

Annele Matintupa

TUTKIMUS TIEN STABILOIDUN KERROKSEN NÄYTTEEN- OTTOMENETELMISTÄ

Näytteenottotutkimus viideltä
tiekohteelta



Annele Matintupa

Tutkimus tien stabiloidun kerroksen näytteenottomenetelmistä

Näytteenottotutkimus viideltä tiekohteelta

Väyläviraston tutkimuksia 1/2019

Väylävirasto

Helsinki 2019

Kannen kuvat: Annele Matintupa ja Timo Ryttilahti

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0982

ISBN 978-952-317-658-4

Väylävirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Annele Matintupa: Tutkimus tien stabiloidun kerroksen näytteenottomenetelmistä: Näytteenottotutkimus viideltä tiekohteelta. Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston tutkimuksia 1/2019. 36 sivua ja 5 liitettä. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-658-4.

Avainsanat: tiet, stabilointi, näytteenotto

Tiivistelmä

Tämän tutkimuksen pääasiallisena tarkoituksena oli tutkia erilaisten näytteenottomenetelmien toimivuutta tien stabiloidun kerroksen näytteenotossa. Projekti aloitettiin kartoittamalla eri toimijoilla käytössä olevia menetelmiä ja niiden soveltuvuutta tähän projektiin. Tuloksena todettiin, että kalustoja ja käyttäjiä on hyvin rajallinen määrä, varsinkin talviolosuhteissa. Tästä syystä tutkimuksessa päädyttiin kokeilemaan vain West Coast Road Masters Oy:n ikkunanäytteenotinta sekä timanttikairausta eri halkaisijoilla.

Tutkimuskohteiksi valittiin viisi erilaista kohdetta, joissa oli käytetty erilaisia stabilointiaineita ja jotka olivat eri tieluokkien teitä. Kohteet sijaitsivat Inkoossa, Jämsässä, Ranualla, Rovaniemellä ja Laitilassa. Lähtötietojen kartoittamiseksi tiet mitattiin maatutkalla sekä pudotuspainolaitteella. Näiden mittaustulosten perusteella valittiin varsinaiset näytteenottokohdat. Tiellä 43 Laitilassa kokeiltiin sekä ikkunanäytteenotinta että timanttikairaa eri halkaisijoilla. Tältä kohteelta saatujen kokemusten perusteella todettiin timanttikairauksen olevan parempi menetelmä stabiloiduille kohteille. Lopuilla kohteilla näytteenotto tehtiin timanttikairauksella käyttäen eri halkaisijan omaavia teriä. Otetuista näytteistä valittiin osa lähetettäväksi tutkittavaksi Tampereen teknilliseen yliopistoon maa- ja pohjarakenteiden laboratorioon. Näytteille tehtiin Tube Suction-koee, puristuslujuuskoe sekä päällysteen porapalasta selvitettiin tyhjätila.

Näytteenotosta saatujen kokemusten perusteella voidaan todeta timanttikairauksen olevan paras menetelmä ottaa näyte stabiloidusta kerroksesta. Timanttikairauksessa on monia vaihtoehtoja käytettäväksi teräkooksiksi. Käytettävään halkaisijaan vaikuttavat näytteelle mahdollisesti tehtävät jatkotutkimukset laboratoriossa. Mikäli laboratoriotutkimuksia ei tehdä, suositellaan käytettäväksi 160mm halkaisijaa. Osa stabiloiduista materiaaleista vaatii näytteenotteenoton tekemisen talvella, jotta näyte pysyisi rakenteesta pois otettaessa paremmin kasassa. Näytteenottamisessa talvella on hyötynä myös se, että jäätyneenä saadaan kerroksesta hyvä kokonaiskuva ja mitat. Kun näyte sulaa, nähdään stabiloinnin heikot kohdat eli kohdat, joista näyte murentuu tai halkeaa. Näytteenoton haasteena talviaikaan on porauksessa käytettävä neste. Yleensä käytetään vettä, mutta esimerkiksi tämän tutkimuksen näytteenotossa veden joukkoon oli sekoitettu tuulilasipesunestettä jäätyneen estämiseksi ja vähän astianpesuainetta kitkan vähentämiseksi.

Annele Matintupa: Undersökning av metoder för provtagning på vägars stabiliserade lager: Provtagningsundersökning på fem vägar. Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets undersökningar 1/2019. 36 sidor och 5 bilagor. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-658-4.

Sammanfattning

Det huvudsakliga syftet med denna undersökning är att studera hur olika provtagningsmetoder fungerar på provtagning av vägars stabiliserade lager. Projektet inleddes med en kartläggning av de metoder som olika aktörer använder och metodernas lämplighet för detta projekt. Det visade sig att utbudet av materiel och användare är mycket begränsat, särskilt vintertid. Därför beslöt man att testa endast West Coast Road Masters Oy:s fönsterprovtagare samt diamantborrning med olika diametrar i undersökningen.

Fem olika undersökningsobjekt valdes ut. De var vägar av olika vägklasser på vilka olika stabiliseringsmedel hade använts. Objekten fanns i Ingå, Jämsä, Ranua, Rovaniemi och Letala. För kartläggning av ingångsdata mättes vägarna med georadar och fallviktsmätare. Utifrån dessa mätresultat valdes de egentliga provtagningsplatserna. På väg 43 i Letala prövade man både fönsterprovtagare och diamantborr med olika diametrar. Dessa prov visade att diamantborrning var den bättre metoden för stabiliserade objekt. På de övriga objekten togs proverna med diamantborrar med borrkronor av olika diameter. En del av proverna valdes ut för att skickas för undersökning till Tammerfors tekniska universitets laboratorium för mark- och grundkonstruktioner. På proverna gjordes ett Tube Suction-prov, ett tryckhållfasthetsprov och i en bit av beläggningen fastställdes hålrummet.

Utifrån erfarenheterna av provtagningen kan man konstatera att diamantborrning är den bästa metoden för att ta ett prov från ett stabiliserat lager. Vid diamantborrning kan många olika borrstorlekar användas. Valet av diameter påverkas av eventuella fortsatta undersökningar som ska göras på provet i laboratoriet. Om inga laboratorieundersökningar ska göras, rekommenderas en diameter på 160 mm. Vissa stabiliserade material kräver att provtagningen görs på vintern för att provet bättre ska hållas ihop när det tas bort från strukturen. Provtagning på vintern har även fördelen att en frusen provbit ger en bra helhetsbild och mått av lagret. När provet smälter, ser man stabiliseringens svaga punkter, dvs. de punkter där provet faller sönder eller spricker. En utmaning för provtagning på vintern är borrhätskan. I regel används vatten, men vid provtagningen för denna undersökning hade man exempelvis blandat i spolarvätska för att förhindra tillfrysning och lite diskmedel för att minska friktionen.

Annele Matintupa: Study on stabilised layer sampling techniques: sampling tests on five roads. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Research reports of the Finnish Transport Infrastructure Agency 1/2019. 36 pages and 5 appendices. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-658-4.

Abstract

The primary aim of this study was to test the effectiveness of different techniques in the sampling of stabilised road layers. The first step was to find out about the techniques used by different operators and their suitability for the project. It turned out that there were very few suitable techniques and operators, especially as the study was to be conducted in the winter. This is why the only techniques that were ultimately tested were West Coast Road Masters Oy's window sampler as well as diamond drilling with various core diameters.

Five roads of different categories and featuring different stabilising techniques were chosen for the study. The roads were located in Ingå, Jämsä, Ranua, Rovaniemi and Laitila. A ground-penetrating radar and a falling weight deflectometer were used to collect background information on the roads. The exact locations for taking samples were chosen on the basis of these measurements. Both the window sampler and diamond drilling with various core diameters were tested on road No 43 in Laitila. The tests in Laitila revealed that diamond drilling was a better technique for stabilised layers. Only diamond drilling with various core diameters was therefore used to collect samples from the other roads. Some of the samples were sent to the earth and foundation engineering laboratory of Tampere University of Technology for analysis. The samples underwent a tube suction test and a compressive strength test, and pavement core samples were analysed to establish void content.

Based on the lessons learnt from sampling, diamond drilling appears to be the best way to take samples from stabilised layers. Several different sizes of diamond drill bits can be used. The correct diameter depends on the laboratory tests envisaged for each sample. If no laboratory tests will be carried out, the recommended diameter is 160 mm. Some stabilised materials can only be drilled in the winter in order to keep the sample intact during extraction. Sampling during the winter is also better in the sense that it is easier to get an overview of materials and their dimensions when they are frozen. When a sample begins to melt, the parts of the sample that crumble or crack reveal where the stabilising process has failed. What makes sampling in the winter challenging is the liquid required for drilling. Water is used in most cases, but the project team added windscreen washer fluid to prevent freezing and a little dishwashing liquid to reduce friction.

Esipuhe

Tässä työssä tutkittiin erilaisten tien stabiloitujen kerrosten (vanhoja kuona-, tuhka- tai sementtistabilointeja) näytteenottomenetelmiä. Keskeisenä kysymyksenä selvitettiin muun muassa sitä, miten otetaan porapalanäyte rikkomatta näytettä murusiksi.

Työ on tehty Liikenneviraston (1.1.2019 alkaen Väylävirasto) toimeksiannosta vuoden 2018 aikana. Raportin on kirjoittanut Annele Matintupa Roadscanners Oy:stä. Näytteenotosta on vastannut West Coast Road Masters Oy. Tilaajan puolelta työtä ovat ohjanneet Kari Lehtonen ja Sami Petäjä.

