

Mikhail Udaltsov

TIEBITUMIT JA NIIHIN LISÄTTÄVÄT AINEET

Additives used in paving bitumens

Kandidaatintyö
Rakennetun ympäristön tiedekunta
Tarkastaja: Pirjo Kuula

Kesäkuu 2020

TIIVISTELMÄ

Mikhail Udaltsov: Tiebitumit ja niihin lisättävät aineet (Additives used in paving bitumens)
Kandidaatintyö
Tampereen yliopisto
Rakennustekniikka, TkK
Kesäkuu 2020

Bitumi on raakaöljyn tislauksessa syntyvä viskoelastinen lopputuote, joka otetaan talteen tislauksen lopussa. Asfalttipäällysteessä sideaineena käytettyä bitumia kutsutaan tiebitumiksi. Tiebitumin ominaisuudet vaikuttavat asfalttipäällysteiden ominaisuuksiin ja hintaan. Polttoöljyn rikki- ja happipitoisuuden laskun myötä tiebitumin laatu tulee mahdollisesti muuttumaan tulevaisuudessa, eikä kaikista raakaöljyistä enää pystytä valmistamaan päällysteisiin sopivaa bitumia.

Tässä kandidaatintyössä tutustutaan tiebitumiin lisättäviin aineisiin ja selvitetään niiden vaikutusta sideaineen ominaisuuksiin ja asfalttipäällysteeseen. Kandidaatintyö toteutettiin kirjallisuusselvityksenä hyödyntäen lähteitä sekä Suomesta että ulkomailta.

Työn alussa esitellään yleisimmät asfalttipäällysteen tyypit ja koostumus, sekä käsitellään asfalttipäällysteen ominaisuuksia. Seuraavaksi tarkastellaan bitumin perusominaisuuksia, joihin kuuluvat koostumus, valmistustavat ja luokittelu. Tämän jälkeen kandidaatintyössä syvennytään bitumin mekaanisiin ja toiminnallisiin ominaisuuksiin sekä laatuvaatimuksiin.

Tiebitumiin lisättävistä aineista käsitellään gilsoniitti, kumipuru, muovi ja kuidut, lisäksi käsitellään vanhan asfaltin vaikutuksia päällysteen ominaisuuksiin. Eri aineiden vaikutusta sideaineeseen ja asfalttipäällysteeseen tarkastellaan muutaman keskeisen ominaisuuden osalta. Näitä ominaisuuksia ovat pehmenemispiste, jäykkyys, kestävyys, tasaisuus, vastuskyky muodonmuutoksia vastaan, muokattavuus ja joustavuus.

Kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan todeta, että lisättävillä aineilla on vaikutus tiebitumiin sekä asfalttipäällysteeseen. Asfalttipäällysteen jäykkyys, kulutuskestävyys ja lujuus muodonmuutoksia vastaan kasvavat gilsoniittia lisätessä, myös bitumin sitkeys paranee. Kumipuru nostaa tiebitumin vastuskykyä muodonmuutoksia vastaan ja parantaa sideaineen ominaisuuksia matalissa lämpötiloissa. Kumipäällysteillä on hyvä kestävyys ja pinnan tasaisuus, lisäksi kumipuru vähentää nastarenkaiden melua ja parantaa kitkaa. Muovi vaikuttaa tiebitumin muokattavuuteen ja kestävyYTEEN, sekä vähentää tarvittavan bitumin määrää. Työn yhteenvedossa on esitetty kaikki johtopäätökset.

Avainsanat: tiebitumi, asfalttipäällyste, gilsoniitti, kumipuru, muovi, vanha asfaltti, kuidut

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
2. ASFALTTIPÄÄLLYSTEET	2
2.1 Asfalttityypit.....	3
2.2 Asfalttipäällysteen ominaisuudet	5
3. BITUMIN PERUSOMINAISUUDET	8
3.1 Koostumus.....	8
3.2 Valmistus	9
3.3 Luokittelu	10
4. BITUMIN LAATUVAATIMUKSET	12
4.1 Mekaaniset ominaisuudet.....	12
4.2 Toiminnalliset ominaisuudet.....	13
4.3 Laatuvaatimukset.....	14
5. BITUMIIN LISÄTTÄVÄT AINEET	16
5.1 Gilsoniitti	16
5.2 Kumipuru	17
5.3 Muovi	20
5.4 Vanha asfaltti	22
5.5 Kuidut	23
6. LISÄAINEIDEN VAIKUTUS BITUMIIN JA PÄÄLLYSTEEN OMINAISUUKSIIN ...	24
7. YHTEENVETO.....	25
LÄHTEET	27

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AA	Avoin asfaltti
AB	Asfalttibetoni
ABK	Kantavan kerroksen asfalttibetoni
ABS	Sidekerroksen asfalttibetoni
ABT	Tiivis asfalttibetoni
BE	Bitumiemulsio
BL	Bitumiliuos
KB	Kumibitumi
PAB	Pehmeä asfalttibetoni
PE	Polyeteeni
PE-HD	Suuritiheyspolyeteeni
PE-LD	Pienitiheyspolyeteeni
PMB	Polymeerimodifioitu bitumi
SBS	Styreeni-butadieeni-styreeni-elastomeeri
SMA	Kivimastikiasfaltti
V	Viskositeetti
VA	Valuasfaltti
<i>h</i>	päällysteen paksuus
<i>M</i>	massamäärä
ρ	päällysteen tiheys

1. JOHDANTO

Bitumi on asfalttipäällysteessä käytettävä sideaine, joka valmistetaan maaöljystä. Markkinoilla bitumin hinta on riippuvainen maaöljyn hinnasta: maaöljyn kallistuessa myös bitumin hinta nousee. Bitumin osuus asfalttipäällysteessä on noin 5 % ja sen tärkein tehtävä on sitoa kiviaines yhtenäiseksi massaksi. Vuonna 2018 asfaltin tuotantomäärä Suomessa oli noin 6,1 miljoonaa tonnia (Jämsä 2018), jossa bitumin käyttö oli noin 305 tuhatta tonnia.

Kansainvälinen merenkulkujärjestö IMO on julkistanut määräyksen, jonka mukaan 01.01.2020 alkaen raskaan polttoöljyn rikkipitoisuus laskee 3,5 prosentista 0,5 prosenttiin. Päätöksen avulla IMO haluaa saavuttaa parempaa öljyjen laatua ja vähentää rikkipäästöjä ympäristöön. (IMO 2020) Tämä koskee myös maaöljystä valmistettuja tuotteita, joihin liittyy bitumi. Rikki on bitumin ainesosa, joka vaikuttaa sideaineen ominaisuuksiin, kuten jäykkyyteen tai viskositeettiin (Rowe 2019). Edellä esitetyn seurauksena Euroopassa voi tapahtua bitumin tuotannon laskua, hinnan kasvua ja laadun muutoksia, vaikka sideaineen kysyntä ei vähenny (Bitumen matters 2019). Bitumi tulee muuttumaan lähitulevaisuudessa. Siitä syystä bitumiin lisättävien tai korvaavien aineiden tutkimus on ajankohtainen.

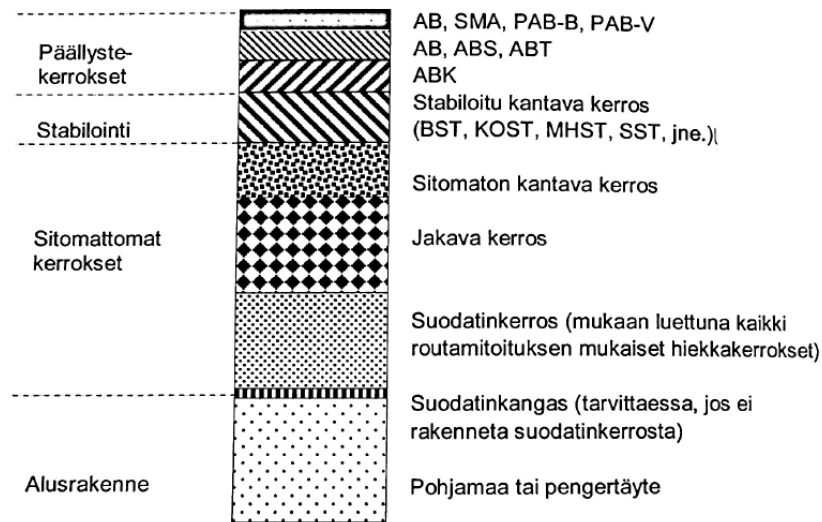
Suomessa bitumiin lisätään vielä hyvin vähän erilaisia lisäaineita. Kandidaatintyössä tarkastellaan bitumia ja siihen lisättäviä aineita sekä aineiden vaikutuksia kirjallisuuden perusteella. Selvityksen avulla yritetään vastata siihen, miten bitumiin lisättävät aineet vaikuttavat bitumin ominaisuuksiin ja miten ne vaikuttavat asfalttipäällysteisiin.

Kandidaatintyön alussa esitetään yleiset tiedot asfalttipäällysteistä ja bitumista. Näiden lisäksi tarkastellaan bitumin oleellista koostumusta ja perehdytään bitumin valmistukseen sekä luokitteluun. Kolmannessa luvussa kerrotaan bitumin ominaisuuksista ja Suomessa käytössä olevista laatuvaatimuksista.

Ominaisuuksien ja laatuvaatimuksien jälkeen syvennyttään bitumiin lisättäviin aineisiin. Tässä työssä tarkastellaan gilsoniittia, kumipurua, muovia, kuituja ja vanhaa asfalttia. Lisäksi selvitetään lisättävien aineiden vaikutuksia päällysteen ominaisuuksiin. Työn lopussa esitetään johtopäätökset yhteenvetona.

2. ASFALTTIPÄÄLLYSTEET

Asfalttimassa on kiviaineksen, bitumin ja lisäaineiden seos. Kun asfalttimassaa levitetään ja tiivistetään esimerkiksi maantielle, siitä syntyy asfalttipäällyste. Asfalttipäällyste tarkoittaa kiviaineksen, bitumisen sideaineen ja lisäaineiden seoksesta levitettyä yhteistä massaa. Asfaltti on yleisin katu- ja tieverkon päällyste Suomessa. Asfalttipäällyste sopii monipuolisesti teiden, kenttien ja katujen päällystemateriaaliksi. Se sisältää noin 5 % sideainetta ja 95 % kiviainesta sekä lisäainetta (Hunter et al. 2015, s. 6). Koostumuksen komponentit voivat vaihdella päällystetyypin mukaan. Kun päällyste tiivistetään, siihen jää tietyn suuruinen tyhjätila.



Kuva 1. Tien rakennekerrokset ja sen nimitykset (Asfalttinormit 2017, s. 14)

Kuvasta 1 havaitaan, että asfalttipäällyste sijaitsee tien ylimmässä kerroksessa ja kuuluu päällystekerrokseen. Alemmat kerrokset ovat stabilointi, sitomattomat kerrokset ja alusrakenne. Päällystekerros muodostuu kulutuskerroksesta, sidekerroksesta ja kantavasta kerroksesta. Stabiloinnin avulla vahvistetaan tarvittaessa rakenteen kuormituskestävyyttä. Kantava ja jakava kerros sekä suodatinkerros muodostavat sitomattoman kerroksen. Alusrakenne muodostuu suodatinkankaasta sekä pohjamaasta. Vähäliikenteisessä tiensuunnittelussa jokin kerros voi puuttua riippuen yksittäistapauksista (Asfalttinormit 2017, s. 14).

