

Tomi Kemppainen

Biopolymeeri Dustbinder soratien pintakelirikon estämisessä

Biopolymeeri Dustbinder sora-tien pintakelirikon estämisessä

Tomi Kemppainen

Opinnäytetyö

Syksy 2020

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-
ohjelma

Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma

Tekijä: Tomi Kemppainen
Opinnäytetyön nimi: Dustbinderin käyttö sorateiden pintakelirikkotapausten estämisessä
Työn ohjaajat: Vesa Kallio ja Esa Perälä
Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Syksy 2020
Sivumäärä: 63+6 liitettä

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia sellupohjaisen biopolymeerin vaikutusta sorateiden pintakelirikko-ongelmissa. Työn tavoitteena oli testata uuden biopolymeerin ominaisuuksia soratien rakennekerroksissa tapahtuvissa muutoksissa. Lisäksi kartoitettiin biopolymeerin käyttömahdollisuuksia kantavuuden parantamisessa ja pintakelirikon ehkäisemisessä.

Biopolymeerin, Dustbinderin, käyttöä tutkittiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa ja kenttätutkimuksilla, jotka suoritettiin Ruvaslahdentiellä, Polvijärvellä. Laboratoriotutkimukset sisälsivät maa-aineksen testit, joilla määritettiin maa-aineksen rakeisuus, vesi- ja humuspitoisuus sekä puristuslujuus. Testit tehtiin SFS-EN ry:n standardien mukaisesti. Näytteet kaivettiin suoraan Ruvaslahdentieltä valikoiduista koealueista ennen ja jälkeen tienrakentamisen. Työ tehtiin yhdessä Destia Oy:n sekä MFibrils Oy:n kanssa. Laboratoriotutkimuksissa työnohjaajana toimi laboratorioinsinööri Esa Perälä.

Maa-aineksen rakeisuuden, vesipitoisuuden sekä humuspitoisuuden määrittämisestä saadut tulokset kertoivat, että maa-aines on likimain samanlaista ennen ja jälkeen tienrakentamisen. Suuria poikkeavuuksia ei näissä testeissä ilmennyt. Puristuslujuustestit osoittivat, että Dustbinderillä käsitelty soratie kestää suurempia kuormituksia kuin luonnollinen koskematon soratie. Loadman-pudotuspainolaitteella mitatut tulokset kertovat puolestaan sen, että Dustbinder tiivistää tien rakennekerroksia ja lujittaa tien kantavuutta. KUAB FWD 50 -pudotuspainolaitteella saadut kantavuuslukemat olivat tarkemmat, kuin Loadmanilla saadut tulokset. Mittaukset KUABilla tullaan kuitenkin suorittamaan uudelleen.

Tutkimustulosten perusteella Dustbinderillä katsotaan olevan vaikutusta soratien pintakelirikkojen estämiseen ja kantavuuden parantamiseen. Sääolosuhteiden vaihtelu vaikuttaa soratien kantavuuteen merkittävästi ja todellinen kelirikko tapahtuu roudan syntyessä tai sulaessa, jota tämän työn tutkimusjakson aikana ei päässyt tapahtumaan. Seuranta jatketaan ja KUABin mittaukset uusitaan todellisen kelirikon ilmaannuttua.

Asiasanat: biopolymeeri, Dustbinder, pintakelirikko, kantavuusmittaus, Loadman, pudotuspainolaite, rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus, puristuslujuus

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering

Author: Tomi Kemppainen

Title of thesis: Improvement of Surface Coil Cases with Dustbinder.

Supervisor(s): Vesa Kallio and Esa Perälä

Term and year when the thesis was submitted: Autumn 2020

Number of pages: 63+6 appendices

The objectives of this thesis were to test out the qualities of new biopolymer, Dustbinder, and its effects on the changes in structural layers of gravel road. In addition, more information was charted about increased carrying capacity and surface damages.

Dustbinder is a pulp-based biopolymer. This biopolymer was tested in certain circumstances in laboratory and with field tests at Ruvaslahdentie in Polvijärvi. The laboratory tests included soil tests with methods of defining granularity of the soil, water and humus content of the soil and compressive strength. All tests were performed according to the SFS-EN ry standards.

The results obtained from tests tell that the qualities of structural layers of gravel road are almost the same with small differences noticed before and after releasing the substance. There were no major abnormalities found in these tests. Dustbinder is a new substance and its use on the field has not been tested a lot. That is why there is not much data to compare with this product.

Dustbinder seems to have effect on gravel road structure based on the results of the research. The carrying capacity increased in 4 months significantly. Biopolymers qualities for dust binding were successful too. Even though binding the dust was not in a big role in this research, it could not be overlooked.

In the time frame of the field tests the weather conditions influenced the carrying capacity of gravel roads and real thaw damage in road structure takes place only when ground frost is developing or melting down. According to these carrying capacity test results, additional research is needed.

Keywords: biopolymer, Dustbinder, structure layers, gravel road, carrying capacity, Loadman, granularity, water and humus content of soil, compressive strength

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ	3
ABSTRACT	4
SISÄLLYS	5
1 JOHDANTO	7
2 SUOMEN TIEVERKOSTO	8
2.1 Sorateiden rakenne	8
2.2 Sorateiden kunto	9
2.3 Sorateiden kelirikko	11
2.3.1 Sääolosuhteet	11
2.3.2 Pintakelirikon hoitomenetelmät	11
2.3.3 Hoitotoimenpiteiden vaikutukset	12
3 DUSTBINDER BIOPOLYMEERI	13
3.1 Aiemmat tutkimukset	13
3.2 Levitysmenetelmät tienpinnassa	14
4 KENTTÄKOKEIDEN JÄRJESTELYT	17
5 MAA-AINEKSEN LABORATORIOKOKKEET	20
5.1 Rakeisuus	20
5.2 Vesipitoisuus	22
5.3 Humuspitoisuus	23
5.4 Puristuslujuus	25
6 KANTAVUUSMITTAUKSET	29
6.1 Loadman-pudotuspainolaite	29
6.1.1 Laitteen rakenne	32
6.1.2 Mittausperiaate	33
6.2 KUAB-pudotuspainolaite	36
6.2.1 Toimintaperiaate	38
6.2.2 Käyttötarkoitus ja mittaustulokset	39
7 LABORATORIOKOKKEET JA KANTAVUUSMITTAUSTEN TULOKSET	41
7.1 Rakeisuus	41
7.2 Vesipitoisuus	43

7.3 Humuspitoisuus	45
7.4 Puristuslujuus	50
7.5 Kantavuusmittaukset	54
8 JOHTOPÄÄTÖKSET	60
LÄHTEET	62
LIITTEET	64

1 JOHDANTO

Sorateiden kunnossapito koostuu teiden hoidosta ja ylläpidosta, joilla pyritään varmistamaan teiden kulkukelpoisuus, liikenteen sujuvuus sekä turvallinen käyttö. Pääsääntöisesti pyritään siihen, ettei liikenne vaikeudu eikä jouduta turvautumaan painorajoituksiin, jotka vaikeuttavat erityisesti maa- ja metsätalouden liikennöintiä. Sorateiden kelirikon hoitamisessa joudutaan osittain turvautumaan painorajoituksiin. Kelirikkoa esiintyy pinta- sekä runkokelirikkoina. Kelirikko Suomen sorateiden rakenteissa on keväinen ja syksyinen ongelma. (1.)

Opinnäytetyön tavoitteena on perehtyä sorateiden pintakelirikko-ongelmiin, kantavuuden vaihteluihin sekä parantamiseen eri testimenetelmiä hyödyntäen. Työssä kuvataan Ruvaslahdentiellä tapahtuneita kantavuuden muutoksia kesällä 2019 ja keväällä 2020. Koska kyseisestä tiestä on jo aiemmin tehty opinnäytetyö, jossa perehdyttiin tien pölyävyysongelmiin, perehdytään tässä työssä samaisen tien kantavuuden muutoksiin sekä pinta- ja runkokelirikko-ongelmiin. (2.)

Ruvaslahdentien kunnostushankkeessa toimivat yhteistyössä projektipäällikkö Oiva Huuskonen Destia Oy:stä sekä Olli Mäentausta MFibrils Oy:stä. Destia Oy toimii työn tilaajana ja MFibrils Oy toimitti sellupohjaisen biopolymeerin, Dustbinderin, joka toimii pölynsidonta-aineena ja tien pintarakennekerrosta lujittavana tekijänä. Dustbinderin toimivuutta seurattiin kesän 2019 ja kevään 2020 aikana tehtyjen kantavuusmittauksien avulla. Kantavuusmittaukset suoritettiin kesällä 2019 kannettavalla Loadman-pudotuspainolaitteella ja keväällä 2020 KUAB FWD 50-pudotuspainolaitteella Destian toimesta.

Kantavuusmittausten lisäksi muita työvaiheita ovat soratien maa-aineksen rakeisuuden, vesipitoisuuden sekä humuspitoisuuden määrittäminen. Laboratorioinsinööri Esa Perälä opastaa näytteiden käsittelyssä, kiviainesten rakeisuuksien määrittämisessä, kosteus-, humus- ja puristuslujuusnäytteiden valmistuksessa ja testeissä. Työn tavoitteina ovat yleiskuvan hahmottaminen sorateiden kelirikko-ongelmista ja ratkaisujen löytäminen kelirikko-ongelmiin sekä tien yleiskunnon parantaminen edellä mainittujen tutkimuksien perusteella. (3.)

2 SUOMEN TIEVERKOSTO

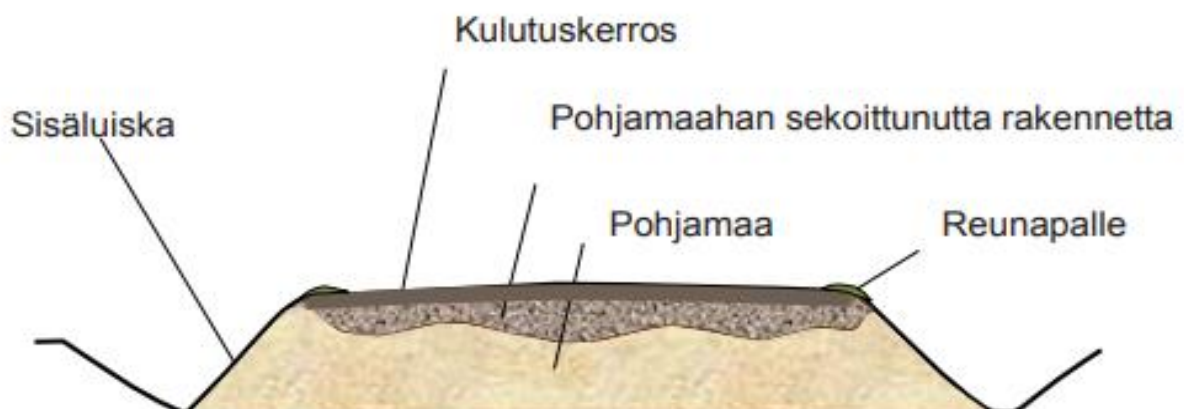
Koko Suomen tieverkon pituus on noin 454 000 km. Tieverkosta noin 350 000 km ovat yksityis- ja metsäautoteitä. Kuntien katuverkkojen osuus on 26 000 km. Väyläviraston vastuulla olevia maanteitä on noin 78 000 km, josta yli puolet kuuluu vähäliikenteisempään tieverkkoon. (4.)

Valta- ja kantateitä eli pääteitä on noin 13 000 km, josta moottoriteitä noin 900 km. Suurin osa tiepituudesta on seutu- ja yhdysteitä, joiden pituus on vajaat 65 000 km. Kevyen liikenteen väyliä tieverkosta löytyy hieman yli 5 000 km. (4.)

Tieverkosta 65 % on päällystettyjä teitä, joiden pituus on lähes 50 000 km. Kaikkia teitä ei ole mahdollista pitää niin hyvässä kunnossa, etteikö tiestöllä esiintyisi ongelmia vaikeimpien kelitilanteiden aikana. Suurin osa päällystämättömistä teistä ovat hiekka- ja sorateitä. (4.)

2.1 Sorateiden rakenne

Rakennettujen sorateiden rakenteisiin kuuluvat kulutuskerros, kantava kerros, jakava kerros ja suodatinkangas tai suodatinkerros. Suurin osa sorateistä on rakentamattomia vanhoja teitä, joissa ei ole asianmukaisesti rakennettuja routimattomia rakennekerroksia. (Kuva 1.)



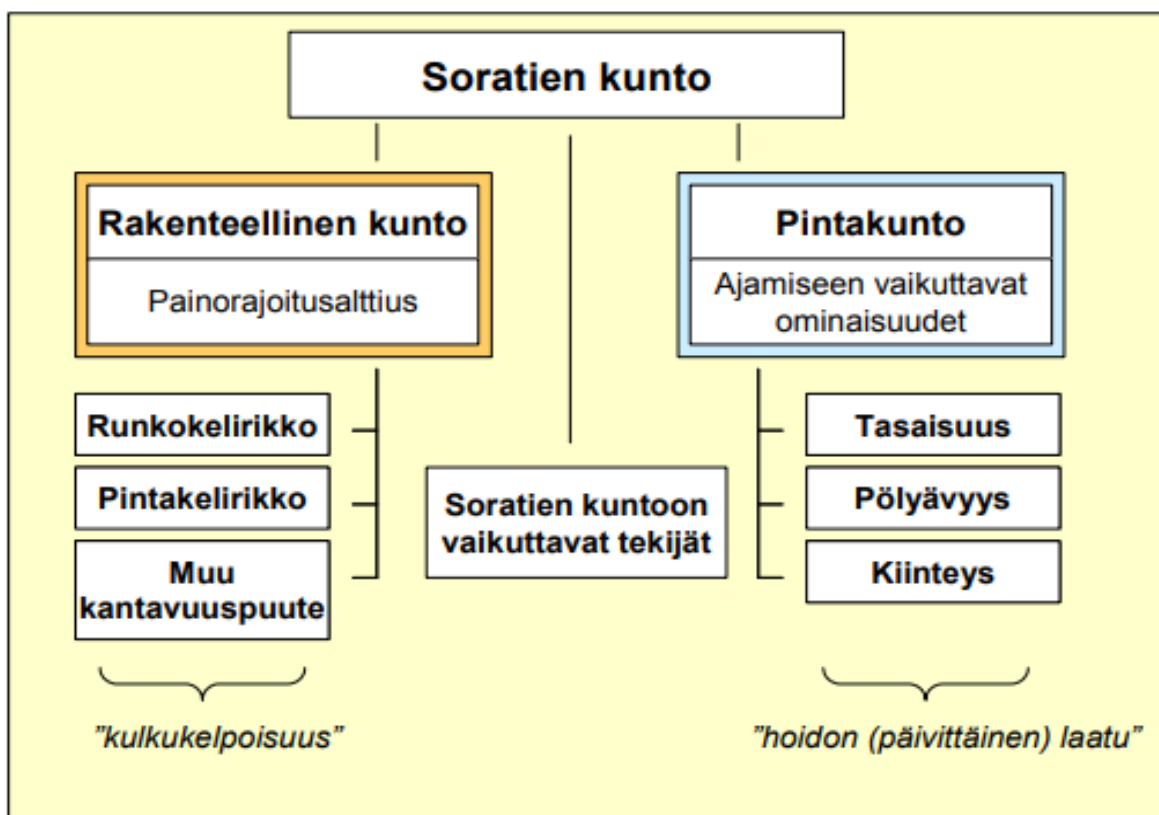
KUVA 1. Rakentamaton soratie (5, s.12)

Kulutuskerrosta on yleensä kunnossapidetty lisämurskeella, jotta tie palvelisi liikennettä mahdollisimman hyvin. Rakenteet ovat sekoittuneet alla olevan perusmaan kanssa ja muuttuneet vähitellen routiviksi sorateilla, joissa kantavuutta on vahvistettu kantavalla materiaalilla. Tällaisen soratien pintakuntoon vaikuttaa suuresti kulutuskerroksen kosteustila. (5, s.11.)

2.2 Sorateiden kunto

Soratien kunto muodostuu tien rakenteellisesta kunnosta ja pintakunnosta. Soratien rakenteelliseen kuntoon vaikutetaan ylläpidolla, jolla varmistetaan soratien kulkukelpoisuus ja rakenteiden toimivuus. Soratien pintakuntoon vaikutetaan hoidolla, jolla varmistetaan tien päivittäinen liikennöitävyys. (5, s. 10.)

Soratien rakenteelliseen pintakuntoon vaikuttavat tien muoto (sivukaltevuudet, geometria sekä leveys) ja kuivatus (rummut, ojat sekä reunapalteet). Kuntoon vaikuttavat lisäksi tien rakenne ja materiaalit, pohjamaan laatu, liikenne, olosuhteet sekä urakoitsijan oma toiminta, mitkä on esitetty kuvassa 2. (5, s. 10.)



KUVA 2. Soratien kunnan osatekijät (5, s. 10)

Päällystetyt tiet jaetaan viiteen kuntoluokkaan. Kuntoluokan määrittäminen pohjautuu mittaus- ja inventointitietoihin, tien liikennemäärään sekä nopeusrajoitukseen. Kuntoluokitus toimii päällystetöiden suunnittelijoiden työkaluna. Lisäksi luokituksen avulla seurataan Suomen teiden kuntoa ja kunnan kehittymistä. Sorateiden kuntoluokitukset on esitetty taulukossa 1. (6.)

TAULUKKO 1. Soratien kuntoluokitukset 1–5 (6)

Kunto- luokka	Laatu	Selite
5	Erittäin hyvä	<ul style="list-style-type: none"> • Soratien kunto on uutta vastaava. • Ylläpitotarpeita ei ole.
4	Hyvä	<ul style="list-style-type: none"> • Soratien kunto on hyvä, vaikka normaalia kulumista esiintyykin. • Ylläpitotarpeita ei ole.
3	Tyydyttävä	<ul style="list-style-type: none"> • Soratielle tarvitaan yleensä tehostettua seurantaa. • Yksittäisiä ylläpitotoimia tarvitaan.
2	Huono	<ul style="list-style-type: none"> • Soratien kunto on korjauksia vaativa. • Ylläpidon- ja peruskorjaustoimenpiteitä vaaditaan.
1	Erittäin huono	<ul style="list-style-type: none"> • Soratien kunto on heikkoa eikä hyväksyttävissä oleva kunto. • Aiheuttaa ylimääräisiä kustannuksia niin tienpitäjälle kuin -käyttäjille.

2.3 Sorateiden kelirikko

Kelirikko Suomen sorateiden rakenteissa on keväinen ja osaksi myös syksyinen ongelma, koska kelirikkoa esiintyy pinta- sekä runkokelirikkoina (1). Keväisin roudan sulassa tiet ovat haavoittuvimmillaan; tien rakenteeseen jäänyt vesi alkaa sulaa, mutta se ei pääse haihtumaan ja virtaamaan pois riittävän nopeasti. Tätä ilmiötä kutsutaan kelirikoksi. Rakenteessa oleva vesi heikentää tien kantavuutta ja tietä pitkin rullaavat raskaat ajoneuvot mahdollistavat tien rakennekerrosten murentumisen. (7.)