Helsingissä tammikuussa 2019

Väylävirasto
Tekniikka- ja ympäristöosasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	8
2	KOhteet	9
3	PROJEKTIN KULKU.....	13
4	MITTAUSMENETELMÄT	15
4.1	Maatutkaluotaus	15
4.2	Videointi ja GPS-paikannin	16
4.3	Pudotuspainolaite.....	16
4.4	Mitatun aineiston käsittely ja tulkinta	17
5	NÄYTTEENOTTOMENETELMÄT JA VARSINAISEN NÄYTTEENOTON ONNISTUMINEN.....	18
5.1	Ikkunanäytteenotin.....	19
5.1.1	Menetelmän plussat ja miinukset	20
5.2	Timanttikaira.....	20
5.2.1	Menetelmän plussat ja miinukset	21
5.3	Näytteenoton onnistuminen	21
6	LABORATORIOKokeet.....	25
6.1	Puristuslujuuskoe.....	25
6.2	Tube Suction -koe.....	25
6.3	Päällysteen tyhjätila	26
6.4	Laboratoriokokeiden tulokset.....	26
6.4.1	Dielektrisyys ja sähkönjohtavuus	27
6.4.2	Puristuslujuus.....	27
6.4.3	Päällysteen tyhjätila	27
7	MAATUTKA- JA PUDOTUSPAINOLAITEAINEISTOJEN ANALYYSIT	28
8	KOHDEKOHTAINEN YHTEENVETO.....	32
8.1	Tie 43	32
8.2	Tie 926	32
8.3	Tie 942.....	32
8.4	Tie 11146.....	33
8.5	Tie 16563.....	33
9	YHTEENVETO JA SUOSITUKSET	34
	LÄHDELUETTELO.....	36

LIITTEET (linkki liitteeseen)

- Liite 1 [Tien 43 tarkemmat tutkimustulokset](#)
- Liite 2 [Tien 926 tarkemmat tutkimustulokset](#)
- Liite 3 [Tien 942 tarkemmat tutkimustulokset](#)
- Liite 4 [Tien 11146 tarkemmat tutkimustulokset](#)
- Liite 5 [Tien 16563 tarkemmat tutkimustulokset](#)

1 Johdanto

Suomessa on tehty viimeisten vuosikymmenien aikana runsaasti päällysrakennekerrosten yläosan stabilointeja erilaisia stabilointimenetelmiä käyttäen. Kun niiden elinkaari on lähestymässä loppuaan, korjaussuunnittelun avuksi tarvitaan tietoa stabiloidun kerroksen paksuudesta ja kunnosta.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, miten voidaan tutkia vanhoja kuona-, tuhka- tai sementtistabilointeja. Keskeisinä kysymyksinä selvitettiin sitä, miten porapala voidaan ottaa rikkomatta näytettä murusiksi. Tutkimus toteutettiin vertailemalla erilaisten näytteenottotekniikoiden toimivuutta teillä, joilla oli käytetty erilaisia stabilointiaineita.

Tutkimuksen aluksi selvitettiin eri toimijoilla käytössä olevia näytteenottotekniikoita ja mahdollisuutta kokeilla niitä tässä projektissa. Suurimmalla osalla toimijoista oli ongelmana laitteiston käyttäminen talvella / pakkasella (käytössä vesijähdytys). Tässä tutkimusprojektissa käytettäväksi ja testattavaksi valikoituivat West Coast Road Masters Oy:n ikkuna- ja timantinäytteenottimet. Näistä molempia menetelmiä käytettiin tiellä 43 eri kokoisilla terillä. Tällä kohteella saatujen kokemusten perusteella lopuilla kohteilla käytettäväksi valikoitui timanttipora 100mm, 160mm ja 225mm terillä.

Osa otetuista näytteistä toimitettiin edelleen laboratoriotutkimuksiin. Näytteille tehtiin laboratoriossa Tube Suction-, puristuslujuus- ja päällysteen tyhjätilakokeita. Tässä raportissa esitellään tutkimuksen keskeiset tulokset, suositukset näytteiden ottamiseksi stabiloidusta kerroksesta sekä jatkotutkimuksista.

2 Kohteet

Tutkimuskohteiden valinnassa tavoitteena oli valita erilaisia kohteita eripuolilta Suomea. Asiaan liittyen konsultoitiin mm. Ramboll Finlandin Luopioisten toimipistettä, josta saatiin tietoa kohteista, joiden stabiloinnissa on käytetty uusiomateriaaleja. Alustavien tietojen mukaan tiellä 43 piti olla bitumistabilointi, mutta myöhemmin se osoittautuikin masuunihiekkastabiloinniksi. Kohteilla 942 ja 926 hyödynnettiin Roadscannersin jo aiemmin mittaamaa maatutka-aineistoa. Näillä kohteilla saatiin lisätietoa maatutkatulkinnasta, tierekisteristä ja Lapin ELY-keskuksen ylläpidon asiantuntijalta. Taulukossa 1 on esitetty tutkimuksessa mukana olleet kohteet sekä tiedot niiden sijainnista ja stabiloinnista. Kuvissa 1–5 nämä kohteet on esitetty kartalla. Kohteiden alku- ja loppupisteet on merkattu punaisilla neliöillä ja tieosuus turkoosilla viivalla.

Taulukko 1. Teräsverkkokohteiden tiedot

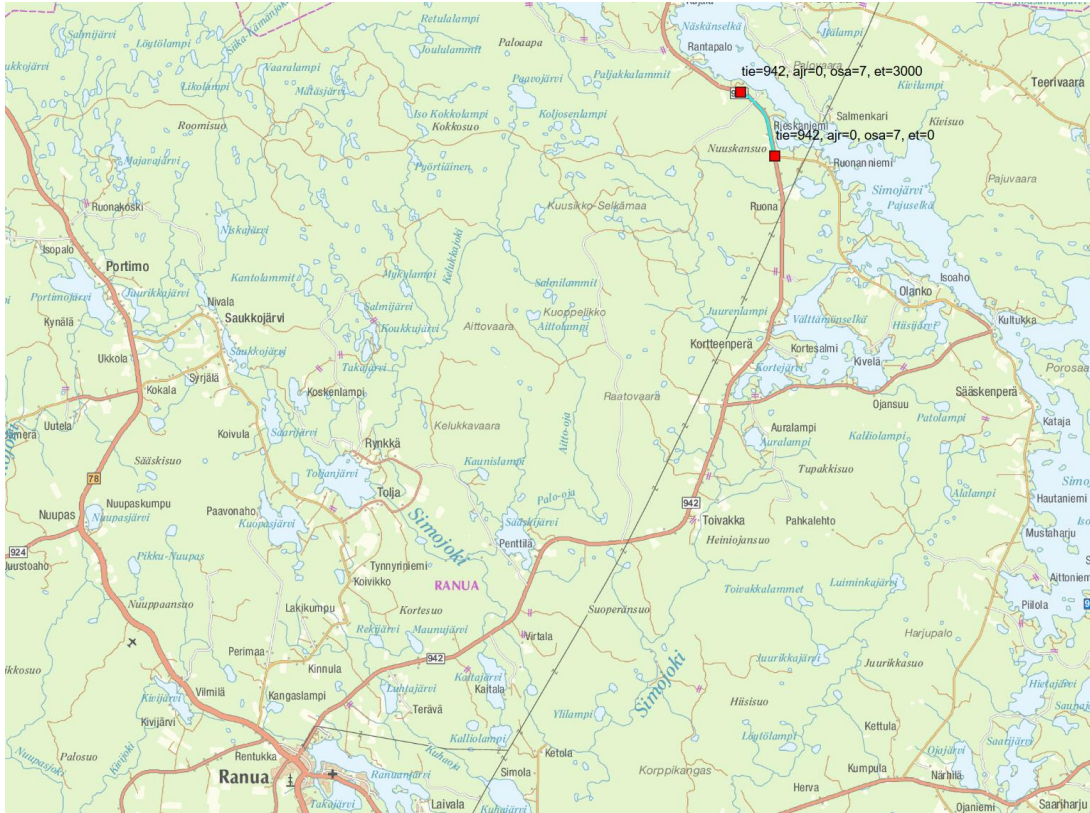
Tie	Tieosat	Pituus	Paikkakunta	Stabilointiaine(et)
11146	1/500–1/1500	1000 m	Inkoo	Lentotuhka + rikinpoiston lopputuote kipsi + yleissementti
16563	1/300–1/4450	4150 m	Jämsä	Lentotuhka + yleissementti
942	7/0–/3000	3000 m	Ranua	Masuunihiekka
926	16/1500–4995	3495 m	Rovaniemi	Sementti
43	6/400–6/700 6/3900–6/4000 7/1280–7/1700 7/2700–7/3300	n. 1500m	Laitila	Masuunihiekka



Kuva 1. Inkoon tutkimuskohde kartalla. Tie 11146, stabilointiaineina lentotuhka, rikinpoiston lopputuote kipsi ja yleissementti. Kartan lähde <https://extranet.liikennevirasto.fi/tiemappi/>.



