

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:

Poglajen, M., 2016. Uporaba toplih asfaltnih zmesi in ponovna uporaba asfalta. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Žura, M.): 26 str.

Datum arhiviranja: 16-12-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Poglajen, M., 2016. Uporaba toplih asfaltnih zmesi in ponovna uporaba asfalta. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Žura, M.): 26 pp.

Archiving Date: 16-12-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

MIHA POGLAJEN

**UPORABA TOPLIH ASFALTNIH ZMESI IN PONOVNA
UPORABA ASFALTA**

Diplomska naloga št.: 282/B-GR

**USE OF WARM MIX ASPHALT AND REUSE OF
RECLAIMED ASPHALT**

Graduation thesis No.: 282/B-GR

Mentor:

izr. prof. dr. Marijan Žura

Ljubljana, 27. 10. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVA

Spodaj podpisani študent Miha Poglajen, vpisna številka 26110440, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Uporaba toplih asfaltnih zmesi in ponovna uporaba asfalta izjavljam

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

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

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

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

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

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

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

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

V Ljubljani

Datum: _____

Podpis študenta:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN POVZETEK

- UDK:** 625.752(043.2)
- Avtor:** Miha Poglajen
- Mentor:** izr.prof. dr. Marijan Žura
- Naslov:** Uporaba toplih asfaltnih zmesi in ponovna uporaba asfalta
- Obseg in oprema:** 25 str., 8 sl., 7 pregl., 3 graf.
- Ključne besede:** hladna reciklaža, ponovna uporaba asfalta, tople asfaltne zmesi

Povzetek

Diplomsko delo v prvem delu predstavi razpoložljive tehnologije in možnosti ponovne uporabe asfaltnih zmesi. V nadaljevanju prvega dela sta predstavljena dva najpogosteje uporabljana postopka ponovne uporabe, in sicer postopek s ponovno uporabo na mestu rušenja, imenovan »hladna reciklaža« in recikliranja asfalta z opisom postopka pridobivanja asfaltnega granulata in postopkom priprave ter ponovne uporabe v novih asfaltnih zmesih. V drugem delu naloge so predstavljene tako imenovane tehnologije proizvodnje tople asfaltne zmesi. Glede na tehnologije proizvodnje jih ločimo v dve skupini in sicer v proizvodnja katera izkorišča penjenje bitumna pri uparjanju vode ter tehnologija katera s pomočjo kemičnih dodatkov izkorišča kemično preoblikovanje strukture bitumenskega veziva. S pomočjo obeh se doseže znižanje viskoznosti bitumna brez povečanja temperature. V zaključnem delu naloge je predstavljenih nekaj statističnih podatkov o stanju uporabljanja tehnologij gradnje in rekonstrukcije cest opisanih v nalogi na območju Slovenije, Evrope in Sveta. V tem delu sta tudi izvedeni analizi ekonomske upravičenosti uporabe tehnologije proizvodnje tople asfaltne zmesi z uporabo Sasobita in pa ekonomske presoje izvedbe rekonstrukcije cestnega odseka z uporabo hladne reciklaže oziroma izvedbe po klasičnem postopku.

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDK: 625.752(043.2)

Author: Miha Poglajen

Supervisor: prof. Marijan Žura, Ph.D.

Title: Use of warm mix asphalt and reuse of reclaimed asphalt

Notes: 26 p., 8 fig., 7 tab., 3 graf.

Key words: cold recycling, reclaimed asphalt, warm mix asphalt

Abstract

This thesis in its first part describes known technologies for reclaiming of asphalt mixtures. There are two methods that are described. First one is called cold recycled technology, which is used in situ while road destruction. The second one is about getting, preparing and using recycled asphalt aggregate in production of new asphalt mixtures. In the second part of the thesis are represented technologies for warm mix asphalt production, which can basically be created in two ways. The first one is by using the fact that the hot binder expands and foams when water is added and the second one uses chemicals to change chemical structure of the binder. In any way is the goal to reduce bitumen viscosity without increasing binder temperature. The final part is about representing statistics of using above mentioned technologies in Slovenia, Europe and around the world. In the last part there is also analysed the economic viability of producing warm mix asphalt with Sasobit and viability of using technology of cold recycling instead of classic reconstruction.

ZAHVALA

Za vse koristne nasvete, strokovne usmeritve in pomoč pri pisanju diplomske naloge se v prvi vrsti zahvaljujem prof. dr. Marijanu Žuri.

Za vso pomoč in potrpežljivost gre zahvala tudi moji družini, prijateljem in sošolcem, ki so mi v času študija stali ob strani.

»Ta stran je namenoma prazna«

Kazalo vsebine

1	Uvod in predstavitev pojmov	1
2	Ponovno uporabljen - recikliran asfalt	2
2.1	Recikliranje materiala na mestu vgradnje po hladnem postopku	2
2.1.1	Postopek izvedbe	3
2.1.2	Dodatki in veziva	5
2.2	Ponovna uporaba pri izdelavi novih asfaltnih zmesi v proizvodnji	5
2.2.1	Pridobivanje in priprava odrabljenega materiala.....	6
2.2.2	Proces proizvodnje	8
3	Tople asfaltni zmesi.....	10
3.1	Osnovno	10
3.2	Tehnologije proizvodnje	10
3.2.1	Organski dodatki-voski	12
3.2.2	Procesi izdelave toplega asfalta s penjenjem bitumna	13
3.3	Prednosti.....	15
3.3.1	Prednosti pri polaganju.....	15
3.3.2	Okoljski vidik.....	17
3.3.3	Delovni pogoji-izpostavljenost delavcev	17
4	Pregled stanja uporabe v Sloveniji, Evropi in svetu.....	19
4.1	Proizvodnja toplih asfaltnih zmesi	20
4.2	Ponovna uporaba asfalta.....	23
5	Zaključek.....	25
	Viri	26

Kazalo preglednic

Tabela 1 Tehnologije proizvodnje toplih asfaltnih zmesi	11
Tabela 2 Zmanjšanje izpušnih emisij v odstotkih glede na državo	17
Tabela 3 Prikaz proizvodnjih količin asfalta v milijon tonah.....	19
Tabela 4 Proizvodnja toplih asfaltnih zmesi v milijon tonah v letih 2013 in 2014.....	20
Tabela 5 Odstotkovna primerjava proizvodnje toplih asfaltnih zmesi z kompletno proizvodnjo	20
Tabela 6 Primerjalna analiza cene klasične in obnove po postopku hladne reciklaže	23
Tabela 7 Podatki o odstotkovni razdelitvi porabe razpoložljivega asfaltnega granulata po državah za leto 2014.....	24

Kazalo grafikonov

Graf 1 Grafični prikaz proizvodnje v milion tonah po državah po letih	20
Graf 2 Grafični prikaz proizvodnje toplih zmesi v ZDA v milijon tonah	21
Graf 3 Prikaz porasta odstotka proizvodnje toplih asfaltnih zmesi naproti celotni proizvodnji v letih 2009-2014	21

Kazalo slik

Slika 1 Primer ceste kjer je uporaba tega postopka smiselna.....	3
Slika 2 Reciklator in cisterni	4
Slika 3 Prikaz izdelave recikliranega sloja.....	4
Slika 4 Shematski prikaz upenjenja bitumna z brizganjem vode	5
Slika 5 Porušen asfalt v obliki plošč (levo) in ne sejani asfaltni drobljenec	7
Slika 6 Asfaltni rezkalnik v delu	8
Slika 7 Sasobit v obliki kosmičev (levo) in v obliki kroglic (desno)	13
Slika 8 Lincomont BS 100 v obliki granul.....	13

1 UVOD IN PREDSTAVITEV POJMOV

Skozi zgodovino so ljudje na različne načine utirali poti, sprva so bile to steze, kasneje pa od ožjih poti pa vse do cest kakšne poznamo danes. Ceste se gradijo zaradi izkazanih potreb po transportu oseb ali materije po določeni trasi. Z načinom transporta se do neke mere definira tudi potrebo po obliki transportne poti. Tako dandanes obstajajo različne kategorije cest glede na izkazano potrebo. Za vsako od kategorij je znana okvirna kapaciteta, s katero pa je povezana tudi konstrukcija ustroja in zaključnega sloja. Razvoj gradbenih materialov kljub na splošno počasnem razvoju gradbeništva poteka dokaj hitro, tako za izgradnjo cest nižjih pretočnosti obstajajo različne stabilizacije obstoječe podlage, s katerimi se doseže zadostna togost podlage in pa trajnost produkta, tako da jih je smiselno uporabljati. Ena od stabilizacij, poznana in uporabljana predvsem na področju severne Amerike je polimerna stabilizacija. Le to vbrizgamo v podlago preko posebnih šob. Globina vbrizga je odvisna predvsem od obremenjenosti ceste in od strukture obstoječe zemljine. V slovenskem okolju sta kot zaključni sloj zgornjega ustroja na splošno uporabljana asfaltni in eventualno cementni beton. V nadaljevanju diplomske naloge je, zaradi širokega področja vsake izmed naštetih tem, pozornost posvečena asfaltnim oblogam. Kljub temu pa je obseg te diplome bistveno premajhen, da bi v njem lahko zajel večjo količino podatkov o asfaltnih in z njimi povezanimi temami. Diploma tako obravnava temo recikliranje asfalta in ponovna uporaba v zmesih ter temo tople asfaltne zmesi. Slovenska, evropska in svetovna stroka se prav s tema dvema v zadnjem času ukvarja največ, saj sta deležni največ pozornosti na strokovnih posvetih.

Asfaltna industrija in društva ter zavodi za razvoj asfalta neprestano strmijo k temu, da bi našli nove rešitve, katere bi izboljšale konstrukcijsko stabilnost slojev voziščne konstrukcije, olajšale delo, zmanjšale negativne vplive na okolje in delavce ter ohranjale naravne materialne vire.

