



**Aalto-yliopisto**  
Insinööritieteiden  
korkeakoulu

Aiju Heinonen

**Kierrätysasfaltin markkinakelpoisuuden edellytysten luominen –  
Demokohteena bitumikatetta (kattohuopaa) sisältävä asfaltti**

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi  
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 16.10.2017

Valvoja: Professori Terhi Pellinen

Ohjaajat: Diplomi-insinööri Kalle Aromaa

Filosofian maisteri Kati Tuominen

---

**Tekijä** Aiju Heinonen

---

**Työn nimi** Kierrätysasfaltin markkinakelpoisuuden edellytysten luominen –  
Demokohteena bitumikatetta (kattohuopaa) sisältävä asfaltti

---

**Koulutusohjelma** Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan koulutusohjelma

---

**Pääaine** Liikenne- ja tietekniikka

**Koodi** R3004

---

**Työn valvoja** Professori Terhi Pellinen

---

**Työn ohjaajat** Diplomi-insinööri Kalle Aromaa ja filosofian maisteri Kati Tuominen

---

**Päivämäärä** 16.10.2017

**Sivumäärä** 100+31

**Kieli** suomi

---

### **Tiivistelmä**

Diplomityön tavoitteena oli selvittää bitumikatteen käyttökelpoisuutta asfaltin ainesosaksi ja luoda toimintatapamalli sekä menetelmäohjeistus edistämään uusien kierrätysmateriaalien hallittua käyttöönottoa asfalttiteollisuudessa. Diplomityö tehtiin osana "Kierrätysasfaltin markkinakelpoisuuden edellytysten luominen, demo-kohteena kattohuopaa sisältävä asfaltti" -tutkimusprojektia, joka kuuluu Tekesin hallinnoimaan INKA – innovatiiviset kaupungit (2014–2017) -ohjelmaan.

Tutkimusaineisto koostui kahdeksasta bitumikatetta sisältävästä päällystyskohteesta, joista kahdesta porattiin yhteensä 128 bitumikatetta sisältävää näytettä sekä referenssinäytettä ilman bitumikatetta. Teknisen kelpoisuuden selvittämiseksi tehtiin laajat laboratoriokokeet, joissa selvitettiin bitumikatetta sisältävän asfaltin toiminnallisia ominaisuuksia ja näytteistä uutettujen sideaineseosten ominaisuuksia sekä verrattiin tuloksia referenssinäytteiden tuloksiin. Lisäksi kaikille koekohteille tehtiin visuaaliset tarkastukset.

Referenssimassaan verrattuna bitumikatetta sisältävässä massassa oli bitumikatteen sisältämän bitumin verran vähemmän tuoretta bitumia. Tällöin bitumikatetta sisältävän massan jäykkyys kasvoi ja deformaatiokestävyys parani verrattuina referenssimassoihin. RAS-näytteiden jäykkyydet olivat silti samanlaisia muihin tyyppisiin suomalaisiin asfalttimassoihin verrattuna. Halkaisuvetolujuudessa ja muissa massa- ja kappaletesteissä ei ollut merkittäviä eroja bitumikate- ja referenssimassojen välillä.

Bitumikatteen lisääminen nosti kuitenkin sideaineseosten kompleksimoduulia (jäykkyyttä) ja pienensi vaihekulmaa (virtaavuutta). Lisäksi Glover-Rowe-parametri osoitti bitumikatteen lisäyksen muuttavan sideaineseoksen jäykkyyden ja virtaavuuden riippuvuutta siten, että tietyllä jäykkyydellä sideaineen kyky virrata heikkeni. Tästä huolimatta kylmäominaisuuksissa ei havaittu eroja Fraass-murtumispiste- ja kompleksimoduulitestien perusteella.

Bitumikatteen teknisen kelpoisuuden lisäksi selvitettiin myös terveydellinen soveltuvuus ja ympäristökelpoisuus. Tutkimuksessa tehtyjen laboratoriokokeiden ja selvitysten perusteella ei tullut esille rajoituksia, jotka estäisivät bitumikatteen käytön asfaltin ainesosana tutkituissa käyttökohteissa.

---

**Avainsanat** bitumikaterouhe, RAS, kattohuopa, asfaltti, kierrätysmateriaali, kiertotalous

---

---

**Author** Aiju Heinonen

---

**Title of thesis** Development of the requirements for market validity of recycled asphalt – asphalt pavement containing asphalt shingles (roofing felt) as a case study

---

**Degree programme** Transportation and Environmental Engineering

---

**Major** Transportation and Highway Engineering

**Code** R3004

---

**Thesis supervisor** Professor Terhi Pellinen

---

**Thesis advisors** M.Sc. (tech) Kalle Aromaa and M.Sc. Kati Tuominen

---

**Date** 16.10.2017

**Number of pages** 100+31

**Language** Finnish

---

**Abstract**

The aim of this master's thesis was to investigate the usability of recycled asphalt shingles (RAS) in asphalt mixtures and to develop the procedure and guidelines to accelerate the controlled use and commercialization of novel recycled materials in the asphalt pavement industry. The thesis was a part of a research project which was included in the Innovative Cities (2014–2017) programme managed by Tekes.

The research comprised eight test sites, which were paved with asphalt mixture containing asphalt shingles. A total of 128 core samples with asphalt shingles and reference samples without shingles were drilled from two of these test sites. Large number of laboratory tests were conducted to evaluate the performance of the asphalt mixture with shingles and the binder extracted from the cores. The test results were compared with the results from the reference samples. Additionally, a visual evaluation was conducted for all of the eight test sites.

The amount of fresh bitumen in the RAS-mixtures were reduced by the amount of bitumen contributed by RAS. In this situation the use of asphalt shingles increased the stiffness and resistance to permanent deformation of the mixture. Still the stiffness of the RAS-mixture was similar with typical Finnish asphalt mixtures. There were no major differences between the reference mixture and the RAS-mixture, as verified by indirect tensile strength and other tests performed on the mixtures and core samples.

However, the use of asphalt shingles increased the complex shear modulus of the binders and decreased the phase angle (viscous flow). As verified by Glover-Rowe parameter, there were changes in the correlation of stiffness and flow properties, indicating that the use of shingles reduced binder's ability to flow at a known level of stiffness. On the other hand, differences in the low temperature performance were not observed with the Fraass breaking point and complex modulus tests.

The usability of recycled asphalt shingles was also investigated from the health and environmental point of view. The laboratory tests and investigations have not revealed any restrictions that would prohibit the use of asphalt shingles in asphalt mixtures.

---

**Keywords** recycled asphalt shingles, RAS, roofing felt, asphalt pavement, recycled material, circular economy

---

## Alkusanat

*Tämä työ on tehty osana Tekesin INKA-ohjelmaan kuuluvaa tutkimusprojektia Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun georakentamisen tutkimusryhmässä. Työn tavoitteena on ollut edesauttaa kiertotaloutta luomalla menetelmät edistämään uusien kierrätysmateriaalien hallittua käyttöönottoa asfalttiteollisuudessa. Haluankin kiittää Tekesiä ja kaikkia projektissa mukana olleita tahoja mahdollisuudesta osallistua tähän monipuoliseen ja mielenkiintoiseen tutkimusprojektiin.*

*Diplomityön valvojana toimi professori Terhi Pellinen. Suuri kiitos Terhille tiiviistä opastuksesta ja tärkeistä neuvoista diplomityön tekemisen aikana. Diplomityön ohjaajina toimivat FM Kati Tuominen Tarpaper Recycling Finland Oy:ltä ja DI Kalle Aromaa Anton Paar Nordic AB:lta. Haluan kiittää molempia arvokkaista kommentteista ja asiantuntevasta ohjauksesta sekä kannustavasta ilmapiiristä koko työn ajan.*

*Lisäksi haluan kiittää koko Tiellaboration henkilökuntaa mittausten tekemisestä. Kiitos erityisesti laboriomestareille Heli Nikiforowille ja Petri Peltoselle, jatko-opiskelija Michaelina Makowskalle sekä DI Kalle Aromaalle, apunne on ollut korvaamaton. Kiitos Tiellaboration jengille myös kaikista yhteisistä hauskoista hetkistä. Kiitos myös TkT Jarkko Valtoselle työn kieliasun parantamisesta sekä kaikista juttutuokioista.*

*Erytiskiitokset perheelleni ja ystäväilleni kaikesta tuesta tämän työn ja koko opintojeni aikana. Lopuksi kiitos Juhalle loputtomasta kiinnostuksesta työtäni kohtaan sekä jaksamisesta ja ymmärtämisestä.*

Espoo 16.10.2017

Aiju Heinonen



# Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo . . . . .	5
Merkinnät . . . . .	7
Lyhenteet . . . . .	8
1 Johdanto . . . . .	9
1.1 Työn taustaa . . . . .	9
1.2 Tutkimusongelma . . . . .	10
1.3 Tavoitteet . . . . .	11
1.4 Aineisto ja tutkimusmenetelmät . . . . .	11
1.5 Tutkimuksen rajaus . . . . .	12
2 Kirjallisuusselvitys . . . . .	13
2.1 Yleistä bitumikatteesta ja kattohuovasta . . . . .	13
2.2 Bitumin ominaisuuksia . . . . .	14
2.3 Bitumikatejätteen hyödyntäminen asfalttiteollisuudessa . . . . .	16
2.3.1 Bitumikatejätteen alkuperä . . . . .	16
2.3.2 Kierrätetyn bitumikatteen terminologia . . . . .	16
2.3.3 Ulkomaiset tutkimukset ja käytännöt . . . . .	17
2.3.4 Pohjoismaiset tutkimukset ja käytännöt . . . . .	20
2.4 Lainsäädäntö . . . . .	21
2.5 Rakennustuotteiden CE-merkintä asfalttialalla . . . . .	24
2.6 Rakennustuotteiden vapaaehtoinen CE-merkintä . . . . .	27
2.7 Työterveys- ja ympäristönäkökohdat . . . . .	28
3 Kaupallistamisprosessin yhteenveto . . . . .	32
3.1 Prosessi yleisesti . . . . .	32
3.2 Tuotenäkökulma . . . . .	33
3.3 Toiminnallinen ja sosiaalinen näkökulma . . . . .	34
3.4 Sidosryhmät . . . . .	35
3.5 Demokohteen kaupallistamisprosessinaikaiset havainnot . . . . .	36

4	Tuotetutkimukset . . . . .	38
4.1	Bitumikatejätteen prosessoiminen . . . . .	38
4.2	Asfalttinormien laatuvaatimukset valmiille asfalttipäällysteelle . . . . .	41
4.2.1	Yleistä . . . . .	41
4.2.2	Toiminnalliset ominaisuudet . . . . .	41
4.3	Tutkimussuunnitelma . . . . .	42
4.4	Tutkimusaineisto . . . . .	43
4.5	Tutkimusmenetelmät . . . . .	47
4.5.1	Toiminnalliset ominaisuudet . . . . .	47
4.5.2	Sideainetutkimukset . . . . .	51
4.5.3	Työterveys- ja ympäristötutkimukset . . . . .	52
4.5.4	Visuaaliset tarkastukset ja käyttökokemukset . . . . .	53
5	Tuotetutkimustulokset ja niiden arviointi . . . . .	54
5.1	Toiminnallisten ominaisuuksien tulokset . . . . .	54
5.2	Sideainetutkimusten tulokset . . . . .	62
5.3	Työterveys- ja ympäristötutkimusten tulokset . . . . .	65
5.4	Koekohteiden visuaaliset tarkastukset . . . . .	67
5.5	Käyttökokemukset . . . . .	73
6	Tutkimustulosten analysointi ja virhearviointi . . . . .	75
6.1	Mekaaniset ominaisuudet . . . . .	75
6.2	Sideaineen merkitys . . . . .	79
6.3	Lisäsideaineen suunnittelu . . . . .	82
6.4	Virhearviointi . . . . .	83
7	Toimintatapamalli ja menetelmäohjeistus . . . . .	84
8	Yhteenveto ja suositukset . . . . .	89
	Lähdeluettelo . . . . .	93
	Liiteluettelo . . . . .	100

## Merkinnät

$G^*$	[Pa]	kompleksinen leikkausmoduuli / kompleksimoduuli
$\delta$	[°] tai [rad]	vaihekulma tai vaihesiirtymä
f	[Hz = 1/s]	taajuus
$\varnothing$	[mm]	halkaisija

## Lyhenteet

AASHTO	American Association of State Highway and Transportation Officials
AB	Asfalttibetoni
ABK	Asfalttibetoni kantavana kerroksena
AB16	Asfalttibetoni, jonka maksimiraekoko on 16 mm
AVCP	Suoritustason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen (Assessment and Verification of Constancy of Performance)
DSR	Dynaaminen leikkausreometri (Dynamic Shear Rheometer)
EAD	Eurooppalainen arviointiasiakirja (European Assessment Document)
ECHA	EU:n kemikaalivirasto (European Chemicals Agency)
EOTA	Eurooppalainen teknisten arviointien yhteistyöelin (European Organisation for Technical Assessment)
EoW	Ei-enää-jäte (End of Waste)
ETA	Eurooppalainen tekninen arviointi (European Technical Assessment)
hEN	Harmonisoitu tuotestandardi (harmonised European Standard)
HMA	Kuuma-asfaltti (Hot Mix Asphalt)
INKA	Innovatiiviset kaupungit -ohjelma
KIHU	Kipsi- ja kattohuopajätteiden keräys kierrätykseen -hanke
PAH	Polysykliset aromaattiset hiilivedyt (Polycyclic aromatic hydrocarbons)
PANK ry	Päällystealan Neuvottelukunta
RA	Asfalttirouhe (Reclaimed Asphalt) murskattua tai jyrsettä asfalttia, jota voidaan käyttää asfalttimassan raaka-aineena
RAP	Kerätty asfaltti (Reclaimed Asphalt Pavement) päällyste- tai rakennuskoh-teista kerättyä vanhaa asfalttia, josta voidaan valmistaa asfalttirouhetta
RAS	Bitumikaterouhe, kattohuoparouhe (Recycled Asphalt Shingles)
RC	Asfalttirouheen osuus uusioasfaltissa
REACH	Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals)
SRK	Sivurullakulutuskoelaitos
SBS	Styreenibutadieeniblokkikopolymeeri
TAB	Tekninen arviointilaitos (Technical Assessment Body)
TRF	Tarpaper Recycling Finland Oy
TUKES	Turvallisuus- ja kemikaalivirasto
VOC	Haihtuva orgaaninen yhdiste (Volatile organic compounds)

# 1 Johdanto

## 1.1 Työn taustaa

Tämä diplomityö on tehty osana Tekesin hallinnoimaa INKA – innovatiiviset kaupungit -ohjelmaa. INKA-ohjelma on käynnissä 2014–2017 ja sen aikana on tarkoitus synnyttää kilpailukykyisiä yrityksiä, jotka perustuvat korkeaan teknologiseen osaamiseen. Tavoitteena on vauhdittaa innovaatiokeskittymien syntymistä Suomeen. INKA-ohjelmassa on viisi teemaa, joista jokaisessa on vetovastuussa oleva kaupunkiseutu ja muita kaupunkiseutuja kumppaneina. Teemat ovat biotalous, kestävät energiaratkaisut, tulevaisuuden terveys, älykäs kaupunki ja uudistuva teollisuus sekä kyberturvallisuus. (Tekes 2017.) Tekesin INKA-ohjelma sisältää monia projekteja ja tämä diplomityö on osa tutkimusprojektia "Kierrätysasfaltin markkinakelpoisuuden edellytysten luominen, demo-kohteena kattuhuopaa sisältävä asfaltti". Jatkossa tästä tutkimusprojektista käytetään lyhennettä "Tekes-INKA-projekti". Projekti liittyy erityisesti kestävät energiaratkaisut -teemaan, jossa yhtenä painopisteenä on teolliset symbioosit – jätteestä tuotteita ja raaka-ainetta.

Tekes-INKA-projektissa sekä muissa hankkeissa (Leiskallio et al. 2015, Hartonen 2015) ja uutisoinneissa (Korhonen 2016, Ojansivu 2016, Valli 2016) on Suomessa käytetty termiä kattuhuopa. Tässä työssä käytetään kuitenkin jatkossa termiä bitumikate, sillä se kuvaa parhaiten nykyään valmistettavia bitumisia katetuotteita kokonaisuudessaan. Kattuhuopa ja bitumikatetermien taustaa käydään läpi tämän työn kohdassa 2.1.

Tekes-INKA-projektin keskeinen tavoite on nopeuttaa uusien kierrätysmateriaalien hallittua käyttöönottoa ja kaupallistamista asfaltin ainesosana Suomessa ja kansainvälisesti. Uuden kierrätykseen pohjautuvan materiaalin kaupallistamisen mahdollistamiseksi on osoitettava materiaalin kelpoisuus asfaltiteollisuudessa. Materiaalin täytyy täyttää ympäristönäkökohtia, työhygieniaa sekä teknistä käytettävyyttä koskevat vaatimukset. Uudesta materiaalista valmistettavan kierrätysasfaltin tulee täyttää yleiset asfaltille asetetut vaatimukset. Projektin tuloksena luodaan toimintatapamalli ja menetelmäohjeistus uusille kierrätysmateriaaleille. Samalla syntyy prosessisuositus demokohteelle, bitumikatetta sisältävälle asfaltille. Projektilla on merkitystä sekä katetuoteollisuuden jätteenkäsittelyratkaisujen suunnitteluun että rakennustuotteiden elinkaaren pidentämiseen kiertotalouden keinoin.

Teollistumisen ja väestönkasvun myötä luonnonvarojen ja energian riittävyys on noussut kansainvälisesti tärkeäksi aiheeksi. Vuonna 1987 Yhdistyneiden kansakuntien Ympäristön ja kehityksen maailmankomissio esitti kestävän kehityksen määritelmän (Brundtland 1987, Malaska 1994). Kestävässä kehityksessä luonnonvarojen riittävyys on yksi tärkeimmistä näkökohdista. Kierrättämisen rinnalle on viime vuosina noussut kiertotalous. Kierrättämisessä jo syntyneelle jätteelle pyritään löytämään käyttötarkoitus, kun kiertotaloudessa keskitytään jätteen ja materiaalihukan minimoimiseen. Lähtökohdana on tehostaa resursien ja materiaalien käyttöä, jotta raaka-aineet ja niiden arvo saadaan pysymään kierrossa. (Sitra 2017, Ympäristöministeriö 2017c.)

Asfaltissa käytettävät pääraaka-aineet, kiviaines ja bitumi, ovat uusiutumattomia luonnonvaroja. Asfaltin kierrättäminen ja uusioasfaltin valmistaminen on ollut asfalttialalla tärkeässä roolissa 1970-luvun energiakriisin myötä, erityisesti bitumin hinnan noustua (Karlsson & Isacsson 2006). Asfaltin kierrätyksessä ja uusiokäytössä ollaan Suomessa jo pitkällä ja

uusiokäyttö on vakiintunut käytäntö asfalttialalla. Asfaltin uusiokäytön ja materiaalien kierrättämisen hyödyt ovat merkittävät taloudellisesti sekä luonnonvarojen käytön ja jätteen syntymisen vähentämisen kannalta. Kuitenkin uusien kierrätykseen pohjautuvien materiaalien käyttöönotto asfalttiteollisuudessa on haastavaa, sillä uusien materiaalien käyttöä estävät niitä koskevan tutkimustiedon puute, kierrätysmateriaaleihin liittyvät asenteet ja lainsäädännön tiukat vaatimukset jätteiden ja jätteistä jalostettujen tuotteiden käytölle.

Luonnonvarojen ylenmääräisen käyttämisen vähentämiseksi Suomen lainsäädännössä säädetään jätteiden kierrätyksestä. Jätelain (646/2011) ja ympäristönsuojelulain (572/2014) tarkoituksena on muun muassa vähentää jätteen määrää ja haitallisuutta, tukea kestävä kehitystä sekä turvata luonnontaloudellisesti kestävä ympäristö. Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013) sekä valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012) antavat tarkempia säädöksiä jätteen hyödyntämisestä jätelajeittain. Asetukset asettavat vuoteen 2020 mennessä tavoitteeksi kierrättää 70 painoprosenttia rakennus- ja purkujätteestä muutoin kuin energiana tai polttoaineeksi. Lisäksi asetusten myötä vuoden 2016 alusta astui voimaan kielto orgaanisen aineen sijoittamisesta kaatopaikalle, tarkoituksena hyödyntää jätettä materiaalina ja energiantuotannossa. Asetusten myötä myös bitumikatejätteen sijoittaminen kaatopaikalle on ollut kiellettyä vuodesta 2016.

Bitumikate sisältää sekä bitumia että hiekka- ja mineraaliaineita. Bitumi on yksi asfaltin pääraaka-aineista, joten bitumikatejäte soveltuu käytettäväksi asfalttiteollisuudessa erityisesti korkean bitumipitoisuuden ansiosta. Käyttämällä bitumikatejätettä asfaltin valmistuksessa neitseellisen bitumin määrää voidaan vähentää. Näin saavutetaan taloudellisia etuja, sillä bitumikatteesta saatava kierrätysbitumi on neitseellistä bitumia halvempaa. Samalla myös uusiutumattomien luonnonvarojen käyttö vähenee. Asfaltin runkoaineena käytetään hiekka- ja mineraaliaineita, joten bitumikatejäte sopii myös muun materiaalisisältönsä puolesta asfaltin valmistukseen. (Leiskallio et al. 2015.)

1.1.2014–31.3.2015 järjestettiin Kipsi- ja kattohuopajätteiden keräys kierrätykseen (KIHU)-hanke, jossa tutkittiin näiden jätteiden erilliskeräyksen ja hyödyntämisen mahdollisuuksia Suomessa. Suomessa bitumikatejätteen erilliskeräminen on aloitettu vuonna 2014. Koska erilliskeräminen on aloitettu vasta hiljattain, bitumikatejätteen tarkkaa määrää ei tiedetä. KIHU-hankkeessa arvioitiin syntyvien jätteiden määrää, ja hankkeen eri arvioiden mukaan Suomessa syntyy bitumikatejätettä vuosittain 13 000–15 000 tonnia. Ennen erilliskeräamisen aloittamista bitumikatejäte on päätynyt kaatopaikalle tai poltettavaksi. Bitumikatejäte ei kuitenkaan sovellu käytettäväksi energiantuotannossa suurissa määrin, sillä bitumikatejätteen sisältämät hiekka- ja mineraaliaineet lisäävät polttamisessa syntyvän tuhkan määrää. (Leiskallio et al. 2015.)

## 1.2 Tutkimusongelma

Uusien kierrätykseen pohjautuvien lisä- ja raaka-aineiden tuominen asfalttimarkkinoille on työlästä, sillä Suomen lainsäädännössä jätteeksi luokitellun aineen käytöstä raaka-aineena säädetään hyvin tiukasti. Kuitenkin jätelainsäädännön ja valtioneuvoston asetusten muutosten myötä rakennusteollisuudessa syntyvien jätteiden määrää on pyrittävä vähentämään kiertotalouden keinoin. Myös asenteet kierrätysmateriaaleja kohtaan hidastavat uusien kierrätystuotteiden käyttöönottoa ja kaupallistamista. Suomessa asfaltin valmistuksessa on jo pidempään käytetty kierrätettyä vanhasta asfaltista jyrskyttä asfalttirouhetta

ja siten vähennetty uusien raaka-aineiden tarvetta. Myös kierrätetyn asfalttirouheen käyttämisestä oli ennakkoluuloja käytännön vasta yleistyessä. Lisääntyneen ympäristötietouden ja lainsäädännön muutosten myötä tarvitaan uusia innovaatioita materiaalien kierrätyksen tehostamiseksi. Uusien innovaatioiden tueksi tarvitaan toimiva menetelmä uusien materiaalien kelpoisuuden osoittamiseksi ja kaupallistamisen mahdollistamiseksi.

Bitumikatejäte soveltuu asfaltin ainesosaksi materiaalisältönsä puolesta. Bitumikatejätteen teknistä soveltuvuutta asfaltin ainesosaksi Suomen oloissa on kuitenkin tutkittu vasta vähän. Vakiintunutta termistöä bitumikatejätteen käytöstä asfaltin valmistuksessa ei ole, sillä se on suhteellisen uutta asfalttiteollisuudessa. Ensimmäiset bitumikatetta kierrättäneet pioneerit aloittivat bitumikatejätteen hyödyntämisen kokeilut asfalttimassoissa Yhdysvalloissa 1970-luvun lopussa ja ensimmäiset tutkimukset aiheesta julkaistiin 1980-luvun lopussa (Krivit 2007). Myös Euroopassa tutkimusta on tehty yli kymmenen vuoden ajan (Sengoz & Topal 2005), mutta ulkomaiset olosuhteet ja päällysteelle asetetut laatuvaatimukset poikkeavat suomalaisista oloista ja vaatimuksista. Kateteollisuudessa myös käytetään erilaisia bitumeita Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Näistä syistä suoria päätelmiä ulkomaisista tutkimuksista ei voida tehdä. Tarvitaan lisää tutkimustietoa bitumikatteen ominaisuuksista ja soveltuvuudesta asfaltin ainesosaksi pohjoisissa olosuhteissa, suomalaiset laatuvaatimukset huomioon otettuina.

### 1.3 Tavoitteet

Tämän diplomityön tavoitteena oli laatia yleinen toimintatapamalli ja menetelmäohjeistus edistämään kierrätykseen pohjautuvien materiaalien hallittua käyttöönottoa asfalttiteollisuudessa. Lisäksi tämän työn tavoitteena oli selvittää bitumikatteen soveltuvuutta asfaltin ainesosaksi ja tämän pohjalta esittää suositeltavia käyttökohteita bitumikatetta sisältävälle asfaltille sekä selvittää kierrätetyn bitumikatteen käyttöön liittyviä, kansainvälisessä käytössä olevia termejä.

Toimintatapamalli ja menetelmäohjeistus ovat keskeinen osa Tekes-INKA-projektia, jossa tavoitteena oli kehittää toimiva prosessi osoittamaan kierrätysmateriaalien kelpoisuusvaatimusten täytyminen asfaltin lisä- tai raaka-aineena ja siten edistää kiertotaloutta. Toimintatapamalli laaditaan tukemaan viranomaisten, alaa kehittävien toimijoiden ja päällystystöiden tilaajien päätöksentekoa. Toimintatapamalli sisältää menetelmäohjeistuksen, jossa käydään läpi uuden materiaalin hyödyntämistä koskevat olennaiset seikat.

### 1.4 Aineisto ja tutkimusmenetelmät

Tässä tutkimuksessa aineistona käytettiin Tekes-INKA-projektissa tuotettuja materiaaleja. Bitumikatteen käytettävyyden arvioimiseksi projektissa tehtiin tutkimuksia, jotka koskevat asfaltin teknisiä ominaisuuksia sekä ympäristö- ja työterveysnäkökohtia. Lisäksi projektissa tuotettiin raportti demokohtena toimivan bitumikaterouheen kaupallistamisprosessista ja laadunvalvonnasta. Raportissa kuvattiin bitumikaterouheen tuotteistamisessa läpikäytyjä vaiheita sekä prosessiin liittyviä haasteita. Raportissa otettiin huomioon työterveysasioita sekä eri tahojen ja lainsäädännön asettamia vaatimuksia. Kierrätykseen pohjautuvien raaka-aineiden käyttökelpoisuuden osoittamiseksi ei ole olemassa yleisesti hyväksytyjä tutkimusmenetelmiä. Tekes-INKA-projektiin sisältyi myös näiden menetelmien state-of-the-art-kehittäminen.

Bitumikatetta sisältävän asfaltin teknisten vaatimusten täyttymisen osoittamiseksi toteutettiin laboratorionkokeita kahdesta eri koekohteesta poratuille bitumikatetta sisältäville asfalttikappaleille ja referenssinäytteille. Tuloksia vertaamalla voitiin tehdä päätelmiä siitä, miten bitumikatteen lisääminen vaikuttaa asfaltin ominaisuuksiin. Tämän lisäksi näille koekohteille sekä kuudelle muulle bitumikaterouhetta sisältävälle kohteelle tehtiin visuaalinen tarkastus keväällä 2017. Työterveys- ja ympäristönäkökohdat otettiin huomioon teettämällä tutkimuksia koekohteiden poranäytteistä Työterveyslaitoksella. Teknisten ominaisuuksien tulosten yhteenvedon pohjalta työssä esitetään suositeltavia käyttökohteita bitumikatetta sisältävälle asfaltille.

Projektin kaksi koekohteita olivat Riihimäellä osuus Mt 2879:stä sekä Lahdessa teollisuushallin piha. Molemmista koekohteissa asfaltin valmistuksessa käytettiin kierrätetyn bitumikatteen lisäksi asfalttirouhetta. Ensimmäinen koekohte, Mt 2879, valmistui syksyllä 2015 ja toinen koekohte, teollisuushallin piha, valmistui syksyllä 2016. Molemmista koekohteista porattiin bitumikatetta sisältäviä näytteitä sekä referenssinäytteitä. Visuaalinen tarkastus tehtiin näiden koekohteiden lisäksi kuudelle muulle Lahdessa sijaitsevalle kohteelle, jotka päällystettiin bitumikatetta sisältävällä asfalttimassalla vuosina 2014 ja 2015. Näistä kaksi oli teollisuuskiinteistöjen piha-alueita ja neljä Lahden kaupungin katu-alueita.

Laboratorionkokeiden ja Työterveyslaitoksen tutkimusten aineistona käytettiin myös muita koekohteista toimitettuja materiaaleja: bitumikatetta sisältävää asfalttimassaa, referenssimassaa ilman bitumikatetta, massoissa käytettyä bitumia, kierrätettyä asfalttirouhetta, kiviainessekoitusta sekä puhdasta bitumikatetta.

Kirjallisuudesta selvitettiin bitumikatteen käytöstä asfaltin ainesosana saatuja tutkimustuloksia sekä käytössä olevaa termistöä, jonka pohjalta ehdotetaan termejä Suomessa käytettäväksi. Uuden materiaalin markkinoille saattamiseen liittyviä seikkoja selvitettiin kirjallisuustutkimuksella sekä demokohteen kaupallistamisprosessin avulla. Lisäksi tässä työssä kartoitettiin bitumikatteen käytöstä saatuja kokemuksia haastatteleamalla asfalttiasemien henkilökuntaa Suomessa.

## 1.5 Tutkimuksen rajaus

Tässä tutkimuksessa keskitytään bitumikatetta sisältävien asfalttinäytteiden ja vastaavien referenssinäytteiden tutkimiseen teknisten ominaisuuksien kannalta. Myös työterveys- ja ympäristönäkökohtia selvitetään. Muiden kierrätykseen pohjautuvien materiaalien käyttöä ei käsitellä tässä tutkimuksessa. Työ on tehty osana Tekes-INKA-projektia, joten työn tavoitteet ja tulokset ovat myös osa kyseistä projektia.

Tutkitut näytteet ovat kahdesta eri koekohteesta, joissa toimi eri urakoitsija. Koekohteet olivat maantie ja teollisuushallin piha, molemmat vähäliikenteisiä alueita. Koekohteissa käytettiin asfalttibetonia, joka sisälsi asfalttirouhetta ja bitumikatetta. Molemmista kohteista tutkittiin kulutuskerroksen pintamassaa ja toisesta myös kantavan kerroksen pohjamassaa. Tässä tutkimuksessa ei käsitellä muita asfalttityyppejä kuin asfalttibetonia, eikä tutkita bitumikatteen soveltuvuutta vilkkaammin liikennöidyille alueille.



## 2 Kirjallisuusselvitys

### 2.1 Yleistä bitumikatteesta ja kattuhuovasta

Kattuhuopa on yleisnimi huopatuotteille, joita käytetään katemateriaaleina tai vedeneristyksessä. Suomeen alettiin tuoda kivihiilitervalla kyllästettyjä asfaltti- eli tervahuopia 1850-luvulla. Vuonna 1876 alkoi suomalainen kattohuopateollisuus, joka oli vuosisadan vaihteessa jo huomattavan laajaa. Kattohuopateollisuudessa siirryttiin hiljalleen kivihiilitervan käytöstä bitumin käyttöön, asfalttihuopien teollista valmistamista kuitenkin jatkettiin bitumi- huopien valmistamisen ohella. (Puurunen 2000.)

Kattuhuopa koostuu runko- ja sideaineesta, 1800-luvulla valmistetuissa asfalttihuovissa runkoaineena käytettiin yleensä lumppuhuopaa ja kivihiiliterva toimi sideaineena. Nykyään valmistettavissa bitumikatteissa runkoaineena käytetään vahvistettua polyesteri- tai lasikuituhuopaa, joskus myös perinteistä tekstiilikuitua. (Puurunen 2000.) Suomessa bitumikatteissa on käytetty sideaineena sekä puhallettua bitumia että kumibitumia. Lisäksi bitumikatteissa käytetään täyteaineita, kuten kalkkikiveä ja pintaan lisätään haluttu sirote suojaamaan auringon UV-säteilyltä. (Blomberg 1990.)

Bitumikatteiden ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa käyttämällä lisäaineita bitumissa. Lisäainesten käytöllä eli modifioinnilla voidaan parantaa bitumikatteiden toimivuutta ja kestävyyttä. Yleisin bitumin modifiointiaine on SBS-kumi (styreenibutadieeniblokkikopolymeeri), joka tekee bitumimassasta elastisen ja parantaa bitumikatteen kylmäominaisuuksia. Myös APP-muovia (ataktinen polypropeeni) käytetään bitumin modifoimiseen lähinnä Etelä-Euroopassa. SBS-modifioitun bitumin käyttö yleistyi 1970-luvulla (Kerabit 2017), minkä seurauksena siirryttiin modifioituihin bitumikatteisiin. Nykyään kaikki Suomessa ja muissa Pohjoismaissa valmistettavat modifioituvat bitumikatteet ovat SBS-modifioituja. (Kattoliitto 2013.)

Katon rakentamiseen on olemassa monia vaihtoehtoisia materiaaleja, mutta bitumi on toiminut kateteollisuuden kulmakivenä Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa lähes vuosisadan. Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa kehitettyjä katetuotteita käytetään myös muualla maailmassa, mutta bitumin kulutus kateteollisuudessa on suurinta Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa. Katetuotteiden valmistamiseen käytetyt bitumit ja materiaalien määrät kuitenkin eroavat näiden mantereiden välillä. (ARMA 2011.) Taulukkoon 1 on koottu Suomessa ja Yhdysvalloissa valmistettavien katetuotteiden materiaalitietoja.

Taulukko 1. Pohjois-Amerikan ja Suomen katetuotteiden koostumustiedot (muokattu lähteistä Townsend et al. 2007, Tuominen, K 2017)

Ainesosa	Suomi (paino-%)	Yhdysvallat (paino-%)
Bitumi	50–60 (SBS-modifioitu)	19–36 (puhallettu)
Mineraaliaines	25–45	28–78
Kuitu	0–10	2–15

Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa käytetyt kattotyypit ovat erilaisia ja tämä on syynä tuotteiden materiaaliheroille. Pohjois-Amerikassa on enemmän jyrkempiä kattoja, joiden valmistuksessa yleisimpiä katetuotteita ovat puhalletusta bitumista valmistetut bitumiset kattolaatat (bitumen roofing shingles). Euroopassa yleisimpiä tuotteita ovat polymeerimodifioidut bitumikatteen (polymer modified bitumen roofing). Erityisesti Pohjois-Amerikassa on käytössä myös kerroksittaisia kalvokatteita, jotka kootaan paikan päällä (built-up roofing). Lisäksi molemmilla mantereilla on käytössä erilaisia bitumisia kalvoja ja alustoja (bitumen membranes and underlayments). (ARMA 2011.) Taulukossa 2 on esitetty molempien mantereiden kateteollisuuden tuotantomäärät.

Taulukko 2. Bitumisten katteiden tuotanto kattotyypeittäin Pohjois-Amerikassa ja Euroopassa (muokattu lähteestä ARMA 2011)

	Pohjois-Amerikka M m <sup>2</sup>		Eurooppa M m <sup>2</sup>	
	Jyrkät katot kaltevuus > 14°	Loivat katot kaltevuus ≤ 14°	Jyrkät katot kaltevuus > 14°	Loivat katot kaltevuus ≤ 14°
Bitumiset kattolaatat	3403	0	40	0
Polymeerimodifioidut bitumikatteen	0	309	0	610
Paikan päällä koottavat katteen	0	298	0	2
Bitumiset kalvot ja alustat	1418	0	14	273
Yhteensä	4821	607	54	885
Osuudet mantereittain	89 %	11 %	6 %	94 %

## 2.2 Bitumin ominaisuuksia

Bitumi on pääosin hiilivedyistä koostuva materiaali, jota saadaan raakaöljystä tislaamalla tai suoraan luonnon asfalttiesiintymistä. Bitumin kemiallinen koostumus on erittäin monimutkainen, joten bitumille ei ole olemassa yksiselitteistä mallia. Bitumeilla, joilla on erilainen kemiallinen koostumus, voi olla hyvin samankaltaiset fysikaaliset ominaisuudet, joten bitumien kuvaaminen kemiallisen koostumuksen avulla ei yleensä ole merkityksellistä. Bitumi on monimutkainen materiaali, joka reagoi myös kuormitukseen vaihtelevasti. Kuormitukseen reagoiminen ja bitumin mekaaniset ominaisuudet riippuvat sekä lämpötilasta että kuormituksen kestoajasta. Matalissa lämpötiloissa tai lyhyillä kuormitusajoilla bitumi on elastinen kiinteä aine, kun taas korkeissa lämpötiloissa tai pitkillä kuormitusajoilla viskoosinen neste. Näiden alueiden väliin jää viskoelastinen siirtymäalue, jossa bitumilla on sekä elastisia että viskooseja ominaisuuksia. (Blomberg 1990, Shell Bitumen 1990.)

Vaihtelevien ominaisuuksien kuvaaminen ja bitumin luokittelu tehdään erilaisten empiiristen testausmenetelmien avulla, joiden tarkoituksena on antaa arvokasta tietoa bitumin toiminnasta ja soveltumisesta asfalttipäällysteiden sideaineeksi kriittisissä lämpötiloissa. Bitumin ominaisuuksia testataan esimerkiksi tunkeuma-, pehmenemispiste-, murtumispiste-

ja viskositeettitesteillä. Lisäksi bitumin ominaisuuksia tutkitaan hyödyntämällä reologiaa, tieteenalaa, joka tutkii materiaalin virtausominaisuuksia ja muodonmuutoksia. Bitumin kemiallinen koostumus ja rakenne määräävät bitumin reologiset ominaisuudet. (Shell Bitumen 1990.) Bitumin reologisten ominaisuuksien kuvaaminen onnistuu parhaiten kompleksimoduulin ( $G^*$ ) ja vaihekulman ( $\delta$ ) avulla. Kompleksimoduuli esittää materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutoksia kuormitustilanteessa ja vaihekulma esittää materiaalin viskoelastista suhdetta. Täysin elastisen eli kiinteän aineen tavoin käyttäytyvän materiaalin vaihekulma on  $0^\circ$  ja täysin viskoosin eli nestemäisen materiaalin vaihekulma on  $90^\circ$ . Bitumin vaihekulmat ovat välillä  $0^\circ$ – $90^\circ$ , sillä bitumi on viskoelastinen materiaali. (Bahia 2009.)

Jotta bitumipitoinen päällyste saavuttaisi suunnitellun käyttöikänsä, on tärkeää, että bitumi ei ole kovettunut liiallisesti varastoinnin, valmistusprosessin ja tien käyttöänsä aikana. Kuten monen orgaanisen materiaalin, myös bitumin ominaisuudet muuttuvat hapen, UV-säteilyn ja lämpötilan muutosten vaikutuksesta. Bitumissa nämä ulkoiset vaikutukset aiheuttavat kovenemista, tunkeuma pienenee ja pehmenemispiste kasvaa, ja tästä seurauksena bitumi menettää juoksevuuttaan. Hapettuminen on yksi merkittävimmistä bitumin kovettumisen syistä. Reagoidessaan ilman hapen kanssa bitumin kemiallinen koostumus muuttuu ja sen seurauksena bitumista tulee kovempaa. (Shell Bitumen 1990.)

Ulkoisten vaikutusten aiheuttama bitumin koveneminen tapahtuu ajan kuluessa ja tätä ilmiötä kutsutaan bitumin vanhenemiseksi. Bitumin vanheneminen kasvattaa sen jäykkyyttä ja kykyä vastustaa muodonmuutoksia, mutta samalla vanheneminen tekee bitumista hauraampaa ja koko päällyste vaurioituu helpommin. (Petersen 2009.) Vanhenemista tapahtuu bitumin kaikissa elinkaaren vaiheissa ja vanheneminen jaetaan yleensä lyhytaikaiseen ja pitkäaikaiseen vanhenemiseen. Lyhytaikaisella vanhenemisella viitataan asfalttimassan valmistuksessa, säilytyksessä, kuljetuksessa ja levityksessä tapahtuvaan vanhenemiseen ja pitkäaikaisella vanhenemisellä viitataan päällysteessä tapahtuvaan bitumin vanhenemiseen päällysteen elinkaaren aikana. Lyhytaikaiseen vanhenemiseen vaikuttaa merkittävimmin bitumin korkea lämpötila, joka kasvattaa bitumin hapettumisnopeutta ja siten nopeuttaa vanhenemistä. Pitkäaikaiseen vanhenemiseen vaikuttaa eniten päällysteen tyhjätila, suurempi tyhjätila lisää bitumin kosketuspinta-alaa ilman hapen kanssa, jolloin bitumi kovenee enemmän. (Shell Bitumen 1990.)

Vanhan bitumin joukkoon voidaan lisätä tuoretta pehmeää bitumia palauttamaan vanhan bitumin ominaisuuksia. Tätä prosessia kutsutaan bitumin elvyttämiseksi. Elvyttämisessä voidaan käyttää tuoretta pehmeää bitumia tai muuta elvyttävää materiaalia, joista käytetään termiä elvytin. Kierrätysafaltin valmistuksessa käytetyn elvyttimen tulisi palauttaa vanhan bitumin ominaisuuksia sopiviksi uuden päällysteen rakentamista varten. Lisäksi kierrätyksessä syntyvän päällysteen sideaineen on täytettävä vaaditut ominaisuudet, jotta päällyste saavuttaa suunnitellun käyttöikänsä. (Karlsson & Isacsson 2006.)

Bitumin kaksi suurinta käyttökohdetta rakennusmateriaalina ovat päällysteet ja katemateriaalit, joissa molemmissa bitumi toimii sideaineena ja vettä eristävänä elementtinä (Blomberg 1990, Petersen 2009). Suomessa bitumikatteissa on bitumia arviolta noin 55 painoprosenttia (Tuominen, K 2014) ja Pohjois-Amerikassa 16–30 (Yang et al. 2013, Krivit 2007, Townsend et al. 2007). Asfaltissa on bitumia 4–7 painoprosenttia, joten korkean bitumipitoisuuden ansiosta kierrätetty bitumikate voisi soveltua korvaamaan osan asfaltissa käytettävästä tuoreesta bitumista.

## 2.3 Bitumikatejätteen hyödyntäminen asfalttiteollisuudessa

### 2.3.1 Bitumikatejätteen alkuperä

Bitumikatejätettä saadaan kahdesta eri lähteestä, vanhaa käytöstä poistettua bitumikatteita saneeraus- ja purkutyömailta sekä bitumikatteiden valmistuksessa syntyvää teollisuuden ylijäämää. Yhdysvalloissa bitumikatejätettä syntyy vuosittain arviolta 11 miljoonaa tonnia, josta 10 % on teollisuuden ylijäämää ja loput purku- ja saneerauskohteista (Townsend et al. 2007). Suomessa bitumikatejätettä syntyy arviolta 13–15 tuhatta tonnia (Leiskallio et al. 2015), josta 20–30 % on teollisuuden ylijäämää (Valli 2016).

Purku- ja teollisuusjätteillä on muutamia tärkeitä eroja, jotka koskevat bitumikatteiden bitumipitoisuutta, bitumin kovuutta ja kateen mahdollisesti sisältämiä haitallisia tai vaaraa aiheuttavia materiaaleja. Katolla ollut bitumikate on hapettunut vuosien aikana sääolojen ja auringon valolle altistumisen seurauksena, joten purkujätteestä saatava bitumikate on tyypillisesti kovempaa kuin teollisuuden ylijäämä. Mineraaliaineksen irtikuluminen seurauksena katoilta puretun bitumikatejätteen bitumipitoisuus on tyypillisesti suurempi kuin teollisuusylijäämän. Purku- ja saneerauskohteista tuleva bitumikate sisältää todennäköisemmin haitallisia materiaaleja kuten nauvoja tai muuta jätettä ja lisäksi se saattaa sisältää myös asbestia, jota käytettiin bitumikatteiden valmistuksessa muutamissa tuotelaaduissa vielä 1970-luvun loppuun. (West 2015.)

### 2.3.2 Kierrätetyn bitumikatteiden terminologia

Yhdysvalloissa bitumikatteiden hyödyntämistä kuumina valmistettavien ja levitettävien asfalttien (hot mix asphalt, HMA) ainesosana on tutkittu jo 1980-luvulta asti, mutta yhtenäistä kansainvälistä termistöä bitumikatteiden käytöstä asfalttiteollisuudessa ei ole syntynyt. Suomessa bitumikatteiden kierrättäminen ja prosessointi asfalttiteollisuudelle hyödynnettävään muotoon on saanut alkunsa vasta 2014 eikä termistöä vielä ole olemassa. Taulukoon 3 on koottu asfalttiteollisuudessa hyödynnettävästä murskatusta bitumikatejätteestä käytettyjä termejä muutamista yhdysvaltalaisista julkaisuista.

Murskatusta bitumikatejätteestä voisi Suomessa käyttää termiä bitumikaterouhe. Lisäksi termille olisi hyvä olla lyhenne, josta olisi hyötyä asfalttimassojen materiaalitietojen esittämisessä. Taulukossa 3 esitettyjen termien pohjalta bitumikaterouheen lyhenteenä voisi käyttää kansainvälistä lyhennettä RAS (recycled asphalt shingles). Asfalttialalla kierrätettyä asfalttirouheesta käytetään kansainvälisesti termiä RAP (reclaimed asphalt pavement, recycled asphalt pavement) tai RA (reclaimed asphalt), joten kierrätetty bitumikaterouhe eli RAS olisi yhtenevä asfalttialalla jo käytettyjen RAP- ja RA-termien kanssa.

Bitumikatejätteen alkuperällä on vaikutusta rouheen ominaisuuksiin, joten monesti on myös tarpeellista erotella onko kyseessä teollisuuden ylijäämää vai purku- ja saneeraustyömailta tullutta bitumikatteita. Taulukossa 3 esitetyt termit yhdysvaltalaisista julkaisuista käyttävät teollisuudesta saatavasta bitumikatejätteestä termejä, jotka viittaavat valmistajan jätteeseen tai ennen kulutusta muodostuneeseen jätteeseen eli teollisuudesta tulevaan ylijäämään. Katoilta puretuista bitumikatteista puolestaan käytetään termejä, jotka viittaa-

vat kulutuksesta poistuvaan bitumikatteeseen tai bitumikatteiden purkutyössä käytettyyn termiin "tear-off". Kyseistä termiä käytetään katealalla bitumikatteiden poisto-operaatiosta (ARMA 2011). Suomessa bitumikatteiden alkuperän erottelussa voitaisiin käyttää termejä teollisuus-RAS ja purku-RAS. Näitä termejä käytetään myös myöhemmin tässä työssä.

Taulukko 3. Murskatusta bitumikatejätteestä käytettyjä termejä

Julkaisutiedot	Käytetyt termit (ja lyhenteet)		
	Tekijä, vuosi	Murskattu bitumikate	Purkujäte
Krivit, 2007	recycled asphalt shingles (RAS)	tear-off (post consumer) asphalt shingle scrap	manufacturers (pre-consumer) asphalt shingle scrap
Hansen, 2009	reclaimed asphalt shingles (RAS)	tear-off shingles	manufacturers' waste
West, 2015	recycled asphalt shingles (RAS)	post-consumer waste (PC RAS), tear-offs	shingle manufacturer waste (MW RAS)
AASHTO, 2006a, 2006b	reclaimed asphalt shingles (RAS)	post-consumer asphalt shingle "tear-off"	manufactured shingle waste
AASHTO, 2010a, 2010b	recycled asphalt shingles (RAS)	post-consumer asphalt shingle "tear-off"	manufactured shingle waste

### 2.3.3 Ulkomaiset tutkimukset ja käytännöt

Bitumikatteita tuotetaan eniten Pohjois-Amerikassa ja siellä on pisimpään tutkittu bitumikatejätteen hyödyntämistä asfaltiteollisuudessa. Yhdessä ensimmäisistä tutkimuksista (Paulsen et al. 1986) todetaan bitumikatejätteen suhteellisen suuren bitumimäärän ja käytetyn "kiviaineksen tyypin" tarjoavan potentiaalia korvaamaan osittain asfaltissa olevaa bitumia ja kiviainesta. Tutkimuksen taustassa mainitaan tutkimusta tehdyn monien kierrätysmateriaalien hyödyntämisestä asfaltin materiaalina sekä teknisestä että taloudellisesta näkökulmasta, mutta bitumikatejätteen hyödyntämisestä ei tutkimusta näistä näkökulmista ole saatavilla.

Paulsen et al. (1986) selvittävät tutkimuksessaan bitumikatejätteen ominaisuuksia viidestä eri osavaltiosta saaduista näytteistä ja kahdesta sopivimmasta valmistettiin laboratoriossa koekappaleita bitumikatetta sisältävän asfaltin ominaisuuksien testaamiseksi. Kappaleet valmistettiin massoista, joissa oli käytetty 10–30 tilavuusprosenttia (2,8–8,4 massa-prosenttia\*) bitumikaterouhetta ja 3–5 massaprocenttia elvytintä vanhenneen bitumin ominaisuuksien palauttamiseksi. Kappaleista tutkittuja ominaisuuksia olivat kappale- ja maksimitiheydet, epäsuora halkaisuvetolujuus, tyhjätila sekä Hveem- ja Marshall-stabiiliteetti. Tutkimuksen laboratoriotestit osoittivat, että hyväksyttäviä päällystemassoja voidaan valmistaa bitumikatteen osuuden ollessa 20 tilavuusprosenttia (5,6 massa-%). Myös vähintään 30 tilavuusprosenttia (8,4 massa-%) sisältäviä massoja voidaan mahdollisesti valmis-

taa hyväksyttävien ominaisuuksin, kun käytetty sideaine, sideaineen määrä ja kiviaineksen rakeisuus valitaan sopiviksi.

*\* Tilavuusprosenttien vastaavuudet massaprosentteina on laskettu tiheyden kaavaa hyödyntäen. Bitumikaterouheen tiheydenä käytettiin Tarpaper Recyclingin vaatimustenmukaisuusilmoituksen mukaisesti  $700 \text{ kg/m}^3$ . Tiheyden avulla laskettiin bitumikaterouheen massa kuutiossa eri tilavuusprosentteilla (10, 20 ja 30) ja verrattiin sitä asfaltin massaan kuutiossa. Asfaltin massa kuutiossa saatiin laskettua asfaltin tiheyden avulla, jonka arvoksi arvioitiin  $2500 \text{ kg/m}^3$ .*

Bitumikatetta sisältävän asfaltin ominaisuuksia on myöhemmin selvitetty monissa eri tutkimuksissa. Foo et al. (1999) valmistivat tutkimuksessaan HMA-koekappaleita ilman bitumikatetta ja kahdella eri katepitoisuudella (5 ja 10 massaprosenttia), jokaisesta kolme erää eri kiviainesrakeisuuksilla. Bitumikatteesta uutettiin sideaine ja sen reologisten ominaisuuksien selvittämiseksi mitattiin kompleksimoduuli ( $G^*$ ) ja vaihekulma ( $\delta$ ). Koekappaleiden halkeiluerkkyyden selvittämiseksi tehtiin epäsuora halkaisuvetolujuustesti ja pysyvien muodonmuutosten arvioimiseksi virumis- ja urautumiskokeet. Tutkimustuloksina esitettiin, että bitumikate voi lisätä kierrätetyn sideaineen jäykkyyttä merkittävästi. Bitumikatteen käyttö HMA-massoissa parantaa yleisesti massan urautumiskestävyyttä. Massan väsymishalkeilu- ja kylmäkestävyys voivat kuitenkin kärsiä. Sopivan pehmeämmän sideaineen lisäämisellä voidaan parantaa näitä ominaisuuksia.

Myös Sengoz & Topal (2005) raportoivat tutkimuksessaan bitumikatteen parantavan asfalttimassan urautumiskestävyyttä. Tutkimuksessa käytettiin 0–5 massaprosenttia bitumikatetta asfalttimassan valmistuksessa. Koekappaleiden Marshall-stabilitetti ja urautumisen kesto määritettiin. Lisäämällä asfalttimassaan 1 massa-% bitumikatetta, saatiin stabiileetin kannalta parhaat tulokset. Tällöin myös optimaalinen bitumipitoisuus laski 0,5 prosenttiyksikköä ja urautumiskestävyys oli parempi kuin referenssinäytteillä. Tutkimuksessa esitetyn kirjallisuuskatsauksen mukaan lasikuitua sisältävä bitumikate ei vaikuta asfaltin kylmäkestävyyssominaisuuksiin. Tutkimuksessa esitettiin kuitenkin, että lasikuitua sisältävä bitumikate voi parantaa asfaltin väsymishalkeilukestävyyttä ja tutkimusta voisi parantaa selvittämällä HMA-massojen väsymishalkeilukestävyyttä. Tutkimus tehtiin Turkin lämpimissä oloissa, joten kylmäkestävyyttä ei tutkimuksessa käsitelty tarkemmin.

Kanadalaisessa case-tutkimuksessa selvitettiin kierrätetyn bitumikatteen vaikutuksia HMA-päällysteiden kylmäkestävyyteen. Yang et al. (2013) selvittivät ominaisuuksia kuudesta eri massasta, joista neljä oli kulutuskerroksen ja kaksi sidekerroksen massoja. Massoissa käytettiin 0–25 massaprosenttia RAP:ia ja 1,5–6 massaprosenttia RAS:ia. Tutkimuksessa selvitettiin massojen elastisia ominaisuuksia sekä väsymis- ja kylmähalkeilun vastustuskykyä. Tutkimuksessa esitettiin suuren RAS-pitoisuuden (6 %) mahdollisesti vähentävän massan kylmäkestävyyttä ja vastustuskyvyn parantamiseksi pehmeän sideaineen lisääminen voi olla tarpeen. Pieni RAS-pitoisuus (3 %) yhdessä RAP:n kanssa tuotti tavanomaista massaa vastaavia ominaisuuksia. Väsymiskestävyyden kannalta tulokset olivat samankaltaiset. Suuri määrä RAS:ia vaikutti negatiivisesti väsymiskestävyyteen erityisesti silloin, kun käytetyn RAS:n määrä oli yli 3 %. Tutkimuksen yhteydessä suoritettujen kenttäkatselmusten tuloksena esitettiin, että lyhyessä ajassa RAS:ia ja RAP:ia sisältävä HMA-päällyste suoriutuu hyvin. Suosituksissa Yang et al. toteavat, että kunnollisella massan suunnittelulla RAS voi olla hyödyllinen ainesosa Ontarion HMA-päällysteissä.

McGraw et al. (2007) kuvaavat tutkimusta, jossa selvitettiin sekä purku-RAS:n että teollisuus-RAS:n käyttöä yhdessä tavanomaisten RAP-materiaalien kanssa. Tutkimus on yksi monista Minnesotan osavaltion sponsoroimista tutkimuksista, jotka koskevat RAS:n käyttöä HMA-päällysteissä. Selvitys sisältää myös rinnakkaisen Missourissa suoritettua tutkimusta. Minnesotan tutkimuksessa valmistettiin kolmea massaa: kontrollimassaa, jossa oli 20 % RAP:ia ja kaksi massaa, joissa oli 15 % RAP:ia ja lisäksi toisessa 5 % purku-RAS:ia ja toisessa 5 % teollisuus-RAS:ia. Kaikissa massoissa käytettiin sideaineena samaa tuotetta bitumia. Tutkimuksen tulokset osoittivat, että teollisuus- ja purku-RAS toimivat eri tavoin. Teollisuus-RAS tuntui hyödylliseltä, sillä se kasvatti hieman jäykkyyttä, vaikuttamatta massan ja uutetun sideaineen vetolujuuteen. Sideaineen kriittinen lämpötila halkeilun kannalta nousi hyvin vähän. Purku-RAS puolestaan vaikutti massan ominaisuuksiin negatiivisemmin, vaikka se myös nosti jäykkyyttä hieman. Sideaineen lujuus heikkeni kuitenkin huomattavasti korkeammassa lämpötilassa ja sideaineen kriittinen lämpötila nousi. Kyseinen havainto ei kuitenkaan vahvistunut massojen lujuuksissa, joissa purku-RAS:n lisääminen ei aiheuttanut huomattavaa alenemista. RAS:n lisääminen laskee sideaineen lämpöherkkyyttä ja tekee siitä perinteistä ja RAP-modifioitua sideainetta jäykempää.

Missourin tutkimuksessa (McGraw et al. 2007) valmistettiin kolmea massaa, yksi täysin neutraaleista materiaaleista, toisessa 20 % RAP:ia ja kolmannessa 15 % RAP:ia sekä 5 % RAS:ia. Kaikkia massoja valmistettiin kaksi erää, joissa käytettiin eri bitumia. Tulokset osoittivat, että kovempaa bitumilajia sisältäneen massan jäykkyys nousi huomattavasti alle -10°C lämpötiloissa RAS:n lisäämisen johdosta. Tämä johtaisi todennäköisesti pakkasvaurioihin päällysteessä. Pehmeämmän bitumilajin käyttäminen saattaa kuitenkin nostaa massan hintaa, jolloin RAS:n käytöstä saatavat kustannusedut jäisivät pienemmiksi. Tutkimustulosten vahvistamiseksi tulisi kokeilla useampia materiaaleja ja valmistaa koekohteita tuotteiden arvioimista varten.

