



Aalto-yliopisto  
Insinöörیتieteiden korkeakoulu

Niklas Nevalainen

## **Lämpökameran käyttö päällystystöissä, jatkotutkimus**

Erikoistyö

Espoossa 8.1.2015

Valvoja: Professori Terhi Pellinen

Ohjaaja: Professori Terhi Pellinen

AALTO-YLIOPISTO TEKNIIKAN KORKEAKOULUT PL 12100, 00076 Aalto http://www.aalto.fi		ERIKOISTYÖN TIIVISTELMÄ
Tekijä: Niklas Nevalainen		
Työn nimi: Lämpökameran käyttö päällystystöissä, jatkotutkimus		
Korkeakoulu: Insinööritieteiden korkeakoulu		
Laitos: Yhdyskunta- ja ympäristötekniikka		
Professuuri: Liikenne- ja tietekniikka		Koodi: Yhd-71.3185
Työn valvoja: Professori Terhi Pellinen		
Työn ohjaaja: Professori Terhi Pellinen		
<p>Tämä Liikenne- ja tietekniikan erikoistyö on jatkotutkimus vuonna 2014 valmistuneelle Diplomityölle <i>Lämpökamera päällystystöiden laadunvarmistuksessa</i>. Tässä työssä pääpaino oli tyhjätilan tarkastelussa käyttäen SFS -standardien neljää eri menetelmää kappalettiheyden määrittämiseksi.</p> <p>Työssä tarkasteltiin valmiin päällysteen tyhjätilaominaisuuksia kahdelta kesän 2014 päällystyskohteelta. Kohteilta porattiin näytteitä valmiista päällysteestä tyhjätilan määrittämistä varten. Päällysteen lämpötilatietoa kerättiin käyttäen apuna levittimen perään asennettua lämpökameraa, vastaavan laitteiston toimintaa tarkasteltiin myös Diplomityössä. Tutkimuksessa vertailtiin tuloksia vuoden 2013 kohteisiin, joita käsiteltiin Diplomityössä.</p> <p>Tutkimuskohteet olivat 2-ajorataisia valtateitä, sijoittuen Kuopion ja Kempeleen alueille. Kuopion kohteella päällystetyyppinä oli käytössä SMA 16 ja poranäytteet otettiin 1-kaistalta. Kempeleen kohteella päällystetyyppinä oli SMA 22 (1-kaista) ja AB 22 (2-kaista). Molemmilta kaistoilta porattiin näytteitä valmiista päällysteestä. Kuopion kohteella havaittiin korkeita tyhjätilan arvoja kaikista näytekohdista korkeista päällysteen lämpötiloista huolimatta. Kohteella epäiltiin ongelmia massanvalmistuksessa tai puutteita tiivistyksessä. Kempeleen kohteella 1-kaistalla havaittiin selvästi korkeampia tyhjätilan arvoja kaistan molemmilla reunoilla. Syy saattaa olla puutteellisessa jyrinnässä tai tiivistyksessä. 2-kaistalla puolestaan havaittiin alhaisia lämpötiloja ja tämän johdosta tyhjätilat olivat melko korkeat.</p> <p>Vertailu diplomityön tuloksiin paljastaa, että kohteiden lämpötilat olivat korkeammat ja tasaisemmat kuin diplomityötä varten vuonna 2013 tutkituilla kohteilla. Vaikka lämpötilan ja bonuskriteerien perusteella tämän vuoden kohteet pärjäsivät paremmin, olivat tyhjätilat kuitenkin korkeammat. Tulos osoittaa, etteivät korkeat ja tasaiset päällystyslämpötilat takaa onnistunutta lopputulosta, mikäli työmenetelmissä on puutteita.</p>		
Päivämäärä: 8.1.2015	Kieli: Suomi	Sivumäärä: 41 s. + liitteet 3 s.
Avainsanat: Lämpökamera, päällystystyö, tyhjätila, poranäyte		

# Sisällysluettelo

Tiivistelmä	
Sisällysluettelo .....	3
Johdanto .....	4
1.1 Tausta .....	4
1.2 Tutkimusongelma .....	4
1.3 Tavoitteet .....	4
1.4 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne .....	5
1.5 Tutkimuksen rajaus .....	5
2 Tutkimuskohteet .....	6
2.1 VT5 - Kuopio .....	6
2.2 VT4 - Kempele .....	6
3 Tutkimusmenetelmät .....	7
3.1 Kenttätutkimus .....	7
3.1.1 Lämpökameramittaukset .....	7
3.1.2 Näytteenotto .....	8
3.2 Laboratoriotutkimukset .....	11
3.2.1 Kappaletiheiden määrittäminen, DRY .....	11
3.2.2 Kappaletiheiden määrittäminen, SSD .....	11
3.2.3 Kappaletiheiden määrittäminen, PARAFILM .....	12
3.2.4 Kappaletiheiden määrittäminen, DIM .....	13
3.2.5 Tyhjätilan määrittäminen .....	13
4 Tutkimustulokset .....	14
4.1 Lämpökameratulokset .....	14
4.2 Laboratoriotulokset .....	16
5 Tutkimustulosten tarkastelu .....	20
5.1 VT5 - Kuopio .....	20
5.2 VT4 - Kempele .....	28
5.3 Lämpökameravertailu vuoden 2013 tutkimukseen .....	37
6 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset .....	39
6.1 Yhteenveto .....	39
6.2 Päätelmät .....	40
6.3 Suositukset .....	41
Lähdeluettelo .....	42
Liiteluettelo .....	43
Liitteet	

# Johdanto

## 1.1 Tausta

Tämä erikoistyö on jatkotutkimus vuonna 2014 valmistuneelle diplomityölle ”Lämpökameran käyttö päällystysten laadunvarmistuksessa”. Diplomityön tavoitteena oli tutkia kuinka hyvin lämpökamera soveltuu käytettäväksi päällysteen tasalaatuisuuden varmistamisessa ja miten vaatimus lämpökameran käytöstä päällystysurakoissa tulisi asettaa. Diplomityössä tarkasteltiin lämpökameran käyttöä kolmella kesän 2013 päällystyskohteella. Kohteilla seurattiin päällysteen lämpötilaa ennen tiivistystä koko urakan ajan levittimen perään asennetun lämpökameralaitteiston avulla. Lämpötila-aineiston lisäksi jokaiselta kohteelta otettiin poranäytteitä valmiista päällysteestä. Poranäytteet tutkittiin Aalto-yliopiston Teknillisen korkeakoulun tietekniikan laboratoriossa. Jokaisesta poranäytteestä määritettiin kappaleitiheys, massan maksimitiheys, sideainepitoisuus sekä rakeisuus. Lisäksi osasta näytteistä määritettiin päällysteen lujuus- sekä jäykkyysominaisuuksia. Diplomityöhön kuului myös lämpökameralaitteiston tarkastelu sekä urakoitsijan että tilaajan näkökulmasta. Urakoihin oli asetettu bonusjärjestelmä, jonka perusteella urakoitsija saattoi saada bonusta hyvästä työsuorituksesta. Bonus laskettiin lämpökameralle määritettyjen raja-arvojen perusteella. Yhtenä diplomityön tavoitteena oli näiden raja-arvojen ja bonusjärjestelmän arvioiminen.

Diplomityössä oli havaittavissa korrelaatio päällysteen lämpötilan ja tyhjätilan välillä ja usein kuormanvaihtokohdat olivat muuta päällystettyä kylmempiä sekä näissä kohdissa havaittiin usein suurempia tyhjätiloja ja lajittumia. Lämpötilan lisäksi havaittiin jyräksellä sekä levittimen toiminnalla olevan suuri vaikutus lopputuloksen kannalta. Vaikka lämpökamera todettiin toimivaksi välineeksi laadunvarmistuksessa sekä urakoitsijan että tilaajan kannalta, työssä ehdotettiin kohteiden seuranta tulevana vuosina sekä tutkimuksen jatkamista. Lisäksi työssä ehdotettiin bonusjärjestelmän muokkaamista.

## 1.2 Tutkimusongelma

Tyhjätilalla on suuri merkitys päällysteen kestoajan kannalta. Suuri tyhjätila altistaa päällysteen ennen aikaisemalle urautumiselle, kulumiselle sekä purkaumille. Tyhjätilan määrittäminen voidaan nykyisin tehdä monella eri testimenetelmällä ja tämän vuoksi onkin herännyt kysymys, mikä menetelmä antaa tarkimman kuvan päällysteen tyhjätilasta. Tyhjätilan muodostumiseen vaikuttaa erityisesti päällysteen tiivistys. Tiivistykseen puolestaan vaikuttaa päällysteen lämpötila. Liian kylmä päällyste ei tiivisty kunnolla, jolloin tyhjätila jää sallittua korkeammaksi. Myös massan homogeenisuus sekä mahdolliset lajittumat vaikuttavat tyhjätilan suuruuteen sekä lopputuotteen laatuun. Koska päällystystyön onnistuminen on monen asian summa, on ymmärrettävä päällystystyö kokonaisuutena, jotta lopputulos olisi onnistunut ja turvallinen tienkäyttäjien kannalta.

## 1.3 Tavoitteet

Työn tavoitteena on selvittää kuinka erilaiset tyhjätilan määrittävät poikkeavat toisistaan ja miten nämä korreloivat keskenään. Lisäksi työssä tarkastellaan lämpötilan ja tyhjätilan välistä yhteyttä ja lämpötilan vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin.

## **1.4 Tutkimusmenetelmät ja työn rakenne**

Työssä käsitellään lämpökameran tuottamaa aineiston kahdelta vuoden 2014 päällystyskohteelta. Koekohteilta otettiin lisäksi poranäytteitä laboratoriotutkimuksia varten, jotta voitiin tutkia tarkemmin levityslämpötilan vaikutusta päällysteen ominaisuuksiin, ennen kaikkea tyhjätilan suuruuteen.

## **1.5 Tutkimuksen rajaus**

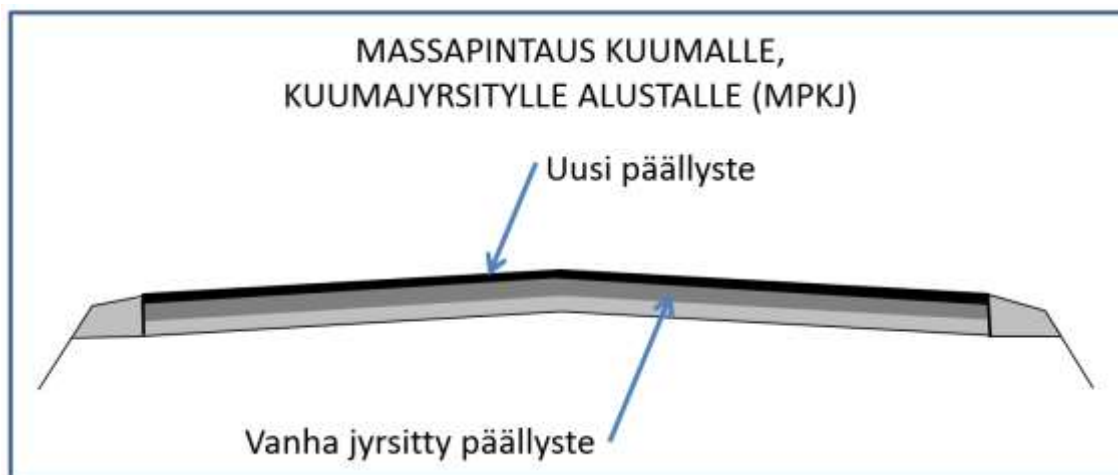
Työssä tutkittiin pääasiassa lämpötilan ja tyhjätilan välistä korrelaatiota. Laajamittaista näytetutkimusta ei tehty, jolloin näytteistä ei selvitetty sideainepitoisuutta tai rakeisuutta.

## 2 Tutkimuskohteet

Tutkimuksessa oli mukana kaksi päällystyskohdetta. Molemmat kohteet olivat valtatiekohteita ja päällystetyyppinä oli kivimastiksiasfaltti eli SMA. Lisäksi Kempeleen kohteella 2-ajoradan massana käytettiin asfalttibetonia eli AB:ta. Päällystysurakka toteutettiin molemmilla tutkimuskohteilla kesän 2014 aikana. Lämpökamera asennettiin levittimeen mittaamaan päällysteen pintalämpötilaa noin 2 m levittimen perän jälkeen ennen tiivistystä koko kohteen ajan.

### 2.1 VT5 - Kuopio

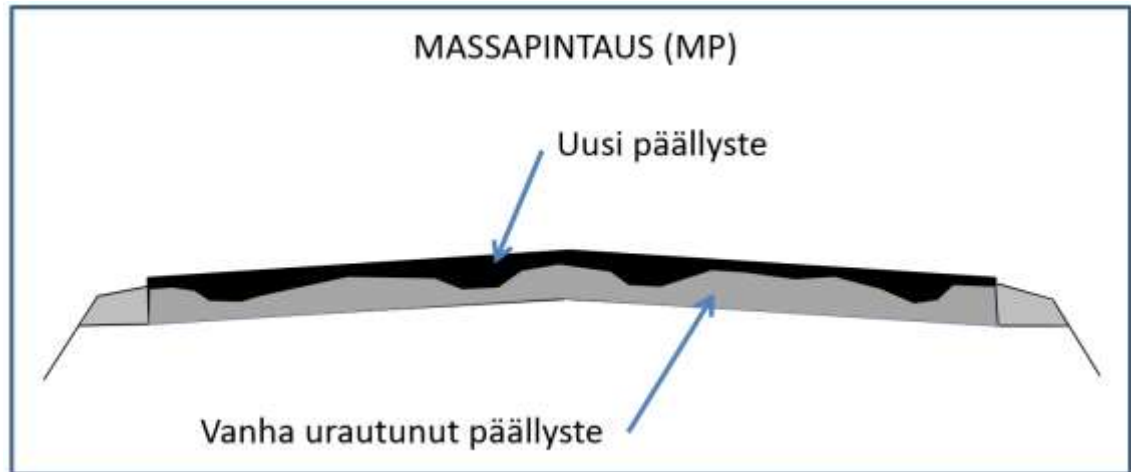
Valtatiellä 5 sijaitsevan kohteen uudelleenpäällystykseen käytettiin SMA16 – massaa. Kohde oli 2-ajoratainen ja 4-kaistainen. Ajokaistan leveys oli 4,0 m. Päällystetyyppinä kohteella käytettiin SMA 16 – massaa. Työmenetelminä käytettiin massapintausta kuumalle, kuumajyritylle alustalle (MPKJ) sekä laatikkoon jrsintää ja uuden laatan tekoa. Kaistan leveys vaihteli 4,2–5,0 metrin välillä. Massapintausta kuumalle, kuumajyritylle alustalle on menetelmä, jossa vanha urautunut päällyste kuumajrsitään urien pohjan tasoon ja alusta tasataan jrsityllä massalla (Tielaitos 1997). Menetelmä on havainnollistettu kuvassa 1. Laatikkoon jrsinnässä vanha päällyste poistettiin noin 40 mm paksulta kerrokselta ja tilalle tehtiin uusi päällystelaatta (Tielaitos 1997). Kohde päällystettiin heinä-elokuun aikana.



Kuva 1 Havainnekuva massapintauksesta kuumalle, kuumajyritylle alustalle.

### 2.2 VT4 - Kempele

Valtatien 4 uudelleenpäällystyksessä käytettiin normaalista poiketen kahta eri massatyyppiä 1- ja 2-kaistoilla. 1-kaistalla massatyyppinä oli SMA22, kun taas 2-kaistalla, eli niin kutsutulla ohituskaistalla, massatyyppinä käytettiin AB22 – massaa. Työmenetelmänä 1-kaistalla käytettiin massapintausta kuumalle, kuumajyritylle alustalle (MPKJ), kun taas 2-kaistalla työmenetelmänä oli massapintausta (MP). Massapintauksessa vaihtelevan paksuinen asfalttibetonista tehty päällyste levitetään vanhalla tasaamattomalle alustalle (Kuva 2) (Tielaitos 1997). Kohde oli 2-ajoratainen ja 4-kaistainen, ajokaistan leveys oli 3,2–3,6 m. Päällystystyö toteutettiin kesä-heinäkuun aikana.



Kuva 2 Havainnekuva massapintausta –työmenetelmästä.

### 3 Tutkimusmenetelmät

Seuraavissa kappaleissa on kuvattu tutkimuksessa käytetyt menetelmät. Päällystyskohteilta otettiin poranäytteitä valmiista päällysteestä, jotta päällysteen laatua ja ominaisuuksia voitiin tutkia tarkemmin laboratoriomittausten avulla.

#### 3.1 Kenttätutkimus

##### 3.1.1 Lämpökameramittaukset

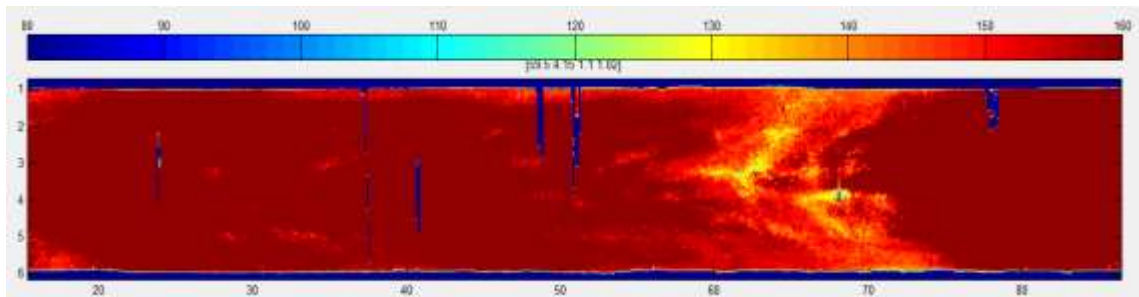
Lämpökameramittauksissa käytettiin Roadscanners Oy:n kehittämää tarkkuuslämpökameraan perustuvaa mittaus- ja tiedonkeruutekniikkaa. Laitteisto koostui lämpökamerasta, GPS -antennista, mittapyörästä, tiedonsiirtotekniikasta sekä näytöllä varustetusta tietokoneesta. Lämpökamerana käytettiin jokaisella kohteella FLIR Systems Inc:n valmistamaa kameraa, jonka resoluutio on 320x240 pikseliä. (Nevalainen 2014.)

Lämpökamera asennettiin levittimen perään rakennettuun telineeseen. Kameran asennus telineeseen tapahtui pulttikiinnityksellä. Kuvassa 3 on esitetty kameran kiinnitys levittimeen. Lämpökamera suunnattiin korkeintaan 45 asteen kulmassa kuvaamaan valmiita päällystettä siten, että koko päällystettävä kaista tulee tallennetuksi sekä mahdollisimman vähän kaistaa ympäröivää aluetta näkyisi kuvassa. Päällysteen pintalämpötila mitattiin noin 2 metrin etäisyydeltä levittimen perän jälkeen ennen jyräystä. GPS -antenni asennettiin levittimessä paikkaan, jossa antennilla olisi mahdollisimman esteetön näkyminen taivaalle. GPS paikkatiedon lisäksi levittimeen asennettiin mittapyörä mittaamaan kuljettua etäisyyttä. (Nevalainen 2014.)



**Kuva 3** Lämpökameran sijainti levittimessä on ympyröity punaisella (Kuva: Kalle Aromaa)

Lämpötila-aineiston tarkastelu suoritettiin MatLab – laskentaohjelmistolla. Ohjelma käyttää visuaalisen esityksen luomiseen lämpökamerasta ladattua raakadataa. MatLab – ohjelmalla voidaan luoda lämpötilamattoja päällysteestä, joista on helposti havaittavissa lämpötilavaihtelu. Kuvassa 4 on esitetty Matlab -ohjelmalla muodostettu lämpötilamatto. Ohjelmalla on myös mahdollista laskea valitulle alueelle tunnuslukuja, joita ovat mm. lämpötilan keskiarvo, keskihajonta, valitun alueen pinta-ala sekä lämpötilan mini- ja maksimiarvo. (Nevalainen 2014.)