2 PONOVO UPORABLJEN - RECIKLIRAN ASFALT

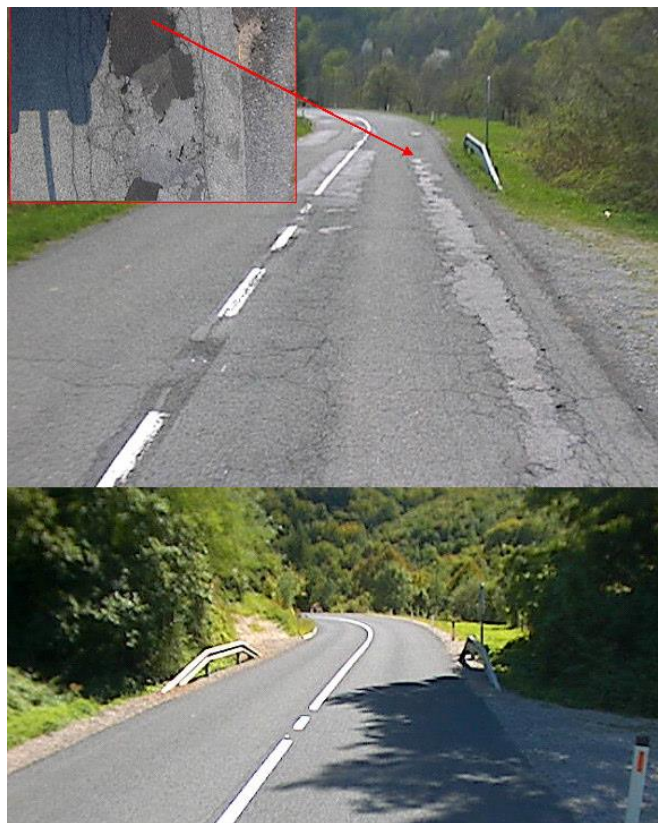
Dimenzioniranje voziščnih konstrukcij predvideva življenjsko dobo asfaltnih plasti 20 let. Sicer so te ob kvalitetni izdelavi spodnjega ustroja in zgornje nevezane nosilne plasti ter ob kvalitetnem načrtovanju in izdelavi asfaltne zmesi sposobne preživeti tudi precej daljšo dobo. Razlogi za propadanje asfaltnih zmesi so različni, bodisi je slabo pripravljena podlaga, slaba izdelava asfalta, vgrajevanje zmesi ob neprimernih vremenskih okoliščinah ali pa je ob načrtovanju izbran bitumen napačne viskoznosti. Kakor koli v primeru propadanja voziščne konstrukcije, je le to potrebno sanirati, obseg sanacije pa se določi v odvisnosti od prisotnih anomalij v obstoječem ustroju ceste let (Henigman, 2015). Zaradi težnje po trajnostnem razvoju in varovanja okolja, kamor spada tudi varčevanje naravnih virov, se je v gradbeništvu razvilo več postopkov za ponovno uporabo odrabljenega asfalta:

- Uporaba zmletega materiala za nasipni material
- Recikliranje materiala na mestu vgradnje po vročem postopku
- Recikliranje materiala na mestu vgradnje po hladnem postopku
- Ponovna uporaba pri izdelavi novih asfaltnih zmesi v proizvodnji

Zmleti porušeni asfaltni drobljenec je zelo kvaliteten in neoporečen material za uporabo v raznih nasipih. Zaradi prisotnosti bitumna na delcih agregata, le ta vpliva na povezanost med zrni. V praksi se ga zaradi teh lastnosti veliko uporablja pri izdelavi transportnih poti, utrditvi manj prometnih makadamskih cest, utrditvi bankin ali pa kar kot nasipni material za zgornji ustroj nevezane nosilne plasti v voziščni konstrukciji. V naslednjih poglavjih sta podrobneje opisana postopka izdelave recikliranja materiala za postopka zgoraj navedena pod tretjo in četrto alinejo, katera sta uporabljana na slovenskem in širšem območju okoli Slovenije. Recikliranje na mestu vgradnje po vročem postopku je primernejši za velike projekte, saj je zaradi zahtevne mehanizacije in zapletenega procesa za manjše rekonstrukcijske projekte predrag (Henigman, 2016).

2.1 Recikliranje materiala na mestu vgradnje po hladnem postopku

Postopek recikliranja materiala na mestu vgradnje se običajno uporablja pri obnovah voziščnih konstrukcij, kjer raziskave pokažejo, da je potrebno rekonstruirati poleg vezane tudi nevezano zgornjo nosilno plast ali pa je zaradi povsem propadajočega asfalta in oddaljenosti deponije za odlaganje asfaltne drobljenca bolj smotrno uporabiti ta postopek, s katerim se na eni strani zmanjšajo stroški transporta in obremenitev okolice zaradi tega, na drugi strani pa se izboljša podlaga za polaganje nove asfaltne zmesi.



Slika 1 Primer ceste kjer je uporaba tega postopka smiselna (vir: Hevka, 2010.)

2.1.1 Postopek izvedbe

Pri obnovi voziščnih konstrukcij z recikliranjem materiala na mestu vgradnje, je zato potrebna posebna oprema, katera sestoji iz dolge kompozicije mehanizacije. Pred samo izvedbo na terenu je seveda potrebno odvzeti vzorce z izvrtinami in določiti potreben ukrep ter recepture. Iz vzorcev se ugotovi kaj in koliko česa je potrebno dodati obstoječi podlagi za doseganje dobrih rezultatov po opravljeni reciklaži. Postopek izvedbe je sledeč:

1. Posip frakcij agregata, katere so premalo zastopane v obstoječi konstrukciji
2. Rastros cementa ali apna ali drugega veziva za doseganje boljših lastnosti sloja
3. S postrojenjem strojev potrebnih za reciklažo se obdela območje
4. Z zemeljskimi valjarji se komprimira podlago
5. Z uporabo grederja se izravna podlago

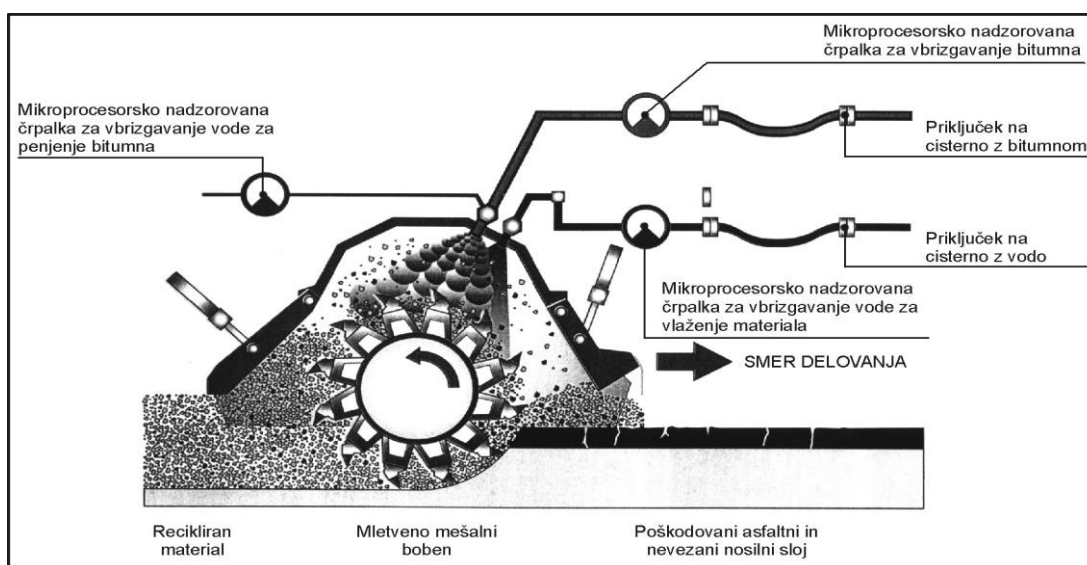
Zgoraj omenjeno postrojenje strojev za izvedbo recikliranja je sestavljeno iz cisterne za vodo in cisterne za bitumen, katere sta preko cevi vsaka posebej priključeni v reciklirni boben na stroju, kateri se imenuje reciklator. Le ta potiska obe cisterni v smeri delovanja in v svojem mlevno - mešalnem bobnu premeša odrezkan material, posut agregat, cement in vodo ter segret bitumen. Voda se preko posebnih šob vbrizgava v bitumen tik pred dovodom v boben. Bitumen zaradi svoje sorazmerno visoke temperature vbrizgava vodo spremeni v vodno paro, kar povzroči povečanje volumna bitumna

in penjenje le tega. Pred izdelavo je kot je omenjeno zgoraj narejena podrobna receptura iz katere so razvidne točne količine dodatkov pri recikliranju. Količina dodajanja posameznega dodatka je sicer odvisna tudi od globine sanacije voziščne konstrukcije. Globina posega je odvisna od rezultatov predhodnih preiskav, sicer pa se običajno giblje od najmanj 15 cm pa nekje do 30 cm. (Hevka, 2010 in Henigman, 2015)

Takoj za prehodom recikatorja je na vrsti komprimiranje z vibracijskimi valjarji. Le to je zaradi vbrizgavanja penjenega bitumna in prave količine vode olajšano, saj je dobljena zmes pri pravilnem projektiranju zelo dobro vgradljiva. Po doseženi želeni oziroma projektirani zgoščenosti ustroja se z uporabo grederja naredi končno profilacijo prečnih sklonov. Glede na projekt izvedbe se na pripravljeno površino izvede en oziroma več asfaltnih slojev.



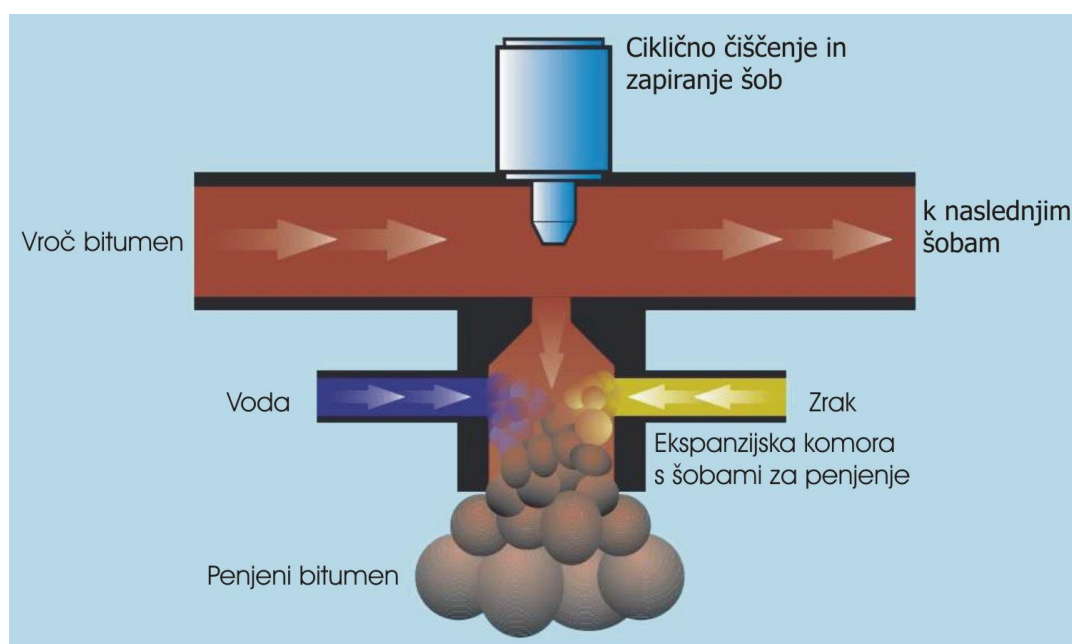
Slika 2 Recikator in cisterni (vir: Hevka, 2010.)



