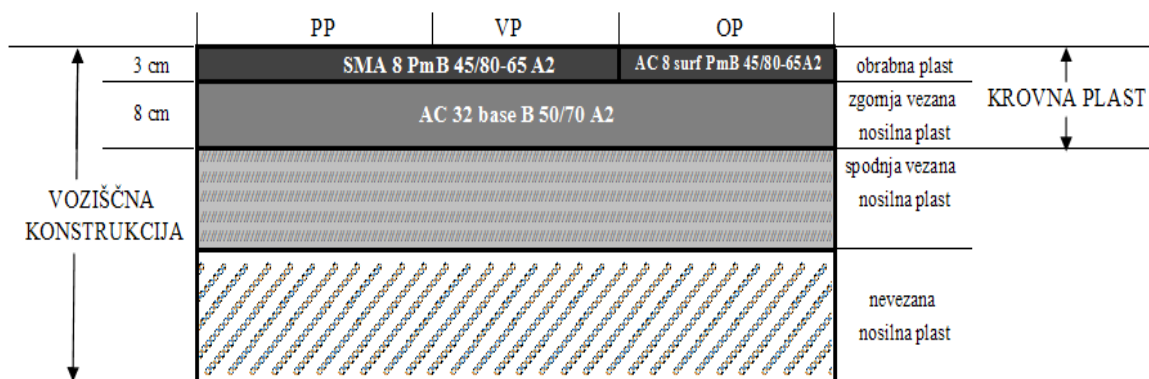
Oglejmo si naslednji primer poškodbe asfaltnih obrabnih plasti, ki je nastal zaradi premajhnega deleža bitumenskega veziva. Pri asfaltiranju odseka ceste je bila naročena tudi zunanja kontrola asfaltnih obrabnih zmesi. Po petih letih so se novo asfaltiranem odseku ceste pojavile razpoke (slika 23) na voznih pasovih, kjer je bila vgrajena asfaltna zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A2.



Slika 23: Primera razpok (foto: Roman Bašelj)

Figure 23: Examples of cracks

Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije na prehitevalnem in voznem pasu sestavlja 8 cm debela plast AC 32 base B 50/70 A2 ter 3 cm debela obrabno zaporna plast SMA 8 PmB 45/80-65 A2. Na odstavnem pasu sestavlja krovno plast voziščne konstrukcije 8 cm debela plast AC 32 base B 50/70 A2 in 3 cm debele obrabno zaporna plast AC 8 surf PmB 45/80-65 A2.



Slika 24: Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije - primer razpok

Figure 24: Characteristic cross-section of pavement - crack example

V preglednici 21 so predstavljeni vhodni materiali, ki se jih uporablja v določenih deležih po recepturi za asfaltno zmesi SMA 8 PmB 45/80-65 A2.

Preglednica 21: Vhodni materiali za asfaltno zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A2

Table 21: Input materials for asphalt mixture SMA 8 PmB 45/80-65 A2

Vrsta vhodnega materiala	Označba, tip
Bitumensko vezivo	Olexobit 45
Kamena moka	Laže
Pesek	Laže 0/2
Drobir	Bleiberg 2/4 in 4/8
Dodatek za vezanje bitumenskega veziva	Viatop 80+

Receptura za zmes kamnitih zrn je podana v rumeni vrstici v preglednici 22. Deleži vhodnih materialov po recepturi za vezivo pa so navedeni v preglednici 24 (rumena vrstica). Notranje in zunanje preiskave za asfaltno zmes SMA 8 PmB 45/80-65 A2 so prikazale naslednje stanje asfaltno zmesi v primerjavi z njeno recepturo.

Preglednica 22: Presejki zmesi kamnitih zrn za vzorec SMA 8 PmB 45/80-65 A2

Table 22: Binder content, voids content and rate of void filling for sample SMA 8 PmB 45/80-65 A2

ZAP. ŠT.	LAB. ŠT.	DATUM	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI						
			Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)						
			0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2
			m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
SIST EN	1164-A-11	30.10.2011	12697-2 /07	12697-2 /07	12697-2 /07	12697-2 /07	12697-2 /07	12697-2 /07	12697-2 /07
RECEPTURA			10,5	13,2	17,3	25,5	32,5	95,4	100,0
KONTROLA PROIZVODNJE									
notranja			10,7	13,1	17,4	25,9	32,1	97,5	100,0
zunanja			10,3	12,4	16,5	25,4	31,3	97,0	100,0
JEDRO			11,6	14,1	18,8	27,7	37,2	97,6	100,0
spodnja mejna vrednost SIST 1038-5			8	10	13	20	26	90	100
zgornja mejna vrednost SIST 1038-5			13	20	25	30	45	100	100

Preglednica 22 prikazuje presejke zmesi kamnitih zrn za vzorec SMA 8 PmB 45/80-65 A2. V zmesi kamnitih zrn je vsebnost frakcij 0/4 mm nižja od predvidene. So pa rezultati presejkov skozi sito znotraj zgornje in spodnje priporočene vrednosti po SIST 1038-5.

Preiskave na jedru so, dale vrednosti presejkov, ki so nekoliko višje od vrednosti po notranji in zunanji kontroli. To je najverjetneje posledica tega, da je bil vzeti vzorec za jedro lahko vzeti iz druge sarže in daje zato čisto drugačen rezultat kot preiskave notranje in zunanje kontrole. Lahko pa je tak rezultat nastal zaradi lomljenja grobih zrn, ki je imelo za posledico povečanje deleža manjših frakcij v zmesi kamnitih zrn.

Preglednica 23 prikazuje lastnosti bitumenskega veziva Olexobit 45 iz katere je razvidno, da spada uporabljeno bitumensko vezivo med trša veziva, izmerjena penetracija je namreč bližje spodnji meji tehničnih pogojev. Rezultati so pokazali, da je zmechčišče le za 2,2 °C (notranja kontrola) oziroma za 3,0 °C (zunanja kontrola) višje od tehničnega pogoja. Preiskava pretrgališča po Fraassu, ki jo je izvedla zunanja kontrola, je pokazala, da Olexobit 45 slabše prenaša nizke temperature. Izmerjena točka loma po Fraassu je pri -15 °C, kar je za 8,2 °C nižja od tehničnega pogoja (-6,8).

Preglednica 23: Lastnosti bitumenskega veziva Olexobit 45

Table 23: Characteristics of bituminous binders Olexobit 45

Določena sestava bitumenskega veziva	Lastnosti veziva				
	Zmechčišče PK °C	Penetracija mm/10	Jedro penetracije -	Pretrgališče Fraass °C	Raztegljivost cm
KONTROLA VHODNEGA VEZIVA					
notranja	62,2	45,6	1,2		
zunanja	63,0	52,0	1,2	-15,0	61,0
KONTROLA EKSTRAHIRANEGA VEZIVA					
pri izvajanju del	70,5	25,0	-	-11,0	
po 5. letih	73,0	19,0	1,1		7,7
TEHNIČNI POGOJI	> 60	40-70	> -1	-6,8	> 70

Ko so se po petih letih odkrile razpoke, so bile naročene laboratorijske preiskave asfaltne plasti na kateri so se pojavile poškodbe. Preiskave bitumna so pokazale, da se je zmechčišče bitumenskega veziva zvišalo za približno 10 °C, vrednost penetracije se je prepolovila, raztegljivost bitumna pa izredno zmanjšala (iz 61 cm na le 7,7 cm). Rezultati penetracije so

pokazali, da je vezivo po petih letih zelo otrdelo. Precejšnje zmanjšanje raztegljivosti bitumna pa je tista lastnost, ki je privedla do nastanka razpok.