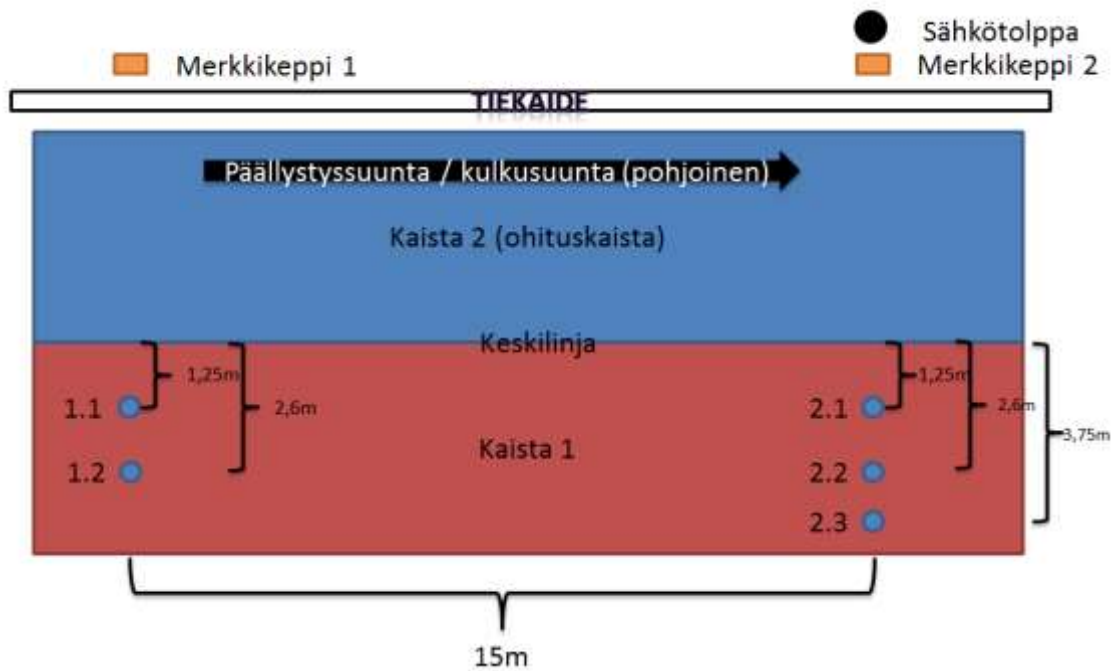


**Kuva 4** Esimerkki MatLab – ohjelmalla luodusta lämpötilamatosta

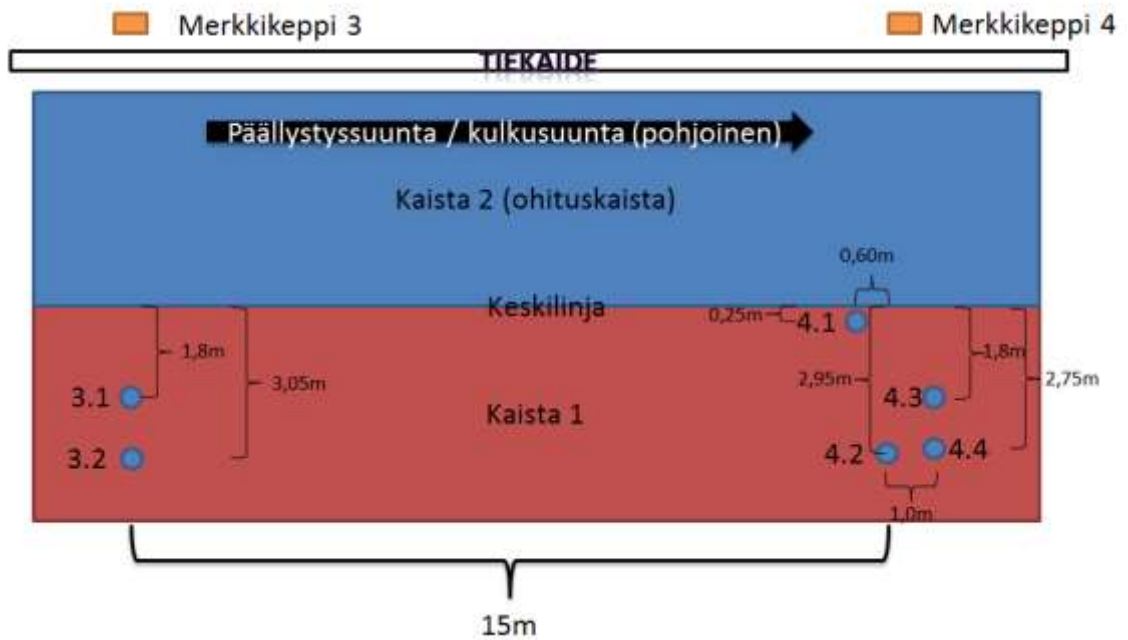
### 3.1.2 Näytteenotto

Molemmilta päällystyskohteilta otettiin poranäytteitä laboratoriotutkimusta varten. Poranäytteiden sijainti määritettiin lämpökameran tuottaman datan perusteella. Kuopiossa poranäytteiden ottokohdat määritettiin älypuhelimien GPS – paikannuksen avulla. Lisäksi maastoon merkittiin ottokohdat maalimerkinnällä sekä merkkikepein. Urakoitsija suoritti näytteenoton. Kuvissa 5-7 on esitetty valtatie 5 näytteenottoaaviot. Kuopiossa valtatiellä 5 porattiin yhteensä kuusitoista näytettä valmiista päällysteestä. Yhteensä yhdeksän näytettä porattiin kuormanvaihtojen kohdalta, missä päällysteen pintalämpötila oli alhaisempi. Vastaavasti 7 näytettä otettiin kuorman keskeltä, missä lämpötila oli tasaisempi ja korkeampi. Kaistan leveys suunnassa otettiin 2-4 näytettä tasaisin välein kolmesta kuormanvaihtokohdasta. Keskeltä kuormaa otettiin vastaavasti 2-3 näytettä kaistan leveys suunnassa kolmesta eri kohdasta. Leveys suunnassa näytteenottoväli vaihteli näytteenotto kohtien mukaan. Pituus suunnassa näytekohtia oli siis kuusi, kolme kuormanvaihtoa ja kolme kohtaa kuormien keskeltä.



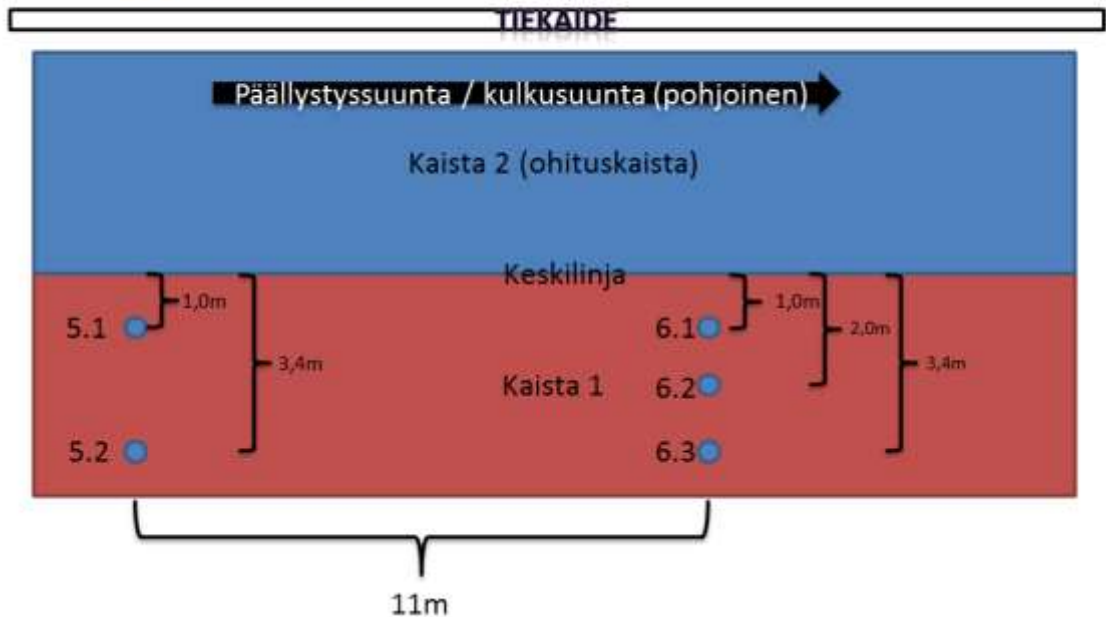


Kuva 5 Kaaviokuva näyttienotokohdista linjoilta 1 ja 2 valtatiellä 5 Kuopiossa (Kuva: Kalle Aromaa)



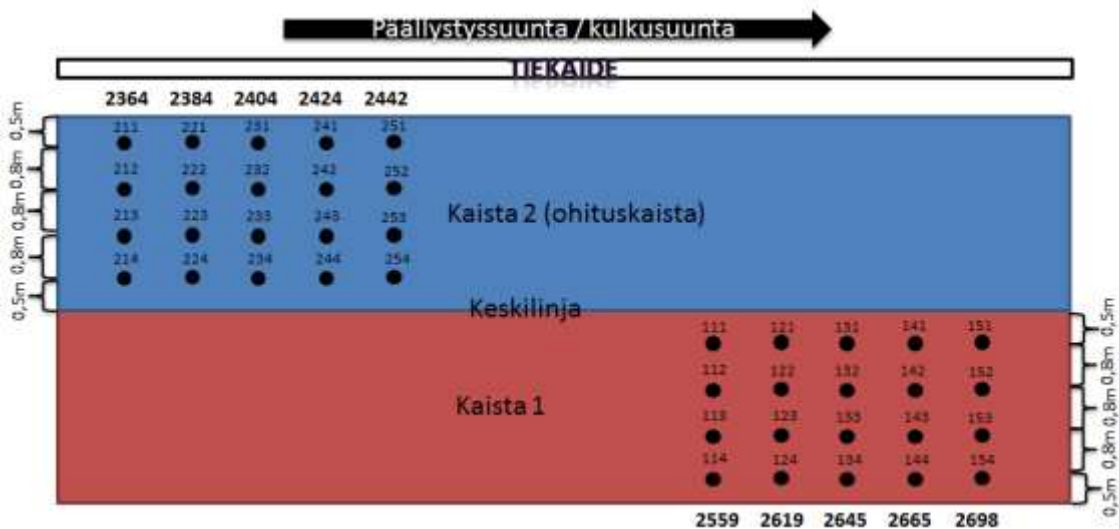
Kuva 6. Näyttienotokaavio linjoilta 3 ja 4 valtatiellä 5 (Kuva: Kalle Aromaa)

- Sähkötolppa
- Merkkikeppi 5



Kuva 7 Näytteenottoakaavio linjoilta 5 ja 6 valtatiellä 5 (Kuva: Kalle Aromaa)

Kempeleen kohteella valtatiellä 4 poranäytteitä otettiin molemmilta kaistoilta. 1-kaistalta porattiin yhteensä 20 näytettä viideltä linjalta. Jokaiselta linjalta otettiin neljä näytettä kaistan leveyssuunnassa kuvassa 8 esitetyin välein. Vastaavasti 2-kaistalta otettiin 20 poranäytettä käyttäen samaa poraussuunnitelmaa kuin kaistalla 1. Ohituskaistalta otettiin siis neljä näytettä viideltä eri linjalta. Molempien kaistojen porauskaavio on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8 Näytteenottoakaavio Kempeleen kohteella valtatiellä 4

## 3.2 Laboratoriotutkimukset

Seuraavissa kappaleissa on esitetty lyhyesti laboratoriomittauksissa käytetyt kappaleitiheyden ja tyhjätilan mittausten menetelmät sekä menetelmien periaatteet. Laboratoriotutkimus suoritettiin Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun tietekniikan laboratoriossa Espoon Otaniemessä.

### 3.2.1 Kappaleitiheyden määrittäminen, DRY

Kappaleitiheys voidaan määrittää eurooppalaisen standardin SFS-EN 12697-6 menettelyllä A, jolla määritetään asfalttinäytteen kappaleitiheys kuiva-menetelmällä. Testimenetelmä on tarkoitettu laboratoriossa tiivistettyjen tai valmiista päällysteestä otettujen poranäytteiden tutkimiseen. Asfalttinäytteen kappaleitiheydellä tarkoitetaan näytteen massan ja tilavuuden suhdetta tunnetussa testilämpötilassa huokoset mukaan lukien. Kappaleitiheys määritetään näytteen massan ja tilavuuden avulla. Näytteiden tulee olla puhtaita ja kuivia ennen kappaleitiheyden määrittämistä. (SFS-käsikirja 2004.)

SFS – standardin mukaan kuiva-menetelmä on tarkoitettu käytettäväksi asfalttinäytteille, joiden pinta on erittäin tiivis. Menetelmää tulisi siis käyttää tutkittaessa tiiviitä asfalttimassoja, jotka eivät ime vettä eli joiden absorptio on erittäin alhainen. Kappaleen pinnan tekstuuri ja huokosten koko vaikuttavat menetelmän käytettävyyteen. Huokosten tulisi olla pieniä, jolloin vesi ei pääse huokosiin. (SFS-käsikirja 2004.)

Koe suoritettiin punnitsemalla kuivattu näyte ilmassa. Tämän jälkeen näyte punnittiin vedessä ripustamalla se vesihauteessa olevaan ripustimeen. Vaa'an lukema merkittiin ylös mahdollisimman nopeasti, jottei vesi ehdi imeytyä näytteen huokosiin. (SFS-käsikirja 2004.) Alla on esitetty laskentakaava (1) kappaleitiheyden määrittämiseksi kuiva-menetelmällä:

$$\rho_{bdry} = \frac{m_1}{(m_1 - m_2)} \times \rho_w \quad (1)$$

missä

$\rho_{bdry}$  on asfalttinäytteen kappaleitiheys - kuiva, [kg/m<sup>3</sup>]

$m_1$  kuivan näytteen massa ilmassa, [g]

$m_2$  näytteen massa vedessä, [g]

$\rho_w$  veden tiheys testilämpötilassa, [kg/m<sup>3</sup>]

(SFS-käsikirja 2004.)

### 3.2.2 Kappaleitiheyden määrittäminen, SSD

Asfalttimassan kappaleitiheyden määrittämiseen voidaan käyttää standardin SFS-EN 12967-6 menettelyä B. SSD tulee sanoista Surface Saturated Dry ja tarkoittaa pinta-kuivattua. Menetelmä on tarkoitettu asfalttinäytteille, joiden pinta on tiivis. Lisäksi näytteen veden absorptio tulisi olla alhainen. Menetelmän soveltuvuus riippuu näytteen tyhjätilasta sekä huokoisuudesta. Menetelmä sopii käytettäväksi esimerkiksi asfalttikonkreetille, jossa tyhjätila on korkeintaan noin 5 % sekä kivimastikiasfaltille, jossa tyhjätila on enimmillään noin 4 %. Määrittämisessä tulee olla erittäin tarkka kuivatessa näytteen pintaa, sillä mikäli näytteeseen jää paljon vettä, saattaa tulos vääristyä. (SFS-käsikirja 2004.)

Tässä menetelmässä kuiva näyte punnitaan ensin ilmassa. Tämän jälkeen näyte upoteetaan vesihauteeseen ja veden annetaan imeytyä näytteen huokosiin. Imeytetty näyte punnitaan vedessä. Tämän jälkeen näyte pintakuivataan ja punnitaan ilmassa välittömästi kuivauksen jälkeen. (SFS-käsikirja 2004.) Laskentakaava (2) on esitetty ohessa:

$$\rho_{bssd} = \frac{m_1}{(m_3 - m_2)} \times \rho_w \quad (2)$$

missä

$\rho_{bssd}$  on asfalttinäytteen kappaleitiheys - pintakuivattu, [kg/m<sup>3</sup>]

$m_1$  kuivan näytteen massa ilmassa, [g]

$m_2$  näytteen massa vedessä, [g]

$m_3$  pintakuivatun näytteen massa, [g]

$\rho_w$  veden tiheys testilämpötilassa, [kg/m<sup>3</sup>]

(SFS-käsikirja 2004.)

SFS – standardissa mainittujen menetelmän soveltuvuutta koskevien rajoitusten lisäksi AASHTO – standardissa mainitaan veden absorption vaikuttavan menetelmän käytettävyyteen. AASHTO – standardin mukaan näytteille, joiden absorptio on yli 2 %, tulisi käyttää SSD – menetelmän sijasta Parafilm – menetelmää. Lisäksi standardin mukaan menetelmä ei sovellu käytettäväksi näytteille, joissa on suuret huokoiset ja suuri tyhjätila, kuumapäällysteillä 8-10 %. Huokoinen näyte, jonka tyhjätila on korkea, antaa SSD – menetelmällä tyhjätilan arvoksi liian alhaisen tuloksen, sillä vesi pääsee valumaan näytteestä pois, jolloin kappaleitiheyden arvosta tulee liian suuri. (AASHTO 2011.)

### 3.2.3 Kappaleitiheyden määrittäminen, PARAFILM

Asfalttinäytteiden kappaleitiheys voidaan määrittää myös standardin SFS-EN 12967-8 menettelyllä C. Tässä menettelyssä näyte suljetaan tiiviisti vettä läpäisemättömään kalvoon tai vahaan siten, että näytteen ja kalvon väliin ei jää ylimääräistä ilmaa. Menetelmä sopii käytettäväksi kun tutkitaan avoimia asfalteja tai karkeapintaisia näytteitä. Menetelmä sopii asfalttimassoille, joissa tyhjätilat ovat korkeintaan 15 %. Karkeapintaisia näytteitä tutkittaessa näytteen ympärille levitettävä kalvo saattaa vääristää tuloksen, sillä pinnan karheus voidaan tulkita sisäiseksi huokosiksi, jolloin saadaan liian suuria tyhjätilan arvoja. Toisaalta jos menetelmässä käytetään kalvon sijasta vaha, saattaa vaha mennä näytteen huokosiin ja täten tyhjätilan arvosta tulee liian alhainen. (SFS-käsikirja 2004.)

Ensin kuiva näyte punnitaan ilmassa, jonka jälkeen näyte suljetaan tiiviisti vettä läpäisemättömän kalvon sisään. Näyte punnitaan uudelleen ilmassa. Tämän jälkeen näyte asetetaan vesihauteeseen ja tarkastetaan, ettei kalvon sisään pääse vettä eikä näytteestä nouse ilmakuplia. Lopuksi näyte punnitaan vedessä. (SFS-käsikirja 2004.) Laskennassa käytetty kaava (3) on esitetty alla:

$$\rho_{bsea} = \frac{m_1}{\frac{m_2 - m_3}{\rho_w} - \frac{m_2 - m_1}{\rho_{sm}}} \quad (3)$$

missä

$\rho_{bsea}$  on asfalttinäytteen kappaleitiheys – suljettu, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $m_1$  kuivan näytteen massa ilmassa, [g]  
 $m_2$  kalvolla suljetun näytteen massa ilmassa, [g]  
 $m_3$  kalvolla suljetun näytteen massa vedessä, [g]  
 $\rho_w$  veden tiheys testilämpötilassa, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho_{sm}$  vettä läpäisemättömän materiaalin tiheys, [kg/m<sup>3</sup>]  
 (SFS-käsikirja 2004.)