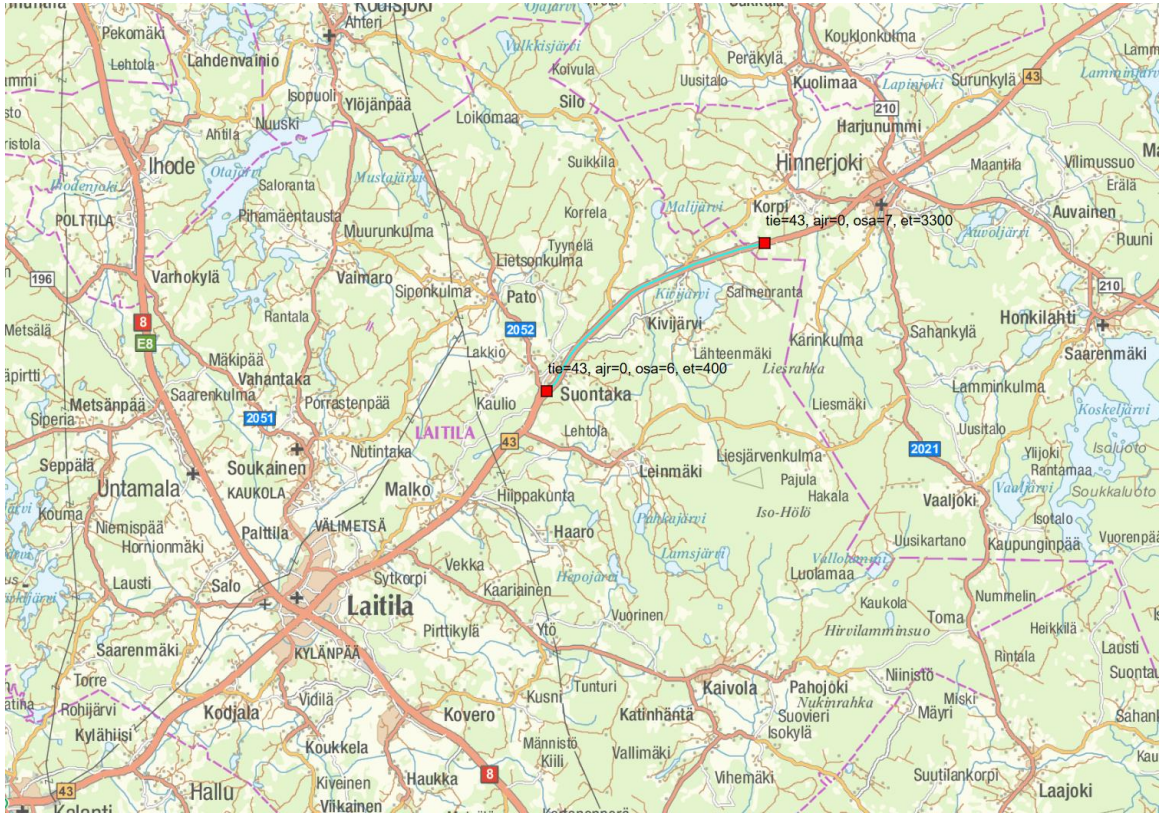
Kuva 2. Jämsän tutkimuskohde kartalla. Tie 16563, stabilointiaineina Lentotuhka ja yleissementti. Kartan lähde <https://extranet.liikennevirasto.fi/tiemappi/>.



Kuva 3. Ranuan tutkimuskohde kartalla. Tie 942, masuunihiekka-stabilointi. Kartan lähde <https://extranet.liikennevirasto.fi/tiemappi/>.



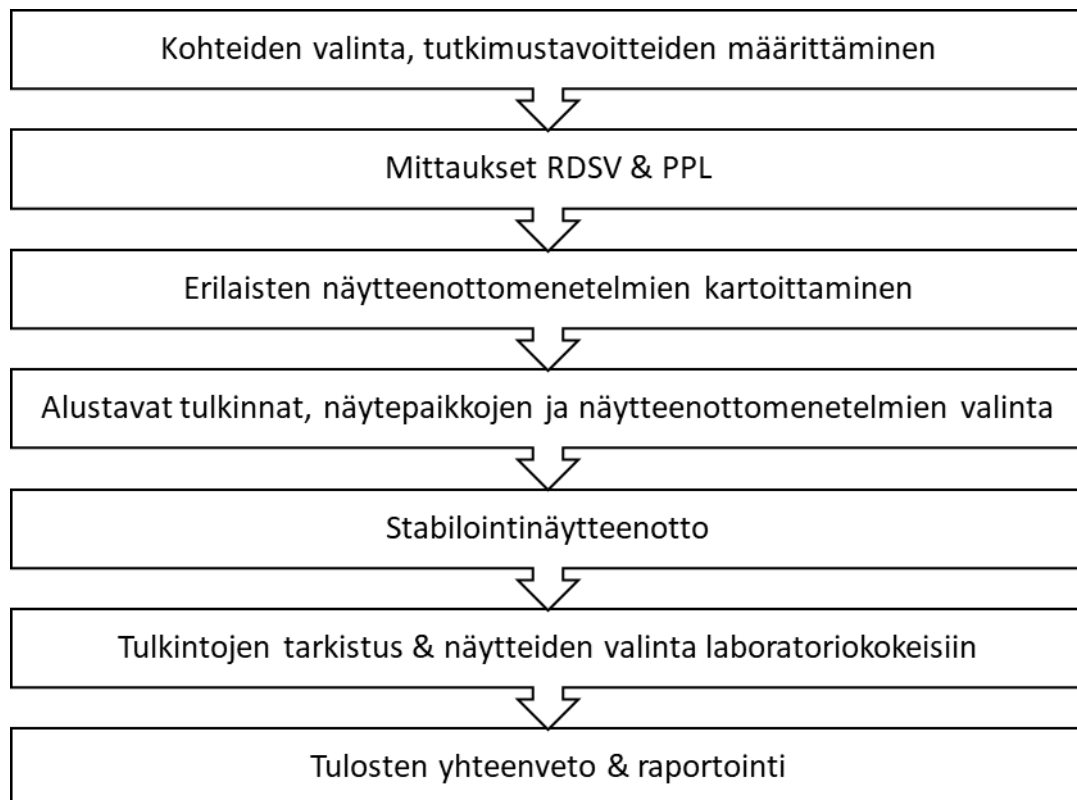
Kuva 4. Rovaniemen tutkimuskohde kartalla. Tie 926, sementtistabilointi. Kartan lähde <https://extranet.liikennevirasto.fi/tiemappi/>.



Kuva 5. Laitilan tutkimuskohde kartalla. Tie 43, masuunihiekkastabilointi. Kartan lähde <https://extranet.liikennevirasto.fi/tiemappi/>.

3 Projektin kulku

Projekti käynnistyi lokuussa 2017 Roadscanners Oy:n Road Doctor Survey Van (RDSV)-mittauksilla. Myös pudotuspainolaitemittaukset tehtiin West Coast Road Masters Oy:n toimesta lokakuussa 2017. Näytteenotot tehtiin tammi-maaliskuussa 2018 Roadscanners Oy:n ja West Coast Road Masters Oy:n yhteistyönä. Näytteet otettiin ajankohtana, jolloin ainakin tien päällysrakenteen yläosa oli jäässä. Näytteiden laboratoriotutkimuksia tehtiin toukokuussa 2018 Tampereen teknillisen yliopiston maa- ja pohjarakenteiden laboratoriossa. Tutkimusprosessain kuvaus on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Tutkimusprosessin kuvaus.

Maatutkamittausten valmistuttua kohteille tehtiin alustavat kerrospaksuustulkinat. Myös pudotuspainolaiteaineistot linkitettiin mukaan projektiin. Näiden perusteella valittiin näytepaikat. Näytteiden ottamiseen sovittiin seuraavanlainen menettelytapa: ensimmäisellä kohteella eli tiellä 43 Laitilassa kokeiltiin kahta erilaista näytteenotintyyppiä: timanttikairaa ja ikkunanäytteenotinta eri halkaisijoilla.

Kohteella 43 Laitilassa timanttikairauksessa käytettiin 100 mm, 160 mm ja 225 mm halkaisijaltaan olevia teriä. Ikkunanäytteenottimena oli 100 mm, 140 mm ja 209 mm halkaisijaltaan olevat terät. Näytteitä otettiin kaksi kappaletta per koko. Mikäli näytettä ei saatu kokonaisuena ulos, otettiin noin metrin etäisyydeltä toinen näyte eri menetelmällä. Muutamissa pisteissä toimistolla valittuja näytteenottokohtia jouduttiin maastossa siirtämään mm. näkemäolosuhteiden vuoksi. Tiellä 43 tehdyn näytteenoton jälkeen lopuille kohteille valittiin käytettäväksi parhaiten toimivat menetelmä, joka oli timanttikaira. Näillä kohteilla näytteet otettiin timanttikairalla siten, että pääsääntöisesti otettiin kaksi näytettä per koko ja mikäli näytteenotto ei onnistunut, tehtiin metrin päästä uusi yritys eri kokoisella terällä.

Näytteiden perusteella maatutkatulkintaa täydennettiin (muutettiin joko tulkittua rajapintaa tai käytettyä Er-arvoa). Toimistolla näytteistä valittiin edelleen TTY:lle jatkotutkimuksiin lähetettävät näytteet. Stabiloidun kerroksen 100 mm näytteistä tehtiin puristuslujuuskoe, 1 näyte/koe per kohde. Lisäksi tehtiin kaksi Tube Suction -koetta per kohde. Alunperin jatkotutkimuksiin lähetettyjä näytteitä jouduttiin muuttamaan ja toimittamaan lisää näytteitä TTY:n laboratorioon, koska osassa ei ollut riittävästi materiaalia näytekappaleen valmistamista varten. Myöskään puristuslujuuskoe ei onnistunut kaikista näytteistä, koska näytteet eivät pysyneet kasassa. TS- ja puristuslujuuskokeiden lisäksi päällysteestä tehtiin tyhjätilan määrittäminen. Laboratoriokokeiden valmistuttua tulokset raportointiin ja niiden perusteella tehtiin myöhemmin tässä raportissa esiteltävät suositukset ja yhteenveto.

4 Mittausmenetelmät

4.1 Maatutkaluotaus

Maatutkaus on rakenteita rikkomaton tutkimusmenetelmä, jossa lähetinantennilla lähetetään maaperään pulssi ja takaisinpalaavan pulssin kuluaika ja amplitudi mitataan. Antennista riippuen taajuusalue on yleensä 100 MHz ja 2 GHz välillä. Käyttötarkoitus määrittää antennin valinnan eli antennin keski-taajuus valitaan sen mukaan, mitä tutkimuksessa halutaan tarkastella. Tässä työssä käytettiin 2 GHz ilmastantennia, jolla saavutetaan erittäin hyvä resoluutio pintakerroksissa (alle 4 cm päällysteet erottuvat) ja toisena antennina 400 MHz maavasteantennia, jolla saadaan riittävä syvyysulottuvuus (yleensä yli 3 m). Signaalin kulkuun maaperässä vaikuttavat sähköjohtavuus ja vesipitoisuus. Yleisesti tierakenteessa erottuvat erilaiset materiaalirajapinnat, kuten päällysteen pohja, erilaisten murskeiden rajapinnat ja tierakenteen alapinnan raja pohjamaahan.

