



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

JONNA ROSSI

MODIFIOITUJEN BITUMIPÄÄLLYSTEIDEN SOVELTUVUUS VÄ-
HÄLIKENTEISILLE TEILLE

Diplomityö

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja
Tarkastaja ja aihe hyväksytty
Talouden ja rakentamisen tiedekun-
taneuvoston kokouksessa 7. loka-
kuuta 2015

TIIVISTELMÄ

JONNA ROSSI: Modifioitujen bitumipäällysteiden soveltuvuus vähäliikenteisille teille

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 153 sivua, 23 liitesivua

Toukokuu 2016

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Yhdyskuntarakentaminen

Tarkastaja: professori Pauli Kolisoja

Avainsanat: asfalttipäällyste, modifioitu bitumi, vähäliikenteinen tie, SBS-polymeerimodifioitu bitumi, aramidikuitu, polyamidikuitu, HMA-kuitu, kumipuru, elastomeeripelletti, pehmeä asfalttibetoni, asfalttibetoni, pitkäaikaiskestävyys

Vähäliikenteisten teiden kunto on huonontunut ja korjausvelka on kasvanut varsinkin viime vuosikymmenten aikana. Päällysteiden kehittäminen on tärkeää kustannustehokkaampien ratkaisujen löytämiseksi. Tämä diplomityö on osa tutkimusta, jonka tarkoituksena on tutkia erilaisten modifiointien vaikutusta asfalttimassan ominaisuuksiin, työstettävyyteen, ympäristöystävällisyyteen ja pitkäaikaiskestävyyteen. Tutkimuksen kirjallisuusselvitysosiossa selvitettiin SBS-polymeerimodifioidun bitumin (kumibitumin), aramidi- ja polyamidikuitujen, kumipurun ja elastomeeripelletin käytöstä pohjoisilla alueilla saatuja kokemuksia. Tutkimuksen yhteydessä Ylöjärvelle maantielle 2773 rakennettiin koekohde. Kumipurun toimittajan vetäytyttyä projektista kohteen viidenneksi asfalttimassaksi valikoitui PAB-B.

Työhön on koottu alkuperäisen tierakenteen vaurioinventointi, päällystystyömaalla tehtyjen lämpötilamittausten tulokset ja työmaalla tehdyt havainnot sekä työntekijöiden kommentit asfalttimassojen työstettävyydestä. Kohteella havaittiin monen tyyppisiä vaurioita ja niiden esiintymistiheys vaihteli kohteella paljon. Vaurioanalyysin perusteella arvioitiin, että vaurioituneimpien tieosuuksien vaurioitumisen taustalla on kuivatusjärjestelmän puutteellinen toiminta sekä routiminen. Asfalttimassojen valmistuksessa, levittämisessä tai tiivistyksessä ei havaittu ongelmia, kun massojen lämpötilat olivat ohjeellisten lämpötilojen mukaiset.

Näiden asioiden lisäksi työ sisältää myös asfalttimassojen ennakkokokeiden tulokset, päällystenäytteiden porauksen dokumentoinnin sekä laboratoriotutkimusten ja kohteella tehtyjen palvelutasomittausten (PTM) tulokset. Asfalttimassoille ja sideaineille tehtiin mittava määrä erilaisia laboratoriotutkimuksia. Laboratoriotutkimusten mukaan kumibitumilla oli muita sideaineita paremmat elastiset, kylmä- ja korkeiden lämpötilojen ominaisuudet. Vastaavasti aramidi- ja polyamidikuitujen havaittiin parantavan hieman päällysteen halkaisuvetolujuutta ja elastomeeripelletin lisääminen lisäsi tutkimustulosten mukaan hieman sideaineen elastisuutta ja päällysteen halkaisuvetolujuutta.

Myöhemmin on tarkoitus tutkia koeosuuksien nastarengaskulumisessa irtoavan pölyn koostumusta sekä päällysteiden remixattavuutta, pitkäaikaiskestävyyttä ja kustannustehokkuutta.

ABSTRACT

JONNA ROSSI: Suitability of modified bitumen pavements for low-traffic volume roads

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 153 pages, 23 Appendix pages

April 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Civil Engineering

Examiner: Professor Pauli Kolisoja

Keywords: asphalt pavement, modified bitumen, low-traffic volume road, SBS-polymer modified bitumen, aramid fiber, polyamide fiber, HMA-fiber, crumb rubber, elastomer pellet, soft asphalt, asphalt concrete, durability

The condition of low-traffic volume roads has deteriorated and accumulative delay in maintenance operations has grown especially during past decades. It is important to develop asphalt pavements to find more cost-effective solutions. This Master's thesis is part of study that examines how different additives affects the properties, workability, durability and environmental effects of asphalt mixture. Experiences with using SBS-polymer modified bitumen, aramid and polyamide fibers, crumb rubber and elastomer pellet in Northern areas were examined in the literature overview of the thesis. In connection with the study a test road was built on the public road 2773 in Ylöjärvi. When the supplier of crumb rubber withdrew from the project for the fifth asphalt mass was replaced with soft asphalt.

The thesis contains the original road construction damage inventory, the temperature measurement and observations done at the paving site and workers' comments on the workability of the asphalt mixtures. Many types of damages were distinguished and the frequency of damages varied a lot at the site. The damage analysis showed that the main factors causing damages at the site were poor road drainage system and frost heaving. No problems in producing, spreading or compacting the asphalt mixtures were observed when the temperatures of the mixtures were in accordance with the normative temperatures.

In addition the thesis includes asphalt mixtures' preliminary tests results, a documentation of the boring of pavement samples and laboratory tests results and road profiling measurements made at the site. A wide variety of different laboratory tests were conducted on the asphalt mixtures and binders.

On the basis of the laboratory tests the SBS-polymer modified bitumen's elasticity and properties at low and high temperatures were better compared to other binders. The splitting tensile strength of the asphalt mixture improves slightly when aramid and polyamide fibers were added. Adding elastomer pellet improved slightly the binder's elasticity and the splitting tensile strength of the asphalt mixture. In latter part of the thesis it is meant to explore the composition of dust separated from the trial road sections by studded tyres. The remixability, durability and cost-effectiveness of different asphalt mixtures are also explored.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Tampereen teknillisessä yliopistossa Rakennustekniikan laitoksella Maa- ja pohjarakenteiden yksikössä. Työ on osa kokonaisuutta, jossa tarkoituksena on selvittää lisäaineiden soveltuvuutta Suomen maanteiden päällysteissä käytettäväksi.

Haluan kiittää työni rahoittajia Liikennevirastoa ja Pirkanmaan ELY -keskusta, jotka mahdollistivat hyvin mielenkiintoisen ja käytännönläheisen tutkimuksen tekemisen. Liikennevirastosta työtäni ohjasi Katri Eskola ja Pirkanmaan ELY -keskuksesta Anne Valkonen. Haluan kiittää myös professori Pauli Kolisojaa diplomityöni ohjaamisesta, näkökulmista ja työni tarkastamisesta sekä diplomi-insinööri Antti Kalliaista koekohteen vaurioinventointiin liittyvistä neuvoista ja vaurioanalyysin tarkastamisesta.

Yksi diplomityöni kohokohdista oli viikko, jonka vietin päällystystyöurakan parissa koekohteella Ylöjärvellä. Tärkeiden käytännön oppien ja tutkimustietojen lisäksi viikolta kertyi paljon hyviä muistoja. Haluan kiittää koekohteen päällystystyöryhmää lämpimästä vastaanotosta ja yhteistyöstä sekä esittää erityiskiitoksen päällystystyömaan jyräkonkarille ”Jyrä-Kakelle”, joka perehdytti minut asfaltin tiivistämisen ja päällystystöiden saloihin. Päällystystyöryhmän lisäksi kiitos kuuluu myös koekohteella avustaneille laboratorioteknikko Tapio Mattilalle ja kesäteekkari Paavo Tawastille.

Lämpimät kiitokset myös koko Lemminkäinen Infra Oy:n Keskuslaboratorion henkilökunnalle, erityisesti tutkimusjohtaja Lars Forsténille ja tutkimusinsinööri Henri Väisäselle, yhteistyöstä ja laboratoriotutkimuksiin liittyvistä opeista.

Kiitettujen henkilöiden lista on pitkä, mutta haluan vielä esittää kiitokseni työkavereilteni ja taustajoukoilleni. Kiitokset Maa- ja pohjarakenteiden yksikön henkilökunnalle mukavasta työilmapiiristä ja hyvistä neuvoista sekä muille diplomityöntekijöille vertaistuesta ja hyvästä meiningistä. Kiitos kuuluu myös perheelleni ja ystäväilleni koko opiskelujeni aikaisesta myötäelämisestä.

Tampereella, 19.4.2016

Jonna Rossi

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
2.	TAUSTATEORIA	3
2.1	Asfalttityypit.....	3
2.2	Päällysteen mekaaniset ominaisuudet	7
2.2.1	Kuormituskestävyys.....	7
2.2.2	Kulutuskestävyys	18
2.2.3	Pakkasenkestävyys.....	19
3.	LISÄAINEIDEN VAIKUTUS ASFALTTIMASSAN OMINAISUUksiIN	21
3.1	Polymeerimodifioitu bitumi	21
3.2	Kuidut.....	22
3.3	Kumipuru/-jauhe	25
3.4	Elastomeeripelletti.....	26
4.	KÄYTTÖKOKEMUKSET TUTKIMUKSESSA TARKASTELTAVISTA MODIFIODUISTA BITUMIPÄÄLLYSTEISTÄ.....	27
4.1	Tarkasteltavat lisäaineet	27
4.1.1	SBS-polymeeri	27
4.1.2	HMA-kuitu.....	27
4.1.3	Kumipuru/ -jauhe	27
4.1.4	Elastomeeripelletti	28
4.2	Polymeerimodifioitu bitumi	28
4.2.1	Suomi	28
4.2.2	Norja, E 18 Vestfold	36
4.3	HMA-kuitu	43
4.3.1	Venäjä, M 18 Kuola.....	43
4.3.2	USA, Wyoming, Jackson Hole Airport -lentokenttä	43
4.4	Kumipuru/ -jauhe	44
4.4.1	Ruotsi, E12 Storuman–Stensele.....	44
4.4.2	Ruotsi, Vänersborg, Ragn–Sells	48
4.5	Elastomeeripelletti.....	53
4.5.1	Viro	53
5.	KOEKOHDE	54
5.1	Yleisesittely	54
5.2	Alkuperäinen rakenne ja sen kunto	56
5.3	Suunnitellut toimenpiteet	68
6.	KOEKOHTEN RAKENTAMINEN JA DOKUMENTOINTI	71
6.1	Koekohteella tehdyt valmistelutyöt.....	71
6.1.1	Valmistelutöiden aikana vallinneet olosuhteet	71
6.1.2	Valmistelutöiden toteutus	73
6.2	Koekohteen päällystystyöt	75

6.2.1	Päällystystöiden aikana vallinneet olosuhteet.....	75
6.2.2	Päällystystöiden toteutus.....	76
6.3	Koeosuuskohtaiset havainnot päällystystyön toteutuksesta.....	79
6.3.1	Vertailupäällyste AB 16.....	79
6.3.2	Elastomeeripellettimodifioitu asfalttipäällyste	84
6.3.3	KBAB -päällyste	90
6.3.4	PAB-B -päällyste	94
6.3.5	HMA -kuitumodifioitu asfalttipäällyste.....	98
7.	KOEKOHTEELLA TEHDYT SEURANTAMITTAUKSET.....	103
7.1	Testausmenetelmät	103
7.1.1	Sideainenäytteet	103
7.1.2	Massanäytteet.....	111
7.1.3	Päällystenäytteet.....	113
7.2	Näytteenottosuunnitelma.....	121
7.3	Päällystenäytteiden poraus	122
7.3.1	Päällystenäytteiden oton aikana vallinneet olosuhteet.....	122
7.3.2	Päällystenäytteiden poraus.....	122
7.4	Seurantamittausten tulokset.....	128
7.4.1	Sideainenäytteet	128
7.4.2	Massanäytteet.....	133
7.4.3	Päällystenäytteet.....	135
7.4.4	Palvelutasomittaukset.....	143
8.	YHTEENVETO	146
	LÄHTEET.....	149

LIITE 1: KOEKOHTEEN PUDOTUSPAINOLAITEMITTAUSTEN TULOKSET

LIITE 2: KOEKOHTEEN MAAPERÄKARTTA

LIITE 3: KOEKOHTEEN ASFALTTIMASSOJEN SUHTEITUSKÄYRÄT

LIITE 4: KOEKOHTEEN ASFALTTIMASSOJEN LÄMPÖTILAKARTTA

LIITE 5: PÄÄLLYSTENÄYTTEIDEN NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA

LIITE 6: ASFALTTIMASSANÄYTTEIDEN KOOSTUMUSANALYYSIT

LIITE 7: PÄÄLLYSTENÄYTTEIDEN TYHJÄTILAT

LIITE 8: KOEKOHTEEN PALVELUTASOMITTAUSTULOKSET

Kuvaluettelo

<i>Kuva 2.1 Rakeisuuskäyrä AB 16 (PANK 2011, s. 52)</i>	4
<i>Kuva 2.2 Kivimastiksiasfaltin SMA 16 rakeisuuskäyrä (PANK 2011, s. 70)</i>	5
<i>Kuva 2.3 Valuasfaltin rakeisuuskäyrä (PANK 2011, s. 72)</i>	7
<i>Kuva 2.4 Bitumin mekaanista käyttäytymistä kuvaava ns. Burgerin malli (Blomberg 1990, s. 63)</i>	8
<i>Kuva 2.5 Vakio kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset bitumissa (Ehrola 1996, s. 241)</i>	8
<i>Kuva 2.6 Toistuvan kuormituksen aiheuttavat muodonmuutokset bitumilla sidotussa rakenteessa. (Ehrola 1996, s. 245)</i>	10
<i>Kuva 2.7 Bitumilla sidotun rakenteen jäykkyyshuomion S_m riippuvuus sideaineen jäykkyydestä S_b ja rakenteen koostumuksesta (Ehrola 1996 s. 252)</i>	11
<i>Kuva 2.8 B100/150 bitumilla sidotun AB 20 jäykkyyshuomion riippuvuus kuormitusajasta ja lämpötilasta (Ehrola 1996, s. 254)</i>	12
<i>Kuva 2.9 Liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset päällysteessä (Ehrola 1996 s. 40)</i>	13
<i>Kuva 2.10 Päällysteeseen ajouran kohdalle tai reunoille syntyvän väsymishalkeaman syntymekanismi (Kolisoja 2013)</i>	14
<i>Kuva 2.11 Bitumin väsymislujuuden, kuormituskertamäärän ja jäykkyyden välinen yhteys. (Blomberg 1990, s. 70)</i>	14
<i>Kuva 2.12 Asfalttipäällysteiden väsymisuurat (Pauli Kolisoja 2013)</i>	16
<i>Kuva 2.13 Deformoitumisurautumisen muodot (Ehrola s. 270)</i>	17
<i>Kuva 3.1 SBS-kumin ristisitoutumismekanismi (Blomberg 1990, s. 138)</i>	22
<i>Kuva 3.2 Kumipurun määrän vaikutus sideaineen faasikulman arvoon (Leite & Soares 1999, s. 1078)</i>	26
<i>Kuva 4.1 Polymeerimodifioitujen päällysteiden SRK -kokeen tulokset (PANK ry 1992, s. 15)</i>	31
<i>Kuva 4.2 Tyyppiesimerkki jännitys–lämpötilakäyrästä (PANK ry 1992, s. 14. Muokattu.)</i>	32
<i>Kuva 4.3 Päällysteiden kulumisen sideainekoeteillä (Kurki 1998, s.32)</i>	34
<i>Kuva 4.4 Sideainekoeteiden yhdistetty suhteellinen kulumisen (Kurki 1998, s.33)</i>	34
<i>Kuva 4.5 Sideainekoeteiden deformaatio (Kurki 1998, s. 34)</i>	35
<i>Kuva 4.6 Sideainekoeteiden yhdistetty suhteellinen deformaatio (Kurki 1998, s. 35)</i>	35
<i>Kuva 4.7 Koekohteen päällysrakenne (Statens vegvesen 2013, s. 6. Muokattu.)</i>	36
<i>Kuva 4.8 Koeosuuksien sijainti (Statens vegvesen 2013, s. 5)</i>	37
<i>Kuva 4.9 Koeosuuksien urasyvytydet vuosina 2002–2010 (Statens vegvesen 2013, s. 14)</i>	38
<i>Kuva 4.10 Pyöräurituskokeen tulokset (Statens vegvesen 2013, s. 8)</i>	39
<i>Kuva 4.11 Päällysteiden keskimääräiset urautumisnopeudet (Statens vegvesen 2013, s. 9)</i>	40

<i>Kuva 4.12 Pyöräurituskokeen tulokset (Statens vegvesen 2013, s. 11)</i>	41
<i>Kuva 4.13 Koeosuuskohtaiset Prall -kokeen tulokset (Statens vegvesen 2013, s. 13)</i>	42
<i>Kuva 4.14 Jackson Hole Airport -lentokentän kiitorata viisi vuotta päällystystyön jälkeen (FORTA Corporation 2009)</i>	44
<i>Kuva 4.15 Kumipurujen rakeisuuskäyrät (Nordgren & Tykesson 2011, s. 7)</i>	45
<i>Kuva 4.16 Koeosuuksien sijainnit (Nordgren & Tykesson 2011, s. 5)</i>	46
<i>Kuva 4.17 Koeosuuksien MPD -arvot (Nordgren & Tykesson 2011, s. 11)</i>	47
<i>Kuva 4.18 Prall -kokeen tulokset (Nordgren & Tykesson 2011, s. 12)</i>	47
<i>Kuva 4.19 Asfalttipäällysteiden jäykkyysmoduulit (Nordgren & Tykesson 2011, s. 13)</i>	48
<i>Kuva 4.20 Koeosuuksien tierakenteet (Said et al. 2014, s. 11)</i>	49
<i>Kuva 4.21 Koeosuuksien pohjamaan keskimääräiset jäykkyysmoduulit (Said et al. 2014, s.22)</i>	51
<i>Kuva 4.22 Koeosuuksien päällysrakenteiden keskimääräiset venymät (Said et al. 2014, s.24)</i>	51
<i>Kuva 4.23 Koeosuuksien keskimääräiset kantavuusindeksit (Said et al. 2014, s. 25)</i>	52
<i>Kuva 5.1 Koekohteen sijainti</i>	54
<i>Kuva 5.2 Koekohteen tierakenteen tyyppipoikkileikkaus vuoden 1968 parantamissuunnitelman mukaisesti</i>	57
<i>Kuva 5.3 Routahalkeama ja väsymishalkeamia 2773/4/6560 (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	61
<i>Kuva 5.4 Rinneahteen liittymän kohdalla havaitut vauriot (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	62
<i>Kuva 5.5 2773/5/3300 kohdalla havaitut vauriot (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	62
<i>Kuva 5.6 Vino halkeama likimain 2773/5/1655 kohdalla (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	64
<i>Kuva 5.7 Kohteen loppuosalla havaittu pakkashalkeama (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	64
<i>Kuva 5.8 Pituushalkeamien yhteydessä esiintyvää päällysteen reikiintymistä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	68
<i>Kuva 5.9 Koekohteen suunnitellut testausosuudet</i>	70
<i>Kuva 6.1 Tien pinnan tasaustöiden aikaiset lämpötilakuvaajat ja sademäärät</i>	71
<i>Kuva 6.2 Tuulensuuntaruusu (Ilmatieteen laitos, tuulet)</i>	72
<i>Kuva 6.3 Tyypillinen tien pinnan tasaus koekohteen alkuosuudella (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	74
<i>Kuva 6.4 Tyypillinen tien pinnan tasaus koekohteen loppuosuudella (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	74
<i>Kuva 6.5 Tien pinnan tasaus Vuorikalliontien liittymän lähetyvillä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	75
<i>Kuva 6.6 Päällystöiden aikaiset lämpötilat ja sademäärät</i>	76

<i>Kuva 6.7 Toteutuneet koeosuudet</i>	78
<i>Kuva 6.8 Käsin korjattu keskisauma paalun 2773/5/20 kohdalla (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	82
<i>Kuva 6.9 Siironmaantien liittymän läheisen saarekkeen ympärystä ennen esijyräystä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	83
<i>Kuva 6.10 FEP -koeosuuden alkupuolella havaittu asfalttimassan työstettävyysoongelma (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	86
<i>Kuva 6.11 Päällysteen pinnan laatu Palokaivontien liittymän jälkeen (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	87
<i>Kuva 6.12 Päällysteen pinnalla havaittu harvempi linja (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	87
<i>Kuva 6.13 Esimerkki hyvälaatuisesta päällysteosuudesta FEP -koeosuudella (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	88
<i>Kuva 6.14 Elastomeeripellettimodifioitu ja vertailupäällyste (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	89
<i>Kuva 6.15 KBAB -koeosuuden ylikuumalla osuudella havaittu sankka höyry (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	92
<i>Kuva 6.16 KBAB- ja AB -päällysteen pinnan ero (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	92
<i>Kuva 6.17 Päällystenäytteiden ottopaikan kohdalla havaittu harva keskisauma (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	93
<i>Kuva 6.18 PAB -päällysteen laatu koeosuuden alussa (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	96
<i>Kuva 6.19 Väliaikaisen maankaatopaikan kohdalla havaittu harvempi linja PAB- B -päällysteessä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	97
<i>Kuva 6.20 HMA -kuitumodifioitu ja AB-päällyste (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	100
<i>Kuva 6.21 Päällysteen pinnassa havaittu sideaineen kuluminen (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	100
<i>Kuva 6.22 Vastamäentien liittymän kohdalla havaittu harva keskisauma (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	101
<i>Kuva 6.23 Liikenteen aiheuttama päällysteen pinnan vauriot (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	102
<i>Kuva 7.1 Penetrometri (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	104
<i>Kuva 7.2 Testinäytteet ennen testiä (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	104
<i>Kuva 7.3 Bitumin pehmenemispisteen määrittämisen periaate (Blomberg 1990, s. 90)</i>	105
<i>Kuva 7.4 Pehmenemispisteen määrittäyslaitte (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	105
<i>Kuva 7.5 Elastisen palautuman testinäytteen valumuotti (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	106

<i>Kuva 7.6 Voimavenymäkokeen testinäytteen valumuotti</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	106
<i>Kuva 7.7 Voimavenymän ja elastisen palautuman määrittämisessä testituloksena saatu voima–venymäkäyrä. (Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)</i>	108
<i>Kuva 7.8 DSR -laitteen toimintaperiaate (Shell Bitumen 2003, s. 145)</i>	109
<i>Kuva 7.9 Dynaaminen leikkausreometri (DSR -laite)</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	109
<i>Kuva 7.10 Kompleksisen leikkausmoduulin G* koostuminen elastisesta ja viskoosisesta komponentista (Pavement interactive 2011)</i>	110
<i>Kuva 7.11 Testinäytteen leikkausjännitys- ja leikkausmuodonmuutuskäyrä ajan funktiona (Pavement interactive 2011)</i>	111
<i>Kuva 7.12 Fillerisentrifugilaite</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	112
<i>Kuva 7.13 Sideaineen ja liuottimen erottamiseen soveltuva koelaitteisto</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	113
<i>Kuva 7.14 Yleiskuva epäsuoran vetokokeen testilaitteesta</i> <i>(SFS-EN 12697-26. Muokattu.)</i>	114
<i>Kuva 7.15 Viiden kuormituspulssin voiman ja niiden koekappaleeseen aiheuttaman vaakasuuntaisen muodonmuutoksen kuvaajat</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)</i>	115
<i>Kuva 7.16 Yleiskuva kulutuslaitteesta (SFS-EN 12697-16)</i>	116
<i>Kuva 7.17 Nastarengaskulutuslaite</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	116
<i>Kuva 7.18 Yleiskuva sivurullakulutuslaitteesta (SFS-EN 12697-16)</i>	117
<i>Kuva 7.19 Sivurullakulutuslaite (SRK) (PANK ry 1993, s. 78)</i>	117
<i>Kuva 7.20 Virumiskokeen tekemiseen soveltuva testilaitte ja testinäyte</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	118
<i>Kuva 7.21 Tyyppiesimerkki jaksollisen virumiskokeen tuloksena saatavasta kuvaajasta</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)</i>	119
<i>Kuva 7.22 Halkaisuvetolujuuskokeen testilaitte</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)</i>	120
<i>Kuva 7.23 Tyyppiesimerkki halkaisuvetolujuuskokeen mittaustuloksesta</i> <i>(Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)</i>	120
<i>Kuva 7.24 Päällystenäytteiden porauspäivien lämpötilakuvaajat ja sademäärät</i>	122
<i>Kuva 7.25 Porauskalusto ja näytteenottopihdit (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	123
<i>Kuva 7.26 AB 16 näytteenottoaikka (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	124
<i>Kuva 7.27 HMA -kuitumodifioitu päällystenäyte (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	124
<i>Kuva 7.28 PAB-B-päällysten näytteenottoaikka (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	125
<i>Kuva 7.29 KBAB-päällystenäyte (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	126
<i>Kuva 7.30 KBAB-päällystenäytteen porauksen yhteydessä irronnut kumilastu</i> <i>(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)</i>	126

<i>Kuva 7.31 Elastomeeripellettimodifioitu päällystenäyte (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015).....</i>	<i>127</i>
<i>Kuva 7.32 Elastomeeripellettimodifioidun päällysteen näytteenottoaikka (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015).....</i>	<i>127</i>
<i>Kuva 7.33 Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden kompleksisten leikkausmoduulien riippuvuus lämpötilasta (Forstén & Väisänen 2016, s. 24).....</i>	<i>131</i>
<i>Kuva 7.34 Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden faasikulmien riippuvuus lämpötilasta (Forstén & Väisänen 2016, s. 24).....</i>	<i>132</i>
<i>Kuva 7.35 Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden kompleksisten leikkausmoduulien riippuvuus sideaineiden faasikulmista (Forstén & Väisänen 2016, s. 25).....</i>	<i>133</i>

Taulukkuuettelo

<i>Taulukko 2.1 Bitumilla sidotun rakenteen väsymiskestävyyteen vaikuttavia massatekijöitä. (Ehrola 1996, s. 266).....</i>	<i>15</i>
<i>Taulukko 3.1 Erilaisten kuitujen käytön tuomat edut ja haitat (Transportation Research Board 2015 s. 8. muokattu.)</i>	<i>24</i>
<i>Taulukko 4.1 ASTO:ssa tutkittujen polymeerimodifioitujen bitumien sanalliset kuvaukset</i>	<i>29</i>
<i>Taulukko 4.2 Polymeerimodifioitujen päällysteiden jäykkyysmoduulit (PANK ry 1992, s. 10)</i>	<i>30</i>
<i>Taulukko 4.3 Jännitys–lämpötilakäyrien muutoskohdat.....</i>	<i>32</i>
<i>Taulukko 4.4 Koeosuuksien asfalttimassojen, sideaineiden ja kiviaineksien tiedot Statens vegvesen 2013, s. 6)</i>	<i>37</i>
<i>Taulukko 4.5 Asfalttimassojen sideaine- ja kumipurupitoisuudet sekä tyhjätilat (Nordgren & Tykesson 2011, s. 6).....</i>	<i>46</i>
<i>Taulukko 5.1 Koetien nopeusrajoitusalueet (Liikennevirasto, Tierekisteri).....</i>	<i>55</i>
<i>Taulukko 5.2 SCI- ja BCI- arvojen luokittelu (Saarenketo 2014).....</i>	<i>55</i>
<i>Taulukko 5.3 Kohteen päällystyshistoria tierekisteriosoittevälillä 2773/4/6505–5/4080 (Liikennevirasto, Tierekisteri)</i>	<i>57</i>
<i>Taulukko 5.4 Kohteen päällystyshistoria tierekisteriosoittevälillä 2773/5/4080–4393 (Liikennevirasto, Tierekisteri)</i>	<i>58</i>
<i>Taulukko 5.5 Kohteen päällystyshistoria tierekisteriosoittevälillä 2773/5/4393–4415 (Liikennevirasto, Tierekisteri)</i>	<i>58</i>
<i>Taulukko 5.6 Kohteella havaitut pituushalkeamat ja arvio halkeamien syntyyn vaikuttavista tekijöistä.....</i>	<i>60</i>
<i>Taulukko 5.7 Kohteella havaitut poikkihalkeamat ja arvio halkeamien taustalla olevista tekijöistä.....</i>	<i>63</i>
<i>Taulukko 5.8 Kohteella havaitut reunahalkeamat ja arvio halkeamia aiheuttavista tekijöistä</i>	<i>65</i>
<i>Taulukko 5.9 Kohteella havaitut urautuneet tieosuudet ja arvio urautumiseen vaikuttavista tekijöistä.....</i>	<i>66</i>
<i>Taulukko 5.10 Reikien esiintyminen kohteella ja arvio reikiintymiseen vaikuttavista tekijöistä.....</i>	<i>67</i>
<i>Taulukko 6.1 Tuulen nopeusasteikko (Ilmatieteen laitos, tuulet).....</i>	<i>72</i>
<i>Taulukko 6.2 Tien pinnan tasaustöiden aikaiset tuulilukemat ja tuulen suunnat</i>	<i>72</i>
<i>Taulukko 6.3 Koekohteen pinnan tasausten sijainnit ja leveydet kaistan reunaviivasta alkaen.....</i>	<i>73</i>
<i>Taulukko 6.4 Tien päällystystöiden aikaiset tuulilukemat ja tuulen suunnat.....</i>	<i>76</i>
<i>Taulukko 6.5 Koeosuuksien sijainnit.....</i>	<i>77</i>
<i>Taulukko 6.6 Koeosuuksien paksuudeltaan 60 mm olevat osuudet</i>	<i>78</i>
<i>Taulukko 6.7 Vertailupäällysteen AB 16 bitumipitoisuudet.....</i>	<i>79</i>
<i>Taulukko 6.8 AB 16 -asfalttimassakuormien lämpötilat 17.8.2015.....</i>	<i>80</i>

<i>Taulukko 6.9 AB 16 -asfalttimassakuormien lämpötilat 18.8.2015</i>	81
<i>Taulukko 6.10 Vertailupäällysteen levityksen yhteydessä tehdyt havainnot</i>	84
<i>Taulukko 6.11 Elastomeeripellettimodifioidun (FEP) asfalttimassan lämpötilatiedot</i>	85
<i>Taulukko 6.12 Elastomeeripellettimodifioidun testausosuuden havainnot</i>	90
<i>Taulukko 6.13 KBAB-asfalttimassan lämpötilatiedot</i>	91
<i>Taulukko 6.14 KBAB -koeosuuden havainnot</i>	94
<i>Taulukko 6.15 PAB-B -massan levitys- ja jyräslämpötilat</i>	95
<i>Taulukko 6.16 PAB-B -koeosuuden havainnot</i>	97
<i>Taulukko 6.17 HMA -kuitumodifioidun koeosuuden levitys- ja jyräslämpötilat</i>	99
<i>Taulukko 6.18 HMA-kuitumodifioidun koeosuuden havainnot</i>	102
<i>Taulukko 7.1 Laboratoriotestejä varten otettavien sideaine-, asfalttimassa- ja päällystenäytteiden näytemäärät (Lemminkäinen Infra Oy:n näytteenottosuunnitelmaa mukailen)</i>	121
<i>Taulukko 7.2 Tuoreiden ja asfalttimassoista uutettujen sideaineiden tunkeuma- arvot</i>	128
<i>Taulukko 7.3 Tuoreiden ja asfalttimassoista uutettujen sideaineiden pehmenemispisteet</i>	129
<i>Taulukko 7.4 Uutettujen sideaineiden elastisen palautuman ja voimavenymän tulokset</i>	130
<i>Taulukko 7.5 Asfalttimassasta uutettujen sideaineiden kompleksiset leikkausmoduulit ja faasikulmat 40 °C lämpötilassa 1,59 Hz taajuudella</i>	131
<i>Taulukko 7.6 Koostumusanalyysien keskimääräiset tulokset ja kommentit (Forstén & Väisänen 2016, s. 21)</i>	134
<i>Taulukko 7.7 Asfalttimassojen ennakkokokeissa saadut jäykkyysmoduulit</i>	136
<i>Taulukko 7.8 Koekohteelta porattujen päällystenäytteiden jäykkyysmoduulit</i>	137
<i>Taulukko 7.9 Asfalttimassojen keskimääräiset tyhjätilat (Forstén & Väisänen 2016, s. 16)</i>	138
<i>Taulukko 7.10 Ennakkokokeissa saadut päällysteiden kulumiskestävyystulokset</i>	138
<i>Taulukko 7.11 Koekohteelta porattujen päällystenäytteiden kulumiskestävyystulokset</i>	139
<i>Taulukko 7.12 Ennakkokokeiden jaksollisen virumiskokeen tulokset</i>	140
<i>Taulukko 7.13 Kohteelta porattujen päällystenäytteiden jaksollisen virumiskokeen tulokset</i>	140
<i>Taulukko 7.14 Ennakkokokeissa saadut asfalttimassojen halkaisuvetolujuus- ja vedenkestävyystulokset</i>	141
<i>Taulukko 7.15 Kohteelta porattujen päällystenäytteiden halkaisuvetolujuudet ja ITSR -tarttuvuusluvut</i>	142
<i>Taulukko 7.16 Kohteelta porattujen päällystenäytteiden halkaisuvetojäykkyydet</i>	143
<i>Taulukko 7.17 Koekohteen kaistojen keskimääräiset tyhjätilat</i>	144

<i>Taulukko 7.18 Koekohteen päällysteen IRI 4-arvojen ja alku-urasyvyyksien keskiarvot ja -hajonnat</i>	<i>145</i>
---	------------

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AA	Avoin asfaltti
AB	Asfalttibetoni
Ab	norj. asfaltbetong, asfalttibetoni. Asfalttimassa vastaa Suomessa käytettävää AB:ta.
ABb	ruots. Asphalt Betong bindlager, sidekerroksessa käytetty asfalttibetoni.
ABE	ks. kohta AB
ABK	Suomessa kantavassa kerroksessa käytetty asfalttibetoni.
ABS	ruots. Asphaltbetong, stenrik, Asfalttityyppi vastaan Suomessa käytettävää SMA -asfalttimassaa.
ABT	ruots. Asphaltbetong, tät, ABT vastaa Suomen AB:ta.
AC	engl. Asphalt Concrete, EN-standardien mukainen nimi asfalttibetonille (AB).
AG	ruots. Asphaltbundet grus, AG vastaa Suomessa käytettävää ABK -asfalttimassaa.
APP	Ataktinen polypropeeni
ASTO	Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma. Tutkimus toteutettiin vuosina 1987–1992.
BCI	engl. Base Curvature Index, Pudotuspainolaitemittausten tuloksista määritettävä pohjamaan kuormituskäyttäytymistä kuvaava parametri
DSR	engl. Dynamic Shear Rheometer, dynaaminen leikkausreometri
EMA	Etyylimetakrylaatti
EVA	Eteenivinyliasetetaattikopolymeeri
FEP	Tässä tutkimuksessa käytetty lyhenne tutkitusta elastomeeripelletistä. Elastomeeripellettilisäaineen tuotenimi on Viatop plus FEP.
GMB	ruots. Gummimodifierat bitumen, kumimodifioitu bitumi.

IRI	engl. International Roughness Index, tien pituussuuntaista epätasaisuutta kuvaava indeksi
HMA -kuitu	engl. Hot Mix Asphalt -kuitu
ITSR -arvo	engl. Indirect tensile strenght ratio, näytteen vedenkestävyyttä kuvaava parametri
KA	Keskiarvo
KB	Kumibitumi
KBAB	Kumibitumiasfalttibetoni
KB-AB	Tässä työssä käytetty lyhenne kumibitumiasfalttibetonimassasta uutettu kumibitumi
KVL	Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne
NAT -koe	Nottingham Asphalt Tester, asfalttipäällysteen deformaatiokestävyyden mittaamiseen soveltuva testilaite
NVDB	norj. Nasjonal vegdatabank, kansallinen tietopankki
PAB	pehmeä asfalttibetoni
PANK	Päällystealan neuvottelukunta
PG	engl. Performance Grade, Bitumi, joka on luokiteltu Standardin AASHTO M320-10 mukaan.
PMB	Polymeerimodifioitu bitumi
PTM	Palvelutasomittaukset
RC -massa	engl. recycled, Uusioasfaltti
SBS -polymeeri	styreenibutadieeniblokkikopolymeeri
SCI	engl. Surface Curvature Index, päällysrakenteen yläosan kuormituskäyttäytymistä parametri
Ska	norj. skjelettsfalt, kivimastiksiasfaltti. Ska vastaa Suomessa käytettävää SMA:ta
SMA	Kivimastiksiasfaltti

SIV -projekti	norj. Steinkvalitet og sporutvikling, Norjassa toteutettu tutkimusprojekti, jossa tutkittiin kiviaineksen laadun vaikutusta päällysteen urautumiseen.
SRK -testi	Sivurullakulutustesti, testi, jolla tutkitaan päällysteen nastarengaskulumiskestävyyttä.
TSV	Tien tasausviiva
σ	Keskihajonta

1. JOHDANTO

Vähäliikenteisten teiden yleisimmät vauriot ovat urautuminen, halkeilu sekä reikiintyminen. Vähäliikenteisillä teillä urautumisen syy ei yleensä ole nastarenkaiden, vaan urautuminen aiheutuu tien rakennekerroksissa ja niiden alla olevassa pohjamaassa tapahtuvista palautumattomista muodonmuutoksista. Näiden lisäksi tiestöllä esiintyy myös muita vaurioita riippuen kohteen ympäristötekijöistä, kuivatuksesta sekä asfalttimassan valmistus- ja päällystysprosessin onnistumisesta. Tällaisia vaurioita ovat muun muassa suurista lämpötilavaihteluista aiheutuvat pakkashalkeamat, reunadeformaatiot sekä päällysteen purkautuminen. Vähäliikenteisten teiden kunto on huonontunut ja korjausvelka on kasvanut hyvin suureksi varsinkin viime vuosikymmenten aikana (Liikennevirasto 215). Päällysteiden osalla kustannustehokkuuden parantamiseksi ja käyttöiän pidentämiseksi on kehitetty erilaisia lisäaineita, joiden avulla päällysteen ominaisuuksia voidaan parantaa. Lisäaineiden kehittämisessä on pyritty ottaa huomioon myös uusiomateriaalien hyödyntämismahdollisuudet. Erilaisilla modifioinneilla on pystytty parantamaan muun muassa päällysteen halkeilukestävyyttä sekä vähentämään urautumista.

Suomessa lisäaineiden käyttö on ollut vielä melko vähäistä. Tämä diplomityö on osa kokonaisuutta, jossa tarkoituksena on selvittää lisäaineiden soveltuvuutta Suomen maanteiden päällysteissä käytettäväksi. Diplomityössä selvitettiin kolmen erilaisen modifioitun ja kahden tavanomaisen asfalttimassan työstettävyyttä ja ympäristöystävällisyyttä sekä päällysteen pitkäaikaiskestävyyttä Suomen olosuhteissa. Tutkimuksen avulla halutaan saada vastauksia siihen, kuinka lisäaineet soveltuvat Suomessa käytettävään AB-päällysteeseen, miten lisäaineet vaikuttavat kyseisen päällysteen pitkäaikaiskestävyyteen, millaisia vaikutuksia aineilla on päällysteen mekaanisiin ominaisuuksiin ja miten lisäaineiden käyttö vaikuttaa päällysteen hintaan. Tutkimuksen yhteydessä Ylöjärvelle (Mt 2773) rakennetaan koekohte, joka on pituudeltaan noin 5 km. Projektin esiselvitysvaiheessa kumibitumin lisäksi mukana oli kolme lisäainetta: HMA -kuitu, elastomeeripelletti sekä kumipurun/ -jauhe. Kumipurun jäätyä koekohteen testauksesta pois, koekohteella testataan edellä mainittujen lisäaineiden lisäksi kumibitumipäällystettä (KBAB) ja pehmeää asfalttibetonia (PAB). Asfalttimassojen sideaineena käytetään 70/100 -luokan bitumia. Vertailupäällysteenä testauksessa käytetään AB 16 -massaa.

Suomessa teiden ylläpidon päämenetelmä on REMIX -pintausta, joten lisäaineiden käyttö ei saa rajoittaa menetelmän käyttöä. Ennen lisäaineiden laajempaa käyttöön ottoa on vielä selvitettävä, kuinka modifioitujen päällysteiden käyttö on mahdollista korkeissa lämpötiloissa ja, kuinka remixausta vaikuttaa päällysteen ominaisuuksiin. Lisäksi Suomessa nastarenkaiden käyttö aiheuttaa oman haasteensa päällysteiden kestävyyteen. Tutkimuksen

myöhemmässä vaiheessa pyritään selvittämään myös, kuinka erilaiset vahvistetut päällysteet kestävät kulutusta ja millaista tiestä irtoava materiaali on koostumukseltaan.

Tässä työssä keskitytään modifioitujen päällysteiden ominaisuuksien selvittämiseen kirjallisuustutkimuksen ja laboratoriokokeiden avulla sekä modifioitujen asfalttimassojen työstettävyyden ja päällystyksen dokumentointiin. Diplomityön alussa esitellään tutkimuksen kannalta oleellinen taustateoria ja käsitellään lisäaineiden ominaisuuksia yleisesti. Tämän jälkeen esitellään lisäaineiden käyttökokemuksia Suomen olosuhteita vastaavissa testauskohteissa. Käyttökokemuksia kerätään Pohjoismaista, Venäjältä sekä USA:sta. Tämän jälkeen esitellään Ylöjärvellä sijaitseva koekohde ja esitetään kohteelle tehty kuntoanalyysi sekä dokumentoidaan koekohteella tehtävä päällystystyö. Tiekohteessa työskenteleviä työntekijöitä haastatellaan tarkkojen päällystystietojen ja mahdollisten poikkeavuuksien kartoittamiseksi. Tämän lisäksi työssä esitellään kohteesta tehdyt seurantamittaukset tuloksineen sekä esitetään tiivistetysti tutkimuksessa havaitut asiat ja annetaan jatkotutkimussuositukset.

2. TAUSTATEORIA

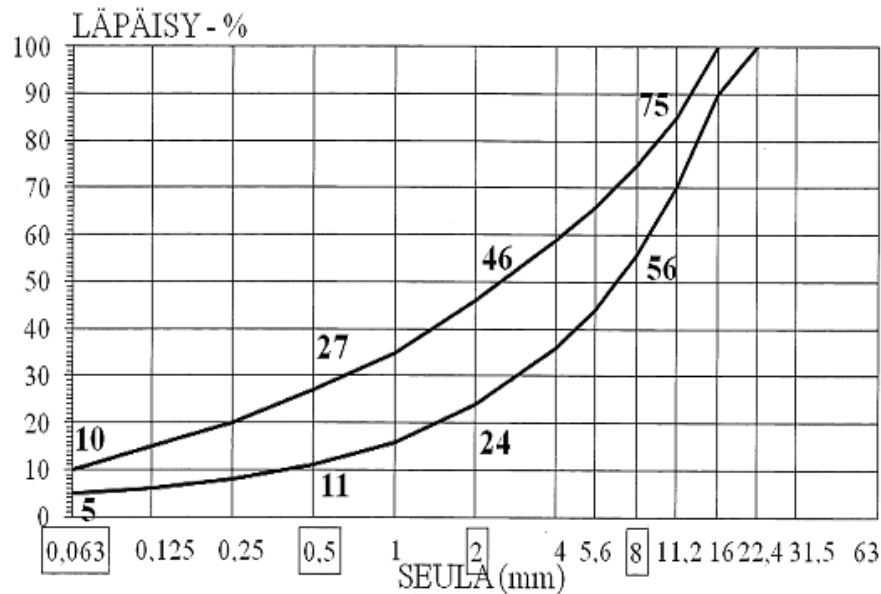
2.1 Asfalttityypit

Asfalttipäällyste on eniten käytetty päällystetyyppi Suomessa. Se soveltuu laaja-alaisesti käytettäväksi sekä eri luokkaisten teiden, kenttien että pihojen päällysteeksi. Päällyste koostuu kiviaineksesta, sideaineen ja hienoaineksen muodostamasta mastiksista ja tyhjätilasta. Kaikilla päällysteen komponenteilla on oma tehtävänsä päällysteen toiminnassa. Karkea kiviaines muodostaa päällysteen kantavan osan ja pienemmät kiviainepartikkelit täyttävät suurempien väliin jäävää tyhjätilaa. Mastiksi sitoo massaa sekä täyttää päällysteessä esiintyviä pienempiä rakoja. Näiden komponenttien lisäksi päällysteissä voidaan käyttää lisäaineita tai polymeerejä, mikäli halutaan parantaa päällysteen kestävyttä tai korostaa muita haluttuja ominaisuuksia.

Asfalttimassat voidaan jakaa eri asfalttityyppeihin. Asfalttityypin valinnassa määrävin tekijä maanteilla on yleensä kohteen keskimääräisen vuorokausiliikenne (KVL). Tämän lisäksi päällysteen vuosikustannukset ovat määrävissä asemassa valintaa tehtäessä. Muita valintaan vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa kiviaineksen saatavuus ja laatu, ajonopeus, melu sekä kohteen aiempi päällyste. (Tiehallinto 1997, s. 10) Suomessa valtateilla käytetyimmät tiepäällysteet ovat kivimastiksiasfaltti (SMA) ja asfalttibetoni (AB). Näiden lisäksi vähäliikenteisillä teillä käytetään pehmeää asfalttibetonia (PAB). Avointa asfalttia (AA) ja valuasfalttia (VA) ei yleensä Suomessa käytetä tiepäällysteinä. Edellä esitetyt asfalttityypit sekä niiden tyypilliset käyttökohteet on kuvattu alla.

Asfalttibetoni (AB)

Päällysteessä käytettävä kiviainesseos sisältää eri kiviainelajitteita sellaisessa suhteessa, että rakeisuuskäyrä on jatkuva. Päällysteessä käytetty sideaine on bitumia, jonka tunkeuma 25 °C lämpötilassa on alle 250 0,1 mm. Asfalttibetonissa käytettävä sideainepitoisuus vaihtelee tyypillisesti 4,8–6,6 % välillä asfalttilajista riippuen. Kuvassa 2.1 on esitetty Suomessa teillä yleisesti käytetyn asfalttityypin AB 16 rakeisuuskäyrän ohjealue ja ohjeseulojen läpäisyprosentit.



Kuva 2.1 Rakeisuuskäyrä AB 16 (PANK 2011, s. 52)

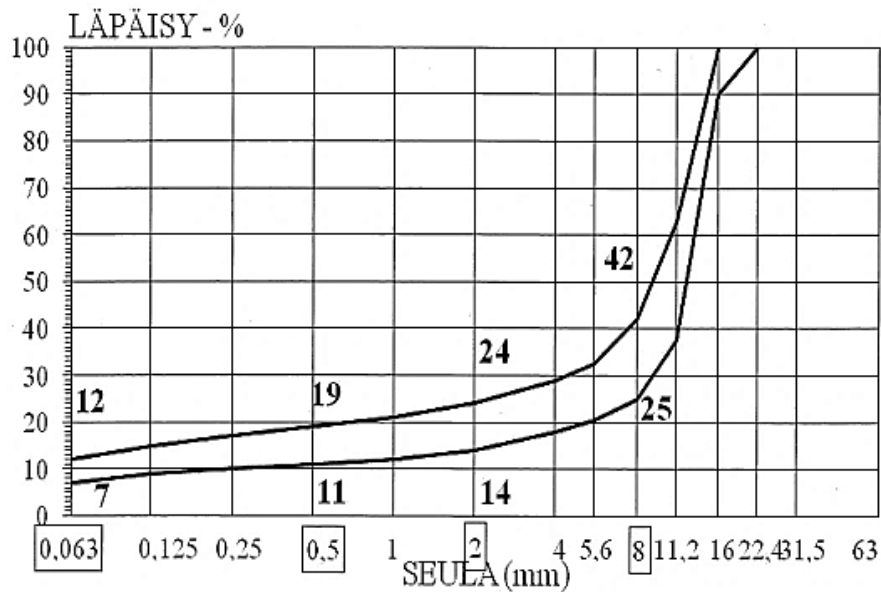
AB-päällystettä käytetään hyvin yleisesti tiekohteissa lukuun ottamatta kaikkein vilkasliikenteisimpiä teitä. AB 16 on Suomen teillä ja kaduilla hyvin tyypillinen asfalttityyppi. Kevyen liikenteen väylillä käytetään yleensä hienorakeisempaa asfalttibetonia AB 11.

Asfalttibetonia voidaan kulutuskerroksen lisäksi käyttää myös sidekerroksessa (ABS) sekä kantavassa kerroksessa tai sen sidotussa yläosassa (ABK) kohteissa, joissa liikennemäärä ja kuormitus ovat suuria. Sidekerroksen asfalttibetonia ABS käytetään tiekohteissa, joissa on paljon raskasta liikennettä (Belt, Lämsä et al, 2002, s. 13). Sidekerroksen asfalttibetonien kiviaineksen maksimirakekoko on tyypillisesti 16–22 mm. Sideaineena asfalttityypissä käytetään riittävän kovia bitumeja: 35/50–100/150 tai KB65 ja KB75, jotta rakenteesta saadaan riittävän jäykkä. (PANK 2011, s. 48)

Kantavan kerroksen asfalttibetonia ABK käytetään pääosin vilkasliikenteisillä teillä. Asfalttityypin kiviaineksen maksimirakekoko on tyypillisesti 22–31 mm. Rakenne suunnitellaan kohteesta riippuen joko jäykäksi, jolloin asfalttityypissä käytetään kovia bitumeja tai vaihtoehtoisesti enemmän vetoa kestäväksi, jolloin sideaineeksi valitaan pehmeä bitumi. Käytettyjä ABK:n sideaineita ovat tiebitumit 20/30–160/220 sekä kumibitumit KB65 ja KB75. (PANK 2011, s. 48)

Kivimastikiasfaltti (SMA)

Kivimastikiasfaltin (SMA) pääosana on karkea, lähes tasarakeinen kiviaines ja kiviaineksen tyhjätilan täyttää hienoaineksesta ja sideaineesta koostuva, stabiloitu mastiksi. Kuvassa 2.2 on esitetty SMA 16:n rakeisuuskäyrä. Asfalttityypin kiviaineksesta vähintään 85 % tulee olla kalliomurskettä. SMA:n sideaineeksi soveltuvat tiebitumit B35/50–B100/150 ja KB65 ja KB 75. (PANK 2011, s. 67) SMA -asfalttityypissä sideainepitoisuus vaihtelee 5,8–7,6 massa-% välillä asfalttityypistä riippuen.



Kuva 2.2 Kivimastikiasfaltin SMA 16 rakeisuuskäyrä (PANK 2011, s. 70)

Kivimastikiasfaltissa käytetään bitumia sitovana lisäaineena kuitua. Tyypillisin käytetty kuitu on selluloosakuitu. Se on pääosin selluloosasta koostuva tuote, jonka kuiduille on tyypillistä 0,1–2 mm pituus, nauhamainen rakenne ja suuri ominaispinta-ala. (PANK 2011, s. 37) Asfaltissa käytettävän kuidun tulee täyttää Asfalttinormeissa sille asetetut vaatimukset.

SMA-päällystettä käytetään vilkkaasti liikennöidyillä teillä. SMA 16–22 on ensi sijainen päällystetyyppi teillä, joiden KVL on > 5000.

Pehmeä asfalttibetoni (PAB)

Pehmeä asfalttibetoni PAB luokitellaan kahteen alatyyppeihin: PAB-B ja PAB-V päällysteessä käytettävän sideainelajin tai käyttökohteen mukaan. Kulutuskerroksen PAB-B -päällysteessä käytetään tiebitumeja 250/330, 330/430, 500/650 ja 650/900. PAB-V-päällysteissä käytetään viskositeettiä luokiteltuja bitumeja V1500 ja V3000. (PANK 2011, s. 62)

Pehmeän asfalttibetonin kiviaineksen rakeisuuskäyrä on normaalin asfalttibetonin tavoin jatkuva, mutta käytettävä sideaine on pehmeämpää eli sen tunkeuma-arvo on suurempi. PAB-B sideainepitoisuus vaihtelee asfalttilajin mukaan 3,9–4,6 massa-% ja PAB-V 16 3,2–3,7 massa-%.

PAB -päällysteissä voidaan käyttää tarvittaessa tartuketta parantamaan sideaineen ja kiviaineksen välistä tartuntaa. Käytettävän tartukkeen määrä valitaan ennakkokokeiden perusteella. (PANK 2011, s. 62)

PAB-B -päällyste on PAB-V -päällystettä jäykempi ja siksi sitä käytetään vähäliikenteisillä teillä, joilla kantavuus on parempi. PAB-B -päällystettä käytetään tiekohteissa, joissa KVL on 500–2500 sekä vanhan päällysteen kunnostuksessa. Vaatimuksena päällysteen käytölle on tien riittävä kantavuus. (Tiehallinto 1997, s. 28) Lisäksi PAB-B -päällyste soveltuu kevyen liikenteen väylille sekä levähdys- ja pysäköintialueille (PANK 2011, liite 2–3).

PAB-V -päällyste soveltuu kohteisiin, joissa KVL on 200–1500 sekä vanhan päällysteen kunnostukseen. Päällystettä voidaan käyttää myös vilkkaammin liikennöidyillä teillä, joissa tien kantavuus on heikko eikä kohteella ole mahdollista tehdä kantavuuden parantamistoimenpiteitä. Se sallii sideaineensa ansiosta PAB-B -päällystettä enemmän alustan muodonmuutoksia. (Tiehallinto 1997, s. 28)

Avoim asfaltti (AA)

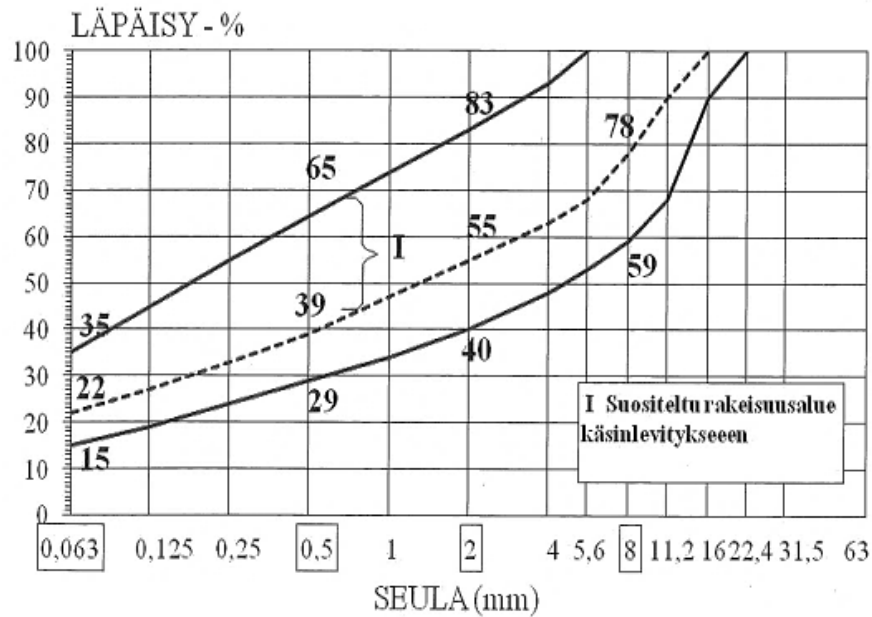
Avoimessa asfalttipäällysteessä olevat huokokset muodostavat yhdessä vettä läpäisevän rakenteen. Avoimen asfaltissa kiviaines sisältää hyvin vähän hienoainesta, mikä mahdollistaa tyhjätilan suuren määrän ja avoimen rakenteen.

Päällystetyypin etuja ovat alhainen melutaso (rengasmelu) sekä veden poistaminen päällysteen pinnalta. Päällystettä käytetään Suomessa yleensä vain kevyen liikenteen väylillä, pysäköintialueiden tai kenttien päällysteenä, koska se ei kestä hyvin nastarengaskulumista eikä talvikunnossapitoa. (Tiehallinto 1997, s. 11) Tämän lisäksi avointa asfalttia käytetään joidenkin pysäköintialueiden sekä kenttien päällysteenä erityistapauksissa (PANK 2011, liite 2).

Valuasfaltti (VA)

Valuasfaltti on kuumana valettava asfalttimassa, joka voidaan levittää levittimellä tai käsin ja jota ei tyypillisesti tiivistetä. Valuasfalttiin lisätään erikseen täytejauhetta, jonka tulee olla kalkkikivijauhetta.

Valuasfaltin sideaineena käytetään tyypillisesti tiebitumeja 35/50–70/100 sekä KB 85. Kumibitumia käytetään yleensä ajoradoilla sen deformaatio- ja pakkasenkestävyyden vuoksi. Päällysteen pinnan karkeuttamiseksi valuasfaltin päälle lisätään kuivattua tai bituminoitua esim. 11/16 mm kalliomurskettä 8–12 kg/m². Karkeutuksen kiviaineksen maksimiraekoko valitaan valuasfaltin maksimiraekoon ja päällysteen kerrospaksuuden perusteella. (PANK 2011, s. 72) Kuvassa 2.3 on esitetty valuasfaltin rakeisuuskäyrän ohjealue ja ohjeseulojen läpäisyprosentit.



Kuva 2.3 Valuufaltin rakeisuuskäyrä (PANK 2011, s. 72)

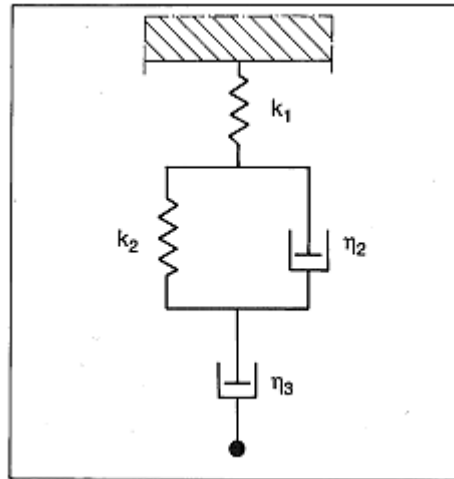
Kuvassa 2.3 ohjealue I edustaa käsin levitettävää valuufalttia. Valuufaltin yleisimpiä käyttökohteita ovat sillat, erilaiset eristerakenteet, pysäköintitasot sekä paikkaukset. (PANK 2011, liite 2) Massan suhteituksessa pyritäänkin siihen, että valmiissa päällysteessä sideaine täyttäisi kiviaineksen tyhjätilan kokonaan. Sideainepitoisuus on suurempi kuin muissa tavanomaisissa päällysteissä: 7,5–11,5 massa-%. (PANK 2011, s. 72)

2.2 Päällysteen mekaaniset ominaisuudet

2.2.1 Kuormituskestävyys

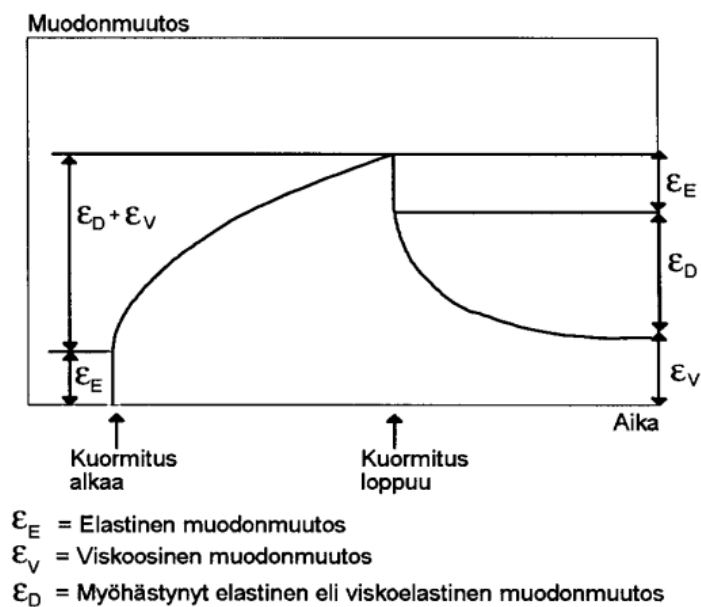
Bitumilla sidotut päällysteet koostuvat kiviaineksesta, bitumista ja tyhjätilasta. Päällysteen mekaaniset ominaisuudet sekä kuormituskäyttäytyminen määräytyvät näiden komponenttien keskinäisten suhteiden sekä kiviaineksen ja bitumin ominaisuuksien perusteella. Bitumin viskoelastiset ominaisuudet siirtyvät päällysteeseen sideaineen mukana, mikä aiheuttaa sen, että päällysteen kuormituskäyttäytyminen riippuu vallitsevasta lämpötilasta sekä kuormituksen kestosta. (Ehrola 1996, s. 244)

Bitumin kuormituskäyttäytymistä vakiokuormituksen alaisuudessa kuvaa periaatteellisesti Burgerin kehittämä mekaaninen malli, jossa on sarjaan kytketty jousi ja vaimennin sekä molemmat elementit rinnan kytkettyinä. Malli on esitetty kuvassa 2.4. Kuvassa esiintyvät k_1 ja k_2 ovat jousien jousivakioita ja η_2 ja η_3 vaimentimien nesteiden viskositeetit. Bitumin kuormituskäyttäytymiselle on kehitetty myös muita malleja, mutta niitä ei esitellä tässä työssä tarkemmin.



Kuva 2.4 Bitumin mekaanista käyttäytymistä kuvaava ns. Burgerin malli (Blomberg 1990, s. 63)

Vastaavasti kuvassa 2.5 on kuvattu bitumin muodonmuutoskäyttäytyminen vakiovoiman kuormitustilanteessa. Kuvassa esiintyvä parametri ϵ_E kuvaa elastista, ϵ_V viskoosista ja ϵ_D viivästynyttä elastista eli viskoelastista muodonmuutosta.



Kuva 2.5 Vakio kuormituksen aiheuttamat muodonmuutokset bitumissa (Ehrola 1996, s. 241)

Kun bitumia kuormitetaan vakiovoimalla (kuva 2.5), sideaineessa tapahtuu välitön elastinen muodonmuutos, jota kuvan 2.4 Burgerin mallissa edustaa yksittäinen jousi ja sen jäykkyydestä riippuva muodonmuutos. Tämän lisäksi bitumissa alkaa tapahtua jatkuvaa muodonmuutosta, josta osa on viskoelastista ja osa viskoosista muodonmuutosta. Viskoelastista muodonmuutosta mallissa kuvaa rinnan kytketyt jousi ja vaimennin, jossa jousen elastista muodonmuutosta hidastaa vaimennin. Vastaavasti viskoosista muodon-

muutosta kuvaa vaimennin. Muodonmuutosnopeus riippuu vaimentimen nesteen viskositeetista. (Blomberg 1990, s. 63)

Kun kuormitus poistetaan, mallissa jousen palautumisen edustama elastinen muodonmuutos tapahtuu heti. Tämän jälkeen tapahtuu viskoelastinen muodonmuutos, joka on ajasta riippuvainen. Viskoosisen muodonmuutoksen osuus jää pysyväksi muodonmuutokseksi. (Blomberg 1990, s. 63)

Bitumi käyttäytyy alhaisissa lämpötiloissa ja lyhyillä kuormitusajoilla elastisesti, joten tällöin sen käyttäytymisen kuvaamiseen voidaan soveltaa kimmomoduulia. Tällöin mallissa esiintyvät vaimentimien nesteiden viskositeetit kasvavat, mikä saa aikaan viskoosisen ja viskoelastisen muodonmuutoksen vähenemisen. Tarpeeksi alhaisessa lämpötilassa vaimentimet jäykistyvät ja bitumissa tapahtuu vain elastisia muodonmuutoksia. Vastaavasti lyhyillä kuormitusajoilla vaimentimet eivät ehdi reagoida kuormitukseen, jolloin tuloksena on bitumin elastinen muodonmuutuskäyttäytyminen. (Blomberg 1990, s. 63)

Vastaavasti korkeissa lämpötiloissa ja hyvin pitkillä kuormitusajoilla bitumi on viskoosinen neste. Korkeissa lämpötiloissa Burgerin mallissa esiintyvien vaimentimien nesteiden viskositeetit ovat alhaisia, minkä takia bitumissa syntyvät muodonmuutokset ovat pääosin pysyviä. Pitkät kuormitusajat aiheuttavat bitumiin yhtälailla viskoosisia muodonmuutoksia, kun vaimentimet ehtivät reagoimaan kuormitukseen ja niiden muodonmuutos on suuri. Bitumin tyyppillisissä käyttölämpötiloissa aine käyttäytyy viskoelastisesti. Bitumissa tapahtuva kokonaismuodonmuutos on eri osien muodonmuutosten summa (kaava 1). (Blomberg 1990, s. 63–64)

$$\varepsilon = \varepsilon_E + \varepsilon_V + \varepsilon_D \quad (1)$$

jossa ε on kokonaismuodonmuutos

ε_E on elastinen muodonmuutos

ε_V on viskoosinen muodonmuutos

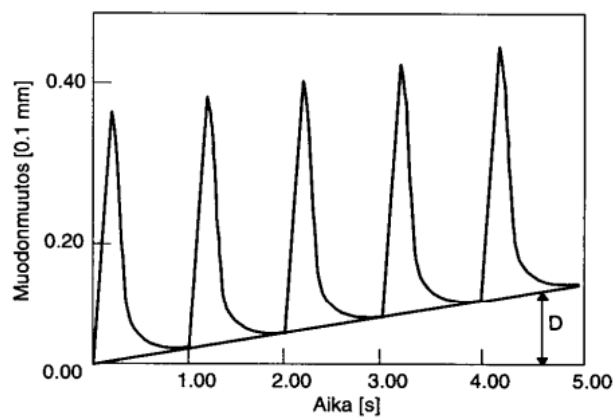
ε_D on viivästynyt elastinen muodonmuutos

Edellä esitetyn kaavan muodonmuutoksien osuudet riippuvat bitumin jäykkyyshmoduulista. Bitumilla sidotun tierakennekerroksen toiminnan kannalta olennaiset mekaaniset ominaisuudet ovat jäykkyys, väsymiskestävyys ja deformaatiokestävyys. (Ehrola 1996, s. 244)

Jäykkyys

Bitumilla sidotun rakenteen jäykkyysmoduuli määritetään sitomattomien rakenteiden tapaan jäykkyysmoduulin perusteella, joka tarkoittaa rakenteessa toistuvien kuormitusten jälkeen stabiloitunutta palautuvaa muodonmuutosta.