Slika 3 Prikaz izdelave recikliranega sloja (vir: Henigman, 2006.)

2.1.2 Dodatki in veziva

Glede na izvedene preiskave se ugotovi potrebne dodatke in njihove količine. Dodajanje oziroma raztros drobljenca pred preходом reciklatorja se izvede zaradi doseganja ustrezne granulometrijske sestave bodoče mešanice materialov ter za popravljanje višine nivelete ceste. Običajno se dodajata granulaciji drobljenca 0/32 mm in 0/2 mm. Dodajanje finih delcev pod 0.063 mm je potrebno zaradi doseganja zadostne količine le teh saj predstavljajo ogromno površino za oprijemanje s penjenim bitumnom.



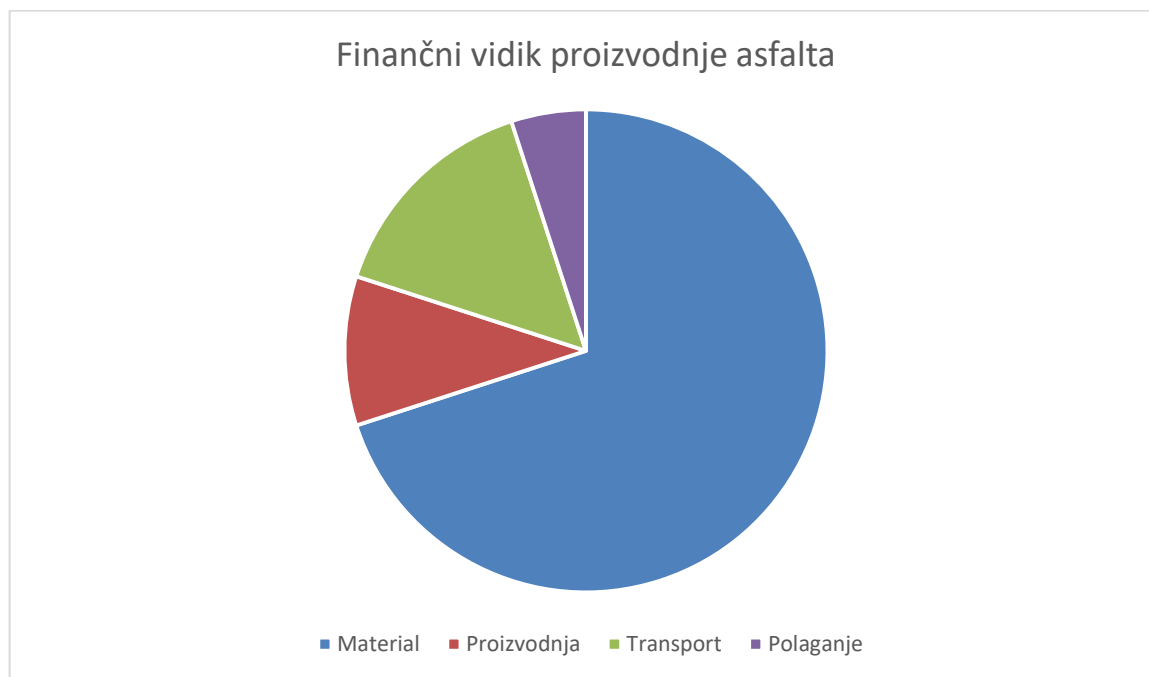
Slika 4 Shematski prikaz upenjenja bitumna z brizganjem vode (vir: Hevka., 2010.)

Za drobne frakcije se uporabljajo cement, apno, elektrofiltrski pepel ali kamena moka. Z dodajanjem teh materialov mešanici poleg zgoraj omenjenega izboljšajo tudi indirektno natezno trdnosti. Penjeni bitumen je najbolj pomemben material med dodatki. Bitumen je v cisterni pred reciklatorjem segret na okoli 160 do 180° C in se po cevi pretaka do priključka na mešalni boben. Tik pred vstopom v boben se preko šob vbrizga vodo s temperaturo okoli 20° C ter zrak iz zunanosti. Pri vbrizgu se voda zaradi visoke temperature bitumna spremeni v paro, kar se odrazi v hipnem kar 20-kratnem povečanju volumna vode in bitumna ter upenjenju bitumna. Količina vbrizgane vode je 2 odstotka glede na maso bitumna (98 odstotkov). (vir: Hevka, 2010 in Henigman, 2006)

2.2 Ponovna uporaba pri izdelavi novih asfaltnih zmesi v proizvodnji

Več kot 90 odstotkov vseh cest v rangu od avtocest do regionalnih cest v razvitem svetu je izvedeno z zaključnim vezanim asfaltnim slojem, bodisi vročem ali toplem. S staranjem infrastrukture skozi čas je

le to potrebno obnavljati. Z obzirom na trajnostni razvoj in ohranjanje naravnih bogastev razvoj asfaltne industrije strmi k temu, da bi ves material reciklirali in ga ponovno uporabili za enak namen. Za razvojem strmijo predvsem večja podjetja, katera se ukvarjajo s proizvodnjo asfalta, saj je pri izdelavi enake zmesi finančni prihranek glede na spodnji graf ogromen, s tem pa podjetja lahko dosegajo večjo konkurenčnost na trgu, torej je izbira za proizvodnjo recikliranega asfalta normalna z vidika ekonomike.



Poleg finančnega in ekološkega vidika je postopek primeren tudi zaradi v nekaterih območjih pomanjkanja agregata ter slabše oskrbovanosti z bitumnom na eni strani, na drugi pa vedno večje povpraševanje po asfaltni zmesi. Vse naštetu je v svetu zelo spodbudilo uporabo recikliranega asfalta v novih zmesih, v Sloveniji pa je do danes z recikliranjem materiala proizvedeno le malo asfaltne zmesi na letni ravni.

2.2.1 Pridobivanje in priprava odrabljenega materiala

Asfalti granulat pridobljen na enega od spodaj opisanih načinov zaradi vzroka propadanja voziščne konstrukcije popolnoma uporaben in načeloma nič slabše kvaliteten od surovega kamnolomskega agregata. Asfalti granulat za ponovno uporabo se sicer lahko pridobiva na dva osnovna načina:

1. z mletjem asfalta in
2. z rezkanjem

Pri prvem načinu se s težkimi bagri asfaltno zmes razlomi na asfaltne plošče, katere so kot take popolnoma neuporabne, zato se jih s kamioni prepelje v deponijo kjer se s pomočjo drobljenja dobi ustrezne frakcije drobljenca za ponovno uporabo. Zaradi nepredvidljivega vremena ali drugih

okolščin se zgodi, da proizvedenega asfalta ni moč vgraditi, le ta prav tako pristane na deponiji kjer se z mlinom ponovno proizvede drobljenec. Slabost tega postopka je v tem, da se z rušenjem dobi gradbeni odpadki, kateri poleg asfalta vsebuje tudi tamponski drobljenec in morebitne druge ostanke kot so na primer koščki robnikov. Večje konce neželenih primesi je potrebno na deponiji izločiti, nato pa asfaltne plošče razbiti na konce, tako da so primerne za vstavljanje v mlin. Po zmletju asfalta je drobljenec glede na karakteristike primerljiv z rezkanim drobljencem. V primeru uporabe drugega načina pridobivanja asfaltnega drobljenca se uporablja mehanizacija imenovana »asfaltni rezkalnik«, kateri s posebnim vodno hlajenim bobnom obdanim z rezili odreza asfaltno površino in jo v obliki asfaltnega drobljenca na tekočem traku transportira na prevozno sredstvo kot je prikazano na sliki 6. Prednost postopka z rezkanjem je v tem, da v primeru pravočasne sanacije ceste na prevozno sredstvo s tekočega traka pada material, kateri ne potrebuje naknadne obdelave za vgradnjo v novo zmes. Pri zakasneli obnovi zaradi prekrhkega bitumna pride do lomljenja asfalta, zaradi česar je drobljenec vseeno potrebno poslati v mlin. Kakorkoli v primeru pravočasno rezkanega asfalta ali v primeru mletja asfalta je na koncu produkt primerljiv, v obeh primerih je to drobljenec različnih frakcij, katere se s pomočjo sit, kot v gramoznicah ločuje na frakcije.



Slika 5 Porušen asfalt v obliki plošč (levo) in ne sejani asfaltni drobljenec (vir: Copeland, 2011)

Prej omenjeno selektivno rezkanje omogoča dodatni prihranek, saj se z njim najprej rezka zgornji obrabno zaporni sloj običajne debeline 3-5 cm, kateri na cestah ne najnižjega ranga vsebuje kvalitetnejši bitumen ter zrna drobljenca silikatnega izvora. V naslednji fazi pa se rezka spodnje plasti oziroma se po potrebi postopek podaljša za dodatno fazo. S tem se izvede ločevanje drobljenca na mestu nastanka, kar prihrani čas in strošek kasnejšega ločevanja in analiziranja drobljenca. V Sloveniji je sicer cenovno razmerje med silikatnim in karbonatnim drobljencem približno 3:1 (Poglajen, 2016).



Slika 6 Asfaltni rezkalnik v delu (vir: www.wirtgen.com)

2.2.2 Proces proizvodnje

Presejan asfaltni drobljenec je v asfaltni proizvodnji skladiščen ločeno po frakcijah v pokritih skladiščih, tako da je zagotovljena zračna vlažnost drobljenca, s pomočjo katere se doseže manjši strošek proizvodnje. Pomembno je, da je uskladiščen material laboratorijsko testiran in pregledan, tako da obstaja natančen podatek o vsebnosti bitumna, vrsti oziroma viskoznosti bitumna na drobljencu in vrsti agregata. Pri proizvodnji se lahko uporablja šaržni postopek, kateri je značilen za evropske države ali pa kontinuirani postopek mešanja.