Asfalttipäällyste vaurioituu liikenteen aiheuttaman kuormituksen ja ympäristökuormituksen takia. Liikenteen kuormitus aiheuttaa päällysteen deformaatiota ja kulumista. Deformaatio johtuu pääosin raskaan liikenteen vaikutuksesta ja kulumisen nastarenkaiden käytöstä.

2.1 Asfalttityypit

Yleisimmät asfalttityypit ovat asfalttibetoni (AB) ja pehmeä asfalttibetoni (PAB), kivimastikiasfaltti (SMA), valuasfaltti (VA) sekä avoin asfaltti (AA). Suomessa tiepäällysteenä käytetään eniten asfalttibetonia sekä kivimastikiasfalttia. Näiden lisäksi katujen, pihojen ja kevyen liikenteen alueen päällysteeksi soveltuu pehmeä asfalttibetoni. Avoimen asfaltin sekä valuasfaltin käyttö on melko harvinaista Suomessa. (Asfalttinormit 2017, s. 108–109)

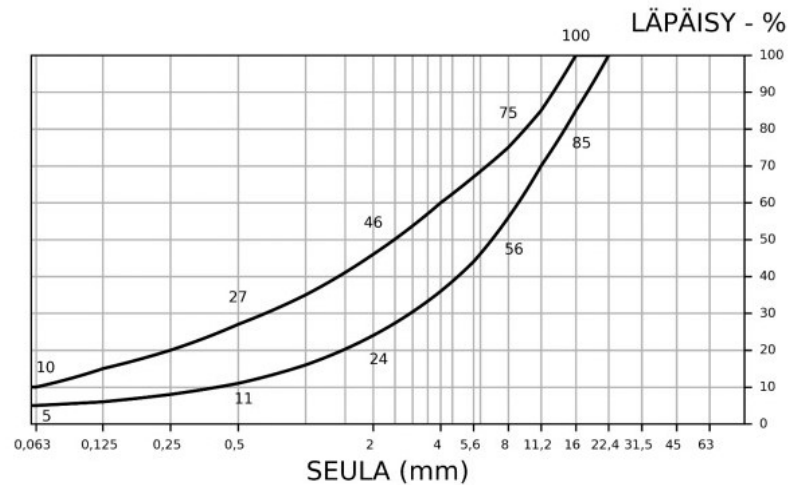
Asfalttityypin valinta perustuu asfalttimassan koostumuksen kahteen elementtiin eli kiviaineksen rakeisuuteen ja sideainepitoisuuteen. Sideainepitoisuus tarkoittaa sideaineen osuutta massaprosentteina asfalttimassan määrästä, ja kiviaineksen rakeisuuskäyrä kuvaa kiviaineksen raekokoja ja niiden jakaumaa kumulatiivisesti. (Asfalttinormit 2017)

Asfalttimassan sideaine ja sen pitoisuus riippuvat asfalttityypistä. Asfalttibetonissa ja kivimastikiasfaltissa käytetään tiebitumia tai polymeerimodifioitua bitumia (PMB). AB-massojen sideainepitoisuus on 3,8–7,8 % riippuen asfalttilajista, ja kivimastikiasfaltissa käytettävä sideainepitoisuus on 5,5–7,3 %. Pehmeässä asfalttibetonissa (PAB) sideainena käytetään pehmeää tiebitumia, jonka pitoisuus vaihtelee 3,2 ja 4,6 %:n välillä. (Asfalttinormit 2017)

Kuvassa 2 on esitetty esimerkki AB 16 -massan rakeisuudesta ja koostumuksesta. Asfalttibetoni AB 16 on Suomessa tiepäällysteessä tyypillinen asfalttilaji. AB-massan maksimiraekoko voi vaihdella 5 ja 22 mm:n välillä riippuen käyttökohteesta. Asfalttibetoniin AB 16 tarvittava massamäärä on 100–125 kg/m². AB-massan rakeisuuskäyrät ovat jatkuvia, ja tyyppillisesti ajoneuvoliikenteelle tarkoitetuilla väylillä käytetään AB 16- ja AB 22

-päällysteitä. Kevyen liikenteen väylillä voidaan käyttää hienorakeisempia AB-massoja. (Asfalttinormit 2017, s. 108)

Sideaine	Sideainepitoisuus (massa-%)	Vakiopaksuisen päällystelaa- tan massamäärä (kg/m ²)
Tiebitumi 35/50...160/220, PMB 75/130-65, PMB 75/130-70, PMB 40/100-70	5,0...6,0	100...125



Seula (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4
Yläraja läpäisy-%	10,0	15	20	27	35	46	60	67	75	85	100	100
Alaraja läpäisy-%	5,0	6	8	11	16	24	36	44	56	70	85	100

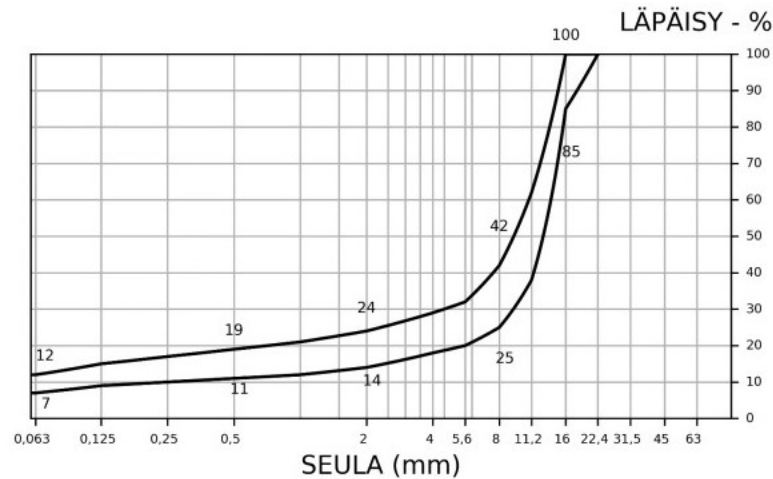
Kuva 2. Asfalttibetonin AB 16 koostumus ja rakeisuuskäyrät (Asfalttinormit 2017, s. 41)

Kulutuskerroksena asfalttibetonien (AB) lisäksi päällystekerroksessa käytetään sidekerroksen asfalttibetonia (ABS), kantavan kerroksen asfalttibetonia (ABK) ja tiivistä asfalttibetonia (ABT). ABS-massojen kiviaineksen suurin raekoko vaihtelee 16–22 mm:n välillä, ABK-päällysteiden raekoko on 22–33 mm ja ABT-massojen voi olla 8–22 mm. Sidekerroksen sekä kantavan kerroksen asfalttibetoni on yleensä käytössä raskaan liikenteen väylillä. Tiiviin asfalttibetonin yleisin käyttökohde Suomessa on ympäristön suojauskenteet. (Asfalttinormit 2017, s. 37)

Kivimastiksiasfaltti SMA 16 on toinen Suomessa yleisesti käytetty massatyyppi, joka yleensä koostuu karkeasta ja tasarakeisesta murskatusta kiviaineksestä. SMA 16 -massan suurin raekoko on 5–22 mm, ja sen massamäärä on noin 100–125 kg per m³. Kivi-

mastikiasfalttia SMA käytetään vilkasliikenteisillä väylillä. SMA 16–22 on sopivin mas-
satyyppi väylillä, joiden liikennemäärä on vähintään 5 000 autoa per päivä. (Asfalttinormi
2017, s. 108)

Sideaine	Lisäaine	Sideainepitoisuus (massa-%)	Vakiopaksuisen päällyste- laatan massamäärä (kg/m ²)
Tiebitumi 50/70...100/150, PMB 75/130-65, PMB 75/130- 70 ja PMB 40/100-70	Esim. Selluloosa- kuitu 0,3...0,5 %	5,7...6,7	100...125



Seula (mm)	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4
Yläraja läpäisy- %	12,0	15	17	19	21	24	29	32	42	62	100	100
Alaraja läpäisy- %	7,0	9	10	11	12	14	18	20	25	38	85	100

Kuva 3. Kivimastikiasfaltin SMA 16 koostumus ja rakeisuuskäyrät (Asfalttinormit
2017, s. 60)

2.2 Asfalttipäällysteen ominaisuudet

Asfalttipäällysteen ominaisuudet ovat merkittäviä päällysteen kestoian ja ajomukavuuden kannalta. Valmiin päällysteen toimintaan ja kestävyteen vaikuttavat massamäärä, tyhjättila, tasalaatuisuus ja kulumis-, pakkasen- ja deformaatiokestävyys. Asfalttinormeissa (2017) asetetaan vaatimuksia näille ominaisuuksille.

Massamäärä tarkoittaa asfalttimassan määrää neliometriä kohden (kg/m²). Massamäärää määritetään päällysteen paksuuden ja tiheyden avulla

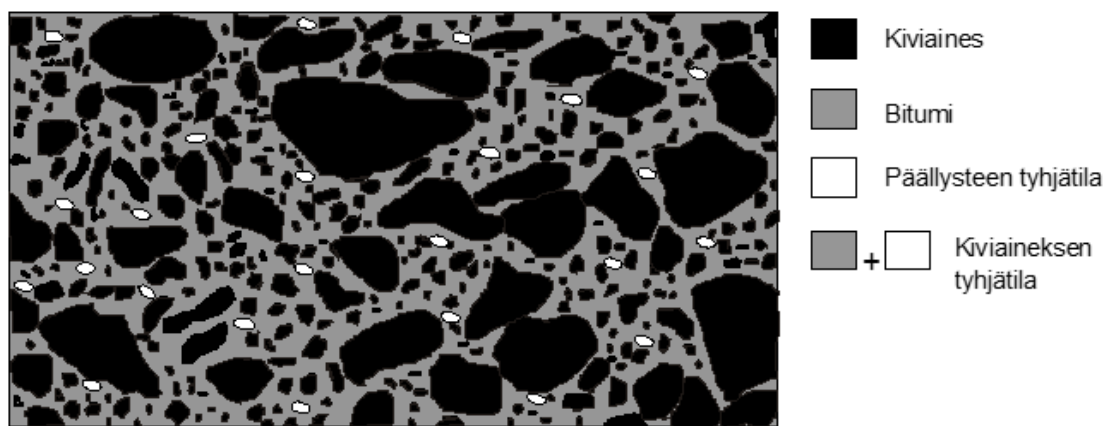
$$M = \frac{h \cdot \rho}{1000}, \quad (1)$$

jossa M on massamäärä, h on päällysteen paksuus ja ρ on päällysteen tiheys. Paksuuden yksikkö on mm ja tiheyden on kg/m³. Massamäärän arviointia varten voidaan ottaa

koenäytteitä poraamalla. Poranäytteiden avulla mitataan päällysteen paksuutta tai massamäärää. (Asfalttinormit 2017, s. 18)

Asfalttipäällysteen tyhjätila muodostuu ilmahuokosissa. Tyhjätila määritellään prosentteina päällysteen tilavuuden arvosta, ja se kuvaa, kuinka tiivis levitettävä päällyste on. Päällysteen tyhjätilaa voidaan tarkastella myös poranäytteiden avulla. AB-massojen tyhjätilan sallittu keskiarvo on 1–7 %, SMA-päällysteiden 1–5 %, ABK-massojen enintään 7 %, ABS-päällysteiden 2–5 % ja AA-massojen 14–25 % (Asfalttinormit 2017, taulukko 5).