2.3.1 Sääolosuhteet

Sääolosuhteet vaikuttavat tienhoitotoimenpiteiden ajoitukseen. Urakoitsijat levittävät ensiapuna mursketta huonokuntoisimmille tieosuuksille. Märät tiet kannattaa höylätä vasta, kun on luvattu noin viikon mittaista kuivaa jaksoa. Ennen höyläystä pitää olla pari sateetonta päivää ja sen jälkeen liikenteen pitää ehtiä tiivistää tien pintaa muutama päivä ennen uusia sateita. ELY-keskuksen aluevastaavat ja teiden hoitourakoitsijat ovat yleensä tietoisia sorateiden huonosta kunnosta. Hoitotoimiin ryhdytään heti, kun säät sallivat. (1.)

2.3.2 Pintakelirikon hoitomenetelmät

Kun roudan sulaminen alkaa keväällä, se tapahtuu routakerroksen ylä- ja alapinnasta samanaikaisesti. Sulamisen vaikutuksesta vapautuu tierakenteen yläosasta vettä, joka pehmentää tien pinnan. Tätä ilmiötä kutsutaan pintakelirikoksi. (8.)

Nykyisiä pintakelirikon hoitomenetelmiä ovat aurausvallien kaataminen, jääpalteiden höyläys sekä kulutuskerroksen käsittely. Aurausvallien kaatamisella estetään valleista vapautuvien sulamisvesien pääsy tielle. Kaataminen voidaan tehdä esimerkiksi tiehöylän terälevyllä, sivuauralla tai lumisiivellä. Tien reunoilta poistetaan jääpalteet aurausvallien kaatamisen yhteydessä. (8.)

Pintakelirikkovaiheessa tien pinta on usein epätasainen. Paremman liikennöitävyyden vuoksi tietä tasataan. Keveytensä vuoksi lana on monesti tiehöylää parempi vaihtoehto, koska tien kantavuus voi olla hyvin alhainen. Lanauksella saadaan tasaisen tien pinnan lisäksi kulutuskerrosmateriaalista hyvin sekoittunut. (8.)

2.3.3 Hoitotoimenpiteiden vaikutukset

Kuntotekijän mukaan hoitotyön vaikutukset ovat joko tehokkaita tai vähemmän vaikuttavia. Tästä syystä hoitotöihin valitaan taulukon 2 mukaisesti tehokkaimmin vaikuttava toimenpide. Yleensä kunnossa olevia tieosuuksia ei käsitellä, ellei tien kokonaiskunto ole lähellä toimenpiderajaa. (8.)

Parhaimmassa tapauksessa soratien pinta saattaa kestää koko kesän ilman hoitoa. Tämän tavoitteen saavuttamiseksi on kiinnitettävä erityistä huomiota kulutuskerrosmateriaaliin, keväällä tehtävään muokkaushöyläykseen, pölynsidontaan sekä oikeanlaisiin työmenetelmiin. (8.)

TAULUKKO 2. Hoitotoimenpiteet kuntotekijän mukaan (8, s.15)

Toimenpide	Tasaisuus	Kiinteys	Pölyäminen	Huomioitavaa
Muokkaushöyläys	4 ¹⁾	1	0	Keväällä
Pölynsidonta	0	2	4	Ks. taulukko 5
Tasaushöyläys	3	1	0	Kesällä
Lanaus ²⁾	1	0	0	Vain keväällä (ja syksyllä)
Lisäpölynsidonta	0	2	4	Kalsiumkloridiliuos tai hiutalesuola
Reikien paikkaus	3	0	0	

¹⁾ 4=tehokkain vaikutus, 3=tehokas vaikutus, 2=kohtalainen vaikutus, 1=heikko vaikutus ja 0=ei vaikutusta.

²⁾ Kulutuskerrosmateriaalin lisäyksen yhteydessä lanalla hyvä materiaalin sekoittamiskyky.

3 DUSTBINDER BIOPOLYMEERI

Dustbinder on sellupohjainen biopolymeeri, jonka toimitti MFibrils Oy. Biopolymeerin valmistusprosessi sisälsi kuitulietteen bioteknisen käsittelyn, jonka tarkoitus oli avata nollakuidun sisältämiä selluloosakuitukimppuja rajoitetussa määrin elementaarikuiduiksi sekä katkoa osin muodostuneita kuitujakeita. Lopputulokseksi saatiin kuitumassa, jota kutsutaan Dustbinderiksi. (2.)

Dustbinderin käsittelyvaihe itsessään perustuu kaupallisten entsyymien käyttämiseen seoksena. Seoksen ansiosta kuitujen pintaan saadaan suuri sidonta pinta-ala, joka sisältää muun muassa vetysidoksia muodostavia hydroksyyliiryhmiä. Nämä hydroksyyliiryhmät sitovat puolestaan tehokkaasti esimerkiksi puukuituja ja pölynsidonnassa kiviaineksen silikaatti ryhmiä. Kiviaineksen hienoaines muodostaa Dustbinderin kanssa vetysidoksiin isompia partikkeleita, jotka eivät enää pölyä hienoaineksen tapaan. (2.)

3.1 Aiemmat tutkimukset

Koska Dustbinder on uusi tuote, sen käytöstä sorateiden pintakelirikkokorjauksissa ja ehkäisytoiminnassa on todella vähän informaatiota. Keväällä 2015 Destian alueurakassa Lieksassa ja Lapualla sekä kesällä 2016 Destian alueurakassa Lapualla ja YIT:n alueurakassa Hattulassa on suoritettu kenttäkokeita biopolymeerin toimivuudesta soratien pölynsidonnassa. (3.)

Hattulassa tehty tutkimus oli jatkoa aiemmin suoritetuille kenttäkokeille Hämeenkyrössä ja tämän testauksen tuotekoostumukset kehitettiin yhteistyössä Oulun yliopiston kanssa. Hämeenkyrön testaukset koskivat pölynsidontaa, joten jatkotutkimuksia kantavuuden mittaamisessa ja parantamisessa soratien rakennekerroksien kohdalla tarvitaan lisää. (3).

3.2 Levitysmenetelmät tienpinnassa

Ruvaslahdentiellä on aiemmin esiintynyt huomattavissa määrin pintakelirikkoo, minkä perusteella tie valittiin Dustbinderin testikohteeksi. Dustbinder levitettiin soratien pintakerrokseen jokaisella koealueen osuudella. Levitysvaiheessa huomioitiin sääolosuhteet, esimerkiksi kastelun yhteydessä. (3.) Menetelmä toimi siten, että ensin tienpinta kasteltiin ennalta määrätyllä vesimäärällä, minkä jälkeen tienpinta aukaistiin kuvan 3 mukaisesti.



KUVA 3. Tienpinta kastellaan ennen käsittelyn aloittamista (3)

Tienpinnan aukaisun jälkeen liuos levitettiin ensimmäisen kaistan osalta sekaisin maan aineksen kanssa kulutuskerrokseen ja kaista lanattiin. Traktorin perässä oleva laite toimi jyräjänä, sekoittajana, tasoittajana sekä tiivistäjänä tienpinnassa. Tienpinnan lanaus ja traktorin laite on esitetty kuvassa 4. (3.)



KUVA 4. Traktorin perässä oleva laite jyräsi, sekoittaa, tasoittaa ja tiivistää tienpinnan (3)

Liuoksen levityksen jälkeen ensimmäinen kaista jyrssiin. Kivijyrsimen käsittelysyvyys oli noin 10 cm. Tämän jälkeen aukaistiin tien toinen kaista ja tehtiin samat toimenpiteet kuin ensimmäiselläkin kaistalla. Lopuksi tienpinta tiivistettiin kuvan 5 mukaisesti traktorin perässä vedettävällä laitteella. Edellä mainitun käsittelyjen jälkeen ajettiin tienpintaan liuosta vielä muutamien kuutioiden verran. (3.)



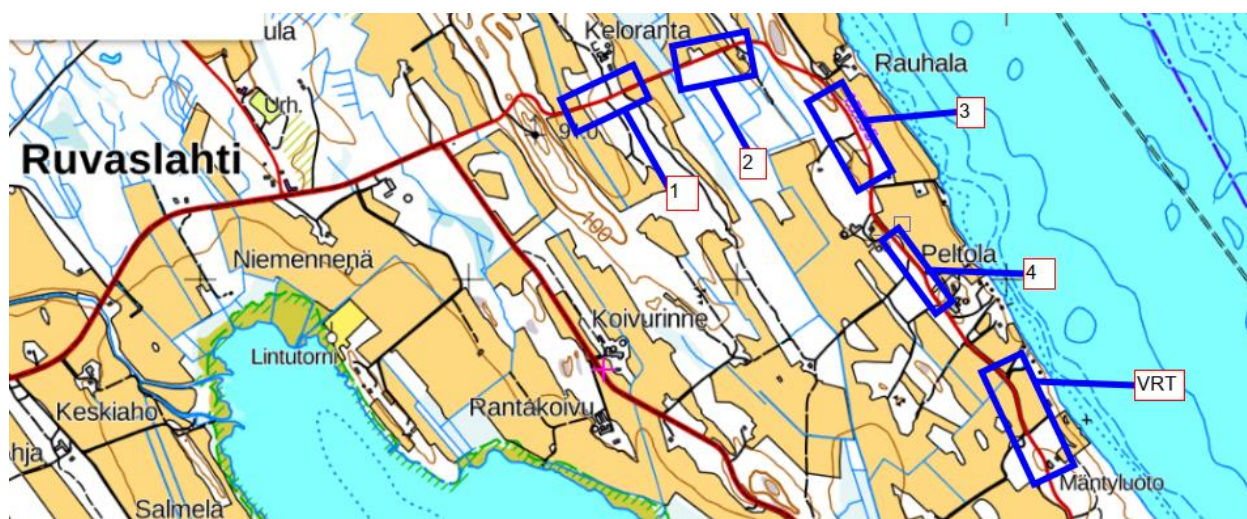
KUVA 5. Tien keskikohdan tiivistys ja lanaus (3)

4 KENTTÄKOKEIDEN JÄRJESTELYT

Tämän tutkimuksen aikana soratienpinnan kuntoa on arvioitu tietarkastusten avulla. Tarkastuksien aikana koealueilla ei ilmennyt pintakelirikkoa. Pintakelirikon arviointiajankohdat valittiin siten, että alueen sää tietojen mukaan tarkastusaikana oli odotettavissa soratienpinnan pehmenemistä. (3.)

Kelirikon osalta kevät 2020 oli Viinijärven alueurakan alueella erittäin helppo, sillä tiestölle ei jouduttu asettamaan painorajoituksia ja kelirikon hoitoon käytettyjen murskeiden määrä oli hyvin vähäinen. Tiekokeen pintakelirikon arvioinnissa on käytetty pintakelirikkoluokituksia 1–4, jotka on esitetty liitteessä 1. (3.)

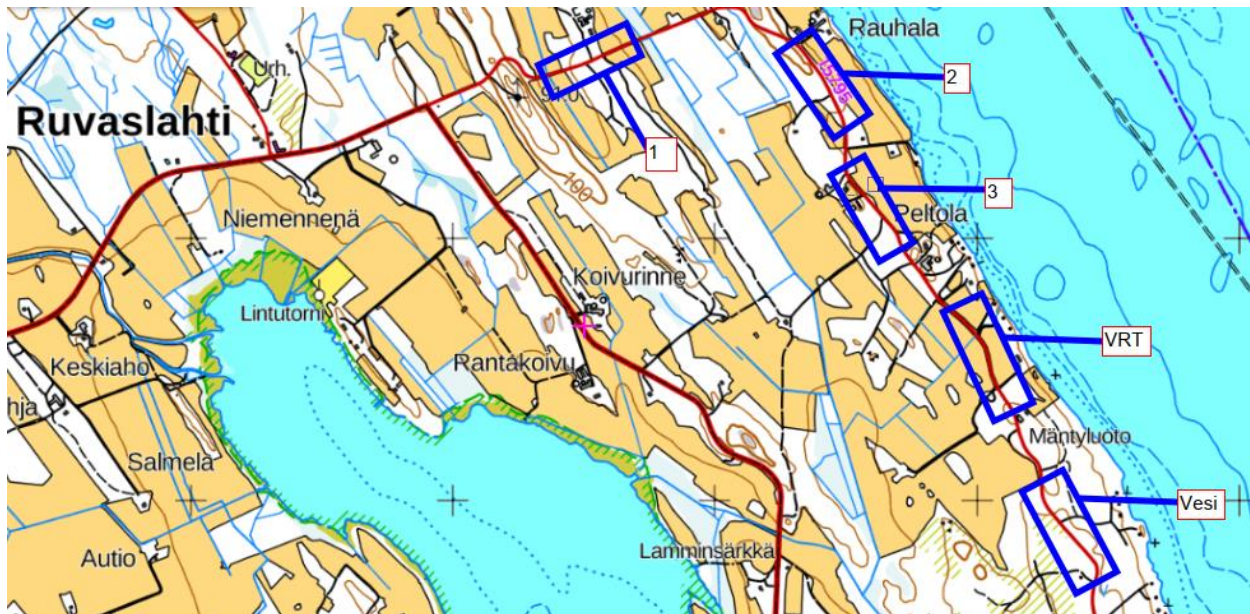
Tämän opinnäytetyön kenttäkokeiden alueet sijoituivat Ruvaslahden tielle, Polvijärvelle, missä testikäytössä oli noin 2,5 km:n pituinen soratien pätkä. Tieosuus jaettiin 5 koealueeseen, jotka merkittiin numeroin 1–4 ja VRT. Kuvassa 6 on esitetty koealueiden sijainnit kartalla tutkimuksen alkuvaiheessa 21.5.2019.



KUVA 6. Koealueiden sijainti kartalla tutkimuksen alkuvaiheessa

Kenttäkokeiden koealueet kuitenkin päätettiin muuttaa siten, että tutkimuksen alkuvaiheessa ollut koe 4 poistettiin kokonaan myöhemmistä testauksista eikä kyseistä koealuetta käsitelty Dustbinderillä lainkaan. Koe 4 korvattiin sijoittamalla se uudeksi koealueeksi

tiealueen loppupäähän, josta käytettiin nimitystä Vesi. Koealuetta Vesi ei käsitelty Dustbinderillä vaan nimensä mukaisesti ennalta määrätyllä vesimäärällä. Muut koealueet säilyivät entisellään. Kuvassa 7 on esitetty koealueiden sijainnit kartalla tutkimuksen loppupuolella 8.8.2019.



KUVA 7. Koealueiden sijainti kartalla tutkimuksen loppuvaiheessa

Koealueet 1–3, VRT ja Vesi sisälsivät kukin 3 paalukohtaa noin 100–200 m välein. Paalukohtien molemmilta kaistoilta otettiin maa-ainesnäytteet ja mitattiin kantavuus. Näytteitä otettiin ennen ja jälkeen tienrakentamisen. Tässä yhteydessä tien rakentamisella tarkoitetaan Dustbinderin levittämistä soratien kulutuskerrokseen. Kaikki koealueet merkittiin fyysisesti maastoon puisilla paalumerkeillä tunnistettavuuden sekä rajojen merkitsemisen helpottamiseksi. Koealueiden tiedot on esitetty taulukossa 3 ja koealueiden paalukohtien sijainnit kartalla liitteessä 2.

TAULUKKO 3. Koealueiden tiedot (3)

Kokeet	Tierekisteriosuus	Koealueen pituus kartalla (m)	Käsittelyaine
KOE 1	15795 / 2 520–1020	500	<ul style="list-style-type: none"> Dustbinder - Ajetun liuoksen kokonaismäärä 15 m³ - Liuoksen suhde = 1 osa Dustbinder, 3 osaa vettä, 5 litraa / m²
KOE 2	15795 / 2 1610–2110	500	<ul style="list-style-type: none"> Dustbinder - Ajetun liuoksen kokonaismäärä 21 m³ - Liuoksen suhde = 1 osa Dustbinder, 3 osaa vettä, 7 litraa / m²
KOE 3	15795 / 2 2110–2610	500	<ul style="list-style-type: none"> Dustbinder - Ajetun liuoksen kokonaismäärä 24 m³ - Liuoksen suhde = 3 osaa Dustbinder ja 5 osaa vettä (9 m³ + 15 m³), 8 litraa / m²
KOE 4	15795 / 2 -	500	-
KOE 5	15795 / 2 3525–4025	500	<ul style="list-style-type: none"> Vesi - Stabilointi vedellä yhteensä 14 m³ - 4,6 litraa / m²

5 MAA-AINEKSEN LABORATORIOKOKKEET

Tässä opinnäytetyössä haluttiin eri testimenetelmiä soveltaen määrittää maa-aineksen rakeisuus, vesipitoisuus, humuspitoisuus sekä puristuslujuudet. Tutkimukset toteutettiin Oulun ammattikorkeakoulun rakennustekniikan laboratoriossa.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää ja verrata tieosuuksien kulutuskerroksista otettujen maa-ainesten ominaisuuksien muutoksia ennen ja jälkeen tienrakentamisen. Tässä yhteydessä tienrakentamisella tarkoitetaan kulutuskerrokseen lisätyn biopolymeeri Dustbin-derin vaikutusta tien kantavuuksien paranemisen ja osittain myös pölyävyyden sitomisen kannalta. (3.)

5.1 Rakeisuus

Kiviaineksen rakeisuudella tarkoitetaan eri suuruisten rakeiden suhteellista paino- ja kaumaa maanäytteissä. Rakeisuus ja sen avulla lajitepitoisuus määritetään seulonnalla ja areometrikokeella. Karkearakeiset maalajit voidaan määrittää kuivaseulonnalla. Pesuseulonta on parempi tutkimusmenetelmä silloin, kun hienoainespitoisuus on korkeintaan 10 %. Hienorakeisten maalajien rakeisuus selvitetään joko aerometrikokeella tai sedigrafilla. Tämän opinnäytetyön tutkimusmenetelmiin kuuluivat kuiva- ja pesuseulonta. (9.)

Kuivaseulonta on yleisin menetelmä maa-aineksen rakeisuuden määrittämisessä. Pun-nittu maa-aines asetetaan seulasarjan sisään ja seulasarja asetetaan tärytyskoneeseen. Seulonnan tärytysvaihe kestää 15 minuuttia. Kuivaseulonnassa käytetään seuloja, joiden nimelliskoot ovat 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1, 2, 4; 5,6; 8; 11,2; 16, 22,4; 31,5 mm. Koko seulasarja on esitetty kuvassa 8.



KUVA 8. Pesuseulontaan käytettävä seulasarja

Pesuseulontaa käytetään silloin, kun runsas hienoainepitoisuus on vaikeuttanut kuivaseulomista. Pesuseulonnassa seulojen nimelliskoot ovat 2; 0,5; 0,25 ja 0,074 mm. Pesuseulonnan tarkoitus on huuhdella pienimmän seulan läpi hienoin maa-aines, minkä jälkeen pesuseulojen päälle jääneelle karkealle kiviainekselle tehdään erikseen kuivaseulonta. Lopuksi lasketaan rakeisuus, jossa huomioidaan myös poispesty aines. (10.)

