



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

PEKKA HUJANEN
MATALALÄMPÖASFALTTI – SELVITYS
VAAHDOTUSMENETELMÄN KÄYTÖSTÄ

Diplomityö

Tarkastajat: Professori Kalle
Kähkönen, Olli Teriö
Tarkastajat ja aihe hyväksytyt
Talouden ja rakentamisen
tiedekuntaneuvoston kokouksessa
4.5.2016

TIIVISTELMÄ

PEKKA HUJANEN: Matalalämpöasfaltti – selvitys vaahdotusmenetelmän käytöstä

Tampereen teknillinen yliopisto

Diplomityö, 69 sivua, 11 liitesivua

Toukokuu 2016

Rakennustekniikan diplomi-insinöörin tutkinto-ohjelma

Pääaine: Rakennustuotanto ja -talous

Tarkastajat: Professori Kalle Kähkönen, Olli Teriö

Avainsanat: Matalalämpöasfaltti, asfaltinvalmistus, bitumin vaahdotus, asfalttipäällysteet, päästöt, energiatehokkuus, energiankulutus, työterveys, työturvallisuus

Matalalämpöasfaltin valmistuksessa asfaltin valmistuslämpötilaa pudotetaan normaalia alhaisemmaksi erilaisin keinoin. Yksi suosituimpia matalalämpöasfaltin valmistusmenetelmiä on bitumin vaahdotus. Vaahdotetun bitumin viskositeetti pienenee, kiviaineksen peittyvyys paranee ja valmiin asfaltin ominaisuudet ovat paremmat matalammassa lämpötilassa. Lemminkäinen Infra Oy on tutkinut bitumin vaahdotusta 1980-luvulta alkaen ja nykyään vaahdotusmenetelmän asfaltinvalmistuksessa käyttö on kasvussa. Menetelmän käytöllä pyritään alentamaan asfaltin valmistuskustannuksia, vähentämään asfaltinvalmistuksen päästöjä ja parantamaan työolosuhteita.

Tässä tutkimuksessa luodaan katsaus matalalämpöasfaltin historiaan ja erilaisiin menetelmiin valmistaa matalalämpöasfalttia. Erityisesti keskitytään vaahdotustekniikan arviointiin. Lemminkäinen Infra Oy:n tekemistä vaahdotusasfalttikokeista ja -kohteista tehdään kooste ja käydään läpi yrityksen henkilöstön kokemuksia vaahdotusasfaltin valmistukseen liittyen. Aikaisempien kokemusten ja tutkimustulosten perusteella suunnitellaan ja toteutetaan päällystyskoe matalalämpöasfaltilla. Kokeen tuloksina vertaillaan vaahdotusasfaltin ominaisuuksia normaalilla tavalla valmistettuun asfalttiin. Erityisesti pyritään tutkimaan kierrätysasfaltin vaikutusta matalalämpöasfaltin laatuun. Lisäksi arvioidaan matalalämpöasfaltin taloudellisia vaikutuksia ja työolosuhteiden paranemista.

Tutkimuksen perusteella kierrätysasfalttia voidaan valmistaa matalalämpöisenä tietyin rajoituksin. Asfalttirouhepitoisuuden kasvaessa ja valmistuslämpötilan pudotessa asfalttipäällysteen tyhjätilat nousevat. Matalalämpöasfaltin valmistuksella voidaan säästää asfalttiaseman energiankulutuksessa. Polttoainesäästöjä syntyy valmistuslämpötilan pudottamisesta jo, vaikka varsinaisiin matalalämpöihin alle 150 celsiusasteen ei päästäisikään. Työskentelyolosuhteet kohenevat päällystystyömaalla ja asfalttiasemalla vähentyneiden asfalttihuurujen ja -höyryjen sekä alhaisemman lämpötilan ansiosta. Näiden positiivisten vaikutusten myötä kiinnostus matalalämpöasfalttiin tulee todennäköisesti kasvamaan myös tilaajapuolella lähitulevaisuudessa.

ABSTRACT

PEKKA HUJANEN: Low Temperature Asphalt – A Study of the Bitumen Foaming Technique

Tampere University of Technology

Master of Science Thesis, 69 pages, 11 Appendix pages

May 2016

Master's Degree Programme in Civil Engineering

Major: Construction business and management

Examiners: Professor Kalle Kähkönen, Olli Teriö

Keywords: Low temperature asphalt, asphalt production, foamed bitumen, foaming, asphalt pavement, emissions, energy efficiency, energy consumption, occupational health and safety

Low temperature asphalt technologies allow asphalt to be produced in temperatures lower than regular hot mix asphalt. There are several techniques for producing low temperature asphalt. The most common technique worldwide is foaming the bitumen that acts as the binder in the asphalt mix. Foaming the bitumen reduces its viscosity, thus allowing better coating of aggregates and improving the performance of the asphalt mix in low temperatures. Lemminkäinen Infra Inc. has studied the foaming techniques already in the beginning of the 1980's. Nowadays the amount of asphalt produced by foaming is increasing. The goals for using the foaming technique are to reduce the manufacturing costs of asphalt mixes, as well as to reduce the emissions in asphalt production and to improve the asphalt workers' working conditions.

This thesis research takes a look into the history, development and different methods of the low temperature asphalt production. The greater focus is kept on the foaming technique. The past experiments and researches considering the foam bitumen asphalt mixes in Lemminkäinen are summarized along with the recent experiences of the company's staff members. A low temperature asphalt test section by using foaming technique is designed according to the gathered experiences. The quality of the low temperature asphalt pavement is compared to that of the regular asphalt pavement. The effect of adding reclaimed asphalt pavement in low temperature asphalt is studied. Furthermore, the economic impact and the effects on the occupational health and safety are considered.

The results of the study show that reclaimed asphalt pavement can be added in low temperature asphalt mixes with certain limitations. Higher amounts of reclaimed asphalt pavement and lower production temperatures result in higher void contents in the asphalt pavement. The energy consumption of the asphalt plant is decreased by producing asphalt in lower temperatures. The fuel savings occur already above the actual low temperatures, which are specified to be less than 150 °C. Improvements in working environment are significant both at the asphalt plant and the paving site. The amount of asphalt fumes is decreased and the paving conditions are cooler. Some municipal clients in Finland have already shown growing interest in low temperature asphalt due to its positive features.

ALKUSANAT

Tämä diplomityö on tehty Lemminkäinen Infra Oy:lle matalalämpöasfalttien ja erityisesti bitumin vaahdotusmenetelmän käyttöä kartoittavaksi tutkimukseksi.

Ensinnäkin haluan kiittää Lemminkäinen Infra Oy:tä kuluneista kesistä asfalttitöissä ja luonnollisesti tästä mahdollisuudesta tehdä diplomityö asfalttialaan liittyen. Kiitokset ohjaajalleni Juha Pohjolalle, joka Oulun etäisyydeltä pystyi saattamaan työtä eteenpäin silloin, kun sitä tarvittiin. Erityiskiitokset myös tutkimusjohtaja Lars Forsténille sekä aluepäällikkö Mika Häklille, joiden kanssa tuumimme työhön liittyviä haasteita useampaankin otteeseen ja joilta sain korvaamattomia tietoja työn toteuttamiseen. Kiitokset myös Irenelle, jonka kautta päädyin kyselemään diplomityöpaikkaa alun perin.

Haluan kiittää Tampereen teknillisen yliopiston rakennustuotannon ja -talouden laitoksen professori Kalle Kähköstä ja projektipäällikkö Olli Teriötä. Ollin ohjauksessa työn rakenne saatiin hyvin pakettiin ja lopputulokseksi selkeä kokonaisuus.

Tampereen teknillinen yliopisto ansaitsee kiitokset erinomaisena opiskelupaikkana ja opiskelijan toisena kotina. Kiitokset kaikille opiskelukavereille ja erityisesti Anssi Juntuselle, Markus Karhulle ja Kari-Pekka Kujanpäälle tämän tien kulkemisesta alusta loppuun. Kiitos NääsPeksi, TTHP ja muut yliopiston kerhot, jotka ovat auttaneet jaksamaan eteenpäin välillä raskaallakin taipaleella.

Lopuksi haluaisin kiittää perhettäni tuesta vuosien varrella ja erityisesti vaimoani Karellea kärsivällisyydestä ja kannustuksesta, kun tutkinto venyikin hieman suunniteltua pidemmäksi. Kiitos Emil ylimääräisestä motivoinnista työn loppuun saattamisessa, näytän valmiin teoksen sitten kun opit lukemaan.

Tampereella 25. toukokuuta 2016,

Pekka Hujanen

SISÄLLYSLUETTELO

1.	JOHDANTO	1
1.1	Tutkimuksen tausta	1
1.2	Tavoite ja rajaukset	1
1.3	Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus.....	2
2.	TEOREETTINEN TAUSTA	4
2.1	Matalalämpöasfaltit.....	4
2.1.1	Matalalämpöasfaltin historiaa	7
2.1.2	Matalalämpöasfaltin valmistusmenetelmät.....	8
2.2	Matalalämpöasfaltit ja ympäristönäkökulma	11
2.2.1	Energiankulutus	12
2.2.2	Päästöt asfaltinvalmistuksessa	15
2.2.3	Kierrätysasfaltti	18
2.3	Työskentelyolosuhteet ja työterveys	19
2.4	Matalalämpöasfaltin kustannukset	22
2.5	Bitumin vaahdotus.....	24
3.	LEMMINKÄISEN VAAHDOTUSMENETELMÄLLÄ VALMISTAMAT ASFALTIT	27
3.1	Kokemukset LTA:n valmistuksesta ja levityksestä	28
3.1.1	Vaahdotusbitumikokeilut 1980-luvulla	28
3.1.2	Vaahdotusasfaltit 2000-luvulla	30
3.1.3	Kokemuksia ulkomailta	33
3.2	Koekohteet Suomessa	36
3.3	Yhteenveto	46
4.	TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS.....	48
4.1	Kirjallisuuskatsaus ja haastattelut	48
4.2	Päällystyskokeen suunnittelu	49
4.3	Päällystyskokeen toteutus	50
4.3.1	Asfalttimassat.....	50
4.3.2	Mittausten suoritus työn yhteydessä	51
4.3.3	Asfalttimassan ja valmiin päällysteen ominaisuudet	52
5.	AINEISTO	54
5.1	LTA:n valmistus koekohteelle	54
5.2	Levityksen kulku ja massan laatu koekohteella	56
6.	TULOKSET	59
7.	POHDINTA	62
7.1	Tulosten tarkastelu	62
7.2	Tutkimuksen tarkastelu	63
7.3	Jatkotutkimusehdotukset	64
	LÄHTEET.....	65

LIITE 1: PORANÄYTTEIDEN PORAUSSUUNNITELMA

LIITE 2: PORANÄYTTEET KARTALLA

LIITE 3: LÄMPÖTILAMITTAUSPÖYTÄKIRJAT

LIITE 4: PORANÄYTETUTKIMUKSET

LIITE 5: LTA-MASSOJEN SUHTEITUKSET

KUVALUETTELO

<i>Kuva 1. Diplomityön tutkimuksen rakenne</i>	3
<i>Kuva 2. Asfalttityyppien määrittely lämpötilojen mukaan (Lounge, 2014).</i>	4
<i>Kuva 3. Kuuma- ja matalalämpöasfaltin valmistusprosessi lämpötiloineen</i>	5
<i>Kuva 4. Matalalämpöasfaltin prosentuaalinen osuus kaikista valmistetuista asfalttimassoista Yhdysvalloissa (Hansen and Copeland, 2015).</i>	7
<i>Kuva 5. Matalalämpöasfalttien polttoaineenkulutus ja luokittelu lämpötilan mukaan (D'Angelo et al., 2008)</i>	13
<i>Kuva 6. Asfalttitehtaan polttoainesäästön jakautuminen valmistuslämpötilaa laskettaessa. (Frank and Prowell, 2014)</i>	15
<i>Kuva 7. Asfalttihuuruksen ja -höyryjen väheneminen suhteessa lämpötilan pudotukseen (European Asphalt Pavement Association, 2015).</i>	16
<i>Kuva 8. LTA:n kuormaus asfalttiasemalla eri lämpötiloissa</i>	17
<i>Kuva 9. Asfalttipäällysteen hiilijalanjäljen muodostuminen (Walch, 2015 mukaan)</i>	18
<i>Kuva 10. Asfaltin kaasu- ja höyrypäästöjen väheneminen työmaalla DustTrak DRX -laitteistolla mitattuna (Vaa, 2015a)</i>	21
<i>Kuva 11. Asfaltin valmistuskustannukset eri menetelmillä (Hujanen, 2016).</i>	22
<i>Kuva 12. Kierrätysasfaltin säästöpotentiaali suhteessa kiviaineksen kosteuden vähentämiseen ja LTA:n valmistukseen (Pohjola, 2015b)</i>	23
<i>Kuva 13. Bitumin vaahdotuksen periaate (Equipment and Lounge, 2010) ja bitumivaahdon hajoamiskäyriä eri vesipitoisuuksilla (Hailesilassie et al., 2015).</i>	24
<i>Kuva 14. LTA-koekohteiden tyhjätilat Lemminkäisellä Tanskassa vuosina 2014–2015 (Josephsen, 2015).</i>	35
<i>Kuva 15. Kooste Lemminkäinen Infra Oy:n tekemistä vaahdotusasfalttikohteista</i>	37
<i>Kuvat 16. a. ja b. Vuonna 2004 tehtyä matalalämpöpäällystettä, Vanha Raumantie, Pori (valokuvat T. Härkälä, 26.4.2016).</i>	40
<i>Kuva 17. Metsäläntie Kristiinankaupungissa (kuva J. Soikkeli, 23.9.2014).</i>	44
<i>Kuva 18. Vuotien matalalämpöasfalttipäällystettä. Vasemmalla NCC:n tekemä kaista, oikealla Lemminkäisen (kuva P. Hujanen 21.4.2016)</i>	45
<i>Kuva 19. Päällystyskokeen tavoitteet</i>	49
<i>Kuva 20. Poranäytteiden poraussuunnitelma.</i>	53
<i>Kuva 21. Polttoaineenkulutus asfalttitehtaan tietojen mukaan valmistettaessa normaalilämpöistä asfalttia ja matalalämpöasfalttia.</i>	55
<i>Kuva 22. LTA:n levitystä Urjalassa 9.9.2015 (kuva L. Forstén)</i>	56
<i>Kuva 23. Koekohteen poranäytteiden tyhjätilat</i>	57
<i>Kuva 24. Paalukohtaiset lämpötilat ja poranäytteiden tyhjätilat.</i>	58
<i>Kuva 25. Yhteenveto koekohteista ja henkilöhaastatteluiden tuloksista.</i>	59
<i>Kuva 26. Yhteenveto vaahdotusasfaltin valmistuksesta asfalttitehtaalla</i>	60
<i>Kuva 27. Yhteenveto päällystyskokeen suorittamisesta ja asfaltin laadusta.</i>	61

TAULUKKOLUETTELO

<i>Taulukko 1. Asfalttimassan lämpötilarajat asfalttiasemalla (PANK ry, 2011, p. 46).....</i>	<i>6</i>
<i>Taulukko 2. Orgaaniset lisäaineet (Prowell et al., 2012; Rubio et al., 2012).....</i>	<i>9</i>
<i>Taulukko 3. Kemialliset lisäaineet (Prowell et al., 2012).....</i>	<i>9</i>
<i>Taulukko 4. Vaahdotusmenetelmät (Prowell et al., 2012).....</i>	<i>11</i>
<i>Taulukko 5. Asfaltinvalmistuksen energiankulutus (Malkoc, 2007).....</i>	<i>14</i>
<i>Taulukko 6. LTA-lisäaineiden hinnat. (J.-E. Saarela, Finnpool, sähköposti 9.3.2016; I. Birken, CECA, sähköposti, 9.3.2016; C. Oelkers, Sasol, sähköposti, 14.3.2016).....</i>	<i>23</i>
<i>Taulukko 7. LTA:n valmistusmäärät Norjassa vuosina 2013–2015 (Vaa, 2015b).....</i>	<i>34</i>
<i>Taulukko 8. Kustavintien v. 1985 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>37</i>
<i>Taulukko 9. Ulvilan v. 2003 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>38</i>
<i>Taulukko 10. Porin v. 2004 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>39</i>
<i>Taulukko 11. Porin sataman v. 2005 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>41</i>
<i>Taulukko 12. Valtatie 4 v. 2010 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>42</i>
<i>Taulukko 13. Oritkarin sataman v. 2014 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>42</i>
<i>Taulukko 14. Kristiinankaupungin v. 2014 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>43</i>
<i>Taulukko 15. Vuotien v. 2014 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>44</i>
<i>Taulukko 16. Lappeenrannan v. 2014–2015 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.....</i>	<i>46</i>
<i>Taulukko 17. Punkalaitumentien koepäällysteiden tiedot.....</i>	<i>51</i>
<i>Taulukko 18. Punkalaitumentien vaahdotusasfalttimassojen keskimääräiset lämpötilat.....</i>	<i>54</i>

LYHENTEET JA MERKINNÄT

AB	Asfalttibetoni
ABK	Kantavan kerroksen asfalttibetoni
BS	Bitumisora
EAPA	European Asphalt Pavement Association
FHWA	Federal Highway Association
HMA	Hot-Mix Asphalt
IARC	International Agency for Research on Cancer
LTA	Low-temperature asphalt, matalalämpöasfaltti
NAPA	National Asphalt Pavement Association
NIOSH	National Institute for Occupational Safety and Health
PAB	Pehmeä asfalttibetoni
RAP	Reclaimed Asphalt Pavement, kierrätysasfaltti
RC	Kierrätysasfaltti, asfalttirouhe
RCXX	Kierrätysasfaltti, jossa XX prosenttia kierrätettyä materiaalia
SMA	Kivimastikiasfaltti
VAB	Vaahto-bitumiasfalttibetoni
WMA	Warm-Mix Asphalt
XX	Kierrätetyn asfaltin määrä asfalttimassassa prosentteina

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen tausta

Tämän tutkimuksen ensisijaisena tarkoituksena on tutkia vaahdotusmenetelmällä valmistetun matalalämpöasfaltin ominaisuuksia verrattuna normaalisti valmistettuun asfalttiin. Samalla tutkimuksessa luodaan perusteellinen kuva Lemminkäinen Infra Oy:n (jatkossa käytetään nimeä Lemminkäinen) tekemiin matalalämpöasfalttikokeisiin vaahdotusmenetelmää käyttäen. Tutkimuksessa myös suoritetaan katsaus matalalämpöasfaltin (LTA – Low Temperature Asphalt) kehitykseen, erilaisiin LTA-menetelmiin ja matalalämpöasfaltin etuihin ja haasteisiin.

Ympäristöystävällisyys ja energiatehokkuus ovat olleet kasvavassa määrin esillä yhteiskunnassa ja teollisuudessa erityisesti 1980-luvulta alkaen. Lemminkäisellä yksi energiatehokkuuteen tähtäävistä kehitysprojekteista on ollut matalalämpöasfaltin valmistus vaahdotusmenetelmällä. Asfalttia voidaan valmistaa normaalia alhaisemmassa lämpötilassa, kun sideaineena käytettyä bitumia vaahdotetaan. Perinteisesti asfaltinvalmistuksessa lämpötilaa rajoittaa bitumin jähmettyminen jäähtyessään. Asfalttimassa ei tiivisty kunnolla, jos bitumi on liian viileää, eikä valmis päällyste täytä sille asetettuja laatuvaatimuksia. Vaahdotus pienentää bitumin viskositeettia, parantaa kiviaineksen peittyvyyttä ja edistää asfalttimassan tiivistymistä. Asfaltin valmistuslämpötilan laskemisella saavutetaan parempi energiatehokkuus, alhaisemmat päästöt sekä paremmat työolosuhteet.

Erilaisia tekniikoita matalalämpöasfaltin valmistukseen on lukuisia. Pääasiassa LTA-menetelmät voidaan jakaa kolmeen eri päätyyppiin toimintaperiaatteensa mukaisesti: orgaanisiin lisäaineisiin, kemiallisiin lisäaineisiin ja vaahdotusmenetelmiin. Bitumin vaahdotus on vanha menetelmä, jonka käytöstä matalalämpöasfaltin valmistukseen on rohkaisevaa tutkimustietoa maailmalta viimeisen lähes kahdenkymmenen vuoden ajalta. Matalalämpöasfalttien suosio on ollut viime vuosina kasvussa erityisesti Yhdysvalloissa. Matalalämpöasfalttien laajempaa käyttöönottoa rajoittavat enimmäkseen pelko puutteista päällysteen laadussa, mahdolliset haasteet asfalttitehtaalla matalan lämpötilan seurauksena sekä eräiden menetelmien hinta. Haasteita asettaa myös esimerkiksi asfalttiruouheen runsas käyttö nykyisissä asfalttimassoissa.

1.2 Tavoite ja rajaukset

Työn tavoitteena on tutkia bitumia vaahdottamalla valmistetun matalalämpöasfaltin ominaisuuksia verrattuna normaalilämpöisen asfaltin ominaisuuksiin. Erityisesti

tutkitaan LTA- menetelmällä valmistetun asfalttipäällysteen ominaisuuksia valmistuslämpötilan ja asfalttirouheen määrän funktiona. Lisäksi luodaan kokonaisvaltainen kuva Lemminkäisen Suomessa tekemistä vaahdotusasfalttikokeista. Tavoitteena on saada vertailukelpoista ja hyvälaatuista tutkimusdataa LTA-tekniikan käyttöä ja kehitystä varten.

Lemminkäisen yli kolmenkymmenen vuoden aikana tekemistä vaahdotusasfalttikoekehteista on säilynyt vaihtelevissa määrin tietoa. Toisinaan raportointikäytännöt ovat olleet kirjavia ja koekehteiden seuranta puutteellista. Yrityksestä löytyy osaamista ja tietoa, mutta tietotaito on hajallaan eikä sitä ole voitu hyödyntää tehokkaasti. Yksi tämän tutkimuksen tavoitteista on koostaa tietoa Lemminkäisen tekemistä koekehteista, jotta sitä voidaan jatkossa hyödyntää LTA-kohteiden suunnittelussa. Osatavoitteena voidaan pitää hyvin dokumentoidun empiirisen kokeen suorittamista, jotta kokemukset ja tulokset saadaan talteen ja niitä voidaan käyttää edelleen asfalttitekniikan kehitykseen.

Tutkimuksessa rajoitetaan tarkastelemaan Lemminkäisen Suomessa tekemiä matalalämpöasfalttipäällysteitä. Lemminkäinen on valmistanut matalalämpöasfaltteja myös muissa Pohjoismaissa sekä Baltian maissa, ja näihin kokemuksiin luodaan lyhyt katsaus. Päällystyskokeessa tehdyt koejärjestelyt käsittelevät vain yhtä kohdetta eikä LTA:n valmistuksen seuranta ole ulotettu pidemmälle ajanjaksolle tätä diplomityötä varten.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen suoritus

Tutkimus koostuu kolmesta osasta: kirjallisuuskatsauksesta, Lemminkäisen vaahdotusasfalttikokemuksista sekä päällystyskokeesta.

Kirjallisuuskatsauksessa selvitetään matalalämpöasfalttien historiaa ja nykyisiä tuotantomenetelmiä. Lähdemateriaalina toimivat muun muassa Euroopan asfalttikeskusjärjestön (European Asphalt Pavement Association – EAPA), Yhdysvaltojen asfalttikeskusjärjestön (National Asphalt Pavement Association – NAPA), näiden alajärjestöjen ja eri yliopistojen tutkimukset. Lisätietoa LTA-menetelmistä on hankittu suoraan valmistajien markkinointi- ja tutkimusmateriaaleista.

Syvällisempi katsaus luodaan matalalämpöasfaltin valmistukseen vaahdotusmenetelmällä. Tutkimuksessa käydään läpi vaahdotuksen periaate, erilaiset käytettävissä olevat menetelmät sekä bitumin ominaisuudet vaahdotukseen liittyen.

Tutkimuksessa tehdään yhteenveto Lemminkäisen tekemistä tutkimuksista ja LTA-koekohteista olemassa olevan suullisen ja kirjallisen tiedon perusteella. Tutkimuksessa kartoitetaan myös tuoreita kokemuksia LTA:n valmistuksesta ja levityksestä Lemminkäisen työntekijöiltä henkilöhaastatteluin.

Aikaisempien kokemusten perusteella suunnitellaan ja toteutetaan päällystyskoe, jonka tulokset raportoidaan hyvän tieteellisen tavan mukaan. Kokeessa erityistä huomiota kiinnitetään asfaltin laatuun levityslämpötilan ja kierrätysasfalttimäärän muutoksen seurauksena. Tutkimuksen rakenne on esitetty Kuvassa 1.

Tutkimuksen rakenne

Kirjallisuuskatsaus

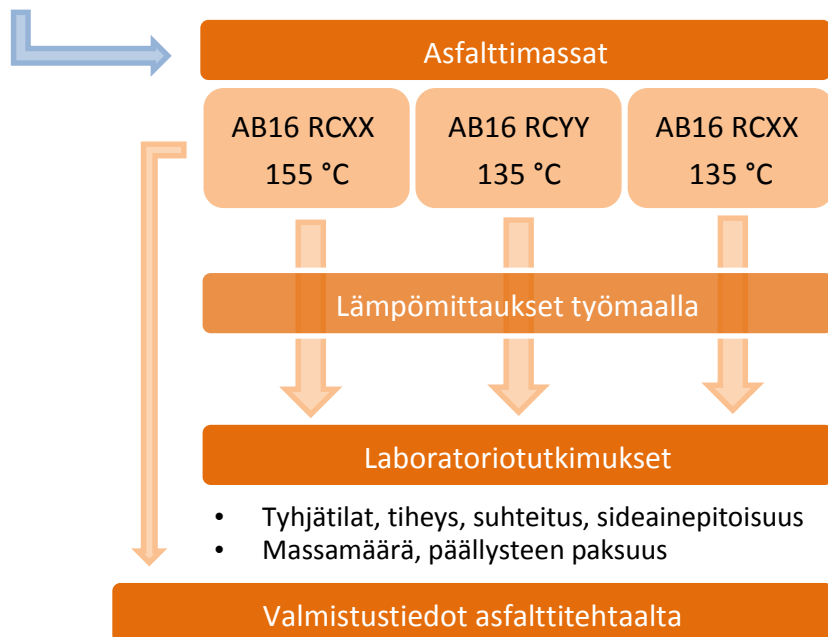
- Matalalämpöasfaltin historiaa
- LTA:n valmistusmenetelmät

Lemminkäisen vaahdotusasfalttikokemukset

- Bitumin vaahdotus 1980-luvulla
- Nykyaikaiset kokemukset Suomessa ja ulkomailla
- Seurantakohteet

Matalalämpöasfaltin valmistus bitumin vaahdotuksella

- Päällystyskokeen suunnittelu
- Päällystyskokeen toteutus



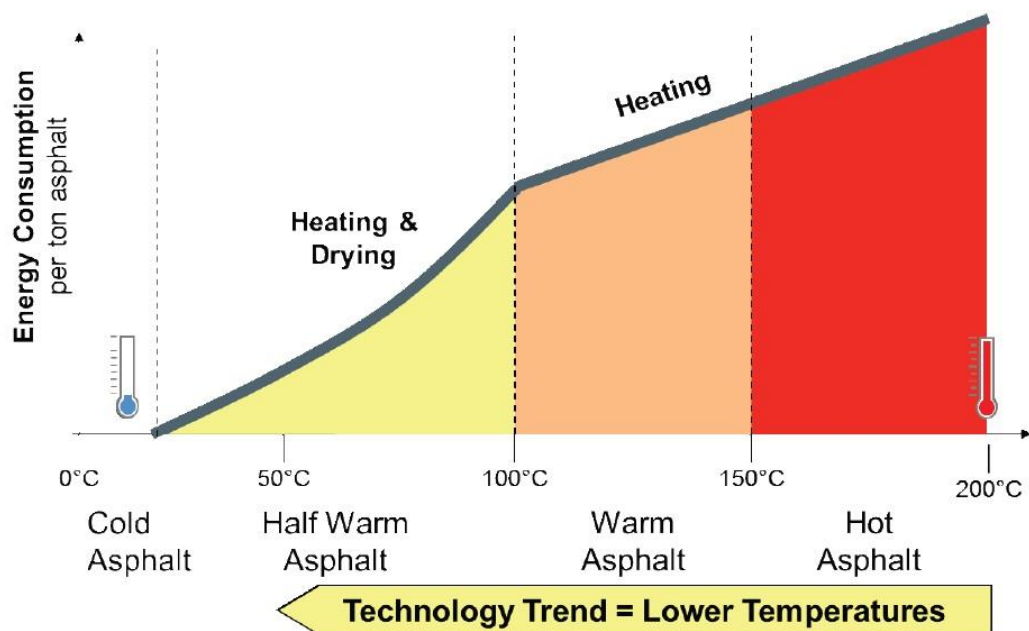
Kuva 1. Diplomityön tutkimuksen rakenne.

2. TEOREETTINEN TAUSTA

Asfaltinvalmistuksen lämpötilan määräävä tekijä on perinteisesti ollut asfalttimassan pysyminen muokattavana ja tiivistettävänä päällystystyömaalle asti. Tiivistettävyys riippuu pitkälti sideaineena toimivan bitumin lämpötilasta. Lämpimänä bitumi on juoksevaa, mutta jähmettyy jäähtyessään, eikä liian viileästä massasta saada tehtyä vaatimusten mukaista asfalttipäällystettä. Ongelmiksi muodostuvat asfalttimassan tiivistyvyys, saumojen kestävyys sekä kiviaineksen lajittuminen päällysteen pintaan massaa muokattaessa. LTA:n valmistuksessa bitumin ominaisuuksia muutetaan siten, että päällystäminen matalammissa lämpötiloissa on mahdollista.

2.1 Matalalämpöasfaltit

Normaalin asfalttimassan (engl. HMA – Hot Mix Asphalt) sekoituslämpötila vaihtelee yleensä välillä 150 °C – 190 °C riippuen bitumin laadusta ja asfalttityypistä sekä valmistus- ja levitysolosuhteista. Matalalämpöasfalteilla (engl. WMA – Warm Mix Asphalt) tarkoitetaan asfalttilaatuja, jotka sekoitetaan hieman normaalia asfalttia matalammassa lämpötilassa, noin välillä 100–150 °C (Kuva 2). Joissakin lähteissä myös 140 °C on mainittu määritelmien rajana (Prowell et al., 2012), mutta 150 °C on EAPA:n viimeisimmän julkaisun mukainen raja-arvo. Matalalämpöasfalttitekniikoita on kehitetty ahkerasti 1990-luvun loppupuolelta lähtien ja nykyään ne ovat laajalti käytössä erityisesti Yhdysvalloissa ja suuressa osassa Eurooppaa. (Lounge, 2014.)