Päällysteessä kiviaineksen pienemmät osaset täyttävät tyhjätilan välejä, joten hienoraikisemmassa asfalttipäällysteessä voi esiintyä vähemmän tyhjätilaa kuin karkearakeisemmassa. Kuvassa 4 on esitetty päällysteen koostumuksessa muodostuva tyhjätila.



Kuva 4. Päällysteessä esiintyvä tyhjätila (Asfalttinormit 2017, s. 74)

Valmiin asfalttipäällysteen tulee olla tasalaatuinen. Epätasalaatuisuus voi aiheuttaa halkeamia, kiviaineslajittumia ja päällysteessä olevan sideaineen nousua pinnalle. Halkeamat huonontavat päällysteen kestävyyttä, sideaineen pinnalle nousu heikentää liikenneturvallisuutta, ja lajittuman vuoksi voi tapahtua päällysteen purkaantumista. (Asfalttinormit 2017)

Päällysteen kuluminen tapahtuu ajan myötä, kun asfalttipäällysteen pinnalta rikkoutuu. Kulumista aiheuttavat eniten ajoneuvojen nastarenkaat sekä sääolosuhteet. (Asfalttinormit 2017, s. 25) Lisäksi kulumiskestävyyyteen vaikuttavat asfalttityyppi, bitumin ja kiviaineksen laji. Liikennemäärä myös vaikuttaa merkittävästi päällysteen kulumiseen siten, että vilkasliikenteisillä väylillä vaurioituminen on huomattavasti nopeampaa kuin vähäliikenteisillä teillä.

Asfalttipäällysteen pakkasenkestävyys kuvaa sen kykyä vastustaa kylmiä sääolosuhteita. Pakkasten aikana päällysteen jäykkyys suurentuu niin, että se ei kestä vetojännityksiä (Rossi 2015). Tämän takia pinnassa esiintyy halkeamia, jotka merkittävästi hu-

nontavat asfalttipäällysteen laatua. Sideaine on merkittävin pakkasenkestävyyteen vaikuttava tekijä. Suomessa pakkasenkestävässä asfalttipäällysteessä sideaineena käytetään pehmeämpää bitumia tai kumibitumia verrattaessa esimerkiksi Keski-Eurooppaan. Kumibitumi parantaa päällysteen pakkasenkestävyyttä ja kemiallista kestävyttä. (Asfalttinormit 2017)

Deformaatiokestävä asfalttipäällyste vastustaa muodonmuutosta. Päällysteen deformaantumiseen vaikuttavat lämpimät sääolosuhteet, raskaan liikenteen kuormitus, sideaineen kovuus sekä runkoaineen muoto. Asfalttipäällysteen deformaatiota analysoidaan poranäytteiden avulla. Deformaatiokestävyys jaetaan kahteen luokkaan, joissa ensimmäisen luokan pysyvä muodonmuutos on enintään 2 % ja toisen on enintään 3,5 %. (Asfalttinormit 2017) Asfalttipäällysteen suunnittelu, huolellinen tiivistäminen ja runkoaineen valinta voivat parantaa deformaatiokestävyyttä (Rossi 2015).

3. BITUMIN PERUSOMINAISUUDET

Bitumi on raakaöljystä tai luonnonasfaltista saatu kiinteä tai viskoosinen, musta tai todella tumma tuote (Asfalttinormit 2017). Muinaisina aikoina bitumin käyttötarkoituksina olivat keihään ja kärjen liittäminen sekä astioiden valmistus hyvän vedenkestävyyden ansiosta. Silloin bitumin käyttökohde ei ollut niin laaja verrattuna tämänpäiväiseen tilanteeseen. Nykyään bitumin suurin käyttö on rakennustoimialalla. (Hunter et al. 2015) Vuoden 2011 tilastojen mukaan bitumin käyttö maailmassa oli arviolta 102 miljoonaa tonnia. Bitumia käytettiin eniten tiepäällysteessä 85 %, katemateriaaleissa 10 % ja uusiokäytössä 5 %. (Asphalt Institute and Eurobitume 2011, s. 2)

3.1 Koostumus

Bitumin koostumus vaihtelee maaöljynpohjan mukaan, eikä mitään tarkkaa koostumustietoa voida esittää. Bitumi sisältää enimmäkseen hiilivetyjen molekyylejä (82-88 % hiiltä ja 8-11 % vetyä) ja funktionaalisia ryhmiä, jotka sisältävät rikin (0-6 %), hapen (0-1,5 %) ja typen atomeja (0-1 %). Näiden lisäksi bitumin koostumukseen kuuluvat metallit, jotka esiintyvät metallisuolojen, oksidien muodossa tai porfyriinien rakenteessa. Hallitsevat metallit ovat nikkeli, vanadiini, rauta, natrium, kalsium ja magnesium. Taulukossa 1 on esitetty bitumin koostumus. (Hunter et al. 2015)

Taulukko 1. Esimerkki bitumin koostumuksesta (Hunter et al. 2015, s. 49, muokattu)

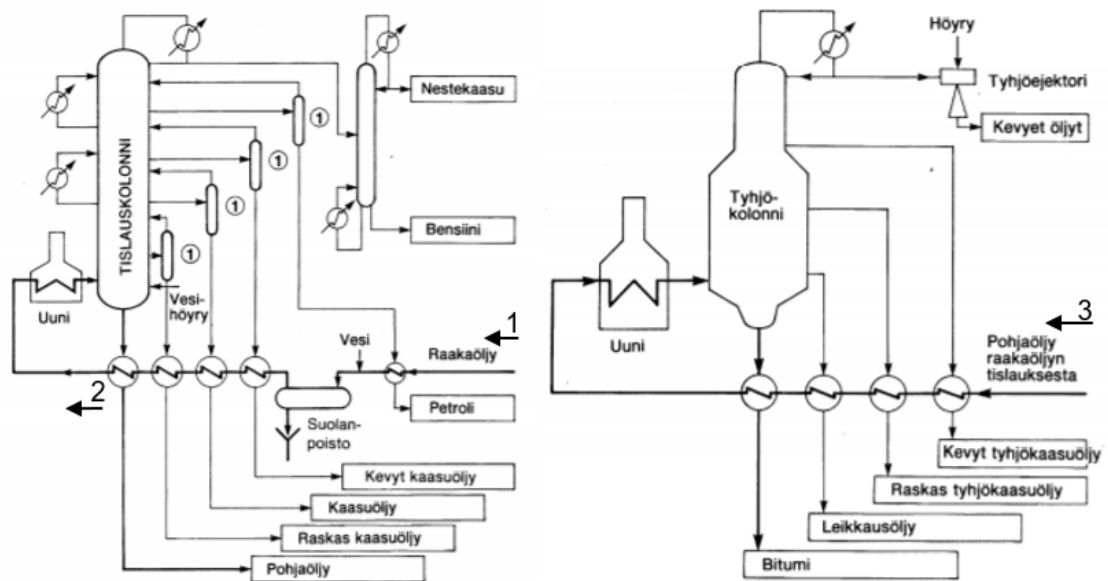
	Hiili (%)	Vety (%)	Happi (%)	Rikki (%)	Typpi (%)	
Vaihteluväli	80,2-84,3	9,8-10,8	0,4-1,0	0,9-6,6	0,2-1,2	
Keskiarvo	82,8	10,2	0,7	3,8	0,7	
	Nikkeli (ppm)	Vanadiini (ppm)	Rauta (ppm)	Kalsium (ppm)	Magne- sium (ppm)	Natrium (ppm)
Vaihteluväli	10-139	7-1590	5-147	1-335	1-134	6-159
Keskiarvo	83	254	67	118	26	63

Myös muita metalleja voi esiintyä pieniä määriä riippuen maaöljyssä esiintyvistä pitoisuuksista, ja metalliset elementit esiintyvät pääasiassa öljyjen raskaammissa tai haihtu-

vissa komponenteissa. On todettu, että valmistuksen aikana maaöljy ja bitumi ovat toisiinsa liittyviä tuotteita, joiden yhdisteissä esiintyy samoja alkuaineita. (Hunter et al. 2015)

3.2 Valmistus

Bitumin valmistuksessa on neljä olennaista vaihetta. Ne ovat suolan poistaminen, suoratislaus, tyhjötislaus ja bitumin puhallus. Näiden vaiheiden avulla maaöljystä saadaan valmista bitumia. Kuvassa 5 on esitetty maaöljyn suolanpoisto ja tislauksyksiköt.



Kuva 5. Suolanpoisto ja tislaukset (1 – suolanpoisto, 2 – suoratislaus, 3 – tyhjätislaus) (PANK ry 2011)

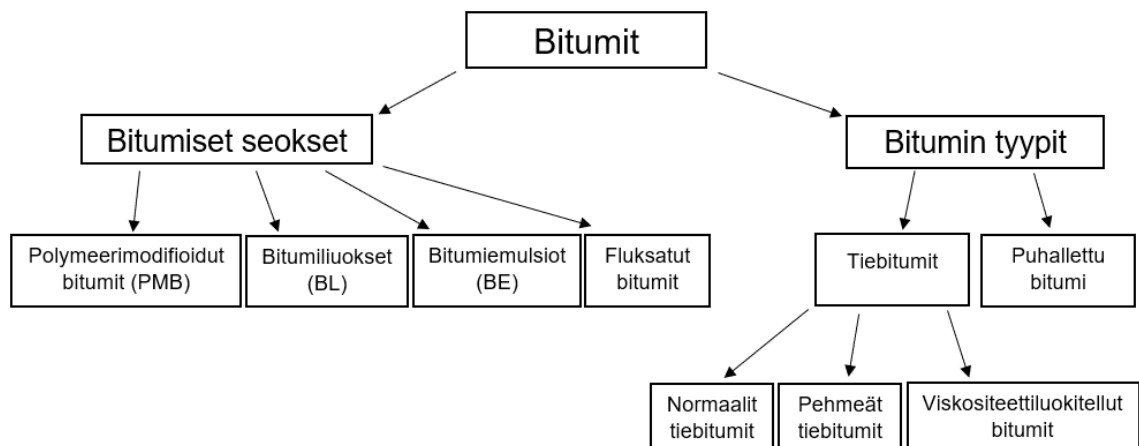
Ensimmäinen vaihe nimeltään suolanpoisto perustuu maaöljyn veden, suolan ja kiintoaineiden poistamiseen. Säiliöön lisätään maaöljyä, missä lämpötila on noin 120 °C. Tämän jälkeen lisätään 3–5 % vettä maaöljyn osuudesta. Sekoittimessa tapahtuva veden ja öljyn sekoitus virtaa putkissa säiliön sisään. Lisätyn veden tarkoitus on kerätä epäpuhtaudet maaöljystä sekä liuottaa kloridit. Vaihtovirtakentän avulla pienet vesipisarot päätyvät liikkeeseen ja yhtyvät isommiksi. Samaan aikaan maaöljyn virtausnopeus alenee säiliössä. Seurauksena vesipisarot ja kiintoaineet laskeutuvat säiliön pohjalle muodostaen lietettä, joka on poistettava. Lopuksi suolainen vesi poistuu ja puhdas öljy siirtyy ensi vaiheeseen eli suoratislaukseen. On huomioitava, että jos jätetään suorittamatta suolojen sekä kiintoaineiden poistaminen, niin tulevan tuotteen laatu heikentyy merkittävästi. (PANK ry 2011)