### 3.2.4 Kappaleitiheyden määrittäminen, DIM

Neljäs menettely kappaleitiheyden määrittämiseen perustuu asfalttinäytteen ulkomittoihin. Menetelmä sopii näytteille, joilla on geometrinen muoto ja joiden pinnan tekstuuri on normaali. Näytteen tyhjätila ei vaikuta menetelmän käyttöön. SFS – standardissa kerrotaan menetelmän soveltuvan etenkin näytteille, jossa tyhjätila on yli 15 %. Myös tässä menetelmässä näytteen pinnan karkeus vaikuttaa tulokseen, sillä pinnan huokoiset lasketaan tässä menetelmässä sisäisiksi huokosiksi. Tämän takia menetelmä ei sovellu karkeapintaisille näytteille. Menetelmä soveltuu kuitenkin hyvin huokoisille näytteille, joiden pinta ei ole karkea. (SFS-käsikirja 2004.)

SFS standardin EN 12967-8 menettelyssä D määritetään sylinterin muotoisen poranäytteen korkeus ja halkaisija sekä mitataan kuivan näytteen massa ilmassa. Kappaleitiheys määritetään alla esitetyn kaavan (4) avulla:

$$\rho_{bdim} = \frac{m_1}{\frac{\pi}{4} \times h \times d^2} \times 10^3 \quad (4)$$

missä

$\rho_{bdim}$  on asfalttinäytteen kappaleitiheys – ulkomitat, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $m_1$  kuivan näytteen massa ilmassa, [g]  
 $h$  sylinterin muotoisen poranäytteen korkeus, [mm]  
 $d$  sylinterin muotoisen poranäytteen halkaisija, [mm]  
 (SFS-käsikirja 2004.)

### 3.2.5 Tyhjätilan määrittäminen

Asfalttinäytteiden tyhjätila määritettiin standardin SFS-EN 12967-8 mukaisesti. Tyhjätilalla tarkoitetaan tiivistetyn asfalttinäytteen bitumipäällysteisten kivirakeiden välistä tilaa, joka on täyttynyt ilmalla. Asfalttinäytteen tyhjätilapitoisuuden laskemisessa käytetään tietoa asfalttimassan maksimitiheydestä sekä asfalttinäytteen kappaleitiheydestä. (SFS-käsikirja 2004.) Laskennassa käytetty kaava (5) on esitetty alla:

$$V_m = \frac{\rho_m - \rho_b}{\rho_m} \times 100\% \quad (5)$$

jossa

$V_m$  on massan tyhjätalipitoisuus, [%]

$\rho_m$  asfalttimassan maksimitiheys, [kg/m<sup>3</sup>]  
 $\rho_b$  asfalttinäytteen kappaleitiheys, [kg/m<sup>3</sup>]  
(SFS-käsikirja 2004.)

Tyhjätilan määrittäminen riippuu pitkälti kappaleitiheyden sekä asfalttimassan maksimitiheyden määritysten onnistumisesta. Etenkin kappaleitiheyttä määritettäessä tulee olla erittäin tarkka menetelmän soveltuvuudesta tutkittavalle päällystetyypille. Kappaleitiheyden määrittämisen onnistumiseen vaikuttaa olennaisesti päällysteen huokoisuus. Väärällä menetelmällä tai virheellisesti toteutetulla määrittämisellä voidaan saada aikaan suuria eroja tyhjätilan arvossa.

## 4 Tutkimustulokset

Seuraavissa kappaleissa on esitetty tutkimustulokset lämpökameramittausten ja laboratoriokeiden osalta. Tutkimustulosten tarkastelu on esitetty kohdassa 5.

### 4.1 Lämpökameratulokset

Päällysteen pintalämpötilaa mitattiin jokaisella kohteella koko urakan ajan levittimeen kiinnitetyllä lämpökameralla. Aineistosta on poistettu alle 80 °C lämpötilapisteet, sillä nämä pisteet voidaan tulkita jyrän tai ihmisten aiheuttamiksi, eivätkä täten edusta päällysteen pinnan lämpötilaa. Kaistakohtaiset lämpötilan keskiarvot on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Taulukoissa on esitetty myös kaistakohtaiset päällystyspituudet.

**Taulukko 1** Kaistakohtaiset lämpötilan keskiarvot kohteella Vt5 Kuopio.

Kohde	Massatyyppi	Pituus (m)	Lämpötilan keskiarvo (°C)
VT5 112	SMA 16	4429	157,6
VT5 111	SMA 16	4314	155,7
VT5 221	SMA 16	10984	161,8
VT5 111	SMA 16	6815	164,0

**Taulukko 2** Kaistakohtaiset lämpötilan keskiarvot kohteella Vt4 Kempele.

Kohde	Massatyyppi	Pituus (m)	Lämpötilan keskiarvo (°C)
VT4 111	SMA 22	10069	159,7
VT4 112	AB 22	10069	141,6
VT4 221	SMA 22	10069	153,8
VT4 222	AB 22	10069	140,7

Päällysteen lämpötila näytteenottokohdista määritettiin Matlab -ohjelmistolla. Ohjelmaan syötettiin lämpökameran tallentama lämpötilatieto taulukkumuodossa, josta ohjelma tulosti lämpötilamaton. Liitteessä 1 on havainnollistettu näytekohdat lämpötilamaton avulla. Koska näytteenottokehtien määrittäminen tarkasti lämpötilamatosta on hankalaa, lämpötilamatosta rajattiin noin 1x1 metrin alue poranäytteen ottokohdalta ja laskettiin ohjelman avulla tämän alueen lämpötilan keskiarvo. Alueen keskilämpötila edustaa päällysteen lämpötilaa yhden poranäytteen kohdalta. Taulukoissa 3 ja 4 on esi-

tetty Matlab -ohjelmistolla määritetyt lämpötilat ja lämpötilan keskihajonta poranäytteiden kohdilta. Harmaalla pohjalla olevat arvot on mitattu kuormanvaihtoista.

**Taulukko 3 Päälysteen lämpötila määritettynä poranäytteiden kohdalta valtatiellä 5 Kuopiossa. Kuormanvaihdot on merkitty harmaalla.**

<b>VT5</b>		
<b>Näyte nro.</b>	<b>Lämpötila (°C)</b>	<b>Keskihajonta</b>
1.1	165,2	3,32
1.2	167,1	3,15
2.1	155,8	4,17
2.2	150,3	7,37
2.3	156,8	3,39
3.1	162,8	1,67
3.2	162,4	2,36
4.1	149,1	11,43
4.2	151,6	6,22
4.3	163,1	4,24
4.4	158,7	4,85
5.1	152,2	6,34
5.2	142,0	6,41
6.1	169,7	5,31
6.2	170,2	5,53
6.3	172,5	3,55

**Taulukko 4 Päälysteen lämpötila määritettynä poranäytteiden kohdalta valtatiellä 3 Kempeleessä. Taulukossa on esitetty tulokset molemmilta kaistoilta. Kuormanvaihdot on merkitty harmaalla.**

<b>VT4</b>		
<b>Näyte nro.</b>	<b>Lämpötila (°C)</b>	<b>Keskihajonta</b>
111	169,7	9,32
112	168,1	4,70
113	167,4	4,32
114	166,9	9,44
121	166,4	10,18
122	167,9	2,32
123	166,0	3,81
124	162,3	8,49
131	162,7	14,77
132	165,8	8,76
133	165,4	1,17
134	162,4	12,67
141	149,6	8,49
142	145,6	7,43
143	141,4	7,37
144	154,9	10,61
151	159,0	10,27

152	158,5	4,37
153	160,3	4,61
154	159,5	8,22
211	139,8	7,25
212	143,8	6,56
213	141,1	13,96
214	138,3	8,31
221	138,4	13,65
222	147,7	4,89
223	147,7	5,20
224	136,4	7,30
231	142,2	7,50
232	139,5	8,22
233	143,4	6,91
234	139,7	8,88
241	140,5	7,23
242	143,2	2,07
243	143,5	4,92
244	128,6	15,99
251	140,8	8,75
252	146,8	12,72
253	140,3	17,35
254	138,1	10,14

## 4.2 Laboratoriotulokset

Kaikista tieltä otetuista poranäytteistä tutkittiin laboratorioissa päällysteen kappaleitiheys, massan maksimitiheys sekä päällysteen tyhjätila. Kappaleitiheys ja näin ollen myös tyhjätila määritettiin neljällä eri testimenettelyllä. Alla olevissa taulukoissa on esitetty laboratorionäytteiden tulokset kohteittain massan maksimitiheyden sekä päällysteen tyhjätilan osalta (taulukot 5-7). Punaisella on merkitty tutkimuksessa hylätyt näytteet.

**Taulukko 5 Poranäytteiden tutkimustulokset, kohde vt5.**

VT5 Näyte nro.	Maksimitiheys (Mg/m <sup>3</sup> )	Tyhjätila, DRY (til.- %)	Tyhjätila, SSD (til.-%)	Tyhjätila, Parafilm (til.-%)	Tyhjätila, DIM (til.-%)
1.1	2,717	6,5	7,2	9,4	9,9
1.2	2,698	4,3	4,4	6,8	7,3
2.1	2,693	4,0	4,1	6,3	7,1
2.2	2,711	4,6	5,4	8,6	7,9
2.3	2,714	5,6	6,4	8,7	8,8
3.1	2,701	3,6	4,8	7,9	7,5
3.2	2,716	4,1	5,2	9,9	9,8
4.1	2,714	4,5	11,9	16,7	16,7
4.2	2,718	4,6	5,0	8,7	7,9
4.3	2,721	5,0	6,1	9,1	8,1
4.4	2,696	3,9	4,3	7,9	8,2
5.1	2,723	4,2	4,8	9,1	6,8
5.2	2,715	4,4	5,3	8,5	7,4



6.1	2,705	4,4	4,5	7,7	8,3
6.2	2,698	3,5	4,1	7,6	7,4
6.3	2,713	4,4	5,3	9,1	7,4

**Taulukko 6 Poranäytteiden tutkimustulokset, kohde vt4, kaista 1.**

VT4 Näyte nro.	Maksimitiheys (Mg/m <sup>3</sup> )	Tyhjättila, DRY (til.- %)	Tyhjättila, SSD (til-%)	Tyhjättila, Parafilm (til-%)	Tyhjättila, DIM (til-%)
111	2,753	4,4	6,8	16,6	11,0
112	2,727	3,3	4,0	7,9	6,1
113	2,695	0,9	0,9	4,4	3,7
114	-	-	-	-	-
121	-	-	-	-	-
122	2,700	1,8	1,8	5,8	4,4
123	2,724	2,2	2,4	8,0	7,7
124	2,748	4,9	5,4	9,2	8,6
131	2,743	4,4	5,9	16,2	15,0
132	-	-	-	-	-
133	2,701	1,3	1,3	5,5	5,8
134	2,774	4,5	6,2	15,2	13,8
141	2,740	4,1	6,4	14,2	13,1
142	-	-	-	-	-
143	2,731	2,4	2,4	7,1	4,5
144	2,731	3,2	4,5	12,0	10,2
151	2,756	4,1	7,4	15,9	15,4
152	2,717	2,6	2,8	7,2	5,8
153	2,700	1,2	1,1	4,8	2,8
154	-	-	-	-	-

**Taulukko 7 Poranäytteiden tutkimustulokset, kohde vt4, kaista 2.**

VT4 Näyte nro.	Maksimitiheys (Mg/m <sup>3</sup> )	Tyhjättila, DRY (til.- %)	Tyhjättila, SSD (til-%)	Tyhjättila, Parafilm (til-%)	Tyhjättila, DIM (til-%)
211	2,748	5,5	6,2	11,1	9,9
212	2,779	4,6	7,0	12,2	11,9
213	2,734	2,6	2,5	5,8	4,7
214	2,743	2,9	3,0	6,3	5,6
221	2,721	2,3	2,4	5,6	4,6
222	2,749	1,3	1,3	3,6	3,0
223	2,725	1,4	1,3	3,6	2,7
224	2,733	2,8	2,7	6,0	5,3
231	2,747	4,7	4,7	9,3	7,0
232	2,731	2,0	1,9	5,0	4,6
233	2,755	2,9	2,8	5,7	4,5
234	2,744	3,1	3,0	6,0	4,3
241	2,730	2,4	2,3	6,1	4,6
242	2,732	0,8	0,7	2,9	1,9
243	2,728	1,5	1,4	3,6	3,2
244	2,746	3,1	3,1	6,2	4,8

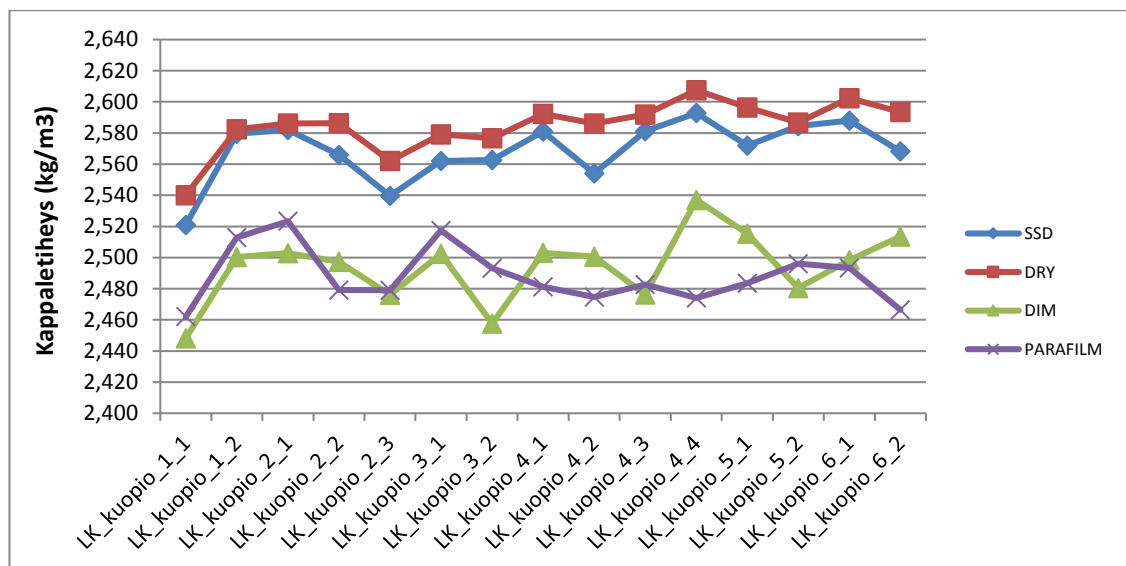
251	2,766	4,5	4,6	9,2	8,3
252	2,749	3,6	3,7	5,9	5,8
253	2,717	1,5	1,4	3,1	2,3
254	2,742	4,3	4,4	6,8	6,3

Kempeleen kohteella osalle kaistan 1 poranäytteistä suoritettiin PRALL – kulutuskestävyyskoe, jonka takia näytteistä ei mitattu maksimitiheyttä eikä näin ollen myöskään tyhjätilaa. Lisäksi näyte 141 öljyyntyi laboratorionkokeiden aikana ja tämän vuoksi näytteen tulokset eivät ole luotettavia. PRALL – kokeen tulokset on esitetty taulukossa 8.

**Taulukko 8 PRALL – arvot, Kempele kaista 1.**

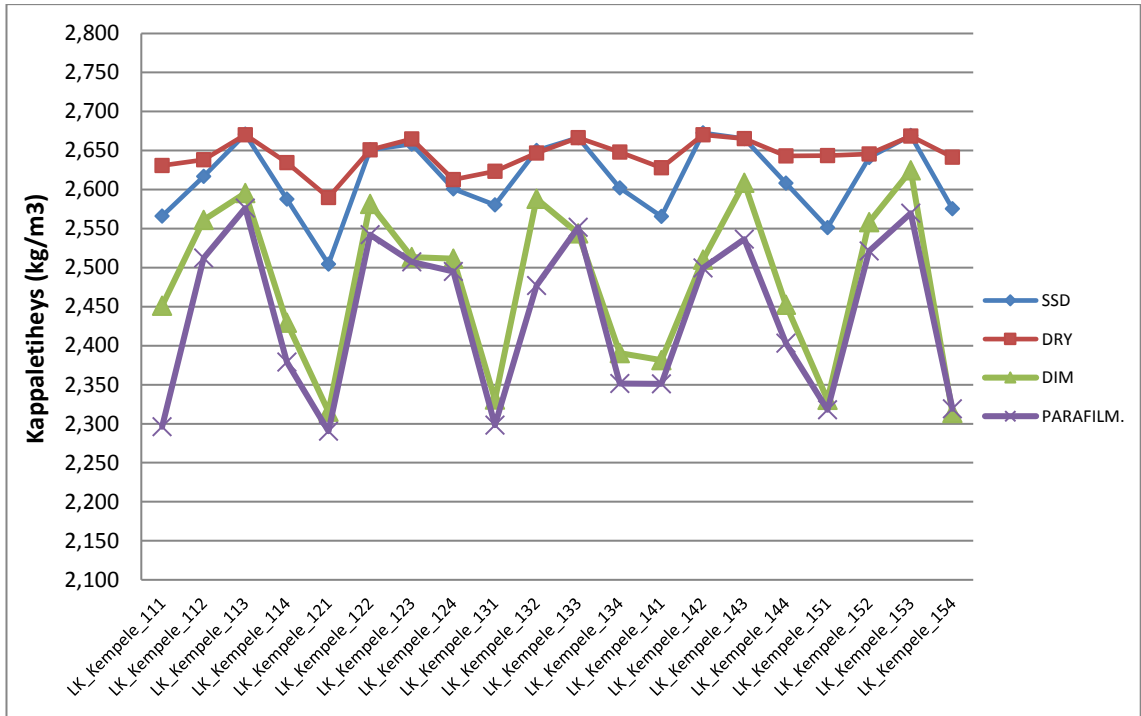
Näyte nro.	114	121	132	142	154
PRALL -arvo	19	17	20	23	20

Kappaletiheudet määritettiin molempien kohteiden näytteille neljällä eri testimenettelyllä. Kuvassa 9 on esitetty kappaletiheuden tulokset Kuopion kohteelta. Kuvasta nähdään että SSD- sekä kuiva-menettely korreloivat hyvin keskenään, koska testimenetelmät ovat lähes samanlaiset. Parafilm sekä ulkomittoihin perustuva menetelmä muodostavat osittain samantapaisen käyrän kuin SSD- ja kuiva-menettelmä, mutta poikkeavat suuruusluokaltaan selvästi edellä mainituista menetelmistä.