Yhdysvalloissa bitumikatteiden kierrätyksessä on noudatettava kaikkia paikallisia, osavaltiokohtaisia ja kansallisia ohjesääntöjä. Vuonna 2006 AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials) julkaisi väliaikaisen spesifikaation ja suositeltavat käyttöperiaatteet kierrätetyn bitumikatejätteen käytöstä kuumamassoissa. AASHTO-spesifikaatio ja suositeltavat käyttöperiaatteet sisältävät yksityiskohtaista teknistä ohjeistusta, jotka koskevat bitumikatteiden määritteitä, lähteitä ja näytteiden ottoa, bitumikatteiden rakeisuutta, ainesosana käytettäviä määriä, haitallisia materiaaleja sekä näytteiden oton ja testien menetelmiä. Lisäksi monien osavaltioiden liikenneministeriöt (Department of Transportation, DOT) ovat itsenäisesti tutkineet kierrätetyn bitumikatteiden käyttöä asfaltin ainesosana, sillä eri osavaltioissa on erilainen ilmasto ja myös erilaiset päällysteitä koskevat vaatimukset. Tehtyjen tutkimusten pohjalta monilla osavaltioilla on omat spesifikaatiot ja ohjeistukset bitumikatteiden hyödyntämisestä kuumamassoissa. (Krivit 2007.)

Vuonna 2009 osavaltiokohtaisia spesifikaatioita bitumikatteiden hyödyntämisestä asfaltin ainesosana oli 16:lla osavaltioilla (Hansen 2009). Vuonna 2015 National Asphalt Pavement Association (NAPA) julkaisi selvityksen asfalttiteollisuuden kierrätysmateriaaleista ja matalalämpöasfaltin käytöstä vuodelta 2014. Julkaisussa ilmenevät ne osavaltiot, joissa asfalttiasemat ovat raportoineet hyödyntäneensä kierrätettyä bitumikatetta vuosina 2009–2014. Vuonna 2009 22 osavaltion asfalttiasemat raportoivat käyttäneensä bitumikatetta asfaltin ainesosana. Vuonna 2013 vastaava lukumäärä oli noussut 38:aan, mutta vuonna 2014 luku oli 36. Bitumikatteiden käyttö asfaltin ainesosana on kuitenkin kasvanut Yhdysvallois-

sa 2010-luvulla. (Hansen & Copeland 2015.) Tehtaista tulevaa ylijäämää (tehdas-RAS) on hyödynnetty ja tutkittu Yhdysvalloissa pidempään kuin purkutyömailta tulevaa bitumikatteetta (purku-RAS) ja siksi joidenkin osavaltioiden spesifikaatiot rajoittavat purkutyömailta tulevan bitumikatteen käyttöä (Krivit 2007). Purku-RAS:n tutkimisen myötä useammat osavaltiot ovat hyväksyneet sen käytön asfaltin ainesosana. Liitteessä A on esitetty tarkemmin ne osavaltiot, joissa asfalttiasemat raportoivat kierrätetyn bitumikatteen käytöstä vuosina 2009–2014.

Yhdysvalloissa on selvitetty bitumikatejätteen soveltuvuutta myös muihin tarkoituksiin tie-rakenteissa. Krivit (2007) raportoi bitumikatejätteen hyödyntämisen mahdollisuuksista tie-rakenteen kantavissa ja jakavissa kerroksissa osana sitomatonta kiviainesta. Samassa mainitaan myös, että kierrätettyä bitumikatteetta on käytetty pintakerroksena vähäliikenteisillä teillä, pihateillä sekä pysäköintialueilla. Lisäksi Krivit mainitsee RAS:n käytöllä olevan etuja sorateiden pölynsidonnessa sekä kylmäpaikkauksissa.

### **2.3.4 Pohjoismaiset tutkimukset ja käytännöt**

Bitumikaterouheen hyödyntäminen asfaltin ainesosana on Yhdysvalloissa jo yleistynyt käytäntö, mutta Pohjoismaissa tekniikka on vielä hyvin uutta. Bitumikatejätettä murskaava teknologia on Pohjoismaissa lähtöisin Tanskasta, jossa Tarpaper Recycling ApS perustettiin vuonna 2006. Sen jälkeen yhtiö on perustanut Pohjoismaissa kaksi tytäryhtiötä, toisen Ruotsiin ja toisen Suomeen. Ruotsissa Tarpaper Recycling AB aloitti toimintansa vuonna 2011 ja Suomessa Tarpaper Recycling Finland Oy vuonna 2014. Vuonna 2016 Tarpaper Recycling laajensi toimintaansa myös Saksaan, jossa kaksi tytäryhtiötä aloitti vuoden 2017 alussa. (Tarpaper Recycling 2017.) Ruotsissa, Tanskassa ja Suomessa on rakennettu koekohteita yhtiöiden perustamisen jälkeen ja koekohteista tehtävien tutkimusten ja niiden tulosten perusteella on tarkoitus laatia maakohtaisia ohjeistuksia bitumikaterouheen käytöstä. (Tuominen, K 2017.)

Tanskassa, josta Tarpaper Recycling on lähtöisin, bitumikaterouhetta on hyödynnetty muuta Pohjoismaita pidempään. Siellä toteutettiin laaja EU LIFE+ -projekti vuosina 2009–2011, jota ennen tehty pienen mittakaavan koe oli osoittanut, että murskatulla bitumikatteella olisi mahdollista korvata asfaltissa käytettävää tuoretta bitumia (Bank 2012a). EU LIFE+ -projektissa mukana ollut NCC Roads testasti murskattua bitumikatteetta laboratoriossaan ja käytti sitä asfalttimassan ainesosana kymmenessä koekohteessa. Laboratoriokokeet ja koekohteet osoittivat, että bitumikatteesta saatavaa kierrätysbitumia voidaan hyvin käyttää useimmissa asfalttilajeissa ja että kaikki olennaiset vaatimukset täyttyvät paitsi lentokenttien kiitoteillä. (Bank 2012b.)

Tanskan EU LIFE+ -projektissa selvitettiin myös, että bitumikatejätteen kierrättäminen on taloudellinen ja ympäristöystävällinen ratkaisu verrattuna tavanomaisiin eurooppalaisiin käytäntöihin bitumikatejätteen polttamiseen tai sijoittamiseen kaatopaikalle. Suurin ympäristöhuoty saadaan vähentämällä tuoreen bitumin käyttöä, kierrättämällä 1 000 kg bitumikaterouhetta asfaltin ainesosaksi, voidaan säästää 500 kg tuoretta bitumia. Bitumikatteetta kierrättämällä myös polttoon ja kaatopaikoille päätyvät erät pienenevät. Tuoreella bitumilla on merkittävä osuus energiankulutuksessa ja hiilidioksidipäästöissä asfalttipäällysteen



koko elinkaareissa. Bitumikatejätteen kerääminen kiertoon tuottaa suuremman hiilijalanjäljen, kuin kerääminen polttoon tai kaatopaikalle, suuremman keräysalueen takia. Tästä huolimatta bitumikatetta kierrättämällä saadaan vähennettyä hiilidioksidipäästöjä, kun tarvittavan tuoreen bitumin määrä pienenee. Alustavissa laskelmissa kierrättämällä 1 kg bitumikatetta saadaan 1,7 kg säästö CO<sub>2</sub>-päästöissä. Taloudellisia hyötyjä bitumikatteen kierrätyksestä saadaan koko arvoketjuun. Bitumikatejätteen kierrättäminen on halvempaa rakennusurakoitsijalle kuin sen vieminen polttoon tai kaatopaikalle. Myös bitumikatteesta jalostettava kierrätysbitumi on halvempaa kuin tuore bitumi, joten asfalttiurakoitsijat hyötyvät tästä. (Bank 2012a.)

Suomalaista tutkimusta bitumikatteen soveltuvuudesta asfaltin ainesosaksi ei juurikaan ole, sillä aiheen tutkiminen on aloitettu vasta vuonna 2014 bitumikatejätteen kierrättämisen myötä. Hartonen (2015) tutki diplomityössään bitumikaterouheen soveltuvuutta asfaltin ainesosaksi Suomen oloissa. Tutkimuksessa selvitettiin teollisuuskiinteistön pihalle levitetyn bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin ominaisuuksia sekä laboratoriossa valmistettujen koekappaleiden ominaisuuksia. Tutkituista massoista määritettiin jäykkyys, halkaisu- vetolujuus, tyhjätila sekä sideainepitoisuus. Massojen sideaineesta selvitettiin tunkeuma, pehmenemispiste, taajuus- ja amplitudipyyhkäisy reometrillä, virumapalaumakoe reometrillä sekä Fraass-murtumispiste. Tutkimuksessa suoritettavat reologiset kokeet osoittivat, että bitumikaterouhetta sisältävien massojen sideaine oli suhteellisen jäykkää ja tuoretta sideainetta paremmin muodonmuutoksia kestävä. Itse tutkimus oli kuitenkin suppea, joten suosituksissa todettiin laajempien jatkotutkimusten olevan tarpeen bitumikaterouheen soveltuvuuden arvioimiseksi.

Suomessa bitumikatetta sisältävien koekohteiden valmistus on aloitettu vuonna 2014 ja tutkimusta on olemassa vasta vähän, joten suomalaisia ohjeistuksia ei ole syntynyt. Suomessa päällystealan toimintaedellytyksiä edistävä Päällystealan Neuvottelukunta (PANK ry) julkaisee Asfalttinormit-asiakirjaa, jossa esitetään asfaltin raaka-aineita, asfalttimassoja ja -päällysteitä koskevat laatuvaatimukset Suomessa sekä esitetään asfaltin valmistusta koskevia suunnitteluohjeita. Asfalttinormit toimii myös asfalttimassojen eurooppalaisten tuotestandardien kansallisena soveltamisohjeena. Asfalttinormeissa kuvataan yleisimpien lisäaineiden, kuten kuitujen ja tartukkeiden, käyttöä ja esitetään niiden laatuvaatimuksia. Myös muiden kuin yleisimpien lisäaineiden käytöstä mainitaan Asfalttinormeissa. Edellytyksenä muiden lisäaineiden käytölle pidetään tapauskohtaista suunnittelua, dokumentointia sekä työterveyden, turvallisuuden ja ympäristökelpoisuuden huomioon ottamista. (PANK ry 2011.) Asfalttinormien uusin julkaisu on vuodelta 2011, eikä siinä ole mainintaa bitumikaterouheesta.

## 2.4 Lainsäädäntö

Kierrätykseen pohjautuvien materiaalien hyötykäytöstä säädetään ympäristö- ja jätelainsäädännössä. Jätelain (646/2011 § 5) määritelmän mukaan jätteellä tarkoitetaan "ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä". Jätteeksi ei kuitenkaan luokitella tuotantoprosessissa sivutuotteena syntyvää ainetta tai esinettä.

Jätelaissa säädetään etusijajärjestyksestä, jota tulee mahdollisuuksien mukaan noudattaa kaikessa toiminnassa. Järjestys koostuu viidestä kohdasta, jotka ovat

1. syntyvän jätteen määrän ja haitallisuuden vähentäminen
2. jätteen valmistelu uudelleenkäyttöä varten
3. jätteen kierrättäminen
4. jätteen hyödyntäminen muulla tavoin, esimerkiksi energiaksi
5. jätteen loppukäsittely.

Etusijajärjestyksen kohdista 1–4 voidaan valtioneuvoston asetuksella antaa tarkempia sää-döksiä asetettavista määrällisistä tavoitteista sekä määrärajoista tavoitteiden saavuttami-selle. Annetut tavoitteet voivat olla jätelajikohtaisia. Rakennus- ja purkujätteiden kierrättä-miselle on asetettu tavoitteita valtioneuvoston asetuksissa jätteistä (179/2012) sekä kaa-topaikoista (331/2013). Rakennusjätteiden kierrättämiseksi asetettu tavoite on, että vuon-na 2020 rakennus- ja purkujätteestä hyödynnetään vähintään 70 painoprosenttia muutoin kuin energiana tai polttoaineeksi valmistamisessa.

Valtioneuvoston asetukset jätteistä (179/2012) ja kaatopaikoista (331/2013) asettavat ra-joitteita myös orgaanisen jätteen hyödyntämisestä maantäytössä sekä sijoittamisesta kaa-topaikalle. Jos jätteessä olevan orgaanisen aineksen pitoisuus on yli 10 prosenttia orgaa-nisen hiilen kokonaismääränä tai hehikutushäviönä, jätettä ei saa hyödyntää maantäytössä tai sijoittaa kaatopaikalle.

Jätteen määrän ja loppukäsittelyn vähentämistä pyritään edistämään lainsäädännössä asetettujen tavoitteiden ja rajoitteiden avulla, kuitenkin jätteiden hyötykäytöstä säädetään hyvin tarkasti ja erilaiset lupamenettelyt hidastavat ja hankaloittavat jätteiden hyödyntämis-tä. Jätteiden ammattimaista tai laitospaikkaista hyödyntämistä ja loppukäsittelyä varten tar-vitaan ympäristönsuojelulain (527/2014) mukainen ympäristölupa. Hakemukset tehdään laissa tai asetuksessa määrätyle viranomaiselle eli aluehallintoviranomaiselle tai kunnan ympäristönsuojeluviranomaiselle. Ympäristölupahakemuksista peritään maksu ja lupien keskimääräinen käsittelyaikatavoite on 12 kuukautta ja uusien toimintojen 10 kuukautta. (Aluehallintovirasto 2016.)

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (591/2006) määrittää edellytykset eräiden jätteiden käyttämiseksi maarakentamisessa ilman ympäris-tönsuojelulain mukaista ympäristölupaa. Jätteen saa hyödyntää asetuksen mukaisesti il-man ympäristölupaa, jos toiminnasta ilmoitetaan alueelliselle ympäristökeskukselle ja jät-teen laadunhallinta ja hyödyntäminen järjestetään. Asetus koskee kuitenkin vain asetuksessa määritellyjä jätelajeja, eli uusien jättemateriaalien hyödyntämisessä tarvitaan ympä-ristö lupa kaikilta jätettä hyödyntäviltä toimijoilta. Asfalttiteollisuudessa tämä tarkoittaa sitä, että jokaisen jätettä asfaltin ainesosana hyödyntävän asfalttiaseman on erikseen haettava ympäristölupaa.

Asfalttijätteen hyödyntämiselle asfaltin raaka-aineena ympäristölupaa ei kuitenkaan tarvi-ta, jos hyödynnettävän asfalttijätteen määrä on alle 200 000 tonnia vuoden ajan. Tämä muutos astui voimaan vuonna 2013 valtioneuvoston asetuksella asfalttiasemien ympäris-tönsuojeluvuorokäytöistä (846/2012). Aiemmin asfalttijätteen hyödyntämisestä oli aina oltava ympäristölupa. Asfalttiaseman toimintaan riittää ympäristönsuojelulain (527/2014) mu-kainen rekisteröinti. Kuitenkin jos asfalttiaseman toiminta sijoittuu pohjavesialueelle, toi-mintaan tarvitaan ympäristölupa.

Hyötykäyttöön tarkoitettujen jätteiden varastointi verottomasti on jäteverolain (1126/2010) mukaisesti mahdollista korkeintaan kolme vuotta. Jäte on säilytettävä muista jätteistä eroteltuna ennen sen käsittelyä tai hyödyntämistä. Jos hyötykäyttöön tarkoitettuja jätteitä säilytetään yli kolme vuotta, jätevero määrätään kaikista alueella olevista jätteistä. Tällöin kaikki jätteet katsotaan toimitetuiksi kaatopaikalle silloin, kun kolmen vuoden määräaika täyttyy ja vero määrätään kaikista jätteistä kerralla. Kaatopaikalle toimitettavasta jätteestä vero määrätään siltä verokaudelta, jonka aikana jäte on toimitettu kaatopaikalle.

Jätelaissa (646/2011 § 5) säädetään kriteerit sille, milloin jäte ei ole enää jätettä. Valtionneuvoston asetuksella voidaan jätelajeittain antaa tarkempia säännöksiä jätetestatuksen päättymisestä, kunhan seuraavat jätelain mukaiset kriteerit täyttyvät:

- aine tai esine on läpikäynyt hyödyntämistoimen
- sillä on käyttötarkoitus, johon sitä käytetään yleisesti
- sillä on markkinat tai kysyntää
- se täyttää käyttötarkoituksensa mukaiset tekniset vaatimukset ja on vastaaviin tuotteisiin sovellettavien säännösten mukainen
- sen käyttö ei kokonaisuutena arvioituna aiheuta vaaraa tai haittaa terveydelle tai ympäristölle.

Tarkemmat kriteerit, joiden perusteella tuote saa ei enää jätettä (End of Waste, EoW) -statuksen, voidaan säätää koko EU:ssa, kansallisesti tai tapauskohtaisesti myös ympäristöluvassa. Jos valmiita kriteerejä materiaalin jätetestatuksen päättymiselle ei ole säädetty, luokituksen arviointi kuuluu viranomaiselle. Toistaiseksi EU:ssa on säädetty tarkat EoW-kriteerit vain kolmelle materiaalille lasille, romumetallille ja kuparille. Suomessa ei kansallisia kriteerejä ole toistaiseksi säädetty, joten muiden kuin edellä mainittujen kolmen materiaalin EoW-statuksen arvioiminen on tapauskohtaista jätelainsäädännön lähtökohdista. EoW-statuksen saanut tuote vapautuu jätelainsäädännön piiristä ja palautuu kemikaalilainsäädännön piiriin. (Tukes, 2016.) EoW-statuksella olevaa tuotetta hyödyntävä taho ei tarvitse ympäristölupaa tuotteen säilyttämiseen ja hyödyntämiseen.

Kemikaalilain (599/2013) tarkoituksena on suojella terveyttä ja ympäristöä kemikaalien aiheuttamilta vaaroilta ja haitoilta. Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus kemikaalien rekisteröinnistä, arvioinnista, lupamenettelyistä ja rajoituksista (EY 1907/2006, Registration, Evaluation, Authorisation and Restriction of Chemicals, REACH-asetus) kuuluu kemikaalilainsäädännön piiriin. Aineen tai esineen lakattua olemasta jätettä EoW-menettelyn kautta, aine tai esine palautuu tuotesääntelyn piiriin ja sen valmistukseen ja käyttöön sovelletaan kemikaalilainsäädäntöä ja REACH-asetusta (Tukes 2016).

Kemiallisesti ja mekaanisesti jättemateriaalia muuttavat käsittelyprosessit ovat REACH-asetuksen mukaan valmistusprosesseja ja kaikki EU:ssa valmistetut ja maahantuodut kemialliset aineet on REACH-asetuksen mukaan rekisteröitävä EU:n kemikaalivirastoon (European Chemicals Agency, ECHA). Rekisteröintiä ei kuitenkaan tarvita tietyin edellytyksin, jos jätteestä hyödynnetty aine on rekisteröity aiemmin, aine soveltuu aiemmin rekisteröidyn aineen määrittelyn piiriin ja hyödynnetyn aineen valmistajalla on aineesta vaaditut tiedot käytettävissään. (Tukes 2016.)

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus rakennustuotteiden kaupan pitämistä koskevien ehtojen yhdenmukaistamisesta ja neuvoston direktiivin 89/106/ETY kumoamisesta (EY 305/2011, EU:n rakennustuoteasetus) tuli kokonaisuudessaan voimaan 1.7.2013. Rakennustuoteasetuksessa säädetään, kuinka rakennustuotteen ominaisuuksista kerrotaan ja mitä edellytyksiä rakennustuotteiden CE-merkintään tarvitaan. Asetus selkeyttää CE-merkinnän käyttöä ja helpottaa rakennustuotteiden liikkuvuutta EU:n sisämarkkinoilla. (Ympäristöministeriö 2016.) EU:n rakennustuoteasetuksen myötä CE-merkintä on pakollinen sellaisille rakennustuotteille, joille on olemassa harmonisoitu tuotestandardi (harmonised European Standard, hEN) (Ympäristöministeriö 2017a).

Rakennustuotteille, joilla ei ole olemassa harmonisoitua tuotestandardia, CE-merkintä voidaan hankkia vapaaehtoisen eurooppalaisen teknisen arvioinnin (European Technical Approval, ETA) avulla. ETA on erityisesti uusia, innovatiivisia tuotteita varten. (Ympäristöministeriö 2017a.) Jos rakennustuotteelle ei ole olemassa harmonisoitua tuotestandardia tai eurooppalaista teknistä arviointia, voi tuotteen valmistaja kansallisen hyväksymismenettelyn avulla osoittaa, että rakennustuote täyttää maankäyttö- ja rakennuslaissa tuotteille asetetut vaatimukset. Kansalliselle hyväksymismenettelylle on kolme vaihtoehtoa tyyppi hyväksyntä, varmennustodistus ja valmistuksen laadunvalvonnan varmentaminen. (Ympäristöministeriö 2017b.)

## 2.5 Rakennustuotteiden CE-merkintä asfalttialalla

Asfalttialalla pakollinen CE-merkintä koskee rakennustuotteita eli asfalttimassaa, ei valmiita rakenteita kuten päällysteitä (Tuominen, J 2013). Asfalttimassan ja siinä käytettävien materiaalien on siis oltava CE-merkittyjä, jos niille on olemassa harmonisoitu tuotestandardi. CE-merkintä on pakollinen bitumituotteille (tiebitumit, kumibitumit, bitumiliuokset, bitumiemulsiot), kiviaineksille ja fillerikiviaineksille (lentotuhka, kalkkifilleri) sekä valmiille asfalttimassalle. Tuotteita, joille CE-merkintä ei ole pakollinen, ovat asfalttirouhe, erikoisasfaltit sekä lisäaineet (kuitu, gilsoniitti, tartukkeet). Tuotteista, joita ei ole välttämätöntä CE-merkitä, on oltava laatutodistus. (Laitinen 2014.) Asfalttirouheelle on olemassa EN-standardi, mutta se ei ole harmonisoitu tuotestandardi, joten asfalttirouhetta ei tarvitse CE-merkitä (Tuominen, J 2013).

Rakennustuotteen valmistajan tuoteeseen kiinnittämä CE-merkki on vakuutus siitä, että tuote on Euroopan unionin yhdenmukaistamislainsäädännön ja ilmoitettujen suoritustasojen mukainen. Harmonisoidussa tuotestandardissa tai eurooppalaisessa teknisessä arvioinnissa esitetään vaatimuksia, jotka koskevat tuotteen valmistamista, ominaisuuksia ja niiden valvontaa. Suoritustason pysyvyyden varmentamisella arvioidaan, miten tuote vastaa näitä vaatimuksia. Menettelyt, joita rakennustuotteen suoritustason pysyvyyden arvioinnissa ja varmentamisessa käytetään, määräytyvät AVCP-luokan (Assessment and Verification of Constancy of Performance) mukaan. AVCP-luokkia on viisi (1+, 1, 2+, 3 ja 4) ja ne määräävät mitä arviointi- ja varmentamismenettelyä käytetään. (Tukes 2014.) Asfalttimassat ja bitumit kuuluvat luokkaan 2+, kiviainekset kuuluvat luokkaan 2+ tai 4 (Liikennevirasto 2013) ja bitumikaterouhe kuuluu luokkaan 2+ (EOTA 2016). AVCP-luokasta ilmenee mihin suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmentamisjärjestelmiin osallistuu kolmas osapuoli ja mihin tuotteen valmistaja. Tämä on esitetty taulukossa 4.

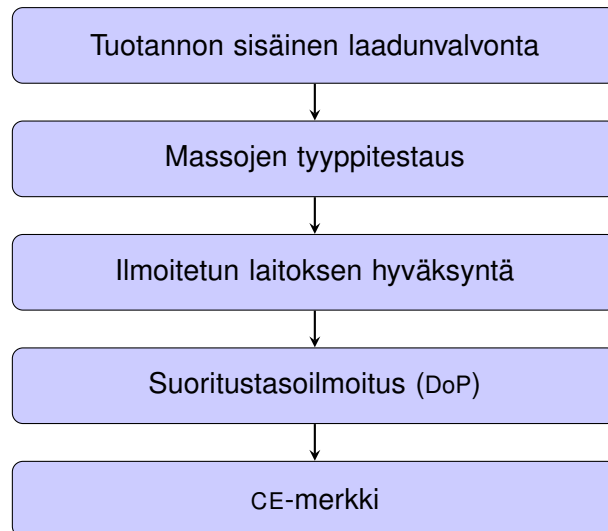
Taulukko 4. Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmentamisjärjestelmät ja rakennustuotteiden AVCP-luokat (muokattu lähteestä Tukes 2014)

Suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmentamisjärjestelmät	Rakennustuotteen AVCP-luokka					
	1+	1	2+	3	4	
Tuotetyypin määrittely tuotteen tyyppitestauksen (myös nätteenotto), tyyppilaskennan, taulukoitujen arvojen tai tuotetta kuvaavien asiakirjojen perusteella	■	■	●	●	■	●
Tehtaalla määräystenmukaisen testausohjelman mukaisesti otettujen näytteiden lisättestaus	●	●	●			
Ennen tuotteen saattamista unionin markkinoille otettujen näytteiden pistokoettestaus	■					
Tuotannon sisäinen laadunvalvonta	●	●	●	●	●	●
Tuotantolaitoksen sekä tuotannon sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus	■	■	■	■		
Tuotannon sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja evaluointi	■	■	■	■		

■ Ilmoitettu laitos tai tekninen arviointilaitos (TAB)  
 ● Valmistaja

Asfalttimassojen suoritustason pysyvyyden arviointi ja varmentaminen (AVCP) koostuvat tuotannon sisäisestä laadunvalvonnasta (Factory Production Control, FPC) ja tuotetyypin määrittelystä (Determination of Product Type, DPT). Tuotannon sisäinen laadunvalvonta perustuu standardiin SFS-EN 13108-21 ja asfalttimassojen tuotetyypin määrittely eli tyyppitestaus standardiin SFS-EN 13108-20. Molemmat standardit edellyttävät samanaikaista asfalttimassojen standardien käyttöä. AVCP-järjestelmä on välttämätön osa asfalttimassan CE-merkitsemisprosessia, joka kuvataan lyhyesti tässä ja on esitetty kuvassa 1.

Asfalttimassan valmistajalla on oltava tuotannon sisäinen laadunvalvonta, joka noudattaa standardin SFS-EN 13108-21 vaatimuksia. Massan valmistajan tuotannon sisäisellä laadunvalvontajärjestelmällä varmistetaan tuotannon laatu. Tuotannon sisäinen laadunvalvontajärjestelmä koostuu menettelyistä, säännöllisistä tarkastuksista tai arvioinneista ja niiden tulosten hyödyntämisestä, joilla kontrolloidaan raaka-aineita ja muita massan valmistajalle tulevia materiaaleja, osia, laitteita, tuotantoprosessia ja itse tuotetta. Asfalttimassan valmistajalla on oltava laatusuunnitelma, jossa kuvataan ne prosessit, jotka suoraan vaikuttavat tuotteen laatuun ja yhdenmukaisuuteen. Laatusuunnitelman tulee sisältää myös vaadittavat tarkastukset ja testit sekä niiden toteuttamistiheys. Asfalttimassat kuuluvat AVCP-luokkaan 2+, joten niiden CE-merkitseminen edellyttää kolmannen osapuolen laatiman tuotannon sisäisen laadunvalvonnan vaatimustenmukaisuustodistuksen.



Kuva 1. Asfalttimassan CE-merkitsemisen edellyttämät toimenpiteet.

Standardiin SFS-EN 13108-20 perustuvan asfalttimassan tyyppitestausta tarkoituksena on varmistaa, että tietty massakoostumus täyttää tuotestandardissa sille asetetut vaatimukset. Tyyppitestausta tulee tehdä jokaiselle asfalttimassakoostumukselle ennen markkinoille saattamista ja tyyppitestin tulokset esitetään tyyppitestausraportissa. Tyyppitestausraportti on voimassa tietylle massakoostumukselle, kunnes massan ainesosat tai niiden ominaisuudet muuttuvat ja vaikuttavat massan koostumukseen, ominaisuuksiin tai toimintaan. Tällöin massalle on laadittava uusi tai päivitetty tyyppitestausraportti. Jos massakoostumuksessa ei tapahdu muutoksia, on tyyppitestausraportti uusittava viiden vuoden välein. Tyyppitestausraportin tulee sisältää kaikki tuotestandardin vaatimat tiedot ja standardissa SFS-EN 13108-20 listatut asiat ja lisäksi mukana tulee esittää muut keskeiset tekniset dokumentaatiot. Tyyppitestausraportti on säilytettävä vähintään kymmenen vuotta siitä, kun tuote on saatettu markkinoille ensimmäisen kerran.

AVCP-luokkiin 1+, 1 ja 2+ kuuluvien rakennustuotteiden valmistajat tarvitsevat ilmoitetun laitoksen (Notified Body) hyväksynnän. Ennen tuotannon aloittamista ilmoitettu laitos tekee tuotantolaitoksen sekä tuotannon sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastuksen ja sen jälkeen ilmoitettu laitos tekee jatkuvaa tuotannon sisäisen laadunvalvonnan arviointia, valvontaa ja evaluointia. (Tukes 2014.) Suomessa Ympäristöministeriö nimeää ilmoitetut laitokset ja valvoo niiden toimintaa. Harmonisoidun tuotestandardin pohjalta CE-merkittävien tuotteiden hyväksyntää varten Suomessa on useita nimettyjä arviointilaitoksia, kun taas eurooppalaiseen tekniseen arviointiin (European Technical Assessment, ETA) perustuvaan CE-merkintään Suomessa on vain yksi nimetty tekninen arviointilaitos. Ilmoitettuna laitoksena voi käyttää minkä tahansa maan päteväksi todettua ilmoitettua laitosta. (Ympäristöministeriö 2017a.) Asfalttimassoille on olemassa harmonisoidut tuotestandardit, joten useampi suomalainen arviointilaitos voi suorittaa tuotantolaitoksen ja tuotannon sisäistä laadunvalvontaa.

Kun tuotannon sisäinen laadunvalvonta, massan tyyppitestausta ja ilmoitetun laitoksen hyväksyntä ovat kunnossa, rakennustuotteille on vielä ennen CE-merkinnän kiinnittämistä laadittava suoritustasoilmoitus, joka laaditaan harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen arvioinnin perusteella. Rakennustuotteen valmistaja laatii suoritustasoil-

moituksen ja siinä on ilmoitettava kaikki kansallisten viranomaissäädösten täyttymiseen tarvittavat tuotteen ominaisuuksien arvot. Jos jäsenmaalla ei ole asiaan liittyviä viranomaissäädöksiä, on valmistajan ilmoitettava vähintään yksi tuotteen perusominaisuuksiin liittyvä, aiotun käyttötarkoituksen kannalta merkittävä suoritustaso. Muuten valmistaja voi halutessaan olla ilmoittamatta jonkin ominaisuuden arvoja merkitsemällä arvon kohdalle NPД (no performance determined, suoritustasoa ei ole ilmoitettu). Rekennustuoteasetuksen liitteessä III on suoritustasoilmoituksen malli. (Ympäristöministeriö 2017a.)

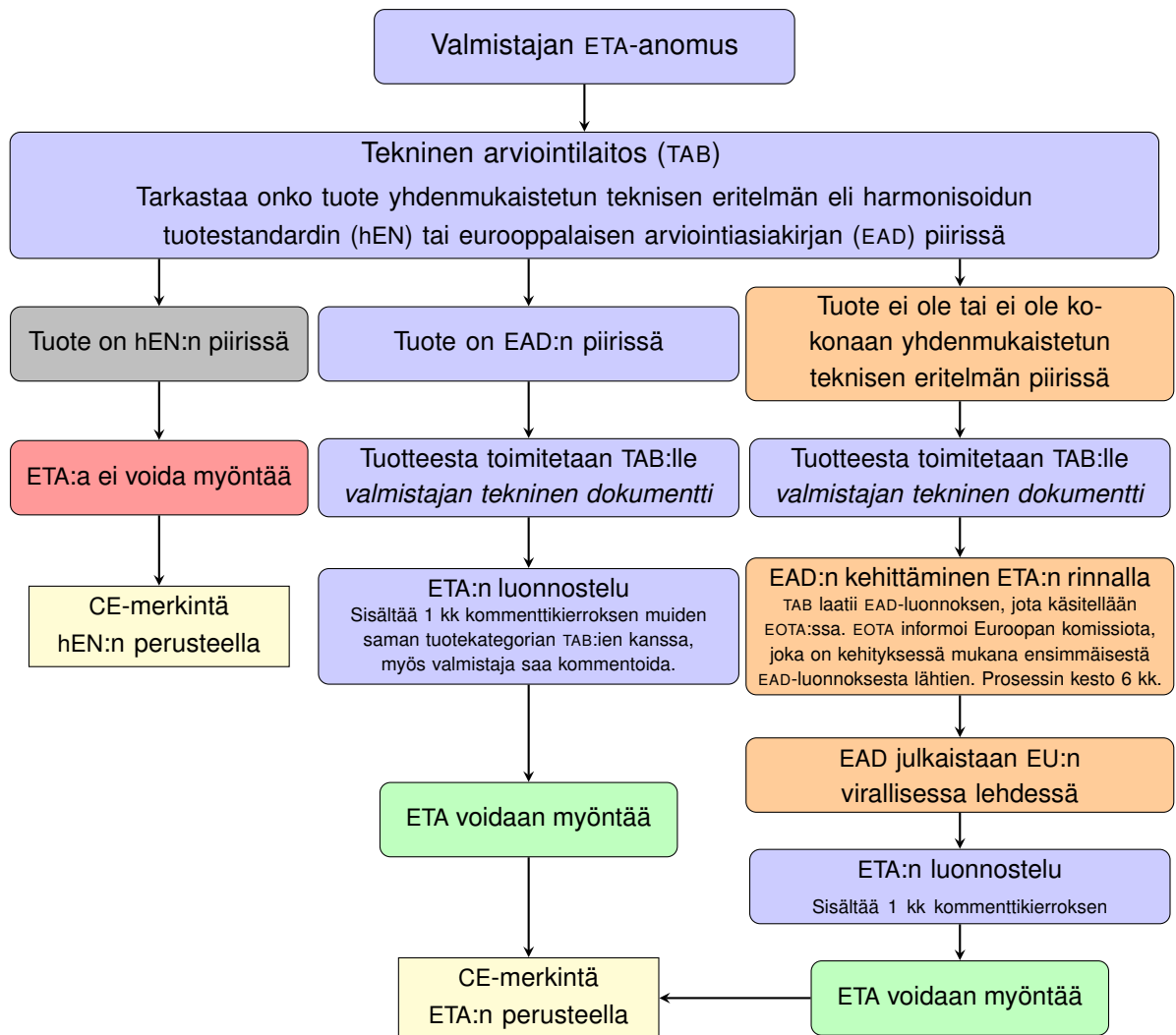
Suomessa rakennustuotteiden CE-merkinnän käyttöä valvovana EU:n rakennustuoteasetuksen mukaisena markkinavalvontaviranomaisena toimii Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (TUKES). Lisäksi TUKES toimii sellaisten rakennustuotteiden markkinavalvojana, jotka eivät kuulu harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen teknisen arvioinnin piiriin. Jos rakennustuote ei ole sille asetettujen vaatimusten mukainen tai on syytä epäillä, että se on vaaraksi turvallisuudelle, terveydelle tai ympäristölle, voi TUKES määrätä maahantuojan tai valmistajan korjaamaan puutteen. Jos puutetta ei korjata tai puute on vakava, voi TUKES kieltää tuotteen käyttämisen ja määrätä tuotteen poistettavaksi markkinoilta. (Maankäyttö- ja rakennuslaki 132/1999)

## 2.6 Rakennustuotteiden vapaaehtoinen CE-merkintä

Jos rakennustuote ei kuulu harmonisoidun tuotestandardin piiriin ja tuotteen valmistaja haluaa CE-merkitä tuotteensa, tämä onnistuu vapaaehtoisen eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA) avulla, joka myönnetään eurooppalaisen arviointiasiakirjan (European Assessment Document, EAD) peruseella (Ympäristöministeriö 2017a). Eurooppalaisia arviointiasiakirjoja kehittää eurooppalainen teknisten arviointien yhteistyöelin EOTA (European Organisation for Technical Assessment), joka perustettiin EU:n rakennustuoteasetuksen myötä (EOTA 2017e).

EOTA:n muodostavat EU:n jäsenvaltioiden tai Euroopan talousalueen valtioiden nimeämät tekniset arviointilaitokset (Technical Assessment Body, TAB) (EOTA 2017e). EOTA:ssa on 25 jäsenvaltiota, jotka ovat nimenneet yhden tai useamman teknisen arviointilaitoksen. Jokaisella teknisellä arviointilaitoksella on yksi tai useampi EU:n rakennustuoteasetuksen mukainen tuotekategoria, johon kuuluvien rakennustuotteiden ETA-hakemuksia laitos voi käsitellä. Tuotekategorioita on EU:n rakennustuoteasetuksen liitteen IV mukaisesti 35 ja yksi muihin kategorioihin sopimattomille tuotteille. (EOTA 2017d.) Suomella on yksi Ympäristöministeriön nimeämä tekninen arviointilaitos, VTT Expert Services Oy, joka kattaa kaikki 35 + 1 rakennustuotekategoriaa (VTT Expert Services Oy 2015).

Uuden rakennustuotteen ETA-prosessi alkaa siten, että tuotteen valmistaja lähettää ETA-hakemuksen haluamalleen TAB:lle, joka käsittelee vastaavia tuotekategorioita. Valittu TAB selvittää, kuuluuko uusi rakennustuote olemassa olevan yhdenmukaistetun teknisen eritelmän eli harmonisoidun tuotestandardin tai eurooppalaisen arviointiasiakirjan piiriin. Jos tuote on jonkin olemassa olevan harmonisoidun tuotestandardin piirissä, tuotteelle ei voida myöntää ETA:a, vaan silloin tuote tulee CE-merkitä kyseisen tuotestandardin mukaisesti. Jos tuote kuuluu olemassa olevan EAD:n piiriin, laaditaan ETA tämän pohjalta, muuten ETA:n rinnalla on laadittava myös EAD. Ennen ETA:n luonnostelua valmistaja toimittaa valitulle TAB:lle kattavan teknisen dokumentin tuotteestaan. (EOTA 2017b.) ETA-prosessin vaiheet on esitetty kuvassa 2.



Kuva 2. Uuden rakennustuotteen vapaaehtoinen eurooppalainen tekninen arviointi -menettely (ETA) tuotteen CE-merkitsemiseksi (muokattu lähteestä EOTA 2017c).

ETA:n julkaiseminen on prosessiin alussa valitun TAB:n vastuulla ja valmis ETA toimii perustana valmistajan laatimalle suoritusasoilmoitukselle (Declaration of Performance, DoP). Jokaisesta ETA-hakemuksesta ilmoitetaan myös Euroopan komissiolle. Myönnetyt ETA:t julkaistaan EOTA:n perustamassa julkisessa tietokannassa. (EOTA 2017b.) Uusi rakennustuote on mahdollista CE-merkitä, kun sille laadittu ETA astuu voimaan. Tällöin tuotteen CE-merkintä osoittaa tuotteen täyttävän ETA:ssa määritellyt ominaisuudet. ETA on voimassa kaikkien EU:n jäsenmaiden ja Euroopan talousalueen maiden lisäksi Sveitsissä ja Turkissa (EOTA 2017a).

## 2.7 Työterveys- ja ympäristönäkökohdat

Asfalttialalla terveysongelmia voivat aiheuttaa tavallisimmin käytössä olevat kemikaalit kuten öljyt ja liuottimet, joista aiheutuu vaaraa niiden joutuessa iholle tai ilmaan ja ilmasta mahdollisesti hengitysteihin. Bitumia ei ole luokiteltu vaaralliseksi aineeksi, mutta kuuma bitumi voi aiheuttaa palovammoja. Lisäksi bitumin kuumentamisessa vapautuu bitumihuu-



ruja, jotka voivat ärsyttää silmiä, ihoa ja hengitysteitä. Muita haitallisia aineita asfalttitöissä ovat pölyt, dieselpakokaasut, liuottimet, amiinit, haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds, VOC) sekä polysykliset aromaattiset hiilivedyt (polycyclic aromatic hydrocarbons, PAH-yhdisteet). Asfalttimassan levityksessä työntekijä voi altistua asfalttihuuruille, joita syntyy tietyistä massatyypeistä käytetyn sideaineen ja lämpötilan mukaan. Lämpötilojen tarkkailu on tärkeää, sillä lämpötilan noustessa 11–12 astetta, huurupäästöjen määrä kaksinkertaistuu. (ASKO 2012.)

Ympäristöhaittoja aiheutuu asfalttiteollisuuden eri osavaiheissa. Asfalttiasemalla syntyy pölypäästöjä kiviaineksen käsittelystä ja aseman toiminnasta syntyy kaasupäästöinä rikki-dioksidi- ( $\text{SO}_2$ ), typen oksidi- ( $\text{NO}_x$ ), hiilimonoksidi- ( $\text{CO}$ ) ja hiilidioksidipäästöjä ( $\text{CO}_2$ ). Sideainesäiliöiden ja sekoitusprosessin savukaasuista sekä kuuman asfalttimassan varastoinnista, kuljetuksesta ja levityksestä vapautuu hiilivetypäästöjä (VOC ja PAH). Ympäristöriskin aiheuttaa myös asfalttiasemilla sekä massojen levityksessä poltto- ja voiteluaineiden sekä liuottimien pääsy maaperään ja pohjaveteen. Muita ympäristöhaittoja voivat olla prosessissa aiheutuva melu ja hajuhaitat. (ASKO 2012.)

Uusia tuotteita ja jätemateriaaleja hyödynnettäessä on varmistuttava siitä, että asfaltin turvallisuus ja puhtaus eivät kärsi ja terveydelle tai ympäristölle ei aiheudu haittaa materiaalien käytöstä. Terveyshaittoja arvioitaessa on kiinnitettävä huomiota kierrätysmateriaalin koko elinkaareen asfalttiteollisuudessa. Jätepohjaisia tai jätteestä jalostettuja materiaaleja prosessoivat henkilöt sekä asfaltin valmistukseen ja levitykseen osallistuvat henkilöt voivat altistua mahdollisille haitallisille aineille työskennellessään kierrätysmateriaalin kanssa. Valmiin lopputuotteen on oltava käyttäjälle sekä ylläpitäjälle turvallinen, eikä siitä saa aiheutua haittaa ympäristölle. Materiaalista tulisi myös selvittää sen soveltuvuus asfaltin uusiokäyttöön.

Jätemateriaalista prosessoidun tuotteen terveys- ja ympäristöhaittojen selvittämiseksi tuotteen materiaaliosuuksien sekä mahdollisten haitta-aineiden ja niiden pitoisuuksien selvittäminen on tärkeää. Tuotteista on ympäristöturvallisuuden näkökulmasta selvitettävä materiaalin vaara- ja jäteluokitus. Uutta materiaalia tutkittaessa on pyrittävä selvittämään myös materiaalin muita haitallisia ominaisuuksia. Näiden selvitysten perusteella voidaan arvioida tuotteen kelpoisuutta asfaltin ainesosaksi terveys- ja ympäristönäkökohdista.

Esimerkiksi asfaltin valmistusprosessi ja valmis päällyste asettavat vaatimuksia materiaalin kelpoisuudelle. Asfaltin valmistuksessa ja levityksessä käytetään korkeita lämpötiloja, joten korkeiden lämpötilojen vaikutus materiaaliin on tutkittava. Asfalttimassan valmistuksesta ja valmiista päällysteestä ei saa haihtua, liueta tai muuten irrota haitallisia aineita ympäristöön, joten tämä täytyy varmistaa uuden materiaalin tutkimuksissa. Ajoneuvoissa Suomessa talvisin käytettävät nastarenkaat kuluttavat asfalttia, jolloin siitä irtoaa hienoa pölyä, joka kulkeutuu tiellä liikkuvien hengityselimistöön. Asfaltissa käytettävästä materiaalista on selvitettävä mahdolliset hengitettyinä aiheutuvat haitat.

Bitumin sisältämiä polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH-yhdisteitä) esiintyy epätäydellisen palamisen seurauksena lähes kaikkialla ympäristössä. PAH-yhdisteet esiintyvät ilmassa sekä höyryjakeessa että ilman hiukkasiin sitoutuneina ja tämä on otettava huomioon ilmanäytteen keräysmenetelmässä. Suomessa PAH-yhdisteistä raja-arvoja on asetettu bentso[a]pyreenille sekä yhdisteryhmän haihtuvimmalle komponentille naftaleenille.

Voimakas altistuminen PAH-yhdisteille on tutkimuksissa liitetty lisääntyneeseen syöpäris-kiin. Merkittävintä altistuminen on työympäristössä, joka liittyy kivihiilipohjaisten tuotteiden valmistukseen ja käyttöön. Bitumi sisältää PAH-yhdisteitä vähemmän kuin kivihiiliterva ja Suomessa vuosina 2013–2015 asfalttityössä mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat pääosin alle analyysimenetelmän määritysrajan. Asfaltin levityslämpötila vaikuttaa esiintyvien PAH-yhdisteiden määrään. (Priha et al. 2016.)

Ahokas (2016) selvitti opinnäytetyössään bitumikatteiden soveltuvuutta kierrätykseen PAH-yhdisteiden näkökulmasta. Työssä tutkittiin PAH-pitoisuudet kymmenestä kierrätetystä bitumijätetuormasta ja mittaustulosten pohjalta arvioitiin ekologisia riskejä sekä työterveysriskejä. Ekologisina riskeinä selvitettiin PAH-yhdisteiden kulkeutumista ympäristöön bitumikatteiden ja bitumikaterouheen välivarastoinnin aikana. Mitattujen PAH-pitoisuuksien ja PAH-yhdisteiden fysikaaliskemiallisten ominaisuuksien perusteella PAH-yhdisteiden aiheuttamat ekologiset riskit arvioitiin epätodennäköisiksi. Työterveysriskeinä selvitettiin haitallisten PAH-yhdisteiden kulkeutumista asfaltointityöntekijän elimistöön hengityselimien kautta. Mittauksia tehtiin laboratoriossa, minkä lisäksi näytteitä kerättiin kenttäkokeissa asfalttityöntekijöiden hengitysvyöhykkeiltä ja kiinteistä mittauspisteistä. Työssä mitattiin työntekijöiden altistumista bitumihuuruille ja PAH-yhdisteille. Altistumisen haitat arvioitiin epätodennäköisiksi, sillä mitatut PAH-pitoisuudet olivat alhaisia, eivätkä bentso[a]pyreenille ja naftaleenille asetetut raja-arvot ylittyneet.

Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC-yhdisteet) vaikuttavat auringonvalon vaikutuksesta otsonin muodostumiseen ilmaan haihtuessaan. Tästä syystä VOC-yhdisteiden päästöjen vähentämiselle on lainsäädännössä asetettu tavoitteita tietyille tuotteille ja toiminnolle. Rajoitukset koskevat eräiden rakennusmaalien ja -lakkojen, ajoneuvojen korjausmaalauksessa käytettävien tuotteiden sekä eräiden laitosten ja toimien VOC-päästöjä. Ympäristölupavollisia toimia nämä rajoitukset eivät suoraan koske, sillä näissä toimissa VOC-päästöjä rajoitetaan muuten. (Tukes 2013.) Myös asfalttiteollisuudessa VOC-päästöihin kiinnitetään huomiota ja bitumisten materiaalien VOC-päästöjen vähentämistä on tutkittu. Cui et al. (2014) selvittivät SBS-lisäaineen ja aktiivihiilitäytejauheen vaikutusta VOC-päästöjen määrään ja tutkimuksessa todettiin päästöjen vähenevän jopa 50 % lisäainetta sisältämättömään materiaaliin verrattuna.

Asbesti on yleisnimitys kuitumaisille silikaattimineraaleille, joilla on hyvä mekaaninen ja kemiallinen kestävyys (Työsuojeluhallinto 2017). Asbesti on haitallista hengitettynä ja se voi aiheuttaa syöpää. Asbestipölyä ei voi havaita paljain silmin, eikä se aiheuta ärsytystä hengitettäessä, mutta pitkäaikainen altistuminen asbestille voi vuosien päästä johtaa sairauteen. Asbestipölyn aiheuttamat haitat näkyvät keuhkoissa vasta 10–40 vuoden jälkeen. (Pajunen 2017.) Asbesti on ollut yleinen materiaali bitumikatteissa Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Sen käyttö bitumikatteissa on kuitenkin lopetettu 1980-luvulla molemmilla mantereilla, lukuunottamatta muutamia Yhdysvalloissa valmistettavia sidosaineita. (ARMA 2011.) Suomalaisista bitumikatteiden valmistajista Icopal Oy ja Katepal Oy eivät ole kumpikaan käyttäneet asbestia tuotteidensa valmistuksessa vuoden 1979 jälkeen eivätkä vuoden 1980 jälkeen ole myyneet tai välittäneet tuotteita, joiden valmistuksessa on käytetty asbestia (Olander 2016, Rantanen 2016).

Suomessa asbestia on käytetty rakennusmateriaaleissa vuosina 1922–1992 ja sen käyttö on ollut yleisintä 1960- ja 1970-luvuilla. Suomessa asbestin käyttöä alettiin rajoittaa 1970-

luvulla ja vuodesta 1994 asbestin valmistus, myyminen, maahantuonti ja käyttö on ollut kokonaan kiellettyä ja nykyään asbestipurkutyö on luvanvaraista toimintaa. Asbestille voi edelleen altistua vanhojen rakennusten purku- ja saneeraustöissä, joten rakennuksille on tehtävä asbestikartoitus. (Työsuojeluhallinto 2017.) Purkutöiden asbestikartoitusta helpottamaan Icopal Oy ja Katepal Oy ovat listanneet, missä heidän valmistamissaan tuotteissa ja millä aikavälillä on aikoinaan käytetty asbestia (Olander 2016, Rantanen 2016). Koska vanhojen rakennusten bitumikatteissa voi edelleen esiintyä asbestia, on bitumikatteiden kierrättämisessä varmistuttava siitä, että asbestipitoisia katteita ei päädy kiertoon.

Savioja (2016) selvitti opinnäytetyössään asbestin esiintyvyyttä bitumikatteissa sekä asbestin aiheuttamia riskejä bitumikatteiden kierrätykselle. Työssä selvitettiin asbestin esiintyvyyttä bitumikatteissa kirjallisuuselvityksen ja asiantuntijahaastatteluiden avulla. Lisäksi työssä käytiin läpi Tarpaper Recycling Finland Oy:n laadunvalvonnan toimenpiteet sekä haastateltiin bitumikatteita kierrätykseen tuovien rakennus- ja purku-urakoitsijoiden sekä jätehuoltoyritysten toimintatapoja bitumikatteiden asbestisisällön selvittämiseksi. Lähtökohtaisesti purkutöiden yhteydessä on tehty asbestikartoitukset ennen katteiden kierrättämistä ja tämän lisäksi Tarpaper Recycling Finland Oy suorittaa omaa laadunvalvontaa, jonka perusteella asbestipitoiset erät poistetaan kierrosta. Tarpaper Recycling Finland Oy:n laadunvalvonta sisältää näytteenottoja saapuvista jäte-eristä ja kaikista tuotetuista bitumikaterouhe-eristä sekä vaatii asbestinäytteistyksen asiakkailta, jos materiaali on kohteesta, joka on rakennettu ennen vuotta 1985. Saviojan työssä tehtyjen haastattelujen perusteella asbestipitoiset bitumikatteet olivat harvinaisia ja niiden päätymistä kiertoon pidettiin epätodennäköisenä. Työssä suositeltiin kuitenkin jatkamaan asbestikartoitusten tekemistä sekä Tarpaper Recycling Finland Oy:n suorittamaa laadunvalvontaa.

## 3 Kaupallistamisprosessin yhteenveto

### 3.1 Prosessi yleisesti

Tekes-INKA-projektin yhtenä keskeisenä osana toteutettiin kierrätysmateriaalien kaupallistamisprosessin kuvaus sekä siihen liittyvien tuote-, työ- ja käyttöturvallisuusvaatimusten tarkastelu, jossa kierrätetty bitumikate toimi demokohteena. Kaupallistamisprosessikuvauksen toteutti Tekes-INKA-projektissa mukana ollut Lahden Seudun Kehitys LADEC Oy. Tässä kuvataan lyhyesti LADEC Oy:n raportin keskeiset tulokset kierrätetyn bitumikatteen kaupallistamisprosessista.

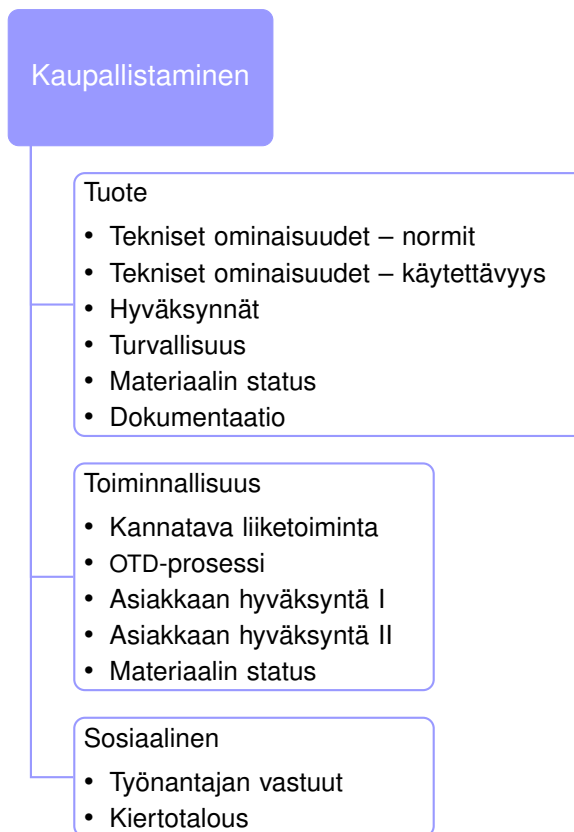
Kaupallistamisella tarkoitetaan uuden tuotteen markkinoille viemisen suunnittelua ja toteutusta. Uusi tuote tai ratkaisu voidaan tuoda markkinoille korvaamaan tai täydentämään markkinoilla jo olevia tuotteita, ratkaisuja tai toimintamalleja. Onnistuneen kaupallistamisen edellytyksenä on oikeanlaisen liiketoimintamallin rakentaminen.

Bitumikaterouheen kaupallistaminen perustuu verkostomalliseen liiketoimintaan, jossa verkoston toimijoilla on yhteinen halu ja tavoite. Verkoston eri toimijat ovat riippuvaisia toisistaan ja vaikuttavatkin toistensa liiketoimintatavoitteisiin ja toimintaympäristöön. Toimijoilla voi olla erilaiset roolit, toiset ovat toimintaa tukevia ja toiset asioita eteenpäin vieviä. Tällöin eri toimijoiden päätöksenteot ja niiden nopeus vaikuttavat toisiin toimijoihin. Bitumikaterouheen kierrättämisessä toiminnan aloittaminen on vaatinut investointeja, sitoutumista ja yhteisiä sopimuksia esimerkiksi toimitettavista bitumikaterouhemääristä ja laadun varmistamisesta.

Verkostomallisessa liiketoiminnassa eri toimijoiden on otettava huomioon omien prosessiansa lisäksi toistensa ja jopa toistensa asiakkaiden prosessit ja tarpeet. Rakennusteollisuudessa tämä tarkoittaa sitä, että on tarkasteltava tuotteiden koko elinkaarta. Tuotteen alkuperäisen käytön jälkeen sitä hyödynnetään uutena tuotteena, eli sen on sovelluttava molempiin tarkoituksiin ja se olisi hyvä ottaa huomioon jo tuotteen elinkaaren varhaisessa vaiheessa. Tällä tavoin materiaalit ja niiden raaka-aineet saadaan pysymään kierrossa ja edistetään kiertotaloutta, kuten bitumikaterouheen kierrätyksessä.

Uuden tuotteen tai ratkaisun kaupallistaminen voidaan jakaa kahteen osaan, sisäiseen ja ulkoiseen tuotteistamiseen. Sisäinen tuotteistaminen tarkoittaa kykyä tuottaa ja siinä rakennetaan omiin prosesseihin sopiva ratkaisu, joka on markkinoilla hyväksyttävä. Ulkoinen tuotteistaminen tarkoittaa kykyä myydä tuotetta tai ratkaisua. Tekes-INKA-projektissa keskityttiin sisäiseen tuotteistamiseen, sillä se oli tutkimuksen ja kierrätysmateriaaleihin pohjautuvien tuotteiden yleistettävyyden kannalta merkityksellisempi osa.

Kierrätetyn bitumikatteen sisäisen tuotteistamisen kannalta esille nousi kolme tärkeää näkökulmaa: itse tuote, toiminnallisuus ja sosiaalinen näkökulma. Tuotteen tai ratkaisun on täytettävä käyttökohteelle asetetut vaatimukset ja viranomaishyväksyntä. Toiminnallisuuden kannalta tärkeitä ovat verkostomallisissa toimivien yritysten omaan toimintaan liittyvät vaatimukset, kuten prosessit ja viranomaisluvut. Sosiaalisesta näkökulmasta on tarkasteltava, onko tuote tai ratkaisu turvallinen tuotantovaiheessa sekä käytettäessä. Kuvassa 3 on esitetty nämä kolme kaupallistamisessa huomioon otettavaa näkökulmaa ja niiden sisältöjä.