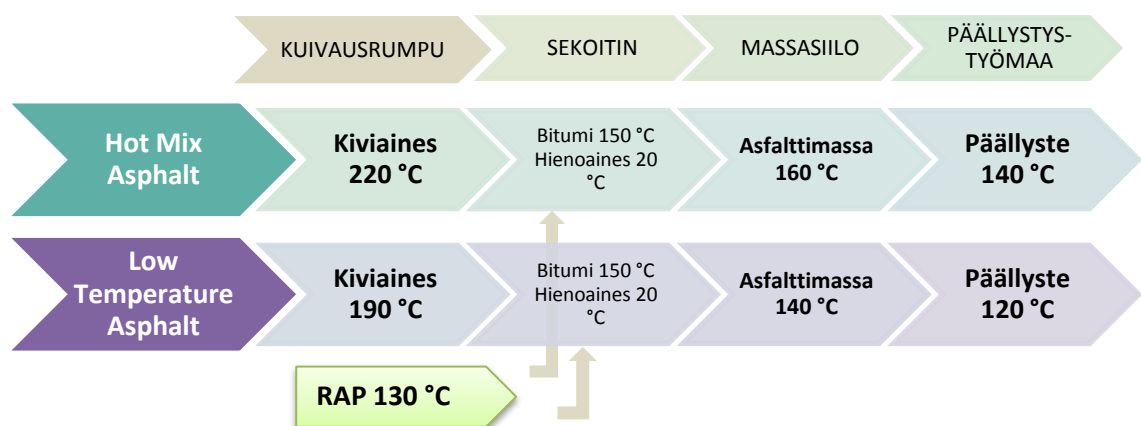


Kuva 2. Asfalttityyppien määrittely lämpötilojen mukaan (Lounge, 2014).

Asfaltin valmistuslämpötilan laskeminen vähentää polttoaineen kulutusta raaka-aineiden lämmityksessä, valmistamisessa syntyviä kaasupäästöjä sekä prosessissa syntyvän hukkaenergian määrää. Mansfeldin (2009) mukaan 30 °C lämpötilan pudotus valmistuslämpötilassa vähentää energiankulutusta noin 9 kWh valmistettua asfalttitonnia kohden. Myös valmistuksen höyry- ja hiukkaspäästöjä voidaan vähentää huomattavasti matalalämpöasfaltin valmistuksessa. Asfaltinvalmistuksen asfalttihuuruissa ja -höyryissä nyrkkisääntönä voidaan pitää, että 10 °C pudotus valmistuslämpötilassa vähentää päästöjä noin 50 % (Mansfeld et al., 2009).

Asfalttimassa koostuu pääosin kolmesta ainesosasta: kiviaineksesta, bitumista ja hienoaineksesta. Lisäksi asfalttiin voidaan lisätä erilaisia lisäaineita muokkaamaan asfalttimassan ominaisuuksia. (NAPA/EAPA, 2011.) Sideaineena käytettävä bitumi muodostaa yhdessä kiviaineksen kanssa yhtenäisen, levitettävän massan, jota voidaan muokata ja tiivistää. Kiviaines toimii seoksessa runkoaineena, joka antaa valmiille päällysteelle vaatimusten mukaisen kuormitus- ja kulutuskestävyyden. Hienoaineksa käytetään muokkaamaan asfaltin koostumusta ja valmiin päällysteen ominaisuuksia. Lisäksi nykyisin käytetään hyvin paljon kierrätettyä asfalttia (RAP, engl. Reclaimed Asphalt Pavement), jota sekoitetaan yhdessä tuoreiden raaka-aineiden kanssa. RAP:ia saadaan vanhoja asfalttipäällysteitä purettaessa tai jrsittäessä. (Väisänen, 2014.)

Matalalämpöasfaltin valmistus on yleensä hyvin samanlaista kuin normaalilämpöisen asfaltin valmistus. LTA-tekniikasta riippuen valmistuslaitteisto saattaa vaatia vaihtelevan määrän käyttöön perehtymistä ja joitakin lisäaineita käyttäessä asfalttimassan suhteitusta joudutaan muokkaamaan. Kuvassa 3 on esitetty asfaltin valmistusprosessi suuntaa antavine lämpötiloineen. Prosessissa noin kolmasosa uudesta asfalttimassasta on RAP:ia.



Kuva 3. Kuuma- ja matalalämpöasfaltin valmistusprosessi lämpötiloineen (T. Korkeamäki, haastattelu 2016).

Kuten aikaisemmin on todettu, bitumin jähmettyminen asettaa rajoituksia asfaltin valmistuslämpötilan alarajalle. Bitumin jähmettymislämpötila riippuu bitumin luokasta. Bitumit luokitellaan tunkeuman mukaan. Eri bitumilajien merkinnät tulevat tunkeumasta

bitumin tunkeuma-alueen ylä- ja alarajalla. (Korhonen, 2011.) Mitä suurempi on bitumin lajimerkintäarvo, sitä pienempi on bitumin viskositeetti. Yleisesti asfalttimassoissa pyritään noin tunkeumaluokkaan 70/100 (L. Forstén ja M. Häkli, haastattelut 8.4.2016). Taulukossa 1 on esitetty Suomessa käytössä olevat, Asfalttinormien 2011 mukaiset asfaltin valmistuslämpötilan rajoitukset bitumin ominaisuuksien mukaan.

Taulukko 1. Asfalttimassan lämpötilarajat asfalttiasemalla (PANK ry, 2011, p. 46).

Bitumin luokka	Lämpötila °C *)
KB	170 – 200
35/50	160 – 200
50/70	150 – 190
70/100	140 – 180
100/150, 160/220	130 – 170
250/330, 330/430	120 -160
500/650	110 – 150
650/900	110 (70) **) - 140
V 1500	(40) **) - 120
V 3000	(50) **) - 120

*) SMA-massat sekoitetaan 20 °C korkeammissa lämpötiloissa kuin taulukossa 32 on esitetty. Valuasfalttimassan maksimilämpötila on tavanomaista bitumia käytettäessä 230 °C ja kumibitumia käytettäessä 200 °C. Lyhytaikaisesti (≤ 1 h), välittömästi ennen levitystä sallitaan tavanomaista bitumia sisältävälle valuasfaltille lämpötila 240 °C ja kumibitumia sisältävälle vastaavasti 210 °C. Käytettäessä gilsoniittia sekoituslämpötilan pitää olla vähintään 180 °C.

**) Höyrylämmitys. Alhaisempia sekoituslämpötiloja voidaan käyttää höyrylämmityksen yhteydessä, jos esikokein varmistetaan sekoitustuloksen ja tarttuvuuden onnistuminen.

Taulukon mukainen maksimilämpötila pätee asfalttiasemalla joka paikassa, minimilämpötila koskee massan toimitusta. Käytettäessä emulgoitua tai vaahdotettua bitumia tai lisäaineita voidaan käyttää erilaisia lämpötiloja.

Taulukosta 1 voidaan nähdä, että esimerkiksi yleisesti käytössä olevia 70/100- ja 160/220-bitumilaatua voidaan käyttää matalalämpöasfaltin valmistukseen jopa 130 celsiusasteeseen saakka. Yhden bitumiluokan muutos näyttää sallivan noin 10 °C lämpötilanpudotuksen valmistuksessa. Lisäksi asfalttinormeissa todetaan, että lisäaineita tai vaahdotusta käyttämällä näistä alimmaislämpötiloista voidaan poiketa. Bitumia vaahdottamalla voidaan siis päästä hyvinkin alhaisiin valmistuslämpötiloihin normeista poikkeamatta. Pehmeät sideaineet ovat juoksevia jo melko alhaisissa lämpötiloissa, joten niiden käyttö matalalämpöasfaltteissa on luontevaa. Pehmeitä bitumeita käytetään myös esimerkiksi pehmeissä asfalttibetoneissa (PAB), joiden valmistuslämpötila on alhainen ja jotka määritellään joissakin maissa kuuluvaksi matalalämpöasfaltteihin.

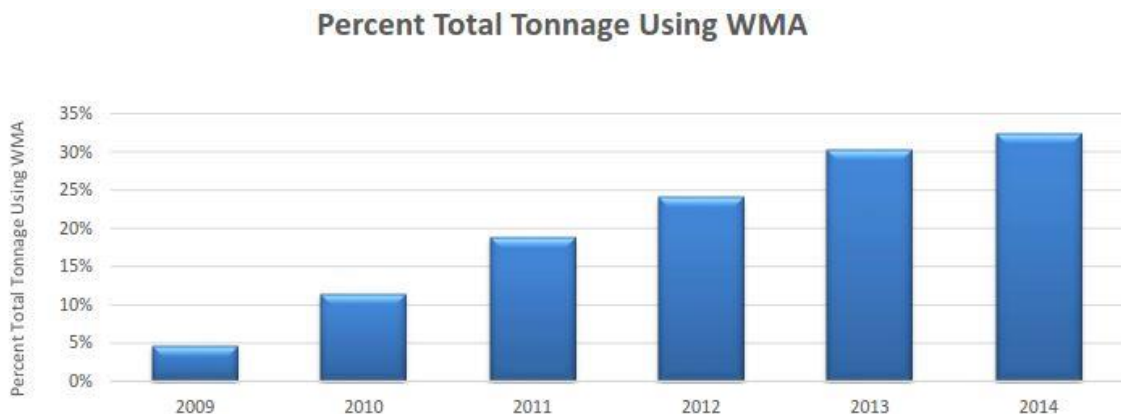
2.1.1 Matalalämpöasfaltin historiaa

Ensimmäisiä LTA-tekniikoita alettiin kehittää 1990-luvulla. Koeosioita päällystettiin Saksassa vuonna 1995 ja Norjassa 1996, ja ensimmäiset julkisten teiden LTA-osuudet päällystettiin molemmissa maissa vuonna 1999. Vuonna 2002 NAPA:n tutkimusryhmä vieraili Euroopassa tutustumassa LTA-tekniikoihin ja seuraavana vuonna Yhdysvalloissa aloitettiin laajemmat tutkimuksen matalalämpöasfaltin käyttöön liittyen. Yhdysvalloissa ensimmäiset koepäällysteet tehtiin vuonna 2004. (Prowell et al., 2012.)

Vuonna 2007 Yhdysvaltain valtatieyhdistyksen (Federal Highway Association – FHWA) organisaatio matkusti Eurooppaan perehtymään syvemmin matalalämpöasfaltin valmistamiseen ja levitykseen. Belgiassa, Ranskassa, Saksassa ja Norjassa suoritettun vierailun perusteella (D'Angelo et al., 2008) todettiin, että pääasialliset syyt LTA:n kehitykseen ovat:

- Ympäristönäkökulma ja kestävä kehitys, erityisesti energiankulutuksen pienentäminen ja hiilidioksidipäästöjen rajoittaminen.
- Asfalttimassan tiivistyvyyden parantaminen työmaalla. Samalla kuljetusmatkat voivat olla pidempiä ja päällystyskautta voidaan jatkaa pidemmälle syksyyn.
- Työntekijöiden hyvinvointi alemman levityslämpötilan ja vähäisempien kaasun- ja höyrypäästöjen seurauksena.

Työryhmä analysoi erilaisia LTA-menetelmiä ja levityksen tuloksia. Yleisesti ottaen tulokset olivat positiivisia ja raportin jälkeen LTA-massojen valmistus Yhdysvalloissa lähti kasvuun. Matalalämpöasfaltille myönnettiin rakennusalan NOVA-innovaatiopalkinto vuonna 2013 (Hansen and Copeland, 2015). Vuonna 2014 raportoitiin, että LTA:ta valmistettiin noin 114 miljoonaa tonnia, joka muodostaa lähes kolmasosan Yhdysvalloissa levitetystä asfalttivolymista (Kuva 4). Pohjois-Amerikassa matalalämpöasfalttien ja erityisesti vaahdotusasfaltin suosio onkin ollut viime vuosina huomattavassa kasvussa.



Kuva 4. Matalalämpöasfaltin prosentuaalinen osuus kaikista valmistetuista asfalttimassoista Yhdysvalloissa (Hansen and Copeland, 2015).

Euroopassa raportoitiin vuonna 2013 yhteensä noin 6,6 miljoonaa tonnia ja vuonna 2014 yli 7,3 miljoonaa tonnia valmistettua LTA:ta. Euroopassa esimerkiksi Ruotsi laskee LTA:n kokonaistuotantoon mukaan myös PAB-massat. Euroopan vuosittainen asfalttivolyymi on ollut lievässä laskussa viimeisten kymmenen vuoden ajan. LTA:n osuus kaikista asfalttimassoista näyttäisi siis olevan rauhallisessa kasvussa myös Euroopassa. (European Asphalt Pavement Association, 2016, 2014.)

2.1.2 Matalalämpöasfaltin valmistusmenetelmät

LTA:n valmistukseen on olemassa erilaisia menetelmiä. Yleisesti ottaen, jotta kiviaines saataisiin tehokkaasti peittymään sideaineeseen mahdollisimman alhaisessa lämpötilassa, on bitumin viskositeettiä alennettava. Yleisimmin käytössä olevia tekniikoita ovat orgaaniset lisäaineet, kemialliset lisäaineet sekä vaahdotustekniikat. (Lounge, 2014.)

LTA-tekniikoita voidaan myös käyttää parantamaan normaalilämpöisen asfalttimassan ominaisuuksia. LTA-tekniikoiden käyttö mahdollistaa päällystyksen viileämmissä olosuhteissa tiiveyden kuitenkin kärsimättä. Myös pidemmät kuljetusmatkat, helpompi tiivistettävyyys ja suurempi kierrätysasfalttipitoisuus ovat mahdollisia. (D'Angelo et al., 2008; Kristjansdottir, 2006.) Tämä edellyttää kuitenkin, että asfaltti valmistetaan normaalissa lämpötilassa ja LTA-tekniikoita käytetään massassa lisäaineena pienentämään bitumin viskositeettia.

Orgaaniset lisäaineet

Orgaanisten lisäaineiden ja vahojen käyttö LTA:n valmistukseen perustuu niiden viskositeettia pienentävään vaikutukseen vahan sulamispisteen yläpuolella. Viskositeetin pienentäminen auttaa kiviaineksen pinnoittamisessa bitumilla ja lisää valmiin asfalttimassan muokattavuutta vahan toimiessa voiteluaineena partikkeleiden välillä. (Prowell et al., 2012.) Taulukossa 2 on lueteltu käytetyimmät orgaaniset lisäaineet.

Taulukko 2. Orgaaniset lisäaineet (Prowell et al., 2012; Rubio et al., 2012).

	Valmistaja	Toimintaperiaate	Asfalttia tuotettu yht.* (milj. tonnia)
Sasobit	Sasol, Etelä-Afrikka	synteettinen parafiinivaha	3,0
Hydrogreen S (Bitutech PER)	Engineered Additives, Yhdysvallat	kasvirasvoista koostuva lisäaine	1,0
LEADCAP	Kumho, Etelä-Korea	vahapohjainen lisäaine	ei tarkkaa tietoa
Sonnewarmix	Sonneborn, Yhdysvallat	hiilivetyypohjainen lisäaine (vaha)	0,03
Thiopave	Shell, Alankomaat	rikkipohjainen lisäaine	0,45
Asphaltan B	Romonta GmbH, Saksa	Montan-vaha	ei tarkkaa tietoa
Licomont BS	Clariant, Saksa	rasvahappoamidi	ei tarkkaa tietoa

* vuoden 2012 tietojen mukaan

Kemialliset lisäaineet

Kemiallisten lisäaineiden tarkoituksena on parantaa sideaineen ominaisuuksia alhaisissa lämpötiloissa. Lisäaineiden pääasiallinen toimintaperiaate on pienentää bitumin viskositeettia ja pintajännitystä, jolloin kiviaineksen peittyvyys paranee ja valmiin asfalttimassan muokattavuusominaisuudet ovat paremmat. (Prowell et al., 2012.)

Kemiallisilla lisäaineilla luvataan päästävän jopa 50 °C normaalia alhaisempiin valmistuslämpötiloihin. Massan muokattavuuden väitetään säilyvän hyvänä jopa massan lämpötilan ollessa +90 °C. (Prowell et al., 2012; Rubio et al., 2012.) Kemialliset lisäaineet on listattu Taulukossa 3.

Taulukko 3. Kemialliset lisäaineet (Prowell et al., 2012).

KEMIALLISET LISÄAINEET	Valmistaja	Toimintaperiaate	Asfalttia tuotettu yht.* (milj. tonnia)
Evotherm	MeadWestvaco Industries, Yhdysvallat	emulsio	7,5
CECABASE RT	Arkema Oy, Ranska	pinta-aktiiviset aineet	2,0
Rediset	AkzoNobel Surfactants, Alankomaat	pinta-aktiiviset aineet	0,06
HyperTherm	Iterchimica, Kanada	nestemäinen lisäaine	0,1

* vuoden 2012 tietojen mukaan

Vaahdotus- eli foaming-tekniikat

Vaahdotuksessa periaatteena on, että lämmitetyn sideaineen sekaan tuotetaan vesihöyryä, joka kasvattaa sideaineen tilavuutta ja pienentää sen viskositeettia. Kuumaan bitumiin

syötettävä vesi höyrystyy ja laajentaa bitumin tilavuuden jopa kymmenkertaiseksi. (Prowell et al., 2012.) Tällä tavoin kiviaineksen täydellinen peittyminen bitumiin on nopeampaa ja valmis asfalttimassa helpommin muokattavaa, sideainepitoisuutta kuitenkin vähentämättä.

Vaahdottaminen voidaan käytännössä toteuttaa kahdella erilaisella menetelmällä: vesi syötetään suoraan bitumiin tai bitumiin lisätään lisäaineita, jotka saavat bitumin vaahtoamaan. Veden syöttämisessä bitumiin käytetään yleensä suihkusuuttimia, joilla vesi syötetään bitumin sekaan joko nestemäisessä muodossa tai höyrynä. Veden höyrystyminen kuumassa bitumissa aiheuttaa nopean vaahtoamisen. Lisäaineissa käytetään yleisesti synteettistä zeoliittia, joka on aluminosilikaateista ja alkalimetalleista koostuva mineraali. Zeoliitti sisältää kidevettä, joka vapautuu kuumaan bitumiin lisättäessä ja aiheuttaa pitkäkestoisen, tasaisen vaahtoamisen. Vaahdotusmenetelmiä käytettäessä asfaltin jäähtyessä bitumi kovettuu normaalisti, mutta vaahdotuksen avulla saavutettu parempi työstettävyys säilyy jopa 7 tuntia massan valmistuksesta, tai kunnes massan lämpötila laskee noin +100 °C:een. (D'Angelo et al., 2008.) Taulukossa 4 on esitetty käytetyimmät vaahdotusmenetelmät.

Taulukko 4. Vaahdotusmenetelmät (Prowell et al., 2012).

VAAHDOTUS- MENETELMÄT	Valmistaja	Toimintaperiaate	Asfalttia tuotettu yht.* (milj. tonnia)
Advera WMA	PQ Corporation, Yhdysvallat	synteettinen zeoliitti	yli 1,0
Aspha-min	aspha-min, Saksa	synteettinen zeoliitti	yli 1,3
Accu-Shear	Stansteel, Yhdysvallat	mekaaninen vaahdotus, kolloidimylly	ei tarkkaa tietoa
AquaBlack WMA	Maxam Equipment Inc., Yhdysvallat	MicroBubbles, paineistettu vedensyöttö	ei tarkkaa tietoa
AquaFoam	AquaFoam, Yhdysvallat	kaksoissuutinjärjestelmä	ei tarkkaa tietoa
Astec Green Systems	Astec, Yhdysvallat	monisuutinjärjestelmä	ei tarkkaa tietoa
ECO-Foam II	Aesco/Madsen, Yhdysvallat	pyörresekoitin	ei tarkkaa tietoa
LEA	Suit-Kote Corporation, Yhdysvallat	pinnoituslisäaine + kaksivaiheinen sekoitusprosessi	0,14 (US)
Meeker Warm Mix	Meeker Equipment Inc., Yhdysvallat	vedensyöttö korkeapaineella	ei tarkkaa tietoa
Terex WMA	Terex Corporation, Yhdysvallat	vaahdon syöttö sekoitusrumpuun	ei tarkkaa tietoa
Tri-Mix Warm Mix injection system	Tarmac International Inc., Yhdysvallat	bitumin vaahdotus paineistetulla vedellä	ei tarkkaa tietoa
WAM Foam	Shell, Alankomaat	kaksivaiheinen bitumin syöttö	0,1

* vuoden 2012 tietojen mukaan

Matalalämpöasfaltti on erittäin keskusteltu aihe asfalttimaailmassa. Alhaisemman valmistuslämpötilan tuomat edut ovat houkuttelevia, mutta toisaalta LTA-massojen laatu epäilyttää ja joidenkin valmistusmenetelmien hinta nostaa asfaltin valmistuskustannuksia. Matalamman valmistuslämpötilan asfaltille tuoma lisäarvo ei ole aivan yksiselitteinen. Monet LTA:iin liittyvistä ominaisuuksista, kuten työolosuhteiden paraneminen, ovat vaikeita mitata rahallisesti. Kiinnostus LTA-teknologian käyttöön ja kehittämiseen on kuitenkin kasvussa rakennusalan kehityksen mennessä entistä enemmän työturvallisuuden ja ympäristöystävällisyyden suuntaan.

2.2 Matalalämpöasfaltit ja ympäristönäkökulma

Ilmastonmuutoksen seurauksena poliittinen keskustelu päästöjen hillitsemiseksi ja energiankäytön tehostamiseksi on ollut voimakkaasti esillä viime vuosina. 2000-luvun alkuvuodet osoittivat ilmaston lämpenemistrendin ja erityisesti hiilidioksidipäästöihin

alettiin kiinnittämään entistä enemmän huomiota. (United States Environmental Protection Agency, 2016.) Kioton ilmastopimus luotiin kontrolloimaan hiilidioksidi- ja muita kasvihuonekaasupäästöjä ilmastomuutoksen hillitsemiseksi, mikä ajoi myös asfalttiteollisuuden selvittämään päästöjen rajoittamista entistä enemmän (D'Angelo et al., 2008).

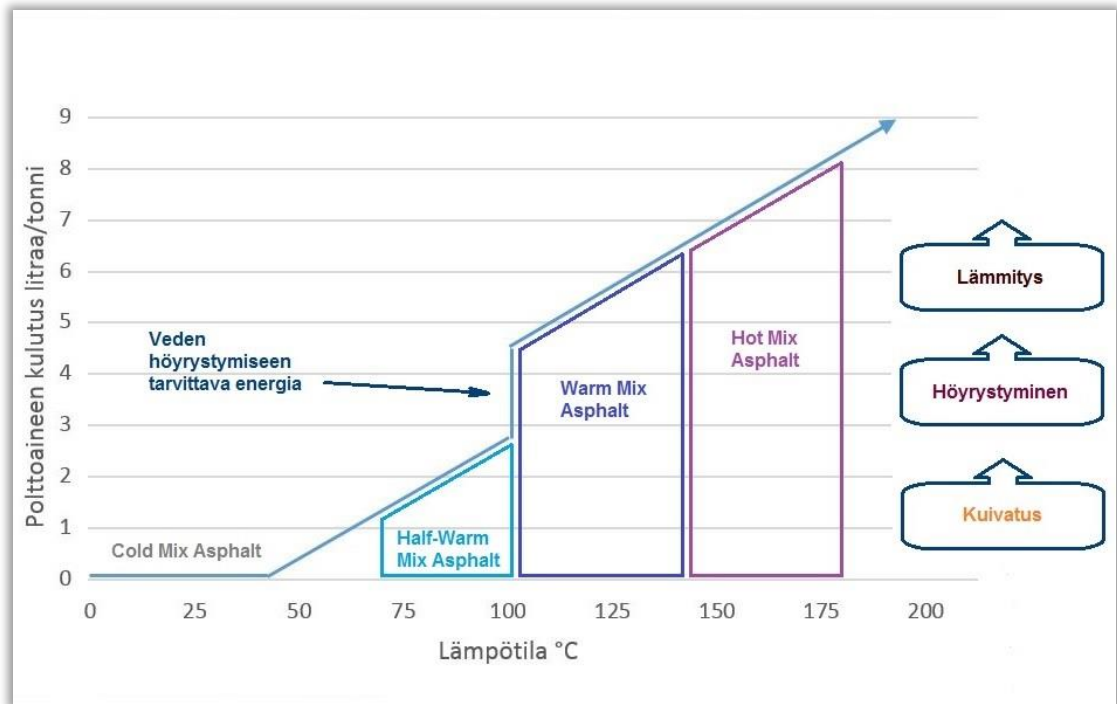
Asfalttialalla päästöjä on kuitenkin seurattu jo ennen Kioton sopimusta ja päästökontrollia. Yhdysvalloissa alettiin kiinnittää huomiota ympäristökysymyksiin erityisesti vuonna 1970, kun voimaan tuli uusi laki, The United States Clean Air Act. Lain tarkoituksena oli antaa liittovaltiolle keinot seurata ja kontrolloida ilmansaasteiden määrää kansallisesti. (Gordon, 2012.) Tämän seurauksena alettiin seurata asfalttiaseman hiukaspäästöjä ja poistoilman suodatusmenetelmien kehitys alkoi. Samanaikaisesti 1970-luvun öljykriisit ja öljyn hinnan nousu ajoivat teollisuuden etsimään säästökeinoja esimerkiksi asfaltin kierrätyksestä.

2000-luvulle tultaessa kehitystä haluttiin viedä eteenpäin ja päästöjen kontrolloimisen lisäksi alettiin etsiä keinoja asfaltin valmistuslämpötilan pudottamiseen (Prowell et al., 2012). Valmistamalla asfalttia matalassa lämpötilassa voidaan sekä hiilidioksidi- että muita päästöjä pienentää asfaltinvalmistuksessa. LTA myös antaa valmiuksia jatkaa asfaltintuotantoa mahdollisessa tilanteessa, jossa asfalttiaseman päästöjä aletaan kontrolloida esimerkiksi valtion tasolta (Kristjansdottir, 2006).

Seuraavissa kappaleissa käsitellään asfaltin energiankulutukseen ja päästöihin vaikuttavia ominaisuuksia. Matalalämpöasfaltin valmistuksella on selvät vaikutukset siihen, kuinka paljon vähemmän asfalttiteollisuus voi kuormittaa ympäristöä. Myös kierrätysasfaltin käyttö on tehokas ja ympäristöystävällinen menetelmä.

2.2.1 Energiankulutus

Asfaltinvalmistuksen energiankulutus muodostuu suurimmalta osin raaka-aineiden lämmityksestä. Runkoaines ja sideaine täytyy lämmittää sellaiseen lämpötilaan, että ne sekoittuvat hyvin keskenään ja valmis asfalttimassa tiivistyy riittävästi levityksen jälkeen. Kiviaines on lähtötilanteessa yleensä ympäristön lämpötilassa ja sisältää vaihtelevan määrän kosteutta. Teoriassa kaikki kosteus on haihdutettava, ennen kuin kiviaineksen lämpötila voi nousta yli 100 °C:een, joten kosteuspitoisuuden hallinta on oleellinen osa energiatehokkuutta. (Frank and Prowell, 2014.) Kuvassa 5 on esitetty asfaltinvalmistuksen lämmitysenergian tarve valmistuslämpötilan noustessa.



Kuva 5. Matalalämpöasfalttien polttoaineenkulutus ja luokittelu lämpötilan mukaan (D'Angelo et al., 2008).

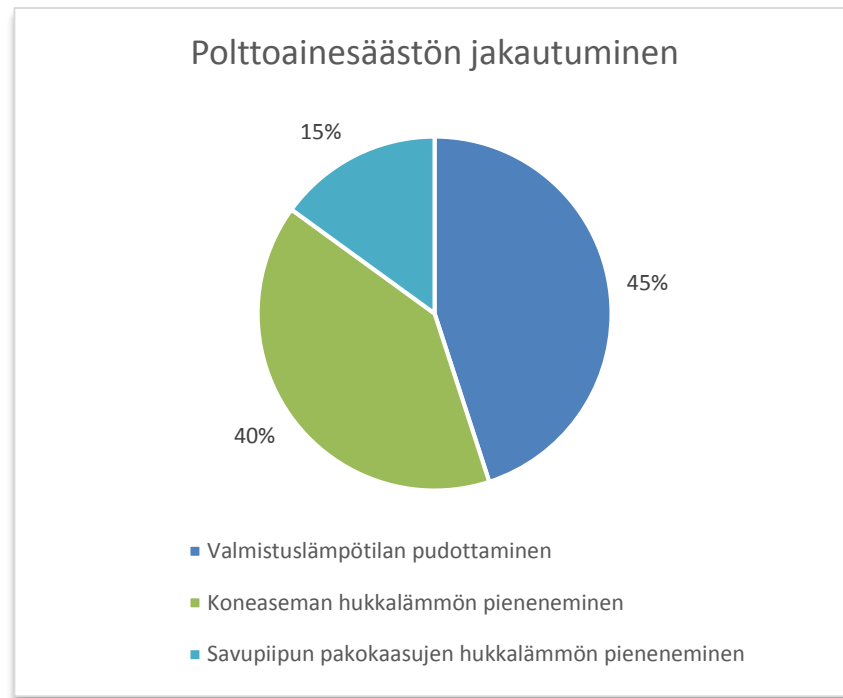
Kuten Kuvasta 5 voidaan nähdä, 100 °C lämpötilassa polttoaineenkulutus kasvaa huomattavasti. Veden höyrystäminen sitoo paljon energiaa. Taulukossa 5 on vertailtu HMA:n ja LTA:n valmistuksen energiankulutusta kiviaineksen eri kosteuspitoisuuksilla. Taulukosta 5 voidaan nähdä, että kosteuden haihdutus kiviaineksesta voi vaatia jopa enemmän energiaa kuin itse kiviaineksen lämmittäminen valmistuslämpötilaan. Toisaalta voidaan todeta, että kiviaineksen kosteutta vähentämällä voidaan päästä jopa matalalämpöasfalttia alhaisempaan energiankulutukseen.