Mittauksen tahdistamiseen käytetään ajoneuvon renkaaseen kiinnitettävää pulssianturia, joka tahdistaa mittaukset kuljetun matkan mukaan. Pulssia tiheään toistettaessa syntyy maatutkaprofiili. Pulssin toistotaajuus on korkea ja nykyaikaisella laitteistolla voidaan ajaa liikennevirran mukana saavuttaen silti 10 pyyhkäisyä metrille.

Maatutkalaitteistona käytettiin GSSI:n SIR-30 varustettuna 2 GHz ilmastantennilla (42000S) ja 400 MHz maavasteantennilla (50400S). Ilmastantennien aineistoa käytettiin ylimpien kerrosten (päällyste + kerrokset noin 1 m syvyyteen) analysointiin ja maavasteantennin aineistosta tulkittiin rakennekerrosten kokonaispaksuus. Mittaustiheys oli 10 mittausta/metri.

Mittaukset tehtiin oikeasta ajourasta molempiin suuntiin. Teillä 942 ja 926 olemassa olevaa aineistoa oli suunnasta 1.



Kuva 7. Roadscanners RDSV. Edessä kaksi maatutka-antennia: horn-antenni ja maavasteantenni. Katolla kaksi kameraa ja takana ylhäällä laserskanneri, GPS ja IMU.

Samassa yhteydessä kohteilta mitattiin myös laserskanneri ja kiihtyvyyssantu-riaineistot. Näitä aineistoja ei ole käytetty tässä projektissa.

4.2 Videointi ja GPS-paikannin

Mittausauton katolle oli asennettu kaksi korkealaatuista laajakulmaista video-kameraa kuvaamaan sekä tien pintaa että ympäristöä. Videokuva on merkittävä apu maatutkatulkinnoissa ja esimerkiksi vauriokartoituksissa. GPS-paikannukseen käytettiin Novatel SPAN-CPT-laitteistoa, jossa on sisäänrakennettuna inertiayksikkö (IMU). Tarkkaan paikannukseen hyödynnettiin VRS-palvelua, joka korjaa GPS-signaalia reaaliaikaisesti. Mittauksessa laitteistot toimivat moitteettomasti ja osoittivat korkeaa paikannustarkkuutta.

4.3 Pudotuspainolaite

Pudotuspainolaitteella simuloidaan tiehen kohdistuvaa kuormitusta. Pudottamalla paino ja mittaamalla tiehen syntyvä taipuma eri etäisyyksillä, saadaan tien kantavuus sen eri osissa ja myös kokonaiskantavuus määritettyä. Koska tutkimus tehtiin poikkeuksellisen tarkasti, mitattiin pudotuspainolaitteella 10 m välein (20 m välein ja 10 m porrastus eri suunnissa). Mittauksen suoritti West Coast Road Masters Oy. Tieltä 43 Liikennevirasto toimitti jo aiemmin mitatun pudotuspainolaiteaineiston, joten sitä ei mitattu enää tässä yhteydessä uudelleen.



Kuva 8. West Coast Road Masters Oy:n pudotuspainolaitemittauskalusto.

4.4 Mitatun aineiston käsittely ja tulkinta

Maatutka-aineistosta on tulkittu tutkimuksen kannalta oleelliset kerrospaksuudet. Yhdessä pudotuspainolaitemittausaineiston kanssa tarkasteltiin rakenteen kuomituskestävyyttä erilaisten kantavuusparametrien ja takaisinlaskettavien kerrosmoduulien avulla. Maatutka-aineistosta tutkittiin signaalin käyttäytymistä ja tarkasteltiin miten stabiointityyppi ja/tai jopa sen kunto havaitaan maatutkan avulla. Tässä tapauksessa analysointi rajoittui stabilointikerroksen sisäisiin eroihin ja siltä osin siihen, saadaanko maatutkalla ylipäättään eroja näkyviin. Taajuusanalyysillä voidaan löytää materiaalista/kerroksesta myös mikrohalkeamia. Jatkossa voidaan myös verrata normaalin kantavan kerroksen ja erilaisten stabilointien signaalin sisältöä ja saadaanko tällä tavoin määritettyä esimerkiksi stabilointityyppi. Tässä tutkimuksessa aineistoa on kuitenkin tähän tarkoitukseen hyvin vähän ja muuttujia paljon. Yhdessä pudotuspainolaitemittausaineiston kanssa tutkimuskohteilta tutkittiin kerrosten kantavuusominaisuuksia tarkastelemalla mm. BCI-, SCI-, E2- ja venymäarvoja. Osalla kohteista laskettiin myös kerrosten moduuliarvot. Tämä oli haasteellista kerrospaksuuksien ollessa ohuita – etenkin stabiloinnin päällä oleva päällyste oli liian ohut laskentoihin.

Taajuusanalyysilaskennat tehtiin 2GHz maatutka-aineistosta. Taajuusanalyysit tehtiin rakenteen yläosaan 1–5 nanosekunnin eli noin 6–34 senttimetrin syvyydelle ($\epsilon_r=6$). Laskennoissa keskityttiin antennin taajuusspektrin ylempään kaistanleveyteen, koska se on herkempi mikrohalkeamille.

5 Näytteenottomenetelmät ja varsinaisen näytteenoton onnistuminen

Projektin yhtenä tavoitteena oli kokeilla eri näytteenottomenetelmien toimivuutta. Työn aluksi kartoitettiin eri vaihtoehtoja kokeiltavaksi. Tiedusteluja tehtiin mm. Skanska Infralta, Staralta, West Coast Road Masters Oy:ltä, Mitta Oy:ltä, Ramböll RST:ltä Ruotsista, Ramboll Finlandilta ja Sweco Civil AB:ltä Ruotsista. Osalla toimijoista ei ollut tähän tarkoitukseen soveltuvaa kalustoa ja/tai aikataulusyistä projektiin osallistuminen ei onnistunut.

Projektin näytteenotossa päädyttiin käyttämään West Coast Road Mastersin ikkuna- ja timanttinäytteenottimia.

Kohteiden näytteenotto tehtiin määräysten vaatimalla kalustolla eli varsinaisen näytteenottokaluston lisäksi kohteella oli TMA:lla varustettu suojajoneuvo (kuva 10). Kairauksessa syntyneisiin reikiin laitettiin ensin pohjalle mursketta ja tämän päälle Bitumixia, kohdat tiivistettiin vaiheittain huolellisesti (kuva 11).



Kuva 10. West Coast Road Masters Oy:n näytteenotossa käyttämä kalusto.



Kuva 11. Step by step-kuva reikien paikkaamisesta.

5.1 Ikkunanäytteenotin

Ikkunanäytteenotossa eri halkaisijaltaan olevaa näytteenotinta lyödään tie-rakenteeseen. Tässä tutkimuksessa kokeiltiin kolmea eri halkaisijaa: 100 mm, 140 mm ja 209 mm. Ennen ikkunanäytteenottimen lyömistä rakenteeseen poistetaan päällyste timanttikairalla.



Kuva 12. West Coast Road Masters Oy:n ikkunanäytteenotin.

5.1.1 Menetelmän plussat ja miinukset

Tässä tutkimuksessa saatujen kokemusten perusteella ikkunanäytteenotin ei sovellu käytettäväksi stabilointikohteiden näytteenottoon. Menetelmä perustuu siihen, että näytteenotin lyödään rakenteeseen hydraulivasaran avulla. Tästä aiheutuu tärinää, joka edelleen aiheuttaa sen, että käytännössä näytettä ei ole mahdollista saada rakenteesta yhtenäisenä kappaleena. Lisäksi menetelmä vaatii aina käytettäväksi myös timanttikairaa päällysteen poistamiseksi.

Menetelmän positiivisena puolena voidaan todeta, että ikkunanäytteenottimella voidaan ottaa näyte syvemmältä kuin timanttikairalla. Tämän menetelmän syvyysohjetta on noin 1,35 m. Lisäksi on mahdollista käyttää halkaisijaltaan eri kokoisia teriä.

Näytteenoton kesto tällä menetelmällä on noin tunti per piste.

5.2 Timanttikaira

Timanttikairamenetelmässä rakenteeseen porataan timanttiterällä. Tässä tutkimuksessa kokeiltiin kolme eri halkaisijaa: 100 mm, 160 mm ja 225 mm. Koska näytteenotto tehtiin talviaikaan pakkaskelillä, näytteenotossa nesteinä ei voinut käyttää pelkkää vettä. Näytteiden poraamisessa nesteinä käytettiin vettä, johon oli sekoitettu tuulilasinpesunestettä jäätymisen estämiseksi ja vähän astianpesuainetta kitkan vähentämiseksi.



Kuva 13. West Coast Road Masters Oy:n timanttikaira.

5.2.1 Menetelmän plussat ja miinukset

Saatujen kokemusten perusteella voidaan todeta näytteenoton onnistuneen hyvin timanttikairalla. Kuten ikkunanäytteenottimessa, myös tässä on mahdollista käyttää eri kokoisia teriä. Teräkoon valinnan tulee perustua mahdollisiin näytteiden jatkotutkimuksiin laboratorioissa, koska eri kokeilla on erilaiset vaatimukset näytteiden koolle ja tarvittavalle näytemäärälle.

Kokemusten perusteella 100 mm halkaisijaltaan oleva terä ei välttämättä toimi, mikäli tierakenteen yläosassa on jotain "tahmaista" (valuasfalttia?). Halkaisijaltaan pienessä (100 mm) näytteessä on myös se ongelma, että näyte saattaa vaurioitua näytteenoton aikana siten, että mahdollisuus saada se ehjänä ulos pienenee.

Timanttikairauksessa käytetään nestettä. Käytettävän nesteen laatu tulee huomioida näytteenoton ajankohdassa. Talvella veden joukkoon tulee sekoittaa esimerkiksi alkoholia, jolla estetään jäätyminen.

Timanttikairauksessa terän syvyysulottuvuus on maksimissaan 50 cm. Tosin harvoin stabilointikerros on tätä syvemmällä.