Bitumin viskoelastisesta luonteesta johtuen bitumipäällysteeseen syntyy toistuvan kuormituksen alaisena tietty pysyvä muodonmuutos jokaisen kuormituksen jälkeen riippumatta kuormituskertojen lukumäärästä. Sidotussa rakenteessa tapahtuvat palautuva ja pysyvä muodonmuutos vakioituvat muutaman kuormituskerran jälkeen. Kuvassa 2.6 on esitetty bitumilla sidotussa päällysteessä syntyvät pysyvät muodonmuutokset toistuvan kuormituksen alaisena. Kuvan tapauksessa käytetty kuorman suuruus oli 1000 N ja kuormitus tehtiin 10 °C lämpötilassa. Kuormitusaika oli 0,2 s ja kuormitusten välinen lepoaika 0,8 s. (Ehrola 1996, s. 244–245)



Kuva 2.6 Toistuvan kuormituksen aiheuttavat muodonmuutokset bitumilla sidotussa rakenteessa. (Ehrola 1996, s. 245)

Bitumipäällysteessä syntyviin muodonmuutoksiin vaikuttaa keskeisesti kuormitusaika sekä kuormituksen aikana vallinnut lämpötila. Mikäli kuormitusten väli on tarpeeksi pitkä, rakenteen viskoelastiset eli viivästyneet kimmoiset muodonmuutokset ehtivät palautua kokonaan ja rakenteeseen jää pysyväksi muodonmuutokseksi vain palautumaton viskoosinen muodonmuutos. Liikennekuormitus kohtuullisissa lämpötiloissa vastaa tällaista kuormitustilannetta ja siitä aiheutuva pysyvän muodonmuutoksen osuus on käytännössä pieni. (Ehrola 1996, s. 244–245)

Kuten edellä kuvattiin, palautuvassa muodonmuutoksessa on mukana sekä kimmainen että viivästynyt kimmainen muodonmuutos joko kokonaan tai osittain. Jäykkyysmoduuli voidaan määrittää joko kokonaisjäännösmoduulina tai hetkellisenä jäännösmoduulina. Kokonaisjäännösmoduuli määritetään käyttäen koko palautuvaa muodonmuutosta (ϵ_T) ja hetkellinen jäännösmoduuli (ϵ_I) välittömästi kuormituksen poistamisen jälkeen tapahtuvan palautuvan muodonmuutoksen avulla. (Ehrola 1996, s. 245)

Kokonaisjäännösmoduuli kuvaa bitumilla sidotun rakenteen kimmoista ja viskoelastista käyttäytymistä ja on suuruudeltaan hetkellistä moduulia pienempi. Vastaavasti hetkellinen jäännösmoduuli ilmentää materiaalin kimmoista käyttäytymistä. Hetkellistä jäännösmoduulia voidaan käyttää liikennekuormituksen synnyttämien jännitysten ja muodonmuutosten kuvaamiseen. (Ehrola 1996, s. 245)

Bitumilla sidotun rakenteen jäykkyys muodostuu käytännössä kivirakeiden välisestä kitkasta ja mastiksin leikkauslujuudesta. Leikkauslujuus riippuu suuresti bitumin viskoelastisista ominaisuuksista ja ulkoisista tekijöistä: lämpötilasta ja kuormitusajasta. Sideaineen ja kiviaineksen laatu ja asfalttimassan koostumus määräävät mastiksin leikkauslujuuden sekä kivirakeiden välisen kitkan. Bitumilla sidotun rakenteen jäykkyys (S_m) voidaankin kuvata kaavan 2 mukaisella funktiolla, jossa kuormitusaika (t), kuormituksen aikana vallitseva lämpötila (T) sekä massan komponentit ja koostumus (MD) esiintyvät muuttujina. (Ehrola 1996, s. 250–251)

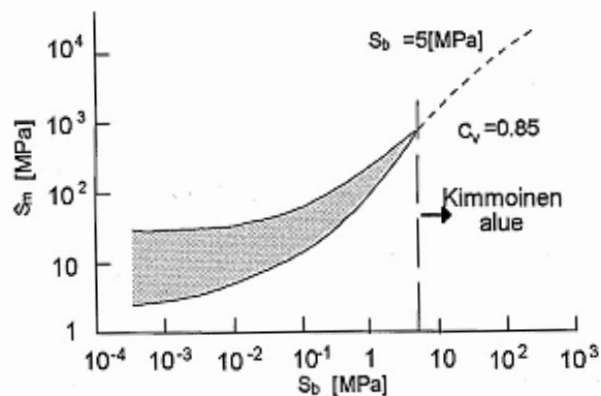
$$S_m = f(t, T, MD) \quad (2)$$

Kaavassa 2 esiintyvät kuormitusaika- (t) ja lämpötilariippuvuus (T) voidaan korvata bitumin jäykkyydellä S_b , koska nämä tulevat sideaineen vaikutuksesta. Tällöin kaava saa muodon (kaava 2)

$$S_m = f(S_b, MD_{s,k}) \quad (3)$$

Kaavassa 3 esiintyvä $MD_{s,k}$ kuvaa tällöin päällysteen koostumusta eli rakenteen komponenttien tilavuussuhteita sekä kiviaineksen ominaisuuksia.

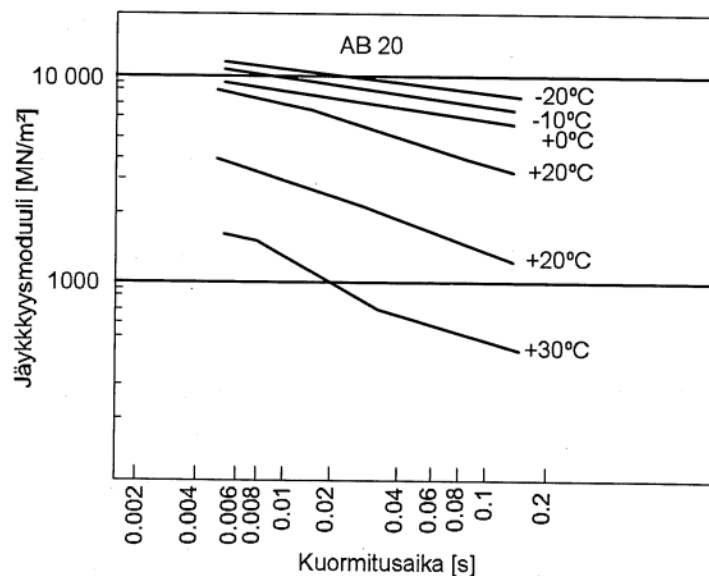
Bitumilla sidottu rakenne käyttäytyy jokseenkin kimmoisesti suurilla jäykkyyksillä. Päällysteen jäykkyyttä selittävät tällöin hyvin bitumin jäykkyys sekä rakenteen tilavuussuhteet. Päällysteen jäykkyyshäviön riippuvuus sideaineen jäykkyydestä ja päällysteen koostumuksesta on kuvattu kuvassa 2.7.



Kuva 2.7 Bitumilla sidotun rakenteen jäykkyyshäviön S_m riippuvuus sideaineen jäykkyydestä S_b ja rakenteen koostumuksesta (Ehrola 1996 s. 252)

Bitumin viskoelastiset ominaisuudet asettavat päällysteen kimmoiselle käyttäytymiselle raja-arvon 5 MPa, joka vastaa normaalien tiebitumien jäykkyyksiä liikenteen kuormitusnopeuksilla kesälämpötiloissa (25–40 °C). Tätä alhaisemmilla sideaineen jäykkyyksillä bitumin viskoosiset ominaisuudet voimistuvat sekä päällysteen ja massan koostumuksen välinen yhteys monimutkaistuu. Tällöin päällysteen jäykkyyttä ei voida enää kuvata pelkästään edellä esitettyjen tekijöiden avulla, vaan niiden lisäksi tarvitaan tietoa myös muun muassa kiviainestyyppistä, kiviaineksen rakeisuudesta, kivirakeiden muodosta ja pintarakenteesta. (Ehrola 1996, s. 251) Tällöin päällysteen jäykkyys määritetään mittauksiin perustuvilla tutkimuksilla ja laskentamallilla. (Ehrola 1996, s. 253)

Kuormitusaika ja kuormituksen aikana vallinnut lämpötila vaikuttavat bitumilla sidottujen päällysteiden jäykkyyssmoduuliin sideaineen kautta. Näiden ulkoisten tekijöiden vaikutus päällysteen jäykkyyteen tulee vaimentuneena bitumin edustaessa vain osaa päällysteen koostumuksesta. Kuvassa 2.8 on esimerkin omaisesti kuvattu kuormitusajan ja lämpötilan muutoksen vaikutus B100/150 bitumilla sidotun asfalttibetonin AB 20 jäykkyyssmoduuliin. (Ehrola 1996, s. 254)

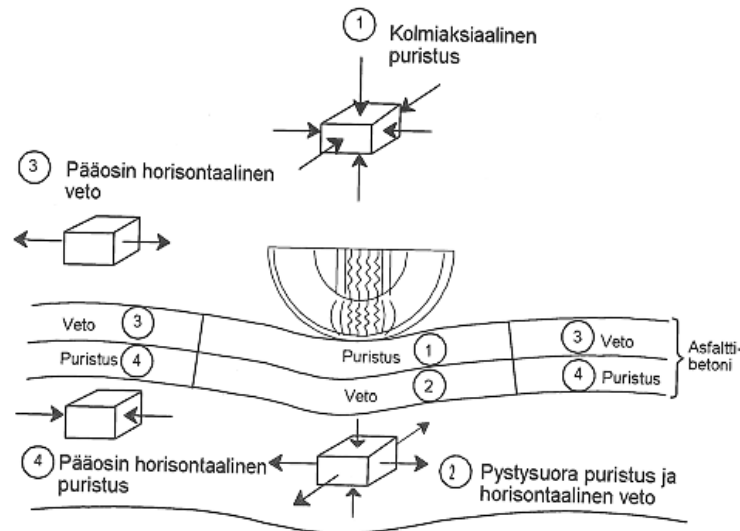


Kuva 2.8 B100/150 bitumilla sidotun AB 20 jäykkyyssmoduulin riippuvuus kuormitusajasta ja lämpötilasta (Ehrola 1996, s. 254)

Kuten kuvasta 2.8 nähdään, kuormituksen aikana vallitsevan lämpötilan vaikutus on kuormitusaikaa suurempi. Tämän lisäksi kuvasta on havaittavissa se, että kuormitusajan vaikutus on vähäisempi alhaisissa lämpötiloissa, joissa päällyste käyttäytyy kimmoisesti. Korkeammissa lämpötiloissa bitumin viskoosiset ominaisuudet muuttuvat vallitseviksi ja myös kuormitusajan muutoksen vaikutus on suurempi.

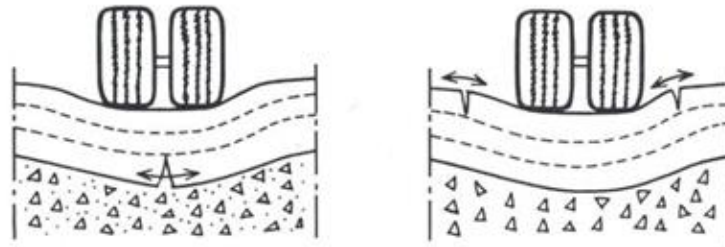
Väsymiskestävyys

Päällysteeseen kohdistuva pyöräkuorma aiheuttaa päällysteeseen pystysuuntaisen kuormituksen sekä päällysteen alapintaan rakenteen taipumisesta aiheutuvan vetojännityksen. Liikennekuormituksen päällysteeseen aiheuttamat rasitukset on kuvattu kuvassa 2.9.



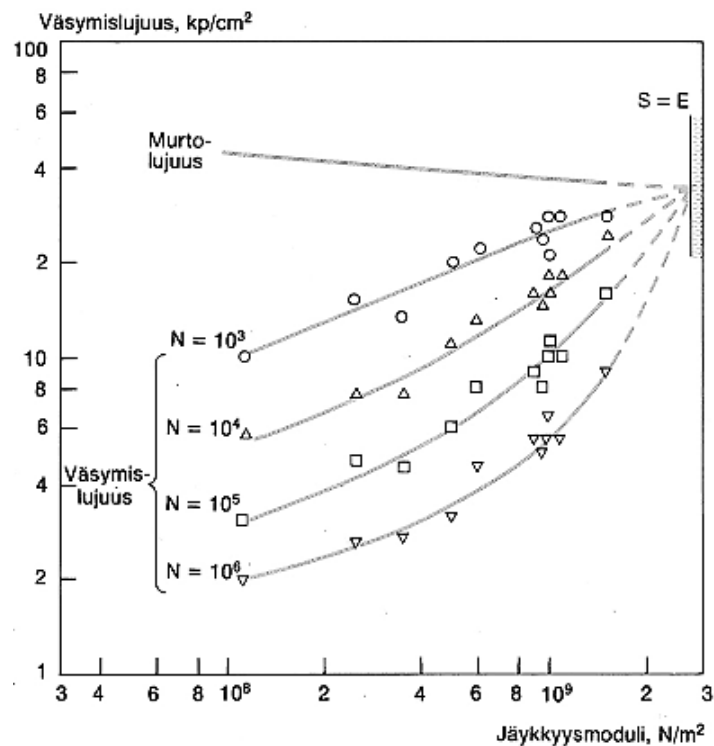
Kuva 2.9 Liikennekuormituksen aiheuttamat rasitukset päällysteessä (Ehrola 1996 s. 40)

Väsymishalkeamalla on kaksi syntymekanismia, joista toisessa halkeama syntyy ajouran pohjalle ja toisessa uran reunoille. Syntymekanismien pääperiaatteet on kuvattu kuvassa 2.10. Kuormituksen aiheuttaman vetojännityksen kasvaessa päällysteen ominaisuuksiin nähden suureksi, sidotun kerroksen väsymishalkeamariski kasvaa (Ehrola 1996, s. 135). Raskaan ajoneuvon aiheuttama pyöräkuorma on mitoittava kuorma, koska se aiheuttaa päällysteeseen suurimmat rasitukset. Päällyste kestää tietyn määrän raskaan ajoneuvon pyöräkuorman aiheuttamia sidotun rakenteen alapintaan syntyviä vetomuodonmuutoksia. Kun tämä määrä ylittyy, päällysteen alapintaan alkaa syntyä hiushalkeilua, joka alkaa kuormitusmäärän kasvaessa laajeta ja kehittyä edelleen hiushalkeamaverkoksi. Tämä saa aikaan päällysteen jäykkyyden alenemisen, joka puolestaan aiheuttaa sen, että pyöräkuorman synnyttämät muodonmuutokset kasvavat. Kun vaurioituminen etenee, päällysteen hiushalkeamaverkot laajenevat edelleen ja halkeamat yhtyvät makrohalkeamiksi. Halkeilu etenee rakenteessa kohti rakenteen yläpintaa ja lopulta väsymishalkeilu synnyttää rakenteeseen todellisia vaurioita. Halkeillut sidottu rakenne ei toimi enää yhtenäisenä laattana, jolloin se ei vastusta taivutusta enää samalla tavalla kuin alkuperäinen rakenne. Näin ollen päällysteen alapinnan vetomuodonmuutokset pienevät ja vakioituvat uudelle alkuperäistä muodonmuutostasoa alemmalle tasolle. Tätä vaurioitumisprosessia kutsutaan sidotun rakenteen väsymiseksi. (Ehrola 1996, s. 255)



Kuva 2.10 Päällysteeseen ajouran kohdalle tai reunoille syntyvän väsymishalkeaman syntymekanismi (Kolisoja 2013)

Bitumilla sidotun rakenteen väsymisen taustalla on bitumin viskoelastisuus. (Ehrola 1996, s. 256) Bitumi väsy viskoelastisten ominaisuuksien takia toistuvissa kuormituksissa. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että bitumin murtolujuus ja murtovenymä pienenevät, kun kuormituskerrat lisääntyvät. (Blomberg 1990, s. 70) Murtolujuuden pienemisellä on yhteys bitumin jäykkyyteen. Väsymislujuuden pieneminen on sitä vähäisempää, mitä lähempänä jäykkyys on bitumin kimmoista jäykkyyttä. Toisaalta väsymislujuuden ja alkuperäisen murtolujuuden välinen ero on sitä suurempi, mitä pienempi bitumin jäykkyys on. Kuvassa 2.11 on kuvattu bitumin väsymislujuuden, kuormituskertamäärän ja jäykkyyden välinen yhteys.



Kuva 2.11 Bitumin väsymislujuuden, kuormituskertamäärän ja jäykkyyden välinen yhteys. (Blomberg 1990, s. 70)

Bitumin viskoelastisten ominaisuuksien vuoksi myös kuormituksen kestolla sekä kuormituspulssien välisellä ajalla on suuri vaikutus bitumilla sidottujen rakenteiden väsymiskestävyyteen. Mikäli kuormitusaika on lyhyt, bitumilla sidotun materiaalin jäykkyys on suuri ja kuormituksen synnyttämät muodonmuutokset ja jännitykset ovat pieniä. Näin ollen päällyste väsy hitaasti. Mikäli kuormitusten välinen lepoaika on pitkä, kimmoisen muodonmuutoksen lisäksi myös viskoelastisen eli viivästynyt kimmainen muodonmuutos ehtii palautua ennen seuraavaa kuormitusta ja päällysteessä syntyvien muodonmuutosten kasvu on hitaampaa.

Bitumilla sidottujen päällysteiden väsymisominaisuuksiin vaikuttavat monet massatekijät. Näitä tekijöitä ovat sideaineen kovuus, sideainepitoisuus, kiviaineksen rakeisuuskäyrä, murskatun kiviaineksen osuus sekä tyhjätila. Nämä massatekijät vaikuttavat päällysteen jäykkyyteen ja sitä kautta myös päällysteen väsymisominaisuuksiin. Taulukkoon 2.1 on kerätty massatekijät sekä niiden muutoksen vaikutus päällysteen väsymiskestävyyteen. (Ehrola 1996, s. 266)

Taulukko 2.1 Bitumilla sidotun rakenteen väsymiskestävyyteen vaikuttavia massatekijöitä. (Ehrola 1996, s. 266)

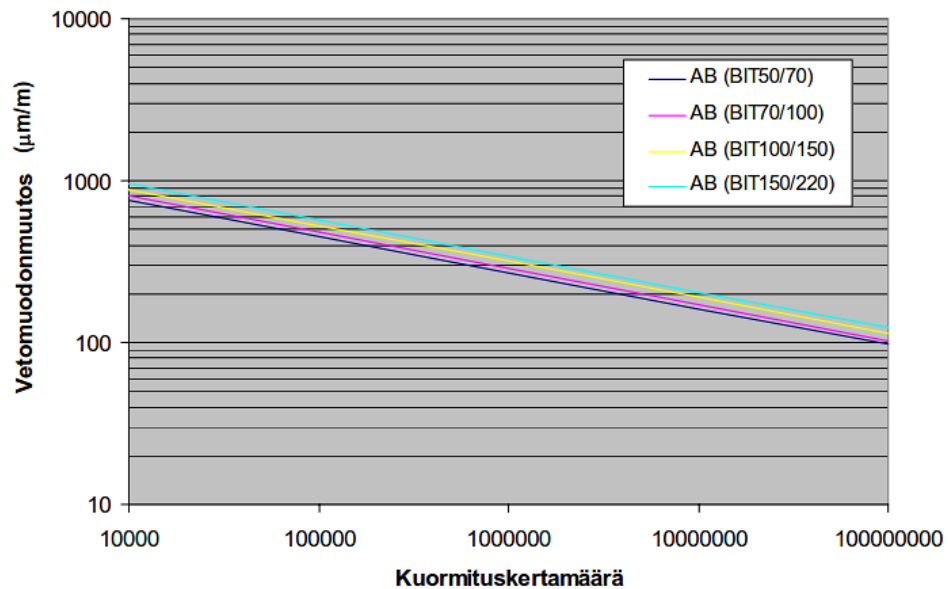
Tekijä	Muutos	Tekijän muuttamisen vaikutus		
		Asfaltin jäykkyyteen	Kestoikään vakiovoimalla	Kestoikään vakiomuodonmuutoksella
Sideaineen kovuus	Kasvu	Lisäävä	Lisäävä	Laskeva
Sideainepitoisuus	Kasvu	Lisäävä ¹	Lisäävä	Lisäävä
Rakeisuuskäyrä	Avoimesta tiiviimpään	Lisäävä	Lisäävä	Laskeva
Kiviainestyyppi	Murskatun materiaalin osuuden kasvu	Lisäävä	Lisäävä	Laskeva
Tyhjätila	Lasku	Lisäävä	Lisäävä	Lisäävä
Lämpötila	Lasku	Lisäävä	Lisäävä	Laskeva

¹ Saavuttaa optimin tasolla, joka on stabiilisuusvaatimusten yläpuolella.

Kun tekijät muuttuvat kuten taulukossa, päällysteen jäykkyys kasvaa. Sideainepitoisuuden kasvu on pieni poikkeus muihin tekijöihin verrattuna. Sideainepitoisuuden kasvattaminen parantaa päällysteen väsymiskestävyyttä vain tiettyyn optimipitoisuuteen asti, minkä jälkeen sideainepitoisuuden kasvattaminen huonontaa päällysteen väsymiskestävyyttä. Massatekijöiden lisäksi bitumipäällysteen väsymiskestävyyteen vaikuttaa vallitseva lämpötila. Lämpötilan vaikutus väsymiskestävyyteen on analoginen jäykkyyden kanssa, joka on esitetty edellisessä osiossa. (Ehrola 1996, s. 266)

Päällysteen väsymisominaisuuksista voidaan mallintaa väsymissuorilla, jotka ilmaisevat, kuinka monta toistuvaa kuormitusta päällyste kestää eri muodonmuutostasoilla ennen kuin siihen alkaa kehittyä väsymisvaurioita. Käytännössä väsymissuora simuloi liikennekuormituksen aiheuttaman päällysteen alapinnan vetojännityksen ja päällysteen

väsymiskestävyyden välisen yhteyden. (Ehrola 1996, s. 286) Kuvassa 2.12 on esitetty erilaisten bitumilla sidottujen päällysteiden väsymissuorat suomalaisten tierakenteiden suunnitteluohjeiden mukaisesti. Kuvassa esiintyvien väsymissuorien yhtälöt löytyvät Tiehallinnon julkaisusta Tietoa tiensuunnitteluun nro 71 D (2005, s.7).

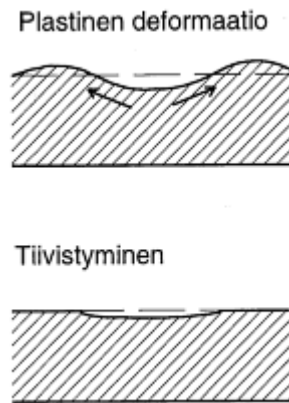


Kuva 2.12 Asfalttipäällysteiden väsymissuorat (Pauli Kolisoja 2013)

Kuvasta 2.12 havaitaan, että mitä suurempi kuormitus päällysteeseen kohdistuu, sitä pienempi toistomäärä aiheuttaa rakenteen vaurioitumisen. Kuvasta nähdään myös, että mitä kovempi päällysteen sideaine on, sitä enemmän päällyste kestää tietyllä muodonmuutostasolla tapahtuvia kuormitustoistoja ennen kuin se vaurioituu.

Deformaatiokestävyys

Asfalttipäällysteen deformoitumisella tarkoitetaan päällysteessä tapahtuvasta plastisesta muodonmuutoksesta ja tiivistymisestä syntyviä pysyviä muodonmuutoksia. Deformaatiokestävyys kuvaa päällysteen kykyä vastustaa siinä tapahtuvia pysyviä muodonmuutoksia. Muodonmuutokset aiheutuvat liikennekuormituksen aiheuttamista ulkoisista voimista, jotka kohdistuvat pääosin ajoneuvojen ajolinjojen kohdalle aiheuttaen tien pinnalle urautumista. Kuvassa 2.13 on kuvattu asfalttipäällysteessä tapahtuvat deformoitumisurautumisen muodot. Päällysteen plastinen deformaatio on kuitenkin vain yksi urautumisen osatekijä, sillä urautumista aiheuttavat myös mm. nastarenkaiden kulutus sekä sitomattomissa ja alusrakenteessa tapahtuvat plastiset muodonmuutokset. (Ehrola 1996, s. 270)



Kuva 2.13 Deformoitumisurautumisen muodot (Ehrola s. 270)

Bitumilla sidottujen päällysteiden plastiset muodonmuutokset aiheutuvat päällysteen liian alhaisesta leikkauslujuudesta. Kun pyöräkuorman aiheuttama leikkausvoima ylittää päällysteen leikkauslujuuden, alkaa päällystemassaa siirtyä ajourien sivuille kuvan 2.13 ylempään kuvan mukaisesti. Päällysteen tiivistymisurautuminen johtuu pääosin raskaan liikenteen aiheuttamasta kuormituksesta, joka aiheuttaa päällysteessä jälkitiivistymistä. Tiivistysurautuminen voidaan jakaa ns. alku- ja jälkiurautumiseen. Alku-urautumisella tarkoitetaan päällystysvuonna uuteen päällysteeseen syntynyttä urautumista ja jälkiurautumisella tämän jälkeen tapahtunutta tiivistymistä. (Ehrola 1996, s. 271)

Asfalttipäällysteiden deformatumisen pääaiheuttaja on päällysteen viskoelastisuus, jonka takia osa kuormituksen aiheuttavista muodonmuutoksista jää pysyviksi. Päällysteen viskoelastisuutta kuvaava Burgerin malli sekä lämpötilan ja kuormitusolosuhteiden vaikutus päällysteen kuormituskäyttäytymiseen on esitelty tämän luvun alussa. Päällysteen deformatumiseen vaikuttavat päällystemassan ominaisuudet sekä ulkoiset kuormitus- ja olosuhdetekijät. (Ehrola 1996, s. 271)

Bitumilla sidottujen päällysteiden vastustuskyky leikkausvoimia ja pysyviä muodonmuutoksia vastaan määräytyvät asfalttimassan sisäisen koheesion ja kitkan perusteella. Asfalttimassan koheesio muodostuu mastiksissa, joka riippuu hienon < 2 mm kiviaineksen laadusta ja määrästä suhteessa bitumiin sekä bitumin määrästä ja laadusta. Vastaa- vasti asfalttimassan sisäinen kitka muodostuu karkeiden kivirakeiden välisistä kontakteista sekä mastiksissa olevassa hienoaineksessa syntyvästä kitkasta. Bitumin määrällä on suuri vaikutus asfalttimassassa syntyvään sisäiseen kitkaan, koska kitkan muodostuminen edellyttää, että kivirakeet ovat yhteydessä toisiinsa. Näin ollen kiviaineksen tyhjätilan täyttöaste tulee olla riittävän alhainen ja päällysteen tyhjätilan vastaavasti tarpeeksi suuri kivirakeiden kontaktien varmistamiseksi. (Ehrola 1996, s. 272–274)

Ehrolan (1996, s. 273) mukaan päällysteen deformatumisen vastustuskykyyn voidaan vaikuttaa asfalttimassan suhteituksella, materiaalivalinnalla sekä päällysteen huolellisella valmistamisella (tiivistämisellä). Materiaaleista sideaineella, kiviaineksella ja lisäaineilla on tässä suuri merkitys. Päällysteen deformaatiokestävyyden optimoimiseksi si-

deaineen lämpötilaherkkyuden tulisi olla mahdollisimman alhainen ja jäykkyyden suuri. Alhainen lämpötilaherkkyys merkitsee sitä, että sideaineen viskositeetti ei ole niin herkkä lämpötilan muutoksille, jolloin sideaine säilyttää melko hyvin jäykkyytensä korkeisakin lämpötiloissa. Vastaavasti bitumin jäykkyyttä kuvaa pehmenemispiste, joka ilmaisee lämpötilan, jossa bitumi muuttuu juoksevaksi. Käytännössä sideaineen pehmenemislämpötilan tulisi olla suurempi kuin päällysteen suurin käyttölämpötila. Lisäksi oikeanlaisella kiviaineksella voidaan parantaa päällysteen deformatumisen vastustuskykyä. Kiviaineksen jatkuva rakeisuuskäyrä, pieni tyhjätila ja karkeiden kivirakeiden suuri määrä sekä kivien murskepinnat parantavat kivirakeiden välisiä kontakteja ja lisäävät rakeiden välistä kitkaa. Erilaisilla lisäaineilla, kuten polymeereillä ja luonnonbitumilla, voidaan lisätä bitumin kovuutta ja nostaa pehmenemislämpötilaa, jolloin sideaineesta ja asfalttimassasta saadaan jäykempää.

Ulkoisista tekijöistä asfalttipäällysteen deformatumiseen vaikuttavat ensisijaisesti liikenteen määrä ja kuormituksen suuruus. Päällysteen viskoelastisten ominaisuuksien takia päällysteen deformatuminen riippuu erityisesti liikennekuormitusten frekvenssistä ja kuormitusajasta, joka riippuu liikenteen nopeudesta. Olosuhdetekijöistä erilaiset säätekijät mukaan lukien lämpötila, sateisuus ja tuuli, vaikuttavat olennaisesti päällysteessä syntyviin muodonmuutoksiin. Muita päällysteen deformatumiseen vaikuttavia ulkoisia tekijöitä ovat muun muassa liikenteen jakautuminen poikkileikkauksessa, liikennekuormituksen suuruus sekä tangentialiset voimat, jotka aiheutuvat liikenteen kiihdytyksestä ja jarrutuksesta. (Ehrola 1996, s. 271–272) Päällysteeseen syntyy alku-uraa tyypillisesti enemmän silloin, kun liikenne päästetään uudelle päällysteelle liian aikaisin päällystystyön jälkeen.

2.2.2 Kulutuskestävyys

Asfalttipäällysteen kulumisella tarkoitetaan prosessia, jossa päällysteen pinnalta irtoaa ainesta. Vastaavasti päällysteen deformatumisessa päällysteen ainesmäärä pysyy samana, mutta päällysteeseen syntyy muodonmuutoksia. (Lehtipuu 1983, s. 233)

Pohjoisella pallonpuoliskolla päällysteitä kuluttavat eniten nastarenkaat (PANK ry 1993, s. 1). Nastarenkaiden aiheuttama päällysteen kuluminen onkin yksi niiden käytön suurimmista haitoista. Nastarenkaat aiheuttavat päällysteeseen rasiuksia, jotka kuluttavat päällysteen pintaa vähitellen. Nastan pystysuora isku rikkoo yksittäisiä kivirakeita sekä irrottaa mastiksia. Nastan vino tai vaakasuora raapaisu irrottaa päällysteen pinnasta rikkoontuneen tai muuten sopivan kokoisien kiviainepartikkelin. Mikäli mastiksi ja kiviaines ovat pehmeitä, nastan raapaisu kuluttaa myös niitä. (Lehtipuu 1983, s. 236–237)

Asfalttipäällysteen kulumiseen vaikuttavat monet massatekijät: päällystelaji, kiviaineksen ja sideaineen laji ja laatu sekä asfalttimassan koostumus. Näiden lisäksi päällysteen tiiveys vaikuttaa olennaisesti sen kulumiseen. (Lehtipuu 1983, s. 238)

Päällysteen kulumisen kannalta ratkaisevin komponentti on kivi (PANK ry 1993, s. 1). Kiviaineksen lujuus ja nastarengaskulutuskestävyys vaikuttavat olennaisesti päällysteen kulumiseen. Mitä suurempi KVL ja raskaiden ajoneuvojen määrä tiellä on, sitä parempi lujuus ja nastarengaskulutuskestävyys kiviainekselta vaaditaan. Tämän lisäksi myös päällystelaji ja massan suhteitus vaikuttavat päällysteen kulumiseen.

Vilkaasti liikennöidyillä teillä nastarenkaiden aiheuttama päällysteen kuluminen on suuri ongelma. Vastaavasti vähäliikenteisillä teillä, joiden KVL on 1500–2000 ajoneuvoa/vrk luokkaa, päällyste kuluu niin hitaasti, ettei kuluminen aiheuta suuria korjaustarpeita tai uudelleen päällystämistä ennen kuin muut vauriot edellyttävät niitä.

Asfalttipäällysteen kulumiseen vaikuttavat myös monet muut tekijät, kuten ajoneuvojen ajonopeus, hiekoitus ja suolaus. Näitä kulumismekanismeja ei kuitenkaan käsitellä tässä tutkimuksessa tarkemmin.

2.2.3 Pakkaskestävyys

Lämpötilan vaihtelut saavat asfalttipäällysteessä aikaan kutistumislaajentumiskäyttäytymisen. Sulassa tilassa bitumilla sidotut päällysteet ovat yleensä riittävän joustavia kestämään lämpötilavaihteluista aiheutuvia termisiä kuormituksia (Ehrola 1996, s. 137). Lämpötilan laskiessa talvella tarpeeksi alas, asfalttipäällysteen jäykkyys kasvaa niin suureksi, ettei se kestä päällysteen pintaan termisten kuormitusten takia syntyviä vetojännityksiä. Tämä aiheuttaa päällysteeseen pakkashalkeaman eli pakkaskatkon. Termiset vetojännitykset aiheutuvat siitä, että yhtenäinen päällystelaatta pyrkii kutistumaan lämpötilan laskiessa, mutta päällysteen ja alustan välinen tartunta estävät kutistumisen. Tämän lisäksi jännitysten muodostumiseen vaikuttaa jännitysten purkautuminen eli relaksoituminen, jonka aiheuttaa päällysteen viskoelastisuus. Halkeamat syntyvät päällysteen pintaan, jossa lämpötilan muutoksen aiheuttamat kutistumisjännitykset ovat suurimmillaan. Lämpötilan laskiessa halkeamat etenevät ja jännitysten kasvaessa tarpeeksi päällyste halkeaa, minkä jälkeen halkeaminen etenee päällysteen alapuolella oleviin rakennekerroksiin. Käytännössä pakkashalkeamat syntyvät yleensä pituussuunnassa säännöllisin välein. (Belt, Lämsä et al, 2002, s. 56–57)

Bitumilla sidotun päällysteen pakkasenkestävyyden kannalta merkittävin tekijä on päällysteen sideaine ja sen ominaisuudet. Tärkeimmät sideaineen ominaisuudet ovat kovuus ja lämpötilaherkkyys, koska päällysteen jäykkyys määrätty erityisesti sideaineen ominaisuuksien mukaan. Mitä kovempi sideaine on, sitä jäykempi päällyste on ja sitä herkempi se on pakkashalkeilulle. Myös sideaineen ikääntyminen altistaa päällysteen pakkashalkeilulle, koska sideaine kovenee vanhenemisen myötä ja näin ollen myös päällysteestä tulee jäykempi. (Belt, Lämsä et al, 2002, s. 57) Bitumin kylmäominaisuudet vaikuttavat olennaisesti päällysteen halkeamaherkkyteen. Mitä alhaisempi sideaineen murtumispiste on, sitä paremmin päällyste kestää alhaisesta lämpötilasta aiheutuvia vetojännityksiä. Bitumin murtumispiste on se lämpötila, jossa sideaine ei enää pysty ve-

nymään, vaan katkeaa. (Blomberg 1990, s. 91) Sideaineen kylmäkestävyyttä voidaan parantaa myös erilaisten lisäaineiden, kuten polymeerien, avulla.

3. LISÄAINEIDEN VAIKUTUS ASFALTTIMASSAN OMINAISUUKSIIN

3.1 Polymeerimodifioitu bitumi

Polymeerimodifioitu bitumi on bitumia, johon on lisätty jotakin polymeeriä sideaineen ominaisuuksien parantamiseksi. Polymeerin lisäyksellä pyritään parantamaan joitakin seuraavista bitumin ominaisuuksista:

- lujuus
- venymä
- joustavuus ja palautuma
- kylmäominaisuudet
- korkeiden lämpötilojen ominaisuudet
- väsymiskestävyys
- tarttuvuus
- vanheneminen

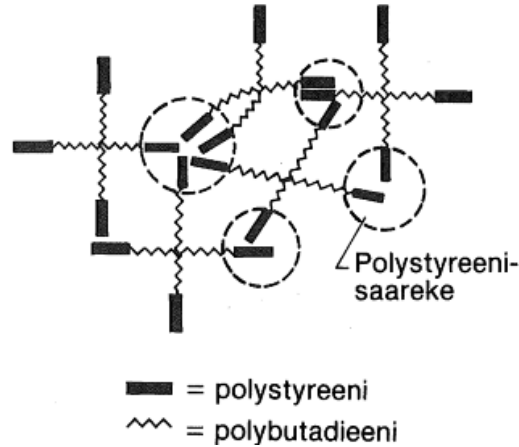
Yleensä polymeerilisäys parantaa edellä mainituista ominaisuuksista useampaa ja modifioidun bitumia voidaan käyttää sellaisissa kohteissa, joissa tavallista bitumia ei kannata käyttää, kuten erilaisissa ympäristörakenteissa sekä siltaeristeissä (Forstén 2016). Polymeerilisäyksen yleisenä tavoitteena voidaan pitää bitumin käyttöiän pidentämistä.

Polymeerin valinta sekä määrä ratkaisevat modifioidun sideaineen ominaisuudet. Polymeerilisäyksellä saavutettavat edut riippuvat polymeerin tyypistä, molekyyliainesta ja -rakenteesta sekä siitä, miten polymeeri liukenee käytettyyn bitumiin. Yleensä polymeerin lisäys nostaa sideaineen viskositeettia ja pehmenemispistettä. Sideaineiden muiden ominaisuuksien muutossuuntaa ei voida antaa oletusarvoista muutossuuntaa.

Käyttökohteista ja halutuista ominaisuuksista riippuen polymeerien käyttömäärät vaihtelevat tyypillisesti muutamasta prosentista pariinkymmeneen prosenttiin. (Blomberg 1990, s. 136–137)

Suomessa yleisimmin käytetty polymeeri on styreenibutadieeniblokkikopolymeeri (SBS-kumi) (PANK ry 2011, s. 30). Suomessa polymeerimodifioidusta bitumista käytetään yleensä termiä kumibitumi. SBS on synteettinen termoplastinen polymeeri, joka koostuu molekyylin keskiosassa olevasta polybutadieenikumista ja molekyylin päissä olevista kovista polystyreenisegmenteistä. Molekyylin muoto voi olla lineaarinen tai

tähtimäinen. Kemiallisten ominaisuuksiensa ansiosta molekyylit pystyvät sitoutumaan toisiinsa ristiin ja muodostamaan sideaineen sisälle verkon, jossa joustavat polybutadieenikumit yhdistävät kovia polystyreenisaarekkeita. SBS-kumin molekyylirakennetta sekä sen ristisitoutumismekanismissa on havainnollistettu kuvassa 3.1.



Kuva 3.1 SBS-kumin ristisitoutumismekanismissa (Blomberg 1990, s. 138)

SBS-kumin lisäys laskee bitumin tunkeumaa, nostavat viskositeettia ja pehmenemispistettä sekä parantavat sideaineen elastisuutta ja kylmäominaisuuksia. Hyvien korkeiden lämpötilojen ominaisuuksien vuoksi samoja SBS-polymeerejä käytetään myös Etelä-Euroopassa. (Blomberg 1990, s. 137–138) Kappaleessa 4.2 on kuvattu SBS-polymeerimodifioidusta bitumista Suomessa ja Norjassa saatuja tutkimustuloksia.

Muita yleisesti käytettyjä polymeerejä ovat muun muassa eteenivinyyliasetetaattikopolymeeri (EVA) ja ataktinen polypropeeni (APP). Niiden vaikutusta bitumin ominaisuuksiin ei tarkastella tässä tutkimuksessa.

3.2 Kuidut

Asfalttimassoissa on käytetty laajaa kuituvalikoimaa. Kansainvälisesti yleisimmin käytettyjä kuituja ovat selluloosa-, mineraali-, lasi- ja synteettiset polymeerikuidut, joista yleisimpiä ovat polyesteri, polypropyleeni, aramidikuidut sekä useampia polymeerejä sisältävät yhdistelmät. (Transportation Research Board 2015, s. 7)

Kuituja käytetään pääsääntöisesti kahdesta syystä; sitomaan asfalttimassaa avoimessa ja avoimesti suhteitetussa asfalttimassassa sekä lujittamaan tiiviisti suhteitettua asfalttimassaa urautumisen ja halkeilun estämiseksi. tutkimuksen mukaan kuituja käytetään kansainvälisesti asfalttimassojen lisäaineena melko samalla tavalla. Selluloosa ja mineraalikuituja käytetään tyypillisesti avoimissa asfalttimassoissa ja niiden käyttö on rutii-nomaista. Kuituja käytetään yleisesti vähemmän tiiviisti suhteitetussa asfalttimassassa, mutta kun niitä käytetään, synteettiset polymeerikuidut ovat yleisimpiä. Euroopassa

kuituja käytetään tyypillisesti SMA-massassa (Transportation Research Board 2015, s.28).

Kaikilla kuiduilla on tietyt ominaisuudet, jotka tekevät lisäaineesta tiettyyn käyttötar-koitukseen sopivamman kuin toinen. Esimerkiksi selluloosakuitu sitoo asfalttia ja se on vedenimukykyinen, mutta sen vetojännityskestävyys on heikko. Näin ollen materiaali sopii hyvin käytettäväksi avoimesti suhteitetussa sitomaan asfalttimassaa, mutta lisäaine ei sovellu parantamaan tiiviisti suhteitetun asfaltin lujuu-utta. Mikäli kuitu imee paljon vettä tai sillä on suuri ominaispinta-ala, vaatii se suuremman sideainepitoisuuden. Si-deainepitoisuuden kasvattaminen voi parantaa asfalttimassan kestävyyttä, mutta se myös nostaa päällysteen kustannuksia. (Transportation Research Board 2015, s.12)

Taulukkoon 3.1 on koottu yhteenvedona Transportation Research Board:n (2015) tutki-muksessa havaittuja etuja sekä haasteita, joita erityyppisten kuitujen käyttöön asfaltti-massoissa, liittyy. Tässä työssä tarkastelun ulkopuolelle on rajattu erilaisten kuitujen saatavuuteen sekä käytön taloudellisuuteen liittyvät asiat.

Taulukko 3.1 Erilaisten kuitujen käytön tuomat edut ja haitat (Transportation Research Board 2015, s. 8. muokattu.)

Kuitu	Raportoidut hyödyt	Raportoidut haitat
Selluloosa	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisoi sideainetta avoimessa asfalttimassassa • Absorboi itseensä sideainetta mahdollistaen korkeamman sideainepitoisuuden ja kestävämmän asfalttimassan 	<ul style="list-style-type: none"> • Alhainen vetolujuus
Mineraali	<ul style="list-style-type: none"> • Stabilisoi sideainetta avoimessa ja SMA-massassa • Ei yhtä imukykyinen kuin selluloosakuitu • Sähköä johtavia kuituja voidaan käyttää asfaltin lämmitykseen jään sulattamiseksi ja rakojen paranemisen edistämiseksi 	<ul style="list-style-type: none"> • Jotkut kuidut voivat kulua ja heikentyä kosteissa olosuhteissa • Voivat joissakin asfalttimassoissa aiheuttaa ongelmia tiivistävyydessä
Polyesteri	<ul style="list-style-type: none"> • Parantaa muun muassa asfalttipäällysteen halkeilukestävyyttä ja vähentää urautumista • Parantaa asfalttimassan lujuutta ja sitoo asfalttimassaa • Korkea vetolujuus 	<ul style="list-style-type: none"> • Korkea ominaispaino, vähemmän kuituja massatonna kohden
Aramidi	<ul style="list-style-type: none"> • Parantaa muun muassa asfalttipäällysteen halkeilukestävyyttä ja vähentää urautumista • Parantaa asfalttimassan lujuutta ja sitoo asfalttimassaa • Korkea vetolujuus • Kuitu voi lyhentyä korkeissa lämpötiloissa, minkä avulla voidaan vähentää urautumista 	
Lasikuitu	<ul style="list-style-type: none"> • Korkea vetolujuus • Alhainen venyminen • Hyvä elastinen palautuminen • Korkea pehmenemispiste 	<ul style="list-style-type: none"> • Hauraus • Kuidut voivat rikkoutua asfalttimassan valmistuksessa tai tiivistyksessä • Kuidut voivat mennä poikki, jos menevät ristikkäin

Taulukossa 3.1 esiintyvistä kuiduista selluloosa on Suomessa eniten käytetty. Sitä käytetään SMA -massassa bitumia stabiloivana lisäaineena.

Kuitujen vaikutusta asfalttimassan ominaisuuksiin tutkittiin hyvin laajasti myös Suomessa Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelmassa (ASTO) vuosina 1987–1992. ASTO:n loppuraportissa (1993, s. 34) esitettyjen tutkimustulosten mukaan kuidun avulla on pys-

tytty parantamaan asfalttimassan sekoituvuutta, vähentämään lajittumista sekä parantamaan sen työstettävyyttä. Vastaavasti päällysteen ominaisuuksista kuitulisäyksellä on pystytty vähentämään päällysteen kulumista ja deformatiota. ASTO:ssa tehtyjen laboratoriotutkimuksissa (1993, s. 153) havaittiin, että selluloosakuitulisäyksellä pystytään parantamaan myös SMA-massan kylmäkulutuskestävyyttä.

Kappaleessa 4.3 on esitetty Forta Corporationin kehittämän aramidi- ja polyamidikuitusekoituksen käyttökokeita USA:n Wyomingissa Jackson Hole Airport-lentokentällä ja Venäjän Kuolassa tiellä M 18.

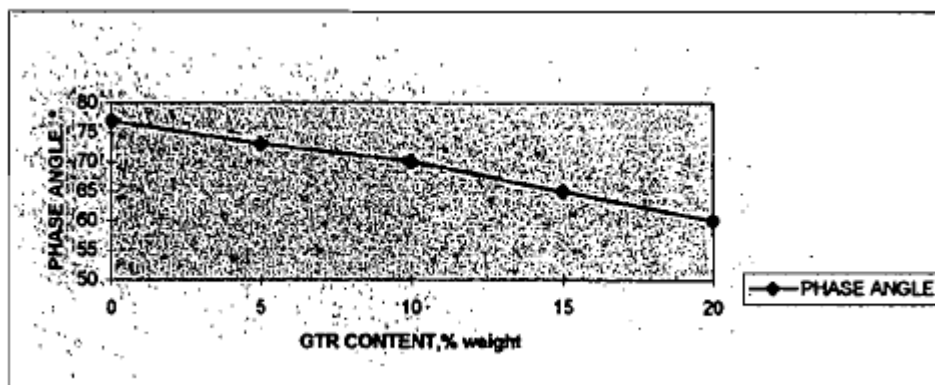
3.3 Kumipuru/-jauhe

Kumirouhe valmistetaan jätekumista, pääasiassa käytetyistä auton tai kuorma-auton renkaista. Kumipurun valmistamiseen voidaan käyttää eri tekniikoita. Kryogeenisessä valmistusprosessissa kumirouhe jauhetaan hyvin kylmissä olosuhteissa. Nestemäisen typen tai muiden jäähdytysmenetelmien avulla luodaan kylmät noin -80...-120 °C olosuhteet kumin haurastamiseksi. Prosessi voidaan toteuttaa neljän vaiheen systeeminä, jossa aluksi kokonaiset tai esikäsitellyt renkaat hajotetaan mekaanisesti pienemmiksi kappaleiksi, sitten jäähdytetään ja erotetaan metallikappaleet sekä kuitu ja lopuksi puhdas kumi jauhetaan haluttuun raekokoon. Vaihtoehtoisesti kumipuru voidaan valmistaa normaalia huoneenlämpöä korkeammassa lämpötilassa. Valmistusprosessi on monivaiheinen, jossa kokonaiset tai esikäsitellyt renkaat murskataan ja edelleen jauhetaan haluttuun raekokoon ja niistä poistetaan erilaisilla menetelmillä teräs ja kuitu. Tyypillisesti teräsosat poistetaan kumikappaleista magneettisesti ja kuitu mekaanisesti seulomalla. (EcoMENA 2015)

Kumipuru voidaan lisätä märkätekniikalla, jolloin se liuotetaan bitumiin ennen asfalttimassan valmistamista tai kuivatekniikalla, jolloin lisäaine lisätään asfalttimassaan vasta sekoitusvaiheessa. Tutkimuksen mukaan kumipurun sekoitukseen tulisi käyttää märkätekniikkaa tasaisemman asfalttimassan aikaan saamiseksi. (Virginia Asphalt Association)

Gillenin (2007) mukaan kumipurun käytön potentiaaliset hyödyt ovat pidempi käyttöikä, urautumis- ja halkeilukestävyys rengasmelun vähentäminen sekä ylläpitokustannusten laskeminen. Kumipurua käyttämällä rengasmelun torjumiseksi vähentää meluvallien ja -aitojen käyttötarvetta, mikä puolestaan laskee tiestön investointikustannuksia.

Kumipuru lisäämisellä on pystytty lisäämään päällysteen elastisuutta. Testitulosten mukaan sen lisääminen pienentää sideaineen faasikulmaa ja jäykkyysmoduulia, mikä käytännössä tarkoittaa sitä, että testituloksia vastaavissa kuormitusolosuhteissa päällysteseen syntyy vähemmän pysyviä muodonmuutoksia. Bitumin faasikulman taustateoria on pääpiirteissään esitetty kappaleessa 7.1.1. Kuvassa 3.2 on esitetty kumipurun lisäyksen vaikutus sideaineen faasikulman arvoon.



Kuva 3.2 Kumipurun määrän vaikutus sideaineen faasikulman arvoon (Leite & Soares 1999, s. 1078)

Kuvasta 3.2 nähdään, että kumipurun 10 paino-% lisäämisellä saavutetaan noin 5 ° pienempi ja 20 paino-% likimain 15 ° pienempi faasikulman arvo. Lisäksi kumipurun lisäyksen on havaittu vähentävän sideaineen ikääntymistä ja tekevän päällysteestä kylmissä lämpötiloissa joustavamman, mikä parantaa päällysteen halkeilu- ja väsymiskestävyyttä. (Leite & Soares 1999, s.1078, 1081)

Kappaleessa 4.4 on esitetty kryogeenisellä prosessilla valmistetun kumipurun käyttökemuksia Ruotsin Vänersborgissa ja E 12 tiellä välillä Storuman–Stensele.

3.4 Elastomeeripelletti

Elastomeeripelletissä on yhdistetty selluloosakuitu ja polymeerimodifiointi. Elastomeeripelletti voidaan liuottaa sideaineeseen ennen asfalttimassan valmistusta tai lisätä asfalttimassaan sekoitusvaiheessa. Polymeerien lisäys muuttaa sideaineen viskositeettia ja vähentää sen lämpötilaherkkyttä. Polymeerimodifioidulla selluloosakuitupelletillä on pystytty parantamaan SMA -massan jäykkyyttä ja asfalttimassan koossa pysymistä sekä vähentämään päällysteen vaurioitumista. (Woodside et al. 2000) Kappaleessa 4.5 on esitetty tässä tutkimuksessa käytetyn elastomeeripelletin (VIATOP plus FEP) vaikutukset asfalttimassan ominaisuuksiin sekä Virossa tehtyjen laboratoriokokeiden tulokset.

4. KÄYTTÖKOKEMUKSET TUTKIMUKSESSA TARKASTELEVISTA MODIFIOIDUISTA BI- TUMIPÄÄLLYSTEISTÄ

4.1 Tarkasteltavat lisäaineet

4.1.1 SBS-polymeeri

Yhdessä tutkittavassa asfalttimassassa oli käytetty bitumia, johon oli lisätty termoplastisia elastomeerejä (SBS-polymeerejä). Polymeerin toimintaperiaate on kuvattu kappaleessa 3.1. Kuten edellä mainittiin, SBS-polymeerilisäyksellä on pystytty parantamaan muun muassa päällysteen elastisuutta sekä kylmäominaisuuksia ja korkean lämpötilan ominaisuuksia. Modifioidun sideaineen koostumuksesta tai lisätyn polymeerin määrästä ei ole tarkempia tietoja. Kappaleessa 4.2 on esitetty tarkemmin Suomessa toteutetun Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelman (ASTO) ja Norjan Vestfoldin koekohteet sekä tutkimuksissa saadut koetulokset.

4.1.2 HMA-kuitu

Yksi tämän tutkimuksen yhteydessä testattavista lisäaineista on Forta Corporationin kehittämä Hot Mix Asphalt (HMA) -kuitusekoite, jossa on 19 mm pituisia aramidi- ja polyamidikuituja. Tämän kuumalle asfalttimassalle suunnitellun kuitusekoitteen tarkoituksena on vähentää asfalttipäällysteen halkeilua, urautumista ja painumista. Kuidun suunniteltu käyttö- ja sekoituslämpötila on 121–190 °C. HMA -kuitu voidaan lisätä joko annos- tai jatkuvasekoitusmenetelmillä. Kuitua annostellaan 0,5 kg (annospussi) asfaltitonnia kohden. (Forta Corporation, s. 1) Tässä projektissa kuitu lisättiin asfalttimassaan asfalttiasemalla. Jokaiseen valmistuserään tarvittava kuitumäärä koottiin yhteen pussiin ja annos lisättiin kerralla sekoittimeen. Kappaleessa 4.3 esitellään Venäjän Kuolassa sekä USA:n Jackson Hole Airport -lentokentällä sijaitsevat koekohteet sekä kohteissa saadut tulokset.

4.1.3 Kumipuru/ -jauhe

Tämän diplomityön kirjallisuustutkimusosiossa kerättiin tietoa Desitech Group:n HD C6-RMB kumipurusta, joka on valmistettu kierrätetyistä autonrenkaista cryogenic -tekniikalla. Menetelmässä renkaat paloitellaan aluksi lastuiksi ja jäädytetään nestetyyppisessä -80 °C lämpötilaan. Jäädyttämisen jälkeen kumi jauhetaan 0–800 µm kumipuruksi.

Asfalttiin käytettävän kumipurun rakeisuus on 200–600 µm. (Desitech group 2011 s. 1) Kumipuru lisätään niin kutsuttu in-situ märkätekniikalla bitumiin siihen kehitetyllä sekoituslaitteistolla. Sideaineeseen lisättävän kumipurun osuus on tyypillisesti 20–25 %, kun päällysteessä käytettävän bitumin osuus asfalttimassasta on 9 tilavuus-%. (Desitech group 2013 s. 2–3) Kumipurun tarkoituksena on parantaa muun muassa päällysteen halkeilukestävyyttä, vähentää rengasmelua ja urautumista. Luvussa 4.4 on kuvattu kaksi Ruotsissa sijaitsevaa koekohdetta sekä näiden tutkimustulokset.

4.1.4 Elastomeeripelletti

Tässä tutkimuksessa tutkittiin myös VIATOP plus FEP elastomeeripellettituotetta, joka lanseerattiin markkinoille vuonna 2015. Elastomeeripelletti koostuu ARBOCEL ZZ 8/1-tyypin selluloosakuidusta ja vaikuttavasta lisäaineesta. Näiden suhteelliset painoprosentit ovat 20 % ja 80 %. Kyseinen tuote on uusi, minkä vuoksi siitä ei ole paljoa tutkimustietoa. Laboratoriokokeiden perusteella tuotteen on havaittu parantavan asfalttipäällysteen kulumiskestävyyttä, puristus- ja vetolujuutta sekä vähentävän päällysteen urautumista (Finnpool 2015, s. 2). Tuotteen ilmoitettu annostelu on 9 kg massatonna kohden. Ylöjärven koekohteen asfalttimassojen suunnittelun yhteydessä määrää vähennettiin 6,75 kg:aan. Jokaiseen annokseen tarvittava elastomeeripellettimäärä lisättiin kerralla asfalttimassan sekoitusvaiheessa. Tuotteen suositeltu sekoituslämpötila on 160–170 °C. Luvussa 4.5 esitellään Virossa saadut laboratoriotutkimusten tulokset.

4.2 Polymeerimodifioitu bitumi

4.2.1 Suomi

Suomessa polymeerimodifioitujen bitumien ominaisuuksia tutkittiin hyvin laajasti Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO:n yhteydessä vuosina 1987–1992. ASTO:n tavoitteena oli muun muassa kehittää päällysteiden kulutuskestävyyttä ja laskea kustannuksia. Tämän ohessa tutkittiin päällysteiden melu- ja kitkaominaisuuksia ja laadittiin ehdotus niitä koskeviksi vaatimuksiksi. Tutkimushankkeessa tutkittiin muun muassa kiviaineksia, sideaineita, erilaisia lisäaineita, päällysteiden kunnossapitomenetelmiä ja kunnossapidon ohjelmointia sekä päällystämisen oheisvaikutuksia. Tässä työssä käsitellään vain SBS-polymeerimodifioitujen sideainekoeteiden kulumisen ja deformaation mittaustulokset ja laboratoriossa saatuja tutkimustuloksia.

Bitumien valmistus suunniteltiin siten, että sideaineiden elastisuus sekä kylmäominaisuudet ja korkean lämpötilankestävyys ominaisuudet olisivat mahdollisimman erilaiset. Erilaisten SBS-polymeerimodifioitujen päällysteiden testitulosten vertailemiseksi taulukossa 4.1 on esitetty suunniteltujen modifioitujen sideaineiden sanalliset kuvaukset. Taulukossa 4.1 esiintyvä kuvaus ”tavallinen” tarkoittaa Suomessa tuolloin eniten käytettyä

tettyä modifiointiasetetta. Tietoa lisättyjen polymeerien määristä ei ole tarkemmin saatavilla sideaineiden resepteihin liittyvien liikesalaisuuksien varjelemiseksi.

Taulukko 4.1 ASTO:ssa tutkittujen polymeerimodifioitujen bitumien sanalliset kuvaukset

Sideaine	tyyppi	modifiointiaste	Elastisuusaste	Lämmönkesto	Kylmänkesto	Huom.
PMB 1	SBS	tavallinen	korkea	hyvä	hyvä	-
PMB 2	SBS	erittäin matala	matala	heikko	heikko	-
PMB 3	SBS	matala	keskinertainen	keskinertainen	keskinertainen	-
PMB 4	SBS	korkea	erittäin korkea	erittäin hyvä	erittäin hyvä	-
PMB 5	SBS	tavallinen	keskinertainen	hyvä	keskinertainen	epästabiili
PMB 6	SBS	tavallinen	korkea	erittäin hyvä	hyvä	-
PMB 7	SBS	tavallinen	korkea	heikko	erittäin hyvä	-

Taulukon 4.1 bitumeista PMB 3:n kylmäominaisuudet eivät olleet suunnitellun mukaiset liian vähäisen polymeerimäärän takia. Tutkittavista bitumeista oli erotettavissa kaksi erilaista koesarjaa. Ensimmäisen sarjan bitumeissa oli sama lisätty polymeeri, mutta polymeeripitoisuus vaihteli. Sarjan bitumit olivat polymeeripitoisuuden suuruusjärjestyksessä ilmoitettuna: PMB 4, PMB 1, PMB 3 ja PMB 2. Toisen sarjan bitumeissa vastaavasti polymeeripitoisuus oli sama, mutta bitumiin lisätty polymeeri ja/ tai bitumin laatu vaihteli. Sarjaan kuuluivat bitumit: PMB 1, PMB 6, PMB 7 ja PMB 5. (PANK ry 1993, s. 28) Tämän työn kannalta olennaisempi sarja on 1.

Referenssibitumina ASTO:ssa käytettiin BIT 120 AH:ta. Tunnuksen alkuosa B 120 kertoo bitumin kovuusluokka (tunkeuma) ja loppuosa bitumin raaka-aineen; kyseinen sideaine oli valmistettu Arabian Heavy-raakaöljystä. (PANK ry 1993, s. 24)

Laboratoriotutkimukset

Päällystetutkimuksia varten modifioiduista asfalttimassoista valmistettiin laboratoriossa 50 mm paksuisia laattoja. Laatat tiivistettiin staattisella valssijyrällä ja laatoista porattiin halkaisijaltaan 101 mm sylinterinmuotoisia koekappaleita. Näytteille tehtiin halkaisu-, jäykkyys-, Tröger- ja sivurullakulutuskokeita (SRK). Näiden testien lisäksi laatoille tehtiin kulutuskoe Neste Oy:n vertikaalisella kulutuskoeradalla ja laatoista sahatuille palkeille tehtiin lämpöjännitysmittauksia. Tässä työssä esitellään vain jäykkyysmoduulit, lämpöjännitysmittaukseen ja SRK -kulutuskokeen tulokset.

Päällysteen jäykkyys määritettiin jäykkyysmoduuleina epäsuoran vetokokeen avulla. Koe tehtiin standardin ASTM D 4123 mukaisesti MTS-laitteella -10 °C, -2 °C, 10 °C ja

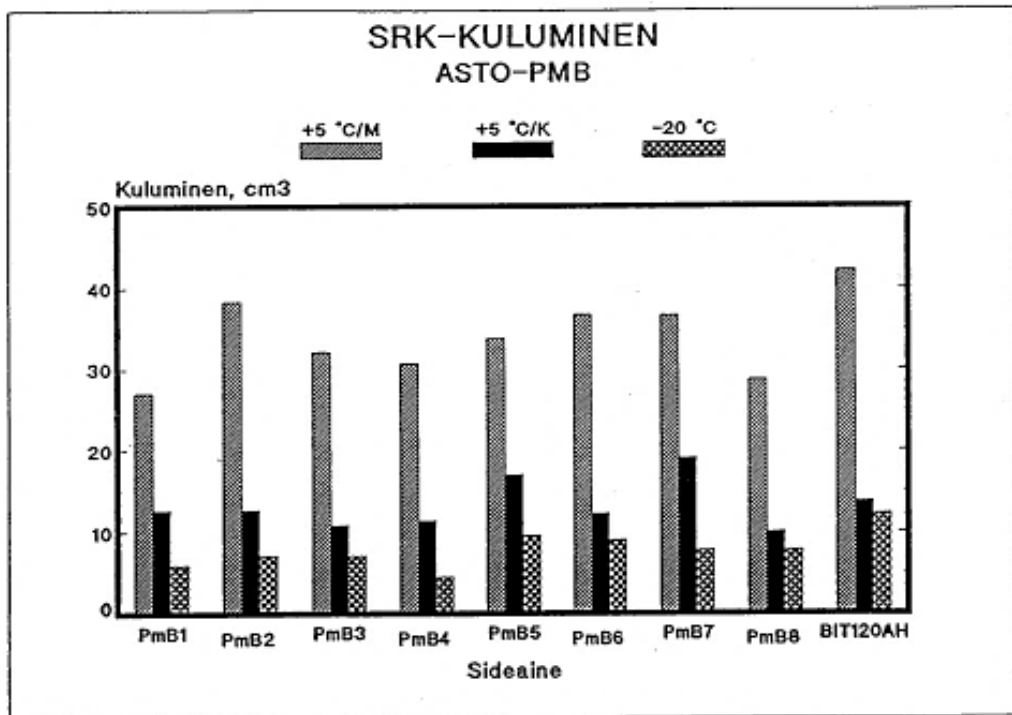
28 °C lämpötiloissa. Kokeessa kuormitusaika oli 0,1 s ja lepoaika 2,9 s. Taulukossa 4.2 on esitetty polymeerimodifioitujen päällysteiden jäykkyysmoduulit eri lämpötiloissa.

Taulukko 4.2 Polymeerimodifioitujen päällysteiden jäykkyysmoduulit (PANK ry 1992, s. 10)

Jäännösmoduuli [MPa]				
Sideaine	-10 °C	-2 °C	10 °C	28 °C
PMB 1	10118	6428	3072	408
PMB 2	11389	8427	4614	589
PMB 3	13996	7921	3786	517
PMB 4	9695	7068	2698	458
PMB 5	9404	5902	2603	838
PMB 6	8299	6028	2259	362
PMB 7	4074	2295	689	236
BIT 120	11091	9201	5000	681

Taulukon 4.2 tuloksista nähdään lämpötilan vaikutus päällysteiden jäykkyyksiin; lämpötilan noustessa kaikkien päällysteiden jäykkyydet pienenevät. Sama on nähtävissä myös kahden korkeimman testilämpötilan tapauksessa. Ensimmäisen sarjan bitumien jäykkyydet noudattavat samaa järjestystä kuin lisättyjen polymeerien määrä.

Kuvassa 4.1 on kuvattu SRK -kokeen tulokset. Testausmenetelmän periaate on kuvattu kappaleessa 7.1.3. PMB 8 massan sideaineena käytettiin EMA- polymeerimodifioitua bitumia eli sen tulokset voidaan tämän rajata tarkastelun ulkopuolelle. Kulutuskoeket tehtiin kuiville näytteille -20 °C ja 5 °C lämpötiloissa ja märille näytteille 5 °C lämpötilassa. Testauksessa käytettiin ABE 20 -asfalttimassaa. Massan suhteukset tehtiin tavalliselle ja modifioiduille asfalttimassoille erikseen, minkä vuoksi polymeerimodifioidun asfalttimassan sideainepitoisuus oli 6,1 % ja tavallisen 5,4 %. Näin ollen testitulokset eivät ole keskenään vertailukelpoisia. (PANK ry 1992, s. 15)

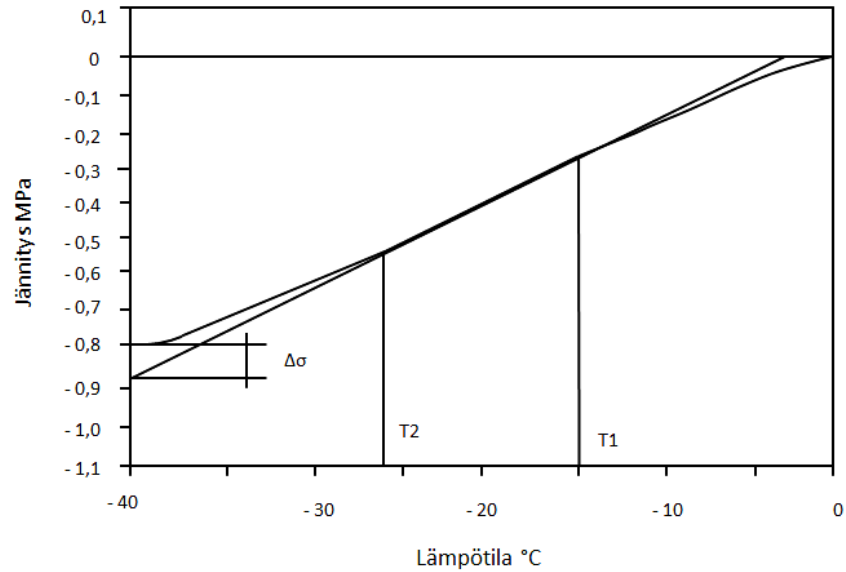


*Kuva 4.1 Polymeerimodifioitujen päällysteiden SRK -kokeen tulokset
(PANK ry 1992, s. 15)*

Kuvan 4.1 tuloksista on nähtävissä selkeästi PMB 1–PMB 4 modifiointitason vaikutus päällysteen kulutuskestävyyteen. Mitä enemmän bitumiin on lisätty polymeerejä, sitä paremmin päällyste kestää kulutusta. Polymeerimodifioitujen päällysteiden nastarengaskulutuskestävyys oli selkeästi vertailupäällystettä parempi varsinkin -20 °C testilämpötilassa.

Testituloksia tulkittaessa tulee ottaa huomioon, että ASTO:ssa tutkitut kumibitumit eivät luultavasti vastaa nykyään käytettyjä SBS-polymeerimodifioituja bitumeja. Lisäksi osa tuonaikaisista testausmenetelmistä on poistettu käytöstä tai niitä on kehitetty. Näin ollen tutkimustulokset ja nykypäivänä saatavat tutkimustulokset eivät ole täysin vertailukelpoisia.

Asfalttimassasta valmistetuista laatoista sahatuille palkeille tehtiin lämpöjännitysmittauksia päällysteiden kylmäkestävyyden määrittämiseksi. Testissä näyte temperoitiin aluksi 5 °C lämpötilaan, minkä jälkeen sen annettiin lämmetä huoneenlämpöön ja se kiinnitettiin mittauskehikkoon. Tämän jälkeen näyte laitettiin kylmäkaappiin 0 °C lämpötilaan kahdeksi tunniksi mahdollisten jännitysten relaksoimiseksi. Tämän jälkeen kaapin lämpötilaa laskettiin 10 °C / h, kunnes savutettiin -40 °C lämpötila. Testin aikana kaapin lämpötilat mitattiin ja päällystenäytteessä syntyneet jännitykset mitattiin kehikkoon kiinnitettyjen venymäliuskojen avulla. Testissä jokaiselle päällysteelle tehtiin 5 rinnakkaismäärittystä. (PANK ry 1992, s. 13–14) Kuvassa 4.2 on esitetty testituloksena saatu tyypillinen jännitys–lämpötilakäyrä.