Taulukko 5. *Asfaltinvalmistuksen energiankulutus (Malkoc, 2007).*

Asfalttiaseman energiankulutus		Kiviaineksen kosteuspitoisuus					
		HMA			LTA		
		5,0 %	2,5 %	0,5 %	5,0 %	2,5 %	0,5 %
Valmistuslämpötila	°C	155			120		
<i>Kiviaineksen lämmitys</i>	kWh	33	33	33	25	25	25
Veden lämmitys		5	2	0	5	3	0
<i>Veden höyrystyminen</i>		30	16	3	30	15	3
Pakokaasujen ja höyryjen hukkaenergia		5	5	3	5	4	3
Lämpösäteilyn hukkaenergia		2	2	2	2	2	2
Yhteensä [kWh]		75	58	41	67	49	33

Mansfeldin (2009) mukaan 30 °C lämpötilanpudotus asfaltinvalmistuksessa johtaa 9 kWh energiansäästöön per valmistettu asfalttitonni. Hujasen (2016) laskelmien mukaan tämä lämpötilanmuutos tarkoittaa raskaaksi polttoöljyksi muunnettuna noin 0,7 kilogramman polttoainesäästöä per asfalttitonni. Säästöt polttoainekulutuksessa voivat olla jopa 35 % riippuen käytetystä menetelmästä, asfalttitehtaan asetuksista, kiviaineksen kosteudesta ja muista olosuhteista. (D'Angelo et al., 2008; Frank and Prowell, 2014; Prowell et al., 2012.)

Bob Frankin (2014) kokeissa arvioitiin matalalämpöasfaltin energiansäästöä savupiipun päästömittausten kautta. Kokeissa testattiin eri LTA-menetelmiä kuudella eri asfalttitehtaalla ja erilaisilla runkoaineksilla. Keskimääräinen lämpötilanpudotus eri menetelmillä oli 27 °C ja todetut polttoainesäästöt 22,1 %. Tuloksiin on suhtauduttava varauksella, varsinkin kun teoreettisesti laskettuna 27 celsiusasteen pudotus valmistuslämpötilassa säästää vain 9,3 % lämmitysenergiassa. Lisälaskelmilla arvioitiin polttoainesäästöjen jakautuvan keskimäärin Kuvan 6 mukaisesti.



Kuva 6. *Asfalttitehtaan polttoainesäästön jakautuminen valmistuslämpötilaa laskettaessa. (Frank and Prowell, 2014).*

Arvion mukaan 45 % säästöistä syntyi valmistuslämpötilan pudotuksesta, 40 % liittyi valmistuslaitteiston hukkalämpöön ja 15 % savupiipun kautta poistuvien pakokaasujen hukkalämpöön. Vaikka tutkimuksissa todettu yli viidenneksen polttoainesäästö vaikuttaakin todella suurelta verrattuna teoreettisiin laskelmiin, voidaan kuitenkin todeta, että suurilta osin energiatehokkuuteen voidaan vaikuttaa asfalttiaseman optimoinnilla. Erityisesti lämmityslaitteiston hukkalämpöjen minimoinnilla on suuri rooli pyrittäessä säästöihin energiankulutuksessa. Kuivausrummun hukkalämpöä voidaan vähentää rummun eristämällä ja kallistuskulman säätämällä. Myös kuivausrummun polttimen asetuksilla ja aikaisemmin mainitulla kiviaineksen kosteuspitoisuudella on suuri vaikutus polttoaineenkulutukseen.

Yleisesti ottaen asfalttia valmistetaan hieman yllämpöisenä: Lemminkäinen Liettuan (2014a) tietojen mukaan AB-massojen valmistuslämpötila maailmanlaajuisesti on hieman yli 160 °C ja SMA-massojen vastaavasti yli 170 °C. Esimerkiksi Suomessa yleisesti käytetyllä 70/100-bitumilla alin sallittu valmistuslämpötila asfaltille on 140 °C (PANK ry, 2011). Asfalttia voitaisiin siis valmistaa totuttua matalammassa lämpötiloissa ilman varsinaisia matalalämpöteknikoitakin rikkomatta bitumin asettamia rajoituksia.

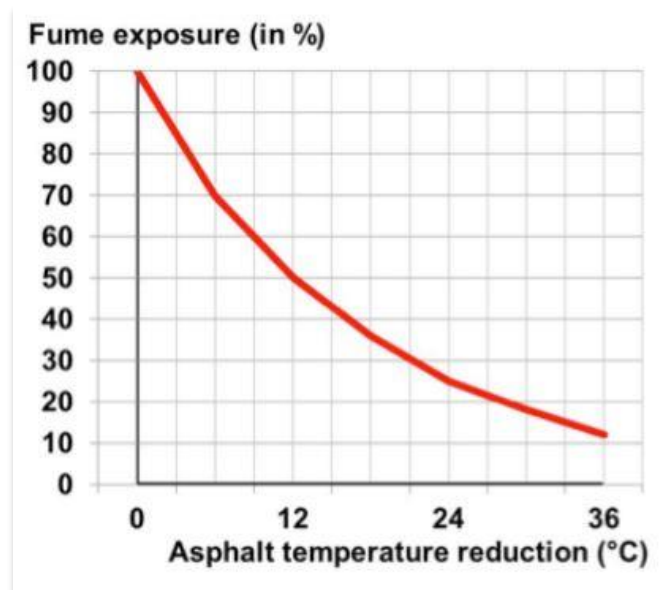
2.2.2 Päästöt asfaltinvalmistuksessa

Puhuttaessa päästöistä asfaltinvalmistuksen yhteydessä on huomioitava kaksi erilaista päästötyyppiä, jotka helposti sekoitetaan keskenään: bitumihuurut ja -höyryt sekä hiilidioksidipäästöt. Bitumihuuruja, -höyryjä ja pölyä syntyy kun kuumennettavista

raaka-aineista irtoaa kemiallisia yhdisteitä tai partikkeleita. Hiilidioksidipäästöillä taas tarkoitetaan yleensä raaka-aineiden kuumennukseen käytettävien polttoaineiden palamisen seurauksena vapautuvaa hiilidioksidia. (L. Forstén, haastattelu 21.4.2016.)

Bitumihuurut ja -höyryt

Asfaltin valmistusprosessin lämpötila vaikuttaa bitumihuurujen ja -höyryjen määrään eksponentiaalisesti (Kuva 7). Suhteellisen pienellä lämpötilan pudotuksella voidaan vähentää näitä päästöjä merkittävän paljon. Mansfeldin (2009) tutkimuksen mukaan asfalttiaseman asfalttihuurupäästöt pienentyvät noin 50 % jokaista pudotettua 10 celsiusastetta kohti.



Kuva 7. Asfalttihuurujen ja -höyryjen väheneminen suhteessa lämpötilan pudotukseen (European Asphalt Pavement Association, 2015).

Kuvasta 8 voidaan nähdä ero huurujen määrässä asfalttiasemalla asfalttimassaa lastattaessa, kun valmistuslämpötilat ovat 160 °C, 140 °C ja 120 °C.



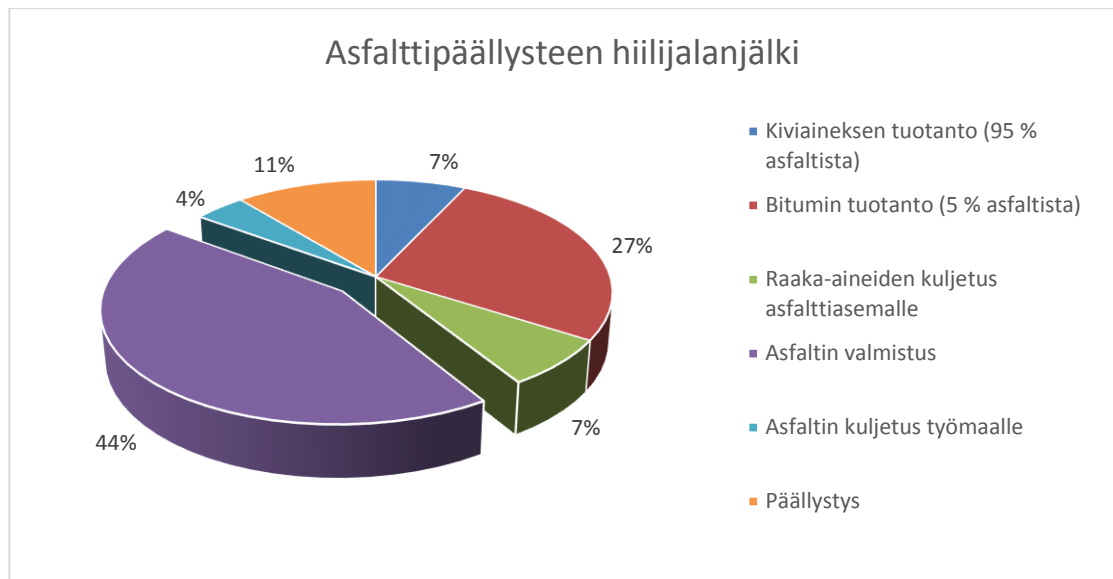
Kuva 8. LTA:n kuormaus asfalttiasemalla eri lämpötiloissa (J. Pohjola, LTA-esitelmä, Oulu 19.8.2015).

Von Deviveren (2009) tutkimuksissa 26 °C pudotus valmistuslämpötilassa vähensi kaasu- ja höyrypäästöjä asfalttiasemalla 75 %. Työmaalla jopa 90 %:n ero päästöjen määrässä oli mitattavissa, kun levityslämpötila oli 140 astetta 175 asteen sijaan. Tässä on huomioitava, että 175 °C on itsessään hyvin korkea lämpötila asfaltin valmistamiseen.

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (Volatile Organic Compounds, VOC) on todettu vähentyvän jopa 50 % valmistuslämpötilaa laskettaessa. Samalla vähenevät rikin (SO_x) oksidien päästöt 30–40 % ja typen (NO_x) oksidien päästöt 60–70 %. Pölyn määrä vähenee 20–25 %. (D'Angelo et al., 2008.)

Hiilidioksidipäästöt

Hiilidioksidipäästöjä tuottavia, yleisesti käytössä olevia polttoaineita ovat fossiiliset polttoaineet, kuten maakaasu sekä kevyet ja raskaat polttoöljyt. Palamisesta aiheutuvat hiilidioksidipäästöt ovat yleensä suoraan verrannollisia käytettävän polttoaineen määrään. Asfaltin valmistus matalammassa lämpötilassa pienentää hiilidioksidipäästöjä suurin piirtein samassa suhteessa kuin polttoaineenkulutus pienenee. (Croteau and Tessier, 2008; D'Angelo et al., 2008; Mansfeld et al., 2009.) Asfaltin hiilijalanjälki muodostuu suurelta osin asfaltinvalmistuksesta Kuvan 9 mukaisesti.



Kuva 9. Asfalttipäällysteen hiilijalanjäljen muodostuminen (Walch, 2015 mukaan).

Kuten hiilijalanjälkikuvaajasta voidaan nähdä, on erittäin tärkeää, että asfaltinvalmistukseen kehitetään tekniikoita, jotka vähentävät hiilidioksidipäästöjä. Asfaltin raaka-aineiden valmistuksen osuutta hiilijalanjäljestä voidaan tehokkaasti pienentää käyttämällä kierrätysasfalttia.

2.2.3 Kierrätysasfaltti

Kierrätysasfaltin raaka-aineena käytetään tuoreiden raaka-aineiden lisäksi asfalttirouhetta (yleisesti RC tai RAP - Reclaimed Asphalt Pavement). Se on murskattua asfalttia tai jyrsinrouhetta, jota saadaan vanhoista asfalttipäällysteistä. Vanhaa asfalttia kuorimalla saadaan asfaltinpaloja, jotka murskataan uusiokäyttöä varten. Kylmäjyrsinnästä taas saadaan asfalttirouhetta, jota valtaosa asfalttiasemista pystyy nykyään hyödyntämään. RAP sisältää yleensä noin 4-5 % bitumia, joka saadaan käytettyä uudelleen. Asfalttirouheen sisältämä bitumi on yleensä vanhentunutta ja tuoretta bitumia kovempaa, mikä vaikuttaa valmiin massan ominaisuuksiin. Kierrätyksellä säästetään uuden asfaltin ja raaka-aineiden valmistuskustannuksissa sekä valmistukseen liittyvissä päästöissä. (Väisänen, 2014.) Kandhalin ja Mallicin kustannusanalyysin (1997) mukaan RAP:n käytöllä voidaan päästä asfaltinvalmistuksessa yli 30 % kustannussäästöön verrattuna kokonaan tuoreista raaka-aineista valmistettuun asfalttiin. Kierrätysasfaltin säästöpotentiaali riippuu suuresti vallitsevasta bitumin hinnasta ja siten raakaöljyn hinnasta, joka voi vaihdella suhteellisen paljon lyhyelläkin aikavälillä.

Asfalttirouheita kerätään yleensä samaan säilytyskasaan eri työmailta, joten rouheseos voi sisältää hyvin erilaisia kiviaines- ja bitumilaatuja. Murskauksen yhteydessä rouhe kuitenkin homogenisoituu. Asfalttirouheen käyttö on erittäin suosittua nykyään, ja asfalttiala onkin yksi rakennusteollisuuden suurimpia kierrättäjiä (Hansen and Copeland,

2015). Asfalttirouheen suurimmat sallitut määrät asfalttimassoissa ovat 50 % kulutuskerroksessa ja 70 % pohjakerroksessa (PANK ry, 2011).

Kierrätysasfalttia alettiin tutkia jo 1970-luvulla. Yhdysvalloissa erityisesti energiakriisi vauhditti kierrätyksen kehittymistä asfalttialalla (Prowell et al., 2012). Suomessa ensimmäisiä käyttötapoja oli uuden asfaltin valmistus suoraan vanhaa asfalttia kuumentamalla (Forstén, 2013). Tällöin vanhan asfaltin osuus päällysteestä oli jopa 100 %. Asfalttirouheiden sisältämä bitumi on kuitenkin neitseellistä bitumia kovempaa, joten se ei yksinään sovellu uuden asfalttimassan ja hyvälaatuisen päällysteen valmistamiseen (Väisänen, 2014). Tämän jälkeen kierrätysasfaltin käyttöä on kehitetty ahkerasti ja Suomessa käytetään suhteellisen paljon RAP-massoja. Lähes kaikki nykyaikaiset asfalttiasemat voivat hyödyntää asfalttirouhetta ja tuottaa laadukasta asfalttimassaa jopa 70 % RAP-pitoisuudella.

Kierrätysasfalttia voidaan valmistaa myös matalalämpöisenä. LTA-tekniikat voivat auttaa suurempien kierrätysasfalttipitoisuuksien saavuttamisessa kahdella tavalla (D'Angelo et al., 2008):

- bitumin pienentynyt viskositeetti edesauttaa sekoittumista ja tiivistymistä
- kierrätysasfaltin vanhentuneen bitumin ominaisuuksia voidaan kompensoida tuoreen bitumin ja alhaisemman valmistuslämpötilan avulla.

Vaitkuksen (2009) mukaan kierrätysasfaltin käyttö matalalämpöasfalteissa voi edesauttaa päällysteen vedenkestävyyttä, koska kiviainespartikkelit ovat jo valmiiksi osittain peittyneet bitumiin. Kierrätysasfaltin runsas käyttö asettaa kuitenkin rajoituksia vaahdotusmenetelmän käytölle. Kierrätysasfaltin ja vaahdotusbitumin käyttöä on tarkasteltu syvemmin kappaleessa 2.5 *Bitumin vaahdotus*.

2.3 Työskentelyolosuhteet ja työterveys

Asfalttityöntekijät altistuvat työssään olosuhteille, joissa kuuma asfaltti ja siitä nousevat savut ja höyryt voivat olla epämiellyttäviä ja aiheuttaa työturvallisuusriskejä. Asfalttitehdas- ja laboratoriotyöntekijöiden työpaikalla ollaan tekemisissä asfaltin valmistusprosessin kanssa, jolloin prosessin pakokaasut ja haihtuvat yhdisteet ovat runsaimmillaan. Normaalilämpöinen asfaltti voi olla työmaallakin yli 160-asteista. Myös palovammojen riski on huomattava, kun ollaan jatkuvasti tekemisissä kuuman asfaltin kanssa. Asfalttihuurut ja -höyryt alkavat olla haitallisella tasolla yli 170 asteen lämpötiloissa, joten asfaltinvalmistuksen ylälämpöjen kontrollointi on erittäin tärkeää.

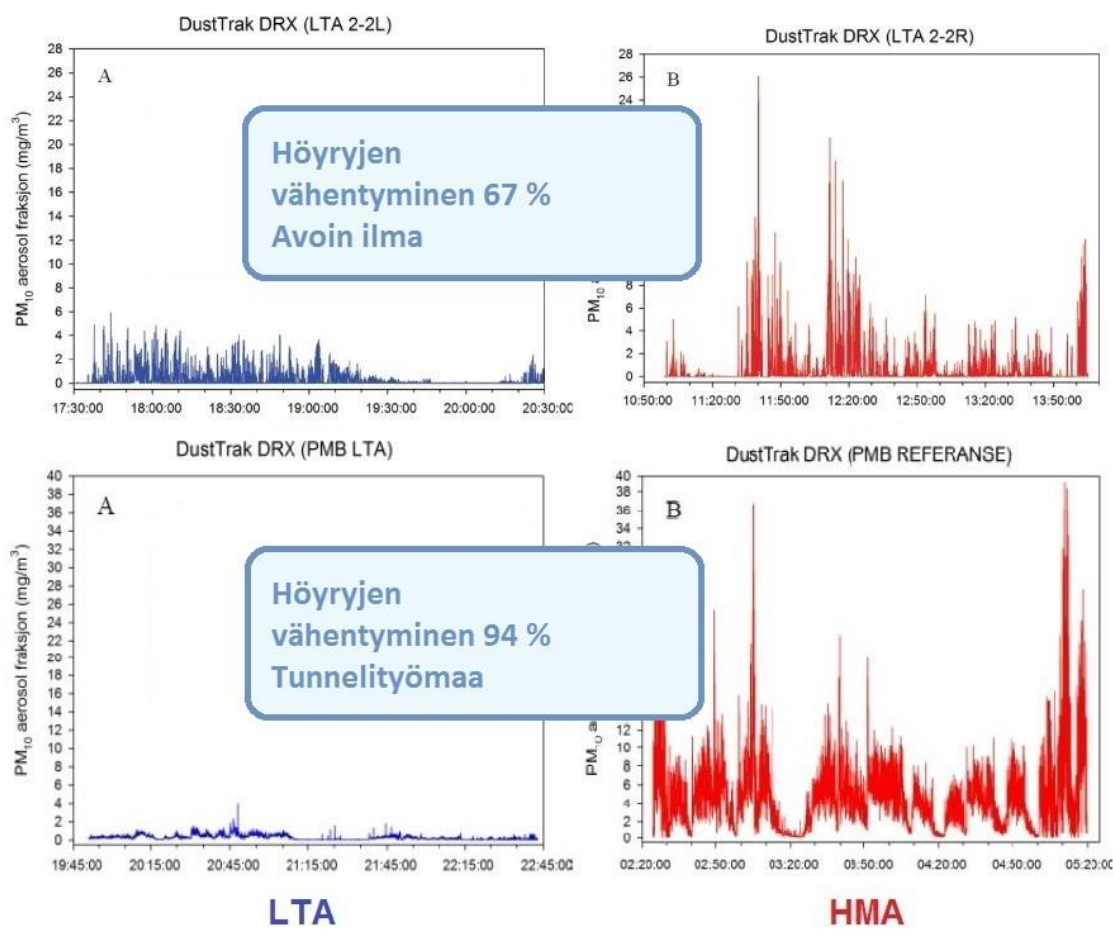
Matalalämpöasfalttien on todettu vähentävän asfalttityöntekijöiden altistumista haitallisille kaasuille ja höyryille (D'Angelo et al., 2008; NAPA/EAPA, 2011; Prowell et al., 2012). Myös vakavien palovammojen riski on alhaisempi matalamman

levityslämpötilan myötä. Samalla työolosuhteet ovat miellyttävämmät ympäristön alhaisemman lämpötilan ansiosta.

Vuonna 1977 Yhdysvaltojen työturvallisuus- ja työterveysinstituutti NIOSH (engl. National Institute for Occupational Safety and Health) tutki asfaltille ja sen höyryille altistumisen terveydellisiä haittoja. Pääasiallisten haittojen todettiin olevan silmien sidekalvojen ja hengitysteiden limakalvojen ärsyntyminen asfalttihöyryjen seurauksena. NIOSH suositteli 5 mg/m^3 rajaa päästöhiukkasille asfalttihöyryissä 15 minuutin altistusjaksolla. Vuonna 1988 NIOSH epäili asfalttihöyryjä mahdollisesti karsinogeenisiksi. Asfalttihöyryille altistamisen suoraa yhteyttä tautien puhkeamiseen ei kuitenkaan ole voitu osoittaa; myöskin silmä- ja hengitystieoireet ovat pääsääntöisesti ohimeneviä. NIOSH:n vuosina 1994–1997 tekemissä kokeissa asfaltin valmistus- ja levityshenkilökunnan altistukset asfalttihöyryille olivat hetkellisiltä arvoiltaan suurimmillaan hieman yli 1 mg/m^3 . Näin alhaisilla arvoilla altistusten ja terveysvaikutusten välistä yhteyttä ei ole voitu osoittaa. (Butler, 2000.)

Karsinogeenisten PAH-yhdisteiden (polyaromaattinen hiilivety) erkaneminen ilmaan asfaltin raaka-aineista lisääntyy korkeissa lämpötiloissa. IARC:n (engl. International Agency for Research on Cancer) mukaan altistukset bitumihuuruille ja -höyryille ovat korkeimmat valuasfalttitoissa ja kattojen bitumointityössä. Päälylystystöissä haitallisia määriä huuruja ja höyryjä esiintyy harvemmin, varsinkin jos asfaltinvalmistuksessa vältetään yllämpöä. (IARC, 2013.)

Levitystyömaalla tehtyjen kokeiden mukaan höyryjen ja PAH-yhdisteiden määrä vähentyy 30–94 prosentilla asfaltin matalamman valmistuslämpötilan seurauksena (D'Angelo et al., 2008; Vaa, 2015a). Työntekijöiden kokemusten mukaan työmaan olosuhteet paranevat huomattavasti alhaisemman levityslämpötilan ja vähäisempien hajuhaittojen seurauksena (von Devivere et al., 2009). Lemminkäisen Norjassa tekemissä päälylystyskokeissa valmistuslämpötilaa saatiin laskettua noin 30 celsiusasteella ja mitatut kaasu- ja höyrypäästöt on esitetty Kuvassa 10. Ensimmäinen päälylystys tehtiin avoimessa ilmassa ja toinen päälylystys tehtiin tunnelityömaalla. (Olsen et al., 2012; Vaa, 2015a.) Tunnelissa tehtyjen päälylystysten ylempi lämpötila oli noin 10–20 °C korkeampi kuin avoimessa ilmassa tehtyjen päälylystysten. Tästä syystä myös asfalttihuurujen ja -höyryjen määrä putosi suhteessa enemmän tunnelissa tehdyissä mittauksissa.



Kuva 10. Asfaltin kaasu- ja höyrypäästöjen väheneminen työmaalla DustTrak DRX -laitteistolla mitattuna. Lämpötilat 130 °C ja 160 °C (ylh.) sekä 130–145 °C ja 170–180 °C (alh.) (Vaa, 2015a).

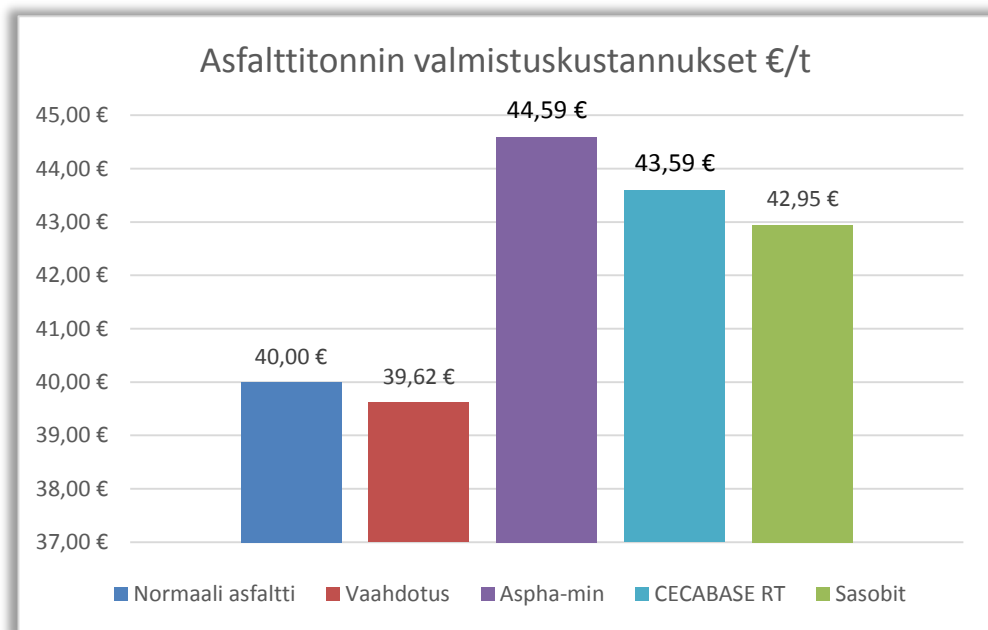
Vähentyneistä höyry- ja hajupäästöistä voi olla erityistä hyötyä tiheästi asutuilla alueilla ja suljetuissa olosuhteissa, kuten tunnelipäällystyksessä. Lisäksi matalammassa lämpötilassa levitetty päällyste on tavallista päällystettä nopeammin avattavissa liikenteelle. (Kristjansdottir, 2006; Vaa, 2015a.)

Mansfeldin (2009) tutkimuksen mukaan bitumin alhaisempi viskositeetti asfalteissa vaikuttaa positiivisesti asfalttimassan työstettävyyteen. Tämä voisi periaatteessa vaikuttaa positiivisesti asfalttityöntekijöiden työolosuhteisiin asfaltin kevyemmän muokattavuuden ansiosta. Norjassa tehdyn LTA–2011-projektin puitteissa mitattiin työntekijöiden fyysistä kuormitusta päällystystyössä, mutta merkittävää eroa LTA:n ja HMA:n välillä ei todettu (Olsen et al., 2012). Vaikka LTA-massan parempi tiivistyvyys saattaisikin viitata myös parempaan työstettävyyteen, siitä ei kuitenkaan ole kokeellista näyttöä. PANK ry:n menetelmällä PANK-4116 (Asfalttimassan levitettävyyden, P–K-menetelmä) voitaisiin tutkia asfalttimassan levitettävyyttä ja mahdollisesti yhdistää se massan työstettävyyteen. (PANK ry, 2011.)

2.4 Matalalämpöasfaltin kustannukset

Yleisesti ottaen on todettava, että matalalämpöasfalttien yhteydessä mainitut lämpötilan pudotukset ja taloudelliset säästöt ovat erittäin optimistisia. Harvoin mainitaan lähtölämpötilaa tai sitä, mitä olisi voitu tehdä pelkästään valmistusmenetelmän optimoinnilla. Usein pelkillä valmistusprosessin säädöillä voidaan päästä suuriin lämpötilanpudotuksiin.

Pekka Hujanen (2016) arvioi matalalämpöasfaltin hankinta- ja valmistuskustannuksia kandidaatintyössään. Kuva 11 esittää matalalämpöasfaltin tonnikohtaiset valmistuskustannukset eräillä matalalämpöasfaltin valmistusmenetelmillä. Valmistuskustannukset pitävät sisällään raaka-aineet, koneiden ja laitteiden käyttökustannukset, polttoainekulut ja valmistuksen palkkakustannukset. Kustannuksiin eivät sisälly esimerkiksi kalustoon sidotun pääoman poistot tai asfaltin kuljetuksen ja levityksen kustannukset. Tässä esitetty valmistuskustannus on karkea arvio ja sitä käytetään lähinnä vertailutarkoituksessa. Todellisuudessa asfalttitonnin valmistushinta vaihtelee suuresti muun muassa kiviaineksen sisältämän kosteuden, käytettyjen raaka-aineiden hinnan ja bitumin hinnan vaihteluiden seurauksena.



Kuva 11. Asfaltin valmistuskustannukset eri menetelmillä (Hujanen, 2016).

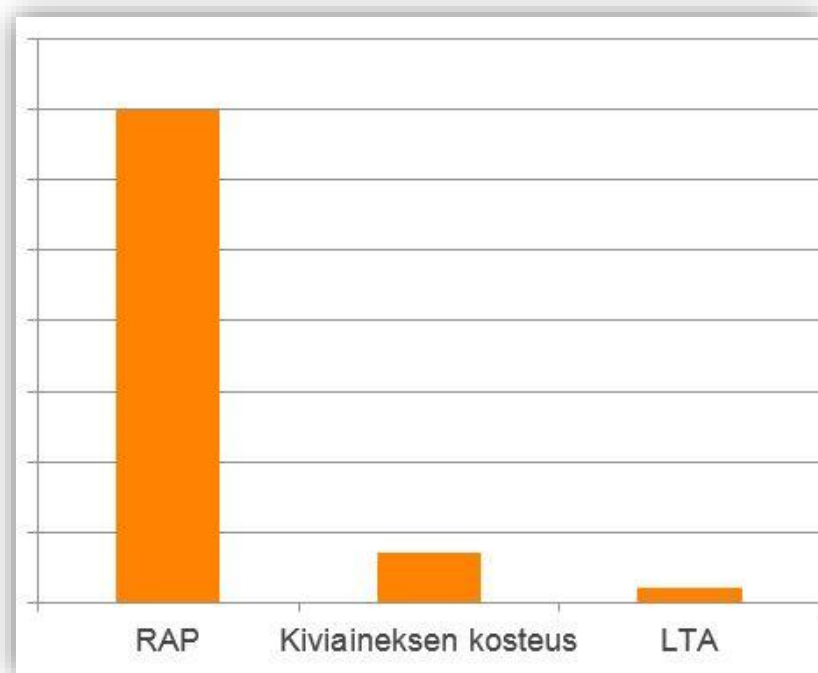
Laskelman perusteella bitumin vaahdotusta käyttämällä asfaltin valmistuskustannukset on mahdollista saada normaalia alhaisemmaksi. Pitkällä tähtäimellä laitteisto maksaa hankinta- ja ylläpitokustannuksensa takaisin veden huokean hinnan takia. Säästö saavutetaan kuitenkin vain, mikäli valmistettava asfaltti on menetelmälle sopivaa ja tuotantomäärä tarpeeksi suuri.

Lisäaineiden käytössä niiden hankintahinta rajoittaa menetelmien käytön kannattavuutta. Tutkimuksessa tarkastellut lisäaineet maksavat useita euroja asfalttitonnia kohti (Taulukko 6). Asfaltin hinnasta riippuen tämä voi olla jopa yli 10 % normaalista valmistushinnasta. Polttoaineenkulutuksella tätä hintaeroa ei saada kompensoitua. Lisäaineilla voidaan kuitenkin teoriassa saavuttaa muita positiivisia ominaisuuksia, joita ovat parempi tiivistyvyys, asfalttimassan parempi käsiteltävyys, pidempi kuljetusmatka ja viileämmät työskentelyolosuhteet.