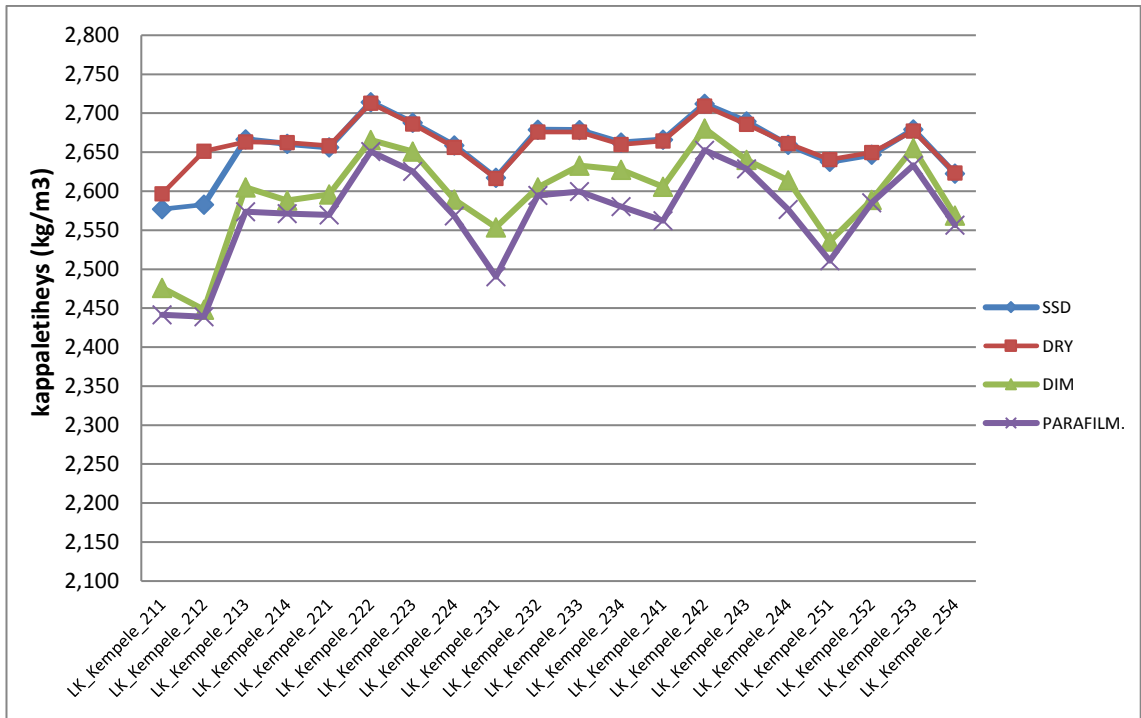


**Kuva 9 Kappaletiheudet mitattuna neljällä eri testimenettelyllä, vt5 Kuopio.**

Kempeleen kohteen tulokset kappaletiheuden mittauksissa on esitetty kaistoittain kuvissa 10 ja 11. Kaistalla 1 havaitaan käyrien noudattelevan hyvin samaa muotoa, mutta parafilm sekä ulkomitat-menettelyllä saadaan aikaan suurempi vaihtelu mittaustuloksissa. Kaistalla 2 puolestaan parafilm ja ulkomitat-menettely eivät poikkea yhtä merkittävästi SSD- ja kuiva-menettelyllä saaduista tuloksista, kuin kaistalla 1. Tämän selittää osaltaan kaistoilla käytetty eri massatyypit. Kaista 1 päällystettiin SMA22 – massalla, kun taas kaistalla 2 käytettiin AB22- massaa.



Kuva 10 Kappaletiheudet vt4 Kempele, kaista 1.



Kuva 11 Kappaletiheudet vt4 Kempele, kaista 2.

## 5 Tutkimustulosten tarkastelu

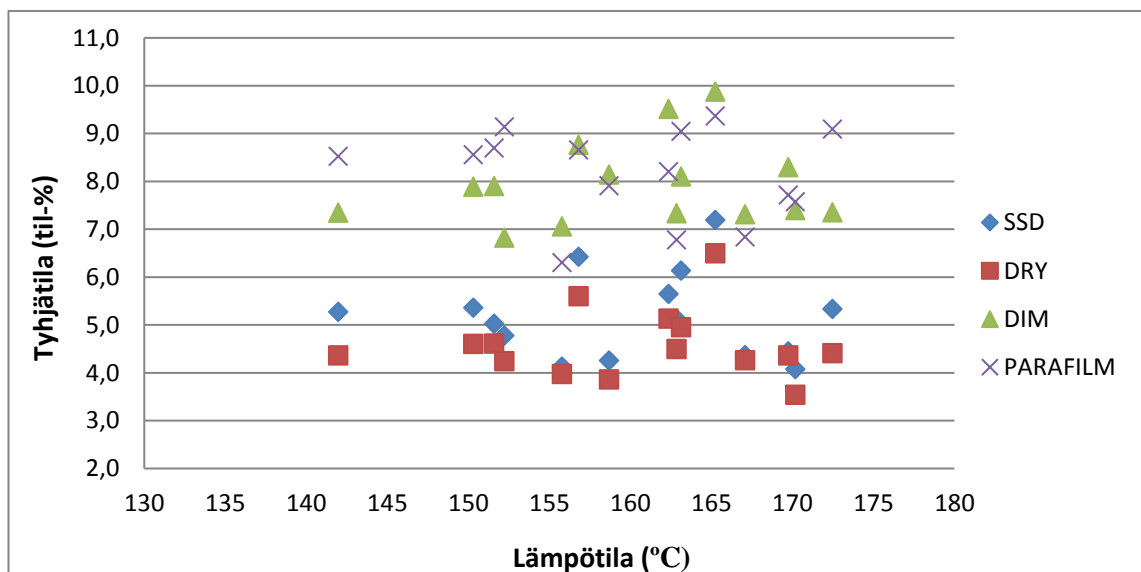
Seuraavissa kappaleissa tarkastellaan tutkimustuloksia kohteittain. Tarkastelun pääpainona oli tutkia päällysteen pintalämpötilan ja päällysteen tyhjätilan välistä yhteyttä. Lisäksi tässä tutkimuksessa tutkittiin tarkemmin tyhjätilan määrittystavan vaikutusta tuloksiin.

### 5.1 VT5 - Kuopio

Koko kohteen keskilämpötilaksi mitattiin lämpökameran avulla 159,8 °C. Kohteella VT5 päällysteen lämpötila oli suhteellisen tasainen jaksolla, jolta poranäytteet otettiin. Kuorman vaihdoissa lämpötila oli keskimäärin noin 150 °C ja keskeltä kuormaa mitattuna noin 160 °C. Suurin lämpötilaero kuorman vaihtojen ja kuorman keskiosan välillä oli 18 °C ja se mitattiin porauslinjojen 4 ja 6 välillä.

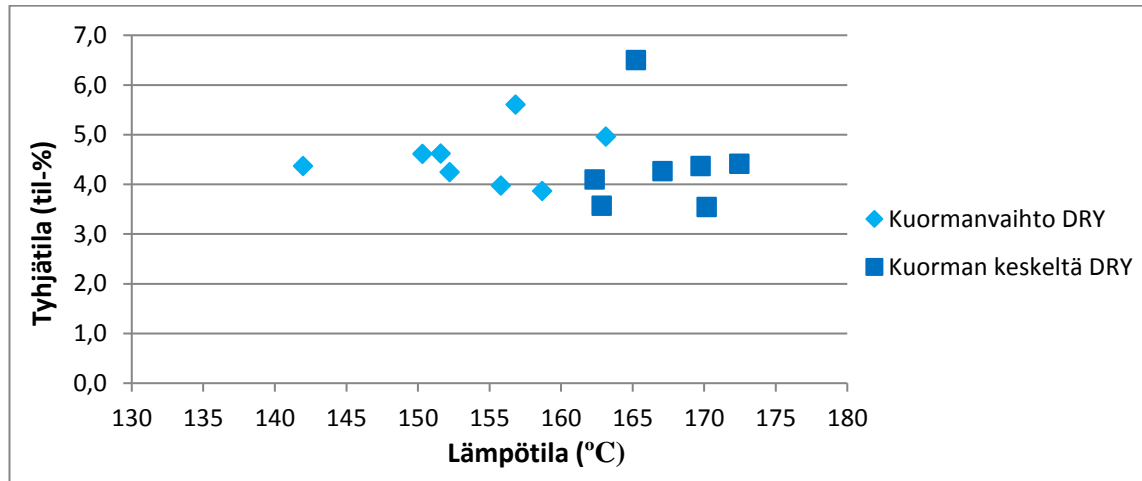
Koska näytepaikkojen merkitseminen tapahtui käyttäen apuna älypuhelimien GPS -paikannusta, oli näytekohtien määrittäminen lämpötila-aineistosta erittäin haastavaa. Roadscannersin laatima laitteisto käyttää eri koordinaattijärjestelmää kuin puhelimen GPS - paikannus, joten GPS koordinaatit oli ensin muutettava yhteensopiviksi. Älypuhelimella ja levittimeen kiinnitetyllä GPS - antennilla määritetyt koordinaatit eivät täsmänneet keskenään, vaan heittoa oli paikoin jopa yli 10 metriä. Tämä asetti vaikeuksia näytekohtien löytämiseen lämpötila-aineistosta. Vaikka näytekohdat pyrittiin määrittämään mahdollisimman tarkasti poranäytteiden kohdista saatavilla olevan tiedon avulla, poranäytteiden sijainnit saattavat poiketa oletetuista kohdista.

Kun tarkastellaan lämpötilan ja tyhjätilan välistä yhteyttä, kuvasta 12 nähdään, ettei lämpötilan ja tyhjätilan välillä ole havaittavissa korrelaatiota. Tämä saattaa selittyä osittain virheellisellä näytekohtien määrittämisellä lämpötila-aineistossa, sillä näytekohtien paikantaminen oli haastavaa. Lisäksi tulosta selittää kuorman vaihtojen sekä kuorman keskiosan välinen alhainen lämpötilaero. Koska lämpötilaerot ovat pieniä, ei synny myöskään suuria eroja tyhjätilan arvoissa. Kuvaan on merkitty eri testimenetelmillä lasketut tyhjätilan arvot.



Kuva 12 Lämpötilan ja tyhjätilan välinen yhteys, kohde vt5.

Tyhjätilan arvossa ei myöskään havaittu merkittävää eroja kuorman vaihtojen ja kuorman keskiosien välillä. Tulosta selittävät mahdolliset virheet poranäytteiden paikannuksessa sekä alhaiset lämpötilaerot kuorman vaihtojen ja kuorman keskiosien välillä. Kuvaa 13 on merkitty tyhjätilat kuorman vaihdoista ja kuorman keskiosista poratuilta näytteiltä. Kuvan tyhjätilat on laskettu käyttämällä kappalettiheyden kuiva-menetelmää (DRY). Muilla testimenetelmillä laskettuna saatiin vastaavanlainen tulos, jonka mukaan tyhjätiloissa ei ollut merkittäviä eroja kuormanvaihtojen ja kuorman keskiosien välillä.



Kuva 13 Tyhjätilat kuorman vaihdoissa ja kuorman keskellä laskettuna kuiva-menetelmän avulla, kohde vt5.

Vaikka kuvaajasta ei ole havaittavissa eroa tyhjätilan arvoissa kuormanvaihtojen ja kuorman keskiosien välillä, tarkasteltaessa keskiarvoja havaitaan, että kuormanvaihdoissa tyhjätilan arvot ovat hieman korkeammat kuin kuorman keskeltä otetuilla näytteillä. Kuiva-menetelmällä laskettuna vaihtokohdissa tyhjätilan keskiarvo oli 4,53 %, kun taas keskellä kuormaa keskiarvo oli 4,39 %. Vastaavat tyhjätilan keskiarvot vaihtokohdissa muilla menetelmillä laskettuna olivat 5,18 % (SSD), 8,36 % (Parafilm) ja 7,76 % (DIM). Keskeltä kuormaa poratuilta näytteiltä vastaavat arvot olivat 5,06 % (SSD), 8,34 % (Parafilm) sekä 8,22 % (DIM), josta nähdään, että arvot ovat hieman alhaisemmat kuin vaihtokohdissa ulkomittoihin perustuvaa menetelmää lukuun ottamatta.

Kappalettiheydet eivät poikenneet kuormanvaihdoista tai kuorman keskeltä määritetyillä näytteillä kuiva- ja SSD – menetelmässä. Kun kappalettiheydet määritettiin Parafilmiä käyttäen, oli vaihtojen ja keskiosien kappalettiheyksien keskiarvoissa havaittavissa pientä eroa. Vaihdoissa mitattiin keskimäärin  $2,486 \text{ kg/m}^3$  kappalettiheys, kun puolestaan keskeltä kuormaa vastaava arvo oli  $2,481 \text{ kg/m}^3$ . Ulkomittoihin perustuvalla menetelmällä kappalettiheydet poikkesivat selvästi enemmän, kappalettiheyden keskiarvon olleen  $2,505 \text{ kg/m}^3$  vaihtokohdissa ja  $2,484 \text{ kg/m}^3$  kuorman keskellä.

Veden absorptio oli keskimäärin 1,0 %, lukuun ottamatta näytettä 4.1, jonka veden absorptioksi saatiin 2,9 %. Kyseinen näyte oli muidenkin mittaustulosten mukaan poikkeava, eikä näytettä ole otettu huomioon tulosten tarkastelussa. Koska veden absorptio oli melko alhainen, ei se asettanut rajoituksia kappalettiheyden määrittämisessä käytettäville menetelmille. Esimerkiksi SSD – menetelmä ei sovellu näytteille, joiden veden absorptio on yli 2 %.

Kun tarkastellaan poranäytteiden lämpötiloja sekä tyhjätiloja koko kohteen osalta kaistan eri kohdissa, havaittiin tyhjätilojen olevan suuremmat kaistan reunoilta otetuissa

näytteissä. Myös lämpötilan havaittiin olevan hieman alhaisempi kaistan reunoilla. Pituussuunnassa tarkasteltuna tyhjätilat olivat korkeimmat kaistan oikeassa reunassa kaikilla muilla menetelmillä mitattuna paitsi kuiva-menetelmällä. Osaltaan tulokseen vaikuttaa näytteiden suuri lukumäärä kaistan oikeassa laidassa. Kuvaan 14 on merkitty poranäytteiden ottokohdat kaistan eri kohdista sekä lämpötilan että tyhjätilan keskiarvot kaistan pituus- ja poikkisuunnassa. Tyhjätilojen tulisi olla suuremmat kuorman vaihdoissa ja näyttäisi siltä, että kuiva- ja SSD -menetelmällä saadut tyhjätilan arvot ovat ensimmäisen linjan mittaustuloksia lukuun ottamatta kuorman katkoissa suuremmat kuin keskeltä kuormaa mitatut. Parafilm- sekä ulkomittoihin perustuvissa menetelmissä tyhjätilojen arvot vaihtelevat satunnaisesti, eivätkä noudata samaa kaavaa kuin kuiva- ja SSD – menetelmillä saadut arvot.

Kuopio VT5			max-min				
			23,7	1,55	1,16	1,03	1,54
kuorman keskeltä 1	1.2	1.1	166,2	5,38	5,79	8,11	8,60
kuorman vaihto 1	2.3	2.2	154,3	4,73	5,31	7,84	7,91
kuorman keskeltä 2	3.2	3.1	162,6	3,83	4,99	8,88	8,63
kuorman vaihto 2	4.2	4.1	155,6	4,48	5,14	8,56	8,05
	4.4	4.3					
kuorman vaihto 3	5.2	5.1	147,1	4,30	5,03	8,84	7,09
kuorman keskeltä 3	6.3	6.2	170,8	4,11	4,62	8,13	7,69
		6.1					
max-min							
Lämpötila (C°)	5,4		157,3	162,7	158,4		
Tyhjätila % (DRY)	0,58		4,49	4,19	4,77		
Tyhjätila % (SSD)	0,32		5,26	4,94	5,14		
Tyhjätila % (Parafilm)	0,82		8,80	7,98	8,13		
Tyhjätila % (DIM)	0,57		8,21	7,64	8,02		

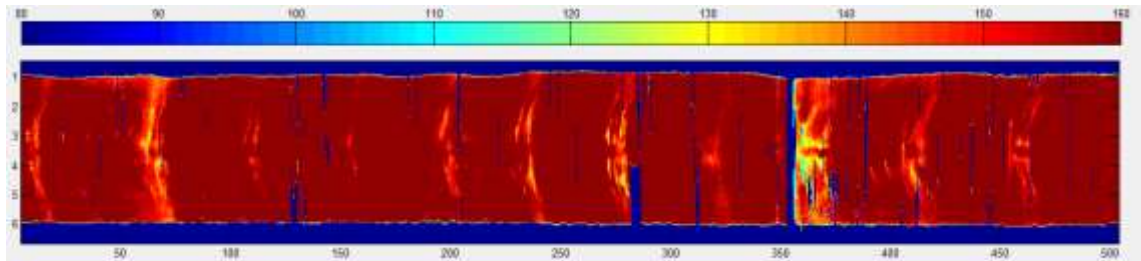
HUOM! Näyte 4.1 poikkeava: poistettu tyhjätilamittauksista

Kuva 14 Lämpötilan ja tyhjätilan keskiarvot kaistan pituus- ja poikkisuunnassa kohteen vt5 osalta. Kuvaan on merkitty myös poranäytteiden sijainnit. Näyte 4.1 on muista poikkeava arvo, eikä sitä ole otettu huomioon laskennassa.

Kohteen päällystyslämpötilan havaittiin olevan yli 150 °C kuormanvaihdoissa ja kuormanvaihdoissa ei lämpötila merkittävästi laskenut ympäröivään päällysteeseen verrattuna. Toki poikkeuksiakin löytyy, esimerkiksi pitkien pysähdysten aikana massan lämpötila laskee selvästi ja päällysteeseen syntyy kylmä kohta, kylmempiä kohtia oli kuitenkin

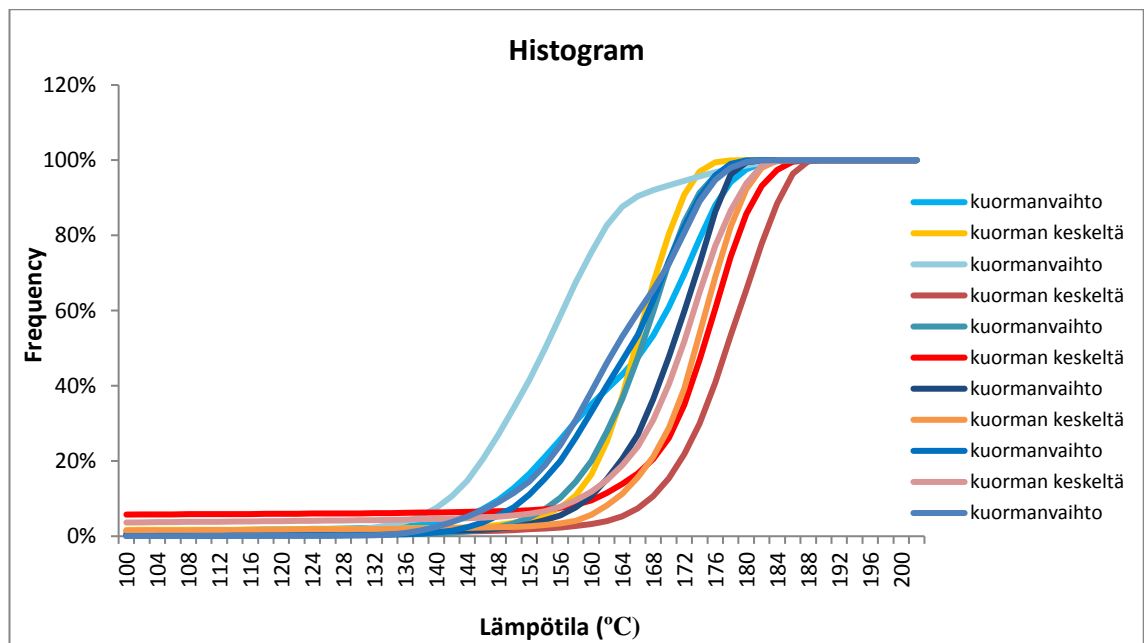
kin vähän. Kuorman keskeltä mitatut lämpötilat olivat paikoin jopa poikkeuksellisen korkeita, yli 190 °C. Keskimäärin kuorman keskeltä mitattiin noin 170 °C lämpötiloja.

Kuvassa 15 on havainnollistettu kuormanvaihtojen suuruutta Matlab – ohjelmalla luodun lämpötilamaton avulla. Kuvasta nähdään, ettei kuormanvaihtokohdissa esiinny suuria lämpötilamuutoksia ja lämpötila on erittäin tasainen kuorman keskellä. Kun levitin pysähtyy, syntyy suurempia kylmiä alueita, kuten kuvasta voidaan nähdä noin 350 m kohdalla. Alla esitetyssä histogrammissa on havainnollistettu lämpötilan jakautuminen kuormanvaihdossa ja kuorman keskellä etäisyydellä 0-250 m.



