

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:

Delak, B. 2012. Hladne bituminizirane zmesi. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žmavc, J., somentor Hribar, D.): 99 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:

Delak, B. 2012. Hladne bituminizirane zmesi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žmavc, J., co-supervisor Hribar, D.): 99 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
PROMETNA SMER

Kandidat:

BOŠTJAN DELAK

HLADNE BITUMINIZIRANE ZMESI

Diplomska naloga št.: 3270/PS

COLD BITUMINOUS MIXES

Graduation thesis No.: 3270/PS

Mentor:
prof. dr. Janez Žmavc

Predsednik komisije:
doc. dr. Tomo Cerovšek

Somentor:
mag. Dejan Hribar

Član komisije:
prof. dr. Aleš Krainer

Ljubljana, 20. 12. 2012

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica napake

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani _____ izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:

»Hladne bituminizirane zmesi«.

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

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

Ljubljana, _____

Podpis

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	665.77:691.16(043.2)
Avtor:	Boštjan Delak
Mentor:	prof. dr. Janez Žmavc
Somentor:	mag. Dejan Hribar
Naslov:	Hladne bituminizirane zmesi
Obseg in oprema:	99 str., 45 preg., 60 sl., 21 en., 5 graf
Ključne besede:	Hladna bituminizirana zmes, sestava, proizvodnja, skladiščenje, vgradnja, uporaba, kakovost, kontrola kakovosti

Izveček

Asfaltno zmes (kratko asfalt) se pridobiva v naravi (naravni asfalt), ali pa je tehnično proizvedena (umetni asfalt), in sicer kot zmes bitumenskega veziva in kamnitih zrn ter dodatkov, s katerimi se izboljšajo lastnosti asfalta.

Začetki uporabe asfalta segajo v obdobje od leta 6000 do leta 4000 pred našim štetjem, saj so takratni prebivalci poznali materiale, ki so kot vezivo vsebovali bitumen. Pogostejša uporaba naravnega asfalta se začne od leta 3000 pred našim štetjem. Ljudstva so ga pretežno uporabljala za zatesnitev kopeli templja, vodnih rezervoarjev in trupa trgovskih ladij ter za preprečevanje erozije.

Po letu 1747 pa se je asfalt večinoma uporabljal v cestogradnji. Sprva so uporabljali le naravni asfalt, kasneje pa umetni.

Tako kot vse gradbene konstrukcije je potrebno vzdrževati tudi ceste. Vse večje prometne in klimatske obremenitve, pomanjkljivosti izvedbe in vzdrževanja ter neprimerna uporaba asfaltnih površin ima za posledico različne poškodbe, ki jih je potrebno iz varnostnih razlogov sanirati.

V diplomski nalogi je predstavljena možna rešitev hitre, enostavne in učinkovite sanacije poškodovanih asfaltnih površin. To je hladna bituminizirana zmes (HBZ) ali hladen asfalt. Je visokokakovostna in s polimeri modificirana asfaltna zmes, njena najpomembnejša lastnost je vgradnja v hladnem stanju.

Diplomska naloga podrobneje opisuje sestavo, proizvodnjo, uporabo in vgradnjo ter kontrolo kakovosti omenjene zmesi.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	665.77:691.16(043.2)
Author:	Boštjan Delak
Supervisor:	prof. Janez Žmavc, Ph.D.
Co-supervisor:	Dejan Hribar, M.Sc.
Title:	Cold bituminous mixes
Scope and tools:	99 p., 45 trans., 60 fig., 21 en., 5 graph.
Keywords:	Cold bituminous mix, composition, production, warehousing, installation, use, quality, quality control

Abstract:

Asphalt mix (short also asphalt) can be obtained from nature (natural asphalt) or produced technically (artificial asphalt), i. e. as a mix of bituminous binder, stone grain, and other additives that improve the asphalt properties.

The beginnings of the use of asphalt can be traced from 6,000 to 4,000 BC since people back then knew some materials that contained bitumen as a binder. A more frequent use of the natural asphalt, however, starts around 3,000 BC. Different peoples used it primarily for the waterproofing of temple baths, water reservoirs, and hulls of merchant ships as well as for erosion prevention.

After 1747 asphalt started to be used predominantly in road construction. At first, only the natural asphalt was used, but afterwards, the artificial one became more prominent as well.

As any other building construction roads need to be maintained as well. The rising of traffic and weather pressures, deficiency in both implementation and maintenance, and the inappropriate usage of asphalt surfaces result in various damages which require rehabilitation for safety reasons alone.

In the diploma paper I present a quick, simple, and efficient solution for the rehabilitation of the damaged asphalt surfaces, i. e. the cold bituminous mix (CBM) or the so-called cold asphalt. CBM is a high quality asphalt mix, modified with polymers. Its most important property is the installation in its cold state.

The paper describes in detail the CBM's composition, production, use, installation and quality control.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Janezu Žmavcu in somentorju mag. Dejanu Hribarju.

Prav tako se zahvaljujem podjetju CPK d. d., ki mi je omogočilo uporabo gradiv, g. Demetru Prislanu iz podjetja ITERCHIMICA srl., g. Antonu Marklju iz podjetja VIANOVA SLOVENIJA d. o. o., g. Danny Golniku iz podjetja Cantat Associates Inc. in g. Aleksandru Ljubiču, univ. dipl. inž. grad. iz IGMAT (Inštitut za gradbene materiale) d. d., za vse posredovane informacije v zvezi s hladnimi bituminiziranimi zmesmi.

Posebna zahvala velja staršem in bratu, ki so mi pomagali in stali ob strani v času študija.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

Popravki	I	
Izjava o avtorstvu	III	
Bibliografsko-dokumentacijska stran in izvleček	V	
Bibliographic-documentalistic information and abstract	VI	
Zahvala	VII	
1	UVOD	1
2	HLADNE BITUMINIZIRANE ZMESI	6
2.1	Sestava hladnih bituminiziranih zmesi	8
2.1.1	Zmes kamnitih zrn	9
2.1.1.1	Vrste in kakovost materialov	9
2.1.1.2	Zrnavost zmesi kamnitih zrn za hladne bituminizirane zmesi	12
2.1.2	Vezivo	14
2.1.2.1	Bitumen	14
2.1.2.2	Olje	15
2.1.2.3	Primeri veziv	16
2.1.3	Dodatki	19
2.1.3.1	Polnilo	20
2.1.3.2	Ostali dodatki	20
2.2	Predhodna sestava bituminizirane zmesi	21
2.2.1	Postopek priprave predhodne sestave bituminizirane zmesi	21
2.2.2	Model prostora	22
2.2.3	Materiali	23
2.2.4	Kakovost materialov za predhodno sestavo bituminizirane zmesi	24
2.2.5	Določitev predhodne sestave bituminizirane zmesi	24
2.2.5.1	Priprava materialov	24
2.2.5.2	Mešanje	26
2.2.5.3	Laboratorijske preiskave ter obdelava in vrednotenje rezultatov	27
2.3	Proizvodnja hladne bituminizirane zmesi	28
2.3.1	Splošno o proizvodnji	28
2.3.2	Postopek proizvodnje	29
2.3.3	Postopek šaržne proizvodnje s prekinjenim procesom	30
2.4	Skladiščenje hladne bituminizirane zmesi	46
2.5	Vrste hladnih bituminiziranih zmesi	47
2.6	Tankoplastne prevleke po hladnem postopku	47
2.6.1	Področja uporabe	47
2.6.2	Namen uporabe	47
2.6.3	Osnovni materiali	48
2.6.4	Proizvodnja in vgradnja	49
2.7	Vgradnja hladnih bituminiziranih zmesi	50
2.8	Uporaba hladnih bituminiziranih zmesi	53
2.8.1	Hladne bituminizirane zmesi na cestah	53
2.8.1.1	Cestna popravila	53
2.8.1.2	Asfaltiranje	57
2.8.2	Hladne bituminizirane zmesi na objektih	57

2.8.3	Hladne asfaltne zmesi na letališčih	58
3	KONTROLE KAKOVOSTI HLADNIH BITUMINIZIRANIH ZMESI	59
3.1	Vrste preiskav	59
3.1.1	Preiskave zmesi	59
3.1.2	Preiskave veziva	68
3.2	Lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi v tujini	71
3.2.1	Češka Republika	71
3.2.1.1	Zrnavost zmesi kamnitih zrn	71
3.2.1.2	Vezivo	71
3.2.2	Bolgarija	72
3.2.2.1	Zrnavost zmesi kamnitih zrn	72
3.2.2.2	Lastnosti bitumna	73
3.2.2.3	Sestava veziva	73
3.2.2.4	Lastnosti veziva	73
3.2.2.5	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi	74
3.2.3	Ukrajina	74
3.2.3.1	Zrnavost zmesi kamnitih zrn	74
3.2.3.2	Sestava veziva	75
3.2.3.3	Lastnosti veziva	76
3.2.3.4	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi	76
3.2.4	Kazahstan	76
3.2.4.1	Zrnavost zmesi kamnitih zrn 2/5 mm	76
3.2.4.2	Zrnavost zmesi kamnitih zrn 5/9 mm	77
3.2.4.3	Lastnosti bitumna	78
3.2.4.4	Sestava veziva	79
3.2.4.5	Lastnosti veziva	79
3.2.4.6	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 2/5 mm	79
3.2.4.7	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 5/9 mm	80
3.3	Rezultati preiskav in analiza hladne bituminizirane zmesi – HBZ 8	81
4	ZAKLJUČEK	94
5	VIRI	96
5.1	Monografije	96
5.2	Standardi	96
5.3	Elektronski viri	96
5.4	Ostali viri	97

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1:	Skupine prometnih obremenitev glede na število prehodov (TSC, 2009: str. 10) [6]	7
Preglednica 2:	Zahteve za lastnosti kamene moke (TSC, 2003: str. 8) [7]	10
Preglednica 3:	Zahteve za sestavo zmesi zrn peska (TSC, 2003: str. 8) [7]	11
Preglednica 4:	Zahteve za kakovost peska (TSC, 2003: str. 9) [7]	11
Preglednica 5:	Zahteve za odpornost zmesi kamnitih zrn proti drobljenju in obrabi (TSC, 2003: str. 9) [7]	11
Preglednica 6:	Lastnosti zmesi kamnitih zrn drobirja (TSC, 2003: str. 10) [7]	12
Preglednica 7:	Območja presejkov zmesi kamnitih zrn za hladne tankoplastne prevleke (TSC, 2009: str. 29) [8]	12
Preglednica 8:	Zahteve za standardne cestogradbene bitumne (Naglič, 2011: str. 21) [10]	15
Preglednica 9:	Značilnosti fluksiranega bitumna (FBK) avstrijskega proizvajalca Vialit Asphalt d. o. o. (Vialit Asphalt GmbH & Co.KG, 2012) [11]	16
Preglednica 10:	Preglednica aditiva sintetičnega in rastlinskega izvora s sestavo in fizikalnimi lastnostmi (Povzeto po letakih izdelkov podjetja Iterchimica) [12]	18
Preglednica 11:	Postopek proizvodnje tekočega veziva za hladne asfaltne zmesi [13]	19
Preglednica 12:	Zrnavost kamnitega materiala (TSC, 2001: str. 10) [14]	25
Preglednica 13:	Sestava zmesi kamnitih zrn (TSC, 2001: str. 11) [14]	25
Preglednica 14:	Sestava zmesi kamnitih zrn za predhodno sestavo asfaltne zmesi (TSC, 2001: str. 11) [14]	25
Preglednica 15:	Lastnosti polimernih bitumenskih emulzij za tankoplastne prevleke (TSC, 2003: str. 11) [7]	48
Preglednica 16:	Pogoji vgrajevanja tankoplastnih prevlek	49
Preglednica 17:	Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi na Češkem (2012) [12]	71
Preglednica 18:	Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	72
Preglednica 19:	Lastnosti bitumna hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	73
Preglednica 20:	Sestava veziva hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	73
Preglednica 21:	Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	73
Preglednica 22:	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	74

Preglednica 23:	Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	74
Preglednica 24:	Sestava veziva hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	75
Preglednica 25:	Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	76
Preglednica 26:	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	76
Preglednica 27:	Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	77
Preglednica 28:	Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	78
Preglednica 29:	Lastnosti bitumna hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	79
Preglednica 30:	Sestava veziva hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	79
Preglednica 31:	Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	79
Preglednica 32:	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 2/5mm v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	80
Preglednica 33:	Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 5/9 mm v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	80
Preglednica 34:	Topni delež veziva v zmesi HBZ 8	81
Preglednica 35:	Zrnavost zmesi kamnitih zrn HBZ 8	82
Preglednica 36:	Največja gostota asfaltne zmesi HBZ 8 pri 21 °C	83
Preglednica 37:	Gostote preskušancev bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 21 °C	83
Preglednica 38:	Značilnosti votlin v preskušancu bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 21 °C	84
Preglednica 39:	Največja gostota asfaltne zmesi HBZ 8 pri 135 °C	84
Preglednica 40:	Gostote preskušancev bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 135 °C	85
Preglednica 41:	Značilnosti votlin v preskušancu bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 135 °C	85
Preglednica 42:	Primerjava rezultatov HBZ 8 segrete na sobno temperaturo (21 °C) in HBZ 8, segrevane 16 ur na temperaturi 135 °C	87
Preglednica 43:	Primerjava zrnivosti kamene zmesi med hladno bituminizirano zmesjo na Češkem, vzorcem HBZ 8 in hladno tankoplastno prevleko SS8	88
Preglednica 44:	Primerjava zrnivosti kamene zmesi hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji, Ukrajini in Kazahstanu ter Sloveniji.	89
Preglednica 45:	Primerjava lastnosti hladne bituminizirane zmesi	91

KAZALO GRAFOV

Graf 1:	Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	72
Graf 2:	Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	75
Graf 3:	Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	77
Graf 4:	Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]	78
Graf 5:	Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi HBZ 8	82

KAZALO SLIK

Slika 1:	Prerez procesijske ceste v Babilonu leta 600 p. n. š. (Žmavc, 2007: str. 19) [1]	1
Slika 2:	Jezero Pitch Lake na otoku Trinidad (Morari, 2012) [2]	2
Slika 3:	Načini polaganja bitumenskih emulzij (Hoiberg, 1965: str. 36—37) [3]	3
Slika 4:	Asfaltna utrditev vozišča bolj obremenjenih cest v Evropi leta 1930 (Žmavc, 2007: str. 26) [1]	4
Slika 5:	Utrditev vozišča na magistralni cesti Ljubljana—Bregana leta 1955 (Žmavc, 2007: str. 27) [1]	4
Slika 6:	Asfaltni proizvodni obrat Cestnega podjetja Koper leta 1966 (arhiv CPK d. d., 2012) [4]	5
Slika 7:	Hladna bituminizirana zmes (PLM Corporation, 2012) [5]	6
Slika 8:	Grafični prikaz sestave hladne bituminizirane zmesi.	8
Slika 9:	Mejne krivulje za zmesi kamnitih zrn za tankoplastne prevleke (Lukač, Žmavc, 2011: str. 93) [9]	13
Slika 10:	Shematski prikaz veziva za hladne asfaltne zmesi.	14
Slika 11:	Razmerja prostornin osnovnih materialov zgoščene bituminizirane zmesi (TSC, 2001: str. 7) [14]	22
Slika 12:	Temperatura vzorca tik po proizvodnji hladne asfaltne zmesi	29
Slika 13:	Shematski prikaz postopka proizvodnje asfaltne zmesi (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	31
Slika 14:	Deponija za zmesi kamnitih zrn ločene po frakcijah	32
Slika 15:	Cisterne za vezivo	33
Slika 16:	Cisterne za vezivo (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	33
Slika 17:	Silos za polnilo (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	34
Slika 18:	Preddozatorji s sistemom transportnih trakov	35
Slika 19:	Sušilni boben z gorilnikom	36
Slika 20:	Dvigalo – elevator (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	37
Slika 21:	Mešalni stolp (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	38
Slika 22:	Sito in sistem sit (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	39
Slika 23:	Tehtnica za vroče zmesi kamnitih zrn (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	40
Slika 24:	Tehtnica za tehtanje polnila (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	40
Slika 25:	Sistem doziranja dodatka (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	41
Slika 26:	Tehtnica za tehtanje veziva (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	42

Slika 27:	Mešalnik asfaltne zmesi (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	42
Slika 28:	Prikaz nakladalnega silosa in vozička (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]	43
Slika 29:	Pisarna s krmilniki in računalniki z uporabniškimi vmesniki	44
Slika 30:	Dodajanje hladnega asfaltne granulate (Bašelj, Bradeško, Kerstein, Marolt, Planinc, Podgoršek, Šuštar, Willenpart, 2011: str. 166) [16]	45
Slika 31:	Dodajanje segretega asfaltne granulate v skupnem sušilnem bobnu (Bašelj, Bradeško, Kerstein, Marolt, Planinc, Podgoršek, Šuštar, Willenpart, 2011: str. 168) [16]	45
Slika 32:	Dodajanje segretega asfaltne granulate v ločenem sušilnem bobnu (Bašelj, Bradeško, Kerstein, Marolt, Planinc, Podgoršek, Šuštar, Willenpart, 2011: str. 168) [16]	45
Slika 33:	Skladiščenje in pakiranje hladne asfaltne mase (CPG, 2012) [17]	46
Slika 34:	Oprema za izdelavo tankoplastnih prevlek (Žmavc, 2012) [18]	49
Slika 35:	Shematski prikaz vgrajevanja tankoplastnih prevlek (Žmavc, 2012) [18]	50
Slika 36:	Vrzi in pojdi (throw and go) način vgradnje HBZ (Vianova Slovenija, 2012) [19]	51
Slika 37:	Primer vgrajene hladne bituminizirane zmesi po postopku vrzi in pojdi (TAHTING, 2012) [20]	51
Slika 38:	Vgradnja HBZ s strojno komprimacijo (Cantat Associates Inc., 2012) [21]	52
Slika 39:	Nastanek udarnih jam (Nord-Agrar International Inc, 2012) [27]	53
Slika 40:	Sanacija poškodbe na cesti – Chelyabinsk, Russia (Cantat Associates Inc., 2012) [22]	53
Slika 41:	HBZ pri jaških (Vianova Slovenija, 2012) [19]	54
Slika 42:	Primer vgrajene hladne bituminizirane zmesi okrog vertikalne signalizacije (TAHTING, 2012) [20]	54
Slika 43:	Prekop čez cesto saniran s hladno bituminizirano zmesjo (Cantat Associates Inc., 2012) [23]	55
Slika 44:	Sanacija kolesnic na cesti Federal Highway M5, December 2010 – Chelyabinsk, Russia (Cantat Associates Inc., 2012) [22]	56
Slika 45:	Sanirane kolesnice na cesti Federal Highway M5, Junij 2011 – Chelyabinsk, Russia (Cantat Associates Inc., 2012) [22]	56
Slika 46:	Asfaltiranje (Cantat Associates Inc., 2012) [23]	57
Slika 47:	Hidroizolacija ravne strehe (Cantat Associates Inc., 2012) [23]	57
Slika 48:	Sanacija poškodbe na letališki stezi (Cantat Associates Inc., 2012) [23]	58
Slika 49:	Stresalna naprava s sistemom sit	60
Slika 50:	Diagram zrnivosti zmesi zrn (Žmavc, 2007: str. 45) [24]	60

Slika 51:	Naprava za avtomatsko ekstrakcijo veziva	61
Slika 52:	Piknometer z vzorcem in vakuumsko posoda	63
Slika 53:	Piknometer z vzorcem v vodni kopeli	63
Slika 54:	Udarni zgoščevalnik z jeklenim podstavkom in motornim pogonom	65
Slika 55:	Shema določanja zmeščenosti po postopku PK (Žmavc, 2007: str. 77) [25]	68
Slika 56:	Shema določanja penetracije (Žmavc, 2007: str. 76) [25]	68
Slika 57:	Shema določanja duktilnosti (Žmavc, 2007: str. 76) [25]	69
Slika 58:	Shema določanja pretrgališča (Žmavc, 2007: str. 76) [25]	69
Slika 59:	Preskušanci hladne bituminizirane zmesi segrete na sobni temperaturi	86
Slika 60:	Primerjava zgoščenosti hladne bituminizirane zmesi	87

POMEN IZRAZOV

Bituminizirana (asfaltna) zmes	(asphalt mix/mixture) je zmes kamnitih zrn polnila, peska, drobirja in/ali proda ter bitumenskega veziva in morebitnih potrebnih dodatkov, proizvedena po hladnem ali vročem postopku v asfaltnem obratu. ¹
Cestogradbeni bitumen	(road bitumen) je v rafineriji proizveden bitumen, ki ustreza zahtevam za kakovost cestogradbenega bitumna. ²
Frakcija	(aggregate size) je označba zmesi zrn na osnovi spodnje (d) in zgornje (D) velikosti stranice kvadratne odprtine sita, izražena kot d/D. Ta označba vključuje možnost, da nekatera zrna ostanejo na zgornjem situ (nadmerna zrna) in da gredo skozi spodnje sito (podmerna zrna). ³
HBZ	hladna bituminizirana zmes ali hladni asfalt (ang.: cold bituminous mix, cold asphalt, cold mix) je visokokakovostna in s polimeri modificirana asfaltna zmes, namenjena predvsem popravilu poškodovanih asfaltnih površin. Njena najpomembnejša lastnost je hladna proizvodnja in vgradnja.
Predhodna sestava zmesi	(preliminary investigation of mixture) pomeni skrbno izbiro materialov in njihovo sorazmerje v sestavi (npr. asfaltne zmesi), potrebno za zagotovitev načrtovanih lastnosti. ⁴
Standard	dokument, ki določa pravila, smernice ali značilnosti za dejavnosti in njihove rezultate
Tankoplastna prevleka – TP	(slurry surfacing – SS) je obrabna plast bituminizirane zmesi majhne debeline (do 20 mm) z maso do 50 kg/m ² . ⁵
Zrnavost	(grading) pomeni porazdelitev velikosti zrn, izraženo z masnimi odstotki presejkov skozi določen stavek sit. ⁶

¹ TSC 06.300/06.410:2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 6 str.

² TSC 06.416:2003. Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Tankoplastne prevleke. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 4 str.

³ TSC 06.730:2001. Predhodna sestava asfaltne zmesi. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 5 str.

⁴ TSC 06.730:2001. Predhodna sestava asfaltne zmesi. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 5 str.

⁵ TSC 06.300/06.410:2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 7 str.

⁶ TSC 06.730:2001. Predhodna sestava asfaltne zmesi. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 6 str.

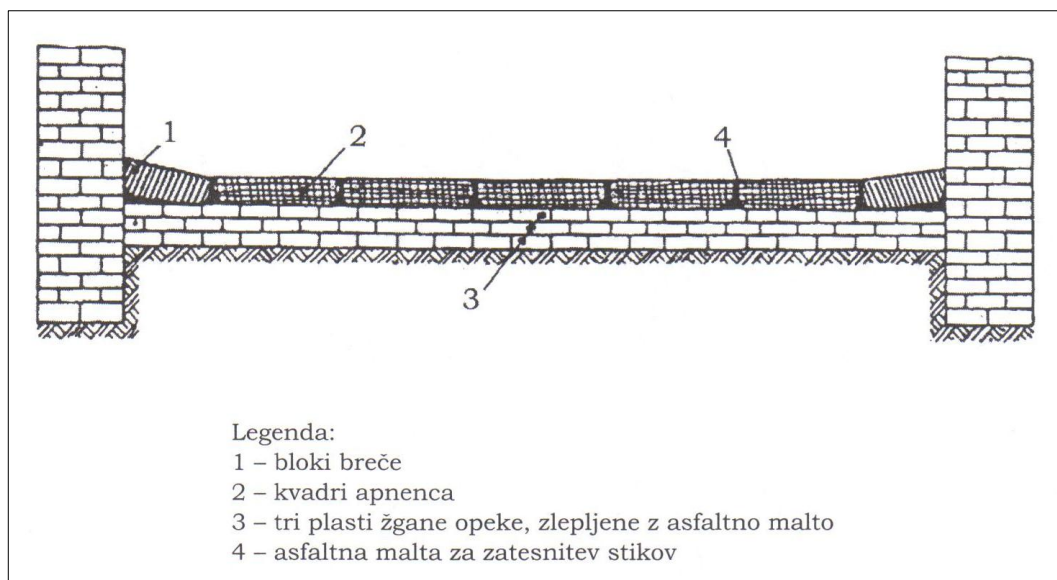
»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Žmavc (2011) v knjigi (*Asfalt*) omenja, da začetki uporabe asfalta segajo v obdobje od leta 6000 do leta 4000 pred našim štetjem, saj so takratni prebivalci poznali materiale, ki so kot vezivo vsebovali bitumen. Pogostejša uporaba naravnega asfalta pa se začne od leta 3000 pred našim štetjem. Stari Mezopotamci so ga uporabljali za zatesnitev kopeli templja in vodnih rezervoarjev, Feničani za tesnitev trupa trgovskih ladij, Egipčani so ga vgrajevali na bregove Nila in s tem preprečevali erozijo.

625 pred našim štetjem

Prva zabeležena uporaba asfalta kot cestno-gradbenega materiala je bila v Babilonu. V t. i. procesijski cesti so Babilonci uporabljali bitumensko malto – naravni asfalt za tesnjenje stikov med kamnitimi ploščami (slika 1). Tudi Stari Grki so bili seznanjeni z asfaltom. Beseda asfalt prihaja iz grške besede "asphaltos," kar pomeni "varno". Rimljani so ga uporabljali za tesnjenje kopeli, rezervoarjev in akvaduktov.



Slika 1: Prerez procesijske ceste v Babilonu leta 600 p. n. š. (Žmavc, 2007: str. 19) [1]

(V obdobju med 625 pred našim štetjem in 1595 ni nikjer v zgodovini omenjena uporaba asfalta, kljub temu, da so bile zgrajene številne ceste.)

1595

Sir Walter Raleigh odkrije največje nahajališče naravnega asfalta – jezero Pitch Lake na otoku Trinidad, v bližini Venezuele (slika 2). Uporabi ga za tesnjenje ladijskega trupa.



Slika 2: Jezero Pitch Lake na otoku Trinidad (Morari, 2012) [2]

1747

Je leto ki zaznamuje prvo uporabo naravnega asfalta za obrabno plast prometnih površin na strmejših klančinah, po katerih so vozile kočije.

1796

Prvič uporabljen naravni asfalt za tesnitev in zaščito lesene obloge na vozišču železnega mostu v Sunderlandu. Problem, ki so ga rešili z dodatnim posuvanjem peska, je bil gladkost obrabne plasti v mokrem stanju.

1800

Thomas Telford je zgradil več kot 900 milj (kar je približno 1448 kilometrov) cest na Škotskem in izpopolnjeval metodo gradnje cest z drobljenim kamnom. Njegov sodobnik, John Loudon McAdam, pa je drobljen kamen uporabljal za izdelavo trde površine. Na takih voznih površinah se je zaradi vse bolj živahnega prometa pojavil problem prašenja. Za zmanjšanje prahu so gradbeniki uporabljali vroč katran, ki so ga zmešali z drobljenim kamnom in dobili t. i. katranski asfalt. Uporaba katrana, ki je bil edino uspešno sredstvo proti prahu na cestah, pa je bila osnova za kasnejše postopke penetriranega in mešanega makadama z uporabo bitumenskega veziva.

1810

V Franciji začno naravni asfalt topiti in vlivati v bloke, le-te pa postavljati v asfaltno malto. Leta 1829 so postopek nadgradili tako, da so asfalt topili v kotlih na mestu vgradnje. Tak način dela z asfaltom je bil začetek uporabe litega asfalta.

1830

Obsežna uporaba asfalta v Franciji, Angliji in Rusiji.

1849

V Val de Traversu so proizvedli in vgradili bitumnizirano zmes phanega asfalta, katerega zasnove so se kazale že leta 1780, vendar je takrat razvoj potekal izredno počasi.

1871

Belgijski kemik Edmund J. De Smedt, znan po mešanju naravnega asfaltnega veziva in zmesi kamnitih zrn, zmeša prvi umetni asfalt. To leto se šteje tudi kot začetek izdelave sodobnih asfaltnih vozišč.

1907

Proizvodnja rafiniranega naftnega asfalta je zamenjala uporabo naravnega asfalta. Posledica vse večje uporabe vozil je bila zahteva po novih in boljših cestah, kar pa je povzročilo novosti v proizvodnji in vgradnji asfalta. Novosti na področju mehanizacije so vključevale mešalne bobne in naprave za strojno razgrnitev asfalta in emulzij (slika 3).



a) Ročno. Staten Island, New York, 1909



b) S konjsko vprego. Riverside Drive, New York, 1910



c) Z prvimi motornimi vozili. Boston, 1910



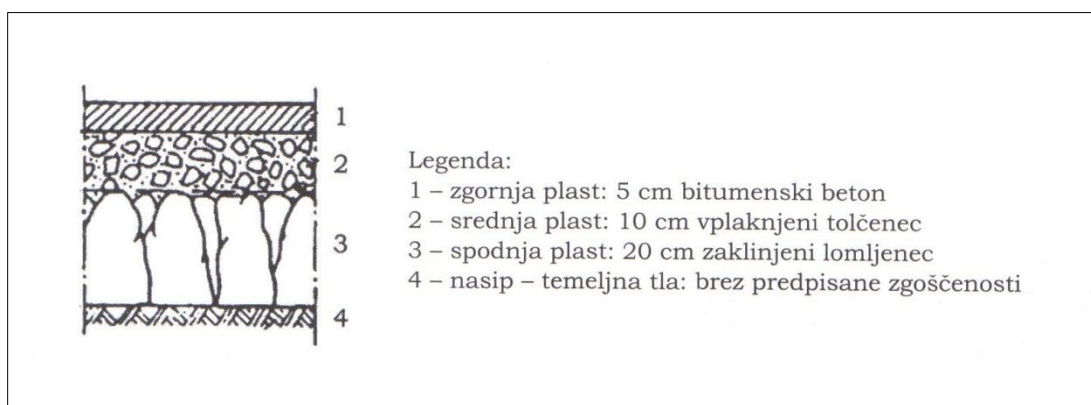
d) Z modernejšimi motornimi vozili. Pacific Highway, Oregon, 1943

1924

Zgrajena prva avtocesta v Evropi, na odseku Milano—Varese v Italiji.

1935

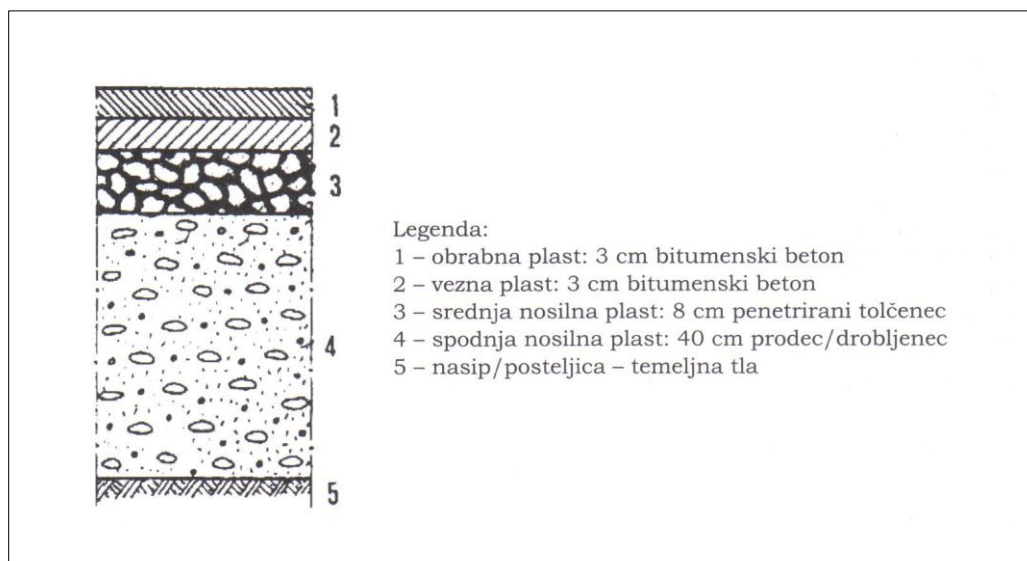
V Sloveniji prva posodobitev vozišč. Na državni cesti med Mariborom in Šentiljem je bila izvedena enojna površinska prevleka z bitumenskim vezivom na makadamsko podlago. Slika 4 prikazuje asfaltno utrditev vozišča bolj obremenjenih cest iz leta 1930.



Slika 4: Asfaltna utrditev vozišča bolj obremenjenih cest v Evropi leta 1930 (Žmavc, 2007: str. 26) [1]

Od 2. svetovne vojne do 1960

Obsežnejše posodobitve slovenskih cest. Izvajalo se je pretežno površinske prevleke in polpenetracija ter penetracija nevezane makadamske podlage. Utrditev vozišča na magistralni cesti Ljubljana–Bregana iz leta 1955 je prikazana na sliki 5.