Taulukko 6. LTA-lisäaineiden hinnat. (J.-E. Saarela, Finnpool, sähköposti 9.3.2016; I. Birken, CECA, sähköposti, 9.3.2016; C. Oelkers, Sasol, sähköposti, 14.3.2016).

Lisäaine	Aspha-min	CECABASE RT	Sasobit
Hinta €/asfalttonni	5,00 €	4,00 €	3,38 €

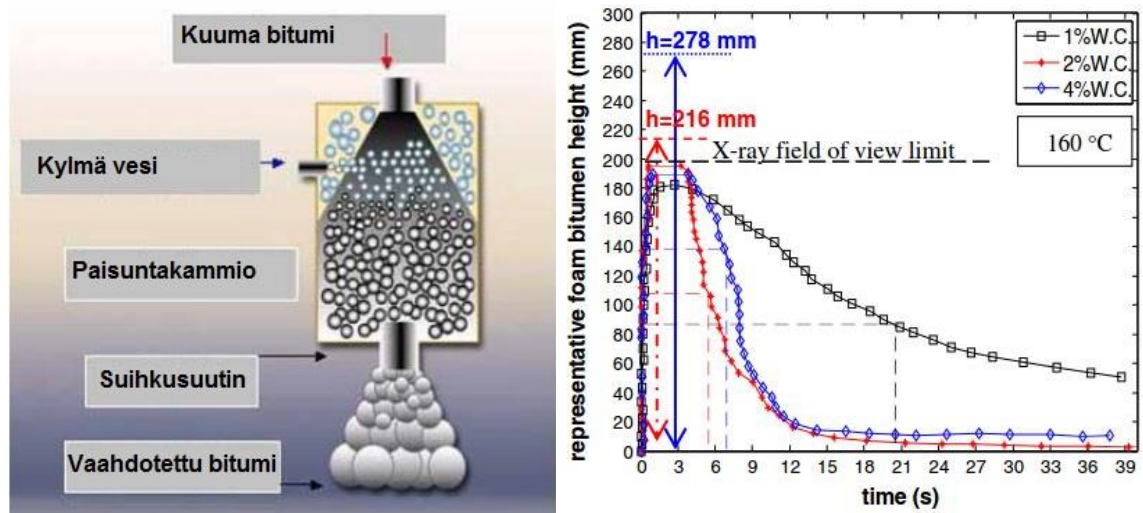
LTA:n valmistuksen hinta nousee siis helposti kannattamattomaksi. Todellisuudessa LTA:sta saatavat säästöt ovat suhteellisen pienet verrattuna muihin säästöihin, joita voidaan saavuttaa erilaisilla valmistustekniikkaan liittyvillä toimenpiteillä. Kuvassa 12 on esitetty suhteellinen kuvaaja LTA:n potentiaalisista säästöistä verrattuna kiviaineksen kosteuden vähentämiseen ja kierrätysasfaltin valmistamiseen. (Forstén, haastattelu 21.4.2016; Pohjola, 2015b.)



Kuva 12. Kierrätysasfaltin säästöpotentiaali suhteessa kiviaineksen kosteuden vähentämiseen ja LTA:n valmistukseen (Pohjola, 2015b).

2.5 Bitumin vaahdotus

Vaahdotusprosessissa kuumaan bitumiin syötetty vesi höyrystyy ja laajenee saaden bitumin vaahtoamaan. Samalla bitumin viskositeetti pienenee ja kiviaineksen peittyvyys paranee. Vaahdotusvaikutus on lyhytaikainen (Kuva 13). (Mohammad et al., 2003.) Vaahdotus voi lyhentää asfalttimassan sekoitusaikaa ja näin tehostaa asfalttiaseman tuotantoa (Forstén, 2015; Vaa, 2015b).



Kuva 13. Bitumin vaahdotuksen periaate (Equipment and Lounge, 2010) ja bitumivaahdon hajoamiskäyriä eri vesipitoisuuksilla (Hailesilassie et al., 2015).

Bitumin tilavuus kasvaa vaahdotuksen seurauksena jopa kymmenkertaiseksi (Prowell et al., 2012). Jotkut lähteet raportoivat suuremmasta, jopa 19-kertaisesta tilavuuden kasvusta (Brennen et al., 1983; Hailesilassie et al., 2015). Vaahdon tilavuus kasvaa tiettyyn maksimiin asti, minkä jälkeen vaahto haihtuu jättäen bitumin alkuperäiseen tilavuuteensa. Vaahdotuksen tehokkuutta voidaan kuvata vaahdon puoliintumisajalla (engl. half-life), joka ilmoittaa sekunteina, missä ajassa vaahto supistuu tilavuudeltaan puoleen alkuperäisestä vaahtomäärästä. Toinen mahdollinen menetelmä on paisuntasuhde, jossa vaahdottuneen bitumin tilavuutta verrataan bitumiin, josta vaahto on kokonaan haihtunut. Brennenin (1983) mukaan vaahdon puoliintumisaikaan ja paisuntasuhteeseen vaikuttavat tuotetun vaahdon määrä, bitumiin lisätyn veden määrä sekä bitumin lämpötila. Erilaisille asfalttimassoille optimaalinen syötettävän veden määrä on erilainen, ja täytyy määrittää reseptikohtaisesti (Hailesilassie et al., 2015; Mohammad et al., 2003).

Bitumin vaahdotuksella tehtiin ensimmäisiä päällystysprojekteja jo 1950-luvulla. Professori Csanyin (1957) tutkimuksissa bitumiin lisättiin vesihöyryä ja se sekoitettiin kosteaan kiviainekseen. Vaahtobitumistabiloinnin kehitys sai tästä alkunsa. Menetelmää pystyttiin käyttämään helposti asfalttiasemilla, mutta vesihöyryn tuottaminen stabilointiin työmaolosuhteissa vaati erikoislaitteistoa eikä ollut kovin käytännöllistä. Vuonna 1968 Mobil Australia osti tekijänoikeudet Csanyin menetelmään ja kehitti sitä,

alkaen lisätä bitumin sekaan kylmää vettä vesihöyryn sijaan. Kehityksen ansiosta menetelmästä tuli käytännöllisempi ja edullisempi käyttää. (Mohammad et al., 2003; Muthen, 1998.) Sittenmin vaahtobitumistabiloinnin asema vakiintui yhtenä kantavan kerroksen bitumistabilointimenetelmistä. Muita kerrosstabilointimenetelmiä ovat muun muassa sementtistabilointi, remix-stabilointi, masuunihiekkastabilointi ja komposiittistabilointi. (Laaksonen ja Laukkanen, 2007.)

Asfaltinvalmistuksessa bitumin vaahdotus soveltuu erityyppisille runkoaineiksille hyvälaatuisesta kalliomurskeesta kierrätysasfalttiin (Muthen, 1998, p. 2). Kokemusten mukaan matalalämpöisen asfaltin valmistus vaahdotuksen avulla vaatii tarkkuutta, sillä korkeammat tyhjätilat ja puutteellinen kiviaineksen peittyminen ovat mahdollisia (Hailesilassie et al., 2015). On todettu, että asfalttitonnin valmistamiseen tarvittava optimaalinen vesimäärä on noin 1–1,5 litraa vettä per tonni, mikä vastaa yleensä noin 1–2 % bitumin määrästä (Brennen et al., 1983; Muthen, 1998; Prowell et al., 2012; Yin et al., 2014).

Kuten Brennen (1983) totesi, vaahdotetun bitumin ominaisuuksiin vaikuttavat tuotetun vaahdon määrä, bitumin lisätyn veden määrä ja bitumin lämpötila. Hailesilassie (2015) teki jatkotutkimuksia vaahdotetun bitumin ominaisuuksista. Kokeissa kahta eri bitumia vaahdotettiin eri vesimäärillä 160 °C ja 180 °C lämpötiloissa. Vaahdon muodostumista tarkkailtiin röntgenkuvauksen avulla. Tutkimuksessa todettiin, että suurempi vesimäärä (vettä 4 % bitumin määrästä) vaahdotuksessa johtaa laajempaan vaahtoamiseen, mutta samalla bitumikuplien nopeampaan hajoamiseen ja vaahdon supistumiseen. Pienemmällä vesimäärällä (1 %) vaahdon laajeneminen alussa on hillitympää, mutta vaahdotusvaikutus kestää pidempään. Korkeampi lämpötila taas saa bitumiin aikaan suurempia kuplia kuin matala lämpötila. Myös bitumin laadulla on vaikutusta vaahtoamiseen.

Vaahtoamisessa höyrystyvä vesi sitoo lämpöenergiaa bitumista. Bitumin ominaislämpökapasiteetin arvolla 2,093 kJ/kg*°C laskettuna veden lisäys 1 % bitumin massasta pudottaa bitumin lämpötilaa noin 12,5 °C. Vaahdottamalla yksi litra vettä bitumi jäähtyy lähes 23 astetta. Suurilla vesimäärillä bitumin jäähtyminen on siis otettava huomioon bitumin lämmityksessä. (Truska, 2015.)

Vaahdotus ja kierrätysasfaltti

Yksi bitumin vaahdotukseen liittyviä suurimpia ongelmia on kierrätysasfaltin valmistaminen vaahdotustekniikalla. Vaahdotuksella voidaan todistettavasti valmistaa laadukasta asfalttia matalissa lämpötiloissa, kun vaahdotettavana on pelkästään neitseellistä bitumia (Neitzke and Wasill, 2009; Prowell et al., 2007). Kierrätysasfaltti asettaa kuitenkin rajoituksia vaahdotuksen käytölle.

RAP:n vanhentuneen bitumin käyttäytymistä vaahdotuksessa ei osata tarkkaan ennustaa. Erään teorian mukaan vanhentunut bitumi ei sekoitu tuoreen bitumin kanssa ollenkaan; toisessa teoriassa taas RAP:n sisältämä bitumi sekoittuu täysin lisättävän bitumin kanssa.

(Hill, 2011.) Vaahdotuksen yhteydessä todellinen reaktio on todennäköisesti jotain tältä väliltä, eli osa vanhasta bitumista notkistuu ja sekoittuu, osa taas jää peittämään RAP:n kiviainesta.

10 % RAP-osuus asfalttimassassa tarkoittaa noin 0,4 prosenttiyksikön osuutta bitumin kokonaismäärästä. Esimerkiksi AB16 RC40 -massassa kokonaissideainepitoisuus on yleensä noin 5,5 %, josta kierrätysasfaltista saatua bitumia on tässä tapauksessa 1,6 prosenttiyksikköä. Varsinaisen vaahtoavan bitumin osuus on siis vain noin kaksi kolmasosaa bitumin kokonaismäärästä. Joissakin asfalttimassoissa on käytössä tätäkin runsaampia RAP-määriä, joten vaahtoavaa bitumia voi olla esimerkiksi vain puolet bitumin kokonaismäärästä. Tällöin lisättävän bitumin määrä voi olla liian pieni suhteessa vanhaan bitumiin, eikä vaahdotuksesta saatava hyöty ole yhtä voimakas kuin pelkästään tuoretta bitumia sisältävissä massoissa. (L. Forstén ja M. Häkli, haastattelut 8.4.2016.)

Kierrätysasfaltin valmistaminen on taloudellisesti paljon matalalämpöasfalttia kannattavampaa (Kuva 12), joten yleensä valmistus tapahtuu RAP:n ehdoilla. Asfalttirouheen hankkiminen, kuljettaminen ja murskaaminen ovat hinnaltaan hyvin edullisia verrattuna uuden asfaltin valmistamiseen.

3. LEMMINKÄISEN VAAHDOTUSMENETELMÄLLÄ VALMISTAMAT ASFALTIT

Lemminkäinen on yksi Suomen vanhimmista edelleen toimivista rakennusalan yrityksistä. Yrityksen historia juontaa juurensa 1900-luvun alkupuolelle, jolloin Asfaltti Osakeyhtiö Lemminkäinen perustettiin toimimaan rakennusten vedeneristystöissä ja bitumisissa piha- ja katutöissä. Alusta lähtien bitumi ja asfaltit ovat olleet osa Lemminkäisen ydinosaa. Tänä päivänä yhtiö on Pohjoismaiden ja Baltian johtava päällystysurakoitsija ja asfalttiteknologian kehittäjä. (Lemminkäinen Infra Oy, 2016.)

Lemminkäinen Infra Oy valmisti ensimmäiset vaahtobitumiasfalttinsa jo 1980-luvulla. Tällöin käytössä oli bitumin vaahtotustekniikka, jolla haettiin kiviaineksen parempaa peittyvyyttä pienemmällä sideaineen määrällä. Tutkimusjohtaja Lars Forsténin (2016a) mukaan tähtäimessä oli matalamman valmistuslämpötilan sijaan sideainepitoisuuden vähentäminen asfalttimassassa. Tehdyt päällystyskokeet olivat onnistuneita, mutta sideaineen vähentämisen todettiin vaikuttavan päällysteen ominaisuuksiin ja asfalttinormit rajoittivat menetelmän käyttöä. Vaikka tulokset olivatkin sinänsä rohkaisevia, jäi vaahtotetun asfalttimassan valmistaminen tämän jälkeen pitkäksi aikaa taka-alalle vaahtobitumistabilointia lukuun ottamatta.

2000-luvulle tultaessa energian korkea hinta ja tiukentuneet ympäristö- ja terveysvaatimukset herättivät jälleen mielenkiinnon asfaltin vaahtottamiseen, tällä kertaa valmistuslämpötilan pudottaminen mielessä. Lemminkäinen uusi Porin asfalttiaseman vuonna 2003 ja samalla siihen asennettiin nykyaikainen bitumin vaahtotuslaitteisto. Laitteistoa testattiin kuuma-asfaltin valmistuksessa ja tavoitteena oli selvittää, voidaanko bitumin vaahtotuksella:

- säästää energiaa
- vähentää päästöjä
- parantaa työolosuhteita
- vähentää sideaineen vanhenemista
- edistää asfaltin uusiokäyttöä.

Samanaikaisesti päällysteen laadun tuli pysyä hyvänä. Porissa tehtiin dokumentoituja koekohteita vuodesta 2003 eteenpäin lähes vuosittain. Tämän jälkeen bitumin vaahtotusta jatkettiin, mutta suurimmista osasta käyttökohteita ei ole kerätty tarkkaa tietoa ennen vuotta 2014.

Vaahdotuksen käyttö sai Lemminkäisellä lisävauhtia Norjassa vuodesta 2011 alkaen, jolloin alkoi Norjan viranomaisten toimeenpanema LTA–2011-projekti. Projektin tavoitteena oli tutkia työolosuhteiden paranemista ja asfaltin laatua valmistuslämpötilan pudotuksen seurauksena. Kokeiden tuloksena todettiin, että työskentelyolosuhteet parantuvat huomattavasti vähäisempien asfalttihuurujen seurauksena. Samalla raportoitiin myös asfaltin hyvästä laadusta. LTA:n valmistus lähtikin Norjassa kasvuun, mutta osittain innostusta selitti Norjan tiehallinnon (norj. Statens Vegvesen) käyttöönotto 30 Norjan kruunun (noin 3,1 euroa) tonnikohtainen palkkio matalalämpöasfaltin valmistuksesta. (Vaa, 2015a.)

Myös Suomessa on viime vuosina alettu kiinnittää entistä enemmän huomiota matalalämpöasfaltin valmistukseen. Lemminkäisellä on keskitytty erityisesti LTA:n valmistamiseen vaahdotuksen avulla. Vuosina 2014 ja 2015 valmistettiin yhteensä yli 360 000 tonnia vaahtobitumiasfalttia. Suomessa vaahdotuslaitteisto löytyy nykyään seitsemältä Lemminkäisen asfalttiasemalta. (Forstén, 2015.)

3.1 Kokemukset LTA:n valmistuksesta ja levityksestä

3.1.1 Vaahtobitumikokeilut 1980-luvulla

Lemminkäinen aloitti bitumin vaahdotuksen tutkimisen 1980-luvulla. Teknologian kehitystyötä tehtiin ensin tilaamalla tutkimukset VTT:lta. Myöhemmin PANK Ry:n alaisuuteen perustettiin Vaahtobitumityöryhmä, joka järjesti kokeiluja vaahdotusasfaltilla. Toiminta jakautui kahteen osaan: kuumaan vaahdotusasfalttiin päällysteenä ja vaahtobitumistabilointiin. Stabilointia on sittemmin tehty melko säännöllisesti vaahtobitumia käyttämällä, ja menetelmä on käytössä edelleen. Juha Äijö teki Lemminkäiselle diplomityön bitumistabiloinnista vuonna 1985: *Vaahtobitumiasfaltin käyttö kantavuuden parantamiseksi (TKK)*. (Forstén, 2016b.)

VTT:n tekemiä tutkimusraportteja 1980-luvulta on olemassa. Ensimmäiset kokeilut keskittyivät vaahdotustekniikan käytön opetteluun ja siitä testaus jatkui edelleen optimaalisen sekoituslämpötilan, sekoitusajan, vaahdotusajan ja sideainepitoisuuden löytämiseksi. Koepäällystys vaahdotusasfaltilla tehtiin vuonna 1985 Raisiossa Kustavintiellä. Koekohde on käsitelty tarkemmin luvussa 3.2. Seuraavaksi luodaan katsaus tutkimusjohtaja Lars Forsténin kokoamiin oleellisimpiin vaahdotusasfaltin laboratoriotutkimuksiin.

- 1. Alustavia laboratorioskokeita vaahtobitumin käytöstä asfalttipäällysteissä. VTT:n Tie- ja Liikennelaboratorio; Tutkimusraportti 313 Espoo, 1982**

Vaahtobitumin käyttäytymistä testattiin laboratoriossa ja tutkittiin, kuinka vaahdotusasfalttia voidaan valmistaa. Tämä oli pohjustavaa tutkimusta jatkoa varten.

2. Asfalttimassan suhteittaminen vaahtobitumilla.
VTT:n Tie- ja Liikennelaboratorio; Tutkimusselostus 372
Espoo, Toukokuu 1983

Edelliselle tutkimukselle jatkoa oleva laboratoriotutkimus. Tutkimuksen tavoitteena oli löytää optimaalinen sideainepitoisuus. Tuloksena saatiin, että vaahtodotusasfaltin optimisideainepitoisuus on noin 1 prosenttiyksikkö pienempi kuin normaalin asfaltin. Tutkimuksen tuloksista on hieman epäselvyyttä, sillä johtopäätökset on esitetty sekavasti. Forsténin tulkinnan mukaan sideainetta on saatettu pystyä vähentämään noin 0,1 prosenttiyksikköä. Tutkimuksen tiedot:

Massatyyppi	AB 16/IV
Vertailumuuttujat:	
Normaali bitumi, B 120	
Vaahtotettu bitumi	
Vaahtotettu bitumi + 1,2 % tartuke	
Sideainepitoisuudet	2,5 – 3,0 – 3,5 – 4,0 – 4,5 – 5,0 %
Testit:	Määrittämenetelmä
- tiheys, tyhjätilat ja tilavuussuhteet	
- Marshall (MRSH)	PANK-4203

3. Vaahtobitumiasfaltti
Osa I. Valmistustekijöiden vaikutus vaahtobitumiasfaltin ominaisuuksiin
VTT:n Tie- ja Liikennelaboratorio; Tutkimusselostus 516
Espoo, Joulukuu 1985

Tutkimuksessa selvitettiin vaahtodotusasfaltin ominaisuuksia erilaisilla sekoituslämpötiloilla, vaahtodotusajoilla ja massan sekoitusajoilla. Tutkimuksen tulokset ovat hieman epäselviä, mutta 135 °C lämpötilassa valmistetun vaahtodotusmassan todettiin olevan hyvälaatuista. Lyhyttä vaahtodotusaikaa ja 45 sekunnin mittaista sekoitusaikaa pidettiin parhaina.

Massatyyppi	AB 16, bitumi B120, 5,0 %
Vertailumuuttujat:	
Lämpötila	150 – 135 – 120 °C
Vaahtodotusaika	0 – 20 – 30 – 40 – 50 – 60 s
Sekoitusaika	60 – 45 – 30 s
Sekoitusjärjestys	bitumi sekoitetaan karkeaan kiviainekseen, lopuksi hieno kiviaines sekaan

Testit:	
- tiheys, tyhjätilat	
- MRSH	
- halkaisuvetolujuus (HVL)	
- halkaisuvetojäykkyys (HVJ)	
- tarttuvuusluku	
- vedenkestävyys, rullapulloko	

4. Vaahtobitumiasfaltti

Osa II. Vaahtobitumiasfaltin vertailu asfalttibetoniin VTT:n Tie- ja Liikennelaboratorio; Tutkimusselostus 568 Espoo, Marraskuu 1986

Edellisen tutkimuksen jatkotutkimus, massan valmistusolosuhteet on optimoitu tulosten perusteella. Tutkimuksesta ei saatu selkeitä tuloksia. Alhaisimmilla sideainepitoisuuksilla todettiin ongelmia massan laadussa.

Massatyypit	AB 16/IV, VAB 16/IV ja BS 25/VI	
Vertailumuuttujat:		
Lämpötila	150 – 135 °C	
Vaahdotusaika	10 – 20 s	
Sekoitusaika	45 s	
Sekoitusjärjestys	ensin karkea kiviaines, sitten hieno kiviaines	
Bitumi	B-120	
Uudet muuttujat:		
Sideainepitoisuus	4,5 – 5,0 – 5,5 %	(AB ja vaahdotettu AB)
	3,5 – 4,0 – 4,5 %	(bitumistabilointi)

Testit: Kuten tutkimuksessa nro. 3.

3.1.2 Vaahdotusasfaltit 2000-luvulla

LTA-kokeiluita vaahdotusasfaltilla jatkettiin Lemminkäisellä vuodesta 2003 lähtien. Vuodesta 2014 lähtien vaahdotuksen käyttöön asfaltinvalmistuksessa on alettu kiinnittää huomiota laajemmin ja menetelmä on otettu käyttöön useammalla asfalttitehtaalla. Kokemusten (Aas, 2013; Forstén, 2015; Truska, 2015; Vaa, 2015c) perusteella on todettu seuraavaa:

- LTA:a voidaan valmistaa vaahdotuksella ongelmitta alhaisilla RAP-määrillä.
- Polttoaineenkulutus pienenee 10–20 % alhaisemman valmistuslämpötilan ansiosta.
- Työskentelyolosuhteet paranevat.
- LTA-massan laatu on normaalia massaa tasaisempi.
- Tuotantokapasiteettia voidaan nostaa 10–20 tonnia tunnissa nopeamman sekoittumisen johdosta.

Nämä huomiot ovat pitkälti sen mukaisia, mitä alun perin matalalämpöasfaltteja valmistettaessa lähdettiin hakemaan. Kaikki kokemukset eivät kuitenkaan ole positiivisia, vaan seuraavia haasteita on kohdattu:

- Päällysten tyhjätilat saattavat nousta valmistuslämpötilan laskiessa (Josephsen, 2015).
- Vesisuuttimet voivat tukkeutua ja niiden puhdistus on työlästä (Truska, 2015).
- Asfalttitehtaan vaaonille ja suodattimiin tiivistyy kosteutta ja niitä täytyy puhdistaa normaalia useammin (Forstén, 2015; Vaa, 2015b).

- Bitumi on lämmitettävä normaalia kuumemmaksi, koska vaahdotus sitoo bitumin lämpöenergiaa (Truska, 2015; Vaa, 2015b).

Koska eri asfalttitehtaiden tekniikka poikkeaa hieman toisistaan, asfalttimassat ovat erityyppisiä ja paikalliset käytännöt vaihtelevia, on vaahdotusta hyödynnetty eri tavoin. Seuraavaksi luodaan katsaus eri paikkakuntien kokemuksiin matalalämpöasfaltin valmistuksesta Suomessa.

Pori

Haastattelu: Aluepäällikkö Jari Soikkeli, 20.3.2015

Porin tehtaalle vuonna 2003 asennetulla vaahdotuslaitteistolla tehtiin innokkaasti vaahdotuskokeita 2000-luvun alkuvuosina. Tämän jälkeen menetelmän käyttö hieman hiipui, kunnes vaahdotukseen alettiin taas kiinnittää enemmän huomiota 2010-luvulla. Porissa vaahdotusmassoja valmistettiin jälleen erityisesti vuosina 2014–2015. Porin tehtaalla valmistuslämpötilojen vaihtelu on ollut välillä 140–160 celsiusastetta. Toisinaan siis vaahdotusta on käytetty, vaikka asfalttimassa ei varsinaisesti olisi ollutkaan matalalämpöistä. Porissa valmistettavissa massoissa käytetään yleensä kohtalaisesti RAP:ia, ja matalalämpömassoissa on pyritty hieman normaalia alhaisempaan RAP-pitoisuuteen. Matalammissa valmistuslämpötiloissa on havaittu kosteuden tiivistymistä suodattimissa, koska kuivausrummusta poistuva ilma sisältää normaalia enemmän kosteutta. Suodatetun hienoineksen ruuvikuljetin on valuttanut vettä suodattimiin tiivistyvän kosteuden takia. Tästä syystä asfalttitehtaalla on herännyt huoli, joudutaanko suodattimia vaihtamaan normaalia useammin tukkeutumisen takia, jos LTA:n tuotantomäärät ovat suuria.

Porissa vaahdotuslaitteiston vesipumpun toiminta on aiheuttanut vaivaa vaahdotusmassojen valmistukseen. Pumpun toimintaa on jouduttu säätämään manuaalisesti ja etsimään oikeat säädöt sopivalle vesimäärälle vaahdotusmassan valmistuksen alkaessa. Pumpun paremmat anturit ja mittarit voisivat helpottaa järjestelmän käyttöä. Vesipumpun toiminnan takia pienten vaahdotusmassamäärien valmistus on ollut haastavaa: massan laatu on sitä parempaa ja tasalaatuisempaa, mitä enemmän sitä on valmistettu. Porissa sopiva massamäärä oikeiden asetusten löytymiselle on ollut noin 200 tonnia asfalttimassaa.

Levitystyömaalla massan ominaisuudet ovat olleet pääosin tyydyttävät. Selkeällä työkohteella, hyvissä olosuhteissa levitetystä LTA-massalla päästään normaalia asfalttipäällystettä vastaavaan laatuun. Paljon käsitöitä vaativilla kohteilla ja viileämissä olosuhteissa LTA-massalla ei kuitenkaan saavutettu yhtä hyviä lopputuloksia kuin normaalilla asfalttimassalla. Matalalämpöiseen massaan liittyvät negatiiviset ennakoasenteet saattavat myös vaikuttaa siihen, että massan ominaisuuksiin kiinnitetään enemmän huomiota.

Lohja

Haastattelut: Aluepäällikkö Atte Lyytikäinen, asfalttitehtaanhoitaja Lasse Kauppi, 13.8.2015

Lohjalla vaahdotuksen käyttöä testattiin erityisesti kesällä 2014. Valmistuslämpötilat olivat keskimäärin noin 140 °C. Vaahdotusmassan valmistus ei juuri teknisesti eronnut normaalin asfalttimassan valmistuksesta, mutta sekoitusvaiheessa kosteus aiheutti tiettyjä ongelmia asfalttitehtaalla. Asfaltin sekoittimesta noussut kosteus tiivistyi hienoainesvaa'an luokkuun saaden pölyn paakkuuntumaan. Paakkuuntunut hienoaines jäi kiinni luokkuun, jolloin luokku jäi hieman auki ja vuotamaan. Tällöin myös vaa'an lukema oli epäluotettava.

Lohjan asfalttitehtaalla käytetään hyvin paljon RAP:ia, mikä rajoittaa vaahdotuksen käyttöä. Suurilla RAP-määrillä massan on todettu olevan vaikeaa käsitellä työmaalla ja kosteusongelmat asfalttitehtaalla korostuvat. Käytettäessä pieniä RAP-pitoisuuksia massaan työstettävyys on ollut parempi ja vesihöyryn aiheuttamat ongelmat tehtaalla pienemmät.

Matalilla RAP-pitoisuuksilla massoja on siis voitu valmistaa normaalia asfalttia vastaavilla ominaisuuksilla.

Turku

Haastattelu: Aluepäällikkö Ville-Veikko Jäppilä, 27.4.2016; Asfalttitehtaanhoitaja Petri Saarinen, 4.9.2015

Turun asfalttitehtaalla vaahdotusta on tehty noin 140–145 celsiusasteen valmistuslämpötiloissa. Turussa käytetään yleisesti suurta RAP-määrää: Lohjan asfalttitehtaan tapaan tämä rajoittaa vaahdotuksen käyttöä. Vuonna 2014 Turussa valmistettiin vähäisiä määriä LTA:ta ja vuonna 2015 ei juuri ollenkaan.

Turussa on havaittu, että vaahdotusta käytettäessä ylimääräistä kosteutta tiivistyy tehtaan ruuvikuljettimiin. Tämä aiheuttaa ylimääräistä tarkkailua ja puhdistuksen lisäämistä.

Turun kaupunki on osoittanut kiinnostusta vähäpäästöisemmillä asfalteilla päällystettäviin kohteisiin vuonna 2016. LTA:n valmistuksesta vaahdotusta käyttämällä voi siis jatkossa olla hyötyä kilpailutilanteessa alhaisemman energiankulutuksen ja pienempien päästöjen ansiosta.

Oulu

Haastattelu: Työmaapäällikkö Pasi Kauppi, 26.4.2016

Oulun asfalttitehtaalla vaahdotusasfalttia on tehty hyvin paljon vuosina 2014–2015. Valmistuslämpötilat ovat kuitenkin olleet 150–160 astetta, eli lähempänä normaalin asfalttimassan valmistuslämpötilaa kuin matalalämpöasfalttia. Oulussa ongelmia on

tuottanut kuivausrummun polttimen säätö: poltinta ei ole saatu optimoitua alhaisiin valmistuslämpötiloihin. Asfalttimassan valmistuslämpötilaa ei ole saatu laskettua alle 150 asteen eli varsinaisiin LTA-lämpötiloihin.

Vaahdotusta on kuitenkin käytetty lähes kaikkiin valmistettuihin asfalttimassoihin ja järjestelmän on todettu toimivan. Asfalttitehtaalla ei ole esiintynyt kosteuden aiheuttamia ongelmia. Päällystyskaudella 2016 Oulussa pyritään jatkamaan vaahdotuksen käyttöä ja kuivausrummun polttimen optimointia alhaisempien valmistuslämpötilojen saavuttamiseksi.

Seinäjoki

Haastattelu: Aluepäällikkö Arto Savela, asfalttitehtaanhoitaja Jarno Ojaniemi, 27.4.2016

Seinäjoella vaahdotusmassoja on tehty vähäisissä määrin. Vaahdotuksen yhteydessä asfalttitehtaalla on havaittu kosteusongelmia suodattimissa. Matalamman valmistuslämpötilan takia kuivausrummusta poistuva ilma sisältää kosteutta, joka tiivistyy suodatinlaitteistoon.