Kuva 3. Kierrätetyn bitumikatteen kaupallistamisessa esille nousseita huomioon otettavia näkökulmia ja niiden sisältöjä.

### 3.2 Tuotenäkökulma

Tuotenäkökulmasta kaupallistettavan tuotteen tekniset ominaisuudet ja soveltuvuus aiotuun käyttötarkoitukseen ovat keskeisiä selvitettäviä asioita. Uudesta tuotteesta tulee määrittää tuotteen keskeiset ominaisuudet, soveltuvat käyttökohteet sekä mahdolliset rajoitteet. Uuden tuotteen kohdalla ominaisuuksien selvittämiseksi tarvitaan erilaisia testejä ja kokeiluja, joilla tuotteen soveltuvuus voidaan todentaa.

Materiaalitestausten lisäksi on selvitettävä uuden tuotteen soveltuvuutta kansallisiin normeihin. Suomessa Asfalttinormit toimii kansallisena soveltamisohjeena asfalttipäällysteille ja niissä käytettäville ainesosille. Asfaltin ainesosat voivat olla raaka-aineita, lisäaineita tai seosaineita ja tuotteelle asetettavat vaatimukset ovat erilaisia sen mukaan, mitä ainesosaa tuote edustaa. Uuden materiaalin käyttöönottoaiheessa on määritettävä millaiseksi materiaaliksi se luokitellaan vallitsevien käytäntöjen näkökulmasta, jotta sen sisällyttäminen kansallisiin normeihin on mahdollista.

Tuotteen valmistajan on pystyttävä luotettavasti osoittamaan, millaisia tuotteen ominaisuudet ovat ja miten ne on varmistettu. Tuotehyväksynnän voi saada harmonisoituun tuotestandardiin tai ETA-menettelyyn perustuvalla CE-merkinnällä, kansallisella tyyppihyväksynnällä tai vapaaehtoisella sertifikaatilla. Hyväksyntä katsotaan luotettavaksi, kun sen antaa akkreditoitu laitos.

Tuotehyväksynnän lisäksi turvallisuuteen ja terveyteen vaikuttavat seikat tulee selvittää henkilöturvallisuuden ja ympäristöturvallisuuden näkökulmasta. Uuden tuotteen materiaallisuus, haitta-ainepitoisuudet ja todennäköisyydet on selvitettävä ja kuvattava. Lisäksi on selvitettävä tuotteen vaara- ja jäteluokitus. Tuotteen turvallisuuteen ja terveyteen vaikuttavista ominaisuuksista on tehtävä jatkuvaa laadunvalvontaa ja raportointia.

Jätepohjaisten kierrätystuotteiden materiaalistatus vaikuttaa myös tuotteen kaupallistamiseen, sillä jätestatuksen tuotteita ja ei enää jätettä -statuksen saaneita tuotteita koskevat eri lainsäädännöt. Tuotteen materiaalistatus määrittää, mitä dokumentteja tuotteesta ja sen hyödyntämisestä tarvitaan. Jäteluokituksen päättyminen yksinkertaistaa tarvittavia dokumentaatioita ja lupakäytäntöjä ja siten helpottaa koko liiketoimintaa.

### 3.3 Toiminnallinen ja sosiaalinen näkökulma

Liiketoiminnallisesta näkökulmasta on tarkasteltava, onko liiketoiminta kannattavaa ja millaisia resursseja tarvitaan. Myös raaka-aineen riittävyyden ja merkittävien asiakkuuksien mielenkiinnon selvittäminen on keskeistä markkinan koon selvittämiseksi. Kannattavan liiketoiminnan lisäksi tilaus-toimitusketjun prosesseihin (order to delivery, OTD) on kiinnitettävä huomiota. Omaan tuotantoprosessiin ja sitä tukevaan logistiikkaan on rakennettava tarkasti kuvatut prosessit, jotta ne vastaavat asiakastarvetta. Esimerkiksi varastointitarpeet ja kaluston sopivuus on otettava huomioon.

Liiketoiminnan kannalta erittäin olennaista on asiakkaan hyväksyntä, jota voidaan tarkastella kahdesta näkökulmasta. Ensinnäkin uuden tuotteen on tarjottava asiakkaalle merkittävää hyötyä, kuten kustannusetua, ympäristöetua tai ylivoimaisia ominaisuuksia, joista asiakas on valmis maksamaan. Toiseksi tuotteen on sovittava asiakkaan tuotantoprosessiin ja sen on oltava tutkitusti turvallinen ja täytettävä toiminnalliset vaatimukset. Molempia osapuolia hyödyttävät yhteiset tutkimus- ja kehityshankkeet voivat toimia keinona hyväksynnän hankkimiseksi. Kierrätetyn bitumikatteen osalta kustannussäästöt ja pienemmät ympäristövaikutukset tarjoavat selvää asiakashyötyä.

Materiaalin statuksella on vaikutusta myös kierrätysmateriaalia valmistavan yrityksen liiketoimintaan, sillä se vaikuttaa muun muassa laadunvalvontaan, varastointiin ja muihin yrityksen toiminnallisiin ja yhteiskunnallisiin velvoitteisiin. Vaikutus ulottuu myös kierrätysmateriaalia vastaanottavan yrityksen lupaprosesseihin, sillä materiaalin status määrittää, tarvitseeko tuotteen vastaanottaja ympäristöluvan tuotteen hyödyntämistä varten. Liiketoiminnan kannalta on tapauskohtaisesti arvioitava, mikä materiaalistatus on kierrätysmateriaalia prosessoivan ja vastaanottavan yrityksen kannalta järkevintä.

Kaupallistamisprosessin sosiaalinen näkökulma keskittyy erityisesti työturvallisuuteen. Uuden tuotteen hyödyntämiseen liittyvät prosessit on suunniteltava siten, että vaaratilanteita ei synny. Tähän liittyvät laadunvalvontaprosessit sekä työterveystutkimukset. Työturvallisuutta on tarkasteltava uuden tuotteen tuotantoprosessiin osallistuvien sekä tuotetta hyödyntävien asiakkaiden näkökulmista myös loppuasiakkaat huomioon ottaen. Kierrätetyn bitumikatteen tapauksessa turvallisuutta on tarkasteltava bitumikatejätteestä tuotetta prosessoivien työntekijöiden kannalta, tuotetta asfaltin valmistuksessa ja levityksessä hyödyntävien työntekijöiden kannalta sekä loppukäyttäjän eli tietä käyttävän asiakkaan kannalta.

Toinen sosiaalinen näkökulma liittyy yhteiskunnalliseen vastuuseen, erityisesti ympäristövaikutusten huomioon ottamiseen ja kestäväen kehityksen tukemiseen. Erilaisin kiertotalouden tärkein keinoin tähän pystytään vaikuttamaan, kun tuotteet, materiaalit ja niihin sitoutunut arvo saadaan pidettyä kierrossa mahdollisimman pitkään. Näin sekä tuotannossa että kulutuksessa saadaan minimoitua hukkan ja jätteen syntymistä.

### 3.4 Sidosryhmät

Kierrätetyn bitumikatteen kaupallistamisprosessin eri vaiheissa kohdattiin monia tahoja, joilla oli esittää liiketoiminnan käynnistämisen ja harjoittamisen huomioon otettavia ehtoja, vaateita ja tarpeita. Taulukkoon 5 on koottu kierrätetyn bitumikatteen kaupallistamisprosessissa kohdatut sidosryhmät ja sidosryhmiä koskevat näkökulmat.

Taulukko 5. Kierrätetyn bitumikatteen kaupallistamisprosessin aikana kohdatut sidosryhmät ja näkökulmat

Taho	Asia/näkökulma
Aluehallintovirasto, Ympäristöministeriö	Ympäristöluvat End of Waste -menettely Vaatimustenmukaisuustodistus
ELY-keskus	Ympäristöluvan valvova viranomainen Ympäristövaikutusten seuranta Jättemäärien seuranta
Suomen Ympäristökeskus	Vientiluvat
Kaupungin ympäristöviranomainen	Ympäristöluvat
Tulli	Jätevero Valmistevero
Tukes	REACH-asetus CE-merkintä
Liikennevirasto ja muut tilaajatahot	Soveltuvuus käyttötarkoitukseen Käytönaikainen turvallisuus Kierrätettävyys Tilaajaohje
Sidosryhmät: Elinkeinoelämän keskusliitto, Rakennusteollisuus, Sitra, Kattoliitto, INFRA	Sujuva ja vastuullinen kiertotalouden edistäminen
PANK ry, Asfalttinormitoimikunta	Asfalttinormit

### 3.5 Demokohteen kaupallistamisprosessinaikaiset havainnot

Rakentamisen materiaalitehokkuuden parantaminen on yksi hallitusohjelmassa tavoiteltujen kärkihankkeiden alakohdista. Tavoitteena on vahvistaa rakentamisen kiertotaloutta parantamalla rakennusjätteen lajittelua ja kierrätystä sekä luomalla toimivat kierrätysmarkkinat purkumateriaaleille ja tuotteille. Lisäksi tavoitteena on kehittää teollisia symbiooseja talonrakentamisen ja muiden teollisuusalojen välillä.

Bitumikatejätteestä jalostetun tuotteen kaupallistaminen on toiminut esimerkkitapauksena rakentamisen materiaalitehokkuuden parantamiseen tähtäävissä toimissa. Valmista reittiä ei ollut, vaan se on rakennettu itse. Kierrätetyn bitumikaterouheen kaupallistamisprosessi on kestänyt yli neljä vuotta ja sen aikana on asioitu monien viranomaisten, sidosryhmien ja asiakkaiden kanssa. Kaupallistamisprosessin aikana kohdatut suurimmat haasteet liittyivät lainsäädännöllisiin seikkoihin, jäteveroon ja tuotehyväksyntäkäytäntöihin.

Nykyisen jäteverolain mukaan jäteveroa tulee maksaa materiaalihyötykäyttöön tarkoitettua jättemateriaalista silloin, kun sitä säilytetään pidempään kuin kolme vuotta. Jätevero toimii hyvänä kannustimena niiden jättemateriaalien osalta, joille on olemassa valmiit markkinat eli tutkitut ja vakiintuneet käyttökohteet. Kierrätetyn bitumikaterouheen kaupallistamisprosessin aikana havaittiin kuitenkin, että tämä käytäntö aiheuttaa merkittävän riskin uusille hyötykäyttöön ohjattaville materiaaleille, joille ei valmiiksi ole olemassa markkinaa.

Jäteveron aiheuttama ongelma liittyy uuden jättemateriaalin osalta materiaalin keräyksen ja varsinaisen hyötykäytön eriaikaiseen käynnistymiseen. Tämä havaittiin selvästi bitumikaterouheen kaupallistamisprosessissa. Ensimmäisenä aloitetaan jättemateriaalin keräys kierrätykseen ja siten varmistetaan materiaalin riittävyys uuden tuotteen ainesosaksi. Keräyksen jälkeen alkavat hyötykäyttökokeilut ja tuotekehitys teollista mittakaavaa varten. Uuden tuotteen teollisen mittakaavan hyödyntäminen alkaa vasta tutkimusten ja hyötykäyttökokeilujen jälkeen.

Hyötykäyttökokeilujen ja selvitysten kanssa samanaikaisesti vaaditaan erilaisia hyväksymismenettelyjä, jotka prosesseina kestävät useita vuosia erityisesti, jos tuote ei kuulu olemassa olevien standardien piiriin. Lisäksi käytön aloitusta voi hidastaa tai haitata lainsäädännön ja normien tulkitseminen sekä näihin mahdollisesti tarvittavien muutosten tekeminen. Kaikessa toiminnassa koko prosessin aikana on myös otettava huomioon ympäristö- ja terveysseikat. Jäteveron aiheuttaman ongelman ratkaisu voisi olla päätös, jolla tapauskohtaisesti myönnetään kahden vuoden lisäaika verovapaalle toiminnalle, jos jättemateriaalin hyödyntämiselle on ollut olemassa tekniset ja ympäristölliset perusteet ja käyttötarkoitus on ollut tiedossa jo ennen jätteen keräämisen aloitusta.

Tuotehyväksyntään liittyy ongelmia ja kaupallistamista hidastavia seikkoja. Bitumikaterouheen kaupallistamisen yhteydessä havaittiin, että tuotteen määrittäminen kansallisiin normeihin sopivaksi ei ole yksinkertainen prosessi. Asfalttiteollisuudessa käytettävät asfaltin ainesosat voivat olla raaka-aineita, lisäaineita tai seosaineita ja niiden käsittely vaihtelee materiaalin ja CE-merkintätavan mukaan. Ei ole yksiselitteistä, mihin ainesosakategoriaan uusi tuote kuuluu, joten sen sisällyttäminen kansallisiin normeihin vaatii selvittelyä sekä yhteistyötä ja keskustelua eri sidosryhmien kanssa.



Myös vapaaehtoisen CE-merkinnän hankkiminen ETA-menettelyn avulla on hidasta ja menettelyyn liittyy yksi perustavanlaatuinen ongelma. Jos uudelle tuotteelle laadittava ETA ei ole olemassa olevan EAD:n piirissä, ETA:a varten on laadittava myös uusi EAD. Uuden EAD:n laatiminen on ongelmallista, sillä se on EOTA:n sisäinen dokumentti koko luonnosteluvaiheen ajan ja julkinen vasta, kun se julkaistaan EU:n virallisessa lehdessä, minkä jälkeen sen sisältöön ei voi enää vaikuttaa. Sidosryhmien pitäisi pystyä viestimään omista tarpeistaan EAD-luonnosprosessin aikana näkemättä itse EAD-luonnosta. Suomessa tämä viestintä tapahtuisi Suomen EOTA-jäsenen VTT Expert Services Oy:n kanssa.

Edellä kuvattu ETA-menettelyyn ja EAD:n luonnosteluun liittyvä ongelma on aiemmin tiedostettu myös Rakennustuoteteollisuudessa (RTT). ETA-menettelyn mukainen hyväksyntäkäytäntö vaatiikin aivan uudenlaista yhteistyötä ja avointa keskustelua eri sidosryhmien välillä. Rakennustuoteteollisuuden mielestä yleispätevän mallin rakentaminen ei kuitenkaan ole kannattavaa, sillä tuotehyväksynät vaativat tapauskohtaista tarkastelua ja esimerkiksi markkina-alue vaikuttaa päätöksiin ratkaisevasti.

## 4 Tuotetutkimukset

### 4.1 Bitumikatejätteen prosessoiminen

Suomessa ainoa bitumikatetta kierrättävä ja hyötykäyttöön prosessoiva taho on Tarpaper Recycling Finland Oy (TRF). Yhtiö toimii Lahdessa, Kujalan jätekeskuksen alueella, jossa bitumikatejäte vastaanotetaan ja murskataan asfalttiteollisuudessa hyödynnettäväksi bitumikaterouheeksi. (Tuominen, K 2014.) Bitumikatejätteen murskaaminen hyödynnettävään muotoon on vaatinut paljon kehitystyötä ja menetelmää on hiottu vuosien aikana ja siihen on Euroopassa ja Yhdysvalloissa patentoitu oma teknologia (Perttilä 2014).

TRF:n kierrätykseen kelpaavan materiaalin on oltava puhdasta eikä se saa sisältää ollenkaan asbestia. Purkukohteen tilaajan on ennen työn aloitusta selvitettävä sisältääkö purkukohte asbestia tai muita haitta-aineita. Jos purkukohteen haitta-ainekartoituksessa selviää, että bitumikate sisältää asbestia tai haitta-aineiden määrät ylittävät sallitut pitoisuudet, eivät kohteesta kerätyt materiaalit silloin kelpaa kierrätykseen. Syntypaikkalajittelun jälkeen kiertoon tuleva bitumikatekuorma saa sisältää korkeintaan 2 % muuta rakennusjätettä, joka poistetaan TRF:n jälkilajittelussa. (Tuominen, K 2017.) Taulukossa 6 on esitetty kiertoon tuotavan bitumikatejätteen lajitteluohjeet.

Taulukko 6. Kierrätykseen tuotavien bitumikatteiden lajitteluohjeet (Tuominen, K 2014)

Kyllä	Ei
Erilaiset palakoot	Asbestipitoiset huovat
Rullatavarat	Puu-, rima- ja vanerimateriaalit
Naulat	Kartongit ja alumiinipaperit
Bituminen singelisorakattomateriaali	Isot metallit ja pellit
	Maa- ja kiviainekset
	Kumi- ja muovimateriaalit

Kuorman tullessa Kujalan jätekeskuksen alueelle kuorma punnitaan ja sille tehdään ensimmäinen visuaalinen tarkastus, jolla selvitetään muun rakennusjätteen olemassa olo kuormassa. Tämän jälkeen kuorma toimitetaan TRF:n lajittelukentälle, jossa kuormasta poistetaan koneellisesti syntypaikkalajittelussa joukkoon jääneet rakennusjätteet kuten muovit, alumiinit ja puut. Koneellinen erottelu on esitetty kuvassa 4. Kun toimitettu erä on puhdistettu, bitumikate-erä sekoitetaan hallin ympäristössä olevien aiemmin puhdistettujen kuormien joukkoon, jotta eri aikoina toimitetut kate-erät sekoittuvat keskenään ja valmistettava tuote ei ole peräisin vain yhdestä kohteesta. Tässä vaiheessa purku- ja teollisuusjätteet pidetään vielä erillään, sillä lopullisen tuotteen ominaisuuksiin voidaan vaikuttaa katteiden osuuksia muuttamalla. (Tuominen, K 2017.)

Bitumikatejätteen murskaaminen tapahtuu kahdella murskaimella, jotka on kuljettimilla ja seulalla yhdistetty yhteen linjaan. Prosessi alkaa esimurskauksella, jossa esimurskaimeen syötetään sekä purku- että teollisuusjätettä. Syöttövaiheessa bitumikatteista poistetaan vielä viimeiset mahdollisesti mukaan jääneet muut rakennusjätteet, jotta tuotteesta saa-



Kuva 4. Bitumikatejätteen koneellinen jälkilajittelu, jossa bitumikatekuormasta poistetaan syntypaikkalajittelussa joukkoon jääneet rakennusjätteet.

daan mahdollisimman puhdasta. Joukkoon saattaa jäädä hieman (alle 2 paino-%) epäpuhtauksia, kuten tehtailta tulevien katteiden ohutta ja kirkasta pakkausmuovia tai bitumikatteen alapohjaan mahdollisesti tarttunutta styroksia tai villaa, jota ei saada koneellisesti irrotettua. Esimurskauksessa bitumikate murskataan 0–30 mm raekokoon, tätä suuremmat palaset syötetään esimurskaimeen uudelleen. Esimurskauksen jälkeen bitumikatteille suoritetaan jälkimurskaus, jossa kate murskataan lopulliseen 0–12 mm raekokoon. (Tuominen, K 2017.) Kuvassa 5 näkyy valmista 0–12 mm raekokoon murskattua bitumikaterouhetta. Taulukkoon 7 on koottu TRF:n valmistaman bitumikaterouhetuotteen BitumenMixin koostumus- ja ominaisuustiedot, jotka ilmoitetaan myös tuotteen luovutuksen yhteydessä vaatimustenmukaisuusilmoituksessa.

TRF:n valmistamassa tuotteessa käytetään sekä purku- että teollisuusjätettä. Murskaimen syötettävät bitumikatteet valitaan eri puolilta lajittelukentää tuotteen tasalaatuisuuden varmistamiseksi. Purku- ja teollisuusjätteitä syötetään esimurskaimeen samanaikaisesti, jotta jätteet saadaan sekoittumaan hyvin keskenään. Kierrätykseen tulee purkujätettä suhteessa enemmän kuin teollisuusjätettä, joten myös lopullisessa tuotteessa purku-RAS:n osuus on suurempi. Teollisuusjäte sisältää tuoreempaa bitumia, joten sen määrää säätämällä voidaan parhaiten vaikuttaa lopputuotteen ominaisuuksiin, erityisesti sideaineen tunkeumaan. (Tuominen, K 2017.) Suomessa valmistettava ja käytettävä RAS eroaa Yhdysvalloissa käytetystä, sillä Yhdysvalloissa AASHTO:n (2006a) spesifikaatio rajoittaa käyttämästä sekä purku- että teollisuus-RAS:ia samassa päällystemassassa.

Bitumikaterouhe paakkuuntuu varastoitaessa, erityisesti lämpimissä ja kosteissa oloissa.

Tästä syystä TRF ei varastoi tuotetta, vaan valmistaa bitumikaterouhetta kysynnän mukaan. Tällä hetkellä materiaalivirrat eivät ole keskenään tasaisia, sillä bitumikatejätettä toimitetaan kiertoon ympäri vuoden, mutta jätteestä tuotetaan rouhetta vain kesällä päällystystöiden yhteydessä, noin kuuden kuukauden aikana. Talvella, kun kysyntää ei ole, tuotantoryhmä voi keskittyä hiomaan murskaimen tuottamaa laatua, säätämällä murskaimen toimintaa. (Tuominen, K 2017.)



Kuva 5. Valmistaa 0–12 mm raekokoon murskattua bitumikaterouhetta.

Taulukko 7. BitumenMixin koostumus ja ominaisuudet (Tarpaper Recycling 2016)

Koostumus	(paino-%)	Ominaisuudet	
Bitumipitoisuus	50–60	Rouheen rakeisuus	0–12 mm
Mineraalitäyteaine (kalkkifillleri, hiekka, kivi)	25–45	Rouheen tiheys	700 ±100 kg/m <sup>3</sup>
Kuitu (lasikuitu, paperi, kartonki, villa)	0–10	Sideaineen tunkeuma	8–25 (1/10 mm+25°C)
Epäpuhtaudet (esimerkiksi muovi, styroksi, puu, kumi)	alle 2	0,063 mm seulan läpäisy	20–60 %
Ei sisällä asbestia			

## 4.2 Asfalttinormien laatuvaatimukset valmiille asfalttipäällysteelle

### 4.2.1 Yleistä

Sopimusasiakirjoissa asetetaan asfalttipäällysteen laatuvaatimukset päällystyskohteen sijainnin, käyttötarkoituksen ja liikennemäärän mukaan. Tilaaja ja urakoitsija voivat yhteisestä sopimuksesta asettaa asfalttinormeista poikkeavia vaatimuksia, jos asfalttimassa levitetään poikkeavissa oloissa, esimerkiksi kylmässä tai märässä. Tässä työssä käsitellään vain asfalttinormeissa esitettyjä vaatimuksia.

Asfalttinormeissa esitetään numeeriset laatuvaatimukset massamäärälle, tasalaatuisuudelle, koostumukselle, tyhjätalalle, kitkalle, tasaisuudelle, kaltevuudelle ja korkeusasemalle. Tämän työn kannalta tärkeimmät laatuvaatimukset ovat massan koostumus ja tyhjätalalla, joihin bitumikaterouheen käytön voidaan ajatella eniten vaikuttavan. Lisäksi asfalttinormeissa todetaan, että asfalttimassan kuluminen, deformaatio, vedenkestävyys, pakkaskestävyys tai tiivistettävyyden on tutkittava suunnittelun yhteydessä, jos näille ominaisuuksille asetetaan laatuvaatimuksia sopimusasiakirjoissa. Valmiin asfalttipäällysteen kulumisen ja deformaation kestävyudet voidaan määrittää myös tieltä otetuista näytteistä.

### 4.2.2 Toiminnalliset ominaisuudet

Asfalttinormeissa esitetään, että toiminnalliset vaatimukset asetetaan asfalttimassalle tai vaihtoehtoisesti valmiille päällysteelle. Asfalttinormeissa mainittuja asfalttimassan toiminnallisia ominaisuuksia ovat kulumis-, deformaatio-, väsymis-, pakkas- ja vedenkestävyys. Asfalttimassan toiminnallisiin ominaisuuksiin vaikuttavat myös massan rakeisuus ja bitumipitoisuus sekä tilavuussuhteet, sillä muuttamalla näitä massan suhteituksessa vaikutetaan myös massan toiminnallisiin ominaisuuksiin. Asfalttimassan koostumukseen vaikuttavien ominaisuuksien voidaan siis ajatella olevan massan epäsuoria toiminnallisia ominaisuuksia. Asfalttinormien mukaan kiviaineksen rakeisuus ja massan sideainepitoisuus ovat asfalttimassan koostumuksen tärkeimmät elementit.

Asfalttimassan toiminnallisten ominaisuuksien vaatimusten asettaminen riippuu liikennemäärästä. Asfalttinormien liitteessä 4 esitetään, mitä asfalttimassan toiminnallisten ominaisuuksien vaatimuksia eri käyttötarkoituksen päällystyskohteille tulee asettaa. Vaatimukset on esitetty erikseen kulutuskerroksille (AB) sekä kantaville kerroksille (ABK) ja sidekerroksille (ABS). Taulukossa 8 on esitetty asfalttinormien liitteestä 4 poimitut toiminnallisten ominaisuuksien vaatimusten asettaminen kullekin tämän työn koekohteelle. Toiminnallisten ominaisuuksien laatuvaatimuksia verrataan koekohteilta 1 ja 2 saatuihin tuloksiin kohdassa 5.1.

Tässä työssä toiminnallisia ominaisuuksia ei selvitetty asfalttimassasta, vaan ne määritettiin koekohteista otetuista poranäytteistä ja tuloksia verrataan asfalttinormien vaatimuksiin tieltä poratuista näytteistä. Kulumiskestävyyttä verrataan asfalttinormien taulukon 50 PRALL-kulumisluokkiin ja deformaatiokestävyyttä asfalttinormien taulukon 52 deformaatioluokkiin. Rakeisuuden ja sideainepitoisuuden osalta on muistettava, että jyräys ja poraus muuttavat rakeisuutta, joten poranäytteistä määritetyt tulokset eroavat hieman massanäyt-

teistä määritettävistä tuloksista.

Asfalttinormeissa ei kuitenkaan esitetä vaatimuksia väsymiskestävyydelle ja pakkashalkeilunkestävyydelle, vaan todetaan, että jos pakkashalkeilunkestävyydelle on asetettu vaatimus, päällysteen sideaine tulee valita kohteen käyttöaikana esiintyvän alhaisimman lämpötilan perusteella. Yleensä Etelä-Suomessa käytetään 70/100 tunkeumaluokan bitumia ja Pohjois-Suomessa käytetään pehmeämpää kuten 100/150. Sideaineen kovuuden valinnalla voidaan siis vaikuttaa päällysteen väsymis- ja pakkashalkeilunkestävyyteen. Kun asfaltin valmistuksessa käytetään asfalttirouhetta, voidaan lisäbitumina käyttää pehmeämpää esimerkiksi 160/220 tunkeumaluokan bitumia, jotta jäykemmän asfalttirouheen ja lisäbitumin sideaineseoksen tunkeumaluokka vastaa suunniteltavaa 70/100-luokkaa.

Bitumikaterouheessa oleva bitumi on vanhenemisen myötä kovettunut, joten sen lisäyksellä on keskeinen merkitys päällysteen pakkasenkestävyydelle. Siksi tässä tutkimuksessa tehtiin myös laaja laboratoriotutkimus koekohteiden 1 ja 2 sideaineseoksille, vaikka asfalttinormeissa ei esitetä vaatimuksia väsymis- ja pakkaskestävyydelle. Laboratoriokokeilla selvitettiin bitumikaterouheen lisäämisen vaikutuksia sideaineseoksen ominaisuuksiin. Sideainetutkimusten tulokset on esitetty kohdassa 5.2.

Taulukko 8. Asfalttinormien liitteestä 4 poimitut ohjeelliset valintataulukot, asfalttimassan vaatimusten asettamiselle liikennemäärän mukaan

Koe- kohde	Käyttökohde ja liikennemäärä (KVL)	Toiminnallinen ominaisuus				
		Rakeisuus ja bitumi- pitoisuus	Tilavuus- suhteet	Kulu- minen	Defor- maatio	Veden- kestävyys
1	Yleiset tiet ja kadut (KVL 500-2500 ajon./vrk)	X	(X) <sup>1</sup>			X
6, 7, 8	Yleiset tiet ja kadut (KVL < 500 ajon./vrk)	X				X
5	Kevyen liikenteen väylät	X				
2, 3, 4	Kentät, pihat; raskas liikenne (kulutuskerros)	X	X		I	X
2, 3, 4	Kentät, pihat; raskas liikenne (kantava kerros)	X	X		I	*)

<sup>1</sup> Materiaalit, joista ei ole aikaisempaa kokemusta

I Päällysteen luokka

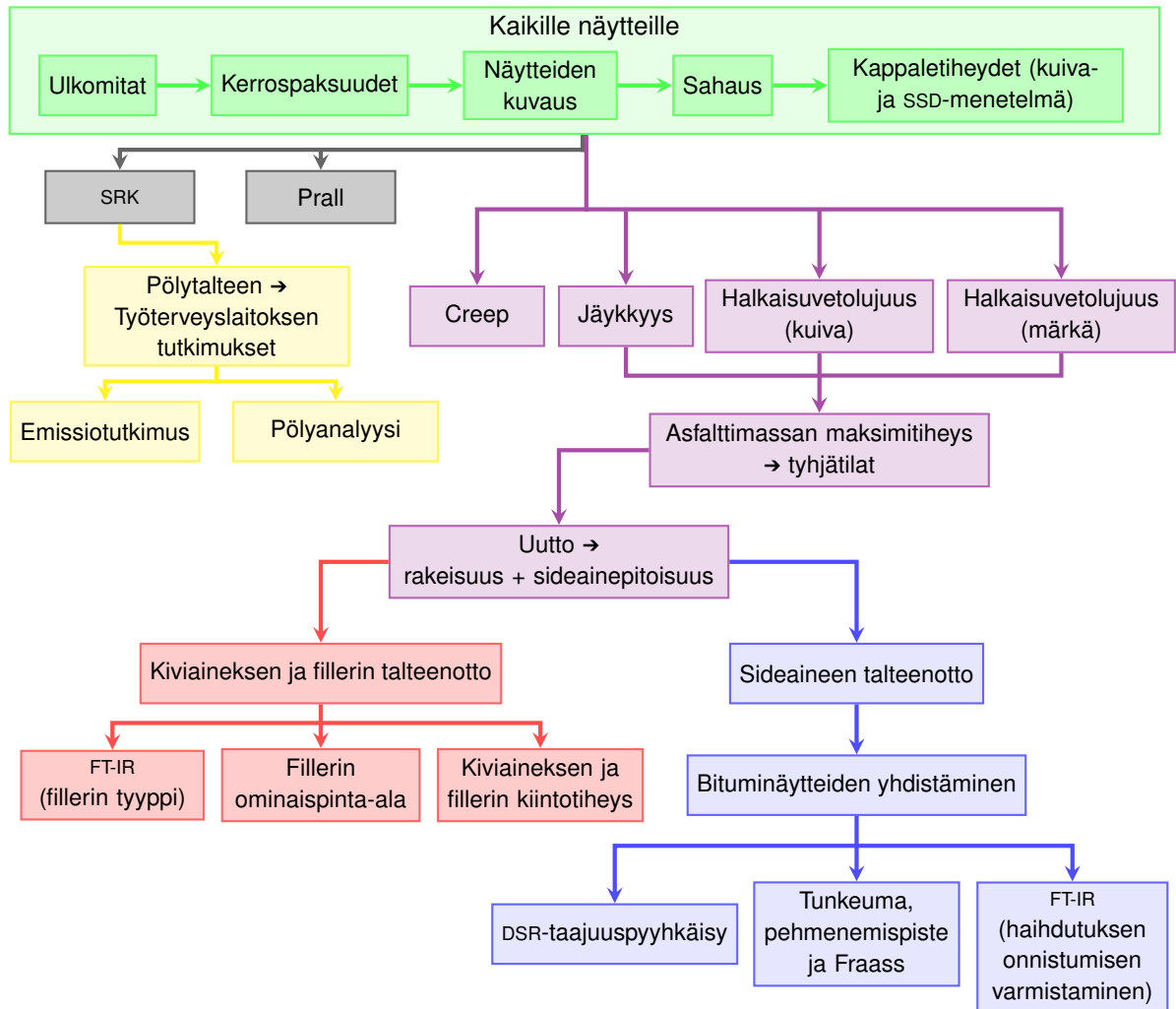
\*) Valitaan tapauskohtaisesti

### 4.3 Tutkimussuunnitelma

Bitumikaterouheen lisääminen vanhentaa asfalttimassaa ja sitä on elvytettävä erilaisten lisäaineiden avulla asfalttipäällysteen liiallisen kovenemisen estämiseksi. Tässä työssä tutkittiin erilaisten laboratorioskokeiden avulla, miten bitumikaterouheen lisääminen vaikuttaa asfaltin ominaisuuksiin. Keskeisiä tutkittavia asioita olivat asfaltin toiminnalliset ominaisuudet.

det, kylmäkestävyys sekä nastarenkaiden irrottaman asfalttipölyn terveydelliset ominaisuudet.

Laboratoriokokeista laadittiin testausmatriisi, joka on esitetty kuvassa 6. Testausmatriisi laadittiin siten, että tutkitut ominaisuudet sekä tarvittavat mittaukset ja menetelmät peilautuivat Asfalttinormien vaatimuksiin. Työssä verrattiin bitumikaterouhetta sisältäviä asfalttinäytteitä referenssimassana käytettyihin tyyppiasfalttimassoihin ilman bitumikaterouhetta.



Kuva 6. Koekohteiden 1 ja 2 näytteiden laboratoriokokeiden testausmatriisi.

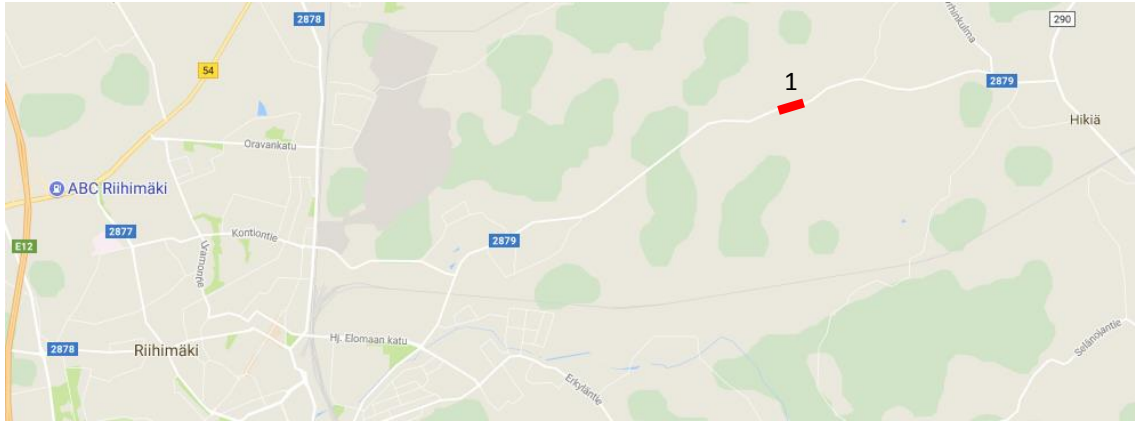
#### 4.4 Tutkimusaineisto

Tämän tutkimuksen aineisto koostuu kahdeksasta eri koekohteesta, joissa on käytetty bitumikaterouhetta asfaltin ainesosana. Koekohte 1 sijaitsee Riihimäen itäpuolella ja koekohteet 2–8 Lahdessa. Koekohteiden sijainnit kartalla on esitetty tarkemmin kuvissa 7 ja 8.

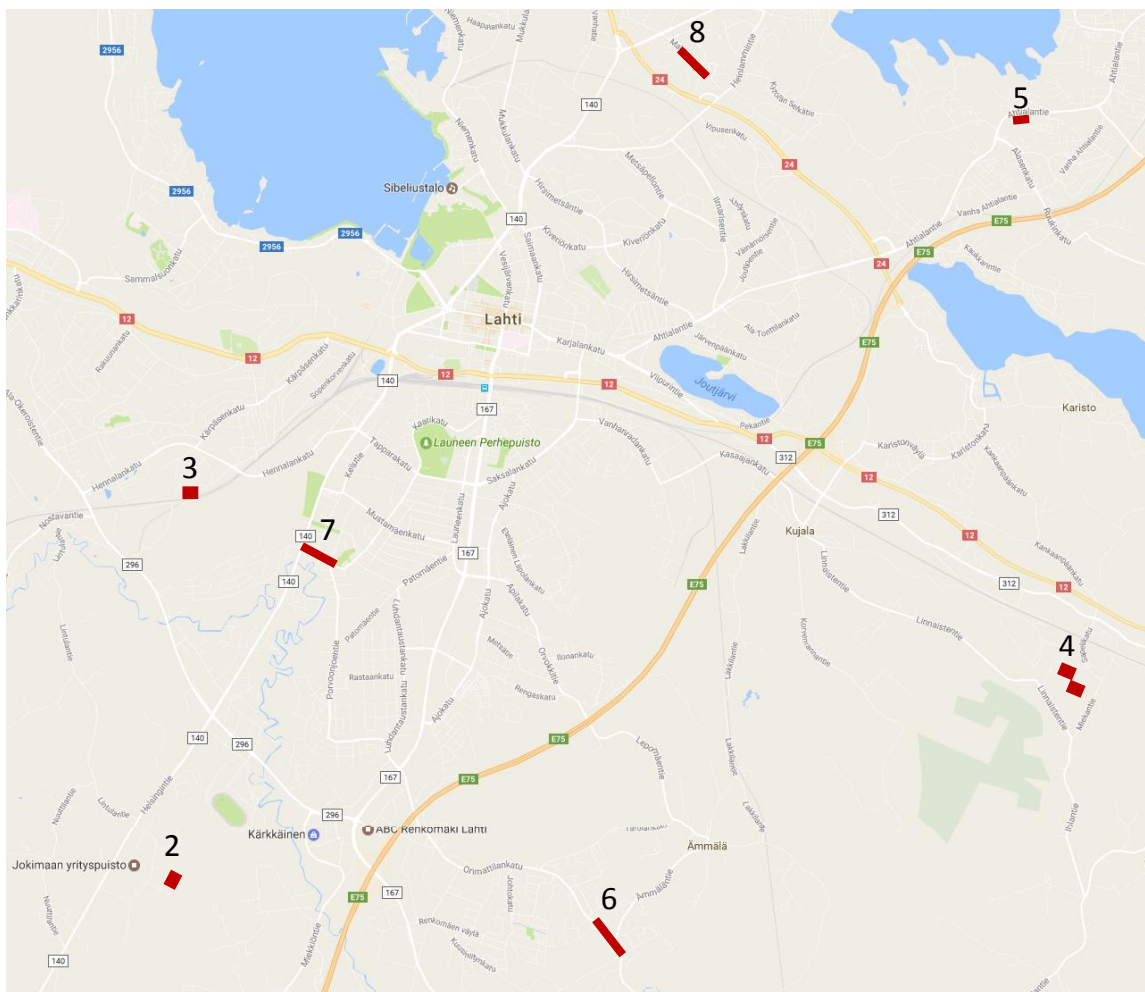
Koekohteista 1 ja 2 porattiin asfalttinäytteitä kuvassa 6 esitettyjä laboratoriotutkimuksia varten ja lisäksi näiltä koekohteilta toimitettiin asfaltin valmistuksessa käytettyjä aineita: bitumia, kiviainessekoitusta, puhdasta bitumikaterouhetta, kierrätettyä asfalttirouhetta sekä



referenssiasfalttimassaa ja bitumikaterouhetta sisältävää asfalttimassaa. Asfalttinäytteiden teknisiä ominaisuuksia tutkittiin Aalto-yliopiston tietekniikan laboratoriossa ja työterveyteen vaikuttavia ominaisuuksia Työterveyslaitoksen laboratoriossa. Lisäksi kaikille koekohteille tehtiin visuaalinen tarkastus keväällä 2017. Koekohteiden perustiedot on esitetty taulukossa 9.



Kuva 7. Koekohde 1 Mt 2879:llä Riihimäen itäpuolella (Google Maps).



Kuva 8. Koekohteet 2–8 Lahdessa (Google Maps).



Taulukko 9. Koekohteet

Koekohte	Tehdyt tutkimukset	Valmistusvuosi	Asfalttilaji	RC (%)	RAS (%)
1 – Mt 2879, Riihimäki	laboratorio ja visuaalinen	2015	AB16	50	2
			AB16	50	0
2 – Tonkikatu, Lahti teollisuushallin piha-alue	laboratorio ja visuaalinen	2016	AB16	50	2
			ABK31	50	2
			ABK31	50	0
3 – Kallio-Pietilänkatu 26, Lahti	visuaalinen	2014	AB16	0	2
4 – Sapelikatku 7, Lahti	visuaalinen	2014	AB20	0	2
5 – Ahtialanraitti, Lahti	visuaalinen	2015	AB11	40	2
6 – Orimattilankatu, Lahti	visuaalinen	2015	AB16	0	2
7 – Eteläinen Rengastie, Lahti	visuaalinen	2015	AB16	0	2
8 – Makarantie, Lahti	visuaalinen	2015	AB16	40	2

Laboratoriokokeita varten koekohteista 1 ja 2 porattiin bitumikaterouhetta sisältävien asfalttinäytteiden (RAS-näytteiden) lisäksi myös referenssinäytteitä ilman bitumikaterouhetta. Kaikissa koekohteiden 1 ja 2 massoissa käytettiin samaa lisäbitumia (160/220). Molemmista koekohteista porattiin halkaisijaltaan 100 mm:n ja 150 mm:n kokoisia näytteitä. Koekohteesta 1 porattiin yhteensä 89 näytettä, joista

- 17 kpl  $\varnothing$ 100 mm:n RAS-näytteitä (AB16RC50+2%RAS)
- 10 kpl  $\varnothing$ 150 mm:n RAS-näytteitä (AB16RC50+2%RAS)
- 42 kpl  $\varnothing$ 100 mm:n referenssinäytteitä (AB16RC50)
- 20 kpl  $\varnothing$ 150 mm:n referenssinäytteitä (AB16RC50).

Koekohteesta 2 porattiin 30 näytettä, joista

- 10 kpl  $\varnothing$ 100 mm:n RAS-näytteitä (AB16RC50+2%RAS)
- 10 kpl  $\varnothing$ 100 mm:n RAS-näytteitä (ABK31RC50+2%RAS)
- 10 kpl  $\varnothing$ 150 mm:n RAS-näytteitä (ABK31RC50+2%RAS).

Koska koekohteella 2 ei ollut ilman bitumikaterouhetta valmistettua päällystettä, porattiin referenssinäytteet saman urakoitsijan toisesta kohteesta. Näitä referenssinäytteitä oli 9 kpl ja ne olivat halkaisijaltaan 100 mm:n ABK31RC50-porapaloja. Molempien koekohteiden bitumikaterouhetta sisältävä asfalttimassa valmistettiin siten, että osa tuoreesta bitumista korvattiin bitumikaterouheella. Kaikissa massoissa käytettiin samaa tuoretta bitumia (160/220). Bitumikaterouheessa olevan kovan bitumin lisäämistä ei siis otettu huomioon käyttämällä RAS-massoissa vielä pehmeämpää lisäbitumia kuin referenssimassoissa. Asfalttirouheen bitumin, bitumikaterouheen bitumin ja lisäbitumin osuudet asfalttimassojen sideaineseoksissa on esitetty taulukossa 10.

Taulukko 10. Koekohteiden 1 ja 2 asfalttimassojen tavoitellut sideainepitoisuudet ja käytettyjen bitumien osuudet massassa

Koe- kohde	Asfaltti- massa	Massan tavoiteltu sideainepitoisuus [paino-%]	Eri bitumien osuudet massasta [paino-%]		
			RA-bitumi	RAS-bitumi	160/220-bitumi
1	AB16RC50	5,3	2,35	0	2,95
	AB16RC50+2%RAS	5,3	2,35	1,08	1,87
2	ABK31RC50	4,5	2,00	0	2,50
	ABK31RC50+2%RAS	4,4	2,15	1,08	1,17
	AB16RC50+2%RAS	5,5	2,15	1,08	2,17

Koekohteilta 1 ja 2 porattujen referenssi- ja RAS-näytteiden laboratoriotutkimusten tuloksia käytettiin asfalttimassan vaatimusten täytymisen arviointiin. Taulukossa 8 esitettiin ohjeelliset valintataulukot asfalttimassan vaatimusten asettamiselle liikennemäärän mukaan, josta selviää mitä vaatimuksia kaikille tämän tutkimuksen koekohteille tulee asettaa. Vaatimusten täyttymistä tutkittiin kuitenkin vain koekohteiden 1 ja 2 laboratoriotutkimusten perusteella, joten taulukossa 11 on esitetty tarkemmin koekohteiden 1 ja 2 liikennetiedot sekä muut tarvittavat tiedot, joita hyödynnetään tulosten arvioinnissa kohdassa 5.

Taulukko 11. Koekohteen 1 ja 2 liikennetiedot ja vaatimusten asettaminen

Koekohde 1	Koekohde 2
Maantie, jossa liikennemäärä vuonna 2016 oli 1699 ajon./vrk ja nopeusrajoitus on 80 km/h.	Teollisuuskiinteistön piha-alue, jossa on myös raskasta liikennettä.
Kaksikaistaisten teiden tai katujen laatuvaatimusluokat (A-D) esitetään asfalttinormien taulukossa 41 ja liikennemäärän ja nopeusrajoituksen perusteella koekohde 1 kuuluu laatuvaatimusluokkaan C.	Teollisuuskiinteistöjen piha-alueille ei ole asetettu vastaavia laatuvaatimusluokkia asfalttinormeissa.
Asfalttinormien mukaisesti koekohteelle 1 tulisi asettaa vaatimuksia rakeisuudelle ja bitumipitoisuudelle, vedenkestävyydelle sekä tilavuussuhteille, kun on käytetty materiaalia, josta ei ole aikaisempaa kokemusta.	Asfalttinormien mukaisesti koekohteelle 2 tulisi asettaa vaatimuksia rakeisuudelle ja bitumipitoisuudelle, tilavuussuhteille sekä deformaatio- ja vedenkestävyydelle.

## 4.5 Tutkimusmenetelmät

### 4.5.1 Toiminnalliset ominaisuudet

Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteistä tutkittiin toiminnallisia ominaisuuksia sekä asfalttiasfaltin koostumusta kuvaavia epäsuoria toiminnallisia ominaisuuksia. Näistä käydään ensin läpi toiminnallisten ominaisuuksien tutkimiseen käytetyt menetelmät ja sen jälkeen epäsuorien toiminnallisten ominaisuuksien menetelmät. Osassa menetelmistä näyte joudutaan rikkomaan, joten kaikkia menetelmiä ei voitu tehdä kaikille näytteille. Lisäksi muutama standardin mukaista määrittystä varten poranäytteet olivat liian pieniä, joten osasta näytteistä tehtiin yhdistettyjä näytteitä. Taulukossa 12 on esitetty poranäytteistä määritettyjen toiminnallisten ominaisuuksien menetelmätiedot sekä kuinka monelle näytteelle tai yhdistetylle näytteelle tutkimukset tehtiin.

Taulukko 12. Toiminnallisten ominaisuuksien menetelmätiedot ja tehtyjen kokeiden lukumäärät

Ominaisuus	Menetelmä	Koekohde 1 (kpl)		Koekohde 2 (kpl)		
		RAS	ref	RAS AB	RAS ABK	ref ABK
Jäykkyys	SFS-EN 12697-26	4	9	5	5	4
Halkaisuvetolujuus	SFS-EN 12697-23	3	6	5	5	4
Vedenkestävyys	SFS-EN 12697-12	6	12	-	-	-
Kulumiskestävyys	SFS-EN 12697-16	5	10	-	-	-
Deformaatiokestävyys	SFS-EN 12697-25	5	8	0	5	0

Poranäytteiden jäykkyys määritettiin standardin SFS-EN 12697-26 liitteen C mukaisella lie-riönäytteiden epäsuoralla vetokokeella (indirect tension to cylindrical specimens, IT-CY). Epäsuorat vetokokeet tehtiin poranäytteille Universal Testing Machine (UTM-25) -laitteella 10 °C:n lämpötilassa. Näytteen jäykkyys määritetään kahdesta eri suunnasta saatujen mit- tausten keskiarvona. Näytettä kuormitetaan halkaisijan suunnassa ja jäykkyys määritetään viiden kuormituspulssin keskiarvona. Sen jälkeen näytettä käännetään kehän suuntaisesti 90° ja jäykkyys määritetään uudelleen viiden kuormituspulssin keskiarvona. Jälkimmäise- nä määritetty jäykkyys saa erota ensimmäisestä -20 – +10 %, jolloin näytteen jäykkyys on molemmista suunnista mitattujen jäykkyyksien keskiarvo. Muussa tapauksessa tulokset on hylättävä. Yhden koetuloksen eli jäykkyysmoduulin saamiseksi on testattava vähintään neljä näytettä.

Asfalttinäytteiden halkaisuvetolujuus määritettiin standardin SFS-EN 12697-23 mukaises- ti UTM-25-laitteella 10 °C:n lämpötilassa. Halkaisuvetolujuuden määrittämiseksi näytettä kuormitetaan halkaisijan suunnassa vakiopuristusnopeudella murtumiseen saakka. Näyt- teeseen kohdistuva huippukuormitus kirjataan ylös ja näytteen halkaisuvetolujuus laske- taan huippukuormituksen ja näytteen ulkomittojen avulla. Halkaisuvetolujuuden määrittäminen

on tehtävä vähintään kolmelle yksittäiselle näytteelle, joiden keskiarvosta sadaan määritettyä massatyyppin halkaisuvetolujuus.

Asfalttinäytteiden vedenkestävyyden määrittäminen tehtiin standardin SFS-EN 12697-12 menetelmän A mukaisesti UTM-25-laitteella 10 °C:n lämpötilassa. Vedenkestävyyden määrittämiseksi tarvitaan joukko näytteitä, joista puolet pidetään kuivina huoneenlämmössä ja puolet kyllästetään vedessä. Vesikäsitelyssä näytteitä pidetään 68–72 tuntia 40 °C:n lämpötilassa, minkä jälkeen ne temperoidaan vedessä testauslämpötilaan. Alkukäsittelyn jälkeen kaikille näytteille tehdään standardin SFS-EN 12697-23 mukainen halkaisuvetolujuuden määrittäminen. Kuivien ja vedellä käsiteltyjen näytteiden halkaisuvetolujuuden keskiarvo määritetään vastaavasti. Vedenkestävyys ilmoitetaan halkaisuvetolujuussuhteena, vedellä käsiteltyjen näytteiden halkaisuvetolujuuksien suhde kuivien näytteiden halkaisuvetolujuuksiin. Vedenkestävyyden määrittämiseen tarvitaan vähintään kuusi näytettä, joista puolet kuivia ja puolet käsitellään vedellä.

Poranäytteiden kulumiskestävyys mitattiin standardin SFS-EN 12697-16 menetelmän A mukaisesti Prall-menetelmällä. Näytteitä pidetään vähintään viisi tuntia vedessä, jonka lämpötila on 5 °C. Sen jälkeen näyte nostetaan vedestä, sen pintaan kiinnittyneet vesipisarot kuivataan ja määritetään pinnalta pyyhityn näytteen massa ilmassa. Käsitelyn jälkeen näyte asetetaan kulutuslaitteeseen, jonka läpi virtaa 5 °C:n lämpötilassa oleva jäähdytysvesi. Näytettä kulutetaan 15 minuutin ajan 40 teräskuulalla. Jos veden virtaus ulos kulutuslaitteesta pysähtyy, on testaus keskeytettävä ja testi on mitätön. Kulutuksen jälkeen näyte kuivataan kuten alussa ja välittömästi kuivaamisen jälkeen määritetään pinnalta pyyhityn näytteen massa ilmassa. Kulumiskestävyys ilmoitetaan kulumisarvona näytteestä mitattujen massojen ja näytteen tiheyden avulla. Kulumiskestävyden mittaamiseen tarvitaan vähintään neljä näytettä, joiden yksittäiset kulumisarvot sekä keskiarvo ilmoitetaan.

Deformaatiokestävyys testattiin standardin SFS-EN 12697-25 menetelmän A mukaisella yksiaksiaalisella jaksollisella virumiskokeella UTM-25-laitteella 40 °C:n lämpötilassa. Näytettä kuormitetaan korkeuden suuntaisesti jaksollisella kuormituksella ja kokeen aikana mitataan näytteen korkeuden muutos tiettyinä kuormituskertoina. Mitausten perusteella määritetään näytteen suhteellinen pysyvä muodonmuutos kuormituskertojen funktiona. Tämä esitetään virumiskäyränä, josta voidaan määrittää näytteen virumisominaisuudet. Näytteen on oltava  $60 \pm 2$  mm korkea. Jos tieltä poratun yksittäisen näytteen korkeus ei ole riittävä, standardi sallii kahden poranäytteen asettamisen päällekkäin testiä varten, jolloin yhdistetyn korkeuden on oltava  $60 \pm 2$  mm. Tässä tutkimuksessa kaikki deformaatiokestävyydsmittaukset tehtiin kahdelle päällekkäiselle näytteelle. Menettely on tehtävä vähintään kolmelle näytteelle tai kolmelle yhdistetylle näytteelle.

Asfalttimassan koostumusta kuvaavien epäsuorien toiminnallisten ominaisuuksien määrittämiseen käytetyt menetelmät ja tehtyjen kokeiden lukumäärät on esitetty taulukossa 13. Poranäytteiden ulkomitat ja kappaletiheudet määritettiin jo ennen edellä kuvattuja toiminnallisia ominaisuuksia, sillä ne on määritettävä ehjistä näytteistä. Muissa epäsuorien toiminnallisten ominaisuuksien määrittämisessä poranäyte joudutaan rikkomaan, joten ne tehtiin vasta taulukossa 12 esitettyjen toiminnallisten ominaisuuksien määrittämisen jälkeen.

Ulkomittojen määrittäminen tehtiin standardin SFS-EN 12697-29 mukaisesti. Näytteiden korkeus ja halkaisija mitataan työntömitalla, korkeus tasaisin välein neljästä kohdasta näytteen ke-

Taulukko 13. Epäsuorien toiminnallisten ominaisuuksien menetelmätiedot ja tehtyjen koekoiden lukumäärät

Ominaisuus	Menetelmä	Koekohde 1 (kpl)		Koekohde 2 (kpl)		
		RAS	ref	RAS AB	RAS ABK	ref ABK
Ulkomitat	SFS-EN 12697-29	27	62	10	20	9
Kappaletiheys	SFS-EN 12697-6	27	62	10	20	9
Maksimitiheys	SFS-EN 12697-5	10	22	7	10	4
Tyhjätila	SFS-EN 12697-8	10	13	7	10	6
Uutto + Sideainepitoisuus	SFS-EN 12697-1	8	21	6	9	3
Rakeisuus	SFS-EN 12697-2	8	16	6	9	3
Kiviaineksen kiintoteiheys	SFS-EN 1097-6	2	2	1	1	1
Fillerin tiheys	SFS-EN 1097-7	2	2	1	1	1
Ominaispinta-ala	PANK-2401	5	5	2	3	2

hältä, noin 10 mm reunan sisäpuolelta ja halkaisija kuudesta kohdasta, kahdelta toisiinsa kohtisuorasti olevalta linjalta, molemmista näytteen päältä, keskeltä ja pohjalta. Korkeus ja halkaisija määritetään vastaavien mittausten keskiarvona.

Kappaletiheys määritettiin standardin SFS-EN 12697-6 menetelmien A ja B mukaisesti, näytteen massan ja tilavuuden avulla. Molemmissa menettelyissä näytteen massa saadaan punnitsemalla kuiva näyte ilmassa ja tilavuus saadaan näytteen massasta ilmassa ja vedessä. Menettelyssä A eli kuivamenettelyssä näytteen massa vedessä määritetään heti vesihautteeseen upottamisen jälkeen. Menettelyssä B, kyllästetty pintakuiva (saturated surface dry, SSD), näyte upotetaan vesihautteeseen ja näytteen massa määritetään vasta, kun vesi on kyllästännyt näytteen siten, että sen massa ei enää muutu. Tämän jälkeen näyte poistetaan vedestä ja sen pintaan kiinnittyneet vesipisarat kuivataan. Välittömästi kuivaamisen jälkeen määritetään pinnalta pyyhityn näytteen massa ilmassa. Veden tiheys määritetään veden lämpötilan avulla ja kappaletiheudet määritetään näytteiden massojen ja veden tiheyden perusteella.

Poranäytteiden asfalttimassojen maksimitiheys määritettiin standardin SFS-EN 12697-5 menetelmän B mukaisesti hydrostaattisella menetelmällä. Massan maksimitiheys määritetään näytteen tilavuudesta ilman tyhjätilaa ja näytteen massasta. Näyte lämmitetään 105 °C:n lämpötilaan, minkä jälkeen se murennetaan erillään oleviksi karkeiksi osiksi. Määritetään rikotun näytteen massa ilmassa ja asetetaan se vesihautteeseen. Näytteestä poistetaan ilma altistamalla se alipaineelle ja tärinälle, minkä jälkeen näyte asetetaan vesihautteeseen temperoitumaan ja määritetään näytteen massa vedessä. Veden tiheys määritetään veden lämpötilan avulla ja maksimitiheudet määritetään murennettujen näytteiden massojen ja veden tiheyden perusteella.

Poranäytteiden tyhjätilat määritettiin standardin SFS-EN 12697-8 mukaisesti tyhjätilapitoisuutena. Näytteen tyhjätilapitoisuus on huokosten tilavuus näytteen kokonaistilavuudesta ilmoitettuna prosentteina ja se lasketaan käyttämällä asfalttimassan maksimitiheyttä ja asfalttinäytteen kappaleitiheyttä.