**Kuva 15** Esimerkkikuva lämpötilamatosta.

Kuvassa 16 on esitetty lämpötila-aineisto histogrammin muodossa kuormanvaihdosta ja kuorman keskeltä mitatuista lämpötilapisteistä. Histogrammiin valittu aineisto on muodostettu peräkkäisistä kuormanvaihdosta. Valittu aineisto ei siis edusta koko kohdetta, vaan noin 250 metrin pituista osuutta. Kuvasta nähdään, että kuormanvaihdossa päällysteen lämpötila on keskimäärin 10 °C kuorman keskiosia alhaisempi. Lämpötila käyrät ovat hyvin samankaltaisia muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta.



**Kuva 16** Histogrammi lämpötila-aineistosta. Kuormanvaihdot on esitetty sinisillä viivoilla ja kuorman keskiosat keltaisilla ja punaisilla viivoilla.

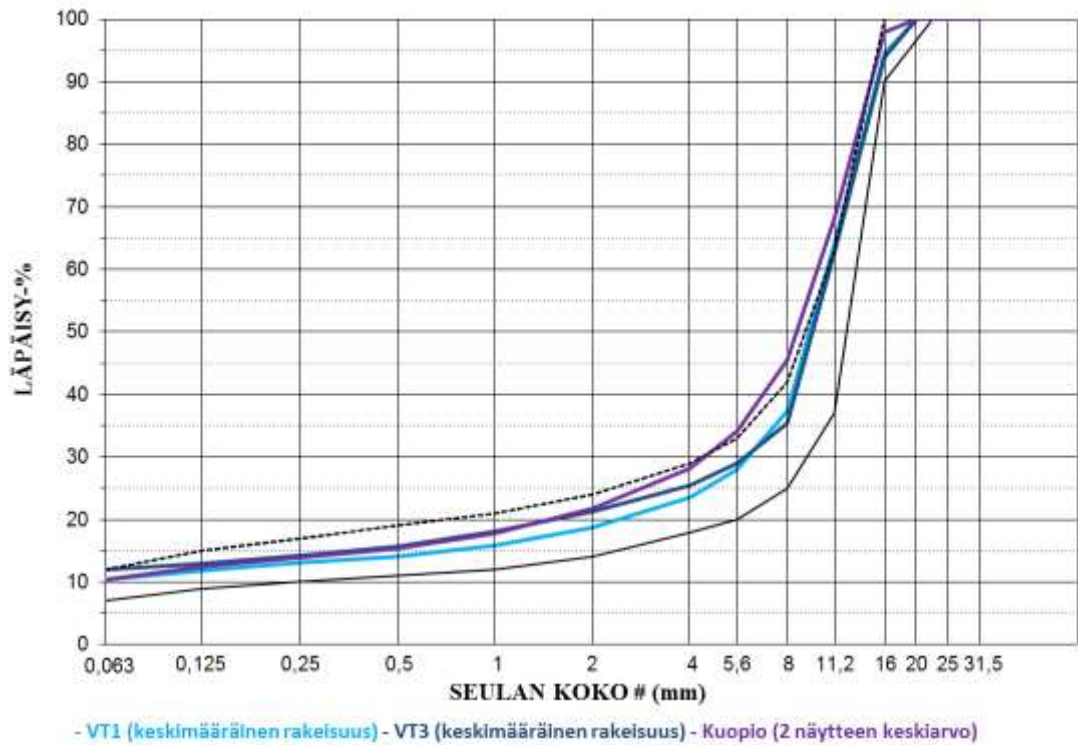
Jos verrataan Kuopion kohteen tuloksia vuoden 2013 tuloksiin, havaitaan Kuopion kohteella lämpötilojen olevan vuoden 2013 tutkimuskohteita korkeampia. Vuonna 2013 tutkimuksessa oli mukana kolme kohdetta, joista kahdella kohteella päällysteenä käytettiin SMA16-massaa. Viime vuoden tutkimuksessa valtatie 1 kohteella kohteen lämpötila oli keskimäärin 157,8 °C eli kaksi astetta alhaisempi kuin Kuopion kohteella. Valta-

tiellä 3 puolestaan kohteen keskilämpötilaksi mitattiin vain 152,7 °C, joka oli selvästi alhaisempi kuin Kuopion tai valtatie 1 kohteilla. Myös maksimilämpötilat olivat Kuopion kohteella selvästi korkeammat. Kuopiossa mitattiin jopa yli 196 °C lämpötiloja kun taas vuonna 2013 valtateillä 1 ja 3, joissa oli käytössä niin ikään SMA16 – massa, maksimilämpötilat olivat noin 190 °C (vt1) ja 180 °C (vt3). Lisäksi Kuopiossa kuormanvaihoissa lämpötila laski vähemmän kuin valtatiellä 1. Valtatiellä 1 kuormanvaihtojen alhaisemmat lämpötilat johtuivat pitkästä kuljetusmatkasta. Kuljetusmatka yhteen suuntaan oli noin 50 km. Valtatie 3 kohteella kuljetusmatkat olivat lyhyemmät, noin 20 km, jonka vuoksi myös lämpötilat kuormanvaihtokohdissa olivat korkeammat. Kuopion kohteella sekä valtatiellä 3 lämpötila kuormanvaihoissa oli keskimäärin hieman yli 150 °C, kun taas valtatiellä 1 lämpötilat kuormanvaihoissa olivat yleensä alle 150 °C, jopa 140 °C. (Nevalainen 2014.)

Tarkasteltaessa tyhjätiloja, havaitaan että Kuopion kohteella tyhjätilat ovat selvästi valtatie 1 kohdetta korkeammat. Valtatiellä 1 mitattiin tyhjätilan keskiarvoksi 1,9 %, kun taas Kuopion kohteella tyhjätilan keskiarvoksi kuiva – menetelmällä saatiin 4,5 %. Vastaavasti valtatiellä 3 tyhjätilaksi mitattiin 3,8 %, joka on myös alhaisempi kuin Kuopion kohteella. Vuoden 2013 tutkimuksessa kappaletiheddet mitattiin vain kuiva – menetelmällä, joten muiden menetelmien tuloksia ei voida vertailla. (Nevalainen 2014.)

Koska lämpötilat olivat korkeat Kuopion kohteella, ei suuret tyhjätilan arvot ole selitettävissä lämpölajittumisella. Kun tarkastellaan kohteiden rakeisuuskäyriä, havaitaan rakeisuuden vaihtelevan kohteiden välillä. Kuten kuvasta 17 nähdään, valtatie 1 keskimääräinen rakeisuuskäyrä on muita tarkasteltavia kohteita karkeampi. Valtatiellä 3 rakeisuuskäyrä on hienempi alle 5,6 mm lajitteilla kuin valtatiellä 1. Kun verrataan Kuopion rakeisuuskäyrään valtatie 1 ja 3 keskimääräisiin rakeisuuskäyriin, havaitaan kiviaineksen olevan näitä kohteita hienompaa, sillä rakeisuus käyrä on muita kohteita ylempänä. Kuopion osalta rakeisuus laskettiin vain kahdelta näytteeltä, joiden rakeisuuksista laskettiin keskiarvo, joten saatu rakeisuuskäyrä ei anna luotettavaa kuvaa koko kohteelta. Kun taas tarkastellaan kohteiden suunniteltua rakeisuutta, nähdään että valtatiellä 1 suhteituksessa käytetty rakeisuus on muita kohteita karkeampi. Valtatiellä 3 ja Kuopion kohteella suhteituksessa käytetty rakeisuus olivat hyvin lähellä toisiaan siten, että valtatiellä 3 hienompien lajitteiden läpäisy oli hieman suurempi kuin Kuopion kohteella käytetyssä suhteituksessa. (Nevalainen 2014.)





**Kuva 17 Rakeisuuksien vertailu vuoden 2013 kohteisiin (VT1 ja VT3).**

Poranäytteiden silmämääräisessä tarkastelussa ei havaittu merkittäviä eroja näytteiden pinnan karkeudessa tai huokoisuudessa. Kuvassa 18 on esitetty näyte 1.1, jonka tyhjätilan arvoksi saatiin 6,5 % kuiva-menetelmällä mitattuna. Tyhjätila oli tutkituista poranäytteistä toiseksi suurin. Vain hylätyllä näytteellä 4.1 mitattiin suurempia tyhjätilan arvoja. Vastaavasti kuvassa 19 on esitetty näyte 6.2, jonka tyhjätila oli tutkimuksen alhaisin kuiva-menetelmällä laskettuna, 3,5 prosenttia. Vaikka näytteiden 1.1 ja 6.2 tyhjätilan arvossa on eroa jopa 3 prosenttia kuiva-menetelmällä laskettuna, ei näytteiden välillä ole silmämääräisesti tarkasteltuna havaittavissa juurikaan eroja kuten kuvista 18 ja 19 on nähtävissä.



**Kuva 18 Näyte 1.1 sahauksen jälkeen.**



**Kuva 19 Näyte 6.2 sahausen jälkeen.**

Jokaisessa poranäytteessä oli havaittavissa reikiä ja huokosia sylinterin muotoisen näytteen sivuilla. Vaikka näytteiden 1.1 ja 6.2 (kuvat 18 ja 19) välillä on huomattava ero tyhjätilan arvoissa, molemmissa näytteissä oli selviä koloja ja reikiä näytteen sivuilla. Poranäytteiden huokoisuus sekä selvästi havaittavat kolot näytteiden sivuilla vaikuttavat tyhjätilan arvoon ja voivat selittää tutkimuksessa saadut korkeat tyhjätilan arvot.

Huokoisuus on selvästi nähtävissä kuvassa 20, jossa on lähikuva hylätyn näytteen 4.1 huokosista. Kuvasta nähdään, että näytteen yläpinnassa on jopa reikiä. Suuri huokoisuus ja reiät selittävät myös miksi näyte 4.1 imi huomattavasti vettä, jonka seurauksena veden absorptio oli erittäin korkea. Syynä näytteiden huokoisuuteen saattoi olla alhainen sideainepitoisuus. Kuopion kohteella massan sideainepitoisuus oli 5,6 %, kun vuoden 2013 tutkimuksessa kahdella SMA 16 – massalla toteutuneet sideainepitoisuudet olivat 6,1 % ja 5,8 % (Nevalainen 2014).



Kuva 20 Lähikuva näytteen 4.1 huokoisuudesta.

## 5.2 VT4 - Kempele

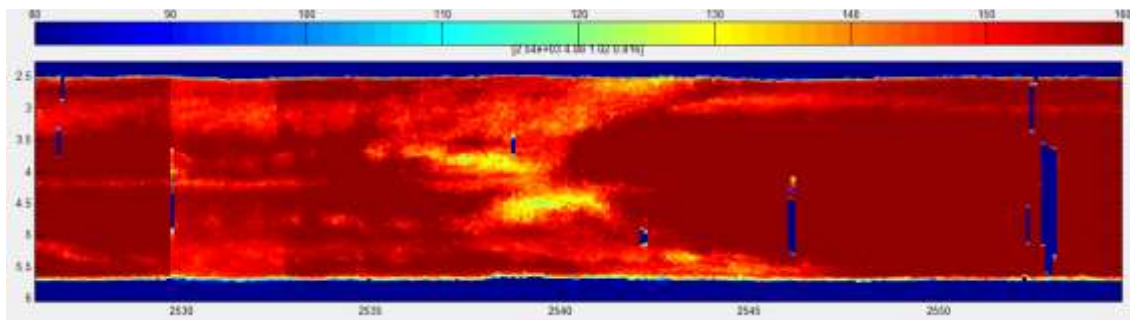
Valtatiellä 4 Kempeleessä 1-kaista päällystettiin SMA -massalla, kun taas 2-kaista eli ns. ohituskaista päällystettiin AB – massalla. Molempien massojen maksimiraekoko oli 22 millimetriä. Näytteenotto poikkesi Kuopiossa käytetystä tavasta, sillä kohteella ei vierailtu, eikä täten näytekohtia voitu merkitä maastoon. Näytteenottokaavio laadittiin tieosoitteiden perusteella ja urakoitsija hoiti poranäytteiden oton kohteessa. Näytteitä otettiin sekä 1- että 2- kaistalta viidestä eri linjasta tasaisin välein yhteensä 20 näytettä per kaista.

Päällysteen lämpötila määritettiin näytteenottokohdista käyttäen hyväksi Roadscannerin toimittamaa lämpötila-aineiston raaka-dataa sekä näytteenottokaaviota. Koska kohteella ei vierailtu, ei pystytä varmuudella todentamaan että näytteet ovat otettu juuri näytteenottokaavioon merkityistä kohdista. Lisäksi mahdollinen mittausvirhe ja lämpökameraan kytketyn etäisyyden mittauksen epävarmuus tulee ottaa huomioon.

Koko kohteen keskilämpötilaksi mitattiin 148,9 °C. Kohteen alhaiseen keskiarvoon vaikuttaa 2-kaistalla käytetty AB-massa, sillä 2-kaistan lämpötilat olivat selvästi alhaisemmat kuin 1-kaistalla. Kaistakohtaiset päällysteen keskilämpötilat olivat 156,7 °C (1-kaista) ja 141,2 °C (2-kaista).

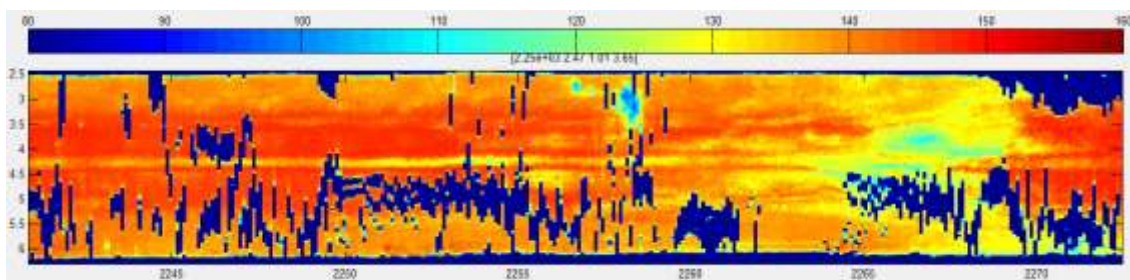
1-kaistalta otetut näytteet osuivat lämpömatolla tarkasteltuna yhtä näytelinjaa lukuun ottamatta keskellä kuormaa, joten vain neljä poranäytettä osui oletettavasti kuormanvaihtokohtaan. Lämpötilan keskiarvoksi 1-kaistalla kaikkien poranäytteiden kohdalta saatiin 161,0 °C, joka on melko korkea arvo. Kuormanvaihtokohdasta määritettyjen näytteiden lämpötila oli keskimäärin 147,9 °C ja kuorman keskeltä poratuilla näytteillä keskimäärin 164,2 °C. 1-kaistalla lämpötila oli korkea tutkitulla jaksolla, eikä lämpötila laskenut kuormanvaihdossa merkittävästi, kuten kuvasta 21 nähdään.





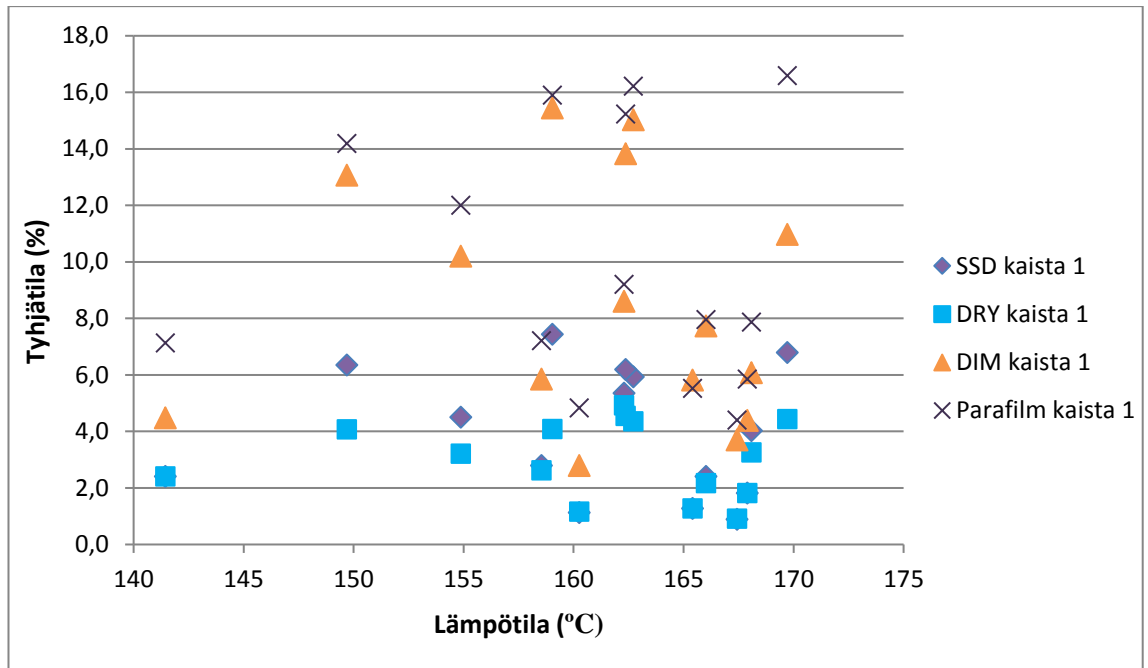
**Kuva 21** Esimerkkikuva lämpötilamatosta, Kempele kaista 1.

2-kaista poikkesi massatyypiltään 1-kaistasta, sillä 2-kaistalla käytettiin SMA 22-massaa. Ero oli selvästi havaittavissa lämpötilamaton avulla, sillä 2-kaistalla lämpötilat olivat selvästi alhaisemmat. Tarkasteltavalla jaksolla näytekohtien lämpötila oli keskimäärin 141,0 °C. Kuvasta 22 on nähtävissä, että päällysteen lämpötila on paikoin erittäin alhainen. Lisäksi lämpötilamatossa on paljon epäjatkuvuuskohtia, jotka syntyvät kun lämpökameran edessä liikkuu ihmisiä tai työkoneita. Matossa nähtävät violetit epäjatkuvuuskohdat ovat jyrän aiheuttamia. Koska epäjatkuvuuskohtia on selvästi enemmän kuin 1-kaistalla, voidaan todeta että jyrä on ajanut huomattavasti lähempänä levitimen perää 2-kaistalla.