2.2.2.1 Šaržni postopek

Asfaltni granulati se pri šaržnem postopku dodajajo na več različnih načinov. Glede na to obstaja več postopkov proizvodnje reciklirane asfaltne zmesi:

- z neposrednim segrevanjem granulata z vročo zmesjo zrn
- s segrevanjem granulata skupaj s segrevanjem zmesi zrn
- s segrevanjem granulata ločeno od segrevanja zmesi zrn

V Sloveniji je trenutno uveljavljen le postopek z neposrednim segrevanjem asfaltne granulata z vročo zmesjo zrn. Slabost tega postopka je, da je omejena količina ponovno uporabljenega asfaltne granulata, saj se le ta segreva z segretim svežim kamnolomskim agregatom. Tako je meja uporabe pri nekje 30 odstotkov.

2.2.2.2 Neposredno segrevanje asfaltne granulata

Pri tem postopku, kateri je kot je zgoraj omenjeno, trenutno edini uporabljen v Slovenskem prostoru, se reciklirani asfaltni granulati segreje zaradi neposrednega stika s segretim novim materialom v mešalnem bobnu. Zaradi postopka je potrebno sveži agregat segreti na od 20 do 40°C višji temperaturo kot pri običajni zmesi brez recikliranega agregata. To je prvi vzrok povečanja cene same proizvodnje, drugi vzrok pa je podaljšan čas suhega mešanja obeh agregatov med sabo zaradi potrebe

prenosa temperature. Zaradi dodajanja hladnega asfaltnega drobljenca, se ob segrevanju v mešalnem bobnu sproščajo večje ali manjše količine vodne pare, v odvisnosti od vlažnosti materiala, katero je potrebno odvesti iz mešalnega bobna.

2.2.2.3 Segrevanje asfaltnega granulata skupaj z vročo zmesjo zrn

Posebna tehnična opremljenost asfaltnega obrata lahko omogoča hkratno skupno segrevanje asfaltnega granulata in zmesi zrn v posebej prirejenem sušilnem bobnu, kateri omogoča izločanje odcejenega bitumna iz asfaltnega granulata. Asfaltni granulati potujejo od sredine sušilnega bobna, kjer se ga dodaja, skupaj z zmesjo zrn v vroči elevator in naprej v vroči silos mimo sit. Problema vodne pare v mešalnem bobnu v tem primeru ni. Ker ponovno sejanje zmesi zrn asfaltnega granulata v nadaljevanju ni mogoče, tudi korekcije granulometrijske sestave pred vstopom v mešalni boben ni možno izvesti. Tako je še posebno pomembno, da se prvo tehtanje, izvedeno pri skladiščnih silosih izvede karseda natančno. Sicer je zaradi specifičnosti postopka le ta bolj primeren za uporabo pri kontinuiranem kot pri šaržnem postopku. (Copeland, 2011)

2.2.2.4 Segrevanje asfaltnega granulata v vzporednem sušilnem bobnu

Neposredno segrevanje asfaltnega granulata v posebnem ločenem sušilnem bobnu vodi v teoretično možno pripravo asfaltne zmesi tudi le iz asfaltnega granulata. V praksi pa pri tem načinu lahko načrtujemo glede na zahtevnost in vrsto proizvedene nove asfaltne zmesi uporabo bistveno večjih deležev asfaltnega granulata. Izredno pomembna je predhodna določitev kakovostnih karakteristik asfaltnega granulata, kajti njegov vpliv se z večjo vsebnostjo občutno odraža na lastnostih nove proizvedene asfaltne zmesi.

Asfaltni granulati se zaradi lastnosti bitumenskega veziva ter emisij plinov in par v vzporednem bobnu segreje do cca. 130 °C. Posebno zasnovani sušilni bobeni omogočajo segrevanje asfaltnega granulata brez občutnih sprememb kakovostnih karakteristik. Tako segreti granulati se vmesno skladiščijo v vročem silosu in se naprej preko ločene tehtnice za zmes zrn dozira v mešalnik. Tovrstna tehnologija nudi možnosti celovitejšega pristopa k ponovni uporabi – recikliranju asfaltnih plasti po vročem ali toplim postopku. (Copeland, 2011)

3 TOPLE ASFALTNE ZMESI

Tople asfaltne zmesi so rezultat dela na poti do zmanjšanja emisij sproščenih pri proizvodnji in polaganju asfalta skladno s Kjotskim protokolom kateri predvideva zmanjšanje onesnaževanje zraka s škodljivimi emisijami. Protokol je sprejelo 192 držav sveta in je stopil v veljavo 16. februarja 2005 (http://unfccc.int/kyoto_protocol/status_of_ratification/items/2613.php)

Na osnovi tega so se evropska združenja in organizacije za razvoj asfaltne industrije usmerile k cilju znižanja temperature asfaltne zmesi, kar bi prineslo manjši negativni vpliv na okolico in na delavce prisotne pri vgrajevanju asfalta. Težava je nastala v tem, da ima vezivo asfaltne zmesi, se pravi bitumen, pri nižjih temperaturah višjo viskoznost. Evropski raziskovalci so s pomočjo raziskav in poizkusov razvili postopke, kateri pa v Evropi vse do danes niso prišli v množično uporabo in se kljub mnogim prednostim pri uporabi vgrajuje le okoli 15 odstotkov vseh položenih zmesi. Razvoj se je tako nadaljeval na drugih celinah in tako se dandanes v Združenih državah Amerike in drugod te prednosti s pridom izkoriščajo.

3.1 Osnovno

Tople asfaltne zmesi predstavljajo skupino tehnologij, katere omogočajo proizvodnjo in ročno ali strojno vgrajevanje asfaltne podlage pri znižanih temperaturah. Pri razvoju je vse šlo v smeri zmanjšanja viskoznosti asfaltnega veziva – bitumna oziroma doseganje enake viskoznosti kot pri vročih zmesih le pri nižji temperaturi. Kakorkoli gledamo, namen je, da je viskoznost bitumna zmanjšana do te mere, da so z bitumnom dodobra oblita vsa zrna agregata prisotnega v asfaltni zmesi kar je predpogoj za kvalitetno izdelavo le te. Z obzirom na izbiro tehnologije izdelave tople asfaltne zmesi lahko znižamo proizvodnjo temperaturo od 20 pa vse do 55°C glede na vroče asfaltne zmesi.

3.2 Tehnologije proizvodnje

Tehnologije proizvodnje tople asfaltne zmesi je mogoče razdeliti na številne načine. Eden od načinov je zmanjšanje stopnje temperature pri proizvodnji. Razpon temperature pri kateri se proizvajajo tople asfaltne zmesi je precej širok, saj gre vse od 20-30°C pod proizvodnjo temperaturo vročih asfaltnih zmesi pa do nekaj malega nad 100°C. Poznamo tudi pol tople asfaltne zmesi, pri katerih temperatura proizvodnje ne presega 100°C.

Tehnologije proizvodnje prav tako lahko razdelimo glede na tip. Poznamo dva glavna tipa proizvodnje tople asfaltne zmesi. Pri prvem se za uporabljajo majhne količine vode, pri drugem se potrebuje organske dodatke zmesi oziroma dodatke v obliki voska, kateri prav tako učinkujejo na možnost znižanja temperature. Proces pri katerem dodajamo majhno količino vode bodisi skozi šobo v posodo za penjenje bitumna bodisi z dodajanjem hidrofilnega materiala kot je zeolit ali vlažnega agregata se opira na dejstvo, da se voda pri danem volumnu pri uparjanju v pogojih atmosferskega tlaka expandira za faktor 1,673 (D'Angelo, 2008). Ko je voda razpršena v vroči bitumen se spremeni v

vodno paro pri čemer kot je zapisano naraste volumen, kar rezultira v naraščanju volumna bitumna in posledično tudi na znižanje viskoznosti zmesi. Pri procesu za katerega se uporablja voske oziroma organske dodatke opazimo znižanje viskoznosti zmesi pri temperaturi taljenja voskov. Pri izbiri dodatka je potrebno biti previden, saj mora imeti temperaturo zmehčišča višjo kot jo lahko doseže zmes v času ko je vgrajena oziroma je v funkciji, saj v nasprotnem primeru lahko pride do trajnih deformacij vozišča. Na drugi strani pa je ključnega pomena krhkost zmesi pri nizkih temperaturah, katero lahko povzročimo z napačno izbiro dodatka. V spodnji tabeli je prikazan zbir nekaterih tehnologij trenutno uporabljanih na trgu.

Tabela 1 Tehnologije proizvodnje toplih asfaltnih zmesi (vir: D'Angelo, 2008)

Proces proizvodnje	Podjetje	Dodatek	Temperatura proizvodnje v tovarni	Uporaba glede na raziskave
Organske dodatki zmesi - voski				
Sasobit (Fischer-Tropsch wax)	Sasol	Da, v Nemčiji se povprečno doda 2.5% (ZDA 1.5%) glede na maso bitumna	130-170°C, zavisi od togosti bitumna	Nemčija, ZDA in 20 ostalih držav
Asphaltan-B (Montan wax)	Romonta	Da, v Nemčiji se povprečno doda 2.5% glede na maso bitumna	130-170°C, zavisi od togosti bitumna	Nemčija
Licomont BS 100 ali Sübit	Clariant	Da, približno 3% glede na maso bitumna	130-170°C, zavisi od togosti bitumna	Nemčija
Proces proizvodnje	Podjetje	Dodatek	Temperatura proizvodnje v tovarni	Uporaba glede na raziskave
3E LT ali Ecoflex	Colas	Da	120-160°C	Francija
Procesi s penjenjem				
Aspha-min (zeolit)	Eurovia and MHI	Da, približno 0,3% na celotno maso zmesi	130-170°C, zavisi od togosti bitumna	Francija, Nemčija, ZDA
ECOMAC	Screg	Da	Polaganje pri približno 45°C	Francija
LEA ali EBE in EBT	LEACO, Fairco in EIFFAGE Travaux Publics	Da, 0.2-0.5% na maso bitumna	Manj kot 100°C	Francija, Španija, Italija in ZDA
LEAB®	BAM	Da, 0.1% glede na maso bitumna	90°C	Nizozemska, poizkusno
LT Asphalt	Nynas	Da, 0.5-1.0% higroskopičnega polnila	90°C	Nizozemska, Italija
WAM-Foam	Kolo Veidekke, Shell Bitumen	Ni nujno, lahko za izboljšanje določenih	110-120°C	Francija, Norveška, Kanada,