Lopuksi poranäytteiden asfalttimassasta erotettiin sideaine ja määritettiin näytteiden sideainepitoisuus standardin SFS-EN 12697-1 mukaisesti. Sideaineen erotus tehtiin uutusuodatuslaitteella (Strassentest tyyppi 520) liuottamalla sideaine metyleenikloridiin. Ennen uutusuodatusta määritetään näytteen massa ja uutusuodatuksen jälkeen kiviaineksen ja hienoaineksen massa. Näiden avulla saadaan laskettua sideainepitoisuus, joka on sideaineen suhteellinen osuus näytteen koko massasta.

Uutusuodatuksella erotetun kiviaineksen rakeisuus määritettiin standardin SFS-EN 12697-2 mukaisesti seulomalla ja punnitsemalla. Kiviaines kaadetaan seulasarjaan, jota tärisytetään 15 minuutin ajan. Tämän jälkeen seuloille jääneet kiviainekset punnitaan ja lasketaan eri seulojen läpäisyprosentit, joista saadaan kiviaineksen rakeisuuskäyrä.

Kiviainesten kiintotiheys määritettiin standardin SFS-EN 1097-6 mukaisilla pyknometrimenetelmillä kiviaineksen koon mukaan. Kiintotiheys määritetään erikseen yli 4 mm raekoon kiviainekselle ja 0,125–4 mm kiviainekselle. Molemmissa menetelmissä kiviainesnäyte kylästetään täyttämällä pyknometri vedellä ja pitämällä se vesihauteessa 24 tunnin ajan. Kylästetty näyte punnitaan, poistetaan pyknometristä ja pintakuivataan. Yli 4 mm kiviaines pintakuivataan pyyhkeellä ja levitetään yhden rakeen paksuiseksi kerrokseksi kuivumaan. Pienempi kiviaines levitetään tasapaksuksi kerrokseksi ja kuivataan kuumalla ilmavirtauksella, välillä sekoittaen. Kuivaamisen jälkeen molemmissa menetelmissä kylästetty, pintakuiva kiviaines punnitaan. Lopuksi kiviaines kuivataan lämpökaapissa 110 °C:n lämpötilassa vakiomassaan ja punnitaan kuiva kiviaines, kun se on jäähtynyt huoneenlämpötilaan. Veden tiheys määritetään veden lämpötilan avulla ja kiviaineksen kiintotiheys saadaan veden tiheyden ja kiviaineytteen massojen perusteella. Jokaisesta näytteestä määritetään kolme kiintotiheyttä, näennäinen, uunikuivattu sekä kylästetty pintakuivattu. Näytteen pintakuivuuden määrittäminen ei onnistunut tarkasti 0,125–4 mm raekoon kiviaineksella, sillä näytemäärä oli hyvin pieni ja pintakuivuuden toteaminen oli vaikeaa. Kylästetyn pintakuivatun sekä uunikuivatun kiintotiheyden tuloksiin vaikuttaa se, milloin kokeen tekijä toteaa kiviaineksen olevan pintakuivaa.

Fillerin tiheys määritettiin standardin SFS-EN 1097-7 mukaisella pyknometrimenetelmällä. Filleriseos valmistettiin sekoittamalla alle 0,063 mm kiviainesta ja 0,063–0,125 mm kiviainesta samassa suhteessa kuin näytteen rakeisuudessa. Pyknometri punnitaan tyhjänä sekä fillerinäytteen kanssa. Pyknometri täytetään tolueenilla ja asetetaan vesihauteeseen 60 minuutin ajaksi. Lopuksi punnitaan näytteellä ja tolueenilla täytetty pyknometri. Fillerin tiheys määritetään tolueenin tiheyden ja fillerinäytteen massojen perusteella. Standardin mukaan määrittäminen tulisi tehdä kolme jokaiselle testattavalle näytteelle. Tulokset olivat kuitenkin niin lähellä toisiaan, että tolueenin säästämiseksi määrittäminen tehtiin vain kaksi jokaiselle näytteelle.

Hienoainesten ominaispinta-ala määritettiin PANK-2401 -menetelmän mukaisella typpiadsorptiomenetelmällä Horiba SA-9600 series surface area analysis -laitteella. Kuivattuun näytteeseen adsorboidaan nestemäisen typen lämpötilassa typpikaasua ja näytteen pinta-

ala lasketaan adsorboituneen typen avulla. Ominaispinta-ala on hienoainesrakeiden pintojen yhteenlaskettu pinta-ala massayksikköä kohden.

#### 4.5.2 Sideainetutkimukset

Uuttosuodatuksen jälkeen sideaineesta poistettiin haihdutusmenetelmällä uuttamisessa sideaineeseen jäänyt metyleenikloridi. Haihdutus tehtiin Buchi Rotavapor R-205 -laitteella ja haihdutuksen onnistuminen varmistettiin infrapunaspektroskopian avulla FTIR-menetelmällä (fourier transform infrared spectroscopy). FTIR-menetelmällä pystytään myös selvittämään sisältääkö bitumiseos bitumikatteiden valmistuksessa käytettyjä polymeerejä ja siten varmistamaan onko asfaltin ainesosana käytetty bitumikaterouhetta. Tämä on esitetty lyhyesti liitteessä B. Uutetuille sideaineille tehtiin taulukon 14 mukaiset tutkimukset. Poranäytteissä ei ollut riittävästi sideainetta, jotta jokaisen poranäytteen sideaineelle olisi voitu tehdä standardien mukaiset sideainekokeet. Tästä syystä sideainekokeita varten poranäytteiden sideaineista tehtiin yhdistettyjä sideainenäytteitä. Taulukossa 14 on esitetty yhdistetyille sideainenäytteille tehtyjen kokeiden lukumäärät.

Taulukko 14. Poranäytteistä uutettujen sideaineiden ja kiviainesten menetelmätiedot ja tehtyjen kokeiden lukumäärät

Ominaisuus	Menetelmä	Koekohde 1 (kpl)		Koekohde 2 (kpl)		
		RAS	ref	RAS AB	RAS ABK	ref ABK
Haihdutus	SFS-EN 12697-3	3	7	2	3	2
Tunkeuma	SFS-EN 1426	3	7	2	3	2
Pehmenemispiste	SFS-EN 1427	3	7	2	3	2
Fraass-murtumispiste	SFS-EN 12593	3	3	2	3	2
DSR-taajuuspyyhkäisy	SFS-EN 14770 / AASHTO T 315-10	3	7	2	3	2

Porapaloista uutetuista yhdistetyistä sideainenäytteistä mitattiin sideaineen kovuutta standardin SFS-EN 1426 mukaisella tunkeuma-menetelmällä. Sideainenäyte asetetaan tunkeumakupissa vesihauteeseen ja tunkeuma määritetään 25 °C:n lämpötilassa mittaamalla, kuinka paljon 100 g:n painoinen neula tunkeutuu bituminäytteeseen viiden sekunnin aikana. Mittauksia tehdään kolme samalle näytteelle ja bitumin tunkeuma ilmoitetaan mittaus-ten keskiarvona yksikössä 1/10 mm. Vesihauteen lämpötilan kanssa oli ongelmia muutamana kuumana kesäpäivänä, jolloin osassa mittauksista hauteen lämpötila oli yli standardissa sallitun. Bitumikaterouheesta uutettujen sideainenäytteiden valmistelu ei onnistunut täydellisesti. Pintaa ei saatu tasaiseksi ja lisäksi pinnassa oli paljon pieniä koloja.

Sideaineen pehmenemispiste määritettiin standardin SFS-EN 1427 mukaisella rengas-kuula-menetelmällä. Kaksi sideaineesta tehtyä kiekkoa asetetaan rengaskehikon päälle vesi-

hauteeseen ja molemmat kiekot kannattelevat metallikuulaa. Vesihaudetta lämmitetään kontrolloidusti ja kirjataan ylös ne lämpötilat, jolloin sideainekiekot lämpenevät riittävästi siten, että molemmat metallikuulat putoavat 25 mm matkan. Sideaineen pehmenemispiste on keskiarvo näistä kahdesta mitatusta lämpötilasta. Standardin mukaan pehmenemispisteen määrittäminen tulee tehdä vesihauteessa sideaineille, joiden pehmenemispiste on alle 80 °C ja glyserolihauteessa sideaineille, joiden pehmenemispiste on 80–150 °C. Bitumikaterouheesta uutetulle sideaineelle pehmenemispiste määritettiin glyserolihauteessa.

Sideaineen kylmäominaisuuksien kuvaamiseksi määritettiin sideaineen Fraass-murtumispiste standardin SFS-EN 12593 mukaisella menetelmällä. Sideainenäyte levitetään metallilevylle tasaiseksi kerrokseksi. Metallilevyä ja sideainenäytettä viilennetään tasaisesti ja taivutetaan toistuvasti, kunnes sideainenäytekerros rikkoontuu. Sideaineen Fraass-murtumispisteeksi ilmoitetaan se lämpötila, jossa sideainenäytteeseen ilmestyy ensimmäinen halkeama taivutuksen seurauksena. Standardin mukaan sideainenäytteen tulisi painaa  $410 \pm 10$  mg. Näin tarkasti näyte on kuitenkin hyvin vaikea valmistaa, joten näytteet hyväksyttiin, jos niiden paino oli  $410 \pm 50$  mg. Bitumikaterouheesta uutettujen sideainenäytteiden valmistelussa oli samat ongelmat kuin tunkeumamäärityksessä, pinta ei ollut tasainen ja siinä näkyi koloja.

Edellä kuvattujen sideaineen perinteisten ominaisuuksien kuvaamiseen käytettyjen menetelmien lisäksi tässä työssä tutkittiin sideaineen reologisia ominaisuuksia, joita mitattiin standardeja SFS-EN 14770 ja AASHTO T 315-10 mukailten. Reologisia ominaisuuksia selvitettiin dynaamisella leikkausreometrillä (Dynamic Shear Rheometer, DSR) tehtävillä taajuuspyyhkäisyillä. Menetelmässä sideainenäytettä kuormitetaan oskilloivasti eri taajuuksilla ja koe toistetaan eri lämpötiloissa. Reometri mittaa leikkaussuunnassa materiaalin jännityksen ja muodonmuutoksen välistä riippuvuutta ja näiden avulla laite laskee materiaalin kompleksimoduulin ja vaihekulman. Tässä työssä reologiset ominaisuudet on esitetty isokroonisen käyrän avulla, joka kuvaa kompleksimoduulin ja vaihekulman käyttäytymistä vakiokuormitustaajuudella lämpötilan suhteen.

#### **4.5.3 Työterveys- ja ympäristötutkimukset**

Työterveys- ja ympäristötutkimuksissa selvitettiin asfaltista irtoavan asfalttipölyn koostumusta sekä asfalttimassan sekoitus- ja levitystiloissa syntyviä emissioita. Tutkimuksissa verrattiin bitumikaterouhetta sisältävää asfalttia referenssiasfalttiin ilman bitumikatetta. Lisäksi selvitettiin bitumikaterouhetta sisältävän asfalttimassan valmistuksessa syntyviä päästöjä.

Nastarenkaiden irrottaman asfalttipölyn koostumuksen ja kvartsipitoisuuden selvittäminen tehtiin Työterveyslaitoksen laboratoriossa. Asfalttipölyä irrotettiin koekohteelta 1 poratuista asfalttinäytteistä Aalto-yliopiston tietekniikan laboratoriossa standardin SFS-EN 12697-16 menetelmän B mukaisella sivurullakulutuskokeella (SRK). Perinteisesti SRK-menetelmällä mitataan päällysteen kulumiskestävyyttä, mutta tässä tutkimuksessa koe tehtiin ainoastaan asfalttipölyn irrottamiseksi poranäytteistä (Makowska et al. 2015). Pölyä irrotettiin yhdestä RAS-näytteestä ja yhdestä referenssinäytteestä. Molemmista näytteistä tehtiin kaksi rinnakkaista näytettä. Pölynäytteitä kuivattiin 24 tuntia 50 °C:n lämpötilassa, minkä jälkeen niiden partikkelijakauma analysoitiin elektronimikroskooppisesti ja kvartsipitoisuus



röntgendiffraktiometrisesti.

Työterveyslaitoksen laboratoriossa selvitettiin myös bitumikaterouhetta sisältävän ja sisältämättömän asfalttimassan emissioiden eroja. Vuosina 2014 ja 2015 teetetyissä tutkimuksissa selvitettiin bitumikaterouheen vaikutus asfaltin sekoitus- ja levitystöissä syntyviin emissioihin. Emissiotutkimukset tehtiin laboratoriossa 175 °C:n lämpötilassa ja lisäksi emissioita mitattiin asfalttiasemalta ja levitystyömaalta. Näiden tutkimusten tulokset referoitiin lyhyesti luvussa 2.7 ja ne on kerrottu tarkemmin Ahokkaan (2016) opinnäytetyössä. Näiden lisäksi syksyllä 2016 Työterveyslaitoksella teetettiin vielä uusi emissiotutkimus 200 °C:n lämpötilassa.

Työterveyslaitoksen vuoden 2016 syksyllä tekemässä emissiotutkimuksessa vertailtiin asfalttirouhetta ja bitumikaterouhetta sisältävän sekä pelkkää asfalttirouhetta sisältävän asfalttimassan emissioiden laadullisia ja määrällisiä eroja. Tutkimusta varten Työterveyslaitokselle toimitettiin koekohteelta 1 RAS-massaa sekä referenssiasfalttimassaa, joista molemmista tehtiin kaksi rinnakkaista uunitestiä. Tutkimus tehtiin Työterveyslaitoksen laboratoriossa putkiuunimenetelmällä 200 °C:n lämpötilassa ja kokeissa tutkittiin lämmön vaikutuksesta massasta haihtuvia PAH- ja VOC-yhdisteitä sekä bitumihuuruja.

Pöly- ja asfalttimassanäytteiden testien tulosten perusteella Työterveyslaitos teki terveydellisen merkityksen arvioinnin. Bitumikaterouhetta sisältävän asfalttimassan valmistuksen päästöjä selvitettiin Bionova Oy:n laatimalla ympäristöselostelaskelmalla. Työterveyslaitoksen tutkimusten tulokset ja terveydellisen merkityksen arviointi sekä Bionova Oy:n päästölaskelman tulokset kuvataan kohdassa 5.3. Ympäristöriskien selvitys tehtiin Ahokkaan (2016) opinnäytetyössä ja asbestin päätymistä kiertoon selvitettiin Saviojan (2016) opinnäytetyössä, joten tässä työssä näitä ei tarkemmin käsitellä.

#### **4.5.4 Visuaaliset tarkastukset ja käyttökokemukset**

Tämän tutkimuksen kahdeksasta koekohteesta neljä oli vähäliikenteisiä tieosuuksia, kolme teollisuuskiinteistön piha-alueita ja yksi jalankulun ja pyöräilyn väylä. Kaikille koekohteille tehtiin visuaalinen tarkastus 12.5.2017. Visuaalisessa tarkastuksessa kiinnitettiin huomiota päällysteen kuntoon ja mahdolliset vauriot sekä päällysteen yleisilme dokumentoitiin kuvaamalla. Tulokset on esitetty kohdassa 5.4.

Bitumikaterouheen hyödyntämisestä saatuja käyttökokemuksia kerättiin haastattelemalla viittä asfalttiurakoitsijan edustajaa. Haastatteluista koottu yhteenveto on esitetty kohdassa 5.5.

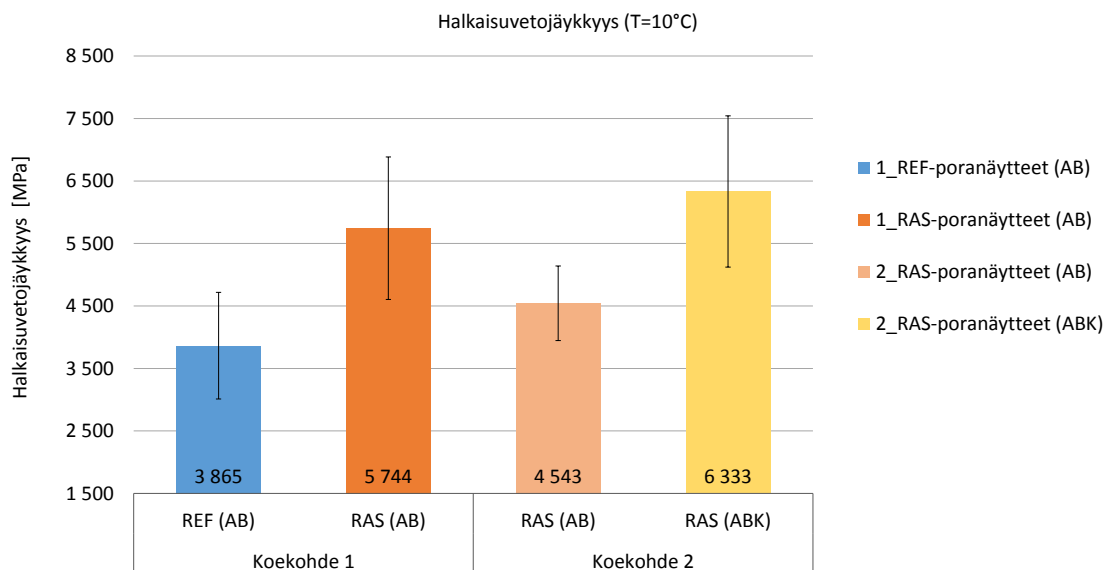
## 5 Tuotetutkimustulokset ja niiden arviointi

### 5.1 Toiminnallisten ominaisuuksien tulokset

Tässä esitetään koekohteilta poratuista näytteistä määritettyjen toiminnallisten ja epäsuorien toiminnallisten ominaisuuksien tulokset, joista ensin esitetään toiminnallisten ominaisuuksien tulokset. Kuvissa on esitetty samasta päällysteestä porattujen näytteiden mitaustulosten keskiarvot ja kahden keskihajonnan etäisyys keskiarvosta ( $\bar{x} \pm 2s$ ). Molempien koekohteiden tulokset on esitetty samoissa kuvissa. Myös asfalttinormien vaatimukset on esitetty niiden ominaisuuksien kohdalla, joille on normeissa esitetty vaatimuksia. Taulukossa 11 esitettiin koekohteiden 1 ja 2 vaatimusten asettamiseen vaikuttavat asiat sekä tarvittavat kohteille asetettavat vaatimukset, joita tässä tulosten arvioinnissa hyödynnetään. Liitteessä C on esitetty jokaisen näytteen tai yhdistetyn näytteen tulokset koekohteittain, joista tässä esitetyt keskiarvot on laskettu.

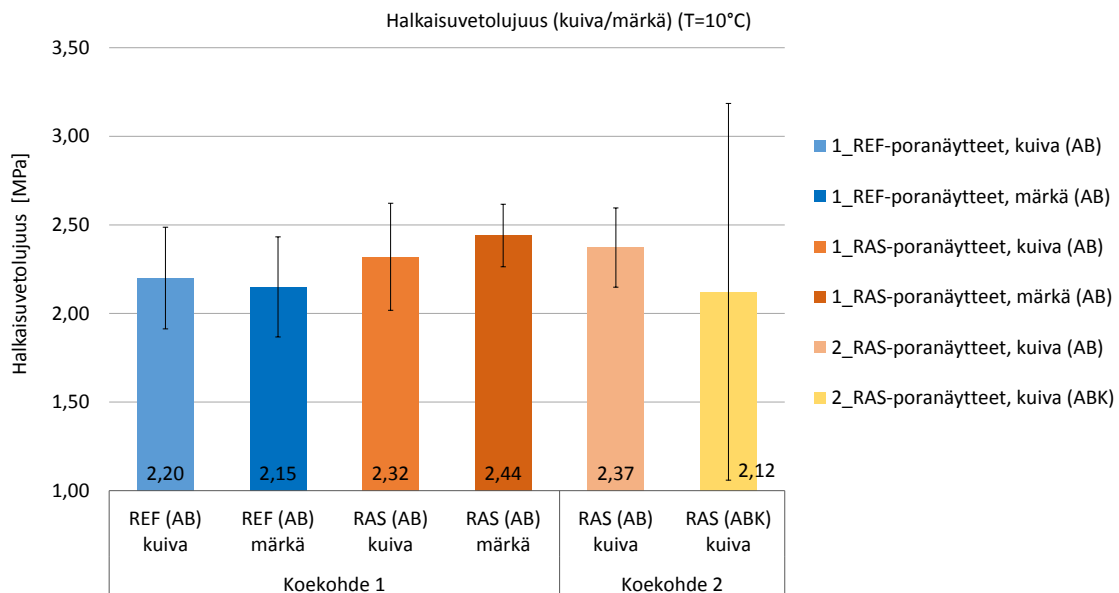
Koekohteen 2 referenssinäytteet porattiin heti asfalttimassan levityksen jälkeen, jolloin asfalttimassa ei ollut jäähtynyt riittävästi ja tämän seurauksena porapalat murtuivat osittain porauksen yhteydessä. Rikkinäisten porapalojen toiminnallisten ominaisuuksien tulokset ovat virheellisiä eivätkä kuvaa päällysteen ominaisuuksia, joten ne on jätetty tässä esitetyistä tuloksista pois, mutta ovat kuitenkin liitteessä C.

Koekohteilta poratuista näytteistä määritettyjen jäykkyyksien keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 9. Koekohteen 1 RAS-poranäytteet olivat keskimäärin 1880 MPa referenssiporanäytteitä jäykempiä. Koekohteessa 1 käytetyillä asfalttimassoilla bitumikate-rouhetta sisältävät massat olivat siis 50 % jäykempiä kuin referenssimassat. Jäykkyyksimäärittämisessä kappaletta kuormitettiin kahdesta suunnasta ja standardissa on määritetty, kuinka paljon tulokset saavat erota toisistaan. Osalle näytteistä tehdyt mittaukset erosivat toisistaan yli standardin sallimien rajojen. Myös näitä tuloksia on käytetty keskiarvon laskemisessa.



Kuva 9. Koekohteiden porapaloista mitattujen jäykkyyksien keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ).

Poranäytteistä määritettyjen halkaisuvetolujuuksien keskiarvot on esitetty kuvassa 10. Samassa kuvassa on esitetty myös koekohteen 1 porapaloista mitattujen märkien näytteiden halkaisuvetolujuus, joka tarvittiin vedenkestävyyden eli sideaineen ja kiviaineksen välisen tartunnan määrittämistä varten. Halkaisuvetolujuuksissa ei ole havaittavissa merkittävää eroa eri näytteiden välillä.



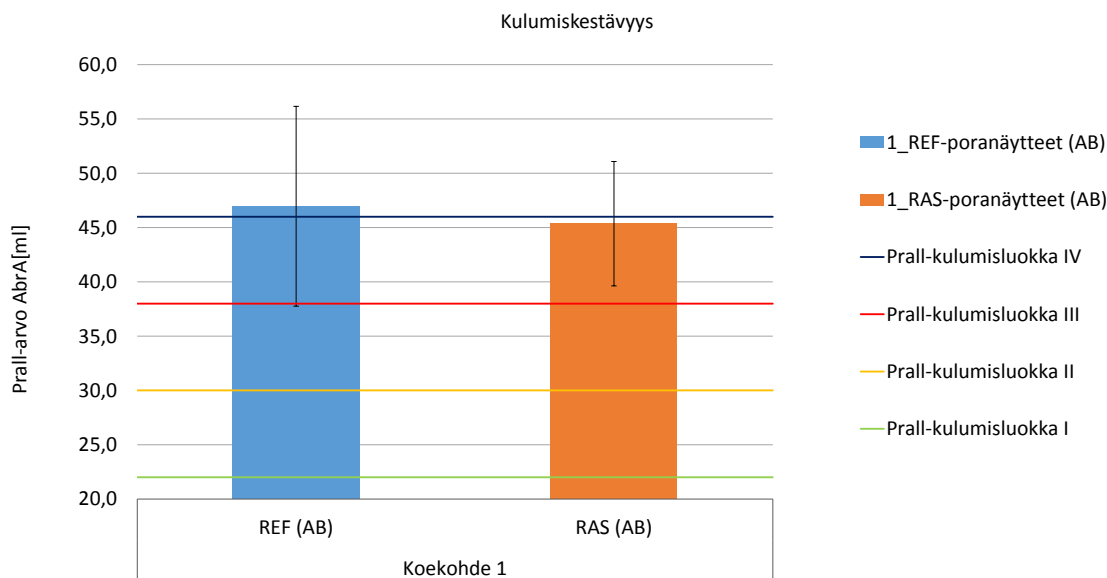
Kuva 10. Koekohteiden porapaloista mitattujen lujuuksien keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ).

Vedenkestävyys ilmoitetaan ITSR-tarttuvuuslukuna märkien halkaisuvetolujuuksien suhteena kuiviin. Yhtä tarttuvuuslukua varten tarvitaan kolme märkää ja kolme kuivaa näytettä, joiden keskiarvoista tarttuvuusluku määritetään. Vedenkestävyyssääntelyä tehtiin kaksi referenssinäytteistä ja yksi RAS-näytteistä. Mittausten keskiarvot ja niistä lasketut ITSR-tarttuvuusluvut on esitetty talukossa 15. Asfalttinormiessa esitetty vedenkestävyysvaatimus AB-massoille on  $\geq 70$  %. Taulukosta 15 nähdään, että referenssi- ja RAS-poranäytteistä määritettynä vedenkestävyysvaatimus täyttyy. Asfalttinormien mukaan vedenkestävyys tulisi määrittää suunniteltavan massan raaka-aineista valmistetulle AA11-masalle. Tässä määrittäminen tehtiin kuitenkin koekohteesta poratuista näytteistä.

Taulukko 15. Koekohteen 1 porapalojen vedenkestävyyssmittausten keskiarvot ja niistä laskettu ITSR-tarttuvuusluku sekä asfalttinormien vedenkestävyysvaatimus AB-massoille

Näytteet	Lukumäärä [kpl]	Halkaisuvetolujuus märkä [MPa]	Halkaisuvetolujuus kuiva [MPa]	ITSR-tarttuvuusluku [%]
REF (AB)	3 + 3	2,07	2,11	98
REF (AB)	3 + 3	2,22	2,28	97
RAS (AB)	3 + 3	2,44	2,32	105
Asfalttinormien vaatimus AB-massoille				$\geq 70$

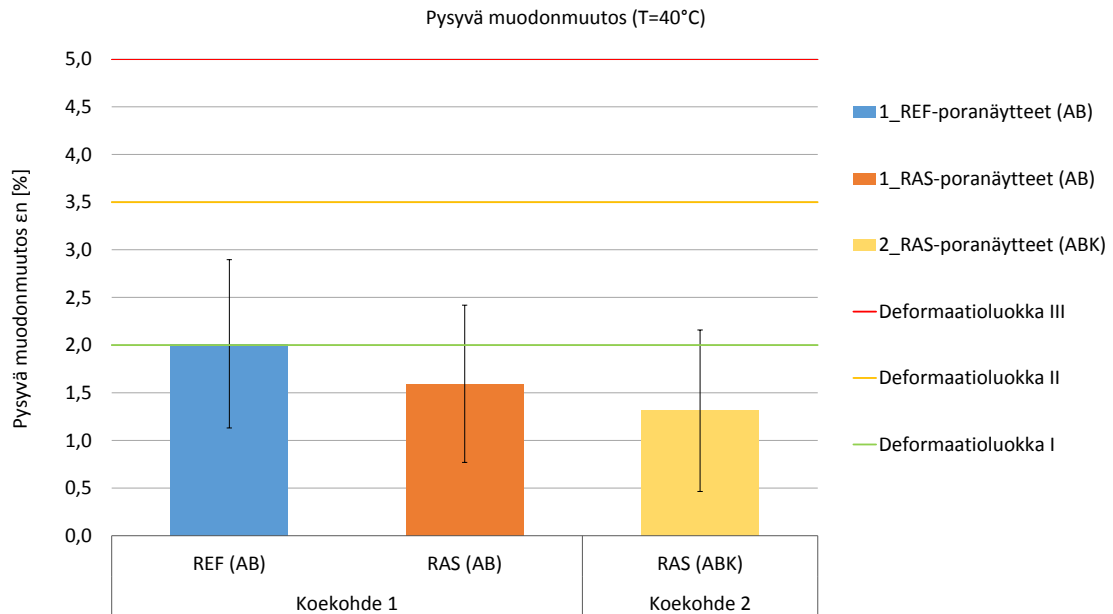
Kulumiskestävyys määritettiin vain koekohteen 1 poranäytteistä ja tulosten keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 11. Asfalttinormien taulukossa 50 on annettu kulumiskestävyysluokat tieltä poratuille näytteille, myös nämä on esitetty kuvassa 11. Asfalttinormien liitteen 4 mukaisesti vähäliikenteisille teille (alle 5000 ajon./vrk) ei kuitenkaan tarvitse asettaa vaatimusta kulumiskestävyydelle. Tämän tutkimuksen koekohteille kulumiskestävyden määrittäminen ei siis olisi ollut välttämätöntä. Koekohteelta 1 mitattujen referenssi- ja RAS-poranäytteiden kulumiskestävydessä ei kuitenkaan ole eroa.



Kuva 11. Koekohteen 1 porapaloista mitattujen kulumiskestävyttä mittaavien Prall-arvojen keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ) sekä asfalttinormien kulumiskestävyysluokat.

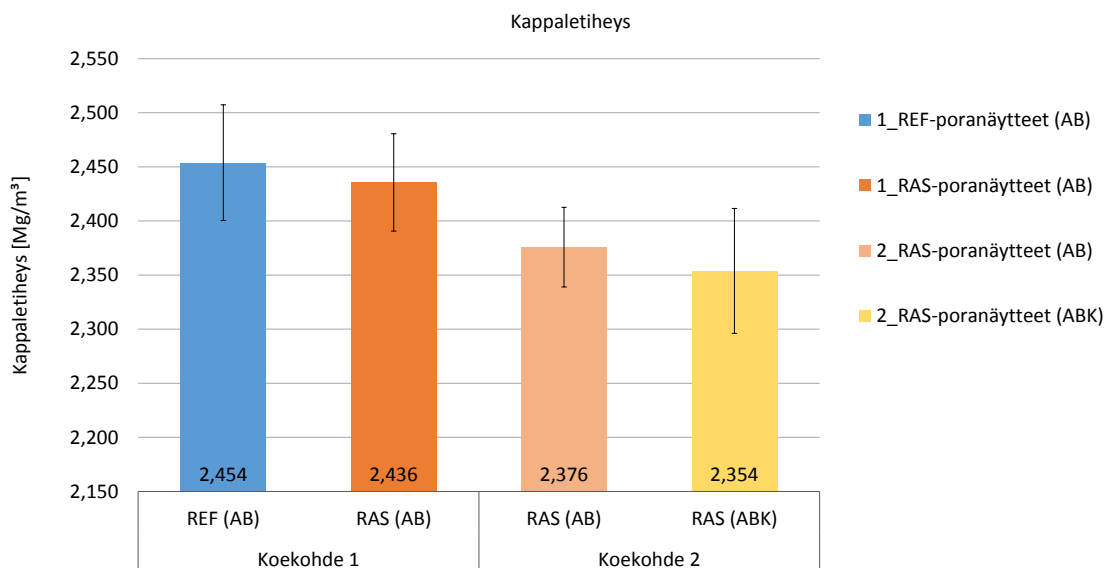
Deformaatiokestävyyttä kuvaavan pysyvän muodonmuutoksen mittausten keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 12. Myös asfalttinormien taulukossa 52 esitetyt tieltä porattujen näytteiden deformaatiokestävyyksluokat on esitetty kuvassa 12. Tuloksista nähdään, että koekohteen 1 RAS-näytteiden deformaatiokestävyys on suurempi kuin referenssinäytteiden. Koekohteen 2 kulutuskerroksesta ei määritetty deformaatiokestävyyttä. Asfalttinormien liitteen 4 mukaisesti päällysteen deformaatiokestävyydelle tarvitsee asettaa vaatimus vain vilkkaasti tai raskaasti liikennöidyille osuuksille. Raskaasti liikennöityjen kenttien, koekohteet 2 ja 4, deformaatiokestävyyden vaatimus kulutus- ja kantavalle kerrokselle on luokassa I. Koekohteen 2 RAS-näyte täyttää tämän vaatimuksen. Muut koekohteet ovat niin vähäliikenteisiltä alueilta, että deformaatiokestävyydelle ei asfalttinormien mukaan ole välttämätöntä asettaa vaatimusta.

Epäsuorat toiminnalliset ominaisuudet kuvaavat asfalttimassan koostumukseen vaikuttavia asioita. Asfalttinormien mukaan koostumuksen tärkeimmät elementit ovat kiviaineksen rakeisuus ja massan sideainepitoisuus. Nämä sekä muut tässä tutkimuksessa selvitetty epäsuorat toiminnalliset ominaisuudet käydään läpi siinä järjestyksessä, jossa testit on tehty. Kappaleiden ulkomittojen määrittäminen on olennaista muita menetelmiä varten, mutta niiden tuloksia ei tässä esitetä.

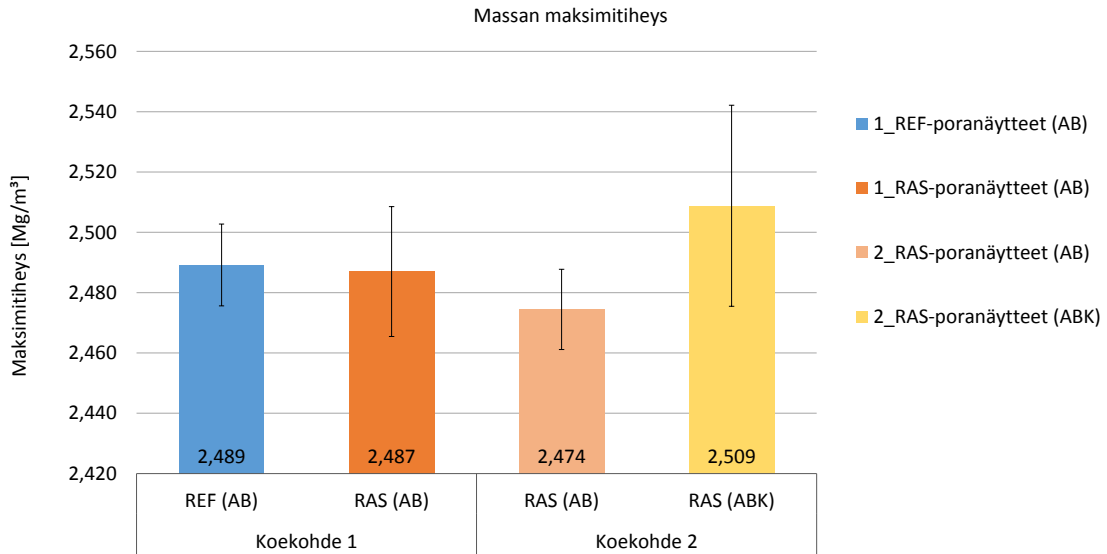


Kuva 12. Koekohteiden porapaloista mitattujen pysyvän muodonmuutoksen keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ) sekä asfalttinormien deformaatioluokat.

Poranäytteistä määritettyjen kappaletihyysien keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 13. Näytteistä määritettyjen massan maksimitihyysien keskiarvot ja keskihajonnat puolestaan on esitetty kuvassa 14. Kuvista nähdään, että koekohteen 1 referenssi- ja RAS-näytteiden kappaletihydet ja massan maksimitihydet ovat hyvin lähellä toisiaan, eikä niissä ole tilastollista eroa. Koekohteen 2 kulutuskerroksen asfalttimassa on suunniteltu erilaiseksi kuin koekohteen 1 asfalttimassat, eikä sitä siksi voida suoraan verrata koekohteen 1 näyteistä saatuihin tuloksiin. Myöskään kantavan kerroksen tiheyksiä ei voida verrata muihin tuloksiin.

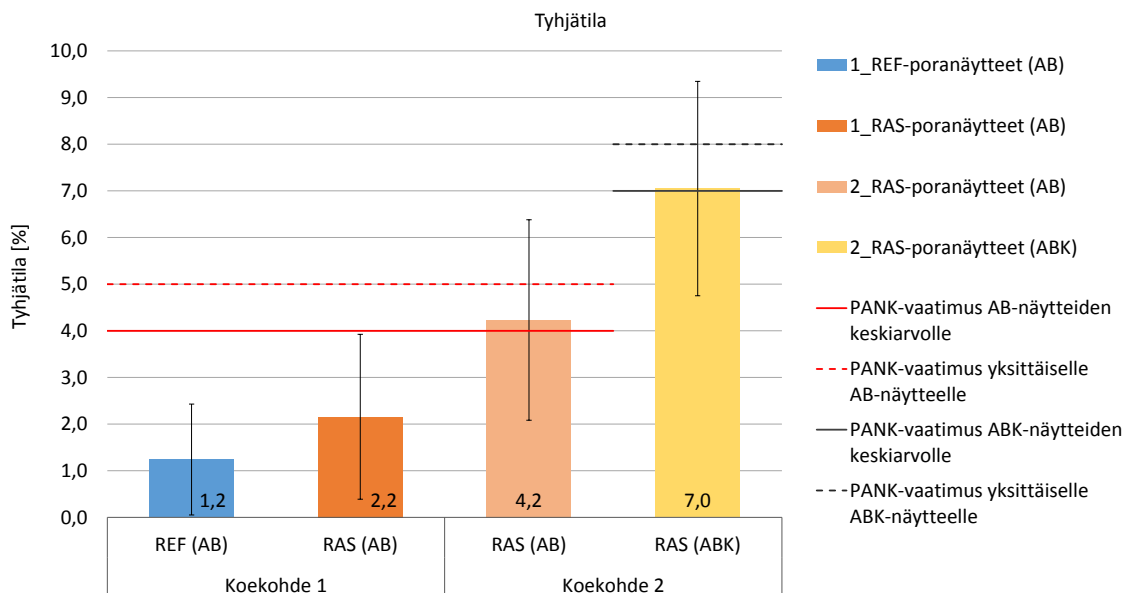


Kuva 13. Koekohteiden porapalojen kappaletihyysien keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ).



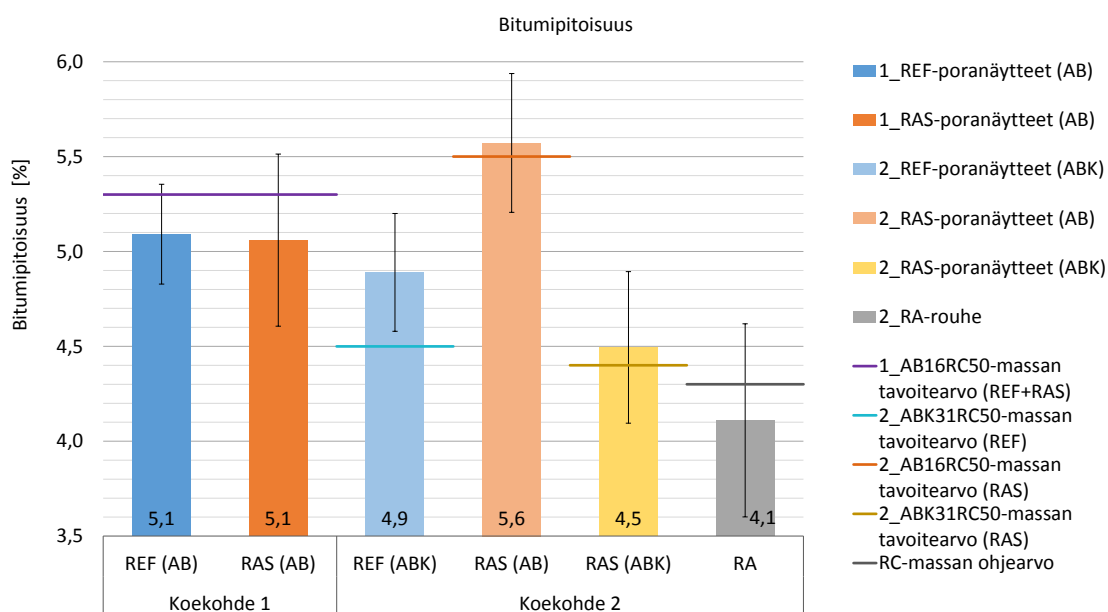
Kuva 14. Koekohteiden porapaloista mitattujen massojen maksimitiheyksien keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ).

Poranäytteiden tyhjätilojen keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 15. Kuvassa on esitetty myös asfalttinnormien taulukossa 43 esitetyt tyhjätilan vaatimukset yksittäisille AB- ja ABK-näytteille sekä näytteiden keskiarvolle. Koekohteen 1 poranäytteiden tyhjätilat ovat hyvin pieniä ja täyttävät normien vaatimukset. Referenssi- ja RAS-näytteiden välillä ei ole suurta eroa ja bitumikaterouheen lisäämisellä ei tyhjätilatulosten perusteella ole olennaista vaikutusta asfaltin tiivistykseen. Koekohteen 2 tyhjätilat ovat lähempänä raja-arvoja ja osalla poranäytteistä tyhjätila on ollut suurempi kuin yksittäiselle näytteelle asetettu vaatimus. Kokonaisuudessaan tyhjätilojen tulokset ovat silti hyviä.



Kuva 15. Koekohteiden porapalojen tyhjätilojen keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ) sekä asfalttinnormien vaatimukset tyhjätilalle.

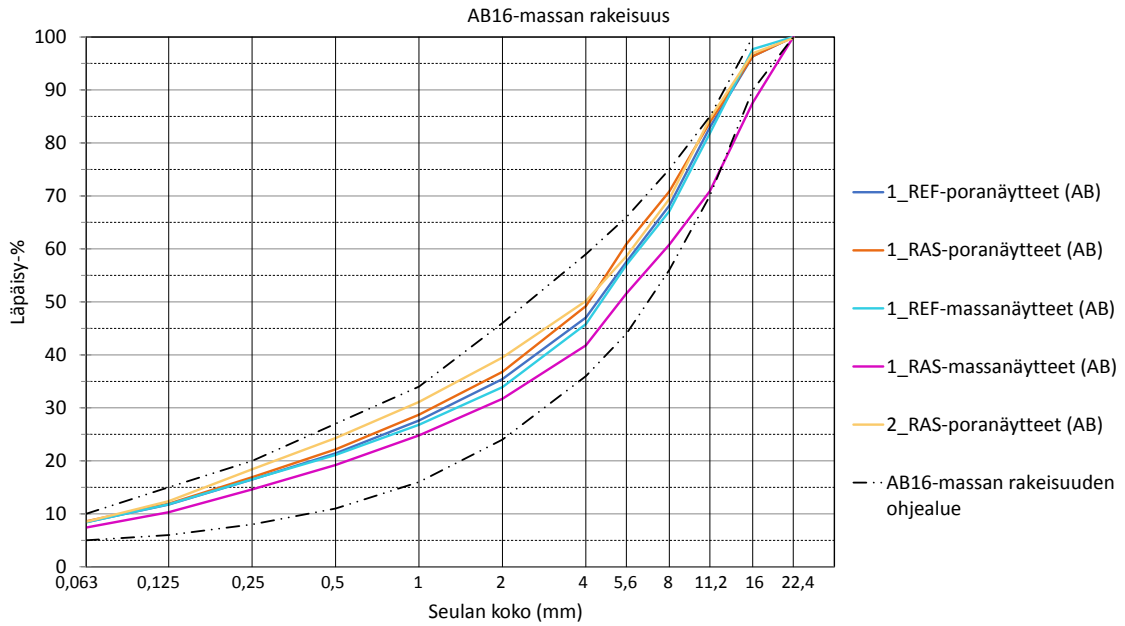
Asfalttimassojen bitumipitoisuuden keskiarvot ja keskihajonnat sekä suunnittelun yhteydessä asetetut bitumipitoisuuden tavoitearvot on esitetty kuvassa 16. Kuvassa on myös koekohteen 2 referenssinäytteiden bitumipitoisuuden keskiarvo ja keskihajonta, sillä porapalojen rikkoontumisella ei ole vaikutusta bitumipitoisuuteen. Lisäksi kuvassa 16 on esitetty koekohteessa 2 käytetyn RC-rouheen bitumipitoisuus. Asfalttinormeissa on esitetty eri asfalttimassojen sideainepitoisuuden ohjealueet. AB16-massan sideainepitoisuuden ohjealue on 5,0–6,0 massa-% ja ABK31-massan sideainepitoisuuden ohjealue 3,8–4,8 massa-%. Ainoastaan koekohteen 2 referenssinäytteistä mitattu bitumipitoisuus on ohjeellista sideainepitoisuutta korkeampi, muuten kaikkien asfalttimassojen mitatut ja suunnittelussa asetetut tavoitearvot ovat sideainepitoisuuden ohjealueen rajoissa.



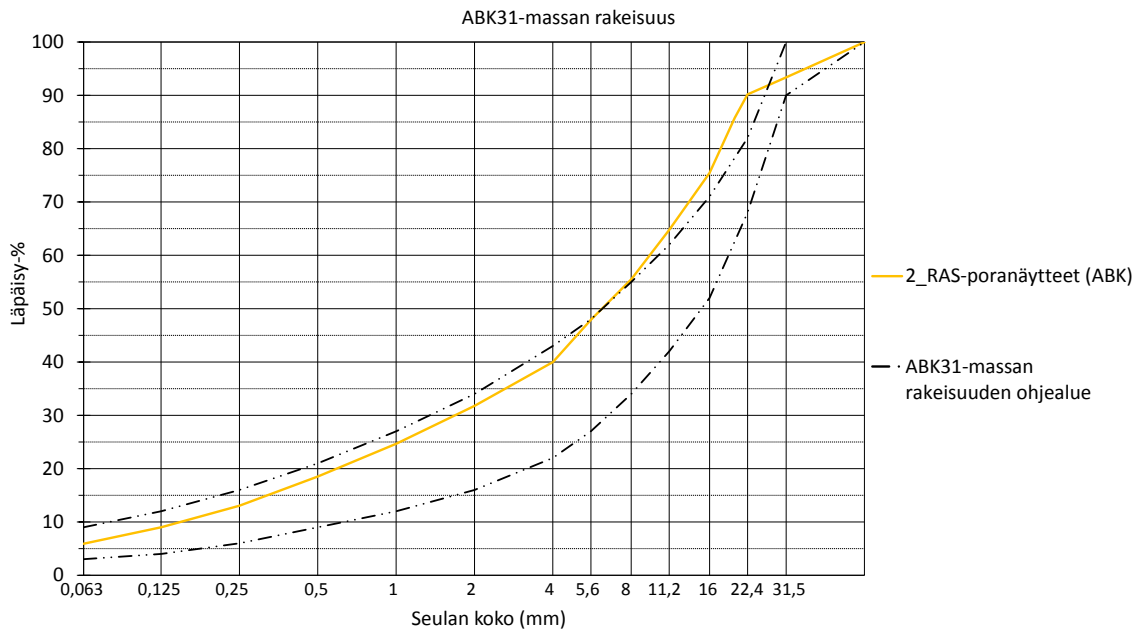
Kuva 16. Koekohteiden porapalojen bitumipitoisuuksien keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ) sekä asfalttimassojen suunnittelussa asetetut bitumipitoisuuksien tavoitearvot.

Koekohteiden 1 ja 2 AB16-massojen kiviainesten rakeisuudet ja asfalttinormien ohjealue AB16-massan kiviaineksen rakeisuudelle on esitetty kuvassa 17. Kiviaineksen rakeisuus tulisi määrittää asfalttimassasta, sillä jyräys ja poraus vääristävät rakeisuuskäyrää. Koekohteelta 1 toimitetuista referenssi- ja RAS-asfalttimassoista tehtiin yhden rakeisuuden määrittäykset ja lisäksi rakeisuus määritettiin poranäytteistä. Koekohteelta 2 rakeisuus määritettiin vain poranäytteistä. Kuvassa 17 on esitetty porapaloista määritettyjen rakeisuuksien keskiarvot sekä koekohteen 1 massanäytteistä määritetyt rakeisuudet. Rakeisuuskäyrät asettuvat hyvin asfalttinormeissa annetun ohjealueen sisälle.

Koekohteen 2 bitumikaterouhetta sisältävän ABK31-massan kiviaineksen rakeisuus ja asfalttinormien ohjealue ABK31-massan kiviaineksen rakeisuudelle on esitetty kuvassa 18. Koekohteen 2 RAS-asfalttimassan rakeisuus määritettiin ainoastaan porapaloista ja kuvassa 18 esitetty käyrä on porapaloista mitattujen rakeisuuksien keskiarvo. Bitumikaterouhetta sisältävän ABK31-massan rakeisuus osuu hyvin ohjealueelle, kun otetaan huomioon, että porapaloista määritettynä rakeisuuskäyrä hienonee.



Kuva 17. Koekohteiden AB16-porapaloista mitattujen rakeisuuksien keskiarvo ja asfaltti-massanäytteistä mitatut rakeisuudet sekä asfalttinormien ohjealue AB16-massan rakeisuudelle.

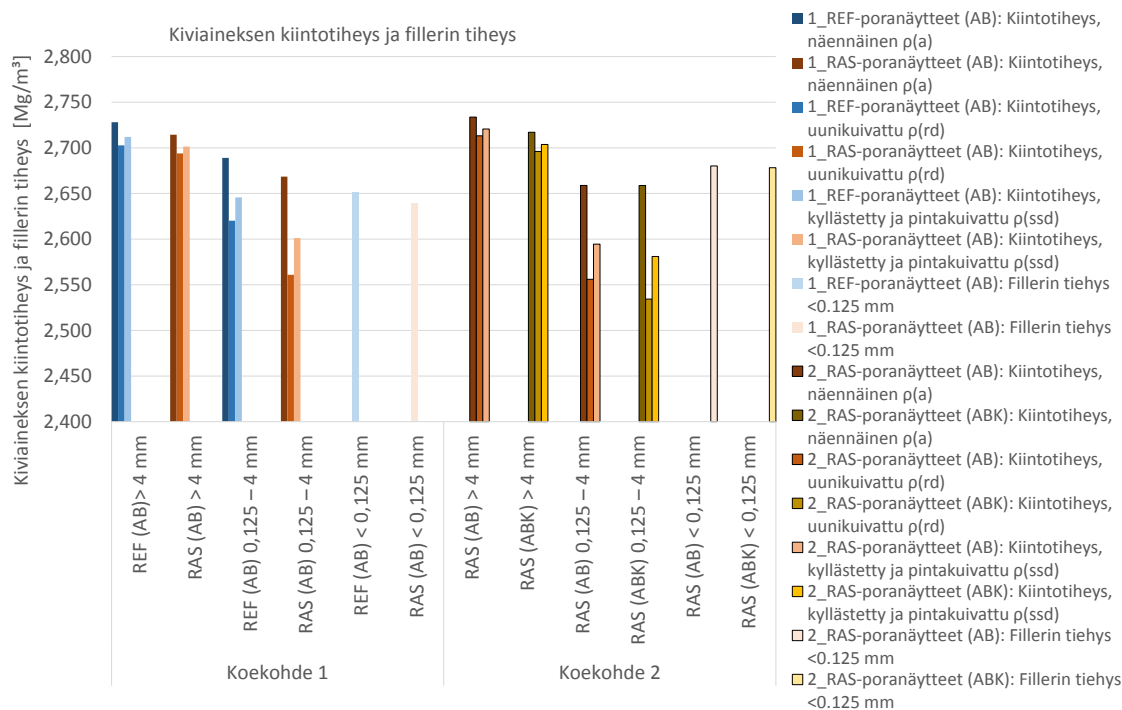


Kuva 18. Koekohteen 2 bitumikaterouhetta sisältävistä ABK31-porapaloista mitattujen rakeisuuksien keskiarvo ja asfalttinormien ohjealue ABK31-massan rakeisuudelle.

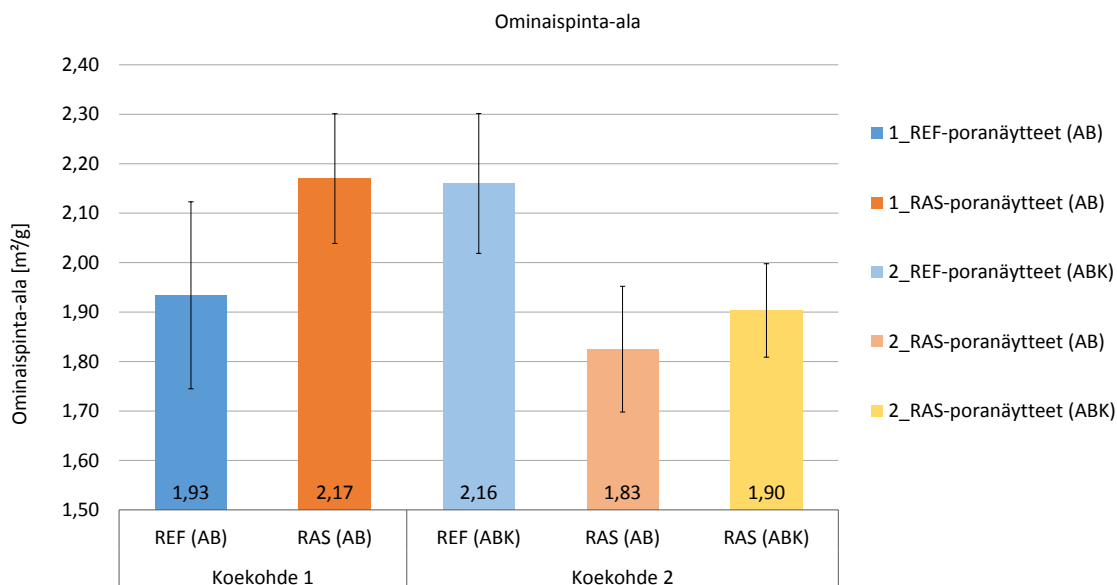
Kiviaineksista määritetyt kiintotiheydet sekä fillerien tiheydet on esitetty kuvassa 19. Kiviaineksille määritettiin näennäinen, uunikuvattu sekä kyllästetty pintakuivattu kiintotiheys ja määritykset tehtiin kahdelle eri raekoon kiviaineksille. Fillerin tiheys määritettiin erikseen. Hienoainesten ominaispinta-alojen keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 20. Kalkkifillerin ominaispinta-ala on  $0,8 \text{ m}^2/\text{g}$ , suomalaisen hienoaineksen  $2.26\text{-}2.55 \text{ m}^2/\text{g}$  ja



asbestin huomattavasti suurempi jopa 13-22 m<sup>2</sup>/g. Jos näytteissä olisi asbestia, niin tämän seurauksena näytteiden ominaispinta-alat olisivat huomattavasti suurempia kuin 2,3 m<sup>2</sup>/g. Tulokset ovat kuitenkin tämän alle, eli näytteet eivät sisällä asbestia ja tulokset ovat muutenkin hyvin tavanomaisia kalkkifillerin ja muun suomalaisen hienoaineksen ominaispinta-alojen perusteella.



Kuva 19. Koekohteiden porapalojen kiviaineksen kiintotiheydet ja fillerien tiheydet.



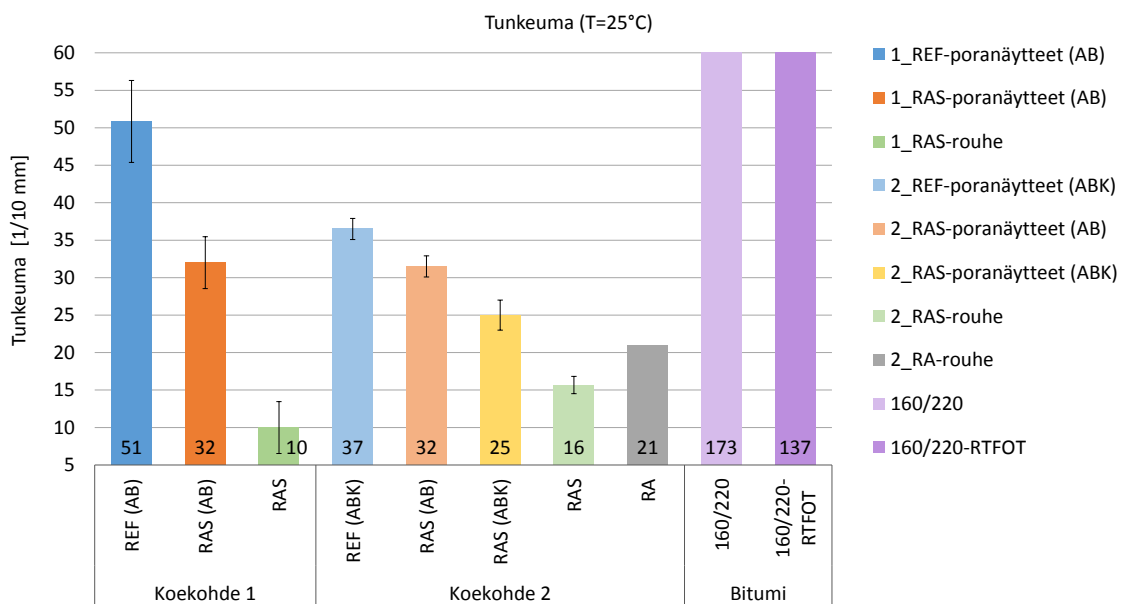
Kuva 20. Koekohteiden porapalojen hienoainesten ominaispinta-alojen keskiarvo ja keskihajonta ( $\pm 2s$ ).

## 5.2 Sideainetutkimusten tulokset

Koekohteissa käytettyjen sideaineiden ominaisuuksia selvitettiin perinteisillä menetelmillä ja lisäksi tehtiin reologisia mittauksia. Koekohteen 2 referenssiporapalojen rikkoontumisella ei ole vaikutusta massan sideaineeseen, joten kaikissa sideainetuloksissa on esitetty myös koekohteen 2 referenssimassan sideaineesta saadut tulokset. Molempien koekohteiden näytteistä määritettyjen tulosten keskiarvot ja keskihajonnat (keskiarvo  $\pm$  2s) on esitetty samoissa kuvissa. Sideainetestien yhdistettyjen näytteiden tulokset on esitetty liitteessä C.