Slika 5: Utrditev vozišča na magistralni cesti Ljubljana—Bregana leta 1955 (Žmavc, 2007: str. 27) [1]

V tem obdobju sta bili v Nemčiji preskušeni in uporabljeni dve novi zmesi, in sicer zmes bituminiziranega gramoza – zmes gramoza in bitumna za vezane nosilne plasti ter zmes drobirja z bitumenskim mastiksom – zmes drobirja in bitumenskega mastiksa (gosta zmes polnila, peska in bitumenskega veziva) za obrabne plasti. Posledica tega pa je bila povečanje zmogljivosti proizvodnih obratov vse do 100 t/h in več.

1961

Zaradi pomanjkljivih lastnosti asfaltnih zmesi, ki so omejevale njihovo uporabo, so se začela proizvajati modificirana bitumenska veziva, s katerimi so bistveno izboljšali lastnosti asfaltnih zmesi. Na sliki 6 vidimo asfaltni proizvodni obrat Cestnega podjetja Koper iz leta 1966.



Slika 6: Asfaltni proizvodni obrat Cestnega podjetja Koper leta 1966 (arhiv CPK d. d., 2012) [4]

1970

Nacionalna energetska kriza poudari potrebo po ohranjanju naravnih virov. Od takrat je bilo vse več recikliranega asfalta vključenega v bituminizirane zmesi.

To leto označuje tudi začetek gradnje avtocest v Sloveniji in s tem tudi veliko proizvodnjo in vgradnjo bituminiziranih zmesi.

2 HLADNE BITUMINIZIRANE ZMESI

Dejstvo je, da se pri vzdrževanju asfaltnih površin tako prometnih površin z veliko ali malo prometno obremenitvijo kot tudi na parkiriščih, objektih in celo na zasebnih dvoriščih vedno znova pojavljajo težave, saj nastajajo različne razpoke. Klasično saniranje poškodovanih površin poteka z vročimi asfaltnimi zmesmi. Ker je vgradnja vročih asfaltnih zmesi zaradi njihovih lastnosti možna le v jesenskem in poletnem času, torej v toplem in suhem delu leta, in ker poškodbe, ki jih je iz varnostnih razlogov potrebno sanirati, nastajajo preko celega leta, proizvajalci asfaltnih zmesi iščejo načine sanacije, ki je izvedljiva v kateremkoli letnem času.

Rešitev je hladna bituminizirana zmes – HBZ ali hladen asfalt (ang.: cold bituminous mixes, cold asphalt, cold mix), ki je visokokakovostna in s polimeri modificirana asfaltna zmes (slika 7).



Slika 7: Hladna bituminizirana zmes (PLM Corporation, 2012) [5]

Namenjena je predvsem krpanju udarnih jam, vrtin, prekopov vozišča (do širine cca 1,5 m), izravnavanju nivojskih razlik, zalivanju širših razpok ter delovnih fug in popravilu grobozrnatih gnezd v asfaltnem sloju.

Z zmesjo se lahko uspešno zatesni tudi razpoke oziroma slabe stike med asfaltom in različnimi jaški ali robniki.

Prav tako se jo lahko uporablja v visokih gradnjah, na primer pri izdelavi manjših klančin na površinah namenjenih za promet z viličarji, za popravila poškodb na betonskih ali asfaltnih površinah ter pri zalivanju razpok.

Lahko se jo uporablja na voznih površinah vseh obremenitvenih skupin. V preglednici 1 je prikazana skupna prometna obremenitev glede na število prehodov po TSC.

Preglednica 1: Skupine prometnih obremenitev glede na število prehodov (TSC, 2009: str. 10) [6]

Skupina prometne obremenitve	Število prehodov nazivne osne obremenitve 100 kN	
	na dan	v 20. letih
- izredno težka	nad 3000	nad 2×10^7
- zelo težka	nad 800 do 3000	nad 6×10^6 do 2×10^7
- težka	nad 300 do 800	nad 2×10^6 do 6×10^6
- srednja	nad 80 do 300	nad 6×10^5 do 2×10^6
- lahka	nad 30 do 80	nad 2×10^5 do 6×10^5
- zelo lahka	do 30	do 2×10^5

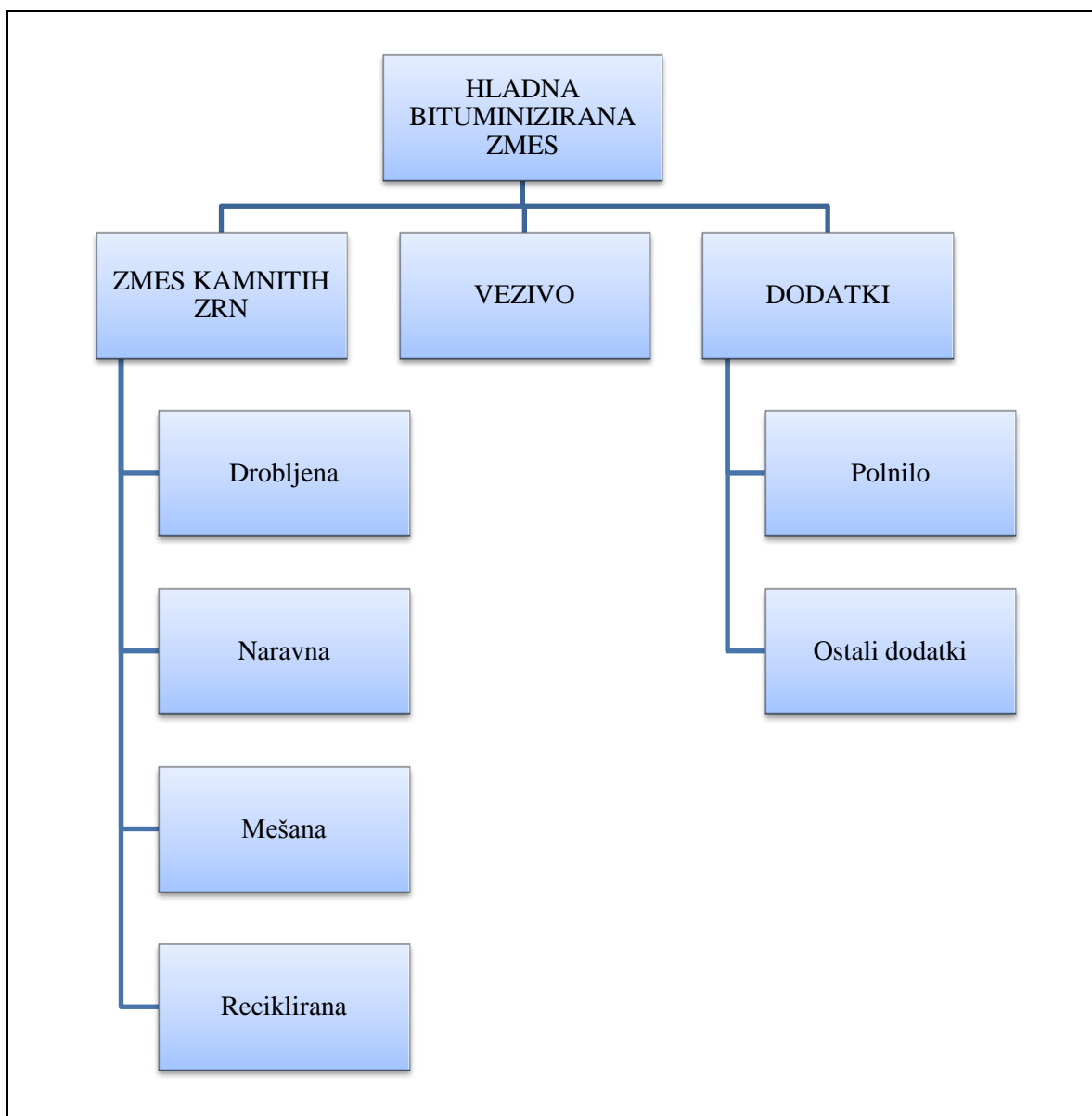
Zmes po pravilni vgraditvi prevzame funkcijo vroče asfaltne zmesi in je obstojna skozi daljše obdobje.

Najpomembnejše lastnosti hladne bituminizirane zmesi:

- Hladno vgrajena ter preprosta za uporabo.
- Možna uporaba v vseh vremenskih pogojih: zima, pomlad, poletje in jesen.
- Fleksibilen in elastičen material.
- Primerna za popravilo lukenj, udarnih jam, fug in drugih vzdrževanj.
- Ne onesnažuje okolice.
- Možna reciklaža.
- Ni občutljiva na zmrzal, vgrajuje se jo lahko tudi pri temperaturah pod $0\text{ }^{\circ}\text{C}$.
- Povozna takoj po vgradnji in obdelavi.

2.1 Sestava hladnih bituminiziranih zmesi

Na sliki 8 je prikazana sestava hladne bituminizirane zmesi.



Slika 8: Grafični prikaz sestave hladne bituminizirane zmesi.

Hladna bituminizirana zmes je tako kot vse ostale asfaltne zmesi sestavljena iz dveh osnovnih materialov, in sicer iz veziva in zmesi kamnitih zrn. Poleg osnovnih materialov se v asfaltno zmes, zaradi izboljšanja lastnosti asfaltne zmesi ali sestavin, po potrebi dodajo dodatki. Količine oziroma boljše rečeno deleži posameznih sestavin so zelo različni. V veliki meri so odvisni od namembnosti zmesi, vendar pa je potrebno upoštevati značilnosti posameznih komponent, ki določajo ta razmerja.

2.1.1 Zmes kamnitih zrn

Vsebuje enega ali več frakcij zrn, lahko pa ima že v naravi ustrezno sestavo zrn za določen namen uporabe.

V asfaltne zmesi opravlja funkcijo prenosa prometne obremenitve, in sicer iz obrabne plasti v nosilne plasti. Poleg tega pa je od vrste zmesi kamnitih zrn oziroma predvsem od njihove kvalitete odvisno obnašanje oziroma deformiranje asfaltne zmesi, na katero poleg prometne obremenitve delujejo še atmosferski vplivi. Prav zaradi tega so v veljavi predpisane osnovne zahteve za kakovost zmesi kamnitih zrn, ki se uporablja v cestogradnji.

Zmesi kamnitih zrn, ki se jih uporablja za proizvodnjo asfaltne zmesi so lahko naravne, drobljene, mešane in reciklirane. Ločimo jih glede na:

— Vrsto kamnine, ki je lahko:

- magmatska,
- sedimentna,
- metamorfna.

— Način pridobivanja, ki je lahko:

- drobljenje,
- izkop,
- rezkanje.

2.1.1.1 Vrste in kakovost materialov

Kot sem že v začetku poglavja omenil, je glavni namen uporabe hladnih asfaltne zmesi vzdrževanje poškodovanih obrabnih in zapornih plasti voziščne konstrukcije. Za izgradnjo teh plasti so primerne tankoplastne prevleke, ki morajo biti zgrajene po predpisih, opredeljenih v tehničnih specifikacijah za ceste TSC 06.416:2003 – Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Tankoplastne prevleke. Omenjene tehnične specifikacije podrobno opredeljujejo vrste in kakovosti kamnitih materialov, ki se jih uporablja za izdelavo tankoplastnih prevlek. Poleg omenjenih tehničnih specifikacij je potrebno upoštevati še TSC 06.300/06.410:2009 – Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltne plasti. V teh tehničnih specifikacijah so opredeljene določene spremembe s področja uporabe in debeline tankoplastnih prevlek ter spremembe glede zrnivosti zmesi kamnitih zrn za tankoplastne prevleke.

Prav zaradi področja uporabnosti hladnih asfaltne zmesi morajo zmesi kamnitih zrn izpolnjevati enake zahteve kot zmesi kamnitih zrn za tankoplastne prevleke.

Zmes kamnitih zrn (tovrstna zmes mora izpolnjevati zahteve, opredeljene v TSC 06.416:2003 in TSC 06.300/06.410:2009), uporabljena za sestavo hladne asfaltne zmesi, je sestavljena iz:

- kamene moke,
- peska,
- drobirja.

Zmes kamnitih zrn je lahko različnega izvora, in sicer kot apnenec, dolomit, granit in eruptivne kamnine. Če gledamo s finančnega vidika, proizvajalci večinoma težijo k čim cenejši proizvodnji, je cenovno najbolj ugoden apnenčasti agregat.

Kamena moka

Je zmes kamnitih zrn, manjših od 0,71 mm in je sestavni del zmesi kamnitih zrn. Izpolnjevati mora lastnosti opredeljene v preglednici 2.

V kameni moki so pretežno zrna velikosti do 0,09 mm, imenovana polnilo, in imajo skupaj z vezivom funkcijo zapolnjevanja votlin v asfaltni zmesi.

Poznamo dva kakovostna razreda kamene moke. Kameno moko kakovostnega razreda I uporabimo v asfaltni zmesi, ki je namenjena uporabi na prometnih površinah, ki so obremenjene s srednjo ali težjo prometno obremenitvijo.

Preglednica 2: Zahteve za lastnosti kamene moke (TSC, 2003: str. 8) [7]

Lastnosti kamene moke		Kakovostni razred I II presejek (m.- %)		Postopek za preskus
- zrnavost (dolžina stranice kvadratne odprtine sita (mm))	0,063 0,09 0,25 0,71	60 do 85 80 do 95 95 do 100 100	50 do 85 65 do 95 95 do 100 100	SIST EN 933-1
- vsebnost votlin v polnilu v suhozbitnem stanju po Rigdenu		se preiskuje		SIST EN 1097-4
- indeks otditve bitumna		za karbonatno polnilo od 1,80 do 2,40		DIN 52096

Pesek

Je zmes kamnitih zrn, ki se jo v odvisnosti od velikosti zrn razvršča v:

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

Za pripravo hladne bituminizirane zmesi se pretežno uporablja naravni in/ali drobljeni pesek zrnivosti 0/2 mm in 0/4 mm in mora izpolnjevati zahteve opredeljene v preglednicah 3 in 4. Drobljeni pesek iz silikatnih, karbonatnih ali umetnih (žlindra) kamnin, se uporablja za izdelavo hladne bituminizirane zmesi, namenjene za uporabo na cestah s srednjo in težko prometno obremenitvijo, medtem ko je naravni pesek dovoljeno uporabiti za proizvodnjo hladne bituminizirane zmesi, uporabljene na površinah z lahko prometno obremenitvijo (hodniki za pešce, kolesarske steze).

Preglednica 3: Zahteve za sestavo zmesi zrn peska (TSC, 2003: str. 8) [7]

Dolžina stranice kvadratne odprtine sita (mm)	Pesek		Postopek za preskus
	fini 0/2 mm	grobi 0/4 mm	
0,063	0 – 10 ¹⁾	0 – 10	SIST EN 933-1
0,25	20 – 35	12 – 25	
0,71	45 – 85	33 – 70	
2	90 – 100	65 – 100	
4	100	90 – 100	
8		100	
- modul zrnivosti	1,70 do 2,55	1,95 do 3,00	

Legenda:

¹⁾ - Za pesek, pridobljen z drobljenjem kamnine eruptivnega porekla, je največja dovoljena vrednost presejka 5 m.-%.

Preglednica 4: Zahteve za kakovost peska (TSC, 2003: str. 9) [7]

Lastnost zmesi zrn peska	Enota mere	Zahtevana vrednost za pesek		Postopek za preskus
		naravni	drobljeni	
- delež delcev manjših od 0,063 mm	m.-%	f_5	f_{10} ¹⁾	SIST EN 933-1
- ekvivalent peska	%	≥ 70	≥ 60	SIST EN 933-8
- delež grudic gline	m.-%	$\leq 0,5$	$\leq 0,5$	SIST EN 933-1
- organske nečistoče	-	LPC _{0,5}	LPC _{0,5}	SIST EN 1744-1

Legenda:

¹⁾ - Za pesek, pridobljen z drobljenjem kamnine eruptivnega porekla, je največja dovoljena vrednost f_5 .

Drobir

Je zmes kamnitih zrn, pridobljena z drobljenjem v proizvodnih obratih, imenovanih kamnolomi.

Pri izdelavi asfaltnih zmesi za tankoplastne prevleke se lahko uporabi tiste osnovne frakcije in medfrakcije drobirja, ki ustrezajo pogojem, navedenim v SIST EN 13043.

Za pripravo hladne asfaltno zmesi se uporablja drobir frakcij, in sicer:

- od 2 do 4 mm,
- od 4 do 8 mm.

Drobir mora izpolnjevati zahteve opredeljene v preglednicah 5 in 6.

Preglednica 5: Zahteve za odpornost zmesi kamnitih zrn proti drobljenju in obrabi (TSC, 2003: str. 9) [7]

Skupina prometne obremenitve	Skupina gostote prometa	Količnik Los Angeles (m.-%)		Količnik odpornost proti poliranju PSV	
		silikatne kamenine	karbonatne ali karbonatno-silikatne kamenine	silikatne kamenine	karbonatne ali karbonatno-silikatne kamenine
- izredno in zelo težka : IT, ZT	zelo velika	LA ₁₆	-	PSV ₅₀	-
- težka : T	zelo velika	LA ₁₈	-	PSV ₅₀	-
- srednja : S	zelo velika	LA ₂₂	LA ₂₈	PSV ₅₀	-
- lahka : L	majhna	LA ₂₂	LA ₃₀	PSV ₄₄	PSV ₃₀
- zelo lahka : ZL	majhna	LA ₂₂	LA ₃₅	PSV ₄₄	PSV ₃₀

Preglednica 6: Lastnosti zmesi kamnitih zrn drobirja (TSC, 2003: str. 10) [7]

Lastnost zmesi drobljenih kamnitih zrn	Enota mere	Zahtevana vrednost	Postopek za preskus
- stopnja obvitosti skupne površine zrn z bitumnom, najmanj	%	100/90	ÖN B 3682
- odpornost proti zmrzovanju (preskus z natrijevim sulfatom), izguba mase po petih ciklikih	m.- %	NS ₅ ¹⁾	SIST EN 1367-2
- vpijanje vode na frakciji 4/8 mm	m.- %	WA ₂₄ 1,6	SIST EN 1097-6
- modul oblike zrn	m.- %	Sl ₂₀	SIST EN 933-4

Legenda:

¹⁾ Kamnita zrna iz eruptivnih kamnin največ NS₃.

Asfaltni granulati

Vse močnejša ekološka ozaveščenost je pripomogla k vedno večji uporabi starega asfalta.

Asfaltni granulati je obstoječa asfaltna zmes, pridobljena z rezkanjem ali drobljenjem, in je primerna za ponovno uporabo, če vsebuje za predviden namen uporabe ustrezna kamnita zrna ter ustrezni bitumen.

2.1.1.2 Zrnavost zmesi kamnitih zrn za hladne bituminizirane zmesi

Frakcije oziroma sestav zmesi je lahko različen. Osnovni princip mešanice je: narediti potrebno zmes, ki jo bo moč obdelovati vsaj še pol leta po proizvodnji, obenem pa bo vgrajena v luknje v asfaltni površini omogočala kolikor toliko varen promet. Maksimalno zrno oziroma sestav zmesi je 0/8 mm in je tisti, ki je definiran kot osnova za obrabno plast na voziščih za cestni promet.

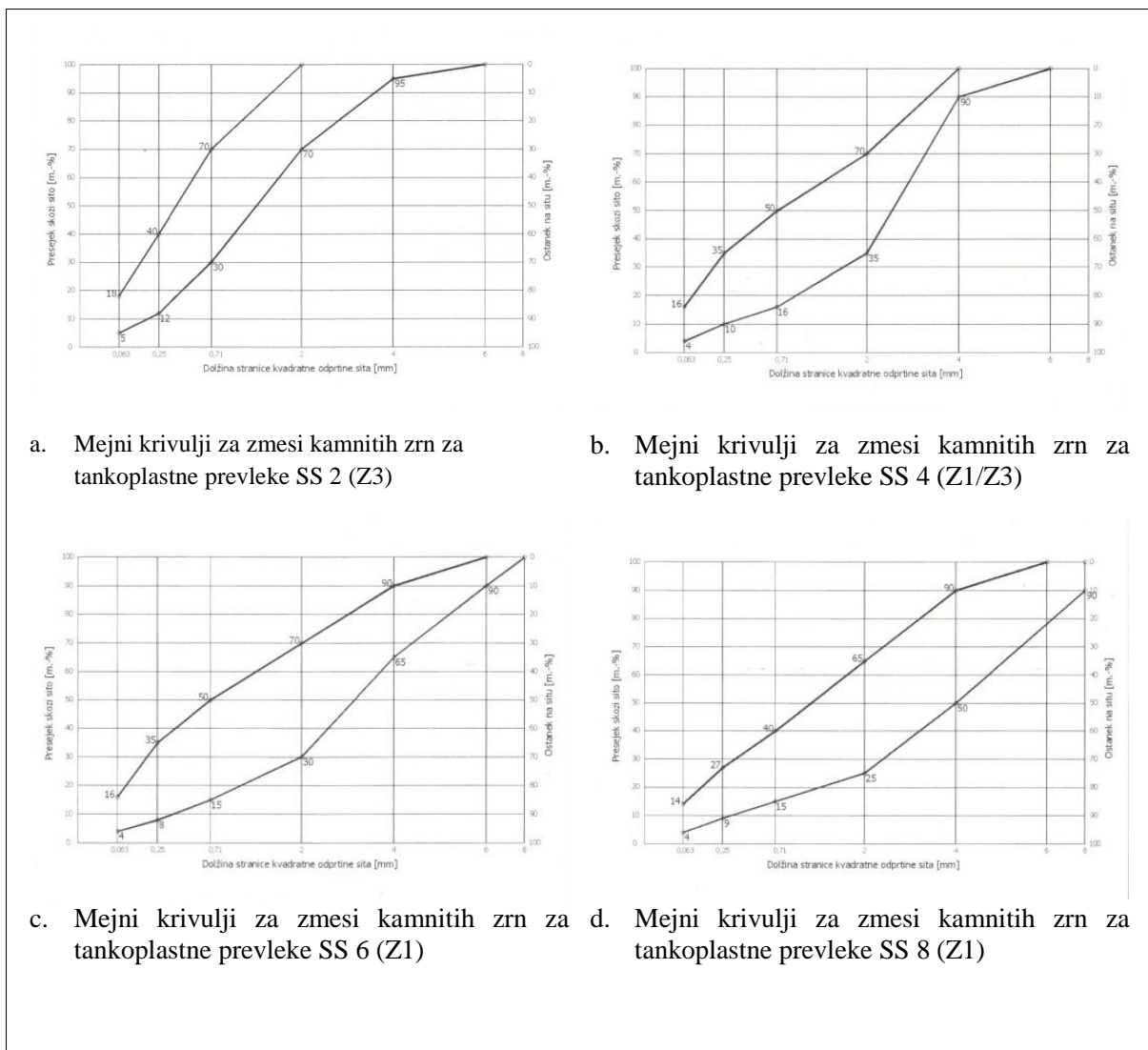
Za drugačen namen uporabe asfaltne zmesi, npr. na pločnikih, popravila okrog jaškov, rešetk ipd., kjer ni prometnih obremenitev kot na cesti za motorna vozila, se lahko uporabijo tudi druge frakcije.

Osnova za sestavo zmesi kamnitih zrn so območja presejkov zmesi kamnitih zrn za asfaltno zmes za tankoplastne prevleke. Ta območja so vsebovana v tehničnih specifikacijah za javne ceste (TSC), natančneje v TSC 06.300/06.410:2009 – Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. Večja kot je frakcija bolj je odporna na obremenitve voziščne konstrukcije.

Mejne vrednosti presejkov zmesi kamnitih zrn tankoplastnih prevlek (TP) v tabelični (preglednica 7) in grafični (slika 9) obliki.

Preglednica 7: Območja presejkov zmesi kamnitih zrn za hladne tankoplastne prevleke (TSC, 2009: str. 29) [8]

Dolžina stranice kvadratne odprtine sita (mm)	Vrsta bituminizirane zmesi			
	SS2 (Z3)	SS4 (Z1/Z3)	SS6 (Z1)	SS8 (Z1)
	presejek (m.-%)			
0,063	5 – 18	4 – 16	4 – 16	4 – 14
0,25	12 – 40	10 – 35	8 – 35	9 – 27
0,71	30 – 70	16 – 50	15 – 50	15 – 40
2	70 – 100	35 – 70	30 – 70	25 – 65
4	95 – 100	90 – 100	65 – 90	50 – 90
6	100	100	90 – 100	-
8	-	-	100	90 – 100
11,2	-	-	-	100



Slika 9: Mejne krivulje za zmesi kamnitih zrn za tankoplastne prevleke (Lukač, Žmavc, 2011: str. 93) [9]

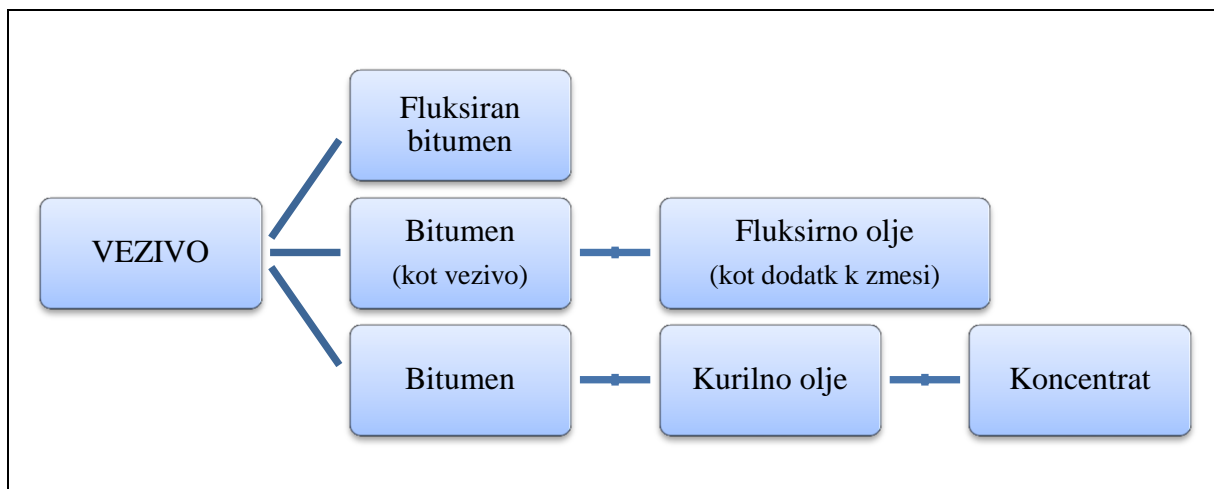
»Po mnenju proizvajalcev so za izdelavo hladne bituminizirane zmesi najprimernejše frakcije 0/4 mm, in sicer naj bi je bilo v zmesi okrog 20 %, preostalih 80 % pa 4/8 mm. To razmerje je ugodno, ker je veliko zrno ravno še dovolj majhno, da se lahko dobro usidra v odprtino, ki jo popravljamo, obenem pa nimamo preveč drobnih zrn, ki zmes gostijo in jo naredijo težavno za obdelavo (vgradnjo). Če ima proizvodni obrat možnost deljene frakcije 0/4 mm, torej če se lahko ločeno dodaja 0/2 mm in 2/4 mm, bo razmerje frakcij agregata drugačno, npr. 10 % frakcije 0/2 mm, 30 % frakcije 2/4 mm in 60 % frakcije 4/8 mm.«⁷

Omenjena razmerja frakcij so le orientacija, medtem ko je dokončna sestava odvisna od posameznega proizvajalca in zahtev uporabnika. Da se izdelata zmes, ki bo še dolgo primerna za obdelavo, ne sme v zmesi biti veliko finih delcev, če pa bi zmes vsebovala pretežno le velike delce pa zmesi ne bi bilo mogoče primerno vgraditi, ker ne bi bilo »vezivnega« materiala.

Poleg najpogostejših frakcij se lahko uporabi tudi druge frakcije v poljubnih razmerjih. Vprašanje pa je, ali se bo z izdelano zmesjo zagotovilo zahteve glede kakovosti hladne bituminizirane zmesi.

⁷ Povzeto po Delak, B. 2012. Informacija glede hladnih asfaltnih zmesi. Sporočilo za Irechimica / Prisljan, D. 22. 4. 2012. Osebna komunikacija.

2.1.2 Vezivo



Slika 10: Shematski prikaz veziva za hladne asfaltne zmesi.

Kot je lahko iz slike 10 razvidno se kot vezivo za proizvodnjo hladnih bituminiziranih zmesi uporablja:

- fluksiran bitumen, ki nastopa kot vezivo ali
- bitumen, ki nastopa kot vezivo in fluksirno olje, ki nastopa kot dodatek k asfaltni zmesi ali
- mešanica bitumna, kurilnega olja in koncentrata proizvedena na asfaltni bazi in nastopa kot vezivo.

V vseh treh primerih gre za enako osnovno sestavo veziva, ki je bitumen in olje, razlika je le v načinu dobave veziva in proizvodnje hladne bituminizirane zmesi. Proizvodnja zmesi je podrobneje opredeljena pod poglavjem 2.3 – Proizvodnja hladne bituminizirane zmesi.

2.1.2.1 Bitumen

Osnova veziva hladne bituminizirane zmesi so cestogradbeni bitumni (preglednica 8), predvsem »mehki«, ker je namen vgradnje asfaltne zmesi v hladnem stanju in predvsem v zimskem času.

Bitumen je temno črna, mastna, viskozna, izredno gosta zmes naravnih ali industrijsko pridobljenih ogljikovodikovih spojin. Nastane iz nafte naravno ali umetno pri postopku destilacije.

V sami asfaltni zmesi pa bitumensko vezivo kot dejansko vezivo, ki ga je v zmesi razmeroma majhen delež, ni zadostno. Za dejansko funkcijo veziva, to je povezovanje kamnitih zrn, so poleg bitumenskega veziva potrebna drobna zrna, velikosti do 0,5 mm, ki plavajo v vezivu in s tem otrjujoče vplivajo na bitumensko vezivo ter povečujejo njegovo viskoznost. Tako nastane bitumenska malta.

Kakšno bitumensko vezivo se bo pri proizvodnji asfaltne zmesi uporabilo je odvisno predvsem od:

- zahtevanih lastnosti vgrajene asfaltne zmesi,
- obremenitev, ki jim bo asfaltna zmes izpostavljena (prometne, klimatske),
- značilnosti ceste.

Preglednica 8: Zahteve za standardne cestogradbene bitumne (Naglič, 2011: str. 21) [10]

Lastnosti	Enota	Preskusna metoda								
			20/30	30/45	35/50	40/60	50/70	70/100	100/150	160/220
Penetracija pri 25 °C	0.1 mm	EN 1426	20 - 30	30 - 45	35 - 50	40 - 60	50 - 70	70 - 100	100 - 150	160 - 220
Zmehčišče	°C	EN 1427	55 - 63	52 - 60	50 - 58	48 - 56	46 - 54	43 - 51	39 - 47	35 - 43
Odpornost proti otrjevanju pri 163 °C		EN 12607- 1								
- ohranjena vrednost penetracije	%		≥ 55	≥ 53	≥ 53	≥ 50	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
- zvišanje zmehčišča, največ- zahtevnost 1 ali	°C		≤ 8 ali	≤ 8 ali	≤ 8 ali	≤ 9 ali	≤ 9 ali	≤ 9 ali	≤ 10 ali	≤ 11 ali
- zvišanje zmehčišča, največ- zahtevnost 2	°C		≤ 10	≤ 10	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
- sprememba mase	%		≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,5	≤ 0,8	≤ 0,8	≤ 1,0
Plamenišče	°C	EN ISO 2592	≥ 240	≥ 240	≥ 240	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 230	≥ 220
Topnost	%	EN 12592	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0	≥ 99,0
Indeks penetracije		Dodatek A	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7	- 1,5 do +0,7
Dinamična viskoznost pri 60 °C	Pa.s	EN 12596	≥ 440	≥ 260	≥ 225	≥ 175	≥ 145	≥ 90	≥ 55	≥ 30
Pretrgališče po Fraass-u	°C	EN 12593	-	≤ - 5	≤ - 5	≤ - 7	≤ - 8	≤ - 10	≤ - 12	≤ - 15
Kinematična viskoznost pri 135 °C	mm ² /s	EN 12595	≥ 530	≥ 400	≥ 370	≥ 325	≥ 295	≥ 230	≥ 175	≥ 135

Temperatura bitumna pri proizvodnji hladne bituminizirane zmesi je odvisna od vrste bitumna, vrste proizvodnega obrata ter dodatkov.

Količina veziva v zmesi mora biti taka, da se doseže potrebno obvitost zrn in homogenost asfaltne zmesi. Glede na izkušnje proizvajalcev je ta količina med 4 in 5,0 %.

2.1.2.2 Olje

Druga komponenta veziva je olje, ki ima to funkcijo, da obdrži zmes primerno za obdelavo za daljše časovno obdobje. Olje spreminja reološko obnašanje bitumna, zmanjšuje viskoznost, znižuje zmehčišče in preprečuje zlepljenje zrn z bitumnom. Ko je hladna asfaltna zmes na kupu ali pa v plastičnih vrečah, je mehka. Ko pa jo razgrnemo, olje izhlapi in vgrajena masa otrdi. Seveda ne v hipu, ampak v odvisnosti od zunanje temperature, vlage, stanja vozišča in prometa.

Zakaj ravno olje in ne kakšna druga snov, npr. voda, razna topila?