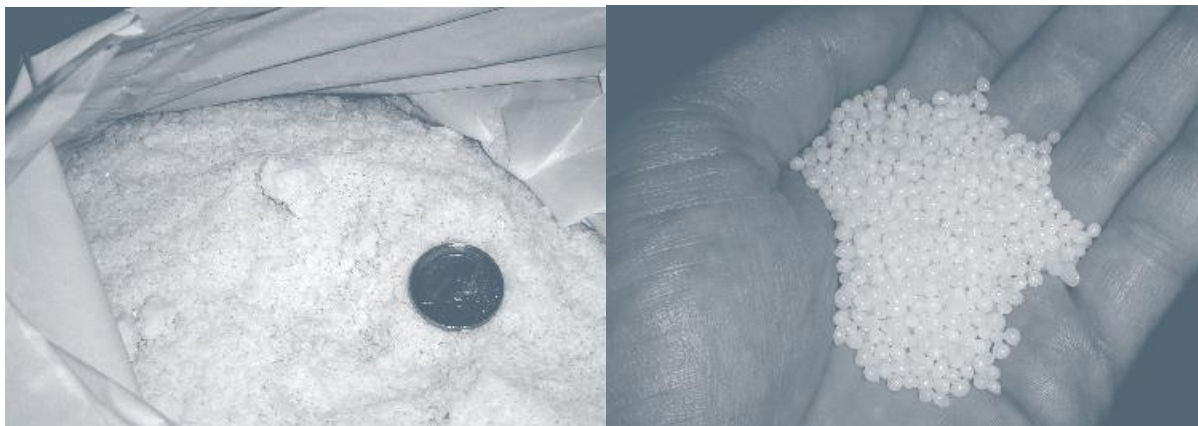
		karakteristik		Luxemburg, Nizozemska, Švedska, Švica, Velika Britanija
Evotherm™	Mead- Westvaco	Da	85-115°C	Francija, Kanada, Kitajska, JAR, ZDA
Double-Barrel Green	Astec	Ni nujno	116-135°C	ZDA
Advera (zeolit)	PQ Corporation	Da, približno 0.25% mase zmesi	130-170°C, zavis od togosti bitumna	ZDA
	Mathy Construction	Da	110°C	ZDA, poizkusno

Velik napredek na področju toplih asfaltnih zmesi so naredila večja podjetja, katera delujejo na področju gradbeništva. To je lepo razvidno iz zgornje tabele. V naslednjih poglavjih so opisane zgornje metode proizvodnje glede na razpoložljive podatke, saj določene organizacije ne objavijo svojih dognanj.

3.2.1 Organski dodatki-voski

Sasobit je vosek pridobljen po procesu Fischer-Tropsch. Fischer-Tropsch parafinski voski so proizvedeni s segrevanjem premoga ali surove nafte s pomočjo vode na temperaturo od 180 do 280 °C. Sestavljeni so iz dolge verige alifatskih ogljikovodikov s temperaturo taljenja v razponu med 70 in 114 °C (nižja temperatura - višja viskoznost oziroma nižja viskoznost pri povečani temperaturi). Po vgradnji zmesi z ohlajanjem vosek otrdi, njegove molekule pa se povežejo v oblike podolgovatih struktur, katere naj bi še dodatno zvišale viskoznost vgrajene zmesi. Molekule voska, ki ga tvorijo ogljikovodiki so dolge ranga od C40 pa vse do C120.

Pri uporabi Sasobit-a sta na razpolago dve možnosti in sicer se uporablja kot modifikator bitumna, ali pa kot direktni dodatek zmesi. Za modifikacijo bitumna se vosek v obliki kosmičev predhodno raztopi in vmeša v bitumen s čimer se mu zmanjša viskoznost. Kot dodatek asfaltni zmesi je na razpolago v obliki manjših kroglic, katere gredo v mešalni boben skupaj z agregatom, kjer se zaradi višje temperature stali in prav tako zmanjša viskoznost zmesi. Na spodnjih slikah sta prikazani obe obliki voska.



Slika 7 Sasobit v obliki kosmičev (levo) in v obliki kroglic (desno)(Hurley, 2005)

Asphaltan-B je rafiniran lignitov vosek z dodatno vmešanimi maščobnimi kislinskimi amidi. Lignitni vosek je kombinacija ne gliceridne dolgoverižne karboksilne kisline estrov, prosta dolga veriga organskih kislin, dolga veriga alkoholov, ketonov, ogljikovodikov in smol. Lahko bi ga opisali kot vosek fosilnih rastlin. Lignitni vosek je pridobljen s topljenjem določenih vrst lignita ali rjavega premoga. Temperatura taljenja je od 82 do 95 °C. Enak lignitni vosek je sicer široko uporabljen v industriji kot zaključni nanos pri izdelavi čevljev in avtomobilov ter v papirni predelovalni industriji kot dodatek za oblikovanje.

Licomont BS 100 je amidna maščobna kislina. Le ta nastane z reakcijo aminov z maščobnimi kisljinami. Običajna temperatura taljenja je med 141 in 146°C. Podobni produkti kot je ta se kot modifikatorji viskoznosti v industriji pojavljajo že vse od leta 1980 predvsem pri izdelavi strešne kritine izdelane na osnovi asfalta-asfaltne skodle. Lincomont BS 100 je sicer na voljo v prahu ali v granulah. Na sliki 2 je prikazan v obliki granul.



Slika 8 Lincomont BS 100 v obliki granul (D'Angelo, 2008)

3.2.2 Procesi izdelave toplega asfalta s penjenjem bitumna

Aspha-min in ostali sintetični zeoliti so sestavljeni iz silikatov z velikimi prazninami v strukturi, katere so nosilci velike količine kalcija in sode. Skupaj omogočajo veliko prisotnost kationskih skupin kot so vodne molekule. Zaradi navedenega so zeoliti znani po tem, da so sposobni izgubiti oziroma

absorbirati veliko količino vode brez poškodb kristalne strukture osnovnega materiala. Aspha-min ima okoli 20 odstotkov kristalno vezane vode, katera se sprosti pri temperaturi višji kot 100°C. Tako se pri mešanju granul zeolita s segretim agregatom ali asfaltom to s pridom izkorišča. V primeru mešanja zeolita z agregatom mora biti bitumen dodan zmesi čim prej za zeolitom. Agregat oziroma asfalt se pred mešanjem segreje, nato pa se vmeša še granule, katere na temperaturi gibajoči med 130 in 170°C izpustijo vezano vodo v obliki zelo finega vodnega spreja - megla v zmes. Ob enakomerno razporejenih granulah po vsem volumnu se celotni zmesi kontrolirano in enakomerno zmanjša viskoznost, kar poda med 6 in 7 ur časa za vgradnjo zmesi pod izboljšanimi pogoji.

Proces *Ecomac* je razvit s strani podjetja Colas in je o njem zaslediti le malo podatkov. Gre za klasično hladno asfaltno zmes, pripravljeno na osnovi emulzije. Vse do uporabe je skladiščena, pred uporabo se segreje z namenom izboljšanja utrjevanja in lažjega vgrajevanja.

LEA (Low-Energy Asphalt), *EBE* (enrobe a basse energie), in *EBT* (enrobe basse temperature) so procesi, kateri vsi uporabljajo enake prijeme za proizvodnjo tople asfaltno zmesi. Vsem je skupna točka, da za penjenje asfalta uporabljajo vlago vsebovano na obodu agregatnih zrn. Pri procesu LEA se grobi agregat segreje na temperaturo okoli 150°C ter zmeša s celotno količino potrebnega bitumna. V zmes se tik pred mešanjem doda tudi dodatek za boljše obdajanje ter oprijem v količini okoli 0,50 odstotka glede na maso bitumna. Po končanem mešanju se zmesi doda vlažne in hladne fine frakcije agregata. Le te naj bi vsebovale okoli 3 odstotke vlage. V primeru bolj vlažnega agregata, lahko dodamo le del tega v mokri obliki, ostalega pa posušimo. Pri umešanju se vlaga, podobno kot pri zeolitu, spremeni v paro kar povzroči ekspanzijo zmesi in ohladitev zmesi, tako da penjena zmes ob koncu postopka mešanja dosega ne več kot 100°C. Preostala ne izparjena vlaga v zmesi kot ostanek služi lažji vgradnji in kompaktiranju asfaltno zmesi.

LEAB proces je komercialno ime za pol toplo penjeno asfaltno zmes. Ta proces je poleg Ecomac-a edini, pri katerem se agregat ne segreje preko točke vrelišča vode. Agregat je tako segret na temperaturo 95°. V primeru uporabe recikliranega asfalta se le tega segreje posebej na temperaturo od 110 do 115°C.

Za proizvodnjo Nynas nizekotemperaturnih asfaltov (LT-Asphalt) se uporablja 0,5 do 1,0 odstotka hidrofilnega polnilnega materiala drobnih frakcij, kateri pomaga zadržati in kontrolirati latentno vlago. Agregat je segret na 90 °C in nato umešan z penjenim bitumnom, kateri se v ločenih posodah s pomočjo posebnih šob peni. Zaradi hidrofilnega polnila, je zmes kljub nizki temperaturi dobro vgradljiva kar nekaj ur po proizvodnji.

WAM-Foam je proces proizvodnje in ne material ali dodatek. Uporabljan je na Norveškem. Pri tem procesu proizvajalec uporablja bitumen dveh različnih kvalitiet. Enega z nominalno nizko stopnjo penetracije in enega z visoko stopnjo. Pri tem običajno za tršega uporabljajo bitumen s penetracijo 70/100. Agregat brez drobnih frakcij – »filer« je pri postopku ogret na temperaturo 130°C in nato

zmešan z mehkejšim bitumnom, tako da so vsi delci obdani, kar predstavlja 20-30 odstotkov vsega bitumna. Trši bitumen je pri temperaturi 180°C penjen z dodajanjem hladne vode (2-3% vode na maso bitumna) in nato zmešan z ostalo maso v bobnu. Tako proizveden asfalt je po polaganju in kratkotrajnem staranju sicer nekoliko mehkejši kot je običajno za zmes s penetracijo 70/100. Zaradi načina postopka pa se bolje izvede obdajanje zrn agregata, saj je viskoznost mehkejšega bitumna tako nizka, da je to lažje zagotoviti.