Preglednica 24 prikazuje primerjavo med rezultati proizvedene in vgrajene asfaltne zmesi. Izmerjen delež bitumna notranje kontrole je manjši od deleža po recepturi za 0,3%, zunanja kontrola pa je ugotovila celo 0,5% manjši delež kot je zahtevan po recepturi. To je eden od razlogov, da se na asfaltni plasti pojavijo razpoke.

Preglednica 24: Lastnosti asfaltne zmesi in asfaltne plasti

Table 24: Characteristics of asphalt mixture and asphalt layer

Določena sestava asfaltne zmesi	DELEŽ BITUMNA m.-%	Proizvedena asfaltna zmes			Vgrajena asfaltna zmes			
		Vsebnost zračnih votlin	Stopnja zaplnjenosti votlin	Votline v kamnitem materialu	Vsebnost zračnih votlin	Stopnja zaplnjenosti votlin	Votline v kamnitem materialu	Zbitost asfaltne plasti
		V.-%	%	V.-%	V.-%	%	V.-%	%
RECEPTURA	6,5	4,0	79,8	19,8	-	-	-	-
KONTROLA PROIZVODNJE								
notranja	6,2	3,7	80,3	18,6	4,0	79,0	19,0	99,7
zunanja	6,0	3,7	80,1	-	3,7	79,6	18,3	99,8
JEDRO	6,0	3,7	79,9	18,3	3,3	81,7	18,0	100,4
spodnja priporočena vrednost SIST 1038-5	6,5	3,0	70,0		3,0	70,0		97,0
zgornja priporočena vrednost SIST 1038-5	-	4,5	85,0		6,0	85,0		-

Zračnih votlin v proizvedeni asfaltni zmesi je namesto 4,0 V.-% po recepturi, le 3,7 V.-% (isti rezultat je dobila tako notranja kot tudi zunanja kontrola). Po recepturi bi bilo lahko votlin v zmesi kamnitih zrn 19,8 V.-%, preiskave notranje kontrole pa so pokazale, da jih je v proizvedeni asfaltni zmesi 18,6 V.-%, vgrajena asfaltna zmes pa jih ima 19,0 V.-%. Rezultat stopnje zaplnjenosti votlin v proizvedeni asfaltni zmesi je od predvidene po recepturi večji za 0,3% do 0,5%. Po recepturi je predvidena 79,8% zaplnjenost votlin, notranja preiskava pa je pokazala, da znaša ta v proizvedeni zmesi 80,3%, v vgrajeni asfaltni zmesi pa 79,0% (zunanja kontrola – 79,6%). Prostih votlin v asfaltni zmesi je

nekoliko manj kot je to določeno po recepturi, zato lahko izključimo nastanek razpok zaradi hitrejšje oksidacije bitumna. Zbitost asfaltne plasti je zadovoljiva glede na tehnične pogoje.

V prikazanem primeru je torej ključnega pomena premajhen delež bitumna, ki je trši in ima po petih letih od vgradnje zelo slabo raztegljivost. Zato ni zmožen hitrega prevzemanja obremenitev. Vsebnost votlin v asfaltni zmesi nima večjega pomena za hitro otrjevanje bitumna, saj je v mejah normale. Končni rezultat je, da so se pojavile razpoke na asfaltni plasti.

5.3 RAZGRADITEV

Pri razgraditvah asfaltne plasti je vzrok v prekoračitvi sil vezanja. To pomeni, da lepljivost uporabljenega bitumenskega veziva izgublja na svoji moči. Na razgraditev vpliva tudi kakovost uporabljenih materialov in sestava asfaltnih zmesi.



Slika 25: Primer krušenja (foto: Roman Bašelj)

Figure 25: Example of crumbling

Ločimo naslednje vrste razgraditev asfaltnih plasti:

- obrabo (normalna, prekomerna),
- krušenje (bitumenske malte, kamnitih zrn, obrabne plasti, krovne plasti),
- luščenje (obrabne plasti, krovne plasti),
- druge učinke (mehanske, kemijske).

Različnim oblikam razgraditve je skupna uporaba *neustreznih materialov* za asfaltno zmes za obrabno plast. Večinoma so za razgraditev kriva preperela, zagladljiva in krušljiva kamnita zrna; delež teh zrn je v asfaltni zmesi največji. Če ugotovimo v asfaltni zmesi *nezvezno sestavo zmesi zrn in premajhen delež veziva*, je to lahko vzrok za obrabo in luščenje asfaltne krovne plasti.

Premajhen delež bitumenskega veziva je v večini primerov vzrok za razgraditev asfaltne obrabne plasti. Ta botruje slabi obvitosti zrn z vezivom. Bitumenska malta se razgradi, kadar je vezivo premalo lepljivo, prekrhko vezivo pa lahko povzroča obrabo ali luščenje asfaltne krovne (obrabne in nosilne) plasti. *Pretrdo vezivo* je lahko eden izmed vzrokov za krušenje. Če se na asfaltnem obratu *vezivo med segrevanjem pregreje*, ali ima asfaltna zmes *prevelik delež votlin*, je to lahko vzrok za kasnejše krušenje ali luščenje asfaltne krovne plasti.

Neustrezna vgraditev asfaltne zmesi prav tako pomembno vpliva na razgrajevanje asfaltne vozišča. Nastane lahko kadar se premalo časa nameni valjanju asfaltne plasti in s tem njenemu zgoščanju. Na hitrost razgradnje asfaltne plasti vplivajo tudi nizke temperature okolice; veter in dež namreč dodatno hladijo asfaltno zmes med vgrajevanjem. Prav tako vpliva na razgrajevanje tudi slabo vzdrževanje. Sem spadajo: slabo odvodnjavanje oziroma zastajanje vode, neustrezna popravila razpok in neustrezno vzdrževanje primerne višine bankine.

5.4 POŠKODBE POVRŠINE

Ločimo tri skupine poškodb površine:

- zmanjšanje torne sposobnosti
- zmanjšanje odpornosti proti preoblikovanju
- druge poškodbe.

Prekomeren delež bitumenskega veziva v asfaltni zmesi pomeni, da bodo kamnita zrna potopljena v plasti. *Premalo votlin* v asfaltni zmesi in/ali *premehko vezivo* lahko povzroči znojenje veziva, saj se bitumen pod vplivom višjih temperatur ne more razlesti v proste votline, zato se pojavi na površini. Druga možna posledica (iz istih vzrokov) pa je lahko iztisnjenje bitumenske malte, ki se pretežno pokaže na območju kolesnic. V obeh primerih se poškodba kaže kot bleščeča zglajena površina. S tem obrabna plast povsem izgubi ostrino in sposobnost dreniranja vode, to pa pomeni zmanjšano torno sposobnost vozišča in manjšo prometno varnost.