Toinen vaihe on suoratislaus. Suolanpoiston jälkeen puhdistettua öljyä lisätään uuniin, jossa lämpötila on noin 350–380 °C. Lämpötilan noustessa normaalipaineessa öljystä

erottuvat kevyet fraktiot, kuten kaasuöljyt, nestekaasu, bensiini, petroli ja pohjaöljy. Suo-
ratislauksen jälkeen saatu tuote ei ole vielä valmis, koska erittäin pehmeässä pohjaöl-
jyssä on paljon tisleitä. Tämän takia pohjaöljy tarvitsee jatkokäsittelyä seuraavassa vai-
heessa. Tyhjötislauksessa tapahtuu jatkokäsittely, jonka aikana paine laskee noin
50–150 millibaariin ja pohjaöljyn tisleet alkavat kiehua. Lopuksi kolonnista poistetaan
kaasut, tisleet ja tislattu bitumi. Pääosin tiebitumi on tislattua bitumia (Nynas AB 2012).
Neljännessä vaiheessa bitumin puhalluksella parannetaan bitumin ominaisuuksia. Pu-
hallusprosessi perustuu noin 250 °C:n kuumen ilman lisäämiseen tislattuun bitumiin.
Tuotteena saadaan puhallettua bitumia, jolla on paremmat kylmäominaisuudet ja korke-
ampi pehmenemispiste. (PANK ry 2011)

3.3 Luokittelu

Bitumit jaetaan kahteen tyyppiin ja neljään seokseen. Bitumin tyyppiä ovat tiebitumit ja
puhallettu bitumi. Bitumisia sideaineita ovat polymeerimodifioidut bitumit (PMB), bitumi-
liuokset (BL), fluksatut bitumit ja bitumiemulsiot (BE). Bitumin seoksien ja tyyppien ero
johtuu niiden fysikaalisista ominaisuuksista, koostumuksesta ja käsittelystä. Yleensä pu-
hallettua bitumia käytetään eristyksessä ja bitumin seoksia hyödynnetään pintakäsitte-
lyssä ja asfalttikerrosten liimauksessa sekä joustavassa tiepäällysteessä kylmissä il-
masto-olosuhteissa. (Nynas AB 2012) Kuvassa 6 on esitetty bitumin luokittelu, johon
kuuluvat bitumiset seokset ja bitumin tyypit. Suomessa tiepäällysteessä käytetään
yleensä tiebitumeja sekä polymeerimodifioituja bitumeja.



Kuva 6. Bitumin luokittelu

Polymeerimodifioidut bitumit ovat Suomessa yleisimmin käytettyjä bitumisia seoksia,
joita aikaisemmin kutsuttiin kumibitumeiksi (KB). PMB -bitumiin on lisätty polymeeriä,
joka vaikuttaa sideaineen ominaisuuksiin. Suomessa useimmiten käytetään polymeerinä
SBS -kumia, jonka lisäyksellä sideaine saa kumimaisia ominaisuuksia. (Asfalttinormit

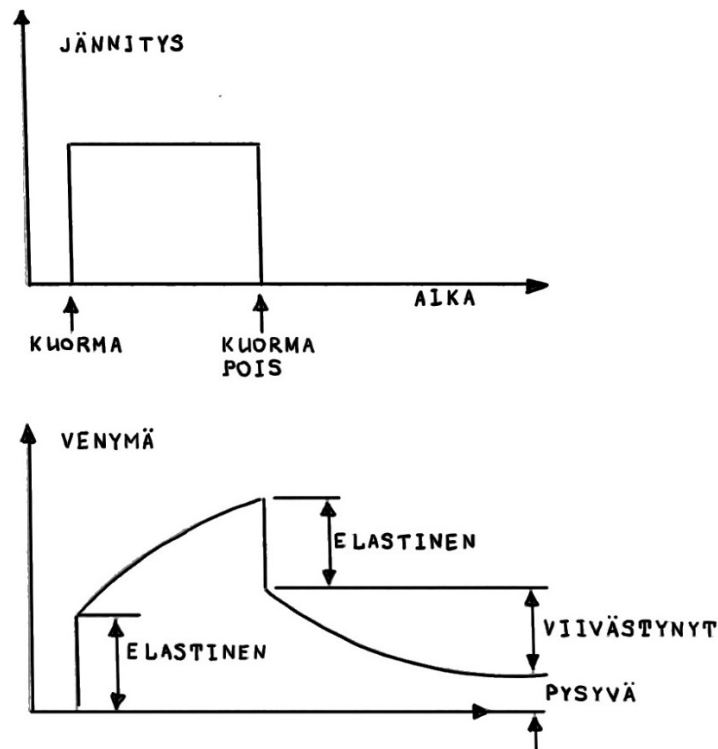
2017) SBS-kumin lisääminen parantaa myös sideaineen venymää, lämmönkestävyyttä ja kylmäominaisuuksia. Polymeerin molekyylit muodostavat kemiallisesti sideaineeseen verkon, joka yhdistämisen jälkeen vaikuttaa bitumin elastisuuteen, viskositeettiin ja muihin ominaisuuksiin. (Rossi 2015, s. 21–22)

Tiebitumit luokitellaan normaaleihin ja pehmeisiin tunkeuman perusteella ja viskositeetti-tiluokiteltuihin bitumeihin viskositeetin perusteella. Normaalin tiebitumin tunkeuma-alueen alaraja on 20 ja yläraja on 220 0,1mm. Suomessa käytetään eniten tunkeumaluokien 70/100 ja 100/150 bitumia. Pehmeän bitumin tunkeuma-alueen alaraja on 250 ja yläraja 900 0,1 mm. Pehmeää bitumia yleensä käytetään vähäliikenteisillä teillä. Viskositeettiluokitellun bitumin ominaisuuksia määritetään lämpötilassa 60 °C viskositeetin arvolla, jonka alaraja on V1500 ja yläraja on V3000. Suomessa viskositeettiluokitellun bitumin käyttö on vähäistä asfalttipäällysteessä. (Asfalttinormit 2017)

4. BITUMIN LAATUVAATIMUKSET

4.1 Mekaaniset ominaisuudet

Bitumin mekaaniset ominaisuudet riippuvat kahdesta tekijästä: kuormituksesta sekä lämpötilasta. Lämpötila vaikuttaa huomattavasti bitumin jäykkyyteen, koska bitumi on lämpövenyvä eli termoplastinen sideaine. Sideaineella ei ole sulamispistettä, mutta korkeammassa lämpötiloissa bitumi pehmenee alituisesti, ja matalissa lämpötiloissa bitumi käyttäytyy elastisesti. Bitumia kuormitettaessa muodostuu mekaaninen muodonmuutos (venymä). Sideaineeseen vaikuttava muodonmuutos riippuu kuormituksen suuruudesta sekä kestoajasta. (Bitumin laadunvarmistus 1985) Kuvassa 7 on esitetty bitumin muodonmuutuskäyttäytyminen kuormituksen alaisena.



Kuva 7. Kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset (Bitumin laadunvarmistus 1985, s. 3)

Kuormitettaessa bitumissa tapahtuu äkillinen elastinen venymä ja muodostuu jännitystila (kuva 7). Lisäksi bitumissa tapahtuu jatkuvaa muodonmuutosta, joka koostuu viivästyneestä ja pysyvää muodonmuutoksesta. Viivästynyttä venymää myös kutsutaan viskoelastiseksi muodonmuutokseksi ja pysyvää viskoosiseksi muodonmuutokseksi. Alhaisissa lämpötiloissa sekä lyhyemmällä kuormitusajalla bitumi reagoi elastisesti ja palaa

alkuperäiseen muotoon. Vastaavasti korkeat lämpötilat sekä pitkät kuormitusajat aiheuttavat sideaineeseen viskoosista muodonmuutosta. (Rossi 2015)

4.2 Toiminnalliset ominaisuudet

Toiminnallisilla ominaisuuksilla tarkoitetaan bitumin ominaisuuksia, jotka vaikuttavat asfalttipäällysteen kestävyYTEEN tai bitumin käyttöön. Toiminnallisiin ominaisuuksiin kuuluvat bitumin murtumisominaisuudet, koheesio, tarttuvuus, säänkestävyys ja vanheneminen. (Bitumin laadunvarmistus 1985)

Murtumisominaisuudet

Murtumisominaisuudet perustuvat bitumin murtolujuuteen sekä väsymislujuuteen, jotka vaikuttavat asfalttipäällysteen kestävyYTEEN. Bitumi väsy päällysteessä, kun kuormituksen määrää kasvaa. Tärkeä mitoituskriteeri on asfalttipäällysteen väsymislujuus, johon vaikuttaa bitumin kovuusluokka. Murtolujuudella tarkoitaa painetta, jonka bitumi kestää ilman murtumista päällysteessä. Lämpötila vaikuttaa murtuvuuteen siten, että erittäin matalissa lämpötiloissa bitumi alkaa katketa. Kun kuormitus tapahtuu nopeasti myös korkeissa lämpötiloissa, murtolujuudella on merkitystä, mutta yleensä bitumin viskoosisuus kompensoi jännityksiä. (Bitumin laadunvarmistus 1985)

Koheesio

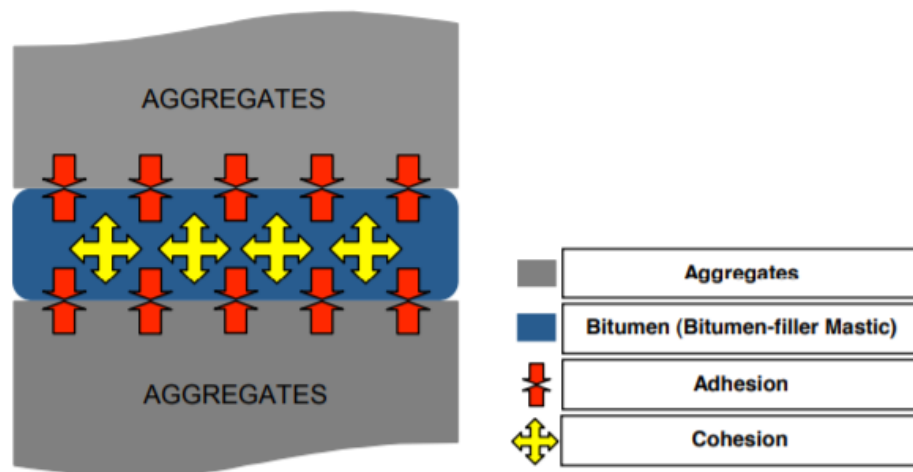
Koheesio tarkoittaa aineen molekyylien keskinäistä työntö- ja vetovoimaa. Koheesioon liittyvät fysikaalis-kemialliset sekä mekaaniset ominaisuudet. Koheesio määrää bitumin jäykkyyden, murtolujuuden sekä pintajännityksen, viskositeetin jne. (Bitumin laadunvarmistus 1985) Bitumilla sidottujen päällysteiden kestävyys leikkausvoimia ja muodonmuutoksia vastaan määräytyy asfalttipäällysteen sisäisen koheesio ja kitkan perusteella (Rossi 2015, s. 17).