Näytteenotto timanttikairauksella on nopeampaa kuin ikkunäytteenottimella, kesto riippuu stabiloinnin laadusta.

5.3 Näytteenoton onnistuminen

Taulukossa 2 on esitetty näytteen kunto/laatu maastossa heti näytteenottamisen jälkeen sekä millainen näyte oli sulaneena huoneenlämmössä. Osa näytteistä saatiin kokonaisina yhdessä osassa (esimerkiksi tie 16563 – kuva 14) ja osa murentuneena (esimerkiksi tie 942 – kuva 16) ja osa näytteistä oli kiinteitä, mutta kahdessa osassa (esimerkiksi tie 11146 – kuva 15).

Taulukko 2 Näytteiden laatu heti ottamisen jälkeen jäätyneenä sekä sulaneena. Stabiloinneista on käytetty seuraavia lyhenteitä: MHk = maasuunihiekka, S = sementti, L = lentotuhka ja K = kipsi. Arvot on karkeasti luokiteltu väreillä antamaan suuntaa hyvistä ja huonoista.

Tie	Tie- osa	Paalu	Suunta	Stabilointi	Näytteen laatu / jäässä	Näytteen laatu / sulanut
43	6	425	1	MHk	Yhdessä osassa (timantti)	Alhaalta murusina, muutoin yhtenä kappaleena
43	6	568	2	MHk	Yhdessä osassa (timantti)	Pääosin kiinteää
43	6	3918	1	MHk	Yhdessä osassa, reunoilta murtunut (timantti)	Pääosin kiinteää
43	6	3980	2	MHk	Rikki (ikkuna), reunoilta murtunut (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	1284	2	MHk	Yhdessä osassa, reunoilta murtunut (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	1484	1	MHk	Rikki (ikkuna), reunoilta murtunut (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	1650	1	MHk	Ikkunalla saatiin lyhyt pala	Pääosin kiinteää
43	7	2720	2	MHk	Murusina (ikkuna), kiinteää (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	2763	2	MHk	Murusina (ikkuna), lyhyt pala (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	2942	2	MHk	Reunoilta murtunut (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	3170	2	MHk	Rikki (ikkuna), reunoilta murtunut (timantti)	Pääosin kiinteää
43	7	3290	2	MHk	Yhdessä osassa (timantti)	Yhtenä kappaleena
926	16	2040	1	S	YO kiinteä, AO reunoilta murentunut	AO murusina
926	16	2470	1	S	YO kiinteä, AO reunoilta murentunut, kahdessa osassa	AO murusina
926	16	2755	1	S	YO kiinteä, AO reunoilta murentunut	kasassa
926	16	3165	1	S	YO kiinteä, AO reunoilta murentunut	Murusina
926	16	3390	1	S	YO kiinteä, AO reunoilta murentunut	kasassa
926	16	3855	1	S	Reunoilta murentunut	Murusina
942	7	110	1	MHk	Kahdessa osassa	Pääosin irt., YO pieni osa kiinteää
942	7	1770	1	MHk	Kiinteä	YO kiinteä, AO murusina
942	7	2140	1	MHk	Kahdessa osassa	YO irttonainen, AO kiinteä
942	7	2350	1	MHk	Kiinteä	YO kaksi kiinteää osaa, AO irttonainen
942	7	2800	1	MHk	Yhdessä osassa	Murusina
942	7	2950	1	MHk	Yhdessä osassa	Murusina
11146	1	1150	1	L + K + S	Kahdessa osassa	yläosa murusina, alaosa kiinteää
11146	1	1485	1	L + K + S	Kahdessa osassa	yläosa murusina, alaosa kiinteää
11146	1	656	2	L + K + S	Yhdessä osassa	yläosa murusina, alaosa kiinteää
11146	1	920	2	L + K + S	Kahdessa osassa	yläosa murusina, alaosa kiinteää
11146	1	1290	2	L + K + S	Kahdessa osassa	yläosa murusina, alaosa kiinteää
11146	1	1415	2	L + K + S	Kahdessa osassa	yläosa murusina, alaosa kiinteää
16563	1	1190	1	L + S	Kiinteä, yhdessä osassa	Kiinteä, yhdessä osassa
16563	1	2060	1	L + S	Kiinteä, yhdessä osassa	Kiinteä, yhdessä osassa
16563	1	2570	1	L + S	Kiinteä, yhdessä osassa	Kiinteä, yhdessä osassa
16563	1	4250	1	L + S	Kiinteä, yhdessä osassa	Kiinteä, yhdessä osassa
16563	1	2230	2	L + S	Kiinteä, yhdessä osassa	Kiinteä, yhdessä osassa
16563	1	3300	2	L + S	Kiinteä, yhdessä osassa	Kiinteä, yhdessä osassa



Kuva 14. Esimerkki erittäin kiinteästä näytteestä sekä heti näytteenoton jälkeen että vähän myöhemmin sulaneena, tie 16563.



Kuva 15. Esimerkki osittain murentuneesta näytteestä, tie 11146.



Kuva 16. Esimerkki osittain murentuneesta näytteestä, tie 942.

6 Laboratoriokokeet

6.1 Puristuslujuuskoe

Puristuslujuuskokeet tehtiin 100mm poranäytteistä, jotka kestivät päiden tasauksen sahaamalla. Puristettaessa käytettiin puukuitulevyä tasoittamaan näytteen päätyjen pienien epätasaisuuksien aiheuttamia pistemäisiä kuormituskeskittymiä. Koekappaleiden halkaisija oli noin 100mm. Puristusnopeutena käytettiin 0,2kN/s.

6.2 Tube Suction -koe

Tube Suction (TS) -koe tehdään tierakennusmateriaalien vedenimukyvyn määrittämiseksi. TS-kokeessa mitataan, imeekö materiaali itseensä vettä, jos sitä on saatavilla. Imeytyneen veden määrää seurataan mittaamalla tietyn väliajoin materiaalin dielektrisyysarvoa. Dielektrisyysarvo kertoo materiaalin volumetrisestä vesipitoisuudesta. Samanaikaisesti suositellaan mitattavaksi myös sähkönjohtavuus. Sähkönjohtavuus kertoo materiaalin osmoottisen imupaineen määrästä. Tulos kertoo edelleen, jos materiaali sisältää esimerkiksi klorideja. Tube Suction-koe perustuu Tiehallinnon selvityksessä 20/2000 "Tube Suction Test – sitomattomilla murskeilla suoritettujen rengastestien tulokset" annettuihin ohjeisiin ja suosituksiin.

TS-kokeiden testinäytteet esitiivistettiin kolmessa kerroksessa muoviputkeen (näytteen halkaisija 150mm, korkeus 200mm), jolloin kuhunkin kerrokseen laitettua materiaalia taputeltiin pinnasta kevyesti rautapainolla. Lopullinen tiivistys tehtiin ICT-kiertotiivistimellä 6 bar paineella 100 kierroksen ajan kierrosnopeuden ollessa 30 kierrosta/min ja tiiviyslevyjen poikkeutuskulman 40 mrad.

Virallisesta proseduurista poiketen stabilointinäytteiden käsittelyä TS-koetta varten on käytetty edellä mainittua menettelyä. Se on alun perin laadittu sitomattomia näytteitä varten. Sidotuilla näytteillä näyte korkeuden tulisi olla yleensä 100mm.

Tässä tutkimuksessa TS testit 43/6/3980 ja 16563/1/1190 ja 16563/1/2060 tehtiin suoraan poranäytteestä sen päiden tasaamisen jälkeen. Näiden näytteiden sylinteriset reunat ympäröitiin muovikelmulla kuivattamisen jälkeen. Testinäytteitä kuivatettiin 40–45°C lämpötilassa vähintään 3 vuorokautta, jonka jälkeen testinäytteet olivat vähintään kaksi vuorokautta huoneenlämmössä ennen varsinaisen TS-kokeen aloittamista. Näytteiden korkeus oli hieman vajaa 200 mm, paitsi tien 43 näytteellä, joka oli pituudeltaan 145 mm.

Kokeen alkaessa näytteiden pohjat upotetaan tislattuun veteen. Dielektrisyys- ja sähkönjohtavuusarvot mitataan näytteiden yläpäästä tiettyyn aikaan (30 min, 1, 2, 4, 6, 8, 24, 32 tuntia) ja tämän jälkeen kerran päivässä toisesta koevuorokaudesta lähtien ainakin 10 koevuorokautteen asti, kunnes arvot ovat tasaantuneet. Testinäytteiden dielektrisyys ja sähkönjohtavuudet on mitattu Adek Ltd:n valmistamalla Percometerillä. Dielektrisyysarvojen suuruus ja kasvuvauhti kertovat miten paljon ja miten nopeasti vesi nousee näytteeseen kapillaarivoimien vaikutuksesta. Sitomattomat materiaalit voidaan luokitella

dielektrisyysarvon (Er-arvo) perusteella. Jos Er-arvo on alle 9, materiaali on hyvälaatuista kantavan kerroksen materiaaliksi. Jos Er-arvo on 9–16, materiaali on routivaa ja kyseenlaista kantavan kerroksen materiaaliksi. Jos Er-arvo on suurempi kuin 16, materiaali ei sovellu lainkaan käytettäväksi kantavassa kerroksessa. Jos näytteen sähkönjohtavuus on korkea, se kertoo siitä, että näyte saattaa sisältää suuria määriä suoloja tai haitallisia mineraalien rapautumistuotteita.

6.3 Päälysteen tyhjätila

Asfalttimassan maksimitiheys määritettiin standardin SFS-EN 12697-5:2010/AC:2012 menetelmän B ja asfalttinäytteen kappaletiheys standardin SFS-EN 12697-6:2012 menettelyn A tai B mukaisesti. Asfalttinäytteen tyhjätila määritettiin standardin SFS-EN 12697-8:2003 mukaisesti. Asfalttinäytteet puhdistettiin ja kuivattiin huoneenlämmössä vakiomassaan. Päälysteen tyhjätilasta voidaan arvioida mm. päälysteen vesitiiviyttä.