Kuva 4.2 Tyypiesimerkki jännitys–lämpötiläkäyrästä
(PANK ry 1992, s. 14. Muokattu.)

Kuvasta 4.2 on havaittavissa kolme osuutta: molemmissa päissä kaareva osuus ja näiden välissä lineaarinen osuus. Käyrän ensimmäinen kaareva osuus kuvaa näytteen käyttäytymistä jäähtymisen alkuvaiheessa, jossa osa siihen aiheutuvista jännityksistä relaxoituu. Kun lämpötila saavuttaa lukeman T1 päällyste muuttuu elastiseksi, jolloin siinä syntyvien jännitysten suuruus on suoraan verrannollinen lämpötilan alenemiseen. Vastaavasti lämpötilan T2 jälkeinen käyrän osuus kuvaa näytteen käyttäytymistä testin loppuvaiheessa. Kun lämpötila alenee, jännitysten kasvu alkaa hidastua näytteessä ja osa jännityksistä purkautuu. Taulukossa 4.3 on esitetty eri päällysteiden jännitys–lämpötiläkäyrien muutoskohdat.

Taulukko 4.3 Jännitys–lämpötiläkäyrien muutoskohdat

Sideaine	T1 [°C]	T2 [°C]	kulma-kerroin	max. jännitys [MPa]	jännitysero $\Delta\sigma$ [Mpa]
PMB 1	-15	-31	0,0312	-0,92	0,06
PMB 2	-15	-27	0,0319	-0,93	0,09
PMB 3	-15	-26	0,0326	-0,96	0,11
PMB 4	-14	-31	0,0328	-1,04	0,06
PMB 5	-15	-32	0,0322	-1,07	0,06
PMB 6	-16	-33	0,0316	-0,98	0,02
PMB 7	-25	-36	0,0307	-0,76	0,02
BIT 120 AH	-14	-31	0,0276	-0,85	0,1

Taulukon 4.3 tuloksista nähdään, että PMB 7-näytettä lukuun ottamatta kaikki modifioidut päällysteet kestivät lämpötilan alenemisen aiheuttamia lämpörasituksia modifioimatonta vertailupäällystettä paremmin.

Tässä työssä esitellyn tutkimusohjelman laboratoriokoetulosten perusteella polymeerimodifiointi parantaa päällysteen kulutuskestävyyttä kylmässä. Polymeerilisäyksen ansiosta päällysteestä saadaan joustavampi ja päällysteen kylmäkestävyys paranee.

Koetiet

ASTO:ssa rakennettiin myös koeteitä vuosina 1989 ja 1990. Koeteistä ASTO 3 ja ASTO 5 olivat sideainekoeteitä, joissa testattiin myös suurin osa tutkimusohjelmassa tutkituista kumibitumeista. ASTO 3 rakennettiin Turkuun valtatielle 9, jossa keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) oli noin 10 000. Liikennemäärästä henkilöautoja oli 79 % ja raskaista ajoneuvoja 13 %. Vastaavasti ASTO 5 rakennettiin Tampereelle valtatielle 9, jossa KVL oli noin 7700, josta henkilöautoja oli noin 78 % ja raskaita ajoneuvoja 15 %.

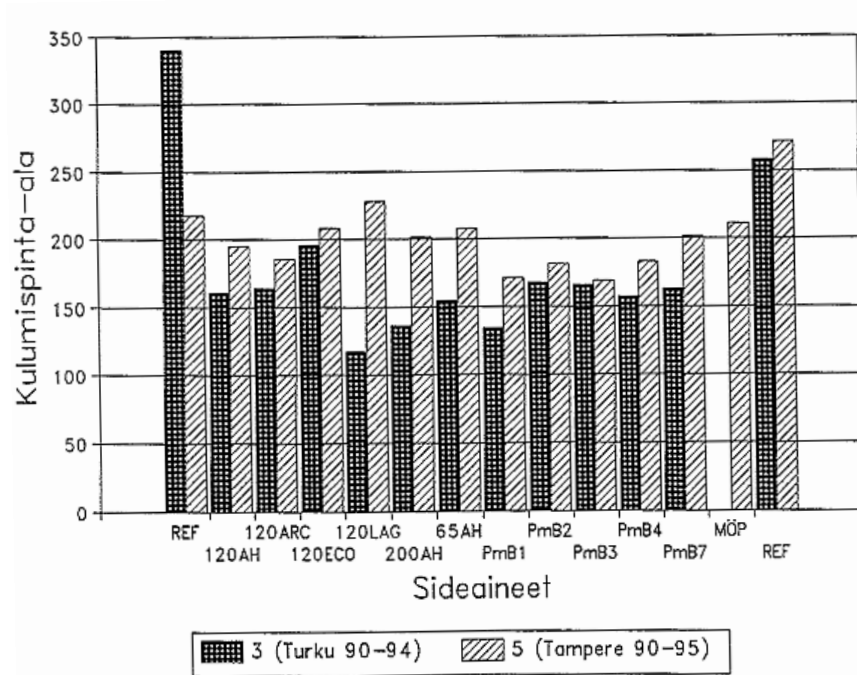
Jokaiselle kesällä 1990 rakennetulle koetielle rakennettiin kaksi vertailuosuutta eri teiden asfalttimassojen keskinäisen vertailun mahdollistamiseksi. Pääosin vertailuosuudet sijaitsivat koeteiden alussa ja lopussa. Referenssinä käytettiin AB20/IV asfalttimassaa, jossa käytettiin kiviaineksena Teiskon granodioriittia ja sideaineena bitumia B-120 AH. (Kurki 1998, s. 9) Tässä osiossa tarkastellaan sideainekoeteiden kulumisen ja deformaation tutkimustuloksia.

Mittausmenetelmät

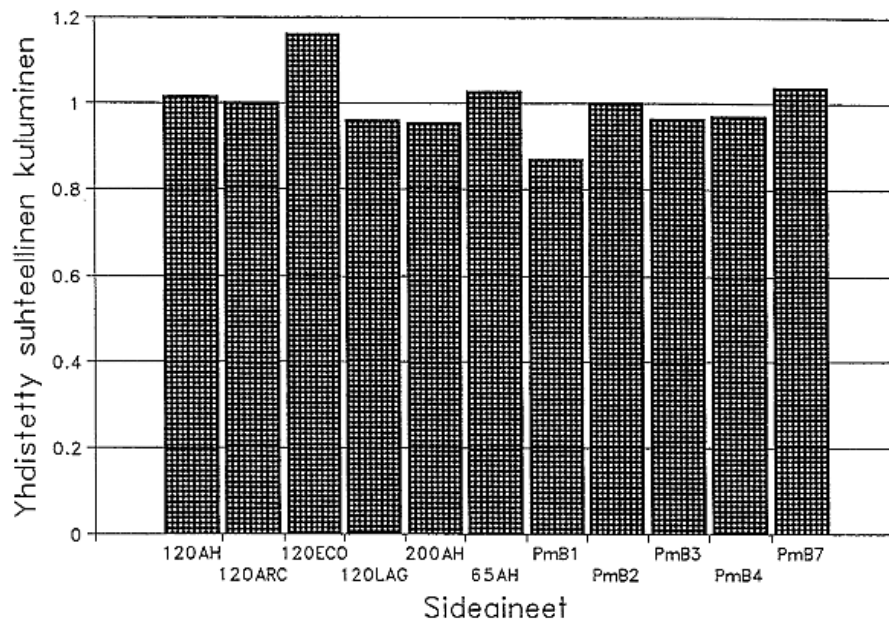
Koeteiden kulumisen ja deformaatio tutkittiin profilometrillä. Mittauksessa mittavaunu kulkee palkkia pitkin ja mittaa samalla etäisyyttä tien pintaan. Mittaustulokset tulostuvat piirturilla profiilina kalvopaperille ja magneettinauhalle, josta voitiin määrittää molempien urien maksimisyvydet. Koeosuudet mitattiin seitsemästä kohdasta. Yleensä mittaukset tehtiin keväisin nastarengaskauden päättymisen jälkeen ja syksyllä ennen seuraavaa nastarengaskautta. (PANK ry 1993, s. 96)

Kulumis- ja deformaatiotulokset

Kuvassa 4.3 on esitetty sideainekoeteiden kulumistulokset. Tuloksista laskettiin edelleen sideainekoeteille yhdistetyt tulokset, jotka on esitetty kuvassa 4.4. Kahden eri sideainekoetien tulokset yhdistettiin niin, että varsinaisten koeosuuksien keskiarvo on 1, minkä jälkeen jokaiselle sideaineelle laskettiin keskiarvo. Kuvissa sideaineiden tunnus kertoo bitumin raakaöljypohjan ja tunnuksen yhteydessä esiintyvä lukuarvo kertoo bitumin kovuusluokan. AH on jalostettu Arabian Heavy-raakaöljystä, LAG Venezuelan Laguna-raakaöljystä ja ARC Sovjet Export Blend raakaöljyn arktisesta laadusta. MÖP on mäntyöljypikeä ja ECO on Arabian Heavy-raakaöljystä jalostettua raakaöljyä, jonka kylmäominaisuuksia on kehitetty. Tuloksissa kumibitumitulokset on esitetty tunnuksella PmB ja kulumisen yksikkönä kuvaajassa on cm^2 . Kumibitumien tiedot on esitetty taulukossa 4.1.



Kuva 4.3 Päällysteiden kulumisen sideainekoeteillä (Kurki 1998, s.32)

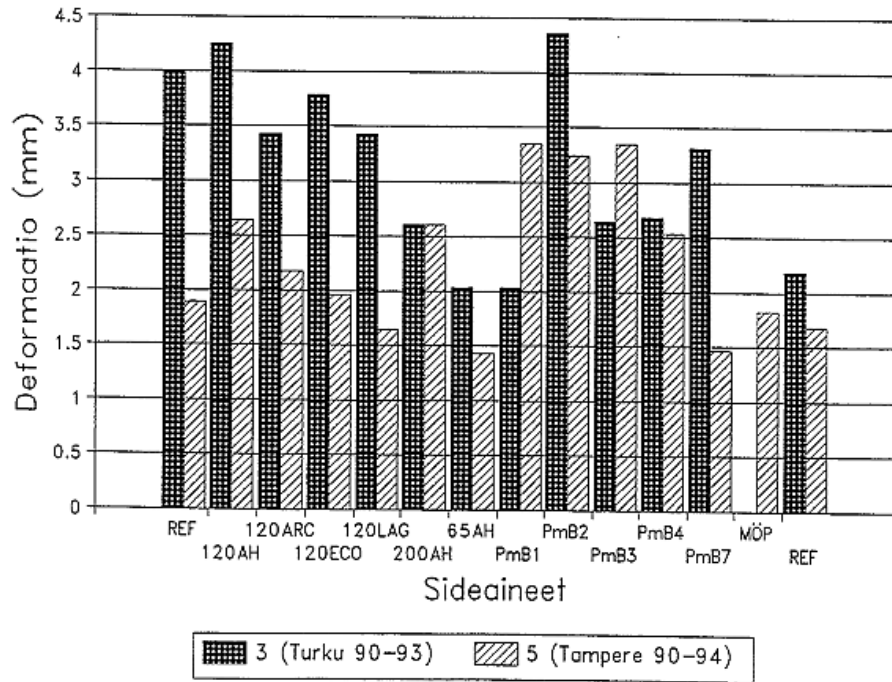


Kuva 4.4 Sideainekoeteiden yhdistetty suhteellinen kuluminen (Kurki 1998, s.33)

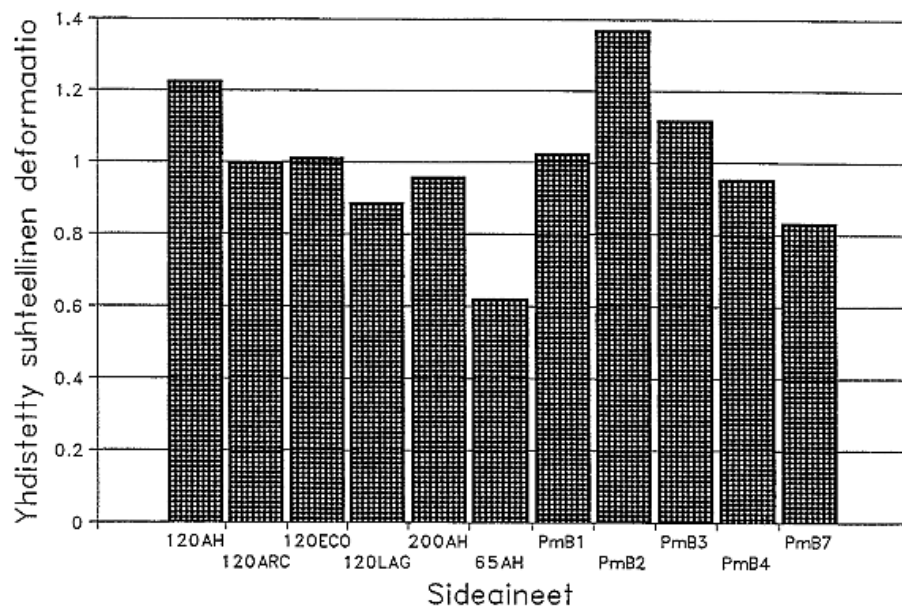
Kuvasta 4.3 voidaan havaita, että sideaineiden keskinäiset erot eri koeteillä on pieniä verrattuna vertailumassan kulumisen hajontaan. Kuvan 4.4 tulosten perusteella kumibittumin (PmB1) voidaan arvioida kuluvan tavanomaiseen bitumiin nähden noin 10 % vähemmän. (Kurki 1998, s. 31)

Tässä tutkimuksessa deformaatio oli yhden kesän aikana tapahtunut urasyvyyden kasvu, joka laskettiin syksy- ja kevätmittausten urasyvyyksien erotuksena. Kuvassa 4.5 on esi-

tetty sideainekoeteiden deformaatiomittauksista ja kuvassa 4.6 mittaustuloksista lasketut sideainekoeteiden yhdistetyt suhteelliset deformaatiot. Kuvissa esiintyvien sideainetiedot on kuvattu kulumistulosten yhteydessä ja koeteiden yhdistetyt suhteelliset deformaatiot on laskettu samaan tapaan kuin edellä päällysteiden kulumisen tapauksessa.



Kuva 4.5 Sideainekoeteiden deformaatio (Kurki 1998, s. 34)



Kuva 4.6 Sideainekoeteiden yhdistetty suhteellinen deformaatio (Kurki 1998, s. 35)

Kuvan 4.5 tuloksista voidaan havaita, että Turun sideainekoetien vertailuosuuksien deformaatiotulokset erosivat toisistaan paljon. Tämän vuoksi tulosten perusteella ei voida arvioida luotettavasti sideaineiden deformaatiokestävyyttä. Tampereen koetien ja kuvan 4.6 yhdistettyjen tutkimustulosten perusteella B-65 AH:n deformaatio on pienintä ja kumibitumin PmB 1 sijoittuu vertailussa keskimääräisesti. Normaaliin vertailubitumiin B-120 verrattuna PmB 1 paransi päällysteen deformaatiokestävyyttä noin 30 %. (Kurki 1998, s. 34)

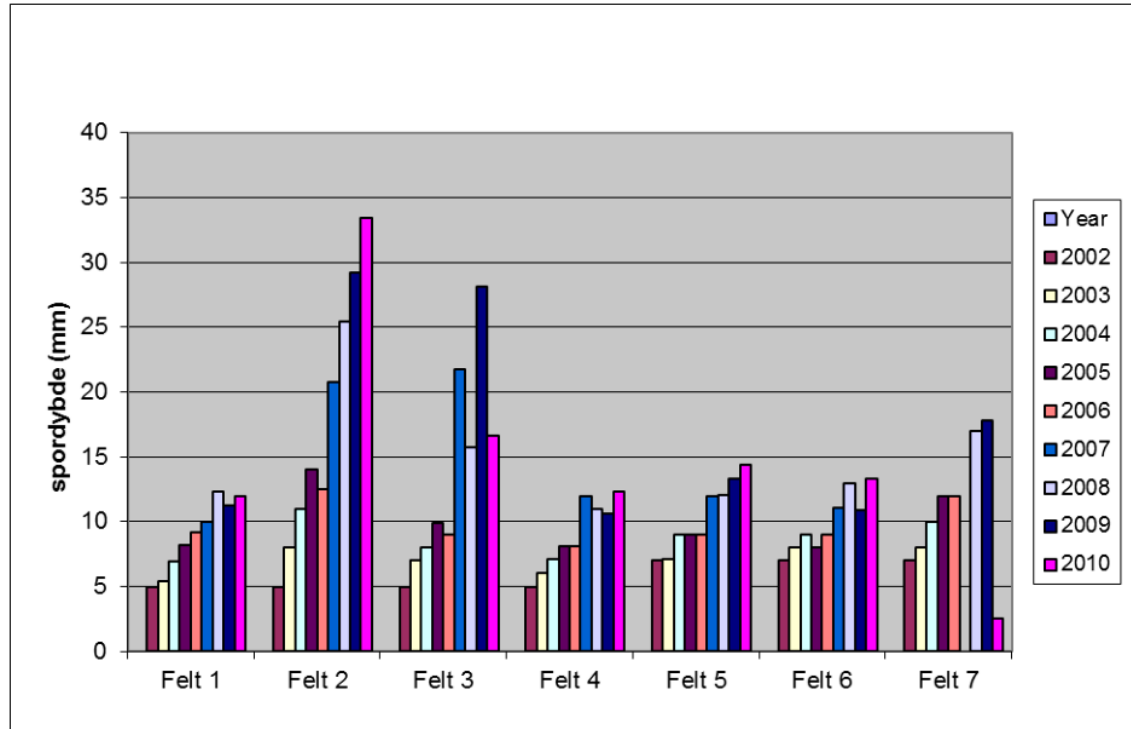
4.2.2 Norja, E 18 Vestfold

”Steinkvalitet og sporutvikling” -projektin (SIV) yhteydessä Norjan Vestfoldiin tielle E 18 tehtiin syksyllä 2001 seitsemän osuuden koekohde, jossa tutkittiin kiviaineksen laadun vaikutusta päällysteen urautumiseen. Koekohteen keskimääräinen vuosittainen liikennemäärä vuosina 2001–2004 vaihteli välillä 15000–16500, josta raskaan liikenteen osuus oli 13–15 % luokkaa (Horvli & Værnes 2006, s. 10). Projektissa tutkittiin kuutta erilaatua kiviaineista. Osana tutkimusprojektia laboratoriossa määritettiin muun muassa kiviainesten lujuusominaisuudet. Samaan aikaan ilmaantui tarve tutkia polymeerimodifioitua bitumia osana koekohtetta. Kiviaineksen laadun vaikutuksen tutkimista varten rakennettu koekohde antoi mahdollisuuden tutkia myös polymeerimodifioitua bitumin vaikutusta päällysteen urautumiseen (Statens vegvesen 2013, s.4) Kuvassa 4.7 on kuvattu koeosuuksien päällysrakenne. Vastaavasti taulukossa 4.4 on kuvattu koeosuuksien pitoisuudet, massa- ja sideainetyypit, sideainepitoisuudet sekä kiviaines. Taulukossa LA on kiviaineksen iskunkestävyyttä kuvaava Los Angeles -luku ja KM nastarengaskulutuskestävyyttä indikoiva kuulamylyarvo.



Kuva 4.7 Koekohteen päällysrakenne (Statens vegvesen 2013, s. 6. Muokattu.)

jassa päällystesuunnittelussa käytetään 90 %:sta urautumista urasyvyyden raja-arvona. Tämän vuoksi jokaiselta koeosuudelta 20 m välein mitatuista urasyvyyksistä on laskettu 90 %:n urautumisosuudet vertailun tekemiseksi. Kuvassa 4.9 on kuvattu kenttämittauksissa saadut koeosuuksien 90 % urasyvyydet. Urautumisyyvyyden tutkimusdata on otettu NVDB:sta (Nasjonal Vegdatabank). (Statens vegvesen 2013, s. 13)



Kuva 4.9 Koeosuuksien urasyvyydet vuosina 2002–2010 (Statens vegvesen 2013, s. 14)

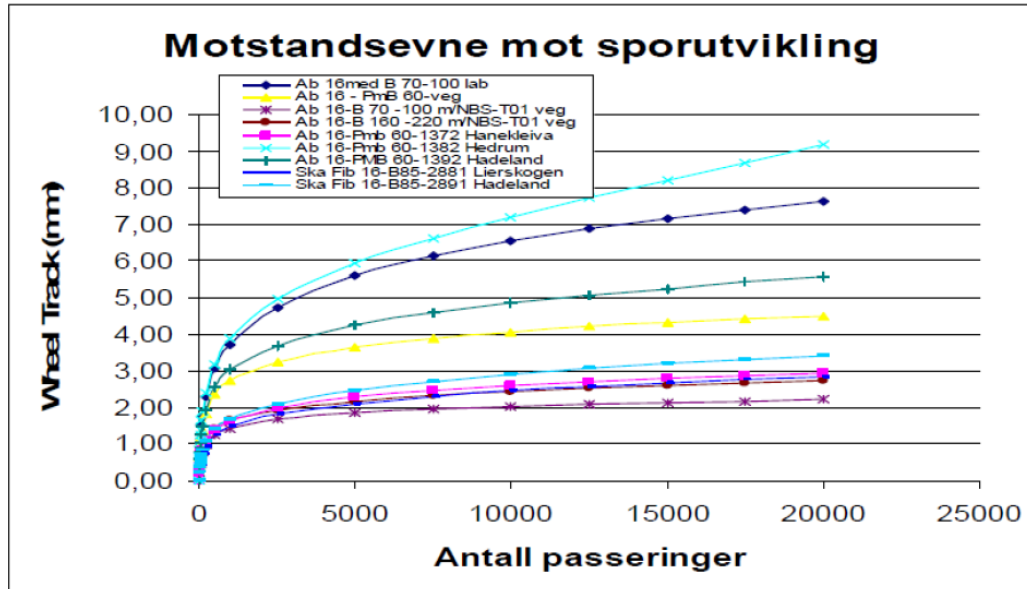
Koeosuudelle 7 tehtiin uusi asfalttipäällyste vuonna 2010, mikä selittää päällysteen hyvin alhaisen urasyvyyden (kuva 4.9). Tämän vuoksi vuoden 2009 mittaustulosta käytettiin koeosuuksien vertailuun. (Statens vegvesen 2013, s. 13)

Kuten aiemmin esitettiin, koeosuudet 1 ja 7 ovat vertailukelpoisia, koska kiviaines on samaa ja niiden asfalttimassat on tehty samalla suhteituksella. Asfalttimassojen ainoa ero on sideaine; osuudella 1 käytettiin PMB:a ja osuudella 7 bitumia B70/100. Kuvan 4.5 mittaustuloksista nähdään, että PMB vähentää AB-päällysteen urautumista 40 %. Parannus on huomattava ja lisää päällysteen käyttöikää selvästi. Vastaavasti osuuden 2 urautuneisuus on hyvin suuri, mikä selittyy asfalttimassan huonolaatuisella kiviaineksella. Massassa käytetty kivi ei täytä vilkasliikenteiden tien päällystekiviainekselle asetettuja vaatimuksia. (Statens vegvesen 2013, s. 14)

Laboratoriokokeet

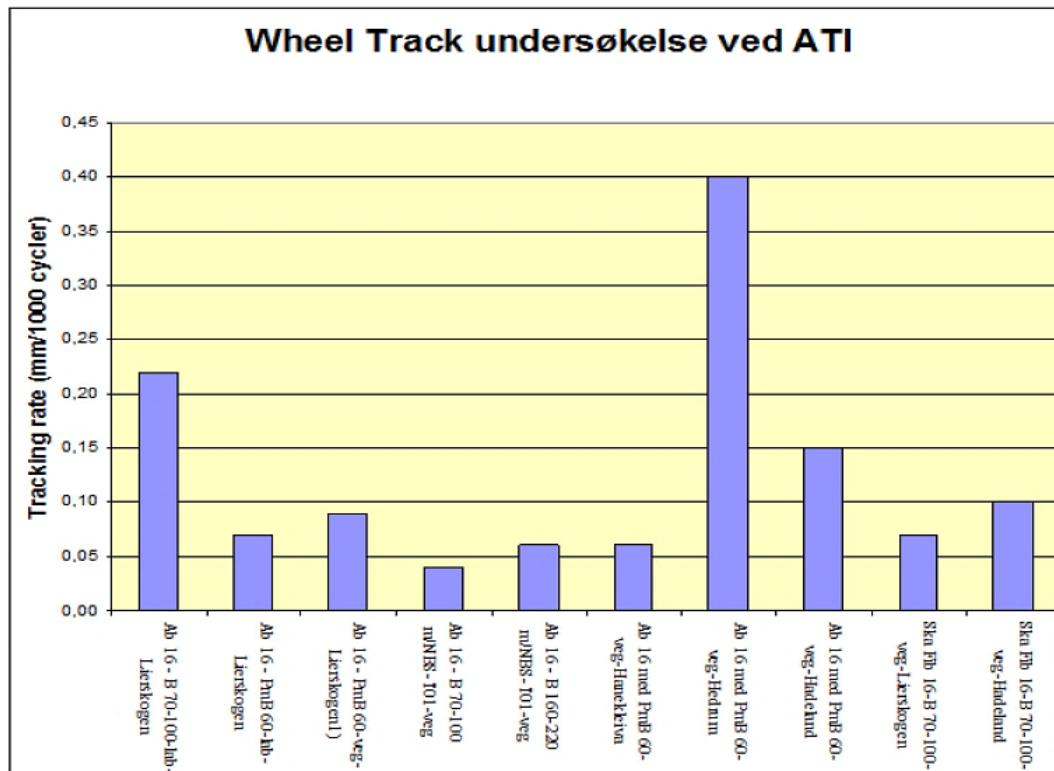
Koekohteelta otettiin päällystenäytteitä laboratoriomäärittelyksiä varten sekä uudelleen päällystysvaiheessa että vuonna 2008. Koekohteen tekovaiheessa päällystenäytteille tehtiin pyöräuritus- (Wheel Track test) sekä NAT -kokeita (Nottingham Asphalt Tester).

Tutkimuksissa käytetyistä menetelmistä on hyvin vähän yksityiskohtaista tietoa. (Statens vegvesen 2013, s. 7) Kuvassa 4.10 on esitetty päällystystyön jälkeen tehtyjen pyöräurituskokeiden tulokset, mutta NAT -kokeen tuloksia ei kuitenkaan sisällytetä tarkemmin tähän työhön.



Kuva 4.10 Pyöräurituskokeen tulokset (Statens vegvesen 2013, s. 8)

Kuvasta 4.10 nähdään päällysteiden urasyvyyden kehittyminen 20 000 ylityksen aikana. Kuvassa esitettyjen tulosten perusteella Ska -massojen deformaatiokestävyys on Ab-massoja parempi. Pyöräurituskokeen tulosten perusteella laskettiin päällysteiden keskimääräiset urautumisnopeudet 1000 kuormitusyksiä kohden 5000 ja 10 000 syklin alueelta. Nämä on nähtävissä kuvassa 4.11. Kuvissa 4.10 ja 4.11 esiintyy koekohteen tulosten lisäksi ylimääräisiä testaustuloksia.

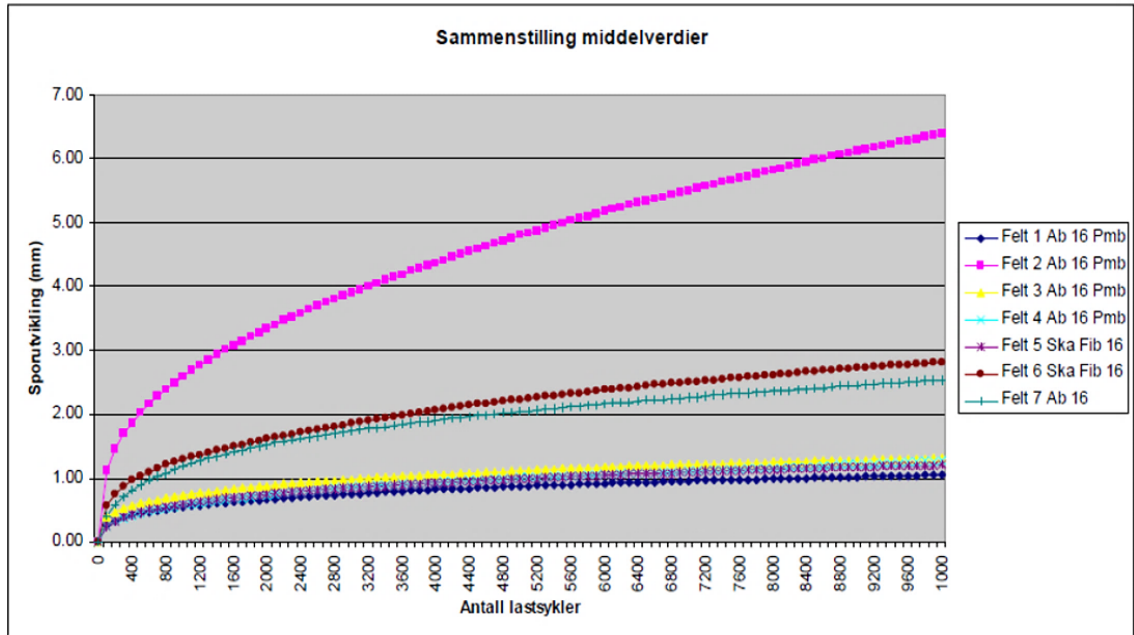


Kuva 4.11 Päällysteiden keskimääräiset urautumisnopeudet
(Statens vegvesen 2013, s. 9)

Pyöräurituskoekiden tulokset indikoivat siitä, että Ab-päällysteiden, joissa on käytetty polymeerimodifioitua bitumia sideaineena, deformaatiokestävyys on parempi kuin modifioimattoman päällysteen (koeosuus7) lukuun ottamatta koeosuudella 2 käytettyä asfalttimassaa, jonka huonot testitulokset johtuvat huonolaatuisesta kiviaineksesta. Kuvien 4.10 ja 4.11 tuloksissa on ristiriitaisuutta asfalttimassojen Ab ja Ska tulosten välillä. Kuvan 4.10 perusteella Ska:n deformaatiokestävyys on Ab-massaa parempi, mutta kuvan 4.11 tulosten perusteella tulokset ovat päinvastaisia. (Statens vegvesen 2013, s. 8)

Vuonna 2009 tehdyt laboratoriokeet

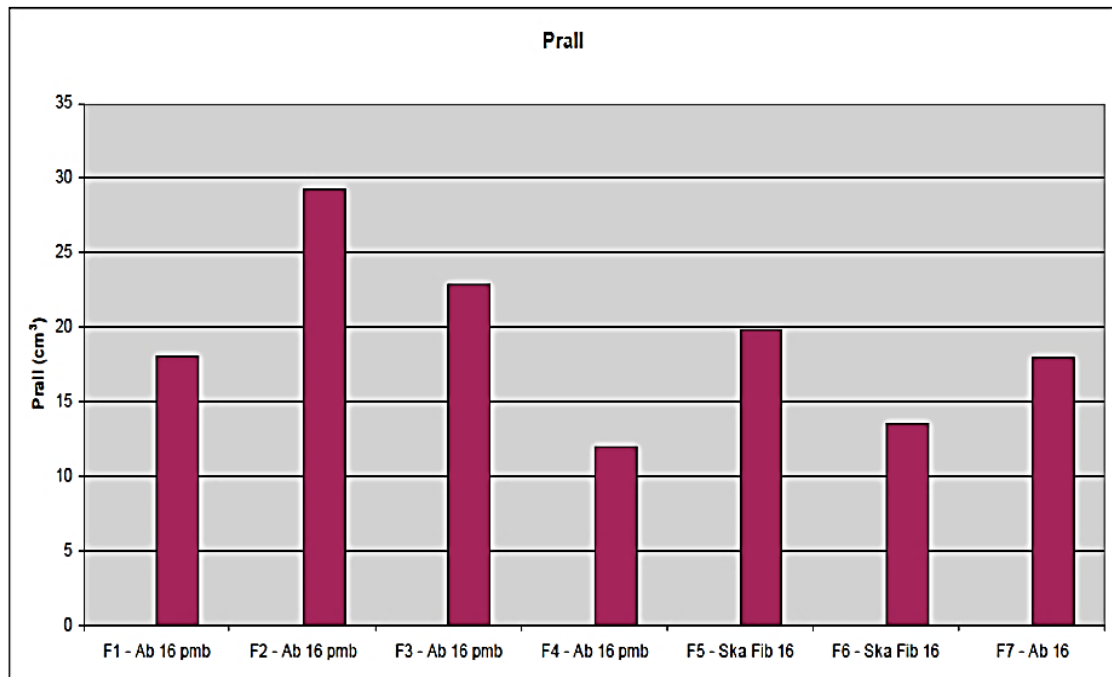
Koeosuuksilta otettiin päällystenäytteitä 2008 ja niistä testattiin deformaatiokestävyyttä sekä kulutuskestävyyttä 2009. Päällystenäytteille tehtiin pyöräurituskoet, NAT -koe sekä Prall -testi. Pyöräurituskoet tehtiin standardin NS-EN 12697-22 menetelmän B mukaisesti 50 °C lämpötilassa ja NAT -koe standardin NS-EN 12697-25 mukaisesti. (Statens vegvesen 2013, s. 10) Vuoden 2009 NAT -kokeen tuloksia ei käsitellä tässä työssä sen tarkemmin. Kuvassa 4.12 on kuvattu koeosuuksien asfalttimassojen pyöräurituskoekiden tuloksista lasketut päällysteiden keskimääräiset urautumisnopeudet. Urautumisnopeus on laskettu 1000 kuormitusyksiä kohden. Laskenta on tehty kuormitusyksiä väliltä 5000–10 000.



Kuva 4.12 Pyörärituskokeen tulokset (Statens vegvesen 2013, s. 11)

Kuvan 4.12 urautumisnopeuksista nähdään, että koeosuutta 2 lukuun ottamatta polymerimodifioitujen päällysteiden deformaatiokestävyydet ovat modifioimattomia päällysteitä paremmat. Koeosuuden 2 asfalttimassan kiviaines oli selkeästi muita osuuksia huonolaatuisempi, mikä selittää huonon deformaatiokestävyyden. Urautumisnopeustulokset ovat karkeasti samansuuntaisia kuin kuvassa 4.10 esitetyt pyörärituskokeen tulokset, vaikka asfalttimassojen keskinäinen järjestys on erilainen. (Statens vegvesen 2013, s. 10)

Vuonna 2009 päällystenäytteistä määritettiin deformaatiokestävyyden lisäksi nastarengaskulutuskestävyys Prall -kokeen avulla. Testaus suoritettiin standardin NS-EN 12697-16 mukaisesti. Kuvassa 4.13 on esitetty koeosueen osuuksien Prall -kokeen tulokset.



Kuva 4.13 Koeosuuskohtaiset Prall -kokeen tulokset (Statens vegvesen 2013, s. 13)

Myös Prall -kokeen tuloksista on nähtävissä PMB:n positiivinen vaikutus päällysteen nastarengaskulutuskestävyyteen lukuun ottamatta koeosuutta 2, jonka kiviaines oli selvästi muiden osuuskien kiviainesta huonolaatuisempi, eikä täytä näin vilkasliikenteisen tien päällystekiviainekselle asetettuja vaatimuksia. Kuvan 4.13 tuloksista nähdään myös kiviaineksen lujuuden korrelointi päällysteen nastarengaskulutuskestävyyden tuloksiin. Koeosuuden 2 kiviaines oli heikoin ja myös osuuden päällystenäytteet kuluivat Prall-kokeessa eniten. Koeosuuksien 4 ja 6 kiviaineksen kuulamylyarvo oli korkein (3,4), kuten myös osuuksilta porattujen päällystenäytteiden nastarengaskulutuskestävyysarvot. Vastaavasti koeosuuksien 1, 5 ja 7 asfalttimassoissa käytettiin samaa kiviainesta, jonka kuulamylyarvo oli 9,5 ja päällysteiden nastarengaskulutuskestävyysarvot olivat mittaustarkeus huomioon ottaen käytännössä samat.

Päätelmät

Kenttämittausten mukaan polymeerimodifioidun bitumin vaikutus AB-päällysteen deformaatiokestävyyteen on merkittävä ja samaa suuruusluokkaa kuin massatyyppin vaihtaminen SMA:ksi. Mittaukset osoittivat, että polymeerimodifioidun AB-päällysteen urautumisnopeus oli koetien seurantamittauksissa 40 % vertailupäällystettä pienempi. Lisäksi kenttätutkimustulokset indikoivat, että nastarengaskulutus oli tutkimuskohteella päällysteen suurin urautumisen aiheuttaja. Tutkimus osoitti, että asfalttimassoissa on tärkeää käyttää riittävän laadukkaita materiaaleja. Tutkimustuloksien perusteella arvioitiin myös, että mikäli PMB:a käytettäisiin kulutuskerroksen lisäksi myös sidekerroksessa, koko tierakenteen deformaatiokestävyys paranisi. (Statens vegvesen 2013, s. 16–17)

4.3 HMA-kuitu

4.3.1 Venäjä, M 18 Kuola

Kesällä 2011 Venäjälle valtatielle M 18 rakennettiin koekohde, jossa testattiin aramidi- ja polyamidikuiduilla modifioitua asfalttipäällystettä ja tuloksia verrattiin samalle tielle levitettyyn vertailupäällysteeseen. Kuitumodifioitu osuus sijaitsi paaluvälillä 233+545–234+550. Osuus oli 1 km pituinen ja 8 m levyinen. Vastaavasti noin 2 km pituinen vertailupäällysteosuus tehtiin paaluvälille 231+600–233+550. Päällysteet olivat lisäainetta lukuun ottamatta samanlaiset Venäjän standardin tyyppin A asfalttimassat. Kohteen asfalttimassoista, testausolosuhteista tai koekohteen alkuperäisen rakenteen vaurioista ei ole tietoa. (Pakhorenko 2012, s. 1)

Tulokset

Maaliskuussa 2012 tehdyssä silmämääräisessä tarkastelussa päällysteessä havaittiin poikittaisia pakkashalkeamia. Halkeamien lukumäärä ja esiintymistajuus vaihtelivat tieosuuksilla. Vertailupäällysteessä havaittiin noin 15 halkeamaa keskimäärin 45 m välein. Kuituvahvistetussa päällysteessä halkeamia esiintyi vähemmän. Ensimmäisen 300 m matkalla halkeamia havaittiin 5 kpl. Kuitumodifioidun päällysteen koeosuuden alkupuolella asfalttimassat ovat voineet sekoittua, mikä mahdollisesti vaikutti päällysteen halkeiluun. Vastaavasti 700 m pituisella loppuosalla, jolla käytettiin optimi sideainepitoisuutta, halkeamia ei havaittu lainkaan. Silmämääräisen tarkastelun perusteella kuitujen lisääminen paransi päällysteen halkeamiskestävyyttä. (Pakhorenko 2012, s. 1)

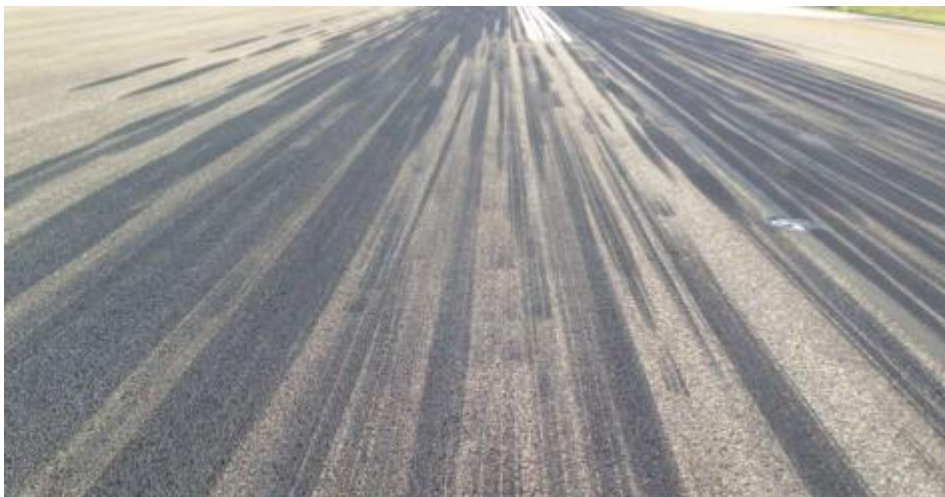
4.3.2 USA, Wyoming, Jackson Hole Airport -lentokenttä

Ennen lisäaineen testausta lumenauraus oli irrottanut Jackson Hole Airport -lentokentän kiitoradalla 1/19 päällysteen pinnasta kiviainesta. Lentokentän projektikuvauksen mukaan kiitoradalla ei ollut havaittu muita vaurioita. Lisäksi muun muassa kohteen suuret lämpötilavaihtelut, vuotuinen 15 m lumimäärä sekä kiitoradan korkeusasema asettivat päällysteelle erityisvaatimuksia, minkä vuoksi kohteella testattiin aramidi- ja polyamidikuiduilla vahvistettua päällystettä. Päällystystyö toteutettiin kesäkuussa 2009. (FOR-TA Corporation 2009)

Kuitumodifioidun päällysteen paksuus kohteessa oli 38 mm ja asfalttimassan nimellinen maksimiraekoko 19 mm (3/4 tuumaa). Asfalttimassan sideainepitoisuus oli 5 % ja sideaineena käytettiin PG (Performance Grade) 70–10. Projektissa päällysteen tyhjätilan vertailuarvona käytettiin 7 %.

Tulokset

Kohteen päällysteen kunto tarkistettiin 5 vuotta päällystämisen jälkeen. Tällöin päällysteessä ei havaittu huomattavia purkautumia, halkeamia, uria tai reikiä. Kuvassa 4.14 on esitetty koekohteena käytetty kiitorata 1/19 viisi vuotta päällystystyön jälkeen.



Kuva 4.14 Jackson Hole Airport -lentokentän kiitorata viisi vuotta päällystystyön jälkeen (FORTA Corporation 2009)

Ainoastaan kolmella pienellä alueella esiintyi päällysteen purkautumia, jotka olivat syntyneet ensimmäisen kuukauden aikana lentokoneiden terävistä laskeutumisista. (FORTA Corporation 2009)

4.4 Kumipuru/ -jauhe

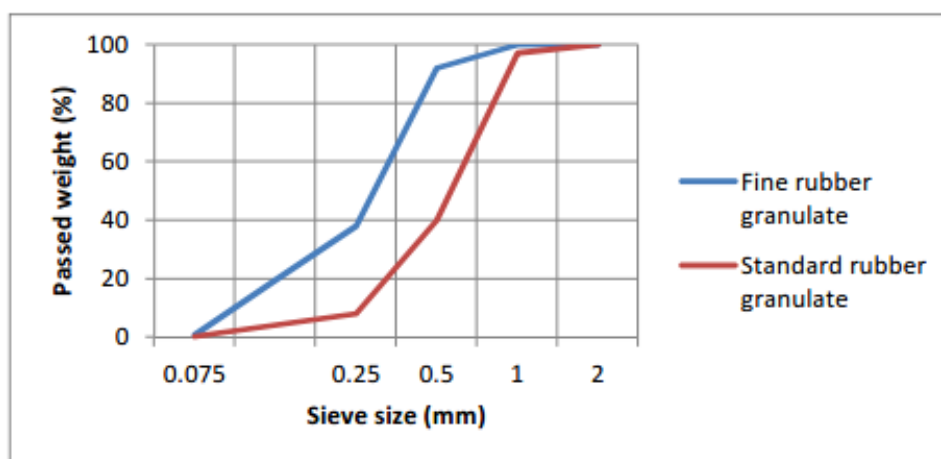
4.4.1 Ruotsi, E12 Storuman–Stensele

Kumipurua testattiin toukokuussa 2011 Pohjois-Ruotsissa valtatiellä E12. Koekohde koostui neljästä koeosuudesta, jotka sijaitsivat kahden pienen kunnan Storumanin ja Stenseleen alueella. Pohjois-Ruotsissa suurimmiksi haasteiksi on muodostunut maaperän liikkeiden, kuten routanousun aiheuttamat vauriot päällysteessä sekä lämpötilavaihteluista aiheutuva halkeilu. Pohjois-Ruotsissa liikennemäärät ovat melko pieniä, joten päällysteen ikääntyminen on tärkeämpi päällysteen ominaisuus kuin kuormitus- ja kulumiskestävyys. (Nordgren & Tykesson 2011, s. 2) Koekohteella liikennemäärä Storumanin läpi on noin 1500 ajoneuvoa/vrk, josta 100 on raskaita ajoneuvoja ja Stenseleen läpi noin 2200 ajoneuvoa/vrk, mistä raskaan liikenteen osuus noin 160 ajoneuvoa/vrk. Ilmoitetut lukuarvot ovat molempien kaistojen yhteenlasketut liikennemäärät. Projektin tavoitteena oli arvioida, voidaanko kumipurun avulla päällysteen joustavuutta kasvattaa ja pidentää sen käyttöikä. Pohjois-Ruotsin koetie oli osa ”Swedish Asphalt Rubber

Development” -projektia, jossa tutkittiin erilaisia kumipuruja eri puolilla Ruotsia vuodesta 2007 lähtien. Projektin tavoitteina oli muun muassa alentaa vuosikustannuksia, vähentää rengasmelua sekä parantaa liikenneturvallisuutta kasvattamalla pyörän ja päällysteen välistä kitkaa. (Nordgren & Tykesson 2011, s. 2–4)

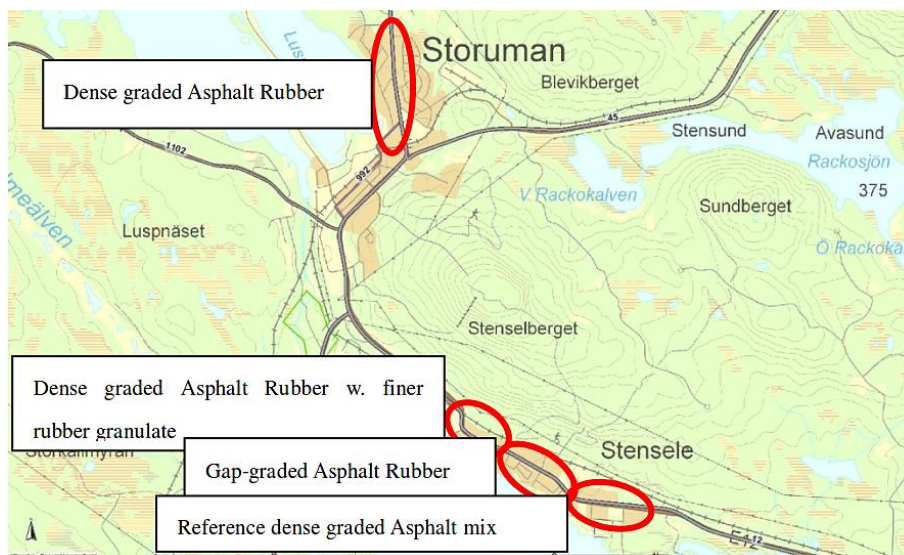
Koekohteella päällysteessä oli 13 mm ura, mutta se ei kuitenkaan ollut uudelleen päällystämisen pääasiallinen syy. Kohteen suurimmat ongelmat olivat laaja-alainen halkeilu sekä tien pinnan suuri epätasaisuus. (Nordgren & Tykesson 2011, s. 4–5)

Kohteella testattiin erilaisia päällysteitä. Kohteella testattiin kahta ABT-massaa, joihin oli lisätty rakeisuudeltaan erilaisia kumipuruja. Toinen kumigranulaatti oli karkeampi (standardi) ja toinen hienorakeinen. Kuvassa 4.15 on esitetty molempien kumipurujen rakeisuuskäyrät. ABT -massa vastaa Suomessa käytettävää AB-asfalttimassaa (Häkli 2015).



Kuva 4.15 Kumipurujen rakeisuuskäyrät (Nordgren & Tykesson 2011, s. 7)

Kuvasta 4.15 havaitaan, että sinisellä esitetty hienompi kumipuru on selkeästi standardi kumipurua hienojakoisempaa. Kolmas koekohteella testattava päällystetyyppi oli GAP 16. Referenssipäällysteenä koekohteella käytettiin ABT 16 -massaa. Kuvassa 4.16 on esitetty koeosuuksien sijainnit kartalla.



Kuva 4.16 Koeosuuksien sijainnit (Nordgren & Tykesson 2011, s. 5)

Kaikissa massoissa runkokiviaineksen maksimi raekoko oli 16 mm ja sideaineena käytettiin pehmeää bitumia B160/220. Asfalttimassaan lisättiin Wetfix AP 17-tartuketta (0,4 % sideaineen massasta). Koeosuuksien asfalttimassojen kumi- sekä sideainepitoisuuksissa oli eroja. Taulukossa 4.5 on kuvattu testattujen asfalttimassojen sideaine- ja kumipurupitoisuudet sekä asfalttimassojen tyhjätilat. Kumipurun osuus on ilmoitettu suhteessa sideaineen määrään.

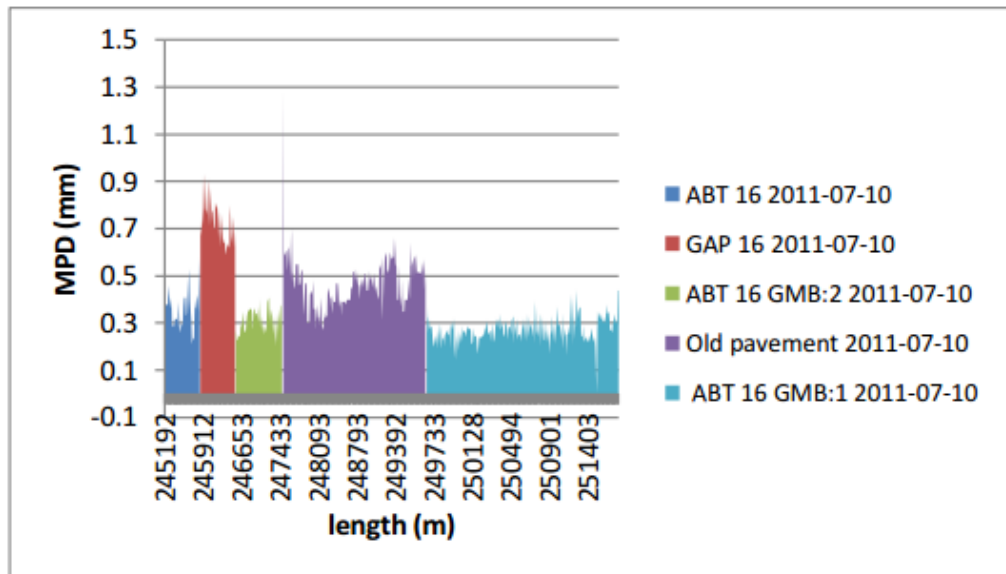
Taulukko 4.5 Asfalttimassojen sideaine- ja kumipurupitoisuudet sekä tyhjätilat (Nordgren & Tykesson 2011, s. 6)

	ABT 16	ABT 16 GMB:1	ABT 16 GMB:2	GAP 16
Sideainepitoisuus [paino-%]	6,0	8,1	7,3	8,8
Kumipitoisuus [paino-%]	0,0	17,0	15,0	17,0
Marshall tyhjätila [tilavuus-%]	2,5	2,0	2,2	3,0

Taulukossa 4.5 esiintyvä merkintä GMB:1 tarkoittaa, että asfalttimassassa lisäaineena käytettiin karkeampaa kumipurua ja merkintä GMB:2, että asfalttimassan lisäaine oli hienojakoisempi.

Tulokset

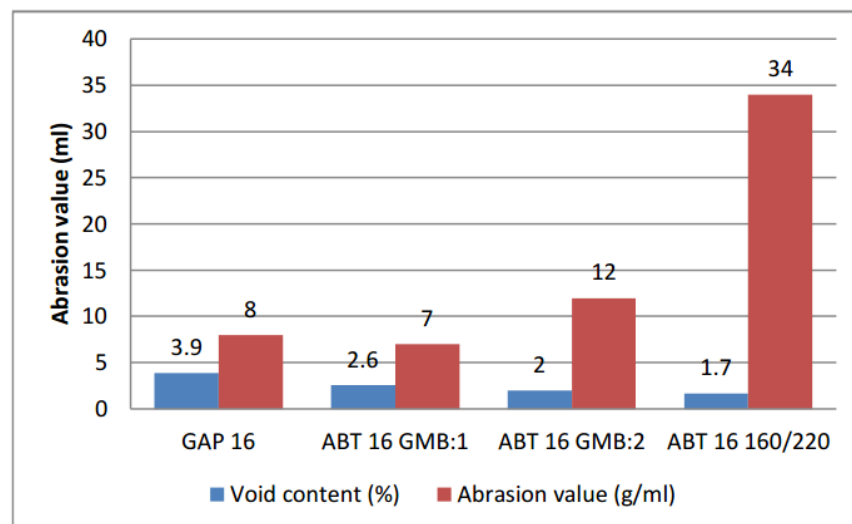
Kuukauden ikäisten päällysteiden keskimääräinen urasyvyys mitattiin autoon kiinnitetyn lasermittarin avulla. Kuvassa 4.17 on kuvattu tien pinnan karkeutta kuvaavan MPD-arvojen (Mean Profile Depth) mittaustulokset. Kuvassa vaaka-akselilla esiintyy koeosuuksien pituusprofiili paalulukemina.



Kuva 4.17 Koeosuuksien MPD -arvot (Nordgren & Tykesson 2011, s. 11)

Kuva 4.17 tulosten perusteella tien pinnan epätasaisuus oli suurinta vanhan päällysteen ja GAP 16 -päällysteen tapauksissa. Vastaavasti päällysteet, joihin oli lisätty kumipurua, olivat hyvin tasaisia. Karkean kumipurun päällysteen tulos oli paras.

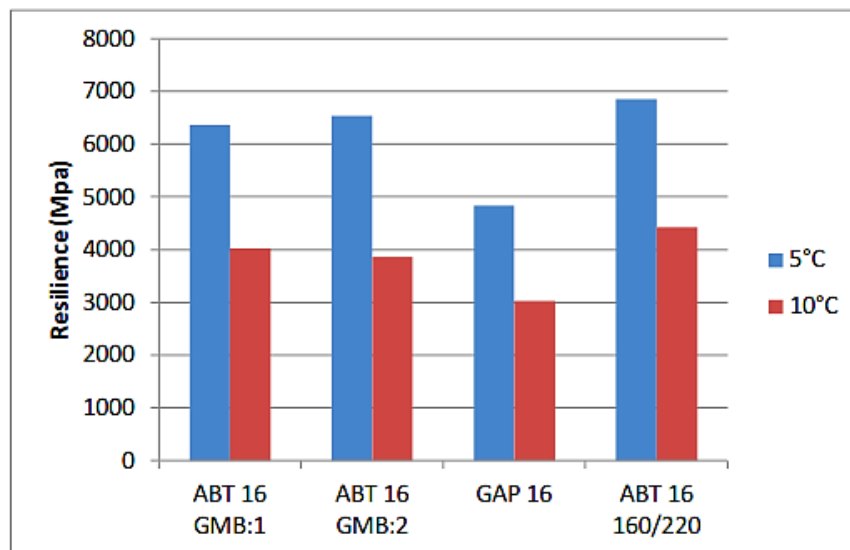
Päällysteiden toiminnallisista ominaisuuksista koekohteen päällysteistä tutkittiin nastarengaskulutuskestävyys Prall -testin avulla standardin SS-EN 12697-16 mukaisesti ja jäykkyysmoduuli standardin ASTM D7369 mukaisesti. Kuvassa 4.18 on esitetty päällysteiden nastarengaskulutuskestävyytulokset.



Kuva 4.18 Prall -kokeen tulokset (Nordgren & Tykesson 2011, s. 12)

Kuvassa 4.18 esitettyjen päällystenäytteiden Prall -tulosten perusteella kumipäällysteet kestivät kulutusta noin kolmin-nelinkertaisesti vertailupäällystettä ABT 16 paremmin. (Nordgren & Tykesson 2011, s. 11–12) Jäykkyysmoduulit määritettiin 5 °C ja 10 °C

lämpötiloissa epäsuoran vetolujuuden avulla. Kuvassa 4.19 on kuvattu tutkimustulokset eri lämpötiloissa.



Kuva 4.19 Asfalttipäällysteiden jäykkyyshmoduulit (Nordgren & Tykesson 2011, s. 13)

Kuvasta 4.19 nähdään, että 5 °C lämpötilassa määritetyt moduulien arvot vaihtelivat likimain 4800 MPa ja 6800 MPa välillä ja 10 °C lämpötilassa testatut arvot 3000 MPa ja 4400 MPa välillä. Molemmissa testauksissa asfalttipäällysteiden moduularvot noudattivat likimain samaa järjestystä. GAP -päällysteen resilienssi-moduulit olivat pienimmät ja referenssipäällysteen ABT 16 suurimmat. Kumimodifioitujen päällysteiden resilienssi-moduulit olivat kummassakin testauksessa edellä esitettyjen päällysteiden moduulien välillä, eikä moduuleissa ollut juurikaan keskinäistä eroa.

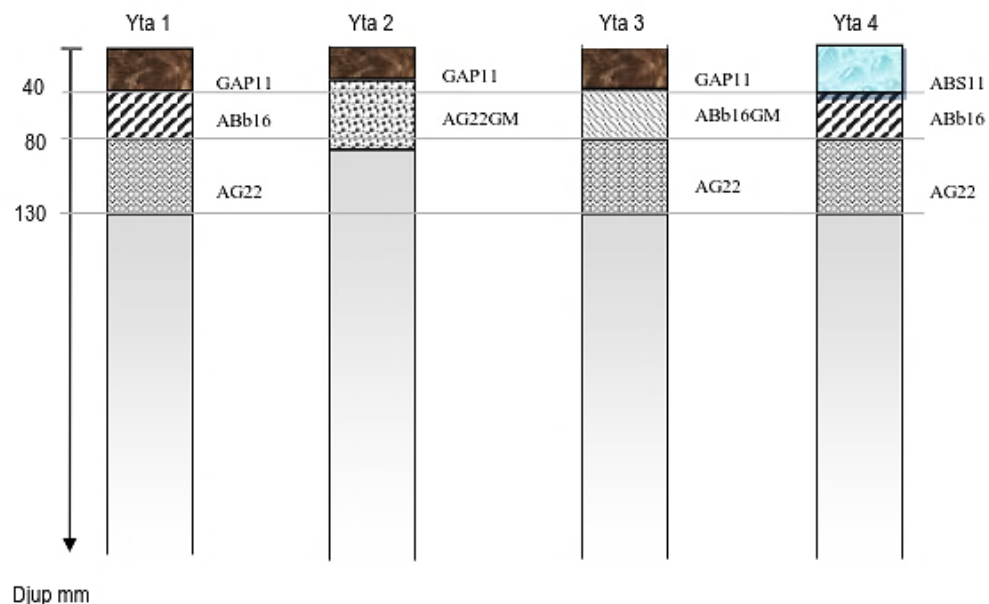
4.4.2 Ruotsi, Vänersborg, Ragn–Sells

Projektin tavoitteena oli arvioida kumiasfaltin etuja erilaisissa tierungon kerroksissa erityisesti teknisen käyttönsä näkökulmasta. Koekohteet toteutettiin Vänersborgin läheisyydessä Ragn–Sells Heljestorpiin johtavalle tielle syksyllä 2011. Koekohteet koostuvat erilaisista rakenteista ja asfalttimassoista. Mittauksia tehtiin sekä koekohteella että laboratoriossa vuonna 2012. Kenttämittauksilla mitattiin päällystekerrosten väsymistä ja ne tehtiin sidottujen rakennekerrosten alapintaan asennettujen venymäliuskojen avulla. Vastaavasti laboratoriokokeet tehtiin koeosuuksilta poratuille päällystenäytteille. Laboratoriossa määritettiin eri kerrosten jäykkyyshmoduulit, kerrospaksuudet sekä tyhjätilat. Näiden tutkimusten lisäksi koeosuuksilla tehtiin pudotuspainolaitteella koeuormituksia. Tutkimustuloksista tässä työssä käsitellään vain rakennekerrosten keskimääräiset jäykkyyshmoduulit sekä pudotuspainolaitteen koeuormitusdatasta edelleen lasketut tulokset. Koeosuudet 1 ja 2 kuormittuvat tyhjällä kuorma-autoliikenteellä ja osuudet 3 ja 4 tehtaalla lastatuilla kuorma-autoilla. Tämä tulee ottaa huomioon tulkittaessa kohteen

pudotuspainolaitemittausten tuloksissa. VTI teki Ruotsin liikenneviraston (Trafikverket) toimeenpanemat tutkimukset. Asfalttituotannon valvoi sekä näytteet otti Peab.

Kohteessa oli neljä koeosuutta, jotka olivat n. 40–60 m pituisia. Osuuksilla 1–3 sijaitsi testirakenteet ja rakenne 4 oli vertailurakenne. Koekohteen tierakenteet vaihtelivat hyvin paljon. Kohteen vertailurakenne koostui kulutuskerroksesta, sidekerroksesta sekä sidotusta kantavasta kerroksesta. Kulutuskerros oli ABS11 -asfalttimassaa, jonka sideaineena käytettiin B70/100 bitumia. Sidekerros oli ABb:ta, jonka sideaineena käytettiin samaa bitumia kuin kulutuskerroksessa. Vastaavasti sidotun kantavan kerroksen asfalttimassa oli tyyppiä AG22 ja sideaine oli pehmeämpää B160/220 luokan bitumia. (Said et al. 2014, s. 8)

Kaikkien testattavien tierakenteiden kulutuskerrokset olivat GAP 11 -massaa. Rakenteiden 1 ja 4 sidekerroksena on ABb16 -asfalttimassa B70/100 -luokan bitumi ja rakenteen 3 kumimodifioitu bitumi (ABb 16 GMB). Rakenteessa 2 ei ollut sidekerrosta. Rakenteiden 1, 3 ja 4 kantavat kerrokset olivat perinteistä AG22 -asfalttimassaa, joiden sideaineena käytettiin B160/220 bitumia. Rakenteen 2 kantava kerros oli kumimodifioitu (AG22 GMB). Asfalttimassan sideaine oli B160/220 bitumia, johon sekoitettiin noin 17 % 0–1 mm kumigranulaatteja. (Said et al. 2014, s. 8) Vertailupäällysteen asfalttityyppi ABS vastaa Suomessa käytettyä SMA:ta. Vastaavasti AG vastaa Suomen ABK:ta eli kantavassa kerroksessa käytettyä asfalttikonkrettimassaa. (Häkli 2015) Kuvassa 4.20 on kuvattu koekohteen suunnitellut tierakenteet. Kuvasta on luettavissa myös rakennekerroksien paksuudet ja asfalttityypit.



Kuva 4.20 Koeosuuksien tierakenteet (Said et al. 2014, s. 11)

Kuvasta 4.20 nähdään, että testattavien rakenteiden suunniteltu kulutuskerroksen paksuus oli 40 mm, lukuun ottamatta rakennetta 2, jonka kulutuskerroksen paksuus oli 35 mm. Kantavat kerrokset olivat kaikissa rakenteissa 50 mm paksuisia.

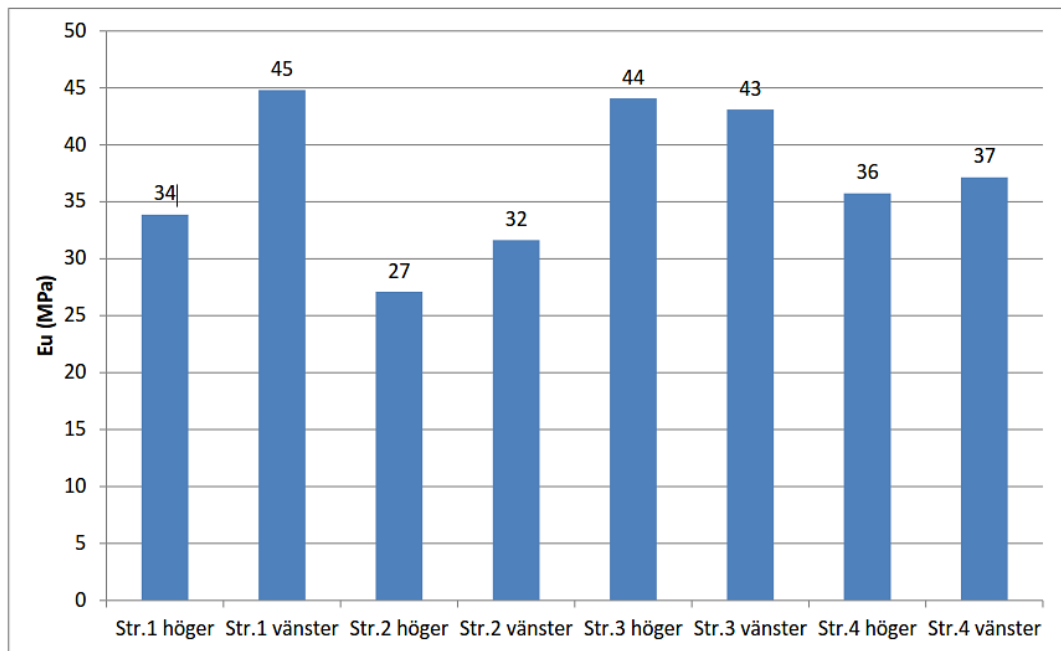
Koerakenteen 2 kumimodifioidun kantavan kerroksen (AG 22 GMB) suunniteltu sideainepitoisuus oli 6,8 % ja rakenteen 3 kumimodifioidun sidekerroksen (ABb 16 GMB) suunniteltu sideainepitoisuus 6,4 %. Kuitenkin kumimodifioitujen rakennekerrosten todelliset sideainepitoisuudet olivat noin 1,5 % suunniteltua pitoisuutta suurempia asfalttimassojen valmistuksessa tapahtuneen virheen takia. GAP 11 kulutuskerroksen suunniteltu sideainepitoisuus oli 8,3 %.