5.2 Vesipitoisuus

Maan vesipitoisuus tarkoittaa maassa olevan veden massan ja kuivan maa-aineksen massan suhdetta. Veden esiintymismuotoja maaperässä ovat vapaa eli gravitaatiovesi, kapillaarivesi ja adsorptio- eli vaippavesi. (11.)

Tässä työssä vesipitoisuus määritettiin standardin SFS-EN 1097-5 Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa mukaisesti. Näytteitä oli 5 kappaletta tien kaislojen molemmiin puoliin jokaisessa koealueen keskikohdassa. Vesipitoisuus testinäytteitä oli yhteensä 10 kappaletta. Vertailun vuoksi kyseiset näytteet jaettiin A- ja B-näytteisiin. Kaiken kaikkiaan tutkittavia näytteitä oli 20 kappaletta.

Näytteet punnittiin kosteina, jonka jälkeen näytteet kuivatettiin veden haihduttamiseksi 24 tunnin ajan uunissa, jonka lämpötila oli +100 °C. Tämän jälkeen näytteet punnittiin kuivina ja vesipitoisuus laskettiin kaavalla 1. (11.)

$$w = \frac{m - m_s}{m_s} * 100\%$$

KAAVA 1

w = vesipitoisuus (%)

m = märän näytteen massa (g)

m_s = kuivan näytteen massa (g)

5.3 Humuspitoisuus

Humuksella tarkoitetaan kiviaineksen orgaanisia epäpuhtauksia, jotka yhdessä epäorgaanisten yhdisteiden kanssa voivat olla silminkin nähtävissä tummana kivirakeita ympäröivänä kalvona tai ruskeana tomuna. Samanlaiset havainnot saadaan kiviainesta polttamalla tuhkapitoisuutta määrittäessä. Kuvassa 9 on esimerkki näytteen polttamisen jälkeä jäljelle jääneestä materiaalista. (12.)



KUVA 9. Epäorgaanisten aineiden sekä tuhkan poistolla saadaan aikaan kullanruskea kiviaines

Humuspitoisuus tarkoittaa maalajin sisältämän eloperäisen aineksen suhteellista osuutta kuivan maa-aineksen määrään verrattuna. Humuspitoisuus määritetään polttamalla näyte +600 °C:n lämpötilassa. Humuspitoisuuden laskemisessa käytetään kaavaa 2. (12.)

$$Hu = \frac{m_{org}}{m_s} \times 100\%$$

KAAVA 2

Hu = humuspitoisuus (%)

m_{org} = orgaanisen aineksen massa (g)

m_s = kuivan näytteen massa (g)

5.4 Puristuslujuus

Puristuslujuuden testauksen vaatimat koekappaleet valmistettiin punnitsemalla tarvittava määrä näytettä lieriön muotoiseen muottiin, jonka halkaisija oli 100 mm. Muotti näytteen asetettiin ICT-laitteeseen (kuva 10) ja tiivistettiin lopulliseen muotoonsa. Tiivistys keskeytettiin koekappaleen saavuttaessaan korkeuden 100 mm (13.)



KUVA 10. Lieriön muotoisen koekappaleen valmistus ICT-150RB-tiivistyslaitteella puristuslujuuden testaamista varten

Tiivistämisen jälkeen koekappaleet säilöttiin kannelliseen astiaan, jonka pohjalle asetettiin putkirimoja ja vettä. Tiiviisti suljettu astia mahdollistaa vedellä kyllästetyn ilman astian sisälle eikä kosteus pääse haihtumaan. Näin koekappaleet säilyttävät koostumuksensa 100 %:ssa höyrytiivissä ilmassa. (Kuva 11.)



KUVA 11. Testattavat puristuskappaleet asetetaan 100 %:sti vedellä kyllästettyyn ilmiin odottamaan puristustestejä

Testaukseen tarvittavia välineitä ovat kuvassa 12 näkyvät kuormituslevyt, kuormituskehä, puristin sekä koekappaleeseen kohdistuvan voiman mittaava laite. Puristuslujuutta voidaan yleisesti testata 0, 7, 28 ja 91 vuorokauden ikäisillä kappaleilla. (13.) Tässä opinäytetyössä puristuslujuusmittaukset suoritettiin 0, 7 ja 28 vuorokauden ikäisille kappaleille. Testattavien lieriön muotoisten koekappaleiden mitat olivat noin 100 mm x 100 mm.



KUVA 12. Puristuslujuustestissä käytetty puristin tarvikkeineen

Puristuslujuuden testauksessa käytettiin standardia CEN ISO/TS 17892-7:fi Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan laboratoriokokeet. Osa 7: Hienorakeisen maan yksiaksaalinen puristuskoe. (13.) Kuvassa 13 on esitetty pystysuora muodonmuutos koekappaleelle, jonka sivutueton näyte on saavuttanut.



KUVA 13. Puristuslujuustestin aiheuttama pystymuodonmuutos lieriön muotoisessa koekappaleessa

6 KANTAVUUSMITTAUKSET

Tieverkostossa esiintyvät kelirikko-ongelmat vaikuttavat vahvasti teiden kantavuuksiin etenkin päällystämättömillä sorateilla. Kaikista haavoittuvimmillaan tiet ovat roudan sulaessa keväällä. Tien rakenteisiin jäätyneen veden sulaessa teiden kantavuus heikkenee ja eritoten raskas liikenne voi aiheuttaa mittavia vaurioita tien rakennekerrokseen, mitkä pahimmillaan johtavat tien murtumiseen. (7.)

Kelirikon ehkäisemiseen ja tarkkailuun soveltuvia menetelmiä on useita, joista yksi on pudotuspainolaitemittaukset. Tässä opinnäytetyössä kantavuusmittauksia tehtiin aluksi kannettavalla Loadman-pudotuspainolaitteella ja myöhemmin myös auton perässä vedettävällä järeällä pudotuspainolaitteella. (7.)

6.1 Loadman-pudotuspainolaite

Loadman on kevyt kannettava pudotuspainolaite, jolla mitataan maan painumaa laitteen sisällä olevan 10 kg teräspainon pudottamisen avulla (kuva 14). Tuloksiin vaikuttavat muun muassa maa-aineksen vesipitoisuus, sääolosuhteet sekä aiemmat hoitotoimenpiteet tiellä. Laitetta voidaan käyttää käytännöllisesti katsoen kaikilla rakennustyömailla ja kaikenlaisilla rakenteilla, joihin muilla yleisesti käytetyillä mittalaitteilla ei niiden koon asettamien rajoitusten vuoksi pääse. (14.)



KUVA 14. Loadman pudotuspainolaite (15)

Kantavuusmittauksen syvyysvaikutus riippuu pohjalevyn halkaisijasta. Tässä opinnäytetyössä tehdyt mittaukset eivät sisältäneet lisälevyä halkaisijaltaan 300 mm, jonka syvyysvaikutus tiivistämisen ja mittaamisen kannalta on noin 40–60 cm (14).

Opinnäytetyön mittauksissa käytettiin ainoastaan laitepohjan leveyttä 132 mm, jonka syvyysvaikutus puolestaan on 20–30 cm. Loadmanin perustavana ideana on mitata rakennettavan kerroksen tiivyyttä ja sen E-moduulia. Laitteen tekniset tiedot on esitetty taulukossa 4.

TAULUKKO 4. Laitteen tekniset tiedot

Laitteen kokonaispaino	n. 16 kg
Korkeus	118 cm
Halkaisija	n. 132 mm
Kuormituspinnan halkaisija	132 mm (lisälevyllä 300 mm)
Pudotuspaino	10 kg
Pudotuskorkeus	80 cm
Dynaaminen kuormitus F	n. 20 kN
Pintapaine (kun s = 0 mm) - pohjalevy 132 mm - pohjalevy 300 mm	n. 1,4 MPa n. 0,3 MPa
Käyttöjännite	27 V (3 * 9 V paristo)
Mittausalue	n. 0,1...5 mm
Toimintalämpötila	n. -5...+50 °C
Näyttö	LCD-näyttö
Pudotuskerrat / paristosarja	> 1 000

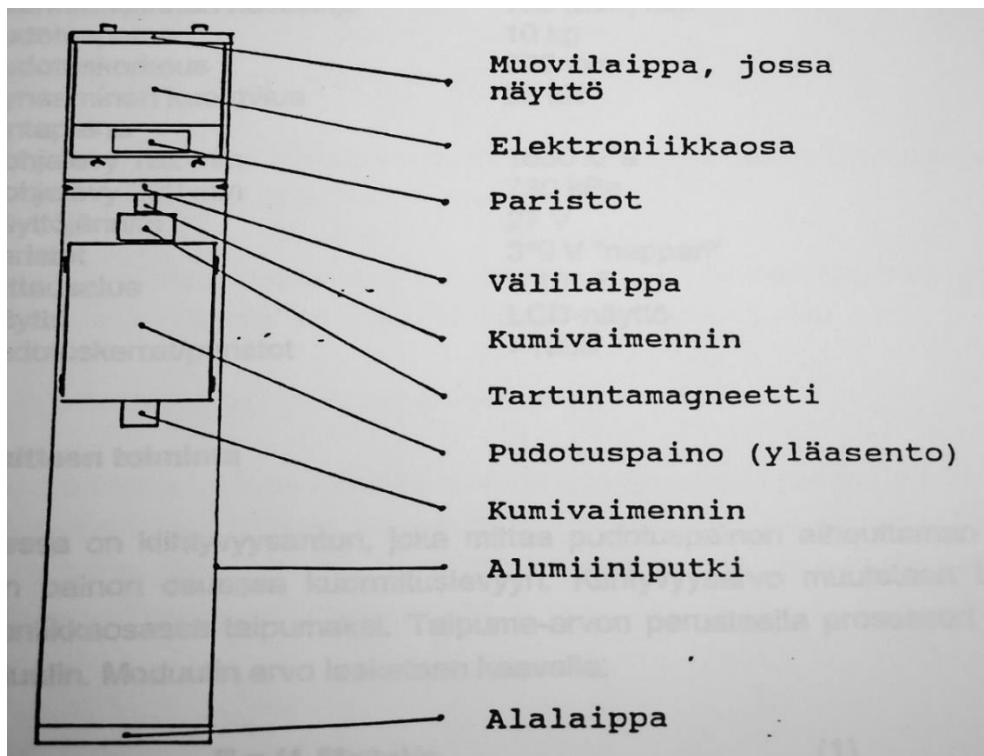
Loadmania ei voi käyttää katu- ja tierakenteiden kokonaiskantavuuden mittaamiseen. Kokonaiskantavuuden mittaukseen soveltuvia laitteita ovat esimerkiksi KUAB-pudotuspainolaite ja muut raskaat pudotuspainolaitteet sekä levykuormituslaite. (15.)

6.1.1 Laitteen rakenne

Loadman-pudotuspainolaitteen runko koostuu suljetusta alumiiniputkesta, jonka halkaisija on noin 132 mm. Putken sisässä on vapaasti liikkuva 10 kg teräspaino, johon on kiinnitetty kumivaimennin. Putken alapäähän on kiinnitetty kova-alumiininen laippa. Ennen mittauksia tulee tarkistaa, että pohjalevy on tukevasti kiinnitettynä. (15.)

Mittauselektroniikka on sijoitettuna putken yläpäähän. Elektroniikkaosa kiihtyvyyssantureineen ja näyttöineen on kiinnitetty alumiinilevyyn, joka on kiinni itse putkessa. Myös tämän päätylevyn tulee olla ehdottoman tiukasti kiinnitettynä ennen laitteen käyttöä. (15.)

Putken sisältä löytyy alumiininen välilaippa, johon on kiinnitetty tartuntamagneetti pudotuspainon pitämiseksi paikallaan mittaukseen valmistauduttaessa. Magneetti on kiinnitetty välilaippaan joustavan kumivaimentimen avulla. Laitteen elektroniikan vaatimat paristot ovat sijoitettuna putken yläosaan elektroniikkaosan alapuolelle. Laitteen koko rakenne on esitetty kuvassa 15. (15.)



KUVA 15. Loadman-laitteen kaaviokuva (15)

6.1.2 Mittausperiaate

Pudotuspainon aiheuttama kuormitus mitataan kiihtyvyyssanturilla. Painuma lasketaan kiihtyvyydestä integroimalla. Mittaustuloksena saadaan maksimitaipuma, laskettu kantavuusmoduuli E ja tiiviyssuhteena mitatun E-moduulin suhde 1. mittaustulokseen (vrt. levykuormituskokeen E2/E1 -suhde). (15.)

Ennen pudotusta laite viritetään mittausvalmiiksi kallistamalla sitä kantokahvojen avulla siten, että putken sisällä oleva pudotuspaino liukuu putken yläpäähän ja lukittuu tartuntamagneettiin. Tämän jälkeen laite asetetaan mittauspaikalle pystysuoraan maata kohden. Putken ei tarvitse olla aivan pystysuorassa, kunhan pohjalevy koskettaa koko pinta-alallaan mitattavaa alustaa. Sallittava poikkeama asennosta on noin 2° ... 3° . Mikäli putki on liian vinossa asennossa, sisällä oleva pudotuspaino liukuu pitkin johteita ja pudotusvoima pienenee huomattavasti verrattuna vapaaseen pudotukseen. (15.)

Mikäli pohjalevy koskettaa vain osalla pinnastaan alustaan, kasvaa pintapaine mittauksen aikana suuremmaksi kuin vakiopintapaine. Tämän seurauksena vaarana on laitteen heilahtaminen ja virheelliset mittaustulokset. (15.)

Käytännöllisin suoritustapa sitomattomilla rakenteilla on tasoittaa mitattava alusta pyörittämällä putkea edestakaisin siten, että pohjalevy koskettaa koko pinnallaan mitattavaa kohtaa. Sidotun rakenteen, esimerkiksi karkea asfalttipinta, päältä mitatessa voidaan käyttää ohutta tasaushiekkakerrosta vakauden saavuttamiseksi. Tällöin tulee tehdä ennen mittausta ylimääräinen pudotus, joka tiivistää lisätyn hiekkakerroksen. (15.)

Loadman pudotuspainolaitetta käytetään yleensä sitomattomilla rakenteilla ja sidotuilla rakenteilla vain harvoin. (15.) Laitteen käynnistyttyä tulee kuvan 16 mukaisesti putken yläpäässä olevan muovilaipan näytölle alkunäkymä, jolloin laite on valmis mittausta varten.



KUVA 16. Loadman näytön alkunäkymä (15)

Loadmanin näytön alkunäkymä kertoo asetukset, joilla kantavuus tullaan mittaamaan. Näytöstä voidaan tarkistaa pohjalevyn halkaisija (mm) sekä aika T (ms). (15.)

Ensimmäisen mittauksen jälkeen laitteen näytölle tulostuvat E-moduuli, painuma, kuormitusaika ja elastisuusindeksi. Kuvan 17 esimerkitapauksessa laitteen näytöllä esiintyy E-moduuli merkinnällä E054, joka tarkoittaa kantavuusmoduulia suuruudeltaan 54 MPa. Mitattu painuma (mm) tulostuu numeroarvona, joka tässä tapauksessa on 2,95 mm. Kuormitusaika painuman huippuun ilmoitetaan millisekunneina, joka esimerkin mukaan on 9 ms. Viimeinen lukema näytöllä on prosentuaalinen elastisuusindeksi, jonka laite laskee automaattisesti. (15.)



KUVA 17. Laitteen näyttö ensimmäisen pudotuksen jälkeen (15)

Toisesta pudotuksesta alkaen laitteen näyttöön ilmestyy tuloksena saatu E-moduuli, painuma sekä tiivistyssuhde. Kuvan 18 esimerkkitapauksessa näytölle ilmestyy E-moduuli merkinnällä E053, joka tarkoittaa kantavuusmoduulia suuruudeltaan 53 MPa. Mitattu painuma (mm) tulostuu numeroarvona, joka tässä tapauksessa on 3,04 mm.

Viimeinen lukema näytöllä on kantavuussuhde, jonka ensimmäinen numero kertoo pudotuksen järjestysnumeron. Järjestysnumero tulostuu näytölle merkintänä 1R. Tämän perään tulee varsinainen tiivistyssuhde, joka on sama kuin ensimmäisestä ja viimeisimmästä pudotuksesta mitattujen painumien, toisin sanoen E-moduulien suhde toisiinsa. Tässä tapauksessa tiivistyssuhde on 0,97. (15.)



KUVA 18. Näyttö toisen pudotuksen jälkeen (15)

6.2 KUAB-pudotuspainolaite

Loadmanin lisäksi kantavuuden mittausmenetelmänä voidaan käyttää kuvan 19 kaltaista KUAB FWD 50 -pudotuspainolaitetta. KUAB-laitteesta käytetään myös nimitystä putoavan painon deflektometri. Laite kykenee toimittamaan dynaamisia kuormia tien pintaan samansuuruisilla mitoilla ja kestolla kuin yksittäinen liikkuva ja raskas pyöräkuormaaja. KUAB-laitteen mittauksista saadaan selville tien ominaisuuksien pystysuuntaiset muodonmuutokset, taipumat sekä tien kantavuudet. (16.)

KUAB-pudotuspainolaitteistoon kuuluu vetoauto ja yksi- tai kaksiakselinen perävaunu, johon on kiinnitetty taipumamittausanturit sekä lämpömittarit tienpinnan ja ilman lämpötilan mittaamiseen (kuva 19). Lisäksi varusteisiin kuuluvat matkamittari, ohjaustietokone sekä KUAB-ohjelmisto laitteen hallintaa ja mitatun datan analyysiä varten. (16.)



KUVA 19. KUAB FWD 50 -pudotuspainolaite (16)

KUAB-laitteen mittausparametrit koostuvat kuormitusalueesta, joka on 12–50 kN. Kuorman nousu-aikaan kuluu 17–23 millisekuntia ja kuorman latauksen aika on 40–60 millisekuntia. Mittausparametreihin kuuluu taipuma-anturit (geofonit) ja tienpinnan lämpötilamittauksia varten ilma- ja infrapunalämpömittarit. (16.)

Tien rakenteiden ja kerroksissa olevien materiaalien käyttäytymistä kuvastaa tienpinnan pystysuora siirtymä eli taipuma. Liikennekuormitusta pystytään simuloimaan pudotuspainolaitteella, jolla mitataan tiehen kohdistunut voima ja sen aiheuttama taipuma tienpinnassa. Taipuma mitataan kuormituslevyn alla ja useilla eri etäisyyksillä kuormituslevystä, jolloin saadaan mitatuksi taipumasuppilo. Tämä taipumasuppilo kuvaa tien kuormituskestävyyttä tienrakenteen ja pohjamaan ominaisuuksia vastaavalla syvyydellä. Taipumasuppilon muodon perusteella voidaan tehdä päätelmiä rakennekerrosten kunnosta ja pohjamaan laadusta. (17.)