Seinäjoella on käytössä keskisyöttöinen kuivausrumpu, joten RAP:n käyttö on vähäisempää muihin asfalttitehtaisiin nähden.

Kesällä 2015 Seinäjoella valmistettiin matalalämpöistä asfalttia ilman vaahdotusta. Hieman RAP:ia sisältäneen asfalttimassan valmistuslämpötilaa saatiin laskettua jopa alle 130 asteen päällysteen laadun kärsimättä. Kohteena oli Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen urakka, jossa kokonaistonnimäärät olivat suuret, työkohde oli selkeä sekä välimatka asfalttitehtaan ja työmaan välillä lyhyt. Lisäksi ulkoilman lämpötila oli erittäin lämmin, eli levitystyö päästiin suorittamaan ihanteellisissa olosuhteissa. Tällainen lämpötilanpudotus ilman matalalämpömenetelmien käyttöä vaatii lähes täydelliset olosuhteet, jotta päällystys voi onnistua.

Lappeenranta

Haastattelu: Aluepäällikkö Pasi Heimonen, 13.5.2016

Lappeenrannassa vaahdotusmassoja on valmistettu vuosina 2014–2015. Asfalttitehtaalla on havaittu ylimääräistä höyryä ja metalliosien korroosiota vaahdotuksen ja matalan valmistuslämpötilan aiheuttaman kosteuden seurauksena. Valmistuksen osalta kaikki on muuten mennyt hyvin ja päällystys on ollut normaaliin verrattavaa.

3.1.3 Kokemuksia ulkomailta

Lemminkäinen toimii päällystysurakoitsijana Suomen lisäksi myös muissa Pohjoismaissa sekä Baltiassa. LTA:n valmistuksessa bitumin vaahdotusmenetelmä on laajimmin käytössä, mutta esimerkiksi Tanskassa ja Norjassa on kokeiltu myös erilaisten

kemikaalien käyttöä. Seuraavaksi luodaan katsaus LTA:n valmistus- ja levityskokemuksiin Suomen ulkopuolella.

Norja

Norjassa LTA-massoja on tehty melko paljon. LTA–2011-projekti aloitti Norjassa suuremman kiinnostuksen LTA:n valmistukseen. Tutkimuksessa eri asfalttiyritykset rakensivat 11 koekohdetta kuudella eri LTA-tekniikalla, tavoitteena tutkia asfalttityöntekijöiden työolosuhteita ja LTA:n laatua. Norjassa mitattiin erinomaisia tuloksia työolosuhteiden parantumisesta matalalämpöasfaltin levityksessä (Vaa, 2015a). Kokeilun tuloksista rohkaistuneina Norjan tieviranomaiset tukivat LTA:n valmistusta 30 kruunun suuruisella bonuksella LTA-tonnia kohden vuosina 2013–2015. Bonusta sai, kun asfalttia valmistettiin vaahdotusmenetelmällä yli 25 °C normaalia alhaisemmassa lämpötilassa. Valmistuslämpötiloja seurattiin asfalttitehtaiden dokumentoinnista. (Vaa, 2016, 2015c; Lounge, 2014.)

Norjassa asfaltit on yleensä valmistettu kokonaan tuoreesta bitumista, jolloin vaahdotus on ollut erittäin toimiva menetelmä LTA:n valmistukseen. Vuonna 2015 LTA:n valmistusmäärä kääntyi kuitenkin laskuun Lemminkäisellä Norjassa, yhtenä syynä kierrätysasfaltin lisääntynyt käyttö. Vuonna 2016 Norjassa ei myöskään enää makseta bonusta LTA:n valmistuksesta. (Vaa, 2016.) Taulukosta 7 voidaan nähdä LTA:n valmistuksen kehitystä Norjassa viimeisen kolmen päällystyskauden ajalta.

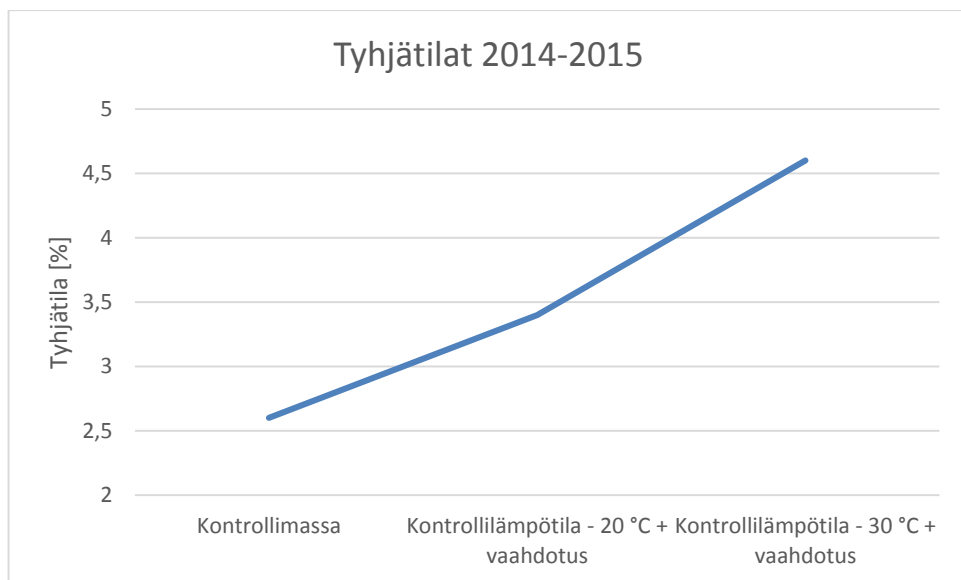
Taulukko 7. LTA:n valmistusmäärät Norjassa vuosina 2013–2015 (Vaa, 2015b).

	2013 31.12	2014 31.12	2015 30.09
Lmk Norway	105	197	71
NCC Roads	134	142	222
Nordasfalt			7
Peab		2	10
Skanska	3	3	
Veidekke Industri	96	188	187
Velde Produksjon		9	36
Total	338	541	535

Norjassa LTA:n valmistukseen on käytetty enimmäkseen vaahdotusmenetelmää, mutta LTA–2011-projektissa koekohteita valmistettiin myös Cecabase RT -lisäaineen avulla.

Tanska

Tanskassa vaahdotusasfalttia on valmistettu vuodesta 2014 alkaen. Menetelmää on testattu vuosina 2014–2015 hyvinkin alhaisilla (jopa 123 °C) valmistuslämpötiloilla. Asfaltin laatu on ollut hyvä ja polttoaineenkulutuksessa on päästy noin 15 % säästöön. Matalissa lämpötiloissa työskentelyolosuhteet ovat parantuneet, mutta on myös huomattu, että käsin työستettäessä massa on normaalia vaikeampaa käsitellä ja päällysteen tyhjätilojen sekä tiheyden arvot ovat normaalia heikommat. Kuvassa 14 on esitetty Tanskassa mitattujen kohteiden tyhjätilojen keskiarvot. Matalin arvo on normaalilämpöisellä kontrollimassalla. Vaahdotusmassat on valmistettu kontrollimassaa 20 °C ja 30 °C matalammissa lämpötiloissa. Tyhjätiloissa voidaan nähdä selvästi nouseva trendi valmistuslämpötilan laskun seurauksena. (Josephsen, 2015.)



Kuva 14. LTA-koekohteiden tyhjätilat Lemminkäisellä Tanskassa vuosina 2014–2015 (Josephsen, 2015).

Liettua

Liettuassa kokemukset LTA-päällysteiden laadusta ovat olleet pääosin positiivisia. Päällysteissä ei ole ollut nähtävissä vikoja ja ulkonäkö on vastannut normaalilämpöisenä valmistetun päällysteen ulkonäköä. Asfalttityöntekijät eivät ole huomanneet eroa LTA-massojen ja normaalilämpöisten massojen välillä. Asfalttitehtaiden tuotantokapasiteettia on pystytty nostamaan nopeamman sekoittumisen ansiosta. Liettuassa on käytetty melko matalia RAP-pitoisuuksia. (Lemminkäinen Liettuassa, 2014b.)

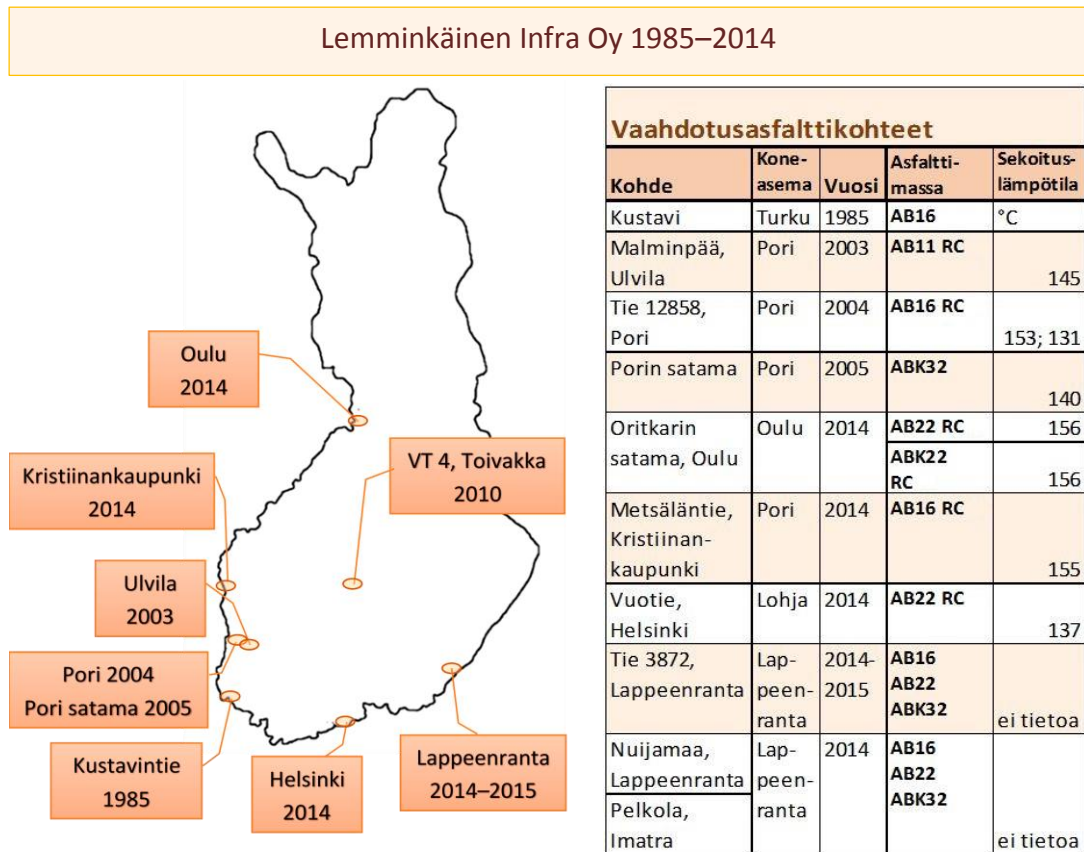
Vuonna 2015 vaahdotusasfaltin valmistusta jatkettiin keräten samalla dataa energiakulutuksesta. Mittaustuloksissa osoittautui, että raaka-aineiden lämmittämiseen käytettävän maakaasun kulutus pieneni. Tuloksia pidettiin kuitenkin epätarkkoina pienten valmistusmäärien, vaihtelevan kiviaineksen kosteuspitoisuuden ja kulutuksessa käytettyjen mittarien epätarkkuuden takia. (Truska, 2015.)

Liettuassa havaittiin, että parhaan toimivuuden varmistamiseksi asfalttitehdas on hyvä lämmittää kokonaan lämpimäksi ennen vaahdotusasfaltin valmistamista. Erityisesti bitumin lämpötila on oltava korkea vaahdotusta käytettäessä. Liian viileällä koneistolla bitumiin suihkutettava vesimäärä on liian suuri ja bitumi jäähtyy liikaa. Liettuassa nousi myös esille vesisuuttimien tukkeutuminen erityisesti, kun vaihdeltiin massalaatujen valmistusta vaahdotusmassojen ja normaalimassojen välillä. Myös syötettävän veden määrän kontrolloinnissa oli vaikeuksia, kun valmistettiin eri massalaatuja. (Truska, 2015.)

3.2 Koekohteet Suomessa

Lemminkäisen ensimmäiset vaahdotusasfalttikokeilut on tehty jo 1980-luvun alussa. Aluksi tutkittiin lähinnä, miten bitumin vaahdotus käyttäytyy ja miten sillä voidaan muokata asfaltin ominaisuuksia. Kiinnostus varsinaisen matalalämpöasfaltin valmistukseen alkoi kuitenkin vasta 2000-luvun alkupuolella. Tämän jälkeen matalalämpöasfaltteja on valmistettu vaahdotusmenetelmällä seurannan ja dokumentaation ollessa vaihtelevaa. Toisinaan asfalttimassoja on valmistettu matalalämpöisinä, mutta kohteista ei ole tehty erityisempää seurantaa. Työmaalla on saatettu todeta, että päällyste on hyvälaatuista, ja kokemukset on jätetty kirjaamatta ylös. Toisinaan taas massoja on valmistettu vaahdotusta käyttämällä, mutta normaaleissa valmistuslämpötiloissa. Esimerkiksi Oulun asfalttitehtaalla valmistettiin lähes kaikki normaalilämpöiset massat vaahdotuksella vuonna 2015.

Tietoa vaahdotusasfalteista on siis kerätty, mutta on myös paljon niin sanottua hiljaista tietoa, jota ei ole dokumentoitu mitenkään. Tähän lukuun on kerätty tiedot eri paikkakunnilla tehdyistä, dokumentoiduista seurantakohteista. Näistä kohteista on yleensä tallessa päällystyksen yhteydessä tehtyjä huomioita, valmistukseen liittyviä kokemuksia sekä esimerkiksi porapaloihin perustuvia päällystetutkimuksia. Kuvassa 15 on lueteltu tässä tutkimuksessa käsitellyt seurantakohteet.



Kuva 15. Kooste Lemminkäinen Infra Oy:n tekemistä vaahdotusasfalttikohteista.

Kustavintie, Raisio – 1985

Vuonna 1985 valmistettiin Turussa AB16-massaa vaahdotettuna ja se levitettiin Kustavintielle Raisioon. Tällöin ei vielä kiinnitetty huomiota asfaltin valmistuslämpötilan pudottamiseen tai matalalämpöasfaltteihin, vaan tavoitteena oli tutkia, voidaanko asfalttimassan sideainepitoisuutta vähentää. Taustalla oli halu laskea asfaltin raaka-ainekustannuksia säästämällä bitumin määrässä ja sitä kautta asfaltin valmistuskustannuksissa. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 8.

Taulukko 8. Kustavintien v. 1985 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Mt 192, Kustavintie, Raisio			Asfalttitehdas: Turku		
Massa nro.	Asfaltti- massa	Sideaine- pitoisuus	Sekoitus- lämpötila	Tyhjätila	Jäykkyys- moduuli
			°C	%	MPa
1	AB16/80	5,9 %	150	2,9	ei tietoa
2	AB16/80 + foamaus	5,9 %	150	1,6	ei tietoa
3	AB16/80 + foamaus	5,4 %	150	2,4	ei tietoa
4	AB16/80 + foamaus	5,4 %	130	2,3	ei tietoa

Kustavintiellä tehtiin päällysteen profiilimittauksia vuosina 1985–1988. Mittausten perusteella todettiin, että vaahdotusasfalttiosuuksilla urat olivat hieman muuta kohdetta suuremmat. Kokonaisuudessaan kohteen kulumat olivat kuitenkin samalla tasolla. Alhaisimmalla bitumiprosentilla valmistetussa vaahdotuspäällysteessä todettiin vaurioita, muut osuudet olivat hyvässä kunnossa.

Kustaviin valmistetut päällysteet toimivat normaalilla tavalla ja kokeilut olivat sinänsä onnistuneita. Matalamman sideainepitoisuuden asfalttimassan valmistuksen jatkaminen ei kuitenkaan ollut mahdollista sideainepitoisuutta rajoittavien normien takia. Näin vaahdotusasfaltinvalmistus hiipui ja vaahdotumin käyttö jatkui ainoastaan tien rakennekerrosten vaahdotumistabiloinnissa, joka on edelleen erittäin käytetty pohjanvahvistusmenetelmä. (Forstén, 2015.)

Malminpää, Ulvila – 2003

Lemminkäisen kiinnostus vaahdotumiasfaltin valmistukseen heräsi uudestaan 2000-luvun alkupuolella. Porin asfalttitehtaalla valmistettiin Ulvilan Malminpään asuntoalueelle kahta vaahdotusmassaa, joiden ominaisuuksia verrattiin normaaliin asfalttimassaan. Vaahdotusmassoista toinen valmistettiin noin 145 celsiusasteen lämpötilassa ja toinen lähempänä normaalia valmistuslämpötilaa keskimäärin 172 asteessa. Kontrollimassan valmistuslämpötila oli hyvin korkea verrattuna nykyisiin valmistuslämpötiloihin, noin 180 °C. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 9.

Taulukko 9. Ulvilan v. 2003 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Malminpää, Ulvila			Asfalttitehdas: Pori		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Tyhjätila	Jäykkyys-moduuli
			°C	%	MPa
1	AB11 RC	5,6 %	180	4,6	2343
2	AB11 RC + foamaus	5,6 %	145	6,5	2295
3	AB11 RC + foamaus	5,6 %	172	7,3	2191

Päällysteistä tehtiin perusteelliset tutkimukset ja kylmästä -2 °C ulkolämpötilasta huolimatta päällystys onnistui hyvin. Asfalttimassojen todettiin olevan koostumukseltaan samankaltaisia, eikä eri koeosuuksien välillä ollut suuria sideainepitoisuus- tai rakeisuuseroja. Poranäytteiden tyhjätilatrendissä oli nähtävissä, että vaahdotumimassoissa oli hieman kontrollimassaa korkeammat tyhjätilat. Massalla

numero 3 korkean tyhjätilan arveltiin johtuvan 34 mm ohuesta päällysteen kerrospaksuudesta ja kylmästä ulkolämpötilasta.

Kokeen lopputulosta pidettiin onnistuneena ja vuodelle 2004 tavoitteeksi asetettiin vaahdotuskokeiden jatkaminen. Jatkotutkimuksissa ehdotettiin tutkittavaksi suuremman mittakaavan päällystyskohteita paremmissa olosuhteissa, suuremmilla massapaksuuksilla ja useammilla muuttujilla.

Vanha Raumantie, Pori – 2004

Vuonna 2004 päästiin kokeilemaan matalalämpöasfaltin valmistusta vaahdotuksella Turun tiepiirin Turku 1 -päällystysurakassa. Koekohteeksi valikoitui Luvian paikallistien 12858 eli Vanhan Raumantien noin 1,3 kilometriä pitkä osuus Leppäkorventiestä Luvialle päin. Kohde on Porin ja Luvian välinen yhdystie, jonka keskivuorokausiliikenteeksi arvioitiin noin 1550 ajoneuvoa.

Kokeessa haluttiin erityisesti testata vaahdotuksen käyttöä RC-massassa ja asfaltin valmistuslämpötilan alentamista vaahdotuksen avulla. Päällysteissä käytettiin AB16 RC -massoja. Normaalilämpöisistä kontrollimassoista toinen valmistettiin ilman vaahdotusta, toinen vaahdotuksen kanssa ja varsinaiset koemassat vaahdotuksella kontrollimassoja alhaisemmissa lämpötiloissa. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 10.

Taulukko 10. Porin v. 2004 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Tie 12858 (Vanha Raumantie), Pori				Asfalttitehdas: Pori		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Levitys-lämpötila	Tyhjätila	Jäykkyys-moduuli
			°C	°C	%	MPa
1	AB16 RC	5,4 %	173	148	2,7	4700
2	AB16 RC + foamaus	5,6 %	173	150	2,7	4610
3	AB16 RC + foamaus	5,4 %	153	135	2,6	4590
4	AB16 RC + foamaus	5,6 %	131	115	2,6	4530

Päällystyskokeen suoritettiin heinäkuussa 2004 poutaisissa olosuhteissa ja noin 16–21 °C lämpötiloissa. Eri massat toimivat päällystyksessä hyvin ja työt sujuivat normaalisti. Kylmimmän massan raportoitiin olleen melko jäykkää käsin työstämiseen. Työ tehtiin massapintauskohdeella päällysteen paksuuden vaihdellessa 10 millimetristä lähes 100 millimetriin. Eri asfalttien tyhjätiloissa ei todettu olevan eroa ja päällysteiden lujuudet

olivat samaa luokkaa. Vaahdotuksella siis saatiin valmistuslämpötilaa laskettua laadun kärsimättä. Matalalämpöistä koeosuutta ilman vaahdotusta ei tosin tehty.

Koekohteen kuntoa on seurattu vuosien mittaan silmämääräisesti. Vuonna 2016, kaksitoista vuotta päällystämisen jälkeen, päällyste näyttää kestäneen kulutusta hyvin. Päällysteeseen syntyneet vauriot ovat lähinnä poikittaishalkeamia tai reunan verkkomurtumia, jotka johtuvat todennäköisesti tien pohjarakenteen ominaisuuksista. Halkeamista huolimatta päällysteen pinta on hyvälaatuinen eikä ole lähtenyt purkautumaan muutamia isompia halkeamakohtia lukuun ottamatta.



Kuvat 16. A. ja B. Vuonna 2004 tehtyä matalalämpöpäällystettä, Vanha Raumantie, Pori (valokuvat T. Härkälä, 26.4.2016).

Porin satama – 2005

Porin sataman projektissa vaahdotusta kokeiltiin pohjakerroksen ABK-massoihin. ABK32-massojen RAP-osuus oli tähän mennessä tehtyjä koekohteita korkeampi. Valmistuslämpötilat olivat 170 °C ja 140 °C, ja molemmissa lämpötiloissa valmistettiin sekä vaahdotettua että vaahdottomatonta massaa. Päälysteet olivat jälleen melko ohuita, paksuuden vaihdellessa noin 60–80 millimetrin välillä. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 11.

Taulukko 11. Porin sataman v. 2005 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Porin satama, Pori			Asfalttitehdas: Pori		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Tyhjätila	Jäykkyyss-moduuli
			°C	%	MPa
1	ABK32	3,9 %	170	4,4	5170
2	ABK32 + foamaus	4,0 %	170	5,1	5200
3	ABK32 + foamaus	3,6 %	140	4,8	5095
4	ABK32	3,5 %	140	7,5	3945

Päällystyksen suoritettiin syksyllä 2005 erittäin huonoissa sääolosuhteissa, ulkolämpötilan ollessa noin 5–9 °C. Tämän lisäksi tuulen nopeus oli erittäin voimakas ja mereltä tullut kosteus aiheutti voimakasta jäähtymistä asfalttimassoissa. Lopputuloksena kuitenkin vaahdotetun massan tyhjätilat olivat matalalämpöisenäkin sopivissa rajoissa. Massan nopea jäähtyminen kuitenkin aiheutti myöhemmin muun muassa saumojen purkautumista ja huonoa työpöytäkohteella. Lisäksi ilman vaahdotusta tehdyllä 140-asteisella massalla päällysteen tyhjätilat olivat huomattavasti muita massoja suuremmat. Myöskään työn tilaajan antama palaute työn laadusta ei ollut pelkästään positiivista. Jälkikäteen voidaan todeta, että nämä kokeet tehtiin aivan menetelmien ääriarajoilla.

Satamaan tehtiin ABK-päällysteiden jälkeen osittain pintamassoja seuraavana vuonna. Aluetta on myös käyty paikkaamassa useaan otteeseen kovan kulutuksen ja ohuiden massakerrosten takia.

Valtatie 4, Toivakka-Vaajakoski – 2010

Valtatien 4 rakennusurakassa Lemminkäisellä keskityttiin pääasiassa kiviaineksen kosteuden seurantaan kesän 2010 aikana. Tavoitteena oli saada vertailutietoa siitä, kuinka sääolosuhteet vaikuttavat eri kiviaineslaatuksen kosteuspitoisuuteen ja kuinka

kosteusprosenttia laskemalla voidaan säästää energiankulutuksessa. Asfaltin valmistuslämpötilan laskeminen ja vaahdotuksen käyttö oli osa tehtyä kokeilua. Kokeessa pyrittiin löytämään alin mahdollinen lämpötila, jossa asfaltin valmistaminen ilman vaahdotusta oli mahdollinen. Tämän jälkeen lämpötilaa pyrittiin saamaan vielä alemmaksi vaahdotuksen avulla.

Kohteella toteutettiin samanaikaisesti myös lämpökameratutkimuksia jyrään asennettavan lämpökameran ja GPS-laitteiston avulla. Työn aikana testattiin myös 3D-koneohjausta asfaltinlevittimessä. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 12.

Taulukko 12. Valtatie 4 v. 2010 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Valtatie 4, Toivakka-Vaajakoski			Asfalttitehdas: Jyväskylä		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Tyhjättila	Jäykkyys-moduuli
			°C	%	MPa
1	ABK32	4,1 %	143	3,1	ei mitattu
2	ABK32 + foamaus	4,1 %	133	2,2	ei mitattu
3	ABK32 + foamaus	4,1 %	140	2,2	ei mitattu

Mitatuista lämpötiloista ja koeosuuksien sijainnista on säilynyt tarkkaa tallennettua dataa. Muita tietoja, kuten päällysteen ominaisuuksia, käsitteleviä tietoja ei ole löytynyt.

Oritkarin satama, Oulu – 2014

Oulun yksikön seurantakohte on Oritkarin sataman päällyste syyskuulta 2014. Satamaan levitettiin ABK22-pohjamassa ja AB22-pintamassa. Molemmat massat valmistettiin vaahdotuksella. Valmistuslämpötila 156 °C ei vastaa matalalämpöasfaltin määritelmää, mutta Oulussa lämpötilaa ei ole saatu laskettua LTA-lämpötiloihin polttimen asetuksista johtuen. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 13.

Taulukko 13. Oritkarin sataman v. 2014 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Oritkarin satama, Oulu			Asfalttitehdas: Oulu		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Tyhjättila	Jäykkyys-moduuli
			°C	%	MPa
1	AB22 RC + foamaus	4,9 %	156	1,9	ei mitattu
2	ABK22 RC + foamaus	4,4 %	156	5,0	ei mitattu

Päällysteen tyhjätilat olivat porapalojen perusteella kunnossa. ABK-massassa tyhjätilat olivat AB-massaa korkeammat, mikä saattaa johtua paksusta, noin 10 cm massakerroksesta. Päällysteessä ei ole toistaiseksi ollut nähtävissä mitään normaalista poikkeavaa käyttäytymistä.

Metsäläntie, Kristiinankaupunki – 2014

Porin yksikön ensimmäinen vuoden 2008 jälkeen raportoitu vaahdotusasfalttikohde oli Metsäläntien pintaus Kristiinankaupungissa vuonna 2014. Kohde on rauhallinen kylätie, jolla nopeusrajoitus on 60 km/h. Massana käytettiin AB16, joka valmistettiin 155 °C lämpötilassa. Päällysteen laatu tutkittiin porapaloilla kummaltakin kaistalta. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 14.

Taulukko 14. Kristiinankaupungin v. 2014 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Metsäläntie, Kristiinankaupunki			Asfalttitehdas: Pori		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Tyhjätila	Jäykkyyss-moduuli
			°C	%	MPa
1	AB16 RC + foamaus	5,4 %	155	1,7	ei mitattu

Päällystyks onnistui hyvin, päällyste oli siisti ja laatu hyvä (Kuva 17). Massa levisi normaalisti eikä aiheuttanut ongelmia työmaalla. Tutkitut tyhjätilat olivat alhaiset. Kohteeseen 300 m² alalle asennettu Bitutex-verkko ei aiheuttanut hankaluuksia, vaikka massan lämpötila oli hieman normaalia matalampi. Asfaltti ei kuitenkaan ollut varsinaisesti matalalämpöistä. Kohde on vuosittaisessa silmämääräisessä seurannassa pinnan laadun suhteen ja se on säilynyt hyvänä vuoteen 2016 mennessä.



Kuva 17. Metsäläntie Kristiinankaupungissa (kuva J. Soikkeli, 23.9.2014).

Vuotie, Helsinki – 2014

Vuotien koekohde Vuosaassa oli Staran Helsingin kaupungille tilaama päällystyskohde, jossa tehtiin vertailua Lemminkäisen ja NCC:n matalalämpöasfalttien välillä. Kumpikin yhtiö teki noin kahden kilometrin mittaiselle tieosuudelle kaksi eri koeosuutta matalalämpömassoilla, minkä lisäksi Lemminkäinen teki lyhyen kontrolliosuuden normaalilämpöisellä asfaltilla. Asfaltti oli AB16-massaa alhaisella RAP-pitoisuudella. Työmaalla tehtiin Aalto-yliopiston toimesta päällysteen lämpötilamittaukset yhteensä 250 mittauspisteessä. Asfaltin valmistuslämpötila asfalttitehtaalla oli noin 140 °C ja työmaalla mitattu pinnan lämpötila keskimäärin 127 °C. Lisää tutkimustuloksia löytyy Riku Tujusen (2016) diplomityöstä *Perinteisten asfalttibetonipäällysteiden korvaaminen matalalämpöasfaltilla Helsingissä osana kasvihuonepäästöjen vähentämistä*. Kooste koekohteesta on esitetty Taulukossa 15.

Taulukko 15. Vuotien v. 2014 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Vuotie, Helsinki			Asfalttitehdas: Lohja		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideaine-pitoisuus	Sekoitus-lämpötila	Tyhjätila	Jäykkyys-moduuli
			°C		
1	AB22 RC	5,4 %	ei mitattu	2,0	ei mitattu
2	AB22 RC + foamaus	5,4 %	137	4,2	ei mitattu

Levitys onnistui hyvin eikä massa poikennut laadultaan totutusta. Joissakin kohtaa massan todettiin olevan hieman jäykkää käsistöihin. Tämän voitiin havaita katselmuksella keväällä 2016, kun esimerkiksi kaivoryppäiden ympäristössä pinta on hieman normaalia harvempaa. Pääosin päällyste kuitenkin näyttää hyvältä eikä normaalista poikkeavaa kulumista ole havaittavissa (Kuva 18).



Kuva 18. Vuotien matalalämpöasfalttipäällystettä. Vasemmalla NCC:n tekemä kaista, oikealla Lemminkäisen (kuva P. Hujanen 21.4.2016).