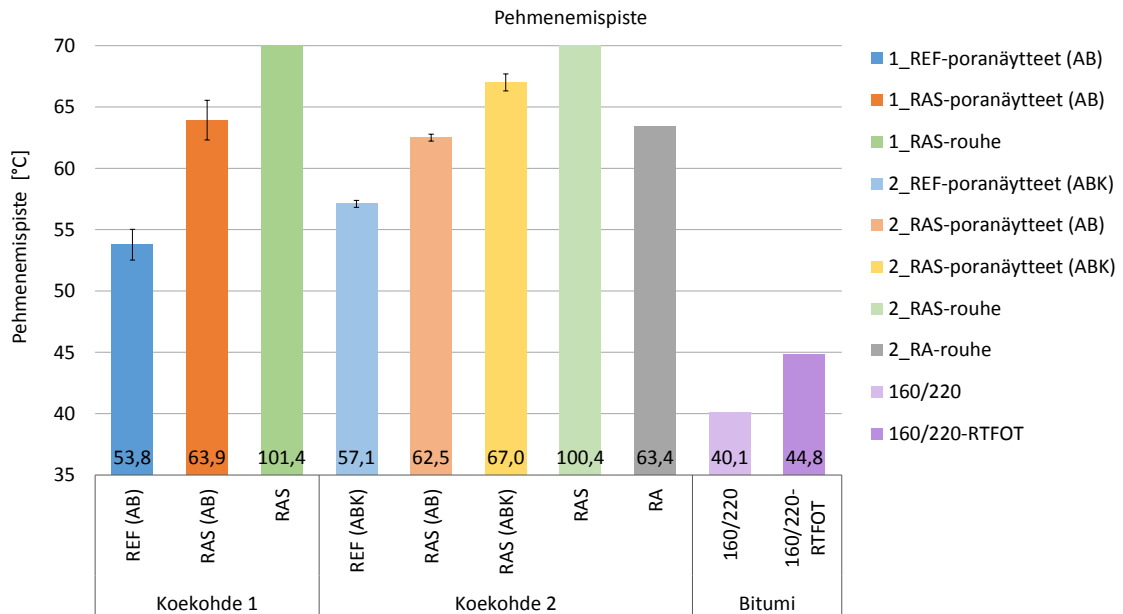
Sideainetutkimukset tehtiin poranäytteistä uutetuille sideaineille. Poranäytteiden sideainetutkimusten lisäksi tutkittiin molemmissa koekohteissa käytetyn tuoreen 160/220-bitumin sekä RTFOT-vanhennetun 160/220-bitumin ominaisuuksia. Tuoreen bitumin RTFOT-vanhentamisella kuvataan asfalttimassan valmistusenaikaista bitumin vanhenemista. Molemmista koekohteista toimitettiin RAS-asfalttimassoissa käytettyä bitumikaterouhetta (RAS-rouhe) ja lisäksi koekohteelta 2 toimitettiin referenssi- ja RAS-asfalttimassoissa käytettyä asfaltti-rouhetta (RC-rouhe). Myös näistä uutettujen sideaineiden ominaisuuksia tutkittiin.

Sideaineista mitatut tunkeuman keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 21. Kuvasta nähdään, että RAS-rouheen tunkeuma on hyvin pieni. Porapaloista uutettujen sideaineseosten tunkeumatulokset eroavat toisistaan tilastollisesti ja osoittavat, että bitumikaterouheen lisääminen alentaa sideaineseoksen tunkeumaa eli jäykistää seosta.



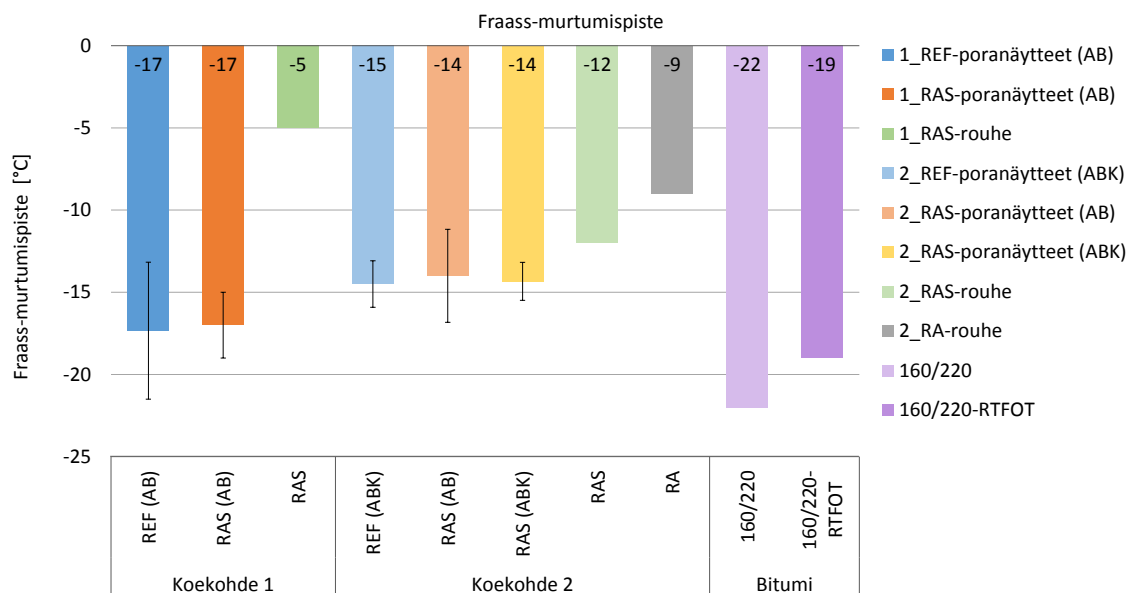
Kuva 21. Poranäytteiden sideaineen tunkeumien keskiarvot ja keskihajonnat ( $\pm$  2s) sekä muiden sideainenäytteiden yksittäiset tunkeumatulokset.

Kuvassa 22 on esitetty sideaineista mitatut pehmenemispisteen keskiarvot ja keskihajonnat. Porapaloista uutettujen sideaineseosten pehmenemispisteiden tulokset ovat linjassa tunkeumasta saatujen tulosten kanssa, bitumikaterouheen lisääminen jäykistää sideaineseosta. RAS-rouheen pehmenemispiste on hyvin korkea ja RAS-rouhetta sisältävien sideaineseosten pehmenemispisteet ovat korkeammat kuin referenssinäytteiden sideaineseosten. Myös pehmenemispisteiden tulokset eroavat toisistaan tilastollisesti.



Kuva 22. Poranäytteiden sideaineen pehmenemispisteiden keskiarvot ja keskihajonnat ( $\pm 2s$ ) sekä muiden sideainenäytteiden yksittäiset pehmenemispisteet.

Sideaineista mitattujen Fraass-murtumispisteiden keskiarvot ja keskihajonnat on esitetty kuvassa 23. RAS-rouheesta murtumispisteen määrittäminen oli hankalaa, sillä ensimmäisen halkeaman muodostumista oli vaikea havaita, RAS-rouheen murtumispiste ei siis ole täysin luotettava. Referenssi- ja RAS-poranäytteistä uutettujen sideaineseosten murtumispisteet ovat hyvin lähellä toisiaan, eikä tulosten välillä ole tilastollista eroa. Bitumikaterouheen lisäämisellä ei Fraass-murtumispisteen perusteella ole selvää vaikutusta sideaineseoksen kylmäkestävyyteen verrattuna referenssinäytteisiin ilman bitumikaterouhetta.

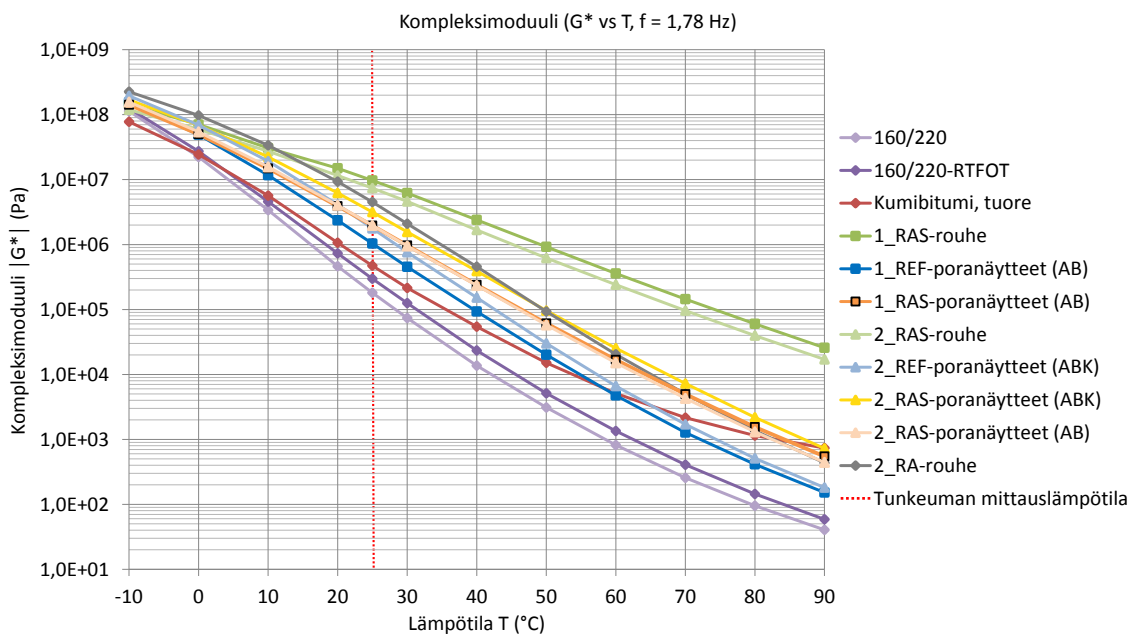


Kuva 23. Poranäytteiden sideaineen Fraass-murtumispisteiden keskiarvot ja keskihajonnat ( $\pm 2s$ ) sekä muiden sideainenäytteiden yksittäiset murtumispisteet.

Edellä kuvattujen perinteisten sideainetutkimusten lisäksi sideaineiden ominaisuuksia selvitettiin reologisten mittausten avulla. Sideaineille tehtiin taajuuspyyhkäisymittaukset, joista saadaan mitattua sideaineen jäykkyyttä kuvaava kompleksimoduuli ja sideaineen virtaavuutta kuvaava vaihekulma.

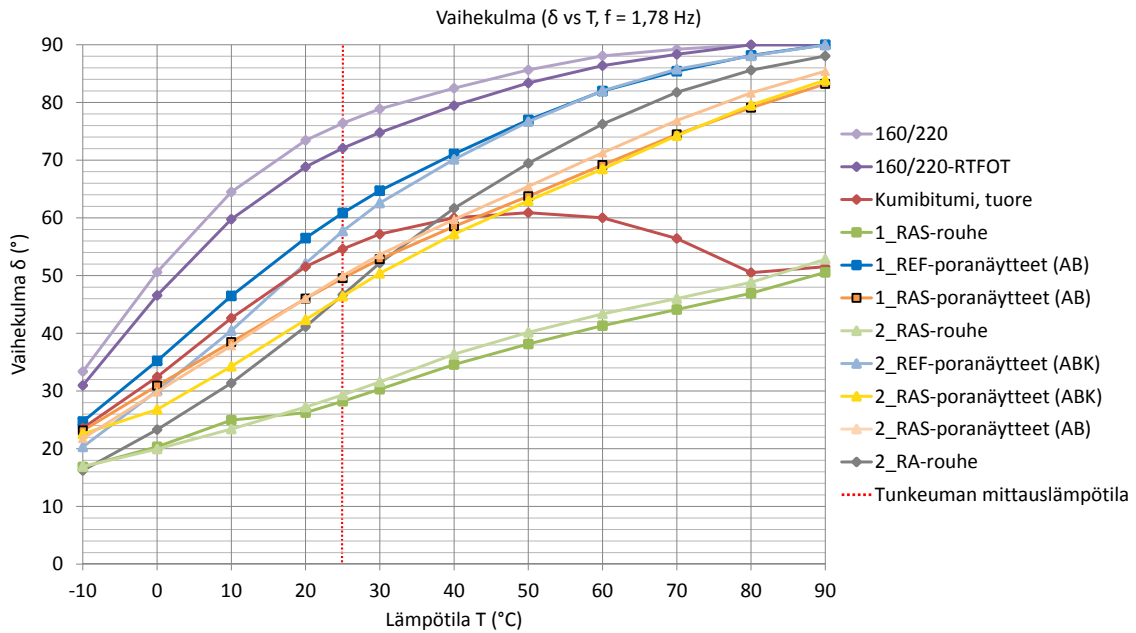
Sideaineiden kompleksimoduulit lämpötilan suhteen on esitetty kuvassa 24. Kompleksimoduuli kuvaa materiaalin kykyä vastustaa muodonmuutoksia kuormitustilanteessa, mitä korkeampi kompleksimoduulin arvo sitä jäykempää materiaali on. RAS-rouheen sideaineesta mitatut kompleksimoduulin arvot ovat selvästi muita suuremmat korkeammissa lämpötiloissa. Kuitenkin alle 10 °C lämpötiloissa suhteelliset erot ovat enää pieniä ja lisäksi asfalttirouheen kompleksimoduulin arvot ovat jopa hieman suuremmat kuin bitumikaterouheen.

Ei kuitenkaan ole olennaista tarkastella vain RAS-rouheen jäykkysominaisuuksia, vaan olennaisempia ovat RAS-rouhetta sisältävän asfalttimassan sideaineseoksen jäykkysominaisuudet. Referenssinäytteisiin verrattuna RAS-näytteiden kompleksimoduuli on suurempi erityisesti korkeissa lämpötiloissa, mutta ero ei ole yhtä suuri kuin pelkän RAS-rouheen osalta. Lisäksi huomionarvoista on se, että 0 ja 10 °C lämpötiloissa RAS- ja referenssinäytteiden kompleksimoduuleissa ei ole havaittavissa eroa.



Kuva 24. Sideaineiden kompleksimoduuli lämpötilan suhteen taajuudella 1,78 Hz.

Sideaineiden vaihekulmat lämpötilan suhteen on esitetty kuvassa 25. Vaihekulma kuvaa materiaalin virtaavuutta eli viskoelastista suhdetta. Täysin elastisen, kiinteän aineen tavoin käyttäytyvän materiaalin vaihekulma on 0° ja täysin viskoosin, nestemäisesti käyttäytyvän materiaalin vaihekulma on 90°. Lämpötilan nousun myötä myös bitumiseosten vaihekulma kasvaa, kun siitä tulee virtaavampaa. RAS-rouheen vaihekulma pysyy kuitenkin suhteellisen pienenä myös korkeissa lämpötiloissa. Olennaisempaa on kuitenkin tarkastella RAS-rouhetta sisältävää asfalttimassaa, jonka vaihekulma lähenee 90 astetta lämpötilan noustessa. Referenssinäytteisiin verrattuna RAS-näytteet eivät ole yhtä virtaavia, mutta ero ei ole yhtä suuri pelkkään RAS-rouheeseen verrattuna.



Kuva 25. Sideaineiden vaihekulma lämpötilan suhteen taajuudella 1,78 Hz.

Kuvissa 24 ja 25 on esitetty myös yleinen tunkeuman mittauslämpötila ja erityisesti kuvasta 24 käy hyvin ilmi se, että tunkeuma edustaa materiaalin jäykkyysominaisuuksia vain tietyssä lämpötilassa. Reologisten mittausten tuloksista nähdään, että eri sideaineiden suhteellinen jäykkyysero kasvaa lämpötilan kasvaessa.

### 5.3 Työterveys- ja ympäristötutkimusten tulokset

Työterveyslaitokselle toimitetusta asfalttipölystä selvitettiin pölyn koostumus ja kvartsipitoisuus. Asfalttipölyn koostumus ja kokojakauma selvitettiin, sillä partikkelien koko vaikuttaa niiden käyttäytymiseen hengitettäessä. Hengittyvä pöly on jaetta, jota hengitetään suun ja nenän kautta. Pienemmät keuhkojakeet koostuvat hiukkasista, jotka kulkeutuvat keuhkoputkistoon ja pienimmät niin kutsutut alveolijakeet kulkeutuvat syvimmälle keuhkoissa, aina keuhkorakkuloihin asti. Lisäksi kokojakauma määritettiin, jotta kvartsianalyysin röntgen-diffraktiomenetelmää varten saatiin valittua kokojakaumaltaan mahdollisimman vastaavaa kvartsi jauhetta. (WHO 2000.)

Pölynäytteiden kokojakauma oli 5–50  $\mu\text{m}$ , eli kaikki tuotteet ilmaan joutuessaan ovat hengittyvää pölyä ja vain osa kustakin tuotteesta koostuu alveolijakeisesta pölystä. Partikkelijakauma-analyysit eivät kuitenkaan kuvaa partikkelien jakautumista ilmassa todellisissa oloissa, sillä esimerkiksi partikkelien yhteenkerääntyminen voi vähentää ilmaan vapautumista ja kulkeutumista alempiin hengitysteihin. Näytteiden kvartsipitoisuus oli 55–64 mg/g kiviainesnäytteestä.

Asfalttimassojen emissioiden erojen tutkiminen tehtiin Työterveyslaitoksen laboratoriossa putkiuunimenetelmällä ja sitä varten valmistettiin kaksi rinnakkaisnäytettä bitumikaterouhetta sisältävälle asfalttimassalle ja kaksi rinnakkaisnäytettä referenssimassalle. Putkiuunikokeiden rinnakkaisissa näytteissä oli suuria vaihteluita, sillä putkiuunikokeessa käytettävä näytemäärä on hyvin pieni ja asfalttimassat olivat koostumukseltaan niin karkeajakoisia, että tasalaatuisen näytteen saaminen oli hankalaa.

Tehtyjen putkiuunikokeiden tuloksissa ilmenee kuitenkin, että toisen bitumikaterouhetta sisältävän rinnakkaisnäytteen emissiot olivat muita näytteitä suuremmat kaikkien yhdisteiden osalta. Bitumihuuruja haihtui molemmista massoista, mutta bitumihuuruksen tulosten suuren hajonnan vuoksi materiaalien vertailu bitumihuuruksen osalta oli hankalaa. PAH-emissioiden laatuja tarkasteltaessa referenssiasfalttimassasta haihtui naftaleenia, jota ei todettu bitumikaterouhetta sisältävän asfalttimassan emissioissa. Bentso(k)fluoranteenia ja bentso(a)pyreenia löytyi vain toisesta bitumikaterouhetta sisältävästä rinnakkaisnäytteestä. Molemmista massoista haihtui hyvin vähän VOC:ejä ja pitoisuudet ja yhdisteiden laatu vastasivat mitattua nollanäytettä.

Putkiuunikokeiden ja pölyanalyysin tulosten pohjalta Työterveyslaitos teki terveydellisen merkityksen arvioinnin, jossa vertaillaan näytteiden bitumihuuru-, PAH- ja VOC-pitoisuuksia sekä kvartsipitoisuuksia:

- Bitumihuuruksen pitoisuudet vaihtelivat huomattavasti bitumikaterouhe- ja referenssiasfalttimassan rinnakkaisnäytteiden välillä, eikä selvää eroa eri massojen välillä huomattu. Bitumihuuruksen tuloksissa oli suurta hajontaa ja otokset olivat pieniä, joten kyseisten massojen tuottamien bitumihuuruksen mahdollisten terveydelle haitallisten vaikutusten eroihin ei voitu ottaa tarkasti kantaa.
- PAH-yhdisteiden pitoisuuksissa oli myös vaihtelua rinnakkaisnäytteiden välillä. Toisen bitumikaterouhetta sisältävän rinnakkaisnäytteen PAH-pitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin muiden näytteiden. Kahden asfalttimassan PAH-pitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ollut suurta eroa, joten tulosten perusteella ei voitu päätellä, onko toinen massoista haitallisempi kuin toinen.
- PAH-yhdisteiden pitoisuuksissa oli myös vaihtelua rinnakkaisnäytteiden välillä. Toisen bitumikaterouhetta sisältävän rinnakkaisnäytteen PAH-pitoisuudet olivat hieman korkeammat kuin muiden näytteiden. Kahden asfalttimassan PAH-pitoisuuksien välillä ei kuitenkaan ollut suurta eroa, joten tulosten perusteella ei voitu päätellä, onko toinen massoista haitallisempi kuin toinen. VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuksia ei yleensä käytetä terveysvaikutusten arvioinnissa, molempien massojen VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuudet jäivät kuitenkin hyvin alhaisiksi molemmilla asfalttimassoilla.
- Pölynäytteiden kvartsipitoisuuksissa ei huomattu merkittäviä eroja, eikä tulosten perusteella pystytty arvioimaan, onko toinen näytteistä haitallisempi kuin toinen. Tulosten perusteella ei voitu ottaa kantaa pöly- ja kvartsipitoisuuksiin ilmassa ja mahdollisen altistumisen merkittävyyteen. Molemmat materiaalit voivat kuitenkin altistaa alveolijakeiselle kvartseille ilmaan joutuessaan.

Tässä tutkimuksessa ei selvitetty bitumikaterouheen mahdollisia vaaroja ympäristölle, sillä ekologisen riskien arviointi bitumikaterouheesta oli tehty kattavasti Ahokkaan (2016) opinäytetyössä ja siinä riskit arvioitiin epätodennäköisiksi. Myös asbestin päätyminen kiertoon bitumikatteen myötä todettiin epätodennäköiseksi Saviojan (2016) opinäytetyössä, joten sitä ei selvitetty tässä työssä enempää.

Bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin valmistuksessa syntyviä päästöjä selvitettiin Bio-nova Oy:n vuonna 2016 laatimassa ympäristöselostelaskelmassa, joka tehtiin standardin EN 15804 mukaisesti. Laskelmassa selvitettiin AB16RC50-massan ja AB16RC50+2%RAS-massan valmistuksenaikaisia päästöjä. Näiden asfalttimassojen valmistuksen päästöjä ver-



taamalla saatiin tulokseksi, että bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin valmistuksen hiilidioksidipäästöt vähenevät noin 11 % verrattuna AB16RC50-massaan. Valmistuksen päästöihin laskettiin mukaan raaka-aineen hankinnan, kuljetuksen ja massan valmistuksen päästöt.

#### 5.4 Koekohteiden visuaaliset tarkastukset

Seuraavassa esitetään lyhyt kuvaus koekohteiden tiedoista ja jokaisen koekohteen yleisilme. Liitteessä D on esitetty tarkemmin kaikki koekohteilta dokumentoidut vauriot, sillä bitumikaterouheen käytöllä ei ole ollut vaikutusta vaurioiden synnyssä. Suurin osa vaurioista oli koko tien levyisiä poikkihalkeamia, jotka luultavimmin ovat syntyneet heijastushalkeilusta.

Koekohte 1 on Riihimäen itäpuolella sijaitseva 300 metriä pitkä tieosuus Mt 2879:llä, joka päällystettiin vuonna 2015. Hikiän suuntaan vievä kaista päällystettiin RAS:ia sisältävällä AB16RC50+2%RAS-massalla ja Riihimäelle vievä kaista AB16RC50-referenssimassalla. Kuvassa 26 näkyy koekohteen 1 yleisilme. RAS:ia sisältävä asfalttimassa valmistettiin levitystä edeltävänä päivänä. Massa säilytettiin varastosiihossa ja se oli lajittunutta levitettäessä. Lajittuneisuus näkyi selvästi päällysteessä ja siinä oli havaittavissa lajittumisesta johtuvaa päällysteen purkautumista. Koekohteessa havaittiin myös yksi koko tien levyinen, luultavimmin heijastushalkeilun aiheuttama halkeama. Vaurioiden kuvat on esitetty liitteessä D.



Kuva 26. Koekohteen 1 yleisilme.

Koekohde 2, Tonkikatu, on teollisuuskiinteistön piha-alue, joka päällystettiin vuonna 2016. Koko piha-alueen kulutuskerroksessa käytettiin AB16RC50+2%RAS-massaa ja kiinteistöllä olevan hallin päädyissä rakennekerroksessa käytettiin ABK31RC50+2%RAS-massaa. Koekohteen kulutuskerrokselle ei ollut referenssimassaa. Kuvassa 27 näkyy koekohteen 2 yleisilme hallin päädyistä. Liitteessä D on esitetty yleisilme hallin sivusta. Koekohteen 2 yleisilme oli erittäin hyvä, eikä päällysteessä ollut pieniä käytön aiheuttamia naarmuja lukuun ottamatta havaittavissa suurempia vaurioita.



Kuva 27. Koekohteen 2 yleisilme hallin päädyistä, jossa bitumikaterouhetta sekä kulutettua rakennekerroksessa.

Koekohde 3, Kallio-Pietilänkatu 26, on teollisuuskiinteistön piha-alue, jonka eteläreunassa oleva osuus päällystettiin AB16+2%RAS-massalla vuonna 2014. Muu alue pihasta on perinteistä asfalttibetonia. Koekohteen 3 päällyste oli hyvässä kunnossa, päällysteessä oli vain naarmuja ja renkaan jälkiä, suurempia vaurioita päällysteessä ei ollut. Bitumikaterouhetta sisältävän asfalttibetonin yleisilme on esitetty kuvassa 28. Liitteessä D on esitetty laajempi yleiskuva. Perinteisen ja bitumikaterouhetta sisältävän asfalttibetonin kunnossa ei ollut havaittavissa eroja.

Koekohteessa 4, Sapelikatku 7, on kaksi teollisuuskiinteistöä, joiden pihat päällystettiin vuonna 2014. Molemmissa päällyste oli AB20+2%RAS-massaa, referenssiä ei tässä koekohteessa ollut. Toisella kiinteistöllä bitumikaterouhetta sisältävä päällyste oli piha-alueella ja toisella kevytrakenteisen hallin sisäpuolella. Koekohteen 4 molempien alueiden päällysteet olivat hyväkuntoisia, eikä naarmuja suurempia vaurioita ollut havaittavissa. Koekohteen 4 päällysteiden yleisilme on esitetty kuvassa 29. Kohteet olivat kuvaushetkellä roskaisia, joten selkeää kuvaa päällysteistä oli hankala saada.





Kuva 28. Koekohteen 3 bitumikaterouhetta sisältävä kulutuskerros.



Kuva 29. Koekohteen 4 bitumikaterouhetta sisältävät päällysteet, vasemmalla kiinteistön piha-alueella oleva ja oikealla kevytrakenteisen hallin pohjana toimiva päällyste.

Koekohte 5, Ahtialanraitti, on 150 metriä pitkä yhdistetyn jalankulun ja pyöräilyn väylä, joka päällystettiin AB11RC40+2%RAS-massalla vuonna 2015. Väylällä ei ollut suuria vaurioita, pituussuuntaiset naarmut olivat ainoita jälkiä päällysteessä. Koekohteen 5 yleisilme on esitetty kuvassa 30. Koekohteella 5 ei ollut referenssikohdetta.



Kuva 30. Koekohteen 5 yleisilme.

Koekohte 6 on 400 metriä pitkä katualue Renkomäen itäpuolella Orimattilankadulla, joka päällystettiin vuonna 2015. Renkomäen suuntaan vievä kaista päällystettiin AB16+2%RAS-massalla ja vastaantulevien kaista AB16-referenssimassalla. Koekohteen 6 yleisilme on esitetty kuvassa 31. Koekohteessa havaittiin muutama koko tien levyinen halkeama, jotka on esitetty liitteessä D. Muuten molemmat päällysteet olivat hyvässä kunnossa, eikä päällysteiden välillä ollut havaittavissa eroja.

Koekohte 7 on 350 metriä pitkä katualue Eteläisellä Rengastiellä, joka päällystettiin vuonna 2015. Helsingintielle vievä kaista päällystettiin AB16+2%RAS-massalla ja vastaantulevien kaista AB16-referenssimassalla. Koekohteen 7 yleisilme on esitetty kuvassa 32. Koekohteessa havaittiin luultavimmin heijastuslakeilusta johtuvia koko tien levyisiä halkeamia, jotka on esitetty liitteessä D. Koekohteessa oli myös yksi halkeama, joka oli vain referenssimassalla päällystetyn kaistan puolella, halkeama on esitetty kuvassa 33.





Kuva 31. Koekohteen 6 yleisilme.



Kuva 32. Koekohteen 7 yleisilme.

Koekohte 8 on 400 metriä pitkä katualue Makarantiellä, joka päällystettiin vuonna 2015 AB16RC40+2%RAS-massalla. Tässä koekohteessa ei ollut referenssipäällystettä. Koekohteen yleisilme on esitetty kuvassa 34. Koekohteessa havaitut kaksi koko tien levyistä poikihalkeamaa on esitetty liitteessä D.





Kuva 33. Koekohteessa 7 havaittu halkeama, joka oli vain referenssimassan puoleisella kaistalla.



Kuva 34. Koekohteen 8 yleisilme.

Koekohteiden visuaalisten tarkastusten tulokset olivat erittäin hyviä. Kaikki päällysteet olivat yleisilmeeltään siistejä ja hyvässä kunnossa, eikä referenssi- ja RAS-massoja pystynyt erottamaan toisistaan päällysteen ulkonäön perusteella. Muutamia koko päällysteen levyisiä halkeamia oli havaittavissa eri kohteissa. Nämä halkeamat vaikuttivat kuitenkin syntyneen heijastushalkeilun seurauksena ja kuvat on esitetty liitteessä D.

Kaikki viisi katualueella sijaitsevaa koekohtetta päällystettiin vuonna 2015. Visuaalisten tarkastusten hetkellä päällysteet olivat siis kokeneet kaksi talvea. Tarkastusten perusteella referenssi- ja RAS-massojen kylmäkestävyydessä ei ollut eroja, sillä talvesta johtuvia vaurioita päällysteissä ei ollut havaittavissa. Ainoastaan koekohteen 7 referenssipäällysteen puolella havaittiin yksi poikkihalkeama, joka saattoi olla pakkasen aiheuttama. Varmuutta halkeaman syntyperästä ei ole ja kyse oli yksittäistapauksesta, joten suuria päätelmiä tämän perusteella ei voida tehdä. Piha-alueella olevista koekohteista kaksi päällystettiin vuonna 2014 ja yksi vuonna 2016. Kaikki piha-alueiden päällysteet olivat erittäin hyväkuntoisia ja ainostaan pieniä naarmuja oli havaittavissa.

## 5.5 Käyttökokemukset

Kokemuksia bitumikaterouheen soveltuvuudesta asfaltin ainesosaksi kerättiin haastatteleamalla viittä asfalttiurakoitsijan edustajaa. Haastatelluista kaksi olivat laatupäällikköjä, kaksi asemapäällikköjä ja yksi kunnossapitopäällikkö. Alle on koottu yhteenveto haastattelun tuloksista.

Eri urakoitsijat ovat aloittaneet bitumikaterouheen käytön eri aikaan vuosien 2014–2016 varrella. Kohteet joissa bitumikaterouhetta on käytetty ovat olleet katu- ja piha-alueita. Osa urakoitsijoista on tehnyt useampia bitumikaterouhetta sisältäviä päällystyskohteita, osa vain yhden. Eri urakoitsijat ovat valmistaneet 10–2000 tonnia bitumikaterouhetta sisältävää massaa, kohteiden lukumäärän mukaan. Valmistetut massat ovat olleet sekä kuluskerroksen että kantavan kerroksen AB-massoja erilaisilla kiviaineksen rakeisuuksilla ja bitumikaterouhetta massoissa on käytetty 2–4 massa-%. Osa urakoitsijoista on valmistanut myös bitumikaterouhetta sisältäviä valuasfaltteja.

Osa urakoitsijoista on käyttänyt massojen valmistuksessa samoja sekoituslämpötiloja ja sekoitusaikoja kuin muissa vastaavissa AB-massoissa. Yksi urakoitsija raportoi käyttäneensä valmistuksessa noin 15–20 °C korkeampia lämpötiloja ja yksi noin 5–10 °C korkeampia lämpötiloja sekä noin 5 sekuntia pidempiä sekoitusaikoja. Muutoin massan valmistuksesta yksi urakoitsija mainitsi, että asemalla käyttö ei erityisemmin poikkeaa normaalista, kun bitumikaterouheen syöttöä varten on oma laitteistonsa. Yksi urakoitsija kertoi sekoittaneensa bitumikaterouheen asfalttirouheen joukoon ennen massan sekoitusta. Yksi urakoitsijoista toi esille myös sen, että bitumikaterouheen jäykkyys on otettava huomioon samalla tavalla kuin asfalttirouhetta käytettäessä, esimerkiksi pehmeämmän lisäbitumin avulla.

Bitumikaterouhetta sisältävän massan levitettävyyden suhteen kaikki urakoitsijat olivat yksimielisiä. Konevetona tehtävässä levityksessä eroa perinteiseen massaan ei ollut havaittavissa, mutta käsityönä lapiolla tai kolalla käsiteltäessä urakoitsijat mainitsivat massan olevan jäykempää ja lajittuvan herkemmin. Yksi urakoitsijoista mainitsi, että konevetona tehtynä päällysteen ulkonäössä tai visuaalisessa laadussa ei ole ollut eroa perinteiseen massaan verrattuna. Lisäksi toinen urakoitsija kertoi, että bitumikaterouhetta sisältävien massojen tiiveydet ja kitka-arvot ovat yleensä olleet erinomaisia ja lisäksi erään kohteen jyrääjä oli maininnut bitumikaterouhetta sisältävän massan olleen helpommin jyrättävää kuin perinteinen massa.

Bitumikaterouheen käyttöön liittyvistä ongelmista kaksi urakoitsijoista mainitsi, että bitumi-

katerouhe ei kestä pitkää varastointia. Säilytettäessä rouhe paakkuuntuu helposti, joten varastoidut määrät on pidettävä pieninä. Kolmas urakoitsija mainitsi, että bitumikaterouhetta sisältävän massan varastointiajan auton lavalla on oltava lyhyempi kuin perinteisen massan, jolloin päällystyskohteiden on oltava suhteellisen lähellä. Yksi urakoitsijoista mainitsi, että näytteitä tutkittaessa uutuosuodatin tukkeutui. Lisäksi urakoitsijat raportoivat, että työntekijät ovat antaneet palautetta hajuhaitoista erityisesti jos bitumikatepitoisuus on ollut suuri tai lämpötilat korkeampia, on hajuhaitoista valitettu enemmän. Kaikissa tapauksissa hajuhaittoja ei kuitenkaan ole ollut.

Kokemustensa perusteella urakoitsijat arvioivat bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin soveltuvan paremmin koneellisesti tehtäville katu- ja piha-alueille kuin paikkauksiin. Erityisen soveltuviksi kohteiksi mainittiin kantavan kerroksen massat sekä kohteet, joissa jäykkyydestä ei ole haittaa. Myös kulutuskerroksiin bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin arvioitiin sopivan, kunhan kohteet voidaan tehdä koneellisesti. Lisäksi yksi urakoitsijoista mainitsi bitumikaterouheen toimivan hyvin valuasfaltissa.

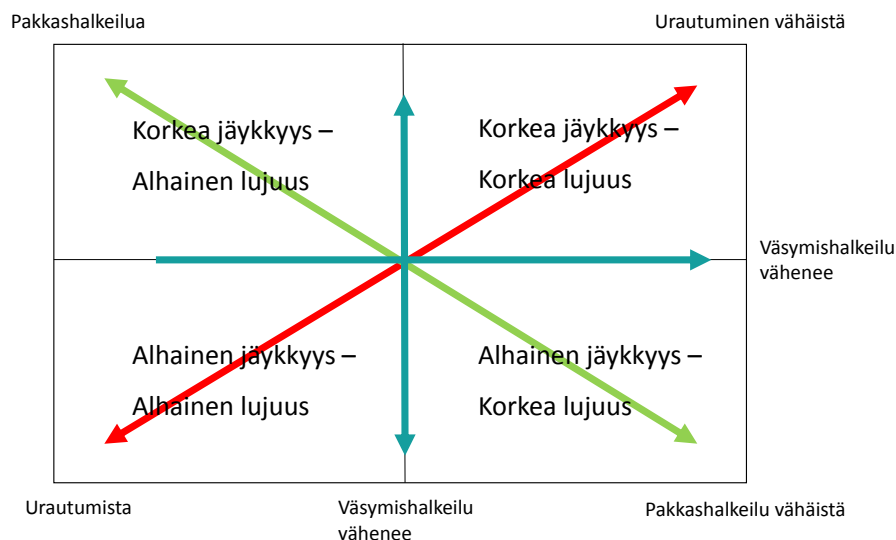
Bitumikaterouhetta sisältävän asfalttimassan valmistuksen tulevaisuuden suunnitelmista urakoitsijat eivät osanneet sanoa erityisemmin. Yksi urakoitsijoista mainitsi, että tänä vuonna käyttöä on lisätty kun bitumikaterouheen syöttölaite saatiin toimimaan kunnolla tehtaalla ja nyt kun kohteita on valmistettu useampia, seuraavan parin vuoden aikana saadaan kokemusta myös massan talvikestävyyydestä. Yksi urakoitsijoista mainitsi, että bitumikaterouheen hyödyntämistä tuskin tullaan lisäämään ilman, että asiakkaat sitä erikseen vaativat.

## 6 Tutkimustulosten analysointi ja virhearviointi

### 6.1 Mekaaniset ominaisuudet

Keskeinen osa tätä tutkimusta oli selvittää bitumikaterouheen lisäämisen vaikutuksia asfaltin teknisiin ominaisuuksiin. Laboratoriotutkimusten tulokset käytiin läpi kohdassa 5. Alla esitetyissä kuvissa on verrattu laboratoriotutkimuksissa saatuja lujuuksien, jäykkyyksien, tyhjätilojen ja bitumipitoisuuksien tuloksia toisiinsa ja vielä siten analysoitu bitumikaterouheen lisäämisen vaikutuksia asfaltin ominaisuuksiin. Kuvissa on lisäksi esitetty Aalto-yliopistossa tutkituista tavanomaisista suomalaisista päällysteistä koottu tietokanta, jota hyödynnetään vertailukohtana tulosten analyysissä. Kuvissa on myös erikseen esitetty Hartosen (2016) diplomityössä tutkitut bitumikaterouhetta sisältävät laboratorio- ja poranäytteet.

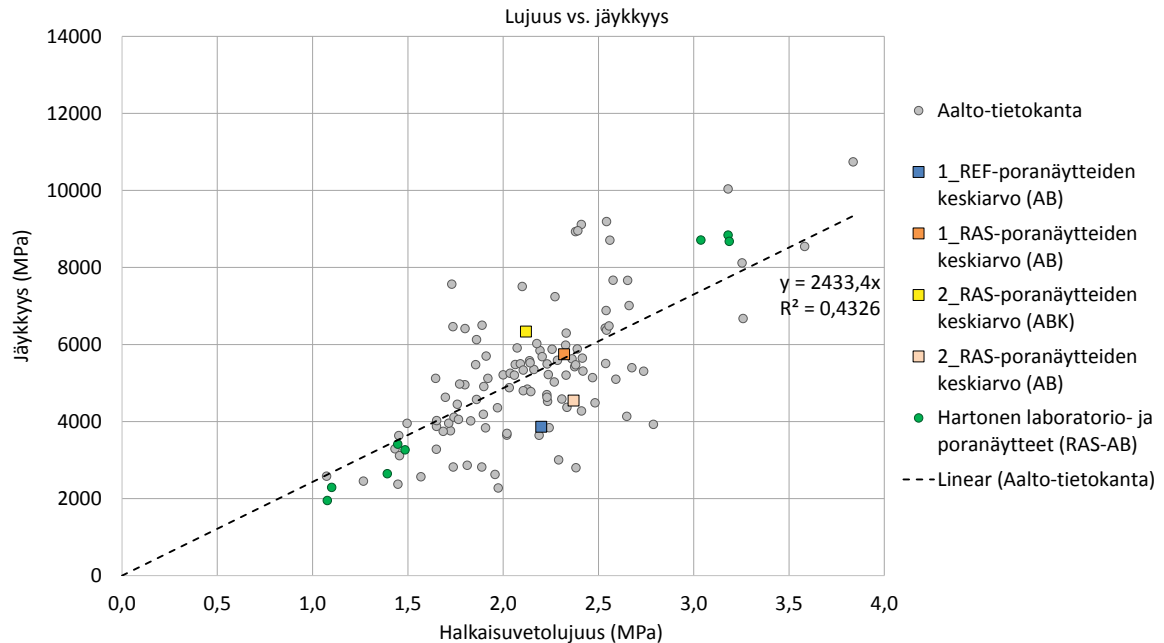
Kuvassa 35 on kuvattu Pellisen (2004) esittämä konsepti, jota on hyödynnetty tulosten analysoinnissa. Konseptin ajatus on, että asfaltilla on optimaalinen koostumus, joka riippuu käyttötarkoituksesta eli liikenteen kuormasta, asfaltissa käytetyistä materiaaleista sekä ilmastosta, jossa päällysteen on toimittava. Päällysteessä ilmenevät mekaaniset vauriot ovat seurausta materiaalin kyvyttömyydestä kantaa kuormitusta tai ottaa vastaan muodonmuutoksia. Asfalttimassojen mekaaniset ominaisuudet voidaan pelkistää jäykkyyteen ja lujuteen, joiden muutosten seurauksia on esitetty kuvassa 35. Asfalttimassojen koostumuksen tavoite ei kuitenkaan ole sama kaikille asfalttimassoille, vaan koostumus ja ominaisuudet vaihtelevat tarpeen mukaan. Massa on suunniteltava aiottuun käyttökohteeseen optimaaliseksi.



Kuva 35. Pellisen (2004) esittämä teoria asfalttimassan toiminnallisille ominaisuuksille.

Kuvassa 36 on esitetty halkaisuvetolujuuden ja jäykkyyden välinen korrelaatio Aalto-tietokannassa olevien näytteiden perusteella sekä tämän tutkimuksen referenssi- ja RAS-poranäytteiden lujuuksista ja jäykkyyksistä lasketujen keskiarvojen suhde. Tässä tutkimuksessa lujuudet ja jäykkyydet määritettiin eri poranäytteistä, joten kuvassa on esitetty massakohtaisesti lasketut keskiarvot, ei yksittäisten poranäytteiden tuloksia. Kuvasta nähdään, että tutkittujen referenssi- ja RAS-massojen tulokset asettuvat siististi Aalto-

tietokannan muodostaman tulosjoukon rajoihin, eikä merkittäviä poikkeamia ole. Kuvassa 35 esitetyn teorian mukaisesti tämän tutkimuksen poranäytteet asettuvat lähelle toivottua lujuuden ja jäykkyyden suhdetta, kuten suurin osa Aalto-tietokannan aineistosta, jolloin riski väsymis- tai pakkashalkeilulle on vähäistä.



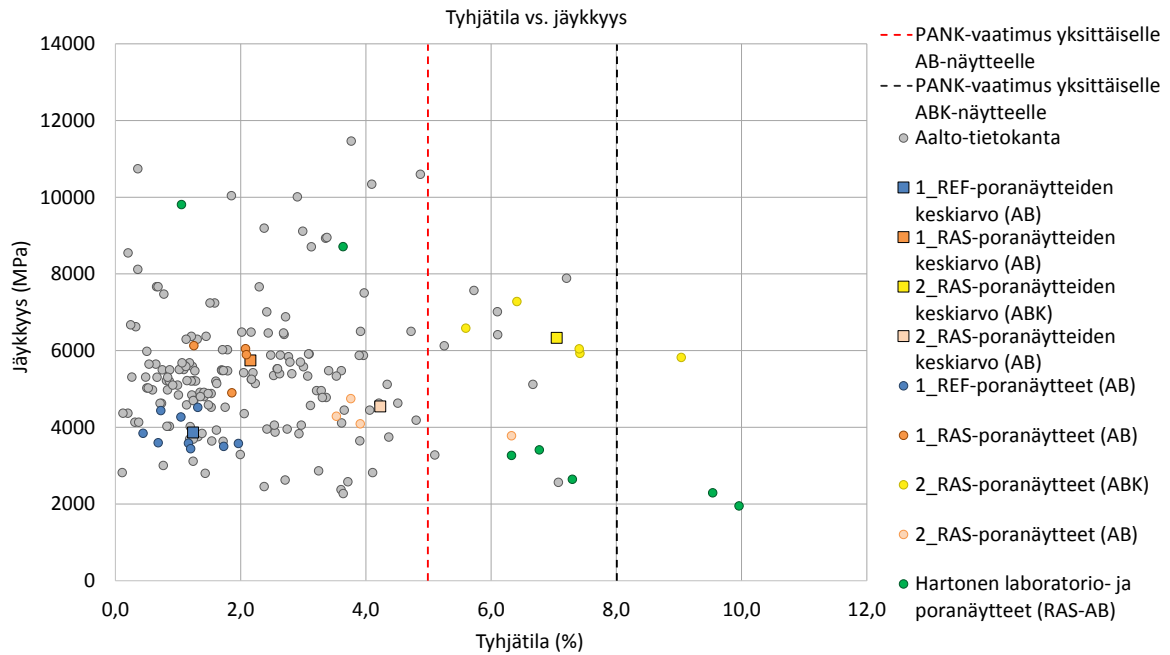
Kuva 36. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden halkaisuvetolujuus vs. jäykkyys.

Kuvassa 37 on esitetty tyhjätilan ja jäykkyyden välinen suhde. Kuvassa on Aalto-tietokannan näytteiden sekä tämän tutkimuksen tuloksista laskettujen keskiarvojen lisäksi esitetty niiden tämän tutkimuksen yksittäisten poranäytteiden tulokset, joista määritettiin sekä tyhjätila että jäykkyys. Tyhjätila määritettiin useammasta poranäytteestä kuin jäykkyys ja kuvassa esitetty keskiarvo on laskettu kaikkien määritysten perusteella, joten se ei ole pelkästään kuvassa näkyvien yksittäisten poranäytteiden keskiarvo. Kuvasta nähdään, että suurin osa tämän tutkimuksen referenssi- ja RAS-massojen tuloksista asettuu Aalto-tietokannan muodostaman tulosjoukon rajoihin, ainoastaan bitumikaterouhetta sisältävien ABK-poranäytteiden tyhjätilat olivat hieman suurempia kuin Aalto-tietokannassa olleiden näytteiden. Tämän tutkimuksen ABK-massojen poikkeavuudet selittyvät kuitenkin sillä, että Aalto-tietokannassa olevat asfalttimassat ovat pääasiassa kulutuskerroksen massoja, eivät kantavan kerroksen. Vaikka ABK-massojen tyhjätilat ovat suurempia, massojen jäykkyydet eivät silti ole alempia. Tulos vahvistaa, että bitumin kovuus määrää massan jäykkyyttä enemmän kuin massan tyhjätila, kuten myös kirjallisuuden (Pellinen & Xiao 2006) perusteella oli odotettavissa.

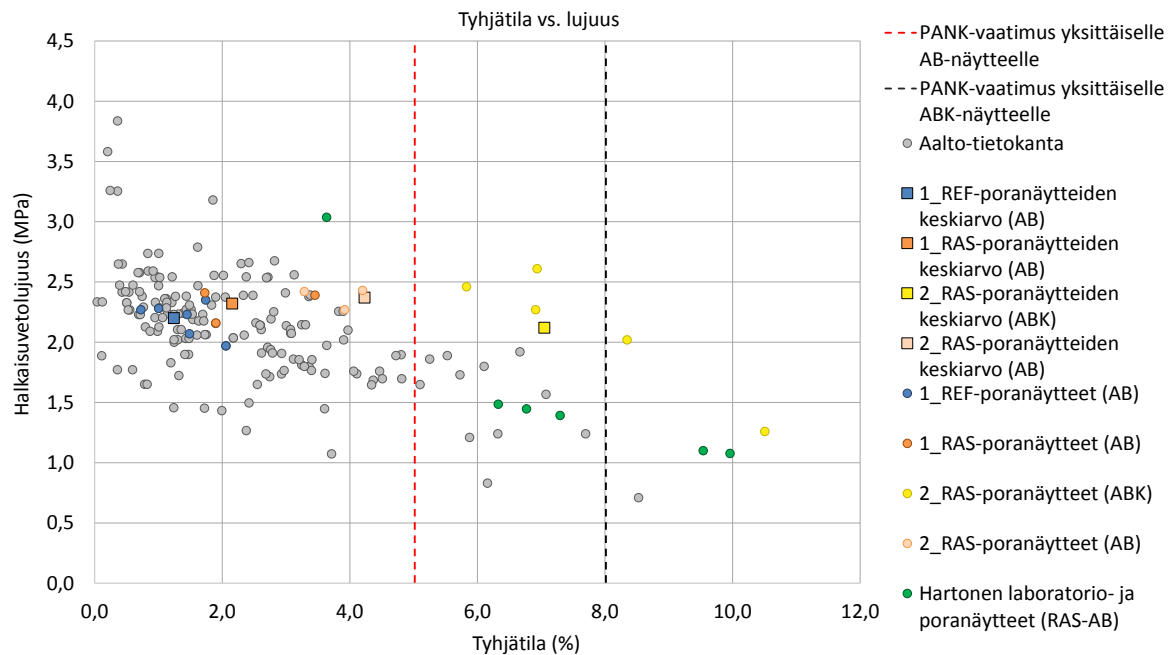
Kuvassa 38 on esitetty tyhjätilan ja halkaisuvetolujuuden välinen suhde. Tässä kuvassa, kuten edellisessä, on esitetty Aalto-tietokannan näytteet, tämän tutkimuksen tuloksista lasketut keskiarvot sekä ne tämän tutkimuksen näytteet, joista määritettiin sekä tyhjätila että lujuus. Kuvassa esitetty keskiarvo ei ole pelkästään kuvassa näkyvien yksittäisten poranäytteiden keskiarvo, sillä tyhjätila määritettiin useammasta näytteestä kuin lujuus. Koekohteen 1 referenssi- ja RAS-poranäytteiden tulokset asettuvat erinomaisesti Aalto-tietokannan näytteiden rajaaman tulosjoukon sisälle. Koekohteen 2 bitumikaterouhetta si-



sältävien ABK-poranäytteiden lujuudet ovat hieman suurempia kuin Aalto-tietokannassa vastaavissa tyhjätiloissa olevien näytteiden lujuudet.



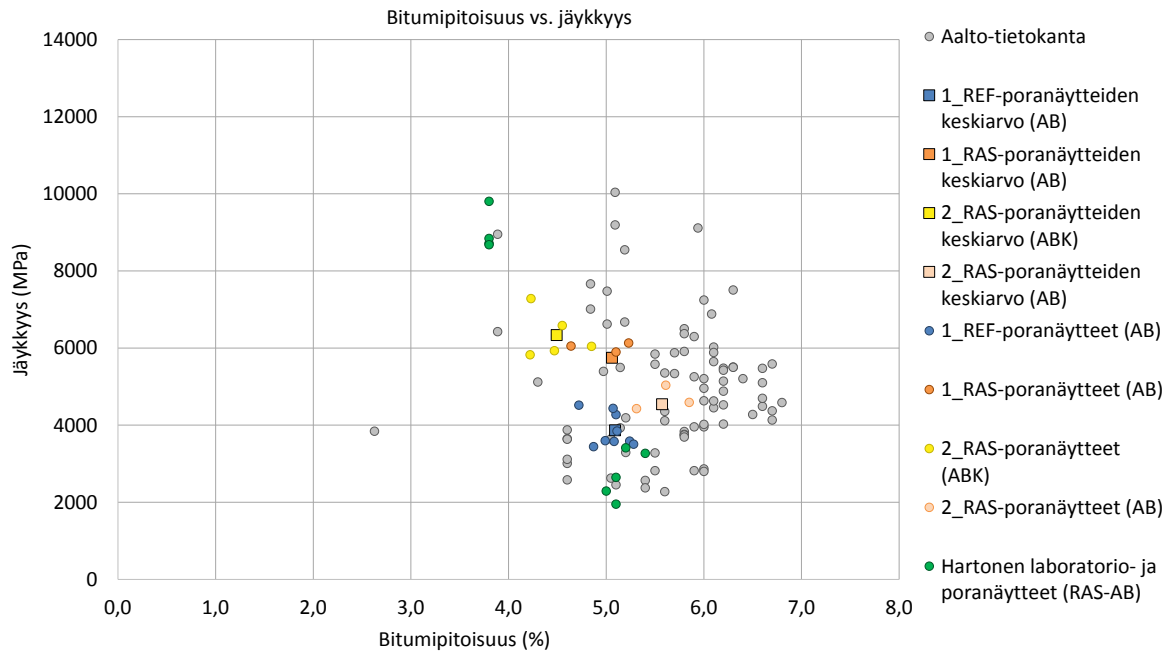
Kuva 37. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden tyhjätila vs. jäykkyys.



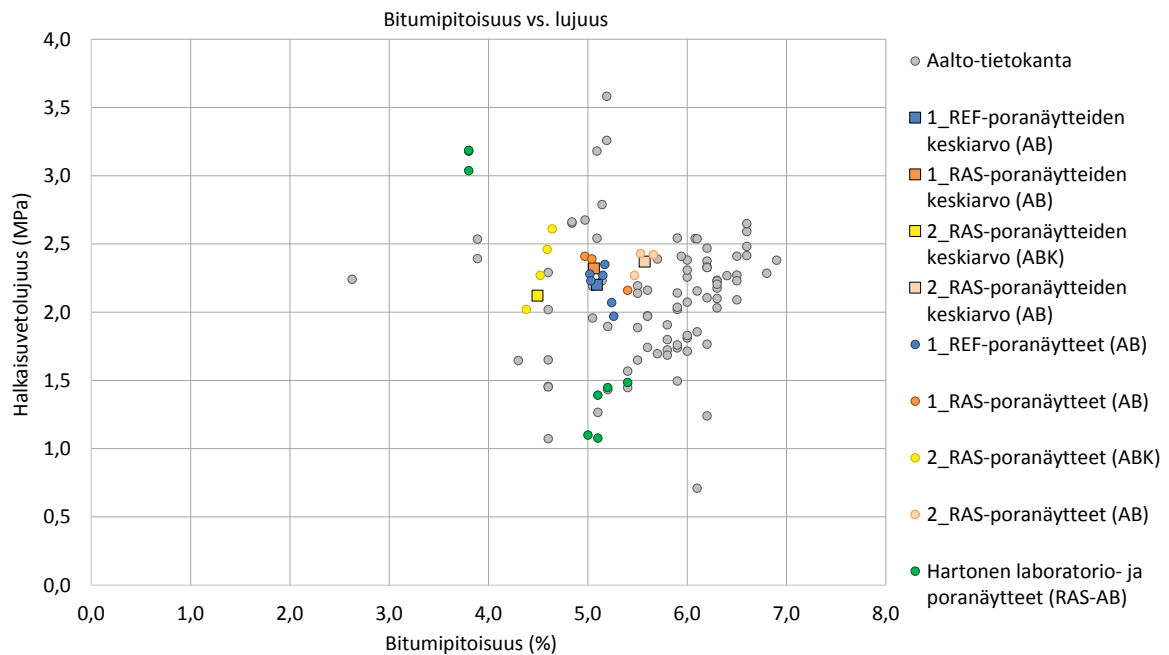
Kuva 38. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden tyhjätila vs. halkaisuvetolujuus.

Kuvien 37 ja 38 Aalto-tietokannan näytteiden perusteella tyhjätilan ja halkaisuvetolujuuden välillä näyttäisi olevan voimakkaampi korrelaatio kuin tyhjätilan ja jäykkyyden välillä. Tyhjätilan kasvaessa lujuus pienenee. Tyhjätilan muutokset näyttävät vaikuttavan herkemmin asfaltin lujuuteen kuin jäykkyyteen. Kun tyhjätila kasvaa riittävästi, asfaltin lujuus laskee ja siitä tulee heikkoa ja murtuvaa.

Kuvassa 39 on esitetty bitumipitoisuuden ja jäykkyyden välinen suhde ja kuvassa 40 bitumipitoisuuden ja lujuuden suhde Aalto-tietokannan näytteistä sekä tämän tutkimuksen näytteiden keskiarvoista ja yksittäisistä näytteistä. Kuvien keskiarvot eivät ole pelkästään kuvissa näkyvien yksittäisten poranäytteiden keskiarvoja, sillä bitumipitoisuus määritettiin useammasta näytteestä kuin jäykkyys ja lujuus. Tämän tutkimuksen referenssi- ja RAS-massojen tulokset näyttävät molemmissa kuvissa asettuvan hyvin muiden tulosten joukkoon.



Kuva 39. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden bitumipitoisuus vs. jäykkyys.



Kuva 40. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden bitumipitoisuus vs. halkaisuvetolujuus.

## 6.2 Sideaineen merkitys

Bitumikaterouheesta noin 50 % on bitumia, joten asfaltin teknisten ominaisuuksien lisäksi oli keskeistä selvittää bitumikaterouheen lisäämisen vaikutuksia asfalttimassan sideaineseoksen ominaisuuksiin. Kaikki sideainetestit vahvistivat, että bitumikaterouheessa oleva bitumi on huomattavan jäykkää ja esimerkiksi kovempaa kuin perinteisessä asfalttirouheessa. Bitumikaterouhetta käytettiin asfalttimassoissa vain vähän verrattuna asfalttirouheeseen. Kaikissa analysoiduissa massoissa asfalttirouhetta oli 50 massa-% ja bitumikaterouhetta käytettiin RAS-massoissa asfalttirouheen lisäksi 2 massa-%.