Če želimo z bitumnom kar koli početi, ga moramo najprej segreti, da mu zmanjšamo viskoznost. Takrat je temperatura bitumna že 140 °C in več (pri nižjih temperaturah se bitumen hitro oprime kakšnega dela naprav, ker ni podvržen stalnemu izpiranju z novimi količinami vročega bitumna in na ta način v proizvodnem procesu povzroča težave). Uporabiti moramo torej tako snov, ki bo prenesla tako visoko temperaturo brez burnih reakcij (voda bi se uparila, topila bi lahko povzročila eksplozijo), brez velike izgube svojih osnovnih karakteristik in ki bo zagotavljala ohlajeni zmesi (tudi kasneje pri temperaturah okolja okoli 0 °C) zadovoljivo vgradljivost. Po fizikalnih lastnostih je to prav olje.

2.1.2.3 Primeri veziv

Fluksiran bitumen

Je modificirano bitumensko vezivo, sestavljeno iz bitumna 160/220 z dodatkom proti hitremu strjevanju. Tak bitumen je fluksirani bitumen – FBK. Značilnosti fluksiranega bitumna so predstavljene v preglednici 9.

Preglednica 9: Značilnosti fluksiranega bitumna (FBK) avstrijskega proizvajalca Vialit Asphalt d. o. o. (Vialit Asphalt GmbH & Co.KG, 2012) [11]

ZAHTEVE	RAZRED	Fm 3 B 2 - KMG
VEZIVO		
Viskoznost		
Iztočni čas 10 mm pri 25 °C (ÖNORM EN 12846-2)	Razred 3	45 – 105 [s] (15 – 500 [s])
Obnašanje pri oprijemljivosti		
Dolomit (ÖNORM EN 15626)	Razred 2	≥ 75 [%]
Obnašanje pri strjevanju Fm		
Odstotni delež celokupnega destilata v primeru destilacije pri 225 °C (ÖNORM EN 13358)	Razred 2	< 15 [%]
Plamenišče		
Pensky-Martens (ÖNORM EN ISO 2719)	Razred 7	> 60 [°C]
Nevarne snovi		KLF
SKLADNO S STANDARDOM ÖNORM EN 13074		
RECIKLIRANO VEZIVO		
Konsistenca pri srednjih obdelovalnih temperaturah		
Penetracija pri 25 °C (ÖNORM EN 1426)	Razred 0	KA [0,1 mm]
Konsistenca pri povišanih obdelovalnih temperaturah		
Zmehčišče (ÖNORM EN 1427)	Razred 0	KA [°C]
Konsistenca pri srednjih obdelovalnih temperaturah		
Penetracija pri 15 °C (ÖNORM EN 1426)	Razred 0	KA [0,1 mm]
Konsistenca pri povišanih obdelovalnih temperaturah		
Dinamična viskoznost pri 60 °C (ÖNORM EN 13302)	Razred 0	KA [Pa.s]
SKLADNO S STANDARDOM ÖNORM EN 13074 IN ÖNORM EN 14769 STARANO VEZIVO		
Konsistenca pri srednjih obdelovalnih temperaturah		
Penetracija pri 25 °C (ÖNORM EN 1426)	Razred 0	KA [0,1 mm]
Konsistenca pri povišanih obdelovalnih temperaturah		
Zmehčišče (ÖNORM EN 1427)	Razred 0	KA [°C]

Bitumen kot vezivo in fluksirno olje kot dodatek k asfaltni zmesi

Načeloma je uporabljen bitumen 160/220, ker pa imajo na proizvodnih obratih večinoma le 50/70, se lahko uporabi tudi to. Temperatura bitumna naj bo 145 °C oziroma v območju med 140 in 150 °C.

Fluksirno olje (flux oil) je sredstvo proti hitremu strjevanju in se uporablja kot dodatek k asfaltni zmesi. Sestava olja je lahko:

- mešanica estra in okso-alkohola ali
- mešanica ogljikovodikov in okso-alkoholov ali
- ogljikovodik in okso-alkohol z polialkilirano mešanico ali
- mešanica ogljikovodikov in metilestra ali
- mešanica spremenjenih rastlinskih estrov.

Uporablja se lahko olja tako sintetičnega kot tudi rastlinskega izvora. Lastnosti ene in druge vrste olja so opredeljene v preglednici 10.

Pri taki vrsti veziva je potrebno posebno pozornost posvetiti času mešanja ter načinu in času doziranja olja. Postopek proizvodnje je opisan v poglavju 2.3 – Proizvodnja hladne bituminizirane zmesi.

Preglednica 10: Preglednica aditiva sintetičnega in rastlinskega izvora s sestavo in fizikalnimi lastnostmi (Povzeto po letakih izdelkov podjetja Iterchimica) [12]

	Fluksirno olje		Naravno fluksirno olje	
OPIS	Je aditiv na bazi olja. Namenjen je za proizvodnjo hladne asfaltne zmesi za potrebe zimskega vzdrževanja cest. Je mešanica posebnih sestavin brez katranskega olja, ki zagotavljajo odlično plastičnost in strojno obdelavo hladne asfaltne mase.		Je naravni rastlinski plastifikator. Namenjen je za proizvodnjo hladne asfaltne mase za potrebe vzdrževanja cest. Je mešanica posebnih rastlinskih sestavin, ki zagotavljajo odlično plastičnost in obdelavo hladne asfaltne mase.	
SESTAVA	Lahko je: — mešanica estra in okso-alkohola, — mešanica ogljikovodikov in okso-alkoholov, — ogljikovodik in okso-alkohol s polialkilirano mešanico, — mešanica ogljikovodikov in metilestra.		Mešanica spremenjenih rastlinskih estrov	
FIZIKALNE LASTNOSTI	Videz	Tekočina	Videz	Tekočina
	Specifična masa pri 15 °C	0,800—0,886 g/cm ³	Specifična masa pri 20 °C	0,89 ± 0,02 g/cm ³
	Ali			
	Specifična masa pri 20 °C	0,86 ± 0,02 g/cm ³	Plamenišče	118 °C
	Plamenišče	85—118 °C	Dinamična viskoznost pri 25 °C	5—7 cP
	Dinamična viskoznost pri 25 °C	5 ± 1 cP	Engler viskoznost pri 20 °C	1,2°—1,5°E
Engler viskoznost pri 20 °C	1,2°—1,5°E	Tečenje	–5 °C	
SKLADIŠČENJE	Zaščita pred vremenskimi vplivi in na temperaturi nad lediščem		Zaščita pred vremenskimi vplivi	
DOZIRNAJE	Od 20 % do 35 % na maso bitumna, odvisno od zelene plastičnosti zmesi, tipa bitumna in zrnivosti agregata		Od 25 % do 30 % na maso bitumna, odvisno od zelene plastičnosti zmesi, tipa bitumna in zrnivosti agregata, ter obdobja proizvodnje in uporabe	
POTREBEN AGREGAT	Velikost zrn mora biti od 3 do 6 mm ali od 4 do 8 mm. Agregat mora biti čist in popolnoma suh pri največji temperaturi 95 °C ali 100 °C		Velikost zrn mora biti od 3 do 8 mm. Agregat mora biti čist in popolnoma suh pri največji temperaturi 110 °C	
POTREBEN BITUMEN	Bitumen 70/100, 80/100 ali 180/200. Količina bitumna je od 4,5 % do 5,0 % mase agregata		Bitumen 70/100. Količina bitumna je od 3,5 % do 4,5 % mase agregata	

Mešanica bitumna, kurilnega olja in koncentrata

Ta mešanica je dejansko fluksirani bitumen, le da ga lahko proizvedemo na proizvodnem obratu. Za izdelavo takega bitumna potrebujemo bitumen, kurilno olje in koncentrat ter ustrezno strojno opremo. Proizvodnja veziva poteka po postopku opredeljenem v preglednici 11.

Preglednica 11: Postopek proizvodnje tekočega veziva za hladne asfaltne zmesi [13]

Priprava bitumna	Bitumen se črpa iz cisterne za bitumen pri temperaturi 80 °C. Nadzor temperature se izvaja z uporabo termometra, ki se nahaja na napajalnem vodu bitumna. Priprava bitumna se izvede z izhlapevanjem vode iz bitumna in ogrevanjem bitumna na temperaturo med 100 in 110 °C.	
Priprava tekočega veziva	1. korak	Kurilno olje in koncentrat se prečrpa v mešalno posodo. Mešanje se izvaja z uporabo obtočne črpalke ali mehanskega mešalnika. Čas mešanja naj bo od 10 do 20 minut. V celotnem procesu mešanja mora temperatura kurilnega olja in koncentrata biti v območju med 20 in 40 °C.
	2. korak	Zmešano kurilno olje in koncentrat ter segret bitumen se prečrpa v večjo mešalno posodo. Nadzor količine posameznih sestavin se izvaja z uporabo merilnikov vgrajenih na vodih. Zmešano kurilno olje in koncentrat se skupaj z bitumnom segreje do temperature med 120 in 130 °C in zmeša z obtočno črpalko ali mehanskim mešalnikom. Čas mešanja naj bo med 40 in 60 minut. Kontrola temperature se izvaja z uporabo termometra, ki se nahaja na rezervoarju. Kinematična viskoznost veziva se določa pri temperaturi 60 °C. Če vrednost viskoznosti ni v zahtevanem območju (600—850 cS), se mora mešanico spremeniti z dodajanjem 3—5 % bitumna ali kurilnega olja.

2.1.3 Dodatki

Ker običajne bituminizirane zmesi, sestavljene zgolj iz zmesi kamnitih zrn in bitumenskega veziva, ne ustrezajo zahtevam, ki jih prinaša povečan promet, prometna obremenitev, ekološki in ekonomski dejavniki, nove specifikacije s področja bitumenskih veziv ter nazadnje investitorji, jih je potrebno modificirati oziroma izboljšati.

Z uporabo dodatkov se izboljšajo lastnosti bituminiziranih zmesi, kot so:

- večja togost pri visokih temperaturah za zmanjšanje nastanka kolesnic,
- mehkejša zmes pri nižjih temperaturah za zmanjšanje nastanka temperaturnih razpok,
- povečana odpornost proti utrujanju, staranju,
- boljša sprijemljivost med bitumnom in kamnitimi zrnji za zmanjšanje luščenja in občutljivosti na vodo,
- večja odpornosti proti obrabi in manjše izletanje zrn iz površine,
- lažja vgradnja,
- večja debelina bitumenskega filma okoli kamnitih zrn za podaljšanje trajnosti,
- manjši stroški vzdrževanja v času uporabe.

Uporaba dodatkov v proizvodnji hladnih bituminiziranih zmesi je stvar posameznega proizvajalca, v kolikšni meri želi izboljšati oziroma spremeniti posamezne lastnosti hladne bituminizirane zmesi. Za

vroče asfaltne zmesi se ve, pod kakšnimi pogoji jih je potrebno pripravljati in vgrajevati, da se doseže zahtevane lastnosti. Vse te zahteve so podrobneje opisane v TSC. Z dodatki in seveda s sestavo hladne bituminizirane zmesi se skuša čim bolj približati kvalitetam in zahtevam vročega asfalta.

Vrsta dodatkov k zmesi je odvisna od želja oz. pričakovanj pri in po vgradnji za posamezno bituminizirano zmes.

2.1.3.1 Polnilo

Z uporabo polnil v asfaltne zmesi se poveča stabilnost, izboljša sprejemljivost med bitumnom in kamnitimi zrnji ter zmanjšuje delež bitumenskega veziva. Torej s polnili se asfaltne zmesi utrjujejo. Seveda pa je vse to odvisno od mineraloške sestave, oblike zrn ter razporeditve zrnivosti. Vendar pa vsa polnila niso primerna, še zlasti tista, ki vsebujejo glino. Taka polnila povečujejo možnost luščenja asfaltne zmesi.

Posebno pozornost je potrebno nameniti količini in doziranju polnila. Doziranje polnila mora biti čim bolj enakomerno. Preveč polnila v asfaltne zmesi ima za posledico majhno količino veziva, kar vpliva na trajnost zmesi in povečano količino zmesi zrn, kar zmanjšuje debelino bitumenskega filma. Količina polnila v zmesi se določa glede na razmerje med polnilom in bitumnom. To razmerje naj bi bilo med 0,6 in 1,2.

Najpogosteje uporabljena polnila so:

- kamena moka,
- apno kot sredstvo proti luščenju bitumna z zrn,
- elektrofilitrski pepel,
- saje za povečano odpornost proti nastanku kolesnic in obrabi.

Pri proizvodnji hladne asfaltne zmesi se polnila praviloma ne uporabljajo, saj ima veliko specifično površino in »posrka« preveč bitumna in olja, tako da zmes hitro otrdi.

2.1.3.2 Ostali dodatki

Ker je hladna zmes proizvod začasne narave, težijo proizvajalci k čim nižjim stroškom in se zaradi tega večinoma ne uporabljajo aditivov. Vsekakor pa bi bilo potrebno dodajati aditiv za adhezijo (ang.: antistripping agent), saj zmanjšuje površinsko napetost in tako omogoča bitumnu izpodrivanje vode, kar je pri nizkih temperaturah izdelave zelo pomembno.

2.2 Predhodna sestava bituminizirane zmesi⁸

Namen predhodne sestave bituminiziranih zmesi je izbira ustreznih materialov in njihovih razmerij v zmesi za zagotovitev zahtevanih lastnosti. Pri tem je potrebno upoštevati zakonitosti načrtovanja sestave in parametre, ki na asfaltno zmes učinkujejo v času njene dobe trajanja.

Pri pripravi predhodne sestave bituminizirane zmesi ločino dva pomembna postopka za doseg željenih optimalnih lastnosti, in sicer razvrščanje in določanje količin posameznih materialov. Poleg teh dveh postopkov pa je za pripravo bituminizirane zmesi potrebno imeti primerno laboratorijsko opremo in ustrezno usposobljeno osebje.

Optimalne lastnosti bituminizirane zmesi so:

- Zadostna količina veziva za zagotovitev trajnosti.
- Zadostna vsebnost votlin, ki omogoča le najmanjšo dodatno zgostitev pod prometom.
- Primerna vgradljivost.
- Primerna nosilnost za določeno prometno obremenitev.
- Primerna torna lastnost.

2.2.1 Postopek priprave predhodne sestave bituminizirane zmesi

Vsebuje naslednje postopke:

- Zbiranje podatkov o prometni obremenitvi.
- Zbiranje podatkov o debelinah plasti bituminiziranih zmesi v načrtovani voziščni konstrukciji.
- Vzorčenje materialov, ki se potrebujejo za izdelavo bituminizirane zmesi.
- Določitev lastnosti vzorčenih materialov s standardnimi postopki.
- Izračun primerne sestave zmesi kamnitih zrn.
- Pripravo bituminiziranih zmesi z različnimi deleži bitumna.
- Izdelavo preskušancev bituminiziranih zmesi.
- Določitev prostorske in navidezne (specifične) gostote asfaltnih zmesi in preskušancev.
- Izračun vsebnosti votlin v preskušancih ter stopnjo zapoljenosti votlin.
- Določitev napetostno-deformacijskih lastnosti bituminiziranih zmesi po postopku po Marshallu (stabilnost, tečenje, togost in modul togosti).

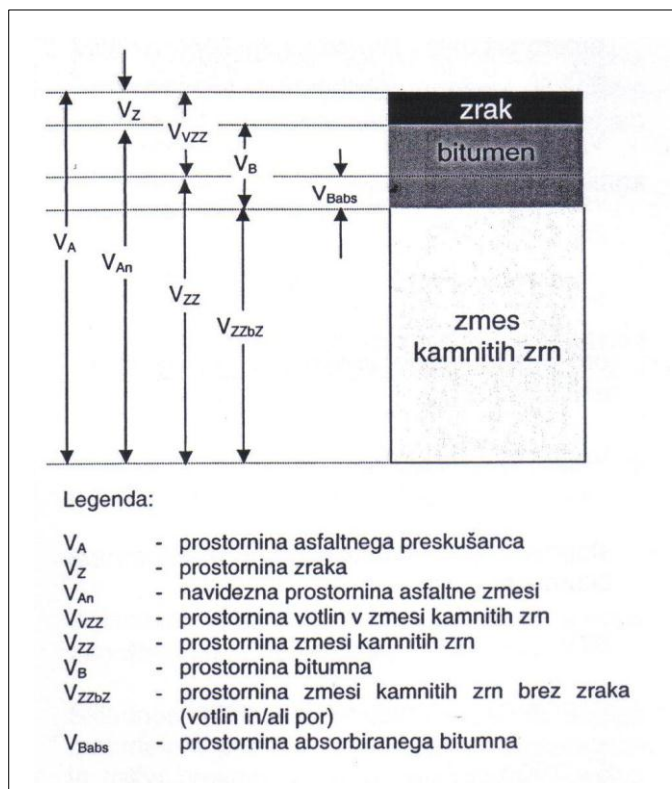
Za bituminizirane zmesi, ki bodo vgrajene v voziščne konstrukcije s težko prometno obremenitvijo, je potrebno določiti tudi:

- preizkus plastičnega preoblikovanja – nastanka kolesnic,
- statični enoosni test lezenja,
- indirektni natezni test s ponavljajočo obremenitvijo.

⁸ Povzeto po TSC 06.730:2001. Predhodna sestava asfaltna zmesi. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 3—16 str.

2.2.2 Model prostora

Pri pripravi predhodne sestave bituminizirane zmesi je potrebno upoštevati model prostora (slika 11), ki predstavlja prostorninska razmerja treh komponent (kamniti material, bitumen in zrak).



Slika 11: Razmerja prostornin osnovnih materialov zgoščene bituminizirane zmesi (TSC, 2001: str. 7) [14]

Izračuni:

— prostorninska gostota bituminizirane zmesi

$$\rho_A = \frac{m_A}{V_A} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right] \quad (1)$$

— navidezna specifična gostota zmesi zrn

$$\rho_{ZZn} = \frac{100}{\sum \left(\frac{m_{ZZi}}{\rho_{ZZi}} \right)} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right] \quad (2)$$

— navidezna specifična gostota bituminizirane zmesi

$$\rho_{An} = \frac{100}{\left[\left(\frac{m_{ZZ}}{\rho_{ZZ}} \right) + \left(\frac{m_B}{\rho_B} \right) \right]} \quad \left[\frac{\text{g}}{\text{cm}^3} \right] \quad (3)$$

— vsebnost (prostorninski delež) votlin v zgoščeni bituminizirani zmesi

$$V_{V/A} = \frac{100}{1 - \frac{\rho_A}{\rho_{An}}} \quad [\text{V.-%}] \quad (4)$$

— prostorninski delež bitumna v zgoščeni bituminizirani zmesi

$$V_{B/A} = \rho_A \cdot \frac{m_B}{\rho_B} \quad [\text{V.-%}] \quad (5)$$

— vsebnost (prostorninski delež) votlin v zmesi zrn

$$V_{V/ZZ} = V_{V/A} + V_{B/A} \quad [\text{V.-%}] \quad (6)$$

— prostorninski delež zmesi zrn v zgoščeni bituminizirani zmesi

$$V_{ZZ/A} = \rho_A \cdot \frac{m_{ZZ}}{\rho_{ZZn}} \quad [\text{V.-%}] \quad (7)$$

— stopnja zapolnjenosti votlin v zmesi zrn z bitumnom

$$SZV_{ZZ/B} = 100 \cdot \frac{V_B}{V_{V/ZZ}} \quad [\%] \quad (8)$$

— stopnja zgoščenosti bituminizirane zmesi

$$K = 100 \cdot \frac{\rho_A}{\rho_{Ap}} \quad [\%] \quad (9)$$

Simbol	Pomen simbolov	Enota
m_A	masa bituminizirane zmesi	g
m_B	masa bitumna	g
m_{ZZ}	masa zmesi zrn	g
m	masa materiala	g
ρ_{ZZi}	navidezna specifična gostota skupine (razreda) zrn i	g/cm^3
ρ_{Ap}	prostorska gostota preskušanca po Marshallu	g/cm^3
ρ_s	specifična gostota	g/cm^3

2.2.3 Materiali

Vsi materiali, ki so predvideni za predhodno sestavo bituminiziranih zmesi po vročem postopku, morajo biti preverjeni z ustreznimi predhodnimi preskusi in ustrezno dokazani.

V primeru uporabe dodatkov za izboljšanje določenih lastnosti bituminizirane zmesi, morajo biti za uporabo teh dodatkov zagotovljena natančna navodila proizvajalca.

Materiali za hladne bituminizirane zmesi so podrobneje opisani v poglavju 2.1 – Sestava hladnih bituminiziranih zmesi.

2.2.4 Kakovost materialov za predhodno sestavo bituminizirane zmesi

Pred pripravo predhodne sestave bituminiziranih zmesi je potrebno preveriti naslednje kakovostne lastnosti:

Za kamnite materiale:

- zrnastost kamene moke,
- votline po Rigdenu,
- zrnastost zmesi zrn (frakcij),
- vpijanje vode,
- navidezno specifično gostoto (frakcij),
- navidezno specifično gostoto (kamene moke).

Za bitumen:

- penetracija,
- zmehčišče (PK),
- indeks penetracije (IP),
- navidezna gostota.

Za asfaltni granulati:

- vsebnosti bitumna in sestave zmesi zrn (s postopkom ekstrakcije),
- penetracija bitumna,
- zmehčišče bitumna,
- navidezno specifično gostoto bitumna,
- navidezno specifično gostoto zrn kamnitega materiala.

2.2.5 Določitev predhodne sestave bituminizirane zmesi

Zajema pripravo materialov, mešanje in laboratorijske preiskave.

Praviloma je potrebno sestavo pripraviti za pet asfaltnih zmesi z enako sestavo zmesi kamnitih zrn in različnimi deleži bitumna, ki jih je treba prilagoditi sestavi zmesi kamnitih zrn. Priporočljiva razlika med deleži bitumna v asfaltnih zmesih je med 0,3 m.-% in 0,5 m.-%.

2.2.5.1 Priprava materialov

Zajema določanje, sušenje, tehtanje in segrevanje osnovnih materialov. Temperatura je odvisna od vrste uporabljenega bitumna in vrste bituminizirane zmesi.

— Zmes kamnitih zrn

Glede na zahteve tehničnih predpisov je potrebno čim bolj smiselno kombinirati kamnita zrna dveh ali več frakcij in določiti skupno sestavo zmesi kamnitih zrn za željeno asfaltno zmes.

Splošen izračun zrnastosti zmesi kamnitih zrn prikazujejo preglednice 12, 13 in 14.

Preglednica 12: Zrnavost kamnitega materiala (TSC, 2001: str. 10) [14]

Frakcija	Velikost odprtine na šitu (mm)										
	0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	45,0
A	A1	A2	A3	A4	A5	A6	A7	A8	A9	A10	A11
B	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7	B8	B9	B10	B11
C	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11
D	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9	D10	D11
E	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10	E11
F	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11
G	G1	G2	G3	G4	G5	G6	G7	G8	G9	G10	G11
H	H1	H2	H3	H4	H5	H6	H7	H8	H9	H10	H11

Legenda

- frakcije od A do H so lahko: kamena moka, 0/2 mm, 2/4 mm, 4/8 mm, 8/11,2 mm, 11,2/16 mm, 16/22,4 mm, 22,4/31,5 mm
- A1 do H12 - presejki na posameznih sitih, izraženi v m.-%

Preglednica 13: Sestava zmesi kamnitih zrn (TSC, 2001: str. 11) [14]

Frakcija	Sestava zmesi zrn	Velikost odprtine na šitu (mm)										
		0,09	0,25	0,71	2,0	4,0	8,0	11,2	16,0	22,4	31,5	45,0
A	%A	A1x%A	A2x%A	A3x%A	A4x%A	A5x%A	A6x%A	A7x%A	A8x%A	A9x%A	A10x%A	A11x%A
B	%B	B1x%B	B2x%B	B3x%B	B4x%B	B5x%B	B6x%B	B7x%B	B8x%B	B9x%B	B10x%B	B11x%B
C	%C	C1x%C	C2x%C	C3x%C	C4x%C	C5x%C	C6x%C	C7x%C	C8x%C	C9x%C	C10x%C	C11x%C
D	%D	D1x%D	D2x%D	D3x%D	D4x%D	D5x%D	D6x%D	D7x%D	D8x%D	D9x%D	D10x%D	D11x%D
E	%E	E1x%E	E2x%E	E3x%E	E4x%E	E5x%E	E6x%E	E7x%E	E8x%E	E9x%E	E10x%E	E11x%E
F	%F	F1x%F	F2x%F	F3x%F	F4x%F	F5x%F	F6x%F	F7x%F	F8x%F	F9x%F	F10x%F	F11x%F
G	%G	G1x%G	G2x%G	G3x%G	G4x%G	G5x%G	G6x%G	G7x%G	G8x%G	G9x%G	G10x%G	G11x%G
H	%H	H1x%H	H2x%H	H3x%H	H4x%H	H5x%H	H6x%H	H7x%H	H8x%H	H9x%H	H10x%H	H11x%H
Σ	100%	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11

Legenda

- %A do %H - deleži posameznih frakcij v sestavi asfaltne zmesi
- P1 do P12 - presejki zmesi kamnitih zrn na posameznih sitih izraženi v m.-%

Preglednica 14: Sestava zmesi kamnitih zrn za predhodno sestavo asfaltne zmesi (TSC, 2001: str. 11) [14]

Velikost odprtine na šitu (mm)	Presejki (m.-%)
0,09	P1
0,25	P2
0,71	P3
2,0	P4
4,0	P5
8,0	P6
11,2	P7
16,0	P8
22,4	P9
31,5	P10
45,0	P11

— Bitumen

Delež bitumna v bituminizirani zmesi se glede na konstantno zrnnavost zmesi kamnitih zrn določi po enačbi:

$$m_B = \frac{m_{zz}}{100 - B} \cdot B \quad (10)$$

kjer je:

m_{zz} – masa zmesi kamnitih zrn (g)

B – delež bitumna (m.-%)

m_B – masa bitumna (g)

Če se pri proizvodnji bituminizirane zmesi uporabi asfaltni granulati je potrebno pri določanju mase bitumna upoštevati tudi izdvojeni bitumen (z uporabo organskih topil) iz asfaltne granulata.

Zmehčišče bitumna (PK_r) v taki sestavi asfaltne zmesi se določi po enačbi:

$$PK_r = \frac{1}{\frac{B_s}{PK_s} + \frac{1 - B_s}{PK_{mz}}} \quad (11)$$

kjer je:

B_s – delež starega bitumna, izražen v m.-% rezultirajočega končnega bitumna v asfaltni zmesi

PK_s – zmehčišče ekstrahiranega/izdvojenega (z uporabo organskih topil) bitumna iz asfaltne granulata

PK_{mz} – zgornja meja zmehčišča po zahtevah za posamezno vrsto dodanega bitumna

Tako sestava zmesi kamnitih zrn kot tudi bitumen morata biti v skladu z zahtevami tehničnih predpisov.

— Dodatki

Dodatke, ki se jih uporablja v asfaltnih zmesih, se praviloma dodaja v zelo majhnih količinah in se jih pri izračunih prostorske sestave lahko zanemariti.

2.2.5.2 Mešanje

Mešanje zmesi kamnitih zrn, bitumna in morebitnih dodatkov za predhodno sestavo bituminizirane zmesi poteka strojno.

Čas mešanja bituminizirane zmesi je določen s časom, ki je potreben za enakomerno obvitost (z bitumnom) vseh zrn kamnitega materiala.

Sam postopek mešanja pa je odvisen predvsem od vrste bituminizirane zmesi in uporabljenih morebitnih dodatkov.

2.2.5.3 Laboratorijske preiskave ter obdelava in vrednotenje rezultatov

Preskušanci bituminiziranih zmesi morajo biti pripravljene skladno z zahtevami tehničnih predpisov za postopek po Marshallu.

Pri predhodni sestavi bituminizirane zmesi je potrebno za vsako posamezno sestavo bituminizirane zmesi pripraviti najmanj tri preskušance.

Čas priprave preskušanca lahko traja največ 3 minute. V tem času je potrebno opraviti polnitev kalupa in zgostitev bituminizirane zmesi (2 x 50 udarcev nabijala oziroma 2 x 75 za bituminizirane zmesi za nosilne plasti za težko prometno obremenitev). Zgoščevanje mora potekati pri predpisani temperaturi bituminizirane zmesi.

Standardne preiskave, ki se jih izvaja na laboratorijsko pripravljene bituminizirane zmesi, je potrebno opraviti skladno s postopki v veljavnih tehničnih predpisih.

Obvezne preiskave, ki se izvajajo na predhodni bituminizirani zmesi so:

- Kontrola sestave zmesi kamnitih zrn in deleža bitumna.
- Določitev navidezne specifične gostote zmesi zrn in bituminizirane zmesi.
- Določitev prostorske gostote.
- Določitev votlin v zgoščeni bituminizirani zmesi ter stopnjo zaplnjenosti votlin.
- Določitev napetostno-deformacijskih lastnosti asfaltne zmesi v preskušancu po Marshallu:
 - stabilnost,
 - tečenje,
 - togost.

Poleg obveznih preiskav pa poznamo tudi še dodatne preiskave, s katerimi se preskuša predhodne sestave bituminizirane zmesi, namenjene pomembnejšim objektom ali za posebne namene (avtoceste, ceste za težko prometno obremenitev, drenažni asfalti, asfaltne zmesi na mostovih in letališčih).

Dodatne preiskave so:

- kontrola odpornosti bituminizirane zmesi proti deformacijam (priporočljiv je simulacijski test tvorjenja plastičnih deformacij v obliki kolesnic – Wheel tracking test),
- kontrola zgostljivosti bituminizirane zmesi,
- kontrola obnašanja bituminizirane zmesi pri nizkih temperaturah (informativno).

Na podlagi dobljenih rezultatov preiskav in značilnih lastnosti, se določiti optimalno sestavo bituminizirane zmesi.

Izbira optimalne sestave bituminizirane zmesi ne pomeni samo izbiro optimalnega deleža bitumna za izbrano sestavo zmesi kamnitih zrn, ampak tudi določitev bituminizirane zmesi z lastnostmi, ki so zahtevane glede na namen uporabe.

Lastnosti optimalne sestave bituminizirane zmesi se prikaže v tabelarični in grafični obliki, saj s tem omogočimo boljši pregled vseh zahtevanih lastnosti predhodne sestave bituminizirane zmesi.

Pri iskanju optimalne sestave bituminizirane zmesi je pomembno tudi to, za katero vrsto asfaltne zmesi se določa predhodna sestava, saj so pri določenih asfaltnih zmesih (npr. drenažnih asfaltih) najpomembnejše votline v zgoščeni asfaltni zmesi, medtem ko je pri drugih zmesih poleg vsebnosti votlin pomembna tudi stopnja zapolnjenosti votlin z bitumnom.

2.3 Proizvodnja hladne bituminizirane zmesi

2.3.1 Splošno o proizvodnji

Asfaltne zmesi se izdeluje v asfaltnih bazah in tovarnah asfalta, in sicer s segrevanjem in mešanjem njihovih osnovnih sestavin – bitumenskega veziva, kamnitih zrn in polnila ter morebitnih dodatkov – po natančno določeni recepturi. Sama proizvodnja asfaltnih zmesi poteka na več načinov. Osnovni namen pa je doseči čim večjo elastičnost in odpornost na vremenske pogoje in staranje.

Glede na način mešanja asfaltnih zmesi poznamo dva postopka:

— postopna ali šaržna proizvodnja

Pri postopni (šaržni) proizvodnji asfalta sta možni dve obliki:

— šaržna proizvodnja z neprekinjenim procesom

Je tekoča, brez prekinitev od zajema kamnitega materiala na deponijah do nastanka asfaltne zmesi. Taki obrati so običajno manjši, z manjšimi silosi za vroča kamnita zrna. Primernejši so za dolgotrajnejšo proizvodnjo enake asfaltne zmesi. Za nemoteno proizvodnjo se pri zamenjavi zmesi v takšnem obratu potrebuje več preddozatorjev.

— šaržna proizvodnja s prekinjenim procesom

Postopek sušenja je ločen od postopka mešanja, zato je tak asfaltni obrat opremljen z veliko večjimi silosi za vroče zmesi kamnitih zrn. V primeru da je tak obrat opremljen tudi z dvema vrstama sit (za karbonatna in silikatna zrna), ima tudi dve vrsti silosov za vroče zmesi kamnitih zrn. Zmesi kamnitih zrn se pri takem načinu proizvodnje asfaltne zmesi najprej posušijo, nato pa se vroče zmesi deponira v posebnem silosu za vroče frakcije toliko časa, dokler se jih ne vključi v proizvodni proces.

— neprekinjena (kontinuirana) proizvodnja

Je najzmogljivejši način proizvodnje asfaltnih mešanic. Ta način proizvodnje se uporablja predvsem takrat, ko je treba v kratkem času zagotoviti velike količine asfalta, saj omogoča proizvodnjo tudi do tisoč ton asfalta na uro. Obrat je običajno v mobilni izvedbi, saj mora biti postavljen čim bliže kraju vgradnje asfalta. Sestavine asfaltne zmesi se po točno določeni recepturi dovajajo v kombiniran sušilno-mešalni boben, od tam pa se pripravljena vroča zmes transportira v silos, od koder se potem razvaža po gradbišču.