6.4 Laboratoriokokeiden tulokset

Laboratoriokokeiden tulokset on esitetty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Näytteiden laboratoriokokeiden tulokset. Er 10vrk = Näytteestä 10. koivuorokauden kohdalla mitattu dielektrisyysarvo, J 10vrk = Näytteestä 10. koivuorokauden kohdalla mitattu sähkönjohtavuusarvo.

Näyte	Er 10vrk	J 10vrk (μS/cm)	Puristuslujuus (Mpa)	Päälysteen tyhjätila (%)	Stabilointi
43/6/3980	4,5	0		1,9 (AB)	Masuunihiekka
43/7/2942	16,6	82			Masuunihiekka
43/ 7 / 3290			3,59		Masuunihiekka
926/16/3855	9,4	22			Sementti
926/16/3165	8,2	9		9,5(PAB)	Sementti
942/7/110	9	30			Masuunihiekka
942/7/2350	9,6	14		9,0 (PAB)	Masuunihiekka
11146/1/656	17,2	41			Lentotuhka + kipsi + sementti
11146/1/920			2,34		Lentotuhka + kipsi + sementti
11146/1/1485	14,4	27		9,6 (PAB)	Lentotuhka + kipsi + sementti
16563 /1 / 1190	11,7	0			Lentotuhka + sementti
16563 / 1 / 2060	8,2	0		0,9 (AB)	Lentotuhka + sementti
16563 / 1 / 2230 (1)			7,05		Lentotuhka + sementti
16563 / 1 / 2230 (2)			5,04		Lentotuhka + sementti
16564 / 1 / 3300 (1)			5,57		Lentotuhka + sementti
16564 / 1 / 3300 (2)			2,85		Lentotuhka + sementti

(1) näytteen yläosa

(2) näytteen alaosa

6.4.1 Dielektrisyys ja sähkönjohtavuus

Dielektrisyysarvojen tarkastelussa raja-arvoina on käytetty seuraavia: $Er < 9$ hyvälaatuinen (vihreä), $Er 9-16$ kyseenalainen (keltainen) ja $Er > 16$ huono (punainen). Näytteiden Er -arvot ovat pääasiassa olleet < 16 . Tuloksia tarkasteltaessa huomiota kiinnittää se, että tiellä 43 on eri tieosilla hyvinkin toisistaan poikkeavat Er -arvot. Tämä kertoo ehkä siitä, että masuunihiekka itsessään ei stabiloinnissa käytettävänä lisäaineena vaikuta materiaalin imupaineominaisuuksiin, vaan ero todennäköisesti johtuu stabiloidun materiaalin ominaisuuksista. Mikäli stabiloitava kerros on jo alun perin ollut huonolaatuista, sen ominaisuuksia ei ole voitu merkittävästi parantaa stabiloinnin avulla. Kaikkien näytteiden sähkönjohtavuusarvot ovat suhteellisen matalia eli kertoo, että materiaali ei sisällä suuria määriä suoloja tai haitallisia mineraalien rapautumistuotteita.

6.4.2 Puristuslujuus

Puristuslujuudelle ei eri lähteistä löytynyt suoranaisia raja-arvoja huonolle tai hyvälle materiaalille. Eräessä tutkimuksessa (Compressive Strength of Soil Improvement with Cement, Harry Saroglou, Conference paper from March 2009) on vertailtu erilaisten materiaalien puristuslujuuksia käytettäessä sementtiä lisäaineena 3–8% pitoisuuksilla. 3% sementtipitoisuudella puristuslujuudet ovat olleet noin 1–2,5 MPa, 5% pitoisuudella 1,4–4,6 MPa ja 7% pitoisuudella 1,5–6,7 MPa. Tässä tutkimuksessa tulokseksi saadut puristuslujuudet ovat samalla tasolla. On kuitenkin muistettava, että tietyllä sementtimäärällä ei voida olettaa saavutettavan tiettyjä lujuuksia. Stabiloinnissa vesipitoisuus vaikuttaa vesi/sementti-suhteen kautta ja lisäksi lujuuteen vaikuttavat stabiloitavan materiaalin rakeisuus, mineralogia ja humuspitoisuus.

Yleinen käsitys kuitenkin on, että yli 5 MPa puristuslujuuksien omaavilla stabiloinneilla saattaa tulla ongelmia pehmeillä pohjamailla. Tässä tapauksessa lentotuhka + sementti näytteiden tulokset saattaisivat olla hieman liian suuret.

6.4.3 Päällysteen tyhjätila

PAB päällysteelle ei ole määritelty tyhjätilan raja-arvoja. Tässä tutkimuksessa teillä 926, 942 ja 11146 päällystetyyppinä oli PAB ja tuloksiksi saadut arvot välillä 9,0–9,6%. AB päällysteiden raja-arvona on 6%. Tässä työssä teiden 43 ja 16563 päällystetyyppinä on AB ja tien 43 tulokseksi saatu tyhjätila oli 1,9% ja tien 16563 tyhjätila 0,9%.

7 Maatutka- ja pudotuspainolaiteaineistojen analyysit

Tutkimuksen koekohteilta tarkasteltiin yhdessä myös maatutkalla ja pudotuspainolaitteella mitattuja aineistoja. Taulukkoon 3 on poimittu kunkin näytteenottokohdan kohdalta SCI- ja venymäarvot sekä stabiloinnin yläpinnasta maatutkalla mitattu dielektrisyysarvo. SCI-arvot lasketaan vähentämällä pudotuspainolaitteella mitatut kahden ensimmäisen geofonin (d0-d200) arvot toisistaan. Tällöin saadaan tieto päällysteen ja sitomattoman kantavan kerroksen yläosasta jäykkyydestä. Korkea SCI-arvo indikoi muun muassa korkeasta riskistä rakenteen yläosassa tapahtuville muodonmuutoksille.

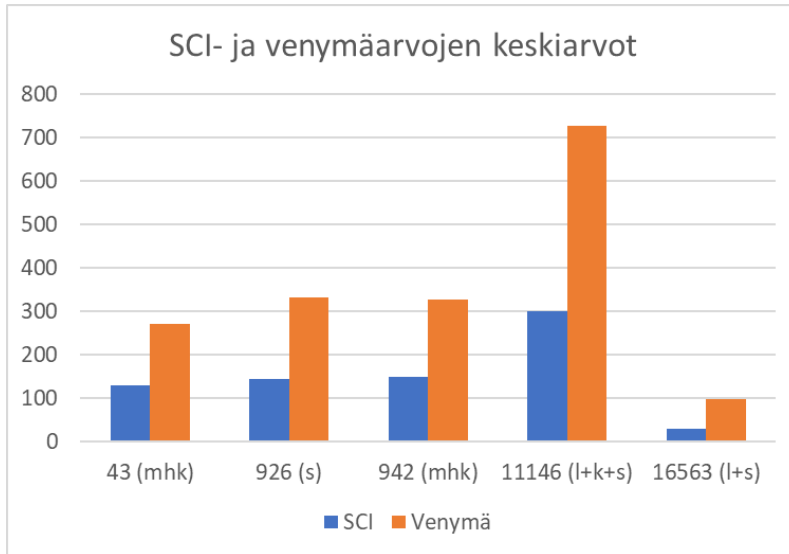
Kaikista pienimmät (ja parhaimmat) SCI- ja venymäarvot olivat kohteella 16563 (Jämsä). Tällä kohteella stabiloinnissa oli käytetty lentotuhkaa ja sementtiä. Suurimmat arvot olivat kohteella 11146 (Inkoo), jossa kaikki arvot olivat melko suuria. Tällä kohteella stabiloinnissa oli käytetty lentotuhkaa, kipsiä ja sementtiä. Yhteenveto tuloksista on esitetty kuvassa 17.

Päällysteen paksuus vaihteli eri kohteiden näytepisteissä 35 ja 73 mm välillä. Vastaavasti stabiloinnin paksuus oli sementtistabiloidulla kohteella noin 81 mm ja paksuimmillaan lentotuhka ja sementtikohteella noin 258 mm. Paksuusmittausten yhteenveto on esitetty kuvassa 18.

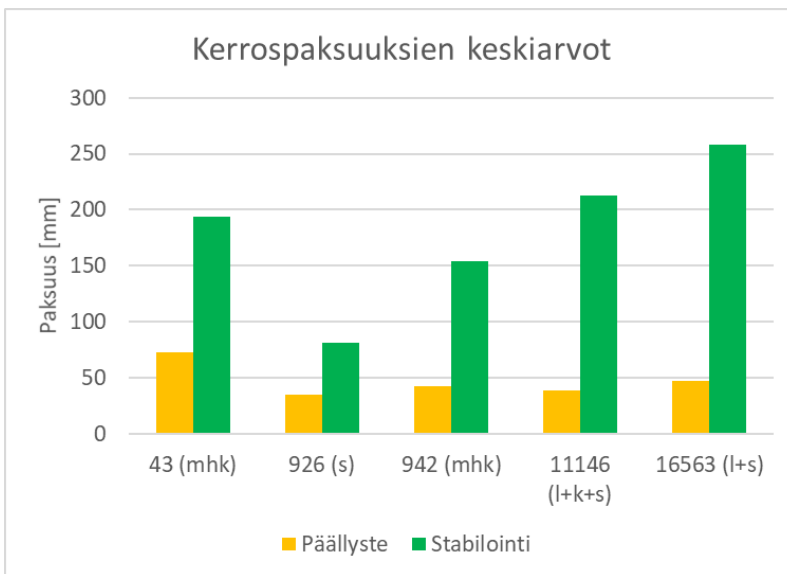
Mitatusta maatutka-aineistosta tehtiin myös erilaisia taajuusanalyyskejä. Taajuusanalyysit osoittivat selvästi, että kullakin eri stabiloinnilla on erilainen maatutkan taajuusvaste ja sitä voidaan hyödyntää, kun selvitetään tieverkolta, minkälainen stabilointi on kyseessä. Aineiston tarkemmat analyysit voivat osoittaa myös ongelmakohdat stabiloinnin laadussa. Kuvassa 19 on esitetty tutkimuskohteena olleiden tieosien jokaisesta näytteenottokohdasta tehty taajuusspektrin jakauma. Verrattessa kuvia toisiinsa nähdään selvästi, että taajuusspektrin jakauma on erilainen riippuen käytetystä stabilointiaineesta. Tarkemmat taajuusspektrin jakaumakuvat on esitetty tiekohtaisissa tulosliitteissä.