Tulokset

Kulutuskerroksen suurimmat jäykkyysmoduulit olivat rakenteessa 4 (ABS11 70/100). Jäykkyysmoduuli oli 7300 MPa luokkaa 10 °C lämpötilassa ja 5000 MPa luokkaa 15 °C lämpötilassa. Muiden rakenteiden jäykkyysmoduulit olivat 3000 MPa:n luokkaa 15 °C lämpötilassa. Vastaavasti 10 °C lämpötilassa rakenteen 2 moduuli oli likimain 5000 MPa ja rakenteiden 1 ja 3 noin 4500 MPa. (Said et al. 2014, s.16)

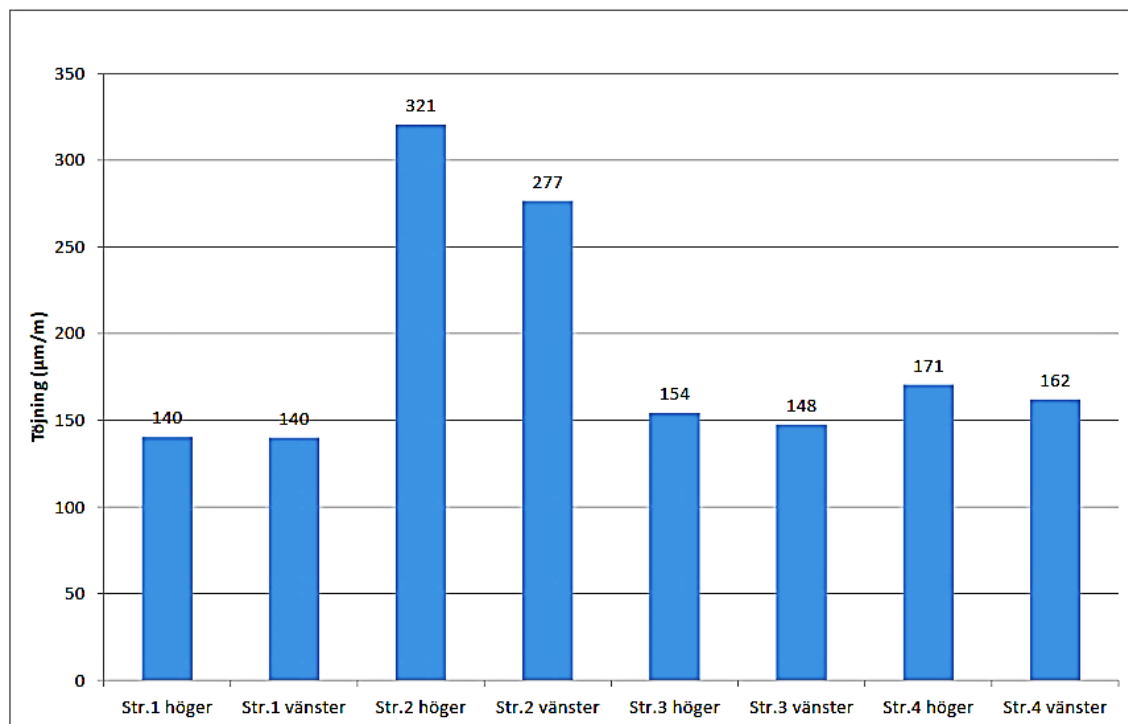
Rakenteiden 1 ja 4 sidekerroksen (ABb16 70/100) jäykkyysmoduulit olivat suurimmat. 10 °C lämpötilassa testatut moduulit olivat likimain 8000 MPa ja 15 °C lämpötilassa testatut 5700 MPa. Kumimodifioidun sidekerroksen moduulit olivat merkittävästi muiden sidosrakenteiden moduuliarvoja pienemmät: 10 °C lämpötilassa jäykkyysmoduuli oli likimain 6100 MPa ja 15 °C lämpötilassa 4200 MPa. Tästä huolimatta kumimodifioidun kerroksen stabiliteetin odotetaan olevan parempi kuin vertailumassan. Kantavan kerroksen rakenteiden jäykkyysmoduulit olivat suurin piirtein samaa luokkaa: 10 °C lämpötilassa 5000 MPa luokkaa ja 15 °C lämpötilassa hieman yli 3000 MPa. (Said et al. 2014, s.17)

Pudotuspainolaitemittauksia tehtiin KUAB -tyypin kuormituslaitteella kahdella mittauslinjalla ajourien kohdilta. Mittauksia tehtiin jokaisella koeosuuksilla 16–22 riippuen osuuden pituudesta. Mittauksissa käytettiin 50 kN kuormitusta, joka vastaa noin 10 t standardiakselipainoa. Pudotuspainolaitemittausten tuloksista laskettiin menetelmäkuvausten TRVMB 114 mukaan kaksi eri kantavuusarvoa: pohjamaan jäykkyysmoduuli sekä päällysteen venymä, joista jälkimmäisestä on edelleen laskettu rakenteen kantavuusindeksi. Päällysteiden eri lämpötilojen huomioimiseksi kantavuusindeksi laskettiin referenssilämpötilassa 10 °C lämpötilassa. (Said et al. 2014, s. 21–22) Kuvassa 4.21 on esitetty kuormitusmittauksista lasketut koeosuuksien pohjamaan keskimääräiset jäykkyysmoduulit. Mittaussuunta noudatti tien liikennevirran pääsuuntaa: osuuksilla 1 ja 2 suunta on länteen ja osuuksilla 3 ja 4 itään.



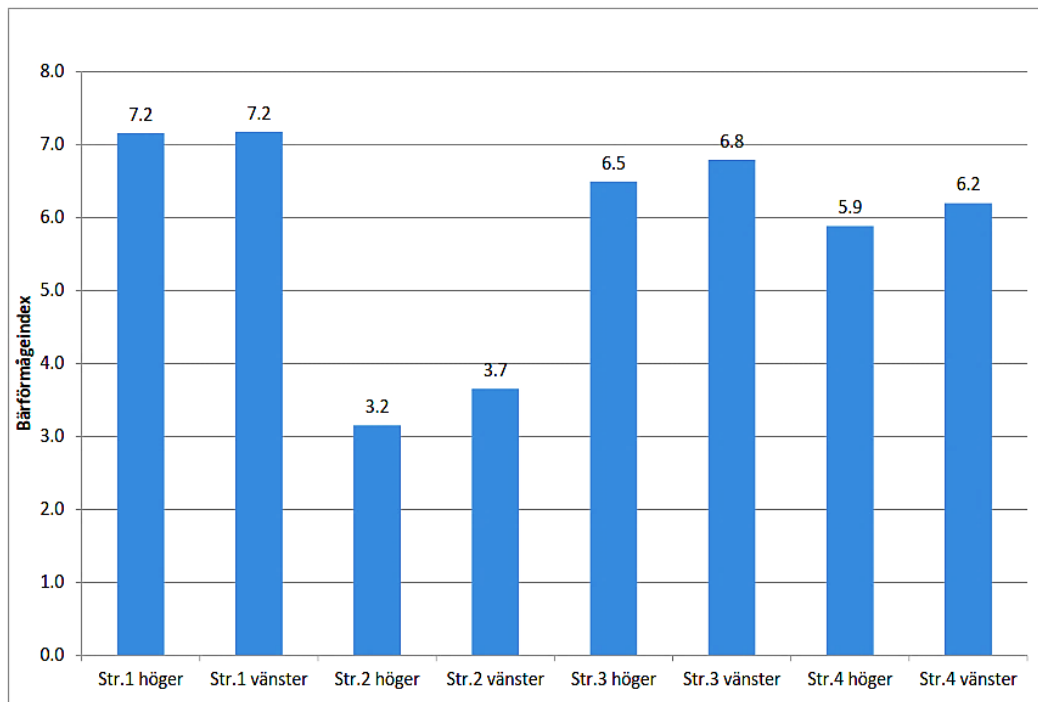
Kuva 4.21 Koeosuuksien pohjamaan keskimääräiset jäykkyyshmoduulit
(Said et al. 2014, s.22)

Kuvan 4.21 tuloksista nähdään, että pohjamaan keskimääräiset jäykkyyshmoduulit olivat koeosuuksilla suhteellisen alhaisia. Pohjaveden korkean tason arvioitiin olevan osasy jäykkyyshmoduulien alhaiseen tasoon. (Said et al. 2014, s. 23) Kuvassa 4.22 on esitetty koeosuuksien päällysteiden venymien keskiarvot.



Kuva 4.22 Koeosuuksien päällysrakenteiden keskimääräiset venymät
(Said et al. 2014, s.24)

Kuten kuvasta 4.22 nähdään, koeosuuden 2 venymät eroavat muiden osuuksien keskimääräisistä venymistä aika paljon. Koeosuuksien 1, 3 ja 4 venymien suuruusluokka on alle 200 $\mu\text{m}/\text{m}$, mikä viittaa rakenteen hyvään kantavuuteen. Vastaavasti koeosuuden 2 rakenteen venymät vaihtelivat 280–320 $\mu\text{m}/\text{m}$. Nämä asettavat kumimodifioidulle kantavan kerroksen väsymiskestävyydelle suurten kuormitusten tapauksessa suuria vaatimuksia. (Said et al. 2014, s.23) Kuvassa 4.23 on esitetty koeosuuksien keskimääräiset kantavuusindeksit 10 °C referenssilämpötilassa.



Kuva 4.23 Koeosuuksien keskimääräiset kantavuusindeksit (Said et al. 2014, s. 25)

Kuten kuvasta 4.23 huomataan, rakenteen 2 kantavuusindeksit ovat selkeästi muiden rakenteiden indeksejä pienemmät raskaan kuormituksen tapauksessa. Käyttöiässä mitattuna tämä tarkoittaisi pudotuspainolaitteen menetelmäkuvauksen TRVMB 114 mukaan, että rakenne 2 kestäisi noin miljoona standardiakselien ylitystä, kun taas muut rakenteet kestäisivät noin 9 miljoonaa. (Said et al. 2014, s.24)

Tuloksien tulkinnassa tulee ottaa huomioon, että kumimodifioidun rakennekerrosten sideainepitoisuus on noin 1,5 % suunniteltua pitoisuutta suurempi. Lisäksi rakenteen 1 rakennekerrokset olivat hieman suunniteltuja paksumpia ja rakenteen 2 kulutuskerros paksumpi ja vastaavasti kantava kerros hieman ohuempi.

Yhteenveto kohteen tutkimustuloksista

Pudotuspainolaitteen mittaustuloksista lasketut venymät ja kantavuusindeksit indikoivat, että kumiasfaltin käyttöikä voi olla perinteistä asfalttia lyhyempi. Päällystenäytteiden väsymismittauksien mukaan kumiasfaltin alapinnan venymät olivat kuitenkin ylei-

sesti pienempiä kuin vertailupäällysteen, mikä luultavasti johtaa rakenteen pidempään käyttöikänsä. (Said et al. 2014, s. 34)

4.5 Elastomeeripelletti

4.5.1 Viro

Laboratoriossa testattiin AC 12 -massaa, jonka sideaineena käytettiin B 70/100 -luokan bitumia. Bitumipitoisuus asfalttimassassa oli 5,8 % ja massaan lisätyn lisäaineen pitoisuus 0,5 %. Vertailupäällysteenä kohteessa käytettiin AC 12 -asfalttimassaa samaisella bitumilla. Testattavat asfalttimassat oli valmistettu Viron normien mukaisesti. AC on EN-standardien mukainen nimi AB-massalle. (Teede Tehnokeskus)

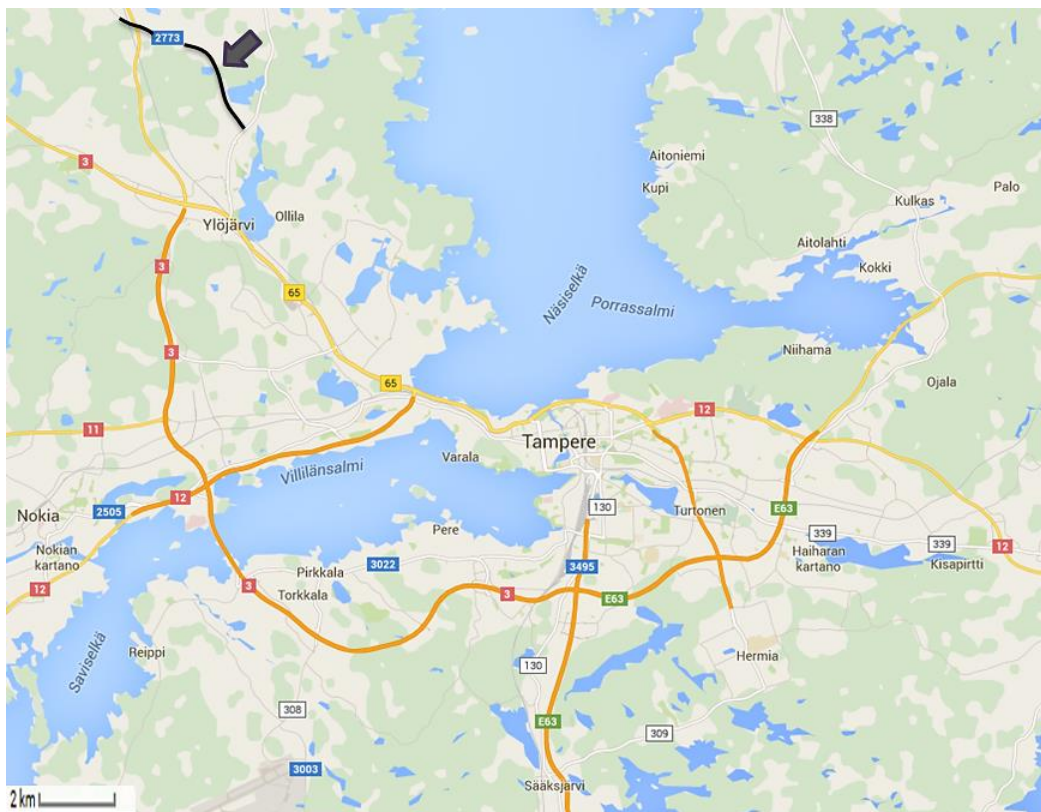
Tulokset

Päällysteille tehtiin pyöräurituskoee (Wheel Tracking), epäsuora vetolujuuskoee sekä Marshall-koee, jonka avulla määritettiin päällysteiden stabiilisuus. Tutkimuksissa selvisi, että elastomeeripelletin 0,5 % lisääminen kasvatti päällysteen vetolujuutta noin 25 % ja stabiiliteettia (puristuslujuutta) noin 15 %. Pyöräurituskoeeessa 40 mm paksuiselle asfalttilaatalle tehtiin 20 000 ylitystä 50 °C lämpötilassa. Testissä havaittiin, että VIATOP plus FEP:n lisääminen vähensi urautumista 6,4 mm:stä 3,6 mm:iin eli melkein puoleen. Tämä tarkoittaa, että päällysteen suhteellinen urautuminen pieneni 16 %:sta 9 %:iin. (Teede Tehnokeskus)

5. KOEKOHDE

5.1 Yleisesittely

Koekohde sijaitsee Viljakkalantiellä (Mt 2773) Ylöjärvellä tierekisteriosoitevälillä 2773/4/6505–5/4415. Koetien osuus tieosalla 4 on n. 430 m pituinen, eli koetien kokonaispituus on n. 4,845 km. Tien keskimääräinen leveys tierekisterin tietojen mukaan on 6,6 m ja kaistan leveys 3,3 m (sis. 0,5 m pientareen). Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) kohteella on pääosin 1723 (62) lukuun ottamatta tielle 65 johtavan rampin jälkeistä lyhyttä tieosuutta, jonka KVL on 1786 (70). Sulkeissa ilmoitettu luku on raskaan liikenteen lukumäärä. KVL:n mukaan tie luokitellaan vähäliikenteiseksi tieksi. Kuvassa 5.1 on esitetty koekohteen sijainti kartalla. Kohde sijaitsee Ylöjärven keskustan pohjoispuolella ja kulkee Viisajärven ja Veittijärven ohitse kuvan mukaisesti. Koetie on merkitty karttaan mustalla viivalla.



Kuva 5.1 Koekohteen sijainti

Tierekisteritietojen mukaan koekohteella on kolme eri nopeusrajoitusalueutta. Taulukossa 5.1 on kuvattu koetien nopeusrajoitusalueet tierekisteriosoitteiden mukaan.

Taulukko 5.1 Koetien nopeusrajoitusalueet (Liikennevirasto, Tierekisteri)

Tie	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Nopeusrajoitus [km/h]
2773	4	6505	5	195	80
2773	5	195	5	3353	60
2773	5	3353	5	4415	50

Kantavuusmittaukset

Tierekisterin mukaan kohteella on tehty pudotuspainolaitemittauksia, joiden avulla on saatu tietoa väylän kantavuudesta. Pudotuspainolaite (PPL) simuloi liikenteen aiheuttamia dynaamisia kuormituksia tierakenteessa. Laitteella mitataan tiehen kohdistuva voima ja voiman aiheuttama taipuma. (Spoof & Petäjä 2000, s. 4)

Kuormituksen aiheuttaman taipumasuppilon perusteella voidaan arvioida tien rakennekerrosten ominaisuuksia. Pudotuspainolaitteella mitatusta taipumasuppilosta voidaan takaisinlaskea tierakenteen käyttäytymistä kuvaavat numeeriset tunnusluvut: SCI (Surface Curvature Index) ja BCI (Base Curvature Index), joista SCI kuvaa päällysrakenteen yläosan ja BCI pohjamaan käyttäytymistä. Liitteessä 1 on esitetty tierekisteristä kootut kohteella tieosalla 5 tehtyjen pudotuspainolaitemittausten tulokset sekä taipuma-arvoista edelleen lasketut SCI- ja BCI -parametrit sekä pohjamaan E-moduulit. Mittaukset on tehty tieosalla 5 keskimäärin 100 m välein. Parametreista SCI on mittausosuuden toiseksi suurin taipumien D0–D200 erotus ja BCI mittausosuuden toiseksi suurin taipumien D900–D1200 erotus. Molempien suureiden yksikkö on 0,001 mm. Kantavuusarvojen vertailtavuuden helpottamiseksi alla olevassa taulukossa 5.3 on esitetty SCI- ja BCI -arvojen karkea luokittelu.

Taulukko 5.2 SCI- ja BCI -arvojen luokittelu (Saarenketo 2014)

SCI 200		BCI 1200	
< 150	hyvä	< 20	hyvä
> 250	huono	> 40	ongelmia
> 400	erittäin huono	> 60	huono
		> 100	erittäin huono

Taulukossa 5.2 SCI- ja BCI -parametrien jäljessä esiintyvät luvut kuvaavat mittauspisteen etäisyyttä pudotuspainolaitteesta (kuormituspisteestä). Liitteen 1 pohjamaan kantavuusarvojen mukaan tieosan 5 keskimääräiset kantavuusarvot ovat pääosin melko hyvällä tasolla lukuun ottamatta muutamaa heikompa osuutta.

Tiehallinnon julkaisussa ”Tierakenteen suunnittelu” (2004, s. 35) on esitetty alusrakenteen luokittelu sekä arvio sen routivuudesta E-moduulin arvon mukaan. Maaperäkartassa esitettyjen arvioitujen maalajien ja tieosuuksien E-moduulien perusteella voidaan arvioida pohjamaan routivuutta.

Pohjaolosuhteet

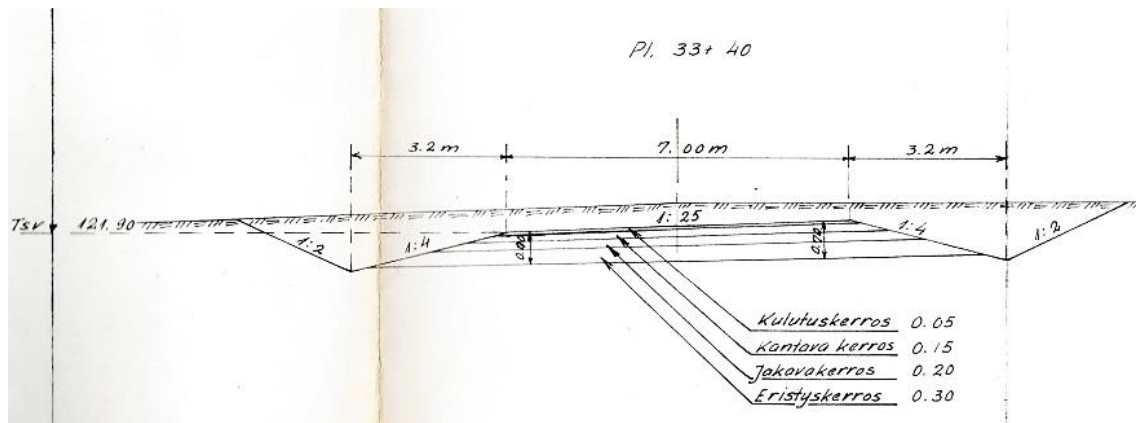
Koekohteen pohjaolosuhteista oli saatavissa hyvin vähän tietoa. GTK:n (Geologian tutkimuskeskus) tietokannoista oli saatavissa maaperäkartta sekä kairaustuloksia muutamalta osuudelta. Maaperäkartan perusteella voidaan sanoa, että koekohteen pohjaolosuhteet ovat melko heterogeeniset. Koekohteen alkuosalla Viisajärvelle asti paria lyhyttä osuutta lukuun ottamatta tie kulkee savikon päällä, jonka paksuus vaihtelee 0,5–5 m välillä. Osuudella esiintyy lyhyt kallioloikkaus likimain tieosalla 5 paaluvälillä 400–600 ja moreeniosuus paaluvälillä 1850–2400. Koekohteen loppuosalla tie kulkee pääosin kantavamman moreenin päällä. Ainoana poikkeuksena on aivan tien lopussa Kauraslammien kohdalla sijaitseva liejuisuus. Keskimääräinen liejukerroksen paksuus osuudella on maaperäkartan mukaan 3 m. Koekohteen pohjaolosuhteet (pintamaan osalta) on nähtävissä tarkemmin liitteen 2 maaperäkartasta. Karttaan on merkitty kairauspisteet ja geologin arvioimat pintamaan kerrospaksuudet. Kairauspiste on esitetty kartassa kairausmenetelmän symbolilla ja kairauspisteen numerolla.

Maaperäkartan lisäksi GTK:n (geologian tutkimuskeskus) pohjatutkimustietorekisterin mukaan kohteella on tehty erilaisia kairauksia kolmella osuudella: Rautatie- ja maantien 65 siltojen kohdalla (2773/4/6930 ja 2773/5/195) sekä jälkimmäisen Vastamäentien ja Lukukorventien liittymän välillä likimain tierekisteriosoitevälillä 2773/5/2400–2800. Siltojen kohdilla tehdyt kairaukset ovat painokairauksia ja jälkimmäisellä osalla tehdyt porakone- ja puristinheijarikairauksia. Koska kohteen pohjaolosuhteet ovat hyvin vaihtelevat, ei kairauksen perusteella voida arvioida koko tutkimusalueen pohjasuhteita. Kairaustulokset tukevat kuitenkin tutkituilta osin alueelta laadittua maaperäkarttaa.

5.2 Alkuperäinen rakenne ja sen kunto

Koekohteen tierakenne

Ennen koekohteen rakentamista olemassa oleva tierakenne kartoitettiin. Kohteen tierekisteriosoiteväliltä ei ollut saatavissa tierakennetietoja. Lähimmät tierakennetiedot olivat Viljakkalantieltä likimain tierekisteriosoiteväliltä 2773/4/6000–6200. Tiedot ovat maakunta-arkistosta tielle tehdyn parannushankkeen tiesuunnitelmakansiosta vuodelta 1968, jolloin tie oli vielä öljysoratie. Kuvassa 5.2 on kuvattu kohteen tyyppipoikkileikkaus, josta on luettavissa parannushankkeen aikaiset koekohteen tien rakennekerrokset ja niiden kerrospaksuudet. Kuvassa merkintä TSV tarkoittaa tien tasausviivaa ja merkinnällä Pl. on kuvattu poikkileikkauksen sijainti parannushankkeen paalujärjestelmässä.



Kuva 5.2 Koekohteen tierakenteen tyyppipoikkileikkaus vuoden 1968 parantamissuunnitelman mukaisesti

Kohteen maatumkatuloksista määritettyjen tierakenteen kerrospaksuuksien perusteella kohteen alkuperäinen tierakenne on ollut hyvin kuvan 5.2 rakenteen kaltainen.

Päällystystöiden jälkeen kohteelta poratuista päällystenäytteistä mitattiin jokaisen päällystekerrosten kerrospaksuudet, joista saatiin viitteitä aiempienkin päällystekerrosten paksuuksista.

Mittaustulosten perusteella voitiin arvioida melko luotettavasti kolmen aiemman päällystekerroksen likimääräisiä paksuuksia. Ylin kerros oli keskimäärin 40 mm paksuinen ja sen vaihteluväli oli 20–80 mm. Seuraava kerros oli keskimäärin 45 mm ja sen vaihteluväli oli 20–70 mm ja kolmas kerros oli keskimäärin 40 mm paksuinen ja sen vaihteluväli oli 20–80 mm.

Tierekisterin mukaan kohteella on tehty päällystystöitä eri aikoina eri osissa. Taulukoissa 5.3–5.5 on esitetty tierekisteristä kerätyt tiedot kohteen päällystyshistoriasta. Taulukoissa on tiedot kohteen päällystetyypistä, työmenetelmästä sekä päällystysvuosista tierekisteriosoitteineen. Tieräkisterissä ei ollut tietoja päällystekerrosten paksuuksista.

Taulukko 5.3 Kohteen päällystyshistoria tierekisteriositevälillä 2773/4/6505–5/4080 (Liikennevirasto, Tieräkisteri)

2773/4/6505–5/4080			
Alkupäivämäärä	Loppupäivämäärä	Päällystetyyppi	Päällystystyö
30.6.1900	29.6.1970	ei tiedossa	ei tiedossa
30.6.1970	29.6.1981	PAB-O	ei tiedossa
30.6.1981	21.6.1993	PAB-B	paksuudeltaan vakio laatta
22.6.1993		PAB-B	massapinta

Taulukko 5.4 Kohteen päällystyshistoria tierekisteriosoitevälillä 2773/5/4080–4393
(Liikennevirasto, Tierekisteri)

2773/5/4080–4393			
Alkupäivämäärä	Loppupäivämäärä	Päällystetyyppi	Päällystystyö
30.6.1900	29.6.1970	ei tiedossa	ei tiedossa
30.6.1970	29.6.1981	PAB-O	ei tiedossa
30.6.1981	21.6.1993	PAB-B	paksuudeltaan vakio laatta
22.6.1993	4.6.1996	PAB-B	massapinta
5.6.1996		AB	massapinta

Taulukko 5.5 Kohteen päällystyshistoria tierekisteriosoitevälillä 2773/5/4393–4415
(Liikennevirasto, Tierekisteri)

2773/5/4393–4415			
Alkupäivämäärä	Loppupäivämäärä	Päällystetyyppi	Päällystystyö
30.6.1900	29.6.1970	ei tiedossa	ei tiedossa
30.6.1970	29.6.1981	PAB-O	ei tiedossa
30.6.1981	4.6.1996	PAB-B	paksuudeltaan vakio laatta
5.6.1996		AB	massapinta

Taulukoiden 5.3–5.5 tietojen mukaan koe kohteella ajoradan kulutuskerroksena toimii pääosin PAB -päällyste lukuun ottamatta kohteen loppuosan lyhyttä hieman yli 400 m osuutta, jolla uusin päällystekerros on AB.

Taulukoissa esiintyvien päällysteiden rajojen lisäksi koe kohteen kartoittamisen yhteydessä päällysteessä havaittiin Takamaantien liittymän parannuksen ja Palokaivontien liittymän läheisen saarekkeen rakentamisen yhteydessä uudelleen päällystämisen vuoksi syntyneet rajakohdat. Nämä saumakohdat voivat vaikuttaa uuden päällysteen vaurioitumiseen, minkä vuoksi ne tulee ottaa huomioon myös kohteen pitkäaikaissurannassa.

Vaurioinventointi

Ennen koe kohteen rakentamista kohteelle tehtiin vaurioinventointi. Kohteen kunto arvioitiin sekä silmämääräisesti että kohteella tehtyjen palvelutasomittausten (PTM) perusteella. PTM -mittauksista kohteella mitattiin tien pinnan pituussuuntaista epätasaisuutta kuvaavat IRI -arvot kiihtyvyyssanturilla, urasyvyudet laserkeilauksen avulla sekä tehtiin maatutkamittaukset, joista tulkittiin myös kohteen tierakenteen kerrospaksuudet. Mittaukset teki Roadscanners Oy ja ne tehtiin jatkuvana mittauksena.

Koe kohteen yleisimmät vauriot olivat pituus- ja poikkihalkeamat sekä urautuminen. Näiden lisäksi kohteella esiintyi jonkin verran myös reikiä ja reunadeformaatiota. Seuraavaksi esitellään eri vauriotyyppien esiintyminen koe kohteella sekä esitetään arvio vaurioiden syntymiseen vaikuttaneista tekijöistä. Vaurioiden syntymismekanismeja ja vaurioitumiseen vaikuttavia tekijöitä on käsitelty muun muassa Belt et al:n (2002) selvi-

tyksessä ”Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto”. Tien vaurioitumisen taustalla on yleensä aina enemmän kuin yksi aiheuttaja ja esimerkiksi halkeamat saattavat ajan kuluessa kehittyä erityyppisiksi. Koekohteen vaurioitumisesta ei ollut pitkältä aikaväliltä tietoa, vaan vaurioinventointi tehtiin vain kohteella tehtyjen havaintojen ja palvelutasomittausten tulosten perusteella. Myöskään kohteen tierakenteesta tai siinä käytetyistä materiaaleista ja niiden ominaisuuksista ei ollut saatavilla tietoa, minkä vuoksi vaurioiden taustalla vaikuttavien tekijöiden arvioiminen oli paikoin hankalaa. Koekohteella tutkittavat asfalttimassat levitettiin ajoradalle, minkä vuoksi kohteen bussipysäkkien ja muiden levikkeiden vaurioitumista ei tarkastella tässä osiossa tarkemmin.

Pituushalkeamat

Kohteella tehtyjen silmämääräisten havaintojen ja PTM -mittausten perusteella arvioitiin, että pituushalkeamien pääaiheuttajat kohteella ovat routiminen sekä kuivatusongelmat. Suuri osa pituushalkeamista esiintyi kohteella heikon pohjamaan alueella. Osuksilla oli paikoin havaittavissa myös pituussuuntaista heittoa, mikä viittaisi siihen, että pituushalkeamat olisivat syntyneet pohjamaassa syntyneiden epätasaisten routanousujen ja painumaerojen vuoksi. Näiden lisäksi kohteella oli nähtävissä tieosuuksia, joilla ajourissa esiintyi ohuita pituushalkeamia hyvin tiheästi tai halkeamista kehittyntä verkkohalkeamaa, mikä viittaisi tierakenteen väsymiseen. Kohteen pohjaolosuhteet ovat myös hyvin vaihtelevat, eikä tierakenteessa ollut tarvittavia siirtymärakenteita muutoskohdissa. Lisäksi paikoin esiintyi pituushalkeamia ja kantavuuden alenemista, mikä viittaisi kuivatusongelmiin. Taulukossa 5.6 on kuvattu kohteella vauriokatselmuksessa silmämääräisesti havaittujen pituushalkeamien sijainnit sekä vaurioanalyysin perusteella arvioidut vaurioitumiseen vaikuttaneet tekijät.

Taulukko 5.6 Kohteella havaitut pituushalkeamat ja arvio halkeamien syntyyn vaikuttavista tekijöistä

Pituushalkeamat						
Kaista	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Pituus [m]	Huomio
O	4	6529	4	6640	111	(R), (V)
V	4	6550	4	6597	47	(R), (V)
V	4	6613	4	6664	51	(R), (V)
O	4	6689	4	6745	56	(R), (V)
V	4	6692	5	6725	33	(R), (V), (P)
O	4	6873	5	51	112	(U), (V)
V	4	6880	5	2	56	(U), (V)
O	5	105	5	269	164	(V), (U), (P)
O	5	180	5	195	15	(V), (U)
O	5	222	5	270	48	(R), (P)
O	5	645	5	698	53	(R)
O	5	711	5	943	232	(He)
V	5	720	5	734	14	(R), (P)
O	5	771	5	886	115	(R)
O	5	889	5	990	101	(H), (K), (R)
O	5	1017	5	1087	70	(K)
O	5	1198	5	1215	17	(K)
O	5	1617	5	1688	71	(K), (O), (S)
O	5	1707	5	1845	138	(S), (O)
V	5	1915	5	1930	38	(O)
O	5	2002	5	2012	10	(K)
V	5	2337	5	2345	8	(R), (S)
O	5	2398	5	2400	2	(S), (O)
O	5	2625	5	2677	52	(O), (M)
O+V	5	2828	5	2869	41	(U), (O), (K)
V	5	2971	5	3062	91	(K)
O	5	3039	5	3066	27	(K), (R)
O	5	3175	5	3420	288	(U), (K), (R)

Symbolit

- (H) = Pituussuuntaista heittoa
 (He) = Heijastushalkeama
 (K) = Kuivatusongelmat
 (M) = Muutos tien profiilissa
 (O) = Ohuet rakennekerrokset
 (P) = Pohjamaan urautuminen
 (R) = Routiva/ heikko pohjamaa
 (S) = Puuttuvat siirtymärakenteet
 (U) = Halkeamia paikattu
 (V) = Tierakenteen väsyminen

Taulukon 5.6 pituushalkeamien esiintymisosuuksista voidaan havaita, että pituushalkeamia esiintyy hyvin tiiviisti koekohteen alkuosalla. Kohteen alkuosan pituushalkeamien osuuksilla tien pinnalla oli havaittavissa myös pituussuuntaista epätasaisuutta. Tieosan 4 osuudella pohjamaa on maaperäkartan perusteella routivaa savea tai hiesua, mikä viittaisi siihen, että pituussuuntainen epätasaisuus ja pituussuuntaiset halkeamat ovat syntyneet epätasaisen routanousun ja tierakenteen kantavuusvaihteluiden vuoksi. Routahalkeamien lisäksi koekohteen alkuosalla havaittiin urautumista sekä ajourien pohjalla tiheästi kapeita pituushalkeamia, mikä viittaisi rakenteen väsymiseen. Raskas liikenne kuormittaa kohteella erityisesti kohteen oikeaa, vertailumassalla päällystettyä kaistaa, mikä osaltaan lisää kaistalla väsymishalkeamien syntymistä. Kuvassa 5.3 on esitetty kohteen alkuosalla havaitut tyypilliset vauriot: routahalkeama ja ajourissa esiintyvät väsymishalkeamat.



Kuva 5.3 Routahalkeama ja väsymishalkeamia 2773/4/6560
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvassa 5.4 on esitetty Rinneahteen liittymän kohdalla likimain tieosan 5 paalulla 920 havaitut vauriot. Liittymän läheisyydessä oli havaittavissa pituussuuntaista heittoa sekä pituushalkeamia. Kohteella tehtyjen PTM -mittausten mukaan tierakenteessa oli havaittavissa kosteutta, mikä viittaisi kuivatusongelmiin. Tieosuus sijaitsee heikon pohjamaan alueella ja oli yksi pahimmin vaurioituneista tieosuuksista koekohteella.



Kuva 5.4 Rinneahteen liittymän kohdalla havaitut vauriot (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvassa 5.5 on kuvattu tieosalla 5 likimain paalun 3300 kohdalla havaitut vauriot. Tieosuus sijaitsee kantavan ja heikon pohjamaan rajakohdassa. Tierakenteessa havaittiin kosteutta, mikä viittaisi, että myös tällä tieosuudella on jonkin asteisia kuivatusongelmia.



Kuva 5.5 2773/5/3300 kohdalla havaitut vauriot (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Poikkihalkeamat

Poikkihalkeamat voidaan jaotella vinoihin ja poikkihalkeamiin (pakkshalkeamiin). (Belt et al 2002, s. 39) Pakkshalkeaman yleensä tunnistaa siitä, että ne esiintyvät jokseenkin säännöllisin välein ja ovat ulkomuodoltaan hyvin suoria ja kapeita. Pakkshalkeaman syntymisen periaate on kuvattu kappaleessa 2.2.3 Pakkaskestävyys. Vinot halkeamat syntyvät tyypillisesti routivalla tieosalla ja syntyvät samalla tavalla kuin vastaavat pituushalkeamat. Routanousun aiheuttamat halkeamat syntyvät yleensä vain tiettyihin tien epäjatkuvuuskohtiin ja esiintyvät näin ollen tyypillisesti hyvin epäsäännöllisesti kohteella. (Ehrola 1996, s. 321) Taulukossa 5.7 on esitetty kohteella silmämääräisessä tarkastelussa havaitut pakkshalkeamat ja vinot halkeamat sekä vaurioanalyysin perusteella arvioidut vaurioitumiseen vaikuttaneet tekijät.

Taulukko 5.7 Kohteella havaitut poikkihalkeamat ja arvio halkeamien taustalla olevista tekijöistä

Poikkihalkeamat						
Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Pituus [m]	Vaurio	Huomio
4	6665	4	6667	2	vinohalkeama	(R), (H)
4	6688	4	6689	1	vinohalkeama	(R), (H)
5	105	5	106	1	poikkihalkeama	
5	139	5	168	29	poikkihalkeama	
5	222	5	270	48	vinohalkeama	(R)
5	358	5	366	7	vinoja halkeamia	
5	645	5	698	53	vinohalkeama	(S)
5	1013	5	1014	1	poikkihalkeama	
5	1239	5	1240	1	vinohalkeama	
5	1514	5	1528	14	poikkihalkeama	
5	1661	5	1687	26	vinohalkeama	(K), (R)
5	1990	5	2037	47	vinoja halkeamia	(K)
5	2176	5	2204	28	kapea vinohalkeama	
5	2215	5	2219	4	paikattu vinohalkeama	
5	2332	5	2334	2	leveä vinohalkeama	(R)
5	2394	5	2400	6	leveä vinohalkeama	(R)
5	2760	5	2761	1	kapea poikkihalkeama	
5	2828	5	2829	1	kapea poikkihalkeama	
5	2862	5	2866	4	paikattu poikkihalkeama	
5	3035	5	3036	1	kapea vinohalkeama	
5	3191	5	3192	1	poikkihalkeama	
5	3778	5	3781	3	kapea poikkihalkeama	
5	3810	5	3811	1	kapea poikkihalkeama	
5	4145	5	4146	1	kapea poikkihalkeama	
5	4217	5	4220	3	kapea poikkihalkeama	
5	4236	5	4239	3	kapea poikkihalkeama	

Symbolit

(H) = Pituussuuntaista heittoa

(K) = Kuivatusongelmat

(R) = Routiva/ heikko pohjamaa

(S) = Puuttuvat siirtymärakenteet

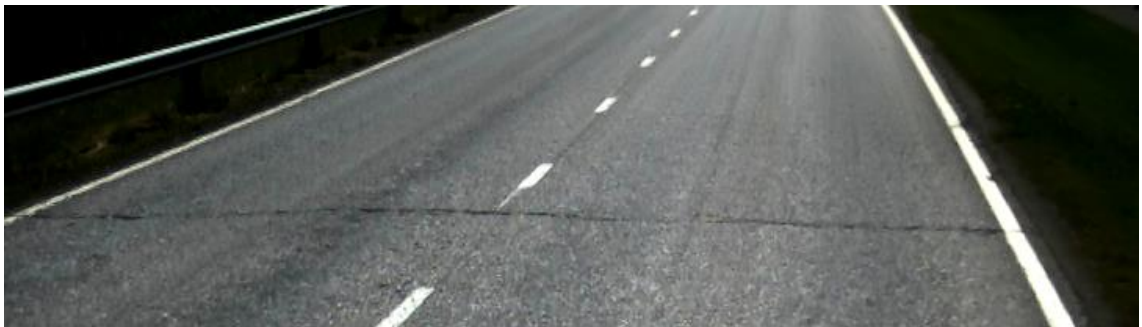
Kun taulukon 5.7 tietoja verrataan kohteen maaperäkartaan, nähdään, että pääosin vinot halkeamat esiintyvät heikon pohjamaan alueella tai kahden maalajin rajakohdassa. Vastaavasti pakkshalkeamat ovat yleisempiä kohteen loppuosalla, jossa maaperä on pääosin kantavampi. Kohteella havaittujen poikkihalkeamien synnyn taustalla on osaltaan myös päällysteen korkeahko ikä. Kuten luvussa 2.2.3 esitettiin, bitumin vanheneminen

(kovettuminen) vaikuttaa olennaisesti päällysteen kykyyn kestää siihen kohdistuvia lämpöjännityksiä, mikä kasvattaa pakkashalkeamien syntymisriskiä.

Kuvassa 5.6 on esitetty pehmeikköalueen ja kantavan pohjamaan rajakohdassa havaittu tyypillinen vinothalkeama. Halkeaman taustalla arvioitiin olevan puuttuvat siirtymärakenteet. Kuvan halkeama on tieosalla 5 likimain paalun 1655 kohdalla. Kuvassa 5.7 on esitetty koekohteen loppuosalla tieosalla 5 likimain paalun 3810 havaittu pakkashalkeama.



Kuva 5.6 Vino halkeama likimain 2773/5/1655 kohdalla (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)



Kuva 5.7 Kohteen loppuosalla havaittu pakkashalkeama (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Reunahalkeamat

Reunahalkeama on tien reunassa havaittava pituushalkeama, joka syntyy tyypillisesti silloin, kun tien päällysrakenteen sivuttaistuki on liian pieni suhteessa rakennetta rasittavaan kuormitukseen. Liian pienen sivuttaistuen vuoksi tierakenteen sitomattomat materiaalit alkavat kuormituksen vaikutuksesta siirtyä sivulle ja luiska menettää stabiliteettiaan. Lisäksi kuivatusongelmat vähentävät tierakenteen kantavuutta, mikä lisää reunahalkeaman riskiä.

Reunadeformaatio syntyy tyypillisesti esimerkiksi ajoradan ja myöhemmin rakennetun levikkeen, kuten bussipysäkin, reunaan, missä uusi levike painuu liikennekuormituksen ja pohjamaan konsolidaatiopainuman vaikutuksesta enemmän kuin vanha tierakenne.

Reunahalkeama voi syntyä myös routivan alusrakenteen vuoksi, kuten edellä on esitetty. Roudan aiheuttama reunahalkeama on tyypillisesti leveä. (Belt et al 2002, s. 52–54)

Taulukossa 5.8 on esitetty kohteella havaitut reunahalkeamat sekä vaurioanalyysin perusteella arvioidut vaurioitumiseen vaikuttaneet tekijät.

***Taulukko 5.8** Kohteella havaitut reunahalkeamat ja arvio halkeamia aiheuttavista tekijöistä*

Reunahalkeamat						
Kaista	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	pituus [m]	Huomio
O	4	6873	5	51	112	(J),(V)
O	5	105	5	269	164	(R), (V)
O	5	139	5	168	29	(R)
O	5	324	5	346	22	(R), (K)
O	5	661	5	673	12	(R)(K)
O	5	711	5	943	232	(K), (R)
O	5	771	5	886	115	(K), (R)
O	5	1017	5	1087	70	(K), (R)
V	5	1039	5	1091		(K), (R)
O	5	1270	5	1360	90	(K), (R)
V	5	1277	5	1323	46	(K), (R)
O	5	1603	5	1590	7	(K)
V	5	1661	5	1687	26	(K)
O	5	1707	5	1830	123	(K)
O	5	1990	5	2037	47	(K)
O	5	2150	5	2158	8	(K), (O), (S)
O	5	2834	5	2866	32	(K)
V	5	2971	5	3062	91	(K)
O	5	3295	5	3330	35	(R)

Symbolit

- (J) = Jyrkkä luiska
- (K) = Kuivatusongelmat
- (O) = Ohuet rakennekerrokset
- (R) = Routiva/ heikko pohjamaa
- (S) = Puuttuvat siirtymärakenteet
- (V) = Tierakenteen väsyminen

Taulukon 5.8 mukaan reunahalkeamia esiintyy melko tasaisesti koko koekohteen alueella. Koekohteella tehdyn katselmuksen yhteydessä arvioitiin, että kohteen siirtoviemäriin kaivaminen olisi löyhdyttänyt tiepengertä ja edesauttanut tierakenteen vaurioitumista. Mikäli arvio on oikea, ovat kaivutyöt vaikuttaneet myös reunadeformaatioiden syntymiseen.

Maatutkatulosten mukaan vaurioituneimpien tieosuuksien tierakenteissa oli havaittavissa kosteutta. Esimerkiksi Rinneahteen liittymän kohdalla esiintyvien reunahalkeamien taustalla voi olla kohteen kuivatusjärjestelmän puutteellinen toimivuus. Lisäksi Salomaantien liittymän liittymärummun havaittiin olevan tukossa, minkä vuoksi tierakenteseen on luultavasti päässyt kosteutta.

Urautuminen

Urautuminen on tierakenteen poikkisuuntaista epätasaisuutta. Roadex -projektin yhteydessä kehitetyn luokittelun mukaan urautuminen voi aiheutua kyllästämättömien rakennekerrosten tiivistymisestä tai deformaatiosta, tierakenteen yläpinnan kerrosten liian alhaisesta leikkauslujuudesta, pohjamaahan syntyvistä pysyvistä muodonmuutoksista tai esimerkiksi nastarenkaiden aiheuttamasta päällysteen kulumisesta. Urautumisen aiheuttavia tekijöitä arvioitaessa uran muodosta voidaan usein saada viitettä.

Vaurioinventoinnin perusteella arvioitiin, että kohteen urautuminen on pääosin aiheutunut pohjamaassa syntyvistä pysyvistä muodonmuutoksista. Pääosa kohteella havaituista urista olivat loivapiirteisiä ja ne sijaitsivat heikon pohjamaan osuuksilla. Lisäksi varsinkin koekohteen alkuosuudella oli havaittavissa pituushalkeamia ajourien välissä, mikä myös osaltaan vahvistaa arviota heikon pohjamaan aiheuttamasta urautumisesta. Vain lyhyellä tieosuudella tieosalla 5 likimain paaluvälillä 2834–2866 epäiltiin, että urautuminen oli aiheutunut tierakenteen yläpinnan kerrosten alhaisesta leikkauslujuudesta. Taulukossa 5.9 on esitetty koekohteen silmämääräisessä tarkastelussa havaitut urautuneet tieosuudet sekä vaurioanalyysin perusteella arvioidut urautumiseen vaikuttaneet tekijät.

Taulukko 5.9 Kohteella havaitut urautuneet tieosuudet ja arvio urautumiseen vaikuttavista tekijöistä

Urautuminen						
Kaista	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Pituus [m]	Huomio
O+V	4	6873	5	51	112	(P), (U)
O	5	105	5	269	164	(P), (U)
O	5	711	5	943	232	(P)
O	5	2625	5	2677	52	(T), (O)
O+V	5	2834	5	2866	32	(K)
O	5	3161	5	3449	288	(P), (H), (K)
V	5	4065	5	4385	320	(P), (R), (U)

Symbolit

(H) = Pituussuuntaista heittoa

(O) = Ohuet rakennekerrokset

(P) = Pohjamaan urautuminen (Roadex: Mode 2)

(R) = Routiva / heikko pohjamaa

(T) = Tierakenteen ylempien kerrosten urautuminen (Roadex: Mode 1)

(U) = Osin paikattu

Taulukon 5.9 tiedoista nähdään, että urautumista esiintyy eniten koekohteen alkuosuu-
della. Kohteen alkuosalla sekä muilla pehmeikköalueilla esiintyvät loivapiirteiset urat
ovat aiheutuneet luultavasti pohjamaan alhaisesta leikkauslujuudesta. Lisäksi varsinkin
kohteen alkuosalla urissa oli havaittavissa kapeita pituushalkeamia tiheästi, mikä viittai-
si tierakenteen väsymiseen. Kuten edellä jo mainittiin, pahimmin vaurioituneilla osuuk-
silla tierakenteessa havaittiin kosteutta. Tierakenteen kuormituskestävyyden aleneminen
lisää myös urautumisen syntymisriskiä.

Purkaumat ja reiät

Päällysteen reikiintymisen taustalla on yleensä päällysteen kiviaineksen ja sideaineen
välinen heikko sidos, joka saattaa johtua asfalttimassan ominaisuuksista tai päällystys-
työn aikaisista työvirheistä. Reiät syntyvät päällysteeseen tyypillisesti purkaumien koh-
dille. (Belt et al 2002, s. 59) Taulukossa 5.10 on esitetty kohteella havaitut reikiintyneet
päällysteosuudet sekä vaurioanalyysin perusteella arvioidut urautumiseen vaikuttaneet
tekijät.

***Taulukko 5.10 Reikien esiintyminen kohteella ja arvio reikiintymiseen vaikuttavista
tekijöistä***

Reiät						
Kaista	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Pituus [m]	Huomio
O	4	6528	4	6567	39	(L)
O	4	6873	5	51	112	(L)
V	4	6880	5	2	56	(L)
O+V	5	275	5	292	17	(Ku)
O	5	470	5	5492	4	(Ku)
O	5	2163	5	2166	3	(K), (L)
O	5	2438	5	2465	27	(K)
O	5	3931	5	3943	12	(U), (Ku)

Symbolit

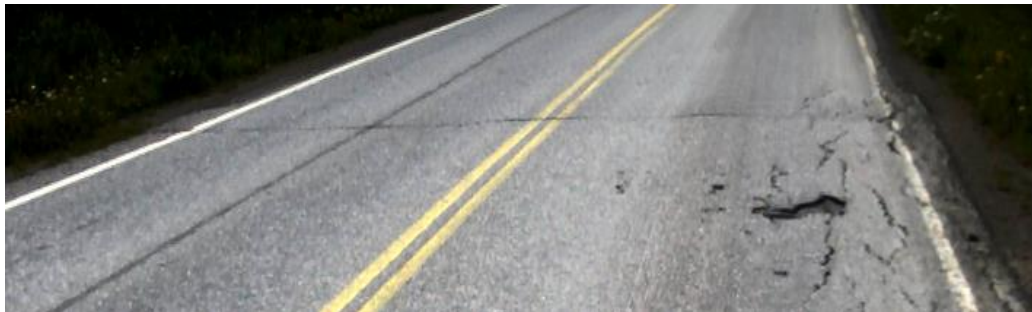
(K) = Kuivatusongelmat

(Ku) = Päällysteen kuluminen

(L) = Muiden vaurioiden yhteydessä, päällysteestä irronnut paloja

(U) = Osa paikattu

Taulukosta 5.10 nähdään, että kohteella havaittiin reikiä suhteellisen vähän. Vauriokatselmuksen yhteydessä tehtyjen havaintojen mukaan suuri osa rei'istä esiintyi osuuksilla, joilla havaittiin muitakin vaurioita. Nämä reiät esiintyvät ovat luultavasti syntyneet, kun vauriot ovat heikentäneet tierakennetta ja päällystettä aikojen saatossa ja liikennekuormitus on irrottanut päällysteestä paloja. Kuvassa 5.8 on esitetty esimerkki tällaisesta tieosuudesta. Kuvan tieosuus sijaitsee tieosalla 5 likimain paalun 2165 kohdalla.



Kuva 5.8 Pituushalkeamien yhteydessä esiintyvää päällysteen reikiintymistä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Näiden osuuksien lisäksi reikiä havaittiin lähinnä tieosuuksilla, joilla päällyste oli erityisen kulunut.

5.3 Suunnitellut toimenpiteet

Asfalttimassojen suhteitus

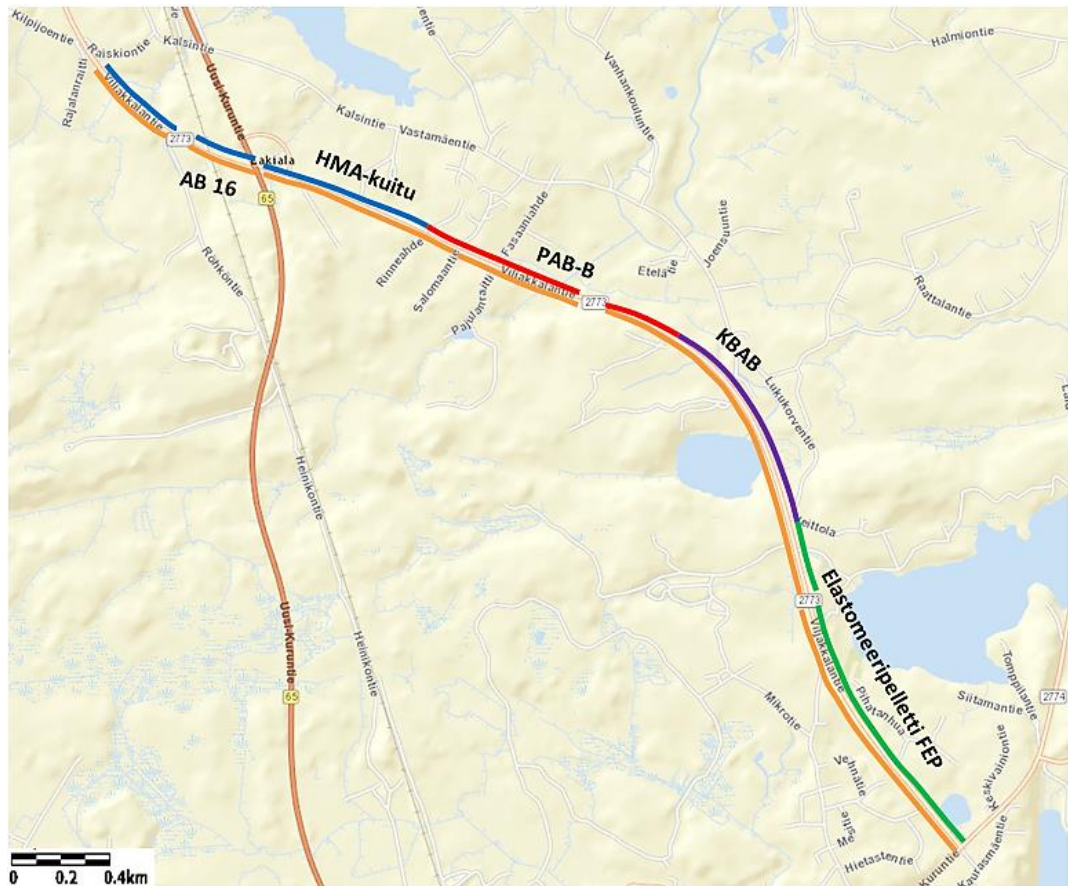
Asfalttimassojen suunnittelun lähtökohtana oli laatia kaikille asfalttimassoille sellaiset suhteitukset, jotka ovat mahdollisimman lähellä toisiaan päällysteen toiminnallisten ominaisuuksien vertailtavuuden vuoksi. Asfalttimassojen suunnittelu aloitettiin tekemällä laskennalliset reseptit jokaisen koeosuuden asfalttimassalle. Laskennallisilla resepteillä valmistettiin laboratoriossa koemassat, joista määritettiin tilavuussuhteet ICT-kiertotiivistimellä. Kokeissa määritettiin asfalttimassan tyhjätila, kiviaineksen tyhjätila sekä täyttöaste. (Väisänen 2016) Kiviaineksen tyhjätila kuvaa tilavuutta, joka koostuu sideaineesta ja päällysteen tyhjätilasta. Vastaavasti täyttöasteella tarkoitetaan sideaineen täyttämää osuutta kiviaineksen tyhjätilasta. (PANK ry 2011, s. 41) Asfalttimassojen ennakkokokeiden testausten kulkuun sekä tuloksiin liittyvät yksityiskohdat on esitetty kappaleessa 7.4.

Kohteen koeosuudet

Ylöjärven maantien 2773 koekohteen vaurioanalyysin sekä kohteella tehtyjen kantavuusmittausten ja arvioitujen pohjaolosuhdetietojen perusteella kohteelle suunniteltiin koeosuudet. Suunnitelman päätavoitteena oli saada aikaan mahdollisimman tasapuolinen koejärjestely, joka mahdollistaisi erilaisten asfalttimassojen toiminnallisten ominaisuuksien vertailtavuuden. Koekohteella testattiin neljää asfalttimassaa, joista kahdessa käytettiin lisäaineita ja yhdessä polymeerimodifioitua bitumia. Testattavat lisäaineet olivat HMA-kuitu ja elastomeeripelletti. Näiden lisäksi kohteessa testattiin KBAB- ja PAB-B -asfalttimassoja. Referenssipäällysteenä käytettiin AB 16, jonka sideaine oli B70/100-luokan bitumia. Vastaavasti PAB -massan sideaineena käytettiin B650/900-luokan bitumia ja KBAB -massassa KB75-luokan kumibitumia. Päällysteen ohjeellinen massamäärä oli 100 kg/m^2 , joka vastaa noin 40 mm paksuista päällystelaattaa.

Kohteen heterogeenisten olosuhteiden takia koejärjestely toteutettiin niin, että toisella kaistalla oli koko matkalla vertailumassa AB 16 ja toisella kaistalla testattavat modifioidut asfalttimassat. Oikea kaista (tierekisteriosoitteiden kasvusuunnassa ilmoitettuna) oli vaurioinventoinnin perusteella huonokuntoisempi ja sen kunto vaihteli vasenta kaistaa enemmän. Modifioitujen asfalttimassojen vertailukelpoisuuden varmistamiseksi ne päätettiin sijoittaa vasemmalle parempikuntoiselle kaistalle ja vertailumassa oikealle.

Maaperäkartan ja kantavuusmittaustulosten perusteella kohteen alku- ja loppuosalla pohjamaa oli selkeästi muita osuuksia heikompi. Näin ollen sovittiin, että modifioidusta asfalttimassoista ensimmäisen ja viimeisen koeosuudet ovat hieman kahta muuta pitempiä. Käytännön syistä pidemmille osuuksille valikoituivat HMA -kuitu ja elastomeeripellettimodifioitu asfalttimassa. Keskimääräinen vuorokausiliikenne (KVL) on koko kohteella käytännössä sama, joten se ei vaikuttanut koeosuuksien suunnitteluun. Koeosuuksien suunnitellut sijainnit on esitetty kuvassa 5.9.



Kuva 5.9 Koekohteen suunnitellut testausosuudet

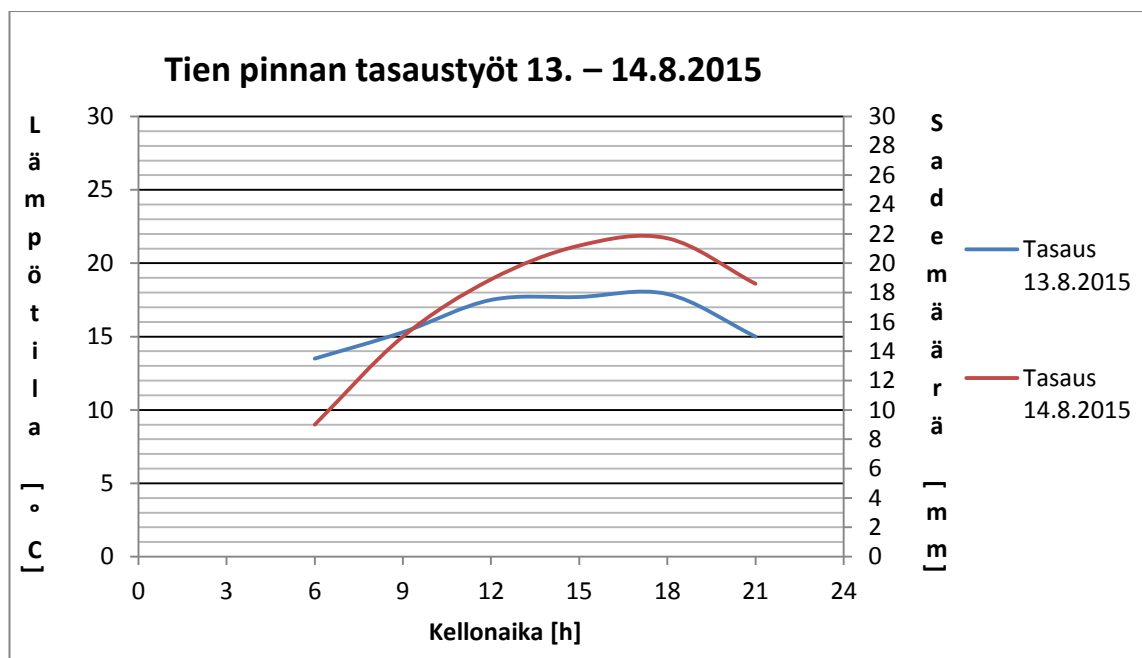
Kuvasta 5.9 nähdään, että vertailupäällyste AB 16 kulkee koko koetien pituudelta paalu-
 jen kasvusuunnassa ilmoitettuna oikealla kaistalla. Tien vasemmalla kaistalla ovat modi-
 fioidut päällysteet. HMA -kuitu modifioidun asfalttipäällysteen testausosuus ulottuu
 koetien alusta Rinneahteen liittymään asti, jolloin koeosuuden pituudeksi tulee noin 1,4
 km. PAB-B -päällysteen koeosuus alkaa Rinneahteen liittymän kohdalta ja loppuu hie-
 man ennen Viljakkalantie 249–267 yksityistien liittymää. Testiosuuden pituus on noin 1
 km. Vastaavasti KBAB -päällyste alkaa tästä ja ulottuu Lukukorventien liittymän koh-
 dalle, joten testausosuuden pituus on myös likimain 1 km. Elastomeeripellettimodifioitu
 (FEP) päällysteosuus alkaa Lukukorventien liittymän kohdalta ja ulottuu koetien lop-
 puun saakka. Testausosuuden pituus on likimain 1,5 km.

6. KOEKOHTTEEN RAKENTAMINEN JA DOKUMENTOINTI

6.1 Koekohteella tehdyt valmistelutyöt

6.1.1 Valmistelutöiden aikana vallinneet olosuhteet

Koekohde sijaitsee Viljakkalantiellä (Mt 2773) Ylöjärvellä tierekisteriosoitevälillä 2773/4/6505–5/4415. Tien pinnan tasaukset tehtiin AB 16 RC -massalla 13.–14.8.2015. Kuvassa 6.1 on esitetty tasausmassojen levityspäivien lämpötilakuvaajat sekä sademäärät. Kohteen tasaustöiden aikaiset säätiedot on kerätty Ilmatieteen laitoksen ilmastopalvelusta. Kaikki säätiedot tuulitietoja lukuun ottamatta on Härmälän säähavaintoasemalta. Kaikkien säätietojen dokumentoinnissa on käytetty kolmen tunnin välein tehtyjä havaintoja.

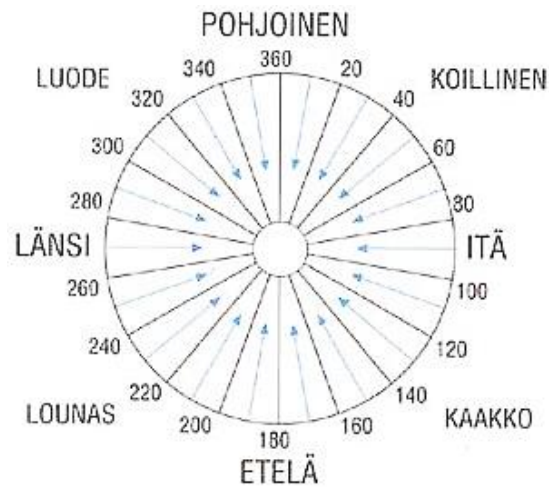


Kuva 6.1 Tien pinnan tasaustöiden aikaiset lämpötilakuvaajat ja sademäärät

Kuvasta 6.1 nähdään, että tiekohteella ei satanut kumpanakaan päivänä ja lämpötilatkin olivat melko tasaiset. Työt pystyttiin toteuttamaan hyvissä olosuhteissa.

Ilmatieteen laitokselta saadut tuulen suunnan tiedot on muutettu asteluvuista ilmansuunniksi alla olevassa kuvassa 6.2 esiintyvän tuulensuuntaruusun avulla. Taulukossa

6.1 vastaavasti on esitetty tuulen nopeusasteikko 10 min keskituulen nopeuksille koekohteen tuulen nopeuksien vertailua varten.



Kuva 6.2 Tuulensuuntaruusu (Ilmatieteen laitos, tuulet)

Taulukko 6.1 Tuulen nopeusasteikko (Ilmatieteen laitos, tuulet)

Nopeus [m/s]	kuvaus
0	tyyni
1–3	heikko tuuli
4–7	kohtalainen tuuli
8–13	navakka tuuli
14–20	kova tuuli
21–32	myrsky
> 32	hirmumyrsky

Taulukossa 6.2 on kuvattu tien tasaustöiden aikaiset tuulitiedot. Tuulen nopeus- ja suuntatiedot ovat 10 min keskiarvoja.

Taulukko 6.2 Tien pinnan tasaustöiden aikaiset tuulilukemat ja tuulen suunnat

Ajankohta	klo 6:00	klo 9:00	klo 12:00	klo 15:00	klo 18:00	klo 21:00
13.8.2015	➡ 2,6 m/s	➡ 3,6 m/s	➡ 5,1 m/s	➡ 4,1 m/s	➡ 5,7 m/s	➡ 3,1 m/s
14.8.2015	➡ 2,1 m/s	➡ 3,1 m/s	➡ 4,1 m/s	➡ 4,1 m/s	➡ 4,1 m/s	➡ 1,5 m/s

Taulukon 6.2 tuulitiedot ovat Pirkkalan lentoaseman havaintoasemalta. Kun tuulilukemia verrataan edellisessä taulukossa esitettyihin arvoihin, huomataan, että koekohteen tasaustöiden aikaiset tuulilukemat ylittävät maksimissaan kohtalaisen tuulen raja-arvon 4 m/s. Lukemia tulkittaessa tulee kuitenkin ottaa huomioon havaintoaseman ympäristölliset tekijät. Koekohteella tuulilukemat eivät olleet yhtä korkeat. Tasauspäivien sää-

olosuhteet olivat kokonaisuudessaan hyvät, eivätkä vaikuttaneet tasaustöiden onnistumiseen.

6.1.2 Valmistelutöiden toteutus

Ennen asfalttimassojen levitystä koekohteella tehtiin valmistelutöitä. Tasaisen tien pinnan aikaan saamiseksi koekohteelle tehtiin tasaukset AB 16 RC -massalla kohtiin, joissa tien pinta oli epätasainen tai vaurioitunut. Tasaustöiden avulla parannettiin uuden päällystekerroksen levitys- ja tiivistyolosuhteita sekä edesautettiin päällystemassan alle levitettävän bitumiemulsion tasaista levittymistä ja näin ollen uuden päällystekerroksen kiinnittymistä vanhan päällysteen pintaan.

Taulukossa 6.3 on esitetty tasausmassojen levityspaikat sekä tasauksien arvioidut leveydet. Referenssimassa on tierekisteriosoitteiden kasvusuunnassa ilmoitettuna oikealla ja modifioidut asfalttimassat vasemmalla kaistalla.

Taulukko 6.3 Koekohteen pinnan tasausten sijainnit ja leveydet kaistan reunaviivasta alkaen

Koeosuus	Tieosa (alku)	Etäisyys (alku)	Tieosa (loppu)	Etäisyys (loppu)	Leveys [m]
AB 16	4	6805	4	6925	1,5 m
AB 16 + HMA	4	6810	5	65	1,5 m
AB 16	5	114	5	174	2,0 m
AB 16 + HMA	5	103	5	284	2,0 m
AB 16	5	323	5	354	2,2 m
AB 16	5	407	5	586	2,5 m
AB 16	5	864	5	1079	3,0 m
AB 16 + HMA	5	840	5	970	2,5 m
AB 16	5	1260	5	1354	2,0 m
PAB-B 16	5	1263	5	1317	1,5 m
AB 16	5	1580	5	1865	2,5 m
PAB-B 16	5	1630	5	1670	1,8 m
AB 16	5	1950	5	2038	2,0 m
AB 16	5	2124	5	2220	1,8 m
AB 16	5	2300	5	2456	2,0 m
AB 16	5	2935	5	3557	2,0 m
KBAB 16, AB 16 + FEP	5	2961	5	3518	2,2 m
AB 16 + FEP	5	3636	5	3661	1,7 m
AB 16 + FEP	5	3661	5	3852	3,3 m
AB 16	5	3990	5	4415	2,0 m
AB 16 + FEP	5	4080	5	4360	2,0 m

Tasausmassaa levitettiin asfalttiaseman tietojen mukaan kohteelle yhteensä 312 t. Tyypillinen koekohteen alkuosuuden tien pinnan tasaus on kuvattu kuvassa 6.3. Kuva on koekohteen alkuosalta noin 300 m kohdalta.



***Kuva 6.3** Tyypillinen tien pinnan tasaus koekohteen alkuosuudella (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)*

Kuvassa 6.4 on esitetty hyvin tyypillinen tien pinnan tasaus koekohteen loppuosalta. Kuva on otettu Siironmaantien liittymän kohdalta.