Tarttuvuus

Tarttuvuusominaisuuksia kuvata neljällä eri teoriolla: mekaaninen tarttuvuusteoria, molekyylien orientoitumisteoria, kemiallinen reaktio sekä termodynaaminen teoria. Mekaaninen tarttuvuus syntyy mekaanisesti sideaineen tarttuessa kiviainekseen, jonka huokoisuus ja pinnan muoto ovat tärkeimpiä tekijöitä. Molekyylien orientoitumisteoria perustuu sideaineen molekyylien sekä kivipinnan ionien väliseen vaikutukseen. Kemiallinen reaktio-teoria perustuu sideaineen ja kiviaineksen molekyylien välillä tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin. Teorian mukaan tarttuvuusongelmat vähenevät, jos kiviaines on emäksinen. Termodynaaminen teoria perustuu siihen, että tarttuvuus edustaa termodynaamista il-

miötä. Teorian mukaan sideaineen tarttuessa kiviainekseen tapahtuu muutoksia vapaassa energiassa. Sideaineessa tärkeimmät tekijät ovat polaariset komponentit, mitä enemmän niitä bitumissa, sitä enemmän vapaa energia vähentyy ja tarttuvuus paranee. (Bitumin laadunvarmistus 1985)

Kuvassa 8 on esitetty kiviaineksen ja sideaineen tarttuvuus ja koheesio. Tartunta muodostuu kiviaineksen ja bitumin välisten molekyylivoimien avulla. Koheesio sisäinen voima pitää molekyylejä ja kehittyy bitumin sisällä tarttuvuuden yhteydessä. (Mohd Jakarni 2012)



Kuva 8. Kiviaineksen ja bitumin tarttuvuus ja koheesio (Mohd Jakarni 2012)

Säänkestävyys ja vanheneminen

Asfalttimassaa levitettäessä sideaineen ominaisuudet muuttuvat hapettumisen vuoksi. Muutokset aiheuttavat jäykkyyden kehittymisen, jonka seurauksena bitumi kovenee. Lisäksi muuttuu kovuuden lämpötilariippuvuus. Bitumin kovenemisnopeus ja kestävyys riippuvat lämpötilasta. (Bitumin laadunvarmistus 1985) Kylmäominaisuudet voivat nopeuttaa halkeamien muodostumista bitumissa, siksi matalissa lämpötiloissa sideaineena käytetään pehmeämpää bitumia, joka parantaa päällysteen kestävyyttä.

Bitumi vanhenee, kun sideainetta lisätään asfalttimassaan, minkä vuoksi bitumi muuttuu jäykemmäksi. Sideaineen vanheneminen vaikuttaa asfalttipäällysteen kykyyn vastustaa lämpöjännityksiä. (Rossi 2015)

4.3 Laatuvaatimukset

Laatuvaatimuksissa määritellään sideaineen tekninen ja toiminnallinen laatu. Ne osoittavat ominaisuudet ja raja-arvot, joiden perusteella toteutuvat tuotteen valmistus ja hyväksyntä käyttöön. Lisäksi laatuvaatimuksissa varmistetaan, että tuote on tasalaatuinen

ja toimii toivotulla tavalla. (Bitumin laadunvarmistus 1985, s. 34) Tuotestandardissa SFS-EN 12591 on esitetty tiebitumien laatuvaatimukset (Asfalttinormit 2017, s. 116).

Pehmenemispiste

Pehmenemispiste kuvaa bitumin lämpötilaa, jossa sideaineella on jäykkyyshmoduuli noin $1\,500\text{ N/m}^2$ kuormitusajalla 3 sekuntia. Bitumilla ei ole varsinaista sulamispistettä, mutta sideaine pehmenee lämpötilan noustessa. Bitumin pehmenemispiste osoittaa sideaineen jäykkyyden lämpötila-alueella, joka on tunkeuma- ja viskositeettimäärityksen välillä. (Bitumin laadunvarmistus 1985, s. 21) Pehmenemispiste määritetään standardin SFS-EN 1427 mukaisesti (Asfalttinormit 2017, s. 116).

Tunkeuma

Tunkeuma määritetään standardin SFS-EN 1426 mukaisesti. Tunkeuma-alue kuvaa bitumin jäykkyyttä päällystyksen keskimääräisessä lämpötilassa, eli 25 °C :ssa. Tunkeuman yksikkö on $0,1\text{ mm}$. (Asfalttinormit 2017) Lisäksi tunkeuma ilmaisee asfalttipäällysteessä jäykkyyshmoduulia, aika- ja lämpötilariippuvuutta. Jäykkyyshmoduulin avulla arvioidaan sideaineen murtumis- sekä väsymisominaisuuksia. (Bitumin laadunvarmistus 1985) Bitumin pehmeys riippuu tunkeuman arvosta, mitä isompi tunkeuma on, sitä pehmeämpää sideaine on (Ylimys 2015).

Viskositeetti

Viskositeetti tarkoittaa bitumin käyttäytymistä asfalttimassaa valmistaessa, levittäessä ja tiivistäessä (Bitumin laadunvarmistus 1985, s. 22). Viskositeetti jakaa kahteen luokkaan: dynaaminen ja kinemaattinen. Dynaaminen viskositeetti määritetään lämpötilassa 60 °C , ja sen yksikkö on poisi (Pas). Kinemaattisen viskositeetin yksikkö on mm^2/s , ja se määritetään mittauslämpötilassa 135 °C . (Asfalttinormit 2017) Tiebitumeille standardoitu lämpötila on 135 °C (Ylimys 2015). Kinemaattinen viskositeetti määritetään standardin SFS-EN 12595 mukaisesti (Asfalttinormit 2017, s. 116).

Murtumispiste

Bitumin murtumispiste ilmaisee lämpötilan, jossa sideaineen jäykkyyshmoduuli saavuttaa arvon 10^8 N/m^2 . Murtumispiste osoittaa bitumin jäykkyyden kuormitusajalla, joka on pitkä liikenteen kuormitusaikaan nähden ja lyhyt lämpötilakuormituksen nähden. (Bitumin laadunvarmistus 1985, s. 22) Lisäksi murtumispiste kuvaa sideaineen kestävyyttä kylmissä olosuhteissa. Mitä pienempi murtumispiste, sitä parempi bitumin kestävyys on. (Ylimys 2015) Murtumispiste määritetään standardin SFS-EN 12593 mukaisesti (Asfalttinormit 2017, s. 116).

5. BITUMIIN LISÄTTÄVÄT AINEET

5.1 Gilsoniitti

Gilsoniittia kutsutaan luonnonasfaltiksi, joka esiintyy luonnossa pihkaisena hiilivetynä. Ensimmäistä kertaa gilsoniittia löydettiin Turkista vuonna 1930. Gilsoniitti liukenee aromaattisissa ja alifaattisissa liuottimissa sekä maaöljystä valmistetussa bitumissa. (TDM 2020b) Luonnonasfaltti on kiinteä aine, jonka sekoittaminen viskoosiseen bitumiin on haastavaa (TDM 2020a).

Gilsoniitti sisältää 70–80 % hiiltä, 15 % vetyä, 5 % typpeä, happea, rikkiä, metalleja sekä 15–30 % haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Luonnonasfaltti on vaaraton sekä myrkytön materiaali, eikä ole toistaiseksi todettu myrkyllisyyden tapauksia. Lisäksi gilsoniitti ei ole karsinogeeninen, eikä mutageeninen. (RAHA Gilsonite Co 2020)



Kuva 9. *Gilsoniitti (TDM 2020b)*

Gilsoniitin sekoittaminen bitumiin muuttaa sideaineen ominaisuuksia, kuten pehmenempistä ja tunkeumaa. Lisäksi gilsoniitin lisääminen bitumiin voi parantaa sideaineen sitkeyttä. Gilsoniitin käytössä otetaan huomioon seuraavat asiat:

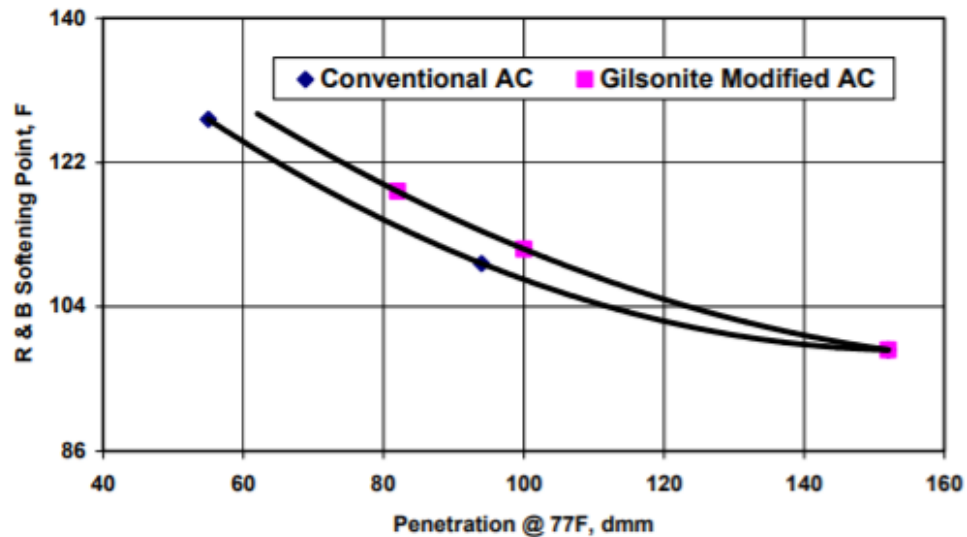
- Gilsoniitti sitoutuu erittäin hyvin bitumiin.
- Ennen luonnonasfaltin käyttöä kuumapäälysteessä, gilsoniittia jauhetaan vähintään 149 µm:iin.
- Kaikista luonnonasfalteista gilsoniitilla on suurin liukoisuus, mikä estää bitumituotteen laadun heikkenemistä. (ZISTA Group 2020)

Gilsoniitin käyttö bitumissa lisää asfalttipäälysteen jäykkyyttä ja sen joustavuus säilyy alhaisissa lämpötiloissa. Lisäksi gilsoniitissa esiintyvä mineraaliaine parantaa asfaltti-

päällysteen kulutuskestävyyttä ja lujuutta muodonmuutoksia vastaan sekä lisää deformaatiokestävyyttä. (PANK ry 2011) PMB-bitumeissa gilsoniitti parantaa sideaineen stabiilisuutta ja heikentää lämpötilaherkkyttä. (TDM 2020a)

Gilsoniittia käytetään kuumapäällysteessä maailmanlaajuisesti riippumatta sääolosuhteista. Norjassa, Yhdysvalloissa sekä Australian katu- ja valtateillä gilsoniitin käyttö on onnistunut. (Saman pardis gharb Co 2020, s. 2) Suomessa luonnonasfalttia käytetään pieniä määriä.