EvothermTM je postopek razvit v ZDA. Pri osnovnem postopku se v agregat pri temperaturi med 85 in 115°C vmeša emulzija. Le ta se doda z namenom izboljšanja obdajanja zrn agregata in oprijemljivosti ter lažjega manevriranja z zmesjo. Zaradi sestave emulzije, v kateri večinski delež predstavlja voda se pri povišani temperaturi v zmesi le ta pojavi v obliki pare. Osnovni proces so razvili v tako imenovani DAT (dispersed asphalt technology) pri katerem je uporabljen koncentrat emulzije, kateri je zmešan z majhno količino vode preko šob injiciran v bitumen. Sistem uporablja 10 šob s katerimi se v manjših komorah peni bitumen. Količina uporabljene vode je približno 0,50 kg na tono asfaltno zmes. Vbrizgana mešanica se zaradi sparitve in kemijske sestave močno razširi, glede na raziskave se volumen bitumna poveča do 18-kat. Proizvodnja temperatura je okoli 135°C, pri polaganju pa ima zmes okoli 115°C

V PQ Corporation so razvili in proizvajajo sintetični zeolit kateremu pravijo *Advera* in je zelo podoben prej omenjenemu Aspha-min. Advera se od njega razlikuje v tem, da je bolj drobnozrnat saj vsako od zrn preide 0,075 mm odprtino na situ. Zaradi fine zrnivosti in načina mešanja naj bi bila tako proizvedena zmes bolj konsistentna.

3.3 Prednosti

Pri razvijanju ideje o toplih asfaltnih zmesih so raziskovalci in ostali udeleženci naleteli na številne prednosti uporabe te vrste zmesi:

- Okoljski vidiki in trajnostni razvoj z vidika manjše porabe energije in posledično manjših izpustov CO₂ v ozračje
- Izboljšana možnost vgrajevanja in zgoščevanja ter možnost polaganja na oddaljenejših lokacijah ali ob nižjih temperaturah okolice
- Boljši delovni pogoji za delavce, ki zmes vgrajujejo

3.3.1 Prednosti pri polaganju

Pri razvoju procesov in tehnologij proizvodnje, kateri se je večinoma odvil v evropskem prostoru sicer prvoten namen ni bil izboljšanje tehnologije za namen lažjega in kvalitetnejšega vgrajevanja asfaltnih zmesi se je pri množičnejši uporabi pokazalo, da so največje prednosti tako proizvedenih zmesi prav v tem:

- možnost polaganja zmesi pri nižjih temperaturah in ob enem izdelovati plasti asfalta z enako ali boljšo gostoto
- možnost razvoza zmesi na oddaljenejšje lokacije od tovarne in še vedno imeti maso z viskoznostjo primerno za vgradnjo
- možnost polaganja in kompaktiranja z manj uporabljene energije
- možnost večje uporabe recikliranega asfalta v zmesih
- možnost polaganja tankih plasti z možnostjo hitre sprostitev prometa

Zgornje trditve so bile dokazane s študijami testnih polj narejenih v Nemčiji, kjer so pri enakih pogojih z enako mehanizacijo vgrajevali asfaltno zmes pripravljeno po različnih tehnologijah. Polaganje asfalta se je vršilo pri temperatura okolice med -3 pa in 4°C. Spodnji nosilni, vezni in obrabno-zaporni sloj SMA so bili položeni in proizvedeni po tehnologiji Aspha-min. Spodnji nosilni sloj je vseboval 45 odstotkov recikliranega asfalta. Temperatura položenega toplega asfalta (Aspha-min) je bila med 102 in 139°C. Pri opisanih razmerah se je izkazalo, da je pri enakem ali manjšem številu prehodov asfaltnih valjarjev čez položeno zmes rezultat preiskave gostote toplih asfaltnih zmesi pokazal večjo vrednost v primerjavi z vročo asfaltno zmesjo. Zmožnost utrjevanja zmesi pri nižjih temperaturah je dosežena z nižjo viskoznostjo, katero dosežemo pri toplih asfaltnih zmesih. Podobne raziskave z doseženimi enakimi oziroma podobnimi rezultati so bile izvedbe tudi za Licomont BS 100 in Sasobit ter Sübit. (Müller, 2012)

Dejanska temperatura proizvodnje toplih asfaltnih zmesi zelo variira, oziroma je vedno znova prilagojena glede na potrebe. Običajno je sicer res nižja kot pri vročih asfaltnih zmesih, vendar ker se pri toplih izkorišča dane prednosti se jo večkrat vgrajuje v oddaljenejših krajih ali pa pri nižjih zunanjih temperaturah v podaljšku sezone. Da bi dokazali, da je za ravnanje s proizvedeno toplo asfaltno zmesjo več časa, je norveško podjetje Kolo Veidekke po njihovi tehnologiji WAM-Foam proizvedeno maso pustilo v mešalniku še 48 ur brez dogrevanja. Rezultat je pokazal, da je bila zmes še vedno vgradljiva in je dopuščala zmožnost dobrega zgoščevanja. Podobno so v Avstraliji zmes pripravljeno s Sasobitom transportirali na 9 ur oddaljeno lokacijo in jo nato brez težav vgradili.

Uporaba tehnologij proizvodnje tople asfaltne zmesi je lahko koristna tudi pri uporabi visokih deležev recikliranega asfalta in sicer na dva načina:

- znižanje viskoznosti pomaga pri vgradnji in
- zmanjša vpliv staranega bitumna na agregatu recikliranega asfalta zaradi nižje temperature proizvodnje, učinek je podoben kot če bi bil uporabljen mehkejši bitumen

Zaradi zgoraj navedenih vzrokov je lahko v toplih asfaltnih zmesih uporabljena velika količina recikliranega asfalta brez posledic nižje kvalitete končnega produkta.

3.3.2 Okoljski vidik

Kot je bilo omenjeno v začetku poglavja o prednostih toplih asfaltnih zmesi je med glavnimi vzroki za uporabo in razvoj tudi okoljski vidik varovanja narave. Z uporabo teh asfaltov se zmanjšajo številni negativni vplivi. Pri proizvodnji zmesi se zaradi nižje temperature porabi manj energije s čimer se takoj prihrani pri porabljanju naravnih virov, posledično pa je količina proizvedenega CO₂ nižja. To je bil sicer osnovni namen razvoja toplih zmesi, saj so se države Evropske Unije s podpisom Kjotskega protokola zavezale zmanjšati izpuste CO₂ v ozračje. Sodeč na raziskave proizvodnja vročih asfaltnih zmesi k deležu izpuščenega CO₂ iz naslova transporta prispeva kar 2 odstotka. (D'Angelo, 2008)

3.3.2.1 Zmanjšanje emisij

Številni dobavitelji asfaltnih zmesi so sodelovali v razvoju toplih zmesi in tako dajali povratne informacije o raznih faktorjih. Tako je bilo tudi z zmanjšanjem izpuščenih emisij v ozračje. Tabela 2 prikazuje kako so po posameznih državah opažali spremembe izpustov glede na vrsto emisije.

Tabela 2 Zmanjšanje izpušnih emisij v odstotkih glede na državo (D'Angelo, 2008)

Emisija	Norveška	Italija	Nizozemska	Francija
CO ₂	31,5	30-40	15-30	23
SO ₂	-	35	-	18
VOC	-	50	-	19
CO	28,5	10-30	-	-
No _x	61,5	60-70	-	18
Prah	54,0	25-55	-	-

Raziskave o emisivnosti samega bitumna so pokazale da so le te pri temperaturah asfalta pod 80 °C skoraj ne zaznane, prav tako so zelo majhne do temperatur do 150°C, kjer dosežejo vrednost okoli 1 mg/h. Precej večje vrednosti pa so zabeležili pri temperaturah 180°C in več.

3.3.2.2 Zmanjšanje porabe goriva

Zmanjšanje količine porabljenega goriva je odvisna od vrste zmesi katera je predmet proizvodnje. V kolikor je le ta izvedena iz tršega bitumna, ki se po navadi uporablja za obrabno zaporne plasti je zmanjšanje porabe goriva manjše. Za primer ko se proizvaja zmes iz mehkejšega bitumna pa je prihranek primerno večji. Sicer se prihranki gibljejo med 10-35 odstotkov v odvisnosti od zgoraj omenjenih dejstev in pa od izbire postopka. Pri postopku imenovanemu LEA (low energy asphalt) kjer se za potrebe proizvodnje agregata ne greje predhodno so prihranki še bistveno večji in segajo do 50 odstotkov. Pri tem je smiselno omeniti, da poleg zmanjšanju porabe goriva ni opaziti nastanka dodatnega stroška električne energije zaradi težavnejšega mešanja zmesi. (Zaumanis, 2014).

3.3.3 Delovni pogoji-izpostavljenost delavcev

Z letom 2007 je Evropska Unija sprejela novo uredbo imenovano Registracija, razvoj, avtorizacija in omejevanje kemikalij. Le ta zahteva, da so delavci kateri so izpostavljeni vplivu kemikalij ali potencialno nevarnih snovi obveščeni o vseh morebitnih vplivih in tveganjih. Bitumen je ena od snovi,

katere pokriva regulativa. Tako so bile na podlagi regulative izvedene preiskave izpostavljenosti delavcev pri vgrajevanju zmesi. Ugotovljena je bila velika povezanost med temperaturo zmesi pri vgrajevanju in količino sproščenega asfaltnega belega dima, kateri vsebuje emisije, ki so potencialno škodljive človeku. V Franciji, Nemčiji in Italiji so bili na podlagi raziskav predstavljeni rezultati kateri kažejo na od 30 do 50 odstotno manjšo izpostavljenost delavcev pri polaganju toplih zmesi v primerjavi z vročimi zmesmi. (D'Angelo, 2008)

Poleg izpostavljenosti dimom asfalta je kot pozitivni učinek zaznati tudi pri lažjem vgrajevanju zmesi v primeru ročnega dela. Zaradi kombinacije prvega in drugega izboljšane delovnega pogoja za delavce, je po podatkih več proizvajalcev in polagalcev asfaltnih zmesi zabeležilo večjo učinkovitost delavcev pri polaganju toplih zmesi v primerjavi z vročo zmesjo.