Tien päällysteen ja kantavan kerroksen laatu on sitä huonompi, mitä jyrkemmäksi taipumasuppilon muoto muodostuu lähellä kuormituskohtaa. Tätä kuvataan tunnusluvun SCI (Surface Curvature Index) arvona (μm), jonka etäisyydet kuormituskohdasta sijoittuvat 0 – 200 mm välille. Tieanalyysissä käytettävät SCI-raja-arvot on esitetty taulukossa 5. (17.)

TAULUKKO 5. SCI- ja BCI-luokitukset päällystetyillä ja sorateilla (17)

SCI and BCI Classification for paved roads		
Class	SCI (μm)	BCI (μm)
	0-200 mm	900-1200 mm
Good	< 120	< 10
Adequate	120 – 200	10 - 30
Insufficient	200 – 250	30 – 40
Poor	250 - 400	40 - 60
Extremely poor	> 400	> 60

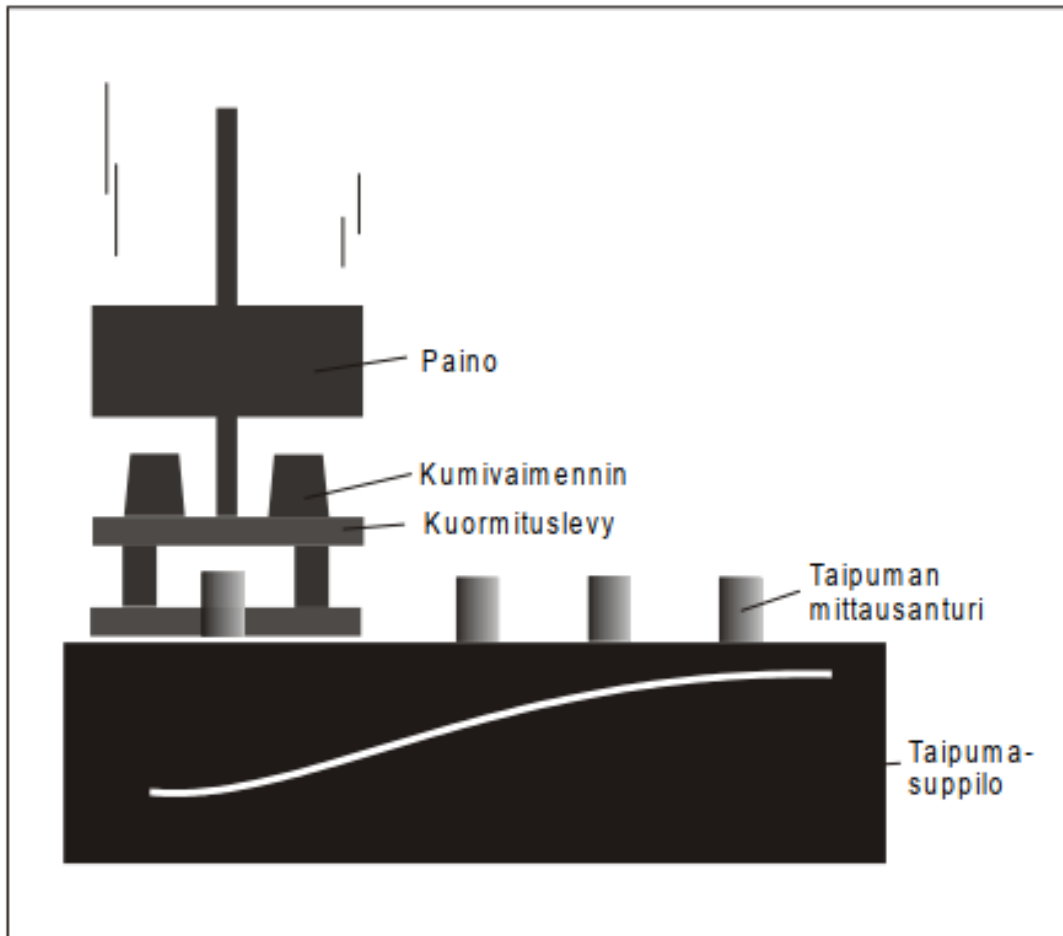
Suosittelut heikkojen päällystettyjen teiden ja sorateiden SCI- ja BCI-raja-arvot. (Good=hyvä, adequate=riittävä, insufficient=puutteellinen, poor=huono, extremely poor=erittäin huono)

Mikäli tieltä on mitattu huono kantavuus, voidaan taipumasuppilon avulla analysoida heikkoon kantavuuteen syy. Esimerkiksi pohjamaan kantavuuden heikkous näkyy tunnusluvun BCI (Base Curvature Index) mukaisena suurena arvona D1200 (μm), jonka etäisyydet kuormituskohdasta sijoittuvat 900 – 1200 mm välille. Tieanalyysissä käytettävät BCI-raja-arvot on esitetty myös taulukossa 5. (17.)

6.2.1 Toimintaperiaate

Pudotuspainolaitteen periaate toimii siten, että laitteen sisällä oleva pudotuspaino pudotetaan halkaisijaltaan 300 mm:n kokoiselle levyille kumivaimentimen välityksellä (kuva 20). Heikosti kantavilla teillä pudotuspainoa voidaan tarvittaessa pienentää, jotta taipumat pysyvät mittauslaitteelle sallituissa rajoissa. (17.)

Yleensä on käytetty 50 kN:n suuruista voimaa, mikä on verrattavissa kuorma-auton 10 tonnin akselipainoon aluslevyyn kohdistettaessa. Koko kuormitusaika vaihtelee 20–60 ms:n pudotuspainolaitteen mukaan. Syvempiin tierakenteisiin ja pohjamaahan kohdistetun voiman kuormitusaika on noin 220 ms, mikä on pidempi kuin pudotuspainolaitemittauksessa esiintyvä kuormitusaika. (17.)



KUVA 20. KUAB-pudotuspainolaitteen rakenne ja toimintaperiaate (17)

6.2.2 Käyttötarkoitus ja mittaustulokset

KUAB-laitteen käyttötarkoitus ja sen antamat tulokset perustuvat Tien pohja- ja päällysrakenteet-tutkimusohjelman (TPPT) suunnittelujärjestelmään. Tämän järjestelmän mukaisesti laitetta käytetään kuormituskestävyyssmitoituksissa vanhan tierakenteen tilan määrittämiseen. Laitetta käytetään myös rakentamisen laadunvalvonnassa. Mittaustuloksista lasketaan erityisesti rakennekerrosten moduulit analyttistä mitoitustapa varten. (17.)

Mittaustuloksia käytetään taipumien ja taipumaerojen perusteella rakennekerrosten ominaisuuksien, moduulien ja suoraan mitatun taipumasuppilon muodonmuutosten määrittämiseen. Lähtötiedoiksi mittaustuloksia varten vaaditaan jo olemassa olevien rakennekerrosten paksuudet, moduulit sekä tiedot viimeisimmistä tiehen kohdistuneista rakenteellisista toimenpiteistä, niin nykyisen kuin tulevien liikennekuormitusten osalta. (17.)

7 LABORATORIOKOKKEET JA KANTAVUUSMITTAUSTEN TULOKSET

7.1 Rakeisuus

Rakeisuuden määrittämiä tehtiin koelaitteilla 1–3 ja VRT kahdesta eri maanäytteestä. Ensimmäiset rakeisuuskäyrät tehtiin maa-ainesnäytteistä, jotka otettiin ennen Dustbinderin levittämistä tien kulutuskerrokseen. Jälkimmäiset rakeisuuskäyrät saatiin maa-ainesnäytteistä, jotka otettiin 4 kuukautta Dustbinderin levittämisen jälkeen. Näin pystyttiin vertailemaan mahdollisia rakeisuuden muutoksia tien rakennekerroksissa.

Maa-aineksen rakeisuuden määrittäminen tehtiin pesuseulonnan avulla. Maa-aineksen pesuseulonta aloitettiin ensin tiestä otetun maa-ainesnäytteen kuivatuksella uunissa, jonka lämpötila oli +105 °C. Kuivatuksen jälkeen näyte punnittiin, jolloin saatiin selville näytteen lähtöpaino.

Seuraavaksi näyte kaadettiin pesuseulaan ja huuhdeltiin vedellä seulakoneen täryttäessä. Tällöin hienoaines kulkeutui veden mukana päällä olevan 2 mm pesuseulan läpi alla olevan 0,5 mm pesuseulan päälle, jolloin päällimmäiselle seulalle jäi näytteen karkeampi kiviaines sekä puolestaan alla olevalle seulalle hienempi kiviaines. Molemmat kiviainekset kuivatettiin uunissa +105 °C:ssa ja lopuksi punnittiin.

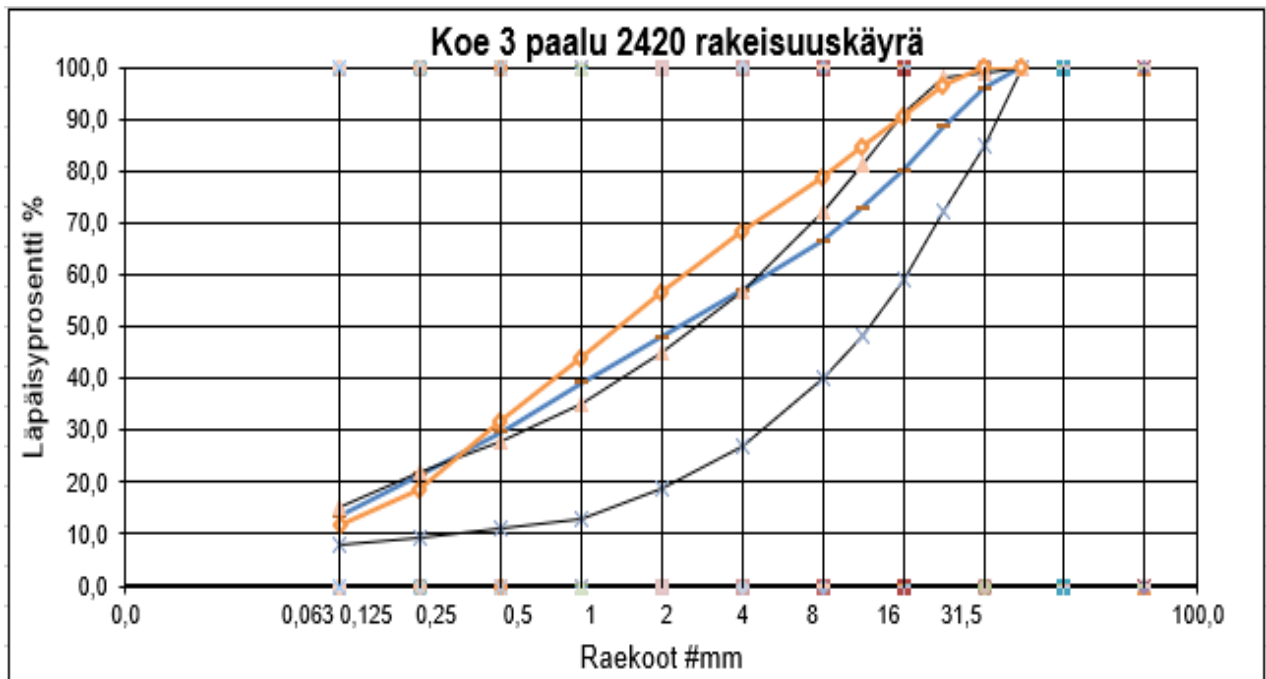
Pestyn ja kuivatun näytteen sekä alkuperäisen kuivan näytteen massojen erotuksena saatiin pesutappio, joka tarkoittaa pesuseulan läpäisseen hienoaineksen määrää. Pesuseulonnan jälkeen näyte vielä kuivaseulottiin 15 minuutin ajan. Seulonnan päätyttyä, jokaisen seulan päälle jäänyt kiviainesosuus punnittiin ja kirjattiin ylös.

Seulojen nimelliskoot ovat standardin SFS-EN 933-2 Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 2: Rakeisuuden määrittäminen. Seulasarjat, aukkojen nimelliskoko mukaiset.

Pesuseulonnasta saadut arvot syötettiin valmiiseen Excel-laskentaohjelmaan, josta saadaan selville jokaisen näytteen läpäisyprosentti sekä piirtynyt rakeisuuskäyrä. Itse rakeisuuskäyrä muodostuu maa-aineksen läpäisyprosenttien avulla.

Kuvassa 21 on esitetty esimerkki koealueen 3 paalun 2 420 rakeisuuskäyrästä. Kuva sisältää samaisen paalukohdan rakeisuuskäyrät, jotka on tehty ennen Dustbinderin levittämistä tien rakennekerrokseen (oranssi) sekä 4 kuukautta Dustbinderin levittämisen jälkeen otetuista maa-ainenäytteistä (sininen). Soratien kulutuskerroksen rakeisuuden ohjealue on esitetty samassa kuvassa mitattujen rakeisuuskäyrien kanssa.

Pystyakselilla on esitetty prosentteina kiviaineksen läpäisyprosentit ja vaaka-akselilla seulojen nimelliskoot millimetreinä. Tutkimuksen seulasarjan pienin seula oli 0,063 mm ja suurin 16 mm. Rakeisuuskäyrien laskentapohjat on esitetty liitteissä 3 ja 4.



KUVA 21. Soratien kulutuskerroksesta rakeisuuden ohjealue ja mitatut rakeisuuskäyrät

Kuvan 21 mitattuja rakeisuuskäyriä vertaillaessa havaitaan rakentamisen jälkeen mitatun rakeisuuskäyrän olevan lähempänä soratien kulutuskerroksen ohjealuetta. Dustbinderin käsittelytoimenpiteet eivät vaikuta itsessään kiviaineksen rakeisuuteen, sillä tienpinnan jyrsintä ja liuoksen levitys ylsi vain 10 cm:n syvyyteen, missä maa-aines oli samanlaista eikä Dustbinder liuos kuluta kiviainesmateriaalia kemiallisesti laisinkaan.

Tutkimustuloksiin vaikuttavat maanäytteiden otossa tapahtuvat eroavaisuudet, kuten suurempien kivien ja hienomman maa-aineksen määrät, jotka olivat sattumanvaraisia molemmissa näytteissä. Näin ollen ei voida varmuudella sanoa Dustbinderillä olevan vaikutusta rakeisuuden vaihteluihin.

7.2 Vesipitoisuus

Maan vesipitoisuus tarkoittaa maassa olevan veden massan ja kuivan maa-aineksen massan suhdetta. Maa-ainesnäytteitä oli yhteensä 20, sisältäen vertailunäytteet A ja B. Maa-aines lapioitiin suljettaviin pusseihin. Näyte otettiin kulutuskerroksesta noin 5–10 cm:n syvyydeltä. Vesipitoisuuden määrittämiseen käytettäviä näytteitä säilytettiin viileässä ja suljettuina, jotta maa-aineksessa valmiiksi oleva kosteus ei pääse haihtumaan.

Vesipitoisuus saadaan laskemalla kaavan 1 mukaisesti, missä maa-aineksen märkäpainon ja kuivapainon erotus jaetaan maa-aineksen kuivapainolla. Lopuksi kerrotaan 100:lla ja tulokseksi saadaan prosentuaalinen vesipitoisuus. Vesipitoisuudet on esitetty taulukoissa 5 ja 6.

TAULUKKO 5. Vesipitoisuusnäytteiden massatiedot

Paalu	Kuiva näyte (g)				Märkä näyte (g)			
	Oikea A	Oikea B	Vasen A	Vasen B	Oikea A	Oikea B	Vasen A	Vasen B
770	209,6	189,9	146,8	122	224	204,1	158,1	131,2
1900	179	138	186,2	193,3	191,8	147,2	205,5	208,2
2520	162,3	190,1	150,5	123,6	174,8	205,5	162,9	133,8
2860	198,7	231,1	166,9	231,1	207,4	223,2	174,5	243,8
VRT 2	180,3	195,5	137,1	176,4	193,4	211,1	146,4	188,8

TAULUKKO 6. Vesipitoisuustulokset prosentteina

Koe	Paalu	Oikea kaista (%)		Vasen kaista (%)		Keskiarvo %	
		A	B	A	B	A	B
1	770	6,43	6,96	7,15	7,01	6,79	6,98
2	1900	6,67	6,25	9,39	7,16	8,03	6,70
3	2520	7,15	7,49	7,61	7,62	7,38	7,56
4	VRT 2	6,77	7,39	6,35	6,57	6,56	6,98

Vesipitoisuus määritettiin tutkimusajanjakson alussa 21.5.2019 otetuista näytteistä. Vesipitoisuuden määrittäminen ja näytteiden otto soratienpinnasta ennen muiden tutkimusten aloittamista ovat olennaisimmat toimenpiteet. Vertailunäytteitä eri ajankohtana otettavaksi ei nähty tarpeelliseksi. Vesipitoisuudet määritettiin koalueista 1–3 ja VRT. Tutkimustuloksien perusteella vesipitoisuuksissa ei ole suurta vaihtelua tien poikkileikkauksissa eikä myöskään eri paalukohdissa.

7.3 Humuspitoisuus

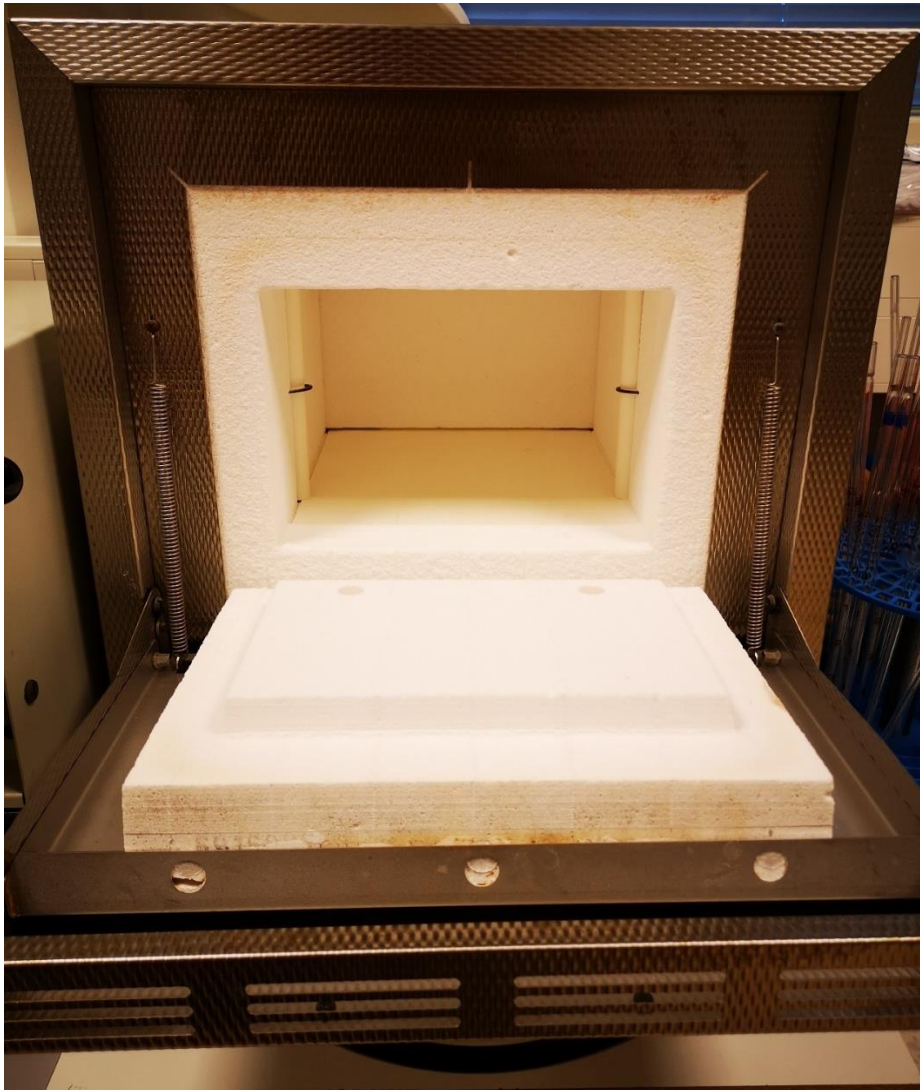
Humuspitoisuuden määrittäminen tehtiin polttomenetelmänä SFS-käsikirja 179–2: Geotekninen Tutkimus ja Koestus. Osa 2: Maan laboratoriokokeet mukaisesti. Kokeessa orgaaninen aine poltettiin pois humuksen polttouunissa. Orgaanisen aineksen määrä on massan erotus ennen polttoa ja polton jälkeen. Humuksen polton jälkeen maa-aineksesta jää jäljelle ns. hehkutusjäännös, joka on pelkästään kivennäismaata.