***Kuva 6.4** Tyypillinen tien pinnan tasaus koekohteen loppuosuudella (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)*

Kuvista 6.3 ja 6.4 voidaan huomata, että koekohteen alkupuolella tien pinnan tasaussmassat levitettiin pääosin tien reunoille ja loppuosalla massat keskittyivät kaistojen keskiosiin, kuten taulukossa 6.4 on esitetty. Tämä osoittaa koekohteen vaurioitumisen vaihtelevuuden. Ainoastaan pahimmin vaurioituneille osuuksille, Vuorikalliontien liittymän jälkeiselle tieosuudelle sekä Rinneahteen liittymän kohdalle, jouduttiin tasaussmassaa levittämään hyvin leveälle alueelle paksusti tasaisen pinnan aikaan saamiseksi. Kuva 6.5 on otettu Vuorikalliontien liittymän lähetyviltä.



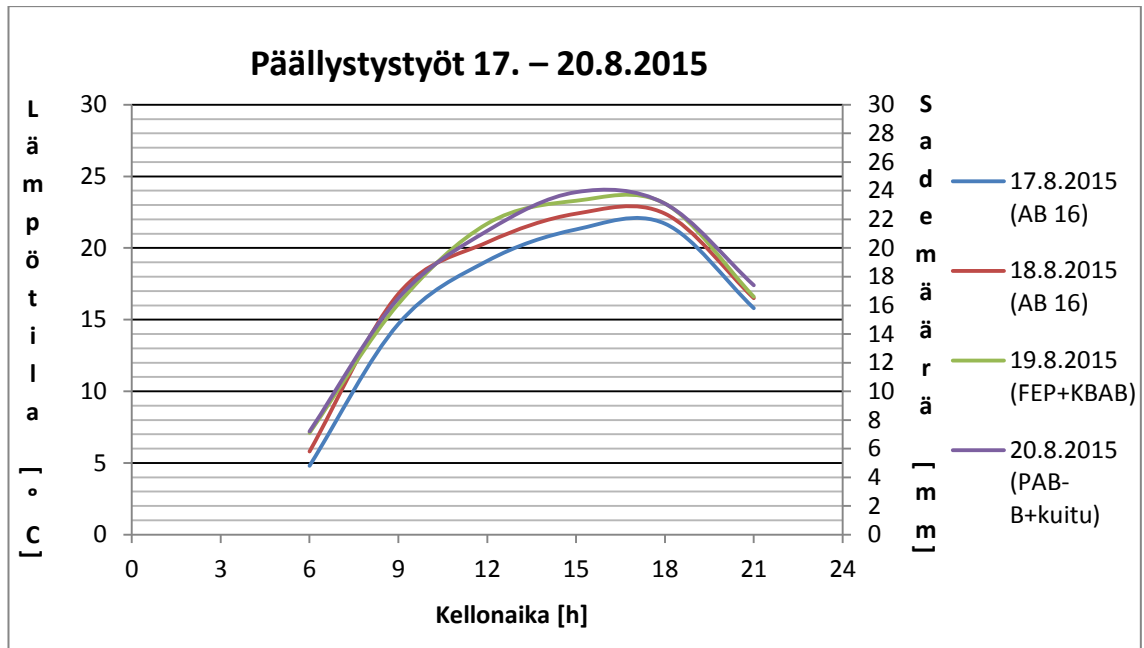
Kuva 6.5 Tien pinnan tasaus Vuorikalliontien liittymän lähetyvillä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvasta 6.5 on nähtävissä tasauksen laatu. Tyypilliseen tasaukseen verrattuna asfalttimassaa on selkeästi paksummalti.

6.2 Koekohteen päällystystyöt

6.2.1 Päällystystöiden aikana vallinneet olosuhteet

Koetien päällystystyöt tehtiin 17.–20.8.2015. Ennen asfalttimassojen levitystä tien pinnalle levitettiin bitumiemulsiota, jotta asfalttipäällyste kiinnittyy tukevasti tien pintaan. Referenssikaista päällystettiin ensimmäisen kahden päivän aikana, elastomeeripelletti-modifioitu sekä KBAB -päällyste 19.8.2015 ja PAB-B- ja kuitumodifioitu päällyste 20.8.2015. Kuvassa 6.6 on esitetty Härmälän säähavaintoasemalta kerätyt kohteen päällystystyön aikaiset lämpötila- ja sademäärätiedot. Kaikkien säätietojen esitystapa on sama kuin kappaleessa 6.1.1.



Kuva 6.6 Päällystöiden aikaiset lämpötilat ja sademäärät

Kuvasta 6.6 nähdään, että kohteella ei satanut lainkaan ja päivät olivat hyvin lämpimiä. Päällystysten aikaiset lämpötilaolosuhteet olivat miltei identtiset, joten lämpötilojen suhteen työt pystyttiin tekemään hyvin tasapuolisissa olosuhteissa. Taulukossa 6.4 on kuvattu päällystystyön aikaiset tuulen nopeudet ja suunnat.

Taulukko 6.4 Tien päällystystöiden aikaiset tuulilukemat ja tuulen suunnat

Ajankohta	klo 6:00	klo 9:00	klo 12:00	klo 15:00	klo 18:00	klo 21:00
17.8.2015	↓ 0,0 m/s	↓ 0,0 m/s	↓ 3,1 m/s	↓ 2,6 m/s	↙ 3,1 m/s	↓ 0,0 m/s
18.8.2015	↓ 0,0 m/s	↓ 0,0 m/s	↓ 1,5 m/s	↘ 1,5 m/s	↘ 2,6 m/s	↓ 0,0 m/s
19.8.2015	↓ 0,0 m/s	↓ 0,0 m/s	↗ 2,1 m/s	↘ 2,6 m/s	↗ 1,0 m/s	↓ 0,0 m/s
20.8.2015	↓ 0,0 m/s	↗ 1,0 m/s	↗ 2,1 m/s	↗ 1,5 m/s	↗ 3,1 m/s	↗ 0,0 m/s

Taulukon 6.4 tuulitiedot ovat Pirkkalan lentoaseman havaintoasemalta. Todelliset tuulilukemat koekohteella ovat olleet päällystystyön aikana vieläkin pienemmät. Tuulitiedoista nähdään, että tuuli oli heikkoa. Näin ollen tuuliolosuhteet olivat hyvät ja tasaiset koko kohteen päällystysten aikana. Päällystystyöt pystyttiin sään puolesta suorittamaan hyvin tasapuolisissa ja hyvissä olosuhteissa.

6.2.2 Päällystystöiden toteutus

Ylöjärven koetien päällystystyöt toteutettiin 17.–20.8.2015 edellä kuvatun aikataulun mukaisesti. Taulukossa 6.5 on esitetty kohteen toteutuneiden koeosuuksien tarkat sijainnit tierekisteriosoitteisiin sidottuna sekä koeosuuksien pituudet. Koeosuuksien ra-

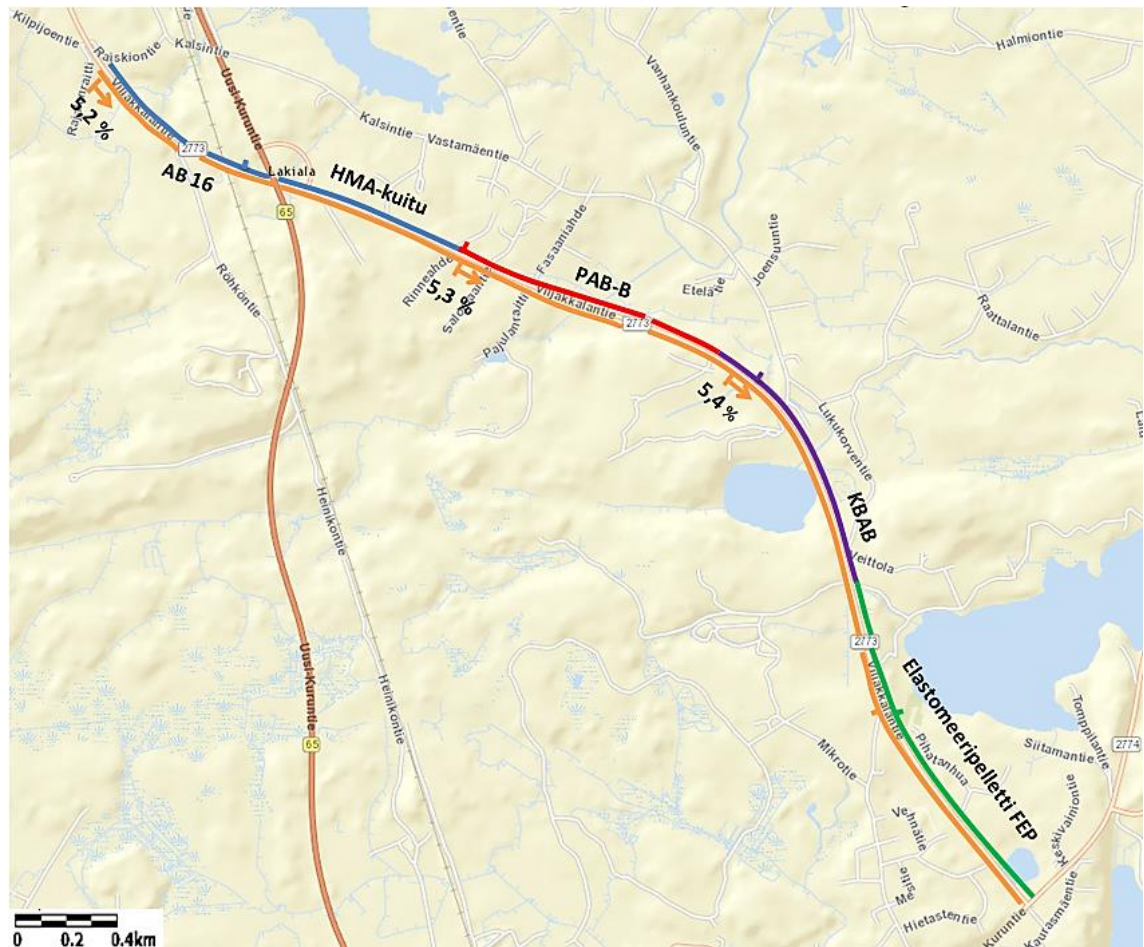
kennustiedot sekä myöhemmin esiteltävät kohteen päällystyön aikana tehdyt havainnot on sidottu tierekisteriosoitteisiin mTiePiste -sovelluksen avulla.

Taulukko 6.5 Koeosuuksien sijainnit

Päällyste	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Pituus [m]
AB 16	4	6505	5	4415	4845
AB 16 + FEP	5	3065	5	4415	1350
KBAB 16	5	1928	5	3040	1112
PAB-B 16	5	973	5	1928	955
AB 16 + kuitu	4	6505	5	973	1403

KBAB -massan levitystä jatkettiin suoraan elastomeeripellettimodifioidun (FEP)-asfalttimassan jälkeen ilman saumaa. Paaluvälillä 3040–3065 on molempia asfalttimassoja. Kun taulukon 6.5 toteutuneiden koeosuuksien pituuksia verrataan kappaleessa 5.3 esitettyihin suunniteltuihin pituuksiin, huomataan, että elastomeeripelletti- sekä kuitumodifioidut osuudet ovat hieman suunniteltua lyhyemmät. Kohteella näillä osuuksilla liikenneturvallisuuden parantamiseksi rakennettujen saarekkeiden (elastomeeripellettiosuus) sekä suurien liittymien (HMA -kuituosuus) takia kaistan keskimääräinen leveys oli oletettua 3,3 metriä suurempi. Näin ollen asfalttimassat riittivät hieman oletettua lyhyemmälle osuudelle. PAB -päällyste oli likimain suunnitellun osuuden pituinen ja KBAB -päällysteen osuus vastaavasti hieman suunniteltua pidempi.

Koetiellä toteutuneet koeosuudet on kuvattu kuvassa 6.7 ja taulukossa 6.6 testausosuuksien paksumpien päällysteosuuksien tarkat sijainnit. Kuvaan on merkitty myös kohdat, joissa vertailumassan sideainepitoisuus on muuttunut sekä kohdat, joissa koeosuuksille on tehty paksumpi 60 mm päällystyskerros SRK -koetta ja dynaamisen Creepin testausta varten.



Kuva 6.7 Toteutuneet koeosuudet

Taulukko 6.6 Koeosuuksien paksuudeltaan 60 mm olevat osuudet

Tie	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	60 mm päällyste
2773	5	3500	5	3505	AB 16
2773	5	124	5	136	AB 16 + HMA -kuitu
2773	5	1012	5	1018	PAB-B 16
2773	5	2220	5	2228	KBAB 16
2773	5	3550	5	3553	AB 16 + FEP

Vertailumassana käytetyn AB 16 -massan alkuperäinen sideainepitoisuus oli 5,2 %. Massan sideainepitoisuutta jouduttiin nostamaan 0,1 % kahteen otteeseen päällystystyön aikana, koska päällysteen katsottiin olevan liian kuivan näköistä. Taulukossa 6.7 on esitetty referenssipäällysteen osuudet, joilla päällysteen sideainepitoisuus on vaihdellut.

Taulukko 6.7 Vertailupäällysteen AB 16 bitumipitoisuudet

Tie	Tieosa (alku)	Etäisyys [m]	Tieosa (loppu)	Etäisyys [m]	Bitumipitoisuus [massa-%]
2773	4	6505	5	970	5,2
2773	5	970	5	2120	5,3
2773	5	2120	5	4415	5,4

Vertailumassan sideainepitoisuuden nostamisen myötä kaikkien muidenkin asfalttimassojen sideainepitoisuutta haluttiin nostaa saman verran. Tieto muutoksesta ei kuitenkaan kulkenut asfalttiasemalle, vaan kuitumodifioitua asfalttimassaa lukuun ottamatta kaikkien muiden modifioitujen asfalttimassojen sideainepitoisuudet olivat alkuperäisten suunnitelmien mukaiset. Koetien toteutuneiden osuuskien asfalttimassojen suhteituskäyrät on kuvattu liitteessä 3.

Levitystyömaalla jokaisesta kuormasta mitattiin pistoolilämpömittarilla kuorman lämpötila, kun asfalttimassaa kaadettiin kuorma-auton lavalta levityskoneen syöttösupploon. Ainoana poikkeuksena oli PAB-B -asfalttimassa, josta ei saatu luotettavia lämpötiloja massan laadun vuoksi. PAB -massassa käytetyn hyvin juoksevan bitumin takia asfalttimassa laskeutui kuorma-auton lavalla hiekan omaisesti, jolloin kuormasta otetut lukemat olivat massan pintalämpötiloja. Kyseisen massan lämpötilat mitattiin levityskoneen etupuolelta ja saatuun lukemaan lisättiin muutama °C-aste pienen jäähtymisen huomioon ottamiseksi. Mittaajan arvion mukaan PAB -massan lämpötilojen mittaustapa oli luotettavampi myös kuitumodifioidun massan tapauksessa. Näin ollen myös kuitumodifioidun massan levityslämpötilat mitattiin levityskoneen etupuolelta. Liitteessä 4 on esitetty mitatuista lämpötilatiedoista laaditut lämpötilakartat, joista on luettavissa eri massojen paalukohtaiset levityslämpötilat. Kartoissa ilmoitetut lämpötilat ovat ne lämpötilat, joihin pistoolilämpömittarin antamat lukemat painottuivat. Maksimiarvot ovat keskimäärin noin 4–5 °C näitä lämpötiloja suurempia.

Kappaleissa 6.3.1–6.3.5 on kuvattu jokaisen testausosuuden päällystyö ja esitetty työn aikana tehdyt havainnot ja poikkeamat. Kappaleisiin on koottu myös työntekijöiden kommentit asfalttimassojen työstettävyydestä. Havainnot on sidottu tierekisteriosoitteisiin. Tieriekisteriosoitteiden paikannuksessa tulee ottaa huomioon määrittelykertojen välillä tapahtuva pieni hajonta.

6.3 Koeosuuskohtaiset havainnot päällystystyön toteutuksesta

6.3.1 Vertailupäällyste AB 16

Vertailupäällyste AB 16 kulkee paaluluvun kasvusuunnassa ilmoitettuna tien oikealla kaistalla koko koetien osuudella tieosan 4 paalun 4605 ja tieosan 5 paalun 4415 välillä.

Referenssipäällysteessä käytettiin sideaineena B 70/100 -luokan bitumia. Asfalttimassan bitumipitoisuus vaihteli 5,2–5,4 % välillä kuvassa 6.7 esitetyn mukaisesti. Asfalttimassan suhteitustiedot on kokonaisuudessaan luettavissa liitteestä 3.

Asfalttinormien mukaan AB-massojen ohjeellinen sekoituslämpötila on 140–180 °C. Asfalttinormien 2011 mukaan päällystystyömaalla kuorma-auton lavalta ja massan sisältä mitatut lämpötilat saavat alittaa edellä mainitun lämpötilan enintään 10 °C:lla. Taulukoissa 6.8 ja 6.9 on kuvattu molempien levityspäivien aikana mitatut asfalttimassan kuormakohtaiset lämpötilat ennen levitystä. Taulukon mittaustuloksista nähdään, ettei asfalttimassojen kuormakohtaisissa lämpötiloissa ollut suurta hajontaa, eikä osuudella ollut ylikuormia kuormia. Liitteen 4 lämpötilakartassa on havainnollistettu asfalttikuormien lämpötilojen vaihtelu koeosuuden aikana.

Taulukko 6.8 AB 16 -asfalttimassakuormien lämpötilat 17.8.2015

Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpötila [°C]	Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpötila [°C]
4	6505	131*	5	1214	155
4	6566	160	5	1275	155
4	6627	145	5	1336	152
4	6688	145	5	1397	156–159
4	6749	146–152	5	1458	158–160
4	6810	145	5	1518	156–158
4	6871	147	5	1578	145
4	6932	145–148	5	1638	155–157
5	58	145–147	5	1698	154
5	119	146–150	5	1758	155
5	180	147	5	1818	156
5	241	145–148	5	1878	159
5	302	136	5	1938	157
5	363	139–145	5	1999	157
5	424	148–150	5	2059	155
5	485	140–143	5	2120	149
5	546	147–152	5	2185	154
5	607	143	5	2250	161
5	668	144	5	2315	155
5	729	149–156	5	2380	157
5	789	147–153	5	2445	148
5	849	143	5	2510	156
5	908	155	5	2575	147
5	969	151	5	2640	158
5	1030	156–160	5	2705	153
5	1091	154	5	2770	161
5	1153	149–152			

*Kuorma ehti jäähtyä ennen mittausta

Ensimmäisenä päivänä päällystettä tehtiin melkein 3270 m, lopetuspaalu oli tällöin tieosan 5 paalu 2834. Ensimmäisen päivän aikana päällysteen lämpötilat ennen tiivistysjyräystä vaihtelivat välillä 123–138 °C. Toisen päivän lämpötilat on kirjattu taulukkoon 6.8 b.

Taulukko 6.9 AB 16 -asfalttimassakuormien lämpötilat 18.8.2015

Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpötila [°C]	1. jyräys [°C]
5	2834	141–146	134–139
5	2896	155–160	121–134
5	2958	143–147	113–116
5	3020	132*	115–121
5	3082	151–154	122–127
5	3144	147–151	122–125
5	3206	142–146	124–126
5	3268	144–148	122–126
5	3330	143–148	115–126
5	3392	141–146	115–127
5	3454	138–143	118–126
5	3516	144–152	115–123
5	3578	142–149	117–122
5	3640	140–147	116–121
5	3702	137–144	114–120
5	3762	128–135**	119–126
5	3824	144–149	125–130
5	3886	143–147	125–127
5	3948	142–147	123–125
5	4010	142–149	112–125
5	4063	147–152	119–125
5	4115	144–151	124–128
5	4165	147–151	125–135
5	4215	148–154	122–129
5	4265	152–156	125–130
5	4315	144–149	118–130
5	4365	156–161	123–127

*kuorma seiso (Perämiehen arvio)

**ylimmät mitatut lämpötilat, Kuorma-auto seiso ratsiassa melkein tunnin

Pistoolilämpömittarilla mitattujen tuloksien luotettavuuden varmistamiseksi koetiellä tehtiin muutama vertailumittaus puikkolämpömittarilla päällysteen pinnasta. Mittareiden lämpötilalukemat erosivat toisistaan alle 1 °C.

Vertailumassalla AB 16 tehdyt päällystystyöt sujuivat rutiininomaisesti, eikä asfalttimassan työstettävyydessä havaittu mitään tavallisesta poikkeavaa. Levitystyön yhteydessä huomio kiinnittyi asfalttimassan sideainepitoisuuteen. Koeosuuden alkupuolella

likimain 400 m jälkeen päällysteen havaittiin näyttävän hieman kuivalta. Näin ollen asfalttimassan bitumipitoisuutta päätettiin nostaa 0,1 %-yksikköä. Korkeamman sideainepitoisuuden asfalttimassan levitys aloitettiin paalulta 970.

Vertailupäällysteen alkupuolella kaistan leveyden merkinä käytetty sulkukartio juuttui kaksi kertaa levittimen alle tieosan 5 paalujen 20 ja 225 kohdalla. Tämän vuoksi työntekijät joutuivat täyttämään kaistan keskisauman puoleisen reunan käsin ja tasaamaan reunan kolalla. Tiivistysjyräyksen jälkeen päällysteen pinnassa ei ollut havaittavissa merkittäviä poikkeamia. Koetien pitkäaikaiskestävyyden kannalta kyseiset kohdat saattavat olla muuta päällystettä vaurioherkempiä. Kuvassa 6.8 on esitetty ensimmäinen osuus esijyräyksen jälkeen.



Kuva 6.8 Käsin korjattu keskisauma paalun 2773/5/20 kohdalla
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Päällystetyön yhteydessä päällysteen pinnalla havaittiin pientä lajittumaa Vuorikallion liittymän kohdalla likimain paalulla 410 ja Salomaantien liittymärummun havaittiin olevan tukossa paalulla 1093. Tien vaurioitumisen estämiseksi rummun avaaminen on erittäin tärkeää.

Asfaltinlevitin seisoj Vastamäentien liittymän kohdalla paalulla 635 sekä Salomaantien liittymän jälkeen likimain paalulla 1104, kun tien pinnalle levitettiin bitumiemulsiota. Tauot olivat kuitenkin niin lyhyitä, etteivät ne aiheuttaneet päällysteeseen heti päällystetyön jälkeen silmin havaittavia poikkeamia.

Vaikka asfalttimassan sideainepitoisuutta nostettiin koetien alkuosuudella, ei päällysteessä havaittu haluttua muutosta. Näin ollen asfalttimassan sideainepitoisuutta päätettiin nostaa vielä 0,1 %-yksikköä. Korkeamman 5,4 % sideainepitoisuuden asfalttimassan levitys aloitettiin likimain paalun 2120 kohdalla.

Paaluvälillä 3595–3598 keskisauman puoleiselle reunalle tehtiin käsin täyttöä. Toimenpide ei aiheuttanut päällysteeseen kuitenkaan silminnähtäviä poikkeamia. Luultavasti tieosuus ei vaurioidu tieosuudelta tulevaisuudessa muuta päällystettä helpommin. Paalun 3820 kaistan reunaan tehtiin käsin korjaus. Asfalttimassaan oli sekoittunut kuorma-auton lavalle maanajosta jääneitä savipaakkuja. Asfalttimassan lämpötila jyräyshetkellä oli tarpeeksi korkea, joten päällyste tiivistyi normaaliin tapaan. Päällysteeseen ei toimenpiteestä jäänyt heti tekemisen jälkeen silmin havaittavia poikkeavuuksia, eikä se luultavasti vaurioidu kyseisestä kohdasta ympäröivää päällystettä herkemmin.

Paalun 3902 kohdalla asfalttimassaan oli asfalttiasemalla sekoittunut muutama massaan kuulumattomia suurehko kivi. Nämä poistettiin päällysteestä levityksen jälkeen ja kyseinen kohta täytettiin käsin. Jyräyksen jälkeen tien pinta oli hyvin tasalaatuinen, eikä siinä ollut havaittavissa mitään poikkeavaa. Voidaan olettaa, etteivät myöskään tässä kohdassa tehdyt toimenpiteet aiheuttaneet päällysteen laatuun poikkeavuuksia, eivätkä näin ollen edesauta päällysteen vaurioitumista.

Koekohteen liikennejakajien ympäristät täytettiin ja tasattiin käsin. Kuvassa 6.9 on esitetty paaluvälillä 4067–4089 sijaitsevan saarekkeen ympäristä ennen esijyräystä. Esijyräyksen jälkeen päällysteen pinta oli hyvin tasainen ja yhtenäinen. Asfalttimassan lämpötila oli tarpeeksi korkea, joten käsin täyttäminen ei vaikuttanut päällysteen laatuun.



Kuva 6.9 Siironmaantien liittymän läheisen saarekkeen ympäristä ennen esijyräystä
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvasta 6.9 nähdään myös, että vertailupäällysteen pinta on hyvin tasainen, eikä sen pinnalta ole havaittavissa lajittumia. Taulukkoon 6.10 on koottu vertailupäällystekaistalla tehdyt havainnot tierekisteriosoitteineen.

Taulukko 6.10 Vertailupäällysteen levityksen yhteydessä tehdyt havainnot

Tieosa	Etäisyys [m]	Havainto
5	20	Sulkukartio juuttui asfaltinlevittimen, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä
5	225	Sulkukartio juuttui asfaltinlevittimen, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä
5	410	Pieni lajittuma päällysteen pinnassa
5	635	Asfaltinlevitin seisoo, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä
5	970	Päällysteen sideainepitoisuuden nosto 5,3 %
5	1093	Liittymärumpu tukossa
5	1104	Asfaltinlevitin seisoo, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä
5	2120	Päällysteen sideainepitoisuuden nosto 5,4 %
5	3595–3598	Käsin tehty täyttö, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä
5	3820	Korjaus käsin, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä
5	3902	Korjaus käsin, ei silminnähtäviä poikkeamia päällysteessä

Taulukosta 6.10 nähdään, että päällystystyö sujui pääosin rutiininomaisesti. Ainoana poikkeuksena voidaan pitää sideainepitoisuuden nostamista kahteen otteeseen työn aikana.

6.3.2 Elastomeeripellettimodifioitu asfalttipäällyste

Elastomeeripellettimodifioidun päällysteen (FEP) testiosuus sijaitsee tieosalla 5 tierekisteriosoitevälillä 3065–4415. Asfalttimassan bitumipitoisuus oli 5,4 % ja lisäaineen osuus 0,66 %. Massan suhteistustiedot on kokonaisuudessaan nähtävissä liitteestä 3. Taulukossa 6.11 on esitetty asfalttimassan kuormakohtaiset lämpötilat, levittimen takaa levityksen jälkeen mitatut lämpötilat sekä ennen ensimmäistä jyräystä mitatut lämpötilat. Levittämisen jälkeen sekä ennen ensimmäistä jyräyskertaa mitatut lämpötilat mitattiin pistoolilämpömittarilla pistokokeen omaisesti jokaisen kuorman alueelta. Liitteen 4 lämpötilakartassa on havainnollistettu asfalttimassakuormien lämpötilojen vaihtelu koeosuuden aikana.

Taulukko 6.11 Elastomeeripellettimodifioidun (FEP) asfalttimassan lämpötilatiedot

Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpötila [°C]	Päällysteen pinta [°C]	1. jyräys [°C]
5	4415	180–183	156	135
5	4371	179–181	158	135
5	4329	175–176	157	134
5	4288	170–173	166	146
5	4246	173–175	146	146
5	4194	166–169	159	140
5	4146	168–170	158	140
5	4096	171–174	156	130
5	4051	177	141*/156	139
5	3991	173–175	156	144
5	3938	175–177	160	127
5	3879	167–169	149	137
5	3829	166–169	147	140
5	3778	168–170	154	110*
5	3716	164–167	160	134
5	3666	168	159	–
5	3614	167	–	–
5	3553	162/170	154	130
5	3500	169–171	151	147
5	3449	172–174	165	145
5	3387	167–170	165	147
5	3331	171–173	161	135
5	3268	170–174	165	149
5	3215	171–174	158	–
5	3164	169–171	156	150
5	3115	165*/170	153	–

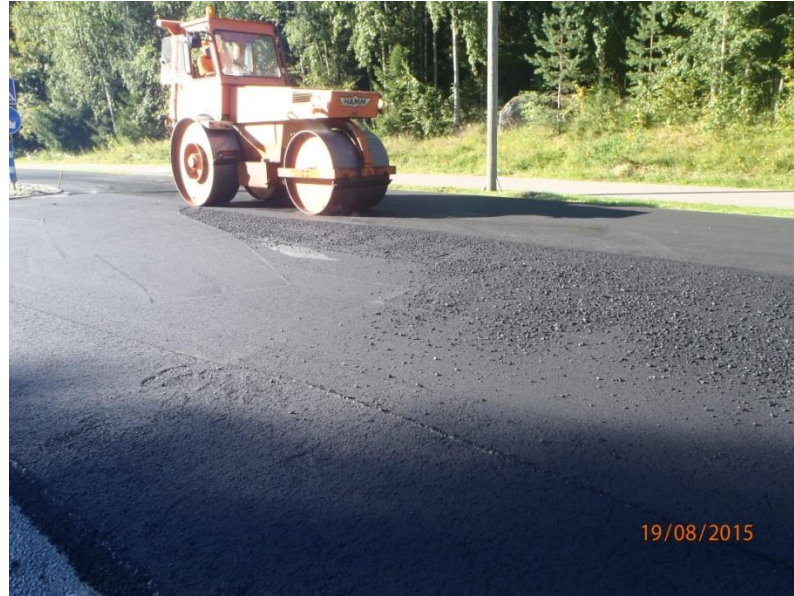
*Levitin seiso

Elastomeeripellettimodifioidun asfalttimassan ohjeellinen sekoituslämpötila on 160–170 °C. Lisäaine ei kestä yli 170 °C lämpötilaa, vaan asfalttimassa voi menettää lisäaineen tuomia ominaisuuksia lämpötilan ylittyessä. Liitteen 4 lämpötilakartoista nähdään, että ohjeelliseen sekoituslämpötilaan verrattuna mitatut lämpötilat ovat hieman koholla. Varsinkin osuuden ensimmäisissä kuormista mitatut lämpötilat olivat korkeita, 175 – 185 °C. Korkeat lämpötilat selittyvät osaltaan sillä, että asfalttiasemalla tehtiin samaan aikaan samalla kiviaineksella muitakin asfalttimassoja, jotka sisälsivät asfalttirouhetta. Tämä liian korkea asfalttimassan lämpötila aiheutti päällysteen jyräyksessä ongelmia. Asfalttimassa tiivistyi normaalisti, mutta tarttui jyrätessä jyrän valssiin kiinni irrottaen päällysteen pinnasta kiviä ja jättäen päällysteen pinnan epätasaiseksi ja reikäiseksi ensimmäisillä jyräyskerroilla. Valssiin kiinni jääneet kivet tekivät päällysteen pintaan raapimajälkiä. Kuvassa 6.10 on esitetty testausosuuden alussa esiintynyt työstettävyysongelma.



Kuva 6.10 FEP -koeosuuden alkupuolella havaittu asfalttimassan työstettävyysoongelma (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvassa 6.10 nähdään päällysteen pinnalla ensimmäisen jyräskerran yhteydessä irronneet kivet. Tarttuvuuteen vaikutti osaltaan viileä aamu ja se, että jyrän valssin pinta oli ensimmäisten jyräysten aikana vielä hyvin kylmä. Työntekijät arvioivat, että tilanne paranee, kun jyrä hieman lämpenee. Suuri lämpötilaero oli havaittavissa myös sankkana vesihöyrynä. Asfalttimassan työstettävyyden parantamiseksi tiivistysjyräyksen suorittanut jyränkuljettaja lisäsi jyräyksessä käytettävän veden määrää ja alkoi käyttää veden seassa hyvin emäksistä pesuainetta. Vedenkulutus vertailupäällysteeseen verrattuna oli likimain nelinkertainen. Nämäkään toimenpiteet eivät kuitenkaan poistaneet ongelmaa. Työstettävyysongelman lisäksi korkea lämpötila aiheutti hyvin vahvan ja pistävän haju, joka monen työntekijän mielestä aiheuttaisi päänsärkyä. Levitettävän massan lämpötilojen alentuessa haju väheni ja massan työstettävyys parani. Edellä esitettyjen toimenpiteiden avulla asfalttimassan tiivistäminen sujui tällöin ongelmitta. Selkeä ero työstettävyydessä ja tien pinnan laadussa oli havaittavissa Palokaivontien liittymän jälkeen. Kuvassa 6.11 on esitetty vertailun vuoksi päällysteen laatu työstettävyysongelman poistumisen jälkeen.



Kuva 6.11 Päällysteen pinnan laatu Palokaivontien liittymän jälkeen (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvasta 6.11 nähdään, että päällysteen pinta on tiivis ja tasalaatuinen. Koeosuuden alkupuolella tieosan 5 paalulta 4360 alkaen päällysteen pinnassa on havaittavissa linja, jossa päällyste on harvempaa kuin muualla. Osuudella kaistan leveyttä on pitänyt kasvattaa 4,1 m:iin saarekkeen rakentamisen takia. Kaistan leventämisen takia levityskoneen oikeanpuoleista zoomia piti levitystyön aikana säätää leveämmälle. Kuvassa 6.12 on kuvattu päällysteessä levittimen oikeanpuoleisen zoomin kohdalla havaittu harvempi linja. Tämän on voinut aiheuttaa esimerkiksi liian suuri levitysnopeus. Toinen syy harvaan pintaan voi olla pohjan hyvin epätasainen ja urautunut kohta. Kohtaan on levitetty tasausmassa, mutta on mahdollista, että pohja on jäänyt epätasaiseksi ja näin ollen asfalttimassa ei levity tasaisesti. Nämä havainnot on tehty heti levityksen jälkeen. Päällyste tiivistyi normaalisti ja jo ensimmäisen jyräyksen jälkeen päällysteen pinta näytti melko tasaiselta.



Kuva 6.12 Päällysteen pinnalla havaittu harvempi linja (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Koeosuuden alkupuolella oli havaittavissa muutamassa kohdissa osuuksia, joilla päällysteen pinta oli epätasainen. Päällyste oli paikoin tiiviimpi ja paikoin harvempi kuin vertailupäällysteen pinta. Tämä viittaisi siihen, että massa ei ole ollut levityksen aikana tasaista. Massan lisäaine on niin uusi, ettei siitä ole vielä käyttökokemuksia juuri lainkaan. Näin ollen varmaa ongelman aiheuttajaa ei voida nimetä. Havainto tehtiin kuitenkin vain aivan koeosuuden alkupuolella, joten todennäköistä on, että asfalttimassan sekoittuvuusongelman taustalla on liian korkea sekoituslämpötila.

Palokaivontien liittymän jälkeen päällysteen pinta oli tasalaatuista. Päällysteen pinnalla ei esiintynyt harvoja kohtia, eikä massa tarttunut jyrän valssiin. Asfalttimassan lämpötilan laskun lisäksi toinen merkittävä syy tähän on luultavasti tiepohjan tasaantuminen sekä levityskoneen ja jyrän lämpiäminen. Lisäksi päällystystyömaalla tehtiin havainto, että päällysteestä tulee hyvin tasaista ja hyvää, kun tehdään levittäjän leveyden mukaista kaistaa ja levityskoneen perä on niin sanotusti kiinni. Tällöin levittäjän perän tamppaus toimii ja esitiivistys onnistuu hyvin. Kuvassa 6.13 on esitetty esimerkki tasalaatuisesta päällysteosuudesta. Kuvan päällysteosuus sijaitsee likimain paalulla 4080. Kuvassa vasemmanpuoleinen kaista on elastomeeripellettimodifioitu.



Kuva 6.13 Esimerkki hyvälaatuisesta päällysteosuudesta FEP -koeosuudella (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Tieosan 5 paalulla 4252 levityskone seiso jonkun aikaa, kun se odotti uutta kuormaa. Levittimessä ollut massa ehti jäähtyä ja tämän vuoksi päällysteeseen tuli hieman harvempi kohta. Tämän lisäksi levityskone seiso Sironmaantien liittymän kohdalla paalulla 4065, kun työntekijät täyttivät liittymän jakajan ympärystän käsin. Pysähdys oli kuitenkin niin lyhyt, ettei se aiheuttanut päällysteeseen silmin havaittavia poikkeamia. Näiden lisäksi asfaltinlevitin seiso paaluilla 3571 ja 3190, kun se odotti asfalttikuormaa. Tauot eivät kuitenkaan aiheuttaneet päällysteen pintaan heti tekemisen jälkeen silminnähtäviä poikkeuksia.

Viimeinen merkittävä havainto oli sideainepurkauma pientareella paalulla 3575. Tämä voi indikoida massan epätasalaatuisuudesta. Kyseisessä kohdassa päällysteen pinnassa ei kuitenkaan havaittu lajittumia tai muuta, mikä viittaisi epätasalaatuisuuteen ja havainto tehtiin kahden kuorman vaihtokohdassa, joten purkauman taustalla on luultavasti

kuorma-auton lavalta liuennut bitumi. Kun kuorma-auton lavoja siistitään uuden asfalttikuorman noudon yhteydessä asfalttiasemalla polttoöljyllä, bitumia on voinut liueta lavalta eikä sekoittunut asfalttimassaan ennen levitystä. Sideainepurkauma oli ainoa koko osuudella.

Elastomeeripellettimodifioitu asfalttimassa ei aiheuttanut levittimen ajonopeuteen tai muihin levityksen toimintatapoihin muutoksia, vaan massan levittäminen toteutettiin AB-massan tavoin. Yleisenä havaintona jyräkuljettajat kertoivat päällysteen tiivistyvän perusmassojen tavoin. Päällyste kesti jyräyksen normaalisti, eikä se halkeillut. Toinen jyräkuljettaja kertoi huomanneensa tuoreen asfalttimassan muodonmuutosherkkyyden, joka tuli ottaa huomioon jälkijyräystä tehdessä. Päällysteen piti antaa jäähtyä normaalia viileämmäksi, jotta jälkijyräys ei jättänyt päällysteen pintaan jälkiä. Pinta kesti kyllä tasaisen liikennekuormituksen hyvin ja päällyste kovettui parissa päivässä kestäväksi. Työntekijät olivat sitä mieltä, että asfalttimassaa oli kevyt kolata ja lapioida ja, että asfalttimassa tuntui kevytasfaltin omaiselta. Massa ei kuitenkaan kolatessa lajittunut erityisen pahasti, vaan käyttäytyi kuin normaali AB-massa. Silmämääräisen arvion mukaan päällysteen pinta näytti osuudella pääosin tasaiselta ja sideainepitoisuus vaikutti olevan hyvä. Alun lyhyttä osuutta lukuun ottamatta asfalttimassan työstäminen sujui ongelmitta ja päällysteen pinta oli pääosin tasalaatuista. Päällysteen pinta ei eronnut vertailupäällysteen pinnasta juuri lainkaan. Kuvassa 6.14 on modifioitu ja vertailupäällyste vertailun vuoksi.



Kuva 6.14 Elastomeeripellettimodifioitu ja vertailupäällyste
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvassa 6.14 vasemmanpuoleinen kaista on elastomeeripellettimodifioitu. Taulukkoon 6.12 on koottu koeosuuden tierekisteriosoitteisiin sidotut havainnot ja poikkeamat yhteenvetona.

Taulukko 6.12 Elastomeeripellettimodifioidun testausosuuden havainnot

Tieosa	Etäisyys [m]	Havainto
5	4165–4415	Asfalttimassa liian kuumaa, työstettävyysoongelmia, pistävä haju
5	4360	Päällysteessä harva linja
5	4165 →	Päällysteen pinta tasalaatuinen, ei työstettävyysoongelmia
5	4252	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä hieman harvempi kohta
5	4065	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä ei silminnähtäviä poikkeamia
5	3575	Sideainepurkauma pientareella
5	3571	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä ei silminnähtäviä poikkeamia
5	3190	Asfaltinlevitin seisoo (n. 30 min), päällysteessä ei silminnähtäviä poikkeamia

Taulukosta 6.12 nähdään, ettei koeosuudella kuumien osuuden lisäksi ollut suurempia työstettävyysoongelmia. Päällysteen laatu koeosuudella oli silmämääräisesti arvioituna kokonaisuudessaan hyvä.

6.3.3 KBAB -päällyste

Kumibitumiasfalttibetonipäällysteen (KBAB) koeosuus sijaitsee tieosalla 5 paaluvälillä 1928–3040. Sideaineena käytettiin KB 75, ja sen pitoisuus asfalttimassasta oli 5,3 %. KBAB -massan suhteitustiedot on kokonaisuudessaan nähtävissä liitteestä 3. Asfaltinormien mukaan KBAB-massan sallittu sekoituslämpötila on 170–200 °C. Asfaltinormien 2011 mukaan kumibitumibitumipäällysteet tulee valmistaa ja levittää tavanomaisia päällysteitä korkeammassa lämpötiloissa kumibitumin suuren viskositeetin takia. Asfalttimassaa ei tule lämmittää 200 °C kuumemmaksi, etteivät siinä olevat kumi-komponentit vaurioidu. KBAB -massan ohjeelliseksi sekoituslämpötilaksi asetettiin kuitenkin 170–180 °C. Taulukossa 6.13 on esitetty koeosuuden asfalttimassakuormista sekä levittimen takaa mitatut lämpötilat. Liitteen 4 lämpötilakartoissa on havainnollistettu asfalttimassakuormien lämpötilojen vaihtelu koeosuuden aikana.

Taulukko 6.13 KBAB-asfalttimassan lämpötilatiedot

Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpötila [°C]	Päällysteen pinta [°C]
5	3040	205	195
5	2971	190–192	183
5	2918	186–188	180
5	2864	190–193	179/187
5	2805	188–192	178/182
5	2745	187–191	177
5	2675	184–186	177
5	2615	184	177
5	2560	185–188	180
5	2505	183–187	176
5	2445	184–190	170/180
5	2385	174–176	168
5	2325	164–169	158
5	2260	173	165
5	2190	174–176	162
5	2130	170–172	164
5	2065	165–168	165
5	2010	172–175	164
5	1963	172–174	151

Taulukon 6.13 paalulukemat on ilmoitettu tierekisteriosoitteina. Taulukon lämpötiloista nähdään, että asfalttikuormien lämpötilat olivat ohjeellisiin sekoituslämpötiloihin verrattuna keskimäärin 15–20 °C kuumempia paalulle 2050 asti. Korkeat lämpötilat selittyvät osaltaan sillä, että asfalttiasemalla tehtiin samaan aikaan samalla kiviaineksella muitakin asfalttimassoja, jotka sisälsivät asfalttirouhetta. Tämä huomattiin kohteella selvästi. Uudesta päällysteestä nousi levityksessä kuuma höyry ja työskentely päällysteen läheisyydessä oli raskasta. Lisäksi kumin haju oli hyvin voimakas. Alla olevassa kuvassa 6.15 on esitetty koeosuuden alussa likimain vallinneet työolosuhteet. Kuva on otettu tieosan 5 paalulta 2725.



Kuva 6.15 KBAB -koeosuuden ylikuumalla osuudella havaittu sankka höyry
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Liian korkea levityslämpötila ei vaikuttanut asfalttimassan työstettävyyteen millään tavalla. Päällyste ei tarttunut valssiin kiinni, vaan jyräys onnistui runsaan veden ja emäksisen pesuaineen käytön avulla normaaliin tapaan. Päällyste myös tiivistyi kuten vertailupäällyste. Vaikka lämpötila ei vaikuttanut massan työstettävyyteen, on liian kuuma sekoituslämpötila todennäköisesti vähentänyt kumibitumin tuomia kumimaisia ominaisuuksia. Yleisesti voidaan sanoa, että kumibitumimassa oli hyvin tasalaatuista, eikä päällysteen pinnalla havaittu merkittäviä lajittumia tai bitumin pintaan nousuja. Vertailupäällysteeseen verrattuna KBAB:n pinta näytti hieman tiiviimmältä sekä niin sanotusti märemmältä. Kuvassa 6.16 on nähtävissä päällysteiden välinen väriero selvästi.



Kuva 6.16 KBAB- ja AB -päällysteen pinnan ero (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvassa 6.16 lähempänä on KB -päällyste. Päällysteiden vertailussa tulee ottaa huomioon, että vertailupäällyste on tehty edellisenä päivänä. Työntekijöiden mukaan asfalttimassa käyttäytyi lapioidessa ja kolatessa normaaliin tapaan, eikä se tarttunut työvälineisiin kiinni AB -massaa pahemmin.

Tieosan 5 paalun 2475 kohdalla päällysteen ulkoreunaan tehtiin käsin levennys muutama metrin matkalta. Toimenpide ei kuitenkaan aiheuttanut päällysteen laatuun silminnähtävää poikkeamaa, vaan pinta näytti jyräyksen jälkeen tasaiselta. Oletettavasti tarkasteltava kohta ei ole ympäröivää päällystettä vaurioitumisherkempi. Asfalttimassan levityslämpötila laski halutulle tasolle likimain Vastamäentien liittymän kohdalla tieosan 5 paalulla 2365. Päällysteen pinnassa ei ollut nähtävissä silmin nähtävää eroa.

Koeosuuden paalulla 2212 oli nähtävissä harvempi keskisauma. Samanlainen havainto tehtiin myös yksityistien Viljakkalantie 249–267 kohdalla likimain paalulla 1950. Asfalttimassa oli koko osuudella hyvin tasalaatuista, eikä tien pinnalla esiintynyt lajittumia tai muita merkkejä, jotka viittaisivat massan lajittuneisuuteen. Näin ollen voidaan olettaa, etteivät harvat keskisaumat ole todennäköisesti aiheutuneet asfalttimassan laadusta. Liittymän kohdalla esiintyvä harva sauma on luultavasti aiheutunut raskaan liikenteen vaikutuksesta. Ajoneuvot ovat pyöristäneet luultavasti vielä lämpimän vertailupäällysteen reunan kääntyessään liittymästä, eikä sauman lämmitin ei ole lämmittänyt vertailupäällysteen pyöristynyttä osaa tarpeeksi kyseisellä osuudella, jolloin levitettävä massa ei ole tarttunut olemassa olevan päällysteen yläpintaan ja sauma on jäänyt pinnasta harvaksi. Aiemman paalun 2212 harvan keskisauman voi selittää liikenteen aiheuttama vertailupäällysteen pinnassa syntynyt deformaatio tai työvirhe. Kuvassa 6.17 on kuvattu kumibitumiosuuden päällystenäytteiden ottopaikan kohdalla havaittu harva keskisauma.



Kuva 6.17 Päällystenäytteiden ottopaikan kohdalla havaittu harva keskisauma (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Koeosuuden viimeisenä havaintona oli likimain paalun 1958 kohdalla tapahtunut pieni työvirhe. Tien reunan esijyräyksessä jyrä ohjautui liiaksi tien reunaan, minkä takia jyrä niin sanotusti tippui tieltä aiheuttaen tien reunan murtuminen. Tällä kohdalla on korkea reunadeformaatoriski. Taulukkoon 6.14 on koottu koeosuuden tierekisteriosoitteisiin sidotut havainnot ja poikkeamat yhteenvetona.

Taulukko 6.14 KBAB -koeosuuden havainnot

Tieosa	Etäisyys [m]	Havainto
5	2365–3040	Asfalttimassa ohjeelliseen sekoituslämpötilaan nähden liian kuumaa, ei työstettävyyso ongelmia, voimakas haju
5	2475	päällysteen ulkoreunan täyttö käsin, päällysteen laadussa ei silminnähtäviä poikkeamia
5	2212	Harva keskisauma
5	1958	Tien reunan murtuminen
5	1950	Harva keskisauma

Taulukosta 6.14 huomataan, että suurin koeosuuden ongelma oli asfalttimassan korkea lämpötila. Se ei kuitenkaan vaikuttanut massan työstettävyyteen.

6.3.4 PAB-B -päällyste

Pehmeän asfalttibetonipäällysteen (PAB) koeosuus sijaitsee tieosalla 5 tierekisteriosoitteivälillä 973–1928. Asfalttimassassa sideaineena käytettiin luokan B 650–900 bitumia. Massan sideainepitoisuus oli 4,2 %. PAB-B -asfalttimassan suhteitustiedot on kokonaisuudessaan luettavissa liitteestä 3. PAB-B -massan ohjeellinen sekoituslämpötila asfaltinormien mukaan on 110–140 °C. Asfalttimassa laskeutui hiekan omaisesti lavalta, eikä asfalttimassan lämpötiloja pystytty mittamaan, kuten esimerkiksi vertailumassan ja kumibitumimassan. Massan laadun vuoksi lämpötilat mitattiinkin levityskoneen etupuolelta ja lämpötilat pyörästettiin ylöspäin seuraavaan 5 °C:een pienen jäähtymisen huomioimiseksi. Taulukossa 6.15 on kuvattu päällystystyön aikana mitatut lämpötilat. Mittauspisteiden sijainnit on esitetty tierekisteriosoitteina. Liitteen 4 lämpötilakartoissa on havainnollistettu asfalttimassakuormien lämpötilojen vaihtelu koeosuuden aikana.

Taulukko 6.15 PAB-B -massan levitys- ja jyräyslämpötilat

Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpötila [°C]	Päällysteen pinta [°C]	1. jyräys [°C]
5	1928	120*	115–120	105–110
5	1878	130–140	125–130	120
5	1825	120–130	120	80–90**
5	1748	125–130	120	100
5	1698	125–130	120	105
5	1628	125	120	110
5	1568	130	120	100
5	1508	130	120	100
5	1448	130	123	100
5	1388	130	120	110
5	1328	130	118	105
5	1258	125–130	120	100
5	1208	130–135	122	100
5	1148	130	120	100
5	1098	135	122	105
5	1038	125–130	116	105

*Kuorma ehti jäähtyä ennen mittausta

**Levityskoneen korjaus

Paalulla 2603 levittimen kierukat jumittuivat, minkä takia asfaltin levitykseen syntyi pieni tauko. Tämä selittää taulukossa 6.15 esiintyvän alhaisen esijyräyksen lämpötilan. Alhaisesta jyräyslämpötilasta huolimatta päällyste tiivistyi normaaliin tapaan, eikä kyseisessä kohdassa (2773/5/1812) havaittu mitään normaalista poikkeavaa.

PAB-B -massa oli työstettävyydeltään paikoin erilaista. Asfalttimassan laatu vaikutti erityisesti jyräykseen. Jyräkuljettajien mukaan asfalttimassa tiivistyi esijyräyksessä vertailumassan tavoin, mutta päällysteen pinnan tasaaminen aiheutti paikoin vaikeuksia. Sekä tiivistys- että jälkijyräyksessä tuli jyräkuljettajien mukaan olla erityisen tarkkaavaisia, jotta päällysteen pintaan ei jäänyt valssin jälkiä. Asfalttimassan sideaineen takia päällyste ei kovettunut nopeasti vaan säilytti muokkautuvuutensa hyvin pitkään. Esijyräyksen saumauksen tekemistä vaikeutti myös se, että päällyste tehtiin viileänä aamuna. Vertailu- ja PAB-B -päällysteen sauma oli hankalaa jyrätä, koska kaistojen välinen lämpötilaero oli niin suuri, että se sai aikaan suuren jäykkyyseron päällysteiden välille. Jälkijyräys osoittautui koeosuudella haastavaksi. Jyräkuljettajan mukaan päällyste ei kestänyt jyräystä hyvin, vaan se halkeili jyrätessä. Halkeilu havaittiin valssin reunoilta nousseena asfalttimassana. Päällystetylle osuudelle päästettiinkin liikenne poikkeuksellisen aikaisin tiivistämään päällystettä. Liikenteen aiheuttama pieni esikuormitus sekä päällysteen viileneminen helpottivat hieman jälkijyräystä. Vastaavasti lapio- ja kola-

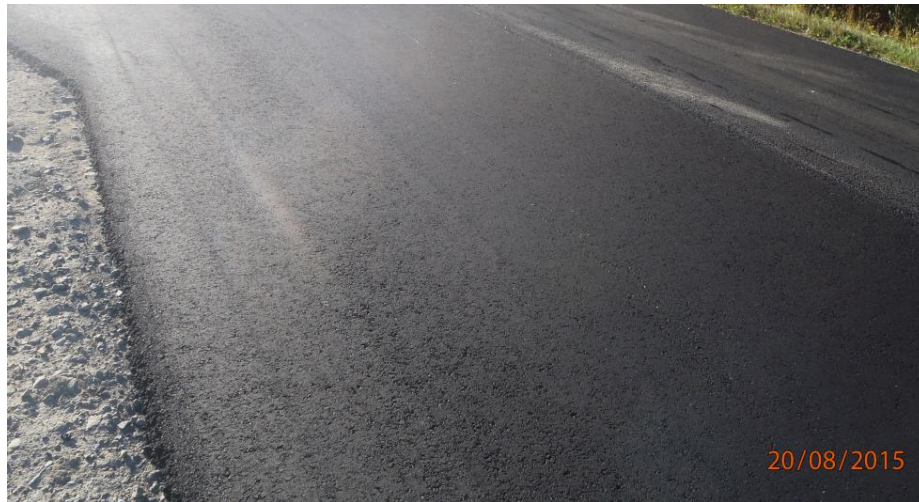
miehet kertoivat työnsä onnistuneen yhtä vaivattomasti kuin perusmassojen tapauksessa.

Koeosuuden alussa paalulla 1928 päällystystyöstä teki haastavaa osuuden aloituspaikka. Osuus alkoi rinteestä, jolloin tien pinnan pituus- ja poikkisuuntainen kallistus aiheutti varsinkin jyräämiselle haasteita. Alamäkeen jyrätessä PAB-B -massa pyrki liikkumaan jyrän alla aiheuttaen osuuden alkuun pienen kohouman. Aloituskohta saatiin kuitenkin tasaiseksi, eikä tien pinnalle jäänyt tien käyttäjien ajoturvallisuuteen tai -mukavuuteen vaikuttavaa kohoumaa. Kuva 6.18 on otettu koeosuuden alusta. PAB -päällyste on kuvassa oikealla. Kuvasta nähdään, että päällysteen pinta oli koeosuuden alussa tasainen eikä siinä havaittu merkittäviä lajittumia.



Kuva 6.18 PAB -päällysteen laatu koeosuuden alussa (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Yleisesti ottaen PAB -massa oli hieman lajittumisherkempää kuin vertailumassa, minkä vuoksi päällysteestä tuli paikoin epätasalaatuista. Koeosuudella oli havaittavissa yksittäisiä harvempia kohtia sekä yhtenäinen linja, jossa päällysteen pinta jäi harvaksi. Varsinkin, mikäli kaista oli leveä, ja asfalttimassaa levitettiin levittimen perää leveämmälle alueelle, päällysteen pinnassa pystyi näkemään harvemman linjan tien reunan puoleisen zoomin kohdalla. Kuvassa 6.19 on kuvattu esimerkki tällaisesta osuudesta. Kuvan esimerkkiosuus sijaitsee väliaikaisen maankaatopaikan kohdalla likimain paalulla 1614.



Kuva 6.19 Väliaikaisen maankaatopaikan kohdalla havaittu harvempi linja PAB-B -päällysteessä (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Asfalttimassassa käytetyn hyvin juoksevan B650/900 luokan bitumin takia asfalttimassa oli levitettäessä muita massoja kuohkeampaa. Asfalttimassa tiivistyi työntekijöiden mukaan kuitenkin normaaliin tapaan, minkä vuoksi asfalttimassan levitystyö tehtiin samaan tapaan kuin muidenkin asfalttimassojen.

Paalun 1195 kohdalla levitystyössä oli tauko, kun asfaltinlevitin odotti uutta kuormaa. Päällystystyön aikaiset sääolosuhteet olivat hyvät ja työkoneet jo lämmenneet, joten asfalttimassa ei ehtinyt jäähtymään. Päällysteen tiivistäminen sujui ongelmitta, eikä pieni tauko aiheuttanut päällysteeseen heti levitystyön jälkeen havaittavia poikkeamia.

Salomaantien liittymän jälkeen paalulla 1083 esiintyi lyhyt osuus, jonka tiivistäminen oli erityisen haastavaa. Osuus ei tiivistynyt tasaisesti, vaan jyränkuljettaja havaitsi päällysteen jäävän helposti epätasaiseksi. Näin ollen osuus jouduttiin jyräämään moneen kertaan hyvän lopputuloksen saamiseksi. Jyräysohjelmien epäiltiin aiheutuneen pohjan pettämisestä. Vertailupäällystettä tehdessä Salomaantien liittymärumpun havaittiin olevan tukossa ja kuntokartoituksen yhteydessä tehtyjen maatutkauksien tutkimustuloksissa tierakenteessa havaittiin kosteutta. Näin ollen arvio tierakenteessa esiintyvistä ongelmista voi hyvinkin pitää paikkansa. Taulukkoon 6.16 on kerätty tierekisteriosoitteisiin sidotut testiosuuden havainnot yhteenvetona.

Taulukko 6.16 PAB-B -koeosuuden havainnot

Tieosa	Etäisyys [m]	Havainto
5	1812	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä ei havaittu poikkeamia
5	1614	Päällysteen pinnassa harva linja
5	1195	Asfaltinlevitin seisoo (tauko noin 15 min), päällysteessä ei havaittu poikkeamia
5	1083	Haastava kohta jyrätä, liittymärumpu tukossa

Taulukosta 6.16 nähdään, ettei koeosuudella tapahtunut erityisen paljon mitään poikkeavaa. PAB -massa on ominaisuuksiltaan ja koostumukseltaan erilaista kuin muut koe-kohteen massat ja ne asettivat päällystystyöhön paikoin haasteita.

6.3.5 HMA -kuitumodifioitu asfalttipäällyste

HMA -kuitumodifioidun asfalttipäällysteen koeosuus sijaitsee tierekisteriosoitevälillä 2773/4/6505–5/973. Asfalttimassan sideaineena käytettiin B 70/100 -luokan bitumia. Asfalttimassan bitumipitoisuus oli 5,5 % ja lisäaineen osuus 0,05 %. Kuitumodifioidun asfalttimassan tarkat suhteitustiedot on katsottavissa liitteestä 3. HMA -kuidulla modifioidun asfalttimassan ohjeellinen sekoituslämpötila on sama kuin vertailumassan eli 140–180 °C, mutta modifioidun asfalttimassan sekoituslämpötila ei saa alittaa vertailumassan lämpötilaa. Taulukossa 6.17 on esitetty massan levityksen aikana mitatut lämpötilat. Lämpötilat on mitattu samalla tavalla kuin PAB-B -massan ja mittaustulokset on sidottu tierekisteriosoitteisiin. Liitteen 4 lämpötilakartoissa on havainnollistettu asfaltti-kuormien lämpötilojen vaihtelu koeosuuden aikana.

Taulukko 6.17 HMA -kuitumodifioidun koeosuuden levitys- ja jyräyslämpötilat

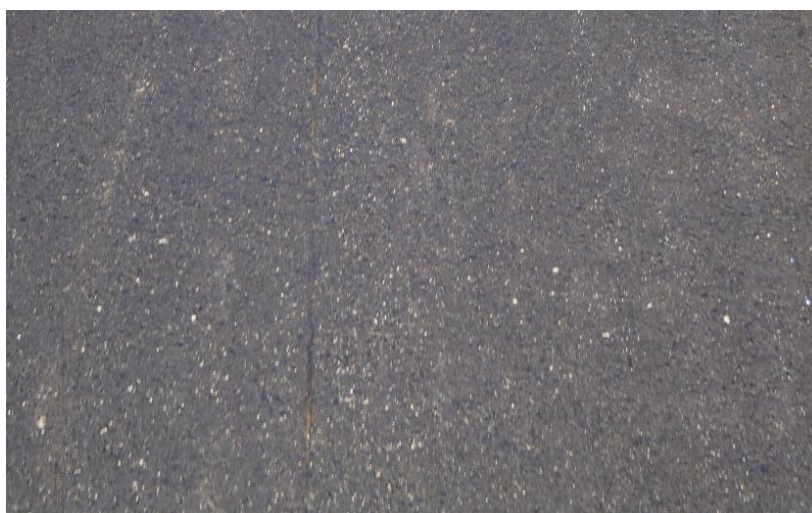
Tieosa	Etäisyys [m]	Kuorman lämpö-tila [°C]	Päällysteen pinta [°C]	1. jyräys [°C]
5	973	155–160	150	140
5	925	170	155	145
5	850	165	155	140
5	800	160	145	135
5	740	160	145	130
5	680	165	150	140
5	610	160	145	130
5	540	165	150	140
5	480	160	145	140
5	440	155	140–145	135
5	370	155	140–145	130
5	310	160	145	140
5	250	160	145	135
5	190	165–170	155	145
5	140	160	145	130
5	70	160	145	135
5	10	160	145	135
4	6885	160	145–150	130
4	6815	160	150	140
4	6765	–	–	135
4	6725	155–160	145	130
4	6645	160	145	130
4	6575	160	145	140
4	6545	155	140	130

Taulukon 6.17 arvoista nähdään, että asfalttimassan lämpötilat ovat ohjeellisten arvojen mukaiset. Yleisesti ottaen päällysteen pinta oli hyvin tasalaatuinen ja tasainen. Tien pinnalla ei ollut havaittavissa mainittavia lajittumia juuri lainkaan, vaan pinta oli tiivis ja tasainen likimain koko koeosuuden matkalta. Työntekijöiden mukaan asfalttimassa oli hyvin AB -massojen kaltainen työstettävyydeltään. Kuitumodifioitu asfalttimassa tiivistyi normaalisti eikä jyräyksessä havaittu mitään tavallisesta poikkeavaa. Tiivistys-jyräyksessä käytettiin vertailupäällysteeseen verrattuna runsaasti enemmän vettä. Päällysteen pinta oli vertailupäällystettä tummempi, kuten kuvasta 6.20 nähdään. Päällysteiden eroa arvioitaessa tulee ottaa huomioon, että vertailupäällyste on tehty aiemmin ja, että kuvassa esiintyvä osuus sijaitsee alhaisemman 5,2 % sideainepitoisuuden osuudella.



Kuva 6.20 HMA -kuitumodifioitu ja AB-päällyste (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvasta 6.20 nähdään myös, että kuitumodifioidun päällysteen pinta on hyvin tasalaatuinen ja tiivis. Koeosuuden alkupuolella päällysteen pinnalla oli havaittavissa kohtia, joista bitumi kului pois pintakivien päältä esijyräyksen yhteydessä. Mahdolliseksi syyksi arvioitiin kahden erityyppisen bitumin reaktiota. Koeosuuden alussa levittimeen on voinut jäädä pieniä jäämiä PAB -massaa, jolloin pehmeä bitumi on sekoittunut kuitumodifioituun asfalttimassaan koeosuuden alussa. Kuvassa 6.21 näkyy paalulla 880 havaittu päällysteen pinnalla esiintyvä sideaineen kuluminen.



Kuva 6.21 Päällysteen pinnassa havaittu sideaineen kuluminen (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Samanlainen havainto tehtiin myös Vuorikallion liittymän läheisyydessä tien reunassa paalulla 390. Bitumin kuluminen oli kuitenkin vähäisempää kuin koeosuuden alkupuolella. Vastamäentien liittymän kohdalla paalulla 660 tien keskisauma jäi hieman harvaksi ja saumasta irtoili hieman kiviä. Harvan keskisauman syynä voi olla joko työvirhe tai raskaan liikenteen aiheuttama vertailupäällysteen reunan pyöristymisen. Asfalttimassa

oli hyvin tasalaatuista, joten se ei luultavasti selitä sauman harvuutta. Kuvassa 6.22 on esitetty Vastamäentien liittymän kohdalla havaittu harva keskisauma.



Kuva 6.22 Vastamäentien liittymän kohdalla havaittu harva keskisauma
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Levitin seisoi tien 65 rampin kohdalla tieosan 5 paalulla 340 hetken, kun työntekijät täyttivät liittymän reunoja käsin. Tämä ei kuitenkaan aiheuttanut päällysteen tiivistyvyyteen tai pinnan laatuun heti levitystyön jälkeen havaittavia poikkeamia. Levitin seiso myös tieosan 4 paaluilla 6535 ja 6648, mutta tauot olivat niin lyhyitä, etteivät nekkään aiheuttaneet päällysteeseen ainakaan heti päällystystyön jälkeen silminnähtäviä poikkeamia.

Tien 65 rampin kohdalla sekä tämän jälkeen likimain paaluvälillä 240–330 päällysteen pinnassa oli havaittavissa kohtia, joista sideaine oli hieman kulunut ja päällysteen pinnasta oli irronnut pintakiviä. Tämän aiheutti liikenteen pääseminen kaistalle heti esijyräyksen jälkeen, kun päällyste oli vielä hyvin lämmin. Suurimmat vauriot esiintyivät tie 65 rampin liittymän kohdalla, jossa liittymästä kääntyneiden ajoneuvojen irrottivat päällysteen pinnasta kiviä. Kuvassa 6.23 on nähtävissä liittymän kohdalla esiintyneet päällysteen pinnan vauriot.



Kuva 6.23 Liikenteen aiheuttama päällysteen pinnan vauriot
(Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Viimeinen koeosuuden havainto oli yksittäinen suurempi lajittuma, joka havaittiin tien 65 rampin jälkeen paalun 273 kohdalla. Vastaavasti taulukkoon 6.18 on kerätty tierekis-teriosoitteisiin sidotut koeosuuden havainnot yhteenvetona.

Taulukko 6.18 HMA-kuitumodifioidun koeosuuden havainnot

Tieosa	Etäisyys [m]	Havainto
5	880	Sideaineen kuluminen pintakivistä esijyräyksen aikana
5	660	Harva keskisauma
5	390	Sideaineen kuluminen pintakivistä esijyräyksen aikana (tien reuna)
5	340	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä ei havaittu poikkeamia
5	240–320	Liikenteen aiheuttamia vaurioita tuoreessa päällysteessä
5	273	Lajittuma
4	6648	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä ei havaittu poikkeamia
4	6535	Asfaltinlevitin seisoo, päällysteessä ei havaittu poikkeamia

Taulukon 6.18 havainnoista nähdään, että kuitumodifioitu asfalttimassa oli tasalaatuista, eikä päällysteessä ollut havaittavissa mainittavia lajittumia juuri lainkaan. Levitystyön tauot eivät myöskään aiheuttaneet päällysteeseen heti päällystystyön jälkeen silminnähtäviä poikkeamia.

7. KOEKOHTEELLA TEHDYT SEURANTAMITTAUKSET

7.1 Testausmenetelmät

7.1.1 Sideainenäytteet

Sideainenäytteistä sekä asfalttimassoista uutetuista bitumeista määritettiin sideaineen tunkeuma, pehmenemispiste, elastinen palautuma ja voimavenymä sekä bitumin erilaisia reologisia ominaisuuksia dynaamisella leikkausreometrillä (Dynamic Shear Rheometer, DSR). Sideainetestien testausmenetelmät on kuvattu alla.

Tunkeuma (SFS-EN 1426)

Suomessa tislattut bitumit luokitellaan tunkeuman perusteella eri kovuusluokkiin. Kovuuden lisäksi tunkeuma antaa käsityksen muista sideaineen fysikaalisista ominaisuuksista. (Blomberg 1990, s. 119) Esimerkiksi bitumiluokka 70/100 tarkoittaa, että bitumin tunkeuma on 70–100 0,1 mm. Bitumit voidaan jakaa tunkeuma-arvon mukaan kolmeen ryhmään: tiebitumeihin, pehmeisiin tiebitumeihin sekä viskositeettiluokiteltuihin bitumeihin. (PANK ry 2011, s. 29)

Bitumin tunkeuma määritetään standardin SFS-EN 1426 mukaisesti. Testissä sideainenäytettä kuormitetaan standardineulalla vähintään kolmesta kohtaa pystysuorasti 5 sekuntia 100 g painolla ja mitataan neulan tunkeuma. Alle 330 0,1 mm tunkeuman omaavat sideaineet testataan 25 °C lämpötilassa ja tätä pehmeämmät bitumit 15 °C lämpötilassa. (SFS-EN 1426 2015) Kuvassa 7.1 on esitetty tunkeuman määrittämiseen soveltuva koelaitteisto, penetrometri.