Gilsoniitti nostaa pehmenemispistettä, korkean lämpötilan jäykkyyttä, viskositeettia ja pienentää tunkeumaa. Asfalttimassan lämpöherkkyyttä voidaan parantaa lisäämällä luonnonasfalttia. Kuvassa 10 on esitetty tavanomaisen ja gilsoniitilla modifioidun asfalttibetonin tunkeuma ja pehmenemispiste. (Saman pardis gharb Co 2020, s. 5)



Kuva 10. Tavanomaisen ja gilsoniitilla modifioidun AB-massan tunkeuma sekä pehmenemispiste (Saman pardis gharb Co 2020, s. 5)

Kuvasta 10 havaitaan, että gilsoniitilla modifioidussa seoksessa on suuremmat pehmenemispisteen arvot verrattuna tavanomaiseen asfalttimassaan, vaikka tunkeuma on sama.

5.2 Kumipuru

Rudin et al. (2016) tutkimuksessa on esitetty tieto CRMB (crumb rubber modified bitumen) kumipurulla modifioidusta bitumista, joka on valmistettu kierrätetyistä autorenkaista. Kumin käyttö voi vaikuttaa bitumin ja asfalttipäällysteen mekaanisten ominaisuuksien parantamiseen, polymeerien käytön vähentämiseen ja luonnonvarojen kulutukseen.

Lisäksi autorenkaiden kierrätyksen tarkoitus on vähentää hiilidioksidipäästöjen määrää. (Rudi et al. 2016)

Rudin et al. (2016) tutkimuksen mukaan kumipurun lisäys bitumiin voi parantaa sideainetta tarttuvuutta ja asfalttipäällysteen ominaisuuksia. Bitumi muuttuu joustavammaksi kumin osasten takia. Kun joustavuus kasvaa, myös liikenteen melu vähenee. Lisäksi tutkimuksen mukaan asfalttipäällysteen vanhenemiskestävyys paranee kumin lisäyksen ansiosta. (Rudi et al. 2016)

Kumia sekoitetaan asfalttimassaan joko märkä- tai kuivatekniikalla. Kun kumia sekoitetaan märkätekniikalla tyypillinen kumipurun osuus voi olla 15–22 % asfalttimassan kokonaispainosta, ja kuivatekniikalla osuus on 3–5 % (Hegazi 2014, s. 13-14). Märkätekniikalla kumipurua sekoitetaan kuumaan bitumiin, ennen asfalttimassan valmistusta. Saatua sekoitusta voidaan käyttää 1–2 tunnin kypsytysajan päästä. Modifioitu bitumi on pysyvä lyhytaikaisesti, joten sekoitus on käytettävä mahdollisimman pian. Kuivatekniikka perustuu kumipurun lisäämiseen suoraan levitettävään asfalttimassaan. (Rudi et al. 2016)

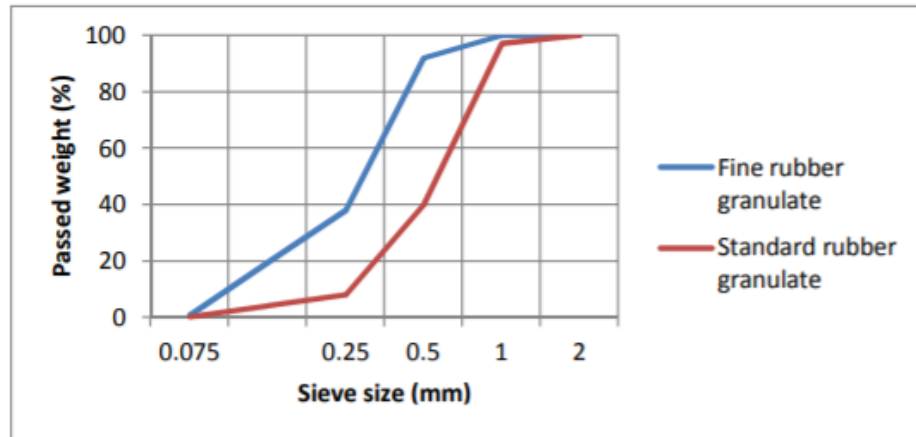
Rudin et al. tutkimuksessa tarkasteltiin kahdella tavalla modifioitua bitumia (CRMB-A ja CRMB-B) sekä PMB-bitumia. Modifioiduissa bitumeissa käytettävän kumin raekoko oli enintään 0,5 mm. CRMB-A:n koostumuksessa oli 20 % kumin osasia ja tiebitumia. CRMB-B:ssä seoksessa oli 10% kumijauhetta, tiebitumia ja yksi lisäaine (polyokteneeri). Tutkimuksen lopputulos on seuraava:

- CRMB-B:n pehmenemispiste oli CRMB-A -bitumia ja PMB-bitumia suurempi.
- Molemmilla CRMB-A ja CRMB-B -modifioiduilla bitumeilla oli parempia ominaisuuksia matalissa lämpötiloissa verrattuna PMB-bitumiin.
- CRMB-A modifioidulla bitumilla oli korkeampi vastustuskyky muodonmuutoksia vastaan verrattuna CRMB-B:iin ja PMB-bitumiin. (Rudi et al. 2016)

Pohjois-Ruotsi, Storuman-Stensele, valtatie E12

Pohjois-Ruotsissa suoritettiin kumipurun testaus valtatiellä E12. Tiellä testattiin kahta tiivistä asfalttibetonia, joihin lisättiin rakeisuudelta erilaisia kumipuruja. Kaikissa asfalttimassoissa kiviaineksen suurin raekoko oli 16 mm ja sideaine oli pehmeä bitumi 160/220.

Kuvassa 11 on esitetty käytetyn hienorakeisen ja standardi kumipurun rakeisuuskäyrät. (Nordgren & Tykesson 2011)



Kuva 11. Kumipurujen rakeisuudet (Nordgren & Tykesson 2011, s. 7)

Testauksen tulosten perusteella päällysteet, joihin oli lisätty kumipurua, osoittavat hyvää pinnan tasaisuutta, ja karkealla kumipurulla modifioidun asfalttimassan tasaisuus oli paras. Päällysteen tasaisuuden lisäksi kumilla modifioidut asfalttipäällysteet kestivät paremmin kulutusta. (Nordgren & Tykesson 2011)

Kanada, Ontario, valtatie 7, 35 ja 115

Hegazin 2014 tutkimuksessa tutkittiin kumipurun käyttöä Ontarion osavaltion päällysteissä. Lisäksi tutkittiin, miten paikalliset sääolosuhteet ja liikenne vaikuttavat kumipäällysteisiin. Kumipurun lisäys suoritettiin kolmella valtatiellä, joista otettiin päällystenäytteet tutkimusta varten. Lisäksi kumipäällysteitä vertailtiin normaaliin kuumapäällysteeseen (Hot mix asphalt). (Hegazi 2014, s. 2)



Kuva 12. Kumipäällyste valtateillä 7, 35 ja 115 (Hegazi 2014, s. 34, 41, 46)

Tutkimuksen tulosten mukaan kumipäällysteet kestävät keskimäärin 10 °C:ta matalimpia lämpötiloja kuin tavanomaiset kuumapäällysteet. Lisäksi kumipäällysteiden kylmäkestävyys on kuumapäällystettä parempi, modifioitu päällyste vähensi myös ajoneuvojen nastarenkaiden melua ja paransi kitkaa. (Hegazi 2014, s. 94-95)

5.3 Muovi

Mahalakshmin et al. (2014) tutkimuksessa selvitettiin kierrätetyn muovin käyttöä tiebitumeissa. Nykyaikana muovijäte on suuri ongelma ympäristölle, siitä syystä sen uusiokäyttö parantaa jätteen hyödyntämistä ja vähentää saasteita. Lisäksi lisättävä aine vähensi tarvittavan bitumin käytettävää määrää ja vaikutti sideaineen ominaisuuksiin.

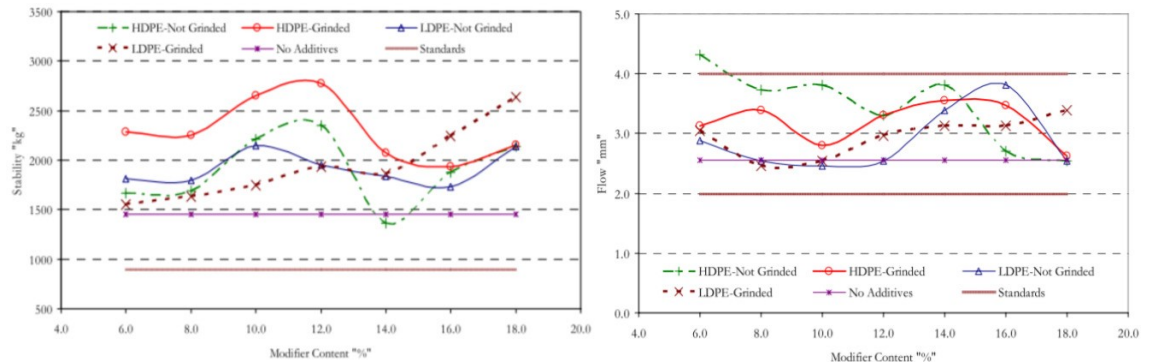
Tutkimuksessa käsiteltiin polyeteeniä (PE) sisältäviä muovijätteitä, koska se on maailman käytetyin muovin polymeerinen raaka-aine. Ennen bitumiin sekoitusta, muovijätteet puhdistettiin ja kuivattiin. Polyeteenin tiheyden perusteella muovi jaettiin suuritiheyspolyeteeneihin (PE-HD) ja pienitiheyspolyeteeneihin (PE-LD). Sen jälkeen muovi jauhettiin 2–4 mm raekokoon murskauskoneella. Muovijätettä kuumennettaessa se pehmenee noin 130 °C:ssa ja termogravimetrinen analyysin perusteella päästöjä ei tule 130–180 °C:n välillä. (Mahalakshmi et al. 2014) Silputtua muovia lisättiin tiebitumiin, kun sen lämpötila oli 160 °C. Seosta sekoitettiin vähintään 30 minuuttia muovimodifioidun bitumin aikaansaamiseksi. (McQuilkin 2017, s.4)

Mahalakshmin et al. tutkimuksen lopputulokset ovat seuraavat:

- Optimaalinen PE-LD -muovin pitoisuus bitumissa on 7 %, kun muokattavuus on hyvä.
- PE-LD -muovibitumilla on tiebitumia ja PE-HD -muovibitumia korkeampi sitkeys ja Marshall-stabiliteetti, kun muovin pitoisuus on 7 %.
- Muovibitumilla on korkeampi pehmenemispiste, kun sen pitoisuus on 7 %.
- Muovilla modifioidulla bitumilla on 20 % parempi stabiliteetti ja vedenkestävyys kuin tiebitumilla.