Pomanjkljivosti takega načina proizvodnje asfalta so predvsem:

- velika odvisnost od dobavitelja zmesi kamnitih zrn,
- manjša natančnost pri doziranju,
- velik vpliv vlage v frakcijah in posledično nihanje količine bitumna v zmesi,
- dolgotrajen postopek za spremembo recepture asfaltne zmesi.

Prednosti pa so predvsem:

- velika zmogljivost in
- manjše število sklopov v postrojenju.

2.3.2 Postopek proizvodnje

Kot sem že omenil, je HBZ zmes za vgraditev v hladnem stanju, medtem ko proizvodnja te zmesi poteka po postopku, s katerim se proizvaja vroče asfaltne zmesi.

Vendar pa postopek proizvodnje ni povsem enak postopku proizvodnje vročih zmesi. Najpomembnejša razlika je v temperaturi proizvedene asfaltne zmesi, katera mora biti pri hladnih zmesih zaradi dodatkov čim manjša (načeloma okrog 100 °C) oziroma temperatura hladne bituminizirane zmesi ne sme presegati 110 °C (slika 12).



Slika 12: Temperatura vzorca tik po proizvodnji hladne asfaltne zmesi

Poznamo tri načine proizvodnje hladne asfaltne zmesi, ki se razlikujejo glede na vrsto veziva.

V prvem primeru imamo modificirano bitumensko vezivo z dodatkom proti hitremu strjevanju. Tak bitumen je fluksiran bitumen (FBK). Problem pri proizvodnji zmesi z takim bitumnom je, da mora biti zaradi dodatka temperatura bitumna čim nižja – nekje med 80 °C in 95 °C, kar pa ima za posledico večje notranje trenje, zaradi katerega bitumen težje teče. Torej je bitumen bolj lepljiv. Posamezni deli proizvodnih obratov za asfaltne zmesi so natančno dimenzionirani glede na namen uporabe. Poglejmo na primer tehniko proizvodnega obrata za vroče asfaltne zmesi. Ta tehnika je dimenzionirana na temperature bitumna, ki je namenjen proizvodnji vročih zmesi. Če se na to tehniko spusti bitumen z

nižjo temperaturo, torej je bitumen bolj lepljiv, nastane problem odtekanja bitumna s tehtnice. Ker pa so proizvodni obrati računalniško vodeni, sistem ne dovoli novega doziranja, dokler celoten bitumen ne odteče s tehtnice. To pa ima za posledico podaljšan čas proizvodnje zmesi in možnost okvar zaradi prehitrega polnjenja prekatov za vroče zmesi kamnitih zrn. Taka tehtnica na takem proizvodnem obratu predstavlja t. i. ozko grlo. Da pa bi proizvodnja hladne zmesi na takem obratu potekala nemoteno, mora biti temperatura bitumna najmanj 95 °C ali pa tehtnica prilagojena na proizvodnjo hladne asfaltne zmesi. Temperaturo zmesi kamnitih zrn se prilagaja glede na temperaturo končne zmesi.

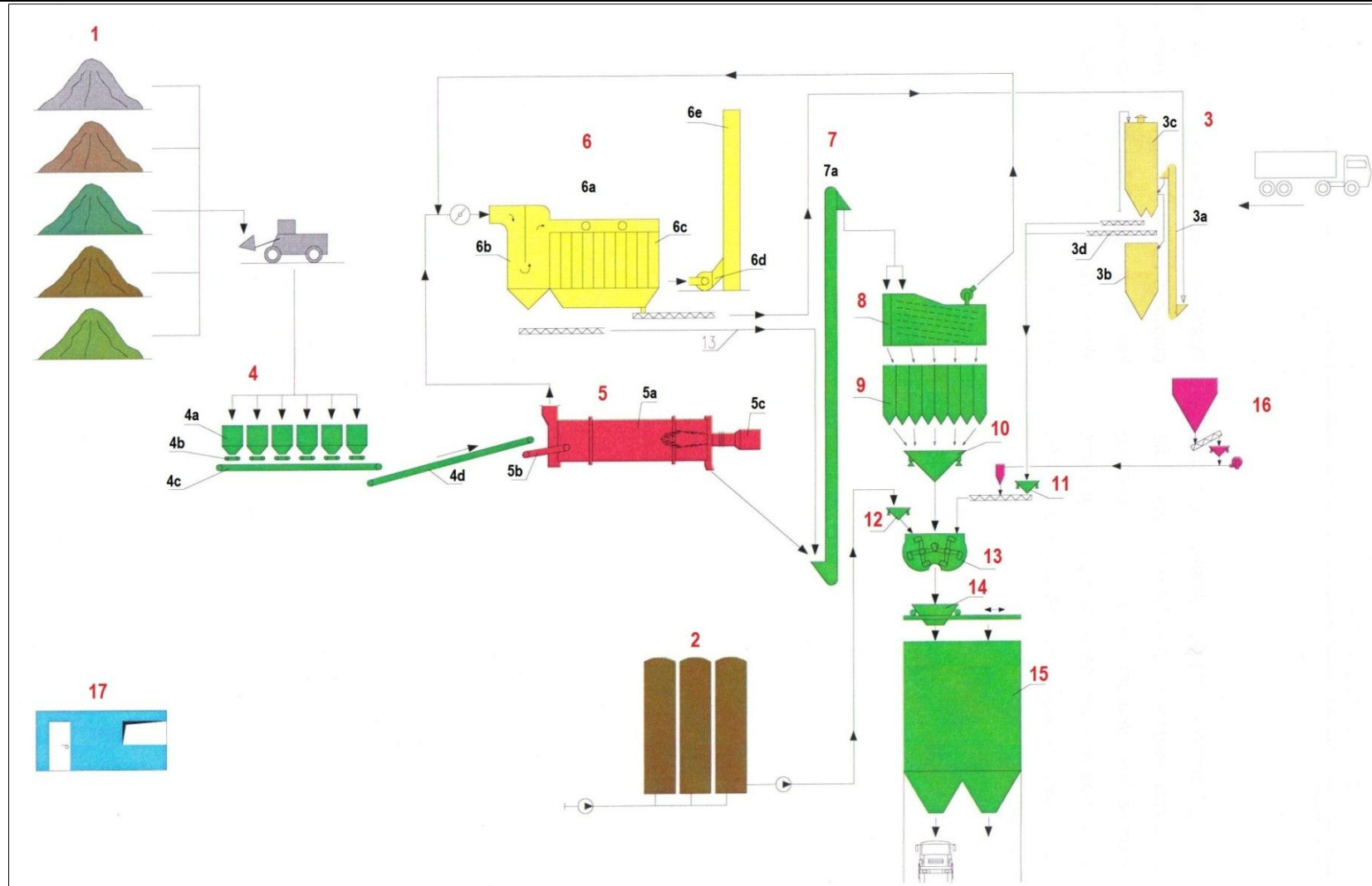
V drugem primeru je vezivo sestavljeno iz bitumna, katerega temperatura naj bo 145 °C in fluksirnega olja (ang. flux oil) kot sredstvo proti hitremu strjevanju. V tem primeru ni problema z doziranjem bitumna in je proizvodnja zmesi nemotena. Je pa potrebno posebno pozornost posvetiti času mešanja ter načinu in času doziranja olja. Ko je v mešalniku zmes kamnitih zrn se začne postopek suhega mešanja, čez določen čas pa se vbrizgava še določena količina predhodno stehtanega veziva. To se meša 15 sekund, nato pa se čim bolj enakomerno po celotni mešanici pobrizga z oljem. Olje se dozira iz dozatorja za tekoče dodatke preko tehtnice. Potrebna količina olja je od 25 do 35 % na maso bitumna. Seveda je razmerje odvisno od celotne sestave zmesi. Če je več bitumna se potrebuje nekaj več olja, vendar če se zmanjša količina bitumna se lahko zgodi, da ga bo premalo za učinkovito vezavo zmesi. Po končanem doziranju olja se meša še 30 sekund, tako da je celotna zmes napojena, nato se zmes iztovori in odpelje na ohlajanje in skladiščenje. Za zagotovitev čim nižje temperature končne zmesi je potrebno zmes kamnitih zrn posušiti in segreti pri nižji temperaturi (okrog 95 °C z toleranco ± 3 °C). Tako se dobi mešanico s temperaturo okrog 97 °C.

Tretji primer proizvodnje je podoben prvemu, s to razliko, da lahko modificiran bitumen proizvedemo na proizvodnem obratu. Za izdelavo takega bitumna se potrebuje bitumen, kurilno olje in koncentrat ter ustrezno strojno opremo. Proizvodnja veziva poteka po postopku opredeljenem v preglednici 11 na strani 19.

2.3.3 Postopek šaržne proizvodnje s prekinjenim procesom

Postopek proizvodnje asfaltne zmesi je razdeljen na več medsebojno usklajenih postopkov (slika 13):

- skladiščenje zmesi kamnitih zrn,
- skladiščenje veziva – bitumen,
- skladiščenje polnila,
- preddoziranje zmesi kamnitih zrn,
- sušenje in segrevanje zmesi kamnitih zrn ,
- odpraševanje in polnjenje polnilnika,
- dviganje vroče zmesi kamnitih zrn,
- sejanje vroče zmesi kamnitih zrn,
- skladiščenje vroče zmesi kamnitih zrn po velikosti zrn (frakcijah),
- doziranje in tehtanje vroče zmesi kamnitih zrn po recepturi,
- doziranje in tehtanje polnila,
- dodajanje stehtanih dodatkov,
- mešanje materialov z istočasnim vbrizgavanjem vročega stehtanega bitumna,
- praznjenje mešalnika,
- skladiščenje vroče asfaltne zmesi,
- krmiljenje proizvodnje.



Slika 13: Shematski prikaz postopka proizvodnje asfaltne zmesi (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Skladiščenje zmesi kamnitih zrn (1 na sliki 13)

Zmes kamnitih zrn je lahko: pesek, drobir in prod.

Pri skladiščenju se mora paziti, da je prostor skladiščenja primerno velik, saj je potrebno zmesi kamnitih zrn skladiščiti tako, da ne pride do mešanja. Mešanje se lahko prepreči tudi z ločilnimi pregradami. Poleg tega naj bi bil prostor skladiščenja pokrit (slika 14), saj se s tem prepreči vlaženje materiala, posledično pa varčevanje pri sušenju le tega. Če se prostora ne more v celoti pokriti je potrebno zagotoviti pokrit prostor vsaj nad tistimi zmesmi kamnitih zrn, ki se jih najpogosteje uporablja.

Zmesi kamnitih zrn se lahko skladišči tudi v dozirnih napravah, doziranje le-teh pa poteka skladno z recepturo preko odvajalnih trakov v sušilni boben.



Slika 14: Deponija za zmesi kamnitih zrn ločene po frakcijah

Skladiščenje veziva – bitumen (2 na sliki 13)

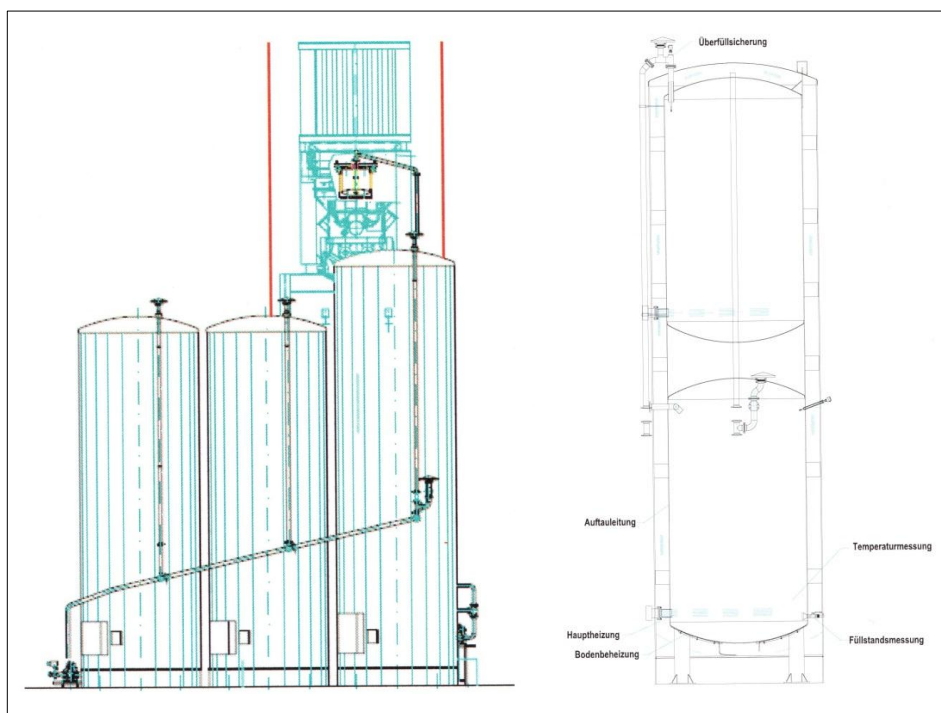
Skladiščenje veziva je ločeno po vrsti bitumna, torej vsak bitumen ima svojo cisterno (sliki 15 in 16).

Naprave za skladiščenje veziva morajo izpolnjevati naslednje zahteve:

- Za vsako vrsto veziv uporabljeno pri proizvodnji mora biti dovolj zmogljivosti za nemoteno proizvodnjo.
- Vse cisterne morajo biti ogrevane, v času skladiščenja veziva, s posrednim segrevanjem in omogočati primerno temperaturo.
- Vse cisterne morajo imeti termo ventile za avtomatsko regulacijo željene temperature veziva.
- Vse cisterne morajo imeti termometre.
- Vse cisterne morajo imeti črpalke za polnjenje cistern.
- Vsi cevovodi morajo biti ogrevani.
- Vse cisterne morajo imeti pipe za odvzem vzorcev.



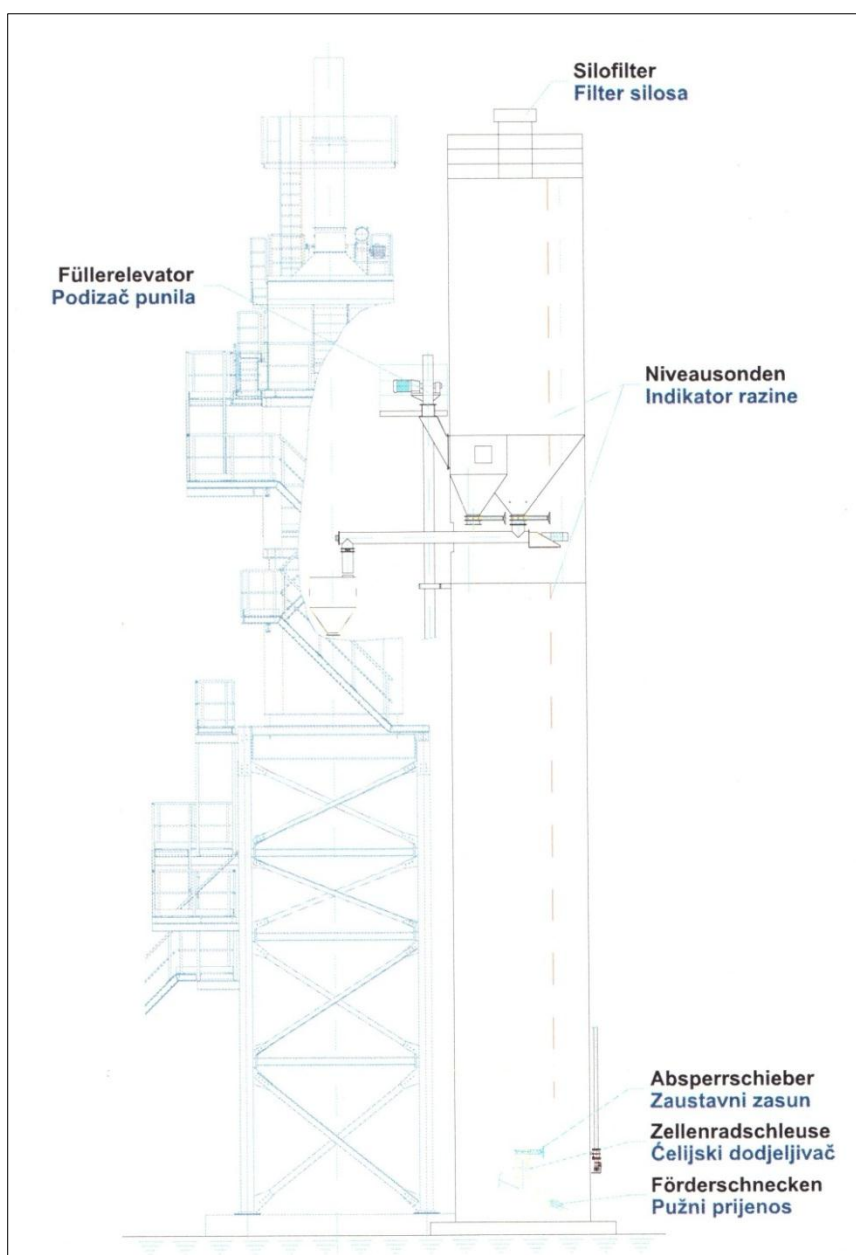
Slika 15: Cisterne za vezivo



Slika 16: Cisterne za vezivo (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Skladiščenje polnila (3 na sliki 13)

Polnilo zaradi svoje sestave lahko nase veže izredno veliko količino vode, kar pa oteži proizvodnjo asfaltne zmesi. Ravno zaradi tega se mora polnilo skladiščiti v zaprtih silosih (slika 17). Dodatno in lastno polnilo se skladišči v ločenih silosih. Položaj silosov je različen, odvisen pa je predvsem od velikosti proizvodnega obrata in količine uporabljenega polnila. Lahko sta eden nad drugim, kjer je načeloma na vrhu lastno polnilo, pridobljeno s sušenjem in segrevanjem kamnitega materiala, medtem ko je v spodnjem silosu tuje oz. dodatno polnilo, ki se ga dostavi z avtocisternami. Drug možen položaj je drug ob drugem. Kar je pomembno pri skladiščenju polnila je to, da morajo biti polnila strogo ločena zaradi različne kakovosti, ki je pomembna pri proizvodnji asfaltnih zmesi za težje prometne obremenitve. Načeloma so lastna polnila bistveno slabša od tujih, saj lahko vsebujejo primesi (manj obstojna zrna), ki bistveno vplivajo na trajno obstojnost asfaltne zmesi.



Slika 17: Silos za polnilo (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Preddoziranje zmesi kamnitih zrn (4 na sliki 13)

Zmesi kamnitih zrn se dozira z dovajanjem preko nastavljivih dovajalnih trakov (4b) dozirnih naprav (4a). Preko zbirnega traku (4c) in tekočega traku (4d) pridejo surovine v sušilni boben.

Namen preddoziranja je predhodno odmerjanje posameznih zrnivosti zmesi zrn, ki se jih potrebuje za izdelavo asfaltne zmesi in so odvisne od postopka mešanja asfaltnih zmesi. Pri neprekinjem (kontinuiranem) postopku je proizvodnja v celoti odvisna od natančnega predhodnega odmerjanja posameznih frakcij, medtem ko je pri šaržnem postopku predhodno odmerjanje pomembno le za dopolnjevanje zmanjšane zaloge surovin v prekatih, ali pa za zagotavljanje tekoče proizvodnje.

V veljavi sta dva načina doziranja:

- grobo z določanjem velikosti odprtine na dnu prekata,
- natančno s tehtnico pod prekatom.

Pri preddoziranju (slika 18) je potrebno upoštevati tudi masni delež vode, ki ga morda vsebujejo posamezne frakcije kamnitega materiala. Ravno zaradi tega so določeni precati preddozatorjev pokriti. S tem zagotovimo, da je material ves čas suh.



Slika 18: Preddozatorji s sistemom transportnih trakov

Sušenje in segrevanje zmesi kamnitih zrn (5 na sliki 13)

Sušenje zmesi kamnitih zrn se odvija v sušilnem bobnu (5a), v katerega se zmesi dodajajo preko dodajalnega traku bobna (5b). Toploto, potrebno za sušenje materiala, proizvaja gorilnik (5c). Glede na sestavo naprave se za ogrevanje uporablja kurilno olje, zemeljski plin in premog. Sušilni postopek in temperaturo segrevanja (za večino vrst asfaltnih zmesi je temperatura okrog 190 °C) se nastavlja glede na vrsto zmesi in njegovo vlago ter glede na vrsto veziva. Pri šaržnem načinu mešanja se materiali sušijo in segrevajo tako, da potujejo od hladnejšega dela bobna proti gorilniku. Na tak način se zmesi kamnitih zrn preko vgrajenih elementov bobna zrahljajo, posušijo, segrejejo in nato odvedejo iz bobna (slika 19).



Slika 19: Sušilni boben z gorilnikom

Odpraševanje in polnjenje polnilnika (6 na sliki 13)

Vroči plini, nasičeni s prahom, se odvajajo preko odpraševalne naprave (6a), v kateri se izločijo ločeno grobi (6b) in fini (6c) prašni delci. Prečiščene pline se nato s pomočjo izpuha (6d) skozi dimnik (6e) spusti v ozračje.

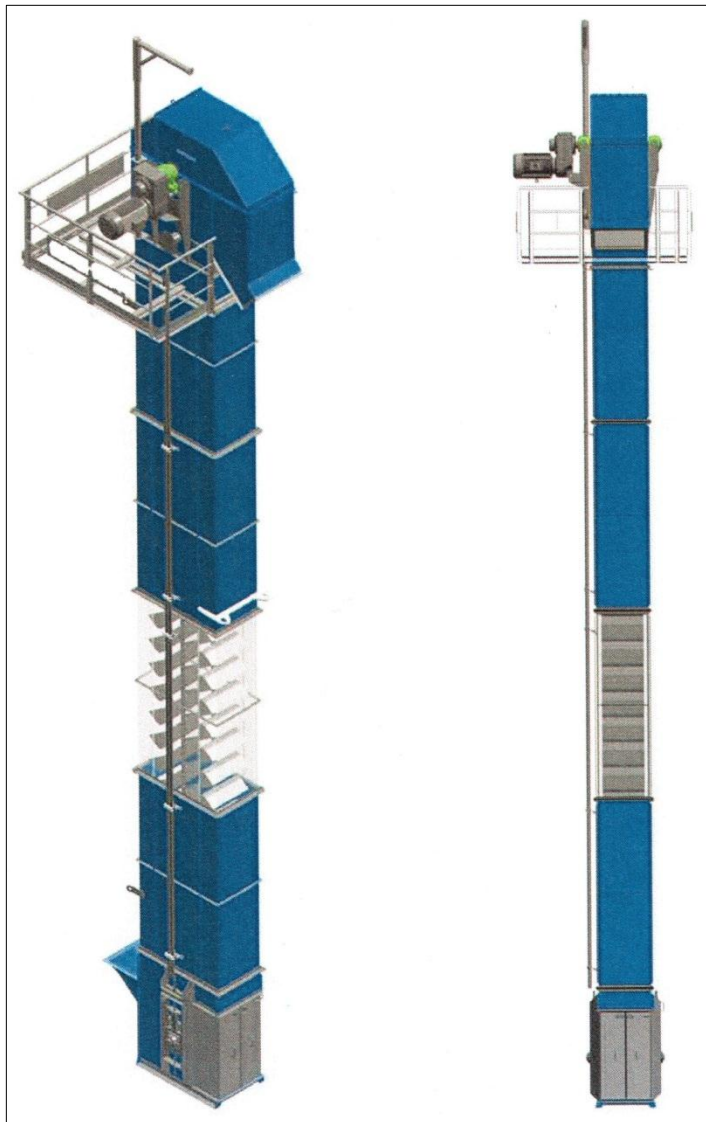
Fini prašni delci, ki se izločijo v filter, se prenesejo v silos lastnega polnila in preko polnilnega polža na ločeno tehtnico za polnilo, od koder se skladno z recepturo dodajajo v mešalnik.

Grobi delci se izločijo v predizločevalniku in se preko podajalnega polža transportirajo v dvigalo za vroč material.

Enako se zgodi s prahom iz naprave za odpraševanje sitastega korita in izpušnih plinov bobna granulata.

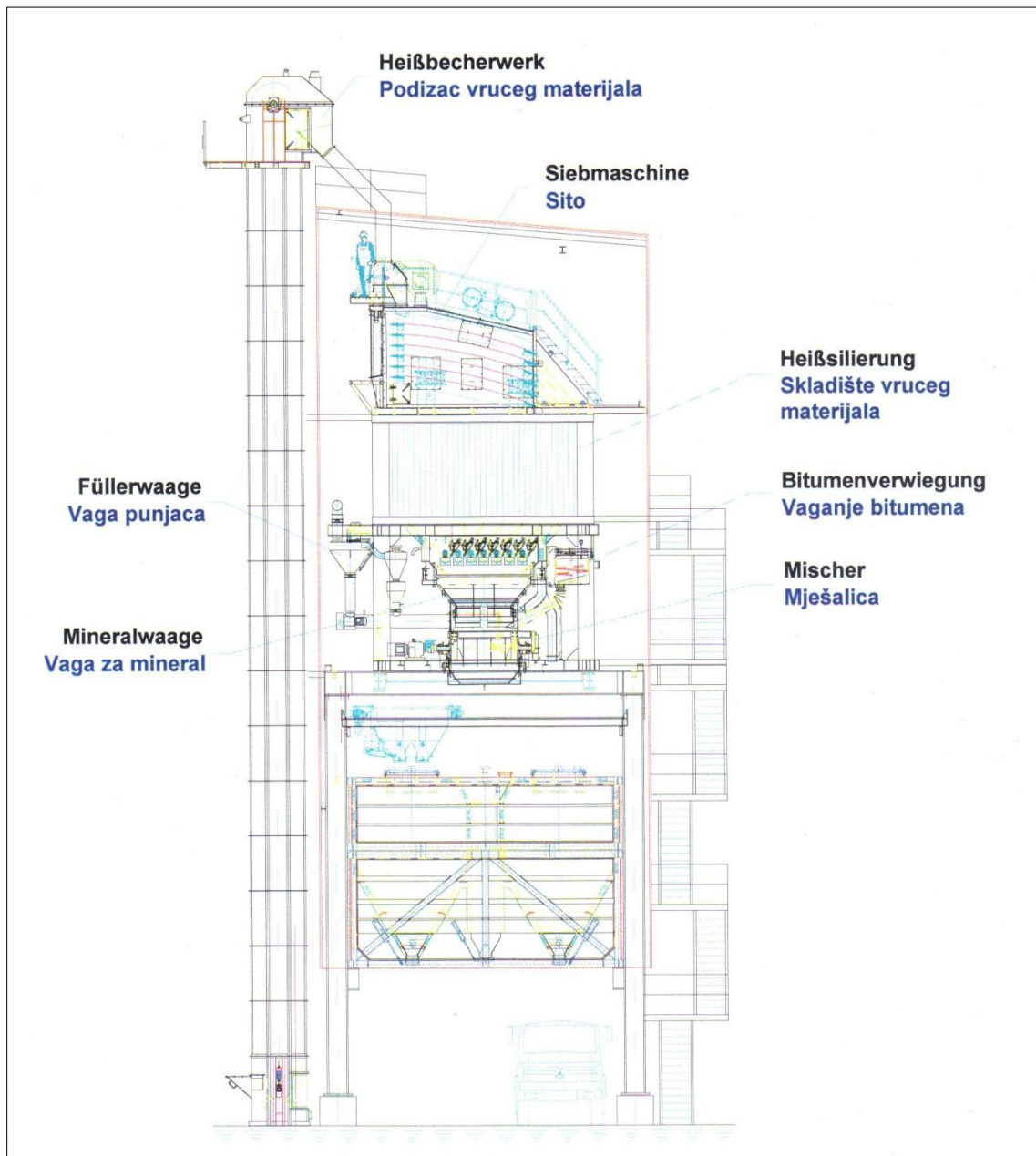
Dviganje vroče zmesi kamnitih zrn (7 na sliki 13)

Posušeno vročo zmes kamnitih zrn in grobi prah se z dvigalom – elevatorjem (slika 20) – zapelje v sejalnik za zmesi kamnitih zrn.



Slika 20: Dvigalo – elevator (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

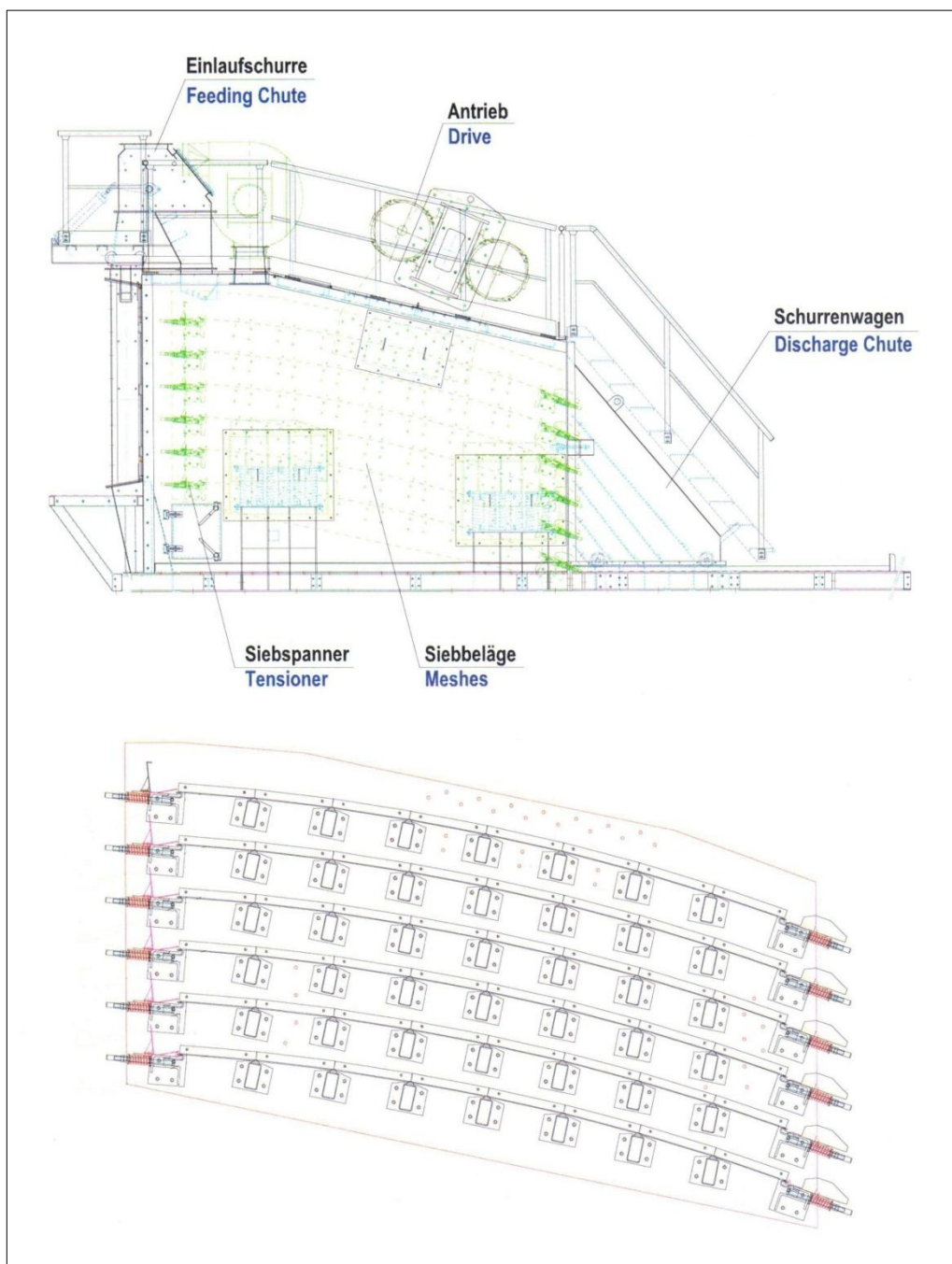
Nadaljnji postopki proizvodnje se odvijajo v mešalnem stolpu (slika 21).



Slika 21: Mešalni stolp (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Sejanje vroče zmesi kamnitih zrn (8 na sliki 13)

Preko opreme za sejanje (8) s sistemom sit (slika 22), prilagojene konstrukciji naprave, se zmes kamnitih zrn ponovno preseje. V povezavi s sejanjem je potrebno omeniti redno preverjanje stanja sit, saj obrabljena sita lahko povzročijo velike težave pri zagotavljanju primerne kakovosti asfaltne zmesi.



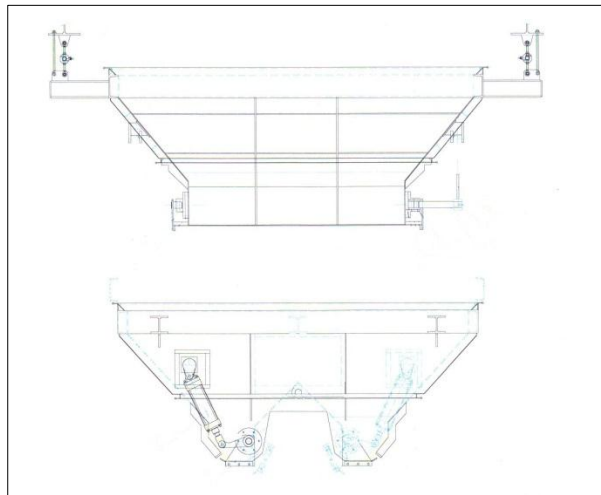
Slika 22: Sito in sistem sit (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Skladiščenje vroče zmesi kamnitih zrn po velikosti zrn (9 na sliki 13)

Presejane zmesi kamnitih zrn se ločene po frakcijah skladiščijo v prekatih za vroče kamnite materiale (9).