Kuva 7.1 Penetrometri (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Testin tuloksena saadaan bitumin neulakovuusarvo 0,1 mm tarkkuudella. Tulos laske-
taan kolmen määrittelyn keskiarvona. (SFS-EN 1426 2015)

Pehmenemispiste (SFS-EN 1427)

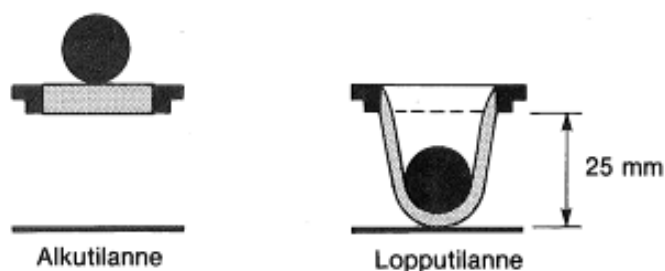
Bitumin pehmenemispisteellä kuvataan bitumin pehmenemistä lämpötilan noustessa. Ennen testiä valmistetaan testinäytteet valamalla sideainetta teräsrenkaisiin. Kuvassa 7.2 on esitetty valmiit testinäytteet ennen testausta.



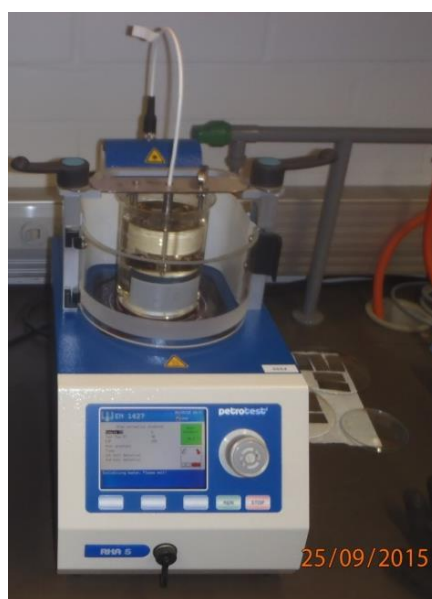
Kuva 7.2 Testinäytteet ennen testiä
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Bitumin pehmenemispiste määritetään standardin SFS-EN 1427 mukaisesti. Pehmenemispiste määritetään joko vesi- tai glyserolihauteessa riippuen bitumin arvioidusta pehmenemispisteestä. Testissä teräskuula lasketaan näytteen pinnalle ja hauteen lämpötilaa nostetaan tasaisesti 5 °C/min. Kun bitumin lämpötila nousee, se pehmenee, eikä lopulta jaksa enää kantatella kuulaa, vaan se alkaa valua. Bitumin pehmenemispiste on se lämpötila, jossa kuula aiheuttaa sideaineeseen 25 mm suuruisen muodonmuutoksen.

(SFS-EN 1427 2015) Kuvassa 7.3 on kuvattu testin alku- ja lopputilanne ja kuvassa 7.4 pehmenemispisteen määrittämiseen soveltuva testilaite. Testausmenetelmä tunnetaan myös nimellä rengas–kuula-menetelmä.



Kuva 7.3 Bitumin pehmenemispisteen määrittämisen periaate (Blomberg 1990, s. 90)



Kuva 7.4 Pehmenemispisteen määrittäyslaitte (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Bitumin pehmenemispiste ilmoitetaan yksikössä °C kahden rinnakkaisen määrittämisen keskiarvona. (SFS-EN 1427 2015)

Elastinen palautuma (SFS-EN 13398)

Sideaineen elastinen palautuma kuvaa sideaineen kykyä palautua ennalleen ja se määritetään standardin SFS-EN 13398 mukaisesti. Testausmenetelmä soveltuu tavallisten tiebitumien lisäksi sekä termoplastisilla elastomeereilla modifioitujen bitumien että vähäisen palautuman omaavan bitumisen sideaineen palautuman määrittämiseen. (SFS-EN 13398 2010)

Testinäytteet valmistetaan standardin EN 12594 mukaisesti valamalla bitumia valamuottiin. Testinäytteen tekemiseen soveltuva muotti on esitetty kuvassa 7.5.



Kuva 7.5 Elastisen palautuman testinäytteen valumuotti
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Vetokokeen aloittamiseksi muotista poistetaan sivutuet ja testinäyte asetetaan vetolaitteeseen. Näytettä venytetään vetolaitteessa vakionopeudella 50 mm/min 200 mm, minkä jälkeen se katkaistaan keskeltä kahteen osaan. Mikäli sideaine on niin hauras, että se murtuu ennen kuin saavuttaa 200 mm kokonaispituuden, palautuma voidaan määrittää murtotilassa. Vetokokeen jälkeen bitumirihmat asetetaan kryostaattiin 30 min samaan lämpötilaan kuin missä vetokoe on tehty. Tyypilliset testauslämpötilat ovat 10 °C ja 25 °C. (SFS-EN 13398 2010)

Palautuma-ajan jälkeen näytteen puolikkaiden lyhenemät mitataan 1 mm tarkkuudella. Palautuma lasketaan näiden summan ja testinäytteen lopullisen pituuden (200 mm) suhteena. Elastinen palautuma ilmoitetaan 1 % tarkkuudella. (SFS-EN 13398 2010)

Voimavenymä (SFS-EN 13703 + 13589)

Voimavenymä kuvaa bitumin sitkeyttä eli kykyä venyä ja muodostaa rihmaa. (Blomberg 1990, s. 103) Testinäytteet valmistellaan samaan tapaan kuin edellä esitetyn palautumatestin testinäytteet. Ainoana erona on testinäytteiden muoto. Niin kutsutuissa koiranluumuoteissa keskiosa on kavennettu, jotta venymä saataisiin kohdistettua siihen. Voimavenymäkokeen testinäytteiden tekemiseen soveltuva muotti on esitetty kuvassa 7.6.



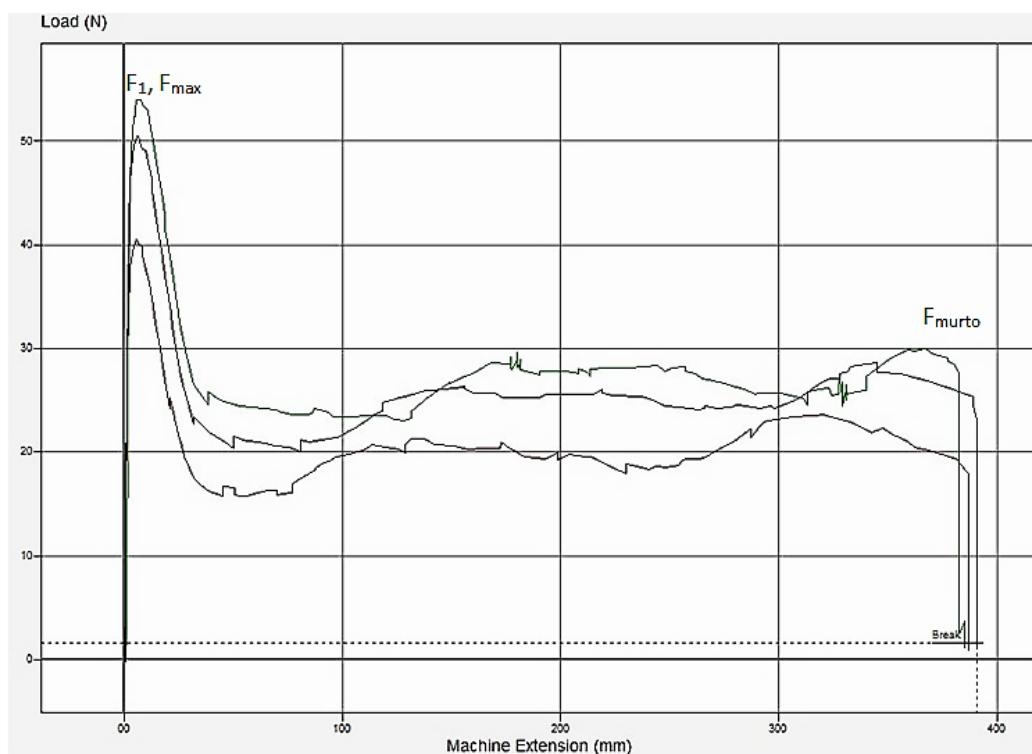
Kuva 7.6 Voimavenymäkokeen testinäytteen valumuotti
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Sideaineen voimavenymä määritetään standardin SFS-EN 13703 (2004) mukaisesti. Ennen testiä muotista poistetaan keskikappaleet ja näyte asetetaan vetolaitteeseen. Testissä testinäytettä vedetään testilämpötilassa vakionopeudella 50 mm/min näytteen murtoon asti tai, kunnes saavutetaan vähintään 1333 % venymä, mikä tarkoittaa näytteen 400 mm kokonaispituutta. Mikäli näyte murtuu ennen 400 mm, tulee testi uusiksi. Jos toinenkin testinäyte rikkoutuu ennen aikaisesti, testauslämpötilaa nostetaan 5 °C kerrallaan kunnes saavutetaan lämpötila, jossa bitumi kestää testin. Testauslämpötila on yleensä 5 °C, mutta pehmeämmät bitumit voidaan testata alemmassa, esimerkiksi 0 °C, lämpötilassa. Vastaavasti kovat PMB:t tulisi testata 10 °C tai 15 °C lämpötilassa. (SFS EN 13589 2009)

Vetokokeessa mitataan näytteeseen kohdistuvaa vetovoimaa ja sen aiheuttamaa venymää bitumissa. Esimerkki testin tuloksena saadusta voima–venymäkäyrästä on esitetty kuvassa 7.7. Voima–venymäkäyrästä voidaan laskennallisesti määrittää työ, joka tarvitaan tietyn muodonmuutoksen aikaan saamiseksi. Työ [J] lasketaan halutulta väliltä voima–venymäkäyrän alapuolisena pinta-alana. Tulokset lasketaan standardin SFS-EN 13703 (2004) mukaisesti.

Voimavenymä ja elastinen palautuma (LMK 1/02)

Tässä tutkimuksessa asfalttimassasta uutettujen sideaineiden voimavenymä ja elastinen palautuma määritetään käytännön syistä samassa testissä Lemminkäisen keskuslaboratorion oman testausmenetelmän LMK 1/02 mukaisesti. Testaus tehdään sideaineesta riippuen yleensä -10 °C, 0 °C tai 10 °C lämpötilassa. Testissä testinäytettä vedetään vetolaitteella pystysuunnassa murtoon saakka, minkä jälkeen määritetään näytteen elastinen palautuma. Kuvassa 7.7 on kuvattu testin tuloksena saatu esimerkkikuvaaja voima–venymäkäyrästä. Testin tuloksena saadusta kuvaajasta voidaan ilmoittaa erilaisia parametreja. Kuvaajassa F_1 kuvaa käyrän ensimmäisen voimapiikin maksimivoimaa, joka tavallisesti kuvaa pohjabitumin osuutta venymästä. F_{\max} kuvaa koko testin maksimivoimaa ja F_{murto} sideaineen murtumisen aiheuttavaa voimaa. Edellä kuvatut parametrit riippuvat tutkittavasta sideaineesta, eikä esimerkiksi F_1 voima ilmoittaa yleistä määritelmää. Tutkimusparametrien havainnollistamiseksi ne on merkitty myös kuvaan. Voimavenymä määritetään kuvaajasta edellä esitetyn standardin SFS-EN 13703 mukaisesti.

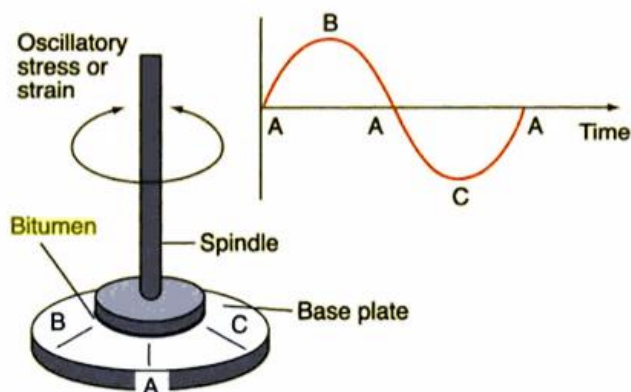


Kuva 7.7 Voimavenymän ja elastisen palautuman määrittämisessä testituloksena saatu voima–venymäkäyrä. (Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)

Asfalttinormien ja kumibituminormien (SFS-EN 14023) mukaan voimavenymä tutkitaan edellä esitettyjen standardien SFS-EN 13703 ja SFS-EN 13589 mukaisesti ja elastinen palautuma standardin SFS-EN 13398 mukaisesti. Lemminkäinen Infra Oy:n tekemien tutkimuksien mukaan testausmenetelmä antaa hyvän korrelaation Asfalttinormien virallisten testausmenetelmien kanssa. (Forstén & Väisänen 2016, s. 19)

Reologiset ominaisuudet (SFS-EN 14770)

Bitumin reologisia ominaisuuksia tutkittiin (Dynamic Shear Rheometer) DSR -laitteella SFS-EN 14770 (2012) mukaisesti. Tutkimuksessa sideainenäyte asetetaan reometrissä kahden päällekkäisen levyn väliin ja ylempi levy aiheuttaa oskilloivalla liikkeellä näytteeseen leikkausvoiman. Kuvassa 7.8 on kuvattu DSR -reometrin toimintaperiaate. (Shell Bitumen 2003, s. 145)



Kuva 7.8 DSR -laitteen toimintaperiaate (Shell Bitumen 2003, s. 145)

Kuvassa 7.8 esiintyvä kuvaaja havainnollistaa reometrissä ylemmän levyn testinäytteen aiheuttamaa yhtä kuormitusyhtiä. Kuvassa piste A kuvaa levyn alkuperäistä asemaa. Levy siirtyy pyörähtäessään ääriasemaan (piste B), josta se siirtyy tämän jälkeen alkuperäisen aseman kautta toiseen ääriasemaan (piste C) ja palaa lopulta takaisin lähtöpisteeseen. Tämä sinikäyrän muotoinen liike toistuu jatkuvana koko testin ajan. (Shell Bitumen 2003, s. 145) Kuvassa 7.9 on esitetty sideaineen reologisten ominaisuuksien tutkimiseen soveltuva DSR -laite.



Kuva 7.9 Dynaaminen leikkausreometri (DSR -laite)
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Laite mittaa testinäytteen kohdistuvan voiman, siitä aiheutuvan muodonmuutoksen sekä näiden vaihe-eron. Mittaukset voidaan tehdä laajalla lämpötila- ja kuormitusalueilla ja mittaustuloksista voidaan laskea erilaisia parametreja.

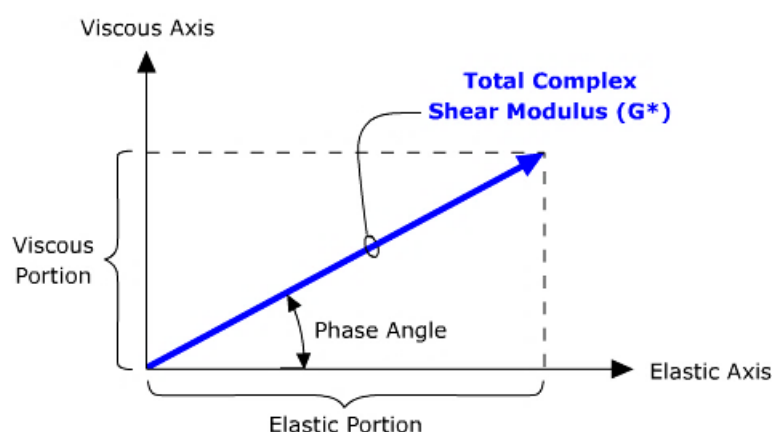
Tämän tutkimuksen yhteydessä bitumin reologisista ominaisuuksista määritettiin kompleksinen leikkausmoduuli G^* ja faasikulma δ lämpötila-alueella 10–100 °C. Suureiden

taustalla oleva teoria käsitellään tässä työssä vain sillä tarkkuustasolla, että testitulosten tulkinta on mahdollista.

Viskoelastisella materiaalilla, kuten bitumi, kompleksinen leikkausmoduuli G^* koostuu häviömoduulista G'' ja varastomodulista G' . Näistä parametreista G' kuvaa bitumin elastista käyttäytymistä eli kuormituksessa palautettavissa olevaa energiaa ja G'' viskoosista käyttäytymistä eli menetettävää energiaa. Kaavassa 3 on esitetty kompleksisen leikkausmoduulin G^* ja sen komponenttien välinen yhteys. (Shell Bitumen 2003, s. 146)

$$G^* = \sqrt{(G'')^2 + (G')^2} \quad (3)$$

Kaavan 3 suureet kuvataan usein vektoreina, jolloin kompleksinen leikkausmoduuli ja sen komponentit voidaan kuvata, kuten kuvassa 7.10.

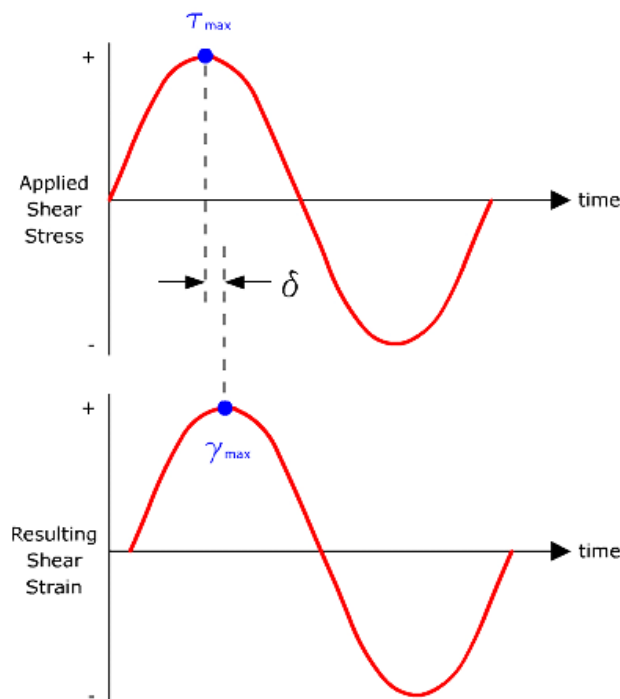


Kuva 7.10 Kompleksisen leikkausmoduulin G^* koostuminen elastisesta ja viskoosisesta komponentista (Pavement interactive 2011)

Kompleksisen leikkausmoduulin G^* komponenttien suhteellinen suuruus määräytyy sen mukaan, kuinka materiaali käyttäytyy kuormituksen alaisena. (Shell Bitumen 2003, s. 146) Kompleksinen leikkausmoduuli G^* kuvaa sideaineen kykyä vastustaa pysyviä muodonmuutoksia (Pavement interactive 2011) Mitä pidempi G^* vektori on ja mitä pienempi kulmakerroin sillä on, sitä suurempi osuus vektorista koostuu elastisesta varastomodulivektorista ja sitä paremmin sideaine pystyy vastustamaan pysyvien muodonmuutosten syntymistä. Asfalttipäällysteen kuormituskestävyyden kannalta on edullista, että päällysteen sideaineen kompleksisen leikkausmoduulin G^* arvo on suuri korkeissa lämpötiloissa, koska silloin päällyste on jäykempi ja liikenteen päällysteeseen aiheuttama kuormitus aiheuttaa siihen vähemmän pysyviä muodonmuutoksia.

Vastaavasti sideaineen faasikulma δ kuvaa kuormituksen aiheuttavan leikkausjännityksen ja jännityksen aikaan saaman kimmoisen leikkausmuodonmuutoksen välistä ajallista vaihe-eroa. Tämä on havainnollistettu kuvassa 7.11. Kuvassa τ_{\max} kuvaa testissä os-

killoivan voiman testinäytteeseen aiheuttamaa maksimileikkausjännitystä ja γ_{\max} näytteeseen syntyvää maksimileikkausmuodonmuutosta.



Kuva 7.11 Testinäytteen leikkausjännitys- ja leikkausmuodonmuutuskäyrä ajan funktiona (Pavement interactive 2011)

Jos kuvassa 7.11 esiintyvät leikkausjännitys- ja leikkausmuodonmuutuskäyrät ovat samassa vaiheessa eli niiden välinen vaihe-ero on 0, sideaine palautuu täysin ennalleen. Vastaavasti mikäli faasikulman arvo on suurempi kuin 0, muodonmuutos ei ehdi palautua kokonaan vaan osa muodonmuutoksista jää pysyviksi. Tämä on havaittavissa myös kuvasta 7.10. Mitä suurempi sideaineen faasikulma on, sitä suurempi osuus G^* -vektorista koostuu viskoosisesta G'' häviömoduulin komponentista, eli sitä suurempi osuus sideaineeseen syntyvistä muodonmuutoksista jää pysyviksi. Faasikulman arvo 0° kuvaa täysin elastista ja 90° täysin viskoosista materiaalia (Pavement interactive 2011). Asfalttipäällysteen kuormituskestävyyden kannalta tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että suuren faasikulman omaavan sideaineen asfalttipäällysteen deformaatiokestävyys testin kuormitustilannetta vastaavissa olosuhteissa on alhainen ja päällysteeseen alkaa kehittyä nopeasti pysyviä muodonmuutoksia. Kompleksiseen leikkausmoduuliin G^* ja faasikulmaan δ vaikuttavat kuormitustaajuus ja lämpötila.

7.1.2 Massanäytteet

Asfalttimassojen laadunvarmistamiseksi kaikista kohteella testatuista asfalttimassoista otettiin massanäytteet, joista tutkittiin asfalttimassojen sideainepitoisuudet ja kiviaineksen rakeisuuskäyrät. Tämän lisäksi asfalttimassoista uutettiin sideainetta sideainetestejä

varten, jotta voitiin tutkia eri sideaineiden vanhenemista sekä lisäaineiden vaikutusta alkuperäisen bitumin ominaisuuksiin.

Liukoinen sideainepitoisuus (SFS-EN 12697-1) ja sideaineen talteenotto (SFS-EN 12697-3)

Liukoinen sideaine voidaan liuottaa asfalttimassasta standardin SFS EN 12697-1 (2013) mukaisesti. Suomessa liuottimena käytetään tyypillisesti metyleenikloridia. Tutkittavan testinäytteen vähimmäismassa määräytyy asfalttimassan maksimiraekoon mukaisesti. Kuvassa 7.12 on kuvattu sideaineen talteenottoon soveltuva laite, fillerisentrifugi.



Kuva 7.12 Fillerisentrifugilaite
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Kuvan 7.12 mukaisessa testilaitteessa karkeampi kiviaines jää seuloille ja hienoaineksen, sideaineen ja liuottimen seos valuu sentrifugiin, jossa pyörivä liike saa aikaan keskipakoisvoiman, jonka avulla hienoaines ($< 0,063$ mm) voidaan erottaa sideaineesta ja liuottimesta. Bitumin talteenotto ja liuottimen haihdutus tehdään standardin SFS EN 12697-3 (2013) mukaisesti. Bitumin ja liuottimen erotteluun soveltuva laite on esitetty kuvassa 7.13.



Kuva 7.13 Sideaineen ja liuottimen erottamiseen soveltuva koelaitteisto (Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Laitteistossa moottori pyörittää mittapulloa hauteessa, jonka lämpötilaa nostetaan porrastetusti. Sideaineesta haihtunut liuotin imetään alipaineella ja otetaan talteen.

Asfalttimassan koostumus (SFS-EN 12697-2 +A1, SFS-EN 12697-1)

Asfalttimassan koostumuksen määrittämiseksi standardin mukaisesta testinäytteestä uutetaan sideaine ja sideaineesta haihdutetaan liuotin edellä esitetyn mukaisesti. Sideainepitoisuus määritetään standardin SFS EN 12697-1 (2013) mukaisesti ja ilmoitetaan 0,1 massa-% tarkkuudella. Bitumin uuttamisen jälkeen seulottava materiaali kuivataan vakiopainoon ja kiviaineksen raekokojakauma määritetään standardin SFS EN 12697-2 + A1 (2007) mukaisesti seulomalla kiviainesrakeet ja punnitsemalla jokaiselle seulalle jäänyt kiviainemäärä.

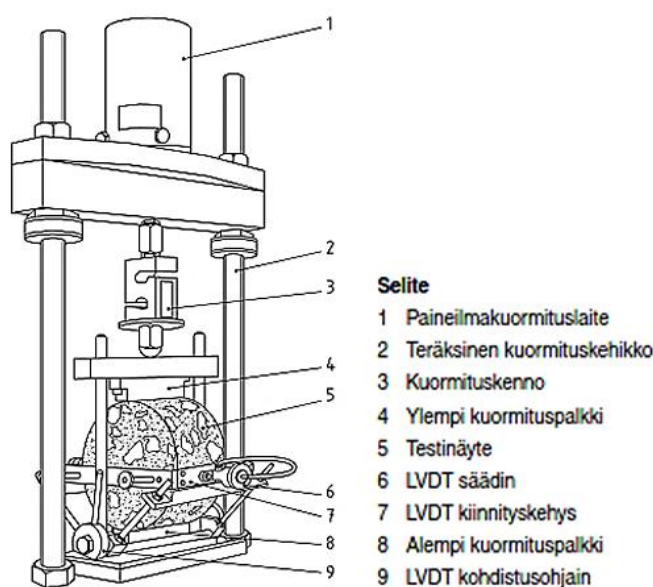
Punnitustuloksista lasketaan edelleen jokaisen seulan läpäisyprosentti. Läpäisyprosentit ilmoitetaan 1 % tarkkuudella lukuun ottamatta 0,063 mm seulaa, jonka läpäisyprosentti ilmoitetaan 0,1 % tarkkuudella. Tuloksena saatujen läpäisyprosenttien avulla voidaan piirtää kiviaineksen rakeisuuskäyrä.

7.1.3 Päällystenäytteet

Päällystenäytteistä tutkittiin asfalttimassojen jäykkyys, nastarengaskulutuskestävyys, deformaatiokestävyys, vedenkestävyys sekä tyhjätila. Alla on kuvattu jokaisen testausmenetelmän pääperiaate.

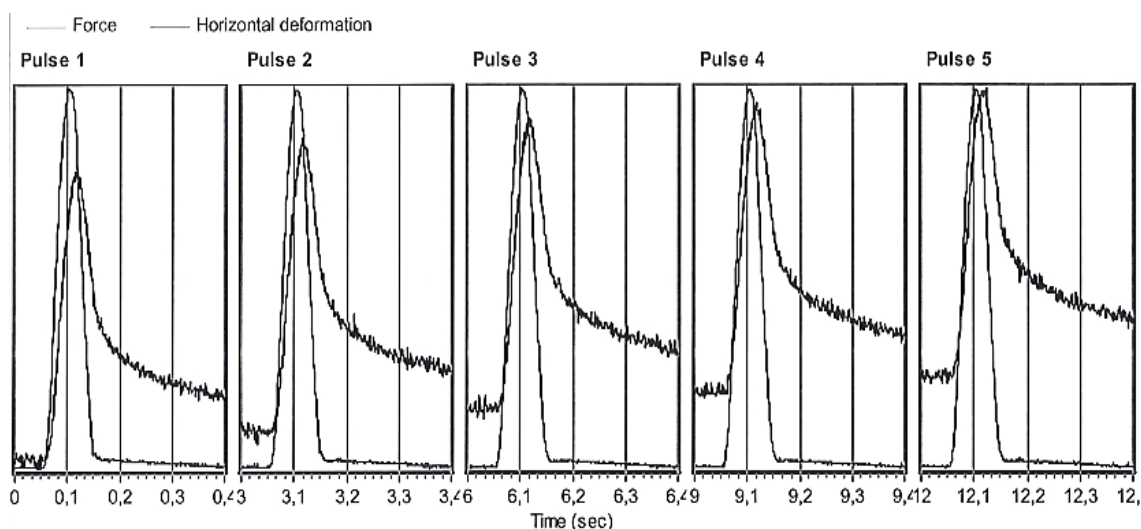
Jäykkyys (SFS-EN 12697-26 C)

Asfalttimassojen jäykkyyttä voidaan tutkia erilaisten taivutustestien sekä suorien ja epäsuorien vetokokeiden avulla. Tässä tutkimuksessa asfalttimassojen jäykkyys määritettiin epäsuoralla vetokokeella lieriönmuotoisille kappaleille (menetelmä C) avulla. Testissä sylinterinmuotoista halkaisijaltaan 100 mm testinäytettä kuormitetaan viidellä kuormituspulssilla, minkä jälkeen näytettä käännetään 90° ja kuormitus toistetaan. Kuvassa 7.14 on esitetty yleiskuva asfalttimassan jäykkyyden määrittämiseen soveltuvasta testilaitteesta.



Kuva 7.14 Yleiskuva epäsuoran vetokokeen testilaitteesta (SFS-EN 12697-26. Muokattu.)

Laite mittaa koekappaleeseen kohdistuvan kuormituksen amplitudin ja sen aiheuttaman muodonmuutoksen sekä jännityksen ja muodonmuutoksen välisen vaihe-eron. Kuvassa 7.15 on kuvattu tyypiesimerkki testin tuloksena saatavista mittaustuloksista. Kuvassa tasaisempi viiva kuvaa testissä koekappaleeseen kohdistuvaa voimaa ja rosoisempi viiva voiman koekappaleeseen aiheuttamaa vaakasuuntaista muodonmuutosta.



Kuva 7.15 Viiden kuormituspulssin voiman ja niiden koekappaleeseen aiheuttaman vaakasuuntaisen muodonmuutoksen kuvaajat (Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)

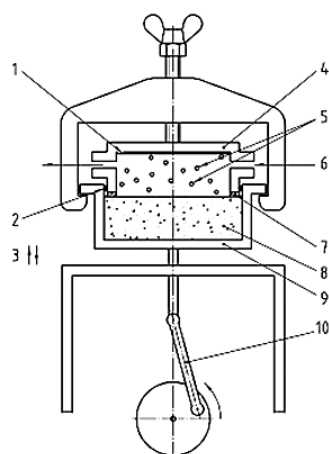
Koekappaleen jäykkäysmoduuli määritetään saatujen tulosten perusteella standardissa esitetyn kaavan mukaisesti. (SFS-EN 12697-26 2012)

Tyhjätila (SFS-EN 12697-8)

Näytteen tyhjätila V_m lasketaan asfalttimassan maksimitiheyden ja asfalttinäytteen kappaleitiheyden avulla standardissa SFS-EN 12697-8 (2003) esitetyn kaavan mukaisesti. Asfalttimassan maksimitiheys määritetään standardin SFS-EN 12697-5 ja asfalttikappaleen kappaleitiheys standardin SFS-EN 12697-6 mukaan.

Nastarengaskuluminen (Prall-testi) (SFS-EN 12697-16 A)

Prall-testin avulla määritetään asfalttimassan, jonka maksimiräekoko on enintään 22 mm, nastarengaskulutuskestävyys. Testissä sylinterinmuotoista halkaisijaltaan 100 mm ja paksuudeltaan 30 mm testinäytettä kulutetaan kulutuslaitteessa 950 krs/min nopeudella 40 teräskuulan ja veden avulla 15 min. Kuvassa 7.16 on esitetty yleiskuva kulutuslaitteesta selitteineen ja kuvassa 7.17 asfalttimassan nastarengaskulutuskestävyyden määrittämiseen soveltuva kulutuslaite.



Selite

- 1 Kumilevy
- 2 Sileä kumirengas
- 3 Männän liike
- 4 Kansi
- 5 Teräspallot
- 6 Jäähdytysvesi
- 7 O-rengas
- 8 Näyte
- 9 Testipesä
- 10 Kiertokanki

Kuva 7.16 Yleiskuva kulutuslaitteesta (SFS-EN 12697-16)

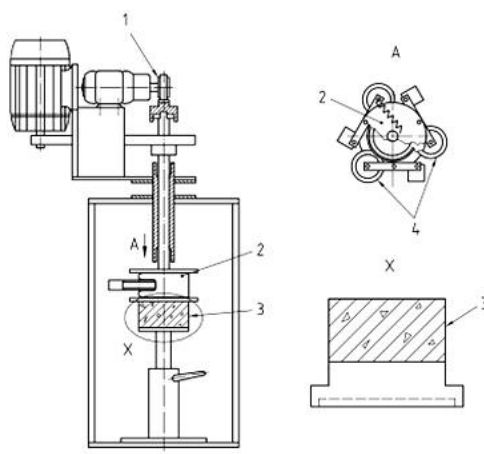


Kuva 7.17 Nastarengaskulutuslaite
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)

Testin jälkeen kulutuksen aiheuttama näytteen massan muutos mitataan. Kulumisarvo Abr_A lasketaan kulutetun näytteen massan muutoksen (pintakuiva) ja näytteen tiheyden suhteena. Laskennan tuloksena saatu kulumisarvo Abr_A ilmoitetaan millilitroina ja pyöristetään lähimpään kokonaislukuun. (SFS-EN 12697-16 2016)

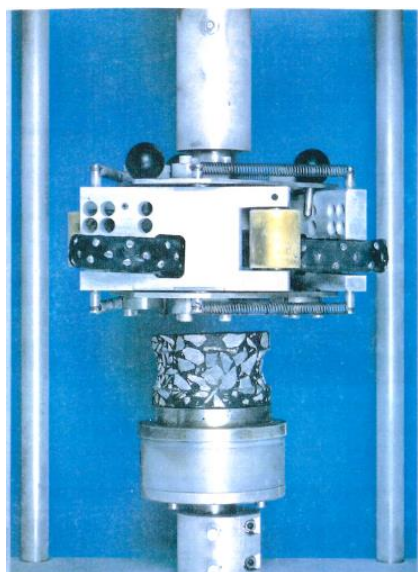
Nastarengaskuluminen (Sivurullakulutustesti (SRK)) (SFS-EN 12697-16 B)

Sivurullakulutustestillä (SRK) määritetään asfalttimassan, jonka maksimiraekoko on 22 mm, nastarengaskulutuskestävyys. Testissä sylinterinmuotoista halkaisijaltaan 100 mm ja korkeudeltaan 45 mm testinäytettä kulutetaan kolmella nastarenkaalla 2 h ajan. Kuvassa 7.18 on esitetty yleiskuva kulutuslaitteesta selitteineen ja kuvassa 7.19 testaukseen soveltuva sivurullakulutuslaite.

**Selite**

- 1 Sähkökäyttöinen karamoottori (5 mm liike ylös ja alas)
- 2 Pyörriä (520 kierrosta/min)
- 3 Näyte ja teräksinen aluslevy
- 4 Kolme nastarengasta, joista yksi kulkee suorassa ja muut poikkeavat 5° vastakkaisiin suuntiin.

Kuva 7.18 Yleiskuva sivurullakulutuslaitteesta (SFS-EN 12697-16)



Kuva 7.19 Sivurullakulutuslaite (SRK) (PANK ry 1993, s. 78)

Testin jälkeen kulutuksen aiheuttama näytteen massan muutos mitataan kuutiosenttimetreinä. Kulumisarvo Abr_B lasketaan vähentämällä teräslevyn ja näytteen ilmassa ja vedessä punnittujen massojen erotuksesta testin jälkeisten edellä mainittujen massojen erotus. Kulumisarvo ilmoitetaan millilitroina. (SFS-EN 12697-16 2016)

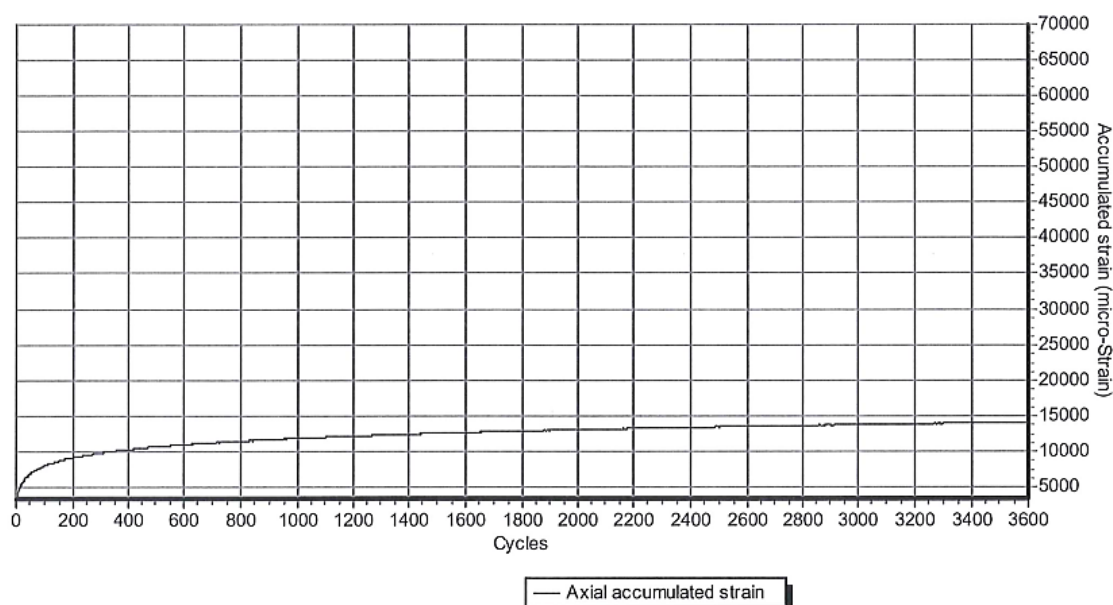
Jaksollinen viruma (SFS-EN 12697-25 A)

Asfalttimassan deformaatiokestävyys tutkitaan jaksollisen virumiskokeen (dynaaminen creep) avulla standardin SFS-EN 12697-25 (2005) mukaisesti. Tässä projektissa tutkimus tehtiin menetelmällä A (yksiakselinen jaksollinen sivutuellinen virumiskoe).

Ennen varsinaista testiä halkaisijaltaan 150 mm ja korkeudeltaan 60 mm testinäytettä esikuormitetaan 10 min ajan pienellä sykllisellä pystysuuntaisella kuormalla (esimerkiksi 10 kPa) näytteessä olevien epätasaisuuksien tasaamiseksi. Tämän jälkeen kuormitus-taso nostetaan halutulle tasolle ja näytettä kuormitetaan 3600 kuormitusyksiötä. Testin aikana näytteestä mitataan kuormituksen aikaansaama korkeuden muutosta. Standardin SFS-EN 12697-25 A (2005) mukaan sopiva kuormitus on 100 kPa ja kuormituspulssin frekvenssi 0,5 Hz. Tyypillisesti virumiskoe tehdään 40 °C lämpötilassa. Kuvassa 7.20 on esitetty asfalttimassan deformaatiokestävyyden tutkimiseen soveltuva testilaite ja kuvassa 7.21 tyypiesimerkki tuloksena saatavasta jännitys–muodonmuutoskuvaajasta. Kuvassa on esitetty testinäytteen kumulatiivinen akselinsuuntainen muodonmuutos kuormituskertaluvun funktiona.



Kuva 7.20 Virumiskokeen tekemiseen soveltuva testilaite ja testinäyte
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)



Kuva 7.21 Tyypiesimerkki jaksollisen virumiskokeen tuloksena saatavasta kuvaajasta (Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)

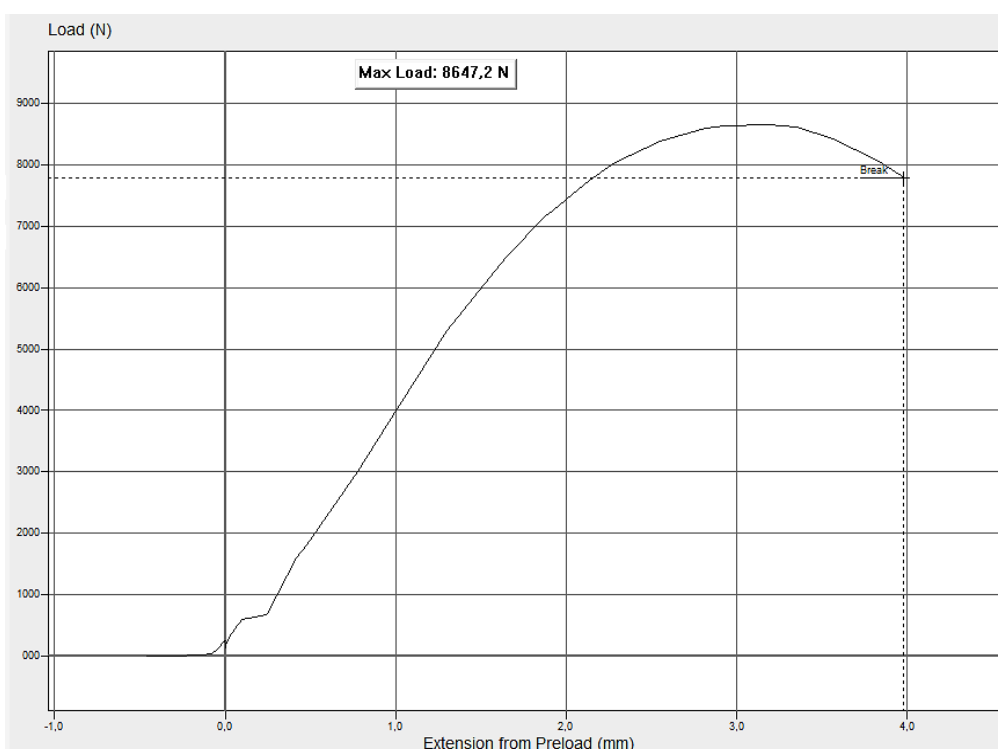
Kappaleen deformaatiokestävyys ilmoitetaan näytteen kumulatiivisena akselisuuntaisena muodonmuutoksena ϵ_n , joka lasketaan kuormitusyökkien aiheuttaman näytteen kumulatiivisen aksiaalisen muodonmuutoksen prosentuaalisena osuutena koekappaleen esikuormituksen jälkeisestä korkeudesta. Tulos ilmoitetaan 0,1 % tarkkuudella. (SFS-EN 12697-25 A 2005)

Vedenkestävyys (Halkaisuvetolujuuskoe (HVL)) (SFS-EN 12697-12 A)

Vedenkestävyys kuvaa asfalttimassan sideaineen ja kiviaineksen välistä tartuntaa ja se määritetään AB- ja SMA -massoille standardin SFS EN 12697-12 mukaisesti halkaisuvetolujuuskokeen avulla. Tässä tutkimuksessa halkaisuvetolujuus määritettiin epäsuoran halkaisuvetolujuuskokeen avulla (menetelmä A). Testissä testataan kaksi yhdenmukaista koekappaletta, joista toinen on säilytetty huoneenlämmössä (20 ± 5 °C) kuivassa tilassa ja toinen vedessä korkeassa lämpötilassa (40 ± 5 °C) näytteen kyllästämiseksi. Molempia testinäytteitä kuormitetaan pystysuorasti, kunnes ne murtuvat ja niistä mitataan testin aikana kuormituksen aiheuttamaa muodonmuutosta. Suositeltu testilämpötila Asfalttinormit 2011 mukaan on 10 °C. Kuvassa 7.22 on esitetty halkaisuvetolujuuden määrittämiseen soveltuva testilaitte ja kuvassa 7.23 tyypiesimerkki testin tuloksena saadusta voima–muodonmuutoskuvaajasta. Kuvassa pystyakselilla on kappaleeseen kohdistuva voima ja vaaka-akselilla esikuormituksen jälkeen kappaleeseen syntynyt muodonmuutos.



Kuva 7.22 Halkaisuvetolujuuskokeen testilaite
(Lemminkäinen Infra Oy, Keskuslaboratorio, Jonna Rossi 2015)



Kuva 7.23 Tyypiesimerkki halkaisuvetolujuuskokeen mittaustuloksesta
(Lemminkäinen Infra Oy, tutkimustulokset 2015)

Halkaisuvetolujuus määritetään vähintään kuudesta koekappaleesta. Vedenkestävyydestin tuloksena ilmoitetaan ITSR -tarttuvuusarvo (Indirect tensile strength ratio), joka lasketaan märkien ja kuivien kappaleiden halkaisuvetolujuuksien keskiarvojen suhteena. Tulos ilmoitetaan prosentteina (%). Kuvaajasta voidaan määrittää myös koekappaleen halkaisuvetojäykkyys HVJ, joka lasketaan käyrän kulmakertoimenä maksimivoiman ja sen aiheuttaman muodonmuutoksen suhteena.

7.2 Näytteenottosuunnitelma

Tämän projektin tarkoituksena on selvittää modifioitujen bitumipäällysteiden toiminnalliset ominaisuudet ja verrata niitä vertailumassan (AB) ominaisuuksiin. Määrittämiä varten kaikista asfalttimassoista tuli ottaa asfalttimassa-, sideaine- ja päällystenäytteitä. Asfalttimassa- ja sideainenäytteet oli tarkoitus ottaa asfalttiasemalla massojen teon yhteydessä lukuun ottamatta kumibitumia, joka otettaisiin kumibitumilaitoksella. Päällystenäytteistä tehtäviä laboratoriotestejä varten koekohteelta tuli ottaa ennalta sovittu määrä poranäytteitä. Taulukkoon 7.1 on koottu eri testejä varten sideaineita, asfalttimassoja ja koeosuudelta porattavia päällystenäytteitä tarvittavat näytemäärät.

Taulukko 7.1 Laboratoriotestejä varten otettavien sideaine-, asfalttimassa- ja päällystenäytteiden näytemäärät (Lemminkäinen Infra Oy:n näytteenottosuunnitelmaa mukailten)

Sideainenäytteet	Näytteen suuruus	
Bitumi 70/100	> 2 l	
PMB (kumibitumi)	> 2 l	
Massanäytteet	Näytteiden määrä	Näytteiden suuruus
Massan koostumus	3 kpl	3 kg
Sideaineen ominaisuudet	1 kpl	> 10 kg
Päällystenäytteet	Näytteiden määrä	Näytteen korkeus
Dynaaminen creep (∅ 150 mm)	10	> 45 mm
SRK (∅ 100 mm)	5	> 45 mm
Vedenkestävyys / HVL * (∅ 100 mm)	10	40 mm
Jäykkyys (∅ 100 mm)	5	40 mm
Prall (∅ 100 mm)	– **	40 mm

* Halkaisuvetolujuus (HVL) ** Prall -testit tehdään jäykkyysmoduulikappaleille

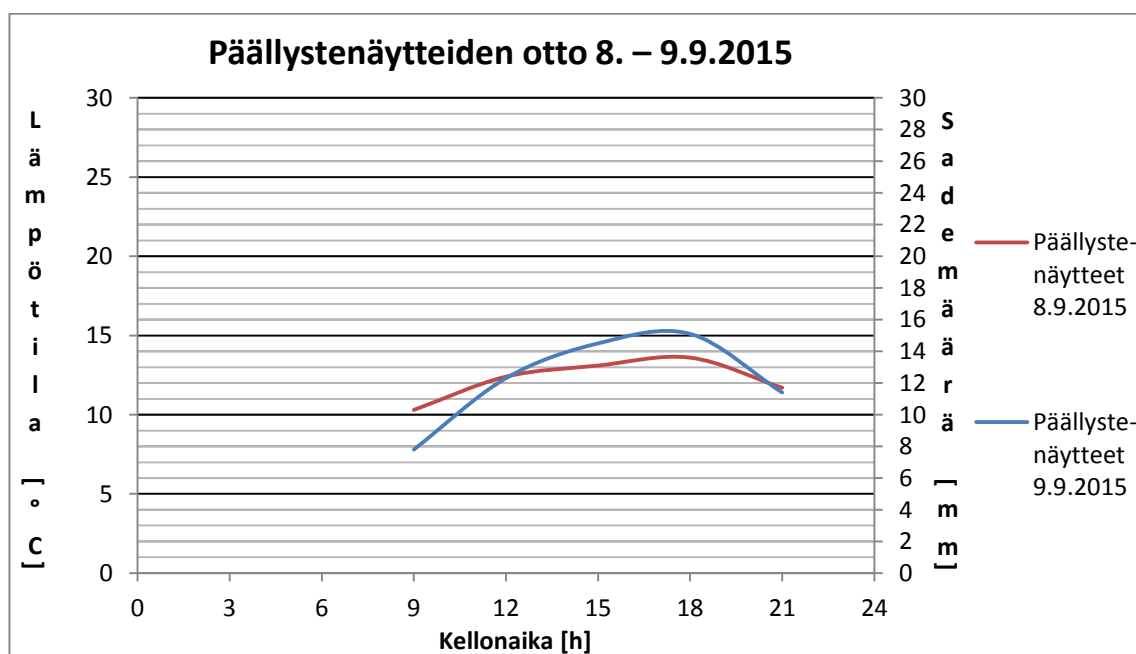
Päällystenäytteiden näytteenottoa varten laadittiin näytteenottosuunnitelma, joka on esitetty liitteessä 5. Suunnitelmassa on kuvattu tieosuudet, joista jokaisen koeosuuden päällystenäytteet oli tarkoitus ottaa. Näytteistä uloimmat suunniteltiin otettavaksi ajourista ja muut kolme niiden keskeltä tasavälein. Liitteen näytteenottosuunnitelmassa normaalisti numeroidut näytteet edustavat vertailupäällysteen AB 16, PAB-B:n sekä HMA -kuitumodifioidun päällysteen näytteitä. Vastaavasti sulkeissa ilmoitetut näytteiden numerot koskevat elastomeeripellettimodifioidun sekä KBAB -osuuksia, joilta otetaan testattavien päällystenäytteiden lisäksi yhden ∅ 100 mm koesarjat koeosuuksien ylikuumilta osuuksilta. Päällystenäytteet otettiin joka koeosuudelta tieosuuksilta, joissa päällyste on kaistan reunassa 60 mm paksuinen, koska jaksollinen virumiskoe sekä sivurullakulutustesti (SRK) vaativat normaalia 40 mm päällystettä korkeammat testinäytteet. Koska paksumman päällysteen osuudet ovat kohteella lyhyitä ja mTiePiste-sovelluksen antamien tierekisteriosoitteiden välillä havaittiin hajontaa sovelluksen käyt-

tökertojen välillä, päätettiin dynaamista virumiskoetta varten ottaa kaksinkertainen määrä (10 kpl) näytteitä. Virumiskoetta varten otetut \varnothing 150 mm poranäytesarjat porattiin testinäytteiden edustavuuden varmistamiseksi 0,5 m välein. Muut laboratoriotutkimuksia varten poratut koesarjat porattiin 1 m välein.

7.3 Päällystenäytteiden poraus

7.3.1 Päällystenäytteiden oton aikana vallinneet olosuhteet

Koekohteen päällystenäytteet porattiin 8.9. ja 9.9.2015. Kuvassa 7.24 on esitetty molempien näytteenottopäivien lämpötilakäyrät ja sademäärät. Sää tiedot ovat Ilmatieteen laitoksen säätietorekisteristä Härmälän havaintoasemalta. Kaikkien säätietojen esitystapa on sama kuin kappaleessa 6.1.1 ja niiden dokumentoinnissa on käytetty kolmen tunnin välein tehtyjä havaintoja.



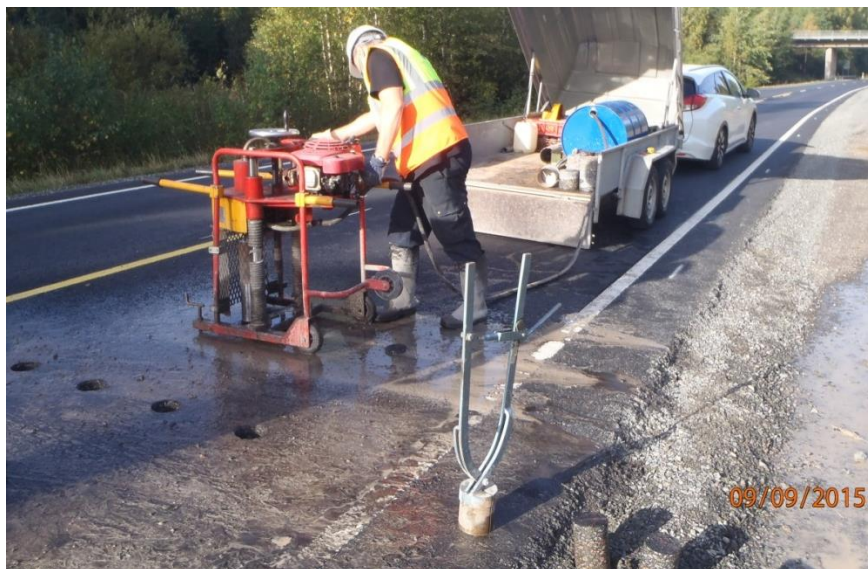
Kuva 7.24 Päällystenäytteiden porauspäivien lämpötilakuvaajat ja sademäärät

Näytteet porattiin molempina päivinä klo 9–21 välisenä aikana. Kuvasta 7.24 havaitaan, että päällystenäytteet pystyttiin ottamaan hyvissä olosuhteissa.

7.3.2 Päällystenäytteiden poraus

Päällystenäytteet porattiin 8.–9.9.2015 liitteen 5 näytteenottosuunnitelman mukaisesti. Näytteenottosuunnitelman poikkileikkaus on tyyppi-poikkileikkaus koekohteelta ja suunnitelmassa esitetyt sijainnit on esitetty tierekisterisoihteina. Reunimmaisista kaistanäytteistä porattiin ajourista $L/4$ etäisyydeltä kaistan reunoista ja kolme muuta näytettä tasavälein urien keskeltä. Edellä esitetty symboli L on kaistan kokonaisleveys. Päällys-

tenäytteiden poraus sovitettiin jokaisella näytteenotto paikalla kaistan poikkileikkaukseen. Päällystenäytteiden otosta aiheutuneet reiät päällysteessä täytettiin näytteenoton jälkeen AB16 kuumamassalla. Päällystenäytteiden poraamisen ja reikien paikkaamisen teki Lemminkäinen Infra Oy. Kuvassa 7.25 nähdään näytteenottoon käytetty porauskalusto sekä \varnothing 100 mm näytteen irrotukseen käytettävät näytteenottopihdit. Kuva on otettu HMA-kuitupäällysten näytteenotto paikalta tieosan 4 paalulta 128.



Kuva 7.25 Porauskalusto ja näytteenottopihdit (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Ennen päällystenäytteiden porausta näytteiden ottopaikat määritettiin poikkileikkauksessa mittaamalla ja merkittiin päällysteeseen asfalttiliidulla. Päällystenäytteiden laadun varmistamiseksi porausnopeus pidettiin tarpeeksi alhaisena ja poraamisessa käytettiin runsaasti vettä. Alla on kuvattu tarkemmat tiedot jokaisen koeosuuden päällystenäytteiden porauksen yhteydessä tehdyistä havainnoista. Koeosuuksien ja näytteenotto paikkojen sijainnit on ilmoitettu tierekisteriosoitteina.

AB-päällyste (4/6505–5/4415)

Päällystenäytteet (tunnus AB) otettiin tierekisteriosoitteiväliltä 2773/5/3500–3505. Osuudella kaistan leveys oli likimain 2,9 m. Kuvassa 7.26 on esitetty vertailupäällysten näytteenotto paikka. Kuvassa tierekisteriosoitteiden kasvusuunta on oikealta vasemmalta.



Kuva 7.26 AB 16 näytteenottopaikka (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Näytteenotto sujui rutiininomaisesti. Ylimääräisiä näytteitä ei jouduttu poraamaan.

HMA-kuitumodifioitu asfalttipäällyste (4/6505–5/973)

Koeosuuden päällystenäytteet (tunnus K) porattiin tierekisteriosoiteväliltä 2773/5/129–134, jossa kaistan leveys oli noin 2,8 m. Kuvassa 7.27 on esitetty kuitumodifioidulta koeosuudelta porattu päällystenäyte.



Kuva 7.27 HMA -kuitumodifioitu päällystenäyte (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Koeosuuden päällystenäytteille oli yleistä, että ne menivät poikki toisen päällystekerroksen alapinnasta. Kuitumodifioidun päällysteen poraus oli vertailupäällysteeseen verrattuna hieman raskaampaa, koska kuitu aiheuttaa päällysteeseen suuremman porausvastuksen. Muuten näytteiden poraus sujui vertailupäällysteen tavoin, eikä ylimääräisiä näytteitä tarvinnut porata.

PAB-B -päällyste (5/973–5/1928)

Koeosuuden päällystenäytteet (tunnus PAB) porattiin tierekisteriosoiteväliltä 2773/5/1012–1018. PAB-päällyste oli poratessa hyvin pehmeää. Päällystenäytteet eivät pysyneet koossa yhtä hyvin kuin muiden koeosuuksien näytteet. Tämä tuli ottaa huomi-

oon myös näytteiden poraamisessa. Päällystenäytteet piti porata vertailupäällysten näytteitä rauhallisemmin, jotta näytteet pysyivät ehjinä. Eikä päällystenäytteitä voinut porata päällystekerrosten läpi asti, vaan poraus piti lopettaa jo noin 100 mm syvyyteen, etteivät näytteet hakkautuneet terän sisällä rikki.

Näytteiden poraamisen yhteydessä havaittiin selkeä ero ajourista ja urien välistä porattujen näytteiden välillä. Liikennekuormitus oli selkeästi jälkitiivistänyt päällystettä ja parantanut partikkeliä välistä tartuntaa ajourien kohdalla, minkä ansiosta niistä poratut näytteet säilyivät paremmin ehjinä. Vastaavasti ajourien keskeltä poratut näytteet rikkoontuivat helposti päällysten alapinnasta. Päällysten pehmeiden pystyi havaitsemaan myös siitä, että porauskaluston jätti päällysteeseen jäljet.

PAB -päällyste erosi muista päällysteistä myös alemman päällystekerroksen pintaan kiinnittymisessä. Se ei ollut tarttunut edelliseen kerrokseen yhtä hyvin kuin muut päällysteet, vaan suuri osa päällystenäytteistä meni poikki ylimmän kerroksen alapinnasta.

Näytteenotossa yksi näyte rikkoontui täysin ja yhden näytteen alapinnassa oli havaittavissa lohkeilua, minkä vuoksi päällysteestä porattiin kaksi ylimääräistä näytettä. Kuvassa 7.28 on kuvattu PAB -päällystenäytteiden porauspaikat. Kuvasta nähdään näytteenotossuunnitelmaan nähden esiintyneet poikkeamat.



Kuva 7.28 PAB-B-päällysten näytteenottopaikka (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Päällystenäytteelle 9 porattiin varanäyte \varnothing 100 mm näytteiden etupuolelta. Vastaavasti poranäyte 14 rikkoontui näytteenotossa ja sen tilalle porattiin uusi näyte päällystenäytteen nro. 6 vierestä yllä olevan kuvan mukaisesti. Tieriekisteriosoitteiden kasvusuunta kuvassa on oikealta vasemmalle.

KBAB -päällyste (5/1928–5/3040)

Laboratoriotutkimuksia varten otettavat päällystenäytteet (tunnus KBAB) porattiin tie-rekisteriosoiteväliltä 2773/5/2215–2225. Kaistan leveys näytteenotto-osuudella oli noin 3,4 m. Kuvassa 7.29 on esitetty laboratoriotutkimuksia varten otettu päällystenäyte.



Kuva 7.29 KBAB-päällystenäyte (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuvasta 7.29 on selkeästi nähtävissä päällystekerrosten raja. Näytteiden poraus oli vertailupäällystettä raskaampaa kumibitumin takia. Porauksen aikana päällysteestä leikkautui kuvassa 7.30 esiintyviä ohuita kumilastuja. Tämä on kumibitumipäällysteelle tyypillistä.



Kuva 7.30 KBAB-päällystenäytteen porauksen yhteydessä irronnut kumilastu (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Ylikuuman koeosuuden päällystenäytteet porattiin 2773/5/2800 kohdalta. Näytteet porautuivat kuten vertailupäällyste, eikä päällysteestä leikkautunut kuvan 7.30 mukaisia kumilastuja. Porauksen yhteydessä tehty havainto viittaisi siihen, että liian korkean asfalttimassan sekoituslämpötilan vuoksi osa massan kumikomponenteista on saattanut palaa ja massa on voinut menettää elastisia ominaisuuksia.

Poranäytteet pystyttiin poraamaan näytteenottosuunnitelman mukaisesti. Yksikään kapale ei rikkoutunut näytteenotossa, joten ylimääräisiä päällystenäytteitä ei tarvinnut porata.

Elastomeeripellettimodifioitu asfalttipäällyste (5/3065–5/4415)

Koeosuudelta porattiin laboratoriossa testattavien päällystenäytteiden (tunnus FEP) lisäksi myös yksi \varnothing 100 mm koesarja ylikuumalta osuudelta 2773/5/4315 kohdalta, missä kaistan leveys oli noin 4,1 m. Kuvassa 7.31 on esitetty elastomeeripellettimodifioidulta koeosuudelta porattu päällystenäyte.



Kuva 7.31 Elastomeeripellettimodifioitu päällystenäyte (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Laboratoriossa testattavat päällystenäytteet porattiin tierekisteriosoiteväliltä 2773/5/3550–3554 Takamaantien liittymän lähetyviltä, missä kaistan leveys oli noin 3,6 m. Näytteiden otossa ei havaittu eroa ohjeellisten lämpötilojen ja ylikuumien osuuskien päällystenäytteiden porauksen välillä. Molempien osuuskien päällystenäytteet olivat porausvastukseltaan vertailupäällysteen kaltaisia. Näytteet pysyivät porauksessa hyvin koossa, eivätkä halkeilleet tai murtuneet. Kuvassa 7.32 on esitetty laboratoriotutkimuksia varten otettujen päällystenäytteiden ottopaikka.



Kuva 7.32 Elastomeeripellettimodifioidun päällysteen näytteenottopaikka (Ylöjärvi, Jonna Rossi 2015)

Kuten kuvasta 7.32 nähdään, poraus pystyttiin tekemään näytteenottosuunnitelman mukaisesti, eikä ylimääräisiä näytteitä tarvinnut porata. Kuvassa tierekisteriosoitteiden kasvusuunta on oikealta vasemmalle.

7.4 Seurantamittausten tulokset

7.4.1 Sideainenäytteet

Sideaineista määritettiin pehmenemispiste, tunkeuma, voimavenymä ja palautuma sekä DSR-laitteella sideaineiden reologisia ominaisuuksia. Lisäainemodifioinnit tehtiin tässä tutkimuksessa B70/100-luokan bitumille. Näitä tuloksia piti verrata asfalttiasemalla otettuihin sideaineiden tuloksiin, mutta sideainenäytteitä ei inhimillisen virheen takia otettu. Näin ollen uutettujen sideaineiden tuloksia verrataan perusbitumien B70/100 ja B650/900 tapauksessa valmistajan (Nynas) laadunvalvontatuloksiin ja elastomeeripelletin (FEP) tapauksessa ennakkokokeiden sideainetuloksiin. Asfalttimassasta uutetun kumibitumin KB75 tuloksia verrataan Lemminkäinen Infra Oy:n polymeerimodifioitun bitumin tehtaalta (PMB) otetun sideainenäytteen tuloksiin. Sideaineiden laadunvalvonta- ja ennakkokokeiden tuloksista tässä työssä esitellään vertailutuloksena vain tunkeuman ja pehmenemispisteen tulokset. HMA -kuidulle ei tehty ennakkokokeita, koska arvioitiin, ettei lisäaine vaikuta sideaineen ominaisuuksiin. Näin ollen kuitumodifioitulle sideaineelle ei ole vertailutuloksia. Seuraavassa on esitetty kaikki sideainetestien tulokset.

Tunkeuma

Sideaineiden tunkeuma-arvot määritettiin standardin SFS-EN 1426 mukaisesti. Testi tehtiin 25 °C lämpötilassa lukuun ottamatta pehmeää tiebitumia, jonka tunkeuma-arvo määritettiin 15 °C lämpötilassa. Taulukossa 7.2 on esitetty asfalttimassoista uutettujen sideaineiden ja tuoreiden sideaineiden tunkeuma-arvot. Perusbitumeille oli saatavissa laadunvalvontatuloksia kahdelta eri ajankohdalta. Tiebitumi B70/100 oli tutkittu 2.8.2015 ja 16.8.2015 ja pehmeä tiebitumi B650/900 2.8.2015 ja 20.8.2015. Laadunvalvontatulokset on Nynas Oy:n laatutodistuksista (2015).

Taulukko 7.2 Tuoreiden ja asfalttimassoista uutettujen sideaineiden tunkeuma-arvot

Tunkeuma [0,1 mm]	AB 16	AB 16 +FEP	KB-AB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
Laadunvalvonta 2.8.2016	84	-	-	281**	-
Laadunvalvonta 16./20.8.2016	82	37*	90	272**	-
Uutettu	41	33	43	293**	36

* Ennakkokokeiden tulos ** Testilämpötila 15 °C

Taulukon 7.2 tuloksista havaitaan, että pehmeän B650/900 -luokan tiebitumin tunkeuma-arvot ovat luonnollisesti aivan eri luokkaa kuin muiden tiebitumien.

Pehmeää B650/900 -luokan bitumia lukuun ottamatta kaikkien uutettujen sideaineiden tunkeuma-arvot ovat tuoreen bitumin arvoja huomattavasti pienemmät. Sideaine vanhenee, kun se sekoitetaan asfalttimassaan, minkä vuoksi sideaine muuttuu kovemmaksi.

Asfalttinormien 2011 mukaan 70/100-bitumin tunkeuma-arvo tulee olla välillä 70–100. HMA -kuitu- ja elastomeeripellettimodifioidut bitumit ovat lisäainelisäyksen vuoksi kovempia. Vastaavasti KB75 täyttää sille asfalttinormeissa asetetun vaatimuksen 40–100.

Pehmenemispiste

Sideaineiden pehmenemispisteet määritettiin standardin SFS-EN 1427 mukaisesti. Taulukossa 7.3 on esitetty tuoreiden ja asfalttimassoista uutettujen sideaineiden pehmenemispisteet. Tiebitumille B70/100 oli saatavissa laadunvalvontatuloksia kahdelta eri ajankohdalta: 2.8.2015 ja 16.8.2015. Laadunvalvontatulokset on Nynas Oy:n laatutodistuksista (2015).

Taulukko 7.3 Tuoreiden ja asfalttimassoista uutettujen sideaineiden pehmenemispisteet

Pehmenemispiste [°C]	AB 16	AB 16 +FEP	KB-AB 16	PAB-B 16	AB 16 +kuitu
Laadunvalvonta 2.8.2016	47,2	-	-	-	-
Laadunvalvonta 16.8.2016	45,8	67*	83,0	-	-
Uutettu	52,0	56,6	81,0	34,8	53,6

*Tulos saatu ennakkokokeissa

Taulukon 7.3 tulosten perusteella pehmeän tiebitumin B650/900 pehmenemispiste on muita sideaineita huomattavasti alhaisempi, kuten pitääkin. Vastaavasti kumibitumin KB75 pehmenemispiste on selkeästi korkein.

Asfalttinormien 2011 mukaan B70/100 -luokan bitumin pehmenemispisteen tulee olla välillä 43,0–51,0 °C ja KB75:n > 70 °C. Taulukon 7.3 tulosten mukaan tuoreiden sideaineiden lisäksi myös uutetut täyttävät nämä vaatimukset. Pehmeälle tiebitumille B650/900 ei ole asetettu pehmenemispistevaatimusta. Pehmenemispistetulosten mukaan kumibitumi pehmenee muita sideaineita korkeammassa lämpötilassa, mikä käytännössä tarkoittaa, että kumibitumipäällysteen deformaatiokestävyys on tämän tutkimuksen perusteella korkeissa lämpötiloissa parempi kuin muiden päällysteiden.