McQuilkinin (2017) tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää muovijätteen käyttöä päällysteessä Islannissa. Tutkimuksen mukaan lisättävä muovi nostaa päällysteen Marshall-stabiliteettia. Lisäksi muoviset lisättävät aineet voivat nostaa tai vähentää Marshall testin

flow-arvoa. Kuvasta 13 havaitaan, että lähes kaikki tutkimuksessa käytetyt aineet parantavat Marshall-stabiilitettä. Kokeessa olivat PE-HD, PE-LD muovit eri muodossa. (McQuilkin 2017, s. 6)



Kuva 13. Marshall-kokeen stabiilitetti ja flow-arvot (McQuilkin 2017, s. 5-6)

McQuilkinin (2017) tutkimuksessa on viitattu, että muovin lisääminen bitumiin voi parantaa sideaineen joustavuutta ja päällysteen vastustuskykyä nastarenkaiden kulutusta vastaan, mutta jos muovi lisätään kiviainekseen niin päällysteen laatu voi heikentyä. Lisäksi muoviset lisäaineet voivat parantaa päällysteen laatua sekä korkeissa että matalissa lämpötiloissa. (McQuilkin 2017, s. 7,9)

Suomessa myös kokeiltiin jätemuovin käyttöä päällysteiden tiebitumissa vuonna 1997. Muovitiebitumit modifioitiin tiebitumeista B100/150, B160/220 POL ja B650/900 POL. POLilla tarkoitetaan erikoisbitumia, jota käytettiin muovisideaineen erottumisongelmien helpottamista varten. Käytettävän muovin pitoisuudet olivat SMA- ja ABK -massoissa 10–12 % ja PAB-massassa 6–8 %. Modifioidun sideaineen kolmessa seoksessa käytettiin myös mäntyöljypikeä, joka on selluloosateollisuuden sivutuote. (Muovibitumikokeilut 1997)

Tutkimuksen tulosten perusteella voidaan sanoa, että muovipitoisuuksilla on huomattavia vaikutuksia sideaineen ominaisuuksiin. Kun muovin lisääminen muuttui 10 %:sta 12 %:iin, sideaineen lämpötilaherkkyys pienentyi ja joustavuus kasvoi. Kun muovipitoisuus kasvoi, sideaineen jäykkyys myös kasvoi ja asfalttimassan työstettävyys ja tiivistettävyys

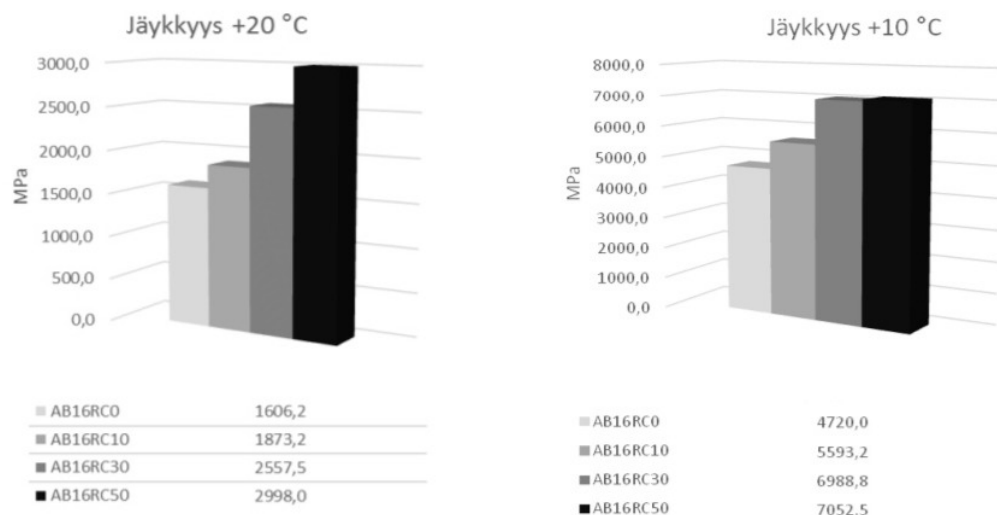
vaikoutuivat. SMA-massassa oli 12 % muovia ja tiebitumia B100/150, lisättävä aine paransi päällysteen veden- ja deformaatiokestävyyttä. (Muovibitumikokeilut 1997, s. 16, 55)

5.4 Vanha asfaltti

Vanha asfaltti kelpaa uuden asfalttimassan raaka-aineeksi. Vanhan asfaltin käytön avulla säästetään kiviainesta ja bitumia, koska vanha asfaltti sisältää yleensä 2-3 % bitumia. Yleensä vanhaa asfalttia murskataan ja käytetään asfalttirouheena. Asfalttirouheen määrä riippuu kerroksista, kulutuskerroksissa enimmäismäärä on 50 % ja muissa sidotuissa kerroksissa on 70 % (Asfalttinormit 2017, s. 91). Vanhan asfaltin bitumi pitää saada sekoittumaan uuteen bitumiin, jotta päällysteestä tulee toimiva.

Katajamäen (2013) tutkimuksessa selvitettiin asfalttirouheen määrän vaikutusta AB 16 -massan ominaisuuksiin, joita ovat halkaisuvetolujuus, vedenkestävyys, jäykkyys ja jäätymis-sulamiskestävyys. Tutkimuksessa vanhan asfaltin osuudet olivat 0 %, 10 %, 30 % ja 50 %. (Katajamäki 2013, s. 7-8)

Tutkimuksen tulosten mukaan asfalttirouheella on vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin. Asfalttipäällysteen jäykkyys on suurin lämpötilassa +20 °C, kun vanhan asfaltin määrä on 50 % eli suurin. Lämpötilassa +10 °C koekappaleiden jäykkyys on kasvanut huomattavasti, ja prosentuaalisesti erot jäykkyyksien välillä lämpötiloissa +20 °C ja +10 °C on noin 18 %. Lopputuloksena on se, että testikappaleet ovat jäykempiä, mitä enemmän niissä oli käytetty vanhaa asfalttia. (Katajamäki 2013, s. 36-37)



Kuva 14. Jäykkyydet testilämpötiloissa +20 °C ja +10 °C (Katajamäki 2013, s. 36-37, muokattu)

Myös testikappaleilla, joiden vanhan asfaltin määrä oli suuri, on suuremmat halkaisuvetolujuustulokset. Asfalttipäällysteen vedenkestävyyden ja jäätymis-sulamiskestävyyden arvo on suurin testikappaleella, jonka vanhan asfalttimäärän prosentuaalinen osuus oli 50 %. (Katajamäki 2013, s. 43-44) Vanhan asfaltin lisääminen tekee päällysteestä kovempaa ja jäykempää.

Väisänen 2014 tutkimuksen tulosten perusteella vanha asfaltti parantaa päällysteen ominaisuuksia. Asfalttirouhe koventaa päällysteen sideainetta, joka vaikuttaa pitkäaikaiskestävyyteen. Asfalttirouheen vaikutus asfalttipäällysteeseen muodostuu vasta suurilla rouheen pitoisuuksilla. (Väisänen 2014, s. 43-45)

5.5 Kuidut

Asfalttimassoissa voidaan käyttää useita erilaisia kuituja. Esimerkiksi: polyesteri, lasi-, aramidi-, selluloosa- ja mineraalikuituja voidaan käyttää. Kuitujen lisääminen parantaa asfalttimassan sekoituvuutta ja työstettävyyttä sekä vähentää lajittumista. (Rossi 2015, s. 22-25) Suomessa yleisin käytettävä kuitu on selluloosakuitu.

Rossin (2015) tutkimuksessa selvitettiin kuitujen vaikutuksia sideaineeseen sekä asfalttipäällysteisiin. Selluloosakuiduilla on raportoitu alhainen vetolujuus, mutta ne stabilisoivat sideainetta AA-päällysteessä ja imevät itseensä sideainetta tehden mahdolliseksi korkeamman sideainepitoisuuden ja kestävämmän asfalttipäällysteen. Mineraalikuidut myös stabilisoivat sideainetta AA- ja SMA -päällysteissä, mutta voivat heikentyä kosteissa olosuhteissa ja aiheuttaa ongelmia joidenkin asfalttipäällysteiden tiivistettävyydessä. Polyesterit ja aramidikuidut parantavat asfalttipäällysteen lujuutta ja halkeilukestävyyttä sekä voivat vähentää urautumista. Polyestereilla ja aramidikuiduilla on myös todettu suuri vetolujuus, mutta polyesterin raportoitu haitta on suuri ominaispaino. Laskuidut ovat hauraita, ja ne voivat rikkoutua asfalttipäällysteen valmistumisessa tai tiivistymisessä. Siitä huolimatta lasikuidut parantavat asfalttimassan vetolujuutta ja nostavat pehmenemispistettä, lisäksi niillä on pieni venymä ja hyvä elastinen palautuvuus. (Rossi 2015, s. 24)

6. LISÄAINEIDEN VAIKUTUS BITUMIIN JA PÄÄL- LYSTEEN OMINAISUUKSIIN

Tässä luvussa kootaan taulukkoon kaikki lisättävien aineiden vaikutukset tiebitumiin ja päällysteeseen. Esitetään havaittuja ominaisuuksien etuja sekä haasteita, joita erityyppisten lisättävien aineiden käyttöön, liittyy. Taulukossa 2 on esitetty tässä kandidaatin-työssä tarkisteltavien aineiden vaikutukset tiebitumiin ja päällysteen ominaisuuksiin.

Taulukko 2. Lisättävien aineiden vaikutukset tiebitumiin ja asfalttipäällysteeseen

Lisättävät aineet	Vaikutukset tiebitumiin ja asfalttipäällysteeseen
Gilsoniitti	<ul style="list-style-type: none"> • nostaa pehmenemispistettä, korkean lämpötilan jäykkyyttä, viskositeettia ja pienentää tunkeumaa • voi parantaa sideaineen sitkeyttä • hyvä sitoutuminen bitumiin • estää bitumintuotteen laadun heikkenemistä • lisää asfalttipäällysteen jäykkyyttä ja joustavuus säilyy alhaisissa lämpötiloissa
Kumipuru	<ul style="list-style-type: none"> • voi parantaa sideaineen tarttuvuutta • hyvä asfalttipäällysteen vanhenemiskestävyys ja pinnan tasaisuus • parantaa asfalttipäällysteen kulumiskestävyyttä • parantaa kitkaa • hyvä matalien lämpötilojen kestävyys
Muovi	<ul style="list-style-type: none"> • eri vaikutukset eri muovipitoisuuksilla • parantaa sideaineen joustavuutta ja päällysteen vastuskykyä nastarenkaiden kulutusta vastaan • nostaa päällysteen Marshall-stabiiliteettia • nostaa bitumin sitkeyttä, pehmenemispistettä • parantaa sideaineen vedenkestävyyttä ja muokattavuutta • voi parantaa päällysteen deformaatio- ja vedenkestävyyttä • muovipitoisuuden kasvaessa sideaineen jäykkyys kasvaa, mutta asfalttimassan työstettävyys ja tiivistettävyys vaikeutuivat
Vanha asfaltti	<ul style="list-style-type: none"> • vaikutus muodostuu suurilla pitoisuuksilla • koventaa päällysteen sideainetta • vedenkestävyys ja jäätymis-sulamiskestävyys kasvavat • koventaa päällysteettä • jäykkyys kasvaa
Kuidut	<ul style="list-style-type: none"> • parantavat asfalttipäällysteen sekoituvuutta ja työstettävyttä • vähentävät sen lajittumista <p><u>polyesteri:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - suuri ominaispaino + parantaa asfalttipäällysteen lujuutta + parantaa asfalttipäällysteen halkeilukestävyttä + vähentää urautumista + suuri vetolujuus <p><u>lasikuitu:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - hauras lisättävä aine - mahdollinen rikkoutuminen asfalttimassan valmistumisessa tai tiivistymisessä + parantaa asfalttipäällysteen lujuutta + nostaa pehmenemispistettä + pieni venymä + hyvä elastinen palautuvuus <p><u>aramidikuitu:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> + parantaa asfalttipäällysteen lujuutta + parantaa asfalttipäällysteen halkeilukestävyttä + vähentää urautumista + suuri vetolujuus <p><u>selluloosakuitu:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - matala vetolujuus + stabilisoi sideainetta AA-päällysteessä + imee itseensä sideainetta tehden mahdolliseksi korkeamman sideainepitoisuuden ja kestävämmän asfalttipäällysteen <p><u>mineraalikulitu:</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - mahdollinen heikentyminen kosteissa olosuhteissa - voi aiheuttaa ongelmia tiivistettyydessä + stabilisoi sideainetta AA- ja SMA -päällysteissä