Doziranje in tehtanje vroče zmesi kamnitih zrn po recepturi (10 na sliki 13)

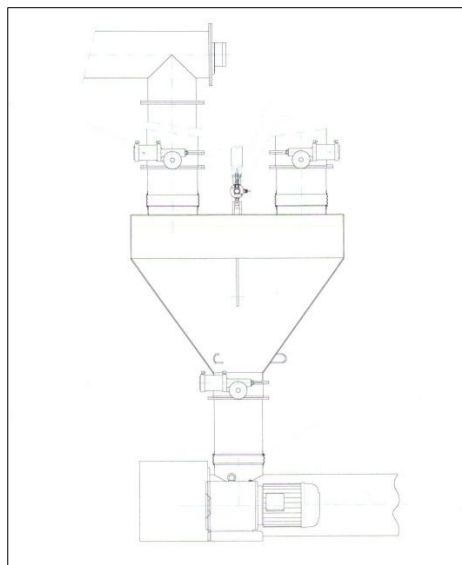
Skladno z recepturo se iz prekatov za vroče zmesi kamnitih zrn posamezne frakcije stehta na tehtnici (10) in dozira v mešalnik (13). Na sliki 23 je prikazana tehtnica za vroče zmesi kamnitih zrn.



Slika 23: Tehtnica za vroče zmesi kamnitih zrn (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Doziranje in tehtanje polnila (11 na sliki 13)

Polnilo se na tehtnico za tehtanje polnila (11) transportira iz mesta skladiščenja polnila (3) preko dvigala za polnilo (3a) in sistema polžev. Stehtano polnilo se nato dozira v mešalnik. Slika 24 prikazuje tehtnico za tehtanje polnila.

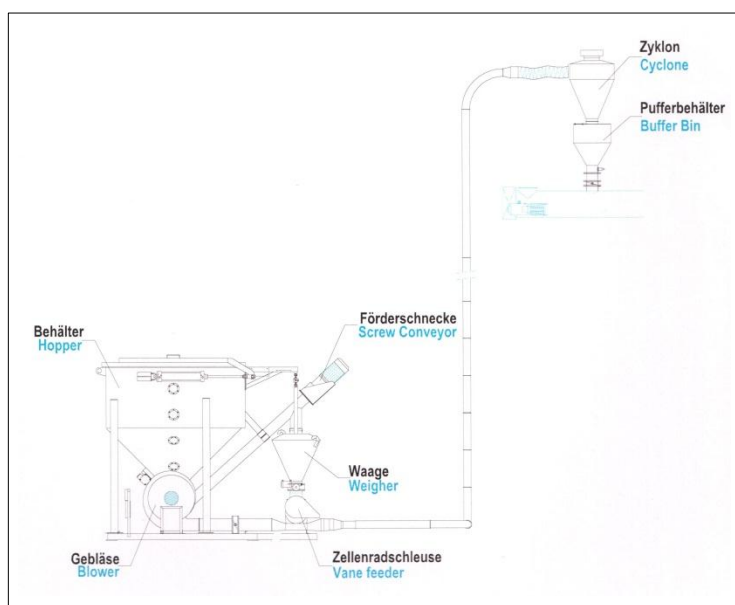


Slika 24: Tehtnica za tehtanje polnila (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Dodajanje stehanih dodatkov (16 na sliki 13)

Trdi dodatki

Iz mesta skladiščenja, ki je načeloma silos za dodatke, se preko transportnega polža v ciklon dozirajo trdi dodatki (kot so celulozna vlakna). V ciklonu je tehtnica, na kateri se skladno z recepturo odtehta ustrezno količino dodatka. Dodatek se prenese v mešalni stolp, potem pa se jih istočasno s polnilom preko polža dozira v mešalnik. Pomembno je, da suho mešanje traja dovolj dolgo (načeloma 5 sekund), saj se mora dodatek enakomerno razporediti po vsej zmesi kamnitih zrn in polnila. Sistem doziranja dodatka je prikazan na sliki 25.



Slika 25: Sistem doziranja dodatka (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

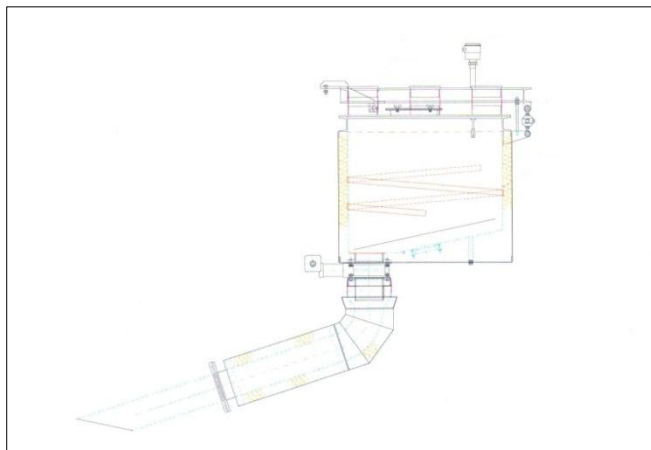
Tekoči dodatki

Iz mesta skladiščenja, načeloma je to cisterna za tekoče dodatke, se po cevovodu v manjši zbiralnik dozirajo dodatki, kot na primer olje. Tehtnica skladno z recepturo odtehta ustrezno količino dodatka, ki se nato dozira v mešalnik. Dodatek se nato dodaja glede na navodila proizvajalca dodatka. Načeloma se tekoče dodatke dozira po doziranju in mešanju bitumna, in sicer na način tuša. Torej se jih čim bolj enakomerno razprši po celotni zmesi.

Mešanje materialov (13 na sliki 13) z istočasnim vbrizgavanjem vročega stehtanega bitumna (12 na sliki 13)

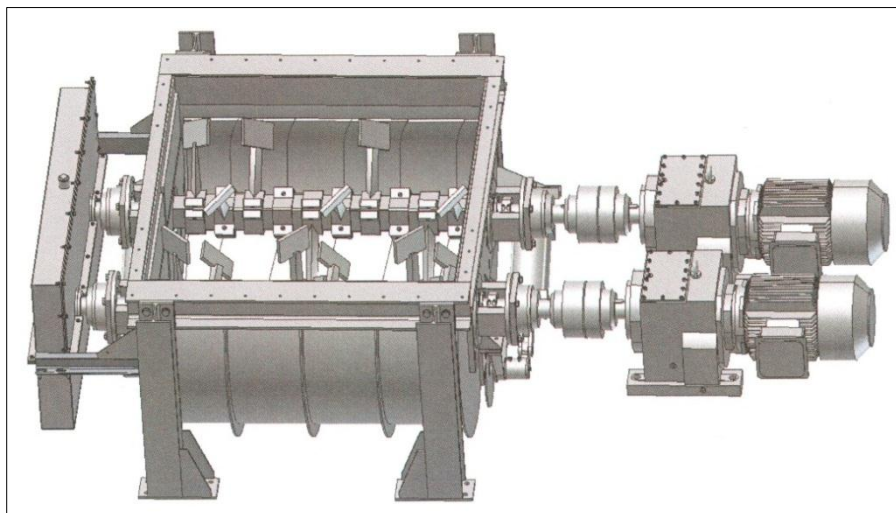
Po dovodu zmesi kamnitih zrn in polnila, ter po potrebi dodatnih dodatkov, se začne postopek suhega mešanja, čez določen čas pa se vbrizgava še določena količina predhodno stehtanega veziva.

Vezivo se odmerja na podlagi tehtanja veziva na tehtnici za vezivo (12), do katere pride preko cevi iz mesta skladiščenja veziva (2). Proizvodni obrat ima lahko namesto tehtnice za odmerjanje veziva (slika 26) števec pretoka. V tem primeru se vezivo odmerja na podlagi odmerjanja prostornine veziva.



Slika 26: Tehtnica za tehtanje veziva (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Mešanje osnovnih sestavin in morebitnih dodatkov poteka s praznjenjem mešalnika približno eno minuto. V primeru, da dodatki niso potrebni, pa približno 45 sekund. V tem času je potrebno zagotoviti popolno obvitje vseh zrn z vezivom ter enakomerno razporeditev vseh sestavin v asfaltni zmesi. To se lahko zagotovi bodisi z mešalniki s hitro vrtečimi lopaticami (slika 27), s katerimi se zagotovi lebdenje zrn v zraku in brizganjem veziva, bodisi z mešalniki, ki s počasnim vrtenjem zmes gnetejo in stiskajo. Postopek mešanja mora potekati v območju delovanja lopatic, zato se mora paziti na količino asfaltni zmesi v mešalniku. Tako premalo kot preveč poln mešalnik lahko privede do neenakomerne asfaltni zmesi. Da se zagotovi primerno mešanje, je potrebna primerna viskoznost veziva, ki se jo zagotovi z določeno minimalno temperaturo, ki pa je odvisna od vrste asfaltni zmesi. Predvsem zaradi možnosti nastanka sprememb v sami strukturi bitumna je temperatura omejena tudi navzgor.



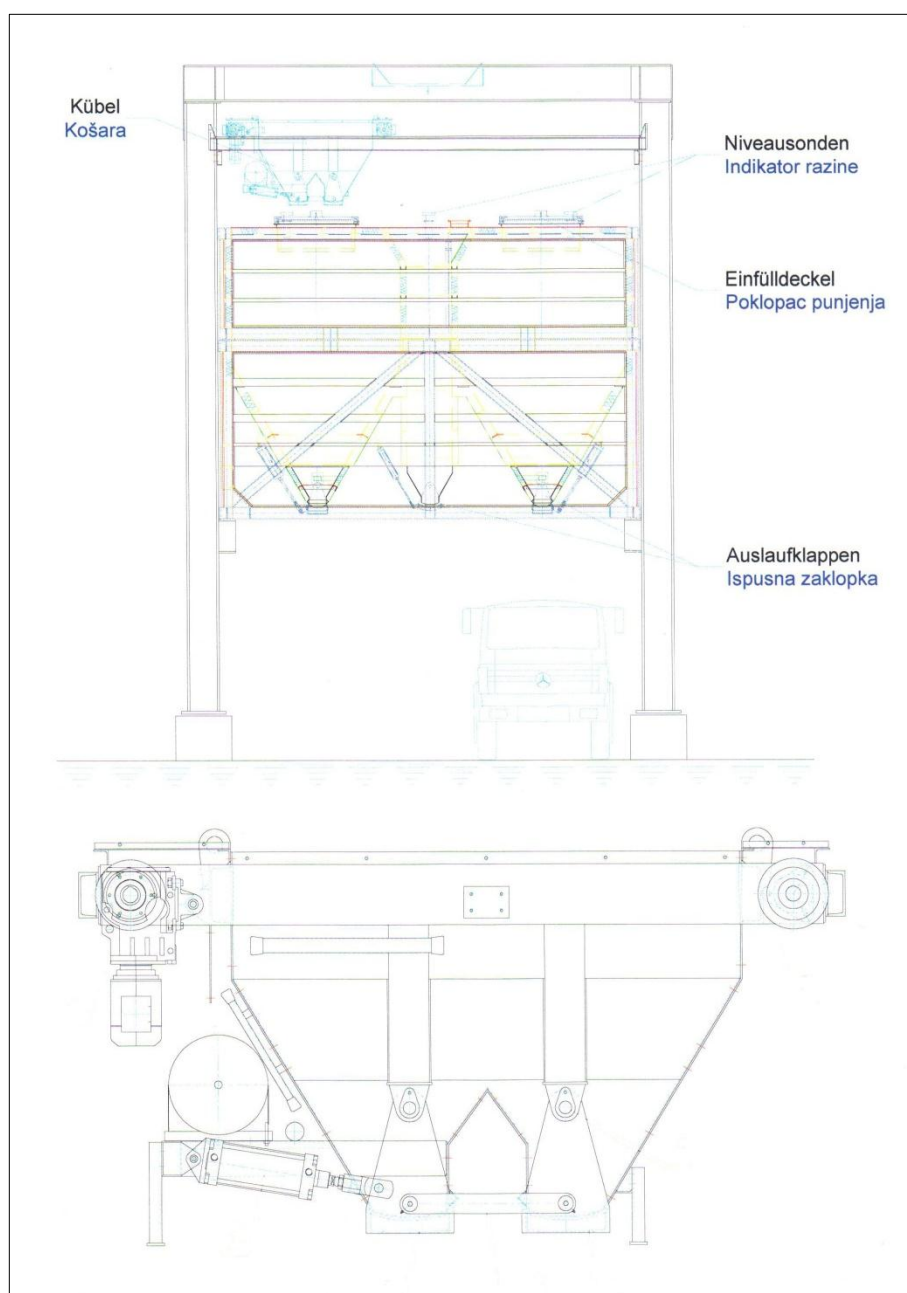
Slika 27: Mešalnik asfaltni zmesi (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Praznjenje mešalnika (14 na sliki 13)

Po končanem mešanju sledi odvajanje asfaltne zmesi, ki lahko glede na krmilni sistem naprave poteka neposredno na tovorno vozilo ali v voziček (14). Ta nato material odvaža v ustrezni prekat nakladalnega silosa (15).

Skladiščenje vroče asfaltne zmesi (15 na sliki 13)

Kot sem že omenil, se proizvedena asfaltna zmes lahko preko vozička transportira v nakladalni silos, kjer se skladišči. Polnjenje transportnih vozil se izvaja glede na konstrukcijo naprave, saj obstaja možnost neposrednega nakladanja na tovorno vozilo. Silosi asfaltnih zmesi (slika 28) morajo biti večpreklatni in dobro toplotno izolirani, da je čim manjša izguba toplote v času skladiščenja. Prav tako morajo biti toplotno ogrevani izpusti silosov.



Slika 28: Prikaz nakladalnega silosa in vozička (Benninghoven. Dokumentacija, 2008) [15]

Krmiljenje proizvodnje (17 na sliki 13)

Krmiljenje proizvodnje poteka v komandni kabini (slika 29), kjer se preko računalniškega programa vnese recepturo in vodi proizvodnjo asfaltnih zmesi. Sama kabina naj bi bila postavljena na tako mesto, da imamo čim boljši pogled na celotno strojno opremo asfaltne baze, ki jo opravlja ustrezno usposobljena oseba. Oseba, ki vodi proizvodnjo, ima omogočeno nemoteno komunikacijsko zvezo z vsemi zaposlenimi, ki s svojim delom prispevajo k nemoteni proizvodnji.



Slika 29: Pisarna s krmilniki in računalniki z uporabniškimi vmesniki

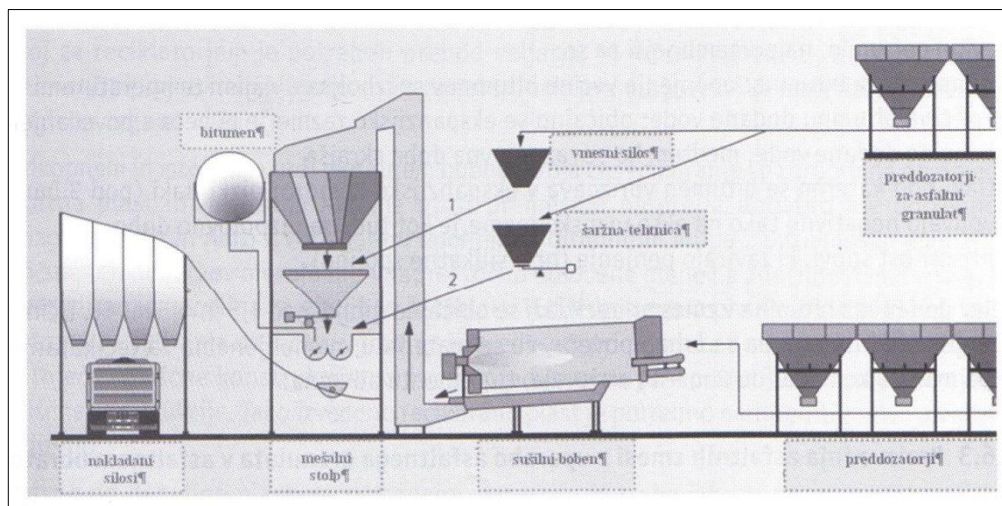
Vsi naštetni sestavni elementi asfaltne obrata so prirejani tako glede velikosti kot tudi sestave, zahtevam uporabnika.

Dodajanje asfaltne granulate

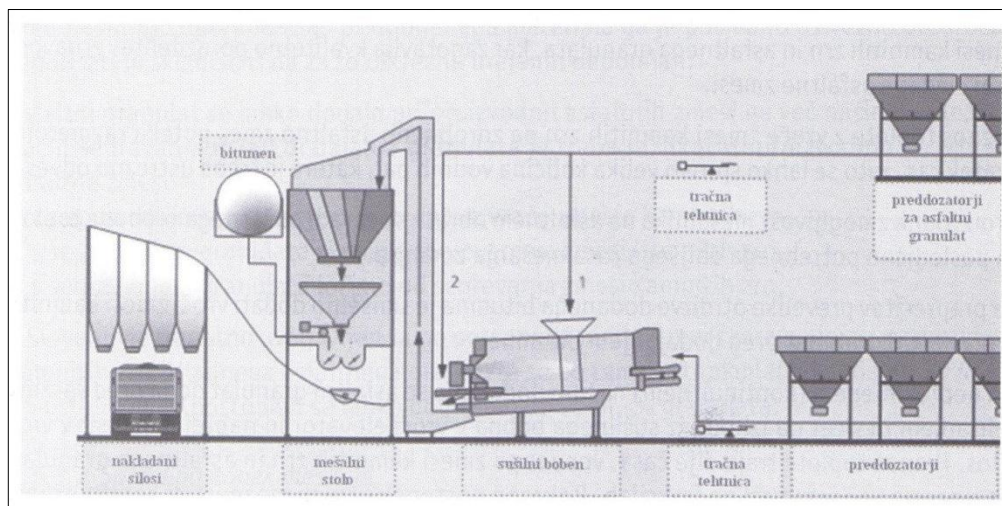
Pri proizvodnji hladnih asfaltnih zmesi se lahko uporablja tudi asfaltni granulati, ki se v proces proizvodnje dodaja kot:

- Hladnega, ki se ga nato segreva z vročo zmesjo kamnitih zrn (slika 30).
- Segretega v skupnem sušilnem bobnu (slika 31).
- Segretega v ločenem sušilnem bobnu (slika 32).

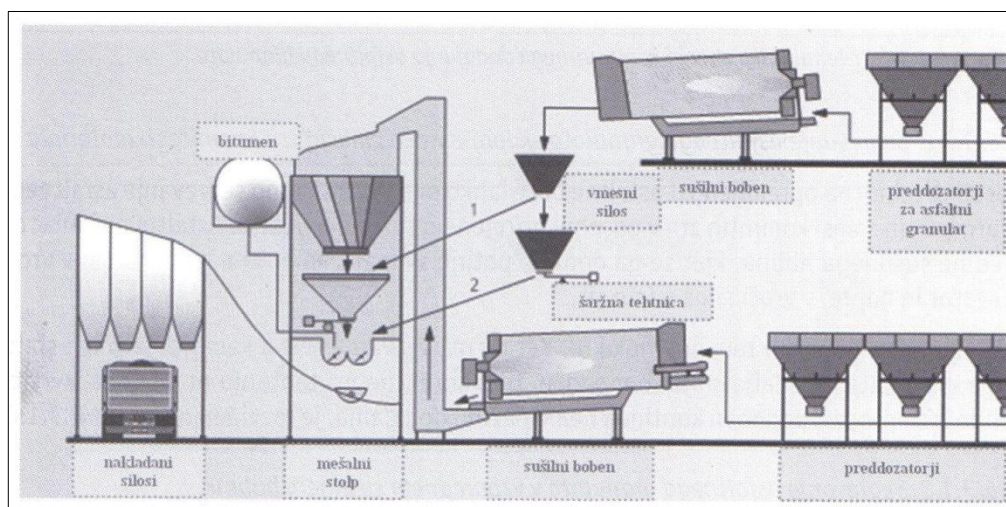
Pri prvem načinu dodajanja se lahko doda do 30 m.-% hladnega asfaltne granulate, medtem ko se lahko pri ostalih dveh doda do 90 m.-%.



Slika 30: Dodajanje hladnega asfaltnega granulata (Bašelj, Bradeško, Kerstein, Marolt, Planinc, Podgoršek, Šuštar, Willenpart, 2011: str. 166) [16]



Slika 31: Dodajanje segretega asfaltnega granulata v skupnem sušilnem bobnu (Bašelj, Bradeško, Kerstein, Marolt, Planinc, Podgoršek, Šuštar, Willenpart, 2011: str. 168) [16]



Slika 32: Dodajanje segretega asfaltnega granulata v ločenem sušilnem bobnu (Bašelj, Bradeško, Kerstein, Marolt, Planinc, Podgoršek, Šuštar, Willenpart, 2011: str. 168) [16]

2.4 Skladiščenje hladne bituminizirane zmesi

Proizvedena hladna asfaltna zmes ima temperaturo okrog 100 °C, zato jo je potrebno pustiti odkrito na skladiščnem prostoru približno en dan, da se nekoliko ohladi in da izparijo nevezane količine olja. Hladno asfaltno zmes se lahko skladišči v razsutem stanju ali embalirano v različne embalaže – PE vedro ali vreča (slika 33).

Skladiščenje v razsutem stanju se ne priporoča zaradi oksidacije – strjevanja zmesi, izcejanja veziva ter posledično tvorjenja grud. Če pa se že uporabi tako vrsto skladiščenja mora biti skladiščni prostor suh, asfaltna zmes pa pokrita.

Embaliranje se izvaja pri temperaturi med 30 °C in 40 °C, odvisno od embalaže.

Zmes se lahko skladišči tudi pri temperaturah pod 0 °C, vendar se mora upoštevati, da se hladna asfaltna zmes zaradi zračne vlage polagoma strdi in da se jo težje obdeluje. V tem primeru je potrebno hladno asfaltno zmes zaradi lažje obdelave predhodno skladiščiti v ogrevanih prostorih pri približno od +10 °C do +15 °C. Če je zmes v plastičnih vrečah, se lahko ustrezno količino za naslednji dan zimskega vzdrževanja prenese v bolj topel prostor, da se nekoliko zmehta. Prav tako pa ni priporočljivo, da je v poletnih mesecih hladna asfaltna zmes izpostavljena direktnim sončnim žarkom.



Slika 33: Skladiščenje in pakiranje hladne asfaltne mase (CPG, 2012) [17]

2.5 Vrste hladnih bituminiziranih zmesi

Vsak proizvajalec teži k temu, da razvije svoj izdelek, zato je tudi hladnih zmesi »veliko vrst«. V osnovi pa gre vedno za zmes kamnitih zrn vezanih z bitumnom, kateremu je dodano sredstvo proti hitremu vezanju (strjevanju), to je olje. Z uporabo različnih vrst olj se dobi tudi različne vrste hladnih asfaltnih zmesi. To so hladne asfaltne zmesi, ki vsebujejo sintetična olja in eko hladne asfaltne zmesi z olji rastlinskega izvora.

Vrste hladnih asfaltnih zmesi so odvisne tudi od:

- Sestave zmesi zrn (dimenzije zrn):
 - Frakcije zrn 0/2, 0/3, 0/4 in 0/5 za izdelavo slojev debeline do 3 cm.
 - Frakcije zrn 0/8 in 0/11 za izdelavo slojev debeline nad 3 cm.
- Uporabljenega veziva:
 - Poseben vezivni material, ki ima lastnost, da se ob stiku z vlago strdi.
- Namena uporabe:
 - Za popravila poškodovanih betonskih in asfaltnih površin.
 - Za odpravljanje udarnih jam, razpok zaradi zmrzali.
 - Za dokrpanje robnih pasov in ramp dovozov.
 - Za popravilo in ohranjanje cest, pločnikov, peronov in uvozov na dvorišča.

2.6 Tankoplastne prevleke po hladnem postopku

2.6.1 Področja uporabe

Asfaltne zmesi za tankoplastne prevleke se uporablja za izdelavo obrabnih in zapornih plasti na obstoječih in novih vozniških površinah vseh prometnih obremenitvenih skupin.

2.6.2 Namen uporabe

S tankoplastnimi prevlekami je mogoče:

- Zatesniti razpoke in odprtine na asfaltni površini in jo s tem zaščititi pred atmosferskimi vplivi.
- Povečati torno sposobnost vozišča.
- Izboljšati ravnost obrabne asfaltne plasti.
- Zmanjšati hrupnost vozne površine.

Uporaba tankoplastnih prevlek je primerna predvsem zaradi:

- manjše porabe energije,
- ekonomične uporabe vhodnih materialov,
- manjšega onesnaževanja okolja,
- hitrejše uporabe vozišča po vgradnji.

2.6.3 Osnovni materiali

Pri proizvodnji tankoplastnih prevlek za obrabne in zaporne plasti voziščnih konstrukcij se uporablja naslednje materiale:

- zmes kamnitih zrn,
- bitumensko vezivo,
- dodatki.

Zmes kamnitih zrn

Je za tankoplastne prevleke po hladnem postopku sestavljena iz zrn:

- drobljenega peska in
- drobirja.

Lastnosti in kakovost peska ter drobirja so podrobneje opredeljene v poglavju 2.1.1.1 – Vrste in kakovost materialov.

Bitumensko vezivo

Kot bitumensko vezivo se za proizvodnjo bituminiziranih zmesi za tankoplastne prevleke po hladnem postopku uporablja polimerno bitumensko emulzijo. Lastnosti polimerne bitumenske emulzije so opredeljene v preglednici 15.

Preglednica 15: Lastnosti polimernih bitumenskih emulzij za tankoplastne prevleke (TSC, 2003: str. 11) [7]

Lastnost bitumenske emulzije	Enota mere	Zahteva
- vrsta naboja	-	kationska
- zunanji izgled	-	rjava, tekoča homogena
- vsebnost bitumna	m.-%	≥ 58
- ostanek na situ	m.-%	≤ 0,5
- obstojnost pri skladiščenju po 4. tednih	m.-%	≤ 0,5
- stabilnost	g	≥ 150
- viskoznost (viskozimeter za katran, 4 mm)	s	¹⁾
- obvijanje	%	≥ 90
Bitumen, izdvojen iz emulzije:		
- zmečkaišče po PK	°C	≥ 50
- pretrgališče po Fraassu	°C	≤ - 15
- elastični povratek (30 min., 25 °C)	%	≥ 40

Legenda

¹⁾ po navedbi proizvajalca

Dodatki

Dodatki, ki se uporabljajo pri proizvodnji tankoplastnih prevlek po hladnem postopku so:

- Voda, ki zagotavlja primerno vgradljivost asfaltne zmesi.
- Portland cement ali hidrirano apno, ki omogočata pospešitev ali upočasnitev razpada bitumenske emulzije, in s tem uravnavanje konsistence in odpornosti proti segregaciji asfaltne zmesi.

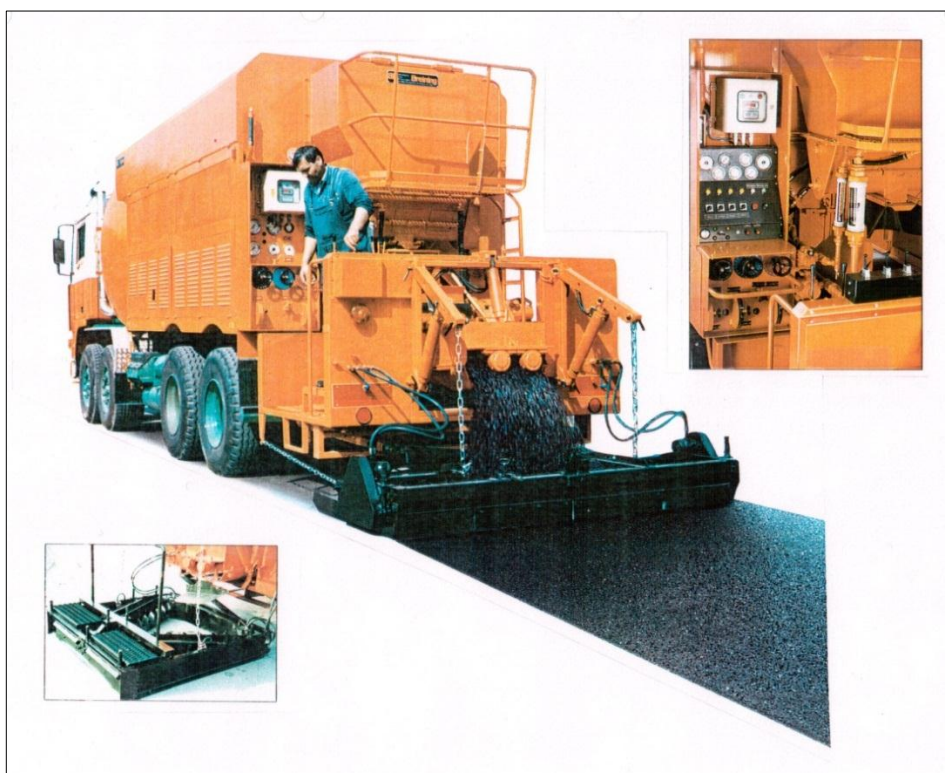
2.6.4 Proizvodnja in vgradnja

Pred pričetkom proizvodnje in vgradnje tankoplastnih prevlek morajo biti izpolnjeni pogoji v preglednici 16.

Preglednica 16: Pogoji vgrajevanja tankoplastnih prevlek

POGOJI VGRADNJE	
Vreme	Brez padavin
Temperatura podlage in zraka	> 5 °C
Podlaga	Stabilna, nosilna, ravna, čista
Poškodbe (razpoke, neravnine)	Predhodno sanirane
Površina podlage	Lahko je vlažna

Izdelava in vgradnja tankoplastnih prevlek po hladnem postopku poteka s posebno samohodno opremo, ki vsebuje vse potrebne komponente za neprekinjeno proizvodnjo in vgradnjo tankoplastnih prevlek (slika 34).

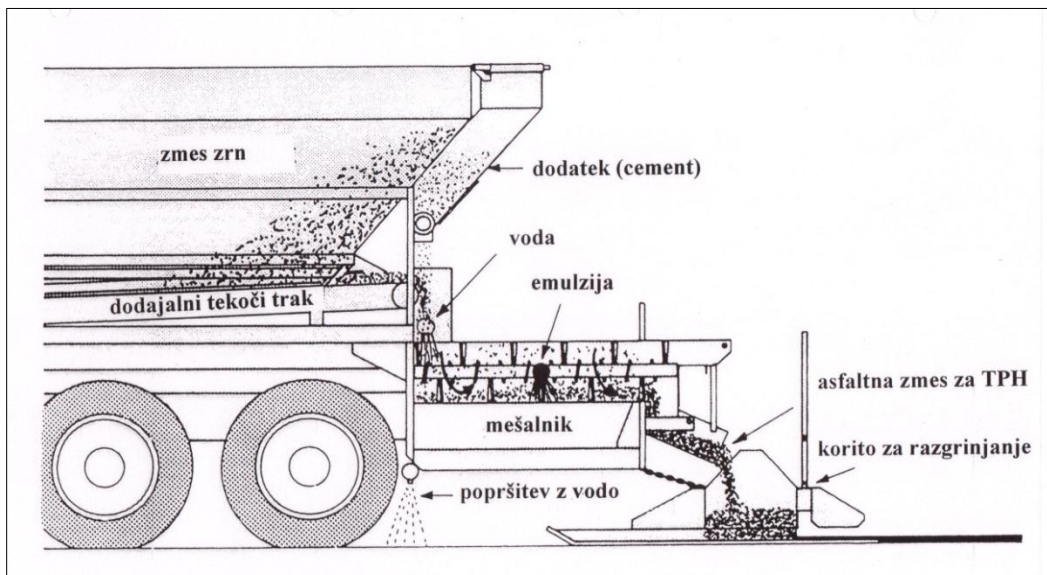


Slika 34: Oprema za izdelavo tankoplastnih prevlek (Žmavc, 2012) [18]

Postopek proizvodnje in vgradnje

V posebnih prekatih na samohodni opremi so naloženi osnovni materiali (zmes kamnitih zrn, bitumenska emulzija, voda in dodatki). Poleg prekatov za material samohodna oprema vsebuje še mešalno korito, v katerem se ustrezne količine osnovnih materialov zmešajo in razdelilnik asfaltne

zmesi s prilagodljivo delovno širino, s katerim proizvedeno asfaltno zmes enakomerno razgrnemo po podlagi. Za izdelavo enovite asfaltne zmesi je potrebno v procesu proizvodnje uravnati ustrezno količino posameznih komponent asfaltne zmesi. To se doseže s pomočjo krmilnih naprav. Shematski prikaz vgrajevanja je prikazan na sliki 35.