Elastinen palautuma ja Voimavenymä

Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden elastiset palautumat ja voimavenymät määritettiin käytännön syistä samassa testissä Lemminkäinen Infra Oy:n keskuslaboratorion oman tutkimusmenetelmän LMK1/02 mukaisesti. Standardista poiketen testi tehtiin pystysuuntaisella vetokokeella. Lemminkäisen tekemien vertailutestien mukaan LMK1/02 testitulokset antavat hyvän korrelaation standardimenetelmien tulosten kans-

sa. Vetokoe tehtiin 10 °C lämpötilassa ja kokeen jälkeen sideainerihmojen annettiin palautua 30 min testilämpötilassa.

Taulukossa 7.4 on esitetty asfalttimassoista uutettujen bitumien voimavenymä- ja palautumatulokset. Taulukossa F_1 on testin tuloksena saadun voima-venymäkuvaajan ensimmäinen voimapiikin maksimiarvo, F_{\max} on koko vetokokeen maksimivoiman ja F_{murto} sideaineeseen murtohetkellä vaikuttaneen voiman arvo. Taulukossa esiintyvä venymä kuvaa sideaineen lopullista murtotilan venymää suhteessa alkuperäiseen testinäytteen ja työ työmäärää, joka vaaditaan sideainenäytteen venyttämiseen murtotilanteeseen saakka.

Taulukko 7.4 Uutettujen sideaineiden elastisen palautuman ja voimavenymän tulokset

	AB 16	AB 16 + FEP	KB-AB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
F_1 [N]	69	48	48	-	63
F_{\max} [N]	69	48	48	-	63
F_{murto} [N]	1	1	23	-	1
venymä [%]	133	191	1292	-	126
palautuma [%]*	28	28	70	-	28
työ [J]	1,6	1,2	9,6	-	1,4

* 10 °C / 30 min

Elastinen palautuma ja voimavenymä kuvaavat sideaineiden elastisuutta ja kylmäominaisuuksia. Kuten taulukon 7.4 tuloksista havaitaan, kumibitumia lukuun ottamatta asfalttimassoista uutetut sideaineet eivät kestäneet kovin hyvin vetokokeessa.

Tulosten mukaan kumibitumin elastiset ja kylmäominaisuudet ovat muita sideaineita selkeästi paremmat. Lisäksi kumibitumi kestää muita sideaineita enemmän myös rasi-tuksia vaurioitumatta. Tuloksista nähdään myös, että elastomeeripelletti lisää hieman sideaineen elastisuutta (venymä). HMA -kuidun lisääminen ei luonnollisesti vaikuta sideaineen elastisiin tai kylmäominaisuuksiin, vaan ne ovat bitumin B70/100 tulosten kaltaisia.

Reologiset ominaisuudet

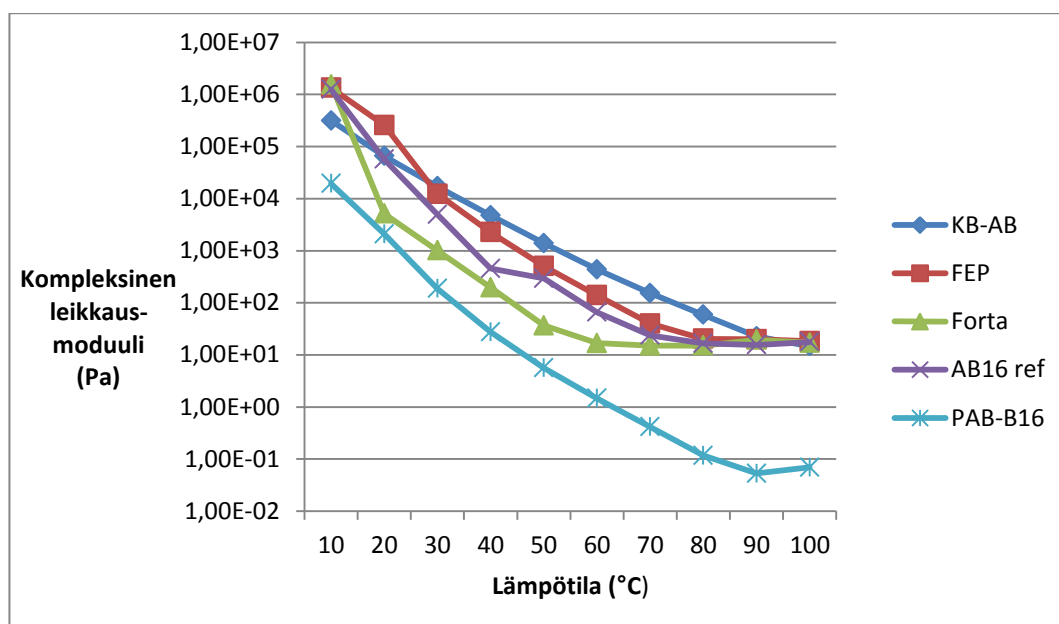
Bitumin reologisia ominaisuuksia tutkittiin (Dynamic Shear Rheometer) DSR-laitteella SFS-EN 14770 (2012) mukaisesti. Tässä tutkimuksessa DSR -tutkimukset tehtiin asfalttimassasta uutetuille sideaineille, joista määritettiin kompleksiset leikkausmoduulit G^* ja faasikulma δ . Tutkimuksessa saadut tulokset on esitetty taulukossa 7.5. Tulokset on määritetty 40 °C lämpötilassa ja 1,59 Hz taajuudella, mikä simuloi likimain 90 km/h nopeudella liikkuvan liikenteen kesällä päällysteeseen aiheuttamaa kuormitusta (Pavement interactive 2011). Sideaineiden reologiset ominaisuudet määritettiin 8 mm mittapäällä, lukuun ottamatta PAB-B -bitumia, jonka ominaisuuksien tutkimiseen käytettiin 25 mm mittapäättä.

Taulukko 7.5 Asfalttimassasta uutettujen sideaineiden kompleksiset leikkausmoduulit ja faasikulmat 40 °C lämpötilassa 1,59 Hz taajuudella

	AB 16	AB 16 + FEP	KB-AB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
G* [MPa]	0,0688	0,143	0,0977	0,00208	0,0153
δ [°]	70,6	66,4	58	86,6	69,5

Taulukon 7.5 tulosten perusteella voidaan sanoa, että kumibitumissa oli selkeästi ja elastomeeripellettimodifioidussa sideaineessa myös hieman elastisia ominaisuuksia. Tuloksissa tämä näkyy pienempinä faasikulmien ja suurempina kompleksisten leikkausmoduulien arvoina. Pehmeän B650/900 -bitumin elastiset ominaisuudet ovat hyvin alhaiset, mikä tarkoittaa käytännössä, että PAB -päällyste deformoituu herkimmin edellä esitetyissä olosuhteissa.

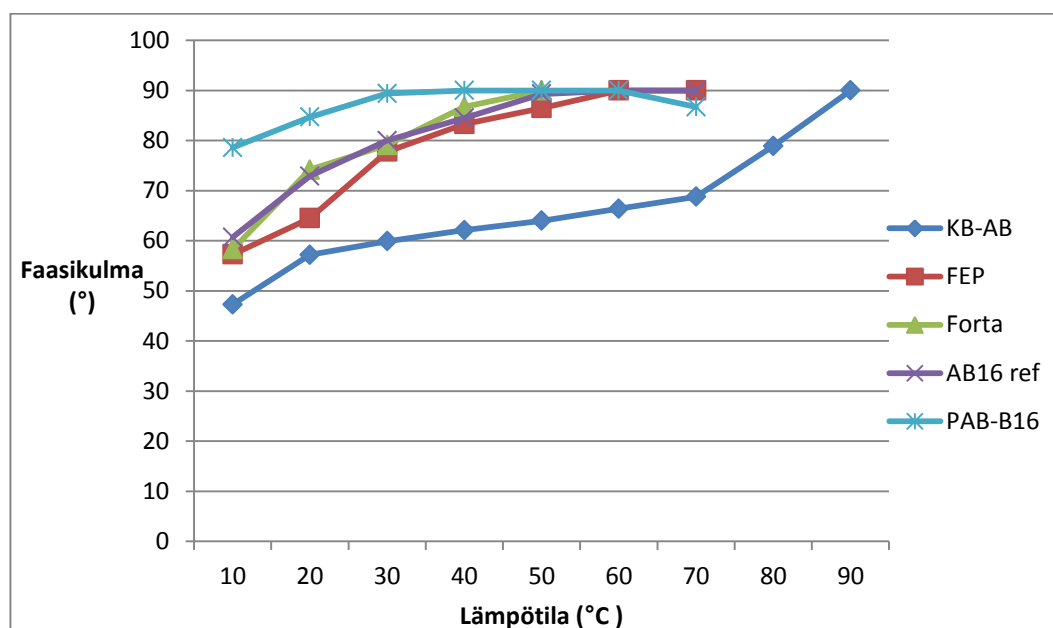
Kuvissa 7.33–7.35 on kuvattu erilaisia DSR -laitteen mittaustuloksista laskettuja reologisten ominaisuuksien välisiä riippuvuuksia. Kuvissa faasikulman arvo vaihtelee välillä 0–90° ja tarkasteltava lämpötila-alue on 10–100 °C.



Kuva 7.33 Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden kompleksisten leikkausmoduulien riippuvuus lämpötilasta (Forstén & Väisänen 2016, s. 24)

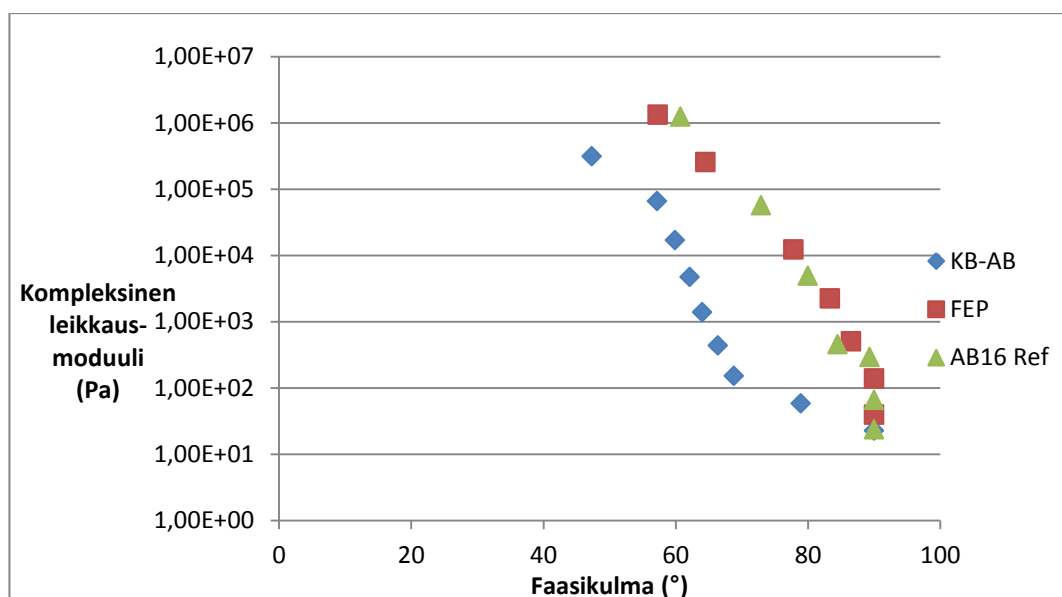
Kuvasta 7.33 havaitaan, että lämpötilan noustessa sideaineiden kompleksiset leikkausmoduulit pienenevät. Tämä johtuu bitumin viskoelastisista ominaisuuksista. Pehmeän tiebitumin, kumibitumin ja HMA -kuitumodifioidun bitumin kompleksiset leikkausmoduulit ovat muita sideaineita pienemmät alhaisella alle 15 °C lämpötila-alueella. Tutkimustulosten perusteella asfalttimassat, joissa kyseisiä sideaineita on käytetty, ovat alhaisissa lämpötiloissa joustavampia ja kestävätkä paremmin muun muassa termisiä kuormituksia vaurioitumatta. Vastaavasti korkeammissa lämpötiloissa kumibitumin ja elastomeeripellettimodifioidun sideaineen kompleksiset leikkausmoduulit ovat korkeimmat,

mikä käytännössä tarkoittaa, että sideaineet eivät ole niin herkkiä lämpötilan nousulle. Asfalttipäällysteiden, joissa sideaineena on käytetty edellä esitettyjä bitumeja, deformaatiokestävyydet ovat muita päällysteitä paremmat.



Kuva 7.34 Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden faasikulmien riippuvuus lämpötilasta (Forstén & Väisänen 2016, s. 24)

Kuten jo mainittiin, päällyste on sitä elastisempi, mitä pienempi sideaineen faasikulma on. Kuvan 7.34 tulosten perusteella kumibitumin KB-AB faasikulman arvo on koko tarkastellulla lämpötila-alueella alhaisin, eli kumibitumissa tapahtuvat pysyvät muodonmuutokset ovat vähäisimpiä ja kumibitumipäällysteen deformaatiokestävyys on suurin. Elastomeeripelletin kumikomponentin tuoma elastisuus näkyy sideaineen faasikulman arvoissa; elastomeeripellettimodifioitu sideaine on koko lämpötila-alueella 10–60 °C ainakin hieman tavallisia tiebitumeja ja kuitumodifioitua bitumia elastisempi.



Kuva 7.35 Asfalttimassoista uutettujen sideaineiden kompleksisten leikkausmoduulien riippuvuus sideaineiden faasikulmista (Forstén & Väisänen 2016, s. 25)

Kuvassa 7.35 on esitetty kumibitumin, elastomeeripellettimodifioidun sideaineen ja vertailubitumin B70/100 kompleksisten leikkausmoduulien arvot faasikulmien funktiona. Kumibitumin kuvaaja on kuvassa vasemmanpuoleisin, mikä käytännössä tarkoittaa, että se on sideaineista elastisin (Forstén & Väisänen 2016, s. 22). Lisäksi kuvasta 7.35 on havaittavissa myös sideaineiden vanheneminen. Sideaineen vanhetessa se kovettuu ja menettää osan elastisista ominaisuuksista. Kuvassa se on nähtävissä kuvaajan muodossa; kuvaaja on sitä suoristuneempi, mitä kovemaksi sideaine on muuttunut. Kumibitumin kuvaajassa on havaittavissa vielä jonkin verran mutkaisuutta, mikä käytännössä merkitsee, että sideaineen elastiset ominaisuudet ovat säilyneet melko hyvin. (Forstén & Väisänen 2016, s. 22)

7.4.2 Massanäytteet

Asfalttimassojen suunnittelu aloitettiin tekemällä laskennalliset reseptit jokaisen koeosuuden asfalttimassalle. Laskennallisilla resepteillä valmistettiin laboratoriossa koe-massat, joista määritettiin tilavuussuhteet ICT-kiertotiivistimellä. Kokeissa määritettiin asfalttimassan tyhjätila, kiviaineksen tyhjätila sekä täyttöaste. (Väisänen 2016) Kiviaineksen tyhjätila kuvaa tilavuutta, joka koostuu sideaineesta ja päällysteen tyhjätilasta. Vastaavasti täyttöasteella tarkoitetaan sideaineen täyttämää osuutta kiviaineksen tyhjätilasta. (PANK ry 2011, s. 41)

Asfalttimassojen suunnittelua varten lisäaineiden toimittajien tuli toimittaa laboratorioon ohjeet lisättävän lisäaineen määrästä ja käytöstä. Asfalttimassojen ominaisuuksien vertailukelpoisuuden vuoksi niissä käytettävien kiviaineksen rakeisuuskäyrien tuli olla mahdollisimman identtiset. Tarkemmat tiedot asfalttimassojen suunnittelun kulusta on rajattu tämän tutkimuksen ulkopuolelle.

Kun asfalttimassat saatiin tilavuussuhteiltaan halutulle tasolle, asfalttimassasta tehtiin kaksi eri paksuista laattaa, joista porattiin päällystenäytteet toiminnallisten ominaisuuksien tutkimista varten. Laattojen tiivistys tehtiin keinujuyrällä. Päällysteen ominaisuuksista tutkittiin dynaaminen creep (jaksollinen viruma), jäykkyysmoduulit (resilientmoduulit) nastarengaskulutuskestävyys Prall-testin avulla ja vedenkestävyys halkaisuvetolujuustestillä. Ennakkokokeiden yhteydessä tehtyjen päällystetestiä tulokset on esitelty luvussa 7.4.3.

Lemminkäinen Infra Oy:n Lempäälän Kahamäen asfalttiasemalta otetuista massanäytteistä määritettiin asfalttimassojen bitumipitoisuudet sekä kiviaineksen rakeisuuskäyrät, joita verrattiin asfalttimassojen suhteitukseen. Näiden määritysten lisäksi asfalttimassoista uutettiin sideainetta erilaisia sideainetestejä varten. Näiden testiä tulokset on esitetty kappaleessa 7.4.1.

Taulukossa 7.6 on esitetty yhteenvetona suunniteltujen asfalttimassojen sideainepitoisuudet ja asfalttiasemalta otetuista massanäytteistä määritettyjen sideainepitoisuuksien ja kiviaineksen hienoainepitoisuuksien keskiarvot sekä kommentit tuloksista. Tulokset ovat kolmen tai neljän määrittelyn keskiarvoja. Liitteessä 6 on esitetty yhteenvedot kaikkien asfalttimassojen koostumusanalyysistä.

Taulukko 7.6 Koostumusanalyysien keskimääräiset tulokset ja kommentit
(Forstén & Väisänen 2016, s. 21)

Asfalttimassa	Sideainepitoisuus [%] (suhteitus)	Sideainepitoisuus [%] (analyysi)	Sideaine- ja hienoainepitoisuus (Kommentti)
AB 16	5,4	5,70	sideainepitoisuus korkea (+0,3), (# 0,063 matalahko (-1))
AB 16 + FEP	5,4	5,93	Sideainepitoisuus erittäin korkea (+0,53), (# 0,063 matalahko (-1)), hajontaa
KBAB 16	5,3	5,35	sideainepitoisuus ok (-0,05), (# 0,063 matalahko (-0,4))
PAB-B 16	4,2	4,30	sideainepitoisuus ok (+0,1), (# 0,063 korkeahko, (+1,1))
AB 16 + kuitu	5,5	5,67	sideainepitoisuus korkea (+0,2), (# 0,063 matala (-2,3))

Taulukon 7.6 tuloksista havaitaan, että massanäytteiden koostumuksissa on ollut hajontaa ja että tulokset poikkeavat myös sideaine- ja hienoainepitoisuuksien tavoitearvoista. Kaikkien asfalttimassojen sideainepitoisuudet olivat ainakin hieman tavoitepitoisuuksia korkeampia. Asfalttimassojen rakeisuuskäyrät olivat karkeamman kiviaineksen osalta keskenään samankaltaisia, eivätkä ne eronneet suunnitellusta rakeisuuskäyrästä paljoa. Vastaavasti AB -massoissa hienoaineista oli tutkimusten mukaan hieman vähemmän ja PAB -massassa hieman enemmän kuin mitä suunniteltiin. (Forstén & Väisänen 2016, s. 22)

Tuotannon aikaisten sideaineen kulutustietojen mukaan bitumia ei ole havaittu kuluneen asfalttimassojen valmistuksen aikana liikaa, eikä myöskään päällystetyömaalla havaittu mitään tähän viittaavaa. Yksi mahdollinen tuloksiin vaikuttava tekijä saattaisi olla se, etteivät asfalttimassanäytteet välttämättä olleet edustavia. Asfalttimassojen koostumus-analyysien tuloksiin on hyvä suhtautua hieman varauksella. (Forstén & Väisänen 2016, s. 22)

7.4.3 Päällystenäytteet

Vähäliikenteisen tien asfalttimassat suunnitellaan käytännössä aina kokemusperäisesti, eikä vähäliikenteisen tien (KVL < 1800) asfalttimassan toiminnallisille ominaisuuksille, kuten kulumis- ja deformaatiokestävyys, aseteta vaatimuksia. Vaatimuksena on vain asfalttimassan vedenkestävyys (PANK ry 2011, liite 4).

Poikkeuksena tähän tämän tutkimuksen yhteydessä tehtiin mittava määrä ennakkokokeita ja koekohteelta poratuille päällystenäytteille paljon laboratoriotestejä modifioitujen asfalttimassojen ominaisuuksien määrittämiseksi. Kaikista asfalttimassoista tutkittiin päällysteen jäykkyys, nastarengaskulutuskestävyys Prall -kokeen avulla, deformaatiokestävyys jaksollisen virumiskokeen (dynaaminen creep) avulla sekä vedenkestävyys halkaisuvetoluuskokeella. Lisäksi jokaisesta päällystenäytteestä tutkittiin päällysteen tyhjätila ja kerrospaksuudet. Vaikka päällystenäytteiden testituloksia verrataan tässä tutkimuksessa Asfalttinormit 2011 esitettyihin toiminnallisten ominaisuuksien luokitukseen, tuloksen sijoitus Asfalttinormien luokituksissa ei ole absoluuttinen asfalttimassan ominaisuuden mittari. Tutkimustuloksia tulee ensisijaisesti verrata keskenään.

Testattavat päällystenäytteet otettiin liitteen 5 näytteenottosuunnitelman mukaisesti. Koekohteelta porattujen päällystenäytteiden testaustuloksia verrattiin ennakkokokeiden tuloksiin. Koekohteella vertailumassan sideainepitoisuutta jouduttiin nostamaan kahteen otteeseen 0,1 %-yksikköä, minkä vuoksi ennakkotesteissä tutkittujen näytteiden sideainepitoisuudet olivat koekohteen pitoisuuksia 0,2 %-yksikköä pienemmät. Vertailumassan sideainepitoisuuden noston takia modifioitujen asfalttimassojen sideainepitoisuuksia haluttiin myös nostaa 0,2 %-yksikköä vertailukelpoisuuden takaamiseksi. Puutteellisen tiedonkulun takia ainoastaan kuitumodifioidun asfalttimassan sideainepitoisuutta kuitenkin korotettiin ja kaikkien muiden modifioitujen massojen bitumipitoisuudet pysyivät alkuperäisten suhteituksien mukaisia. Tyhjätilamääritysten perusteella päällysteiden keskimääräiset tyhjätilat olivat kuitenkin hyvin lähellä toisiaan ja näin ollen asfalttimassojen tulokset ovat vertailukelpoisia.

PAB -asfalttimassalle ei yleensä tehdä samoja laboratoriotutkimuksia kuin AB-massalle. Asfalttimassojen ominaisuuksien vertailtavuuden vuoksi tässä tutkimuksessa PAB-massalle pyrittiin tekemään mahdollisimman paljon samoja laboratoriotutkimuksia kuin muille asfalttimassoille. PAB -päällyste oli kuitenkin niin pehmeää, ettei se kestänyt monessakaan testissä ehjänä. Näin ollen siitä on melko vähän tutkimustuloksia. Aalto-

yliopistossa tehtyjä SRK -testejä lukuun ottamatta kaikki tämän projektin laboratorio-
tutkimukset tehtiin Lemminkäinen Infra Oy:n keskuslaboratoriossa.

Seuraavissa osioissa on esitelty kaikkien päällystenäytteiden laboratoriotutkimusten
tulokset sekä niiden keskinäinen vertailu. Ennakkokokeiden tuloksista esitetään vain
parametrin keskiarvo ja tulosten yhteyteen on koottu laboratoriossa tehtyjen asfalttipääl-
lystelaattojen sideainepitoisuudet ja tyhjätilat. Tuloksista on luettavissa myös päällyste-
näytteiden näytekohtaiset tyhjätilat.

Jäykkyysmoduulit

Jäykkyysmoduulit määritettiin epäsuoralla vetokokeella standardin SFS-EN 12697-26
menetelmä C mukaisesti. Jäykkyysmoduulit määritettiin 20 °C lämpötilassa Prall -testin
näytteistä ennen nastarengaskulutuskoetta. Näytteet sahattiin Prall -testiin sopiviksi mo-
duulien määrittämisen jälkeen. Taulukossa 7.7 on esitetty ennakkokokeissa saadut as-
falttimassojen keskimääräiset jäykkyysmoduulit sekä asfalttipäällystelaatan sideainepi-
toisuudet ja tyhjätilat. Taulukossa 7.8 on esitetty koekohteelta porattujen päällystenäyt-
teiden jäykkyysmoduulit. Taulukossa 7.8 alaindeksillä a on merkitty ensiksi tutkittu
koekappaleen jäykkyysmoduuli ja alaindeksillä b jäykkyysmoduuli, joka on määritetty
koekappaleesta 90° kääntämisen jälkeen. Koekappaleen jäykkyysmoduuli on näiden
arvojen keskiarvo, joka on esitetty taulukossa symbolilla KA. PAB -päällysteen koe-
kappaleet eivät kestäneet testausta.

Taulukko 7.7 Asfalttimassojen ennakkokokeissa saadut jäykkyysmoduulit

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	AB 16 + kuitu
Jäykkyysmoduuli [MPa]	3300	4071	2557	3733
Sideainepitoisuus [%]	5,2	5,4	5,3	5,3
Tyhjätila [%]	2,5	3,4	2,5	3,3

Taulukko 7.8 Koekohteelta porattujen päällystenäytteiden jäykkyysmoduulit

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	AB 16 + kuitu
	AB _{24 a} : 3402	FEP _{16 a} : 4719	KBAB _{16 a} : 1608	K _{26 a} : 3383
	AB _{24 b} : 3531	FEP _{16 b} : 4323	KBAB _{16 b} : 1965	K _{26 b} : 3627
KA [MPa]	3467	4521	1787	3505
	AB _{27 a} : 2921	FEP _{17 a} : 3174	KBAB _{17 a} : 1579	K _{27 a} : 2746
	AB _{27 b} : 3190	FEP _{17 b} : 2773	KBAB _{17 b} : 1501	K _{27 b} : 2577
KA [MPa]	3056	2974	1540	2662
	AB _{28 a} : 2801	FEP _{18 a} : 3604	KBAB _{18 a} : 1631	K _{28 a} : 3426
	AB _{28 b} : 3272	FEP _{18 b} : 3693	KBAB _{18 b} : 1500	K _{28 b} : 3331
KA [MPa]	3037	3649	1566	3379
	AB _{29 a} : 2761	FEP _{19 a} : 3850	KBAB _{19 a} : 1617	K _{29 a} : 3432
	AB _{29 b} : 2804	FEP _{19 b} : 3698	KBAB _{19 b} : 1784	K _{29 b} : 3546
KA [MPa]	2783	3774	1701	3489
	AB _{30 a} : 2676	FEP _{20 a} : 3620	KBAB _{20 a} : 2170	K _{30 a} : 3348
	AB _{30 b} : 2759	FEP _{20 b} : 3924	KBAB _{20 b} : 2216	K _{30 b} : 3271
KA [MPa]	2718	3772	2193	3310
KA sarja	3012	3738	1757	3269

Taulukoiden 7.7 ja 7.8 tulosten mukaan HMA -kuitu- sekä elastomeeripellettimodifioitujen sideaineiden jäykkyysmoduulit ovat hieman vertailubitumia korkeammat lisääaineiden sisältämästä kuidusta johtuen.

Kumibitumin jäykkyysmoduuli on tutkittujen asfalttimassojen moduuleista pienin pehmeämmän pohjabitumin ja kumimaisten ominaisuuksien vuoksi. Testituloksista havaitaan, että niissä on yleisesti ottaen jonkun verran hajontaa. Jäykkyysmoduuli ei yleisesti kuulu asfalttimassasta tutkittaviin ominaisuuksiin.

Tyhjätila

Näytteen tyhjätila V_m lasketaan asfalttimassan maksimitiheyden ja asfalttinäytteen kapaleitiheyden avulla standardin SFS-EN 12697-8 mukaisesti. Kaikkien testattujen päällystenäytteiden tyhjätilat on esitetty liitteessä 7. Taulukkoon 7.9 on koottu yhteenvedona ennakkokokeiden ja koekohteelta eri päällysteosuuksilta porattujen päällystenäytteiden keskimääräiset tyhjätilat. Taulukossa alarivillä on esitetty tarkennuksena tietoa, mistä koekappaleista tyhjätilat on määritetty. Ennakkokokeiden yhteydessä (taulukossa ”Suhteitus”) paksuista laatoista porattiin koekappaleet jaksollisen viruman (dynaaminen creep) ja Prall -testiä varten. Ohuista laatoista porattiin puolestaan näytteet halkaisuvelolujuuden ja jäykkyysmoduulin määrittystä varten. Taulukossa merkintä ”laatta” kuvaa

koko laatan keskimääräistä tyhjätilaa, joka on määritetty kaikkien laatasta porattujen koekappaleiden tyhjätilojen keskiarvona.

Taulukko 7.9 *Asfalttimassojen keskimääräiset tyhjätilat*
(Forstén & Väisänen 2016, s. 16)

Asfaltti- massa	Sideainepi- toisuus [%]	Suhteitus		Poranäytteet	
		Paksu [%]	Ohut [%]	creep / SRK [%]	HVL / jäykkyys [%]
AB 16	5,2	1,3 / 1,4	1,3		
AB 16	5,4			2,9	3,8 / 4,2
AB 16 + FEP	5,4	2,4 / 1,6	3,4	3,1	3,5 / 2,9
KBAB 16	5,3	3,7 / 1,3	2,5	3	3,9 / 3,7
PAB-B 16	4,2		6,2		7,9 / -
AB 16 + kuitu	5,3	6,2 / 3,7			
AB 16 + kuitu	5,5	2,2 / 1,9	3,3	2,8	3,1 / 3,7
		laatta/creep	laatta	creep/SRK	HVL/jäykkyys

Taulukon 7.9 tuloksista havaitaan, että päällystenäytteistä määritetyt asfalttimassojen tyhjätilat ja tiiveydet ovat PAB:ia lukuun ottamatta hyvin samansuuruisia, minkä ansiosta asfalttimassojen testitulokset ovat vertailukelpoisia. (Forstén & Väisänen 2016, s. 16)

Kulumiskestävyys (Prall)

Päällysteiden nastarengaskulutuskestävyys määritettiin Prall-testillä standardin SFS-EN 12697-16 menetelmän A mukaisesti. Prall-testi tehtiin samoille koekappaleille kuin jäykkyysmoduulien määritykset. Jäykkyysmoduulien määrittämisen jälkeen koekappaleet sahattiin standardin mukaisiksi ja näytteiden kulumiskestävyys tutkittiin sahatuilta pinoilta. PAB ei kestänyt testausta. Näin ollen siitä ei ole testituloksia. Taulukoissa 7.10 ja 7.11 on esitetty ennakkokokeiden ja koekohteelta porattujen päällystenäytteiden kulumiskestävyystulokset. Liitteestä 7 on luettavissa jokaisen koekohteelta poratun päällystenäytteen tyhjätila.

Taulukko 7.10 *Ennakkokokeissa saadut päällysteiden kulumiskestävyystulokset*

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	AB 16 + kuitu
Prall-arvo [ml]	34	26	23	32
Sideainepitoisuus [%]	5,2	5,4	5,3	5,3
Tyhjätila [%]	1,3	2,4	3,7	2,2

Taulukko 7.11 Koekohteelta porattujen päällystenäytteiden kulumiskestävyystulokset

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	AB 16 + kuitu
	AB ₂₇ : 53	FEP ₁₇ : 36	KBAB ₁₇ : 25	K ₂₇ : 53
	AB ₂₈ : 46	FEP ₁₈ : 33	KBAB ₁₈ : 24	K ₂₈ : 49
Prall-arvo [ml]	AB ₂₉ : 42	FEP ₁₉ : 35	KBAB ₁₉ : 20	K ₂₉ : 38
	AB ₃₀ : 43	FEP ₂₀ : 38	KBAB ₂₀ : 26	K ₃₀ : 40
KA [ml]	46	37	24	44

Taulukoiden 7.10 ja 7.11 tuloksista havaitaan, että vertailu- ja kuitumodifioidun asfalttimassan ennakkokokeissa saadut kulumisarvot (taulukko 7.10) ovat parempia kuin kohteelta porattujen päällystenäytteiden arvot (taulukko 7.11).

Asfalttinormit 2011 mukaan tiivistetyille asfalttimassoille ja tieltä poratuille päällystenäytteille on oma kulumisluokituksensa. Ennakkokokeiden tulosten (taulukko 7.10) perusteella KBAB- ja elastomeeripellettimodifioitu asfalttimassa kuuluisivat Asfalttinormit 2011 mukaisen kulutusluokituksen luokkaan Abr_{A28} ja vertailumassa ja kuitumodifioitu asfalttimassa luokkaan Abr_{A36}. Taulukon 7.11 porattujen päällystenäytteiden tulosten perusteella vertailu- ja kuitumodifioitu asfalttimassa kuuluisivat Asfalttinormit 2011 mukaan kulutuskestävyysluokkaan IV, elastomeeripellettimodifioitu luokkaan III ja kumibitumimassa luokkaan II.

Kokemuksen mukaan Prall-kokeessa teräskuulat hyppivät kumimaisia ominaisuuksia omaavien koekappaleiden (KBAB ja FEP) pinnalla testauksen aikana, minkä vuoksi ne ei kuluta näytettä tarkoituksenmukaisella tavalla. Sama huomattiin myös tämän tutkimuksen yhteydessä. KBAB:n ja elastomeeripellettimodifioidun asfalttimassan kulumiskestävyystuloksia tulkittaessa tulee ottaa huomioon tämä testausmenetelmän ongelma, minkä vuoksi kyseisten asfalttimassojen testitulokset eivät ole täysin luotettavia. Tämä osaltaan myös selittää kumibitumipäällysteen ja elastomeeripellettimodifioidun päällysteen muita päällysteitä selkeästi parempia kulumiskestävyysarvoja. Modifioitujen asfalttimassojen nastarengaskulutuskestävyyden tutkimiseen käytetään sivurullakulutuslaitetta (PANK ry 2011, s. 79).

Sivurullakulutus (SRK)

SRK-testi tehtiin standardin SFS-EN 12697-16 menetelmän B mukaisesti. Tässä tutkimuksessa testi tehtiin päällystenäytteille pääasiassa päällysteestä kulutuksessa irtoavan asfalttipölyn keräämiseksi jatkotutkimuksia varten. Testinäytteistä irronneesta pölystä on tarkoitus tutkia myöhemmin sen koostumusta tarkemmin. Sivurullakulutuslaitteen korkean iän ja osien kulumisen vuoksi testissä saadut tulokset eivät ole luotettavia. Näin ollen niitä ei esitetä tässä työssä.

Jaksollinen viruma (Dynaaminen creep)

Asfalttimassojen deformaatiokestävyys määritettiin jaksollisen virumiskokeen avulla standardin SFS-EN 12697-25 A mukaisesti. Ennakkokokeiden jaksolliset virumiskokeet tehtiin 80 mm laatasta poratuille ja sahatuille yhtenäisille testinäytteille, kun taas koekohteelta porattujen näytteiden tapauksessa testinäyte koostui kahdesta 30 mm paksuiseksi sahatusta päällystenäytteestä. Koekappaleen kokoaminen kahdesta osasta on normaali käytäntö, koska tieltä poratut päällystenäytteet ovat harvoin tarpeeksi paksuja (yli 75 mm), että niistä voi sahata 60 mm päällystenäytteet, joilla on yhdensuuntaiset ylä- ja alapinnat. PAB:lle pystyttiin määrittämään jaksollinen viruma vain ennakkokokeissa, kun testi tehtiin yhtenäisille koekappaleille. Taulukossa 7.12 on esitetty ennakkokokeissa saadut asfalttimassojen jaksollisen virumiskokeen tulokset sekä laboratorioissa valmistettujen asfalttilaattojen sideainepitoisuudet ja tyhjätilat. Vastaavasti taulukossa 7.13 on esitetty kohteelta porattujen päällystenäytteiden jaksollisen viruman yksittäiset ja näiden keskiarvona lasketut tulokset. Liitteestä 7 on luettavissa jokaisen koekohteelta poratun päällystenäytteen tyhjätila.

Taulukko 7.12 Ennakkokokeiden jaksollisen virumiskokeen tulokset

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
Creep [%]	1,4	1,6	1,3	3,7	1,9
Sideainepitoisuus [%]	5,2	5,4	5,3	4,3	5,3
Tyhjätila [%]	1,3	2,4	3,7	6,2	2,2

Taulukko 7.13 Kohteelta porattujen päällystenäytteiden jaksollisen virumiskokeen tulokset

Creep [%]	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
	AB _{1,6} : 1,9	FEP _{6,11} : 1,8	KBAB _{6,11} : 1,4	PAB _{1,2} : 5,0*	K _{1,6} : 0,7
	AB _{2,7} : 1,2	FEP _{7,12} : 1,4	KBAB _{7,12} : 1,4	PAB _{3,4} : 5,7*	K _{2,7} : 1,4
	AB _{3,8} : 1,3	FEP _{8,13} : 1,2	KBAB _{8,13} : 0,9	PAB _{5,6} : -	K _{3,8} : 1,7
	AB _{4,9} : 1,2	FEP _{9,14} : 1,1	KBAB _{9,14} : 1,1	PAB _{7,8} : -	K _{4,9} : 1,4
	AB _{5,10} : 1,4	FEP _{10,15} : 1,4	KBAB _{10,15} : 1,3	PAB _{9,10} : -	K _{5,10} : 1,3
KA	1,4	1,4	1,2	-	1,3

* Näyte murtui

Taulukon 7.12 tuloksista havaitaan, että PAB-massaa lukuun ottamatta kaikkien muiden asfalttimassojen jaksollisen virumiskokeen tulokset ovat hyvin samankaltaisia.

Ennakkokokeiden tulosten (taulukko 7.12) PAB kuuluisi Asfalttinormien 2011 deformaatioluokituksen mukaan luokkaan $\epsilon_{n5,0}$ ja kaikki muut asfalttimassat parhaimpaan luokkaan $\epsilon_{n2,0}$. Tieltä porattujen näytteiden testitulosten perusteella (taulukko 7.13) kaikki tutkitut asfalttimassat kuuluisivat parhaimpaan, deformaatioluokkaan I. Virumiskokeen tulosten perusteella kaikkien tutkittujen asfalttimassojen deformaatiokestävyy-

det ovat hyviä. Kun taulukon 7.13 tuloksia verrataan taulukon 7.12 tuloksiin, nähdään, että kaikkien päällysteiden deformaatiokestävyydet ovat hyvin identtiset.

Vedenkestävyys, Halkaisuvetolujuus (HVL) ja Halkaisuvetojäykkyys (HVJ)

Asfalttimassan vedenkestävyys määritettiin SFS-EN 12697-12 menetelmän A mukaisesti. Taulukossa 7.14 on esitetty yhteenvetona ennakkokokeissa saadut tulokset: asfalttimassojen keskimääräiset halkaisuvetolujuudet märkien ja kuivien koekappaleiden tapauksessa ja niistä laskettu päällysteiden vedenkestävyyttä kuvaava ITSR-tarttuvuusluvut. Näiden tulosten lisäksi taulukkoon on kerätty ennakkokokeita varten tehtyjen asfalttilaattojen sideainepitoisuudet ja tyhjätilat.

Taulukko 7.14 Ennakkokokeissa saadut asfalttimassojen halkaisuvetolujuus- ja vedenkestävyydetulokset

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
HVL_{märkä} [kPa]	1584	1685	1295	311	1709
HVL_{kuiva} [kPa]	1788	1756	1406	255	1851
ITSR [%]	89	96	92	122	92
Sideainepitoisuus [%]	5,2	5,4	5,3	4,2	5,3
Tyhjätila [%]	2,5	3,4	2,5	6,4	3,3

Kuten jo mainittiin, vedenkestävyyttä kuvaava ITSR -tarttuvuusluku lasketaan halkaisuvetolujuuskokeiden tulosten avulla. Halkaisuvetolujuus koe tehdään kahdelle eri koekappaleelle, joista toinen on säilytetty vedessä korkeassa lämpötilassa ja toinen kuivassa. Kun ITSR -tarttuvuusluku lasketaan eri kappaleiden testitulosten avulla, testi-näytteiden väliset eroavaisuudet korostuvat ja ääriarvojen tapauksessa vedenkestävyydelle voidaan saada jopa yli 100 % arvo, mikä käytännössä tarkoittaisi, että koekappaleiden märkäsäilytys parantaisi asfalttimassan vedenkestävyyttä. Näin ei kuitenkaan todellisuudessa ole.

AB-massan vedenkestävyyttä kuvaavan ITSR -tarttuvuusluvun tulisi Asfalttinormien mukaan olla ainakin 80 % ja PAB -massan 60 % (PANK ry 2013). Taulukon 7.14 tutkimustulosten perusteella kaikki tutkitut asfalttimassat toteuttavat tämän vaatimuksen. Tosin PAB -massan tapauksessa tulos on hieman harhaanjohtava. ITSR -luvut kuitenkin indikoivat, että sideaineinen ja kiviaineksen välinen tartunta on hyvä.

Taulukossa 7.15 on esitetty kohteelta porattujen päällystenäytteiden halkaisuvetolujuustulokset. Taulukossa esiintyvistä halkaisuvetolujuustuloksista viisi ensimmäistä on kuivien ja viisi jälkimmäistä märkien koekappaleiden tuloksia. Liitteestä 7 on luettavissa jokaisen koekohteelta poratun päällystenäytteen tyhjätilat.

Taulukko 7.15 Kohteelta porattujen päällystenäytteiden halkaisuvetolujuudet ja ITSR -tarttuvuusluvut

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
	AB ₁₁ : 1466	FEP ₂₁ : 1809	KBAB ₂₁ : 896	PAB ₁₁ : 236	K ₁₁ : 1532
(Halkaisuvetolujuus)	AB ₁₂ : 1443	FEP ₂₃ : 1723	KBAB ₂₃ : 788	PAB ₁₂ : 280	K ₁₃ : 1125
	AB ₁₃ : 1192	FEP ₂₄ : 1309	KBAB ₂₄ : 1013	PAB ₁₄ : 270	K ₁₄ : 1852
HVL_{kuiva} [kPa]	AB ₁₄ : 1642	FEP ₂₉ : 960	KBAB ₂₆ : 964	PAB ₁₆ : 238	K ₁₆ : 1273
	AB ₁₅ : 1782	FEP ₃₀ : 1453	KBAB ₂₈ : 972	PAB ₁₇ : 308	K ₁₈ : 1413
KA_{kuiva} [kPa]	<u>1505</u>	<u>1451</u>	<u>927</u>	<u>266</u>	<u>1439</u>
	AB ₁₇ : 1295	FEP ₂₂ : 1009	KBAB ₂₂ : 992	PAB ₁₉ : 166	K ₁₉ : 1766
(Halkaisuvetolujuus)	AB ₁₉ : 1233	FEP ₂₅ : 1452	KBAB ₂₅ : 1160	PAB ₂₀ : 234	K ₂₁ : 1432
	AB ₂₂ : 1189	FEP ₂₆ : 1775	KBAB ₂₇ : 929	PAB ₂₁ : 314	K ₂₃ : 1365
HVL_{märkä} [kPa]	AB ₂₃ : 1536	FEP ₂₇ : 1300	KBAB ₂₉ : 1049	PAB ₂₂ : 249	K ₂₄ : 1527
	AB ₂₅ : 1394	FEP ₂₈ : 1851	KBAB ₃₀ : 1279	PAB ₂₆ : 285	K ₂₈ : 1557
KA_{märkä} [kPa]	<u>1329</u>	<u>1478</u>	<u>1082</u>	<u>250</u>	<u>1529</u>
ITSR [%]	88	102	117	94	106

Taulukon tuloksista 7.15 havaitaan, että HMA -kuitu ja elastomeeripelletti parantavat hieman asfalttimassan halkaisuvetolujuutta. Ero on erityisesti havaittavissa kyllästettyjen koekappaleiden testituloksissa. Vastaavasti kuivien koekappaleiden testitulokset ovat aivan vertailupäällysteen tulosten tasoisia. PAB- ja KBAB -massan halkaisuvetolujuudet ovat pienimmät. Tähän on syynä asfalttimassoissa käytetty pehmeämpi sideaine ja kumibitumiin lisätty elastomeeri.

Taulukon 7.15 tuloksista voidaan myös havaita, että kaikkien modifioitujen asfalttimassojen ITSR -tarttuvuusluvut ovat yli 100 %. Kuten edellä esitettiin, ITSR-tarttuvuusluvun arvoon vaikuttavat testattujen koekappaleiden koostumukset sekä kappaleiden väliset erot. Tutkimustulosten perusteella asfalttimassoja ei voida vedenkestävyyden perusteella luotettavasti vertailla keskenään. Asfalttimassojen vedenkestävyysominaisuudet täyttävät kuitenkin edellä esitetyt niille asetetut vaatimukset.

Halkaisuvetolujuustuloksista laskettiin edelleen myös koekappaleiden halkaisuvetojäykkyydet sekä vedenkestävyyttä kuvaavat ITSR -tarttuvuusluvut. Tulokset on esitetty taulukossa 7.16. Taulukossa viidellä ensimmäisellä rivillä on kuivien ja viidellä jälkimmäisellä märkien koekappaleiden halkaisuvetojäykkyydet. Liitteestä 7 on luetavissa jokaisen koekohteelta poratun päällystenäytteen tyhjättila.

Taulukko 7.16 Kohteelta porattujen päällystenäytteiden halkaisuvetojäykkyydet

	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
	AB ₁₁ : 167,2	FEP ₂₁ : 222,2	KBAB ₂₁ : 79,5	PAB ₁₁ : 14,5	K ₁₁ : 116,5
(Halkaisu-	AB ₁₂ : 164,5	FEP ₂₃ : 172,0	KBAB ₂₃ : 59,9	PAB ₁₂ : 19,4	K ₁₃ : 105,6
vetojäykkys)	AB ₁₃ : 135,9	FEP ₂₄ : 149,2	KBAB ₂₄ : 95,1	PAB ₁₄ : 18,7	K ₁₄ : 184,8
HVJ_{kui}	AB ₁₄ : 201,6	FEP ₂₉ : 117,9	KBAB ₂₆ : 81,1	PAB ₁₆ : 15,9	K ₁₆ : 127,1
[kPa]	AB ₁₅ : 203,2	FEP ₃₀ : 178,5	KBAB ₂₈ : 77,6	PAB ₁₇ : 20,5	K ₁₈ : 107,4
	AB ₁₇ : 137,8	FEP ₂₂ : 115,1	KBAB ₂₂ : 79,2	PAB ₁₉ : 8,0	K ₁₉ : 165,9
(Halkaisu-	AB ₁₉ : 140,6	FEP ₂₅ : 154,6	KBAB ₂₅ : 102,9	PAB ₂₀ : 10,1	K ₂₁ : 142,9
vetojäykkys)	AB ₂₂ : 158,2	FEP ₂₆ : 188,9	KBAB ₂₇ : 67,5	PAB ₂₁ : 17,3	K ₂₃ : 136,2
HVJ_{märkä}	AB ₂₃ : 136,2	FEP ₂₇ : 129,8	KBAB ₂₉ : 79,8	PAB ₂₂ : 12,8	K ₂₄ : 143,4
[kPa]	AB ₂₅ : 159,0	FEP ₂₈ : 155,6	KBAB ₃₀ : 92,9	PAB ₂₆ : 17,5	K ₂₈ : 155,3
KA [MPa]	160,4	158,4	81,5	15,5	138,5

Taulukon 7.16 halkaisuvetojäykkyydestuloksista on havaittavissa sama kuin halkaisuveto-
lujuuden tuloksista. Elastomeeripelletti- ja kuitumodifioitu asfalttimassa sekä vertailu-
massa ovat muita massoja hieman jäykempiä kovemman sideaineen ja asfalttimassaa
lujittavien lisäaineiden vuoksi.

7.4.4 Palvelutasomittaukset

Päällystystyön laadunvarmistukseksi koekohteella tehtiin päällystystyön jälkeen palve-
lutasomittauksia. Laatuparametreista kohteella mitattiin päällysteen tyhjätilat, IRI4-
arvot (International Roughness Index) ja urasyvyudet. Tyhjätilamittaukset teki RC-Infra
Oy ja IRI4 -arvot ja urat mittasi NEVIA Oy. IRI on tien pinnan pituussuuntaista epätasaisuu-
ttä kuvaava kansainvälinen tasaisuusindeksi, johon otetaan huomioon kaikki tien
pinnan epätasaisuudet, jotka havaitaan 0,5–50 m aallonpituuksilla. IRI4-parametrin ero-
na IRI:iin on, että sen mittauksissa ei oteta mukaan pinnan epätasaisuuksia, jotka synty-
vät yli 4 m aallonpituuksilla. IRI-tulokset esitetään yksikössä mm/m ja niiden esittämis-
tarkkuus on 0,1 mm/m. (PANK-5207 2004, s. 1)

Tyhjätilamittaukset

Päällystystöiden jälkeen koekohteen asfalttipäällysteen tyhjätilat mitattiin jatkuvana
päällystetutkausmenetelmällä PANK 4122 mukaisesti. Mittaus tehtiin 12.9.2015 1
GHz:n ilmastiantennilla tierekisteriosoittevälillä 2773/4/6511–5/4415 molemmilla
kaistoilla erikseen. Mittauspisteitä tällä välillä oli 10 kpl/m. Taulukossa 7.17 on esitetty
mittauksessa saadut kaistakohtaiset ja koekohteen keskimääräiset tyhjätilat. Taulukossa
symboli σ on keskihajonta ja Ka keskiarvo. Kaistat on ilmoitettu tierekisteriosoitteiden
kasvusuuntaan nähden.

Taulukko 7.17 Koekohteen kaistojen keskimääräiset tyhjätilat

Kohteen tiedot	Pituus	Tyhjätila (%)		Yksittäinen näyte			
		Ka	σ	Alitus (%)	Alitus (m)	Ylitys (%)	Ylitys (m)
Oikea	4825,7	2,69	0,45	0,01	0,48	0,27	13,03
Vasen	4823,4	2,65	0,52	0,04	1,93	0,7	33,76
Ka.	9649,1	2,67	0,48	0,02	2,41	0,49	46,79

Asfalttinormien mukaan kohteen valmiin asfalttipäällysteen laatuvaatimusluokka määrittyy kohteella olevan nopeusrajoituksen ja KVL:n mukaan. Tieräkisterin tietojen mukaan Ylöjärven koekohteen suurin nopeusrajoitus on 80 km/h ja KVL 1800 luokkaa, joten kohde kuuluu laatuvaatimusluokkaan C, jonka vaatimus on, että päällysteen keskimääräinen tyhjätila tulee olla alle 4 % ja yksittäisen näytteen tyhjätila alle 5 %.

Taulukon 7.17 tulosten mukaan koekohteen vasemman (modifioitujen asfalttimassojen) kaistan tyhjätilat ovat hieman oikeaa suuremmat ja harvoja osuuksia on oikeaa kaistaa enemmän. Tyhjätilamittausten perusteella molempien kaistojen keskimääräiset tyhjätilat täyttävät kuitenkin valmiille päällysteelle asetetut vaatimukset.

IRI4- ja uramittaukset

Kohteen asfalttipäällysteen IRI 4-arvot ja urat mitattiin niin ikään jatkuvana päällystetutkausmittauksena 9.9.2015 tieräkisteriosoitevälillä 2773/4/6500–5/4400. Mittaukset tehtiin menetelmien PANK-5207 (2004), PANK-5208 (2004) ja PANK-5209 (2004) mukaisesti. Taulukossa 7.18 on kuvattu koekohteen IRI 4-arvojen ja urien keskiarvot ja keskihajonnat yhteenvetona. Taulukossa kaistat on ilmoitettu tieräkisteriosoitteiden kasvusuuntaan eli oikea kaista tarkoittaa vertailumassan kaistaa ja vasen modifioitujen asfalttimassojen kaistaa. Taulukossa Ka symboloi keskiarvoa ja σ keskihajontaa. Tarkemmat IRI 4- ja uratulokset on esitetty liitteessä 8 100 m keskiarvoina.

Taulukko 7.18 Koekohteen päällysteen IRI 4-arvojen ja alku-urasyvyyksien keskiarvot ja -hajonnat

Kohteen tiedot	Pituus [m]	Ajonopeus [km/h]		IRI 4 [mm/m]		Ura [mm]	
		Ka	σ	Ka	σ	Ka	σ
Oikea kaista	4834	59,25	5,87	0,59	0,09	1,62	0,61
Vasen kaista	4834	60,69	8,89	0,63	0,16	2,14	0,78
AB 16 + FEP	1350			0,61	0,17	1,44	0,48
KBAB 16	1112			0,60	0,13	2,76	0,59
PAB-B 16	955			0,64	0,14	2,52	0,80
AB 16 + kuitu	1403			0,68	0,19	2,06	0,55
Koko kohde	9668					1,88	

Taulukon 7.18 tuloksista havaitaan, että modifioitujen asfalttimassojen kaistan IRI4-arvot ja urasyvytydet ja niiden keskihajonnat ovat hieman suuremmat kuin vertailumassan kaistalla. Tuloksien suurempi hajonta on luonnollista, kun kaistalla on monentyyppisiä asfalttimassoja. Liitteen 8 tarkempien mittaustulosten perusteella IRI4-arvot ovat vertailupäällysteen kaistalla ja modifioidulla kaistallakin muutamaa 100 m osuutta lukuun ottamatta hyvin tasaiset. Urasyvytydet olivat pienimmät ja tasaisimmat vertailumassan ja elastomeeripellettimodifioidun asfalttimassan koeosuuksilla. Vastaavasti suurimmat keskimääräiset urasyvytydet mitattiin KBAB:n ja PAB:n osuuksilla. Koeosuuksien IRI4 -arvot ja urasyvytydet ovat kuitenkin kokonaisuudessaan kaikilla koeosuuksilla hyvin samantasoisia.

Asfalttinormit 2011 mukaan Ylöjärven koekohteen AB-asfalttipäällysteen IRI 4-vaatimus on 1,2 mm/m ja PAB-B:n 1,3 mm/m. Vastaavasti suurin sallittu epätasaisuus poikkisuunnassa eli alku-urasyvyys koko kohteella on Asfalttinormit 2011 mukaan 3 mm ja yksittäisen 100 m keskiarvo 4 mm. Liitteen 8 tarkempien urasyvyys- ja IRI4 -tulosten perusteella voidaan todeta, että Asfalttinormit 2011 asfalttimassoille asetetut urasyvyysvaatimukset toteutuvat ja IRI4 -vaatimuksetkin yhtä 100 m osuutta lukuun ottamatta jokaisella koeosuudella. IRI4 -arvo ylittyi HMA -kuitumodifioidun asfalttimassan koeosuudella tierekisteriosoitevälillä 2773/5/100–200. Tämä on sama osuus, josta kyseisen asfalttimassan päällystenäytteet otettiin, mikä voi selittää osuudella mitatun suuremman IRI4-arvon.

8. YHTEENVETO

Tämä diplomityö on osa tutkimusta, jonka tarkoituksena on tutkia erilaisten modifiointien vaikutuksia asfalttimassan ominaisuuksiin, työstettävyyteen, ympäristöystävällisyyteen ja pitkäaikaiskestävyyteen. Tutkimuksen kirjallisuusselvitysvaiheessa selvitettiin Polymeerimodifioidun bitumin (PMB), aramidi- ja polyamidikuitujen, kumipurun ja elastomeeripelletin käytöstä pohjoisilla alueilla saatuja kokemuksia.

Ennen koekohteen rakentamista kumipurun toimittaja vetäytyi projektista ja kyseisen asfalttimassan tutkimuksessa korvasi PAB. Tutkimuksen yhteydessä Ylöjärvelle maantie 2773 rakennettiin koekohte. Kohteen vaihtelevien pohjaolosuhteiden ja kunnan vuoksi koejärjestely päätettiin toteuttaa niin, että vertailumassa on koko kohteen matkalla toisella kaistalla. Asfalttimassojen pitkäaikaiskestävyyden seuraamiseksi kohteella ennen päällystystöitä tehtiin vaurioinventointi. Vaurioiden kartoittamisessa havaittiin, että kohteella esiintyy melko paljon monen tyyppisiä vaurioita, joista yleisimmät olivat pituus- ja reunahalkeamat. Kohteen pohjaolosuhteet ja vaurioiden esiintymistiheys vaihtelivat kohteella paljon. Vaurioanalyysin perusteella arvioitiin, että vaurioituneimpien tieosuuksien vaurioitumisen taustalla ovat kuivatusongelmat sekä routiminen.

Päällystystyöt pystyttiin tekemään hyvissä ja tasavertaisissa olosuhteissa. Asfalttiaseman työntekijöiden mukaan asfalttimassojen valmistuksessa ei havaittu minkään massan kohdalla ongelmia. Mikäli lisäaineiden käyttö yleistyisi, tulisi lisäaineiden lisäämistä varten kuitenkin kehittää syöttölaite.

Päällystystyön aikana levitettävien asfalttimassojen lämpötilat mitattiin ja päällystystyömaan työntekijöitä haastateltiin asfalttimassojen työstettävyyksistä. Lämpömittausten perusteella asfalttimassat olivat pääosin ohjeellisten sekoituslämpötilojen mukaiset lukuun ottamatta noin 200 m osuutta elastomeeripellettimodifioidulla ja noin 650 m pituista osuutta KBAB -massalla. Ylikuumat asfalttimassat aiheuttivat pistävänhajuisen höyryn sekä elastomeeriellettimodifioidun asfalttimassan osuudella työstettävyysongelman, kun esijyräyksen alussa päällysteen pinnasta irtosi valssiin materiaalia. Esijyräyksen tehneen jyränkuljettajan mukaan asfalttimassat kuitenkin tiivistyivät myös ylikuumilla osuuksilla normaaliin tapaan. PAB -osuudella asfalttimassan ominaisuudet ja tien geometria asettivat haasteita ja koeosuuden päällysteessä oli havaittavissa eniten laatuvaihteluja.

Poranäytteiden oton yhteydessä tehtyjen havaintojen mukaan voidaan epäillä, että n. 200 °C sekoituslämpötila vähentäisi KBAB -massan kumimaisia ominaisuuksia. Laboratoriotutkimusten perusteella HMA -kuitu lisää hieman päällysteen halkaisuvetolujuut-

ta ja elastomeeripelletti lisää hieman sekä sideaineen elastisuutta että päällysteen halkaisuvetolujuutta. Muuten kuitu- ja elastomeeripellettimodifioitujen päällysteiden ja sideaineiden ominaisuudet olivat pääosin vertailupäällysteen kaltaiset. Tutkimustulosten mukaan kumibitumipäällyste on tutkituista päällysteistä selkeästi elastisin, eikä kumibitumi vanhene yhtä nopeasti kuin tavalliset tiebitumit. DSR -tulosten mukaan se on muita sideaineita elastisempi alhaisissa lämpötiloissa ja muita sideaineita jäykempi korkeammassa lämpötiloissa, mikä indikoisi siitä, että kumibitumipäällyste soveltuisi muita päällysteitä paremmin käytettäväksi Suomen olosuhteissa.

PAB -päällysteelle ei yleensä tehdä samoja laboratoriotestejä kuin AB-massoille, eikä sen ominaisuuksia voida verrata koekohteen muiden asfalttimassojen ominaisuuksiin eri sideaineen vuoksi. Tämän tutkimuksen yhteydessä päätettiin kuitenkin ottaa päällystenäytteet myös PAB -osuudelta. Päällyste ei kestänyt testejä kovin hyvin, minkä vuoksi siitä saatiin melko vähän tutkimustuloksia. Laboratoriotutkimustulosten mukaan PAB:n deformaatiokestävyys oli kuitenkin asfalttityypin tasoon nähden oikein hyvä.

Kohteella päällystystöiden jälkeen tehtyjen PTM -mittausten tulosten perusteella koeosuuksien alku-urat sekä IRI4-arvot olivat hyvin samantasoisia. Asfalttinormit 2011 asettama IRI4 raja-arvo ylittyi ainoastaan HMA -kuitumodifioidun koeosuuden tieosuudella, josta oli porattu päällystenäytteet. Vastaavasti valmiille päällysteelle asetettu urasyvyyden raja-arvo ei ylittynyt millään koeosuudella. Tyhjätilamittausten mukaan molempien kaistojen tyhjätilat olivat vaaditulla tasolla.

Koekohteen pitkäaikaisseuranta antaa ajallaan vastauksia päällysteiden pitkäaikaiskestävyydestä ja siihen, kuinka kustannustehokkaita päällysteet ovat.

Tällä hetkellä Suomessa päällysteen kulutuskestävyys määritetään Prall -kokeen avulla, mutta menetelmä ei sovellu hyvin kumimaisia ominaisuuksia omaavien päällysteiden kulumiskestävyyden testaamiseen. Tämä havaittiin myös laboratoriotutkimusten yhteydessä. Kulutuskestävyyden testimenetelmää tulisi kehittää, jotta myös modifioiduista päällysteistä pystyttäisi samaan luotettavia tuloksia ja olisi mahdollista kehittää entistä kustannustehokkaampia asfalttipäällysteitä. Myöskään asfalttimassojen vedenkestävyyksiä ei voitu absoluuttisesti verrata keskenään testimenetelmän luonteen vuoksi.

Koekohteen päällystystyön aikana tapahtuneet huolimattomuusvirheet, kuten asfalttimassan sekoituslämpötilan tavoitelämpötiloihin verrattuna kohonneet arvot elastomeeripelletti- ja kumibitumiosuuden alkuosissa, herättivät tietynasteisen huolen asfaltin normaalista tuotannosta. Tapahtuuko tuotannossa samanlaisia huolimattomuusvirheitä, jotka jäävät huomaamatta? Tulisiko asfaltin valmistusta ja päällystystöitä valvoa entistä paremmin kestävämmän päällysteen takaamiseksi?

Jatkotutkimusehdotus

Kohteen päällystystyön yhteydessä ei havaittu varsinaisia ongelmia tai muita asioita, jotka aiheuttaisivat päällysteiden nopean vaurioitumisen. Kohteen liikennemäärän perusteella voidaan myös arvioida, ettei päällysteeseen kehity merkittäviä vaurioita muutama vuoteen. Kohteen pitkäaikaiskestävyyteen vaikuttaa kuitenkin kohteen vaihtelevat pohjaolosuhteet sekä vanhassa tierakenteessa havaittujen vaurioiden melko suuri määrä. Koekohteen vaurioanalyysin yhteydessä havaittiin viitteitä siitä, että kohteen kuivatusjärjestelmässä olisi puutteita. Erityisesti liittymärumpujen toimivuudessa havaittiin ongelmia. Jotta kohteen päällysteiden pitkäaikaiskestävyyksiä voidaan verrata toisiinsa luotettavasti, tulee kohteen kuivatusjärjestelmän ylläpidosta huolehtia.

Koekohteen pitkäaikaisseuranta voitaisiin toteuttaa vuotuisilla vauriokatselmuksilla ja PTM -mittauksilla. Kohteen kuivatusjärjestelmän kunto tulisi tarkistaa joka vuosi vauriokatselmuksien yhteydessä. Vauriot tulisi kartoittaa joka kevät ja tulosten perusteella päätettäisi jatkotutkimuksista. Silmämääräisen tarkastelun lisäksi kohteen kuntoa voitaisiin seurata PTM -mittauksilla, joista ensimmäiset tehtäisiin kohteen vaurioitumisesta riippuen 5–10 vuoden päästä. Pitkäaikaisseurannassa tulee ottaa huomioon myös kahden koeosuuden ylikuumat osuudet sekä kohteella toteutettavat kunnallistekniset toimenpiteet, kuten kaapeloinnit, jotka saattavat vaikuttaa osuuden pitkäaikaiskestävyyteen. Kohteen jatkoseurannan lisäksi koeosuuksien nastarengaskulumisessa irtoavan pölyn koostumusta tutkitaan vielä.

LÄHTEET

- Belt, J., Lämsä, V.-P., Savolainen, M. & Ehrola, E., (2002), Tierakenteen vaurioituminen ja tiestön kunto, Tiehallinnon selvityksiä 15/2002, 72 s. Verkkojulkaisu, Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/selv15_02.pdf
- Belt, J., Kolisoja, P., Alatyppö, V. & Valtonen, J., (2006), Tierakenteen rappeutuminen ja kunnan ennustaminen, Oulun yliopisto, Rakentamisteknologian tutkimusryhmä, julkaisu n:o 2, Oulu, 43 s., Verkkojulkaisu, Saatavissa: <http://herkules oulu.fi/isbn9514280520/isbn9514280520.pdf>
- Blomberg, T., (1990), Bitumit, Rakentajain Kustannus Oy, Helsinki, 154 s.
- Desitech group, (2011), Technical Specifications, Sieve Analysis, Cryogenic Rubber Powder (HD 2.6), 2 p.
- Desitech group, (2013), Rubber modified bitumen binder-presentation, 21 p.
- EcoMENA (2015), Production and Applications of Crumb Rubber, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 30.3.2016): <http://www.ecomena.org/tag/ambient-grinding/>
- Ehrola, E., (1996). Liikenneväylien rakennesuunnittelun perusteet. Helsinki 1996, Rakennustieto Oy. 365 s.
- Finnpool, (2015), Huippuluokan lisäaineet SBS-asfalttimassoihin, VIATOP plus FEP -tuotteen esite, 2 s.
- Forstén, L., diplomi-insinööri, tutkimusjohtaja, Lemminkäinen Infra Oy, keskustelu 14.3.2016
- Forstén, L. & Väisänen, H., (2016), Lemminkäinen Infra Oy, Kumikoetie 2015, Mt 2773 Ylöjärvi-Viljakkala, Koetien asfalttimassojen suhteitus ja päällystenäytteiden tutkimus, 27 s. Tutkimusprojektin sisäinen raportti.
- FORTA Corporation, (2009), Jackson Hole Airport (Jackson, WY), June 2009, Project Profile, 1 p.
- FORTA Corporation, The sustainability solution for asphalt, Fact-data, 2 p.
- Gillen, S. (2007), Ground Tire Rubber (GTR) Asphalt Pavement Demonstration Project, Applied Research Associates, Inc. Transportation, Illinois Tollway, 14 p. Saatavissa: http://www.illinoistollway.com/documents/10157/90097/RP_ARA_WRV_GTR+Summary+Report-FINAL_06252007.pdf

Horvli, I. & Værnes, E., (2006), Statens vegvesen, Steinkvalitet og sporutvikling i vegdekker, Forsøksfelt på E 18 i Vestfold, Saatavissa: http://www.geir.be/steinmat/A06005_Sporutvikling_feltforsok_Vestfold.pdf

Häkli, M., (2015), rakennuspäällikkö, Lemminkäinen Infra Oy, sähköposti 30.6.2015

Ilmatieteen laitos, tuulet, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 18.9.2015): <http://ilmatieteenlaitos.fi/tuulet>

Kurki, T., (1998), Asfalttipäällysteiden urautumisen mallintaminen, ASTO -koeteiden tulosten 1990–1997 analysointi, Tielaitoksen selvityksiä 13/1998, 48 s. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf1/3200504-asfalttipaal_urautumisen_mallintaminen.pdf

Lehtipuu, E., Asfalttipäällysteet, Rakentajain Kustannus Oy, 1983, 415 s.

Liikennevirasto, Tierekisteri, viitattu 7.2.2016

Kolisoja, P., (2013), Tie- ja katurakenteen suunnittelu, Luentomateriaali, Tampereen teknillinen yliopisto, Maa- ja pohjarakenteiden laitos.

Leite L. F. M., Soares B. G. (1999), Interaction of asphalt with ground tire rubber, Petroleum Science and Technology, pp.1071–1088.