Lappeenranta 2014–2015

Lappeenrannassa tehtyjä LTA-kohteita ovat tie numero 3872 (Vesitormentie) vuosina 2014–2015 sekä Nuijamaan ja Pelkolan raja-asemat Lappeenrannassa ja Imatralla. Vaahdotusmassa on ollut hyvälaatuista ja työnjälki tasainen. Työkohteet ovat olleet luonteeltaan selkeitä, levittimellä päällystettäviä kohteita. Päällysteen laatu on ollut hyvä eikä vaurioita ole toistaiseksi havaittu. Massan tiivistyksessä todettiin vaikeuksia ja päällysteiden tyhjätilojen todettiin olevan korkeammat kuin normaaleissa päällysteissä. Tyhjätilat pysyivät kuitenkin pääosin laatuvaatimusten rajoissa. Tyhjätila- ja massatutkimuksista ei ole säilytetty tutkimustuloksia. (A. Heikkinen, sähköposti 27.4.2016; P. Heimonen, haastattelu 13.5.2016.) Kooste koekohteista on esitetty Taulukossa 16.

Taulukko 16. Lappeenrannan v. 2014–2015 vaahdotusasfalttikohteen tiedot.

Nuijamaan raja-asema, Lappeenranta Pelkolan raja-asema, Imatra			Tie 3872, Vesitorrintie, Lappeenranta		
Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideainepitoisuus	Massa nro.	Asfaltti-massa	Sideainepitoisuus
1	AB16 + foamaus	5,3 %	1	AB22 + foamaus	5,3 %
2	AB22 + foamaus	5,3 %	2	ABK32 + foamaus	4,6 %
3	ABK32 + foamaus	4,6 %			

3.3 Yhteenveto

Aikaisemman tiedon perusteella vaahdotusasfalttia on tehty melko paljon viimeisen reilun kymmenen vuoden kuluessa. Asfaltin laatu on muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta ollut hyvää ja päällyste on kestänyt kulumista ja purkautumista. Toisaalta pitkäaikaisia seurantakohteita on vielä vähän ja moni kohteista on tehty vaahdotuksella, mutta normaaleissa valmistuslämpötiloissa.

Yleisesti ottaen kiinnostus vaahdotusasfaltin tutkimiseen on Lemminkäisellä ollut suuri jo hyvin aikaisessa vaiheessa. Ensimmäiset kokeilut 1980-luvulla loivat pohjan vaahdotumistabiloinnille, jota Lemminkäinen tekee paljon edelleen tänäkin päivänä. Vaahdotuksen käyttö onkin vankalla pohjalla ja teknisessä mielessä siinä ei ole kohdattu ongelmia. Matalalämpöasfaltin valmistamiseen sitä on kuitenkin käytetty toistaiseksi melko vähän. Varsinaisia matalalämpöasfalttikokeiluja on tuntunut varsinkin Suomessa vaivaavan kaksi asiaa: vaahdotusmassat on valmistettu normaaleissa valmistuslämpötiloissa, ei matalalämpöasfaltteina, ja koekohteiden dokumentointi sekä seuranta on monesti tehty huolimattomasti.

Erilaisia kokeita on siis tehty hyvin paljon, mutta kukaan ei tarkalleen tiedä, mitä ja minne. Ongelmana on ollut kokeiden organisointi siten, että tehdyt kokeet olisivat kaikkien tiedossa ja tarvittaessa tiedot löydettävissä. Myös tarkkaa tietoa valmistetuista asfalttimääristä on ollut vaikea koota, koska asfaltteja on valmistettu LTA-nimikkeellä, vaikka niitä olisi valmistettu vaahdotuksella normaaleissa lämpötiloissa. Toimintatavat ovat joka paikkakunnalla hieman erilaiset, joten raportoinnissa on esiintynyt kirjavuutta.

Henkilöhaastatteluissa tulivat monesti esille ennakkoluulot matalalämpöistä asfalttia kohtaan. Perinteisesti on ollut niin, että työmaalle saapuva ”kylmä” asfaltti on automaattisesti huonolaatuista. LTA-tekniikat ovat tämän takia saaneet välillä nihkeän

vastaanoton kenttäolosuhteissa. Ennakoasenteet saattavat vaikuttaa siten, että massan ominaisuuksia myös arvostellaan herkemmin, jos tiedossa on, että on käytetty esimerkiksi vaahdotusta ja alhaista valmistuslämpötilaa. Äärimmäisissä olosuhteissa saattaa ollakin, että LTA-massan ominaisuudet eivät vastaa kuuma-asfaltin ominaisuuksia. LTA:n valmistuksessa, kuten minkä tahansa asfalttimassan valmistuksessa, onkin käytettävä käytännön järkeä ja mukautettava massan valmistuslämpötilaa levitysolosuhteiden mukaan. Olosuhteisiin sopivilla asetuksilla valmistettu LTA-massa voi aivan varmasti täyttää samat laatuvaatimukset kuin normaalilämpöinen asfalttimassa.

Tilaajapuolellakin alkaa lähitulevaisuudessa olla aistittavissa kiinnostuksen herääminen matalalämpöasfaltteihin. Helsingin kaupungin vuonna 2014 teettämä Vuotie osoitti jo, että vertailua eri asfalttiyritysten LTA-päällysteiden välillä haluttiin tehdä. Turussa ollaan suunnittelemassa vuodelle 2016 valmiuden LTA:n valmistukseen olevan yksi urakkatarjousten valintakriteereistä. Yhteiskunta alkaneen pikkuhiljaa heräämään matalalämpöasfaltin kehitykseen, joten kehitystä kannattaa jatkaa.

Pelkästään Suomessa vuosina 2014–2015 tehtyjen yli 360 000 tonnin lisäksi Lemminkäisellä on valmistettu vaahdotusmassoja jo pitkän aikaa. Kokonaisvolyymi ulkomaat lukien on siis jo reilusti yli puoli miljoonaa tonnia vaahdotusasfalttia.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT JA TUTKIMUKSEN SUORITUS

Tämän diplomityön tutkimus suoritettiin kirjallisuuskatsauksena, henkilöhaastattelujen avulla sekä empiirisellä osuudella. Kirjallisuuskatsauksessa luotiin katsaus matalalämpöasfaltin valmistamiseen ja käytiin läpi erityyppiset LTA-menetelmät. Haastatteluissa kerättiin vaahdotusasfaltteihin liittyvää tietoa Lemminkäisen henkilöstöltä. Haastattelujen lisäksi tutkimuksessa tehtiin kirjallisten dokumenttien perusteella kooste Lemminkäisen tekemistä vaahdotusasfalttikohteista ja -tutkimuksista.

Haastattelujen ja aikaisempien kokemusten perusteella suunniteltiin koejärjestelyt, joiden tarkoituksena oli kartoittaa vaahdotuksen avulla valmistetun matalalämpöasfaltin ominaisuuksia verrattuna normaaliin asfalttiin.

4.1 Kirjallisuuskatsaus ja haastattelut

Kirjallisuudessa lähdeainestoina toimivat laaja määrä asfalttialan tutkimuksia ja julkaisuja. Eri LTA-menetelmistä löytyi tietoa erityisesti EAPA:n ja NAPA:n julkaisuista ja valmistajien omilta verkkosivuilta. Asfaltin ja bitumin ominaisuuksia on tutkittu melko paljon jo 1950-luvulta lähtien, joten lähdeaineistoa on saatavilla melko hyvin internetin tietokannoissa.

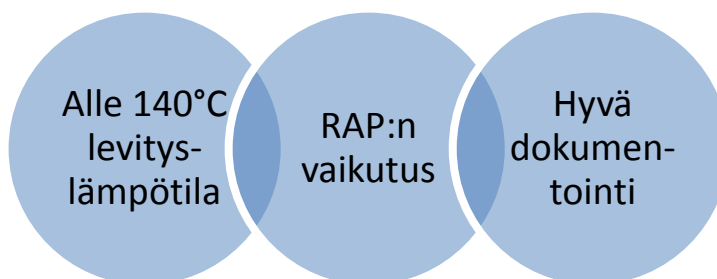
Lemminkäisen omassa aineistossa käytiin läpi yrityksen henkilökuntaa eri paikkakunnilta ja suoritettiin tutustumiskäyntejä eri kaupunkien asfalttitehtaille ja koekohteille. Haastateltavina oli aluepäälliköitä, työmaapäälliköitä ja asemanhoitajia Tampereelta, Turusta, Lohjalta, Lappeenrannasta, Seinäjoelta, Porista ja Oulusta. Tutustumiskäynnit tehtaille tehtiin Lohjalla, Porissa sekä Tampereella, minkä lisäksi aikaisemmin vaahdotusasfaltilla päällystettyjä kohteita käytiin silmämääräisesti arvioimassa Porissa ja Helsingissä.

Haastattelujen perusteella saatiin muodostettua kohtuullisen hyvä kuva eri paikkakuntien toimintatavoista ja kokemuksista matalalämpöasfalttiin liittyen. Vaahdotuksen kanssa tehdyt kokeilut olivat eri paikkakunnilla onnistuneet eri tavoin, riippuen asfalttitehtaan tekniikasta ja asetuksista. Pääosin kokemukset olivat positiivisia. Samalla todettiin, että vaikka periaatteessa kaikkialla tehdään samanlaista asfalttia samanlaisista raaka-aineista, ovat paikkakuntakohtaiset toimintatavat hyvin voimakkaasti juurtuneet. Myös eri laitteistojen toiminnassa on eroja.

4.2 Päälystyskokeen suunnittelu

Haastatteluiden ja aikaisemman dokumentaation perusteella alettiin hahmotella päälystyskoetta. Aikaisemmin tehdyt päälystyskokeet olivat pääosin onnistuneet hyvin ja päälyste on vanhimmissakin kohteissa kestänyt kulutusta. Asfaltin laatu oli siis ollut hyvä vaahdotuksen käytöstä ja lämpötilan pudotuksesta huolimatta. Yhtään täydellisesti epäonnistunutta koetta tai pahasti purkautunutta päälystettä ei löydetty. Osassa kohteista dokumentaatio on kuitenkin puutteellista, joten aivan kaikkia kohteita ei ole päästy vertailemaan tasa-arvoisesti. Monessa kohteessa asfaltti on myös valmistettu normaaleissa lämpötiloissa, joten todellisen matalalämpöasfaltin ominaisuuksia ei ole päästy arvioimaan.

Näistä lähtökohdista päädyttiin keskittymään kolmeen asiaan päälystyskoetta tehtäessä: hyvään tutkimuksen dokumentointiin, valmistuslämpötilan pudottamiseen alle 140 asteen ja siihen, että päälysteen laadussa voitaisiin nähdä muutos lämpötilan pudotuksen ja RAP-lisäyksen seurauksena (Kuva 19). Päälystyskohteeksi haluttiin laaja kohde, jolla voitaisiin tehdä vertailututkimuksia useana perättäisenä päivänä. Myös massamäärien tuli olla suuria, jotta valmistuslämpötilan pudottaminen, asfalttimassan tasainen laatu ja valmistuksen seuranta olisi mahdollista.



Kuva 19. Päälystyskokeen tavoitteet.

Valmistuslämpötilan pudottamisen lisäksi haluttiin tutkia RAP-pitoisuuden vaikutusta asfalttimassan käyttäytymiseen matalissa lämpötiloissa. Koekohteeksi valikoitui Pirkanmaan ELY-keskuksen päälystyskohde Punkalaitumentie Urjalassa. Kohteelle levitettävä massa oli AB16-massaa asfalttirouheella, joten se soveltuisi tutkittavaksi vaahdottamalla. Koska RAP-pitoisuuden vaikutusta päälysteen laatuun haluttiin tutkia, päätettiin valmistaa kolme koeosuutta: yksi normaalilämpöisellä AB16-perusmassalla, toinen matalalämpöisellä vaahdotusmassalla alhaisemmalla RAP-pitoisuudella ja kolmas matalalämpöisenä vaahdotettuna päälystysurakan normaalilla RAP-pitoisuudella. Näin voitaisiin samalla vertailla lämpötilan muutoksen vaikutusta massan ominaisuuksiin RAP-määrän vaihdellessa.

4.3 Päällystyskokeen toteutus

Päällystyskokeet suoritettiin syyskuussa 2015. Päällystysolosuhteet olivat erinomaiset suhteellisen myöhäisen ajankohdan huomioon ottaen: taivas oli lähes pilvetön ja sää lämmin. Päivittäiset lämpötilat olivat yli 15 astetta. Verrattuna keskikesän olosuhteisiin tämä ajankohta alkaa tietysti asettaa massanvalmistukselle ja levitykselle enemmän vaatimuksia keskimäärin viileämpien säiden puolesta.

4.3.1 Asfalttimassat

Päällystyskokeessa tutkittiin kolmea erilaista asfalttimassaa. Ensimmäinen massoista oli kohteella normaalista käytetty AB16-massa. Muut kaksi massaa valmistettiin matalalämpöisinä vaahdotusta käyttäen ja erilaisilla RAP-pitoisuuksilla. RCYY-massassa kierrätysasfalttia on noin puolet RCXX-massojen RAP-pitoisuuksista. Massojen RAP-pitoisuus on ELY-keskuksen asettamissa rajoissa ja massat asfalttinormien vaatimusten mukaisia AB16-massoja. Käytetyt asfalttimassat olivat seuraavat:

1. Vertailumassa

AB16 RCXX, normaalilla valmistusmenetelmällä

- RAP-pitoisuus XX %
- valmiin asfalttimassan sideainepitoisuus 5,4 %
- sekoituslämpötila n. 155 °C
- levityslämpötila n. 145–150 °C

2. Vaahdotumimassa, matalampi RAP-pitoisuus

LTA16 RCYY

- RAP-pitoisuus YY %
- valmiin asfalttimassan sideainepitoisuus 5,4 %
- sekoituslämpötila n. 135 °C
- levityslämpötila n. 125–130 °C

3. Vaahdotumimassa, korkeampi RAP-pitoisuus

LTA16 RCXX

- RAP-pitoisuus XX %
- valmiin asfalttimassan sideainepitoisuus 5,4 %
- sekoituslämpötila n. 135 °C
- levityslämpötila n. 125–130 °C

4.3.2 Mittausten suoritus työn yhteydessä

Päällystyksen suoritettiin Taulukon 17 mukaisesti Urjalan Punkalaitumientiellä (tie 230) Urjalankylästä länteen. Ajomatka asfalttitehtaalta Lempäälän Kahamaesta työkohteelle oli hieman yli 50 kilometriä. Sijaintitiedot saatiin GPS-tietojen perusteella käyttämällä mTiePiste-paikannusohjelmaa älypuhelimella.

Taulukko 17. Punkalaitumientien koepäällysteiden tiedot.

PVM	MASSA	VALMISTUS- LÄMPÖTILA °C	ALOITUSPAALU	LOPETUSPAALU	KAISTA
8.9.2015	AB16 RCXX	155	230/10/2062	230/9/7176	1
9.9.2015	AB16 RCYY +VAAHDOTUS	135	230/9/7082	230/9/6058	2
10.9.2015	AB16 RCXX +VAAHDOTUS	135	230/9/7176	230/9/6057	1

Asfalttimassan lämpötila mitattiin vaahdotusmassoista valmistuksen alkuvaiheessa ensimmäisten asfalttitehtaalta lähtevien kuorma-autojen lavoilta, jotta voitiin varmistaa, että valmistuslämpötilat ovat halutulla tasolla. Mittaukset tehtiin asfalttimassaan työnnettävällä digitaalisella lämpömittarilla, jonka näytön tarkkuus oli 0,1 °C. Mittarin kalibrointi testattiin ennen mittauksia kiehuvässä vedessä ja tarkkuus oli noin ± 0,5 °C lämpötilan ollessa 100 °C. Asfaltin lämpötilaa mitatessa mittarin kärki työnnettiin asfalttimassaan ja massaa painettiin hieman kasaan, jotta se tiivistyi mittarin kärjen ympärille. Mittarin lukeman annettiin tasaantua noin 10 sekunnin ajan ja korkein lukema kirjattiin ylös.

Koska normaalisti asfalttia valmistetaan yli 150 °C lämpötiloissa, kestää asfalttitehtaan jäähtyminen alle 140 asteeseen jonkun aikaa. Näissä kokeissa halutun lämpöistä massaa alettiin saada noin 20 minuuttia valmistuksen aloittamisesta. Tähän mennessä tehtaalta oli lähtenyt jo pari asfalttikuormaa työmaalle, joten massaa jouduttiin valmistamaan kymmeniä tonneja ennen kuin päästiin mataliin lämpötiloihin. Kun valmistuslämpötila oli saatu tarpeeksi alas ja lämpötilat kuorma-autojen lavoilla alkoivat olla yhdenmukaisia, siirryttiin työmaalle.

Työmaalla lämpötiloja seurattiin levitystyön yhteydessä tasaisin välein asfaltinlevittimen massasuppilosta ja heti levittimen perän jälkeen ennen tiivistystä. Mittauskohdat paikannettiin GPS:n avulla ja merkittiin paaluin tien pientareelle. Levittimen massasuppilosta asfaltin lämpötila mitattiin noin kolmesta eri kohdasta, koska kuorma-auton lavalta valuva asfalttimassa on jonkin verran lajittunutta ja siinä on eri tahtiin jäähtyneitä kohtia. Levittimen perän takaa mittaus tehtiin kolmesta kohdasta kaistaa: vasemmasta reunasta, keskeltä ja oikeasta reunasta. Lämpömittarin kärki työnnettiin

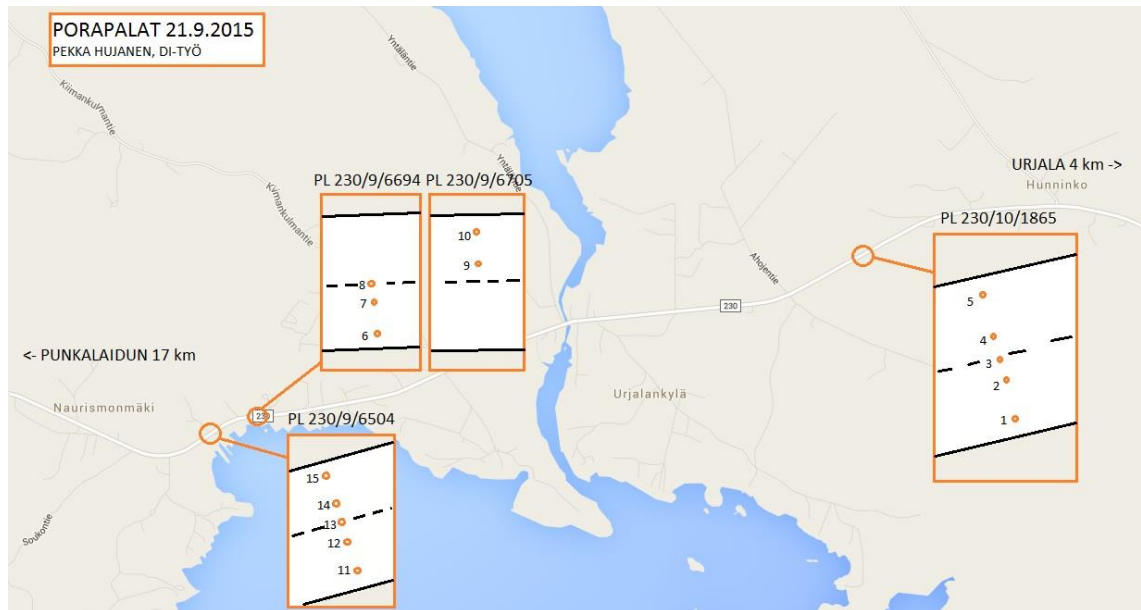
keskelle asfalttikerrosta ja asfaltti tiivistettiin kevyesti painamalla. Lämpömittaukset tehtiin koeosuudella kuudella eri paalulla. Työnnettävän lämpömittarin lukemaa kontrolloitiin satunnaisilla otannoilla pistoolimallisella infrapunälämpömittarilla. Infrapunamittari mittaa asfaltin pintalämpötilaa ja on työnnettävää mittaria epätarkempi. Mittaustulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 3.

Päällystyksen jälkeen asfalttitehtaalta kerättiin tehtaan tietokoneen keräämän päiväraportin tiedot. Päiväraportista voidaan nähdä muun muassa valmistettujen asfalttimassojen määrä, keskimääräiset valmistuslämpötilat sekä polttoaineenkulutus. Näiden tietojen perusteella voidaan luoda katsaus LTA:n taloudellisuuteen ja energiankulutukseen. Tehtaalla massanvalmistuksen yhteydessä otetut massanäytteet analysoitiin asfalttitehtaan laboratoriossa sideainepitoisuuden ja suhteituksen osalta. Tutkimustulokset on esitetty liitteessä 5.

4.3.3 Asfalttimassan ja valmiin päällysteen ominaisuudet

Asfaltin laatua seurattiin levitysvaiheessa tarkkailemalla massan laatua ja käsiteltävyyttä. Työntekijöille oli etukäteen kerrottu, että tullaan levittämään vaahdotettua matalalämpömassaa. Työntekijöiltä kerättiin kommentteja ja mielipiteitä työn aikana. Massan ulkonäköä arvioitiin subjektiivisesti sekä käsiteltävyyttä kolalla ja lapiolla. Asfalttihuuruksen ja -höyryjen määrää tarkkailtiin silmämääräisesti. Työolosuhteiden parantumista arvioitiin suhteessa normaalilämpöiseen asfalttiin asfalttihuuruksen vähentymisen ja matalamman työskentelylämpötilan kautta.

Koeosuuksilta käytiin ottamassa poranäytteet päällystetutkimuksia varten päällystystä seuraavalla viikolla. Poranäytteitä otettiin yhteensä 15 kappaletta, 4 näytettä per koeosuus sekä kolme saumanäytettä. Näytteiden ottopaikat on osoitettu Kuvassa 20 ja liitteissä 1 ja 2.



Kuva 20. Poranäytteiden poraussuunnitelma.

Porapalat tutkittiin Lemminkäisen keskuslaboratoriossa Sammonmäessä. Paloista tutkittiin seuraavat ominaisuudet:

Määrittäminen

PANK-4201

SFS-EN 12697-36

SFS-EN 12697-5

SFS-EN 12697-6

SFS-EN 12697-8

Massamäärä

Asfalttipäällysteen paksuus

Massan tiheys (hydrostaattinen)

Päällysteen tiheys (kuiva)

Tyhjätila

Tutkimustulokset on esitetty tarkemmin liitteessä 4.

5. AINEISTO

5.1 LTA:n valmistus koekohteelle

Lemminkäisen Lempäälän asemalla ei ollut aikaisemmin valmistettu vaahdotusasfalttia. Kokeilu onnistui valmistustekniikan puolesta hyvin. Asfalttimassa oli tasalaatuista eikä laitteiston toiminnassa havaittu poikkeuksia. Muilla asfalttitehtailla havaittuja hienoainesvaa'an tukkeutumista tai kosteuden tiivistymistä suodattimiin ei ollut nähtävissä. Tehtaan normaalia käyttäytymistä voivat selittää suhteellisen pienet LTA:n valmistusmäärät sekä kuumamassojen valmistus samana päivänä matalalämpömassojen kanssa.

Tehtaan tietokoneelta saadun tiedon mukaan matalalämpöasfalttien keskimääräiset valmistuslämpötilat olivat 141 °C (LTA16 RCYY) ja 137 °C (LTA16 RCXX). Massan hetkittäinen lämpötila on kuitenkin todellisuudessa ollut alhaisempi, sillä laskennalliseen keskiarvoon vaikuttavat asfalttitehtaalla matalalämpömassaa ennen ja jälkeen valmistetut kuumamassat. Valmistuslaitteiston jäädyttäminen ja vastaavasti lämmittäminen aiheuttavat vääristymää matalalämpöasfaltin keskimääräiseen valmistuslämpötilaan. Asfalttitehtaan datan perusteella matalalämpöasfalttia valmistettaessa näinä kahtena päivänä päästiin siis keskimäärin noin 139 celsiusasteen valmistuslämpötilaan.

Taulukossa 18 on esitetty työmaalla tehtyjen lämpömittausten tulokset. Mittausten perusteella asfalttimassa ehti jäähtyä vain muutaman asteen matkalla asfalttitehtaalta työmaalle. Suurempi ero lämpötiloissa on kuorma-auton lavan ja levittimen massasuppilon välillä, koska lavalta kipatessa massa joutuu kosketuksiin ulkoilman kanssa suuremmalla pinta-alalla kuin lavalla ollessaan. Keskimääräinen levityslämpötila levittimen perän takana ennen ensimmäistä tiivistystä oli 126,1 °C. Mittaustuloksista on jätetty huomioimatta selvästi keskimääräisistä lämpötiloista poikkeavat mittaustulokset, jotka on tulkittu mittausvirheiksi. Mittaustulokset on esitetty kokonaisuudessaan liitteessä 3.

Taulukko 18. Punkalaitumentien vaahdotusasfalttimassojen keskimääräiset lämpötilat.

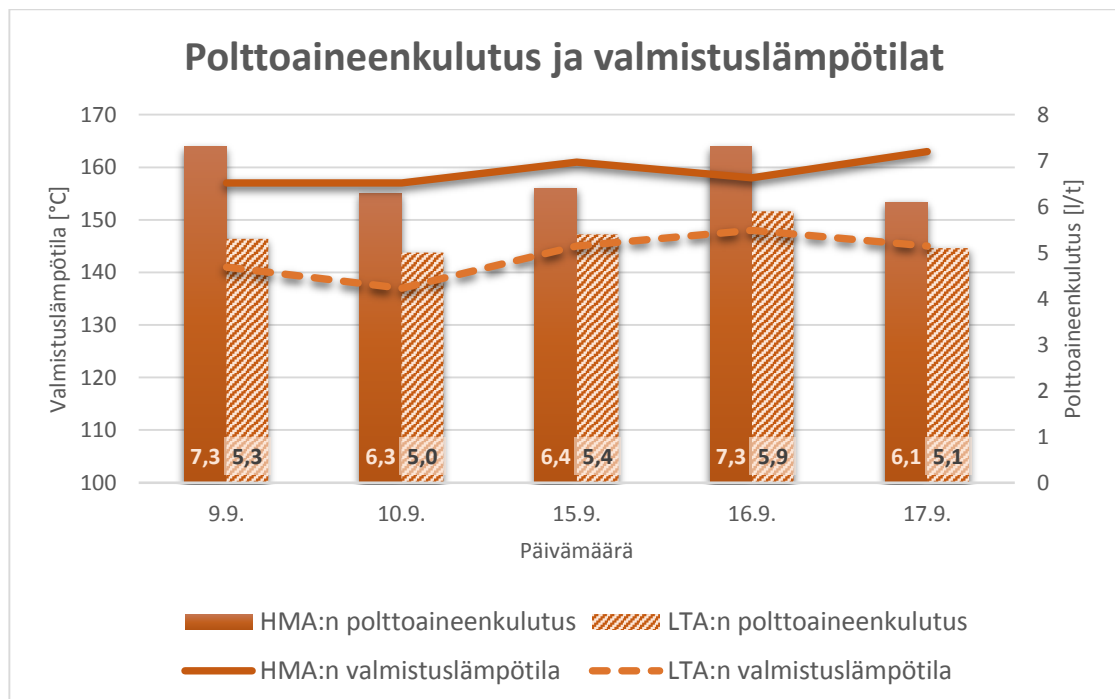
LÄMPÖTILAKESKIARVOT °C				
	VALMISTUS- LÄMPÖTILA ASFALTTI- TEHTAALLA	KUORMA- AUTON LAVA	LEVITTIMEN MASSA- SUPPILO	JYRÄÄMÄTÖN PÄÄLLYSTE
LTA16 RCYY	141	ei mitattu	133,9	128,5
LTA16 RCXX	137	134,7	125,1	123,7
Keskiarvo	139,0	134,7	129,5	126,1

Ensimmäisen päivän valmistuslämpötiloilla massa oli hyvälaatuista eikä tiivistyksen kanssa ollut ongelmia. Toisena päivänä matalalämpöisen RCXX-massan kanssa alettiin huomata, että tiivistäminen vaatii enemmän jyräystä. Voitaneen siis todeta, että korkeammalla RAP-pitoisuudella valmistuslämpötilan alaraja on näissä olosuhteissa noin 135 °C. Jos halutaan päästä suurempaan varmuuteen massan tiivistymisestä, olisi 140 °C valmistuslämpötila suositeltava.

Asfalttitehtaalta kerätyn seurantatiedon perusteella voitiin todeta, että valmistamalla asfalttia vaahdotuksella alhaisissa lämpötiloissa säästetään polttoaineenkulutuksessa. Urjalan koekohteelle kahtena päivänä valmistetut massat sekä seuraavalla viikolla tehdyt kolmen päivän matalalämpökokeilut toivat selviä säästöjä energiankulutuksessa. Tärkeimmät havainnot olivat seuraavat:

- LTA:n valmistuksella päästiin noin 18 % polttoaineensäästöön verrattuna vastaavan määrän RAP:ia sisältävän normaalilämpöisen massan valmistukseen.
- Keskimääräinen polttoaineensäästö oli noin 1,3 litraa polttoöljyä asfalttitonnia kohden lämpötilanpudotuksen ollessa keskiarvoltaan 16 °C.

Kuvassa 21 on esitetty rinnakkain toisiaan vastaavien asfalttimassojen polttoaineen kulutustiedot normaalilämpöisenä ja matalalämpöisenä valmistettuina. Yhteensä näinä viitenä päivänä säästettiin yli 4 500 litraa polttoöljyä verrattuna tavalliseen asfaltinvalmistukseen.



Kuva 21. Polttoaineenkulutus asfalttitehtaan tietojen mukaan valmistettaessa normaalilämpöistä asfalttia ja matalalämpöasfalttia.

5.2 Levityksen kulku ja massan laatu koekohteella

Vaahdottamalla valmistetun asfalttimassan todettiin olevan hyvää käsitellä työmaalla. Vaahdotus vaikutti kuohkeuttavan massaa, jolloin sitä oli helppo käsitellä myös viileämmissä lämpötiloissa. Vaahdotusmassojen todettiin lajittuvan normaalia asfalttia vähemmän kuorma-auton lavalla ja levittimen massasuppilossa. Myös valmiin päällysteen pinnan arvioitiin olevan kontrollipäällysteen pintaa hienompi ja tasaisemmin levinyt. Asfalttityöntekijät totesivat, että massan kuohkeus helpotti massan kolaamista ja lapiolla käsittelyä.