Slika 26: Iztisnjenje bitumenske malte (foto: Roman Bašelj)

Figure 26: Bleeding of bituminous mortar

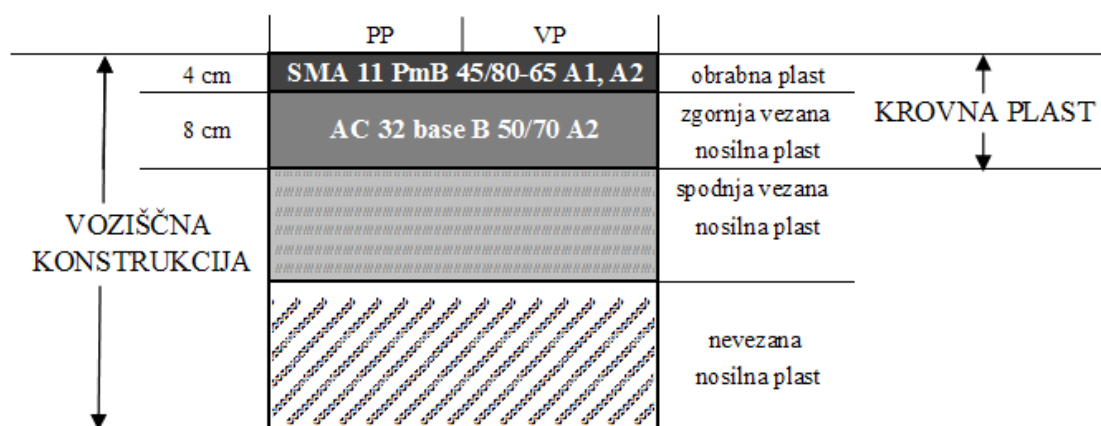
Drugi vzroki za nastanek bleščeče zglajene površine so tudi v neustreznem vgrajevanju asfaltni zmesi; prekomeren pobrizg podlage, previsoka temperatura asfaltni zmesi, uporaba neprimernih strojev za zgostitev oziroma utrditev vgrajene zmesi in neugodne vremenske razmere. Prezgodnja pripustitev prometa na še ne dovolj ohlajeno asfaltno zmes, prisojna

lega vozišča in trasa ceste v vzponu prav tako dodatno doprinejajo k hitrejši zgladitvi obrabne plasti, saj zaradi dinamičnih obremenitev prične izstopati bitumensko vezivo ali malta na površino.

Med ostalimi vzroki za poškodbe voznih površin so učinkovanja derivatov nafte, ki jih puščajo vozila. Derivati nafte namreč mehčajo in raztapljajo bitumensko vezivo. Lahko pa je med vgrajevanjem asfaltne zmesi prišlo tudi do onesnaženja podlage s humusom ali razraščanja korenin dreves ali poganjkov grmovja in trave v podlagi.

Naslednji primer prikazuje kako iz laboratorijskih preiskav proizvedene asfaltne zmesi razberemo potencialno nevarnost, da se pojavi iztisenjenje bitumenske malte.

Voziščna konstrukcija je sestavljena iz 8 cm debele zgornje vezane nosilne plasti AC 22 base PmB 45/80-65 A2 in 4 cm debele obrabno zaporne plasti SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2.



Slika 27: Karakteristični prečni prerez voziščne konstrukcije – primer iztisenjenja bitumenske malte

Figure 27: Characteristic cross-section of pavement - bleeding of bituminus mortar

Primer rezultatov notranjih preiskav asfaltne zmesi SMA 11 PmB 45/80-65 A1,A2 (preglednica 25) kaže na to, da se pri vgrajevanju te asfaltne zmesi lahko zgodi, da bo zaradi obremenitve voziščne konstrukcije bitumen izstopal iz obrabne plasti. Vzrok, da je to mogoče, najdemo v naslednjih izsledkih notranje preiskave omenjene asfaltne zmesi.

Prva napaka proizvedene zmesi se izkaže pri presejku kamnitih zrn, kjer se izkaže, da ima zmes previsoko vsebnost kamnitih zrn zrnivosti 0-2 mm (rdeče zapisane vrednosti presejkov). Od vrednosti po recepturi odstopa za 1,7%.

Preglednica 25: Presejki zmesi kamnitih zrn za vzorec SMA 11 PmB 45/80-65 A1,A2

Table 25: Distribution of stone aggregate for sample SMA 11 PmB 45/80-65 A1,A2

ZAP. ŠT.	LAB. ŠT.	DATUM	LASTNOSTI KAMNITE ZMESI								
			Presejek skozi sito kvadratne odprtine (mm)								
			0,063	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16
			m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%	m.-%
SIST EN	1164-A-11	30.10.11	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07	12697-2/07
a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
RECEPTURA			10,0	10,4	12,0	15,3	23,7	30,9	55	96,1	100,0
VZOREC			9,9	10,7	13,1	16,4	25,4	34,7	59,7	96,3	100,0
RAZLIKA			-0,1	0,3	1,1	1,1	1,7	3,8	4,7	0,2	0,0
spodnja mejna vrednost SIST 1038-5			5	-	-	-	20	-	-	90	100
zgornja mejna vrednost SIST 1038-5			13	-	-	-	35	-	-	100	100

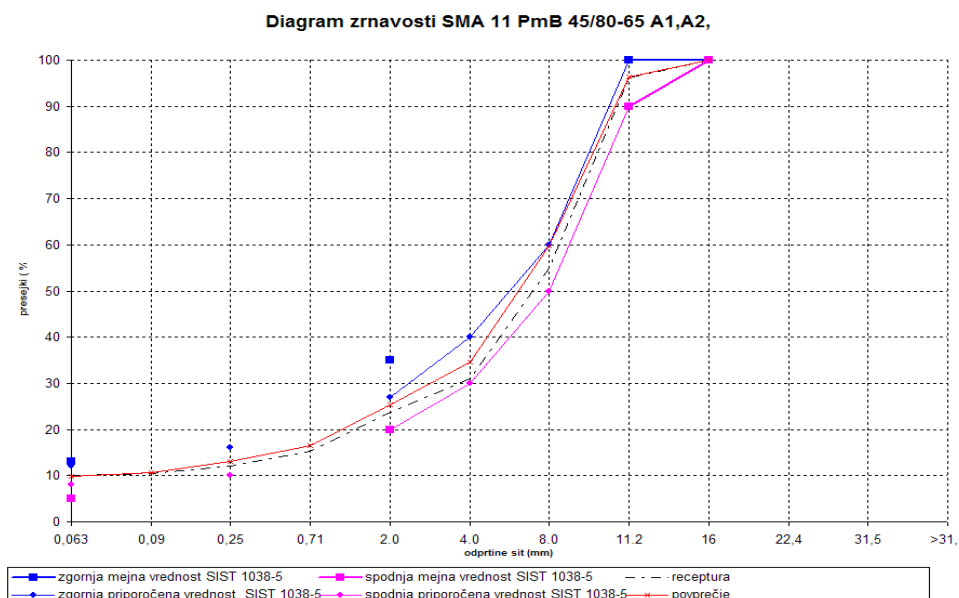


Diagram 2: Zrnovost za SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2

Diagram 2: Grading of SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2

Previsoka vsebnost kamnitih zrn zrnivosti 0-2 mm v nadaljevanju analize pomeni tudi manjšo vsebnosti zračnih votlin, tako v zmesi kamnitih zrn kot tudi v asfaltni zmesi glede na recepturo. Vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn (preglednica 26) znaša 15,8%, po recepturi pa bi morala vsebovati 17,7% (odstopanje za 1,9%). Vsebnost votlin v končni asfaltni zmesi pa je manjša za 1,3% od predvidene vrednosti po recepturi (2,7%) za to asfaltno zmes.