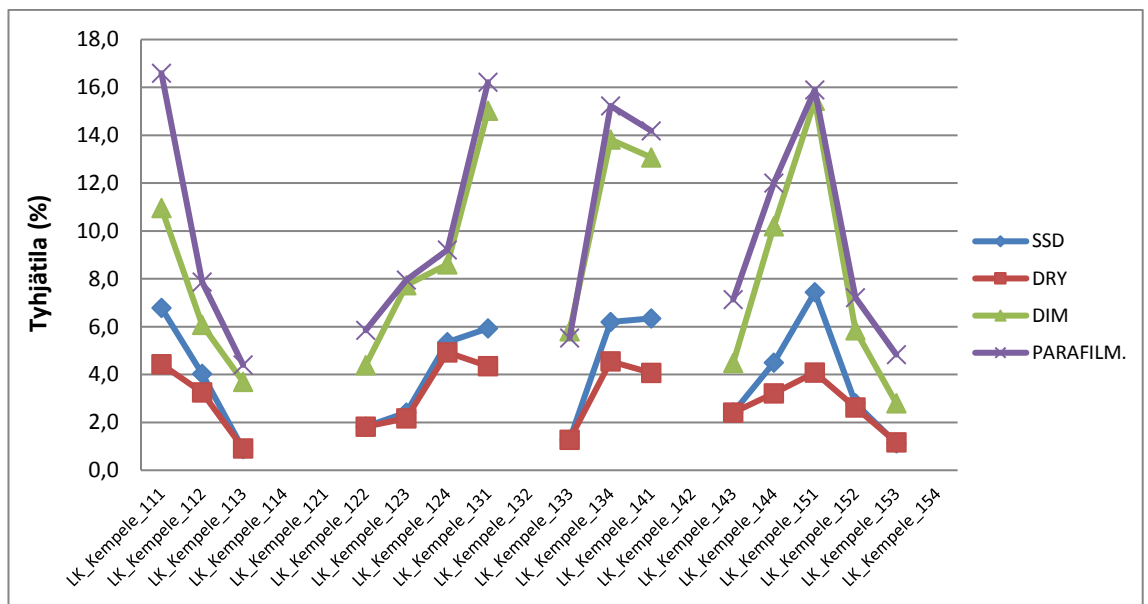


**Kuva 22** Esimerkkikuva lämpötilamatosta, Kempele kaista 2.

Poranäytteiden tyhjätilan ja lämpötilan välinen yhteys 1-kaistalla on esitetty kuvassa 23. Kuten kuvasta nähdään, ei lämpötilan ja tyhjätilan välillä ole havaittavissa selkeää yhteyttä. Tyhjättilassa on havaittavissa suurta vaihtelua, esimerkiksi SSD – menetelmällä lasketut tyhjätilat vaihtelivat 0,9 – 7,4 % välillä. SSD- ja kuiva – menetelmä antoivat lähes samanlaiset tulokset, joskin SSD – menetelmällä mitattiin joillekin näytteille hieman korkeampia tyhjätilan arvoja, erot olivat kuitenkin pienet näiden kahden menetelmän välillä. Erot menetelmien välillä kasvoivat tyhjätilan kasvaessa. Ulkomittoihin perustuvalla menetelmällä sekä Prafilm – menetelmällä lasketut tyhjätilan arvot olivat selvästi korkeammat kuin muilla menetelmillä saadut arvot. Kuopion kohteella havaittiin vastaava ilmiö. Vaikka menetelmien välillä oli suuria eroja tyhjätilan arvoissa, kaikki menetelmät noudattivat samaa trendiä (kuva 24).

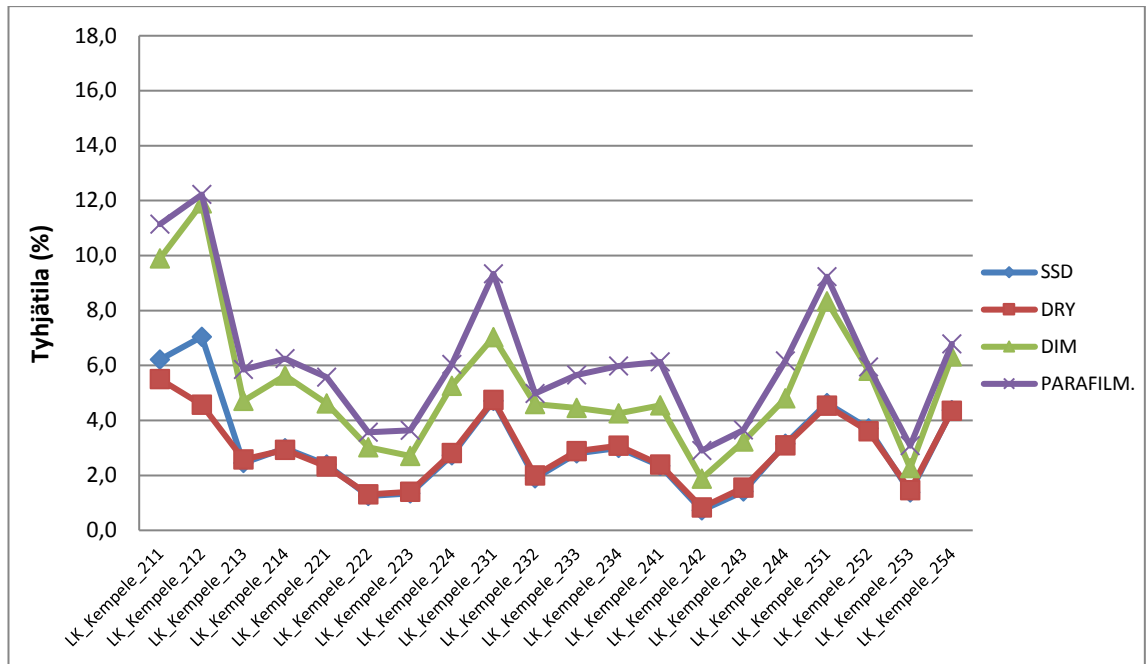


Kuva 23 Tyhjätilan ja lämpötilan välinen yhteys, Kempele kaista 1.



Kuva 24 Eri menetelmillä lasketut tyhjätilan arvot, Kempele kaista 1.

2-kaistalla tyhjätilan arvot poikkesivat menetelmien välillä huomattavasti vähemmän kuin 1-kaistalla. Syynä pienempään hajontaan eri testimenetelmien välillä voidaan todeta olevan massatyyppi, sillä AB -massat ovat tiiviimpiä kuin SMA -massat ja tyhjätilan arvot ovat tyypillisesti alhaisemmat. Kuvasta 25 nähdään hyvin kuinka eri menetelmillä määritetyt tyhjätilan arvot noudattavat samaa trendiä. Lisäksi kuvasta nähdään, että SSD- ja kuiva – menetelmillä saadaan lähes samat tyhjätilan arvot. Tyhjätilan arvot 2-kaistalta poratuilla näytteillä vaihtelivat selvästi vähemmän kuin 1-kaistalla, etenkin ulkomitat - ja Parafilm – menetelmillä vaihtelu oli vähäisempää ja tyhjätilan arvot huomattavasti alhaisemmat.



Kuva 25 Eri menetelmillä lasketut tyhjätilan arvot, Kempele kaista 2.

Myös kappaletiheyksissä havaittiin eroja menetelmien ja massatyypin välillä. 1-kaistalla kappaletiheyden arvot olivat ulkomittoihin perustuvalla menetelmällä sekä Parafilm – menetelmällä keskimäärin  $0,14\text{--}0,2 \text{ kg/m}^3$  alhaisemmat kuin SSD- tai kuiva – menetelmällä määritettynä. 2-kaistalla puolestaan kappaletiheyden arvoissa ei ollut merkittäviä eroja menetelmien välillä. Ulkomittoihin perustuva menetelmä sekä Parafilm – menetelmä antoi kappaletiheydeksi keskimäärin  $0,06\text{--}0,09 \text{ kg/m}^3$  alhaisempia kuin muilla menetelmillä saadut kappaletiheyden arvot.

Kun tarkastellaan lämpötiloja sekä tyhjätilan arvoja kaistan eri kohdissa, havaitaan että 1-kaistalla tyhjätilassa on selvää vaihtelua kaistan eri kohdissa (kuva 26). Korkeimmat tyhjätilan arvot sijoittuvat kaistan reunoille kaikilla eri menetelmillä määritettynä. Syyinä korkeampiin tyhjätilan arvoihin kaistan reunoilla on mahdollisesti epätasainen jyrsäys, sillä lämpötilassa ei ole havaittavissa merkittävää vaihtelua kaistan poikkisuunnassa, joka selittäisi korkeat tyhjätilan arvot kaistan reunoilla. Myös kappaletiheys on alhaisempi kaistan reunoilla, mikä viittäisi riittämättömään tiivistykseen. Kaistan pituussuunnassa erot olivat huomattavasti pienempiä, linjalla 3 mitattiin suurimmat tyhjätilan arvot kaikilla menetelmillä tarkasteltaessa. Vaikka linjalla 3 tyhjätilan arvot olivat korkeimmat, lämpötila oli varsin korkea, noin  $164 \text{ }^\circ\text{C}$ . Linjalla kolme kaistan molemmilla reunoilla havaittiin erittäin korkeat tyhjätilat, joka nostaa koko linjan tyhjätilan keskiarvoa. Linjalla 4 lämpötila oli muita linjoja selvästi alhaisempi, noin  $148 \text{ }^\circ$ , ja tällä linjalla tyhjätilan arvot olivat toiseksi suurimmat, vain hieman linjan 3 arvoja alhaisemmat.

Syyksi korkeisiin tyhjätilan arvoihin arvellaan epätasaista tiivistystä tai ongelmia levittimen perän toiminnassa. Kaistan reunalla havaitut korkeat tyhjätilan arvot saattaa johtua myös mahdollisista työvirheistä. 1-kaistalla työmenetelmänä käytettiin massapintausta kuumalle, kuumajyrsitylle alustalle ja on mahdollista että kaistan esitiivistyksessä tai jyrsinnässä on ollut puutteita. Kaistan reunoilta otetut näytteet porattuun 50 cm päästä kaistan reunoilta, jolloin nämä näytekohdat osuvat myös ajouriin, sillä kaistan leveys oli 3,2 m. On siis mahdollista, että jyrsintä ei ole ulottunut urien pohjaan asti, jolloin päällyste ei ole tiivistynyt ajourien kohdalla riittävästi.

Koska osalle 1-kaistan näytteille määritettiin PRALL – kulutuskoee, näytteistä ei määritetty massan maksimitiheyttä eikä näin ollen voitu laskea myöskään tyhjätilaa. Näiden näytteiden tyhjätila on laskettu käyttämällä massan maksimitiheyden arvona muiden poranäytteiden maksimitiheyden keskiarvoa. Näin määritetyt tyhjätilan arvot saattavat hieman poiketa todellisista arvoista, mutta tulosten perusteella määritetyt tyhjätilan arvot ovat oikeaa suuruusluokkaa.

#### Kempele VT4 kaista 1

Linja 1	114	113	112	111
Linja 2	124	123	122	121
Linja 3	134	133	132	131
Linja 4	144	143	142	141
Linja 5	154	153	152	151

#### max-min

	20,1	0,6	0,7	2,0	1,8
Linja 1	168,0	4,22	3,01	7,93	10,42
Linja 2	165,7	4,45	3,50	8,97	9,77
Linja 3	164,1	4,07	3,29	9,95	11,55
Linja 4	147,9	3,83	2,96	8,94	10,43
Linja 5	159,3	4,24	2,76	9,82	10,73

#### max-min

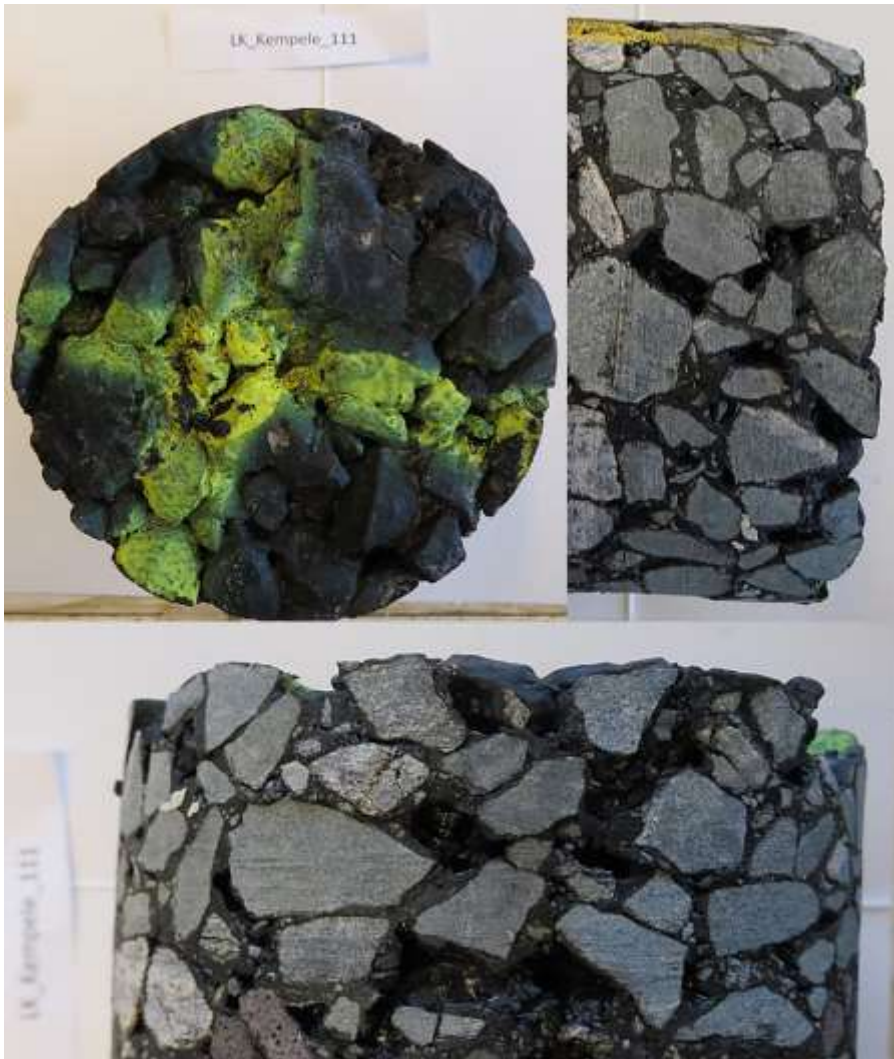
	1,4	161,2	160,1	161,2	161,5
Lämpötila (°C)	1,4	161,2	160,1	161,2	161,5
Tyhjätila % (SSD)	5,3	5,36	1,62	2,72	6,94
Tyhjätila % (DRY)	2,8	3,86	1,59	2,57	4,41
Tyhjätila % (DIM)	9,0	11,76	4,90	5,89	13,93
Tyhjätila % (Parafilm)	9,8	12,85	5,97	7,71	15,79

Huom! Näyte 141 öljyntyä tutkimuksessa

Kuva 26 Lämpötilan ja tyhjätilan keskiarvot kaistan pituus- ja poikkisuunnassa 1-kaistalla Kempeleen kohteella. Kuvaan on merkitty myös poranäytteiden sijainnit.

Poranäytteitä silmämääräisesti tarkasteltaessa on helppo havaita tyhjätilaerot näytteiden välillä. Näytteissä, joissa tyhjätilan arvot olivat korkeat, oli selvästi havaittavissa suuria koloja ja reikiä, kuten kuvasta 27 nähdään. Kuvan 27 poranäyte on kaistan reunalta ja jokaisessa kaistan reunalta poratussa näytteessä oli havaittavissa vastaavia koloja ja reikiä. Kuvassa 28 on puolestaan näyte, joka on porattu kaistan keskeltä. Tyypillisesti kaistan keskeltä poratuissa näytteissä tyhjätilat olivat selvästi alhaisemmat ja silmämääräisesti tarkasteltunakin näytteet näyttivät tiiviimmiltä.





**Kuva 27 Havainnekuva huokoisesta poranäytteestä, jossa suuria koloja ja reikiä.**



**Kuva 28** Havainnekuva tiiviistä poranäytteestä, jossa ei ole nähtävissä reikiä tai koloja.

2-kaista päällystettiin poikkeavasti AB 22 – massalla ja massatyypin välillä oli selvä ero tyhjätilan arvoissa. Kuvassa 29 on esitetty lämpötilan ja tyhjätilan vaihtelu kaistan pituus- ja poikkisuunnassa. Lämpötilassa oli selvästi 1-kaistaa enemmän vaihtelua kaistan poikkisuunnassa. Lämpötilan havaittiin olevan usein kaistan reunoilla alhaisempi, kaistan oikealla reunalla lämpötila laski eniten. Koska lämpötila oli alhaisempi kaistan ulkoreunoilla, reunoilla mitattiin myös hieman korkeampia tyhjätilan arvoja kuin kaistan keskeltä. Poikittaissuuntaisen vaihtelun lisäksi kaistan pituussuunnassa havaittiin vaihtelua. Lämpötilan osalta vaihtelu oli hyvin vähäistä, vain muutamia asteita, mutta tyhjätilassa vaihtelua oli huomattavasti enemmän. Linjalla 1 mitattiin suurimmat tyhjätilan arvot kaikilla testimenetelmillä. Linjalla yksi suurimmat tyhjätilat havaittiin näytteillä 211 ja 212. Suuret tyhjätilan arvot voivat johtua epätasaisesta tiivistyksestä tai mahdollisesta massan lajittumisesta.

Kempele VT4 kaista 2

Linja 1	214	213	212	211
Linja 2	224	223	222	221
Linja 3	234	233	232	231
Linja 4	244	243	242	241
Linja 5	254	253	252	251

max-min

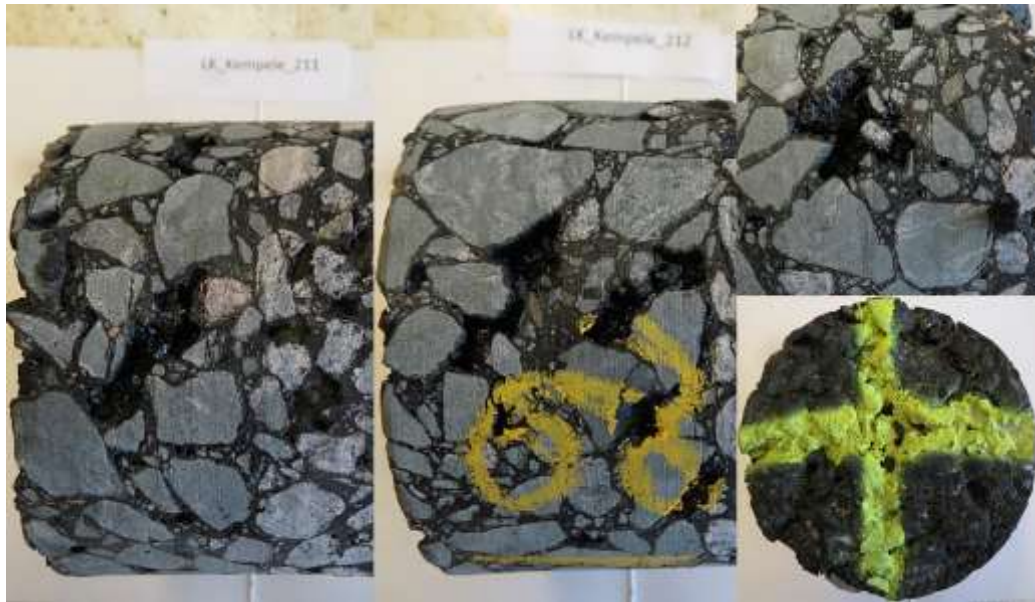
	3,6	2,8	1,9	4,4	4,2
Linja 1	140,7	4,68	3,90	8,03	8,87
Linja 2	142,5	1,93	1,96	3,90	4,70
Linja 3	141,2	3,10	3,18	5,09	6,49
Linja 4	139,0	1,91	1,97	3,62	4,71
Linja 5	141,5	3,53	3,49	5,69	6,26

max-min

Lämpötila (°C)	8,0	136,2	143,2	144,2	140,3
Tyhjättila % (SSD)	2,2	3,25	1,88	2,93	4,06
Tyhjättila % (DRY)	1,9	3,25	1,98	2,46	3,90
Tyhjättila % (DIM)	3,4	5,26	3,47	5,44	6,89
Tyhjättila % (Parafilm)	3,9	6,24	4,37	5,92	8,28

Kuva 29 Lämpötilan ja tyhjättilan keskiarvot kaistan pituus- ja poikkisuunnassa 2-kaistalla Kempeleen kohteella. Kuvaan on merkitty myös poranäytteiden sijainnit.