Testattuja humusnäytteitä oli jokaisesta koalueesta 1–3, VRT ja Vesi, kaiken kaikkiaan 10 kappaletta. Vertailunäytteinä toimii jokaisen koalueen keskimmaisesta paalukohdasta molemmilta kaistoilta otetut näytteet, esimerkiksi paalun 770 sekä oikealta että vasemmalta kaistalta otetut näytteet. (Kuva 22.)



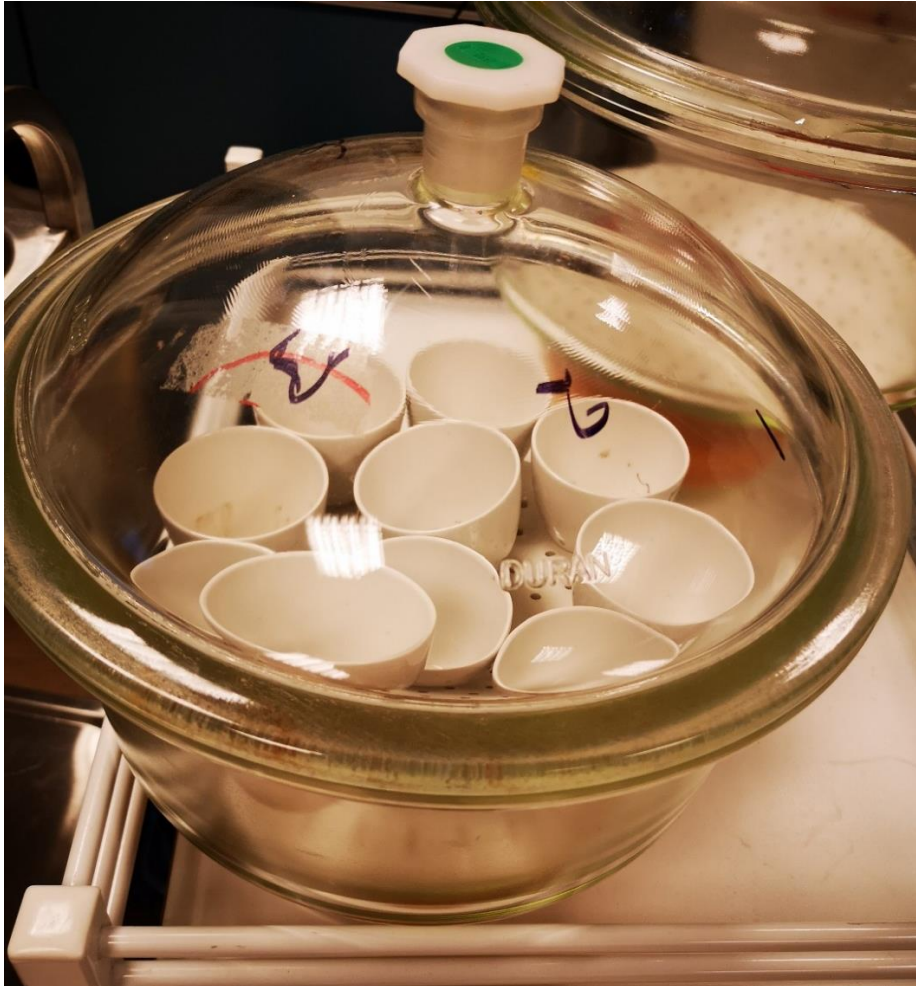
KUVA 22. Puhtaisiin upokkaisiin punnittiin noin 11–12 grammaa näytettä

Humuspitoisuuden määrittäminen alkoi puhtaiden upokkaiden kuumentamisella 30 minuutin ajan muhveliuunissa, jonka lämpötila on +600 °C (kuva 23).



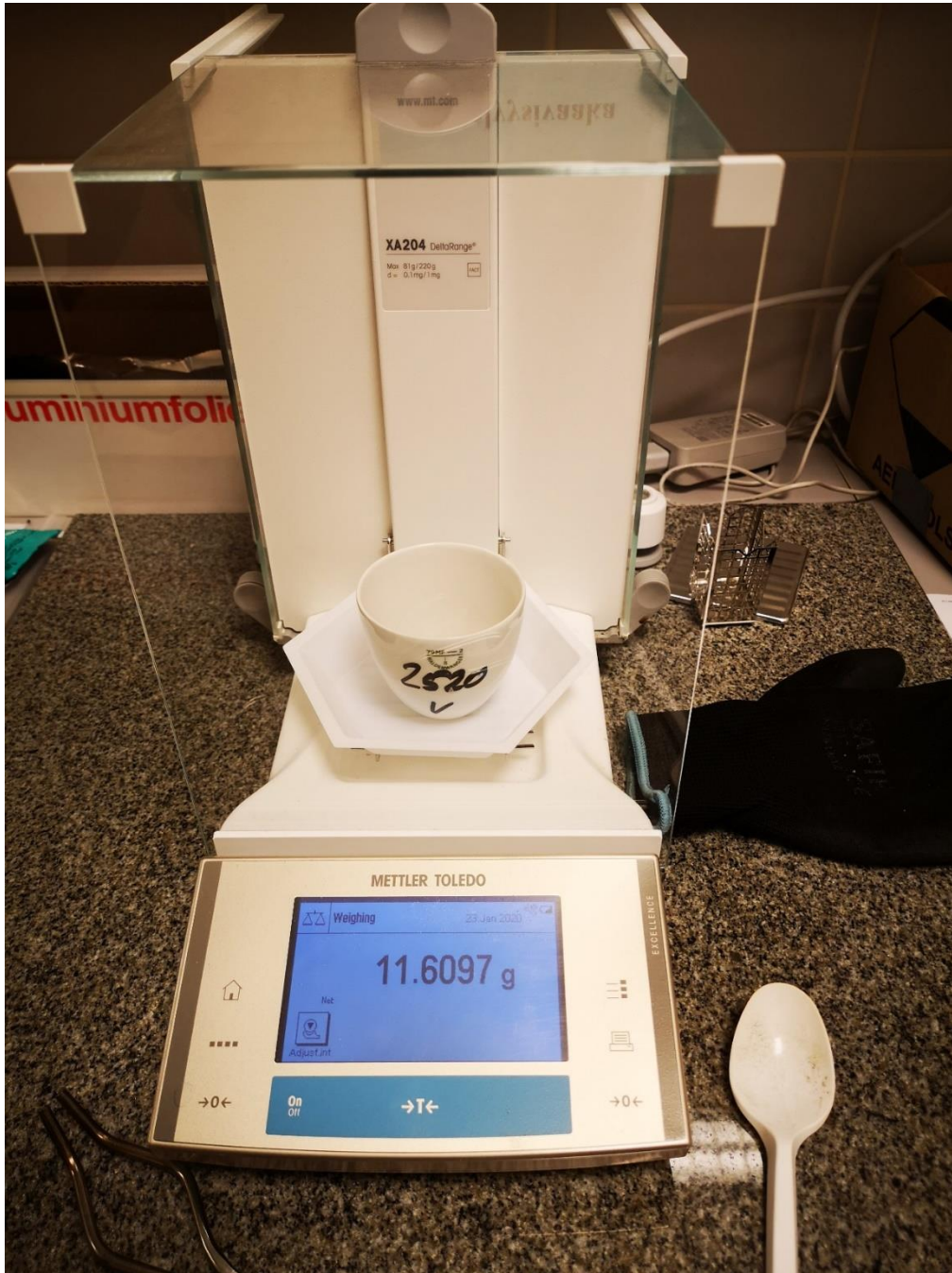
KUVA 23. Muhveliuuni lämmitettiin +600 °C:een lämpötilaan näytteiden polttoa varten

Punnittuja näytteitä upokkaineen poltettiin muhveliuunissa noin 20 tunnin ajan. Tämän jälkeen näytteet jäähdytettiin eksikaattorissa 30 minuutin ajan punnitsemista varten (kuva 24).



KUVA 24. Kuumennetut puhtaat upokkaat jäähdytettiin eksikaattorissa

Jäähdyttämisen jälkeen upokkaat punnittiin tyhjinä kahden desimaaliluvun tarkkuudella. Puhtaat upokkaat taarattiin ja niihin punnittiin homogenoitua näytettä 0,1 mg:n tarkkuudella noin 11–12 g (kuva 25).



KUVA 25. Homogenoidun näytteen punnitseminen taaratulla vaa'alla

Humuspitoisuus laskettiin orgaanisen maa-aineksen massa jaettuna kuivalla massalla ennen polttamista kaavan 2 (sivulla 24) mukaisesti. Orgaanisen maa-aineksen massa saadaan kaavan 3 mukaisesti vähentämällä alkuperäisestä kuivasta massasta polton jälkeinen hehkutusjäännös.

$$m_{org} (g) = m_s - \text{hehkutusjäännös}$$

KAAVA 3

m_{org} = orgaanisen aineksen massa (g)

m_s = kuivan näytteen massa (g)

Tuloksista voidaan havaita humuspitoisuuden olevan hyvin pientä, muutamaa poikkeamaa lukuun ottamatta. Humusnäytteet otettiin satunnaisotannalla koalueilta aiemmin otetuista maa-ainesnäytteistä ja tulokset on esitetty taulukossa 7.

TAULUKKO 7. Humuspitoisuus maan-ainesnäytteissä

Näyte (paalu)	Näytteen massa m_s (g)	Orgaanisen aineksen massa, m_{org} (g)	Humuspitoisuus (%)
770 O	11,634	0,125	1,07
770 V	11,126	0,104	0,93
1900 O	11,434	0,112	0,98
1900 V	11,571	0,099	0,86
2520 O	11,62	0,231	1,99
2520 V	11,611	0,625	5,38
VESI 2 O	11,301	0,275	2,43
VESI 2 V	11,792	0,72	6,11
VRT 2 O	12,322	0,173	1,40
VRT 2 V	11,621	0,114	0,98

7.4 Puristuslujuus

Puristuslujuustestit suoritettiin 0, 7 ja 28 vuorokauden ikäisille Dustbinderillä käsitellystä ja käsittelemättömästä maa-aineksesta tehdyille koekappaleille. Näytteet otettiin koealuiden 1–3 maa-ainesten yhteen sekoitetusta massasta. Näytteet sisälsivät noin 1 800 g maa-ainesta ja noin 80 g vettä sopivan muodon aikaansaamiseksi puristustestiä varten. Kuvassa 26 on esitetty puristuslujuustestiin valmistettu koekappale.



KUVA 26. Koekappale tiivistettynä ja valmis puristustestausta varten

Puristuskappaleita valmistettiin yhteensä 12 kappaletta, joista puolet oli vertailunäytteitä. Näytteet otettiin koalueiden 1–3 soratien pinnasta pistolapiolla ennen Dustbinderin levittämistä tienpintaan eli käytännössä koskemattomasta soratiestä sekä Dustbinderiä sisältävästä maaperästä. Puristuskappaleiden valmistustiedot on esitetty taulukossa 8.

TAULUKKO 8. Puristuskappaleiden valmistustiedot

0 vrk	massa (g)	tilavuus (cm ³)	tiheys (g/cm ³)	pinta-ala (cm ²)
V0	1878,2	824,67	2,28	0,049
V0	1884,4	816,81	2,31	0,048
D0	1874,7	816,81	2,30	0,048
D0	1877,7	808,96	2,32	0,048

7 vrk	massa (g)	tilavuus (cm ³)	tiheys (g/cm ³)	pinta-ala (cm ²)
V7	1858,3	816,81	2,28	0,048
V7	1842,7	824,67	2,23	0,049
D7	1866,7	816,81	2,29	0,048
D7	1874,0	816,81	2,29	0,048

28 vrk	massa (g)	tilavuus (cm ³)	tiheys (g/cm ³)	pinta-ala (cm ²)
V28	1831,6	808,96	2,2641	0,048
V28	1842,1	816,81	2,2552	0,048
D28	1834,5	816,81	2,2459	0,048
D28	1867,1	808,96	2,3080	0,048

Vertailunäytteet on merkitty keltaiselle pohjalle V-kirjaimella ja numero perässä kertoo koekappaleen valmistuksesta kuluneen ajan vuorokausina. Vastaavasti Dustbinderillä käsitellyt koekappaleet on merkitty D-kirjaimella ja numero perässä kertoo koekappaleen valmistuksesta kuluneen ajan vuorokausina.

Taulukossa 9 on esitetty puristuslujuuskappaleiden ja niiden vertailunäytteiden mitatut voimat F kilonewtoneina ja puristuslujuudet δ kilopascalina. Taulukossa 10 on esitetty puristuskappaleista mitatut voimien F sekä puristuslujuuksien δ kilopascalien keskiarvot.

TAULUKKO 9. Vertailunäytteiden mitatut voimat ja puristuslujuudet

0 vrk		F (kN)
V0		3,55
V0		4,33
D0		3,55
D0		3,50

0 vrk		δ (kPa)
V0		72,9
V0		89,5
D0		73,4
D0		72,7

7 vrk		F (kN)
V7		7,06
V7		8,23
D7		5,29
D7		5,76

7 vrk		δ (kPa)
V7		146,0
V7		168,9
D7		109,3
D7		119,0

28 vrk		F (kN)
V28		9,64
V28		9,30
D28		8,87
D28		8,10

28 vrk		δ (kPa)
V28		200,6
V28		192,2
D28		183,3
D28		168,5

TAULUKKO 10. Puristuskappaleista mitatut voimien ja puristuslujuuksien keskiarvot

0 vrk		F (kN)
V0	3,94	
D0	3,53	

0 vrk		δ (kPa)
V0	81,2	
D0	73,2	

7 vrk		F (kN)
V7	7,65	
D7	5,53	

7 vrk		δ (kPa)
V7	157,6	
D7	114,3	

28 vrk		F (kN)
V28	9,47	
D28	8,49	

28 vrk		δ (kPa)
V28	196,4	
D28	176,1	

Mitatuista puristuslujuuksien tuloksista voidaan nähdä, että Dustbinderillä on vaikutusta soratiessä esiintyvän maa-aineksen kantavuuteen. Sama asia havaittiin visuaalisesti tienpintaa tarkkailemalla. Tutkimustuloksissa herätti ihmetystä puristuslujuuksien kasvaminen myös käsittelemättömillä näytteillä. Tähän ei löydetty mitään järkevää selitystä.

Puristuslujuudet vaativat kuitenkin lisätutkimuksia useimmilla testikappaleilla varmempien tulosten aikaansaamiseksi. Tässä opinnäytetyössä puristuslujuustesteihin käytetyn materiaalin määrä oli rajallinen ja vertailukappaleita saatiin aikaan vain yhdet jokaista mitattua näytettä kohden (taulukko 9).

7.5 Kantavuusmittaukset

Tässä opinnäytetyössä kantavuusmittausten osalta keskityttiin pistemittausmenetelmään, joka onnistui Loadman-pudotuspainolaitteella sekä tarkemmalla KUAB FWD 50 - pudotuspainolaitteella. Kantavuusmittaukset suoritettiin kaikissa koealueen paalukohdissa, joita oli yhteensä 15.

Paalukohdista mitattiin kantavuuslukemat molemmilta kaistoilta, jotka merkittiin taulukoon 10 numeroin 1 ja 2. Maastoon merkityt paalukohtien sijainnit vaihtelivat koealueittain tien molemmin puolin, joten ei voida todeta, että kaista numero 1 olisi aina tien oikea tai vasen kaista.

Tässä tapauksessa kaista numero 1 tarkoittaa kaistan keskikohtaa, joka on lähin mitattu etäisyys maastoon merkitystä paalukohdasta. Vastaavasti numero 2 tarkoittaa kaistan kauimmaista keskikohtaa samasta paalukohdasta.

Kantavuusmittaukset kertovat kaiken olennaisen soratien rakennekerrosten tiiveydestä, tienkantavuudesta sekä -taipumasta. Kantavuusmittausmenetelmät valitaan mitattavan tieosuuden päällysteen, rakenteen sekä leveyden perusteella. Loadman-mittauksiin vaikuttivat tiemateriaalin vesipitoisuus ja vaihtelevat sääolosuhteet maastossa. Kantavuusmittauksissa Loadman pudotuspainolaitteen sisällä oleva 10 kg:n paino aiheuttaa kuormituksen, joka mitataan kiihtyvyyssanturilla. Tästä syntyvä painuma lasketaan kiihtyvyydestä integroimalla.

Mittaustulokseksi saadaan maksimitaipuma, laskettu kantavuusmoduuli E ja tiiviyssuhteena mitatun E-moduulin suhde ensimmäiseen mittaustulokseen, toisin sanoen $E2 / E1$ -suhde. Taulukossa 10 on esitetty Loadmanilla mitatut kantavuuslukemat tutkimusajanjakson alussa käsittelemättömällä soratiellä, tarvittavat tiedot sääolosuhteista sekä kaistojen etäisyydet maastossa.