Preglednica 26: Delež bitumna, vsebnost zračnih votlin ter stopnja zapolnjenosti votlin za vzorec SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2

Table 26: Binder content, voids content and rate of void filling for sample SMA 11 PmB 45/80-65 A1, A2

ZAP. ŠT.	LAB. ŠT.	DATUM	VRSTA BITUMNA	DELEŽ BITUMNA m.-%	LASTNOSTI ASFALTNE ZMESI		
					Vsebnost zračnih votlin V.-%	Stopnja zapolnjenosti votlin %	Votline v kamnitem materialu V.-%
					t	u	v
SIST EN				12697-1	12697-8	12697-8	
a	b	c	d	e	t	u	v
RECEPTURA				6,1	2,7	84,6	17,7
VZOREC	1164-A- 11	30.10.11	PmB 45/80-65	5,9	1,4	91,0	15,8
RAZLIKA				-0,2	-1,3	6,4	-1,9
spodnja mejna vrednost SIST 1038-5				4,7	2,5	74,0	
zgornja mejna vrednost SIST 1038-5				5,7	4,5	89,0	

Delež bitumna (zelena vrednost) v zmesi je zelo blizu predvidenega deleža po recepturi. Bitumen se nima kam umakniti, saj je tudi stopnja zapolnjenosti votlin za 6,4% večja kot je to predvideno po recepturi. Ker je zmes bolj skeletna obstaja nevarnost, da se bo asfaltna površina zagladila pod obremenitvami prometa.

6 ZAKLJUČKI

Na osnovi proučevanja celotnega poteka proizvodnje lahko zaključimo, da je hipoteza potrjena. Za poškodbe vgrajenih asfaltnih plasti so torej lahko krive tudi napake, ki se zgodijo v proizvodnji asfaltnih plasti. Dokazovanje tega pa je izredno težavno.

Poškodbe na asfaltnih voziščih nastanejo zaradi poslabšanja materiala. Vzroke za poslabšanje materiala pa lahko najdemo v kvaliteti materiala, vremenskih vplivih ter nepravilnem skladiščenju materialov. Izven procesa proizvodnje je tu še neprimerna uporaba in preobremenitev ter neprimerno vzdrževanje voziščne konstrukcije.

Če se osredotočimo samo na proizvodnjo asfaltne zmesi, lahko strnemo možno iskanje vzrokov napak v tri glavne skupine: materiali, strojna oprema in človeški faktor.

MATERIALI

Pri materialih se lahko napake zgodijo:

- pri nabavi (neustrezne lastnosti kamnitega materiala, neustrezen tip bitumna, uporaba lastnega polnila z neraziskanimi lastnostmi),
- pri skladiščenju (neustrezno ločene zmesi kamnitih zrn, skladišče brez nadstreška, vremenski vpliv (sonce, dež), slabo zatesnjeni silosi za bitumen, ohlajanje bitumna, neustrezno označeni materiali,...),
- pri ravnanju z materiali (segregiranje kupov zaradi morebitnih treslajev, nepravilno nakladanje kamnitega materiala, onesnaženje materialov, premalo ali preveč segret material).

Med pomembnejšimi vzroki za poškodbe asfaltnih vozišč sta neustreznost zmesi kamnitih zrn in neustreznost bitumenskega veziva.

Zmes kamnitih mineralov

Pomembni lastnosti sta oprijemljivost bitumna in delež gline v zmesi kamninitih zrn, saj glina preprečuje oprijemljivost kamnitih zrn z bitumnom. Pomembne lastnosti so še

odpornost proti vročini in kemikalijam ter trdota kamnin. Količina in razporeditev por ter njena kapilarnost nam pove, koliko časa je potrebno zmesi zrn sušiti, da se osušijo tudi »znotraj«, saj kapilarna vlažnost povzroča težave kasneje pri proizvodnji. Hrapavost in poroznost površine kamnitih zrn pogojuje potrebno količino veziva. Tu so mišljene voljnost za zgostitev, notranje trenje, odpornost proti preoblikovanju in torna sposobnosti. Gostejša kot je zmes zrn, bolj je urejena razporeditev zrn, bolj je podobna trdni snovi. Število frakcij v zmesi zrn pa pogojuje gostoto zmesi zrn.

Veživo

Bitumensko veživo v asfaltni zmesi predstavlja šibkejši člen, vendar pa pomembno učinkuje kot stabilizator zmesi zrn in kot viskoelastična komponenta izboljšuje lastnosti voziščne konstrukcije. S preoblikovanjem se prilagaja vsiljenim napetostim in jih zmanjšuje. Kako hitro je takšno prilagajanje, je odvisno od viskoznosti oziroma raztegljivosti bitumenskega veživa. Mehkejše kot je, hitreje se zmanjšujejo napetosti. Na mehkost oziroma trdoto bitumenskega veživa, ki jo določa njegov tip, pomembno vpliva temperatura okolice. Tudi debelina obvitja kamnitih zrn pomembno vpliva na raztegljivost bitumenskega veživa. Večkratno raztezanje in krčenje bitumenskega veživa pa ima za posledico utrujenost in nastanek razpok.

Staranje oziroma otrditev bitumenskega veživa prav tako vpliva na nastanek razpok. Te strukturne spremembe v bitumenskem veživu pred vgraditvijo nastanejo zaradi previsoke temperature pri proizvodnji asfaltne zmesi, dolgotrajnega skladiščenja v netesnjenih silosih in/ali prekomerne ohladitve. Bitumensko veživo lahko hitreje oksidira (otrdi), kadar je vsebnost votlin v asfaltni zmesi velika. S tem procesom postane bitumensko veživo manj odporno na temperaturne spremembe, kar vodi v hitrejše napredovanje nastajanja poškodb v asfaltni plasti.

STROJNA OPREMA

Napake na strojni opremi povzročajo neskladnost asfaltne zmesi. Razdelili bi jih lahko v pet sklopov: neustreznost v sestavi zmesi kamnitih zrn (zastopane frakcije, preveč finih zrn, preveč grobih zrn), neustreznost vsebnosti votlin v asfaltni zmesi (prevelika ali premajhna),

količina veziva v asfaltni zmesi (prevelika, premajhna ali če niha), obvitje kamnitih zrn z vezivom in nihanje temperature proizvedene asfaltne zmesi.

Kadar je neustrezna sestava kamnitih zrn v zmesi, je potrebno preveriti nakladanje v preddozirnike, nastavljeno razmerje na preddozirnikih, napake na transportnem traku, hitrost transportnega traku, poškodbe sit in drč ter sten med silosi za vroče zmesi kamnitih zrn.