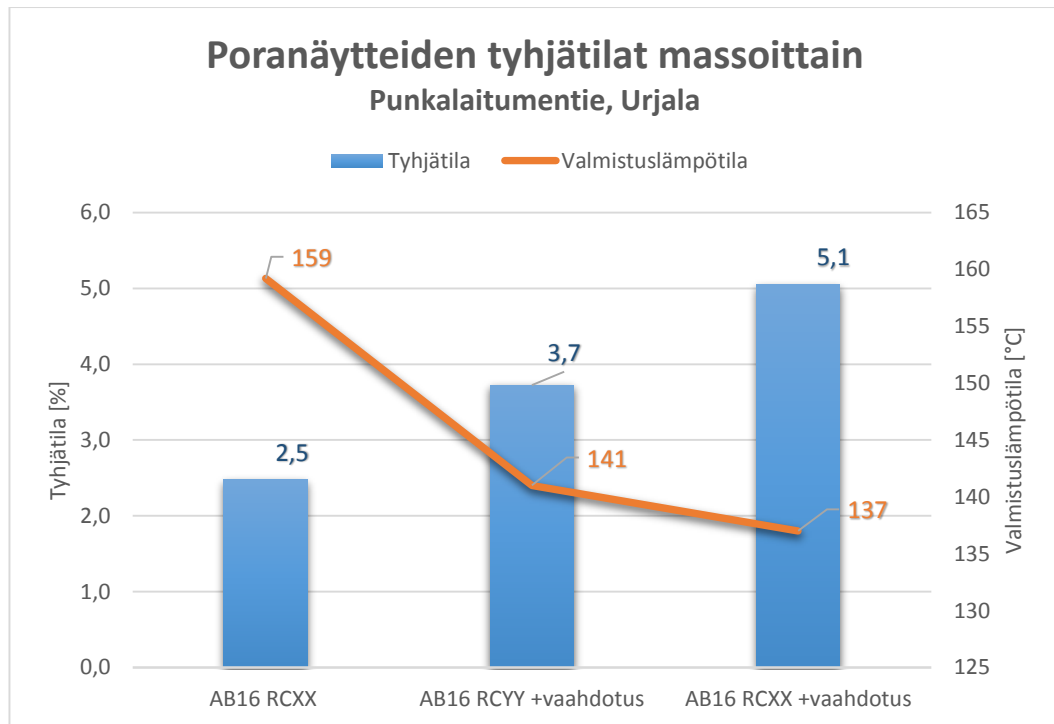
Kummallakin matalalämpöisellä massalla todettiin, että työolosuhteet olivat selvästi miellyttävämmät verrattuna normaalilämpöiseen asfalttiin. Levittäjän ympäristössä asfalttihuuruksen vähentymisen pystyi toteamaan helposti, kun siirryttiin kuumamassan valmistuksesta LTA-massaan. LTA-massa ei höyryä juurikaan auton lavalta kipatessa, eikä levittimen elevaattorista tai perästä nouse ärsyttäviä huuruja tai lämpöä normaaliin tapaan. Eron asfaltin pinnan kuumuudessa huomaa myös selkeästi. Tuoreen päällysteen päällä kävely tai seisokelu ei ala hiostamaan yhtä nopeasti kuin normaalisti. Kokonaisuudessaan todettiin erityisesti levittimenkuljettajan ja perämiehen työolosuhteiden parantuvan huomattavasti. Kuvassa 22 asfalttia levitetään koekohteella Urjalassa.



Kuva 22. LTA:n levitystä Urjalassa 9.9.2015 (kuva L. Forstén).

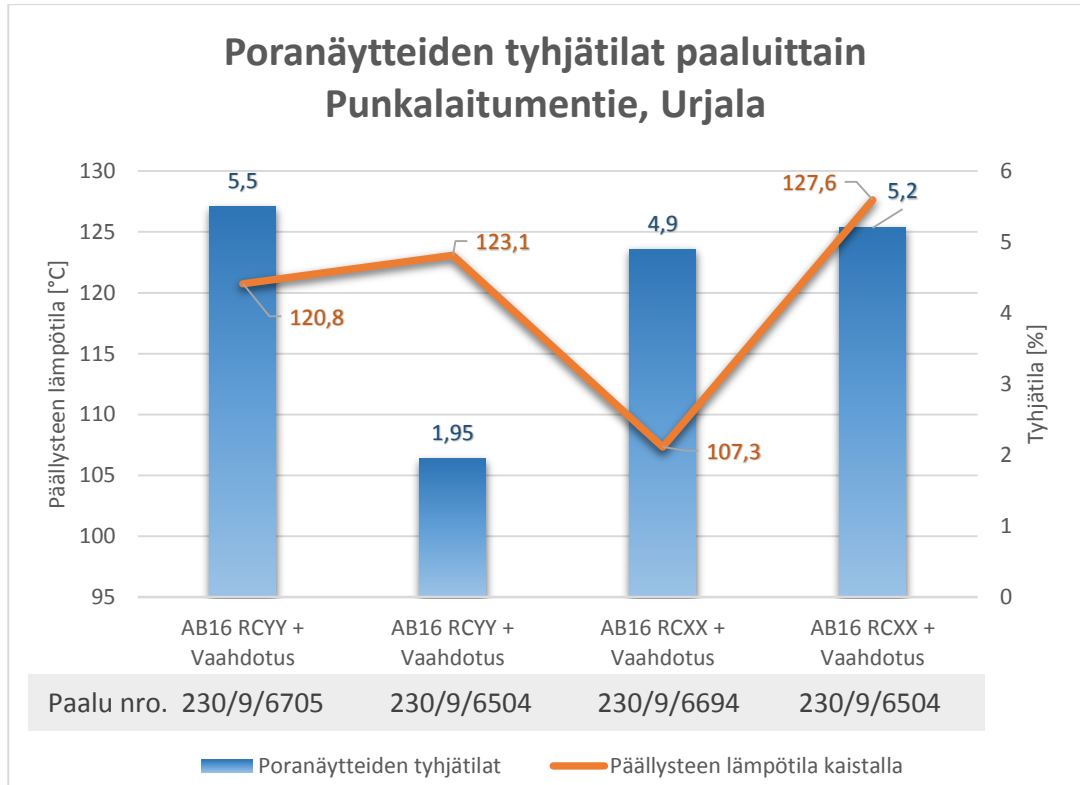
Ensimmäisenä koepäivänä tehty RCYY-massa oli jopa erittäin hyvälaatuista verrattuna normaaliin RCXX-massaan. Massa levisi hyvin, jälki oli tasainen ja tiivistäminen oli

helppoa. Toisena koepäivänä RC-massassa alettiin jo havaita eroja tiivistyvyydessä matalimmilla lämpötiloilla. Pinta alkoi joissakin kohtaa jäämään hieman karkeammaksi ja massa vaati enemmän tiivistämistä. Kuvassa 23 on esitetty koekohteelta otetuista poranäytteistä mitatut tyhjätilat suhteessa asfalttitehtaan saatuun valmistuslämpötilatietoon.



Kuva 23. Koekohteen poranäytteiden tyhjätilat.

Valmistuslämpötilalla näyttää olevan voimakas vaikutus asfaltin tyhjätiloihin. Otettujen näytteiden perusteella valmistuslämpötilan pudottaminen 22 celsiusasteella aiheutti tyhjätilojen tuplaantumisen. Paalukohtaisista lämpötilamittauspisteistä otettujen poranäytteiden tyhjätilat on esitetty Kuvassa 24. Näiden näytteiden perusteella tyhjätiloilla ei näyttäisi olevan suoraa korrelaatiota levityslämpötilan kanssa, sillä esimerkiksi AB16 RCYY -massalla tyhjätiloissa on suuri ero, vaikka levityslämpötila onkin lähes sama. Vastaavasti AB16 RCXX -massalla suurella lämpötilaerolla eri näytteiden välillä ei näyttäisi olevan vaikutusta tyhjätiloihin.



Kuva 24. Paalukohtaiset lämpötilat ja poranäytteiden tyhjätilat.

6. TULOKSET

Tutkimuksen tulokset on jaettu kolmeen osaan: Lemminkäisen omiin kokemuksiin, vaahdotusasfaltin valmistamiseen päällystyskokeisiin liittyen sekä koekohteen päällysteen laatuun. Lemminkäiseltä kerättyihin tietoihin ja aikaisempiin kokemuksiin perustuvat tulokset on esitetty Kuvassa 25.

Tulokset haastatteluista ja Lemminkäisen sisäisistä tiedoista:

Koekohteet
<ul style="list-style-type: none"> •Vaahdotusasfaltin valmistus normaalilämpöisenä •Seurantakohteiden puutteellinen dokumentointi
Valmistuskokemukset
<ul style="list-style-type: none"> •Ennakkoluulot ovat voimakkaita •Käytännön järki ja harkinta oltava mukana valmistuksessa
Tulevaisuus
<ul style="list-style-type: none"> •Kokeiluja jatketaan, jos niihin on mahdollisuus •Tilaajapuolella kiinnostus LTA:han mahdollisesti kasvussa

Kuva 25. Yhteenveto koekohteista ja henkilöhaastatteluiden tuloksista.

Kaiken kaikkiaan vaahdotusasfaltin valmistus on sujunut melko hyvin. Alle 150 °C oikeasti matalalämpöisiin massoihin ei ole kuitenkaan joissakin tapauksissa päästy asfalttiasematekniikan takia. Toisaalta vaahdotusmenetelmän käyttöä ovat saattaneet rajoittaa myös ennakkoasenteet LTA-tekniikkaa kohtaan. Vaahdotusasfalttikohteiden dokumentoinnissa on myös ollut puutteita. Kaikkia tehtyjä kohteita ei ole kirjattu ylös eikä vaahdotusasfaltista valmistettuja päällysteitä ole tutkittu. Näitä kahta asiaa parantamalla voidaan LTA:n käytöstä saada huomattavasti nykyistä enemmän tutkittavaa dataa.

Asfaltinvalmistuksessa ennakkoasenteet matalalämpöasfalttia kohtaan ovat voimakkaita. Työmaalla matalalämpöasfaltti ajatuksena otetaan vastaan pääosin negatiivisesti, niinpä asfalttitehtailakin siihen suhtaudutaan varauksella. Kokemukset ovat kuitenkin osoittaneet, ettei LTA:n valmistus ole kovin monimutkaista ja valmistuslämpötilan pudottamisella voidaan päästä asfaltinvalmistuksessa merkittäviin säästöihin. Joka tapauksessa, valmistettiin sitten LTA:a tai kuuma-asfalttia, on työmaan luonne ja levitysolosuhteet pidettävä mielessä asfaltinvalmistusta suunniteltaessa. On tilanteita, joissa asfaltti on yksinkertaisesti tehtävä korkeassa lämpötilassa, jotta päällysteestä saadaan hyvälaatuinen. Vastaavasti hyvissä levitysolosuhteissa ja sopivalla massalla valmistuslämpötilaa pitäisi pystyä huoletta pudottamaan.

Vaahdotusasfaltin valmistus Lemminkäisellä tulee jatkumaan tulevaisuudessa. Tilaajapuolen kiinnostus ”vihreämpään” asfalttiin on nousussa, ja LTA-tekniikan käytössä on pysyttävä ajan tasalla. Valmistusmenetelmien optimoinnilla ja työmaiden hyvällä organisoinnilla bitumin vaahdotuksesta tullaan varmasti saamaan nykyistä enemmän irti.

Lemminkäisen kehittämä vaahdotustekniikka toimii jo nykyisellään hyvin. Järjestelmissä on pientä hienosäätöä esimerkiksi veden määrän mittaroinnissa. Toisaalta monessa paikassa vaahdotusjärjestelmä on otettu käyttöön viimeisen kahden vuoden kuluessa, joten käytön opettelu on vielä käynnissä. Kuvassa 26 on tiivistetty vaahdotusasfaltin valmistuskokemukset Urjalan 2015 koekohteeseen liittyen.

Vaahdotusasfaltin valmistus asfalttitehtaalla:

Asfalttitehtaan tekniikka

- Ei teknisiä ongelmia
- Valmistuslämpötilan laskeminen alle 140 °C kestää jonkun aikaa

Valmistuslämpötila

- Keskimääräinen valmistuslämpötila 139 °C
- Valmistuslämpötilat alimmillaan 130–135 °C
- Nämä lämpötilat alkoivat olla alarajalla massan laadun suhteen

Polttoainesäästö

- LTA:n polttoaineenkulutus keskimäärin lähes 15 % päivittäistä keskiarvoa alempi
- Viitenä päivänä saavutettiin yhteensä yli 4500 litran säästö polttoöljyssä

Kuva 26. Yhteenveto vaahdotusasfaltin valmistuksesta asfalttitehtaalla.

Lempäälässä valmistetuissa LTA-massoissa ei todettu vaikeuksia tai ongelmia asfalttitehtaalla. Kosteuden tiivistymistä tai laitteiston tukkeutumista ei esiintynyt. LTA:a valmistettaessa tosin valmistettiin myös paljon kuuma-asfalttia, mikä edesauttaa laitteiston kuivumista ja normaalia toimintaa. Nykyään asfalttiasemilla valmistetaan paljon kuuma-asfalttia keskimääräisten valmistuslämpötilojen ollessa AB-massoilla hieman 160 celsiusasteen yläpuolella. Kun välissä valmistetaan matalalämpöasfalttia, kestää koneiston jäähtyminen jonkin aikaa. Matalalämpöisiin massoihin pääseminen vaatii suhteellisen ison päällystyskohteen ja pitkän tuotantopakson. Vastaavasti koneiston lämmittäminen takaisin kuumiin lämpötiloihin vaatii ylimääräistä energiaa, mutta lämmittämistä joudutaan tekemään joka tapauksessa, jos tuotannossa tulee taukoja.

Urjalan koekohteelle valmistetuissa massoissa päästiin hetkellisesti jopa alle 135 asteen valmistuslämpötiloihin. Massan laatu oli edelleen hyvää, mutta päällysteen tyhjätilojen perusteella valmistuslämpötilan alaraja alettiin saavuttaa. LTA:n valmistuksella päästiin huomattaviin polttoainesäästöihin valmistuslämpötilojen keskiarvon ollessa viiden

päivän seurannassa noin 143 °C. Kunkin päivän asfaltintuotannon kulutuskeskiarvoihin verrattuna LTA:n polttoaineenkulutus oli noin 15 % pienempi. Vastaavaan normaalilämpöiseen asfalttimassaan verrattuna vaahdotetun AB16 RCXX -massan kulutus oli keskimäärin lähes 20 % pienempi. Valmistuslämpötilan ei siis tarvitse olla alle 140 astetta, jotta energiaa säästetään.

Matalalämpöisen asfaltin ominaisuudet olivat työmaalla pääosin hyvät. Työmaan kokemukset ja tulokset päällysteen laadusta on kerätty Kuvaan 27.

Työolosuhteet, massan ja valmiin päällysteen laatu:

Työskentelyolosuhteet

- Huomattavasti vähemmän huuruja ja höyryjä
- Miellyttävämpi ja viileämpi työskentely-ympäristö

Massan laatu

- Keskimääräinen levityslämpötila 126 °C
- Massa hyvin käsiteltävää ja kuohkeaa
- Normaalialta asfalttimassaa vähemmän lajittunut
- Vaahdotetulla RCXX-massalla alettiin huomata eroja tiivistyvyydessä

Päällysteen laatu

- Tasainen, siisti pinta
- Tyhjätilat nousevat valmistuslämpötilan laskiessa
- RCXX-massalle 140 °C olisi suositeltava valmistuslämpötila kokeen olosuhteissa
- Yleisesti on havaittu, että levityslämpötilan laskiessa 120 °C:seen tai sen alle massan käsiteltävyys heikkenee ja päällysteen laatu kärsii

Kuva 27. Yhteenveto päällystyskokeen suorittamisesta ja asfaltin laadusta.

Työskentelyolosuhteet parantuvat huomattavasti LTA:a levitettäessä. Asfalttihuuruja ja -höyryjä on työmaalla silminnähtävien vähemmän ja työolosuhteet paranevat.

Bitumin vaahdotus tuottaa silmämääräisesti arvioituna normaalia tasalaatuisempaa asfalttimassaa ja kuohkeuttaa massan rakennetta. Matalalämpöisetkin massat olivat helposti käsiteltäviä eikä niissä esiintynyt paakkuuntumista tai lajittumista. Viileimmällä AB16 RCXX -massalla asfaltin pinta jäi hieman AB16 RCYY -päällysteen pintaa karkeamman näköiseksi. Poranäytteet vahvistivat, että RCXX-päällysteellä tyhjätilat olivat suuremmat. Korkeamman RAP-pitoisuuden asfalttimassoja valmistettaessa turvallisin menetelmä onkin todennäköisesti pitää valmistuslämpötilat 140 asteen yläpuolella. Tällöin varmistetaan vanhan ja uuden bitumin parempi sekoittuminen ja massan säilyminen muokattavana ja tiivistettävänä työmaalle asti.

7. POHDINTA

7.1 Tulosten tarkastelu

Tutkimuksen tuloksista voidaan todeta, että asfaltinvalmistus matalalämpöisenä vaahdotusmenetelmällä on mahdollista, mutta sille on rajoituksensa. Valmistuslämpötilan laskeminen johtaa polttoainesäästöihin ja luo paremmat työskentelyolosuhteet. Toisaalta matalampi lämpötila voi aiheuttaa ongelmia massan muokattavuudessa ja tiivistyvyydessä, varsinkin, jos käytetään suuria määriä asfalttirouhetta. Asfalttirouheen käytöllä kuitenkin voidaan saavuttaa helposti suuremmat säästöt kuin valmistuslämpötilan laskemisella, joten jonkinlainen keskitie näiden kahden välillä on löydettävä.

Asfaltinvalmistuksen kustannukset riippuvat suuresti raakaöljyn hinnasta maailmalla. Raakaöljyn hinta on vaikuttaa sekä bitumin että fossiilisten polttoaineiden kustannuksiin. Korkealla öljyn hinnalla polttoainesäästöjen rahallinen arvo on merkittävämpi kuin alhaisella hintatasolla.

Tässä tutkimuksessa tutkitut matalalämpöasfaltit sisälsivät Tampereen alueella normaalisti käytössä olevat määrät asfalttirouhetta. Kuten mitatut tyhjätilat osoittivat, asfaltin tiivistyvyys alkaa tulla vastaan alle 140 °C valmistuslämpötiloissa käytetyllä korkeammalla RAP-pitoisuudella. Tampereella asfaltin valmistuslämpötilaa siis voitaisiin laskea 140–145 celsiusasteeseen vaahdotusta käytettäessä ja saavuttaa polttoainesäästöjä. Paikkakunnilla, joissa käytetään vielä enemmän RAP:ia, olisi suositeltavaa, että valmistuslämpötila on tätä korkeampi. Matalalämpöasfaltteja levitettäessä on joka tapauksessa syytä kiinnittää entistä enemmän huomiota massan huolelliseen tiivistämiseen.

On tärkeää muistaa, ettei asfalttimassan tarvitse olla 135-asteista, jotta polttoainesäästöihin päästään. Jo valmistuslämpötilan alentaminen 160 asteesta muutamalla asteella vähentää polttoainekulutusta. Vaahdotuksella voidaan helpottaa massan sekoittumista ja työstettävyyttä, mikäli ne muodostuvat ongelmiksi. Vaahdotuksen käyttökustannukset ovat erittäin alhaiset eikä se ei vaadi muutoksia massaresepteihin, joten tekniikkaa tulisi rohkeasti hyödyntää. Matalimpiin lämpötiloihin pyrittäessä on päällystys suunniteltava siten, että asfaltoitava kohde on selkeää, suoraa vetoa, sää ja päällystysolosuhteet ovat tarpeeksi hyvät ja massan RAP-pitoisuus on tarpeeksi pieni. On kuitenkin myös asfalttimassoja, jotka täytyy valmistaa korkeissa lämpötiloissa, joten kaikissa tapauksissa ei voidakaan pyrkiä lämpötilan alentamiseen edes vaahdotuksen avulla.

Matalamman valmistuslämpötilan positiiviset vaikutukset työolosuhteisiin ja työhyvinvointiin ovat kiistattomat. Asfalttihuurujen ja -höyryjen määrässä työmaalla on silmännähtävä ero kuuma-asfaltteihin verrattuna. Kesähelteillä päällystystyömaan olosuhteet voivat olla jopa tuskastuttavan kuumat, jolloin viileämpi asfaltti auttaa jaksamaan työssä. Myös palovammojen riski pienenee, kun asfaltin lämpötila on pienempi ja jäähtymisaika lyhyempi.

Tutkimuksen tulokset vahvistavat sitä, mikä oli osittain tiedossa vanhojen kokeiden perusteella. Vaahdotustekniikan käyttö ei ole monimutkaista ja sen avulla valmistetut asfaltit toimivat päällysteissä. Tutkimuksessa saatiin kuitenkin aiempaa tarkempaa tietoa esimerkiksi RAP:n käytön rajoituksista sekä polttoaineen säästöstä asfalttitehtaalla. Erityisen tärkeää oli, että tuloksissa saatiin näkyviin tyhjätilojen nousu lämpötilan pudotuksen ja RAP-lisäyksen seurauksena: aikaisemmin ei ole ollut tarkkaa tietoa siitä, mille rajoille menetelmällä voidaan mennä.

Matalalämpöasfaltin valmistusta vaahdotusmenetelmällä voidaan vahvasti suositella. Energiansäästön ja työolosuhteiden paranemisen lisäksi LTA:lla voidaan helpottaa työskentelyä esimerkiksi tunnelityömailla ja mahdollistaa valmiin päällysteen nopeampi avaaminen liikenteelle.

7.2 Tutkimuksen tarkastelu

Lemminkäisen vanhoista lähteistä saatiin koottua melko kattava tietopaketti, jonka avulla voitiin vertailla erilaisia päällystyskohteita ja toimintatapoja. Samalla voitiin muodostaa melko selkeä kuva, mitä päällystyskokeilta ja matalalämpöasfaltin valmistukselta haluttiin.

Henkilöhaastatteluiden perusteella välittyi kuva siitä, että paikkakuntakohtaiset erot ovat merkittäviä eikä yksi toimintatapa välttämättä toimi kaikkialla. Haastatteluissa ovat tietysti aina mukana haastateltavan omat mielipiteet ja tottumukset. Tämän takia esimerkiksi saman valmistusmenetelmän tai teknisen uudistuksen esitleminen eri paikoissa eri ihmisille voi saada aivan erilaisen vastaanoton. Uusien menetelmien hyödyllisyys on siis suodatettava subjektiivisten kommenttien joukosta. Tässä tutkimuksessa vaahdotusmenetelmän käytöstä kuultiin monenlaista mielipidettä, minkä perusteella osattiin hyvin tarkkailla vastaavia asioita päällystyskoetta tehtäessä.

Tutkimuksessa saatuja tuloksia asfalttimassan käyttäytymisestä valmistuslämpötilan pudotessa ja RAP-osuuden lisääntyessä voidaan pitää todenmukaisina. Päällystyskoetta voidaan pitää onnistuneena, sillä siinä saatiin esiin haluttu asfaltin laadun muutos edellä mainittujen muuttujien funktiona.

Tutkimuksen tarkkuutta asfaltin laadun ja tyhjätilojen suhteen olisi voinut parantaa ottamalla lisää näytteitä valmiista päällysteestä. Tyhjätila-arvojen hajonta oli melko

suurta, mitä olisi voinut pienentää suuremmalla otannalla. Poranäytteissä on aina inhimillisen erehdyksen riski näytteiden otossa, merkitsemisessä, käsittelyssä ja tutkimisessa. Monesti poranäytteeseen sisältyy monta päällekkäistä asfalttikerrosta. Jos näyte katkaistaan väärästä kohdasta, saattaa mittaustuloskin olla virheellinen. Yksi mahdollisuus tyhjätilojen tarkempaan tutkimiseen olisi päällysteen kartoittaminen tyhjätiloja mittaavan tutka-auton avulla.

Päällystystyömaan olosuhteita on tutkittu melko paljon, joten tässä tutkimuksessa ei mitattu asfalttihuurujen ja -höyryjen määriä työmaalla. Muutos huurujen määrässä oli kuitenkin silmännähtävä, kun siirryttiin matalampiin levityslämpötiloihin. Aikaisemman tutkimustiedon perusteella silmämääräinen arviointi oli tämän kokeen yhteydessä riittävä mittari työolosuhteiden arviointiin.

7.3 Jatkotutkimusehdotukset

Vaahdotusasfaltin käyttörajoja voisi tutkia edelleen. Avaintekijöitä rajojen määrittämisessä ovat asfaltin valmistus- ja levityslämpötila sekä asfalttirouheen määrä. Tämän lisäksi päällystysolosuhteet ja työmaan luonne on huomioitava, kuten normaalistikin päällystystä suunnitellessa. Tässä tutkimuksessa ei saatu tarkkaa tietoa siitä, kuinka levityslämpötila vaikuttaa päällysteen tyhjätiloihin. Jotta saataisiin jonkinlainen trendikuvio hahmoteltua, olisi päällystyskoe suoritettava suuremmalla määrällä tyhjätila- ja lämpömittauksia.

Jos tyhjätilojen käyttäytyminen RAP-pitoisuuden ja valmistuslämpötilan funktiona saataisiin tarkemmin arvoitua, olisi mahdollista luoda ohjeistus, jonka perusteella LTA:n valmistusta vaahdotuksella voitaisiin suunnitella. Mallina voisi toimia jonkinlainen taulukko tai laskuri, joka suosittelisi tiettyyn valmistuslämpötilaan sopivan määrän RAP:ia tai päinvastoin. Tätä olisi helpompi lähteä viemään eri paikkakuntien asfalttitehtaille, kuin lähteä kaikkialla kokeilemaan alusta asti itse.

Myös tilaajapuolen kiinnostusta matalalämpöasfalttiin voisi kartoittaa laajemmin. Tähän mennessä mielenkiintoa on osoitettu ainakin Helsingissä ja Turussa. Vihreiden arvojen ollessa koko ajan tärkeämpiä on mahdollista, että LTA:n valmistuksella voisi tulevaisuudessa saada lisäarvoa asiakkaiden silmissä.

LÄHTEET

- Aas, T.A., 2013. Informasjonsskriv om LTA. Artikkel. Lemminkäinen Norge As, Norja.
- Brennen, M., Tia, M., Altschaeffl, A.G., Wood, L.E., 1983. Laboratory Investigation of the Use of Foamed Asphalt for Recycled Bituminous Pavements. *Transportation Research Record*, 993, 80-87. ISSN 0361-1981.
- Butler, M.-A., 2000. *Health Effects of Occupational Exposure to Asphalt*. Washington D.C.: U.S. Department of Health and Human Services.
- Croteau, J.-M., Tessier, B., 2008. Warm Mix Asphalt Paving Technologies: A Road Builder's Perspective. Warm Asphalt Technology as a Sustainable Strategy for Pavements, 2008 Annual Conference of the Transportation Association of Canada.
- Csanyi, L.H., 1957. Foamed Asphalt in Bituminous Paving Mixtures. *Highway Research Board Bulletin*, 160, 108-122.
- D'Angelo, J.A., Harm, E.E., Bartoszek, J.C., Baumgardner, G.L., Corrigan, M.R., Cowsert, J.E., Harman, T.P., Jamshidi, M., Jones, H.W., Newcomb, D.E., Prowell, B.D., Sines, R., Yeaton, B., 2008. Warm-mix asphalt: European practice. Federal Highway Administration.
- Equipment, C., Lounge, M.B., 2010. *The Use of Warm Mix Asphalt*. Brysseli: European Asphalt Pavement Association.
- European Asphalt Pavement Association, 2016. *Asphalt In Figures 2014*. Brysseli: European Asphalt Pavement Association.
- European Asphalt Pavement Association, 2015. *Warm mix asphalt - The mix of the future*. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 25.4.2016):
<http://www.eapa.org/promo.php?c=202#a>
- European Asphalt Pavement Association, 2014. *Asphalt In Figures 2013*. Brysseli: European Asphalt Pavement Association.
- Forstén, L., 2016a. Tutkimusjohtaja. Lemminkäinen Infra Oy, Tuusula. Haastattelu 21.4.2016.
- Forstén, L., 2016b. Vaahtobitumiasfaltti, tutkimukset ja koetiet 1980-luvulla. Artikkel. Lemminkäinen Infra Oy:n arkistot.
- Forstén, L., 2015. Experiences with Low Temperature Asphalt in Finland. Esitelmä. Tallinna, 19.5.2015.

- Forstén, L., 2013. Asfaltin uusiokäyttö: Vanha asfaltti - Tuote vai jäte? Kierrätysmenetelmät. Esitelmä. Pohjoismaiden tie- ja liikennefoorumi, Helsinki, 6.2.2013.
- Forstén, L., 2016. Tutkimusjohtaja. Lemminkäinen Infra Oy. Haastattelu 8.4.2016.
- Frank, B., Prowell, B., 2014. Method for Calculating Warm Mix Energy Savings Based on Stack Gas Measurements, A Balkema books. Boca Raton, Fla: CRC Press.
- Gordon, E.L., 2012. History of the Modern Environmental Movement in America. Mumbai: The American Center.
- Hailesilassie, B.W., Schuetz, P., Jerjen, I., Hugener, M., Partl, M.N., 2015. Dynamic X-ray radiography for the determination of foamed bitumen bubble area distribution. Journal of Material Sciences, 50 (1), 79–92. ISSN 0022-2461, 1573-4803.
- Hansen, K.R., Copeland, A., 2015. Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage: 2014. Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association.
- Heimonen, P., 2016. Aluepäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy, Lappeenranta. Haastattelu 13.5.2016.
- Hill, B., 2011. Performance evaluation of warm mix asphalt mixtures incorporating reclaimed asphalt pavement. Diplomityö. Urbana, IL: University of Illinois at Urbana-Champaign.
- Hujanen, P., 2016. Matalalämpöasfalttien taloudellinen tarkastelu. Kandidaatintyö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Häkli, M., 2016. Aluepäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy, Tampere. Haastattelu 8.4.2016.
- IARC Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risk to Humans, 2013. Bitumens and bitumen emissions, and some N- and S-heterocyclic polycyclic aromatic hydrocarbons. Iarc Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, 103, 9–303.
- Jäppilä, V.-V., 2016. Aluepäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy, Turku. Haastattelu 27.4.2016.
- Josephsen, L.R., 2015. Denmark - foam. Esitelmä. Product & Technology Days, Lemminkäinen As, Tanska, 26.11.2014.
- Kandhal, P.S., Mallic, R.B., 1997. Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments - Participant's Reference Book. Washington, D.C.: Federal Highway Administration.