TAULUKKO 10. Loadman kantavuuden mittaustulokset käsittelemättömällä soratiellä

Loadman tulokset								
Paikka: Soratie 2km pätkä Ruvaslahti, Polvijärvi.								
Sääolosuhteet: Vesisade/Märkä maa.								
Mittauksen päivämäärä: 21.5.2019								
Loadmanilla kohtisuoraan tiehen pudotus, halkaisija 132 mm.								
Mittauksesta tallentuvat E-moduuli, painuma, osoiteteksti ja tiivistyssuhde.								
Etäisyys = paalukepistä mitattu etäisyys tiekaistan keskikohtaan.								
Aika (s) = mittaukseen kulunut aika sekunteina viimeisimmästä painopudotuksesta.								
KOE 1	Paalu	Etäisyys (cm)	Kaista	Painuma (mm)	Aika (s)	E1 (Mpa)	E2 (Mpa)	E2/E1
	620	450	1	0,9	4	125	117	0,94
		650	2	0,8	9	107	124	1,16
	770	460	1	1,3	8	50	80	1,60
		730	2	2	7	58	53	0,91
	920	530	1	1,1	5	81	96	1,19
		790	2	1,6	4	56	67	1,20
KOE 2	1700	320	1	1,3	3	69	83	1,20
		590	2	1,4	2	71	77	1,08
	1900	360	1	1,6	5	54	67	1,24
		650	2	1,5	5	53	71	1,34
	2000	390	1	1,3	2	43	83	1,93
		690	2	1,3	4	57	82	1,44
KOE 3	2220	370	1	1,4	3	52	77	1,48
		670	2	1,5	9	43	69	1,60
	2420	380	1	1,9	1	40	58	1,45
		740	2	1,6	4	50	67	1,34
	2520	500	1	1,7	4	42	63	1,50
		750	2	2,1	7	29	51	1,76
KOE 4	2735	385	1	1,7	1	48	65	1,35
		720	2	0,9	2	49	120	2,45
	2860	410	1	1,1	7	67	94	1,40
		805	2	1,5	1	34	73	2,15
	3010	410	1	0,9	1	81	121	1,49
		780	2	1,2	1	35	92	2,63
KOE 5	VRT 1	340	1	1,7	1	41	65	1,59
		630	2	1,6	8	52	65	1,25
	VRT 2	300	1	1,4	4	37	76	2,05
		600	2	1,5	1	51	73	1,43
	VRT 3	360	1	1,1	8	64	93	1,45
		710	2	1,6	4	33	67	2,03

Tässä työssä käsitellään ensimmäisen mittauksen ja viimeisen mittauksen aikana saatuja tuloksia. Edellä mainittujen mittausten aikaväli on 4 kuukautta. Loadmanin mittaustulosten dokumentoinnit on esitetty liitteessä 5. Taulukossa 11 on esitetty vastaavat Loadmanmittauksista saadut kantavuuslukemat soratiessä 4 kuukautta Dustbinderin levittämisen jälkeen.

TAULUKKO 11. Loadman kantavuuden mittaustulokset 4 kuukautta Dustbinderin levittämisen jälkeen

Loadman tulokset

Paikka: Soratie 2km pätkä Ruvaslahti, Polvijärvi.

Sääolosuhteet: Puoli pilvinen/aurinkoinen, Kuiva maa.

Mittauksen päivämäärä: 8.8.2019

Loadmanilla kohtisuoraan tiehen pudotus, halkaisija 132 mm.

Mittauksesta tallentuvat E-moduuli, painuma, osoiteteksti ja tiivistyssuhde.

Etäisyys = paalukepistä mitattu etäisyys tiekaistan keskikohtaan.

Aika (s) = mittaukseen kulunut aika sekunteina viimeisimmästä painopudotuksesta.

KOE 1	Paalu	Etäisyys (cm)	Kaista	Painuma (mm)	Aika (s)	E1 (Mpa)	E2 (Mpa)	E2/E1
	620	450	1	0,4	7	224	234	1,04
		650	2	0,3	9	169	282	1,67
	770	460	1	0,3	7	167	297	1,78
		730	2	0,2	7	289	407	1,41
	920	530	1	0,3	8	212	289	1,36
		790	2	0,3	8	220	289	1,31
KOE 2	1700	320	1	0,2	3	216	478	2,21
		590	2	0,1	2	344	917	2,67
	1900	360	1	0,2	2	204	500	2,45
		650	2	0,5	0	120	220	1,83
	2000	390	1	0,3	2	220	344	1,56
		690	2	0,4	2	239	262	1,10
KOE 3	2220	370	1	0,4	2	177	262	1,48
		670	2	0,3	5	169	314	1,86
	2420	380	1	0,3	5	183	314	1,72
		670	2	0,3	6	186	306	1,65
	2520	350	1	0,5	3	250	208	0,83
		690	2	0,4	9	204	224	1,10
KOE 4	VRT 1	420	1	0,3	2	180	344	1,91
		690	2	0,2	6	262	423	1,61
	VRT 2	300	1	0,3	4	239	324	1,36
		600	2	0,3	9	186	282	1,52
	VRT 3	360	1	0,5	5	193	200	1,04
		680	2	0,4	9	71	224	3,15
KOE 5	VESI 1	370	1	0,3	0	229	367	1,60
		670	2	0,4	2	177	262	1,48
	VESI 2	400	1	0,3	9	190	282	1,48
		640	2	0,3	7	220	297	1,35
	VESI 3	380	1	0,3	2	193	344	1,78
		600	2	0,4	4	262	250	0,95

Tuloksista havaitaan, että kantavuus kasvaa tienpinnassa runsaasti 4 kuukauden aikana. Rungas kantavuuden kasvu on selitettävissä vaihtelevien sääolosuhteiden sekä Loadman-pudotuspainolaitteen sisällä olevan 10 kg painon riittämättömyyden perusteella.

Sorateiden kantavuuden tavoite arvo on 80 MPa ja kannettavalla pudotuspainolaitteella saatujen poikkeuksellisten suurten tuloksien on arvioitu johtuvan siitä, ettei 10 kg:n pudotettava paino riittänyt rikkomaan soratien pinnassa olevaa ohutta kerrosta. Keväällä 2020 käytetyn KUAB-laitteen 50 kg:n pudotuspaino oli tarpeeksi riittävä rikkomaan kyseisen kerroksen ja näin antamaan todellisia tuloksia.

Tulokset, jotka saatiin 4 kuukautta Dustbinderin levittämisen jälkeen tien kulutuskerrokseen, ovat suuria kantavuuslukemia vastaamaan realistisia soratien kantavuuslukemia. Vastaavanlaisia lukemia harvoin saadaan asfaltoiduilla teilläkään. Jatkotutkimuksia tehtiinkin keväällä 2020 KUAB-pudotuspainolaitteella. KUAB-mittaustulokset olivat lähempänä todellisia raja-arvoja.

KUAB-mittauksissa SCI-arvo kuvaa päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä kuormituksen alla. Mitä suuremmat arvot ovat, sitä huonommat ovat tienrakenteen yläosat. BCI-arvot kuvaavat puolestaan pohjamaan laatua, joka kertoo pohjamaan kantavuuden ominaisuuksista olennaisen. Mitä pienempi BCI-arvo on, sitä kantavampi on pohjamaa. SCI- ja BCI-arvojen lisäksi KUAB-mittauksissa saatiin selville myös kevätkantavuusmoduulit, joiden laskennassa käytettiin kevätkantavuuskerrointa 0,7.

Taulukossa 12 on esitetty koealueen 1 KUAB-mittaustulokset eri etäisyyksillä kuormituskohdissa. Liitteessä 6 on esitetty muiden koealueiden KUAB-mittaustulokset sekä kaikki havainnot taipumasuppiloiden muodoista ja kantavuusmoduuleista koko soratien pituudelta keväällä 2020.

TAULUKKO 12. Koealueen 1 KUAB-mittaustulokset

KOE 1				KEVÄT								
				MITATTU	KANTA-VUUS							
TIE	OSA	ET	PVM	E2	E2_T_K2	BCI	D90_T	D120_T	SCI	D0_T	D20_T	
15795	2	500	22.6.2020	218	153	30	88	58	247	715	468	
15795	2	545	22.6.2020	136	95	87	437	350	201	1144	943	
15795	2	600	22.6.2020	121	84	115	302	187	240	1294	1054	
15795	2	650	22.6.2020	187	131	36	108	72	304	836	532	
15795	2	700	22.6.2020	260	182	27	80	53	215	599	384	
15795	2	750	22.6.2020	159	111	39	102	63	346	980	634	
15795	2	800	22.6.2020	211	148	35	93	58	231	738	507	
15795	2	850	22.6.2020	143	100	29	93	64	331	1093	762	
15795	2	900	22.6.2020	198	139	43	142	99	237	787	550	
15795	2	950	22.6.2020	175	123	47	139	92	251	890	639	
15795	2	1000	22.6.2020	171	120	45	139	94	314	913	599	
15795	2	1050	22.6.2020	182	127	38	126	88	302	858	556	
Keskiarvo				180	126	48	154	107	268	904	636	
Keskiha-jonta				37	26	25	102	81	46	189	187	

KUAB-tuloksista selviää, että Dustbinderillä käsiteltyjen koealueiden SCI-arvot, jotka kertovat päällysrakenteen kantavuuksien laadun, ovat samaa suuruusluokkaa keskenään. Koealueelle Vesi tehtyjen kantavuusmittausten mukaan pintakantavuus oli huomattavasti SCI-arvoiltaan suurempi. Tämä tarkoittaa sitä, että pelkällä vedellä käsitelty tierakenteen yläosa oli kantavuudeltaan heikompaa kuin Dustbinderillä käsitellyt päällysrakenteet.

Taulukon 5 luokitusten mukaan koealueista 1–3 saadut arvot, joissa on tienpinta käsitelty Dustbinderillä, päällysrakenteet luokiteltaisiin laadultaan puutteellisiksi SCI-raja-arvojen sijoituessa välille 200–250 µm. Koealueesta Vesi saatujen SCI-arvojen perusteella koealue luokitellaan laadultaan huonoksi raja-arvojen sijoituessa välille 250–400 µm. Soratielle nämä arvot kuitenkin välttävät.

BCI-raja-arvot kertovat pohjamaan ominaisuuksien ja kantavuuksien olevan keskimäärin samoissa lukemissa kaikilla koealueilla. Poikkeavia arvoja esiintyi koealueen 1 paalukohdissa 545 ja 600, joiden kohdalla on painuvaa pohjamaata. Dustbinder levitettiin noin 10 cm:n syvyyteen päällysrakenteisiin, joten pohjamaa on keskimäärin samankaltaista koskemätöntä maa-ainesta jokaisessa koealueen kuormituskohdassa.

Keväällä 2020 Ruvaslahdentiellä ei havaittu routimista tai routivuus tien rakennekerroksissa oli hyvin vähäistä. KUAB-mittaukset tullaan myöhemmin uusimaan routimisesta aiheutuvien vaikutusten ja pintakelirikon kartoittamiseksi.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli perehtyä soratien pintakelirikko-ongelmiin ja niiden estämiseen sekä kantavuuden vaihteluihin ja parantamiseen Ruvaslahdentiellä, Polvijärvellä kesän 2019 ajan. Lisäksi seurattiin biopolymeerin, Dustbinderin, vaikutusta tien rakennekerroksissa. Maa-ainestutkimukset suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Testausmenetelminä käytettiin SFS-EN-standardeja, joilla määritettiin maa-aineksen rakeisuus, vesi-, humus- ja puristuslujuus. Laboratoriotutkimuksissa tehtävät tutkimukset tehtiin yhdessä ohjaavan opettajan Vesa Kallion sekä mentorin laboratorioinsinööri Esa Perälän kanssa.

Tutkimustulosten perusteella voidaan päätellä, että biopolymeeri Dustbinder parantaa tien kantavuutta, kiinteyttää soratienpintaa ja tiivistää päällysrakenteita. Näin ollen tien pölyävyys saatiin paikoittain minimoitua ja tien kantavuutta kasvatettua suuremmaksi. Tien kantavuutta mitattiin pudotuspainolaite Loadmanilla ja myöhemmin keväällä 2020 KUAB FWD 50 -pudotuspainolaitteella. Näistä kahdesta menetelmästä tarkemmat tulokset kantavuusmittauksiin saatiin käyttämällä KUAB-pudotuspainolaitetta.

Laboratoriossa tehtyjen testien tuloksista selvää soratien rakeisuuden pysyvän samankaltaisena koko tutkimusjakson ajan. Suuria poikkeavuuksia Dustbinderin käyttäytymisestä maa-aineksen rakeisuudessa, vesipitoisuudessa tai humuspitoisuudessa ei havaittu tai järkeviä ratkaisuja pieniin poikkeamiin ei löydetty.

Puristuslujuudet vaativat lisätutkimuksia testien vaatiman materiaalin riittämättömyyden takia. Puristuslujuudet mitattiin koekappaleista, joista pystyttiin valmistamaan yhdet vertailunäytteet koekappaleita kohden. Näytteitä tulisi olla useampi kuin vain yksi koeluetta kohden varmempien tulosten aikaansaamiseksi.

Puristuslujuustestien mukaan Dustbinderillä käsitelty maa-aines olisi heikompa kantavuudeltaan kuin käsittelemätön luonnon maa-aines soratien pinnassa. Todellisuudessa tienpinta oli tiivis ja kova Dustbinderin levittämisen jälkeen.

Puristuslujuus kasvoi ajan myötä Dustbinderillä käsitellyissä koekappaleissa, mutta puristuslujuuden huomattiin kasvaneen myös pelkästään vedellä käsitellyissä koekappaleissa. Dustbinderillä käsiteltyjen koekappaleiden osalta puristuslujuuden kasvaminen on loogista, mutta lujuuden kasvua ei tulisi tapahtua pelkän veden vaikutuksesta missään tapauksessa. Tälle ilmiölle ei löydetty mitään järkevää selitystä työn yhteydessä.

Tierakenteen kantavuutta ja yläosan jäykkyyttä parantava vaikutus tuli parhaiten esille pudotuspainolaitemittausten yhteydessä. Tämä näkyi Dustbinderillä käsiteltyjen koelaiden huomattavasti pienempinä SCI-taipuma-arvoina verrattuna käsittelemättömien alueiden SCI-arvoihin.

Biopolymeeri Dustbinder todettiin toimivaksi soratien rakennekerroksien tiivistämisessä sekä soveltuvan hyvin sorateiden pintakelirikon estämiseen. Lisätutkimuksille nähdään kuitenkin olevan tarvetta puristuslujuuksien ja kantavuusmittausten osalta. KUAB-mittaukset tullaan uusimaan todellisen pintakelirikon ilmaantuessa ja soratien kunnon seuranta tullaan jatkamaan. Tierakenteiden seurannalla varmistetaan Dustbinderin pitkäaikaisvaikutus soratien pintakelirikon estämisessä.

LÄHTEET

1. Soratiet. 2019. Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/soratiet>. Hakupäivä 5.11.2019.
2. Mäentausta, Olli 2019. MFibrils Oy. Dokumentit ja keskustelut 2019.
3. Huuskonen, Oiva 2019. Kehittämispäällikkö, Destia Oy. Palaverit ja keskustelut 2019.
4. Tieverkko. 2017. Liikennevirasto. Saatavissa: <https://vayla.fi/tieverkko#.XcEjB-gzaUm>. Hakupäivä 5.11.2019.
5. Sorateiden kunnossapito. 2014. Liikenneviraston ohjeita 1/2014. Helsinki: Liikennevirasto. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf. Hakupäivä 6.11.2019.
6. Tien kunnon arviointi. 2017. Väylä. Saatavissa: <https://vayla.fi/tieverkko/kunnossapito/tien-kunnon-arviointi#.XcKh4zMzZaQ>. Hakupäivä 6.11.2019.
7. Tieverkon kunnossapito. 2017. Väylä. Saatavissa: <https://vayla.fi/tieverkko/kunnossapito/painorajoitukset#.XcKenjMzZaR>. Hakupäivä 6.11.2019.
8. Sorateiden hoito ja kunnostus. 2017. Helsinki: Tielaitos. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/thohje/pdf/sorateiden_hoito_ja_kunnostus.pdf. Hakupäivä 13.1.2020.
9. Ronkainen, Nanna 2012. Suomen ympäristökeskus. Suomen maalajien ominaisuuksia. Saatavissa: <https://core.ac.uk/download/pdf/14927376.pdf>. Hakupäivä 13.1.2020.
10. SFS-EN 933-1. 2012. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Raaka-aineiden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/9/201534.html.stx>. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 13.1.2020.

11. SFS-EN 1097-5. 2010. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 5: Kosteuspitoisuuden määrittäminen kuivaamalla tuuletetussa lämpökaapissa. Saatavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/1/143899.html.stx>. (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 17.9.2020.
12. SFS-käsikirja 179–2. 2008. Geotekninen Tutkimus ja Koestus. Osa 2: Maan laboratoriokoeket. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto SFS ry. Hakupäivä 28.8.2020.
13. CEN ISO/TS 17892-7:fi. 2004. Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan laboratoriokoeket. Osa 7: Hienorakeisen maan yksiaksiaalinen puristuskoe. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto 54 SFS ry. Saatavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID5/1/41970.html.stx> (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 13.1.2020.
14. Kannettava pudotuspainolaite, Loadman. Käyttöohje. 2015. AL-Engineering Oy. Saatavissa: <https://www.al-engineering.fi/downloads/loadman-kayttoohje.pdf>. Hakupäivä 5.11.2019.
15. Kannettava pudotuspainolaite, Loadman. AL-Engineering Oy. Saatavissa: <https://www.al-engineering.fi/fi/loadman.html>. Hakupäivä 6.6.2020.
16. KUAB FWD 50 -pudotuspainolaite. Saatavissa: <https://www.cdb.sk/en/road-data-bank/data-collection/kuab-fwd-50.alej>. Hakupäivä 6.8.2020.
17. Spoof, Harri – Petäjä, Sami 2000. VTT Yhdyskuntatekniikka. Tien Pohja- Ja Päälysrakenteet tutkimusohjelma. Pudotuspainolaitemittaus: PPL-mittaus. Saatavissa: <https://www.tieh.fi/tppt/pdf/1-pplmittaus.pdf>. Hakupäivä 6.8.2020.