Slika 35: Shematski prikaz vgrajevanja tankoplastnih prevlek (Žmavc, 2012) [18]

Vgrajene tankoplastne prevleke ni potrebno dodatno zgoščevati, saj gumijasta letev na razdelilniku zgosti asfaltno zmes do zahtevane vrednosti. V primeru, da je potrebno dodatno zgoščevanje, se le-to izvede z valjarji z gumijastimi kolesi.

Če so v času vgrajevanja tankoplastnih prevlek prisotne visoke temperature, je potrebno razprostrto asfaltno zmes tik za razdelilnikom rahlo škropiti z vodo. S tem se upočasni postopek razpada bitumenske emulzije.

2.7 Vgradnja hladnih bituminiziranih zmesi

Zunanji pogoji

Praviloma zadostuje, da je podlaga pred obdelavo temeljito pometena. Robovi udarnih jam morajo biti čisti, medtem ko je potrebno vse zrahljane dele odstraniti. Površino in robove se lahko zaradi boljše sprejemljivosti premaže s polimerno bitumensko emulzijo. Temperatura podlage lahko varira. Primerne so vse običajne temperature, in sicer od visokih poletnih do hladnih poznojesenskih in zimskih.

V primeru, da se hladno asfaltno zmes vgrajuje pri temperaturah pod 0 °C, je potrebno hladno bituminizirano zmes zaradi lažje obdelave predhodno skladiščiti v ogrevanih prostorih.

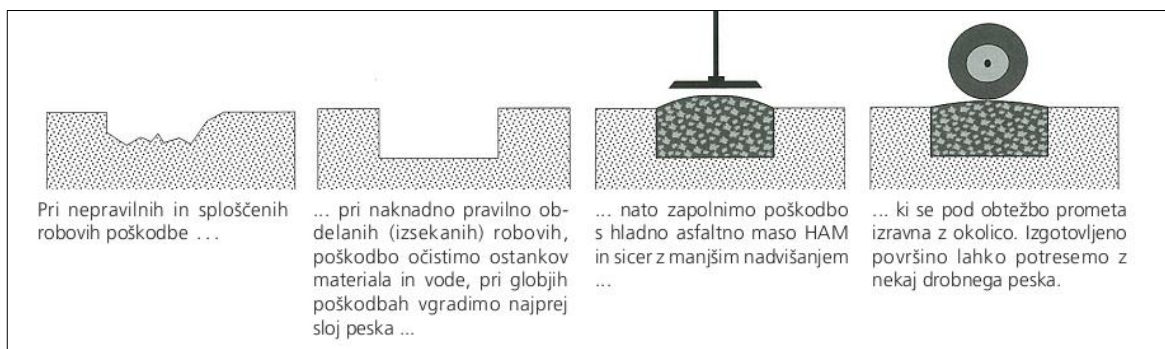
Vgrajevanje

Postopki vgradnje so lahko različni. Odvisni so od vrste in lastnosti hladne bituminizirane zmesi, potrebnega časa vgradnje, vrste in velikosti poškodbe ter debeline poškodovanega mesta. Predvsem pa so odvisne od želenih oziroma pričakovanih rezultatov po vgradnji, torej obstojnost saniranega mesta.

Hladno asfaltno zmes se lahko vgradi na dva načina:

- vrzi in pojdi (throw and go) postopek (sliki 36 in 37),
- postopek s strojno komprimacijo (slika 38).

Pri prvem načinu se zmes enostavno razgrne na poškodovano površino, nekoliko utrdi z lopato in povozi s pnevmatiko vozila.



Slika 36: Vrzi in pojdi (throw and go) način vgradnje HBZ (Vianova Slovenija, 2012) [19]

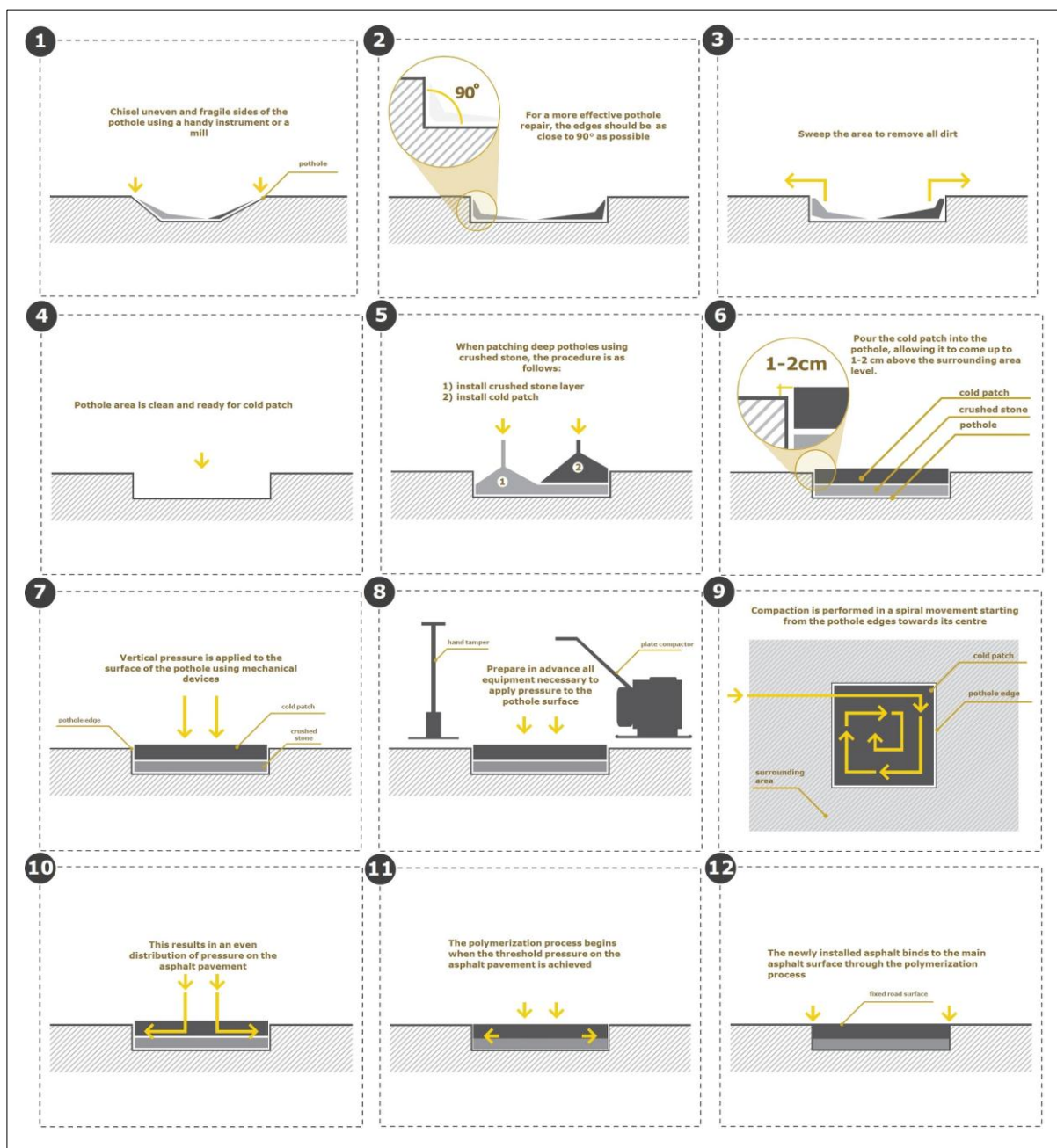


Slika 37: Primer vgrajene hladne bituminizirane zmesi po postopku vrzi in pojdi (TAHTING, 2012) [20]

Drugi način pa zahteva nekoliko več dela. Najprej se odstrani ves zdrobljeni material iz udarne jame ali poškodovane plasti. Površino se nato pometa ter po potrebi pobrizga z emulzijo in nato nanese zmes. Nivo sloja mora segati nekoliko nad sosednji nivo. Površino se zgosti strojno. V poletnem času se razgrnjeno zmes pred zgoščevanjem posuje z eruptivnim ali navadnim peskom frakcije 2/4 mm in nato zgoščuje. S tem se zmanjša obseg preoblikovanja – izrivanja zmesi in posledično deformacijo na

površini vgrajene zmesi. Poleg tega se z nanosom peska zmanjša drsnost in poveča usklajenost vgrajene površine z drugimi deli tlaka.

Pri običajnih popravilih po polaganju komunalnih naprav ali polaganju na poškodovano osnovo mora biti podlaga utrjena kot pri vsakem asfaltiranju po vročem postopku.



Slika 38: Vgradnja HBZ s strojno komprimacijo (Cantat Associates Inc., 2012) [21]

Opisana postopka se razlikujeta v ceni in času vgradnje, posledično pa v obstojnosti in kvaliteti saniranega mesta, ter nenazadnje v gospodarnosti posameznega načina, kar je odvisno od pričakovanj in ciljev naročnika oz. upravljalca.

2.8 Uporaba hladnih bituminiziranih zmesi

2.8.1 Hladne bituminizirane zmesi na cestah

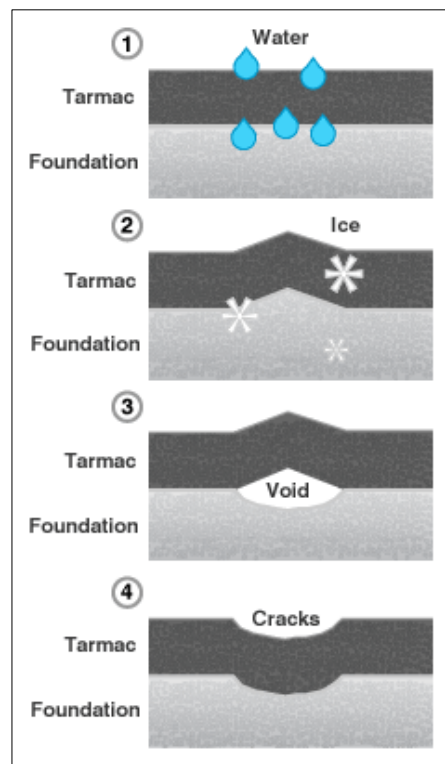
2.8.1.1 Cestna popravila

Udarne jame

Udarne jame so luknje z zaokroženim dnom na cesti. Nastajajo zaradi starosti asfalta, ki razpoka in postane bolj porozen, kar omogoča vodi, tako deževnici kot vodi staljenega snega, da prodre skozi površino. V hladnem vremenu voda, ki je prišla skozi cestno telo vse do asfaltne plasti, zamrzne. S tem se oblikujejo ledeni žepi. Z nastajanjem ledu se zaradi širjenja ledu privzdigne asfaltna plast. Ko se temperatura dvigne nad zamrzovanje, se žepi ledu stopijo in pustijo praznine pod asfaltno plastjo. Taka plast asfalta pod težo prometa počne. Nastala luknja se ob stalnem zadevanju širi (slika 39).

Nastalo udarno jamo je potrebno iz varnostnih razlogov sanirati. Sanacija z uporabo vročih bituminiziranih zmesi v hladnem in mokrem vremenu ni uresničljiva. Problemi, prisotni pri sanaciji, se kar vrstijo. V prvi vrsti je proizvodnja. Asfaltni obrati so povečini v zimskem času zaprti. Drugi problem je prevoz asfaltne zmesi na mesto vgradnje. Potrebne so termo posode, da se zagotovi ustrezna temperatura asfalta in prepreči prehitro ohlajanje. Sledi problem vgradnje, saj se pri nizkih zunanjih temperaturah asfalt izredno hitro ohlaja.

Hitra in enostavna rešitev sanacije je uporaba hladne bituminizirane zmesi (slika 40). Vgradnja le-te je podrobneje opredeljena pod točko 2.7 – Vgradnja hladnih bituminiziranih zmesi.



Slika 39: Nastanek udarnih jam (Nord-Agrar International Inc, 2012) [27]



Slika 40: Sanacija poškodbe na cesti – Chelyabinsk, Russia (Cantat Associates Inc., 2012) [22]

Razpoke in višinske razlike pri jaških

Vzroki za počen asfalt okrog odprtin so različni. Lahko je vzrok ciklična zamrznitev in odjuge v zimskem času ali pa sama struktura odprtine. V nekaterih primerih je problem odvodnjavanje. Vsekakor pa ta vrsta sanacije traja več časa kot krpanje udarnih jam ali lukenj.

Sanacija take poškodbe se izvede z izrezom asfaltne plasti okrog odprtine, nadaljuje z morebitno utrditvijo nosilnih nevezanih plasti in konča z vgradnjo hladne bituminizirane zmesi (slika 41).



Slika 41: HBZ pri jaških (Vianova Slovenija, 2012) [19]

Luknje po vgradnji prometne signalizacije

Na sliki 42 je prikazan primer vgradnje hladne asfaltne zmesi okoli vertikalne signalizacije.



Slika 42: Primer vgrajene hladne bituminizirane zmesi okoli vertikalne signalizacije (TAHTING, 2012) [20]

Prekinitve, prekopi

Pod ali skozi cestno telo potekajo tudi komunalni vodi, ki jih je ob poškodbah potrebno popraviti. V takem primeru je potrebno odstraniti asfaltno plast ter nevezane nosilne plasti. Po končanem popravilu lahko vozno površino saniramo z uporabo hladne bituminizirane zmesi, seveda s predhodno utrditvijo nevezanih plasti (slika 43).



Slika 43: Prekop čez cesto saniran s hladno bituminizirano zmesjo (Cantat Associates Inc., 2012) [23]

Kolesnice

Kolesnice na asfaltnih vozni površinah nastanejo zaradi plastičnega preoblikovanja. Možni vzroki za nastanek kolesnic so nezadostna zgostitev asfaltna plasti v času gradnje, neustrezna voziščna konstrukcija glede na prometno obremenitev in neustrezna sestava ali proizvodnja asfaltna zmesi. Glavni povzročitelj nastanka kolesnic pa je daljša obremenitev s kanaliziranim težkim prometom. Kolesnica nastane tako, da se asfaltna zmes pod vplivov obtežbe izriva in se ob strani dvigne. S tem se ob kolesnici ustvarja greben. Kolesnice povzročajo v prometu probleme, kot so oteženo smerno vodenje vozil, zastajanje vode in oteženo zimsko vzdrževanje (pluženje snega in posip poledice), ki neugodno prispevajo k prometni varnosti.

Sanacija kolesnic se začne z rezkanjem poškodovane površine, nadaljuje z izkopom in čiščenjem površine, ter konča z zapolnitvijo in zgoščevanjem. V primeru uporabe hladne bituminizirane zmesi lahko taka sanacija poteka tudi v zimskem času, kar prikazujeta sliki 44 in 45.



Slika 44: Sanacija kolesnic na cesti Federal Highway M5, December 2010 – Chelyabinsk, Russia (Cantat Associates Inc., 2012) [22]



Slika 45: Sanirane kolesnice na cesti Federal Highway M5, Junij 2011 – Chelyabinsk, Russia (Cantat Associates Inc., 2012) [22]

2.8.1.2 Asfaltiranje

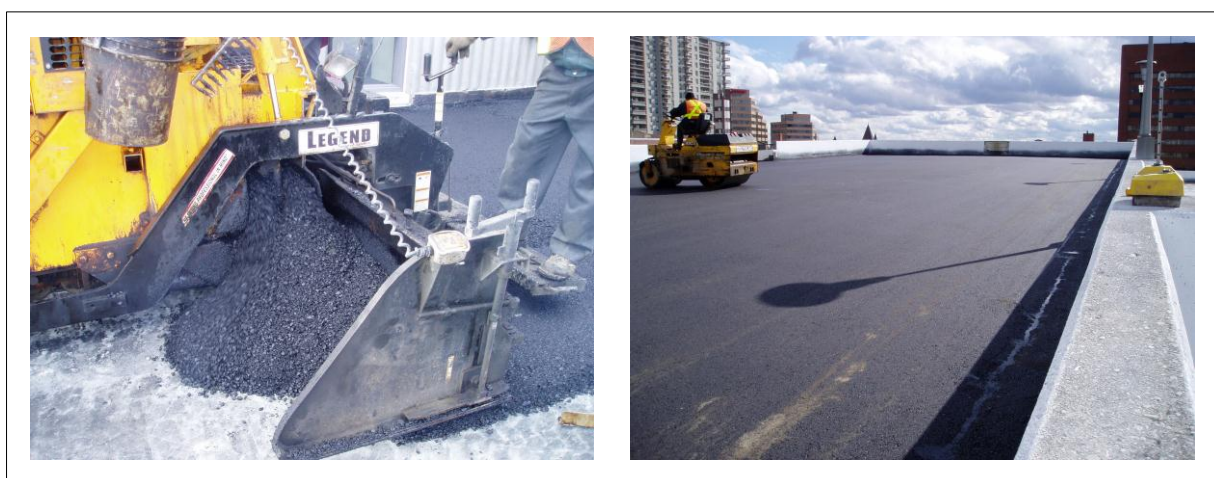
Hladen asfalt se lahko uporabi za izdelavo asfaltnih plasti na cestah druge in tretje kategorije (slika 46). Ceste druge kategorije so urbane oziroma mestne ceste, ki niso avtoceste. Tretja kategorija cest so podeželske ceste z nizko gostoto prometa in omejitvijo skupne mase (težka tovorna vozila niso dovoljena na takih cestah).



Slika 46: Asfaltiranje (Cantat Associates Inc., 2012) [23]

2.8.2 Hladne bituminizirane zmesi na objektih

Hladno bituminizirano zmes se lahko uporablja za izolacijo ravnih streh industrijskih objektov (slika 47), pa tudi za javna parkirišča.



Slika 47: Hidroizolacija ravne strehe (Cantat Associates Inc., 2012) [23]

2.8.3 Hladne asfaltne zmesi na letališčih

Sanacije poškodb na pristajalnih in vzletnih stezah letališč je najhitrejša, najučinkovitejša in nazadnje najcenejša s hladno bituminizirano zmesjo (slika 48). S hitro in učinkovito sanacijo poškodb se zagotovi ustrezno varnost na stezah v relativno kratkem času.



Slika 48: Sanacija poškodbe na letališki stezi (Cantat Associates Inc., 2012) [23]

3 KONTROLE KAKOVOSTI HLADNIH BITUMINIZIRANIH ZMESI

3.1 Vrste preiskav

Kontrole kakovosti oziroma preiskave hladnih bituminiziranih zmesi niso še nikjer posebej opredeljene, ker ni standarda oziroma navodil.

Lastnosti veziva in pripravljene hladne zmesi morajo čim bolj zadostiti zahtevam za klasične asfalte, s poudarkom za lažjo vgradnjo v zimskem času pri nižjih temperaturah, čim hitrejšo zbitost, obstojnost in nedeformabilnost.

Kakšne preiskave se bodo izvajale na hladnih bituminiziranih zmesih je trenutno odvisno od odločitve proizvajalca v kolikšni meri želi prepričati potrošnika o kvaliteti proizvoda.

Preiskave, ki jih večina proizvajalcev izvaja, se delijo na preiskave zmesi in preiskave veziva.

3.1.1 Preiskave zmesi

Ugotavljanje zrnivosti⁹

Namen preiskave

Namen preiskave je določitev porazdelitve velikosti delcev bituminizirane zmesi s sejanjem in tehtanjem. Porazdelitev velikosti delcev pomeni delež zrn na določenem situ, izražen kot seštevek deležev mase, ki gre skozi sito. Kontroliranje porazdelitve velikosti delcev zmesi je pomemben člen pri nadzoru kvalitete produkta.

Preiskavo se uporablja za zmesi zrn, pridobljene po ekstrakciji oziroma ločitvi veziva od kamnitih zrn.

Potek preiskave

Test naj bo izvajan na zmesi zrn skladno s standardom za odvzem vzorcev. Ko je na voljo manj materiala, kot ga je potrebno za testiranje po standardu, naj bo testiran ves material. Najmanjša količina testnega materiala je odvisna od velikosti največjega zrna v zmesi.

Ko je iz bituminizirane zmesi odstranjeno vezivo skladno s standardom SIST EN 12697-1, je potrebno zmes kamnitih zrn ohladiti, nato pa presejati na ustreznem številu standardnih sit (od 0,063 mm do 63 mm), ki se jih sestavi v sejalni stolp, tako da je na vrhu največje sito na dnu pa najmanjše. Za stresanje se uporablja posebne stresalne naprave, kot so vibracijske mize in stresalniki (slika 49).

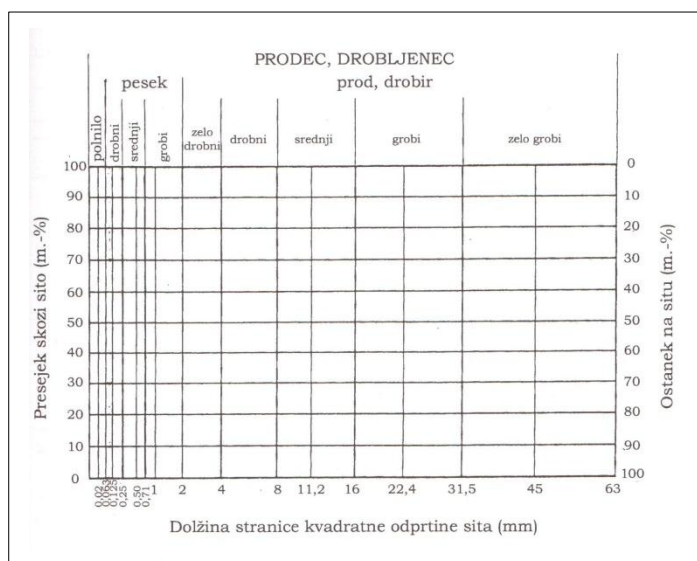
⁹ Povzeto po SIST EN 12697-2:2004+A1:2007. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 2. del: Ugotavljanje zrnivosti.



Slika 49: Stresalna naprava s sistemom sit

Rezultati preiskave

Kot rezultat se dobi znavostno ali presejno krivuljo, ki prikazuje presejek skozi sito v odvisnosti od dolžine stranice kvadratne odprtine sita. Grafični prikaz (slika 50) dobljenih rezultatov nam omogoča primerjavo dejanske presejne krivulje zmesi zrn s teoretično (idealno) ali zahtevano.



Slika 50: Diagram znavosti zmesi zrn (Žmavc, 2007: str. 45) [24]

Topni delež veziva¹⁰

Namen preiskave

Namen je ugotavljanje deleža veziva (bitumna) v bituminiziranih zmesih.

Potek preiskave

Določi se maso vzorca ter maso prazne kivete. Kiveto in vzorec se postavi v napravo za avtomatsko ekstrakcijo veziva (slika 51). Ekstrakcija je postopek, pri katerem se s topilom (trikloretilen) raztopi vezivo (bitumen) v asfaltni zmesi. Raztopljen bitumen se s pomočjo pretočne centrifuge loči od kamene zmesi, ki ostane v kiveti. Po končanem postopku je potrebno kameno zmes ohladiti do konstantne mase. Določi se še maso kamene zmesi ter maso kivete s polnilom.



Slika 51: Naprava za avtomatsko ekstrakcijo veziva

Rezultati preiskave

Na podlagi dobljenih izmerjenih mas se računsko določi maso polnila, maso celotne zmesi zrn ter maso in delež bitumna.

Delež bitumna se določi po enačbi:

$$B = \frac{100 \cdot (m - (m_1 + m_w))}{m - m_w} \quad (12)$$

¹⁰ Povzeto po SIST EN 12697-1:2006. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltno zmes – 1. del: Topni delež veziva.

kjer je:

B – delež bitumna v m.-%

m – masa neposušene vzorca v g

m_1 – masa suhe zmesi zrn v g

m_w – masa vode v neposušene vzorcu v g

Če je preiskava izvedena na suhem vzorcu s konstantno maso, potem je $m_w = 0$ in m masa suhega vzorca.

Ugotavljanje največje gostote ¹¹

Namen preiskave

Namen preiskave je določanje maksimalne gostote bituminiziranih zmesi. Maksimalna gostota je masa na enoto prostornine brez zračnih praznin bituminiziranega materiala pri znani testni temperaturi.

V veljavi je več postopkov določanja največje gostote. Ti postopki so: prostorninski, hidrostatični in matematični. Vsi naštetih postopki so namenjeni za uporabo pri razsutih bituminiziranih materialih, ki vsebujejo cestogradbeni bitumen, modificirana veziva ali druga bitumenska veziva, ki se uporabljajo za proizvodnjo bituminiziranih zmesi. Postopke se uporablja za sveže ali starane bituminizirane materiale.

Vzorci, ki se jih uporablja v raziskavi, so lahko kot razsuti materiali ali kot kompaktna snov. Slednje je potrebno najprej razdružiti.

Glede na razpoložljivo laboratorijsko opremo sem na vzorcu hladne bituminizirane zmesi opravil prostorninski postopek določanja največje gostote zmesi.

V prostorninskem postopku se prostornina vzorca izmeri kot odmik oziroma izpodriv vode ali topila zaradi vzorca v piknometru.

Potek preiskave

Prostorninski postopek določanja največje gostote zmesi poteka po naslednjem zaporedju:

- Stehta se prazen piknometar znanega volumna (V_p), vključujoč z zamaškom (m_1).
- Suh testni vzorec se vstavi v piknometar. Stehta se vzorec in piknometar skupaj z zamaškom (m_2).
- Piknometar z vzorcem se napolni z vodo.
- Potrebno je odstrani ujeti zrak z vakuumom (slika 52). Pri tem si pomagamo z mešanjem, rotacijo ali vibriranjem piknometra na vibrirajoči mizici. Ko uporabljamo vodo, lahko odstranitev zraka pospeši dodajanje majhne količine agensa disperzije (največ dve kapljici).

¹¹ Povzeto po SIST EN 12697-5:2010. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 5. del: Ugotavljanje največje gostote.

- Piknometer se postavi v vodno kopel pri znani stalni testni temperaturi ($\pm 1,0$ °C) za najmanj 30 minut, ampak ne dlje kot 180 minut, da temperatura vzorca in vode v piknometru doseže temperaturo vode v vodni kopeli (slika 53).
- Voda v vodni kopeli naj seže do približno 20 mm pod rob piknometra.
- Piknometer se napolni z vodo in prilagodi nivo do merilne oznake.
- Piknometer se odstrani iz vodne kopeli, obriše zunanost do suhega in takoj stehta (m_3).



Slika 52: Piknometer z vzorcem in vakuumska posoda



Slika 53: Piknometer z vzorcem v vodni kopeli

Rezultati preiskave

Vse mase naj bodo izražene v g do najbližje 0,1g. Prostornina piknometra naj bo izražena v m³ do najbližje 0,5 x 10⁻⁶ m³. Vsi deleži naj bodo izraženi v % do najbližje 0,1 %.

Gostoto vode pri znani temperaturi se izračuna po enačbi (13) in izrazi v megagramih na kubičnih metrih (Mg/m³) do najbližje 0,0001 Mg/m³.

$$\rho_w = 1,00016584 - 0,000793 \cdot t - 0,00000529 \cdot t^2 \quad (13)$$

kjer je:

ρ_w – gostota vode v Mg/m³

t – temperatura vode v stopinjah Celzija (°C)

Prostorninski postopek

Maksimalno gostoto ρ_{mv} bituminiziranega materiala določene s prostorninskim postopkom se določi po enačbi:

$$\rho_{mv} = \frac{(m_2 - m_1)}{10^6 \cdot V_p - \frac{(m_3 - m_2)}{\rho_w}} \quad (14)$$

kjer je:

ρ_{mv} – maksimalna gostota bituminiziranega materiala, določena s prostorninskim postopkom, v Mg/m³ do najbližje 0,001 Mg/m³

m_1 – masa piknometra in zamaška v gramih

m_2 – masa piknometra, zamaška in testnega vzorca v gramih

m_3 – masa piknometra, zamaška, testnega vzorca in vode, v gramih

V_p – prostornina piknometra, ko je napolnjen do oznake, v kubičnih metrih m³

ρ_w – gostota vode določena po enačbi (13)

Ugotavljanje gostote preskušancev bituminiziranih zmesi ¹²

Namen preiskave

Je ugotavljanje prostorninske gostote kompaktnih vzorcev bituminiziranih zmesi. Prostorninska gostota je masa na enoto prostornine vključno z zračnimi prazninami vzorca pri znani testni temperaturi. Določena je iz mase vzorca in njegove prostornine. Masa vzorca se ugotovi s tehtanjem suhega vzorca na zraku. Štiri možne testne metode so namenjene uporabi pri laboratorijsko stisnjenih vzorcih ali vzorcih izrezanih iz tlaka po polaganju in stiskanju. Njihova izbira je odvisna od predvidevane sestave in dostopnosti praznin v vzorcu.

¹² Povzeto po SIST EN 12697-6:2004+A1:2007. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 6. del: Ugotavljanje gostote bitumenskih preskušancev.

Postopki preiskusa:

- Prostorninska gostota – suha (za vzorce z zelo zaprto površino)
- Prostorninska gostota – suha nasičena površina (SSD) (za vzorce z zaprto površino)
- Prostorninska gostota – zatesnjen vzorec (za vzorce z odprto ali grobo površino)
- Prostorninska gostota po dimenzijah (za vzorce z pravilno površino in geometrijskimi oblikami, to je kvadrat, pravokotniki...)

Pri prvih treh postopkih se prostornina vzorca ugotovi iz njegove mase na zraku in njegove mase v vodi, medtem ko se pri četrtem postopku prostornina vzorca ugotavlja z meritvami dimenzij vzorca.

Glede na razpoložljivo laboratorijsko opremo sem na vzorcu hladne bituminizirane zmesi določil prostorninsko gostoto po dimenzijah.

Potek preiskave

Z udarnim zgoščevalnikom na motorni pogon (slika 54) se izdelata preskušance tako, da se na vzorec hladne bituminizirane zmesi, vgrajene v kalup standardnega premera, 50-krat spusti utež standardne mase (4550 ± 20 g) s standardne višine (460 ± 3 mm). Postopek se ponovi še na drugi strani vzorca.



Slika 54: Udarni zgoščevalnik z jeklenim podstavkom in motornim pogonom

Minimalna debelina preskušanca naj bo 20 mm ali dvakratnik normalne velikosti agregata.

Preskušanci naj bodo suhi, z znano vsebnostjo vode ali posušeni pri stalni temperaturi.

Preskušance se stehta, izmeri se jim višino in premer.

Rezultati preiskave

Vse mase naj bodo izražene v gramih do najbližje 0,1 g. Vse meritve naj bodo izražene v milimetrih do najbližje 0,1 mm.

Prostorninsko gostoto po dimenzijah cilindričnega vzorca ($\rho_{b,dim}$) do najbližje 1kg/m^3 se določi po enačbi:

$$\rho_{b,dim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \cdot h \cdot d^2} \cdot 10^6 \quad (15)$$

kjer je:

$\rho_{b,dim}$ – prostorninska gostota vzorca po dimenzijskem postopku v kilogramih na kubični meter (kg/m^3)

m_1 – masa suhega vzorca v gramih (g)

h – višina vzorca v milimetrih (mm)

d – premer vzorca v milimetrih (mm)

Ugotavljanje značilnosti votlin v preskušancih bituminiziranih zmesi ¹³

Namen preiskave

Namen preiskave je računski določitev vsebnosti zračnih votlin (V_m) in vsebnosti votlin v kamnitem materialu zapolnjenih z vezivom (VFB).

Vsebnost zračnih votlin je prostornina zračnih votlin v bitumenskem vzorcu, izražena kot odstotek celotne prostornine tega vzorca.

Votline zapolnjene z vezivom predstavljajo odstotek votlin v zmesi kamnitih zrn, zapolnjenih z vezivom.

Rezultati preiskave

Vsebnost zračnih votlin (V_m) se določi na podlagi največje gostote zmesi in prostorninske gostote preskušanca po enačbi:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \cdot 100 \quad [\text{V.-%}] \quad (16)$$

¹³ Povzeto po SIST EN 12697-8:2004. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 8. del: Ugotavljanje značilnosti votlin v bitumenskih preskušancih.

kjer je:

V_m – vsebnost zračnih votlin zmesi v 0,1 V.-%

ρ_m – največja gostota zmesi (kg/m^3)

ρ_b – prostorninska gostota preskušanca (kg/m^3)

Vsebnost votlin v kamnitem materialu zapolnjenih z vezivom (VFB) se izračuna iz vsebnosti veziva, votlin v zmesi kamnitih zrn, prostorninske gostote preskušanca in gostote veziva, po enačbi:

$$VFB = \left(\frac{B \cdot \rho_b}{\rho_B} \right) \cdot 100 \quad [\text{V.-%}] \quad (17)$$

$$VMA = V_m + B \cdot \frac{\rho_b}{\rho_B} \quad [\text{V.-%}] \quad (18)$$

kjer je:

VFB – vsebnost votlin v kamnitem materialu zapolnjenih z vezivom v 0,1 V.-%

B – delež veziva v preskušancu v 0,1 m.-%

ρ_b – prostorninska gostota preskušanca (kg/m^3)

ρ_B – gostota veziva (kg/m^3)

VMA – vsebnost votlin v zmesi kamnitih zrn v 0,1 V.-%

V_m – vsebnost zračnih votlin zmesi v 0,1 V.-%

Vgradljivost pri nizkih temperaturah

Postopek te preiskave je odvisen od proizvajalca hladne bituminizirane zmesi in je največkrat zaščiten postopek.