7. YHTEENVETO

Tämä kandidaatintyön tavoitteena oli selvittää kirjallisuuden perusteella, miten lisättävät aineet vaikuttavat bitumiin ja asfalttipäällysteisiin. Kun tuloksia tarkastellaan, on otettava huomioon, että osa tutkimuksista on tehty täysin erilaisissa olosuhteissa, mikä voi vaikuttaa lisättävien aineiden käyttömahdollisuuteen Suomessa.

Asfalttipäällysteeseen lisättävät aineet vaikuttavat myös asfalttimassaan kierrättävyyteen ja pahimmillaan saattavat estää kierrätyksen. Tässä työssä ei ole käsitelty lisäaineiden vaikutusta päällysteen kierrätettävyyteen, eikä pitkäaikaiskestävyyteen. Lisättävät aineet vaikuttavat monipuolisesti ja muuttuvat sideaineen ja päällysteen ominaisuuksia. Tutkimuksessa keskityttiin gilsoniittiin, kumipurun, muoviin, vanhaan asfalttiin ja erilaisiin kuituihin.

Kirjallisuuden perusteella havaittiin, että gilsoniitti vaikuttaa myönteisesti tiebitumiin sekä asfalttipäällysteeseen. Gilsoniitin lisäys tekee sideaineesta ja päällysteestä sitkeämpää ja jäykempää. Ongelmana on se, että Suomessa ei louhita gilsoniittia, ja sen hankinta kaukaisista maista voi vaikuttaa kustannuksiin. Tämän takia sen käyttö voi olla tiebitumia kalliimpaa, vaikka lisättävä aine osoittaa parempia ominaisuuksia.

Kumipurun hyötykäyttöä on tutkittu eri maissa. Selvitettiin, että kumipurun lisäys tekee asfalttipäällysteestä kestävämpää. Kumipurua käytetään myös eri kylmäolosuhteissa, siitä syystä lisättävä aine voisi olla soveltua käytettäväksi myös Suomessa, koska kumipurun kestävyys matalissa lämpötiloissa on hyvä.

Muovin käyttöä ei ole tutkittu kylmissä olosuhteissa, mutta eteläisissä maissa muovi on parantanut sideaineen ominaisuuksia, kuten sitkeyttä, joustavuutta ja muokattavuutta. Muovin vaikutus päällysteeseen on kuitenkin myös kielteinen, koska asfalttimassan työstettävyys ja tiivistettävyys voivat vaikeutua. Lisäksi muovin käyttäytyminen kylmissä olosuhteissa on epäselvä.

Vanha asfaltti on hyvä lisättävä aine sekä kierrätyksen että vaikutuksensa kannalta. Vanhan asfaltin pienet pitoisuusmäärät eivät heikennä päällysteen laatua, eivätkä vaikuta

sen ominaisuuksiin. Suuremmat vanhan asfaltin lisäykset vaikuttavat muun muassa asfaltin jäykkyyteen.

Kirjallisuuden perusteella havaittiin, että kaikki kuidut vaikuttavat eri tavalla sideaineen ja päällysteen ominaisuuksiin, ja tuovat käytölle sekä etuja että haittoja. Suurin osa kuiduista vaikuttaa ensisijaisesti päällysteen kestävyteen ja lujuuteen.

Kirjallisuudesta voitiin havaita, että lisättävillä aineilla on vaikutus tiebitumin ja päällysteen ominaisuuksiin. Niiden hyötykäyttöä varten Suomessa tarvitaan laajempaa tutkimusta ja mahdollisia testauksia esimerkiksi koeteillä. Testauksien avulla voitaisiin varmistaa lisättävien aineiden toimintaa päällysteessä ja havaita vaikutuksia pitkäaikaiskestävyyteen sekä asfaltin kierrätykseen.

LÄHTEET

Asfalttinormit (2017). PANK ry. 120 s. Saatavissa: <https://www.rakennustieto-kauppa.fi/asfalttinormit-2017/114561/dp>.

Asfalttinormit (2019). Korjaukset 4.3.2019. PANK ry. 9 s.

Asphalt institute and Eurobitumen (2011). The Bitumen Industry – A global Perspective. 36 p. Saatavissa: http://www.aapaq.org/q/2012st/doc/REF/B01_AI-Eurobitume_The_Bitumen_Industry-A_Global_Perspective_2011.pdf.

Bitumen matters (2019). Insight: IMO 2020 – business as usual or a game changer. Article. Saatavissa: <https://www.nynas.com/en/bitumenmatters/talking-point/insight-imo-2020--business-as-usual-or-a-game-changer/>.

Bitumin laadunvarmistus (1985). Tie- ja vesirakennushallitus. Helsinki. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/81240784.pdf>.

Hegazi, M. (2014). Evaluation of Cold Weather Performance of Rubber Modified Asphalt Placed in Ontario. University of Waterloo. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/144147543.pdf>.

Hunter, R., Self, A. & Read, J. (2015). The Shell Bitumen Handbook. Thomas Telford Publishing. Shell Bitumen. Sixth edition. Saatavissa: http://www.ariantrg.com/files/learning_article/01-SHELL-Bitumen-Handbook-6th-Edition2015.pdf.

International Maritime Organization (2020). Sulphur 2020 – cutting Sulphur oxide emissions. Saatavissa: <http://www.imo.org/en/mediacentre/hottopics/pages/sulphur-2020.aspx>.

Katajamäki, H. (2013). Asfalttirouheen määrän vaikutus AB16-päällysteen ominaisuuksiin. Opinnäytetyö. Oulun seudun ammattikorkeakoulu. Saatavissa: https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/63672/Katajamaki_Henna-Mari.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Mahalakshmi, M., Priyankaprakash, S., Shalini, T., Rajamanickam, R. & Ramasamy, K. (2014). Utilization of Waste Plastic in Bitumen. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Saatavissa: <https://www.ijert.org/research/utilization-of-waste-plastic-in-bitumen-IJERTV3IS21146.pdf>.

McQuilkin, J., (2017). Plastic recycled in roads: feasibility study on the use of plastic waste for road paving in Iceland. ReSource International. Saatavissa: <http://www.resource.is/wp-content/uploads/2017/05/Plastic-recycled-in-roads-feasibility-study-on-the-use-of-plastic-waste-for-road-paving-in-Iceland-Version-2.0.pdf>.

Mohd Jakarni, F. (2012). Adhesion of asphalt mixtures. PhD thesis, University of Nottingham. Saatavissa: http://eprints.nottingham.ac.uk/12646/1/Adhesion_of_Aspalt_Mixtures.pdf.

Muovibitumikokeilut (1997). TIEHALLINTO, Tie- ja liikennetekniikka, Helsinki 1998. Saatavissa: <https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/138867/4059tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Rowe, G. (2019). IMO 2020 and the Effect on Bitumen Quality. 56th Annual Petersen Asphalt Research Conference. Saatavissa: http://www.abatech.com/documents/2019Rowe_IMO2020_Effect_on_Bitumen_Quality.pdf.

Saman pardis gharb Co, Gilsonite in Paving Applications, saatavissa (viitattu 07.05.2020): [http://samanpardisgharb.com/files/Gilsonite%20\(1\).pdf](http://samanpardisgharb.com/files/Gilsonite%20(1).pdf).

Ylimys, J. (2015). Pehmenemispisteen määrittäminen bitumi- ja asfaltteeninäytteistä Mettler Toledo DP70 -tippumispistelaiteella. Opinnäytetyö. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/101669/opinnaytetyo.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

Jämsä, H. (2018). Asfaltin massatilastot. INFRA ry. Saatavissa: <https://www.rakennusteollisuus.fi/globalassets/infra/tietoa-ja-tilastoja/vaylat-ja-liikenne/asfalttituotanto-2018-kuvat.pdf>.

Nordgren, T. & Tykesson, A. (2011). Dense graded Asphalt Rubber in cold climate conditions. Swedish Transport Administration. Saatavissa: https://www.ra-foundation.org/wp-content/uploads/2013/02/035-PAP_024.pdf.

Nynas AB (2012). Bitumin turvallinen käsittely. Käyttöopas. Saatavissa: <https://www.nynas.com/globalassets/bitumen-paving/finland/safety/nynas-safety-book-fin.pdf>.

PANK ry (2011). Raaka-aineet. Oppimateriaali. Saatavissa: www.pank.fi/file/900/b2-raaka-aineet.pdf.

RAHA Gilsonite Co, What is Gilsonite, saatavissa (viitattu 07.05.2020): <http://gilsoniteco.com/2017/04/09/gilsonite/>.

Rossi, J. (2015). Modifioitujen bitumipäällysteiden soveltuvuus vähäliikenteisille teille. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto. Saatavissa: <https://trepo.tuni.fi/bitstream/handle/123456789/23933/rossi.pdf?sequence=3&isAllowed=y>.

Rudi, E., Cetinkaya R. & Schmidt H. (2016). The use of rubber granulate in bitumen and asphalt. 6th Euraphalt & Eurobitume Congress. Saatavissa: <https://www.h-a-d.hr/pubfile.php?id=910>.

TDM, Uses of Gilsonite natural asphalt in paving and mix with asphalt, saatavissa (viitattu 13.04.2020a): <https://gilsonite-bitumen.com/en>.

TDM, What is gilsonite, saatavissa (viitattu 13.04.2020b): <https://gilsonite-bitumen.com/en/products/what-is-gilsonite>.

Väisänen, H. (2014). Kierrätysasfaltin tekninen hyödyntäminen. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/38106504.pdf>.

ZISTA Group, Bitumen Blending: Mixing gilsonite into the bitumen, saatavissa (viitattu 13.04.2020): <https://zistagilsonite.com/products/bitumen-blending/>.