Kadar je v zmesi kamnitih zrn preveč grobih ali preveč finih zrn, je potrebno preveriti, ali je prišlo do napake v delovanju preddozirnikov, spremembe v stopnji hitrosti proizvodnje, napake v delovanju vrečastih filtrov ali preobremenitve sušilnega bobna.

Če je vsebnost votlin v asfaltni zmesi bodisi prevelika bodisi premajhna, je potrebno preveriti sestavo frakcij, delovanje preddozirnikov, spremembe v stopnji hitrosti proizvodnje, napake pri dodajanju polnila, količino dodanega veziva oziroma preobremenjenost sušilnega bobna.

Kadar je delež veziva bodisi prevelik ali premajhen ali da prekomerno niha, je potrebno preveriti delovanje tehtnic, težnostne sonde, stanje šob za vbrizgavanje veziva, stanje lopatic v mešalniku.

Če je obvitje zrn z vezivom slabo, je potrebno preveriti sušenje zmesi kamnitih zrn, sušenje in suhost kamnitih zrn in polnila, temperaturo veziva, čas mokrega mešanja in stanje lopatic mešalnika.

Če niha temperatura proizvedene asfaltne zmesi je potrebno preveriti vlago frakcij, stanje lopatic v sušilniku, napako v termočlenu in ali je bil čas shranjevanja asfaltne zmesi predolg.

ČLOVEŠKI FAKTOR

Človeški faktor je prisoten tako pri naročanju, prevzemu, skladiščenju in rokovanju z materiali. Vodja obrata z sodelavci vodi proizvodnjo od nabave osnovnih materialov do končnega proizvoda in odloča o tem, kaj storiti v primeru neskladnega proizvoda.

Čas mešanja je določen povsem subjektivno (vizualno), saj ga določimo glede na to, koliko časa preteče, da dobimo homogeno asfaltno zmes z dobro obvitimi kamnitimi zrni. Ta čas je odvisen od zmogljivosti obrata in vrste asfaltna zmesi. Pri uporabi določenih dodatkov je treba čas mešanja ustrezno podaljšati. Ločimo tudi čas suhega in mokrega mešanja. Če operater asfaltnega obrata nima dovolj izkušenj, lahko zaradi tega pride do neustreznega proizvoda.

Da bi se izognili napakam je uvedena kontrola kakovosti, ki poskuša izločiti vse možne napake in postavlja navodila za ravnanje v primeru ugotovljenih napak. Postopki preverjanja vzamejo nekaj časa, zato so izsledki preiskav notranje kontrole pogosto znani šele potem, ko je asfaltna zmes že vgrajena.

Zaradi naštetih skupin vzrokov napak pri proizvodnji lahko sklenemo, da so napake v proizvodnji mogoče. Zaradi pogoste kontrole je napak manj, lahko se prej ugotovijo in rešujejo. Povsem izključiti jih ne moremo. Če res ne gre za zelo očitno neustreznost proizvoda, ki jo lahko opazi izkušeni operater na asfaltnem obratu, lahko neustreznost ugotovi le laboratorij s preiskavami vzorcev iz asfaltnih plasti. V nasprotnem primeru težko ugotovimo, da gre za napako v proizvodnji.

7 POVZETEK

Poškodbe na asfaltnih voziščih so posledica več vzrokov. Vzroke lahko iščemo na celotni poti od nabave materialov, izbire recepture, proizvodnje, vgrajevanja asfaltne zmesi do končne uporabe in nenazadnje vzdrževanja.

Cilj magistrske naloge je bil ugotoviti, ali lahko trdimo, da nastanejo poškodbe na asfaltni plasti tudi zaradi napak v proizvodnji. Cilj je bil dosežen, saj so bile analizirane aktivnosti v zvezi z vhodnimi materiali, celoten asfaltni obrat in njegovi posamezni strojni deli, razčlenjen je bil potek proizvodnje, preverjene so bile kontrole, ki obstajajo na asfaltnem obratu, ter opredeljeni vzroki za poslabšanje materialov. Na podlagi pridobljenega znanja, hipotezo lahko potrdimo.

ZAHTEVE ZA VHODNE MATERIALE

Zmes kamnitih zrn

Kamniti material v asfaltnih zmesih predstavlja okrog 92 do 96% glede na maso oziroma okrog 80 do 85% glede na prostornino. Iz tega razloga je pomembno natančno poznati vse značilnosti tega materiala. Kakovost kamnitega materiala je izrednega pomena, saj v asfaltni zmesi skrbi za prenos prometne obremenitve iz obrabne plasti na nevezano nosilno plast.

Tehnično uporabnost kamnin ugotovimo s preiskavami mineraloških značilnosti kamnin, saj minerali v kamnini določajo njeno lomljivost, trdoto ter odpornost proti zunanjim vplivom. Bolj porozni so apnenci, magmatske kamnine pa imajo majhno poroznost. Odpornost proti zglajevanju oziroma poliranju je pomembna lastnost zmesi zrn, ki se uporabljajo za obrabne plasti vozišč. Najbolj odporne so eruptivne kamnine.

Za vsak razred zmesi kamnitih zrn od Z1 do Z6 veljajo minimalne zahteve za lastnosti teh zmesi. Razred zmesi kamnitih zrn in nazivno zrnastost se pri projektiranju izbere glede na pričakovano prometno obremenitev in predvideno debelino asfaltne plasti. Zmes kamnitih zrn mora ne glede na želeno končno asfaltno zmes ustrezati SIST EN 13043 in SIST 1043. Razred zmesi kamnitih zrn z višjo številko ima manjšo odpornost proti drobljenju (količnik

LA). Prav tako z višjim razredom Z padata delež drobljenih zrn in odpornost proti zaglajevanju.

V povezavi s prometno obremenitvijo in razredom bituminizirane zmesi (A1 – A5) so tudi razredi zmesi kamnitih zrn. Na splošno velja, da z naraščanjem prometne obremenitve narašča dovoljena vsebnost votlin v asfaltni zmesi ter pada vsebnost votlin, zapoljenih z bitumnom. Kolikšna je ta vsebnost pa je določeno glede na vrsto bituminizirane zmesi.

V skladišču kamnitih frakcij lahko pride do več vrst onesnaženja. Posamezne frakcije morajo biti zato ločene z ločilnimi stenami, tla deponije pa morajo biti utrjena, najboljša so betonska ali asfaltna, da ne bi prišlo do onesnaženja zmesi kamnitih zrn z materiali iz podlage. Dobro je, če so frakcije zaščitene pred dežjem s streho, vlaga namreč vpliva na proizvodnjo obrata in predvsem na porabo goriva za sušenje in gretje kamnitega materiala. Preprečena mora biti vožnja težkih tovornjakov preko deponije, saj se lahko kupi kamnitih frakcij zaradi tresljajev, ki jih povzročajo tovornjaki, segregirajo.

Veživo

Veživo predstavlja v primerjavi s kamnitimi zrni dosti manjši delež v asfaltni zmesi, vendar je izrednega pomena, saj lepi skupaj kamnita zrna. V cestogradnji se pretežno uporabljajo cestogradbeni bitumni, s polimeri modificirani bitumni in hladna bitumenska veživa.