4 PREGLED STANJA UPORABE V SLOVENIJI, EVROPI IN SVETU

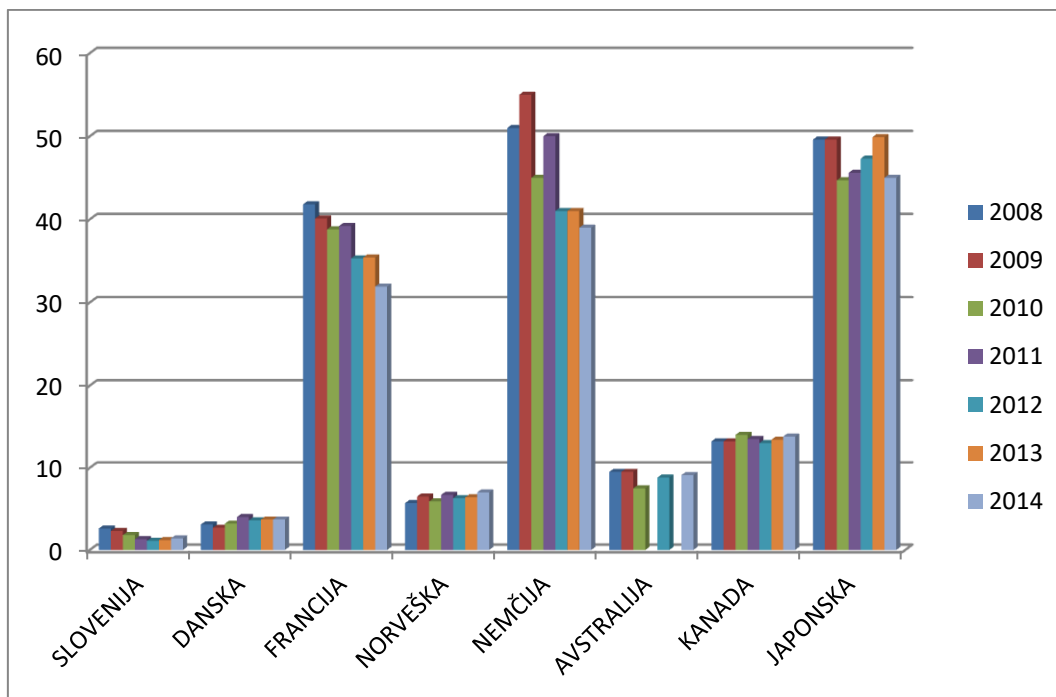
Če želimo dobiti pravi občutek o količini proizvedene tople asfaltne zmesi in o uporabi recikliranega agregata, moramo najprej pogledati kakšne so celotne proizvodne količine.

V spodnji preglednici je prikaz proizvedenih količin asfalta z upoštevanimi toplimi, pol-toplimi in vročimi asfaltnimi zmesmi. Navedeni podatki so milijon tonah.

Tabela 3 Prikaz proizvedenih količin asfalta v milijon tonah (vir: EAPA, 2014, JMAA, 2015, AAPA 2014)

	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014
SLOVENIJA	2,6	2,3	1,8	1,3	1,1	1,2	1,4
DANSKA	3,1	2,7	3,2	4	3,6	3,7	3,7
FRANCIJA	41,8	40,1	38,8	39,2	35,3	35,4	31,9
NORVEŠKA	5,7	6,5	5,9	6,7	6,3	6,4	7
NEMČIJA	51	55	45	50	41	41	39
AVSTRALIJA	9,5	9,5	7,5		8,8		9,1
KANADA	13,2	13,2	14	13,5	13		13,8
JAPONSKA	49,6	49,6	44,7	45,6	47,3	49,9	45
EVROPA	338	326,9	309,3	324,3	276,4	277,3	263,7
ZDA	440	324	326	332	326,9	318,1	319

Iz navedenih podatkov za Slovenijo vidimo, da je proizvodnja po letu 2009 močno padla, kar je posledica več vzrokov, eden izmed njih je gotovo prenehanje gradnje avtocestnega križa, drugi pa tudi vsesplošna gospodarska kriza. Padec v ostalih državah, katere so vpisane v preglednico ni bistven. Zanimiv podatek pa je proizvodnja v Grčiji, kjer je bila letna proizvodnja v letu 2009 8,7 milijonov ton, v letu 2012 ko je gospodarstvo dodobra stagniralo pa le še 1,6 milijona ton.



Graf 1 Grafični prikaz proizvodnje v milijon tonah po državah po letih

4.1 Proizvodnja toplih asfaltnih zmesi

Na podlagi zbranih podatkov nacionalnih in mednarodnih asfaltnih zvez so spodaj prikazane količine letne proizvodnje toplih in pol toplih asfaltnih zmesi za leta 2013 in 2014.

Tabela 4 Proizvodnja toplih asfaltnih zmesi v milijon tonah v letih 2013 in 2014 (vir: EAPA, 2014, JMAA, 2015, AAPA 2014)

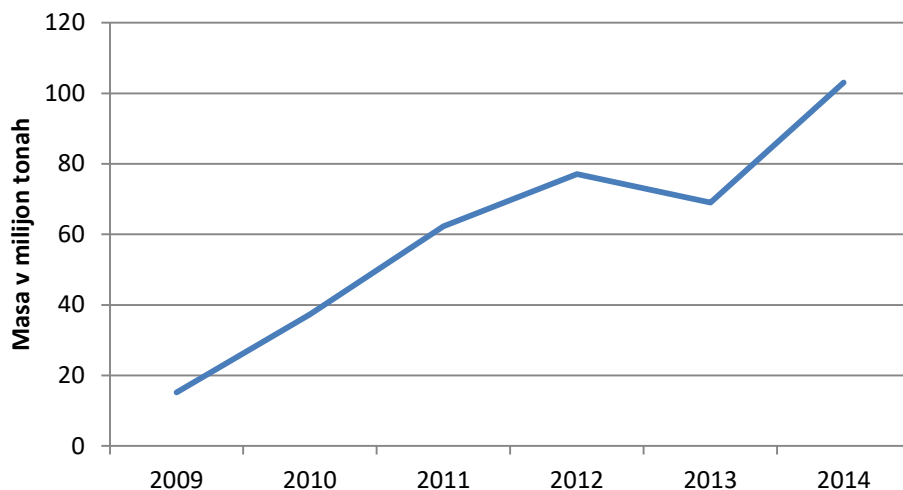
	2013	2014
Danska	0,12	0,2
Francija	3,55	4,023
Norveška	0,38	0,54
ZDA	69	103
Japonska	0,152	0,23
Kanada	0,41	0,75

Iz zgornjih podatkov vidimo, da v vseh državah uporaba toplih asfaltnih zmesi kar strmo narašča. Čeprav v kolikor primerjamo celotno proizvodnjo in proizvodnjo toplih asfaltnih zmesi, lahko vidimo, da razen Združenih držav Amerike in Francije, uporaba toplih zmesi še vedno ni na spodobno visoki ravni.

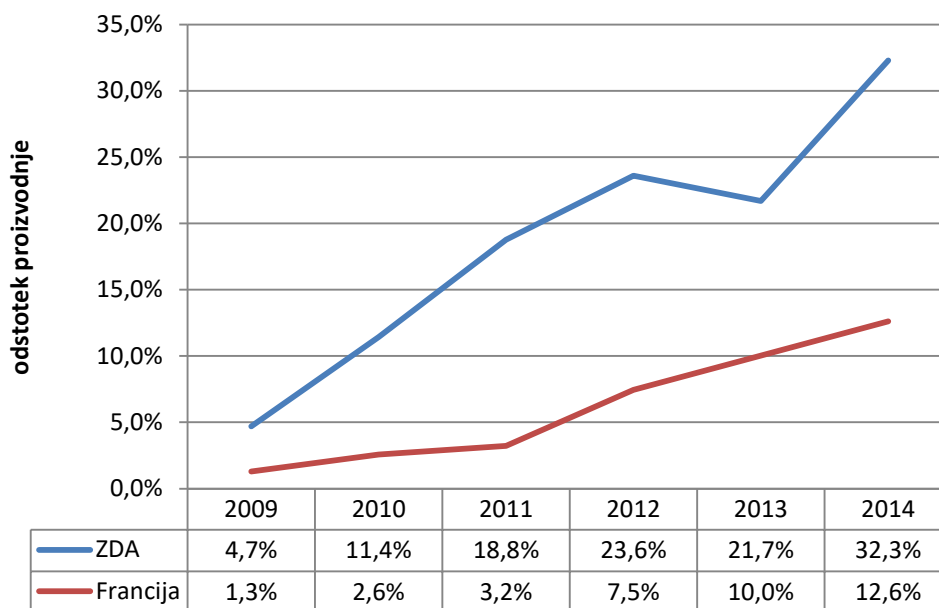
Tabela 5 Odstotkovna primerjava proizvodnje toplih asfaltnih zmesi z celotno proizvodnjo (vir: EAPA, 2014, JMAA, 2015, AAPA 2014)

	2013	2014
Danska	3,2%	5,4%

Francija	10,0%	12,6%
Norveška	5,9%	7,7%
ZDA	21,7%	32,3%
Japonska	0,3%	0,5%
Kanada	3,1%	5,4%



Graf 2 Grafični prikaz proizvodnje toplih zmesi v ZDA v milijon tonah



Graf 3 Prikaz porasta odstotka proizvodnje toplih asfaltnih zmesi naproti celotni proizvodnji v letih 2009-2014

V Sloveniji je bilo v zadnjih desetih letih sicer narejenih nekaj poizkusnih polij, katera so se izkazala za dobro prakso, vendar masovna proizvodnja za asfaltiranje na državnih in občinskih cestah ne steče, ker je za potrebe kontrolirane kvalitetne proizvodnje toplih asfaltnih zmesi potrebno izdelati tehnične specifikacije.

Ekonomska upravičenost proizvodnje asfalta s tehnologijo toplih asfaltnih zmesi je odvisna od več stvari. V kolikor pod pojem ekonomska upravičenost upoštevamo poleg finančne plati še okoljsko in vplive na delavce, kateri so najbolj na udaru pri vročih zmesih, je uporaba vsekakor upravičena. Ker podjetja delujejo na konkurenčnem trgu pa običajno glavno vlogo igra prav finančna plat. V izračunu upravičenosti je potrebno upoštevati naslednje:

1. Prihranke pri porabi goriva,
2. Dodatne stroške,
3. Stroške povezane z nadgradnjo tovarne asfalta,
4. Stroške povezane z licenciranjem.

Prihranki pri porabi goriva za ogrevanje agregata se glede na podatke več proizvajalcev asfalta gibljejo med 10 in 35 odstotkov. Dejanski prihranek je odvisen od vrste uporabljenega goriva torej v primeru uporabe plina je prihranek manjši kot če uporabljamo dizel (Zaumanis, 2014).