Bitumikaterouheen lisäämistä ei otettu huomioon lisäsideaineen kovuuden valinnassa, vaan referenssi- ja RAS-massoissa käytettiin samaa lisäbitumia. Eri bitumien osuudet massojen sideaineseoksessa esitettiin taulukossa 10. Näytteistä mitatut tunkeumat ja pehmenemispisteet osoittivatkin RAS-näytteiden bitumin olevan kovempaa kuin referenssinäytteiden ja tämä vahvistui myös taajuuspyyhkäisymittauksissa. RAS-näytteiden bitumi oli jäykempää ja vähemmän virtaavaa kuin referenssinäytteiden. Vaikka RAS-näytteiden bitumi oli kovempaa kuin referenssinäytteiden, ei pakkasenkestävyydessä kuitenkaan ollut havaittavissa merkittäviä eroja. Koekohteen 1 referenssi- ja RAS-näytteiden bitumien Fraassmurtumislämpötiloissa ei juurikaan ollut eroa, kuten ei myöskään koekohteelta 2 mitattujen ABK-näytteiden bitumien murtumislämpötiloissa. Koekohteen 2 AB-RAS-näytteiden bitumien murtumislämpötilat olivat hieman korkeammat kuin koekohteen 1 AB-RAS-näytteiden, eli koekohteen 1 AB-RAS-näytteiden kylmäominaisuudet olivat hieman paremmat.

Merkillepantavaa Fraassmurtumispistemittauksissa on se, että RAS-näytteiden kylmäominaisuuksissa ei ollut eroa verrattuna referenssimassoihin. Tulokset saattavat selittyä bitumikatteissa käytetyllä SBS-polymeerillä, joka parantaa bitumin kylmäominaisuuksia. Sama on nähtävissä myös sideaineiden taajuuspyyhkäisymittauksista saaduista aineen jäykkyyttä kuvaavista kompleksimoduuleista. Vaikka RAS-rouheen bitumin kompleksimoduulin arvot olivat huomattavasti suurempia korkeissa lämpötiloissa, alle 10 °C lämpötiloissa suhteelliset erot olivat hyvin pieniä ja arvot jopa pienempiä kuin asfalttirouheen bitumin kompleksimoduulin arvot. Lisäksi RAS-näytteiden bitumien kompleksimoduulin arvot olivat referenssinäytteiden bitumien arvoja suuremmat korkeammassa lämpötiloissa, mutta alle 10 °C lämpötiloissa RAS- ja referenssinäytteiden bitumien kompleksimoduuleissa ei ollut eroa.

Taulukkoon 16 on koottu Asfalttinormeissa esitettyjen bitumiluokkien sekä poranäytteistä uutettujen sideaineseosten tunkeuma- ja pehmenemispistetulosten keskiarvoja. Vertaamalla referenssi- ja RAS-poranäytteiden sideaineseoksista mitattuja tunkeuma- ja pehmenemispistearvoja eri bitumiluokkiin nähdään, että RAS-näytteiden sideaineseos on noin yhden bitumiluokan referenssinäytteiden sideaineseoksen luokkaa alhaisempi, kun molemmissa asfalttimassoissa käytettiin samaa 160/220-lisäbitumia.

Taulukon 16 tuloksista huomataan myös se, että RAS-näytteiden tunkeuma- ja pehmenemispistearvot eivät asetu yhden bitumiluokan rajoihin toisin kuin referenssinäytteiden. RAS-näytteiden pehmenemispisteet olivat suurempia, eli RAS-näytteiden sideaineseos oli korkeammassa lämpötiloissa vähemmän virtaavaa kuin referenssinäytteiden. Sama oli havaittavissa myös taajuuspyyhkäisymittauksissa, lämpötilan noustessa RAS-näytteiden bitumien kompleksimoduulit kasvoivat enemmän kuin referenssinäytteiden. Tulokset selitty-

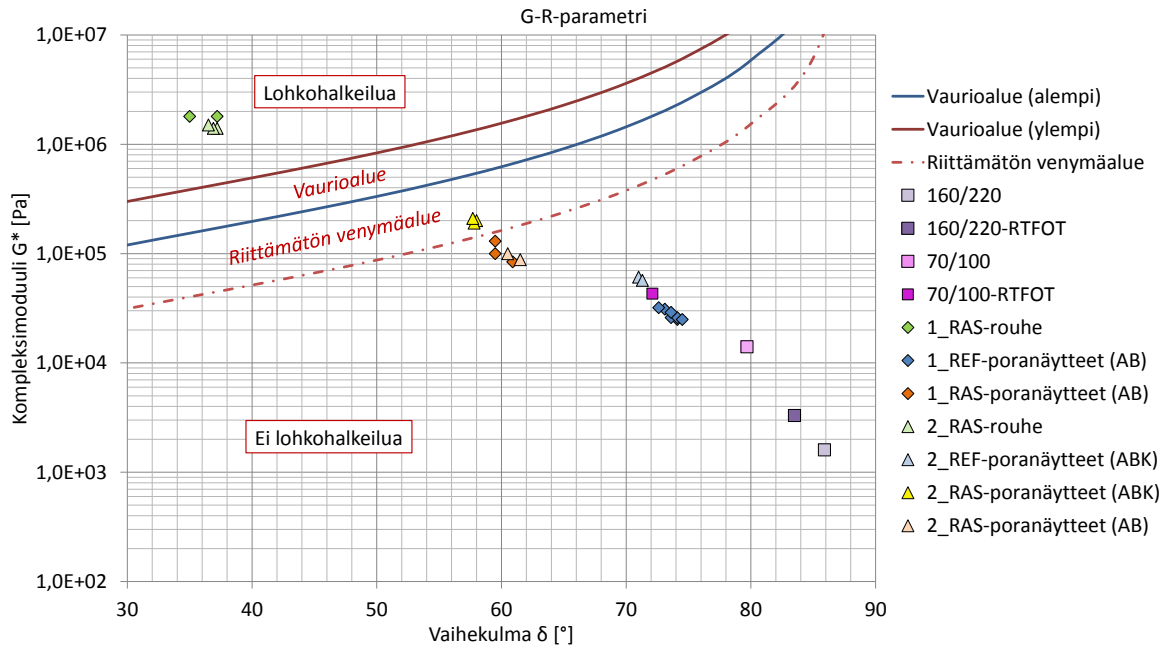
vät bitumikatteissa käytettyjen sideaineiden ominaisuuksilla, bitumikatteiden sideaineissa pyritään korkeampiin pehmenemispisteisiin, jotta sideaine ei pääse virtaamaan kaltevilla katolla.

Taulukko 16. Asfalttinormien taulukossa 20 esitetyt bitumiluokkien laatuvaatimukset, ohutkalvokokeen (RTFOT) jälkeiset vaatimukset sekä poranäytteistä uutetun sideaineen mittausten keskiarvot

Bitumiluokkien laatuvaatimukset (tuore bitumi)						
	20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Tunkeuma [1/10 mm]	20–30	35–50	50–70	70–100	100–150	160–220
Pehmenemispiste [°C]	55–63	50–58	46–54	43–51	39–47	35–43
Bitumiluokkien laatuvaatimukset (RTFOT-vanhennettu bitumi)						
	20/30	35/50	50/70	70/100	100/150	160/220
Jäännöstunkeuma [%]	≥ 55	≥ 53	≥ 50	≥ 46	≥ 43	≥ 37
Pehmenemispisteen nousu [°C]	≤ 10	≤ 11	≤ 11	≤ 11	≤ 12	≤ 12
Poranäytteistä uutetun sideaineen mittausten keskiarvot						
	1_REF (AB)	1_RAS (AB)	2_RAS (AB)	2_REF (ABK)	2_RAS (ABK)	
Tunkeuma [1/10 mm]	51	32	32	37	25	
Pehmenemispiste [°C]	53,8	63,9	62,5	57,1	67,0	

Kuvassa 41 on esitetty koekohteiden 1 ja 2 poranäytteistä uutettujen sideaineiden Glover-Rowe-parametrien (G-R-parametrien) arvot. G-R-parametri on kehitetty kenttähavaintojen perusteella arvioimaan, miten bitumin vanheneminen muuttaa sen venymää ja väsymiskestävyyttä päällysteessä. G-R-parametri on havainnollinen tapa esittää bitumin reologisia ominaisuuksia, sillä se esitetään sekä kompleksimoduulin (jäykkyyden) että vaihekulman (virtaavuuden) avulla.

Tuore modifioimaton bitumi vanhenee kuvaajan asteikolla lineaarisesti eli kompleksimoduulin kasvun ja vaihekulman pieneneminen tapahtuu lineaarisesti. Kuvasta 41 nähdään hyvin bitumikaterouheen lisäämisen vaikutus sideaineseokseen. Bitumikaterouheen ominaisuuksiltaan erilaisen (jäykän ja huonosti virtaavan) bitumin lisääminen kääntää sideaineseoksen alhaisempiin vaihekulmiin. Tämä siis tarkoittaa, että kompleksimoduulin ja vaihekulman suhde muuttuu siten, että samassa jäykkyydessä sideaineseos on vähemmän virtaavaa.



Kuva 41. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden sideaineiden G-R-parametrien arvot.

Eri tutkimusten (Glover et al. 2005, King et al. 2012, Ruan et al. 2003a, Ruan et al. 2003b) perusteella G-R-parametrille on kehitetty myös raja-arvot (kuvassa 41 punainen ja sininen käyrä), joiden ylittymisen on oletettu johtavan mahdollisiin päällysteen väsymisvaurioihin, kuten purkautumiseen ja halkeiluun. Myös Aromaan (2016) diplomityössä tehdyt havainnot tukevat kehitettyjä raja-arvoja.

Väsymisvaurioiden raja-arvojen lisäksi Makowska et al. (2017) esittävät tutkimuksessaan riittämättömän venymäaluetta (Insufficient Ductility Zone, IDZ, kuvassa 41 punainen katkoviiva) työkaluksi asfaltin kierrätystöiden laadunvalvontaan. Tutkimuksen perusteella bitumin, jonka G-R-parametri asettuu riittämättömälle venymäalueelle, reologiset ominaisuudet eivät ole riittäviä kestämään pidempiaikaisesti (yli 3 vuotta) pohjoisen ilmasto-oloja pakkas- halkeilun ja nastarengaskulutuksen kannalta. Tämä riittämätön venymäalue todettiin vilkasliikenteisellä Vt 1:llä, joten se ei ole suoraan sovellettavissa tämän diplomityön aineistoon, joka on kerätty vähäliikenteisiltä katu- ja piha-alueilta. G-R-parametriin kehitetyt vaurioalueet kuitenkin yhdistävät sideaineen reologiset mittaukset päällysteen toiminnallisiin ominaisuuksiin ja toimivat siten hyvänä työkaluna bitumin ominaisuuksien arvioinnissa.

Lisäksi tuloksia tarkasteltaessa on syytä ottaa huomioon, että G-R-parametrin avulla arvioitavat vauriomekanismit perustuvat usein kulutuskerroksessa ilmeneviin vaurioihin, joten G-R-parametri ei ole suoraan sovellettavissa ABK-massoisiin, jotka ovat kulutuskerroksen alla suojassa vanhenemiselta ja nastarengaiden kulutukselta. Tämän diplomityön ABK-massoille G-R-parametriin sidoksissa olevat vauriot eivät siis ole todennäköisiä, vaikka näiden massojen G-R-parametri asettuukin riittämättömän venymäalueen sisälle. Myös liikennemäärät ovat vähäisempiä, kuten edellä todettiin, joten tämäkin vähentää vaurioiden syntyminen riskiä.

### 6.3 Lisäsideaineen suunnittelu

Bitumikaterouheen lisääminen muuttaa sideaineseoksen jäykkyyttä ja virtaavuutta, joten rouheen käyttö on otettava huomioon asfalttimassan suunnittelussa esimerkiksi käyttämällä massan sideaineseoksessa pehmeämpää lisäbitumia. Suunniteltavan sideaineseoksen tunkeumaa voidaan arvioida kaavan (1) ja kompleksimoduulia kaavan (2) avulla. Sideaineseoksen kompleksimoduulia laskettaessa eri sideaineiden kompleksimoduulin arvoina on käytettävä samassa lämpötilassa ja samalla kuormitustaajuudella määritettyjä arvoja.

$$(a + b + c) \times \lg pen_{mix} = a \times \lg pen_{RAS} + b \times \lg pen_{RA} + c \times \lg pen_{bit} \quad (1)$$

jossa  $pen_{mix}$  valmistettavan massan sideaineseoksen laskennallinen tunkeuma  
 $pen_{RAS}$  bitumikaterouheesta talteen otetun sideaineen tunkeuma  
 $pen_{RA}$  asfalttirouheesta talteen otetun sideaineen tunkeuma  
 $pen_{bit}$  lisätyn sideaineen tunkeuma  
 $a, b$  ja  $c$  bitumikaterouheen sideaineen ( $a$ ), asfalttirouheen sideaineen ( $b$ ) ja lisätyn sideaineen ( $c$ ) osuudet valmistettavan asfalttimassan sideaineseoksessa;  $a + b + c = 1$ .

$$(a + b + c) \times \lg G^*_{mix} = a \times \lg G^*_{RAS} + b \times \lg G^*_{RA} + c \times \lg G^*_{bit} \quad (2)$$

jossa  $G^*_{mix}$  valmistettavan massan sideaineseoksen laskennallinen kompleksimoduuli  
 $G^*_{RAS}$  bitumikaterouheesta talteen otetun sideaineen kompleksimoduuli  
 $G^*_{RA}$  asfalttirouheesta talteen otetun sideaineen kompleksimoduuli  
 $G^*_{bit}$  lisätyn sideaineen kompleksimoduuli  
 $a, b$  ja  $c$  bitumikaterouheen sideaineen ( $a$ ), asfalttirouheen sideaineen ( $b$ ) ja lisätyn sideaineen ( $c$ ) osuudet valmistettavan asfalttimassan sideaineseoksessa;  $a + b + c = 1$ .

Tunkeuman avulla laskettuna (kaava 1) suunnitellun sideaineseoksen jäykkyys on helppo ymmärtää, sillä tunkeuman määrittäminen on yleisesti käytössä oleva menetelmä. Kompleksimoduulin avulla tehdyissä laskelmissa pystytään kuitenkin vertailemaan myös lämpötilan vaikutusta jäykkyyteen, joten kaava (2) tuo lisäarvoa suunniteltujen sideaineseosten jäykkyyksien laskemiseen.

Tunkeuman ja kompleksimoduulin avulla tehdyt laskelmat auttavat suunnitellun sideaineseoksen jäykkyyden määrittämisessä, mutta ne eivät ota huomioon virtaavuudessa (eli vaihekulmassa) tapahtuvaa muutosta. Bitumikaterouhetta hyödynnettäessä sideaineseoksen jäykkyys ja virtaavuus muuttuvat eri tavoin kuin modifioimattoman bitumin. Tästä syystä lisäarvoa laskennallisiin sideaineseoksen ominaisuuksiin voisi tuoda kompleksimoduulin ja vaihekulman avulla lasketun viskositeetin tarkastelu (kaava 3).

$$(a + b + c) \times \lg \lg \text{visc}_{mix} = a \times \lg \lg \text{visc}_{RAS} + b \times \lg \lg \text{visc}_{RA} + c \times \lg \lg \text{visc}_{bit} \quad (3)$$

jossa	$\text{visc}_{mix}$	valmistettavan massan sideaineseoksen laskennallinen viskositeetti
	$\text{visc}_{RAS}$	bitumikaterouheesta talteen otetun sideaineen viskositeetti
	$\text{visc}_{RA}$	asfalttirouheesta talteen otetun sideaineen viskositeetti
	$\text{visc}_{bit}$	lisätyn sideaineen viskositeetti
	$a, b$ ja $c$	bitumikaterouheen sideaineen ( $a$ ), asfalttirouheen sideaineen ( $b$ ) ja lisätyn sideaineen ( $c$ ) osuudet valmistettavan asfalttimassan sideaineseoksessa; $a + b + c = 1$ .

## 6.4 Virhearviointi

Laboratoriotutkimusten tulosten virhearviointia varten tulosten kuvaajissa on tulosten keskiarvojen lisäksi esitetty kahden keskihajonnan etäisyys keskiarvosta ( $\bar{x} \pm 2s$ ). Kahden keskihajonnan etäisyys keskiarvosta kuvaa normaalisti jakautuneen aineiston tapauksessa sitä väliä, jonka sisälle noin 96 % yksittäisistä näytteistä asettuu 95 % todennäköisyydellä. Keskiarvojen välillä on siis tilastollisesti merkittävä ero, jos keskihajonnat eivät ole limikkäin. Mitä enemmän hajonnat limittyvät, sen epävarmempaa on, että keskiarvot eroavat tilastollisesti.

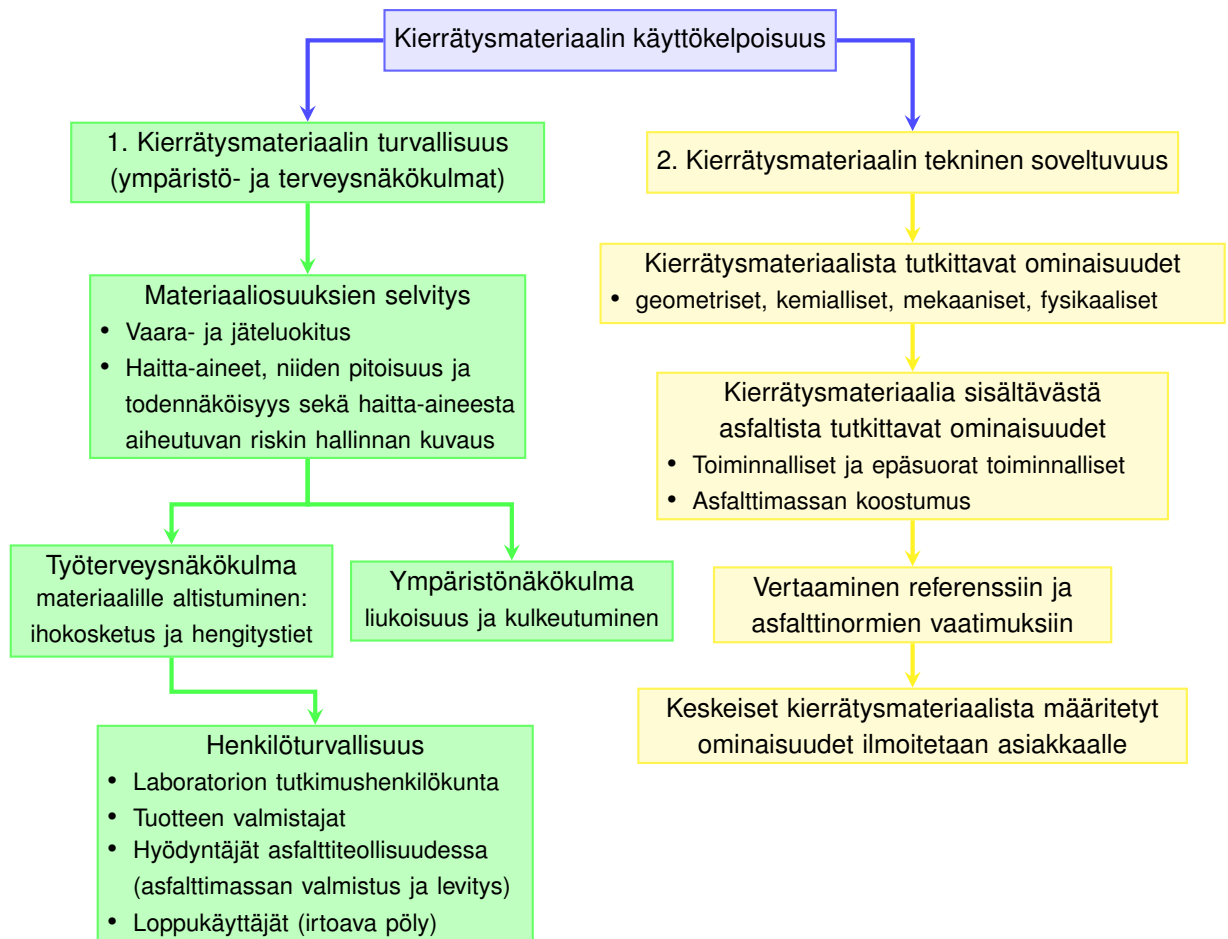
On kuitenkin otettava huomioon tulosten tulkitsemiseen sisältyvät virheet, joihin erityisesti otosten koot vaikuttavat. Mitä pienempiä otoskokoja käytetään, tulosten tulkinnan epävarmuus ja todennäköisyys tilastollisiin virhepäätelmiin kasvaa. Pienten otosten perusteella tehtyjä päätelmiä ei voida suoraan pitää yleispätevinä. Erityisesti sideainetesteissä otoskoot ovat olleet pieniä, kun näytteitä on jouduttu yhdistämään.

## 7 Toimintatapamalli ja menetelmäohjeistus

Tässä diplomityössä selvitettiin asfaltin ainesosaksi tarkoitettujen uusien kierrätykseen pohjautuvien materiaalien markkinakelpoisuuden edellytyksiä. Työssä hyödynnettiin demokohteen bitumikaterouhetta, jonka markkinakelpoisuuden edellytyksiä selvitettiin. Tehytjen selvitysten perusteella on luotu toimintatapamalli edistämään uusien kierrätykseen pohjautuvien materiaalien hallittua käyttöönottoa.

Kehitetty toimintatapamalli koostuu kahdesta erillisestä vaiheesta, joiden pääkohdat on esitetty kahdessa erillisessä prosessikaaviossa. Vaikka toimintatapamalli on luotu demokohteen prosessien perusteella, siinä esitettyjä seikkoja voidaan soveltaa ja käyttää pohjana muiden kierrätystuotteiden markkinoille saattamisessa.

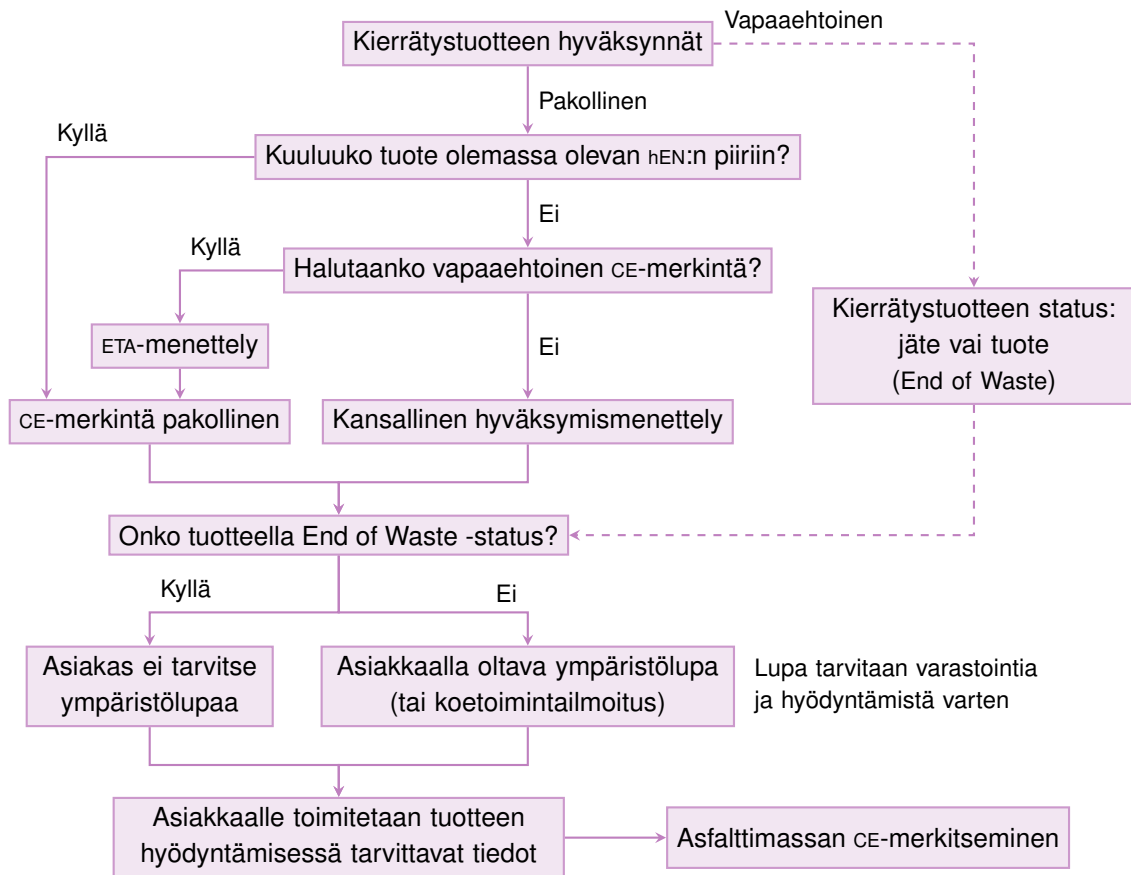
Ensimmäisenä uuden materiaalin käyttöön otossa on selvittävä materiaalin käyttökelpoisuus. Materiaalin on teknisesti sovelluttava aiottuun käyttökohteeseen, eikä siitä saa aiheutua vaaraa terveydelle tai ympäristölle. Käyttökelpoisuuden todentaminen on ensimmäinen vaihe toimintatapamallia ja prosessi on esitetty kuvassa 42.



Kuva 42. Toimintatapamallin ensimmäinen vaihe, kierrätysmateriaalin käyttökelpoisuuden todentaminen.



Materiaalin käyttökelpoisuuden todentamisen jälkeen on osoitettava, että tuotteella on tarvittavat viranomaishyväksynät ja että se täyttää lainsäädännössä asetetut vaatimukset. Toimintatapamallin toinen vaihe, hyväksymismenettelyjen kuvaus, on esitetty kuvassa 43.



Kuva 43. Toimintatapamallin toinen vaihe, kierrätystuotteen hyväksymismenettelyt.

Tämän diplomityön aikana kävi ilmi, että teknisen soveltuvuuden sekä terveydellisen ja ympäristöllisen vaatimusten täyttymisen osoittaminen ei ole yksinkertainen prosessi. Vaatimusten täyttymisen osoittamiseen tarvitaan useita erillisiä tutkimuksia ja silti on vaikea määrittää milloin jotakin ominaisuutta on tutkittu riittävästi. Uusien materiaalien ja menetelmien käyttöönotto on hidasta, kun täydellistä varmuutta pitkäaikaisesta soveltuvuudesta on vaikea osoittaa. Eri selvitykset tulisi koota yhteen ja niiden pohjalta luoda ohjeistus helpottamaan tilaajien ja urakoitsijoiden toimintaa uuden materiaalin käyttöönottamiseksi. Tässä diplomityössä tehtyjen selvitysten ja esitetyn toimintatapamallin tueksi laadittiin menetelmäohjeistus asfalttialan eri toimijoille bitumikaterouheen hyödyntämisen edistämiseksi. Ohjeistus löytyy tämän diplomityön liitteestä F.

Menetelmäohjeistuksen laatimisessa hyödynnettiin Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupungin julkaisemaa *Betonimurskeen hyödyntäminen infrarakentamisessa pääkaupunkiseudulla -ohjetta*. Bitumikaterouheen hyödyntämisen ohjeistukseen on koottu tiivistetysti tarvittavat tiedot bitumikaterouheen kelpoisuudesta, prosessoimisesta ja hyödyntämisestä asfalttiteollisuudessa. Ohjeistus on laadittu tämän hetkisen tutkimustiedon perusteella ja sitä tulisi päivittää tulevaisuudessa, kun bitumikaterouheen hyödyntämisestä saadaan lisää kokemusta.

Yksiselitteistä kaikkia uusia materiaaleja koskevaa ohjeistusta on mahdotonta luoda, sillä materiaalin ominaisuudet ja käyttö vaikuttavat yksilöllisesti kunkin materiaalin kierrätysprosessiin. Tässä diplomityössä laadittua menetelmäohjeistusta voidaan kuitenkin käyttää pohjana muiden asfaltissa käytettävien uusien kierrätysmateriaalien ohjeiden luomisessa.

Menetelmäohjeistuksen laatimisen yhteydessä jäi kuitenkin avoimeksi kysymykseksi se, kenen vastuulle uusien ohjeiden päivittäminen jää, sekä yleisesti kysymys siitä, minkä tahon julkaisema ja siten myös ylläpitämä tällaisen uuden ohjeistuksen tulisi olla. Lainsäädännössä on asetettu tavoitteita rakennusmateriaalien kierrätykselle ja hyötykäyttöön ja lostamiselle, mutta käytännössä uusien kierrätysmateriaalikoekilujen edistämiseksi ja kannustamiseksi ei ole vielä luotu toimivia prosesseja.

Uusien vähän tutkittujen kierrätysmateriaalien teknisen kelpoisuuden riittävä osoittaminen on vaikeaa, erityisesti asfaltin pitkäaikaisen kestävyuden kannalta. Projektin aikana onkin tullut esille asfalttialan eri toimijoiden huoli siitä, heikentävätkö uudet materiaalit asfaltin teknistä toimivuutta ja kierrätettävyyttä. Kokemusta materiaalien vaikutuksesta asfaltin pitkäaikaiskestävyyteen on vaikea saada muuten kuin seuraamalla koekohteiden kuntoa valmistuksen jälkeen. Kun pitkäaikaiskestävyydestä ei ole varmuutta, uusien materiaalien käyttöönottoa epäröidään, sillä kokeilun epäonnistumisesta aiheutuvaa riskiä halutaan luonnollisesti välttää.

Työn aikana heräsi kysymys siitä, minkä tahon vastuulla kiertotalouteen tähtäävien koekilujen tulisi olla. Rakennusmateriaalien kiertoon tähtäävät tavoitteet tarjoavat globaaleja kestävä kehityksen mukaisia hyötyjä ja siksi tilaajat ja viranomaiset pitäisi saada vahvasti mukaan kierrätysmateriaalikoekilujen edistämiseen sekä tuotteen varsinaiseen hyödyntämiseen. Kiertotalouskokeiluihin sisältyvät riskit ja mahdolliset ongelmat ja tappiot eivät saisi jäädä pelkästään työn tekijän vastuulle, joten tilaajat ja viranomaiset olisi erityisen tärkeää saada mukaan materiaalien hyödyntämiseen projektien alusta asti.

Esille nousee myös kysymys siitä, onnistutaanko rakennusteollisuudelle asetettuja kierrätystavoitteita täyttämään ilman, että lainsäädännössä veloitettaisiin kierrätysmateriaalikoekiluihin ja toimivien materiaalien hyödyntämiseen tai ilman, että tilaajat velvoittavat käyttämään tiettyjä kierrätysmateriaaleja. Tämä siksi, että urakoitsijan hyödyt eroavat globaaleista kestävä kehityksen hyödyistä. Jos urakoitsija ei saa merkittävää taloudellista hyötyä kierrätysmateriaalin käytöstä, vaikuttaa siltä, että muut kuin veloitteet eivät ohjaa toimintaa pitkän tähtäyksen yleisten hyötyjen suuntaan.

Ennen tuotteen teollisen mittakaavan hyödyntämistä sen käyttökelpoisuus on pystyttävä osoittamaan ja tarvittavien hyväksyntien on oltava kunnossa. Näiden selvittämiseen ja osoittamiseen kuluu kuitenkin valtavasti aikaa. Tätä bitumikaterouheen käyttökelpoisuuden osoittamiseen tähtäävää tutkimusta on yksinään tehty 1,5 vuotta ja jo paljon tätä ennen on tehty alustavia tutkimuksia ja selvityksiä, joiden tuloksia ei kuitenkaan ole pidetty riittävinä teollisen mittakaavan hyödyntämisen aloittamisen kannalta. Samalla usean vuoden ajan on käytetty aikaa eri hyväksyntien saamiseen.

Tässä diplomityössä demokohteena toimivan bitumikaterouheen hyödyntämisen kehittäminen on aloitettu vuosien 2009–2011 aikana tanskalaisen EU LIFE+ -projektin myötä. Sieltä saatujen hyvien kokemusten myötä menetelmä rantautui Suomeen ja tässä yhteydes-

sä vuosina 2014–2015 järjestettiin KIHU-hanke bitumikatejätteen erilliskeräyksen ja hyödyntämismahdollisuuksien selvittämiseksi. Riittävien raaka-ainevolyymien varmistamiseksi jätteen kerääminen on on täytynyt aloittaa jo tässä yhteydessä.

Vuonna 2014 aloitettiin myös EoW-menettelyn esiselvitys, jossa tutkittiin voidaanko tuotteelle hakea kyseistä statusta, mitä dokumentteja sen saamiseksi vaaditaan, millainen prosessi olisi käytännössä ja millaisia olisivat sen vaikutukset. Esiselvityksen pohjalta EoW-statusta päätettiin hakea. Tammikuussa 2015 pidettiin asiasta kokous Ympäristöministeriön kanssa ja toukokuussa neuvottelu aluehallintovirastossa. Näiden jälkeen kesäkuussa 2015 hakemus EoW-statukselle laitettiin vireille ja päätös siitä saatiin huhtikuussa 2016. Tätä ennen Suomessa on viety läpi vain yksi EoW-prosessi, joka oli yhtiön sisäinen eli prosessiltaan erilainen. Samalla vuonna 2015 aloitettiin tuotteen CE-merkitsemiseen tähtäävä ETA- ja siihen liittyvä EAD-prosessi. EAD on julkaistu elokuussa 2016, mutta sen pohjalta laadittava ETA ei ehtinyt valmistua tämän diplomityön aikana.

Vaikka rakennustuotteiden kiertoon ohjaamiselle on asetettu kansallisia ja jopa EU:n laajuisia tavoitteita, lainsäädäntö vaikeuttaa myös osaltaan kiertotalouden toteutumista. Uuden kierrätysmateriaalin jalostamiseen jätteestä tuotteeksi kuluu paljon aikaa, kuten edellä kuvattiin. Tällöin erityisesti jäteverolaissa asetettu vain kolmen vuoden verovapaa aika uusien hyötykäyttöön tarkoitettujen jättemateriaalien säilytyksessä aiheuttaa merkittävän taloudellisen riskin jättemateriaalin jalostajalle ja aiheuttaa siten epävarmuutta uusien kokeilujen aloittamiseen.

Uusien kierrätykseen pohjautuvien materiaalien kehittämisen ja hyödyntämisen edistämiseksi jäteverolaista aiheutuvaa riskiä tulisi pienentää. Tämän toteuttamiseksi on useita erilaisia keinoja ja ne voisivat olla lupakäytäntöihin ja tuotteen statukseen liittyviä tulintoja tai muutoksia jäteverolainsäädäntöön. Tässä on esitetty muutamia vaihtoehtoisia keinoja, joilla tähän voitaisiin vaikuttaa.

- Tällä hetkellä jättemateriaali, jota ei vielä ole prosessoitu tuotteeksi, luokitellaan jätteenä, vaikka sen tuotteistamiseksi olisi toimiva prosessi ja se on toimitettu tuotteen jalostajalle. Jos EoW-päätöksellä muutettaisiin jättestatuksen päättymisen ajankohta siihen hetkeen, kun jättemateriaali toimitetaan jätettä prosessoivan toimijan haltuun, ei materiaalin varastointi silloin kuuluisi enää jätelainsäädännön piiriin ja jäteverolain aiheuttama riski poistuisi.
- Jäteveroasetuksella voitaisiin tapauskohtaisesti poiketa jäteverolaista EoW-statuksen tuotteissa käytettävien materiaalien osalta.
- Ympäristölainsäädännön sujuvuutta voitaisiin tarkastaa ja asettaa jätteistä jalostettavien tuotteiden hyödyntämisen vaatimukset vastaaviksi kuin neitseellisten materiaalien.
- Jäteverolain kolmen vuoden verovapaata varastointiaikaa voitaisiin tapauskohtaisesti jatkaa kahdella vuodella, kun on kyse uudesta kierrätykseen pohjautuvasta materiaalista, jolla ei vielä ole vakiintunutta osaa markkinoilla.

Lisäksi tämän diplomityön aikana selvisi perustavanlaatuinen ongelma, joka koskee kaikkien uusien kierrätysmateriaalien vapaaehtoiseen CE-merkitsemiseen liittyvää ETA-menettelyä. Kuten kohdassa 3.5 käytiin läpi, ETA:a varten laadittava EAD on koko luonnosteluvaiheen ajan EOTA:n sisäinen dokumentti ja julkaisun jälkeen sen sisältöön ei voi enää

vaikuttaa. On täysin EOTA:n jäsenryhmien toiminnasta kiinni, konsultoivatko he tuotteen tulevaa hyödyntäjäryhmää ja kyseisen alan asiantuntijoita EAD:n luonnostelussa. EAD:ssa ja sen pohjalta laadittavassa ETA:ssa määritetään kaikki ne ominaisuudet, jotka tuotteesta on selvítettävä ja ilmoitettava. Jos nämä dokumentit eivät sisällä hyödyntäjien kannalta kaikkea tarvittavaa tietoa, tuotteen hyödyntäminen on vaikeaa ja siksi hyödyntämistä ei välttämättä pystytä aloittamaan. Uuden tuotteen kaupallistaminen ei onnistu, jos tuotteesta jää määrittämättä käyttäjäryhmän kannalta olennaisia tietoja. Tämän takia asiantuntijaryhmien konsultointi ja yhteistyö eri sidosryhmien kesken on erityisen tärkeää uusien kierrätysmateriaalien hyödyntämistä edistävien dokumenttien luomisessa.

Uusien materiaalien kestävä ja kannattavan käyttöönoton edistämiseksi eri tahojen ja sidosryhmien välinen yhteistyö on erityisen tärkeää. Näin jokainen osapuoli voi tuoda esille tärkeitä asioita, joita tulisi tutkia ja arvioida uuden materiaalin markkinoille saattamisen yhteydessä.

Tässä diplomityössä tehtyjen selvitysten mukaan bitumikaterouhe soveltuu käytettäväksi asfaltin ainesosana, mutta sen teollisen mittakaavan hyödyntämisen aloittaminen on hidasta ja vaikeaa. Bitumikaterouheen hyödyntäminen asfaltissa kuitenkin edistäisi rakennustuotteiden kiertotaludelle asetettujen tavoitteiden täyttymistä, joten tästä syystä osana tätä diplomityötä laadittiin menetelmäohjeistus, jossa käydään läpi olennaiset asiat bitumikaterouheen käytöstä.

Kun uuden kierrätysmateriaalin soveltuvuus asfaltin ainesosaksi on varmistettu, tämän materiaalin hyödyntämistä edistäisi maininta kansallisissa normeissa tai erilaisissa uusiomateriaalien hyödyntämisen oppaissa ja mahdollisuuksien mukaan myös lainsäädännössä, esimerkiksi valtioneuvoston asetuksessa asfalttiasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista, jossa mainitaan asfalttijätteen ja lentotuhkan hyödyntäminen. Näihin tavoitteisiin tähdäten, tämän diplomityön ja koko Tekes-INKA-projektin tuloksia on saatettu Asfalttinormitoimikunnan tietoon, jotta seuraavassa Asfalttinormien julkaisussa voitaisiin mainita bitumikaterouheen hyödyntäminen. Työn aikana ei vielä varmistunut, tuleeko maininta uuteen painokseen, mutta yhteistyö asian edistämiseksi on aloitettu.

## 8 Yhteenveto ja suositukset

Tämä diplomityö tehtiin osana "Kierrätysasfaltin markkinakelpoisuuden edellytysten luominen, demo-kohteena kattuhuopaa sisältävä asfaltti" -tutkimusprojektia, joka kuuluu Tekesin hallinnoimaan INKA-ohjelmaan. Työn tavoitteena oli selvittää demokohteen eli bitumikaterouheen soveltuvuutta asfaltin ainesosaksi ja luoda toimintatapamalli ja menetelmäohjeistus uusien kierrätysmateriaalien hallitun käyttöönoton edistämiseksi asfalttiteollisuudessa. Työ koostui kirjallisuustutkimuksesta, koekohteilta porattujen näytteiden laboratoriokokeista, koekohteiden visuaalisista tarkastuksista sekä käyttökokemusten haastatteluista.

Työssä käytetty tutkimusaineisto koostui vuosina 2014–2016 päälystetyistä kahdeksasta koekohteesta, joissa oli käytetty bitumikaterouhetta asfaltin ainesosana. Kaikille koekohteille tehtiin visuaalinen tarkastus ja kahden koekohteen, katualueen ja teollisuuskiinteistön piha-alueen, päälysteistä porattiin yhteensä 57 bitumikatetta sisältävää poranäytettä sekä 71 referenssinäytettä. Näille näytteille tehtiin laajat laboratoriotutkimukset, joista saadut tulokset olivat olennainen osa tätä diplomityötä.

Kirjallisuustutkimuksessa selvitettiin kansainvälisesti tehtyjä tutkimuksia bitumikaterouheen hyödyntämisestä asfaltin ainesosana, bitumikatteista käytettyä terminologiaa sekä uusien kierrätysmateriaalien markkinoille saattamiseen liittyviä seikkoja. Kirjallisuustutkimuksessa selvisi, että pohjois-amerikkalaista tutkimusta aiheesta on tehty valtavasti ja erityisesti Yhdysvalloissa bitumikaterouheen hyödyntäminen asfaltin ainesosana on yleistä monissa osavaltioissa. Myös Pohjoismaissa bitumikaterouheen hyödyntämisestä on tehty koekohteita, mutta käytäntö ei ole yleistä kuten Yhdysvalloissa. Päälysteille asetetut vaatimukset, ilmaston olot ja bitumikatteissa käytetyt bitumit ovat erilaisia eri maissa, joten on tehtävä myös suomalaista tutkimusta aiheesta.

Bitumikatteista on käytetty yleisnimeä kattuhuopa, mutta tässä työssä tultiin siihen tulokseen, että on suositeltavampaa käyttää termiä bitumikate, jota nykyään valmistettavista bitumisista katteista käytetään. kansainvälisesti kierrätetystä bitumikatteesta käytetään termiä *recycled asphalt shingles* ja siitä lyhennettä RAS. Myös tässä työssä käytettiin kyseistä lyhennettä kierrätetyn bitumikatteen alkuperän tarkentamisessa purku-RAS tai teollisuus-RAS sekä bitumikaterouhetta sisältävästä asfalttimassasta RAS-massa ja päälysteestä RAS-päälyste. Lyhennettä voidaan käyttää myös asfalttilajien ilmaisun yhteydessä AB16RC50+2%RAS.

Työn aikana selvisi, että uusien kierrätykseen pohjautuvien rakennustuotteiden markkinoille saattamisessa tärkeitä näkökulmia ovat lainsäädännön vaatimusten täyttymisen osoittaminen erilaisin hyväksymismenettelyin sekä tuotteen käyttökelpoisuuden osoittaminen. Erilaisia hyväksymismenettelyitä ovat harmonisoituun tuotestandardiin tai eurooppalaiseen tekniseen arviointiin perustuva CE-merkintä tai kansallinen tyyppihyväksyntä. Jätteistä jalostettujen tuotteiden kaupallistamisen kannalta myös tuotteen mahdollinen EoW-status on merkittävä, sillä se helpottaa tuotteen varastointiin ja hyödyntämiseen tarvittavia lupamenettelyjä.

Työn aikana tehdyt selvitykset nostivat esille sen, että uusien kierrätysmateriaalien markkinoille saattamisessa on erityisesti jäteverolakiin ja eurooppalaiseen arviointiasiakirjaan liittyviä ongelmia. Jäteverolain asettama kolmen vuoden verovapaa aika jätemateriaalin

varastoiselle aiheuttaa riskin jättemateriaalin jalostajalle. Eurooppalainen arviointiasiakirja toimii vapaaehtoisen CE-merkinnän perustana ja se on koko luonnosvaiheen EOTA:n sisäinen dokumentti. Jos dokumentin laadinnassa ei konsultoida uuden tuotteen hyödyntäjäryhmää, on riskinä, että dokumentti ei sisällä kaikkia tarvittavia tietoja, jolloin tuotteen hyödyntäminen ei välttämättä onnistu. Näihin ongelmakohtiin puuttuminen on erityisen tärkeää uusien kierrätysmateriaalien hallitun käyttöönoton edistämiseksi. Myös kierrätysmateriaalin määrittäminen asfaltin raaka-aineeksi, lisäaineeksi tai seosaineeksi on olennaista tuotteen tuomiseksi kansallisiin normeihin. Kaiken uuden materiaalin markkinoille saattamiseen liittyvän toiminnan kannalta parhaan lopputuloksen varmistamiseksi yhteistyö eri tahojen kesken on välttämätöntä. Kaiken uuden materiaalin markkinoille saattamiseen liittyvän toiminnan kannalta eri tahojen välinen yhteistyö on välttämätöntä parhaan lopputuloksen varmistamiseksi.

Uuden kierrätysmateriaalin käyttökelpoisuuden arvioimisessa on otettava huomioon tekninen ja terveydellinen soveltuvuus sekä ympäristökelpoisuus. Uuden kierrätysmateriaalin ympäristökelpoisuuden kannalta oli olennaista selvittää, että materiaalista ei kulkeudu luontoon haitallisia aineita. Terveydellisen soveltuvuuden kannalta oli olennaista selvittää, että uutta materiaalia tutkivat ja työstävät henkilöt ja tuotetta hyödyntävät henkilöt eivät altistu haitallisille tai vaarallisille aineille. Myös loppukäyttäjien terveys oli otettava huomioon, uutta tuotetta sisältävästä päällysteestä irtoava pöly ei saa aiheuttaa haittaa tienkäyttäjille. Tässä diplomityössä tehtyjen selvitysten perusteella bitumikaterouheen hyödyntäminen asfaltin ainesosana ei aiheuta haittaa ympäristölle tai terveydelle.

Bitumikaterouheen teknisen soveltuvuuden selvittäminen oli keskeinen osa tätä diplomityötä. Tätä varten tehtiin mittavia laboratoriokeiteita, joilla selvitettiin bitumikaterouheen vaikutusta asfalttimassan ominaisuuksiin ja verrattiin näitä ominaisuuksia referenssinäytteisiin. Koekohteen 1 referenssi- ja RAS-poranäytteille tehtyjen laboratoriotutkimusten perusteella bitumikaterouheen lisääminen näyttäisi nostavan asfalttimassan jäykkyyttä ja deformaatiokestävyyttä. RAS-näytteiden jäykkyydet olivat kuitenkin tavanomaisia verrattuna Aalto-yliopiston tielaboratoriossa tutkittuihin muihin suomalaisiin asfalttimassoihin. Halkaisuvelolujuudessa ja muissa massa- ja kappaletesteissä ei ollut merkittäviä eroja bitumikate- ja referenssimassojen välillä.

Myös DSR-mittauksissa havaittiin RAS-näytteistä uutettujen sideaineseosten olevan jäykempiä sekä vähemmän virtaavia kuin referenssinäytteistä uutetut sideaineseokset. Bitumikatteen lisääminen nosti sideaineseosten kompleksimoduulia ja pienensi vaihekulmaa. Lisäksi Glover-Rowe parametri osoitti sideaineseoksen jäykkyyden ja virtaavuuden riippuvuuden muuttuvan siten, että bitumikatteen lisäys heikensi sideaineen kykyä virrata tietyllä jäykkyydellä. Fraass-murtumispiste- ja kompleksimoduulitestien perusteella referenssi- ja RAS-näytteiden kylmäominaisuuksissa ei kuitenkaan havaittu eroja. Tämän tutkimuksen perusteella bitumikaterouhe soveltuu myös teknisesti käytettäväksi asfaltin ainesosana.

Myös visuaalisten tarkastusten ja käyttökokemushaastattelujen perusteella bitumikaterouhe soveltuu asfaltin ainesosaksi. Koekohteet olivat visuaalisten tarkastusten hetkellä 1–3 vuotta vanhoja ja kaikkien koekohteiden yleisilme oli hyvä. Bitumikaterouhetta sisältävien päällysteiden ja referenssipäällysteiden välillä ollut havaittavissa eroja. Käyttökokemushaastattelujen perusteella bitumikaterouhetta 2–4 paino-% sisältävä asfaltti soveltuu erityisesti kantaviin kerrokseen sekä kohteisiin, joissa massan jäykkyys ei ole haitaksi. Myös

kulutuskerrokset ovat sopivia kohteita, jos levitystyö tehdään koneellisesti.

Bitumikaterouheen jäykkyyttä lisäävä ominaisuus saattaa haitata rouheen käyttöä kohteissa, joissa jäykkyyden lisäys ei ole toivottua varsinkin, jos sen lisäämistä ei oteta huomioon jo asfalttimassan suunnittelussa. Käyttökokemusten perusteella erityisesti käsityönä lapiolla tai kolalla käsiteltynä massa jämähtää ja lajittuu herkemmin. Bitumikaterouhetta sisältävä massa ei välttämättä säily auton lavalla pitkiä matkoja yhtä hyvänä kuin perinteinen massa. Bitumikaterouheen käytöstä on raportoitu hajuhaittoja, jos käytetyt määrät tai lämpötilat ovat olleet korkeita.

Bitumikatejätteen hyödyntäminen asfaltin valmistuksessa tuo kuitenkin monia yhteiskunnallisia etuja koko prosessiin, bitumikatteen keräyksestä asfaltin valmistukseen. Saneerausmaiden kannalta bitumikatteen kierrättäminen on edullisempaa kuin sen hävittäminen jätteenä energiaksi. Materiaalisältönsä puolesta bitumikate ei erityisesti sovellu poltettavaksi, joten materiaali saadaan paremmin hyötykäyttöön kierrättämällä se raaka-aineeksi. Myös asfalttiteollisuudelle bitumikatteen käytöstä saadaan sekä ekologisia että taloudellisia hyötyjä. Käyttämällä bitumikaterouhetta asfaltin ainesosana voidaan vähentää asfalttiin tarvittavan tuoreen bitumin määrää ja siten säästää luonnonvaroja sekä pienentää asfalttimassan valmistusenaikaisia hiilidioksidipäästöjä, kun valmistukseen lasketaan mukaan myös raaka-aineen hankinnan ja kuljetuksen päästöt. Bitumikaterouheesta saatava kierrätysbitumi on myös halvempaa kuin tuore bitumi, joten tämä uusi teknologia tarjoaa myös taloudellisia etuja asfaltin valmistukseen.

Työssä tehtyjen selvitysten perusteella laadittiin toimintatapamalli edistämään uusien kierrätysmateriaalien hallitun käyttöönoton edistämiseksi ja menetelmäohje edistämään bitumikaterouheen hyödyntämistä asfaltin ainesosana. Laadittu toimintatapamalli koostuu kahdesta vaiheesta, jotka on esitetty prosessikaaviona kohdassa 7. Menetelmäohjeistus bitumikaterouheen hyödyntämisestä on esitetty liitteessä E. Jokaisen materiaalin ominaisuudet ja käyttö vaikuttavat yksilöllisesti materiaalin kierrätysprosessin ja hyödyntämiseen, joten yksiselitteistä kaikkia materiaaleja koskevaa ohjeistusta on mahdotonta laatia. Tässä laadittua menetelmäohjeistusta voidaan kuitenkin hyödyntää pohjana muiden uusien kierrätysmateriaalien ohjeiden laatimisessa.

Bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin tutkimista suositellaan jatkettavaksi eri näkökulmista, jotta bitumikaterouheen vaikutuksia päällysteelle saadaan kartoitettua mahdollisimman laajasti. Tutkitut bitumikaterouhetta sisältävät asfalttimassat valmistettiin vähentämällä tuoreen bitumin määrää referenssimassoihin verrattuna, jolloin bitumikaterouhetta sisältävän massan sideaineseos oli jo lähtökohtaisesti jäykempää. Olisi tarpeen verrata sellaisia bitumikaterouhetta sisältäviä massoja ja referenssimassoja keskenään joissa jo massojen suunnittelussa tähdätään samaan sideaineseoksen jäykkyyteen ja tutkia tällaisten asfalttimassojen ja sideaineseosten ominaisuuksia ja eroja. Tutkituissa massoissa bitumikaterouhetta oli käytetty 2 paino-%, joten eri määriä bitumikaterouhetta sisältävien asfalttimassojen ominaisuuksien tutkimista suositellaan. Näin voidaan selvittää asfaltissa käytettävän bitumikaterouheen enimmäismäärä, jolla vielä pystytään valmistamaan toivotut ominaisuudet täyttäviä asfalttimassoja.

Tämän tutkimuksen koekohteiden ja myös muiden bitumikaterouhetta sisältävien päällystyskohteiden pitkäaikaista seuranta suositellaan. Näin saadaan tietoa bitumikaterouhetta

sisältävän asfaltin pitkäaikaiskestävyydestä suomalaisissa oloissa. Myös bitumikaterou-  
hetta sisältävän asfaltin ja sideaineseoksen kylmäkestävyyden tutkimista suositellaan jat-  
kettavaksi. Lisäksi bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin soveltuvuutta uudelleenkierrätet-  
täväksi suositellaan tutkittavan.



## Lähdeluettelo

AASHTO. 2006a. (Päivitetty 2010). *Standard Specification For Use of Recycled Asphalt Shingle as an Additive in Hot Mix Asphalt*. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 4 s.

AASHTO. 2006b. (Päivitetty 2010). *Standard Recommended Practice for Design Considerations when using Recycled Asphalt Shingles in New Hot Mix Asphalt*. R-2005A TS-2c. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO). 6 s.

Ahokas, P. 2016. *PAH-yhdisteet bitumikatteissa ja niiden aiheuttamat riskit bitumikatteiden kierrätykselle*. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu, Ympäristönsuojeluteknikka. Lahti. 50 s.

Aluehallintovirasto. 2016. *Ympäristöluvut*. Viitattu [31.3.2017]. Saatavissa: <https://www.avi.fi/web/avi/ymparistoluvat#.WN4NHE6RXdE>

ARMA. 2011. *The Bitumen Roofing Industry – A Global Perspective: Production, Use, Properties, Specifications and Occupational Exposure*. The Asphalt Roofing Manufacturers Association (ARMA), The Bitumen Waterproofing Association (BWA), The National Roofing Contractors Association (NRCA) & The Roof Coatings Manufacturers Association (RCMA). 56 s. ISBN 978-0-9815948-3-5.

Aromaa, K. 2016. *Bitumin vanhenemisen ja elvyttämisen vaikutukset sen reologisiin ominaisuuksiin*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Espoo. 111 + 17 s.

ASKO. 2012. *Turvallisuus ja ympäristö*. Asfalttialan koulutusohjelma (ASKO). Oppimateriaali, osa B12. 15 s. Viitattu [10.4.2017]. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/opinnaytteet-ja-muut-selvitykset/asko-asfalttialan-koulutusohjelma>

Bahia, H. U. 2009. *Chapter 2: Modeling of Asphalt Binder Rheology and Its Application to Modified Binders*. Teoksessa: Kim, Y. R. (toim.) *Modeling of Asphalt Concrete*. New York: American Society of Civil Engineers. S. 11–61. ISBN 978-0-07-146462-8.

Bank, K. 2012a. *Innovative recycling of bitumen felt roofing material – From Roof to Road*. EU LIFE+ -projekti. LIFE07/ENV/DK/000102. Projektin loppuraportti. 46 s.

Bank, K. 2012b. *Innovative recycling of bitumen felt roofing material – From Roof to Road*. EU LIFE+ -projekti. LIFE07/ENV/DK/000102. Projektin yhteenveto. 2 s.

Blomberg, T. 1990. *Bitumit*. Jyväskylä: Neste Oy ja Rakentajain Kustannus Oy. 154 s. ISBN 951-676-488-6.

Brundtland, G. H. 1987. *Our Common Future*. Report of the World Commission on Environment and Development.

Cui, P., Wu, S., Li, F., Xiao, Y. & Zhang, H. 2014. *Investigation on Using SBS and Active Carbon Filler to Reduce the VOC Emission from Bituminous Materials*. *Materials* 7. S. 6130–6143. ISSN 1996-1944. DOI 10.3390/ma7096130.

EOTA. 2016. *Additives for asphalt production – additive from bitumen granules made from recycled bituminous roofing felt*. European assesment document. EAD 230012-00-0105. European Organisation for Technical Assessment (EOTA). 10 s.

EOTA. 2017a. *Do You want to CE mark your construction product?* European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <https://www.eota.eu/en-GB/content/do-you-want-to-ce-mark-your-construction-product/18/>

EOTA. 2017b. *Elements of the ETA process*. European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <https://www.eota.eu/en-GB/content/elements-of-the-eta-process/19/>

EOTA. 2017c. *How an EAD is developed?* European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <https://www.eota.eu/en-GB/content/how-an-ead-is-developed/40/>

EOTA. 2017d. *How to find a TAB?* European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <https://www.eota.eu/en-GB/content/how-to-find-a-tab/55/>

EOTA. 2017e. *Who we are?* European Organisation for Technical Assessment (EOTA). Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <https://www.eota.eu/en-GB/content/who-we-are/33/>

Foo, K. Y., Hanson, D. I. & Lynn, T. A. 1999. *Evaluation of Roofing Shingles in Hot Mix Asphalt*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 11. S. 15–20. ISSN 0899-1561.

Glover, C. J., Davison, R. R., Domke, C. H., Ruan, Y., Juristyarini, P., Knorr, D. B., & Jung, S. H. 2005. *Development of a new method for assessing asphalt binder durability with field validation*. Texas Transportation Institute. Texas A & M University System. No. FHWA/TX-05/1872-2. 334 s.

Hansen, K. R. 2009. *Guidelines for the Use of Reclaimed Asphalt Shingles in Asphalt Pavements*. Information Series 136. National Asphalt Pavement Association (NAPA). 24 s.

Hansen, K. R & Copeland, A. 2015. *Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2014*. Information Series 138. National Asphalt Pavement Association (NAPA). 5th Annual Asphalt Pavement Industry Survey.

Hartonen, J. 2015. *Kattohuopajätteen uusiokäyttö asfalttimassassa*. Diplomityö. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka. Espoo. 35 s.

Helsingin, Espoon ja Vantaan kaupunki. 2015. *Betonimurskeen hyödyntäminen infraröntgensäteilä pääkaupunkiseudulla*. Ohje. 11 s.