Silmämääräisesti tarkasteltuna 2-kaistan poranäytteet vaikuttivat tiiviiltä, eikä suuria huokosia tai reikiä ollut havaittavissa näytteitä 211 ja 212 lukuun ottamatta. Näytteillä 211 ja 212 mitattiin korkeat tyhjättilan arvot ja myös silmämääräisesti arvioituna näytteet näyttivät huokoisilta. Kuvassa 30 on esitetty nämä kaksi näytettä. Kuvasta nähdään huokosten lisäksi, että näytteen kiviainesrakeet ovat suuria, tämä voi viitata lajittumiseen. Poranäytteitä vertailemalla havaittiin huokosten lisääntyvän, kun kiviaines muuttui karkeammaksi. Lisäksi näytteiden, joiden kiviaines näytti karkealta, tyhjättila oli muita näytteitä suurempi. Vertailun vuoksi kuvassa 31 on esitetty poranäyte, jonka rakenne ja huokoisuus olivat tyypillisiä 2-kaistalta poratuille näytteille. Kuvassa 31 esitetyn näytteen tyhjättila oli kaistalta mitattujen näytteiden keskitasoa, noin 3 % ja lisäksi näytteessä on selvästi enemmän hienoainesta kuin huokoisissa näytteissä.



**Kuva 30** Kuvia huokoisista näytteistä 211 ja 212, joille mitattiin suuret tyhjätilan arvot.



**Kuva 31** Kuvassa on esitetty 2-kaistalle tyypillinen poranäyte, joka on silmämääräisesti tarkasteltuna tiivis.

Verrattaessa 1-kaistan tuloksia viime vuoden lämpökameratutkimukseen havaittiin, että poranäytteiden ottokohdissa lämpötilat olivat selvästi korkeammat kuin edellisenä vuonna tehdyssä tutkimuksessa. Toisaalta tämän vuoden tutkimuksessa kaikki näytelinjat, yhtä lukuun ottamatta, osuivat kuorman keskelle, jolloin vertailu edellisen vuoden tuloksiin on hieman vaikeaa. Koko kohteen keskilämpötilaa tarkasteltaessa havaittiin lämpötilan olleen vain hieman alhaisempi viime vuoden tutkimuksessa, keskimäärin 156,0 °C, kun tämän vuoden tutkimuksessa 1-kaistan keskilämpötilaksi mitattiin 156,7 °. Kun verrataan kuorman keskeltä porattujen näytteiden lämpötiloja, havaitaan lämpötilojen olevan noin 10–20 °C korkeampia kuin vuotta aikaisemmin. Toisaalta, vaikka lämpötilat ovat selvästi korkeammat näytteenottokohdissa, tyhjätilat ovat puolestaan korkeammat kuin viime vuoden tutkimuksessa. Tämän vuoden tutkimuksessa havaittiin tyhjätilan olevan selvästi korkeampi kaistan reunoilla, joka nostaa myös tyhjätilan keskiarvoa. Edellisen vuoden tutkimuksessa ei havaittu eroja tyhjätilan arvoissa kaistan



poikkisuunnassa. Pituussuunnassa eroja havaittiin, jotka johtuivat kuormanvaihtokohdista, joissa lämpötila oli alhaisempi ja tyhjätilat korkeammat. Tämän vuoden tutkimuksessa kuormanvaihtokohtia oli vain yksi, jossa tyhjätilat olivat samalla tasolla muiden näytteiden kanssa, vaikka lämpötila oli yli 10 °C muita näytekohtia alhaisempi. (Nevalainen 2014.)

2-kaistan tulosten vertailu edellisen vuoden tutkimuksessa saatuihin tuloksiin on haastavaa, sillä viime vuoden tutkimuksessa kaikki kohteet päällystettiin SMA – massalla eikä näin ollen vertailua päällysteen ominaisuuksien osalta voida tehdä 2-kaistan AB – massan ja viime vuoden tulosten välillä.

### **5.3 Lämpökameravertailu vuoden 2013 tutkimukseen**

Tässä kappaleessa tarkastellaan lämpökameradatan perusteella laskettuja tunnuslukuja, joiden perusteella urakoista oli mahdollista saada bonusta. Tarkastelun tavoitteena on selvittää miten vuoden 2013 tutkimuksen kohteet eroavat tämän vuoden kohteista bonuskriteerien osalta ja onko bonusjärjestelmän näkökulmasta tapahtunut muutosta vuoden takaiseen.

Roadscanners Oy laati vuoden 2013 urakoita varten laskentaperusteet bonuksen määritymiselle, jotka perustuivat ruotsalaisten käyttämään laskentamalliin. Bonuskriteerit poikkesivat osittain ruotsalaisten käyttämästä mallista. Bonuslaskelmassa tarkasteltiin pysähdysten määrää, kylmien alueiden osuutta sekä niin kutsuttujen riskialueiden osuutta. Kohteet jaettiin kilometrin mittaisiin jaksoihin tarkastelua varten. Tämän vuoden tutkimuksessa käytettiin samoja laskentaperusteita kuin vuoden 2013 urakoissa. (Nevalainen 2014.)

Pysähdyksiksi laskettiin kaikki yli 2 min kestäneet pysähdykset ja kaikki 5 m sisällä tapahtuneet pysähdykset laskettiin yhdeksi pysähdykseksi. Mikäli jaksolla ei ollut lainkaan pysähdyksiä, sai jaksolta täyden bonuksen pysähdysten osalta. Yksi pysähdys alensi bonusta 10 % ja jaksolla sallittiin 9 pysähdystä. Jos pysähdyksiä oli enemmän, ei jaksolta maksettu bonusta pysähdysten osalta. (Nevalainen 2014.)

Kylmiksi alueiksi määriteltiin alle 80 % tavoitelämpötilan alle jäävät alueet (m<sup>2</sup>). Kaikilla kohteilla tavoitelämpötilaksi asetettiin 150 °C, jolloin raja-arvona kylmille alueille käytettiin 120 °C lämpötilaa. Laskennassa jätettiin huomiotta 30 cm päällysteen molemmilta reunoilta. Lisäksi jätettiin huomiotta alle 80 °C lämpötilapisteet, sillä näiden pisteiden ei oletettu edustavan päällysteen lämpötilaa. Jos kylmien alueiden osuus oli yli 0,1 % päällysteen pinta-alasta, ei kyseiseltä jaksolta maksettu bonusta kylmien alueiden osalta. (Nevalainen 2014.)

Riskialueiksi oli määritelty ne alueet, joissa lämpötila on alle 90 % edellisen 100 metrin keskiarvolämpötilasta. Riskialueilla pyrittiin kuvaamaan päällysteen homogeenisuutta. Myös riskialueiden osalta tarkastelusta jätettiin pois 30 cm päällysteen reunoilta sekä alle 80 °C lämpötilapisteet. Urakoitsijalle maksettiin täysi bonus riskialueiden osalta, jos riskialueiden osuus oli alle 0,5 % päällysteen pinta-alasta kilometrin jaksolla. Raja-arvo bonukselle oli 5 % päällysteen pinta-alasta kilometrillä. (Nevalainen 2014.)

Lopullinen bonus jokaiselle jaksolle määräytyi pysähdyksistä, kylmistä alueista sekä riskialueista laskettujen bonusten summasta siten, että pysähdysten painoarvo oli 35 %,

kylmien alueiden 45 % ja riskialueiden 20 %. Bonuslaskelma edellytti, että kultakin kilometrin jaksolta oli saatu kerättyä riittävä määrä edustavia mittaustuloksia. (Nevalainen 2014.)

**Taulukko 9 Bonuskriteerien keskiarvot kohteittain vuosilta 2014 ja 2013**

	<b>Pysähdykset</b> (kpl/km)	<b>Kylmät alueet</b> (%/km)	<b>Riskialueet</b> (%/km)
<b>2014</b>			
VT5 Kuopio	0,3	0,3	3,8
VT4 Kempele (1-kaista)	0,1	2,1	5,0
VT4 Kempele (2-kaista)	0,2	0,1	4,2
<b>2013</b>			
VT1 Salo	0,4	0,5	7,7
VT3 Tampere	1,0	1,2	4,9
VT4 Kempele	0,7	0,4	5,5

Taulukossa 9 on esitetty kohteiden keskiarvot bonuskriteerien osalta tämän vuoden kohteilta sekä viime vuoden kohteilta. Taulukosta nähdään, että pysähdysten määrä on laskenut selvästi verrattuna viime vuoteen. Vuonna 2013 bonusta maksettiin lähes ainoastaan pysähdysten osalta, sillä muut bonuskriteerit eivät täyttyneet. Ainoastaan valtiolla 3 saatiin bonusta myös riskialueiden osalta. Tämä vuonna pysähdysten määrä oli laskenut ja kaikilla kohteilla maksettiin bonusta pysähdysten osalta. Edellisen vuoden tutkimuksessa havaittiin, että pysähdysten välttämällä levittimen nopeutta muuttamalla saattaa olla negatiivisia vaikutuksia päällysteen laatuun. Vuoden 2013 tutkimuksessa jokaisella kohteella levittimen nopeutta muuteltiin. Tämän vuoden tutkimuksessa ei selvitetty levittimen nopeuden vaikutusta päällysteen laatuun eikä tässä tutkimuksessa tarkastella levittimen nopeuden vaihtelua. (Nevalainen 2014.)

Kylmien alueiden osuudet olivat myös alhaisemmat kuin vuotta aikaisemmissa urakoissa. Ainoastaan valtiolla 4 Kempeleessä 1-kaistalla kylmien alueiden osuus oli suuri. Tämä johtui 1,5 km osuudesta, jolla havaittiin huomattavan suuria kylmiä alueita. Osuudella oli myös erittäin alhainen lämpötila. Edellä mainittu osuus pois lukien kylmien alueiden osuudet olivat Kempeleen 1-kaistalla samaa suuruusluokkaa kuin vuonna 2013. Kempeleen kohteen 2-kaistalla päästiin muutamilla osuuksilla alle raja-arvona pidetyn 0,1 %, joten näiltä osuuksilta maksettiin bonusta myös kylmien alueiden osalta. Muilla kohteilla ei bonuksen raja-arvo alittanut.

Riskialueet olivat niin ikään pienentyneet verrattuna viime vuoden tutkimukseen. Kuopion kohteella riskialueiden osuudet olivat bonuslaskelmassa alle raja-arvon, joten myös riskialueiden osalta maksettiin bonuksia. Alhaiset riskialueiden osuudet kuvaavat lämpötilan homogeenisuutta, mikä tarkoittaa tasaisempia lämpötilajakaumia päällysteen eri kohdissa. Tämän vuoden kohteilla havaittiin kuormanvaihtokohdissa lämpötilan laskevan vähemmän kuin vuotta aikaisemmassa tutkimuksessa, mikä on nähtävissä myös kylmien alueiden sekä riskialueiden alhaisempina määrinä.

Bonuskriteereinä käytettyjä pysähdysten määrää, kylmien alueiden sekä riskialueiden osuuksia tarkastelemalla voidaan todeta tämän vuoden kohteiden olleen parempia verrattuna vuotta aikaisempiin kohteisiin. On kuitenkin muistettava että yllä esitettyjen parametrien ja kriteerien avulla voidaan kuvata päällysteen laatua vain lämpötilan näkö-

kulmasta. Lisäksi lämpötilan ja lajittumisen välillä on havaittu olevan yhteys. Nämä bonuskriteerit eivät kuitenkaan kuvaa millään tavalla esimerkiksi päällysteen tyhjätilaa.

## 6 Yhteenveto, päätelmät ja suositukset

### 6.1 Yhteenveto

Tutkimuksen pääpaino oli päällysteen tyhjätilan tutkimisessa käyttäen apuna neljää eri SFS – standardeissa esitettyä menetelmää kappaleitiheyden määrittämiseksi. Tutkimukseen osallistui kaksi kesän 2014 päällystyskohdetta. Kohteilta otettiin poranäytteitä valmiista päällysteestä, joista tutkittiin muun muassa päällysteen kappaleitiheys ja massan maksimitiheys. Lisäksi kohteilla oli käytössä levittimen perään asennettu lämpökamera, jonka avulla voitiin määrittää päällysteen lämpötila näytekohdista. Alla on esitetty yhteenvetotaulukko tutkimustuloksista (taulukko 10).

**Taulukko 10 Yhteenveto tutkimustuloksista**

	VT5 (SMA16)			VT4 (SMA22)			VT4 (AB22)		
	KV <sup>1</sup>	KK <sup>2</sup>	KOK <sup>3</sup>	KV <sup>1</sup>	KK <sup>2</sup>	KOK <sup>3</sup>	KV <sup>1</sup>	KK <sup>2</sup>	KOK <sup>3</sup>
Lämpötila (°C)	153	167	159	148	164	161	-	-	141
Tyhjätila DRY (til.-%)	4,5	4,4	4,5	3,0	3,1	3,1	-	-	2,9
Tyhjätila SSD (til.-%)	5,2	5,1	5,1	3,8	4,2	4,2	-	-	3,0
Tyhjätila Parafilm (til.-%)	8,4	8,3	8,4	10,4	10,6	10,6	-	-	6,2
Tyhjätila DIM (til.-%)	7,8	8,2	8,0	8,9	9,2	9,1	-	-	5,3
Kappaleitiheys DRY (kg/m <sup>3</sup> )	2,589	2,588	2,588	2652	2,642	2,644	-	-	2,661
Kappaleitiheys SSD (kg/m <sup>3</sup> )	2,571	2,570	2,570	2,628	2,612	2,615	-	-	2,658
Kappaleitiheys Parafilm (kg/m <sup>3</sup> )	2,486	2,481	2,483	2,448	2,438	2,440	-	-	2,571
Kappaleitiheys DIM (kg/m <sup>3</sup> )	2,505	2,484	2,493	2,488	2,477	2,480	-	-	2,596
Maksimitiheys (kg/m <sup>3</sup> )	2,711	2,707	2,709	2,733	2,728	2,729	-	-	2,741

<sup>1</sup> KV = keskiarvo kuormanvaihtoista mitattuna

<sup>2</sup> KK = keskiarvo kuormien keskeltä mitattuna

<sup>3</sup> KOK = koko kohteen keskiarvo

Taulukkoon 10 on merkitty tulokset erikseen kuormanvaihtokohdista otetuille näytteille, kuormankeskiosista otetuille näytteille sekä koko kohteelle. Taulukon tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että valtatie 4:n kohteella 1-kaistalta (SMA 22) poranäytteitä otettiin 5 linjalta päällysteen pituussuunnasta, joista vain yksi linja osui kuormanvaihtokohdan. Valtatiellä 4 2-kaistalla puolestaan kaikki poranäytelinjat sijoittuivat kuorman keskiosiin, joten 2-kaistan tuloksia ei ole eritelty taulukossa.

Kuopion kohteella tyhjätiloja havaittiin olevan poikkeuksellisen suuria ottaen huomioon päällysteen lämpötilan ja käytetyn massan. Lämpötilat olivat korkeat tutkittavalla osuudella, eikä lämpötila laskenut merkittävästi kuormanvaihtoissa. Kohteella ei havaittu eroja tyhjätilan arvoissa kuormanvaihtojen ja kuorman keskiosien välillä. Tyhjätilat olivat tasaisia kaikissa näytekohdissa, eikä merkittävää vaihtelua havaittu kaistan pi-

tuus- tai poikkisuunnassa. Korkeat tyhjätilat oli havaittavissa myös silmämääräisestä tarkastelemalla poranäytteitä. Porakappaleissa oli nähtävissä selviä huokosia, koloja ja jopa reikiä. Syyksi epäillään ongelmia massanvalmistuksessa, sillä poranäytteistä määritetyt rakeisuudet poikkesivat merkittävästi suunnitellusta suhteituksesta, eikä ero ole selitettävissä pelkällä kiviaineksen hienontumisella porauksen tai sahausen seurauksena. Lisäksi massan sideainepitoisuus oli alhainen suhteessa kiviaineksen tiheyteen. Toinen mahdollinen syy korkeisiin tyhjätilan arvoihin löytyy työmenetelmistä. Kohteella käytettiin työmenetelmiä laatikkojyrsintää ja uuden laatan levitystä sekä massapintausta kuumalle, kuumajyrsitylle alustalle. Poranäytteet otettiin kohdasta, jossa työmenetelmänä oli laatikkojyrsintä ja uuden laatan teko. Koska tyhjätilat olivat korkeat, saattaa se viitata ongelmiin esitiivistyksessä tai jyräyksessä.

Kempeleen kohteella 1- ja 2-kaista päällystettiin eri massalla. 1-kaistalla käytettiin SMA 22 – massaa, kun taas 2-kaista eli niin kutsuttu ohituskaista päällystettiin AB 22 – massalla. 1-kaistalla havaittiin erittäin korkeita tyhjätilan arvoja kaistan molemmilla reunoilla. Keskeltä kaistaa otetuilla näytteillä tyhjätilat olivat selvästi alhaisemmat. Erot tyhjätiloissa oli helposti havaittavissa poranäytteistä myös silmämääräisesti. Korkeat tyhjätilan arvot viittaavat puutteelliseen tiivistykseen tai mahdollisiin ongelmiin työmenetelmissä. 1-kaistalla työmenetelmänä käytettiin massapintausta kuumalle, kuumajyrsitylle alustalle, jossa vanha päällyste kuumajyrsitään irti. Irti jyrsityllä massalla tasataan alusta. Vanha massa tulee esitiivistää ennen uuden massan levitystä. Koska kaistan reunoilta poratut näytteet osuvat ajourien kohdalla, on mahdollista että jyrsintä ei ole ulottunut uran pohjaan asti, jolloin päällyste ei ole tiivistynyt riittävästi ajourien kohdalla. 1-kaistalla ei havaittu merkittäviä eroja tyhjätilan arvossa kuormanvaihdon tai kuorman keskiosien välillä, sillä kuormanvaihtokohdassa lämpötila oli melko korkea.

2-kaistalla oli käytössä muista tutkimuskohteista poiketen AB – massa. Tällä kaistalla tyhjätilan arvot olivat hieman alhaisemmat kuin 1-kaistalla tai Kuopion kohteella. Tyhjätilat eivät kuitenkaan olleet alhaiset, vaan itse asiassa melko korkeat ottaen huomioon massatyyppin. Lisäksi tyhjätila oli muutaman poranäytteen kohdalla erittäin korkea. Silmämääräisesti tarkasteltuna korkeimmat tyhjätilat havaittiin näytteillä, joissa oli paljon karkeita kiviainesrakeita. Tämä viittaa massalajittumaan. Tyhjätilat olivat tasaiset kaistan poikittaissuunnassa. Lämpötila oli melko alhainen tarkasteltavalla osuudella, joten on mahdollista, ettei massa ei ole tiivistynyt kunnolla.

Vertailtaessa tämän kesän kohteita vuoden 2013 tutkimukseen, havaittiin kohteen keskilämpötilojen olleen korkeampia kuin edellisenä vuonna. Lisäksi tämän vuoden tutkimuksessa näytekohdissa, etenkin kuormanvaihdossa, lämpötilat olivat korkeammat. Tyhjätilat eivät kuitenkaan olleet alhaisemmat, johtuen yllä mainituista mahdollisista työvirheistä. Vaikka tyhjätilat olivat vuoden 2013 tutkimusta korkeammat, bonuskriteerien valossa tämän vuoden kohteet pärjäsivät paremmin kuin vuotta aikaisemmassa tutkimuksessa, sillä pysähdysten määrä oli pienempi ja riskialueita sekä kylmiä alueita oli vähemmän. Korkeat lämpötilat ja kuljetusmatka vaikuttavat oleellisesti kylmien alueiden sekä riskialueiden määrään.

## **6.2 Päätelmät**

Tutkimuksessa vertailtiin neljää eri menetelmää kappaletiheysten mittaamiseen ja tyhjätilan laskemiseen. Tulosten perusteella voidaan todeta, että SMA – massoilla erot kappaletiheysten, ja näin ollen myös tyhjätilan, arvoissa ovat selvästi suuremmat eri menetelmien välillä kuin AB – massalla. Vaikka eri menetelmillä saadaan suuruusluokaltaan



hyvin erilaisia arvoja, on kuitenkin selvästi nähtävissä että arvot noudattavat samaa trendiä. AB – massalla erot menetelmien välillä olivat huomattavasti pienemmät, joka viittaisi siihen, että eri menetelmät soveltuvat paremmin AB – massalle, kuin SMA – massalle. Menetelmien käytössä onkin rajoituksia riippuen massan koostumuksesta tai päällysteen tyhjätilan suuruudesta.