Dodatni stroški so odvisni od izbrane tehnologije proizvodnje tople asfaltne zmesi. V primeru proizvodnje z uporabo organskih dodatkov in voskov je potrebno vračunati samo dobavo le teh, v kolikor pa zmes proizvajamo s pomočjo penjenega bitumna pa je potrebno računati na podaljšan mešalni čas kar prinese strošek zaradi zastoja in manjše učinkovitosti tovarne asfalta.

Investicijo v nadgradnjo tovarne za uporabo ene iz med tehnologij se po podatkih proizvajalcev tople zmesi povrne v enem do dveh letih, kar je zopet odvisno od proizvedene količine zmesi.

Preden lahko začnemo proizvajati in na trgu prodajati asfaltne zmesi morajo le te imeti certifikat o kakovosti skladno z zakonodajo. Tega izda pristojna organizacija na podlagi pozitivnih rezultatov preiskav. Zopet je strošek odvisen od števila potrebnih certifikatov in števila potrebnih opravljenih preizkusov, da so testi pozitivni.

Za primer analize ekonomske upravičenosti vzemimo asfaltno proizvodnjo s plinskim ogrevanjem in tehnologijo proizvodnje podjetja Sasol z voskom Sasobit, kateri je v slovenskem okolju najbolj poznan in prisoten. V tem primeru na je strošek ogrevanja vroče asfaltne zmesi 4,85 evra na proizvedeno tono asfalta, z upoštevanim 10 odstotnim znižanjem porabe energije znaša prihranek 0,485 evra. Dodaten strošek pri 2,5 odstotnem dodatku glede na maso bitumna v zmesi znaša 0,137 evra. Torej znaša prihranek pri proizvedeni toni asfaltne zmesi 0,348 evra. Povprečna tovarna asfalta v Sloveniji proizvede okoli 90.000 (ZAS, 2015) ton zmesi, iz česar sledi prihranek na letni ravni 31.320 evrov. Za proizvodnjo zmesi sicer ni nujno potrebna nadgradnja, saj se lahko dodatek dozira tudi ročno, vendar je to dolgoročno gledano dražja rešitev. Iz navedenega sledi, da je tudi v primeru pogleda s finančne plati ekonomske upravičenosti proizvodnje asfalta po tehnologiji toplih zmesi, le ta ekonomsko ugodnejša.

Povečanje uporabe toplih asfaltnih zmesi, bi poleg predstavitve združenja asfalterjev proizvajalcem o ekonomski upravičenosti, lahko dosegli predvsem preko naročnikov financiranih iz državnih sredstev,

kateri lahko preko instrumenta zelenega javnega naročanja zahtevajo izvedbo asfaltnih plasti po tehnologiji toplih asfaltnih zmesi zaradi prednosti pri varovanju narave. V razdelku zelenega javnega naročanja, lahko prav tako omejijo hlapenje strupenih snovi, katere so nevarne za delavce in s tem spet spodbudijo uporabo in razvoj toplih zmesi. Kot omenjeno zgoraj, pa je na Družbi za raziskave v cestni in prometni stroki Slovenije, Zavodu za gradbeništvo in podobnih organizacijah, da pripravijo tehnične specifikacije in smernice na podlagi katerih, bodo naknadno lahko izdani certifikati o kvaliteti zmesi ter tudi zahteve naročnikov pri izvedbi javnega razpisa.

4.2 Ponovna uporaba asfalta

Kot je bilo omenjeno že v drugem poglavju te naloge je asfalt možno ponovno uporabiti na različne načine.

Kot prvi, kateri je opisan v tej nalogi je ponovna uporaba na gradbišču po postopku hladne reciklaže. Kot omenjeno zgoraj se uporablja v primeru propadajočega asfalta in slabega stanja zgornje nevezane nosilne plasti. Ta problem lahko sicer rešimo tudi po klasičnem postopku, ki vključuje rušenje asfalta in odvoz v deponijo, rušenje zgornje nevezane plasti ter odvoz v deponijo in nato ponovna gradnja. V primerjavi klasičnega postopka s postopkom hladne reciklaže, ugotovimo, da je slednji izveden vsaj v pol krajšem času, kar pomeni manjši strošek glede cestnih zapor in manj zastojev. Druga pozitivna plat pa je gotovo tudi cenovna razlika. Spodaj je prikazana analiza cene obeh postopkov.

Tabela 6 Primerjalna analiza cene klasične in obnove po postopku hladne reciklaže

IZVEDBA PO KLASIČNEM POSTOPKU

Rušenje asfaltnih plasti v debelini do 12 cm in nalaganjem na kamion ter odvozom v trajno pooblaščen deponijo gradbenih odpadkov s plačilom stroškov in prispevkov.	m2	1,00	5,50	5,50
Rušenje nevezane nosilne plasti v debelini 30 cm in nalaganjem na kamion ter odvozom v trajno pooblaščen deponijo gradbenih odpadkov s plačilom stroškov in prispevkov.	m2	1,00	3,95	3,95
Izdelava in utrjevanje planuma izkopa.	m2	1,00	1,50	1,50
Dobava, dovoz in vgrajevanje zmrzlinško odpornega drobljenca frakcije 0-32 in 0-16 mm ter komprimacija do predpisane zbitosti	m2	1,00	6,30	6,30
SKUPAJ KLASIČNA IZVEDBA				17,25 EUR

IZVEDBA PO POSTOPKU HLADNE RECIKLAŽE

Izdelava s penjenim bitumnom vezane nosilne plasti v debelini 30 cm. Obnova dotrajane voziščne konstrukcije po postopku hladne reciklaže z uporabo penjenega bitumna B 70/100 ter cementa (predvideno bitumna 3,1% in cementa 1,5% CEM III/B 32,5 N) kot veziva v skupni debelini 30 cm, z dobavo in vgrajevanjem ustreznega zmrzlinso odpornega tamponskega drobljenca frakcije 0/16 mm, za profiliranje in zagotavljanje zahtevane granulometrije v povprečni debelini 10 cm.	m2	1,00	13,55	13,55
SKUPAJ HLADNA RECIKLAŽA			13,55 EUR	

Glede na dano razliko v ceni, katera se na prvi pogled morebiti niti ne zdi velika a v resnici znaša 22 odstotkov, je na veliki površini rekonstrukcije ceste na končnem poročunu zelo velika razlika v ceni.

Drugi način predelave opisan v nalogi pa je rušenje asfaltno obloge po enem od navedenih načinov ter ponovna uporaba asfaltnega granulata v različne namene. V kolikor govorimo o recikliranju materiala pomeni, da mora biti odstranjeni material uporabljen povsem v enak namen kot je bil pred odstranitvijo. kot kažejo spodnji podatki pridobljeni s strani Evropske asfaltno zveze so v Nemčiji in ZDA na dobri poti, da v recikliranje spravijo ves razpoložljiv material. V Sloveniji se večina materiala še vedno uporablja v nasipih in pa za izdelavo bankin. V Nemčiji so s pomočjo uporabe pomlajevalca bitumna, kateri zmehta bitumen proizvedli zmes, v kateri je bilo 95 odstotkov recikliranega materiala.

Tabela 7 Podatki odstotkovni razdelitvi porabe razpoložljivega asfaltnega granulata po državah za leto 2014 (vir: EAPA, 2014)

Država	Poraba asfaltnega granulata v odstotkih (%)				
	Ves razpoložljiv asfaltni granulati	Vroče asfaltno zmesi	Tople asfaltno zmesi	Hladna reciklaža, v posip	Nevezane nosilne plasti cest
Slovenija	40.000	25	0	0	75
Norveška	837.410	20	0	3	64
Danska	1.300.000	54	0		11
Francija	9.243.000	64			
Nemčija	10.900.000	90	0		10
Hrvaška	170.000	24	5	19	10
ZDA	68.700.000	95			

opomba: senčeno polje pomeni da ni razpoložljivega podatka

5 ZAKLJUČEK

Na podlagi navedenih dejstev, izvedenih raziskav in dobrih praks z uporabo toplih asfaltnih zmesi in recikliranja asfaltnih zmesi po svetu lahko trdim, da je uporaba obeh tehnologij proizvodnje nesporno koristna tako v okoljevarstvenem pogledu, kot tudi ekonomskem. Poleg vsega so asfaltne zmesi proizvedene s tehnologijo proizvodnje toplih zmesi pri sami vgradnji zaradi nižje temperature manj moteče za delavce ter zaradi zmanjšanega hlapenja snovi tudi manj škodljive. Nadalje je glede na raziskave navedene v nalogi videti da je vgradnja zmesi kvalitetnejša, saj se lahko doseže boljša komprimacija vsake od plasti, kar pomeni manj prostora za zrak oziroma vlago iz česar sledi daljša življenska doba asfaltne plasti. Zaradi vsega navedenega podajam zaključno mnenje, da bi morali organi na nivoju države zaradi vseh pozitivnih vplivov narediti korak v razvoj toplih asfaltnih zmesi in pričeli spodbujati recikliranje obstoječih zmesi.

VIRI

- Warm-Mix Asphalt: European Practice. 2008.
<http://international.fhwa.dot.gov/pubs/pl08007/pl08007.pdf> (Pridobljeno 5.7.2016)
- Reclaimed Asphalt Pavement in Asphalt Mixtures: State of the Practice. 2011.
<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/pavements/11021/11021.pdf>
(Pridobljeno 5.7.2016)
- Emissions reductions associated with the use of warm-mix asphalt as compared to hot-mix asphalt. 2014.
http://acwc.sdp.sirsi.net/client/en_US/search/asset/1035188 (Pridobljeno 8.7.2016)
- Obnova dotrajanih vozišč - reciklaža z uporabo penjenega bitumna. 2010.
<http://www.drc.si/Portals/6/prispevki/III/527-542.pdf> (Pridobljeno, 12.7.2016)
- Annual Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2009–2012. 2013.
https://www.asphaltpavement.org/PDFs/IS138/IS138-2012_RAP-RAS-WMA_Survey_Final.pdf
(Pridobljeno 5.7.2016)
- Henigman, S., e tal. 2006. Asphalt. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 131-135 str.
- Henigman, S., e tal. 2016. Asphalt – 3. izdaja. Ljubljana, Združenje asfalterjev Slovenije: 95-105 str.
- Steyn, W., Harvey, J. (ur.), Gopalakrishnan, K. (ur.). 2014. Climate Change, Energy, Sustainability and Pavements. Berlin. Springer-Verlag GmbH: 309-332 str.
- Asphalt in figures 2014. 2016.
http://www.epa.org/userfiles/2/Asphalt%20in%20Figures/AIF_2014_16022016.pdf (Pridobljeno 12.8.2016)