Taulukko 3. Yhteenveto näytteiden päällysteen ja stabilointikerroksen pak-suudesta sekä SCI-, venymäarvoista sekä maatutkalla mitatusta toisen kerroksen (eli stabiloinnin pinnan) dielektrisyysarvosta. Stabiloinneista on käytetty seuraavia lyhenteitä: MHk = masuuni-hiekka, S = sementti, L = lentotuhka ja K = kipsi. Arvot on karkeasti luokiteltu väreillä antamaan suuntaa hyvistä ja huonoista. Luokittelun perusteena on käytetty sekä ROADEX- että PEHKO-projekteissa käytettyjä luokkia.

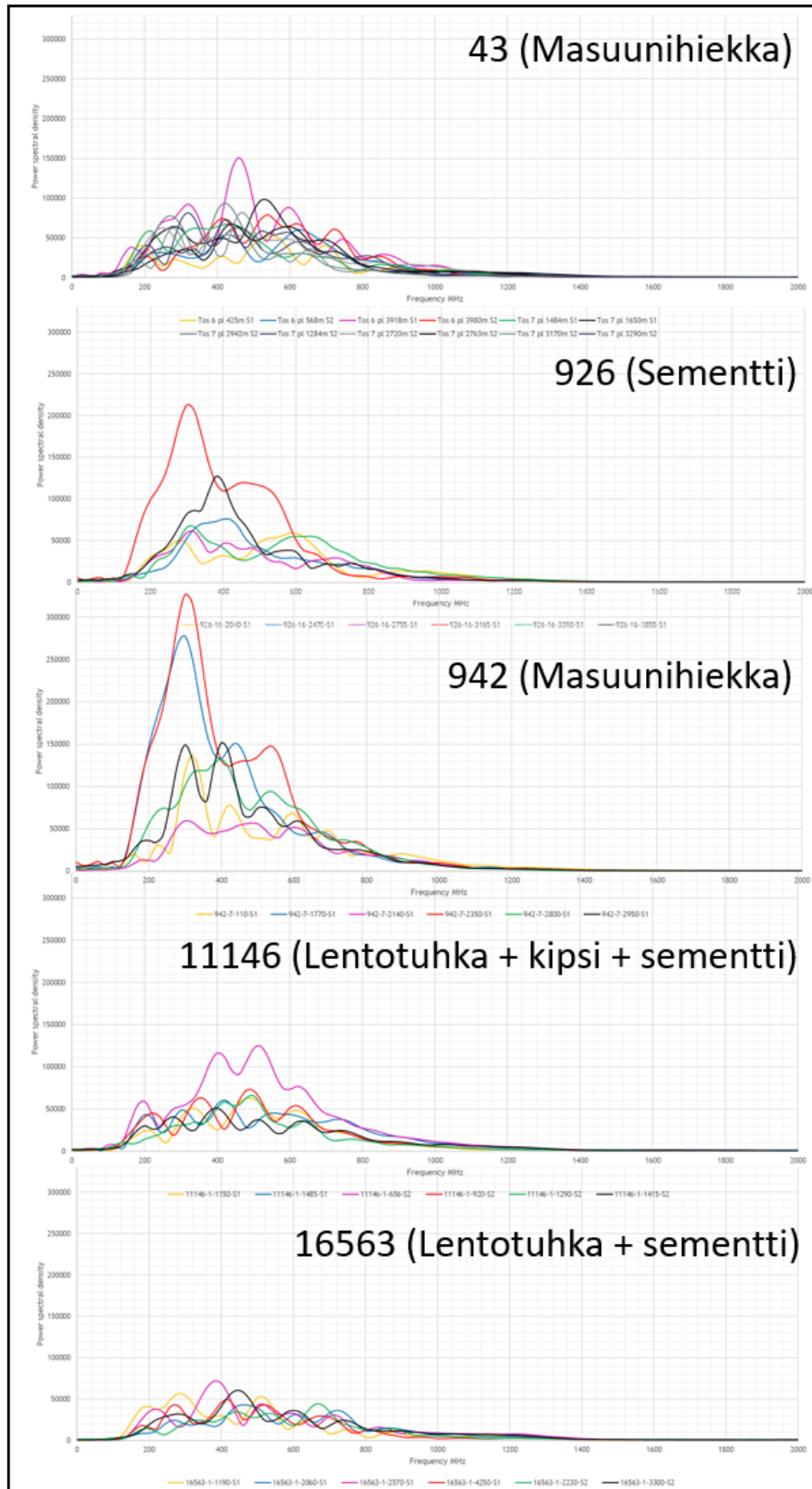
Tie	Tieosa	Paalu	Suunta	Stabilointi		Päällysteen paksuus (mm)	Stabiloinnin paksuus (mm)	SCI	Venymä µstrain	2.krs Er
43	6	425	1	MHk		65	205	166	290	6
43	6	568	2	MHk		85	155	101	208	8
43	6	3918	1	MHk		65	195	173	347	7
43	6	3980	2	MHk		75	275	80	159	8,5
43	7	1284	2	MHk		60	210	169	371	8,5
43	7	1484	1	MHk		70	210	120	283	7,5
43	7	1650	1	MHk		90	110	142	311	7
43	7	2720	2	MHk		100	170	75	190	5,75
43	7	2763	2	MHk		70	80	136	263	6,5
43	7	2942	2	MHk		70	290	133	290	7
43	7	3170	2	MHk		65	215	119	274	7
43	7	3290	2	MHk		60	215	121	258	7,5
tilastot					ka	72,9	194,2	127,9	270,3	7,2
tilastot					stdv	12,52	59,88	32,29	61,46	0,87
926	16	2040	1	S		40	70	123	292	6,75
926	16	2470	1	S		35	65	135	316	6,75
926	16	2755	1	S		40	70	140	322	6,5
926	16	3165	1	S		30	75	142	316	6,5
926	16	3390	1	S		30	110	159	366	7,5
926	16	3855	1	S		35	95	161	374	8,5
tilastot					ka	35,0	80,8	143,3	331,0	7,1
tilastot					stdv	4,47	17,72	14,51	32,02	0,79
942	7	110	1	MHk		40	150	148	341	6
942	7	1770	1	MHk		40	160	143	272	5,5
942	7	2140	1	MHk		40	150	124	275	5,75
942	7	2350	1	MHk		40	190	154	334	5,5
942	7	2800	1	MHk		50	180	158	376	6
942	7	2950	1	MHk		45	95	160	365	7
tilastot					ka	42,5	154,2	147,8	327,2	6,0
tilastot					stdv	4,18	33,23	13,27	44,31	0,56
11146	1	1150	1	L + K + S		48	147	244	618	6
11146	1	1485	1	L + K + S		48	152	479	1086	8
11146	1	656	2	L + K + S		35	245	360	864	7,75
11146	1	920	2	L + K + S		35	185	315	818	5,5
11146	1	1290	2	L + K + S		35	305	185	471	8
11146	1	1415	2	L + K + S		30	240	210	513	6,25
tilastot					ka	38,5	212,3	298,8	728,3	6,9
tilastot					stdv	7,61	61,77	109,84	236,28	1,13
16563	1	1190	1	L + S		50	230	14		6,25
16563	1	2060	1	L + S		40	255	30		7,5
16563	1	2570	1	L + S		50	250	29	94	5,75
16563	1	4250	1	L + S		45	255	21	77	6,75
16563	1	2230	2	L + S		45	260	39	118	7
16563	1	3300	2	L + S		50	300	35		7
tilastot					ka	46,7	258,3	28,0	96,3	6,7
tilastot					stdv	4,08	22,95	9,17	20,60	0,62



Kuva 17. Näytteiden keskimääräiset SCI- ja venymäarvot eri teillä.



Kuva 18. Näytteiden keskimääräiset päällysten ja stabiloinnin paksuudet eri teillä.



Kuva 19. Kaikkien tutkittujen kohteiden taajuusspektrin jakaumakuvat. Kaikissa kuvissa on sama asteikko vertailun helpottamiseksi. Kuvat on esitetty suurempina erillisissä tiekohtaisissa liitteissä.

8 Kohdekohtainen yhteenveto

8.1 Tie 43

Kohteella kokeiltiin timanttikairan lisäksi ikkunanäytteenotinta. Ikkunanäytteenottimella otetuista näyteistä lähes kaikki menivät rikki. Todennäköisesti tämä johtuu iskuista, kun otinta lyödään maahan. Timanttikairalla lähes kaikki näytteet saatiin ehjänä. Alustavassa maatutkatulkinnassa stabiloidun kerroksen Er-arvona käytettiin 6:tta. Näytteiden mukaan näyttäisi enemmän, että Er tulisi olla 9, jota tulkinnoissa sitten käytettiin. Tätä Er-arvoa käytetään yleensä stabiloiduille rakenteille, jossa on käytetty sementtiä. Timantilla otetut näytteet täsmäsivät melko hyvin tulkittuun kerrokseen. Osa näytteistä on merkittävästi ohuempia. Todennäköisesti stabiloitua kerrosta ei ole saatu kokonaisuksi ylös.