Poleg omenjenih preiskav zmesi se na hladnih bituminiziranih zmeseh opravlja še:

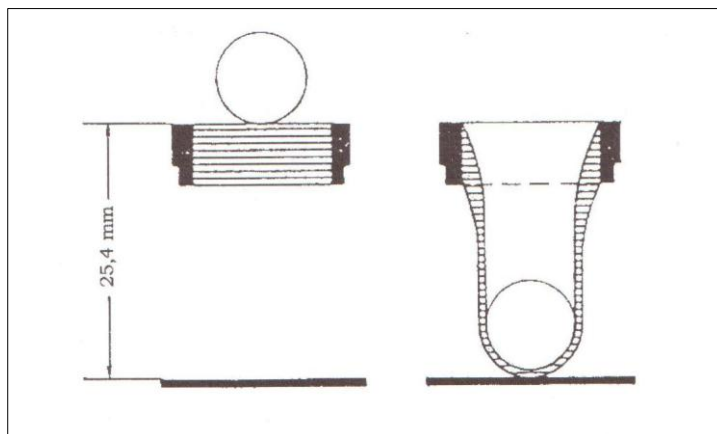
- test sprijemljivost agregata z vezivom po SIST EN 12697-11,
- test občutljivosti na vodo po SIST EN 12697-12.

3.1.2 Preiskave veziva ¹⁴

Zmehčišče po postopku prstana in kroglice (PK)

Določi se temperaturo (temperaturo začetka tečenja), pri kateri bitumenska plast, vgrajena v prstan pod obremenitvijo jeklene kroglice z določeno maso, doseže določeno stopnjo deformabilnosti (slika 55).

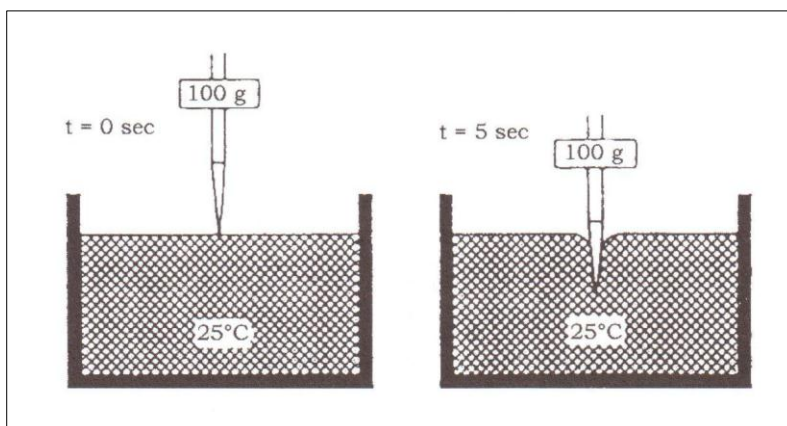
Načeloma za bitumne velja, da je temperatura njihovega zmehčišča enaka temperaturi, pri kateri je penetracija 800 dmm.



Slika 55: Shema določanja zmehčišča po postopku PK (Žmavc, 2007: str. 77) [25]

Penetracija

Penetracija je merilo trdote bitumna pri 25 °C (poltrdno območje) in osnova za razvrstitev bitumnov v vrste. Je globina, izražena v 1/10 mm, do katere v določen bitumen prodre igla točno določenih dimenzij in je 5 sekund obremenjena z maso 100 g (slika 56).

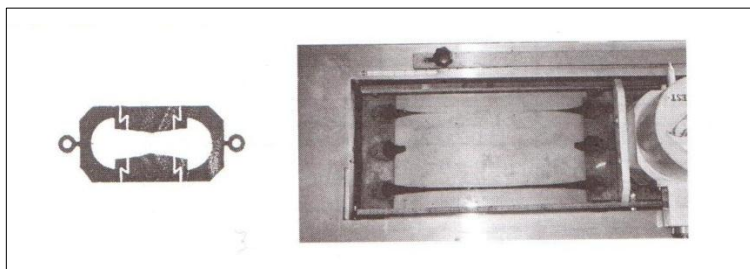


Slika 56: Shema določanja penetracije (Žmavc, 2007: str. 76) [25]

¹⁴ Povzeto po Žmavc, J. 2007. Postopki preiskav bitumna. V: Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 76—79 str.

Duktilnost (raztegljivost)

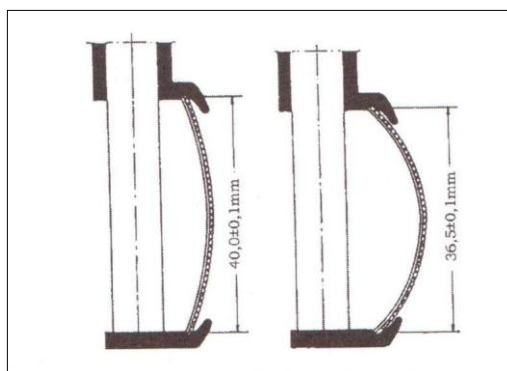
Določa se dolžino, izraženo v cm, do katere se vzorec bitumna, vgrajen v poseben kalup (slika 57), v temperirani vodi (25 °C) raztegne, pri določeni hitrosti, tako da ne pride do pretrga nitke. Duktilnost določa tekoče območje oz. meje raztezanja bitumna.



Slika 57: Shema določanja duktilnosti (Žmavc, 2007: str. 76) [25]

Pretrgališče (točka loma po Fraassu)

Predstavlja temperaturo, pri kateri se zaradi hlajenja in zvijanja tanke plasti bitumna, vgrajene na kovinsko ploščo, pojavijo na bitumenski plasti razpoke. Točka loma predstavlja začetek krhkega območja bitumna (slika 58).



Slika 58: Shema določanja pretrgališča (Žmavc, 2007: str. 76) [25]

Indeks penetracije (IP)

Indeks penetracije je merilo temperaturne občutljivosti bitumna oziroma z drugimi besedami spremembe viskoznosti v odvisnosti od temperature. Izračuna se ga iz izmerjenih vrednosti zmehčišča in penetracije po enačbi:

$$IP = \frac{20u - 500v}{u + 50v} \quad (19)$$

$$u = T_{PK} - T_P \quad (20)$$

$$v = \log 800 - \log P_T \quad (21)$$

kjer je:

T_P – temperatura določanja penetracije bitumna ($T_P = 25 \text{ }^\circ\text{C}$)

T_{PK} – temperatura, pri kateri znaša penetracija bitumna 800 dmm \approx temperatura zmečkaišča

P_T – penetracija bitumna

Viskoznost

Viskoznost je merilo notranjega trenja tekočine. Meri se čas, ki ga potrebuje določena količina bitumna, da izteče iz normirane posode z določeno odprtino.

3.2 Lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi v tujini

3.2.1 Češka Republika

Vse lastnosti, ki so omenjene za Češko Republiko, mi je posredovalo podjetje ITERCHIMICA srl.

3.2.1.1 Zrnavost zmesi kamnitih zrn

Zmes kamnitih zrn hladne bitumenizirane zmesi za Češko Republiko je predstavljena v preglednici 17.

Preglednica 17: Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi na Češkem (2012) [12]

Dimenzije sita [mm]	Največje zrno v zmesi		
	5 mm	8 mm	11 mm
	Presejek [%]		
16	-	-	100
11,2	-	100	90—100
8	100	90—100	75—90
4	50—80	50—70	45—65
2	15—35	15—35	15—40
0,125	4—12	4—12	4—14
0,063	2—8	2—8	2—8

3.2.1.2 Vezivo

Uporablja se fluksiran bitumen z ustreznim relativno občutljivim hlapljivim sredstvom. Največkrat se uporablja bitumen razreda 70/100 ali 50/70.

3.2.2 Bolgarija

Vse lastnosti, ki so omenjene za Bolgarijo mi je posredovalo podjetje Cantat Associates Inc. iz Toronta.

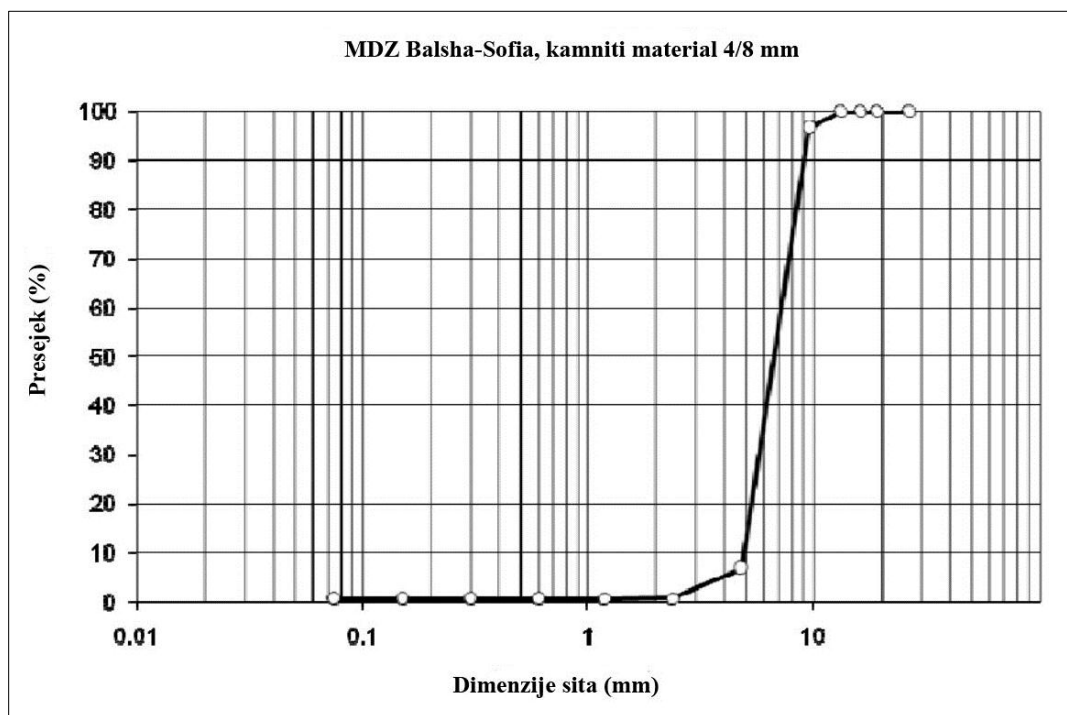
3.2.2.1 Zrnastost zmesi kamnitih zrn

Zmes kamnitih zrn hladne bitumenizirane zmesi v Bolgariji je predstavljena v tabelični (preglednica 18) in grafični (graf 1) obliki.

Preglednica 18: Zrnastost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor agregata: MDZ Balsha-Sofia, Bolgarija	
Dimenzije sita [mm]	Presejek [%]
13,2	100
9,5	96,6
6,7	89,6
4,75	6,8
2,36	2,3
1,18	1,5
0,075	0,6

Graf 1: Zrnastostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]



3.2.2.2 Lastnosti bitumna

V preglednici 19 so prikazane lastnosti bitumna hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji.

Preglednica 19: Lastnosti bitumna hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Vrsta bitumna: Saksa Fuels 70/100 Bitumen		
Lastnost	Enota	Vrednost
Penetracija pri 25 °C		92,6
Topnost v TCE	%	99,5
Duktilnost pri 25 °C	cm	100+

3.2.2.3 Sestava veziva

Preglednica 20 vsebuje deleže posameznih komponent veziva hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji.

Preglednica 20: Sestava veziva hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Komponenta veziva	Delež [%]
Saksa Fuels 70/100 Bitumen	75,5
Kurilno olje	21,5
Perma-Patch koncentrat	3,00

3.2.2.4 Lastnosti veziva

Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji so opredeljene v preglednici 21.

Preglednica 21: Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Lastnost	Enota	Vrednost
Kinematična viskoznost pri 60 °C	mm ² /s	520
Plamenišče	°C	100+
Delež vode	%	< 0,2

3.2.2.5 Lastnosti hladne bituminizirane zmesi

V preglednici 22 so opredeljene lastnosti hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji.

Preglednica 22: Lastnosti hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Lastnost	Enota	Testna vrednost	Zahtevana vrednost
Začetna obvitost	%	100	-
Preostala obvitost	%	95	75 min.
Vgradljivost pri -10 °C		OK	OK
Vgradljivost pri -15 °C		OK	OK
Indeks kohezije	%	98,9	60 min.
Delež vsega veziva	m.-%	5,3	-
Delež Perma-Patch koncentrata	m.-%	0,159	-

3.2.3 Ukrajina

Vse lastnosti, ki so omenjene za Ukrajino mi je posredovalo podjetje Cantat Associates Inc. iz Toronta.

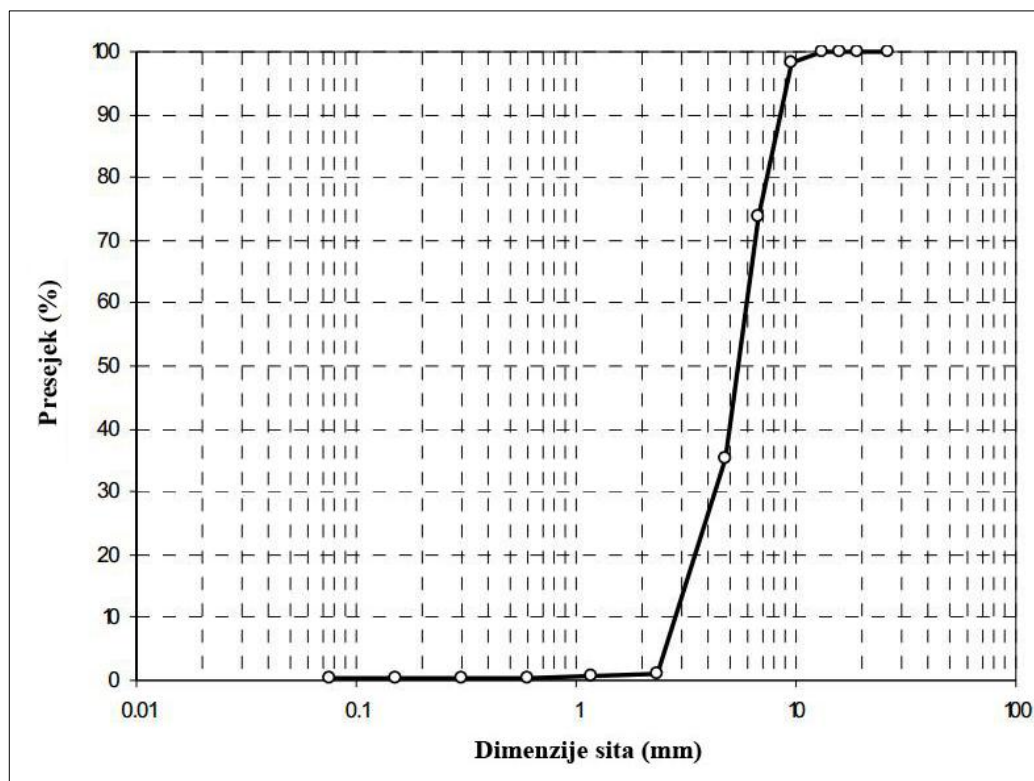
3.2.3.1 Zrnavost zmesi kamnitih zrn

Zmes kamnitih zrn hladne bitumenizirane zmesi v Ukrajini je predstavljena v tabelični (preglednica 23) in grafični (graf 2) obliki.

Preglednica 23: Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor agregata: Ukrajina	
Dimenzije sita [mm]	Presejek [%]
13,2	100
9,5	98,1
6,7	73,9
4,75	35,2
2,36	1,1
1,18	0,6
0,075	0,2

Graf 2: Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]



3.2.3.2 Sestava veziva

Deleži posameznih komponent veziva hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini so prikazani v preglednici 24.

Preglednica 24: Sestava veziva hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: ni Ukrajina	
Komponenta veziva	Delež [%]
Standardni bitumen	72,95
Kurilno olje	24,3
Perma-Patch koncentrat	2,75

Pri proizvodnji hladne zmesi se mora uporabljati bitumen, ki ima enako viskoznost kot bitumen pri predhodni sestavi. Če to ni možno, je potrebno bitumen modificirati do zahtevane viskoznosti.

3.2.3.3 Lastnosti veziva

V preglednici 25 so predstavljene lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini.

Preglednica 25: Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: ni Ukrajina		
Lastnost	Enota	Vrednost
Kinematična viskoznost pri 60 °C	mm ² /s	498
Plamenišče	°C	100+
Delež vode	%	< 0,2

3.2.3.4 Lastnosti hladne bituminizirane zmesi

Preglednica 26 vsebuje lastnosti hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini.

Preglednica 26: Lastnosti hladne bituminizirane zmesi v Ukrajini (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: ni Ukrajina Izvor agregata: Ukrajina			
Lastnost	Enota	Testna vrednost	Zahtevana vrednost
Začetna obvitost	%	100	-
Preostala obvitost	%	98—100	75 min.
Vgradljivost pri –10 °C		OK	OK
Indeks kohezije	%	86,8	60 min.
Delež vsega veziva	m.-%	5,0	-
Delež Perma-Patch koncentrata	m.-%	0,1375	-

3.2.4 Kazahstan

Vse lastnosti, ki so omenjene za Kazahstan mi je posredovalo podjetje Cantat Associates Inc. iz Toronto.

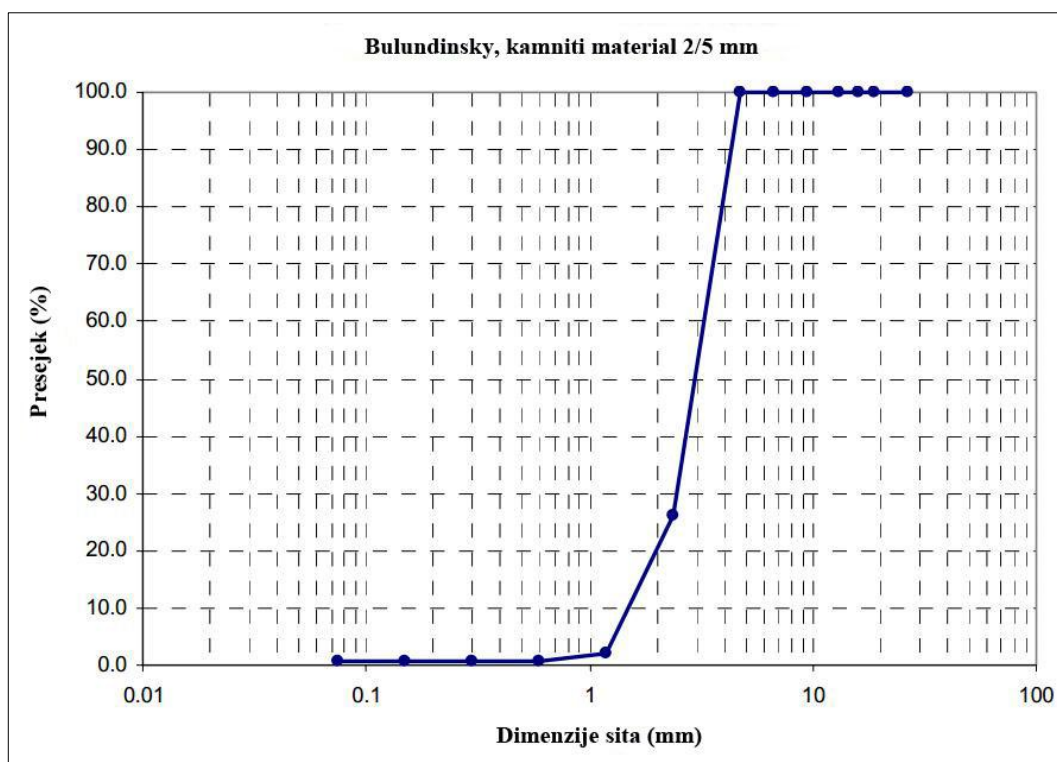
3.2.4.1 Zrnavost zmesi kamnitih zrn 2/5 mm

Zmes kamnitih zrn 2/5 mm hladne bitumenizirane zmesi v Kazahstanu je predstavljena v tabelični (preglednica 27) in grafični (graf 3) obliki.

Preglednica 27: Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor agregata: Bulundinsky, Kazahstan	
Dimenzije sita [mm]	Presejek [%]
13,2	100
9,5	100
6,7	100
4,75	100
2,36	26,2
1,18	1,9
0,075	0,7

Graf 3: Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]



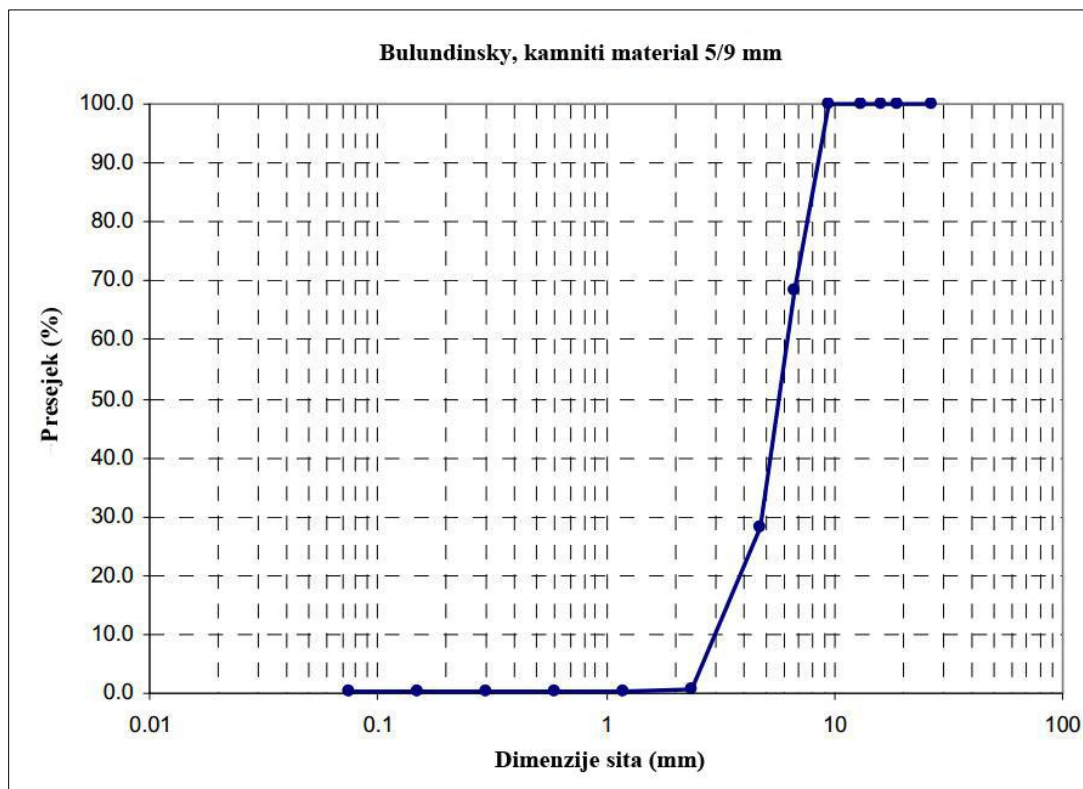
3.2.4.2 Zrnavost zmesi kamnitih zrn 5/9 mm

Zmes kamnitih zrn 5/9 mm hladne bitumenizirane zmesi v Kazahstanu je predstavljena v tabelični (preglednica 28) in grafični (graf 4) obliki.

Preglednica 28: Zrnavost zmesi kamnitih zrn hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor agregata: Bulundinsky, Kazahstan	
Dimenzije sita [mm]	Presejek [%]
13,2	100
9,5	100
6,7	68,3
4,75	28,3
2,36	0,6
1,18	0,5
0,075	0,3

Graf 4: Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]



3.2.4.3 Lastnosti bitumna

V preglednici 29 so prikazane lastnosti bitumna hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu.

Preglednica 29: Lastnosti bitumna hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: Pavlodarsky, Kazahstan		
Vrsta bitumna: Standardni bitumen 90/130		
Lastnost	Enota	Vrednost
Penetracija pri 25 °C		95
Topnost v TCE	%	99,83
Duktilnost pri 25 °C	cm	100+

3.2.4.4 Sestava veziva

Preglednica 30 vsebuje deleže posameznih komponent veziva hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu.

Preglednica 30: Sestava veziva hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: Pavlodarsky, Kazahstan	
Komponenta veziva	Delež [%]
Standardni bitumen 90/130	73,24
Kurilno olje	23,76
Perma-Patch koncentrat	3,00

3.2.4.5 Lastnosti veziva

Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu so opredeljene v preglednici 31.

Preglednica 31: Lastnosti veziva hladne bituminizirane zmesi v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: Pavlodarsky, Kazahstan		
Lastnost	Enota	Vrednost
Kinematična viskoznost pri 60 °C	mm ² /s	528,4
Plamenišče	°C	100+
Delež vode	%	< 0,2

3.2.4.6 Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 2/5 mm

V preglednici 32 so opredeljene lastnosti hladne bituminizirane zmesi 2/5 mm v Kazahstanu.

Preglednica 32: Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 2/5mm v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: Pavlodarsky, Kazahstan Izvor agregata: Bulundinsky, Kazahstan			
Lastnost	Enota	Testna vrednost	Zahtevana vrednost
Začetna obvitost	%	100	-
Preostala obvitost	%	98+	75 min.
Vgradljivost pri -10 °C		OK	OK
Vgradljivost pri -15 °C		OK	OK
Indeks kohezije	%	92,8	60 min.
Delež vsega veziva	m.-%	5,5	-
Delež Perma-Patch koncentrata	m.-%	0,165	-

3.2.4.7 Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 5/9 mm

V preglednici 33 so opredeljene lastnosti hladne bituminizirane zmesi 5/9 mm v Kazahstanu.

Preglednica 33: Lastnosti hladne bituminizirane zmesi 5/9 mm v Kazahstanu (Cantat Associates Inc. 2012) [26]

Izvor bitumna: Pavlodarsky, Kazahstan Izvor agregata: Bulundinsky, Kazahstan			
Lastnost	Enota	Testna vrednost	Zahtevana vrednost
Začetna obvitost	%	100	-
Preostala obvitost	%	98+	75 min.
Vgradljivost pri -10 °C		OK	OK
Vgradljivost pri -15 °C		OK	OK
Indeks kohezije	%	86,4	60 min.
Delež vsega veziva	m.-%	5,0	-
Delež Perma-Patch koncentrata	m.-%	0,15	-

3.3 Rezultati preiskav in analiza hladne bituminizirane zmesi – HBZ 8

HBZ 8 je mešanica posebnega bitumna (t. i. fluksiran bitumen – FBK) in zmesi kamnitih zrn frakcije 0/8 mm, kar pomeni, da je v zmesi največje zrno veliko 8 mm.

Namenjena je krpanju udarnih jam in drugih poškodb asfalta, prekopov cestišča (do širine cca 1,5 m), popravilu pokrovov jaškov in to predvsem v zimskem času. Z njo se izdeluje sloje debelina nad 3 cm.

Po pravilni vgraditvi je zmes obstojna skozi daljše obdobje. Pri dokončnem popravilu cestišča oziroma preplastitvi vgrajene zmesi ni potrebno odstranjevati (razen pri večjih površinah).

Vsebnost veziva in zrnavost hladne bituminizirane zmesi

Topni delež veziva

V preglednici 34 so predstavljeni rezultati določanja topnega deleža veziva v zmesi HBZ 8, določenem po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi.

Preglednica 34: Topni delež veziva v zmesi HBZ 8

	Oznaka	Enota	Vrednost
Natehtan asfalt	m	g	665,8
Prazna kiveta		g	551,9
Polna kiveta		g	580,8
Polnilo v kiveti		g	28,9
Preostali kameni agregat		g	604,6
Suha zmes zrn	m ₁	g	633,5
Bitumen		g	32,3
Delež bitumna	B	m.-%	4,9

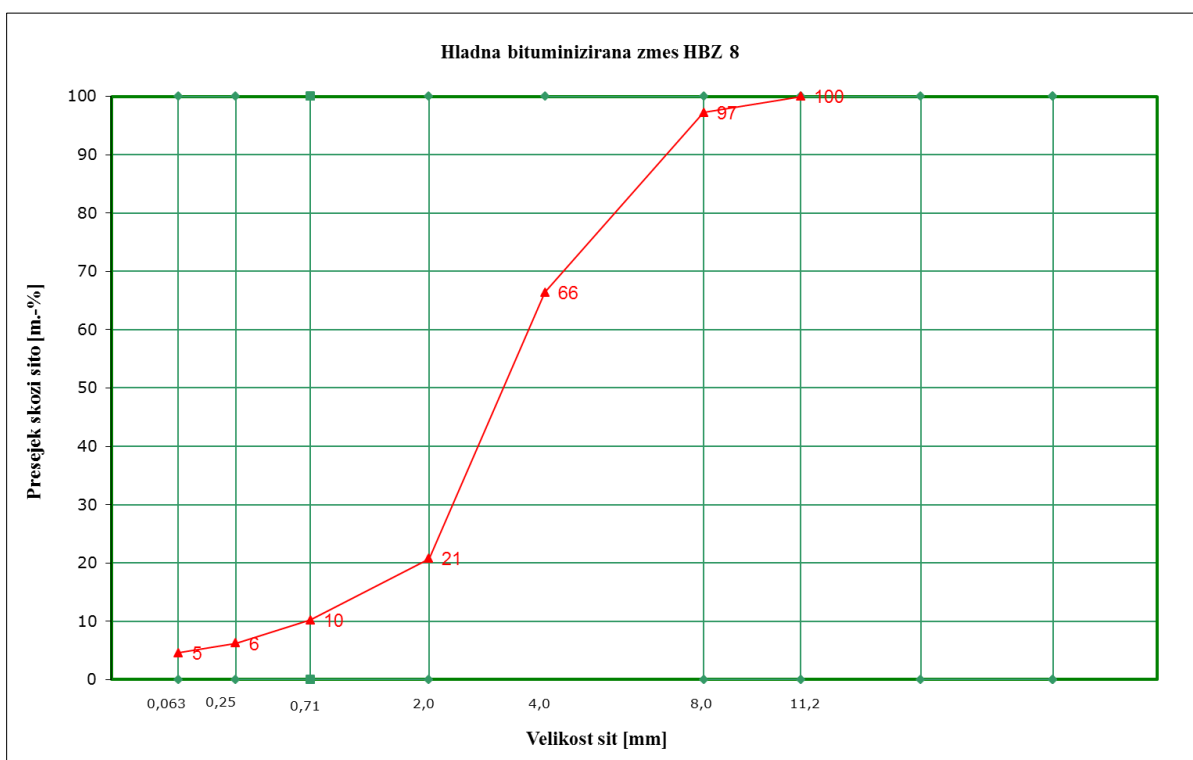
Ugotavljanje zrnivosti

Zrnavost zmesi kamnitih zrn HBZ 8, določene po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, je predstavljena v tabelični (preglednica 35) in grafični (graf 5) obliki.

Preglednica 35: Zrnavost zmesi kamnitih zrn HBZ 8

Sito	Ostane na situ	Presejek	Presejek = $\frac{\text{Presejek (g)}}{\text{Zmes zrn}}$
(mm)	(g)	(g)	(m.- %)
ostanek	0,2 + 28,9	0	0
0,063	10,5	29,1	5
0,25	24,9	39,6	6
0,71	66,9	64,5	10
2,0	289,0	131,4	21
4,0	195,0	420,4	66
8,0	17,6	615,4	97
11,2	0	633,0	100
16,0	0	633,0	100
Zmes zrn	633,0		

Graf 5: Zrnavostna krivulja hladne bituminizirane zmesi HBZ 8



Največja gostota hladne bituminizirane zmesi, segrete na sobno temperaturo (21 °C), ter gostota in značilnosti votlin bitumenskih preskušancev

Ugotavljanje največje gostote

Rezultati določanja največje gostote HBZ 8 pri 21 °C, po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, so predstavljeni v preglednici 36.

Preglednica 36: Največja gostota asfaltne zmesi HBZ 8 pri 21 °C

	Oznaka	Enota	Vrednost
Piknometer		št.	4
Prostornina piknometra	V_p	cm^3	1326,5
Masa piknomatra	m_1	g	740,1
Masa piknometra in asfaltne zmesi	m_2	g	1504,6
Masa asfaltne zmesi		g	764,5
Masa piknometra, asfaltne zmesi in vode	m_3	g	2521,4
Masa vode		g	1016,8
Gostota vode pri 25 °C	ρ_w	kg/m^3	997,1
Največja gost. asfalta	ρ_{mv}	kg/m^3	2492

Ugotavljanje gostote preskušancev bituminiziranih zmesi

Rezultati določanja gostote preiskušancev bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 21 °C, po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, so predstavljeni v preglednici 37.

Preglednica 37: Gostote preskušancev bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 21 °C

	Oznaka	Enota	Vrednost			
Številka preskušanca			1	2	3	4
Premer preskušanca	d	mm	101,6	101,6	101,6	101,6
Višina preskušanca	h	mm	62,0	63,0	63,0	63,0
Masa suhega preskušanca	m_1	g	1001,2	1006,6	1005,8	1005,8
Prostorninska gostota preskušanca	$\rho_{b,dim}$	kg/m^3	1993	1972	1970	1970
Povprečna vrednost prostorninske gostote preskušanca (kg/m^3)					$\rho_{b,dim}$	1976

Ugotavljanje značilnosti votlin v preskušancih bituminiziranih zmesi

Rezultati določanja značilnosti votlin v preiskušancih bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 21 °C, po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, so predstavljeni v preglednici 38.