Liikennevirasto, (2015), Liikenne kohti tulevaa, Liikenneolosuhteet nyt ja haasteet tulevina vuosina, 30 s. Saatavissa: http://www.liikennevirasto.fi/documents/20473/57184/PITO_fakta_liikenneolosuhteetn_yt.pdf/f652a756-f191-46e2-b8f2-5200b91346cd

Nordgren, T. & Tykesson, A. (2011), Dense graded Asphalt Rubber in cold climate conditions, Swedish Transport Administration, Gothenburg, Sweden, 15 p.

Pakhorenko, D. (2012), Conclusion on the condition of experimental section from asphalt concrete of type A with Forta fiber additive on highway “Cola”, 4 p.

PANK-5207, (2004), Pituussuuntainen tasaisuus IRI ja IRI 4, PTM -auto, Päällystealan neuvottelukunta, Laboratoriotoimikunta, 4 s.

PANK-5208, (2004), Poikkisuuntainen epätasaisuus Lanka-ura, PTM -auto, Päällystealan neuvottelukunta, Laboratoriotoimikunta, 4 s.

PANK-5209, (2004), Sivukaltevuus regressiomalli, PTM-auto, Päällystealan neuvottelukunta, Laboratoriotoimikunta, 4 s.

PANK ry, (1992), Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987–1992, väliraportti TR 3 6, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio, Espoo, 37 s.

PANK ry, (1993), Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987–1992, loppuraportti, Valtion teknillinen tutkimuskeskus, tie-, geo- ja liikennetekniikan laboratorio, Espoo, 500 s.

PANK ry, (2011), Asfalttinormit 2011, Edita Oy, Helsinki, 118 s.

PANK ry, (2013), Lisäykset ja korjaukset 1.1.2013 Asfalttinormit 2011.

Pavement interactive, (2011), Dynamic Shear Rheometer, verkkosivu, Saatavissa (viitattu 26.2.2016): <http://www.pavementinteractive.org/article/dynamic-shear-rheometer/>

Saarenketo, T., (2008), Tien rakenteen parantaminen ja kunnossapito, Luentomateriaali, Tampereen teknillinen yliopisto, Maa- ja pohjarakenteiden laitos.

Said, S. F., Carlsson, H., Viman, L., Nordgren, T., (2014), Provsträckor med gummiasfalt, Ragn-Sells infart vid granulat-anläggningen, Heljestorp, VTI rapport 803, Linköping, 36 s. + liit. 17 s.

Shell Bitumen, (2003), The Shell Bitumen Handbook, Thomas Telford Publishing, Fifth edition, 351 p. Saatavissa:

https://books.google.fi/books?id=bA1tIkRjL8kC&pg=PA144&lpg=PA144&dq=phase+angle+calculation+bitumen&source=bl&ots=pcRhMrBTTV&sig=2L47ksl_kkaHreilIg4wBYMJLM&hl=fi&sa=X&ved=0ahUKEwim8v29pv7KAhXGnnIKHbskBJEQ6AEIGTAA#v=onepage&q&f=false

Spoof, H., Petäjä S., (2000), Pudotuspainolaitemittaus (PPL-mittaus), VTT, Espoo, 15 s. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/1-pplmittaus.pdf>

Statens vegvesen, (2013), Feltforsøk med polymermodifisert bindelmiddel, varige vegger 2011–2014, Statens vegvesens rapporter Nr. 103, 30 s. Saatavissa: http://www.vegvesen.no/fag/Publikasjoner/Publikasjoner/Statens+vegvesens+rapporter/_attachment/465676?_ts=13e3b7f2f18&fast_title=SVV+rapport+103.pdf

SFS-EN 1426, Bitumen and bituminous binders, Determination of needle penetration, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2015, 16 s.

SFS-EN 1427, Bitumen and bituminous binders, Determination of the softening point, Ring and ball method, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2015, 18 s.

SFS-EN 12697-1, Asfalttimassat, Testausmenetelmät, Osa 1: Liukoisen sideaineen pitoisuus, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2013, 96 s.

SFS-EN 12697-2 + A1, Bituminous mixtures, Test methods, Part 2: Determination of particle size distribution, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2007, 11 s.

SFS-EN 12697-3, Asfalttimassat, Testausmenetelmät, Osa 3: Bitumin talteenotto: Haihdutusmenetelmä, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2013, 30 s.

SFS-EN 12697-8, Asfalttimassat, Testausmenetelmät, Osa 8: Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2003, 17 s.

SFS-EN 12697-12, Asfalttimassat, Testausmenetelmät, Osa 12: Asfalttinäytteen vedenkestävyyden määrittäminen, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2009, 35 s.

SFS-EN 12697-16, Bituminous mixtures, Test methods, Part 16: Abrasion by studded tyres, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2016, 20 s.

SFS-EN 12697-25, Asfalttimassat, Testausmenetelmät, Osa 25: Jaksollinen virumiskoe, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2005, 54 s.

SFS-EN 12697-26, Asfalttimassat, Testausmenetelmät, Osa 26: Jäykkyys, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2012, 103 s.

SFS-EN 13398, Bitumen and bituminous binders, Determination of the elastic recovery of modified bitumen, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2010, 10 s.

SFS-EN 13589, Bitumen and bituminous binders, Determination of the tensile properties of modified bitumen by the force ductility method, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2009, 10 s.

SFS-EN 13703, Bitumen and bituminous binders, Determination of deformation energy, Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2004, 11 s.

SFS-EN 14770, Bitumen and bituminous binders, Determination of complex shear modulus and phase angle, Dynamic Shear Rheometer (DSR), Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2012, 16 s.

Teede teknokeskus, AC 12 surf 70/100 vs AC 12 surf PMA, Viatop PLUS Fep -tuotteen laboratoriotestien tulokset, Viro, 6 s.

Tiehallinto, (1997), Päällysteiden suunnittelu, Helsinki, 45 s. Saatavissa: http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf2/paallysteiden_suunnittelu.pdf

Tiehallinto, (2004), Tierakenteen suunnittelu, Suunnitteluvaiheen ohjaus, Helsinki, 69 s. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>

Tiehallinto, (2005), Tietoa tiensuunnitteluun nro 71 D, Tiehallinto, tie- ja geotekniikka, 13 s. Saatavissa: <http://alk.tiehallinto.fi/thohje/tts71d.pdf>

Transportation Research Board of the National Academies, (2015), Fiber Additives in Asphalt Mixtures, A Synthesis of Highway Practice, National Cooperative Highway

Research Program (NCHRP), Washington D.C., 55 p. Saatavissa:
http://onlinepubs.trb.org/onlinepubs/nchrp/nchrp_syn_475.pdf

Vainio, V., (2015), Tyhjätilamittausraportti 2015, PIR ELY, kohdenumero 107, RC-
Infra Oy, 1 s.

Virginia Asphalt Association, Scrap Tires in Asphalt, verkkosivu, Saatavissa(Viitattu
15.3.2016): <http://www.vaasphalt.org/used-tires/>

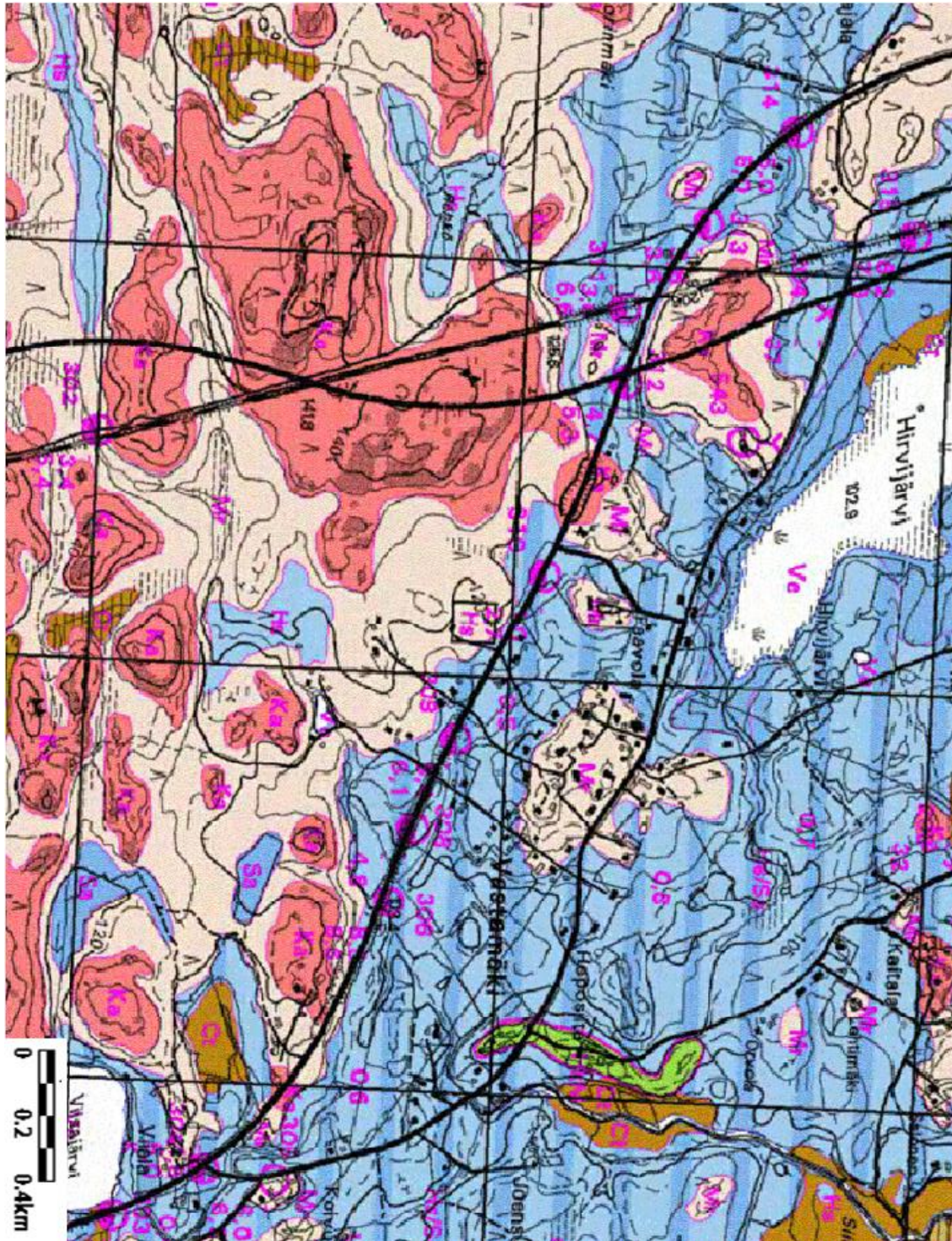
Väisänen, H., insinööri, tutkimusinsinööri, Lemminkäinen Infra Oy, keskustelu
9.3.2016

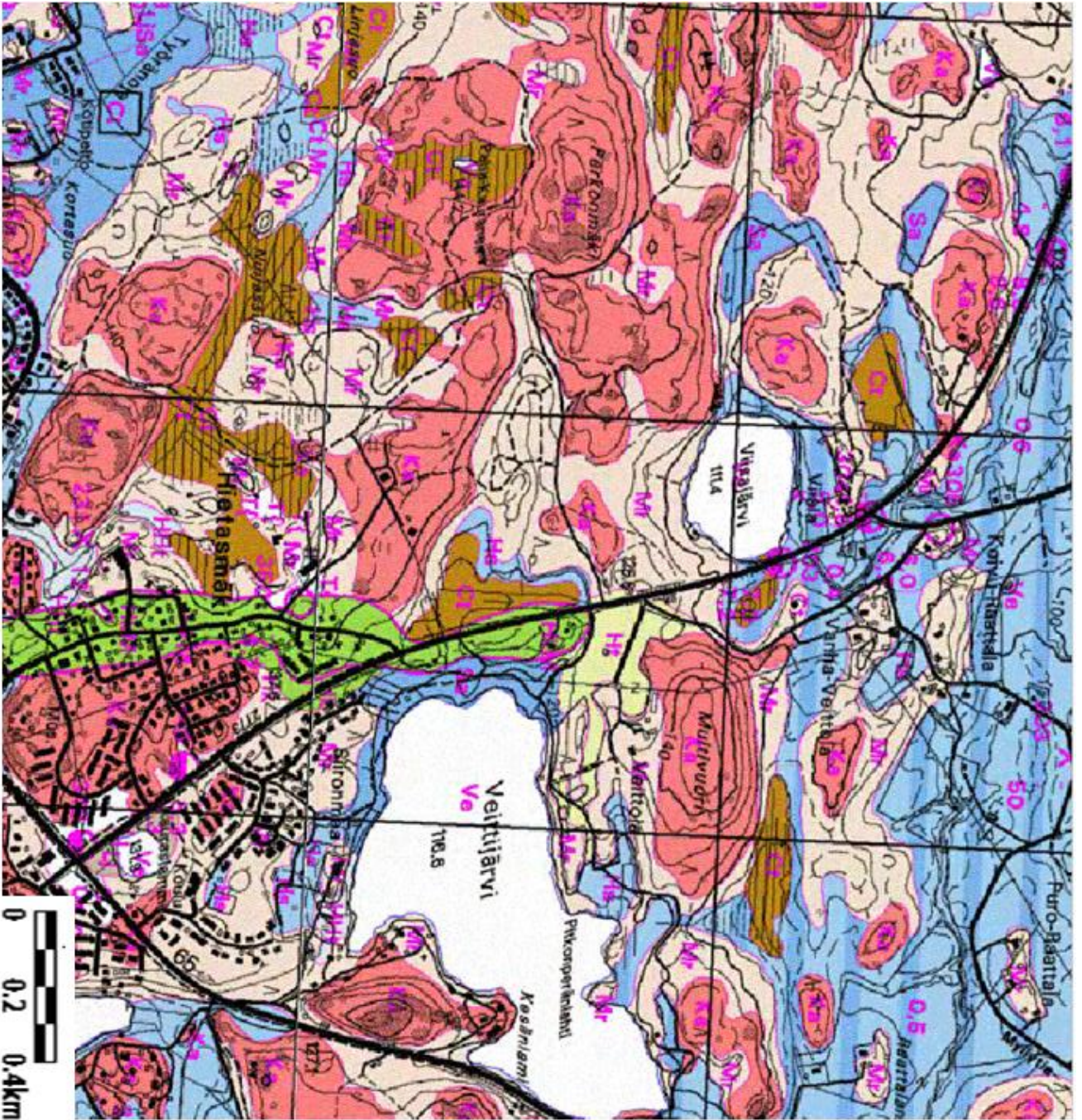
Woodside, A. R., Akbulut, H., Woodward, W. D. H., (2000), Polymer modified cellulose
pellet fibre in bituminous mixtures, Abstract, Saatavissa:
<http://trid.trb.org/view/2000/C/674061>

LIITE 1: KOEKOHTTEEN PUDOTUSPAINOLAITEMITTAUSTEN TULOKSET

TIE	OSA	ETÄIS	E_MOD_KESA	PAAL_PA KSUUS	DO_TAIPUM A	D20_TAIP UMA	D30_TAIP UMA	D45_TAIP UMA	D60_TAIP UMA	D90_TAIP UMA	D120_TAI PUMA	SCI	BCI
2773	5	100	450	5	354	265	214	153	118	80	60	140	20
2773	5	200	425	5	375	231	194	148	115	80	62	181	18
2773	5	300	392,5	5	405	291	231	171	132	92	68	174	24
2773	5	400	591,25	5	269	176	123	70	41	17	6	146	11
2773	5	500	621,25	5	256	156	112	65	38	16	7	144	9
2773	5	600	420	5	379	265	204	138	96	54	32	175	22
2773	5	700	393,75	5	404	288	237	176	134	90	65	167	25
2773	5	800	317,5	5	502	376	315	237	183	125	87	187	38
2773	5	900	186,25	5	854	663	522	372	263	135	62	332	73
2773	5	1000	293,75	5	541	380	295	204	145	81	51	246	30
2773	5	1100	503,75	5	316	217	172	122	93	70	56	144	14
2773	5	1200	570	5	279	185	143	101	75	53	42	136	11
2773	5	1300	237,5	5	669	507	418	308	231	142	87	251	55
2773	5	1400	366,25	5	434	313	245	176	133	88	62	189	26
2773	5	1500	346,25	5	459	339	275	207	167	125	98	184	27
2773	5	1600	448,75	5	355	239	185	129	100	73	60	170	13
2773	5	1700	323,75	5	492	349	277	206	160	105	73	215	32
2773	5	1800	382,5	5	416	290	231	170	132	90	66	185	24
2773	5	1900	402,5	5	395	262	198	134	95	52	31	197	21
2773	5	2000	333,75	5	476	343	271	189	135	73	43	205	30
2773	5	2101	500	5	318	190	136	78	50	23	15	182	8
2773	5	2200	241,25	5	659	487	377	277	211	141	101	282	40
2773	5	2300	348,75	5	457	342	286	222	179	125	90	171	35
2773	5	2400	398,75	5	399	291	228	173	137	99	71	171	28
2773	5	2500	342,5	5	464	349	288	221	179	131	101	176	30
2773	5	2600	392,5	5	405	296	239	178	143	99	75	166	24
2773	5	2700	453,75	5	351	246	193	141	112	77	58	158	19
2773	5	2800	377,5	5	421	286	218	155	117	78	56	203	22
2773	5	2900	428,75	5	371	251	193	132	96	59	42	178	17
2773	5	3000	366,25	5	435	323	263	201	160	109	78	172	31
2773	5	3100	437,5	5	364	260	202	145	110	73	51	162	22
2773	5	3200	236,25	5	674	480	361	262	204	134	97	313	37
2773	5	3300	258,75	5	614	429	340	258	201	134	97	274	37
2773	5	3400	502,5	5	317	222	177	127	98	65	50	140	15
2773	5	3500	438,75	5	363	253	199	147	116	80	60	164	20
2773	5	3600	407,5	5	391	284	231	176	142	97	71	160	26
2773	5	3700	433,75	5	367	265	215	159	122	81	57	152	24
2773	5	3800	490	5	325	219	172	123	92	59	44	153	15
2773	5	3900	520	5	306	211	161	109	81	48	30	145	18
2773	5	4001	733,75	5	217	130	97	65	43	22	14	120	8
2773	5	4100	548,75	5	290	177	123	75	48	26	16	167	10
2773	5	4200	615	5	259	143	104	71	48	27	18	155	9
2773	5	4300	558,75	5	285	180	140	95	61	28	13	145	15
2773	5	4400	431,25	5	369	260	205	157	122	83	61	164	22

LIITE 2: KOEKOHTTEEN MAAPERÄKARTTA





LIITE 3: KOEKOHTTEEN ASFALTTIMASSOJEN SUHTEITUSKÄYRÄT



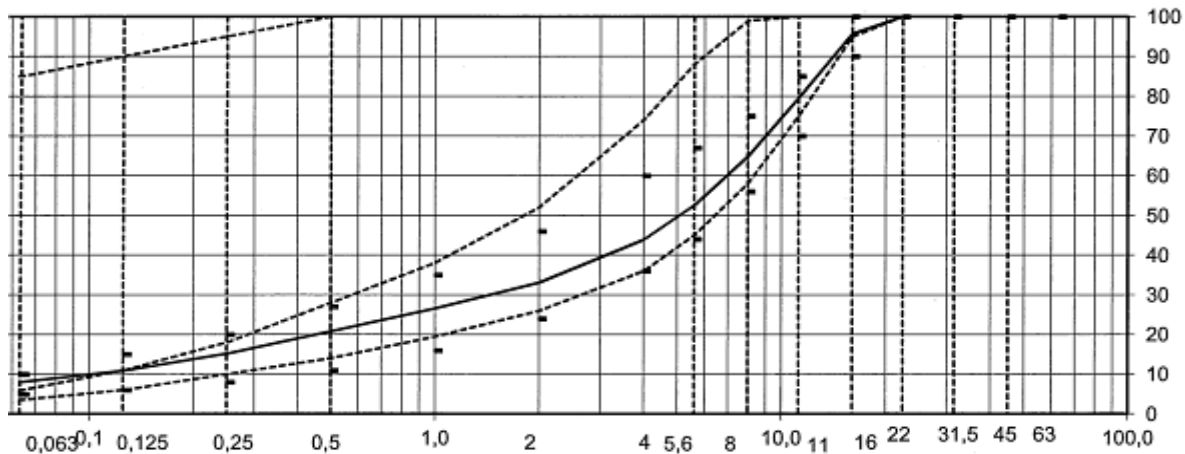
LIOY/KL TRE -15-1

SUHTEITUS

06.06.15

Keskuslaboratorio

Päällyste:	AB16 Koetie referenssipäällyste							Projektinnumero:		
Asf.asema:	Tampere							15S30KL		
Sideaine:	B70/100	5,4	%					AB16		
Täytejauhe:	KP	4,0	%					referenssipäällyste		
Lisäaine:										
Kiviainekset:	Tapola									
OHJEALUE										
Numero								Bitumi	Alaraja	Yläraja
Nimi	KP	KaM0/16	KaM0/8					Ohje	5,4	
Tiheys	2724	2724	2724	2700	2700	2700	2700	AB16		
%-osuudet	4,0	86,0	10,0					Suhteit	alaraja	yläraja
0,063	85	3,6	6,0					8,1	8,0	
0,125	90	6	11					11	11	
0,25	95	10	18					15	16	
0,5	100	14	28					21	21	
1	100	20	38					27	27	
2	100	26	52					33	33	
4	100	36	74					44	44	
5,6	100	45	88					53	52	
8	100	58	99					65	64	
11,2	100	75	100					80	80	
16	100	95	100					96	95	
22,4	100	100	100					100		
31,5	100	100	100					100		
45	100	100	100					100		
63	100	100	100					100		

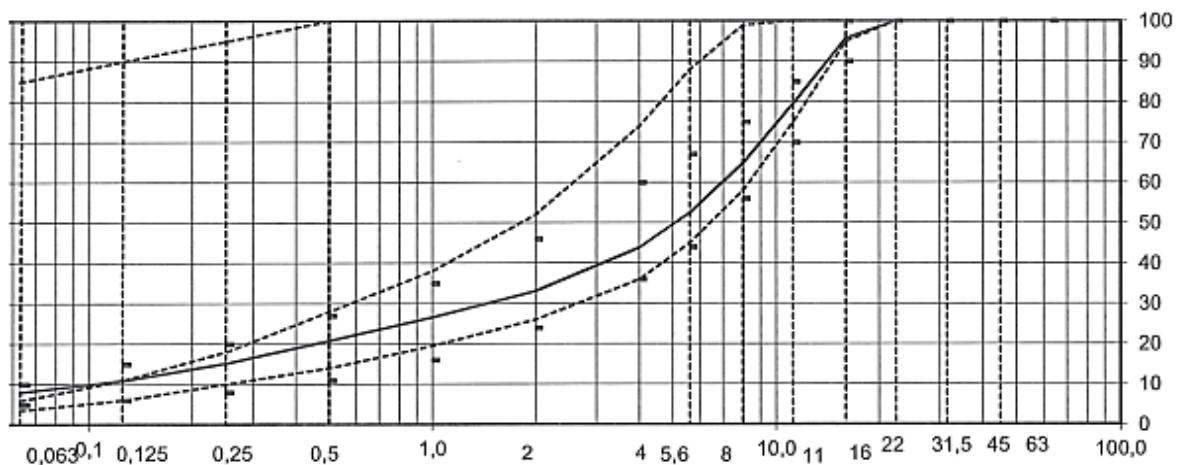


Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja		

Tehnyt:	Henri Väisänen	Tarkastanut:	
LEMMINKÄINEN INFRA OY Keskuslaboratorio Sammonmäki Tuusula		Posti PL 10 04361 TUUSULA	Puh.no 02071 5000 Fax no 02071 53915 Internet www.lemminkainen.fi

Keskuslaboratorio

Päällyste:	AB16 Viatop Plus FEP							Projektinnumero:		
Asf.asema:	Tampere							15S30KL		
Sideaine:	B70/100	5,4	%					AB16+FEP		
Täytejauhe:	KP	4,0	%					elastomeeripelletti-osuus		
Lisäaine:	FEP	0,66	%							
Kiviainekset:	Tapola									
OHJEALUE										
Numero								Bitumi	Alaraja	Yläraja
Nimi		KP	KaM0/16	KaM0/8				Ohje	5,4	
Tiheys		2724	2724	2724	2700	2700	2700	AB16		
%osuudet		4,0	86,0	10,0				Suhteit	alaraja	yläraja
0,063		85	3,6	6,0				8,1	8,0	
0,125		90	6	11				11	11	
0,25		95	10	18				15	16	
0,5		100	14	28				21	21	
1		100	20	38				27	27	
2		100	26	52				33	33	
4		100	36	74				44	44	
5,6		100	45	88				53	52	
8		100	58	99				65	64	
11,2		100	75	100				80	80	
16		100	95	100				96	95	
22,4		100	100	100				100		
31,5		100	100	100				100		
45		100	100	100				100		
63		100	100	100				100		

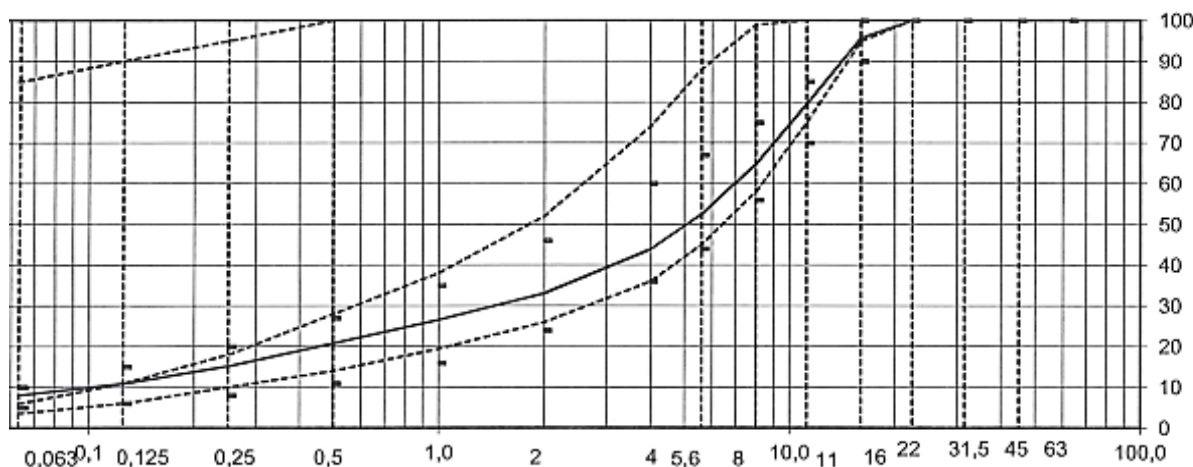


	Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja	AB16 + FEP		
	<i>Lisäainemäärä vähennetty toimittajan suosituksesta 25 % ennakkokokeiden perusteella- sovittu</i>		
Tehnyt:	Henri Väisänen		Tarkastanut:
LEMMINKÄINEN INFRA OY	Posti		Puh.no 02071 5000
Keskuslaboratorio	PL 10		Fax no 02071 53915
Sammonmäki Tuusula	04361 TUUSULA		Internet www.lemminkainen.fi

Keskuslaboratorio

Päällyste:	AB16		KBAB16				
Asf.asema:	Tampere						
Sideaine:	KB75	5,3	%				
Täytejauhe:	KP	4,0	%				
Lisäaine:							
Kiviainekset:	Tapola						
Numero							
Nimi	KP	KaM0/16	KaM0/8				
Tiheys	2200	2724	2724	2700	2700	2700	2700
%-osuudet	4,0	86,0	10,0				
0,063	85	3,6	6,0				
0,125	90	6	11				
0,25	95	10	18				
0,5	100	14	28				
1	100	20	38				
2	100	26	52				
4	100	36	74				
5,6	100	45	88				
8	100	58	99				
11,2	100	75	100				
16	100	95	100				
22,4	100	100	100				
31,5	100	100	100				
45	100	100	100				
63	100	100	100				

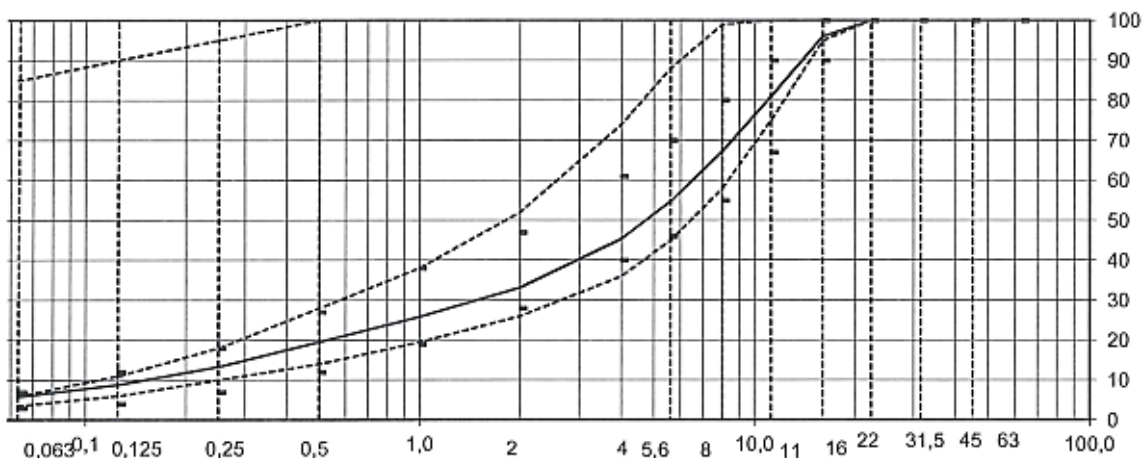
Projektinumero:		
15S30KL		
Kumibitumi-osuus		
KBAB16		
OHJEALUE		
Bitumi	Alaraja	Yläraja
Ohje	5,4	
AB16		
Suhteit	alaraja	yläraja
8,1	8,0	
11	11	
15	16	
21	21	
27	27	
33	33	
44	44	
53	52	
65	64	
80	80	
96	95	
100		
100		
100		
100		



	Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja	KBAB16; sideaine PMB40/100-75, (KB-75)		
	(Lemminkäinen LEK-SA / KB-AB-SA)		
Tehnyt:	Henri Väisänen		Tarkastanut:
LEMINKÄINEN INFRA OY	Posti	Puh.no 02071 5000	
Keskuslaboratorio	PL 10	Fax no 02071 53915	
Sammonmäki Tuusula	04361 TUUSULA	Internet www.lemminkainen.fi	

Keskuslaboratorio

Päällyste:	PAB-B16							Projektinnumero:		
Asf.asema:	Tampere							15S30KL		
Sideaine:	B650/90	4,2	%					PAB-B16-osuus		
Täytejauhe:	KP	1,0	%							
Lisäaine:										
Kivialaekset:	Tapola									
OHJEALUE										
Numero								Bitumi	Alaraja	Yläraja
Nimi	KP	KaM0/16	KaM0/8					Ohje	5,4	
Tiheys	2724	2724	2724	2700	2700	2700	2700	AB16		
%-osuudet	1,0	80,0	19,0					Suhteit	alaraja	yläraja
0,063	85	3,6	6,0					5,9	8,0	6,1
0,125	90	6	11					9	11	9
0,25	95	10	18					13	16	14
0,5	100	14	28					20	21	19
1	100	20	38					26	27	26
2	100	26	52					33	33	33
4	100	36	74					45	44	44
5,6	100	45	88					55	52	53
8	100	58	99					67	64	66
11,2	100	75	100					81	80	81
16	100	95	100					96	95	97
22,4	100	100	100					100		
31,5	100	100	100					100		
45	100	100	100					100		
63	100	100	100					100		

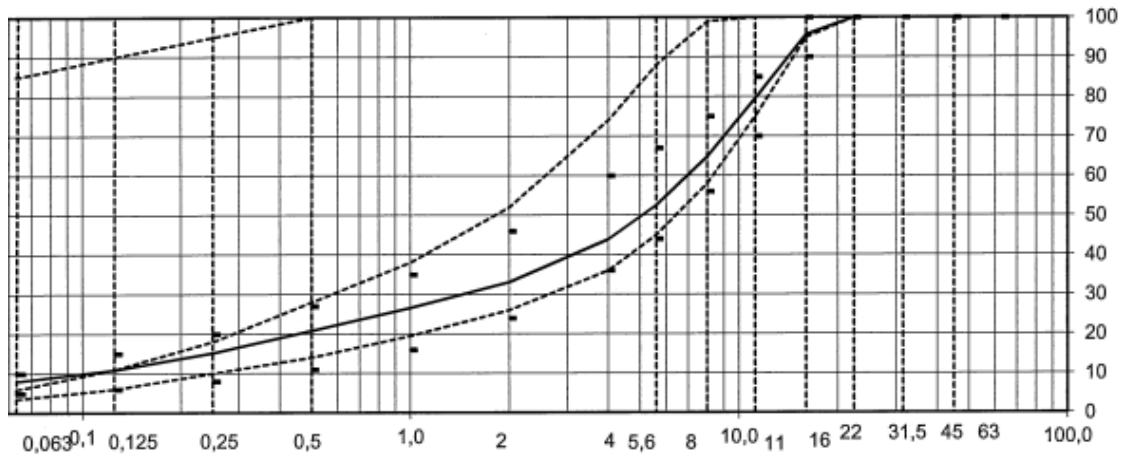


Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja PAB-B16		
<i>kivialaekäyrä melko lähellä AB-osuuksien käyrää. Hienoainesta vähemmän. Sideaine 650/900.</i>		

Tehnyt:	Henri Väisänen	Tarkastanut:	
LEMMINKÄINEN INFRA OY	Posti	Puh.no	02071 5000
Keskuslaboratorio	PL 10	Fax no	02071 53915
Sammonmäki Tuusula	04361 TUUSULA	Internet	www.lemminkainen.fi

Keskuslaboratorio

Päällyste:	AB16		Forta kuitu																																																																																																																																								
Asf.asema:	Tampere																																																																																																																																										
Sideaine:	B70/100	5,5	%																																																																																																																																								
Täytejauhe:	KP	4,0	%																																																																																																																																								
Lisäaine:	Forta	0,05	%																																																																																																																																								
Kivialinekset:	Tapola																																																																																																																																										
<table border="1"> <tr> <td>Numero</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Nimi</td> <td>KP</td> <td>KaM0/16</td> <td>KaM0/8</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Tiheys</td> <td>2724</td> <td>2724</td> <td>2724</td> <td>2700</td> <td>2700</td> <td>2700</td> </tr> <tr> <td>%-osuudet</td> <td>4,0</td> <td>86,0</td> <td>10,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,063</td> <td>85</td> <td>3,6</td> <td>6,0</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,125</td> <td>90</td> <td>6</td> <td>11</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,25</td> <td>95</td> <td>10</td> <td>18</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>0,5</td> <td>100</td> <td>14</td> <td>28</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>100</td> <td>20</td> <td>38</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>100</td> <td>26</td> <td>52</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>100</td> <td>36</td> <td>74</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>5,6</td> <td>100</td> <td>45</td> <td>88</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>100</td> <td>58</td> <td>99</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>11,2</td> <td>100</td> <td>75</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>16</td> <td>100</td> <td>95</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>22,4</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>31,5</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>45</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>63</td> <td>100</td> <td>100</td> <td>100</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							Numero							Nimi	KP	KaM0/16	KaM0/8				Tiheys	2724	2724	2724	2700	2700	2700	%-osuudet	4,0	86,0	10,0				0,063	85	3,6	6,0				0,125	90	6	11				0,25	95	10	18				0,5	100	14	28				1	100	20	38				2	100	26	52				4	100	36	74				5,6	100	45	88				8	100	58	99				11,2	100	75	100				16	100	95	100				22,4	100	100	100				31,5	100	100	100				45	100	100	100				63	100	100	100			
Numero																																																																																																																																											
Nimi	KP	KaM0/16	KaM0/8																																																																																																																																								
Tiheys	2724	2724	2724	2700	2700	2700																																																																																																																																					
%-osuudet	4,0	86,0	10,0																																																																																																																																								
0,063	85	3,6	6,0																																																																																																																																								
0,125	90	6	11																																																																																																																																								
0,25	95	10	18																																																																																																																																								
0,5	100	14	28																																																																																																																																								
1	100	20	38																																																																																																																																								
2	100	26	52																																																																																																																																								
4	100	36	74																																																																																																																																								
5,6	100	45	88																																																																																																																																								
8	100	58	99																																																																																																																																								
11,2	100	75	100																																																																																																																																								
16	100	95	100																																																																																																																																								
22,4	100	100	100																																																																																																																																								
31,5	100	100	100																																																																																																																																								
45	100	100	100																																																																																																																																								
63	100	100	100																																																																																																																																								
<table border="1"> <tr> <td colspan="3">OHJEALUE</td> </tr> <tr> <td>Bitumi</td> <td>Alaraja</td> <td>Yläraja</td> </tr> <tr> <td>Ohje</td> <td>5,4</td> <td></td> </tr> <tr> <td colspan="3">AB16</td> </tr> <tr> <td>Suhteit</td> <td>alaraja</td> <td>yläraja</td> </tr> <tr> <td>8,1</td> <td>8,0</td> <td></td> </tr> <tr> <td>11</td> <td>11</td> <td></td> </tr> <tr> <td>15</td> <td>16</td> <td></td> </tr> <tr> <td>21</td> <td>21</td> <td></td> </tr> <tr> <td>27</td> <td>27</td> <td></td> </tr> <tr> <td>33</td> <td>33</td> <td></td> </tr> <tr> <td>44</td> <td>44</td> <td></td> </tr> <tr> <td>53</td> <td>52</td> <td></td> </tr> <tr> <td>65</td> <td>64</td> <td></td> </tr> <tr> <td>80</td> <td>80</td> <td></td> </tr> <tr> <td>96</td> <td>95</td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>100</td> <td></td> <td></td> </tr> </table>							OHJEALUE			Bitumi	Alaraja	Yläraja	Ohje	5,4		AB16			Suhteit	alaraja	yläraja	8,1	8,0		11	11		15	16		21	21		27	27		33	33		44	44		53	52		65	64		80	80		96	95		100			100			100																																																																														
OHJEALUE																																																																																																																																											
Bitumi	Alaraja	Yläraja																																																																																																																																									
Ohje	5,4																																																																																																																																										
AB16																																																																																																																																											
Suhteit	alaraja	yläraja																																																																																																																																									
8,1	8,0																																																																																																																																										
11	11																																																																																																																																										
15	16																																																																																																																																										
21	21																																																																																																																																										
27	27																																																																																																																																										
33	33																																																																																																																																										
44	44																																																																																																																																										
53	52																																																																																																																																										
65	64																																																																																																																																										
80	80																																																																																																																																										
96	95																																																																																																																																										
100																																																																																																																																											
100																																																																																																																																											
100																																																																																																																																											
<table border="1"> <tr> <td>Projektinnumero:</td> <td colspan="6">15S30KL</td> </tr> <tr> <td>Kuitu-osuus</td> <td colspan="6">AB16 kuitu</td> </tr> </table>							Projektinnumero:	15S30KL						Kuitu-osuus	AB16 kuitu																																																																																																																												
Projektinnumero:	15S30KL																																																																																																																																										
Kuitu-osuus	AB16 kuitu																																																																																																																																										



	Kuvaajassa ohjealue	2	Kuvaajassa normialue
Lisätietoja	AB16 kuitu, Kuitu: Forta-Fi (0,05% massasta)		
Tehnyt:	Henri Väisänen		Tarkastanut:
LEMMINKÄINEN INFRA OY	Posti	Puh.no 02071 5000	
Keskuslaboratorio	PL 10	Fax no 02071 53915	
Sammonmäki Tuusula	04361 TUUSULA	Internet www.lemminkainen.fi	

LIITE 4: KOEKOHTTEEN ASFALTTIMASSOJEN LÄMPÖTILAKARTTA

LÄMPÖTILAKARTAT 1:25000

AB 16

4/6505	↳	5/970	↳	5/2120	↳	5/4415
5,2%		5,3%		5,4%		
6505: 131*		1030: 156-160		2834: 141-146		
6566: 160		1091: 154		2896: 155-160		
6627: 145		1153: 149-152		2958: 143-147		
6688: 145		1214: 155		3020: 132 *		
6749: 146-152		1275: 155		3082: 151-154		
6810: 145		1336: 152		3144: 147-151		
6871: 147		1397: 156-159		3206: 142-146		
6932: 145-148		1458: 158-160		3268: 144-148		
58: 145-147		1518: 156-158		3330: 143-148		
119: 146-150		1578: 145		3392: 141-146		
180: 147		1638: 155-157		3454: 138-143		
241: 145-148		1698: 154		3516: 144-152		
302: 136*		1758: 155		3578: 142-149		
363: 139-145		1818: 156		3640: 140-147		
424: 148-150		1878: 159		3702: 137-144		
485: 140-143		1938: 157		3762: 128-135		
546: 147-152		1999: 157		3824: 144-149		
607: 143		2059: 155		3886: 143-147		
668: 144		2120: 149		3948: 142-147		
729: 149-156		2185: 154		4010: 142-149		
789: 147-153		2250: 161		4063: 147-152		
849: 143		2315: 155		4115: 144-151		
908: 155		2380: 157		4165: 147-151		
969: 151		2445: 148		4215: 148-154		
		2510: 156		4265: 152-156		
		2575: 147		4315: 144-149		
		2640: 158		4365: 156-161		
		2705: 153				
		2770: 161				

* Lämpötila mitattu myöhässä

FEP

5/4415	5/3065-3040: FEP+KBAB
4415: 180-183	
4371: 179-181	
4329: 175-176	
4288: 170-173	
4246: 173-175	
4194: 166-169	
4146: 168-170	
4096: 171-174	
4051: 177	
3991: 173-175	
3938: 175-177	
3879: 167-169	
3829: 166-169	
3778: 168-170	
3716: 164-167	
3666: 168	
3614: 167	
3553: 162-170	
3500: 169-171	
3449: 172-174	
3387: 167-170	
3331: 171-173	
3268: 170-174	
3215: 171-174	
3164: 169-171	
3115: 165/170	

KBAB

5/3040	5/1928
3040: 205	
2971: 190-192	
2918: 186-188	
2864: 190-193	
2805: 188-192	
2745: 187-191	
2675: 184-186	
2615: 184	
2560: 185-188	
2505: 183-187	
2445: 184-190	
2385: 174-176	
2325: 164-169	
2260: 173	
2190: 174-176	
2130: 170-172	
2065: 165-168	
2010: 172-175	
1963: 172-174	

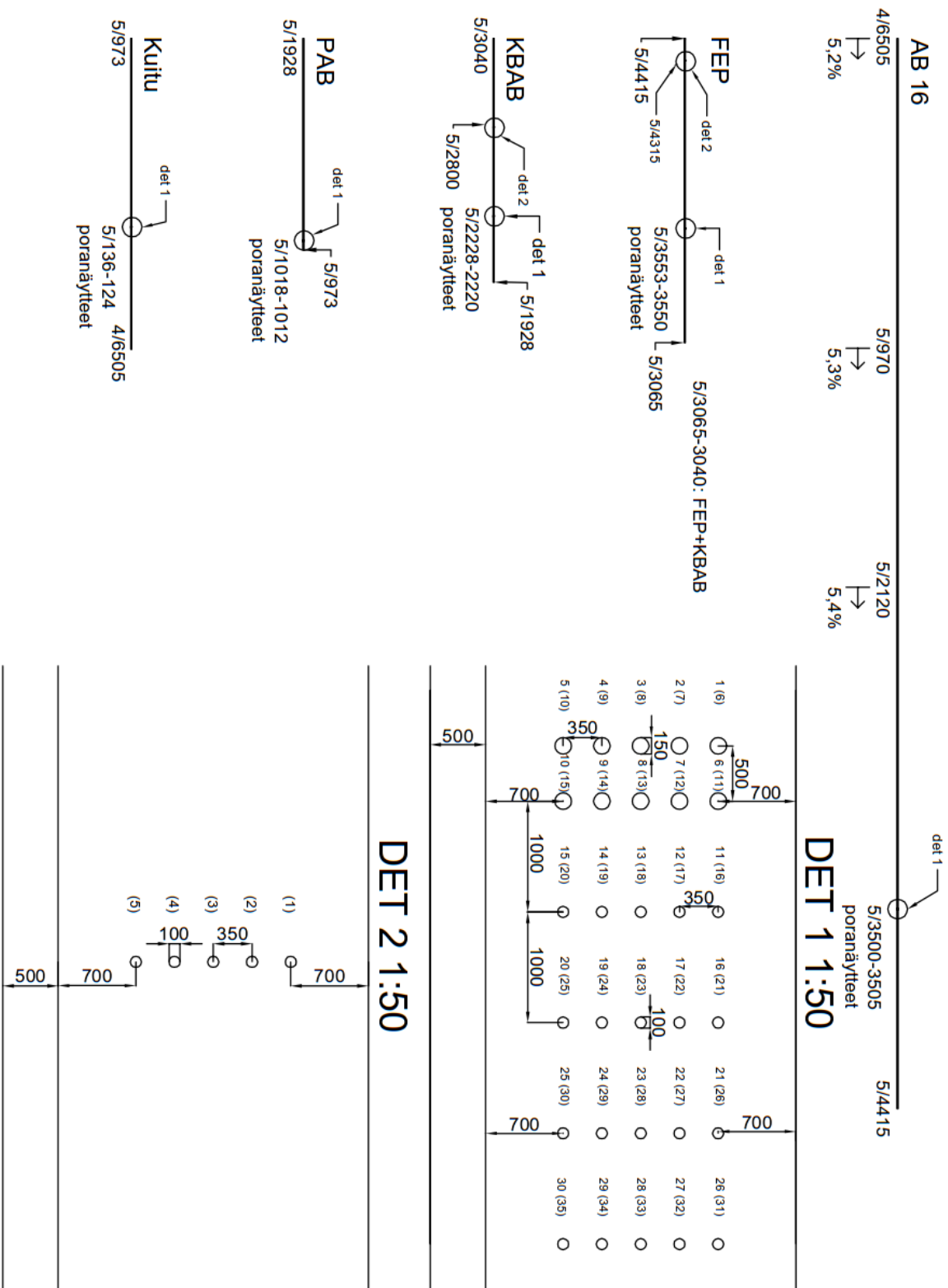
PAB

5/1928	5/973
1928: 120*	
1878: 130-140	
1825: 120-130	
1748: 125-130	
1698: 125-130	
1628: 125	
1568: 130	
1508: 130	
1448: 130	
1388: 130	
1328: 130	
1258: 125-130	
1208: 130-135	
1148: 130	
1098: 135	
1038: 125-130	

Kuitu

5/973	4/6505
973: 155-160	
925: 170	
850: 165	
800: 160	
740: 160	
680: 165	
610: 160	
540: 165	
480: 160	
440: 155	
370: 155	
310: 160	
250: 160	
190: 165-170	
140: 160	
70: 160	
10: 160	
6885: 160	
6815: 160	
6765: ?	
6725: 155-160	
6645: 160	
6575: 160	
6545: 155	

NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA 1:25000



LIITE 5: PÄÄLLYSTENÄYTTEIDEN NÄYTTEENOTTOSUUNNITELMA

Työn tilaaja:	*	Näytelaji:	AB 10	1(2)
Työkohde:	*	Projektiinro:	15S30KL Koette PIR-ELY MI 2773 suhteetukset	
Näyeryhmä:	*	DoP:	*	
Lisäietoja:	AB 16 referenssi			

	Sideaine pitoisuus	0,063	0,125	0,25	0,5	1	2	4	5,6	8	11,2	16	22,4	Sideaine pitoisuus . Poltto
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
15AM2358KL 18.8.2015	5,7	7,1	11	16	21	26	35	47	56	69	83	95	100	
15AM2359KL 18.8.2015	5,8	7,6	11	16	21	27	35	48	58	69	85	96	100	
15AM2789KL 18.8.2015	5,6	6,4	10	15	20	26	32	43	52	64	80	95	100	
KESKIARVO	5,7	7,0	11	16	21	26	34	46	55	67	83	95	100	
KESKIHAJONTA	0,09	0,60	0,58	0,58	0,58	0,58	1,73	2,65	3,06	2,89	2,52	0,58	0,00	
KPL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	
OHJEARVO ALARAJA	4,9	6,1			17		27			58				
OHJEARVO YLÄRAJA	5,9	10,1			25		39			72				
OHJEARVO	5,4	8,1			21		33			65				
ALITUKSIA KPL	0	0			0		0			0				
ALITUKSIA %	0,0	0,0			0,0		0,0			0,0				
YLITYKSIA KPL	0	0			0		0			0				
YLITYKSIA %	0,0	0,0			0,0		0,0			0,0				

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio

Puusepäntie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausolosuhteiden saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulos luspäivä 23.11.2015 15:12

* = varmentamaton menettely

Nämä tulokset koskevat vain tulkittuja näytteitä

LIITE 6: ASFALTTIMASSANÄYTTEIDEN KOOSTUMUSANALYYSIT

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

MASSANÄYTTIEDEN YHTEENVETORAPORTTI

2(2)

MAÄRITYSMENETELMÄT

SFS-EN 12697-1	Sideainepitoisuus ^a
SFS-EN 12697-2 + A1	Rakenteiden määritys. Asfaltinmassat
SFS-EN 12697-39	Sideainepitoisuus. Pölyt

23.11.2015 Hyväksynyt: Henri Välsänen

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepäntie 5
04360 Tuusula
INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:12

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki
* = varmentamaton menettely

Testausolos lään saa kopioida vain kokonaan.

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

Työn tilaaja:	*	Näytelaji:	AB 16
Työkohde:	*	Projektiinro:	15S30KL Koetie PIR-ELY Mt 2773 suhteukset
Näyteryhmä:	*	DoP:	*
Lisätietoja:	AB 16 FEP		

	Sideaine pitoisuus %	0.063 %	0.125 %	0.25 %	0.5 %	1 %	2 %	4 %	5.6 %	8 %	11.2 %	16 %	22.4 %	Sideaine pitoisuus .Poltto %
15AM2058KL 19.8.2015	6,0	8,5	12	16	22	30	39	51	61	73	86	97	100	
15AM2130KL 19.8.2015	5,1	5,9	10	14	19	24	31	41	48	59	70	94	100	
15AM2734KL 19.8.2015	6,0	7,1	11	16	21	27	36	50	60	71	83	96	100	
15AM2735KL 19.8.2015	5,9	6,8	11	16	21	27	36	48	56	67	81	94	100	
KESKIAARVO	5,7	7,1	11	16	21	27	36	48	56	68	80	95	100	
KESKIHAIJONTA	0,44	1,08	0,82	1,00	1,26	2,45	3,32	4,51	5,91	6,19	6,98	1,50	0,00	
KPL	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
OHJEARVO ALARAJA	4,9	6,1			17		27			58				
OHJEARVO YLARAJA	5,9	10,1			25		39			72				
OHJEARVO	5,4	8,1			21		33			65				
ALITUKSIA KPL	0	1			0		0			0				
ALITUKSIA %	0,0	25,0			0,0		0,0			0,0				
YLITYKSIÄ KPL	2	0			0		0			1				
YLITYKSIÄ %	50,0	0,0			0,0		0,0			25,0				

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio

Puusepäntie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:15

* = varmentamaton menetelmä

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

MASSANÄYTTTEIDEN YHTIENNETORAPORTTI

2(2)

MÄÄRITYSMENETELMÄT

SFS-EN 12697-1	Sideainepitoisuus ▫
SFS-EN 12697-2 + A1	Rakeisuuden määrittys. Asfalttimassat
SFS-EN 12697-39	Sideainepitoisuus. Poltto

23.11.2015 Hyväksynyt: Henri Väisänen

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepäntie 5
04360 Tuusula
INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:15

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki
* = varmentamaton menetelmä

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

Nämä tulokset koskevat vain tulkittuja näytteitä

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

MASSANÄYTTTEIDEN YHTENNETTORAPORTTI

Työn tilaaja:	*	Näytelaji:	KBAB 16	1(2)
Työkohte:	*	Projektiro:	15S30KL Koete PIR-ELY Mt 2773 subtehtukset	
Näyteryhmä:	*	Dop:	*	
Lisätietoja:	AB 16 Kumiitumi			

	Sideaine pitoisuus	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
15AM2059KL 19.8.2015	5,4	8,1	11	16	21	27	34	47	56	67	83	97	100	
15AM2060KL 19.8.2015	5,3	7,8	11	16	20	26	33	44	52	62	74	96	100	
15AM2603KL 19.8.2015	5,3	7,3	11	16	22	28	35	46	54	65	81	97	100	
15AM2604KL 19.8.2015	5,4	7,4	12	17	22	28	36	47	56	67	82	96	100	
KESKIARVO	5,4	7,7	11	16	21	27	35	46	55	65	80	97	100	
KESKIHÄLONTA	0,07	0,37	0,50	0,50	0,96	0,96	1,29	1,41	1,91	2,36	4,08	0,58	0,00	
KPL	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
OHJEARVO ALARAJA	4,8	6,1			17		27			58				
OHJEARVO YLÄRAJA	5,8	10,1			25		39			72				
OHJEARVO	5,3	8,1			21		33			65				
ALITUKSIA KPL	0	0			0		0			0				
ALITUKSIA %	0,0	0,0			0,0		0,0			0,0				
YLITYKSIÄ KPL	0	0			0		0			0				
YLITYKSIÄ %	0,0	0,0			0,0		0,0			0,0				

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio

Puusepäntie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselesteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 14:47

* = varmentamaton menetelmä

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

MASSANÄYTTTEIDEN YHTIENNETTORAPORTTI

2(2)

MÄÄRITYSMENETELMÄT

SFS-EN 12697-1
SFS-EN 12697-2 + A1

Sideainepitoisuus m
Rakeisuuden määrittys: Asfalttimassat

23.11.2015 Hyväksynyt: Henri Väisänen

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio

Puusepänitie 5
04360 Tuusula

Puh. Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki
* = varmentamaton menetelmä

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

Työn tilaaja:	*	Näytelaji:	PAB-B 16	1(2)
Työkohde:	*	Projektinro:	15S30KL Koeite PIR-ELY M1 2773 suhteitukset	
Näyteryhmä:	*	DOP:	*	
Lisä tietoja:	PAB-B 16			

	Sideaine pitoisuus □	0.063	0.125	0.25	0.5	1	2	4	5.6	8	11.2	16	22.4	31.5	Sideain epitois uus. Poltto %
15AM2061KL 20.8.2015	4.1	7.0	10	15	20	26	34	46	54	64	75	95	100		
15AM2062KL 20.8.2015	4.5	8.2	12	18	24	30	40	54	63	74	88	96	100		
15AM2788KL 20.8.2015	4.4	6.9	10	15	21	26	35	47	56	66	79	94	100		
KESKJARVO	4.3	7.4	11	16	22	27	36	49	58	68	81	95	100		
KESKIHAJONTA	0.22	0.72	1.15	1.73	2.08	2.31	3.21	4.36	4.73	5.29	6.66	1.00	0.00		
KPL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3		
OHJEARVO ALARAJA	3.7	3.9			16		27			60					
OHJEARVO YLÄRAJA	4.7	7.9			24		39			74					
OHJEARVO	4.2	5.9			20		33			67					
ALITUKSIA KPL	0	0			0		0			0					
ALITUKSIA %	0.0	0.0			0.0		0.0			0.0					
YLITYKSIÄ KPL	0	1			0		1			0					
YLITYKSIÄ %	0.0	33.3			0.0		33.3			0.0					

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
INNO LAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:15

Puusepäntie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi

* = varmentamaton menetelmä

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

MAARITUSMENETELMÄT

SFS-EN 12697-1
SFS-EN 12697-39

Sideainepitoisuus ▫
Sideainepitoisuus: Poltto

23.11.2015 Hyväksynyt: Henri Väisänen

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:15

Puusepänte 5
04360 Tuusula

Puh. Puh.02071 5000
www.lemminkainen.fi

* = varmentamaton menetelmä

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

Työn tilaaja:
Työkohde:
Näyteryhmä:

Näytelaji:
Projektiinno:
DoP:

AB 16
ISS30KL Koetie PIR-ELY Mt 2773 suhteitukset
*

1(2)

Lisätietoja: AB 16 Kuitu

	Sideaine pitoisuus %	0,063 %	0,125 %	0,25 %	0,5 %	1 %	2 %	4 %	5,6 %	8 %	11,2 %	16 %	22,4 %	Sideaine pitoisuus .Poltto %
15AM2056KL 20.8.2015	5,7	6,3	10	15	20	26	34	47	57	69	85	98	100	
15AM2057KL 20.8.2015	5,7	5,8	9	15	20	26	34	45	54	67	80	96	100	
15AM2790KL 20.8.2015	5,6	5,2	8	13	18	23	31	43	53	64	77	95	100	
KESKIARVO	5,7	5,8	9	14	19	25	33	45	55	67	81	96	100	
KESKIHAIJONTA	0,01	0,55	1,00	1,15	1,15	1,73	1,73	2,00	2,08	2,52	4,04	1,53	0,00	3
KPL	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
OHJEARVO ALARAJA	5,0	6,1			17		27			58				
OHJEARVO YLÄRAJA	6,0	10,1			25		39			72				
OHJEARVO	5,5	8,1			21		33			65				
ALITUKSIA KPL	0	2			0		0			0				
ALITUKSIA %	0,0	66,7			0,0		0,0			0,0				
YLITYKSIÄ KPL	0	0			0		0			0				
YLITYKSIÄ %	0,0	0,0			0,0		0,0			0,0				

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio

Pusepäntie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkäinen.fi

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:14

* = varmentamaton menettelmä

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

MÄÄRITYSMENETELMÄT

SFS-EN 12697-1
SFS-EN 12697-2 + A1
SFS-EN 12697-39

Sideainepitoisuus m
Raketeisuuden määrittäminen. Asfaltimassat
Sideainepitoisuus. Poltto

23.11.2015 Hyväksynyt: Henri Väisänen

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
INNOLAB Tulostuspäivä 23.11.2015 15:14

Puusepäntie 5
04360 Tuusula

Puh. Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi

* = varmentamaton menetelmä

Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselesteen saa kopioida vain kokonaan.

Nämä tulokset koskevat vain tutkittuja näytteitä

LIITE 7: PÄÄLLYSTENÄYTTEIDEN TYHJÄTILAT

Tyhjättila					
Näyte	AB 16	AB 16 + FEP	KBAB 16	PAB-B 16	AB 16 + kuitu
1	4,6 %	-	-	8,0 %	3,0 %
2	2,5 %	-	-	7,6 %	3,7 %
3	3,3 %	-	-	7,1 %	2,3 %
4	2,3 %	-	-	7,4 %	1,7 %
5	2,3 %	-	-	7,6 %	3,3 %
6	3,6 %	2,1 %	2,9 %	7,9 %	2,9 %
7	2,8 %	3,3 %	2,8 %	7,5 %	3,9 %
8	2,7 %	3,4 %	2,7 %	7,8 %	2,4 %
9	2,6 %	2,6 %	2,9 %	7,1 %	1,5 %
10	2,8 %	5,5 %	4,0 %	6,8 %	3,7 %
11	4,4 %	2,1 %	2,6 %	8,1 %	3,4 %
12	3,2 %	2,7 %	3,0 %	7,9 %	-
13	3,7 %	2,6 %	2,7 %	-	2,9 %
14	3,5 %	2,4 %	3,3 %	7,7 %	2,2 %
15	4,2 %	4,6 %	3,2 %	-	-
16	-	4,2 %	5,9 %	8,3 %	3,8 %
17	3,7 %	4,9 %	5,4 %	7,4 %	-
18	-	3,8 %	4,4 %	-	2,8 %
19	3,8 %	3,9 %	4,0 %	8,6 %	2,8 %
20	-	4,6 %	3,3 %	7,1 %	-
21	-	2,1 %	4,7 %	7,5 %	2,8 %
22	3,9 %	2,8 %	4,8 %	8,7 %	-
23	3,4 %	2,6 %	3,2 %	-	3,8 %
24	3,7 %	3,5 %	2,7 %	-	3,4 %
25	3,5 %	4,1 %	3,0 %	-	-
26	-	3,4 %	4,2 %	7,8 %	4,6 %
27	4,2 %	4,0 %	4,7 %	-	4,3 %
28	3,2 %	2,4 %	4,4 %	-	3,7 %
29	4,0 %	4,6 %	3,9 %	-	3,7 %
30	3,3 %	5,0 %	2,7 %	-	4,2 %

LIITE 8: KOEKOHTTEEN PALVELUTASOMITTAUSTULOKSET

Kohde:		107 Ylöjärvi-Viljakkala Mt2773											
Mittauspäivä:		9.9.2015											
Mittaus on tehty PANK-5207, PANK-5208 ja PANK-5209 menetelmäkorttien mukaisesti													
KOHDETIEDOT													
Tieosoite:		2773/4/6500-5/4400				Pituus:		4834 m					
Päällistetyyppi:		AB											
Tieosa	Suunta	Kaista	Alku (m)	Loppu (m)	Nopeus (km/h)	IRI4	IRI	Ura (mm)	Sivukalt. (%)	Huom!	IRI4, arvonvä h.	IRI, arvonvä h.	Ura, arvonvä h.
4	1	1	6500	6600	56,1	0,75		1,5					
4	1	1	6600	6700	57,9	0,55		0,8					
4	1	1	6700	6800	57,1	0,56		0,7					
4	1	1	6800	6900	56,1	0,46		1,0					
4	1	1	6900	6934	53,2	0,47		1,9		Alle 100m			
5	1	1	0	100	53,9	0,52		2,8					
5	1	1	100	200	55,2	0,66		1,9					
5	1	1	200	300	56,4	0,52		3,0					
5	1	1	300	400	58,1	0,76		1,3					
5	1	1	400	500	59,9	0,60		1,4					
5	1	1	500	600	61,5	0,53		1,6					
5	1	1	600	700	62,8	0,60		1,6					
5	1	1	700	800	64,1	0,74		1,0					
5	1	1	800	900	63,7	0,65		1,3					
5	1	1	900	1000	62,3	0,71		1,7					
5	1	1	1000	1100	63,2	0,68		1,9					
5	1	1	1100	1200	65,5	0,51		1,5					
5	1	1	1200	1300	67,2	0,71		2,1					
5	1	1	1300	1400	65,8	0,55		1,3					
5	1	1	1400	1500	66,4	0,61		2,3					
5	1	1	1500	1600	65,6	0,56		1,2					
5	1	1	1600	1700	63,6	0,55		2,8					
5	1	1	1700	1800	64,2	0,46		1,6					
5	1	1	1800	1900	66,9	0,49		1,8					
5	1	1	1900	2000	67,0	0,50		3,0					
5	1	1	2000	2100	65,0	0,65		2,0					
5	1	1	2100	2200	64,1	0,55		2,3					
5	1	1	2200	2300	61,3	0,72		2,0					
5	1	1	2300	2400	63,1	0,61		1,1					
5	1	1	2400	2500	64,4	0,55		2,6					
5	1	1	2500	2600	63,0	0,55		2,2					
5	1	1	2600	2700	59,5	0,53		1,4					
5	1	1	2700	2800	56,6	0,54		1,6					
5	1	1	2800	2900	56,3	0,71		1,3					
5	1	1	2900	3000	58,1	0,58		1,2					
5	1	1	3000	3100	60,5	0,50		0,8					
5	1	1	3100	3200	61,2	0,54		1,7					
5	1	1	3200	3300	60,6	0,49		1,5					
5	1	1	3300	3400	58,8	0,58		1,7					
5	1	1	3400	3500	53,1	1,59		2,8		Lika			
5	1	1	3500	3600	44,2	1,23		1,3		Lika			
5	1	1	3600	3700	48,3	0,52		1,1					
5	1	1	3700	3800	47,9	0,48		2,5					
5	1	1	3800	3900	47,1	0,61		1,1					
5	1	1	3900	4000	48,1	0,57		1,1					
5	1	1	4000	4100	49,0	0,54		0,9					
5	1	1	4100	4200	52,1	0,77		0,8					
5	1	1	4200	4300	50,3	0,83		1,0					
5	1	1	4300	4400	49,8	0,48		1,5					

Kohde: 107 Ylöjärvi-Viljakkala Mt2773
Mittauspäivä: 9.9.2015

Mittaus on tehty PANK-5207, PANK-5208 ja PANK-5209 menetelmäkorttien mukaisesti

KOHDETIEDOT

Tieosoite: 2773/4/6500-5/4400 Pituus: 4834 m

Päällystetyyppi: AB

Tieosa	Suunta	Kaista	Alku (m)	Loppu (m)	Nopeus (km/h)	IRI4	IRI	Ura (mm)	Sivukalt. (%)	Huom!	IRI4, arvonvä h.	IRI, arvonvä h.	Ura, arvonvä h.
5	2	1	4400	4300	39,5	0,76		1,8					
5	2	1	4300	4200	42,3	0,93		1,0					
5	2	1	4200	4100	42,7	0,56		1,9					
5	2	1	4100	4000	41,3	0,74		1,5					
5	2	1	4000	3900	49,0	0,48		1,6					
5	2	1	3900	3800	57,3	0,49		1,2					
5	2	1	3800	3700	61,4	0,43		1,1					
5	2	1	3700	3600	62,6	0,55		1,9					
5	2	1	3600	3500	60,7	0,95		2,4					
5	2	1	3500	3400	62,1	0,52		0,9					
5	2	1	3400	3300	62,3	0,53		1,4					
5	2	1	3300	3200	68,2	0,51		0,6					
5	2	1	3200	3100	73,9	0,58		1,2					
5	2	1	3100	3000	76,1	0,54		1,7					
5	2	1	3000	2900	75,7	0,62		2,5					
5	2	1	2900	2800	76,8	0,62		2,8					
5	2	1	2800	2700	76,7	0,55		2,2					
5	2	1	2700	2600	76,5	0,64		3,1					
5	2	1	2600	2500	73,2	0,49		3,2					
5	2	1	2500	2400	66,2	0,53		3,3					
5	2	1	2400	2300	60,6	0,53		2,0					
5	2	1	2300	2200	60,7	0,93		3,7					
5	2	1	2200	2100	60,2	0,45		2,6					
5	2	1	2100	2000	60,9	0,62		2,7					
5	2	1	2000	1900	62,6	0,71		3,3					
5	2	1	1900	1800	66,1	0,60		3,1					
5	2	1	1800	1700	67,3	0,54		3,7					
5	2	1	1700	1600	65,7	0,64		3,5					
5	2	1	1600	1500	62,3	0,61		1,9					
5	2	1	1500	1400	59,3	0,54		1,8					
5	2	1	1400	1300	57,7	0,43		1,9					
5	2	1	1300	1200	59,0	0,70		2,1					
5	2	1	1200	1100	60,8	0,53		1,6					
5	2	1	1100	1000	59,7	0,78		3,0					
5	2	1	1000	900	57,1	0,92		1,8					
5	2	1	900	800	56,4	0,54		1,3					
5	2	1	800	700	56,2	0,56		1,8					
5	2	1	700	600	56,4	0,69		1,7					
5	2	1	600	500	56,2	0,51		1,5					
5	2	1	500	400	54,3	0,58		1,9					
5	2	1	400	300	53,1	0,76		2,0					
5	2	1	300	200	53,5	0,64		1,6					
5	2	1	200	100	54,9	1,25		3,1			0,38		
5	2	1	100	0	57,6	0,68		2,8					
4	2	1	6934	6900	58,8	0,64		2,2		Alle 100m			
4	2	1	6900	6800	59,6	0,55		2,1					
4	2	1	6800	6700	62,7	0,61		1,7					
4	2	1	6700	6600	64,4	0,52		3,0					
4	2	1	6600	6500	63,2	0,80		2,4					