Vaikka bonuskriteerien valossa tämän vuoden kohteet pärjäsivät edellisen vuoden tutkimuskohteita paremmin, tyhjätilat olivat verrattain korkeita, paikoin jopa erittäin korkeita. Aikaisempien tutkimusten perusteella tiedetään, että päällysteen tyhjätilalla on suuri vaikutus päällysteen kestävyYTEEN ja suuret tyhjätilan arvot altistavat päällysteen ennenaikaisille purkaumille ja kiihdyttävät urautumista. Tämän vuoksi on todettava, etteivät nykyiset lämpökameraan kytketyt bonuskriteerit anna riittävää kuvaa päällysteen laadusta. Tämä tutkimus osoittaa, että päällysteessä saattaa olla virheitä, vaikka päällystyslämpötilat olisivatkin korkeat ja tasaiset. Toki korkeat ja tasaiset lämpötilat edesauttavat päällystystyön onnistumisessa ja vähentävät ongelmakohtien syntyä, mutta mikäli valmistus/työmenetelmissä on puutteita tai työskentelyssä tapahtuu virheitä, ei välttämättä päästä laadukkaaseen lopputulokseen.

### **6.3 Suositukset**

Tutkimuksen perusteella suositellaan jatkossa tutkimaan laajemmin tyhjätilan määrittämisessä käytettyjen menetelmien soveltumista erilaisille massoille. Eri määrittämismenetelmää käyttämällä voidaan saada aivan eri suuruusluokkaa olevia tyhjätilan arvoja, jolloin todellisen tyhjätilan toteaminen on mahdotonta. Lisäksi tutkittaessa kaistan tyhjätiloja poranäytteitä apuna käyttäen, tulisi poranäytteitä ottaa useasta kohdasta sekä kaistan pituus- että poikkisuunnassa, sillä yksittäisten poranäytteiden välillä voi olla merkittäviä eroja tyhjätilan arvoissa.

Tutkimuksessa havaittiin, ettei poranäytteiden sijainnin määrittäminen GPS – paikannuksen tai pelkän tieosoitteen perusteella ole mahdollista luotettavasti ja riittävällä tarkkuudella, vaan näytepaikat tulisi merkitä maastoon työnaikana käyttäen hyväksi lämpökameralaitteiston sijaintitietoa. Tällä menetelmällä määritettiin poranäytteiden sijainnit kahdella kohteella vuoden 2013 tutkimuksessa ja havaittiin, että sijainnit lämpötilamatolla saatiin määritettyä erittäin tarkasti. Tämän vuoden tutkimuksessa poranäytteiden sijainnit lämpötilamatolla saattaa poiketa todellisesta, koska Kuopion kohteella paikannuksessa käytetyt puhelimen GPS – koordinaatit poikkesivat merkittävästi levittimen GPS- koordinaateista. Myös Kempeleen kohteen poranäytteiden tarkkaa sijaintia ei voida luotettavasti määrittää, sillä urakoitsija porasi näytteet tiestä pelkän tieosoitetiedon avulla.

Tutkimus osoittaa, ettei tasainen päällystyslämpötila takaa onnistunutta lopputulosta, jos massan valmistuksessa tai työmenetelmissä on puutteita. Tämän vuoksi suositellaan paneutumaan eri työmenetelmien käyttöön ja menetelmäkohtaisten vaatimusten noudattamiseen, jotta ongelmia voitaisiin vähentää. Lisäksi tiivistystyö tulee tehdä kunnolla ja riittävän monella ylityskerralla, jotta päällysteen riittävä tiiveystaso saavutettaisiin. Tutkimuksen perusteella on helppo todeta, että päällystystyö on monen tekijän summa, mikäli kaikki osa-alueet eivät ole kunnossa, ei voida saavuttaa suunniteltua lopputulosta.

## Lähdeluettelo

AASHTO, 2011. AASHTO T-166–10. Bulk Specific Gravity of Compacted Hot-Mix Asphalt Using Saturated Surface-Dry Specimens. Saatavilla: <http://dot.state.nm.us/content/dam/nmdot/TTCP/2011/HMA-Asphalt/T-166.pdf>

Nevalainen, N. 2014. Lämpökamera päällystystöiden laadunvarmistuksessa. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. Diplomityö. 79 + 14 s. Saatavilla: [https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/13905/master\\_Nevalainen\\_Niklas\\_2014.pdf?sequence=1](https://aaltodoc.aalto.fi/bitstream/handle/123456789/13905/master_Nevalainen_Niklas_2014.pdf?sequence=1)

SFS -käsikirja, 2004. Asfalttimassat. Osa 1: Testausmenetelmät 1. SFS, Helsinki. 1. painos. ISBN 952-5420-43-4.

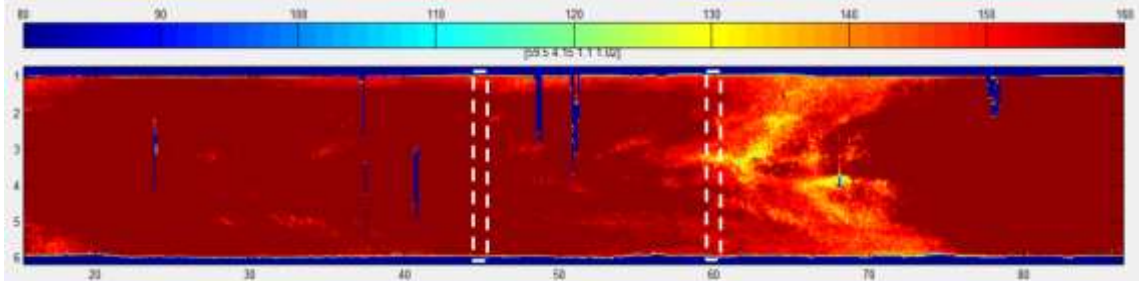
Tielaitos, 1997. Päällysteiden suunnittelu. Tiehallinto, tie- ja liikennetekniikka. TIEL 2140011. Helsinki. ISBN 951-726-372-4.

## **Liiteluettelo**

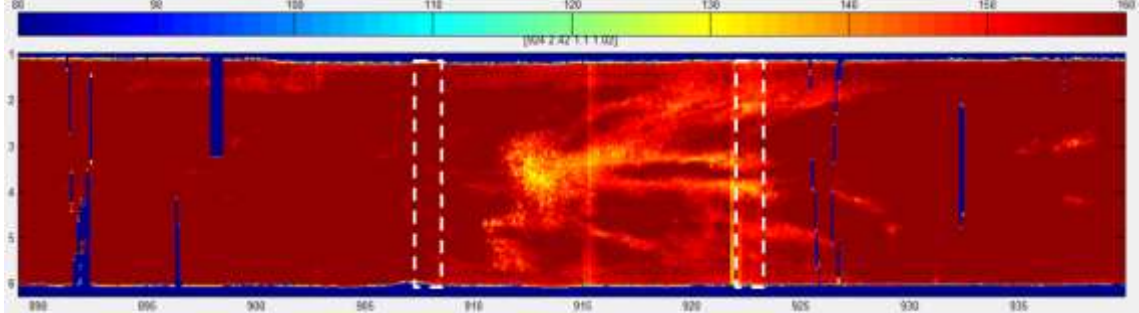
Liite 1. Näytekohdat. 3 sivua

# Liite 1. Näyttekohdat

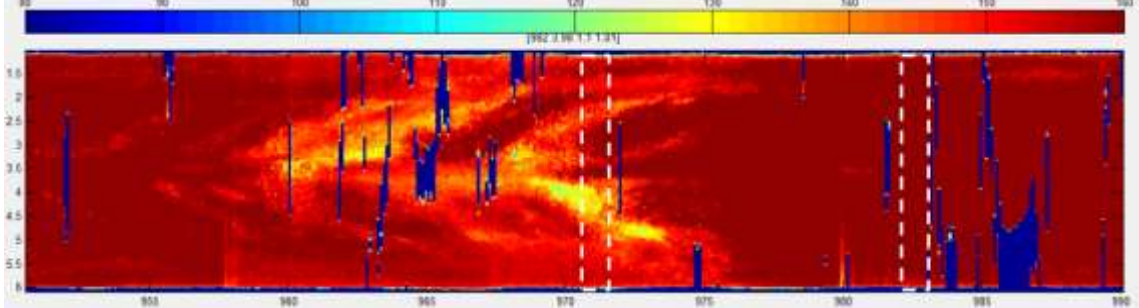
Kuopio VT5, näyttekohdat 1 & 2



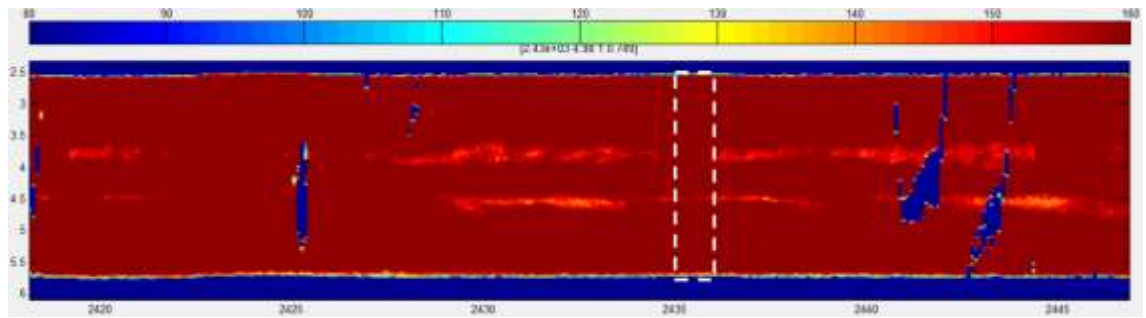
Kuopio VT5, näyttekohdat 3 & 4



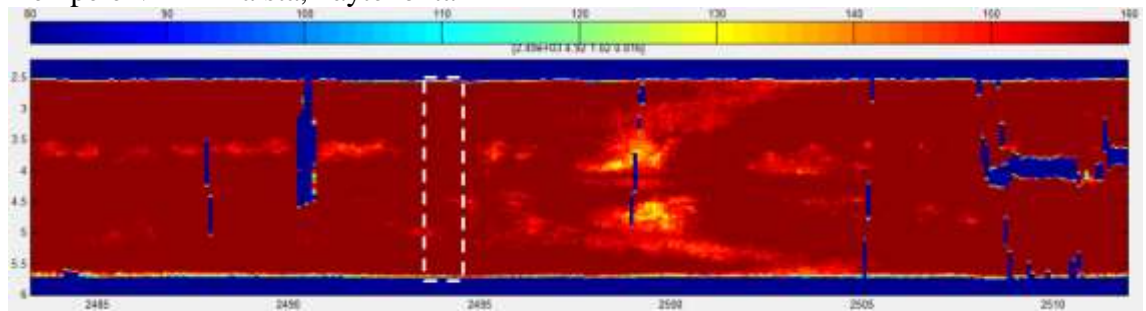
Kuopio VT5, näyte kohdat 5 & 6



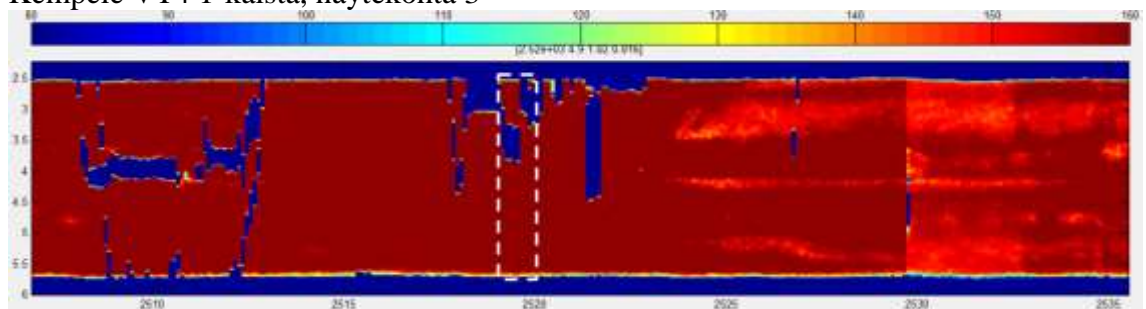
Kempele VT4 1-kaista, näytekohta 1



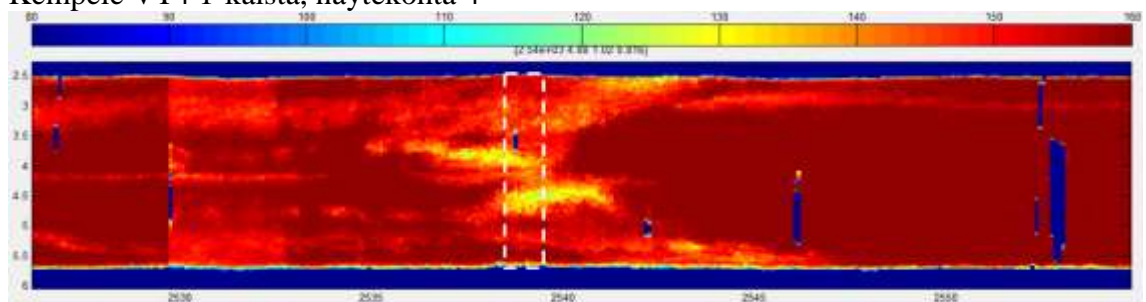
Kempele VT4 1-kaista, näytekohta 2



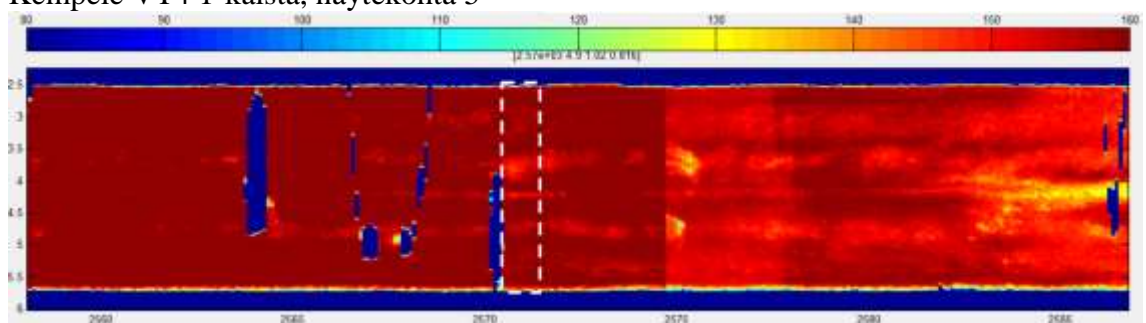
Kempele VT4 1-kaista, näytekohta 3



Kempele VT4 1-kaista, näytekohta 4

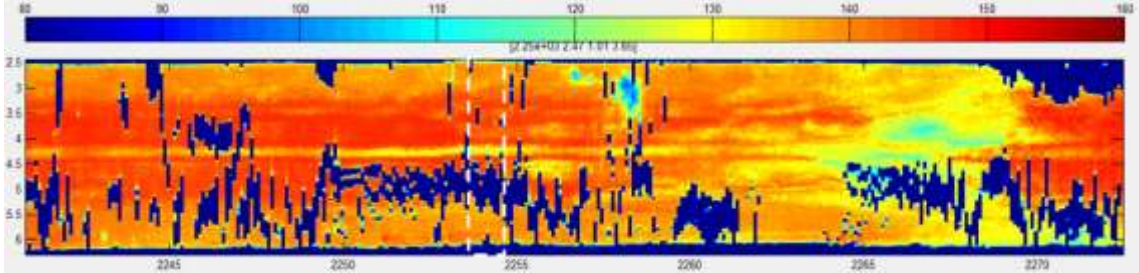


Kempele VT4 1-kaista, näytekohta 5

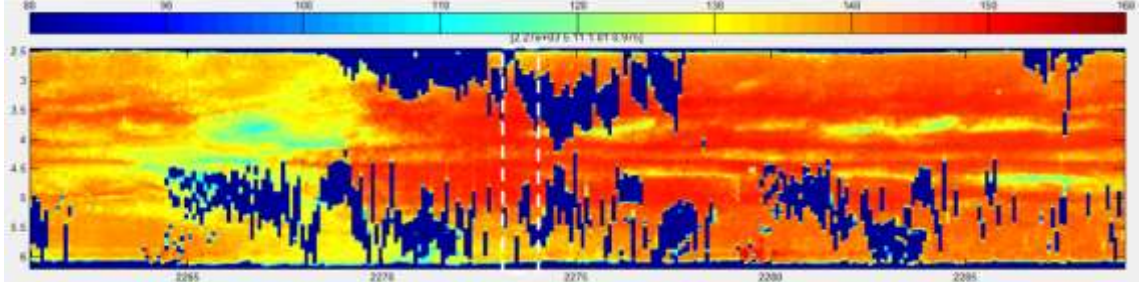




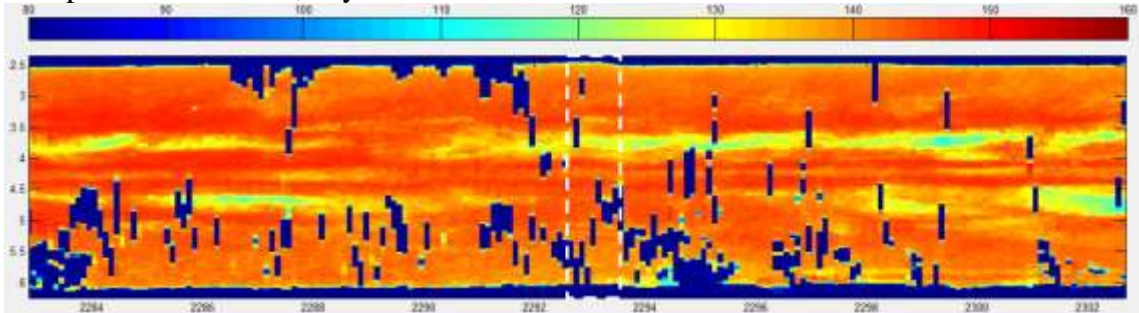
Kempele VT4 2-kaista, näytekohta 1



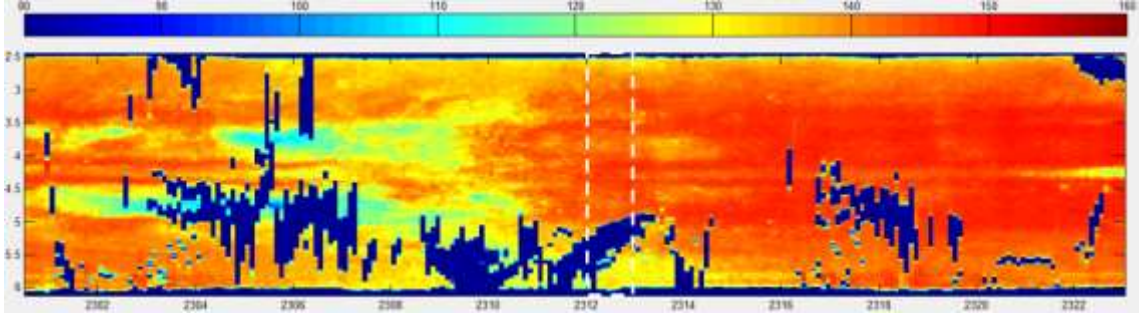
Kempele VT4 2-kaista, näytekohta 2



Kempele VT4 2-kaista, näytekohta 3



Kempele VT4 2-kaista, näytekohta 4



Kempele VT4 2-kaista, näytekohta 5