Pintakelirikko 1:

- Tien pinta on pehmennyt yli 8 cm syvyydelle
- Autoilija joutuu lähes täysin pysähtymään ja arvioimaan, onko mahdollista päästä läpi
- Autoilijan on valittava ajolinjat tarkkaan
- Auton pohja saattaa koskettaa tietä
- Auton ohjaaminen on hyvin vaikeaa, tie voi tuntua liukkaalta

Pintakelirikko 2

- Tien pinta on pehmennyt 3–8 cm syvyydelle
- Ajonopeutta joudutaan laskemaan tuntuvasti
- Ajolinjoja on haettava
- Auton ohjaaminen on vaikeaa

Pintakelirikko 3

- Tien pinta on pehmennyt 1–3 cm syvyydelle
- Ajonopeutta joudutaan hieman laskemaan
- Tien pintaa on hieman tarkkailtava
- Auto ohjautuu tai huojuu hieman, mutta ohjaaminen ei ole kovin hankalaa

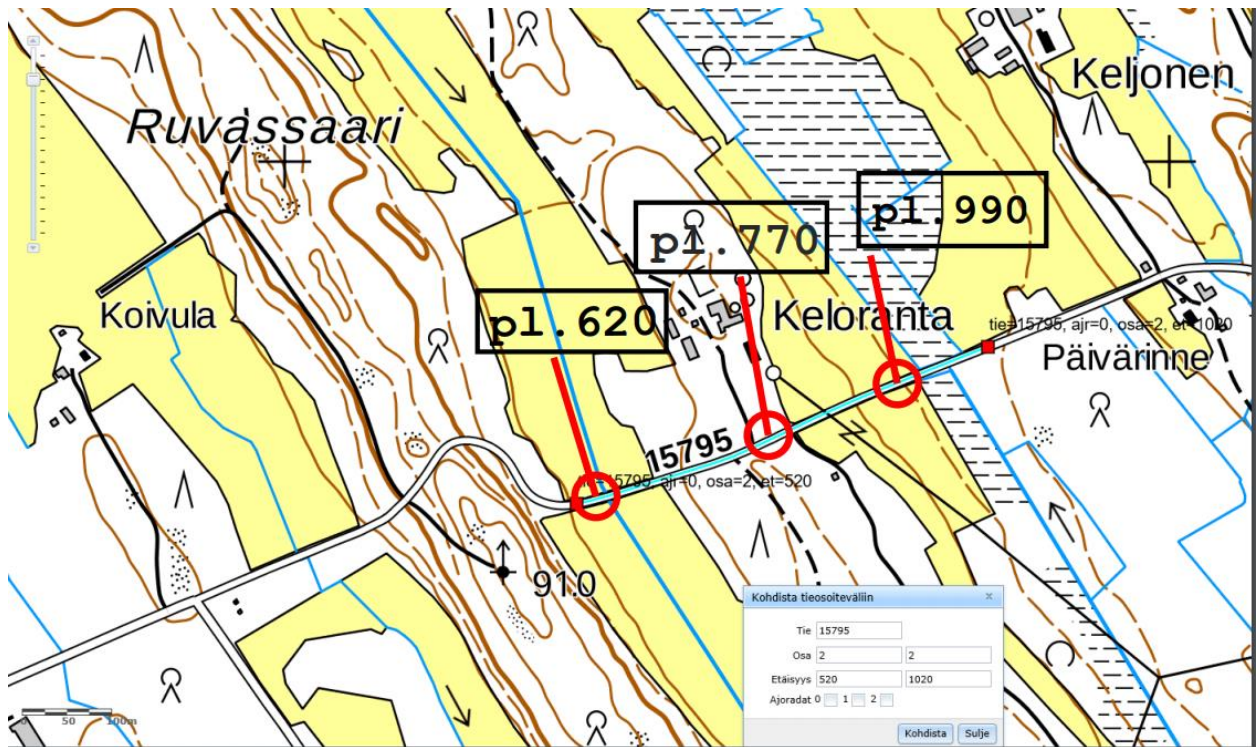
Pintakelirikko 4.

- Tien pinta on pehmentynyt alle 1 cm syvyydeltä
- Ajonopeutta ei tarvitse laskea
- Tien pintaa ei tarvitse erityisesti tarkkailla
- Tien pinta ei ole juurikaan pehmentynyt
- Auton ohjaamisessa ei ole ongelmia

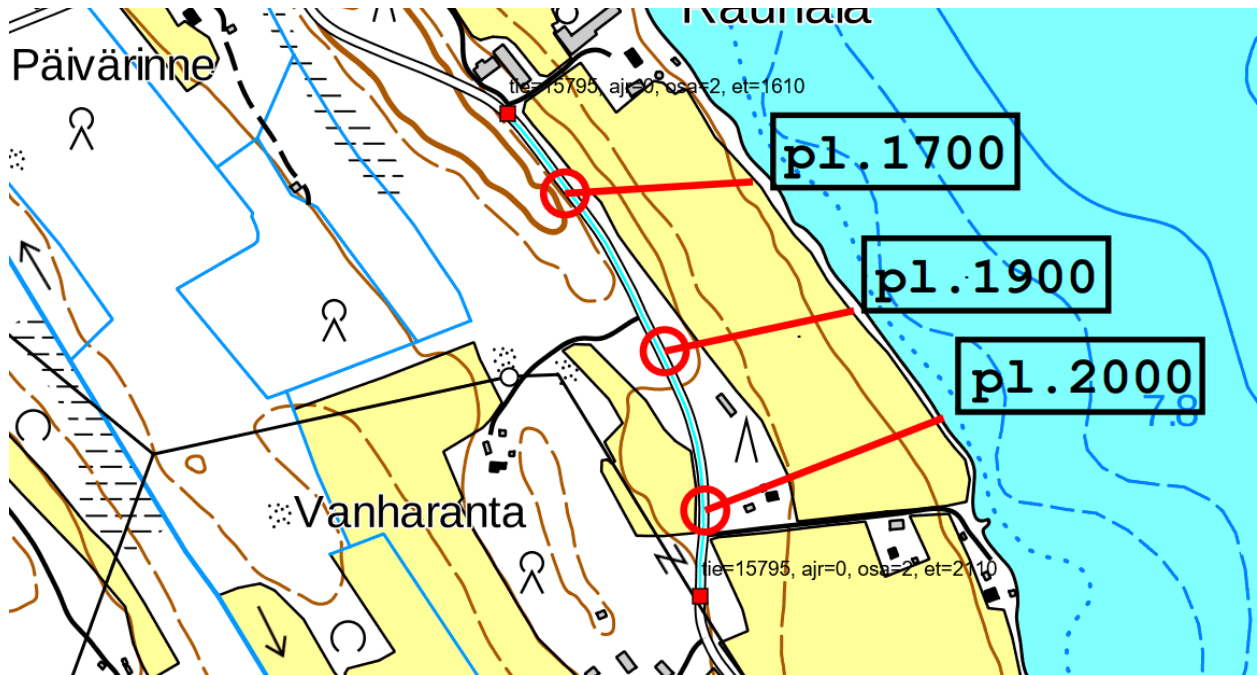
Tiekokeen osuuksien pintakelirikkoa koskevat havainnot. (3.)

Osuus nro	Tie 15795 tieosa 002 etäi- syys	Dust- Bin- der käyttö [m3]								
			7.10.2019	20.11.2019	19.3.2020	27.3.2020	16.4.2020	22.4.2020	27.4.2020	8.5.2020
1	520- 1020	15	4	4	3	3	3	3	4	4
2	1610- 2110	21	4	4	4 1)	4	4	4	4	4
3	2110- 2610	24	4	4	4 1)	4	4	4	4	4
4	3525- 4025	-	4	4	4 1)	4	4	4	4	4

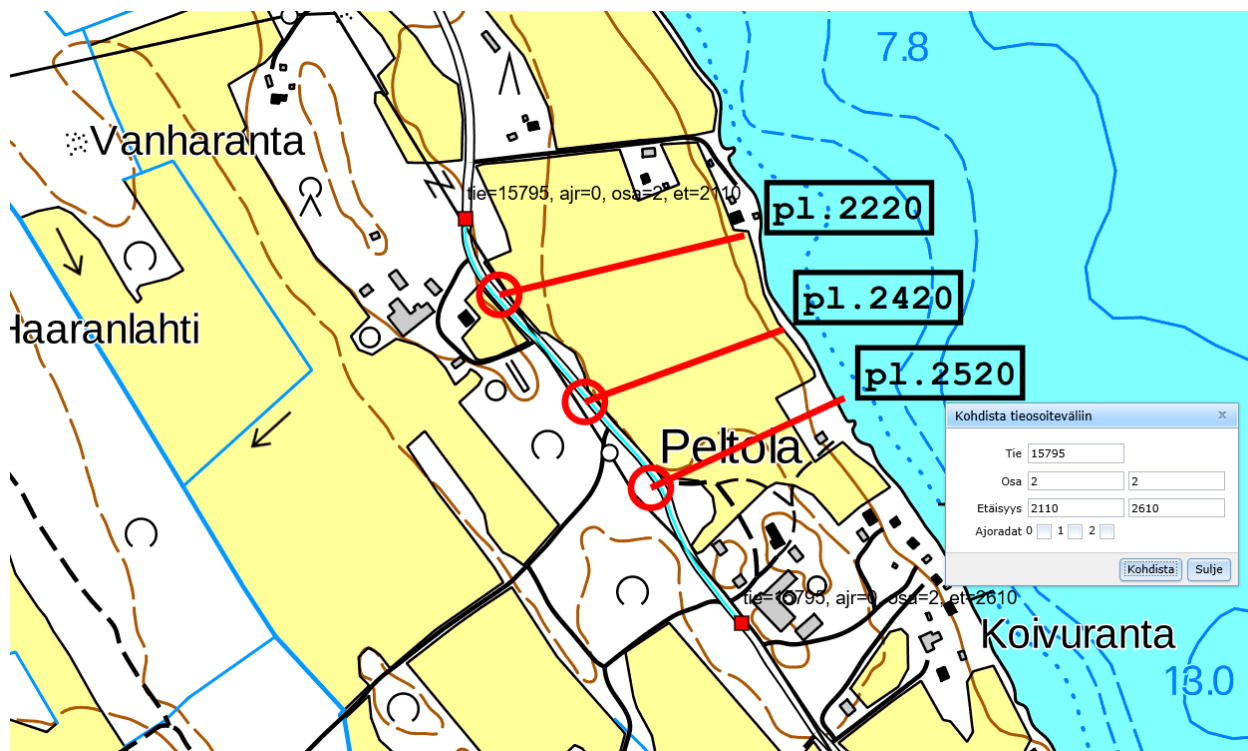
1) tien pinta osin jäässä



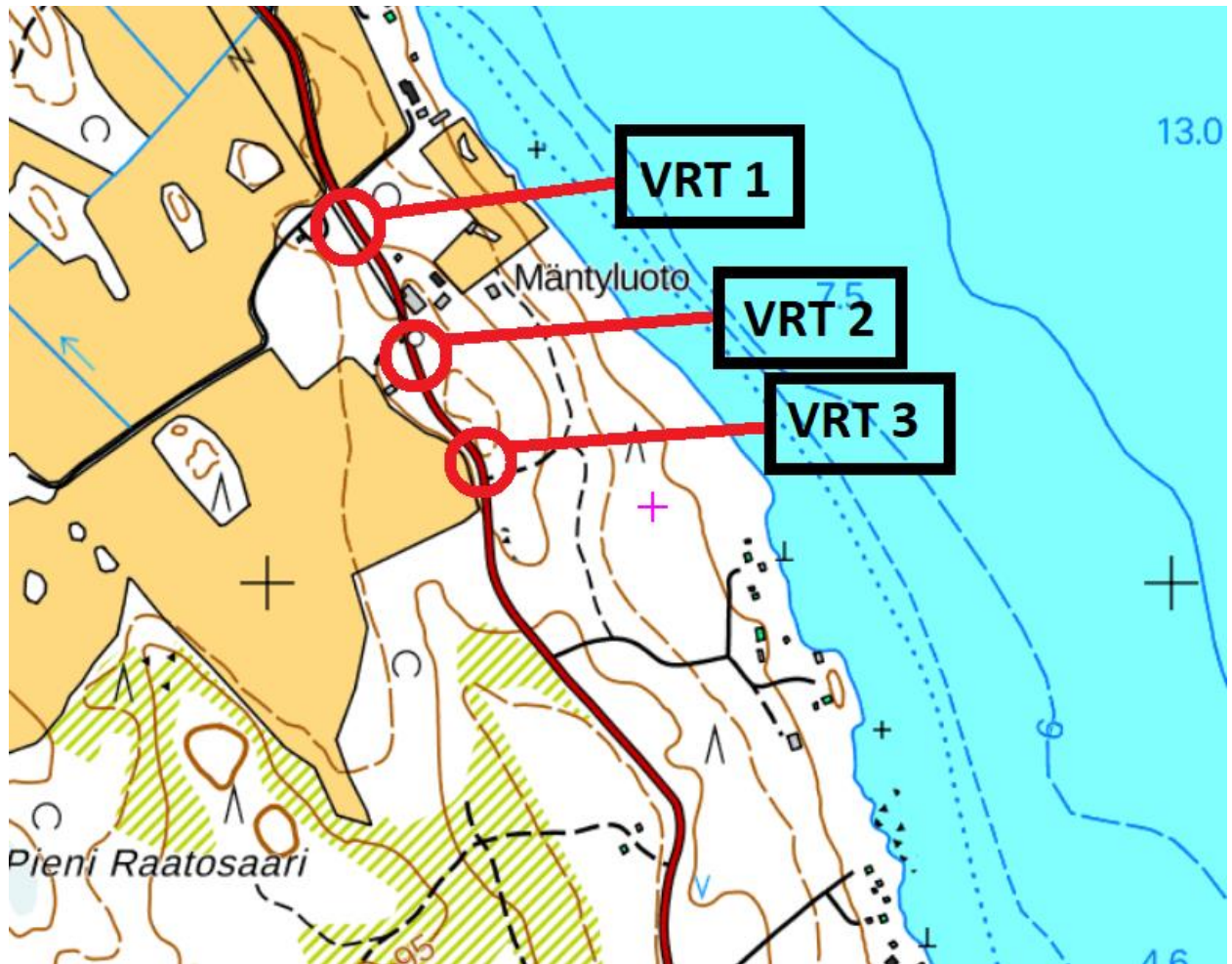
Koealueen 1 sijainti kartalla.



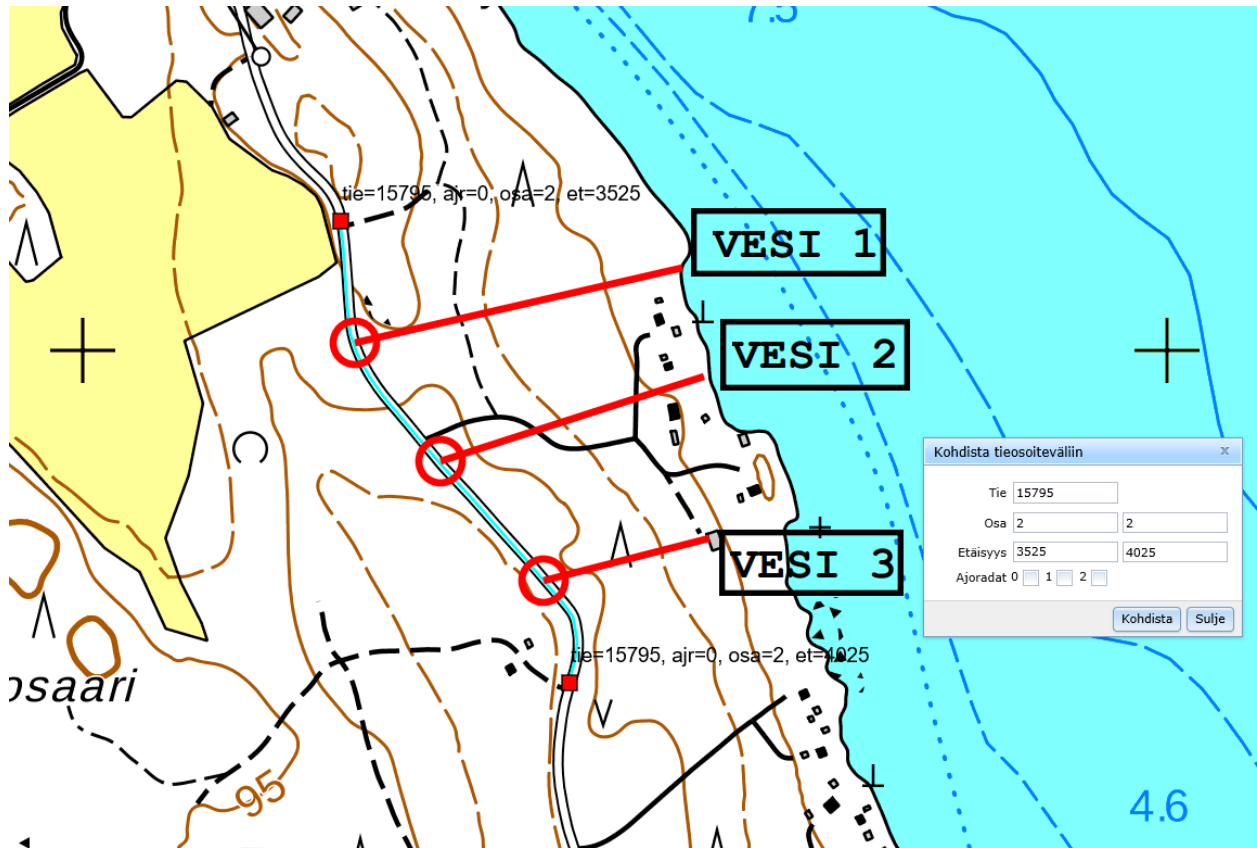
Koealueen 2 sijainti kartalla.



Koealueen 3 sijainti kartalla.



Koealueen VRT sijainti kartalla.