Jätelaki (646/2011). Viitattu [7.2.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2011/20110646>

Jäteverolaki (1126/2010). Viitattu [5.5.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2010/20101126>

Karlsson, R. & Isacsson, U. 2006. *Material-Related Aspects of Asphalt Recycling—State-of-the-Art*. Journal of Materials in Civil Engineering. Vol. 18:1. S. 81–92. DOI 10.1061.

Kattoliitto. 2013. *Toimivat katot 2013*. Kattoliitto ry. 99 s. ISBN 978-952-269-091-3. ISBN 978-952-269-092-0 (pdf).

Kemikaalilaki (599/2013). Viitattu [7.2.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130599>

Kerabit. 2017. *Bitumikatto vai huopakatto?* Viitattu [15.3.2017]. Saatavissa: <http://www.kerabit.fi/tuotteet/katot/bitumikatto-vai-huopakatto>

King, G., Anderson, M., Hanson, D., & Blankenship, P. 2012. *Using black space diagrams to predict age-induced cracking*. Teoksessa: Scarpas, A., Kringos, N., Al-Qadi, I. & Loizos, A. (toim.). 7th RILEM International Conference on Cracking in Pavements. s. 453-463.

Korhonen, A. 2016. *Kierrätetty kattuhuoparouhe kestävä ja ympäristöystävällinen ratkaisu*. Mediaplanet. Teknologiatieto. Viitattu [29.3.2017]. Saatavissa: <http://www.teknologiatieto.com/innovaatiot/kierratetty-kattuhuoparouhe-kestava-ja-ymparistoystavallinen-ratkaisu>

Krivot, D. 2007. *Recycling Tear-Off Asphalt Shingles: Best Practices Guide*. The Construction Materials Recycling Association. 44 s.

Laitinen, V. 2014. *EN-standardit ja CE-merkintä*. Seminaariesitys. PANK-menetelmäpäivä 23.1.2014. Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <http://www.pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/muita-seminariaineistoja/menetelmapaivat/23-1-2014>

Leiskallio, A., Ekholm, E., Vehviläinen, J., Mäntynen, M. & Makkonen, O. 2015. *Askel kohti kierrätystä - Kipsi- ja kattuhuopajätteiden keräys kierrätykseen*. Kipsi- ja kattuhuopajätteiden keräys kierrätykseen -hankkeen loppuraportti. 22 s.

Liikennevirasto. 2013. *Rakennustuotteiden CE-merkintä*. Opas. 5 s.

Maankäyttö- ja rakennuslaki (132/1999). Viitattu [5.5.2017]. Saatavissa: <http://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990132>

Makowska, M., Aromaa, K. & Pellinen, T. 2017. *The rheological transformation of bitumen during the recycling of repetitively aged asphalt pavement*. Road Materials and Pavement Design. Vol. 18, No. S2. S. 50-65. DOI 10.1080/14680629.2017.1304266.

Makowska, M., Leveinen, J., Pellinen, T. & Marjamaa, R. 2015. *Composition of abraded dust from asphalt pavement produced using ferrochromium smelter slag (OKTO-aggregate)*

Malaska, P. 1994. *Kestävä kehitys*. Raportti määritelmää pohtineen työryhmän keskusteluista.

McGraw, J., Zofka, A., Krivot, D., Schroer, J., Olson, R. & Marasteanu, M. 2007. *Recycled Asphalt Shingles in Hot Mix Asphalt*. Asphalt Paving Technology-Proceedings, 76:235.

Ojansivu. 2016. *Kattuhuopajätteestä syntyy Lahdessa asfaltin lisäainetta*. Helsingin Sanomat. Viitattu [29.3.2017]. Saatavissa: <http://www.hs.fi/kotimaa/art-2000002909094.html>

Olander, T. 2016. *Asbestin käyttö Icopal Oy:n valmistamissa tuotteissa*. Icopal Oy. Tiedote. 1 s.

- Pajunen, T. 2017. *Asbestisairaudet*. Hengityслиitto. Viitattu [13.4.2017]. Saatavissa: <http://www.hengityслиitto.fi/fi/hengityssairaudet/asbestisairaudet>
- PANK ry. 2011. *Afalttinormit 2011*. Päällystealan neuvottelukunta PANK ry. 118 s. ISBN 978-952-99985-1-7.
- PANK-2401. 2009. *Kiviainekset, ominaispinta-ala, typpiadsorptiomenetelmä*. Päällystealan neuvottelukunta PANK ry. 3 s.
- Paulsen, P., Stroup-Gardiner, M. & Epps, J. 1986. *Roofing waste in asphalt paving mixtures*. Center for Construction Materials Research. University of Nevada, Department of Civil Engineering. 44 s.
- Pellinen, T. K. 2004. *Conceptual Performance Criteria for Asphalt Mixtures*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 73, S.337-366.
- Pellinen, T. K. & Xiao, S. 2006. *Development of hot-mix asphalt performance criteria for Indiana*. Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, Vol. 75, S.1–40.
- Perttilä, A. 2014. *Purkubitumista uusioasfalttia*. Konepörssi. Kuljetuskaluston ja työkoneiden ammattilehti. Viitattu [19.4.2017]. Saatavissa: <http://www.koneporssi.com/uutiset/purkubitumista-uusioasfalttia/>
- Petersen, J. C. 2009. *A review of the fundamentals of asphalt oxidation: chemical, physicochemical, physical property, and durability relationships*. Transportation Research Circular. Number E-C140. Transportation Research Board. 68 s. ISSN 0097-8515.
- Priha, E., Taxell, P., Ahonen, I., Elovaara, E., Mäkelä, M., Vainiotalo, S., Zitting, A. & Santonen, T. 2016. *PAH-yhdisteiden tavoitetasoperustelumistö*. Työterveyslaitos. 27 s. Tavoitetaso TY-01-2010.
- Puurunen, H. 2000. *Huopakaton korjaus*. Korjauskortisto. Museovirasto. 8 s. ISSN 1236-4517.
- Rantanen, T. 2016. *Asbestin käyttö Katepal Oy:n tuotteissa*. Katepal Oy. Tiedote. 1 s.
- Ruan, Y., Davison, R. R., & Glover, C. J. 2003a. *An Investigation of Asphalt Durability: Relationships Between Ductility and Rheological Properties for Unmodified Asphalts*. Petroleum Science and Technology. Vol. 21:1-2. S. 231-254. ISSN 1091-6466. DOI 10.1081/LFT-120016946.
- Ruan, Y., Davison, R. R., & Glover, C. J. 2003b. *The effect of long-term oxidation on the rheological properties of polymer modified asphalts*. Fuel. Vol. 82:14. S. 1763-1773. DOI 10.1016/S0016-2361(03)00144-3.
- Savioja, P. 2016. *Asbesti bitumikatteissa ja sen aiheuttamat riskit bitumikatteiden kierrätyksessä*. Opinnäytetyö. Lahden ammattikorkeakoulu, Ympäristönsuojelutekniikka. Lahti. 64 s.
- SFS-EN 1097-6. 2014. *Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 6: Kiintotiheyden ja vedenimukyvyn määrittäminen*. Helsinki: Suomen Standardisointiliitto SFS ry. 1 + 45 s.

SFS-EN 1097-7. 2008. *Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 7: Fillerikiviaineksen kiintotiheyden määrittäminen. Pyknometrinen menetelmä.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 11 s.

SFS-EN 12593. 2015. *Bitumen and bituminous binders. Determination of the Fraass breaking point.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 16 s.

SFS-EN 12697-1. 2013. *Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 1: Soluble binder content.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 47 s.

SFS-EN 12697-2. 2015. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 2: Rakeisuuden määrittäminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 11 s.

SFS-EN 12697-3. 2013. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 3: Bitumin talteenotto: Haihdutusmenetelmä.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 28 s.

SFS-EN 12697-5. 2010. *Bituminous mixtures. Test methods for hot mix asphalt. Part 5: Determination of the maximum density.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 20 s.

SFS-EN 12697-6. 2012. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 6: Asfalttinäytteen kapaleitiheyden määrittäminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 32 s.

SFS-EN 12697-8. 2003. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 8: Asfalttinäytteen tyhjätilan määrittäminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 15 s.

SFS-EN 12697-12. 2009. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 12: Asfalttinäytteen vedenkestävyyden määrittäminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 33 s.

SFS-EN 12697-16. 2016. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 16: Nastarengaskuluminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 21 s.

SFS-EN 12697-23. 2004. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 23: Asfalttinäytteen halkaisuvetolujuuden määrittäminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 21 s.

SFS-EN 12697-25. 2016. *Bituminous mixtures. Test methods. Part 25: Cyclic compression test.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 32 s.

SFS-EN 12697-26. 2012. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 26: Jäykkyys.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 101 s.

SFS-EN 12697-29. 2003. *Asfalttimassat. Testausmenetelmät. Osa 29: Asfalttinäytteen ulkomittojen määrittäminen.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 11 s.

SFS-EN 13108-20. 2016. *Bituminous mixtures. Material specifications. Part 20: Type Testing.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 28 s.

SFS-EN 13108-21. 2016. *Bituminous mixtures. Material specifications. Part 21: Factory Production Control.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 29 s.

SFS-EN 1426. 2015. *Bitumen and bituminous binders. Determination of needle penetration.* Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 14 s.

SFS-EN 1427. 2015. *Bitumen and bituminous binders. Determination of the softening point. Ring and Ball method*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 17 s.

SFS-EN 14770. 2012. *Bitumen and bituminous binders. Determination of complex shear modulus and phase angle. Dynamic Shear Rheometer (DSR)*. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. 1 + 15 s.

Sengoz, B. & Topal, A. 2005. *Use of asphalt roofing shingle waste in HMA*. Construction and Building Materials 19(5). S. 337–346. DOI 10.1016/j.conbuildmat.2004.08.005.

Shell Bitumen U.K. 1990. *The Shell Bitumen Handbook*. Chertsey, United Kingdom: Shell Bitumen U.K. 336 s. ISBN 0-9516625-0-3.

Sitra. 2017. *Kiertotalous on Suomelle 2,5 miljardin euron mahdollisuus*. [Viitattu 6.2.2017]. Saatavissa: <http://www.sitra.fi/ekologia/kiertotalous>

Tarpaper Recycling. 2016. *Vaatimustenmukaisuusilmoitus BitumenMix*.

Tarpaper Recycling. 2017. *No more land filling or combustion of roofing felt waste*. [Viitattu 1.8.2017]. Saatavissa: <http://tarpaper.eu/Tarpaper-GB-2016/Home>

Tekes. 2017. *INKA – Innovatiiviset kaupungit*. Viitattu [7.2.2017]. Saatavissa: <https://www.tekes.fi/ohjelmat-ja-palvelut/ohjelmat-ja-verkostot/inka/>

Townsend, T, Powell, J, Xu, C. 2007. *Environmental Issues Associated With Asphalt Shingle Recycling*. Construction Materials Recycling Association.

Tukes. 2013. *Tuote-voc*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Viitattu [12.4.2017]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Kemikaalit-biosidit-ja-kasvinsuojeluaineet/Tuote-VOC/>

Tukes. 2014. *CE-merkintään vaadittavat toimenpiteet ja asiakirjat*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). Viitattu [6.6.2017]. Saatavissa: <http://www.tukes.fi/fi/Toimialat/Rakennustuotteet1/Rakennustuotteet/CE-merkinta/Toimenpiteet-ja-asiakirjat/>

Tukes. 2016. *Jätteestä kierrätetyt aineet ja REACH*. Turvallisuus- ja kemikaalivirasto (Tukes). 4 s.

Tuominen, J. 2013. *Rakennustuoteasetus ja asfalttien CE-merkintä voimaan 7/2013*. Seminaariesitys. PANK-menetelmäpäivä 24.1.2013. Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: <http://www.pank.fi/tekniset-vaatimukset/muut-julkaisut/muita-seminaaraineistoja/menetelmapaivat/24-1-2013>

Tuominen, K. 2014. *Kattohuopa hyötykäyttöön asfalttiteollisuuden uusioraaka-aineena. Bitumikatteiden keräys- ja kierrätyspalvelut*. Seminaariesitys. Jätehuoltopäivät 8.10.2014. Viitattu [10.4.2017]. Saatavissa: [http://www.jatehuoltoyhdistys.fi/ladattavat\\_tiedostot/Tuominen.pdf](http://www.jatehuoltoyhdistys.fi/ladattavat_tiedostot/Tuominen.pdf)

Tuominen, K. 2017. Maajohtaja. Tarpaper Recycling Finland Oy. Haastattelu 2.2.2017.

Työsuojeluhallinto. 2017. *Asbesti*. Työsuojeluhallinnon verkkopalvelu. Viitattu [13.4.2017]. Saatavissa: <http://www.tyosuojelu.fi/tyoolot/rakennusala/asbesti>

Valli, M. 2016. *Kattohuopa kiertää asfaltiksi*. Kuntatekniikka. Viitattu [29.3.2017]. Saatavissa: <http://kuntatekniikka.fi/2016/10/07/kattohuopa-kiertaa-asfaltiksi/>

Valtioneuvoston asetus asfalttiasemien ympäristönsuojeluvaatimuksista (846/2012). Viitattu [11.5.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2012/20120846>

Valtioneuvoston asetus eräiden jätteiden hyödyntämisestä maarakentamisessa (591/2006). Viitattu [4.4.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2006/20060591>

Valtioneuvoston asetus jätteistä (179/2012). Viitattu [7.2.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2012/20120179>

Valtioneuvoston asetus kaatopaikoista (331/2013). Viitattu [7.2.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130331>

VTT Expert Services Oy. 2015. *Rakennustuotteen ETA-arviointi ja CE-merkintä*. Viitattu [31.5.2017]. Saatavissa: [http://www.vttexpertservices.fi/palvelut/sertifiointi-ja-tuotehyv%C3%A4ksynt%C3%A4/sertifiointi\\_tuotteet/rakennustuotteiden-sertifiointi-ja-tuotehyv%C3%A4ksynt%C3%A4/rakennustuotteen-eta-arviointi-ja-ce-merkint%C3%A4](http://www.vttexpertservices.fi/palvelut/sertifiointi-ja-tuotehyv%C3%A4ksynt%C3%A4/sertifiointi_tuotteet/rakennustuotteiden-sertifiointi-ja-tuotehyv%C3%A4ksynt%C3%A4/rakennustuotteen-eta-arviointi-ja-ce-merkint%C3%A4)

West, R. C. 2015. *Best Practices for RAP And RAS Management*. Quality Improvement Series 129. National Asphalt Pavement Association (NAPA). 44 s.

World Health Organization (WHO). 2000. *CICAD 24 Crystalline silica, quartz*. Concise International Chemical Assessment Document 24. 54 s. ISBN 92 4 153023 5. ISSN 1020-6167.

Yang, J., Ddamba, S., UL-Islam, R., Safiuddin, Md. & Tighe, S. L. 2013. *Investigation on use of recycled asphalt shingles in Ontario hot mix asphalt: a Canadian case study*. Canadian Journal of Civil Engineering 41: s. 136–143.

Ympäristöministeriö. 2016. *Rakennustuotteita koskeva lainsäädäntö*. [Viitattu 6.4.2017]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Lainsaadanto\\_ja\\_ohjeet/Rakennustuotteita\\_koskeva\\_lainsaadanto](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Lainsaadanto_ja_ohjeet/Rakennustuotteita_koskeva_lainsaadanto)

Ympäristöministeriö. 2017a. *CE-merkintä*. [Viitattu 6.4.2017]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Rakennustuotteiden\\_tuotehyvaksynta/CEmerkinta/CEmerkinta%283636%29](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/CEmerkinta/CEmerkinta%283636%29)

Ympäristöministeriö. 2017b. *Kansalliset hyväksyntämenettelyt*. [Viitattu 6.2.2017]. Saatavissa: [http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto\\_ja\\_rakentaminen/Rakentamisen\\_ohjaus/Rakennustuotteiden\\_tuotehyvaksynta/Kansalliset\\_hyvaksyntamenettelyt](http://www.ymparisto.fi/FI/Maankaytto_ja_rakentaminen/Rakentamisen_ohjaus/Rakennustuotteiden_tuotehyvaksynta/Kansalliset_hyvaksyntamenettelyt)

Ympäristöministeriö. 2017c. *Kiertotalous*. [Viitattu 6.2.2017]. Saatavissa: <http://www.ymparisto.fi/FI/Ymparisto/Kiertotalous>

Ympäristönsuojelulaki (527/2014). Viitattu [7.2.2017]. Saatavissa: <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2014/20140527>

## Liiteluettelo

Liite A. Bitumikaterouheen käytöstä raportoineet Yhdysvaltain osavaltiot. 2 sivua.

Liite B. FTIR-menetelmä bitumiseoksen analysoinnissa. 1 sivu.

Liite C. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden laboratoriotutkimusten tulokset. 14 sivua.

Liite D. Koekohteiden visuaalisten tarkastusten dokumentaatiot. 7 sivua.

Liite E. Ohjeistus bitumikaterouheen hyödyntämisestä. 7 sivua.



## Liite A. Bitumikaterouheen käytöstä raportoineet Yhdysvaltain osavaltiot (muokattu lähteestä Hansen & Copeland 2015)

Osavaltio	Bitumikaterouhetta käytetty					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Alabama	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Alaska	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Arizona	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Arkansas	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Colorado	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä
Connecticut	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Delaware	Kyllä	Kyllä	NCR	Kyllä	Kyllä	Kyllä
District of Columbia	NCR	NCR	NCR	NCR	Ei	NCR
Etelä-Carolina	Ei	Ei	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Etelä-Dakota	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Florida	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä
Georgia	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei
Havaiji	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Idaho	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Illinois	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Indiana	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Iowa	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kalifornia	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kansas	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Kentucky	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Louisiana	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei
Länsi-Virginia	Kyllä	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei
Maine	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Maryland	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Massachusetts	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä
Michigan	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä

Osavaltio	Bitumikaterouhetta käytetty					
	2009	2010	2011	2012	2013	2014
Minnesota	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Mississippi	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Missouri	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Montana	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Nebraska	NCR	NCR	Ei	Kyllä	Kyllä	Ei
New Hampshire	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
New Jersey	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei
New Mexico	NCR	NCR	Ei	NCR	Ei	Ei
New York	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Nevada	Ei	Kyllä	Ei	Ei	Ei	Ei
Ohio	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Oklahoma	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Oregon	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Pennsylvania	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Pohjois-Carolina	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Pohjois-Dakota	NCR	NCR	Ei	NCR	Ei	Kyllä
Puerto Rico	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	NCR
Rhode Island	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Tennessee	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Texas	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Utah	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei	Ei
Vermont	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Virginia	Kyllä	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Washington	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Wisconsin	Ei	Ei	Kyllä	Kyllä	Kyllä	Kyllä
Wyoming	Ei	Ei	Ei	Ei	Kyllä	Ei

**NCR** Urakoitsijat eivät raportoineet bitumikaterouheen käytöstä

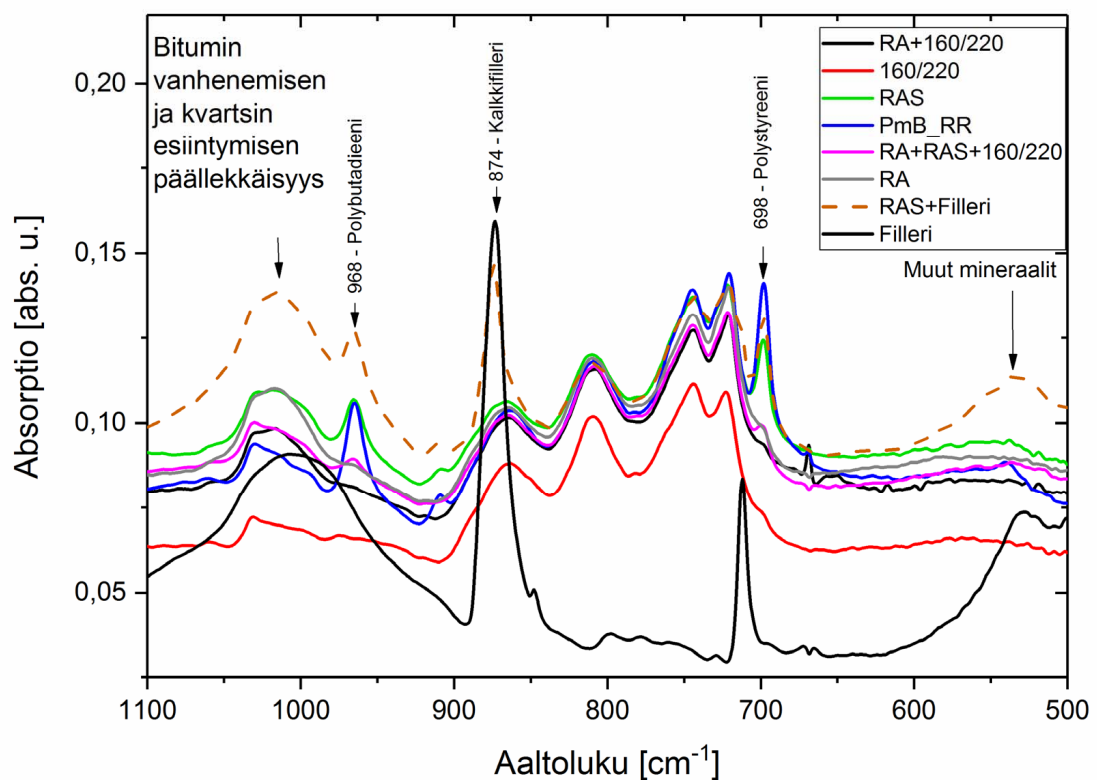
**Kyllä** Raportoitu, että bitumikaterouhetta on käytetty

**Ei** Raportoitu, että bitumikaterouhetta ei käytetty

## Liite B. FTIR-menetelmä bitumiseoksen analysoinnissa

Infrapunaspektroskopiassa molekyyliin kohdistetaan infrapunasäteilyä, josta osa ohittaa molekyylin ja osa absorboituu. Eri aineet absorboivat infrapunasäteilyä eri määrän ja tästä saatavien absorptiopiikkien muodostavan infrapunaspektrin avulla eri aineet voidaan erottaa toisistaan. Infrapunaspektreissä absorboituvat aallonpituudet ilmoitetaan aaltolukuna, jonka yksikkö on  $\text{cm}^{-1}$ . SBS-polymeerissä näkyvät polymeerit voidaan tunnistaa spektrissä näkyvinä piikkeinä aaltolukujen  $966 \text{ cm}^{-1}$  ja  $700 \text{ cm}^{-1}$  kohdilla. (Yut & Zofka 2011, Zofka et al. 2015.)

Seuraavassa kuvassa on esitetty eri bitumien ja fillerin spektrit, joista SBS-polymeerimodifiointi voidaan tunnistaa aaltolukujen  $968 \text{ cm}^{-1}$  ja  $698 \text{ cm}^{-1}$  kohdalla näkyvinä piikkeinä.

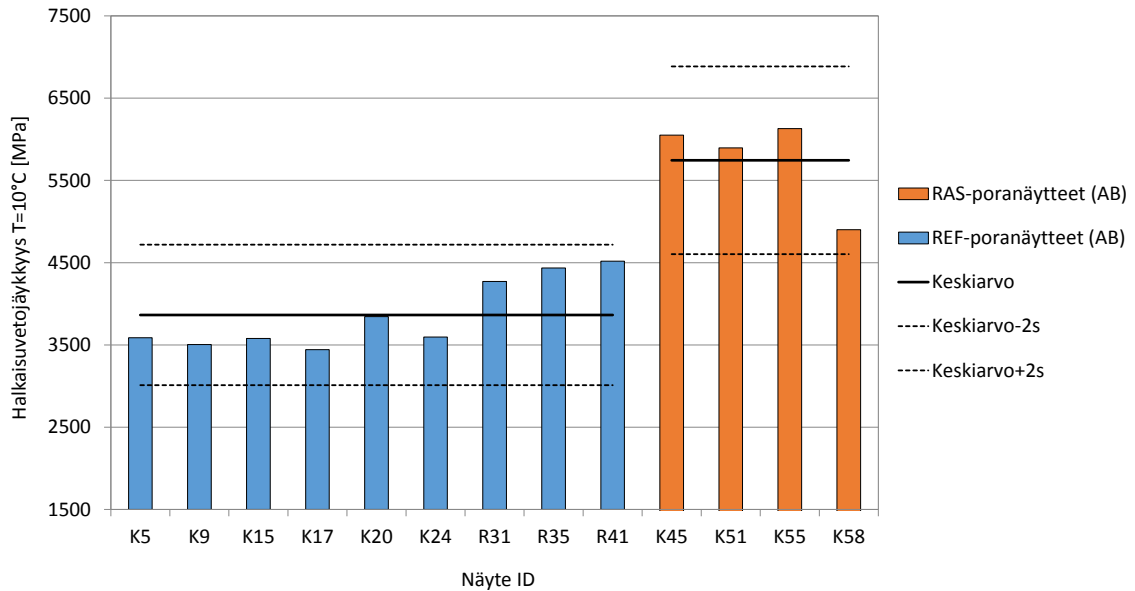


Yut, I. & Zofka, A. 2011. *Attenuated Total Reflection (ATR) Fourier Transform Infrared (FT-IR) Spectroscopy of Oxidized Polymer-Modified Bitumens Applied Spectroscopy*. Volume 65, Number 7. 6 s. DOI 10.1366/10-06217.

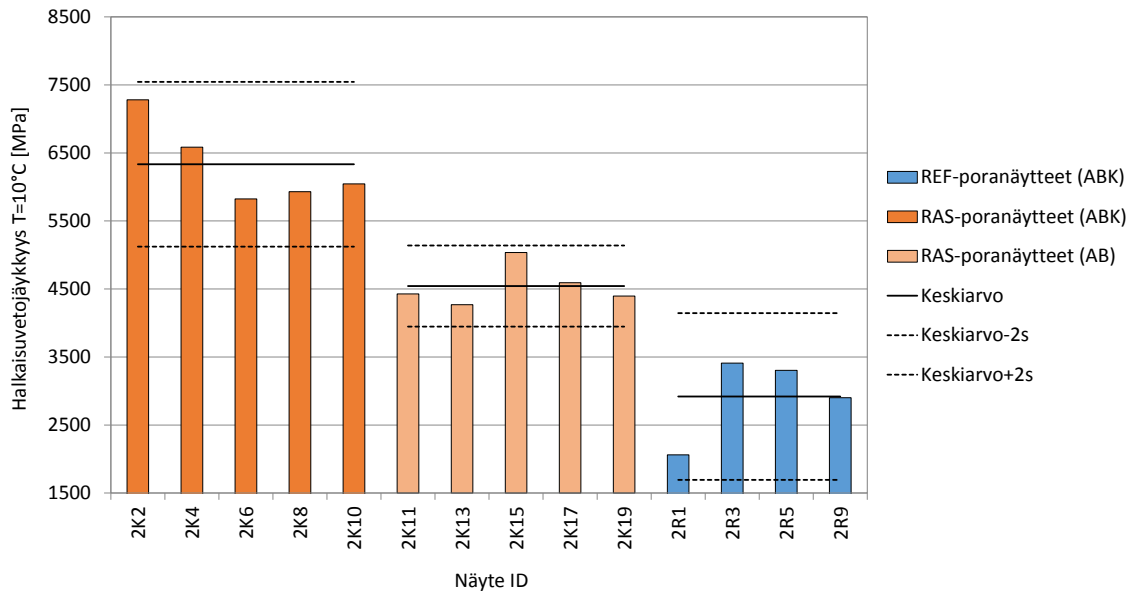
Zofka, A., Maliszewska, D., Maliszewski, M. & Boratyński, J. 2015. *Application of FTIR ATR method to examine the polymer content in the modified bitumen and to assess susceptibility of bitumen to ageing*. Roads and Bridges. 12 s. DOI 10.7409/rabd.015.011

## Liite C. Koekohteiden 1 ja 2 poranäytteiden laboratoriotutkimusten tulokset

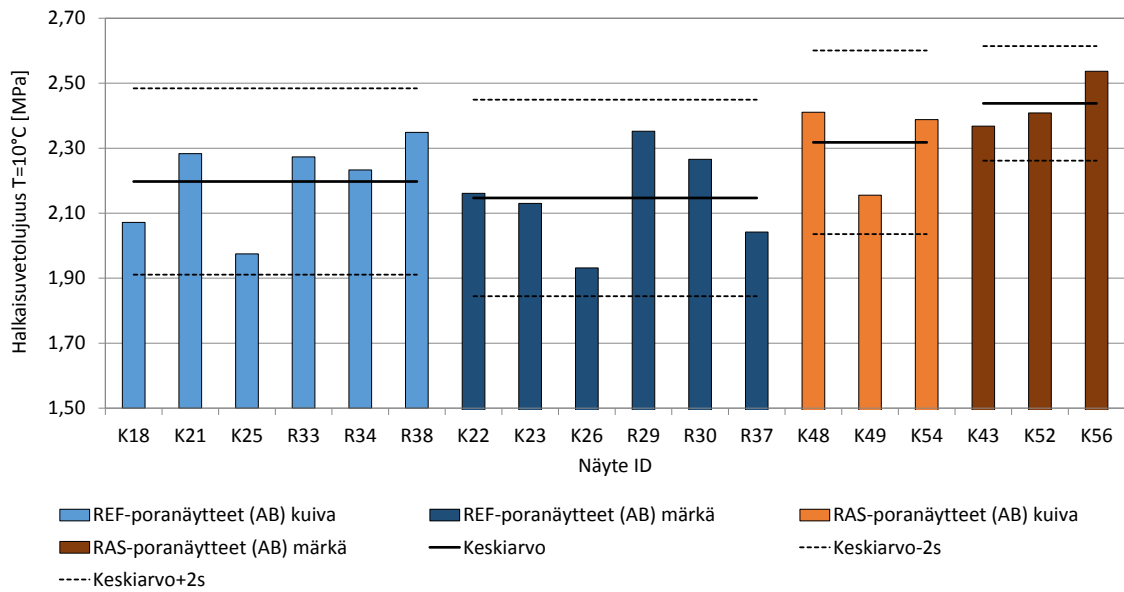
Koekohde 1 halkaisuvetojäykkyys



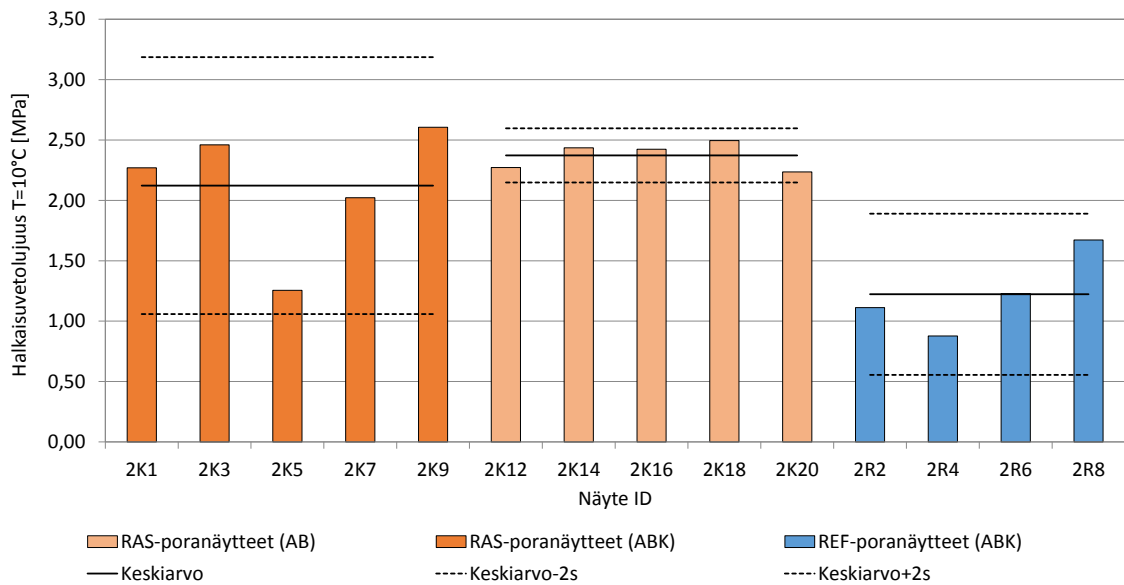
Koekohde 2 halkaisuvetojäykkyys

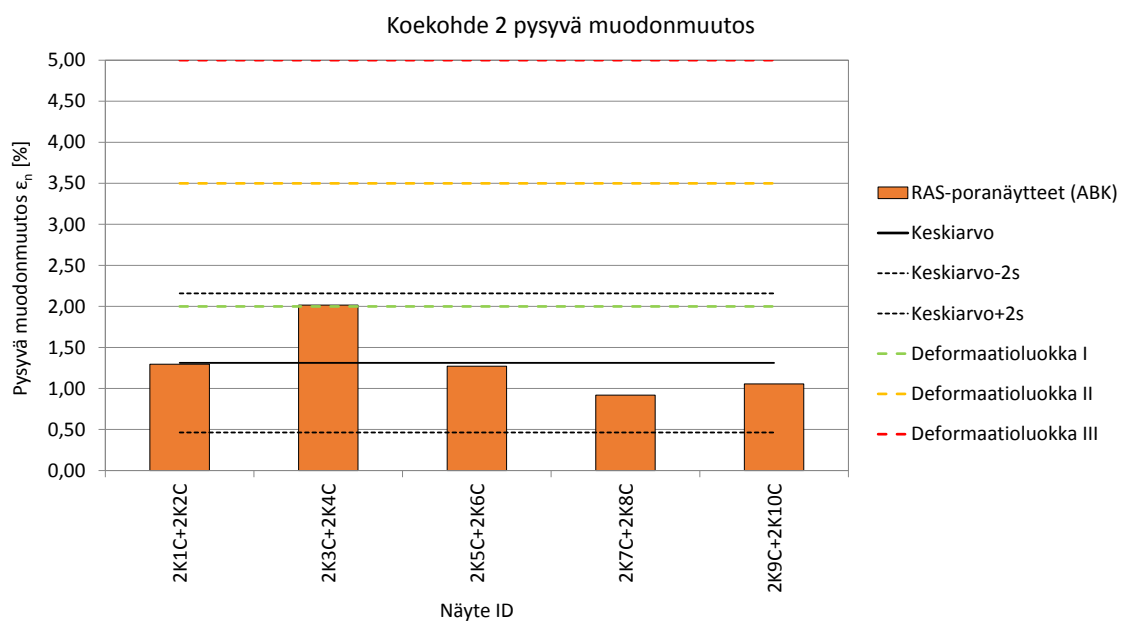
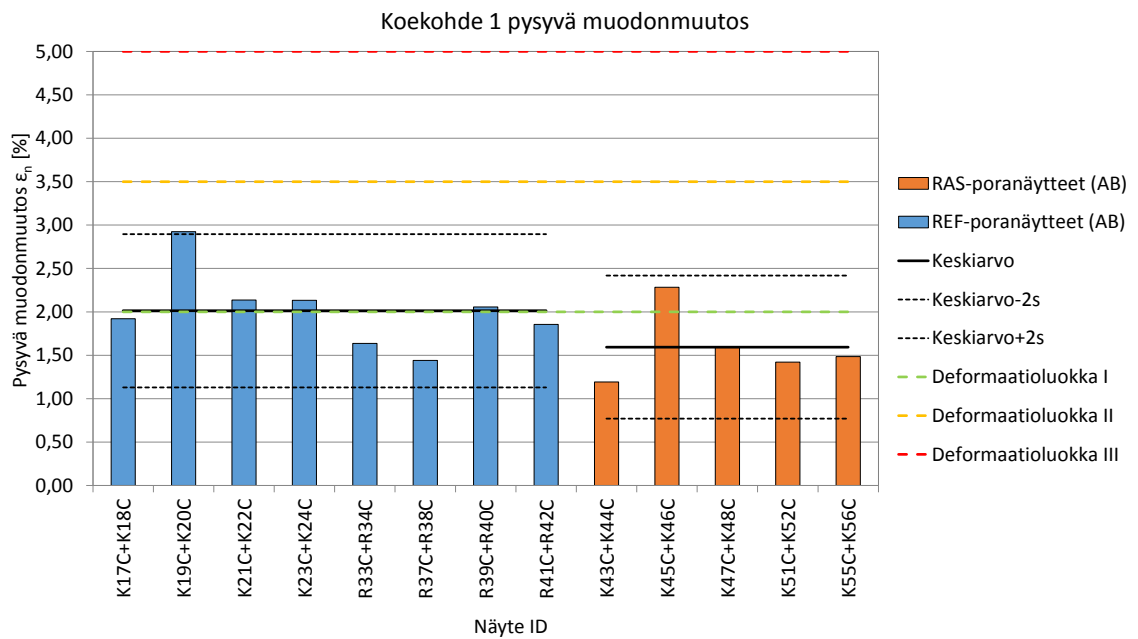


Koekohde 1 halkaisuvetolujuus

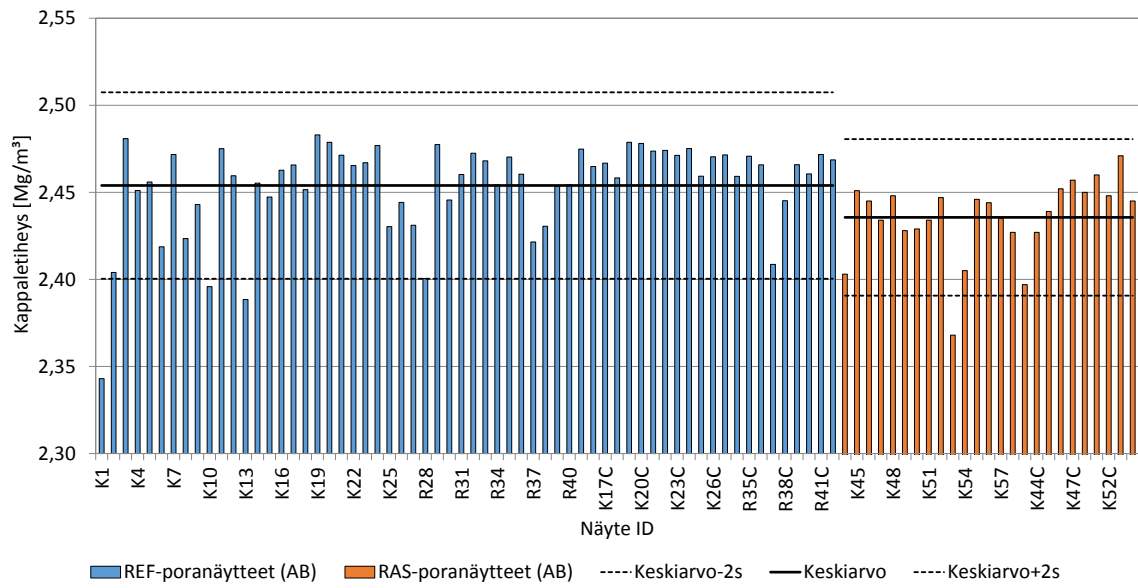


Koekohde 2 halkaisuvetolujuus

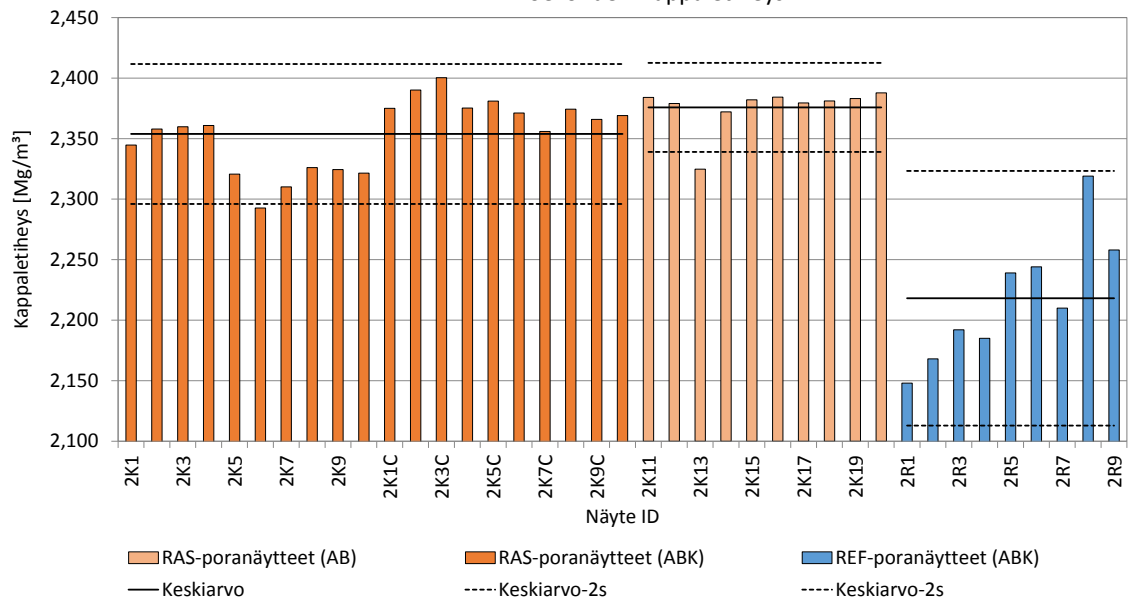


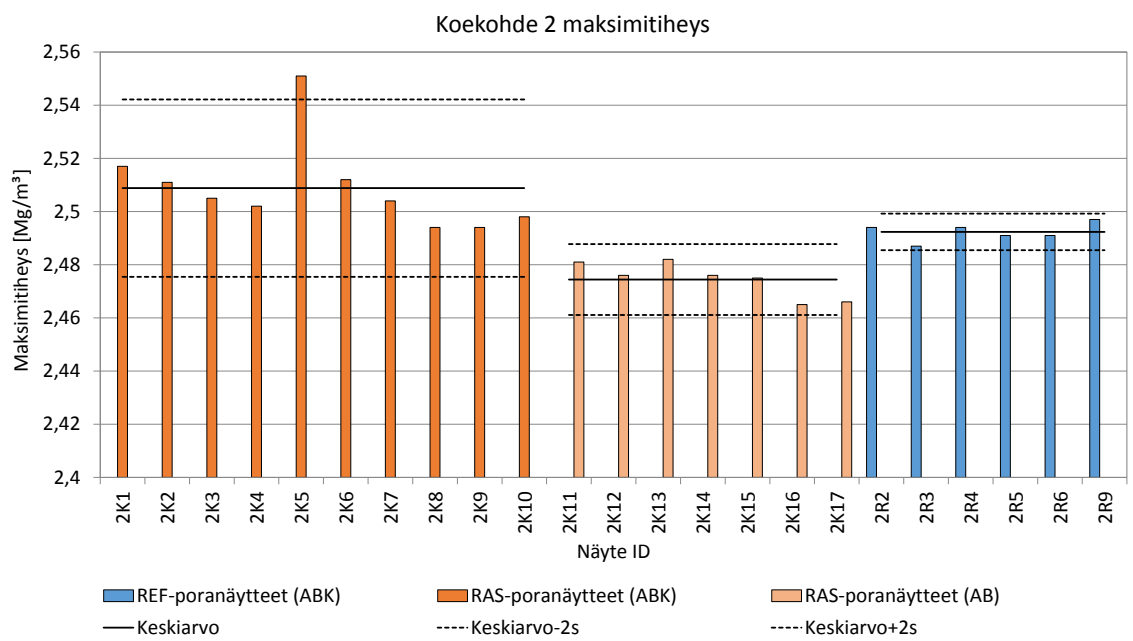
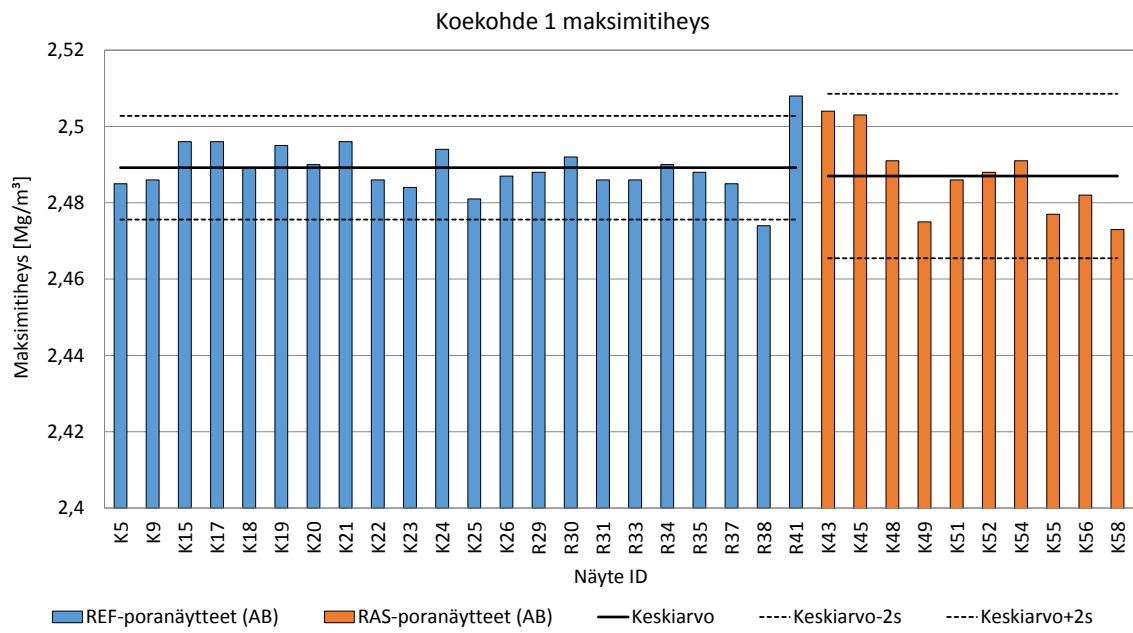


Koekohde 1 kappaletiheys

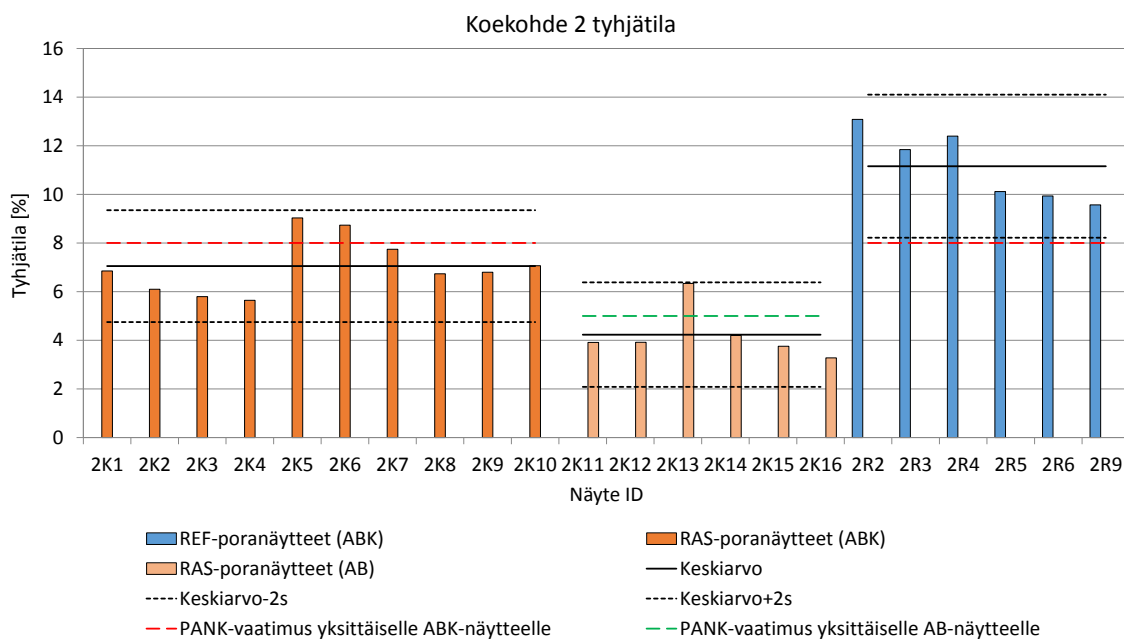
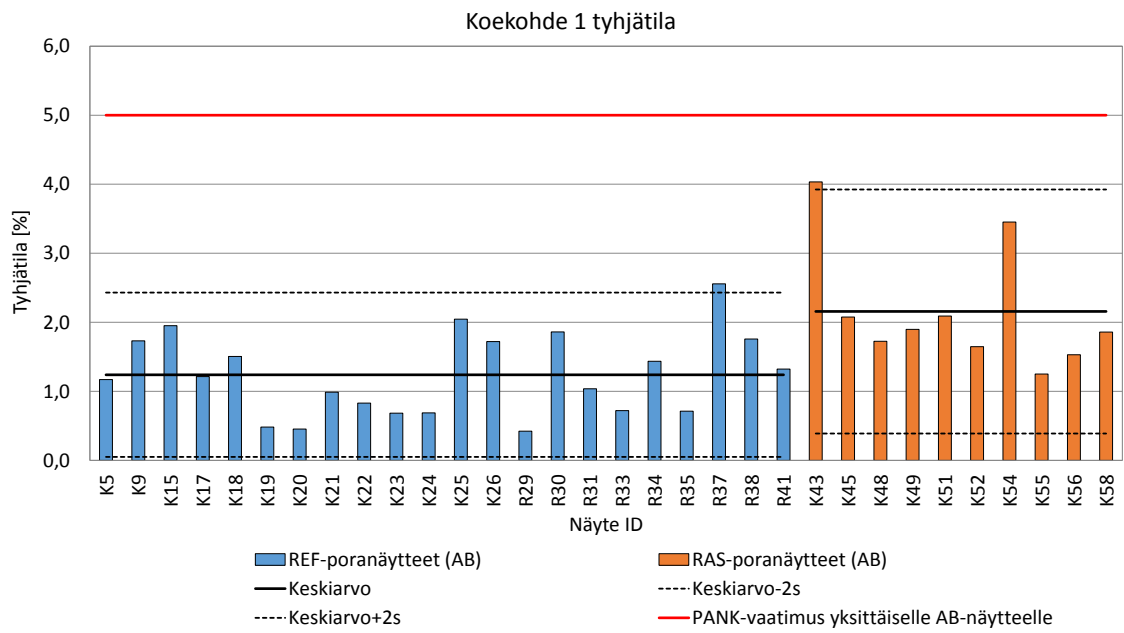


Koekohde 2 kappaletiheys

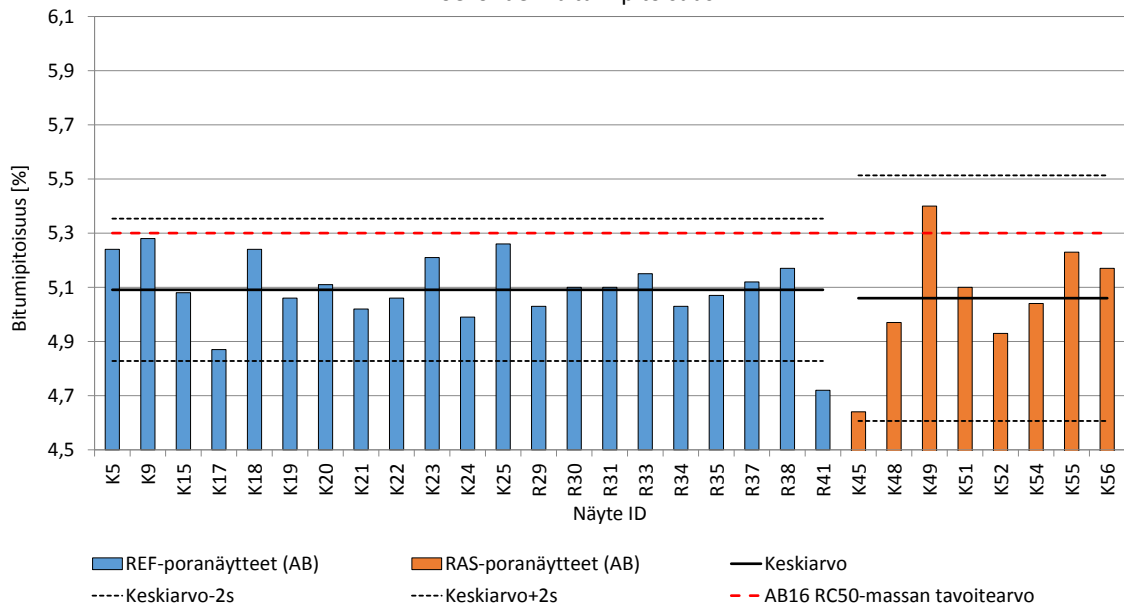




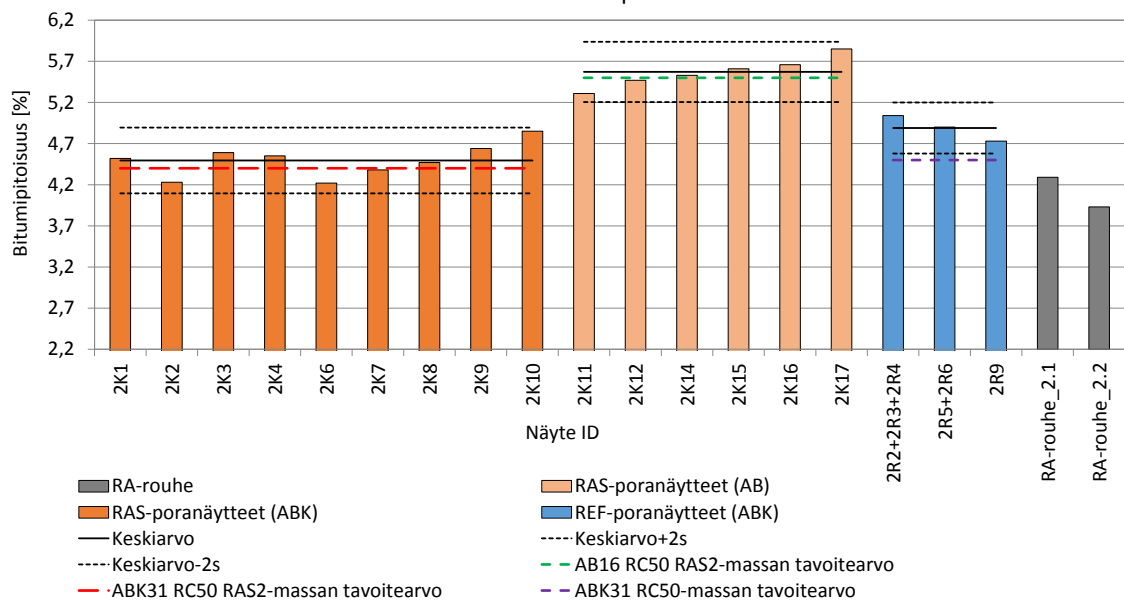


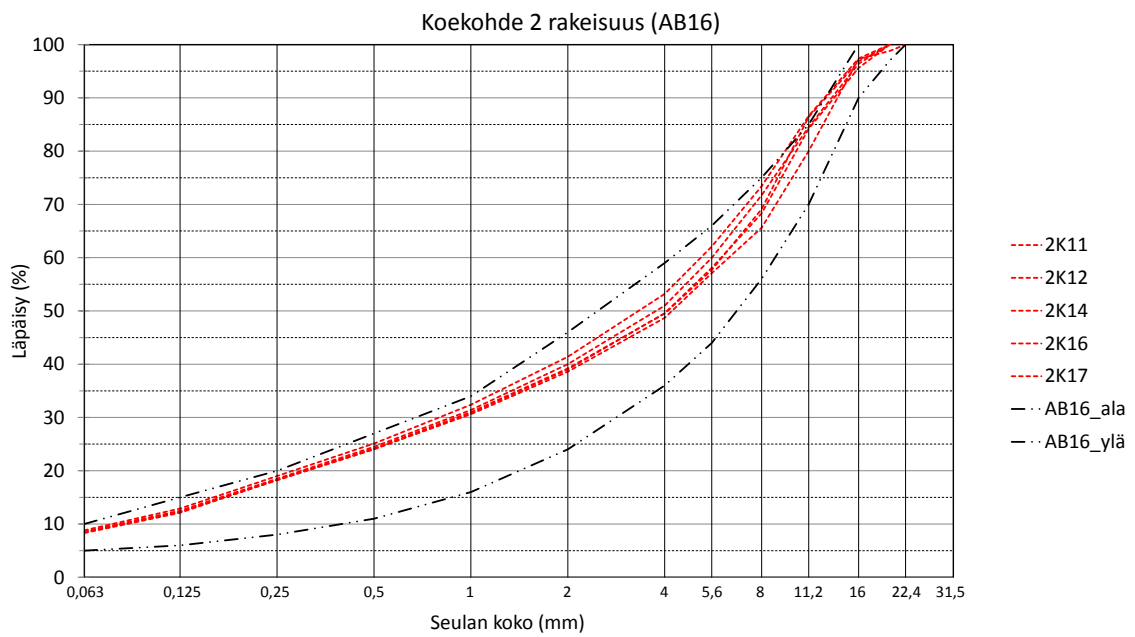
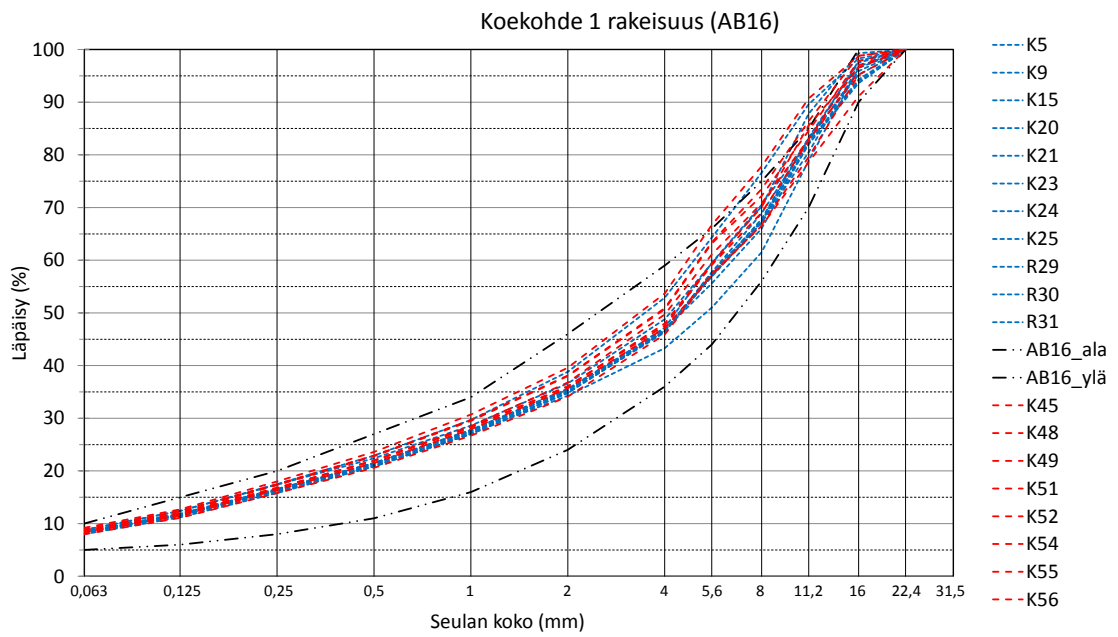