Dodatek polimerov lahko poveča penetracijo, izboljša oprijemljivost (lepljivost), poveča se viskoznost, poveča se fleksibilnost in elastičnost, poveča se termična stabilnost, izboljša se odpornost proti nastanku preoblikovanj (kolesnic), razpok ter staranju.

Bitumensko veživo se mora shranjevati znotraj izoliranih in ogrevanih cistern. Priporočljivo je, da so ogrevane in izolirane tudi cevi, po katerih prečrpavamo bitumensko veživo. Temperatura bitumenskega veživa namreč vpliva tako na učinkovitost črpanja in merjenja kot tudi na zmožnost obvitja kamnitih zrn v mešalniku.

Dodatki

Z dodatki želimo dobiti bolj togo zmes, da ob visokih temperaturah ne bi nastajale kolesnice ali dobiti mehkejšo zmes, da ne bodo nastajale razpoke pri nizkih temperaturah. Asfaltni zmesi lahko z njimi povečamo odpornost proti utrujanju. Nekateri dodatki preprečijo, da se asfaltna plast ne bi luščila, saj povečujejo oprijemljivost med bitumnom in kamnitimi zrn, povečajo odpornost proti obrabi, omogočijo debelejši film bitumenskega veziva okrog kamnitih zrn, zmanjšajo pojav znojenja bitumenskega veziva, zaustavijo oksidacijo oziroma staranje bitumenskega veziva ali kako drugače vplivajo na druge lastnosti asfaltnih zmesi. Zavedati pa se moramo, da dodatki nekatere lastnosti asfaltnih zmesi izboljšajo, druge pa se zaradi njihove uporabe poslabšajo.

PROIZVODNJA ASFALTNIH ZMESI

Pravilno delovanje oziroma rokovanje s posamezno opremo asfaltnega obrata je lahko izjemnega pomena za pravilno izdelavo asfaltnih zmesi. Velikega pomena je tudi sama organiziranost asfaltnega obrata ter upoštevanje vseh pravil.

Postopek mešanja poteka tako, da v preddozatorje naložimo ustrezne frakcije zmesi kamnitih zrn. Pod preddozatorji in silosi se nahaja eden ali več zbirnih trakov, ki prenašajo kamnita zrna v sušilni boben. Material potuje skozi nagnjen sušilni boben zaradi vrtenja preko vzdolžnih lopatic, ki material premešajo. Na koncu bobna je gorilnik (oljni, plinski, na mazut, na premogov prah ali kombiniran). Ob njem je ventilator, ki dovaja gorilniku svež zrak obenem pa oba skupaj ustvarjata vroč tok zraka, ki suši zmes zrn. Elevator transportira posušena in segreti kamnita zrna na vrh stolpa, kjer se dozirajo na sita. Kamnita zrna padajo preko sit v prekate za vroče kamnite frakcije. Stehtan material pade nato direktno v mešalnik, ki mora biti dvoosni s prisilnim mešanjem. Na koncu mešalnika je loputa za izpust asfaltnih zmesi v silos. Silose se uporablja za shranjevanje pripravljene vroče asfaltnih zmesi, pri tem je treba paziti, da se shranjena asfaltna zmes ne pregreva na stikih z grelniki ter da je ne shranjujemo predolgo.

KONTROLA KAKOVOSTI

Poslovník kontrole proizvodnje natančno opredeljuje postopke, odgovornosti in pooblastila osebja, ki sodeluje v procesu proizvodnje asfaltnih zmesi, v skladu z zahtevami SIST 13108-1, SIST 13108-5, SIST 13108-6 in SIST 13108-7. Z njim proizvajalec uvede in ohranja svojo politiko in postopke za kontrolo proizvodnje v obratu. Po tem morajo postopati vsi zaposleni. V poslovníku je med drugim natančno določena tudi pogostost pregledov in preskušanj zmesi kamnitih zrn, polnila, veziva, dodatkov, asfaltne granulate in končne asfaltne zmesi. V sistem kakovosti spadajo tudi organizacijski postopki, delovna navodila, tehnološka in kontrolna dokumentacija, tehnične specifikacije ter zapisi o kakovosti. Le stalna notranja kontrola proizvodnega procesa zagotavlja kvaliteten proizvod.

Na asfaltnem obratu je treba imeti pripravljene scenarije možnih neskladnosti, ki jih odkrije stalna notranja kontrola. Da takšno neskladnost čim hitreje odpravimo, moramo imeti natančna navodila za preverjanje delov opreme, če bi bila napaka povezana z napačnimi nastavitvami ali poškodbo oziroma nepravilnim delovanjem strojne opreme. Ti postopki morajo biti del poslovníka kontrole kakovosti na asfaltnem obratu.

Notranjo kontrolo izvaja proizvajalec asfaltne zmesi, ki ima za to svoj laboratorij ali pa to storitev zanj opravlja drug neodvisen laboratorij. Rezultate svojih kontrol mora posredovati izvajalcu zunanje kontrole. To opravlja neodvisen akreditiran laboratorij, ki preverja rezultate preizkusov notranje kontrole. Pregleduje predvsem skladnost dobavljenih asfaltnih zmesi z izjavami proizvajalca o skladnosti s CE informacijo.

POŠKODBE ASFALTNIH OBRABNIH PLASTI

Poškodbe zaradi poslabšanja materialov nastanejo v osnovi zaradi neustrezne sestave zmesi kamnitih zrn ali neustreznega veziva.

Preoblikovanja nastanejo zaradi neustreznega tipa veziva glede na klimatske in prometne razmere ter njegovega prekomernega deleža v asfaltni zmesi. Druga možnost je neustrezna sestava asfaltne zmesi, vgrajene v plast voziščne konstrukcije. Pomembna je predvsem vsebnost votlin v asfaltni zmesi, ki ne sme biti premajhna, in zapolnjenost votlin z vezivom.

Za nastanek *razpok* je krivo pretrdo vezivo ter njegova količina, ki določa med drugim tudi ustrezno obvitje zrn. Razpoke lahko nastanejo, kadar je veziva premalo ali pa je le-to prežgano. Druga možnost je, da asfaltna zmes vsebuje preveč polnila. Vzrok za razpoke je lahko tudi neustrezna sestava zmesi kamnitih zrn, ker vsebuje prekomeren ali premajhen delež posamezne frakcije.

Pri *razgraditvah* asfaltne plasti je vzrok v prekoračitvi sil vezanja, saj lepljivost uporabljenega bitumenskega veziva izgublja na svoji moči. Pretrdo ali pregreto vezivo je lahko eden izmed vzrokov za krušenje. Različnim oblikam razgraditve je skupna uporaba neustreznih materialov za asfaltno zmes za obrabno plast. Večinoma so za razgraditev kriva preperela, zagladljiva in krušljiva kamnita zrna. Nezvezna sestava zmesi zrn, premajhen delež veziva in prevelik delež votlin je pogosto vzrok za obrabo in luščenje asfaltne krovne plasti.