8.2 Tie 926

Näytteenotto sujui muuten hyvin, mutta 100 mm terillä näytteenotto oli ongelmallista. Putken päässä olevat terät vaurioituivat kahdella näytteellä. Pl 2040 kohteella terät rikkoutuivat eikä näytettä saatu ehjänä ulos. Pisteessä 2755 kohteella leikkuuterät kääntyivät lopuksi sisäänpäin ja näyte otettiin pois putkesta katkaisemalla putki. Alustavassa tulkinnassa arvioitu stabiloidun kerroksen Er-arvo 9 näytti olevan oikein ja sitä käytettiin myös lopullisessa tulkinnassa. Stabiloidun kerroksen tulkintaa nostettiin kairojen mukaan joissain kohdissa ylöspäin. Näytteet täsmäivät melko hyvin tulkittuun kerrokseen. Pudotuspainolaitetuloksista on selvästi nähtävissä erilaiset arvot suunnan 1 ja suunnan 2 kaistoilla.

8.3 Tie 942

Osa tieltä otetuista näytteistä saatiin yhtenäisenä, osa ei. Toinen 225 mm näyte saatiin kahdessa osassa, toinen tämän kokoisista oli ehjä. Kaikki 160 mm näytteet olivat yhtenäisiä. Viimeisen pisteen näyte oli tosin kovin lyhyt johtuen vetisestä ja hienojakoisesta, hiekkaisesta rakenteesta. 100 mm näytteet olivat joko täysin murusina tai useampana palana. Sulamisen jälkeen kaikissa näytteissä oli ainakin osa näytteestä muuttunut irtonaiseksi. Joissakin näytteissä jopa koko päällysteen alapuolinen osa. Stabiloidun kerroksen Er-arvona tulkinnassa käytettiin Er-arvoa 8. Stabiloidun kerroksen tulkintaa nostettiin kairojen mukaan joissain kohdissa ylöspäin. Näytteet täsmäivät melko hyvin tulkittuun kerrokseen. Yhdessä näytteessä oli näkyvässä toinen päällystekerros n. 20–23 cm syvyydellä. Kuten tiellä 926 pudotuspainolaitetuloksista on selvästi nähtävissä erilaiset arvot suunnan 1 ja suunnan 2 kaistoilla.

8.4 Tie 11146

Lähes kaikki näytteet tulivat kahtena kappaleena ulos. Seuraavana päivänä, kun näytteet olivat sisällä ollessaan sulaneet, todettiin, että heti päällysteen alapuolinen osa oli irtonaista mursketta ja tämän alapuolella oleva osa oli kiinteää. Alustavassa tulkinnassa stabiloidun kerroksen Er-arvona käytettiin arvoa 7. Näytteiden mukaan näyttäisi enemmän, että Er-arvo olisi 9, jota myös käytettiin lopullisissa tulosteissa. Suurin osa näytteistä saatiin ulos kahdessa osassa. Näytteiden sulettua päällysteen alapuolinen osa oli muuttunut irralliseksi murskeeksi. Maatutka-aineistossa tällä kohdalla ei kuitenkaan näy rajapintaa. Mahdollisesti stabilointi on tehty kahdessa osassa tai sitten tälle kohdalle osuu kuormituksen aiheuttama taipumamaksimi.

Tie 11146 oli tutkimuksen teistä selvästi huonokuntoisin. Venymäarvot olivat suuret, taipumat olivat isoja sekä BCI-arvot pääsääntöisesti yli 60 tai yli 80.

8.5 Tie 16563

Kaikki näytteet saatiin rakenteesta yhtenäisinä. Ensimmäisessä näytepisteessä 100 mm näytteet jäivät kiinni putkeen. Näytteen yläosa on ehkä erilaista materiaalia ja siksi ei päästänyt porauksessa vettä terän ja näytteen väliin, josta aiheutui näytteen kiinnijääminen. Näytteet olivat todella jämäköitä ja erittäin kiinteitä, myös sulamisen jälkeen. Alustavassa tulkinnassa arvioitu stabiloidun kerroksen Er-arvo 9 olisi oikein näytteisiin verrattaessa. Stabiloidun kerroksen tulkintaa nostettiin hieman ylöspäin kairatietoihin perustuen. Tämä ylempänä oleva rajapinta ei ollut niin selkeä kuin alustavasti tulkittiin. Näytteet täsmäävät melko hyvin tulkittuun kerrokseen. Tällä tiellä maatutka-analyysissä havaittiin korkeita taajuuksia.

Tien 16563 päällysteen venymät ovat todella pienet. Tähän syynä saattaa olla se, että kun päällyste on erittäin ohut ja taipuma todella pieni, niin laskentaohjelma ei osaa enää laskea ko. ääriarvoja oikein. Kohteen taipumat, BCI- ja SCI-arvot ovat todella pienet. Tämän tien varressa on paperitehdas, jonka vuoksi rakenne on todennäköisesti rakennettu erityisen kestäväksi.

9 Yhteenveto ja suositukset

Projektin pääasiallisena tavoitteena oli kokeilla eri näytteenottomenetelmiä ja niiden toimivuutta stabilointikohteilla. Kuten aiemmin on käsitelty, kalustoja ja käyttäjiä on talviolosuhteissa hyvin rajallinen määrä. Tässä tutkimuksessa kokeiltiin sekä ikkunanäytteenotinta sekä timanttikairausta eri halkaisijoilla. Maastossa eri koekohteilla saatujen kokemusten ja tehtyjen havaintojen perusteella voidaan todeta timanttikairauksen olevan paras menetelmä ottaa näyte stabiloidusta kerroksesta. Käytettävään halkaisijaan vaikuttavat näytteelle mahdollisesti tehtävät jatkotutkimukset laboratoriossa. Mikäli laboratoriotutkimuksia ei tehdä, suositellaan käytettäväksi 160 mm halkaisijaa. Osa stabiloiduista materiaaleista vaatii näytteenotteenoton tekemisen talvella, jotta näyte pysyisi rakenteesta pois otettaessa paremmin kasassa. Näytteenottamisessa talvella hyötynä myös se, että jäätyneenä saadaan kerroksesta hyvin kokonaiskuva ja mitat, sulaneena nähdään stabiloinnin heikot kohdat eli kohdat, joista näyte murentuu tai halkeaa.

Ikkunanäytteenotin ei sovellu käytettäväksi stabilointikohteiden näytteenotossa. Menetelmä perustuu siihen, että näytteenotin lyödään rakenteeseen hydraulivasaran avulla. Tästä aiheutuu tärinää, joka edelleen aiheuttaa sen, että käytännössä näytettä ei ole mahdollista saada rakenteesta yhtenäisenä kappaleena. Lisäksi menetelmä vaatii aina käytettäväksi myös timanttikairaa päällysteen poistamiseksi.

Timanttikairalla näytteenotto onnistui hyvin. Tässä menetelmässä on myös vaihtoehtoina käyttää halkaisijaltaan erikokoisia teriä. Teräkoon valinnan tulee perustua mahdollisiin näytteiden jatkotutkimuksiin laboratoriossa, koska eri kokeilla on erilaiset vaatimukset näytteiden koolle ja tarvittavalle näyttemäärälle. 100 mm halkaisijaltaan oleva terä ei välttämättä toimi, mikäli tierakenteen yläosassa on jotain "tahmaista" materiaalia (kohteessa 16563/1/1190/s1 näytteet jäivät kiinni putkeen). Halkaisijaltaan näin pienessä (100mm) näytteessä on myös se ongelma, että näyte saattaa vaurioitua näytteenoton aikana siten, että mahdollisuus saada se ehjänä ulos pienenee.

Timanttikairauksessa käytetään nestettä. Käytettävän nesteen laatu tulee huomioida näytteenoton ajankohdassa. Alustavissa tiedusteluissa useampi toimija ilmoitti käyttävänsä pelkkää vettä, jolloin näytteenotto talviaikaan ei ole mahdollista jäätyneen vuoksi. Osa materiaaleista vaatii näytteenoton tekemisen talvella, jotta näyte pysyisi rakenteesta pois otettaessa paremmin kasassa. Tällöin veden joukkoon tulee sekoittaa esimerkiksi alkoholia, jolla estetään jäätyminen. Talvella näytteenottamisen etuna on myös se, että mahdolliset näytteen heikot kohdat saadaan selville näytteen sulaessa. Mikäli stabiloitu kerros oletetaan olevan kiinteää ja hyvin kasassa pysyvää, kuten esimerkiksi hyvin tehty sementtistabilointi, näytteenotto on mahdollista myös kesällä, mutta urakoitsijan kokemuksiin perustuen porauksessa tulisi käyttää runsaasti vettä.

Roadscanners Oy:n aiemmin tekemissä tutkimusprojekteissa maatumkan taajuusanalyysien on todettu olevan tehokas keino muun muassa mikrohalkeamien paikallistamiseen. Tässäkin projektissa niitä kokeiltiin ja suosituksena olisi tämän osalta jatkotutkimuksina näihin tuloksiin perustuen maatumkanalyysin osalta tarkempaa ja tiheämpää näytteenottoa niistä kohdista, joista löytyy jotain poikkeavaa. Myös vertailua ehjien ja hyvälaatuisten stabilointien

kesken olisi hyvä tehdä. Taajuusanalyysit osoittivat selvästi, että kullakin eri stabiloinnilla on erilainen maatumkan taajuusvaste ja sitä voidaan hyödyntää, kun selvitetään tieverkolta, minkälainen stabilointi on kyseessä. Aineiston tarkemmat analyysit voivat osoittaa myös ongelmakohdat stabiloinnin laadussa.

Tube Suction -kokeesta saatava dielektrisyysarvo antaa hyvin tietoa materiaalin routimiskäyttäytymisestä. Pudotuspainolaite- ja maatumka-aineistojen tarkastelemisella yhdessä saadaan tietoa rakenteen kuormituskestävyydestä.

Lähdeluettelo

Tiehallinnon selvitys 20/2000 "Tube Suction Test – sitomattomilla murskeilla suoritettujen rengastestien tulokset"

Standardi SFS-EN 12697-5:2010/AC:2012

Standardi SFS-EN 12697-6:2012

Compressive Strength of Soil Improvement with Cement, Harry Saroglou, Conference paper from March 2009

ROADDEX Permanent deformation eLearning
<https://www.roadex.org/e-learning/>



ISSN 2490-0982
ISBN 978-952-317-658-4
www.vayla.fi