Koealueen VESI sijainti kartall

Liite 1



OULUN AMMATTIKORKEAKOULU

RAKENTAMISTEKNIIKAN OSASTO / RAKENNUS LABORATORIO

KIVIAINESTUTKIMUS / Rakeisuus pesuseulonta

Tilaaaja: Destia Oy / Mfibrils Oy

Työnumero:

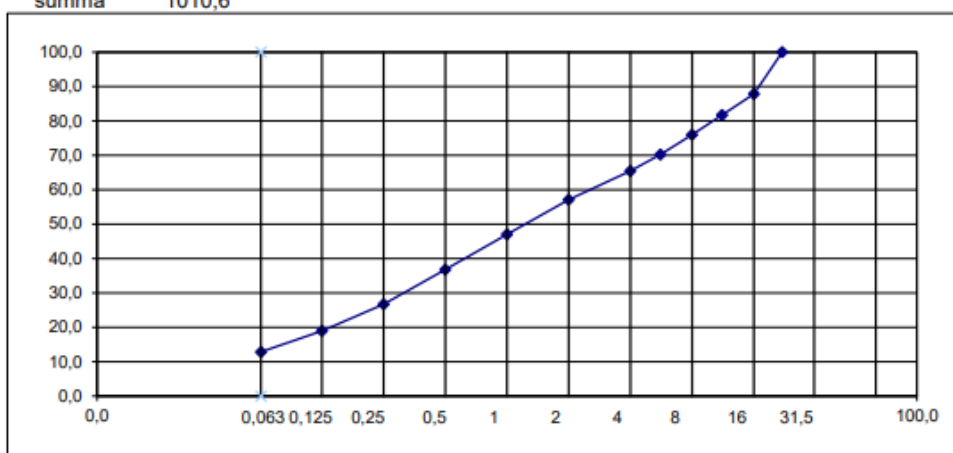
Työkohde: Ruvaslahti soratie 2km pätkä

seula #	seulalle jäi	seulalle jäi	läpäisy
[mm]	[g]	[%]	[%]
22,0	0	0,0	100,0
16	123	12,2	87,8
11,2	61,3	6,1	81,8
8	58,7	5,8	76,0
5,6	57,6	5,7	70,3
4,0	48,5	4,8	65,5
2,0	84,7	8,4	57,1
1,0	101,4	10,0	47,0
0,5	103,6	10,3	36,8
0,25	101,6	10,1	26,7
0,125	78,9	7,8	18,9
0,063	61,5	6,1	12,8
pohja	129,8	12,8	-
summa	1010,6		

Näytteen tiedot

Näyte: **770 Oikea**Vaaka: **V4**otto pvm. **21.5.2019**

seulasta pohja 4,8

Pohja = pesutappio + pohja 129,8

Menetelmät: SFS-EN 933-1 "2012" Rakeisuuden määrittäminen: Seulontamenetelmä

SFS-EN 933-3 "2012" Raemuodon määrittäminen: Litteysluku

Pvm: 10.6.2019

Tomi Kempainen

DUSTBINDERILLÄ KÄSITELLYN MAA-AINEKSEN RAKEISUUSKÄYRÄ

LIITE 4

Liite 1



RAKENTAMISTEKNIIKAN OSASTO / RAKENNUS LABORATORIO

KIVIAINESTUTKIMUS / Rakeisuus pesuseulonta

Tilaaaja: Destia Oy / Mfibrils Oy
 Työnumero:
 Työkohde: Ruvaslahti soratie 2km pätkä

seula # [mm]	seulalle jäi [g]	seulalle jäi [%]	läpäisy [%]
22,0	0	0,0	100,0
16	34,1	3,2	96,8
11,2	98,7	9,3	87,5
8	67,3	6,3	81,2
5,6	61,2	5,8	75,4
4,0	49,5	4,7	70,7
2,0	81,2	7,6	63,1
1,0	96,1	9,0	54,1
0,5	116,1	10,9	43,1
0,25	130,3	12,3	30,9
0,125	110,8	10,4	20,4
0,063	82,6	7,8	12,7
pohja	134,6	12,7	-
summa	1062,5		

Näytteen tiedot

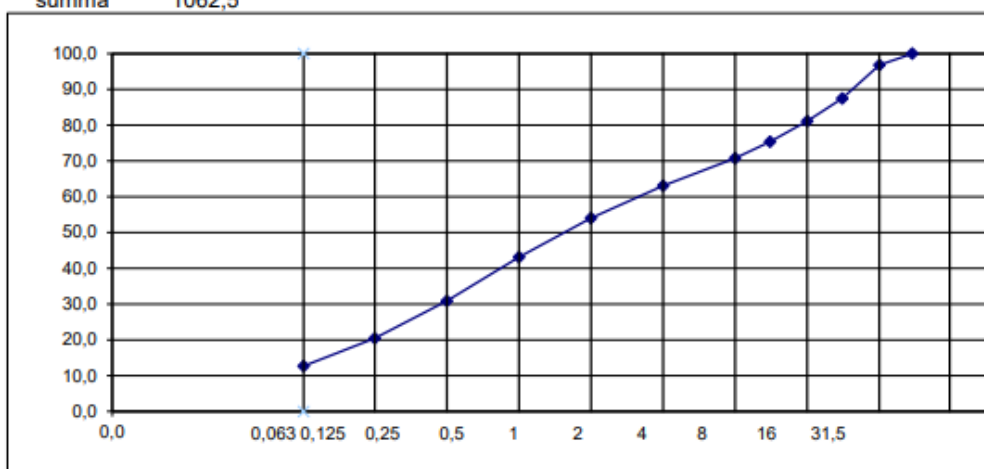
Näyte: **1900 oikea**

Vaaka: **V4**

otto pvm. **9.8.2019**

seulasta pohja

Pohja = pesutappio + pohja



Menetelmät: SFS-EN 933-1 "2012" Rakeisuuden määrittäminen: Seulontamenetelmä
 SFS-EN 933-3 "2012" Raemuodon määrittäminen: Litteysluku

Pvm: 15.8.2019

Tomi Kempainen

Ennen rakentamista			21.5.2019		
<i>Koe 1</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	620	1	125	117	0,94
		2	107	124	1,17
	770	1	50	80	1,59
		2	58	53	0,92
	920	1	81	96	1,18
		2	56	67	1,21
<i>Koe 2</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	1700	1	69	83	1,21
		2	71	77	1,09
	1900	1	54	67	1,23
		2	53	71	1,36
	2000	1	43	83	1,94
		2	57	82	1,45
<i>Koe 3</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	2220	1	52	77	1,49
		2	43	69	1,61
	2420	1	40	58	1,46
		2	50	67	1,33
	2520	1	42	63	1,49
		2	29	51	1,76
<i>Koe 4</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	VRT 1	1	41	65	1,56
		2	52	65	1,26
	VRT 2	1	37	76	2,05
		2	51	73	1,45
	VRT 3	1	64	93	1,46
		2	33	67	2,03
<i>Koe 5</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	2735	1	48	65	1,35
		2	49	120	2,46
	2860	1	67	94	1,41
		2	34	73	2,15
	3010	1	81	121	1,51
		2	35	92	2,62

2 vko jälkeen			3.7.2019		
<i>Koe 1</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	620	1	110	141	1,28
		2	76	216	2,91
	770	1	95	131	1,42
		2	104	164	1,61
	920	1	78	177	2,28
		2	67	239	3,59
<i>Koe 2</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	1700	1	98	268	2,81
		2	68	306	4,51
	1900	1	112	234	2,14
		2	180	282	1,61
	2000	1	125	190	1,52
		2	115	229	2,01
<i>Koe 3</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	2220	1	103	208	2,06
		2	94	256	2,79
	2420	1	138	244	1,82
		2	48	183	3,80
	2520	1	136	239	1,77
		2	143	244	1,76
<i>Koe 4</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	VRT 1	1	133	256	1,98
		2	139	250	1,80
	VRT 2	1	164	268	1,68
		2	193	289	1,51
	VRT 3	1	121	262	2,17
		2	35	143	4,19
<i>Koe 5</i>	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	<i>E2/E1</i>
	Vesi 1	1	149	200	1,37
		2	124	212	1,72
	Vesi 2	1	155	229	1,48
		2	117	234	2,05
	Vesi 3	1	151	262	1,75
		2	64	306	4,76

4 vko jälkeen		19.7.2019			
Koe 1	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	E2/E1
	620	1	78	204	2,62
		2	250	282	1,17
	770	1	110	407	3,86
		2	212	393	1,87
	920	1	224	367	1,65
		2	145	314	2,25
Koe 2	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	E2/E1
	1700	1	250	393	1,58
		2	216	355	1,71
	1900	1	212	324	1,54
		2	333	314	0,98
	2000	1	324	379	1,23
		2	193	306	1,59
Koe 3	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	E2/E1
	2220	1	220	268	1,26
		2	216	306	1,43
	2420	1	172	314	1,89
		2	212	314	1,54
	2520	1	115	423	3,71
		2	172	282	1,69
Koe 4	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	E2/E1
	VRT 1	1	275	333	1,26
		2	193	367	1,91
	VRT 2	1	306	306	1,01
		2	216	297	1,43
	VRT 3	1	134	229	1,71
		2	204	314	1,60
Koe 5	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	E2/E1
	Vesi 1	1	159	250	1,57
		2	229	289	1,11
	Vesi 2	1	147	239	1,64
		2	153	268	1,81
	Vesi 3	1	151	324	2,16
		2	183	297	1,68

8 vko jälkeen			8.8.2019		
Koe 1	<i>Paalu</i>	<i>Kaista</i>	<i>E1</i>	<i>E2</i>	E2/E1
	620	1	224	234	1,04
		2	169	282	1,67
	770	1	167	297	1,78
		2	289	407	1,41
	920	1	212	289	1,36
		2	220	289	1,31
Koe 2					
	1700	1	216	478	2,21
		2	344	917	2,67
	1900	1	204	500	2,45
		2	120	220	1,83
	2000	1	220	344	1,56
		2	239	262	1,10
Koe 3					
	2220	1	177	262	1,48
		2	169	314	1,86
	2420	1	183	314	1,72
		2	186	306	1,65
	2520	1	250	208	0,83
		2	204	224	1,10
Koe 4					
	VRT 1	1	180	344	1,91
		2	262	423	1,61
	VRT 2	1	239	324	1,36
		2	186	282	1,52
	VRT 3	1	193	200	1,04
		2	71	224	3,15
Koe 5					
	Vesi 1	1	229	367	1,60
		2	177	262	1,48
	Vesi 2	1	190	282	1,48
		2	220	297	1,35
	Vesi 3	1	193	344	1,78
		2	262	250	0,95

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/1

								mitattu
TIE	OSA	ET	PVM	AIKA	MITTAAJA	LAITETUNN	E2 OHJ	E2
15795	2	500	22.6.2020	21:18:42	JMV	123	80	218
15795	2	545	22.6.2020	22:30:26	JMV	123	80	136
15795	2	600	22.6.2020	21:19:45	JMV	123	80	121
15795	2	650	22.6.2020	22:29:15	JMV	123	80	187
15795	2	700	22.6.2020	21:21:24	JMV	123	80	260
15795	2	750	22.6.2020	22:28:10	JMV	123	80	159
15795	2	800	22.6.2020	21:22:30	JMV	123	80	211
15795	2	850	22.6.2020	22:27:03	JMV	123	80	143
15795	2	900	22.6.2020	21:23:27	JMV	123	80	198
15795	2	950	22.6.2020	22:26:04	JMV	123	80	175
15795	2	1000	22.6.2020	21:24:26	JMV	123	80	171
15795	2	1050	22.6.2020	22:25:05	JMV	123	80	182
15795	2	1100	22.6.2020	21:25:27	JMV	123	80	168
15795	2	1150	22.6.2020	22:24:01	JMV	123	80	152
15795	2	1200	22.6.2020	21:26:27	JMV	123	80	201
15795	2	1250	22.6.2020	22:23:04	JMV	123	80	234
15795	2	1300	22.6.2020	21:27:25	JMV	123	80	131
15795	2	1350	22.6.2020	22:22:08	JMV	123	80	149
15795	2	1400	22.6.2020	21:28:28	JMV	123	80	231
15795	2	1450	22.6.2020	22:21:02	JMV	123	80	151
15795	2	1500	22.6.2020	21:29:29	JMV	123	80	215
15795	2	1550	22.6.2020	22:19:55	JMV	123	80	306
15795	2	1600	22.6.2020	21:30:25	JMV	123	80	287
15795	2	1650	22.6.2020	22:18:55	JMV	123	80	314
15795	2	1700	22.6.2020	21:31:21	JMV	123	80	212
15795	2	1750	22.6.2020	22:17:55	JMV	123	80	289
15795	2	1800	22.6.2020	21:32:18	JMV	123	80	240
15795	2	1850	22.6.2020	22:16:57	JMV	123	80	202
15795	2	1900	22.6.2020	21:33:17	JMV	123	80	302
15795	2	1950	22.6.2020	22:15:56	JMV	123	80	219
15795	2	2000	22.6.2020	21:34:13	JMV	123	80	191
15795	2	2050	22.6.2020	22:14:50	JMV	123	80	149
15795	2	2100	22.6.2020	21:35:13	JMV	123	80	220
15795	2	2150	22.6.2020	22:13:53	JMV	123	80	181
15795	2	2200	22.6.2020	21:36:12	JMV	123	80	178
15795	2	2250	22.6.2020	22:12:53	JMV	123	80	210
15795	2	2300	22.6.2020	21:37:09	JMV	123	80	190
15795	2	2350	22.6.2020	22:11:43	JMV	123	80	195
15795	2	2400	22.6.2020	21:38:10	JMV	123	80	216
15795	2	2450	22.6.2020	22:10:43	JMV	123	80	127
15795	2	2500	22.6.2020	21:39:22	JMV	123	80	211
15795	2	2550	22.6.2020	22:09:40	JMV	123	80	265
15795	2	2600	22.6.2020	21:40:21	JMV	123	80	360
15795	2	3500	22.6.2020	21:43:06	JMV	123	80	468
15795	2	3550	22.6.2020	22:06:49	JMV	123	80	348
15795	2	3600	22.6.2020	21:44:09	JMV	123	80	179
15795	2	3650	22.6.2020	22:05:50	JMV	123	80	162
15795	2	3700	22.6.2020	21:45:08	JMV	123	80	152

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/2

15795	2	3750	22.6.2020	22:04:52	JMV	123	80	209
15795	2	3800	22.6.2020	21:46:03	JMV	123	80	105
15795	2	3850	22.6.2020	22:03:56	JMV	123	80	127
15795	2	3900	22.6.2020	21:47:19	JMV	123	80	142
15795	2	3950	22.6.2020	22:02:59	JMV	123	80	146
15795	2	4000	22.6.2020	21:48:18	JMV	123	80	130
15795	2	4050	22.6.2020	22:02:02	JMV	123	80	152
15795	2	4100	22.6.2020	21:49:18	JMV	123	80	160
15795	2	4150	22.6.2020	22:01:03	JMV	123	80	192
15795	2	4200	22.6.2020	21:50:33	JMV	123	80	188
15795	2	4250	22.6.2020	21:59:59	JMV	123	80	138
15795	2	4300	22.6.2020	21:51:45	JMV	123	80	166
15795	2	4350	22.6.2020	21:58:51	JMV	123	80	158
15795	2	4400	22.6.2020	21:52:52	JMV	123	80	290
15795	2	4450	22.6.2020	21:57:42	JMV	123	80	191
15795	2	4500	22.6.2020	21:53:52	JMV	123	80	187

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/3

kevätkantavuus					
E2_T	E2_T_K2	E2_E1	AKANT	BCI	SCI
218	153		172	30	247
136	95		28	87	201
121	84		53	115	240
187	131		138	36	304
261	182		188	27	215
159	111		158	39	346
211	148		172	35	231
143	100		155	29	331
198	139		101	43	237
175	123		108	47	251
171	120		106	45	314
182	127		113	38	302
168	118		102	53	262
153	107		87	56	297
201	141		155	38	275
234	164		166	35	230
131	92		97	40	444
149	105		905	18	444
231	162		276	33	248
151	106		3317	17	454
215	150		553	8	362
306	214		237	20	180
287	201		181	30	192
314	220		237	27	160
211	148		249	40	235
290	203		221	32	189
240	168		191	28	251
202	141		237	23	320
301	211		231	15	213
219	153		207	30	298
191	134		172	43	243
149	104		114	59	302
220	154		311	21	252
181	126		149	45	297
179	125		142	45	290
210	147		131	37	232
190	133		123	39	252
196	137		133	37	246
216	151		302	19	290
127	89		237	19	565
211	148		178	29	250
265	186		249	19	233
360	252		302	14	170
469	328		321	14	130
348	243		262	17	171
179	125		131	41	332
162	113		109	47	286
152	107		121	49	364

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/4

209	146		226	23	278
105	74		126	59	603
127	89		166	37	522
142	100		151	39	434
146	102		151	42	425
130	91		142	39	483
152	106		155	38	388
160	112		181	34	387
192	135		829	29	326
188	132		4975	5	387
138	96		136	60	387
167	117		184	33	366
158	111		905	30	408
290	203		1658	2	246
191	134		262	24	355
187	131		355	27	333

	<i>E2</i>	<i>E2_T</i>	<i>E2_T_K2</i>	<i>BCI</i>	<i>SCI</i>
Keskiarvo	201	201	141	35	305
Keskihajonta	65	65	46	18	98

BCI-arvo kuvaa miten tien päällysrakenne kykenee jakamaan akselikuormaa pohjamaan päällä.

SCI-arvot kuvaavat päällysrakenteen yläosan jäykkyyttä kuormituksen alla.

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/5

Koalueen 2 KUAB-mittaustulokset

KOE 2				KEVÄT								
				MITATTU	KANTAVUUS							
TIE	OSA	ET	PVM	E2	E2_T_K2	BCI	D90_T	D120_T	SCI	D0_T	D20_T	
15795	2	1600	22.6.2020	468	328	30	85	55	192	543	351	
15795	2	1650	22.6.2020	348	243	27	69	42	160	497	337	
15795	2	1700	22.6.2020	179	125	40	80	40	235	738	503	
15795	2	1750	22.6.2020	162	113	32	77	45	189	539	350	
15795	2	1800	22.6.2020	152	107	28	80	52	251	649	398	
15795	2	1850	22.6.2020	209	146	23	65	42	320	774	454	
15795	2	1900	22.6.2020	105	74	15	58	43	213	518	305	
15795	2	1950	22.6.2020	127	89	30	78	48	298	713	415	
15795	2	2000	22.6.2020	142	100	43	101	58	243	816	573	
15795	2	2050	22.6.2020	146	102	59	146	87	302	1046	744	
15795	2	2100	22.6.2020	130	91	21	53	32	252	709	457	
15795	2	2150	22.6.2020	152	106	45	112	67	297	864	567	
Keskiarvo				193	135	33	84	51	246	701	455	
Keskiha- jonta				102	71	12	25	14	49	157	121	

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/6

Koealueen 3 KUAB-mittaustulokset

KOE 3				KEVÄT								
				MITATTU	KANTA-VUUS							
TIE	OSA	ET	PVM	E2	E2_T_K2	BCI	D90_T	D120_T	SCI	D0_T	D20_T	
15795	2	2100	22.6.2020	220	154	21	53	32	252	709	457	
15795	2	2150	22.6.2020	181	126	45	112	67	297	864	567	
15795	2	2200	22.6.2020	178	125	45	115	70	290	874	584	
15795	2	2250	22.6.2020	210	147	37	113	76	232	742	510	
15795	2	2300	22.6.2020	190	133	39	120	81	252	822	570	
15795	2	2350	22.6.2020	195	137	37	112	75	246	798	552	
15795	2	2400	22.6.2020	216	151	19	52	33	290	724	434	
15795	2	2450	22.6.2020	127	89	19	61	42	565	1228	663	
15795	2	2500	22.6.2020	211	148	29	85	56	250	738	488	
15795	2	2550	22.6.2020	265	186	19	59	40	233	588	355	
15795	2	2600	22.6.2020	360	252	14	47	33	170	434	264	
Keskiarvo Keskiha- jonta				214	150	29	84	55	280	775	495	
				56	39	11	29	19	96	187	108	

KUAB FWD 50-PUDOTUSPAINOLAITTEELLA SAADUT TULOKSET KEVÄÄLLÄ 2020

LIITE 6/7

Koalueen Vesi KUAB-mittaustulokset

KOE 5 Vesi				KEVÄT							
				MITATTU	KANTAVUUS	D90_T	D120_T	SCI	DO_T	D20_T	
TIE	OSA	ET	PVM	E2	E2_T_K2	BCI	D90_T	D120_T	SCI	DO_T	D20_T
15795	2	3500	22.6.2020	468	328	14	45	31	130	333	203
15795	2	3550	22.6.2020	348	243	17	55	38	171	449	278
15795	2	3600	22.6.2020	179	125	41	117	76	332	873	541
15795	2	3650	22.6.2020	162	113	47	138	91	286	965	679
15795	2	3700	22.6.2020	152	107	49	131	82	364	1025	661
15795	2	3750	22.6.2020	209	146	23	67	44	278	747	469
15795	2	3800	22.6.2020	105	74	59	138	79	603	1482	879
15795	2	3850	22.6.2020	127	89	37	97	60	522	1227	705
15795	2	3900	22.6.2020	142	100	39	105	66	434	1096	662
15795	2	3950	22.6.2020	146	102	42	108	66	425	1072	647
15795	2	4000	22.6.2020	130	91	39	109	70	483	1199	716
15795	2	4050	23.6.2020	152	106	38	102	64	388	1027	639
Keskiarvo Keskiha- jonta				193	135	37	101	64	368	958	590
				102	71	13	30	17	133	309	183