- Kauppi, P., 2016. Aluepäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy, Oulu. Haastattelu 26.4.2016.
- Korhonen, O., 2011. Asfalttimassojen laskennallinen suhteitus Lemminkäinen Infra Oy: lle Mikkeliin. Opinnäytetyö. Lappeenranta: Saimaan ammattikorkeakoulu.
- Korkeamäki, T., 2016. Asfalttitehtaanhoitaja. Lemminkäinen Infra Oy, Tampere. Haastattelu 26.4.2016.
- Kristjansdottir, O., 2006. Warm mix asphalt for cold weather paving. Diplomityö. Seattle, WA: University of Washington.
- Laaksonen, R., Laukkanen, K., 2007. Kerrosstabilointien täysmittakaavakokeet. Helsinki: Tiehallinto.
- Lemminkäinen Infra Oy, 2016. Lemminkäisen historia - Lemminkäinen. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 14.5.2016): <http://www.lemminkainen.fi/Lemminkainen/Yritys/Historia/>
- Lemminkäinen Liettua, 2014a. Energysaving Lithuania 2013. Esitelmä. UAB Lemminkäinen Lietuva, Liettua.
- Lemminkäinen Liettua, 2014b. Low Temperature Asphalt, Lithuania 2013. Esitelmä. UAB Lemminkäinen Lietuva, Liettua.
- Lounge, M.B., 2014. The Use of Warm Mix Asphalt. EAPA - Position paper. Brysseli: European Asphalt Pavement Association.
- Lyytikäinen, A., Kauppi, L., 2015. Aluepäällikkö; Asfalttitehtaanhoitaja. Lemminkäinen Infra Oy, Lohja. Haastattelut 13.8.2015.
- Malkoc, G., 2007. E-Mak - Simge Challenger. Esitelmä. 11. Colloquium on Asphalt and Bitumen, Kranjska Gora, Slovenia, marraskuu 2007.
- Mansfeld, R., Barth, R., Beer, F., Breitbach, P., Gogolin, D., Pass, F., Radenberg, M., Riebesehl, G., Sadzulewsky, S., Wölfle, H., 2009. Warm Mix Asphalts - Tips and tricks developed by professionals for professionals. Bonn, Saksa: Deutscher Asphaltverband e.V.
- Mohammad, L., Y. Abu-Farsakh, M., Wu, Z., Abadie, C., 2003. Louisiana Experience with Foamed Recycled Asphalt Pavement Base Materials. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1832, 17–24. ISSN 0361-1981.
- Muthen, K.M., 1998. Foamed asphalt mixes-mix design procedure. Transportation Research Record, 898, 290–296.

- NAPA/EAPA, 2011. The Asphalt Paving Industry, A Global Perspective. Brysseli: National Asphalt Pavement Association, European Asphalt Pavement Association.
- Neitzke, B., Wasill, B., 2009. Placement of Warm Mix Asphalt on the East Entrance Road of Yellowstone National Park. Vancouver, WA: Federal Highway Administration, Western Federal Lands Highway Division.
- Olsen, R., Daae, H., Halgard, K., Hersson, M., Thorud, S., Madsen, R.A., Knardahl, S., Ellingsen, D., 2012. Norwegian WMA Project - Low Temperature Asphalt 2011 Main Report. The Norwegian Asphalt and Road Contracting Association (FAV).
- PANK ry, 2011. Asfalttinormit 2011. Helsinki: Päällystealan neuvottelukunta PANK ry.
- Pohjola, J., 2015a. Matalalämpötila-asfalttien käyttökokemuksia - Oulu 2015. Esitelmä. Lemminkäinen Infra Oy, Oulu, 19.8.2015.
- Pohjola, J., 2015b. Matalalämpötila-asfalttien käyttökokemuksia - LTA, Oulu 2015. Esitelmä. Lemminkäinen Infra Oy, Oulu, 19.8.2015.
- Prowell, B.D., Hurley, G.C., Crews, E., 2007. Field performance of warm-mix asphalt at national center for asphalt technology test track. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board, 1998, 96–102.
- Prowell, B.D., Hurley, G.C., Frank, B., 2012. Warm-Mix Asphalt: Best Practices 3rd Edition. Lanham, MD: National Asphalt Pavement Association.
- Rubio, M.C., Martínez, G., Baena, L., Moreno, F., 2012. Warm mix asphalt: an overview. Journal of Cleaner Production, 24, 76–84. ISSN 0959-6526.
- Saarinen, P., 2015. Asfalttitehtaanhoitaja. Lemminkäinen Infra Oy, Turku. Haastattelu 4.9.2015.
- Savela, A., Ojaniemi, J., 2016. Aluepäällikkö; Asfalttitehtaanhoitaja. Lemminkäinen Infra Oy, Seinäjoki. Haastattelut 27.4.2016.
- Soikkeli, J., 2015. Aluepäällikkö. Lemminkäinen Infra Oy, Pori. Haastattelu 20.8.2015.
- Truska, I., 2015. Low temperature asphalt, Lithuania 2015. Esitelmä. Product & Technology Days, UAB Lemminkäinen Lietuva, Liettua, 25.11.2015.
- Tujunen, R., 2016. Perinteisten asfalttibetonipäällysteiden korvaaminen matalalämpöasfaltilla Helsingissä osana kasvihuonepäästöjen vähentämistä. Diplomityö. Helsinki: Aalto-yliopisto.

- United States Environmental Protection Agency, 2016. Climate Change Facts: Answers to Common Questions. Verkkosivu. Saatavissa (viitattu 10.5.2016): <https://www3.epa.gov/climatechange/basics/facts.html#ref1>
- Vaa, A.-L., 2016. LTA 2016. Artikkel. Lemminkäinen Norge As, Norja.
- Vaa, A.-L., 2015a. Lemminkäinen Norge WMA presentation. Esitelmä. Lemminkäinen Norge As, Norja, 8.5.2015.
- Vaa, A.-L., 2015b. Product and Technology days 2015 - LTA. Esitelmä. Product & Technology Days, Lemminkäinen Norge As, Norja, 16.11.2015.
- Vaa, A.-L., 2015c. Experiences with LTA in Norway. Artikkel. Lemminkäinen Norge As, Norja.
- Väisänen, H., 2014. Kierrätysasfaltin tekninen hyödyntäminen. Opinnäytetyö. Lahti: Lahden ammattikorkeakoulu.
- Vaitkus, A., Čygas, D., Laurinavičius, A., Perveneckas, Z., 2009. Analysis and evaluation of possibilities for the use of warm mix asphalt in Lithuania. The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 4, 80–86. ISSN 1822-427X, 1822-4288.
- von Devivere, M., Barthel, W., Marchand, J.-P., 2009. Warm Asphalt Mixes By Adding A Synthetic Zeolite. Breukelen, Alankomaat: Foundation Eurasphalt.
- Walch, J., 2015. A study on Lower Temperature Asphalts Commercialisation in the UK. No. EAPA TC-15-N1020. Lontoo, Iso-Britannia: Carbon Trust.
- Yin, F., Arambula, E., Newcomb, D., Bhasin, A. (Eds.), 2014. Workability and Coatability of foamed Warm Mix Asphalt, A Balkema books. CRC Press, Boca Raton, Fla.
- Äijö, J., 1985. Vaahtobitumiasfaltin käyttö kantavuuden parantamiseksi. Diplomityö. Espoo: Teknillinen korkeakoulu.

LIITE 1: PORANÄYTTEIDEN PORAUSSUUNNITELMA

Pekka Hujanen, Diplomityö

LTA-porapalat, Pir ELY Punkalaitumentie, Urjala 21.9.2015

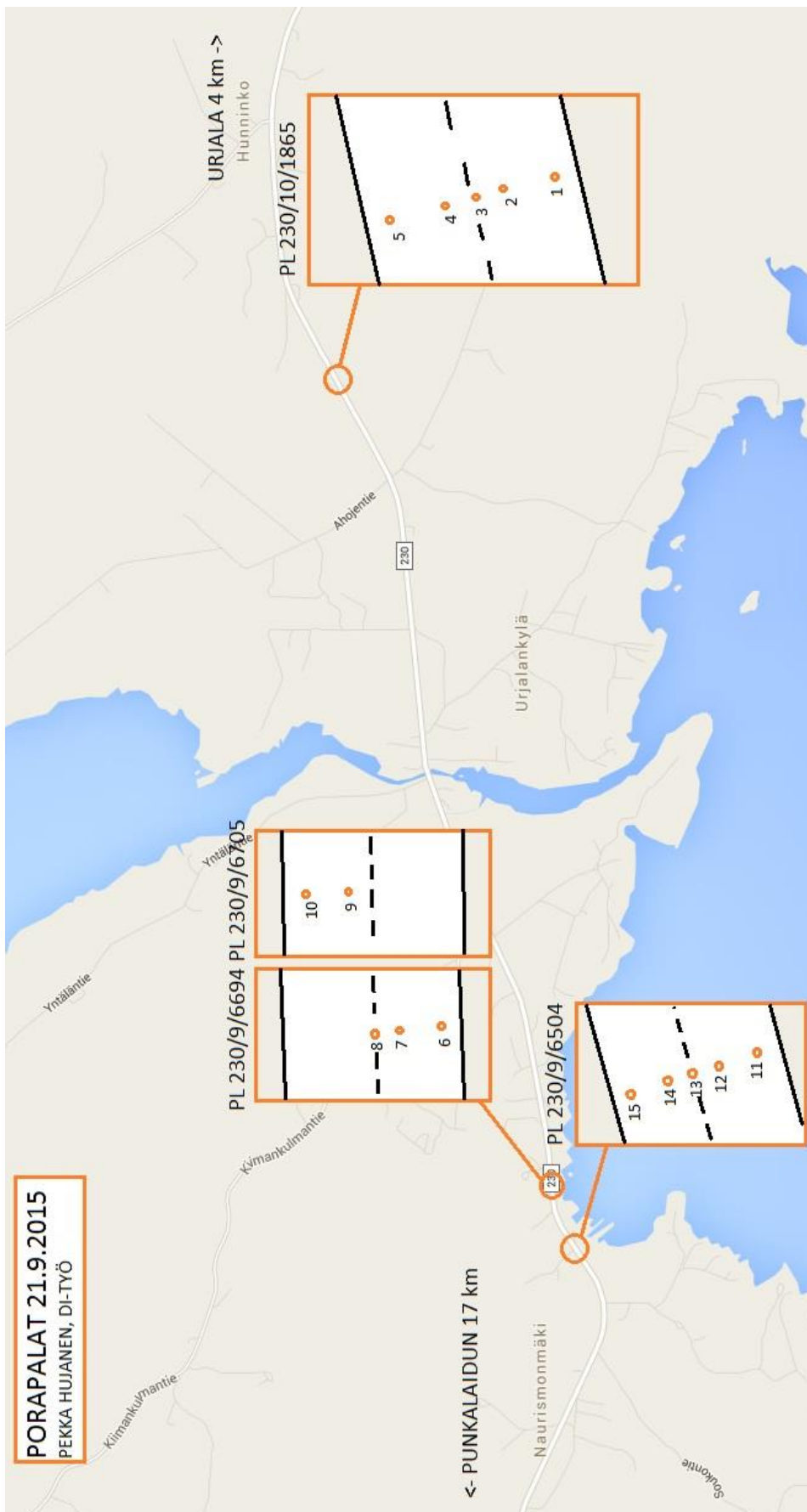
Näyte 1:	PAALU 230/10/1865				Levityspvm
	PALAT 1-2	AB16 RCXX		KAISTA 1	8.9.2015
	PALA 3	AB16 RCXX		SAUMA	
	PALAT 4-5	AB16 RCXX		KAISTA 2	7.9.2015
Näyte 2:	PAALU 230/9/6694				
	PALAT 6-7	LTA16 RCXX		KAISTA 1	10.9.2015
	PALA 8	LTA16 RCXX/ LTA16 RCYY		SAUMA	
	PAALU 230/9/6705				
PALAT 9-10	LTA16 RCYY		KAISTA 2	9.9.2015	
Näyte 3:	PAALU 230/9/6504				
	PALAT 11-12	LTA16 RCXX		KAISTA 1	10.9.2015
	PALA 13	LTA16 RCXX/ LTA16 RCYY		SAUMA	
	PALAT 14-15	LTA16 RCYY		KAISTA 2	9.9.2015

Lemminkäinen Corporation
Salmisaarenaukio 2, P.O. Box 169 FI-00180 HELSINKI
Telephone +358 2071 5000, Fax +358 2071 5009
forename.surname@lemminkainen.com
www.lemminkainen.com

Business ID 0110775-8
VAT reg
Pohjola Bank
FI4750000120218465
OKOYFIHH

Lemminkäinen

LIITE 2: PORANÄYTTEET KARTALLA



LIITE 3: LÄMPÖTILAMITTAUSPÖYTÄKIRJAT

Lemminkäinen

LÄMPÖTILAMITTAUSPÖYTÄKIRJA

PVM	9.9.2015
-----	----------

MITTAAJA
Pekka Hujanen

KOHDE	Punkalaitumentie, Urjala
SÄÄTILA	Aurinkoinen, +14 °C
HUOM.	Massa AB16 RCYY+ Foamaus
	Alkup. 230/9/7082, Loppup. 230/9/6058, s. 2

KLO	AUTO REK.NRO	PAALU	LÄMPÖTILA °C			
			LAVA	TUUTTI	PAALLYSTE JYRÄÄMÄTÖN	IR-MITTARI
13:10	NCJ-282	230/9/7061		140		
				143		
13:15					128	121
					142	117
					130	115
13:20	XEY-457	230/9/7007		123		
				150		
				122,5		
					136,5	
					140	
					135,5	
13:50	CFH-313	230/9/6883		127		104
				136,5		
				121,8		
					122,2	99
					123	
					87,7	virhe
14:20	WTH-665	230/9/6705		135		
				131,8	127,5	
					106,2	virhe
					114	
14:30	CEF-302	230/9/6504		138,5		
				112		virhe
				130,3		
					129	
					125,2	98
					115	
15:00	NCJ-282	230/9/6402		137,5	138	
				138	131,2	
					119,4	

LIITE 3: LÄMPÖTILAMITTAUSPÖYTÄKIRJAT

Lemminkäinen

LÄMPÖTILAMITTAUSPÖYTÄKIRJA

PVM	10.9.2015
-----	-----------

KOHDE	Punkalaitumentie, Urjala
SÄÄTILA	Aurinkoinen, +18 °C
HUOM.	Massa AB16 RCXX + Foamaus
	Alkup. 230/9/7176, Loppup. 230/9/6057, s. 1

MITTAAJA
Pekka Hujanen

LÄMPÖTILA °C						
KLO	AUTO REK.NRO	PAALU	LAVA	TUUTTI	PAALLYSTE JYRÄÄMÄTÖN	IR-MITTARI
14:55	XEY-457	230/9/6754		126,7		
				124,1		
					127,7	
					118,8	
					121,5	107
15:10	CEF-302	230/9/6692		126,4		
				106		virhe
					100,7	
					112	95
					109,3	
15:30	CEF-302	230/9/6568	136	118,5		
			131	120,4		
					128,5	105
					127,1	
					122,7	
15:40	GKY-741	230/9/6504		108,6		virhe
				109,5		virhe
					131,7	116
					127,9	
					123,3	
16:10	ENF-960		134,3			
			137,5			
16:25	ENF-960	230/9/6366		129	129	
				120,6	130,7	
					129,7	110
16:40	RGC-187	230/9/6246		133		
				127,1		
					129,6	
					132,3	
					123,7	106

LIITE 4: PORANÄYTETUTKIMUKSET

1(1)

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

AINEENKOETUSSELOSTE
ASFALTIIPÄÄLLYSTEET

Tutkimuksen tilaaja:	201449 Sammonmäki, päällystys	Näytelaji:	AB 16
Työn tilaaja:	Pir ELY keskus	Ottopvm:	
Työkohde:	LTA16 RCYY	Tilaaajan antama nro:	9,10,14,15
Näytteen ottaja:	Tilaja	Projektinro:	15M64KL
Projekti/Tuotantolaitos:	Urjala, Punkalaitumentie	Näytenro:	15AP807KL

PÄÄLLYSTEENÄYTTEET

	Massamäärä kg/m ²	Päällysteen tih. (kuiva) kg/m ³	Massan tiheys (hydrostaatt.) kg/m ³	Tyhjättila %	Asf.päällysteen paksuus mm
15AP807KL/9		2393	2536	5,6	50
15AP807KL/10		2399	2536	5,4	50
15AP807KL/14		2424	2474	2,0	34
15AP807KL/15		2428	2474	1,9	38
KESKIJARVO		2411	2505	3,7	43
KESKIHAJONTA		17,57	35,80	2,05	8,25
KPL		4	4	4	4
OHJEARVO ALARAJA					
OHJEARVO YLÄRAJA					
ALITUKSIA KPL					
ALITUKSIA %					
YLITYKSIÄ KPL					
YLITYKSIÄ %					

Lisätietoja

Sarja 2, Palat 9-10.) 230/9/6694
Sarja 3, Palat 14-15.) 230/9/6504

MÄÄRITYSMENETELMÄT

PANK-4201	Massamäärä
SFS-EN 12697-36	Asf.päällysteen paksuus
SFS-EN 12697-5	Massan tiheys (hydrostaatt.)
SFS-EN 12697-6	Päällysteen tih. (kuiva)
SFS-EN 12697-8	Tyhjättila

Raportin jakelu tilaajan lisäksi

Pekka Hujanen

Tehnyt: Ari-Pekka Piilola, 15.10.2015

Hyväksynyt: Kimo Kiviniemi, Laborantti
15.10.2015

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepätie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 15.10.2015 10:27

* = varmentamaton menetelmä

Tämä tulos koskee vain tutkittua näytettä

LIITE 4: PORANÄYTETUTKIMUKSET

1(1)

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

AINEENKOETUSSELOSTE
ASFALTTIPÄÄLLYSTEET

Tutkimuksen tilaaja:	201449 Sammonmäki, päällystys	Näytelaji:	AB 16
Työn tilaaja:	Pir ELY keskus	Ottopvm:	
Työkohde:	LTA 16RCXX	Tilaaajan antama nro:	6,7,11,12
Näytteen ottaja:	Tilaaaja	Projektinro:	15M64KL
Projekti/Tuotantolaitos:	Urjala, Punkalaitumientien	Näytenro:	15AP806KL

PÄÄLLYSTENÄYTTEET

	Massamäärä kg/m ²	Päällysteen tih. (kuiva) kg/m ³	Massan tiheys (hydrostaatt.) kg/m ³	Tyhjätila %	Asf.päällysteen paksuus mm
15AP806KL/6		2392	2516	4,9	46
15AP806KL/7		2393	2516	4,9	42
15AP806KL/11		2362	2503	5,6	44
15AP806KL/12		2384	2503	4,8	43
KESKIARVO		2383	2510	5,1	44
KESKIHAJONTA		14,41	7,51	0,37	1,71
KPL		4	4	4	4
OHJEARVO ALARAJA					
OHJEARVO YLÄRAJA					
ALITUKSIA KPL					
ALITUKSIA %					
YLITYKSIÄ KPL					
YLITYKSIÄ %					

Lisätietoja

Sarja 2, Palat 6-7.) 230/9/6694
Sarja 3, Palat 11-12.) 230/9/6504

MÄÄRITYSMENETELMÄT

PANK-4201	Massamäärä
SFS-EN 12697-36	Asf.päällysteen paksuus
SFS-EN 12697-5	Massan tiheys (hydrostaatt.)
SFS-EN 12697-6	Päällysteen tih. (kuiva)
SFS-EN 12697-8	Tyhjätila

Raportin jakelu tilaajan lisäksi Pekka Hujanen	
Tehnyt: Ari-Pekka Piilola, 15.10.2015	Hyväksynyt: Kimo Kiviniemi, Laborantti 15.10.2015

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepätie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 15.10.2015 10:10

* = varmentamaton menetelmä

Tämä tulos koskee vain tutkittua näytettä

LIITE 4: PORANÄYTETUTKIMUKSET

1(1)

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

AINEENKOETUSSELOSTE
ASFALTTIPÄÄLLYSTEET

Tutkimuksen tilaaja:	201449 Sammonmäki, päällystys	Näytelaji:	AB 16
Työn tilaaja:	Pir ELY keskus	Ottopvm:	
Työkohde:	LTA16 RCXX/RCYY	Tilaaajan antama nro:	
Näytteen ottaja:	Tilaaja	Projektinro:	15M64KL
Projekti/Tuotantolaitos:	Urjala, Punkalaitumientien	Näytenro:	15AP808KL

SAUMANÄYTTEET

	Massamäärä kg/m ²	Päällysteen tih. (kuiva) kg/m ³	Massan tiheys (hydrostaatt.) kg/m ³	Tyhjättila %	Asf.päällysteen paksuus mm
15AP808KL/8		2384	2531	5,8	35
15AP808KL/13		2346	2511	6,6	38
KESKIARVO		2365	2521	6,2	37
KESKIHAJONTA		26,87	14,14	0,57	2,12
KPL		2	2	2	2

Lisätietoja

Sarja 2 Pala 8 230/9/6694

Sarja 3 Pala 13 230/9/6404

MÄÄRITYSMENETELMÄT

PANK-4201

SFS-EN 12697-36

SFS-EN 12697-5

SFS-EN 12697-6

SFS-EN 12697-8

Massamäärä

Asf.päällysteen paksuus

Massan tiheys (hydrostaatt.)

Päällysteen tih. (kuiva)

Tyhjättila

Raportin jakelu tilaajan lisäksi

Pekka Hujanen

Tehnyt: Ari-Pekka Piilola, 15.10.2015

Hyväksynyt: Kimo Kiviniemi, Laborantti
15.10.2015

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepätie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 15.10.2015 10:17

* = varmentamaton menetelmä

Tämä tulos koskee vain tutkittua näytettä

LIITE 4: PORANÄYTETUTKIMUKSET

1(2)

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

AINEENKOETUSSELOSTE
ASFALTTIPÄÄLLYSTEET

Tutkimuksen tilaaja:	11501 Keskuslaboratorio	Näytelaji:	AB 16
Työn tilaaja:	Pir ELY keskus	Ottopvm:	21.09.2015
Työkohde:	230/10/1865	Tilaaajan antama nro:	1-5
Näytteen ottaja:	Tilaaaja	Projektinro:	15M64KL
Projekti/Tuotantolaitos:	Urjala, Punkalaitumientien	Näytenro:	15AP744KL

PÄÄLLYSTENÄYTTEET

	Massamäärä kg/m ²	Päällysteiden tih. (kuiva) kg/m ³	Massan tiheys (hydrostaatt.) kg/m ³	Tyhjättila %	Asf.päällysteiden paksuus mm
15AP744KL/1		2441	2473	1,3	37
15AP744KL/2		2427	2473	1,9	39
15AP744KL/4		2406	2508	4,1	45
15AP744KL/5		2442	2508	2,6	42
KESKIARVO		2429	2491	2,5	41
KESKIHAJONTA		16,79	20,21	1,21	3,50
KPL		4	4	4	4
OHJEARVO ALARAJA					
OHJEARVO YLÄRAJA					
ALITUKSIA KPL					
ALITUKSIA %					
YLITYKSIÄ KPL					
YLITYKSIÄ %					

SAUMANÄYTTEET

	Massamäärä kg/m ²	Päällysteiden tih. (kuiva) kg/m ³	Massan tiheys (hydrostaatt.) kg/m ³	Tyhjättila %	Asf.päällysteiden paksuus mm
15AP744KL/3		2298	2490	7,7	37
KESKIARVO		2298	2490	7,7	37
KESKIHAJONTA					
KPL		1	1	1	1

Lisätietoja

1-2.) Kaista 1 Levitys pvm 8.9.2015

3.) Sauma

4-5.) Kaista 2 Levitys pvm 7.9.2015

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepätie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 15.10.2015 10:15

* = varmentamaton menetelmä

Tämä tulos koskee vain tutkittua näytettä

LIITE 4: PORANÄYTETUTKIMUKSET

2(2)

Lemminkäinen

Keskuslaboratorio

AINEENKOETUSSELOSTE
ASFALTTIPÄÄLLYSTEET

Tutkimuksen tilaaja:	11501 Keskuslaboratorio	Näytelaji:	AB 16
Työn tilaaja:	Pir ELY keskus	Ottopvm:	21.09.2015
Työkohde:	230/10/1865	Tilaaajan antama nro:	1-5
Näytteen ottaja:	Tilaja	Projektinro:	15M64KL
Projekti/Tuotantolaitos:	Urjala, Punkalaitumientien	Näytenro:	15AP744KL

MÄÄRITYSMENETELMÄT

PANK-4201
SFS-EN 12697-36
SFS-EN 12697-5
SFS-EN 12697-6
SFS-EN 12697-8

Massamäärä
Asf.päällysteen paksuus
Massan tiheys (hydrostaatt.)
Päällysteen tih. (kuiva)
Tyhjätila

Raportin jakelu tilaajan lisäksi
Pekka Hujanen

Tehnyt: Ari-Pekka Piilola, 7.10.2015

Hyväksynyt: Kimo Kiviniemi, Laborantti
13.10.2015

Lemminkäinen Infra Oy
Keskuslaboratorio
Puusepänitie 5
04360 Tuusula

Puh Puh 02071 5000
www.lemminkainen.fi
Y-tunnus 2138243-1
Kotipaikka Helsinki

Testausselosteen saa kopioida vain kokonaan.

INNOLAB Tulostuspäivä 15.10.2015 10:15

* = varmentamaton menetelmä

Tämä tulos koskee vain tutkittua näytettä

LIITE 5: LTA-MASSOJEN SUHTEITUKSET



Kahamäki

SFS-EN 12697-39
SFS-EN 12697-2

PÄÄLLYSTETUTKIMUS

Urakka	Pir Ely	Näytteen ottaja	AA
Sek. asema	6036 kahamäki	Työkohde	Urjala-Punkalaidun
Päällyste	AB-16 RC	Näyte no	40
Päiväys	9.9.2015	Klo	12:17
Paalu/kaista			
RC	VahtoBit.		

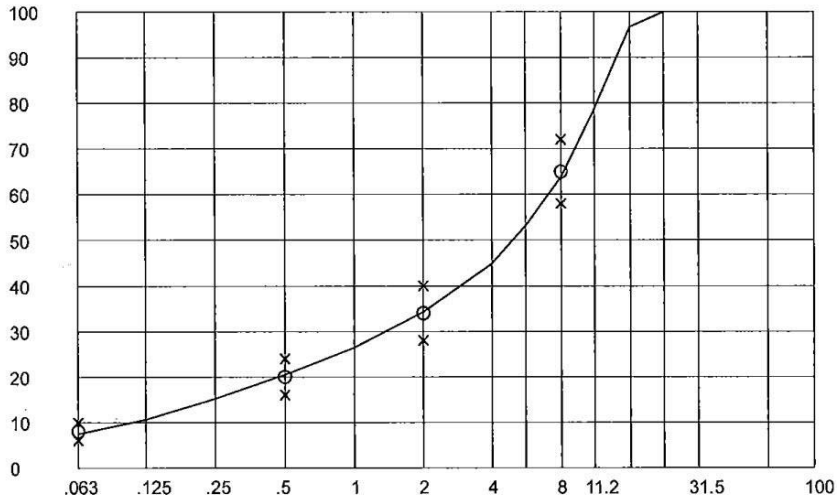
# mm	seu- lalle jäi g	seu- lalle jäi %	läpäi- sy %
100			100
100			100
63			100
31.5			100
22.4			100
16	36.0	3.3	96.7
11.2	195.2	18.0	78.7
8	160.3	14.8	63.9
5.6	117.0	10.8	53.1
4	89.6	8.3	44.8
2	114.7	10.6	34.3
1	84.3	7.8	26.5
.5	64.8	6.0	20.5
.25	56.2	5.2	15.3
.125	50.3	4.6	10.7
.063	34.3	3.2	7.5
Pohja	81.6	7.5	

SIDEAINEMÄÄRITYS

Näytteen paino	g	1143.8
Kiviain. yht. paino	g	1083.5
Sideainemäärä	g	60.3
Sideainepitoisuus	%	5.3

OHJEARVOT

Sideainepitoisuus	%	5.4
Täytejauheen määrä	%	
Rakeisuus # 11.2	mm	
Rakeisuus # 8	mm	65.0
Rakeisuus # 4	mm	
Rakeisuus # 2	mm	34.0
Rakeisuus # .5	mm	20.0
Rakeisuus # .063	mm	8.0



Pvm _____ Tutki _____

Tutkimustulos koskee vain tutkittua näytettä

LIITE 5: LTA-MASSOJEN SUHTEITUKSET



Kahamäki

SFS-EN 12697-39
SFS-EN 12697-2

PÄÄLLYSTETUTKIMUS

Urakka	Pir Ely	Näytteen ottaja	AA
Sek. asema	6036 kahamäki	Työkohde	Urjala-Punkalaidun
Päällyste	LTA-16 RC	Näyte no	42
Päiväys	10.9.2015	Klo	13:16
Paalu/kaista			

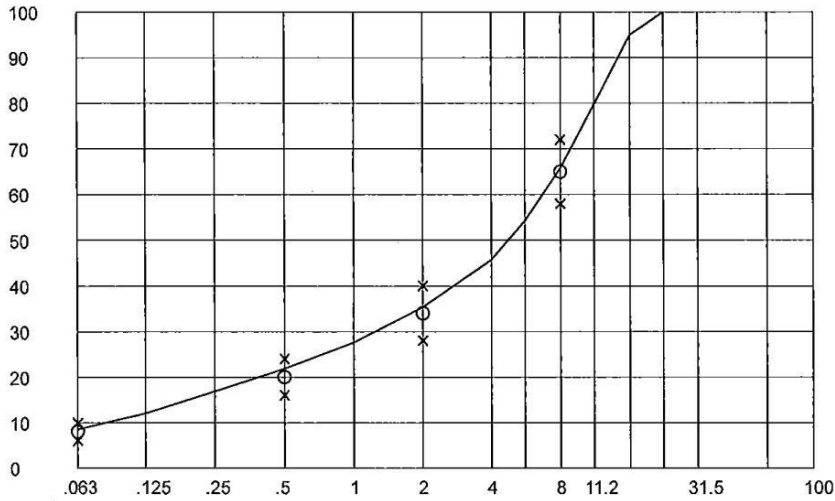
# mm	seu- lalle jäi g	seu- lalle jäi %	läpäi- sy %
100			100
100			100
63			100
31.5			100
22.4			100
16	49.8	5.1	94.9
11.2	150.1	15.2	79.7
8	137.1	13.9	65.8
5.6	113.4	11.5	54.3
4	84.7	8.6	45.7
2	102.1	10.4	35.3
1	75.6	7.7	27.7
.5	57.4	5.8	21.9
.25	48.8	5.0	16.9
.125	46.8	4.7	12.2
.063	35.5	3.6	8.6
Pohja	84.3	8.6	

SIDEAINEMÄÄRITYS

Näytteen paino	g	1042.7
Kiviain. yht. paino	g	985.8
Sideainemäärä	g	56.9
Sideainepitoisuus	%	5.5

OHJEARVOT

Sideainepitoisuus	%	5.4
Täytejauheen määrä	%	
Rakeisuus # 11.2	mm	
Rakeisuus # 8	mm	65.0
Rakeisuus # 4	mm	
Rakeisuus # 2	mm	34.0
Rakeisuus # .5	mm	20.0
Rakeisuus # .063	mm	8.0



Pvm _____ Tutki _____

Tutkimustulos koskee vain tutkittua näytettä