Poškodba površine se kaže kot zmanjšanje torne sposobnosti ali kot zmanjšanje odpornosti proti preoblikovanju. Prekomeren delež bitumenskega veziva v asfaltni zmesi pomeni, da bodo kamnita zrna potopljena v plasti. Premalo votlin v asfaltni zmesi in/ali premehko vezivo lahko povzroči znojenje veziva. Bitumen se pod vplivom višjih temperatur ne more razlesti v proste votline, zato se pojavi na površini. Posledica istih vzrokov je lahko tudi iztisnjenje bitumske malte, ki se pretežno pokaže na območju kolesnic. V obeh primerih se poškodba kaže kot bleščeča zglajena površina. S tem obrabna plast povsem izgubi ostrino in sposobnost dreniranja vode, to pa pomeni zmanjšano torno sposobnost vozišča in manjšo prometno varnost.

Magistrska naloga obravnava lastnosti materialov in proizvodnjo asfaltnih zmesi, kontrolo kakovosti, možne poškodbe, ki potencialno lahko nastanejo zaradi napak na asfaltnem obratu, ustrezne standarde ter tehnične specifikacije. Nadaljnje preverjanje hipoteze je možno preko natančnih preiskav posameznih vzorcev asfaltnih zmesi in opazovanjem določenega odseka ceste, natančnim merjenjem prometnih obremenitev in obremenitev okolja (vremenski vplivi).

8 SUMMARY

Damages on asphalt roadways may be a result of numerous causes, which can be found anywhere from the supply of materials, the choosing of the right mixture, production, built-in-procedure of the asphalt mixture all the way to the end use, including maintenance.

The goal of the Master's thesis is to find out whether we can state that damages on asphalt surfaces can arise due to the mistakes in the asphalt production. The goal was achieved, since the analysis of the activities in correlation to input materials, the entire asphalt plant and its main machinery components as well as the analysis of the production procedure were made. The thesis also included the research which control mechanisms exist in the asphalt plant and determined the causes for material deterioration. On the basis of the acquired findings the hypothesis can be confirmed.

REQUIREMENTS FOR INPUT MATERIALS

A mixture of crushed stone aggregates

The mineral material content in asphalt mixtures is from 92% to 96% regarding mass and from 80% to 85% regarding volume. With this reason the knowledge of all characteristics of the material is extremely important. The quality of the mineral material carries great importance, since the asphalt mixture contributes to the transfer of transport burdening from the wearing course onto the subbase.

The technical applicability of mineral materials is determined with the research of their characteristics, since minerals determine their breakability, hardness and resistance to external factors. Limestone is more porous, while the level of porosity is lower with magmatic minerals. The resistance to gliding (polishing) is an important characteristic of mineral aggregates, which are used for the wearing courses of roadways. Eruptive minerals are the most resistant.

For each class of stone aggregate fractions from Z1 to Z6 minimum requirements for the characteristics of these fractions have to be met. The class of stone aggregate fractions and nominal grading are chosen during project engineering regarding the expected transport

burdening and the foreseen thickness of the asphalt layer. The stone aggregate mixture must, regardless of the wanted end product, meet the SIST EN 13043 and SIST 1043 standards. The class of stone aggregate mixture with a higher number boasts a lesser level of resistance to breaking into smaller pieces (quotient LA). The higher class Z the lesser the content of crushed particles and the resistance to polishing.

Classes of stone aggregate mixtures are in correlation with transport burdening and the classes of bituminous stone aggregate mixtures (A1 – A5). Generally speaking it could be said that with the rise of transport burdening the allowed content of voids filled with bitumen also rises. How large is that content is determined by the type of the bituminous mixture.

In the warehouse for storing stone aggregate fractions numerous types of contamination may occur. Individual fractions must be divided with separation lines, the ground of the warehouse has to be firm, it is best that it is made of cement or asphalt, which prevents any contamination of the stone aggregate mixture with the materials from the ground. It is also a good idea to keep the fractions protected with a roof, since humidity can affect the production and also the consumption of fuel for the purposes of drying and heating of mineral material. Heavy trucks should be forbidden to drive across the warehouse area, since the weight of such trucks can easily cause a segregation of stone aggregate fractions due to the vibrations caused by the trucks.

Binder

The binder represents, compared to stone aggregate fractions, a sufficiently lower content in the asphalt mixture, but plays an important role of gluing stone aggregates together. In road construction mainly road-construction bitumen, bitumen modified with polymers and cold bituminous binders are used.

The adding of polymers can increase penetration, improve the level of adhesiveness (glutinosity) and can result in the increase of viscosity, flexibility, elasticity and thermic stability as well as in the improvement of the resistance to transformations (ruts), cracks and aging.

Bituminous binder has to be stored in insulated and heated tanks. It is recommended to also keep the pipes, through which the bituminous binder is pumped, heated and insulated. The temperature of bituminous binder influences the efficiency of pumping and measuring as well as the ability of wrapping the stone aggregate fractions in the mixer.

Additives

Additives contribute to a more rigid mixture, which prevents the occurrence of ruts or softer mixtures with higher temperatures and the occurrence of cracks with lower temperatures. With additives asphalt mixtures can gain in resistance to overtiring. Some additives prevent the asphalt layer from exfoliating, since they increase adhesion between the bitumen and the aggregates, increase the resistance to wearing, enable a thicker film of bituminous binder around the aggregates, reduce the bleeding of the bituminous binder, stop the oxidation and aging of the bituminous binder or influence other characteristics of the asphalt mixture in some other way. We have to be aware that additives improve some of the characteristics of the asphalt mixture, while other characteristics may be worsened due to the use of additives.

PRODUCTION OF ASPHALT MIXTURES

Correct functioning and handling of the machinery of the asphalt plant can play an important role in the proper production of asphalt mixtures. The organisation of the asphalt plant and the acknowledging of all the rules also represent a vital factor.

The mixing procedure starts with filling in the cold feed bins with adequate stone aggregate fractions. Under cold feed bins and the silo there are one or more assembly lines, which transfer the stone aggregate into the dryer drum. The spinning across the longitudinal blades, which mix the material, pushes the material through the dryer drum. At the end of the dryer drum there is a burner (oil, gas, fuel oil, slack or combined). Beside it there is a ventilator through which air is supplied to the burner, while they both together form a warm airwave, which dries the aggregate mixture. The elevator transports the dried up and hot stone aggregates to the top of the tower, where they are dosed onto sieves. Stone aggregates

then fall over the sieves into steam chests for hot stone aggregate fractions. The weighted material then falls directly into a twin shaft mixer with intense mixing. At the end of the mixer, there is a hatch for the release of the asphalt mixture into the silo. Silos are used for the storage of the prepared hot asphalt mixture, where one needs to be careful not to allow the overheating of the asphalt mixture in contact with the heaters. At the same time we must be careful not to be storing the mixture for too long.

QUALITY CONTROL

The procedural book of the production control precisely determines the procedures, responsibilities and authorities of the entire staff which is included in the production procedure of asphalt mixtures, in line with the demands of SIST 13108-1, SIST 13108-5, SIST 13108-6 and SIST 13108-7. The procedural book makes it possible for the manufacturer to introduce and preserve the policy and procedures for production control within the asphalt plant, and it is also an important rulebook for all the employees to follow. The procedural book also includes precisely determined frequency of control checks and testings of the aggregate mixture of aggregates, filler aggregates, binders, additives, residue asphalt and the final asphalt mixture. The system of quality includes also organisational procedures, work instructions, technological and control documentation, technical specifications and records on quality. Only a permanent internal control of the production process can guarantee a product of good quality.