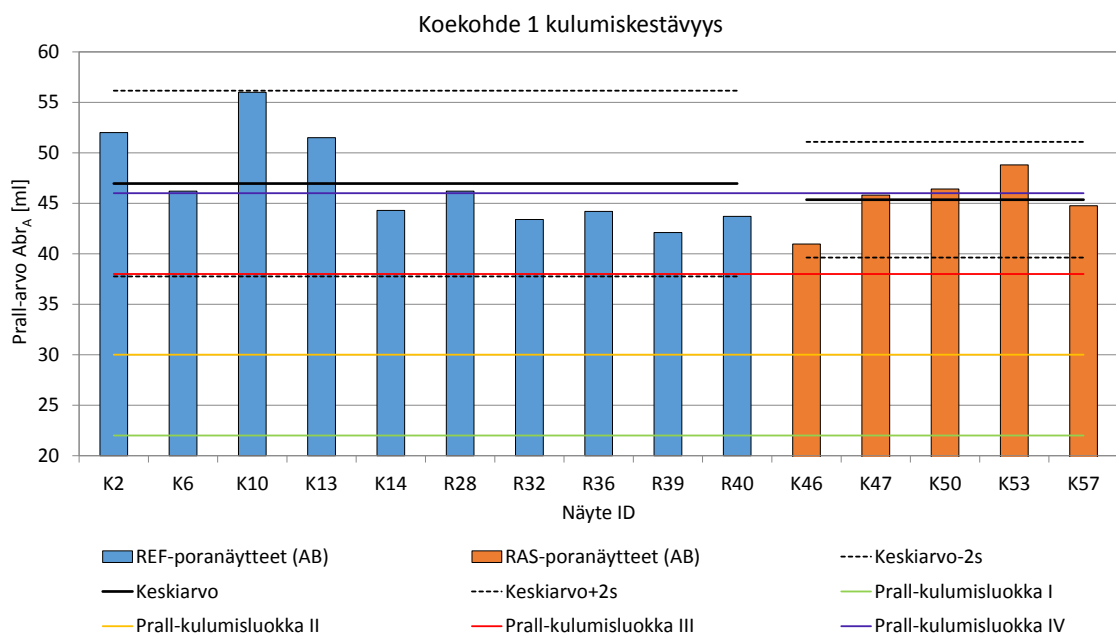
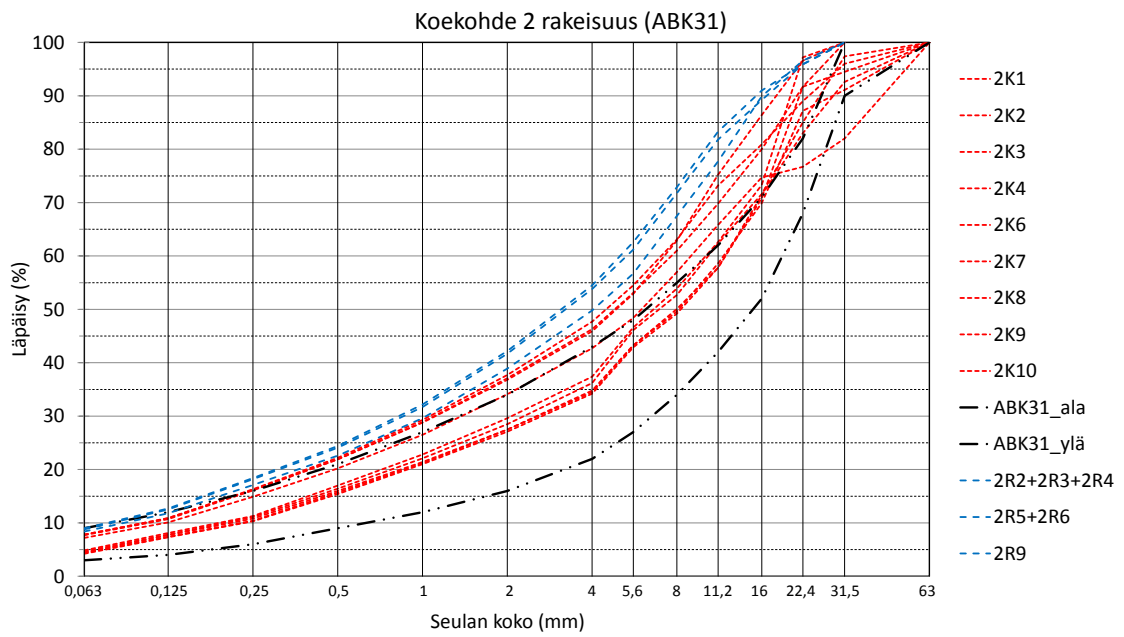
Koekohde 1 bitumipitoisuus

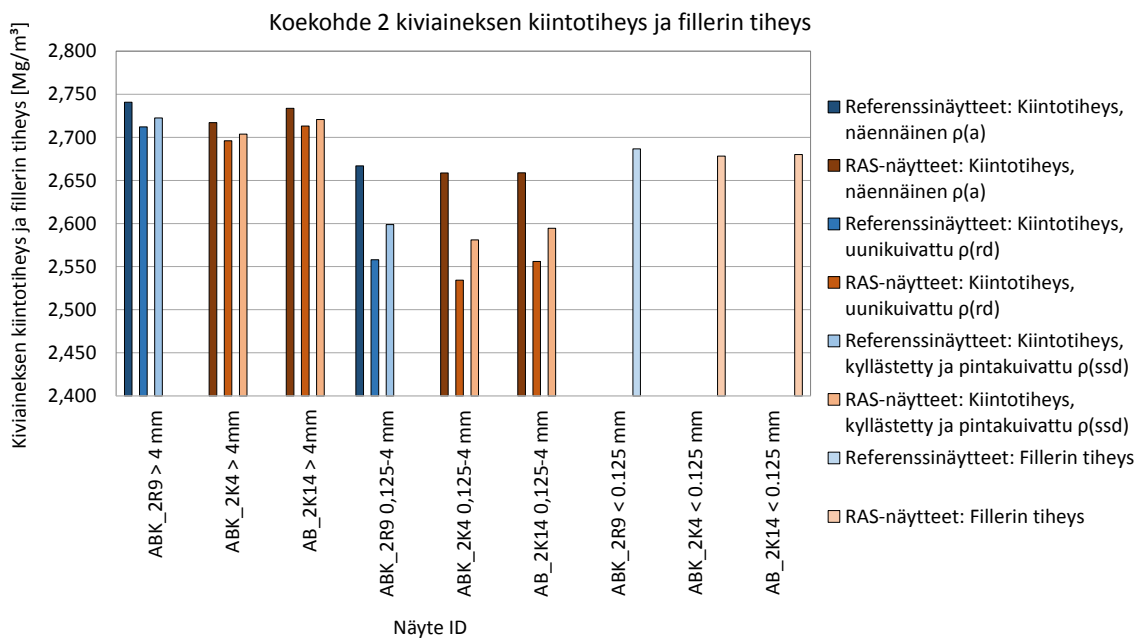
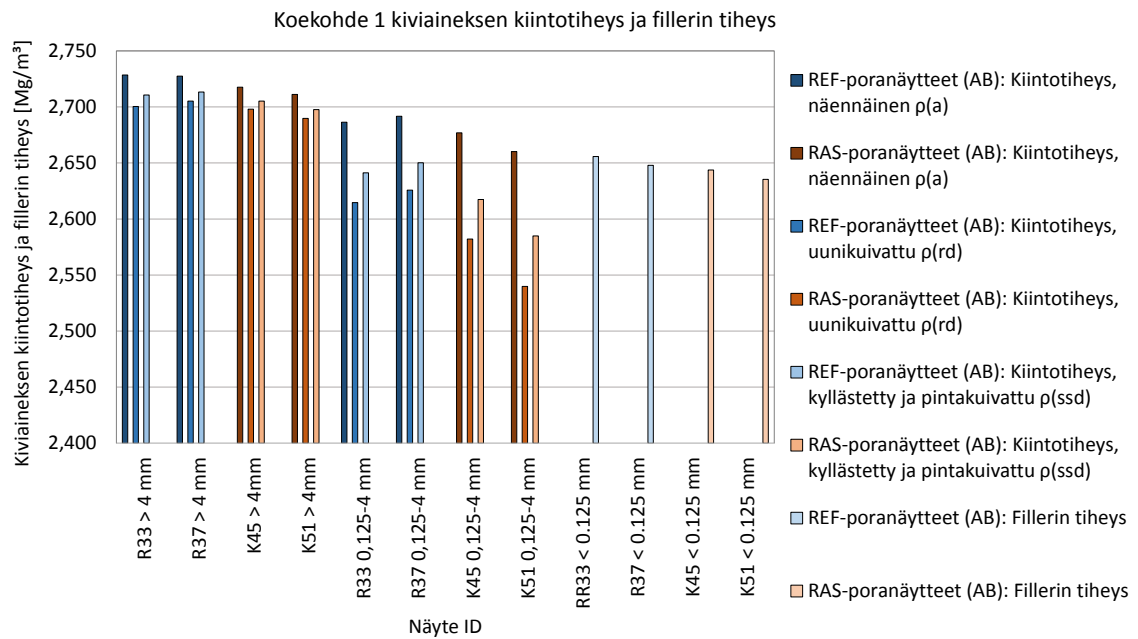


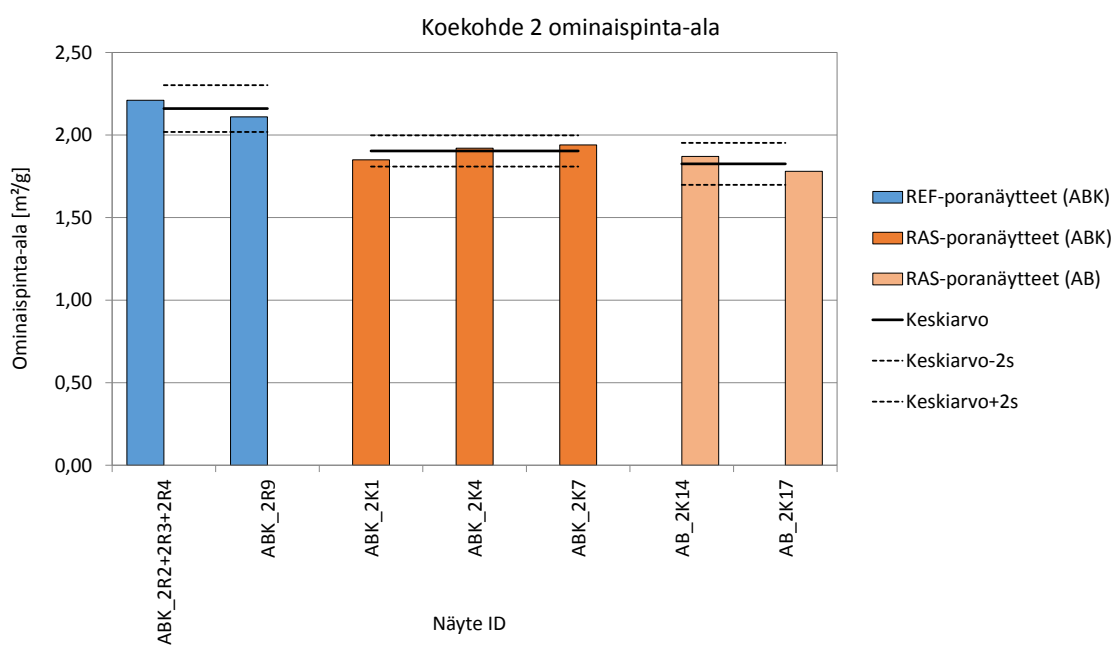
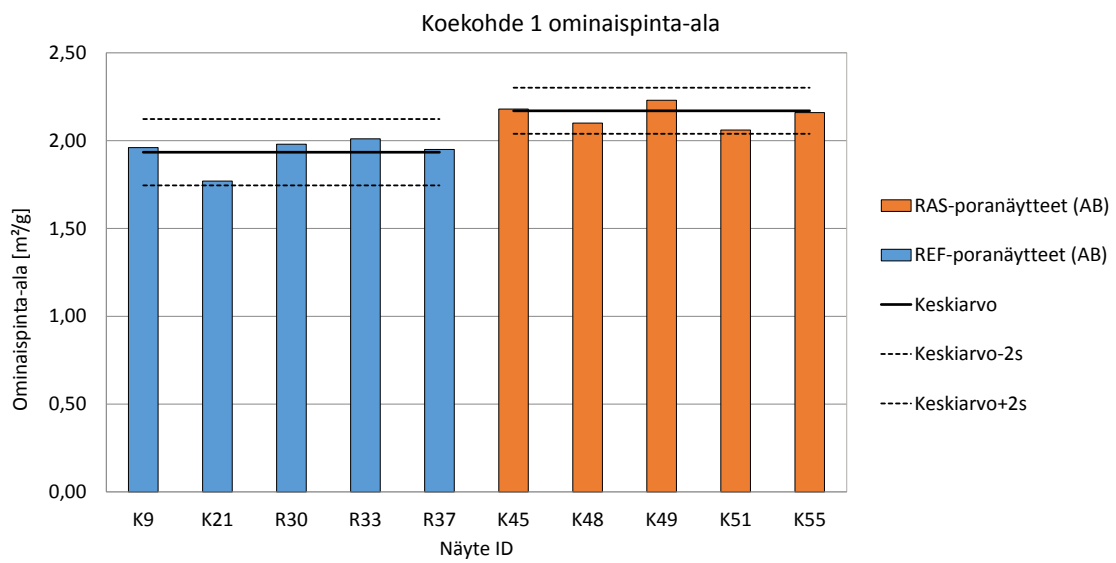
Koekohde 2 bitumipitoisuus

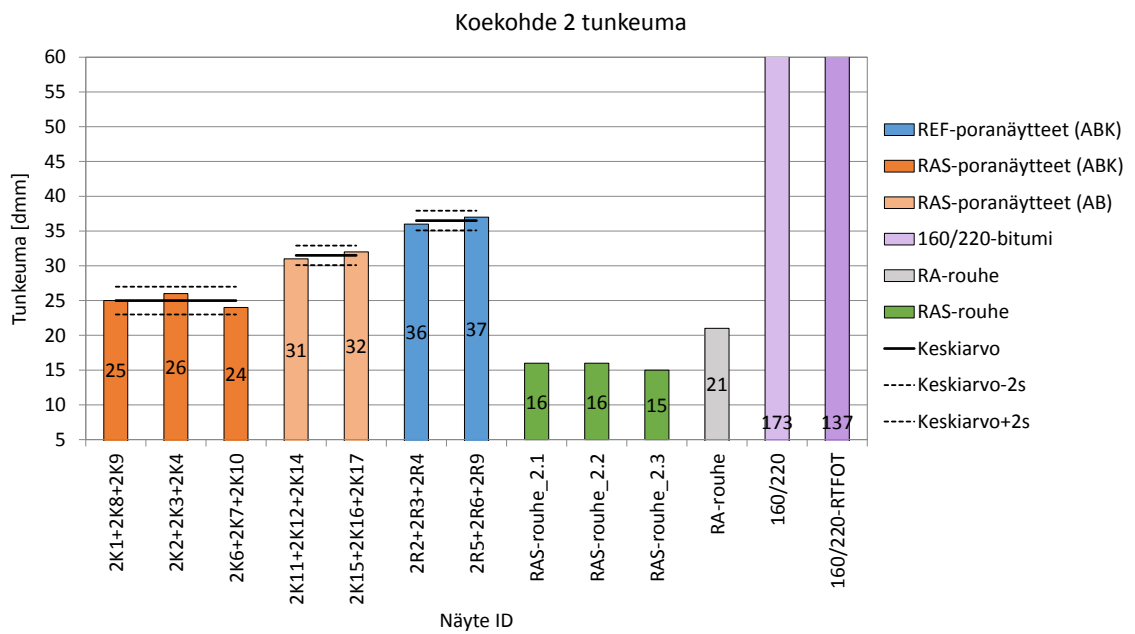
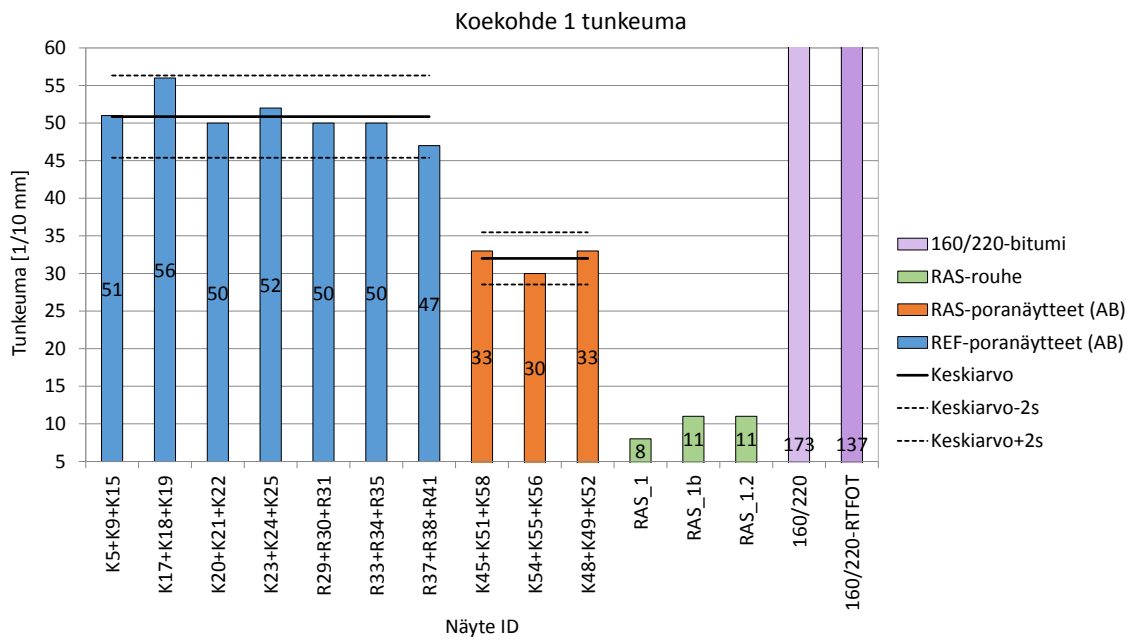


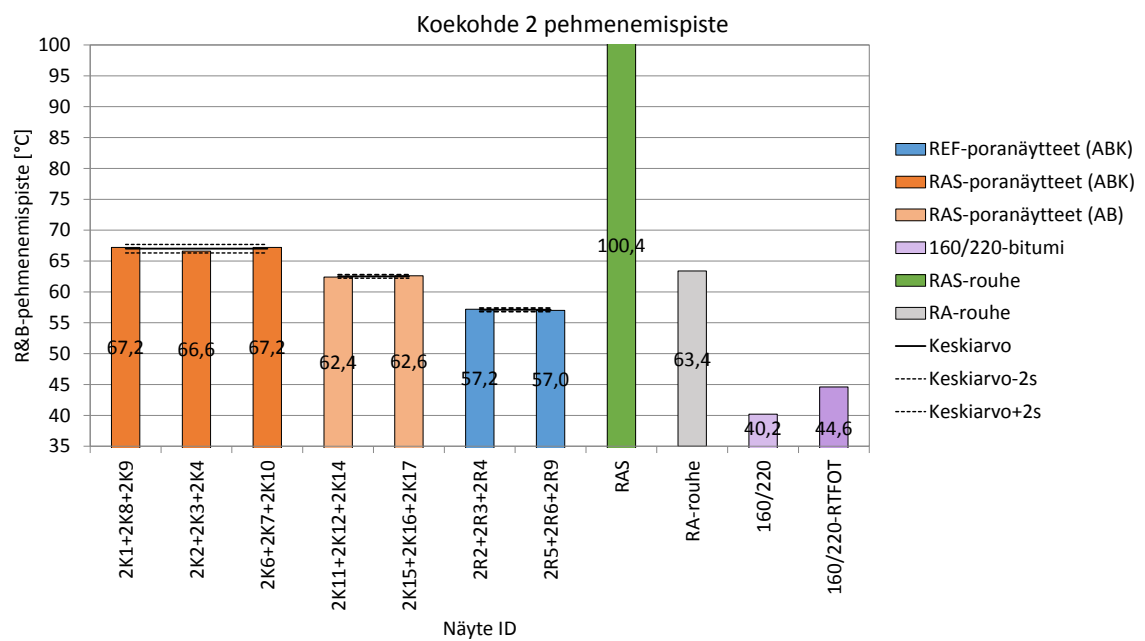
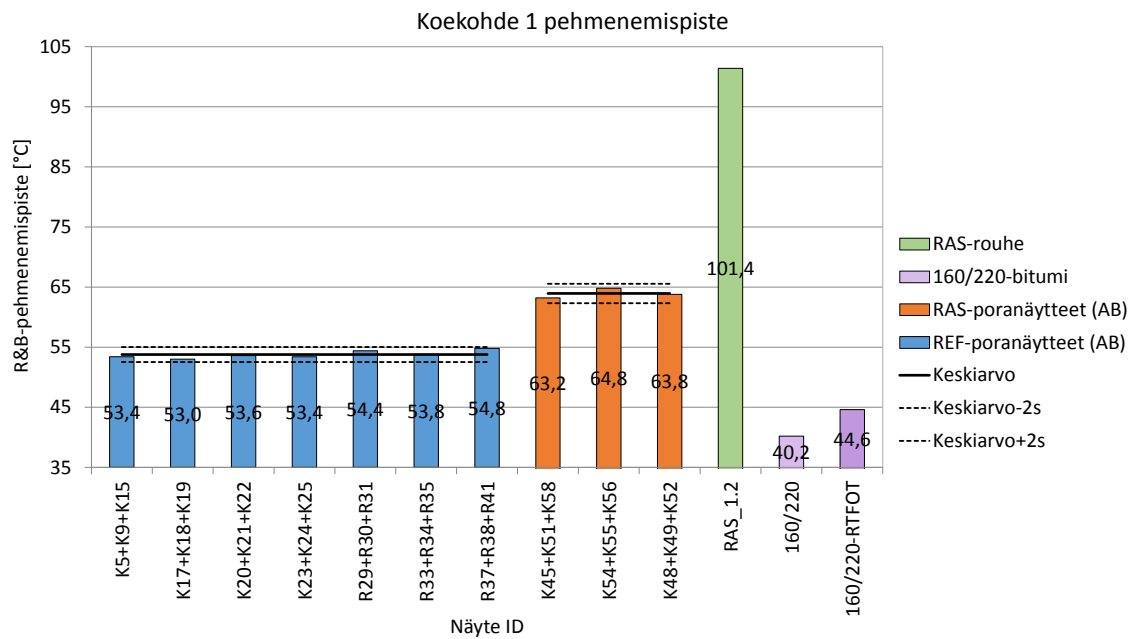




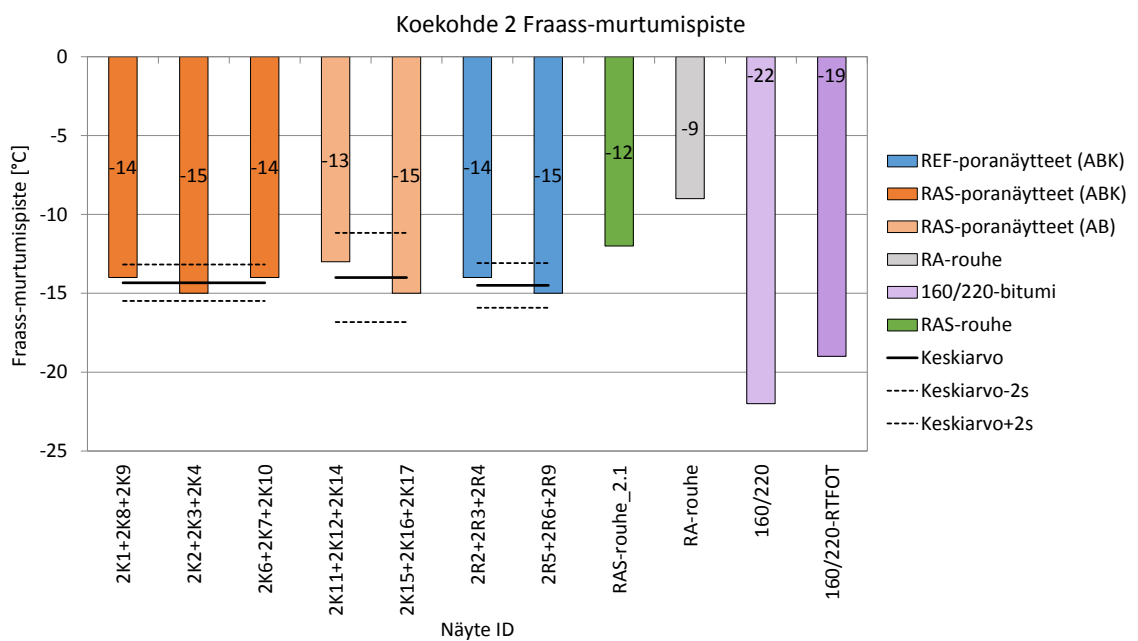
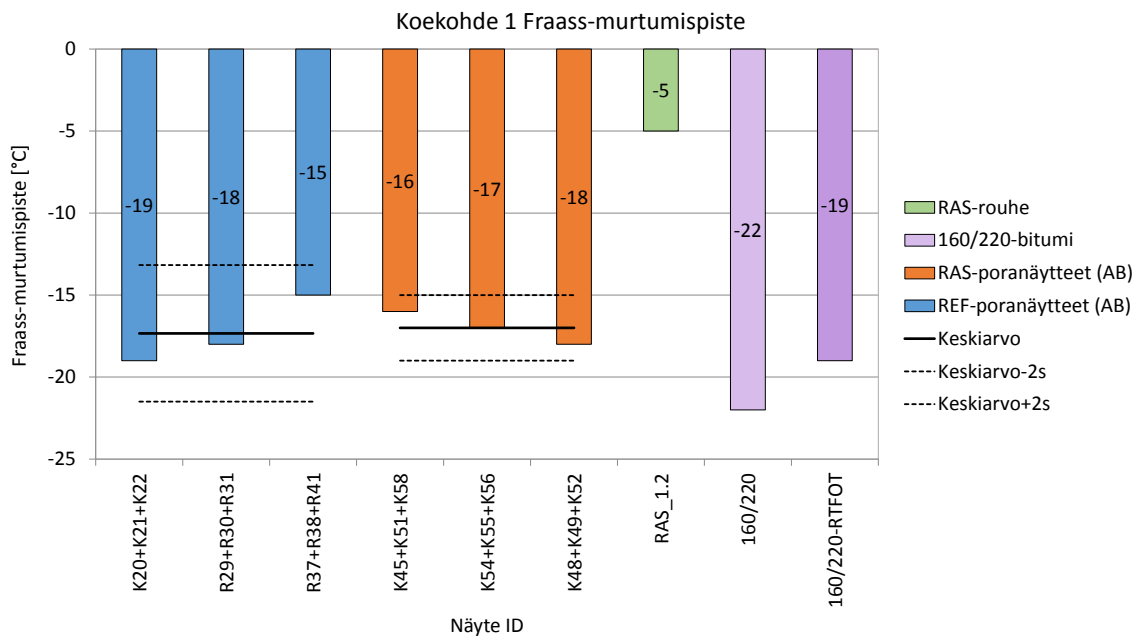












## Liite D. Koekohteiden visuaalisten tarkastusten dokumentaatiot

Koekohteessa 1 havaittiin asfalttimassan lajittumisesta johtuvaa päällysteen purkautumista, joka on esitetty kuvassa 44. Päällysteessä havaittu koko tien levyinen halkeama on esitetty kuvassa 45.



Kuva 44. Koekohteessa 1 RAS-päällysteessä havaittu massan lajittuneisuudesta johtuva päällysteen purkautuminen.



Kuva 45. Koekohteessa 1 havaittu poikkihalkeama.



Koekohteen 2 yleisilme oli erittäin hyvä, eikä päällysteessä ollut pieniä käytön aiheuttamia naarmuja lukuun ottamatta havaittavissa suurempia vaurioita. Kuvassa 46 näkyy päällysteen yleisilme hallin vierestä, jossa on bitumikaterouhetta vain kulutuskerroksessa. Hallin päädyissä bitumikaterouhetta on myös kantavassa kerroksessa.



Kuva 46. Koekohteen 2 yleisilme hallin sivusta, jossa bitumikaterouhetta vain kulutuskerroksessa.

Koekohteessa 3 käytettiin osassa piha-aluetta perinteistä asfalttibetonia ja osassa bitumikaterouhetta sisältävää asfalttibetonia. Molemmat päällysteet olivat hyväkuntoisia, naarmuja lukuunottamatta, eikä niiden välillä ollut huomattavissa eroja. Kuvan 47 etualalla on näkyvissä perinteistä asfalttibetonia ja kuvan taka-alalla bitumikaterouhetta sisältävää asfalttibetonia.



Kuva 47. Koekohteen 3 etualalla perinteistä asfalttibetonia ja taustalla bitumikaterouhetta sisältävää asfalttibetonia.

Koekohteessa 6 oli yksi, luultavimmin heijastushalkeilusta syntynyt, koko kadun levyinen halkeama, joka ulottui myös jalkakäytävälle, kuvat 48–49. Lisäksi koekohteessa oli useampien halkeamien ryhmittymä, joka näkyy kuvassa 50. Halkeamat olivat pääosin referenssi-päällysteen puolella ja ne olivat luultavimmin syntyneet routavaurioista tai heijastushalkeilun seurauksena.



Kuva 48. Koekohteessa 6 havaittu halkeama, joka on kuvassa 49 esitetty tien suuntaisesti.



Kuva 49. Koekohteessa 6 havaittu halkeama, joka ulottui jalkakäytävälle asti. Esitetty kuvassa 48 sivusta kuvattuna.





Kuva 50. Koekohteessa 6 havaittuja halkeamia.

Koekohteessa 7 oli yksi halkeama joka oli vain toisella kaistalla, tämä esitettiin luvussa 5.4 kuvassa 33. Tämän lisäksi koekohteessa oli kaksi koko kadunlevyistä halkeamaa, jotka on esitetty kuvissa 51 ja 52. Nämä koko kadunlevyiset halkeamat johtuivat luultavimmin heijastushalkeilusta. Halkeamia lukuunottamatta päällysteet näyttivät hyväkuntoisilta, eikä niiden välillä ollut havaittavissa eroja.



Kuva 51. Koekohteessa 7 havaittu koko kadun levyinen halkeama.



Kuva 52. Toinen koekohteessa 7 havaittu koko kadun levyinen halkeama.



Koekohteessa 8 oli havaittavissa kaksi kadun levyistä poikkihalkeama, jotka on esitetty kuvissa 53 ja 54. Kuvassa 53 esitetyn halkeaman kohdalla oli jalkakäytävä ja halkeama ulottui jalkakäytävälle asti. Halkeamat johtuivat todennäköisesti heijastushalkeilusta ja muuten kohde oli hyvässä kunnossa.



Kuva 53. Koekohteessa 8 havaittu halkeama, joka ulottui viereiselle jalkakäytävälle.



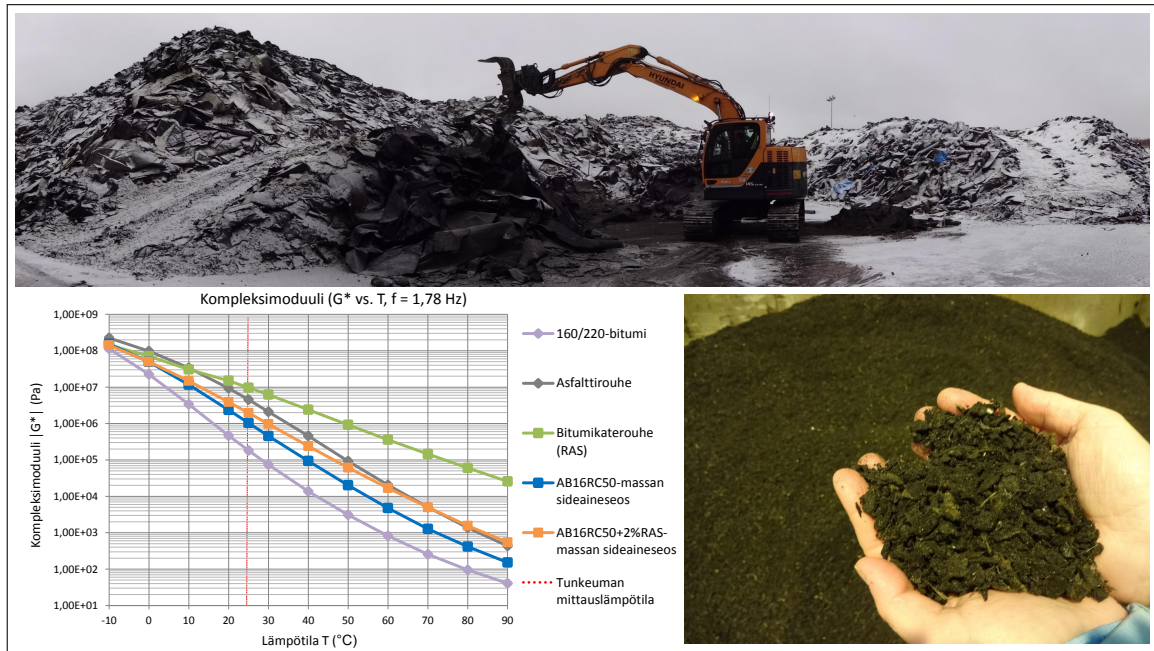
Kuva 54. Koekohteessa 8 havaittu toinen halkeama.



# Liite E. Ohjeistus bitumikaterouheen hyödyntämisestä

## OHJE

### BITUMIKATEROUHEEN HYÖDYNTÄMINEN ASFALTTIPÄÄLLYSTEISSÄ



## Sisällysluettelo

- 1 Johdanto
- 2 Käyttökohteet
- 3 Laatuvaatimukset ja prosessoiminen
- 4 Bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin suunnittelu
- 5 Uudelleenkierätettävyys
- 6 Dokumentointi

## Tiivistelmä

Bitumikaterouhe (RAS) on purkukohteista tai tehtailta kerättyjen käytöstä poistettujen bitumikatteen murskattua ja homogenisoitua rouhetta, joko yksinään tai näiden seoksena. Bitumikaterouhe sisältää yleensä yli 50 % bitumia, n. 15 % kalkkifillieriä, 10–30 % muuta mineraaliainesta ja 0–10 % kuitua. Bitumikaterouhetta voidaan käyttää tiepäällysteiden ainesosana korvaamaan sideainetta ja kalkkifillieriä, kun halutaan lisätä päällysteen jäykkyyttä ja deformaatiokestävyyttä tai edistää kiertotaloutta sekä vähentää tuotannonaikaisia hiilidioksidipäästöjä. Bitumikaterouheen käyttö edellyttää aina tapauskohtaista asfalttimassan koostumuksen suunnittelua ja se on otettava huomioon massan valmistuksessa ja uusiokäytössä.

## 1 Johdanto

Tähän ohjeeseen on koottu tietoa bitumikatejätteen hyödyntämisestä asfalttipäällysteissä. Ohjeessa käydään lyhyesti läpi taustaa kierrätysmateriaalien hyötykäyttötavoitteista ja keskitytään bitumikaterouheen prosessoimisessa ja hyödyntämisessä keskeisiin laadunvalvonnan ja suunnittelun näkökulmiin. Ohje on laadittu tämänhetkisen tiedon perusteella ja sitä tulee päivittää tulevaisuudessa tutkimustiedon lisääntyessä.

### EU:n ja Suomen kierrätystavoite

Vuonna 2008 EU asetti jätedirektiivin, jolla pyritään vähentämään jätteen syntyä ja edistämään uudelleenkäyttöä ja kierrätystä. EU:n jäsenmaana Suomi on myös velvoitettu noudattamaan jätedirektiiviä, joka ohjaa suomalaista lainsäädäntöä direktiivissä asetettujen tavoitteiden suuntaan. Jätedirektiivissä tavoitteeksi on asetettu, että vuonna 2020 vähintään 70 % rakennus- ja purkujätteestä hyödynnetään muuten kuin energiana tai polttoaineena. Suomessa jätedirektiivi on saatettu voimaan jätelailla. Suomessa myös jäte- ja kaatopaikka-asetukset ohjaavat jätteen synnyn vähentämiseen ja kaatopaikka-asetuksen myötä vuoden 2016 alusta astui voimaan orgaanisen aineen kaatopaikkakielto. Tämän seurauksena myös bitumikatejätteen loppusijoittaminen kaatopaikalle jouduttiin lopettamaan.

EU:n jätedirektiivi, Suomen jätelaki sekä jäte- ja kaatopaikka-asetus yhdessä luovat painetta rakennusjätteen kierrätyksen tehostamiselle. Myös hallitusohjelmassa yksi tavoitelluista kärkihankkeista on kiertotalouden läpimurto ja puhtaiden ratkaisujen käyttöönotto. Yhtenä alakohtana on materiaalitehokkuuden parantaminen, jossa on tavoitteena vahvistaa rakentamisen kiertotaloutta parantamalla rakennusjätteen lajittelua ja kierrätystä sekä luomalla toimivat kierrätysmarkkinat purkumateriaaleille ja tuotteille.

### Bitumikatejätteen hyödyntämispotentiaali

Bitumikatejätteen loppusijoittaminen kaatopaikalle on ollut kiellettyä kaatopaikka-asetuksen myötä. Bitumikatejäte ei myöskään sovellu poltettavaksi suurissa määrin, sillä bitumikatejätteen sisältämät hiekka- ja mineraaliaineet lisäävät polttamisessa syntyvän tuhkan määrää, joten bitumikatejätteelle olisi hyvä olla hyötykäyttökanaava.

Materiaalisisältönsä puolesta bitumikate soveltuu asfaltin ainesosaksi, sillä bitumikate sisältää sekä bitumia että hiekka- ja mineraaliaineita, jotka ovat myös asfaltin pääraaka-aineita. Asfaltissa on bitumia tyypillisesti 4–7 painoprosenttia ja bitumikaterouheessa arviolta noin 55 painoprosenttia, joten erityisesti korkean bitumipitoisuuden ansiosta kierrätetty bitumikate soveltuu käytettäväksi asfalttiteollisuudessa.

Käyttämällä bitumikatetta asfaltin ainesosana voidaan vähentää tarvittavaa neitseellisen bitumin määrää ja siten vähentää uusiutumattomien luonnonvarojen käyttöä. Myös asfaltin valmistuksen päästöt vähenevät, kun osa osa asfaltissa käytettävästä tuoreesta bitumista korvataan bitumikaterouheella. Valmistuksen päästöihin lasketaan mukaan raaka-aineen hankinnan, kuljetuksen ja massan valmistuksen päästöt. Vaikka massan valmistuksen aikaiset päästöt olisivat hieman suuremmat korkeamman sekoituslämpötilan vuoksi, päästöt kokonaisuudessaan ovat pienemmät raaka-aineen hankinnan ja kuljetusten vähäisempien päästöjen ansiosta. Lisäksi bitumikatetta hyödyntämällä saavutetaan taloudellisia etuja, sillä bitumikatteesta saatava kierrätysbitumi on neitseellistä bitumia halvempaa.

### Bitumikaterouheen hyödyntämistä koskevat säädökset

Jätelain (646/2011 § 5) määritelmän mukaan jätteellä tarkoitetaan "ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä". Työmaalla purettava bitumikate muuttuu siis jätteeksi purkuhetkellä. Myös teollisuudessa syntyvä ylijäämä muuttuu jätteeksi poiston yhteydessä.

Ympäristönsuojelulain (527/2014) mukaan jätteiden ammattimaista tai laitospaikkaista hyödyntämistä ja loppukäsittelyä varten tarvitaan ympäristölupa. Bitumikatejätteen prosessointi hyödynnettävään muotoon on jätteenkäsittelytoimintaa, joka on ympäristönsuojelulain mukaisesti ympäristöluvanvaraista.

Jätelaissa säädetään kriteerit myös sille, milloin jäte ei ole enää jätettä. Kun kaikki jätelain mukaiset kriteerit täyttyvät, tuote voi saada ei enää jätettä (EoW) -statuksen. Tämän jälkeen EoW-statuksella olevaa tuotetta hyödyntävä taho ei tarvitse ympäristölupaa tuotteen hyödyntämiselle. Bitumikaterouhetta, jolle on saatu EoW-status, voi hyödyntää siis ilman ympäristölupaa. Jos bitumikaterouheella ei ole EoW-statusta, sen hyödyntämistä varten tarvitaan ympäristölupa tai koeluonteisessa käytössä ilmoitusmenettely voi olla riittävä.

EoW-status myönnetään tapauskohtaisesti jätettä prosessoivan tehtaan tai laitoksen tuotteelle, sillä status on sidottu tehtaan laadunvalvontaan. Jokaisen bitumikatejätettä prosessoivan tahon on siis erikseen haettava EoW-status tuotteelleen. EoW-statuksen saanut tuote vapautuu jätelainsäädännön piiristä ja palautuu kemikaalilainsäädännön ja REACH-asetuksen piiriin.

## **2 Käyttökohteet**

Suomessa on tutkittu bitumikatteen soveltuvuutta vain asfalttibetonipäällysteissä (AB). Kokeiden perusteella bitumikaterouhe soveltuu käytettäväksi ainakin AB-päällysteiden kulkuserroksessa sekä kantavassa kerroksessa. Soveltuvia käyttökohteita ovat seuraavat vähäliikenteiset alueet, joissa asfalttibetonipäällysteiden käyttö muutenkin on yleistä:

- vähäliikenteiset tie- ja katuosuudet, joissa nopeusrajoitus on alhainen ( $\leq 80$  km/h)
- jalankulun ja pyöräilyn väylät
- kentät ja pihat, joissa voi olla myös raskasta liikennettä.

Jatkotutkimuksia varten bitumikaterouhetta voidaan koeluonteisesti käyttää myös muissa kohteissa, kuten eri asfalttityypeissä ja vilkkaammin liikennöidyillä ja korkeampien nopeusrajoitusten osuuksilla. Tällöin käytöstä on aina erikseen sovittava tilaajan kanssa.

## **3 Laatuvaatimukset ja prosessointi**

### Kelpoisuuden osoittaminen

Bitumikaterouheelle ei ole olemassa harmonisoitua tuotestandardia eli rouheen ei tarvitse olla CE-merkittyä. Bitumikaterouheen valmistaja voi halutessaan CE-merkitä tuotteensa vapaaehtoisen eurooppalaisen teknisen arvioinnin (ETA) avulla, joka myönnetään eurooppalaisen arviointiasiakirjan (EAD) perusteella. Tällöin tuotteen CE-merkintä osoittaa tuotteen täyttävän ETA:ssa määritellyt ominaisuudet.

Bitumikaterouheelle on laadittu vuonna 2016 julkaistu EAD, jonka perusteella rouheen valmistaja voi hakea ETA:a ja siten CE-merkitä tuotteensa. EAD:ssä määritetään menetelmät, joilla kaikki bitumikaterouheen toiminnan kannalta olennaiset ominaisuudet on selvitettävä. Lisäksi EAD:ssä on määritetty bitumikaterouheen kuuluvan AVCP-luokkaan 2+ ja esitetty, mihin suoritustason pysyvyyden arviointi- ja varmentamismenetelmiin osallistuu tuotteen valmistaja ja mihin ilmoitettu laitos.

Jos bitumikaterouheelle ei ole haettu ETA:a, voi rouheen valmistaja kansallisen hyväksymismenettelyn avulla osoittaa, että tuote täyttää maankäyttö- ja rakennuslaissa tuotteille asetetut vaatimukset. CE-merkintä tai kansallinen hyväksymismenettely ei kuitenkaan poista bitumikaterouheen jätestatusta, eli rouheen hyödyntämiseen tarvitaan ympäristöluupa, jos sille ei ole haettu EoW-statusta.

#### Bitumikatejätteen prosessoiminen bitumikaterouheeksi

Bitumikatejätteen murskaaminen vaatii toimijalta aina ympäristöluvan sekä asianmukaisen laadunhallintajärjestelmän.

Bitumikaterouhe voidaan valmistaa pelkästään purkutyömailta tai tehtaalta tulleista bitumikatteista tai näiden homogenisoidusta seoksesta. Seosta valmistettaessa on varmistuttava, että eri lähteistä tulleet katteet sekoittuvat keskenään, jotta seos on mahdollisimman tasalaatuista.

#### Bitumikatejätteen ja -rouheen haitta-aineettomuus

Kiertoon ohjattava bitumikatejäte ei saa sisältää ollenkaan asbestia eivätkä muiden haitta-aineiden määrät saa ylittää sallittuja pitoisuuksia. Purkukohteesta tulevan bitumikatteen asbestipitoisuuden sekä muiden haitta-ainepitoisuuksien selvittäminen on purkukohteen tilaajan vastuulla. Jos katteessa havaitaan asbestia se on aina hävitettävä asbestijätteenä, eikä katetta saa tuoda kiertoon. Muita haitta-aineita ovat esimerkiksi PAH- ja VOC-yhdisteet sekä bitumihuurut, joista PAH-yhdisteiden raja-arvo on 200 mg/kg.

Bitumikaterouheen valmistajan on seurattava tuotteensa haitta-ainepitoisuuksia ja niiden liukenevuutta. Haitta-aineiden seuranta ja raportointi on sisällytettävä osaksi valmistajan laadunvalvontaa. Valmistaja on vastuussa siitä, että materiaali ei sisällä haitta-aineita ja valmistajan on tarvittaessa osoitettava bitumikaterouheen haitta-aineettomuus rouheen toimittamisen yhteydessä.

## **4 Bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin suunnittelu**

Bitumikaterouhetta sisältävän asfalttimassan tyyppitestauksen on täytettävä massakoostumukselle tuotestandardissa asetetut vaatimukset.

#### Bitumikaterouheen koostumus ja ominaisuudet

Bitumikaterouheen koostumus ja ominaisuudet vaihtelevat sen mukaan, onko rouhe valmistettu purkutyömailta vai tehtailta tulleesta bitumikatejätteestä vai näiden homogenisoidusta seoksesta. Jotta bitumikaterouheen lisääminen voidaan ottaa huomioon asfalttimassan suunnittelussa, bitumikaterouheen koostumus ja ominaisuudet on ilmoitettava toimitetun rouhe-erän yhteydessä.

Yleispäteviä, kaikkia bitumikaterouheita koskevia tarkkoja arvoja koostumuksen materiaalisuuksille ja tärkeimmille ominaisuuksille ei voida antaa bitumikatejätteen alkuperän vaikutuksen vuoksi. Seuraavaan taulukkoon on kuitenkin koottu ne olennaisimmat tiedot, jotka koostumuksesta ja ominaisuuksista on selvitettävä ja ilmoitettava:

Koostumus (painoprosentteina)	Ominaisuudet
Bitumipitoisuus	Rouheen rakeisuus
Mineraalitäyteaine	Rouheen tiheys
Kuitu	Sideaineen tunkeuma
Epäpuhtaudet	(Pehmenemispiste tarvittaessa) 0,063 mm seulan läpäisy

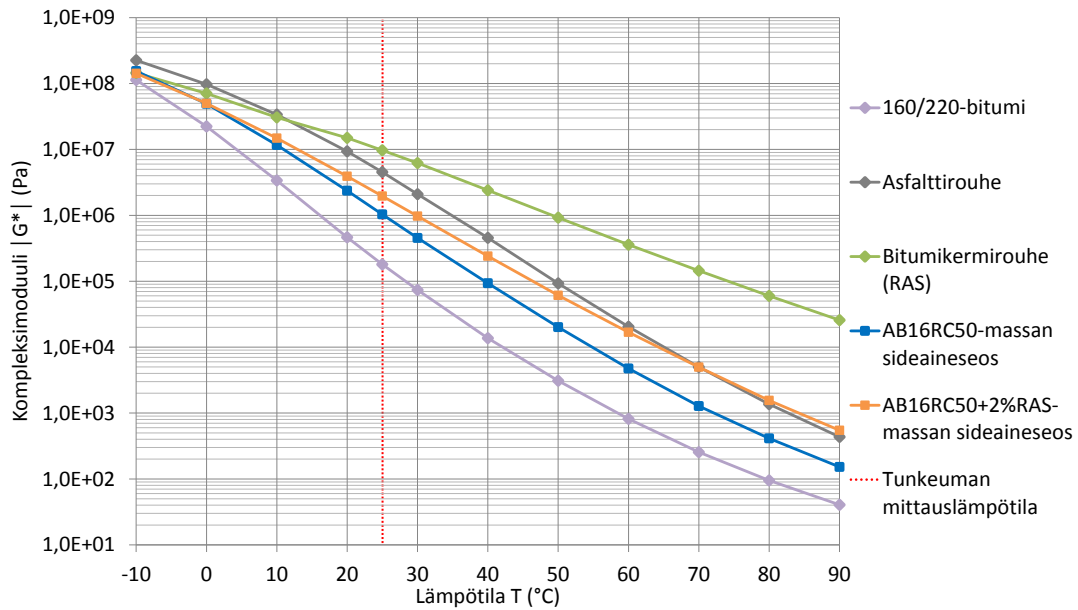
Bitumikaterouhe ei saa sisältää metalliosia, nautoja tai muita mahdollisesti käyttäjille vaarallisia tai haitallisia osia. Rouheessa voi olla vähäisiä määriä epäpuhtauksia, kuten styroksia, muovia tai kartonkia. Epäpuhtauksien määrä on kuitenkin pyrittävä pitämään mahdollisimman pienenä.

#### Vaikutukset päällysteen ominaisuuksiin

Ohjetta laadittaessa on hyödynnetty purkutyömailta ja tehtailta tulleiden bitumikatteiden homogenisoidun seoksen käytöstä saatuja tutkimustuloksia. Tällaisen bitumikaterouheen lisääminen muuttaa asfalttimassan sideaineseosta kovemmaksi ja lisää päällysteen jäykkyyttä ja deformaatiokestävyyttä. Päällysteen pakkaskestävyydessä eroa ei kuitenkaan vaikuttaisi olevan, kun verrataan pelkkää asfalttirouhetta ja asfalttirouhetta sekä bitumikaterouhetta sisältäviä asfalttimassoja keskenään. Tarkkoja arvoja bitumikaterouheen lisäämisen vaikutuksesta ei kuitenkaan voida sanoa, sillä vaikutukset asfalttimassan ominaisuuksiin muuttuvat rouheen alkuperän ja ominaisuuksien sekä asfalttimassassa käytetyn rouhemäärän mukaan.

Bitumikaterouheessa olevan bitumin jäykkyys on selvästi suurempi korkeissa lämpötiloissa kuin muiden bitumien. Alhaisissa ( $\leq 0$  °C) lämpötiloissa suhteelliset erot ovat kuitenkin pieniä. Bitumikaterouhe lisääkin bitumiseoksen jäykkyyttä korkeissa lämpötiloissa, mutta alhaisissa lämpötiloissa eroa ei juuri ole.

Seuraavalla sivulla olevassa kuvassa on esitetty esimerkkitapauksena eri bitumien jäykkyyttä kuvaavat kompleksimoduulit lämpötilan funktiona. Kuvassa on purku- ja tehdasjätteestä valmistettua homogenisoitua bitumikaterouhetta, asfalttirouhetta, tuoretta 160/220-bitumia sekä kahden eri asfalttimassan bitumia, joista toisessa on käytetty pelkkää asfalttirouhetta ja toisessa asfalttirouhetta sekä homogenisoitua bitumikaterouhetta. Kuvasta nähdään selvästi jäykkyyksien suhteellisen eron kasvu korkeissa lämpötiloissa sekä hyvin vähäiset suhteelliset erot alhaisissa lämpötiloissa.



### Suunnittelu ja valmistus

Bitumikaterouhetta voidaan käyttää asfalttimassassa pieninä määrinä (2–4 massa-%) korvaamaan tuoretta bitumia ja kalkkifilleriä. Bitumikaterouhetta voidaan lisätä asfalttimassaan asfalttirouheen kanssa tai ilman. Tilajien asettamien sideaineseosta, asfalttimassaa ja päällystyskohdetta koskevien vaatimusten tulee täytyä bitumikaterouhetta käytettäessä.

Bitumikaterouheen käyttö on otettava huomioon asfalttimassan suunnittelussa esimerkiksi käyttämällä massassa pehmeämpää lisäbitumia. Suunniteltavan sideaineseoksen tunkeuma voidaan arvioida kaavan 1 avulla.

$$(a + b + c) \times \lg pen_{mix} = a \times \lg pen_{RAS} + b \times \lg pen_{RA} + c \times \lg pen_{bit} \quad (1)$$

jossa  $pen_{mix}$  valmistettavan massan sideaineseoksen laskennallinen tunkeuma  
 $pen_{RAS}$  bitumikaterouheesta talteen otetun sideaineen tunkeuma  
 $pen_{RA}$  asfalttirouheesta talteen otetun sideaineen tunkeuma  
 $pen_{bit}$  lisätyn sideaineen tunkeuma  
 $a$ ,  $b$  ja  $c$  bitumikaterouheen sideaineen ( $a$ ), asfalttirouheen sideaineen ( $b$ ) ja lisätyn sideaineen ( $c$ ) osuudet valmistettavan asfalttimassan sideaineseoksessa;  $a + b + c = 1$ .

Bitumikaterouheen bitumin korkean pehmenemispisteen vuoksi laskelmat kompleksimoduulin avulla tai kompleksimoduulin ja vaihekulman perusteella lasketun viskositeetin avulla voivat myös olla hyödyllisiä. Tunkeumaa käyttämällä laskuihin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin viskositeetin käyttöön.

Bitumikaterouheen bitumin kovuuden vuoksi asfalttimassan valmistuksessa ja levityksessä on käytettävä tavanomaista korkeampia lämpötiloja. Suositeltu lämpötila on 170–190 °C. Lisäksi suositellaan korkeampaa kiviaineksen lämpötilaa ja pidempää sekoitusaikaa. Näin varmistetaan bitumikaterouheen tasainen sekoittuminen asfalttimassaan.

Bitumikaterouhetta sisältävän massan jäykkyyden takia käsityönä tehtävä levitys voi olla vaikeaa ja massa saattaa lajittua normaalia helpommin. Levittimellä tehtynä levittämisessä ja jyräyksessä ei ole eroa tavanomaiseen massaan verrattuna. Bitumikaterouhetta sisältävä massa saattaa lajittua normaalia helpommin varastoitaessa. Tästä syystä massa tulee käyttää valmistuspäivänä.

## **5 Uudelleenkierrätettävyys**

Bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin uudelleenkierrätettävyyttä uudeksi asfalttipäällysteeksi ei ole tutkittu. Tämän ohjeen laatimishetkellä saatujen RAS-päällysteiden toimivuuden kokemusten ja bitumikaterouheen materiaalisällön perusteella estettä ei kuitenkaan pitäisi olla. Bitumikaterouhetta sisältävän asfalttijätteen hyötykäytölle muissa maarakennuskohteissa ei myöskään pitäisi olla estettä. Asfalttimassasta voidaan kuitenkin jälkikäteen selvittää infrapunaspektroskopian (FTIR-menetelmän) avulla, onko sen valmistuksessa käytetty bitumikaterouhetta, jos on syytä epäillä, että bitumikaterouhetta sisältävä asfaltti on uudelleenkierrätettävä muista kierrätysasfalteista eroteltuna.

Suomessa ja muissa Pohjoismaissa käytetään SBS-modifioituja bitumikatteita. SBS-polymerin olemassaolo sideaineseoksessa voidaan selvittää infrapunaspektroskopian avulla ja siten voidaan selvittää, sisältääkö kiertoon tarkoitettu asfalttirouhe bitumikaterouhetta tai SBS-polymeerejä.

## **6 Dokumentointi**

Bitumikaterouheen käyttö asfalttipäällysteissä on aina dokumentoiva asiakirjoihin. Kohteen valmistaja säilyttää asfalttimassaa koskevat tarvittavat tiedot ja kohteen sijainnin.

Bitumikaterouhetta sisältävien kohteiden kuntoa tulisi seurata vuosien päästä kohteen valmistumisesta, jotta saadaan lisää tietoa bitumikaterouhetta sisältävän asfaltin pidempiaikaisesta kestävydestä. Seurannan tulokset kirjataan samoin kuin asfalttimassan tiedot ja kohteen sijainti.