Preglednica 38: Značilnosti votlin v preskušancu bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 21 °C

	Oznaka	Enota	Vrednost
Vsebnost zračnih votlin	V _m	V.-%	20,9
Vsebnost votlin v kameni zmesi	VMA	V.-%	30,4
Stopnja zapolnjenosti	VFB	V.-%	31,0

Največja gostota hladne bituminizirane zmesi, segrevane 16 ur na temperaturi 135 °C, ter gostota in značilnosti votlin bitumenskih preskušancev**Ugotavljanje največje gostote**

Rezultati določanja največje gostote HBZ 8 pri 135 °C, po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, so predstavljeni v preglednici 39.

Preglednica 39: Največja gostota asfaltne zmesi HBZ 8 pri 135 °C

	Oznaka	Enota	Vrednost
Piknometar		št.	4
Prostornina piknometra	V _P	cm ³	1326,5
Masa piknomatra	m ₁	g	740,1
Masa piknometra in asfaltne zmesi	m ₂	g	1504,6
Masa asfaltne zmesi		g	764,5
Masa piknometra, asfaltne zmesi in vode	m ₃	g	2521,4
Masa vode		g	1016,8
Prostorninska masa vode	ρ _w	kg/m ³	997,1
Največja gost. asfalta	ρ _{mv}	kg/m ³	2492

Ugotavljanje gostote preskušancev bituminiziranih zmesi

Rezultati določanja gostote preiskušancev bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 135 °C, po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, so predstavljeni v preglednici 40.

Preglednica 40: Gostote preskušancev bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 135 °C

	Oznaka	Enota	Vrednost			
Številka preskušanca			1	2	3	4
Premer preskušanca	d	mm	101,6	101,6	101,6	101,6
Višina preskušanca	h	mm	60,5	60,5	60,8	60,3
Masa suhega preskušanca	m ₁	g	1027,7	1029,6	1035,2	1033,7
Prostorninska gostota preskušanca	$\rho_{b,dim}$	kg/m ³	2096	2100	2101	2116
Povprečna vrednost prostorninske gostote preskušanca (kg/m ³)					$\rho_{b,dim}$	2103

Ugotavljanje značilnosti votlin v preskušancih bituminiziranih zmesi

Rezultati določanja značilnosti votlin v preiskušancih bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 135 °C, po postopku opredeljenem v poglavju 3.1.1 – Preiskave zmesi, so predstavljeni v preglednici 41.

Preglednica 41: Značilnosti votlin v preskušancu bituminizirane zmesi HBZ 8 pri 135 °C

	Oznaka	Enota	Vrednost
Vsebnost zračnih votlin	V _m	V.-%	15,9
Vsebnost votlin v kameni zmesi	VMA	V.-%	25,9
Stopnja zapolnjenosti	VFB	V.-%	38,7

Analiza

Preiskave hladnega asfalta v Evropi niso standardizirane v enaki meri, kot to velja za vroče asfaltne zmesi. Kontrolo kakovosti hladnih bituminizirani zmesi se lahko opravi po navodilih opredeljenih v seriji standardov SIST EN 12697, vendar pa to ni dovolj, saj vseh lastnosti ni mogoče določiti. Prav zaradi tega se večina inštitutov, ki podrobneje proučuje lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi, opira na ameriške standarde ASTM.

Na vzorcu hladne bituminizirane zmesi sem v laboratoriju asfaltne baze Senožee opravil, glede na razpoložljivo opremo laboratorija, naslednje preiskave:

- topni delež veziva – SIST EN 12697-1:2006
- ugotavljanje zrnivosti – SIST EN 12697-2:2004+A1:2007
- ugotavljanje največje gostote – SIST EN 12697-5:2010
- ugotavljanje gostote bitumenskih preskušancev – SIST EN 12697-6:2004+A1:2007
- ugotavljanje značilnosti votlin v bitumenskih preskušancih – SIST EN 12697-8:2004

Pri izvajanju preiskav sem se opiral na navodila opredeljena v zbirki SIST EN 12697.

Preiskave sem opravil na vzorcu hladne bituminizirane zmesi, segrete na sobni temperaturi in na vzorcu, ki sem ga 16 ur segreval na temperaturi 135 °C. Po izkušnjah oddelka za asfalt na IGMAT d. d., Inštitutu za gradbene materiale, se s tem simulira eksploatacijo hladnega asfalta pod prometom in v naravnem okolju ter hkrati dobi uporabne rezultate na »staranih« in s tem malo otrjenih preskušancih, ki bi bili na takoj pripravljenih preskušancih nezadovoljivi (stabilnost hladnega asfalta dokler ne izhlapijo razna topila in dodatki, ki služijo obdelavnosti pri običajni zunanji temperaturi, je zelo majhna, preskušanca se praktično ne da lepo pripraviti, včasih se poškoduje ali razsuje že pri razkalupljenju, kar je razvidno na sliki 59 pri preskušancu 1).



Slika 59: Preskušanci hladne bituminizirane zmesi segrete na sobni temperaturi

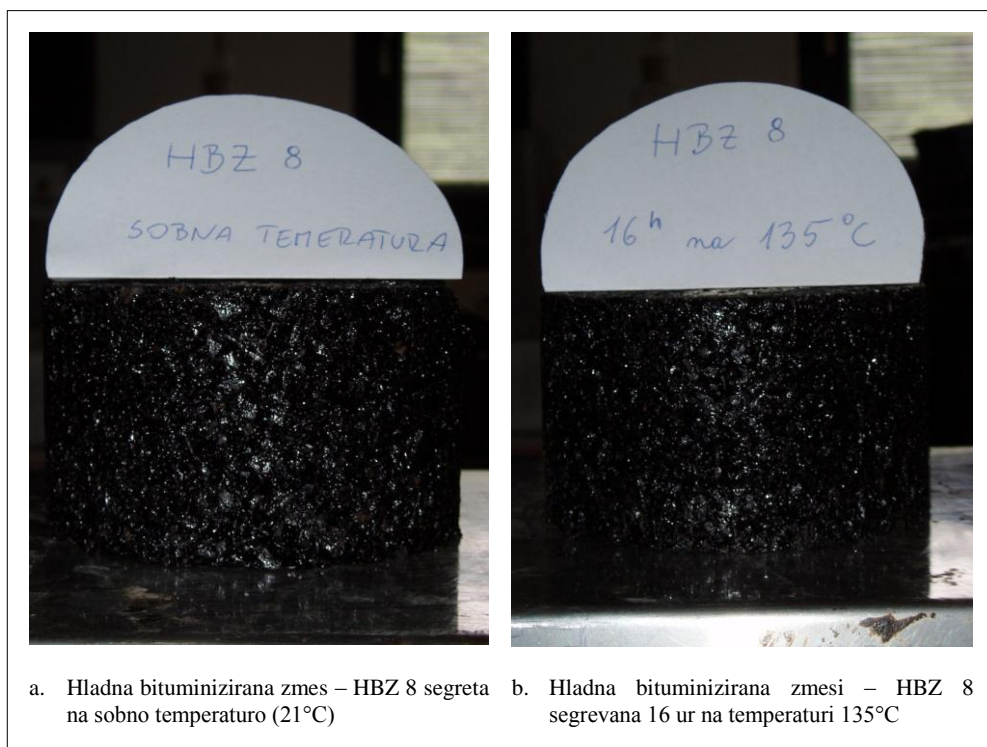
Preglednica 42: Primerjava rezultatov HBZ 8 segrete na sobno temperaturo (21 °C) in HBZ 8, segrevane 16 ur na temperaturi 135 °C

		Ugotavljanje gostote bitumenskih preskušancev	Ugotavljanje značilnosti votlin v bitumenskih preskušancih		
		Povprečna vrednost prostorninske gostote preskušanca	Vsebnost zračnih votlin	Vsebnost votlin v kameni zmesi	Stopnja zapolnjenosti
Enota		kg/m ³	V.-%	V.-%	%
Vzorec	HBZ 8 21 °C	1976	20,9	30,4	31,0
	HBZ 8 135 °C	2103	15,9	25,9	38,7

Legenda:

HBZ 8 21 °C Hladna bituminizirana zmes – HBZ 8 segreta na sobno temperaturo 21 °C

HBZ 8 135 °C Hladna bituminizirana zmesi – HBZ 8 segrevana 16 ur na temperaturi 135 °C



Slika 60: Primerjava zgoščenosti hladne bituminizirane zmesi

Iz preglednice 42 je razvidno, da ima preskušane HBZ 8 135 °C večjo prostorninsko gostoto, kot preskušane HBZ 8 21 °C. To pomeni, da je preskušane HBZ 8 135 °C bolj zgoščen, s tem pa ima manjšo vsebnost votlin in večjo stopnjo zapolnjenosti. Zgoščenost asfaltne zmesi bistveno vpliva na njene mehanske lastnosti, torej vpliva na preoblikovanje asfaltne zmesi pod obremenitvijo. Preoblikovanje asfaltne zmesi je odvisno od tega, kako so kamnita zrna v zmesi razporejena in kakšen je njihov medsebojni položaj. Da se zagotovi čimboljši medsebojni položaj zrn, je potrebno pri vgrajevanju asfaltne zmesi uporabiti vibracijske valjarje. Rezultati iz preglednice 42 povedo, da je »stara« in malo otrjena asfaltna zmes (vzorec HBZ 8 135 °C) bolj odporna proti preoblikovanju kot takoj vgrajena zmes (vzorec HBZ 8 21 °C).

Poleg tega je iz preglednice razvidno, da ima takoj vgrajena zmes veliko vsebnost zračnih votli in visoko prepustnost, torej nima sposobnosti preprečitve vdora vlage, vendar čez čas pride do znižanja vsebnosti votlin in s tem do nižje prepustnosti. Rezultati vsebnosti zračnih votlin kažejo na to, da ima hladna bituminizirana zmes sposobnost zmanjševanja vsebnosti votlin in da je prepustnost, gledano dolgoročno, nizka in primerljiva z vročimi asfaltnimi zmesmi. Izsledke iz preglednice je možno tudi vizualno preveriti, kar je razvidno iz slike 60.

Preglednica 43: Primerjava zrnivosti kamene zmesi med hladno bituminizirano zmesjo na Češkem, vzorcem HBZ 8 in hladno tankoplastno prevleko SS8

	Hladna bituminizirana zmes		Hladne tankoplastne prevleke
	Na Češkem (največje zrno v zmesi je 8 mm)	Vzorec HBZ 8	SS8
Sito [mm]	Presejek [m.-%]		
0,063	2—8	5	4—18
0,125	4—12	-	-
0,25	-	6	9—27
0,71	-	10	15—40
2,0	15—35	21	25—65
4,0	50—70	66	50—90
8,0	90—100	97	90—100
11,2	100	100	100
16,0	-	-	-

Preglednica 44: Primerjava zrnivosti kamene zmesi hladne bituminizirane zmesi v Bolgariji, Ukrajini in Kazahstanu ter Sloveniji.

	Hladna bituminizirana zmes				
	Bolgarija	Ukrajina	Kazahstan		Slovenija
			Hladna bituminizirana zmes 2/5 mm	Hladna bituminizirana zmes 5/9 mm	Vzorec HBZ 8
Sito [mm]	Presejek [m.-%]				
0,063	-	-	-	-	5
0,075	0,6	0,2	0,7	0,3	-
0,25	-	-	-	-	6
0,71	-	-	-	-	10
1,18	1,5	0,6	1,9	0,5	-
2,0	-	-	-	-	21
2,36	2,3	1,1	26,2	0,6	-
4,0	-	-	-	-	66
4,75	6,8	35,2	100	28,3	-
6,7	89,6	73,9	100	68,3	-
8,0	-	-	-	-	97
9,5	96,6	98,1	100	100	-
11,2	-	-	-	-	100
13,2	100	100	100	100	-
16,0	-	-	-	-	-

Osnova za sestavo zmesi kamnitih zrn za hladne bituminizirane zmesi je sestava zmesi kamnitih zrn za tankoplastne prevleke, kar prikazuje preglednica 43. Vrednosti presejkov za SS8 in HBZ 8 se nekoliko razlikujejo. Pri izdelavi zmesi, ki bo še dolgo primerna za obdelavo, je potrebno paziti, da v zmesi ni veliko finih delcev, saj le-ti povzročijo, da zmes hitro otrdi in s tem je otežena obdelava zmesi na daljše časovno obdobje. Če bi zmes vsebovala pretežno le velike delce, zmesi ne bi bilo mogoče primerno vgraditi ker ne bi bilo »vezivnega« materiala. Torej, da se obdrži zadostna količina vezivnega sredstva in s tem primerno vgradljivost, je potrebno deleže finih delcev prilagajati.

Izmed tujih sestav zmesi kamnitih zrn za hladne bituminizirane zmesi (podrobneje je to predeljeno v poglavju 3.2 – Lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi v tujini), je vzorcu HBZ 8 najbolj podobna sestava zmesi kamnitih zrn za hladne bituminizirane zmesi na Češkem, kar dokazujeta preglednici 43 in 44, saj se zrnivost HBZ 8 od zmesi Češke razlikuje le v treh vrednostih, medtem ko se od ostalih držav razlikuje v vseh vrednostih. Glede na podatke iz preglednic 43 in 44 lahko rečem, da je zmes kamnitih zrn na Češkem v večji meri sestavljena iz zrn, ki so enake velikosti kot pri nas, medtem ko imajo ostale države zmes kamnitih zrn sestavljeno iz povsem drugačnih velikosti zrn. Tu se pojavi

vprašanje, katera sestava kamnite zmesi je najboljša. Da bi lahko odgovoril na to vprašanje, bi bilo potrebno določiti vse lastnosti iz preglednice 45 za vse, v diplomu omenjene, hladne bituminizirane zmesi, tako za Slovenijo kot tujino. Na podlagi dobljenih rezultatov bi bilo možno izbrati najprimernejšo sestavo. Torej lahko bi ugotovil, ali je za sestavo zmesi kamnitih zrn bolj primerna zrnavaost kamene zmesi določena na podlagi sit, katerih dimenzije narekuje evropski standard za določanje zrnavaosti, ali je bolj primerna zrnavaost kamene zmesi določena na podlagi dimenzij sit tujih držav.

Preglednica 45: Primerjava lastnosti hladne bituminizirane zmesi

Lastnost	Enota	Zahtevana vrednost	Država					
			Bolgarija	Ukrajina	Kazahstan		Slovenija	
					Hladna bituminizirana zmes 2/5 mm	Hladna bituminizirana zmes 5/9 mm	HBZ 8 21 °C	HBZ 8 135 °C
			Testna vrednost					
Začetna obvitost	%	-	100	100	100	100	-	-
Preostala obvitost	%	75 min.	95	98—100	98+	98+	-	-
Vgradljivost pri -10 °C	-	OK	OK	OK	OK	OK	-	-
Vgradljivost pri -15 °C	-	OK	OK	-	OK	OK	-	-
Indeks kohezije	%	60 min.	98,9	86,8	92,8	86,4	-	-
Delež vsega veziva	m.-%	-	5,3	5,0	5,5	5,0	4,9	4,9
Delež Perma-Patch koncentrata	m.-%	-	0,159	0,1375	0,165	0,15	-	-
Največja gostota asfalta	kg/m ³	-	-	-	-	-	2492	2492
Povprečna vrednost prostorninske gostote preskušanca	kg/m ³	-	-	-	-	-	1976	2103
Vsebnost zračnih votlin	V.-%	-	-	-	-	-	20,9	15,9
Vsebnost votlin v kamenu zmesi	V.-%	-	-	-	-	-	30,4	25,9
Stopnja zapoljenosti	V.-%	-	-	-	-	-	31,0	38,7

V preglednici 45 so zbrane lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi za Slovenijo in tuje države.

Najpomembnejše lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi v Bolgariji, Ukrajini in Kazahstanu so predvsem:

- začetna obvitost,
- preostala obvitost,
- vgradljivost pri $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- vgradljivost pri $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$,
- indeks kohezije oz. indeks povezanosti sestavin,
- delež vsega veziva in
- delež Perma-Patch koncentrata.

Glede na razpoložljivo opremo laboratorija sem na vzorcu hladne bituminizirane zmesi HBZ 8 določil naslednje lastnosti:

- delež vsega veziva,
- največjo gostoto asfalta,
- povprečno vrednost prostorninske gostote preskušanca,
- vsebnost zračnih votlin,
- vsebnost votlin v kamni zmesi in
- stopnjo zapolnjenosti.

Kot je iz preglednice 45 razvidno imajo tuje hladne bituminizirane zmesi in HBZ 8 eno skupno lastnost, in sicer vsebnost vsega veziva. Količina veziva v zmesi mora biti taka, da se doseže potrebno obvitost zrn in homogenost asfaltne zmesi. Glede na izkušnje slovenskih proizvajalcev je ta količina med 4 in 5,0 m.-%. Podatki glede deleža vsega veziva (preglednica 45) potrjujejo izkušnje slovenskih proizvajalcev, saj se vrednosti vsebovanega veziva v tujih hladnih bituminiziranih zmesih prav tako gibljejo okrog 5,0 m.-%.

Glede na izkušnje tujih držav, bi bilo potrebno na domačih, slovenskih, proizvodih hladne bituminizirane zmesi opraviti še kontrolo obvitosti, vgradljivosti pri nizkih temperaturah in kohezije, saj ravno te lastnosti bistveno vplivajo na kakovost same zmesi.

Popolno obvitje kamnitih zrn z bitumnom je pogoj za dobro oprijemljivost bitumna s kamnitimi zrnji. Oprijemljivost pa bistveno prispeva k mehanski trdnosti (tlačna, natezna, potisna, upogibnonatezna) zmesi. Večja obvitost, večje mehanske trdnosti.

Kot sem že na začetku diplomske naloge omenil, je glavni namen hladne bituminizirane zmesi začasna sanacija poškodb asfaltnih površin, in to predvsem v hladnem delu leta, ko asfaltni obrati ne obratujejo. Slovenija ima tri podnebne tipe. Prvo je submediteransko podnebje, za katerega so značilne mile deževne zime in vroča poletja. Za drugo, zmerno celinsko podnebje, so značilne precej hladne zime in topla poletja. Tretje, alpsko podnebje, je najbolj ostro podnebje v državi z najnižjimi temperaturami. Prav zaradi podnebja in namena uporabe zmesi je potrebno preveriti vgradljivost hladne bituminizirane zmesi pri nizkih temperaturah. Če zmes ni vgradljiva pri nizkih temperaturah, potem je praktično neuporabna. Namreč uporaba hladne bituminizirane zmesi bi bila v vročem in toplem delu leta praktično neracionalna, saj se takrat lahko popravila izvedejo z vročimi asfaltnimi zmesmi, ki pa imajo veliko boljše lastnosti, kot hladne. Zakaj bi se izvajala začasna popravila s hladnimi bituminiziranimi zmesmi, če se lahko izvede trajno in bolj obstojno popravilo z vročimi

zmesmi. Iz preglednice 45 je razvidno, da tuje države izvajajo kontrolo vgradljivost zmesi pri nizkih temperaturah in vse zmesi so vgradljive.

Omenil sem, da na deformabilnost bituminizirane zmesi vpliva zgoščenost, oziroma bolj natančno stopnja zgoščenosti vpliva na trenje, trenje pa na deformabilnost zmesi. Vendar pa na deformabilnost vpliva tudi kohezija – lepljivost (kako dobro drži asfalt skupaj), ki je odvisna od viskoznega trenja in značilnosti veziva (temperatura, staranje, kemična sestava) ter adhezije (sprijemljivost kamnitih zrn). Večji indeks kohezije, večja odpornost zmesi proti preoblikovanju.

Poleg vseh omenjenih lastnosti bi bilo potrebno preveriti še občutljivost, predvsem možnost vgradnje in obstojnost zmesi, na vlago, saj je v hladnem delu leta pri delu z zmesjo prisotna vlaga.

Glede na to, da je hladna bituminizirana zmes skladiščena v razsutem ali pakiranem stanju, bi bilo potrebno preveriti še rok uporabe. Nekateri proizvajalci navajajo, da je zmes še vgradljiva celo eno leto od časa proizvodnje. Hladne bituminizirane zmesi pakirane v vrečah ali plastičnih kantah naj bi bile zaščitene pred vremenskimi vplivi in s tem naj bi se material ohranil dlje časa. Vendar, ali je to res?

Na vzorcih hladne bituminizirane zmesi sem opravil le tiste preiskave, ki mi jih je omogočala opremljenost laboratorija, zato predlogi glede kontrole kakovosti zmesi temeljijo zgolj na predvidevanjih in teoriji ter niso podkrepjeni z dejanskimi rezultati. Predvidevam da inštituti, ki podrobneje proučujejo lastnosti hladnih bituminiziranih zmesi in proizvajalci, ki tržijo izdelek, preverjajo omenjene in mogoče še dodatne lastnosti.

4 ZAKLJUČEK

Namen diplomskega dela je bil podrobneje predstaviti, na tržišču dokaj novo, bituminizirano zmes, in sicer hladno bituminizirano zmes ali hladni asfalt, katere glavni namen uporabe je hitra in enostavna sanacija poškodovani asfaltnih površin.

Njena najpomembnejša lastnost je hladna vgradnja, kar pomeni, da se jo lahko vgrajuje v vseh vremenskih pogojih.

Hladni asfalt je tako kot vse bituminizirane zmesi sestavljen iz zmesi kamnitih zrn, veziva in morebitnih dodatkov. Poglavitna posebnost sestave hladnega asfalta je ta, da hladni asfalt vsebuje dodatke proti hitremu strjevanju, kar omogoča da je zmes primerna za obdelavo za daljše časovno obdobje. Osnova veziva so cestogradbeni bitumni, predvsem »mehki«, saj je namen vgradnje hladnega asfalta v hladnem stanju. Kakovost kamnitih agregatov, uporabljenih za proizvodnjo hladnega asfalta, mora ustrezati zahtevam opredeljenim v TSC 06.416: 2003 – Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti – Tankoplastne prevleke. Poleg osnovnih materialov se za proizvodnjo hladnega asfalta lahko uporabiti tudi star oziroma rezkani asfalt.

Sama proizvodnja hladnega asfalta je povsem enaka proizvodnji vročih asfaltnih zmesi, torej je hladni asfalt proizveden po vročem postopku. Bistvena razlika med proizvodnjo hladnega in vročega asfalta je v temperaturi proizvedene zmesi, saj mora za hladni asfalt znašati manj kot 110 °C oziroma je odvisna od zahtev proizvajalca veziva.

Prednost hladnega asfalta pred vročim je možnost skladiščenja. Vročega asfalta ni možno skladiščiti za daljše časovno obdobje, lahko se ga za krajši čas skladišči v toplotno izoliranih silosih in nato porabi v nekaj urah. Hladni asfalt se lahko skladišči tako na prostem (pokrit za daljše obdobje) kot tudi pakiran v vreče ali kante (za neomejeno časovno obdobje).

Pri vgradnji asfaltnih zmesi je potrebno paziti na:

- *Vpliv vgradnje na promet:* vgrajevanje hladnega asfalta ne predstavlja velike ovire, saj je vgradnja hitra, medtem ko je pri vgrajevanju vročega asfalta velik del ceste blokiran za daljše časovno obdobje.
- *Stroške dela:* pri vgradnji hladnega asfalta so stroški minimalni, saj lahko manjše popravilo opravi samo en delavec, medtem ko je pri vročih asfaltnih potrebna večja skupina ljudi in strojev.
- *Odprtje ceste po vgradnji:* vožnja po površini iz hladnega asfalta je možna takoj po vgradnji, medtem ko je pri vročem asfaltu odložena.
- *Vremenske pogoje:* hladen asfalt se uporablja v vseh vremenskih pogojih, vroči pa le v toplih.

Kontrole kakovosti oziroma preiskave hladnih bituminiziranih zmesi niso še nikjer posebej opredeljene, ker ni standarda oziroma navodil. Lastnosti veziva in pripravljene hladne zmesi morajo čim bolj zadostiti zahtevam za klasične asfalte s poudarkom na lažjo vgradnjo v zimskem času pri nižjih temperaturah, čim hitrejšo zbitost, obstojnost in nedeformabilnost. Kakšne preiskave se bodo izvajale na hladnih bituminiziranih zmesih, je trenutno odvisno od odločitve proizvajalca v kolikšni meri želi prepričati potrošnika o kvaliteti proizvoda.

Kot je iz diplomskega dela razvidno je največji problem hladnega asfalta njegova kakovost oziroma kontrola kakovosti. Prav zaradi tega se evropski odbor za standardizacijo, ki se podrobneje ukvarja s testnimi standardi za asfaltne zmesi (CEN WG 1 227 TG 2), trenutno pripravlja na prilagajanje

standardov, ki bi bili koristni ne le za vroče asfaltne zmesi, ampak tudi za tople in hladne asfaltne zmesi. Trenutno se evropski standardi (EN 12697-xx) osredotočajo samo na vroče asfaltne zmesi.

5 VIRI

5.1 Monografije

Arnold J. Hoiberg. 1965. Bituminous materials: Asphalts, Tars, and Pitches. Volume. 2: Asphalts. Part one. New York, London, Sydney, A division of Wiley and Sons: 36—37 str.

Henigman, S., Bašelj, R., Britovšek, Z., Cotič, Z., Donko, D., Fortuna, I., Jurgele, M., Lamut, T., Ljubič, A., Naglič, O., Prešeren, M., Prosen, J., dr. Tušar, M., prof. dr. Žmavc, J. 2011. Asfalt. 2. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 13—15, 21, 47—48, 93, 113—116, 166, 168 str.

5.2 Standardi

SIST EN 12697-1:2006. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 1. del: Topni delež veziva.

SIST EN 12697-2:2004+A1:2007. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 2. del: Ugotavljanje zrnivosti.

SIST EN 12697-5:2010. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 5. del: Ugotavljanje največje gostote.

SIST EN 12697-6:2004+A1:2007. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 6. del: Ugotavljanje gostote bitumenskih preskušancev.

SIST EN 12697-8:2004. Bitumenske zmesi – Preskusne metode za vroče asfaltne zmesi – 8. del: Ugotavljanje značilnosti votlin v bitumenskih preskušancih.

TSC 06.416:2003. Vezane asfaltne obrabne in zaporne plasti. Tankoplastne prevleke. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste.

TSC 06.300/06.410:2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste.

TSC 06.511:2009. Prometne obremenitve. Določitev in razvrstitev. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste.

TSC 06.730:2001. Predhodna sestava asfaltne zmesi. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste.

5.3 Elektronski viri

The History of Asphalt

<http://www.beyondroads.com/index.cfm?fuseaction=page&filename=history.html>

(Pridobljeno 18. 4. 2012.)

Hladna asfaltna masa

<http://www.ggd.si/hladna-asfaltna-masa/>

(Pridobljeno 19. 4. 2012.)

Pothole Repair Guide

http://www.cantat-associates.com/pothole_repair_guide

(Pridobljeno 30. 4. 2012.)

Potholes

<http://nordagrar.com/potholes>

(Pridobljeno 4. 5. 2012.)

Utility Applications

http://nordagrar.com/utility_applns

(Pridobljeno 4. 5. 2012.)

5.4 Ostali viri

Delak, B. 2012. Hladna asfaltna zmes. Sporočilo za Vianova Slovenija / Markelj, A. 9. 5. 2012. Osebna komunikacija.

Delak, B. 2012. Informacija glede hladnih asfaltnih zmesi. Sporočilo za Irechimica / Prisljan, D. 22. 4. 2012. Osebna komunikacija.

Delak, B. 2012. Cold Asphalt. Sporočilo za Cantat Associates Inc. / Golnik, D. 28. 5. 2012. Osebna komunikacija

Delak, B. 2012. Hladni asfalt. Sporočilo za IGMAT d.d., Inštitut za gradbene materiale / Ljubič, A. 24. 8. 2012. Osebna komunikacija.

Delak, B. 2012. Hladni asfalt. Sporočilo za tehnična univerza Dunaj / Hofko, B. 3. 9. 2012. Osebna komunikacija.

Žmavc, J. 2012. Tankoplastne prevleke po hladnem postopku - TPH. Osebna komunikacija. (27. 9. 2012.)

Privzete slike in tabele

[1] Žmavc, J. 2007. Zgodovina gradenj cest. V: Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 19, 26—27 str.

[2] Morari, M. Pitch Lake in Trinidad. <http://www.besttourism.com/items/di/281?title=Pitch-Lake-in-Trinidad&b=40> (Pridobljeno 18. 4. 2012.).

[3] Arnold J. Hoiberg. 1965. Bituminous materials: Asphalts, Tars, and Pitches. Volume. 2: Asphalts. Part one. New York, London, Sydney, A division of Wiley and Sons: 36—37 str.

[4] Arhiv CPK d. d. (Pridobljeno 3. 4. 2012.).

[5] Paving the way to go green. http://www.plmcorporation.net/greenpatch/index_green.shtml (Pridobljeno 3. 5. 2012.).

[6] TSC 06.511:2009. Prometne obremenitve. Določitev in razvrstitev. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 10 str.

[7] TSC 06.416:2003. Vezane asfaltna obrabne in zaporne plasti. Tankoplastne prevleke. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 8—11 str.

- [8] TSC 06.300/06.410:2009. Smernice in tehnični pogoji za graditev asfaltnih plasti. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 29 str.
- [9] Lukač, B., Žmavc, J. 2011. Sestava asfaltnih/bituminiziranih zmesi. Vrste in lastnosti bituminiziranih zmesi. Lastnosti proizvedenih in vgrajenih bituminiziranih zmesi. Tankoplastne prevleke po hladnem postopku (SS). V: Asfalt. 2. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 93 str.
- [10] Naglič, O. 2011. Materiali. Veziva. V: Asfalt. 2. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 21 str.
- [11] Vialit Asphalt GmbH & Co.KG. Declaration of Conformity. Flux bitumen. Fm 3 B 2 - KMG (FBK). http://www.vialit.at/images/files/PDF_Datenblatter/CE_0989__CPD__0976/Fm_3_B_2_-_KMG__FBK_.pdf (Pridobljeno 12. 4. 2012.).
- [12] Delak, B. 2012. Informacija glede hladnih asfaltnih zmesi. Sporočilo za Irechimica / Prislán, D. 22. 4. 2012. Osebna komunikacija.
- [13] Cold Mix Asphalt - Production Process. <http://www.cantat-associates.com/coldpatch/production> (Pridobljeno 12. 6. 2012.).
- [14] TSC 06.730:2001. Predhodna sestava asfaltne zmesi. Ljubljana, Direkcija Republike Slovenije za ceste: 3—16 str.
- [15] Benninghoven. 2008. Dokumentacija. Napotki za uporabo. Načrt za vzdrževanja in mazanja. Seznam nadomestnih delov. Mešalnik za asfalt »Concept«, Vrsta TBA 160 U.
- [16] Bašelj, R., Bradeško, S., Kerstein, A., Marolt, M., Planinc, J., Pogoršek, F., Šuštar, J., Willenpart, B. 2011. Proizvodnja, prevoz in vgrajevanje asfaltnih zmesi. Ponovna uporaba asfaltnih zmesi - recikliranje. V: Asfalt. 2. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 166, 168 str.
- [17] Prodaja hladne asfaltne zmesi. http://www.cpg.si/index.php?vie=cnt&act=2&str=1_slo&id=2006071309235930 (Pridobljeno 20. 6. 2012.).
- [18] Žmavc, J. 2012. Tankoplastne prevleke po hladnem postopku - TPH. Osebna komunikacija. (27. 9. 2012.).
- [19] Delak, B. 2012. Hladna asfaltna zmes. Sporočilo za Vianova Slovenija / Markelj, A. 9. 5. 2012. Osebna komunikacija.
- [20] TAHTING, inženiring podjetje za trgovino, finance, marketing, tehnologijo in razvoj d. o. o. 2012. Hladne asfaltne zmesi. Cam-phalt. <http://www.tahting.si/dokumenti/novosti/camphalt.pdf> (Pridobljeno 20. 6. 2012.).
- [21] Pothole Repair Guide. http://www.cantat-associates.com/pothole_repair_guide (Pridobljeno 30. 4. 2012.).

- [22] Perma-Patch Cold Mix Asphalt Project Photos. http://www.cantat-associates.com/permapatch_photos (Pridobljeno 18. 5. 2012.).
- [23] Perma Patch Cold Mix Asphalt. <http://www.cantat-associates.com/coldpatch> (Pridobljeno 18. 5. 2012.).
- [24] Žmavc, J. 2007. Zmesi zrn. V: Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 45 str.
- [25] Žmavc, J. 2007. Postopki preiskav bitumna. V: Gradnja cest. Voziščne konstrukcije. 2. izdaja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, DRC – Družba za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije: 76, 77, 79 str.
- [26] Delak, B. 2012. Cold Asphalt. Sporočilo za Cantat Associates Inc. / Golnik, D. 28. 5. 2012. Osebna komunikacija.
- [27] Potholes. <http://nordagrar.com/potholes> (Pridobljeno 5. 4. 2102.).