The asphalt plant has to include prepared scenarios of possible irregularities, which can be discovered by a continual internal control. To remove such irregularities as quickly as possible, precise instructions for equipment control are needed, since it is possible for the error to be a result of false settings, damage or irregular working of the machinery. That is why these procedures all have to be a part of the procedural book of the asphalt plant quality control.

The internal control is performed by the manufacturer of the asphalt mixture which possesses its own laboratory or uses an independent laboratory for testings. The results of the internal control have to be submitted to the contractor in charge of the external control. This is carried out by the accredited independent laboratory which checks all the test results

of the internal control. The laboratory mainly checks the accordance of the delivered asphalt mixtures with the statements of the manufacturer about the accordance with CE information.

DAMAGES ON ASPHALT WEARING COURSE

Damages due to material deterioration are caused by an inadequate structure of the mixture of mineral aggregates or inadequate binder.

Transformations are a result of the inadequate type of binder regarding the climatic and transportation conditions and the excessive amount of binder in the asphalt mixture. Another reason may be the inadequate structure of the asphalt mixture used in the layer of the roadway construction. What is important is mainly the content of voids in the asphalt mixture, which should not be too small and also the filling of voids with the binder.

The reason for the emergence of *cracks* lies in the binder, which is thicker than it should be and in the amount of binder, which among other things also determines the adequate wrapping of aggregates. Cracks can be formed when there is too little binder or when it is over-burnt. Another possibility for the cracks to occur may lie in the asphalt mixture, when it contains too much filling or in the inadequate structure of the aggregate mixture, which can contain too much or too little of a specific fraction.

The cause of *disintegrations* of the asphalt course is in the exceeding of the binding forces, since the adhesive power of the used bituminous binder loses its power. A too hard or over-burnt binder may be one of the causes for exfoliation. Various forms of disintegrations have in common the use of inadequate materials in the asphalt mixture for the wearing course. Disintegrations are mainly a result of decayed, over-rubbed and crumbly aggregates. The unbound structure of the aggregate mixture, a lack of binder content and an exceeding void content are often the cause of wearing and scaling of the asphalt top layer.

The damage to the surface is mainly seen as the decreasing of skid resistance or as the diminishing of the resistance towards transformation. Excessive bituminous binder content in the asphalt mixture usually means that the aggregates will slowly sink into the layer. A

small amount of voids in the asphalt mixture and/or too soft binder can cause the bleeding of the binder. Higher temperatures affect the bitumen in such manner that it cannot spread into the empty voids, and because of that comes to the surface. The same reasons can also lead to the squeezing out of bituminous mortar, which is predominantly seen in ruts. In both cases the damage is seen as a shiny smooth surface. Because of that the wearing course completely loses its sharpness and the ability of water drainage, which affects the lower skid resistance of the roadway and greater traffic hazard.

Master's degree deals with the characteristics of materials and the production of asphalt mixtures, the quality control and possible damages, which can potentially occur due to the mistakes in the asphalt plant, as well as adequate standards and technical specifications. Further testing of the hypothesis would be possible with a precise examination of individual samples of the asphalt mixtures and observation of specific section of road, precise measurement of the traffic load and weather conditions.

LITERATURA IN VIRI

LITERATURA

1. Asphalt Handbuch. 2002. Wien, Gestrata: 574 str.
2. Henigman, S., et al., Žmavc, J. (ur.). 2006. Asphalt. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije (ZAS): 285 str.
3. Henigman, S., et al., Žmavc, J. (ur.). 2011. Asphalt². Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije (ZAS): 334 str.
4. Manufacture of Hot Mix Asphalt. 2010 The Asphalt Handbook. Lexington, Ky.: Asphalt Institute, Seventh edition: str. 41-51, 307-374.
5. Wehner, B., et al., 1977. Handbuch des Strassenbaus. Band 2. Berlin, Springer – Verlag: 585 str.
6. Žmavc, J., 2010. Vzdrževanje cest. Ljubljana, DRC, Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 289 str.
7. Žmavc, J., 2007. Voziščne konstrukcije. Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 354 str.
8. Žmavc, J., 1987. Poškodbe na asfaltnih voziščih. Ljubljana, Skupnost za ceste Slovenije; Ljubljana: Društvo za ceste Ljubljana: 154 str.

VIRI

9. SIST EN 13108-21 Bitumenske zmesi – Zahteve za zmesi – 21 del: Kontrola proizvodnje v obratu
10. SIST EN 1035 Bitumen in bitumenska veziva – Cestogradbeni bitumni, modificirani s polimeri – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 14023
11. SIST EN 1043 Agregati za bitumenske zmesi in površinske prevleke za ceste, letališča in druge prometne površine - Zahteve
12. SIST 1038-1 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 1. del: Bitumenski beton – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-1

13. SIST 1038-5 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 5. del: Drobir z bitumenskim mastiksom – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-5
14. SIST 1038-6 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 6. del: Liti asfalt – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-6
15. SIST 1038-7 Bituminizirane zmesi – Specifikacije materialov – 7. del: Drenažni asfalt – Zahteve – Pravila za uporabo SIST EN 13108-7
16. TSC 06.300/06.410:2009 Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti
17. Poslovník kontrole proizvodnje, Asfaltni obrat, interno gradivo podjetja, 2009
18. Bradeško, S. Opisi napak. Elektronska pošta za: Hrovat, T. 9. marec 2012. Osebna komunikacija
19. Bašelj, R. Preiskave asfaltnih zmesi. Elektronska pošta za: Hrovat, T. 27. maj 2013. Osebna komunikacija

INTERNETNI VIRI

20. Caltrans, 2006. Asphalt rubber usage guide. State of California Department of Transportation, Materials Engineering and Testing Services, Sacramento, California, Office of Flexible Pavement Materials
<http://www.dot.ca.gov> (11.3.2010)
21. Mulec, R., 2011. Problematika poškodb cest – vzroki za nastanek in njene posledice, Maribor, Višja strokovna šola Academia
<http://www.academia.si/modules/aktualno/uploads/files/renato-mulec.pdf>
(14.10.2012)
22. Pivc, R., 2008. Sanacija poškodb na voziščih po zimi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo
http://eprints.fgg.uni-lj.si/109/1/GRV_0317_Pivc.pdf (14.10.2012)
23. Astec Industries, Inc., Atec Videos
[http://www.astecinc.com/index.php?option=com_content &view=article& id=982&Itemid=670](http://www.astecinc.com/index.php?option=com_content&view=article&id=982&Itemid=670) (16.2.2013)
24. Wibau,
<http://www.mascus.com/construction/used-asphalt-mixingplants/wibau/hot+asphalt+storage+silo/images/9qfrdfg.html> (16.2.2013)

25. SINOSUN Group,

<http://www.sinoasphaltplant.com/Asphalt-Batch-Mix-Plant/Photo-Gallery/#>
(16.2.2013)

26. Reliable Asphalt Products,

http://www.reliableasphaltproducts.com/equip_detail.php?rapno=12176#
(16.2.2013)

27. Wikipedia, rut

<http://en.wikipedia.org/wiki/Rut> (24.2.2013)