



SAVONIA

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

ERILAISTEN KELIRIKKORA- KENTEIDEN ARVIOINTI

TEKIJÄ/T: Tuomas Rissanen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Tuomas Rissanen	
Työn nimi Erilaisten kelirikkorakenteiden arviointi	
Päiväys 22.10.2015	Sivumäärä/Liitteet 26/39
Ohjaaja(t) Mervi Heiskanen, tuntiopettaja, Juha Pakarinen, tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy, Oiva Huuskonen	
Tiivistelmä <p>Opinnäytetyössä käsiteltiin erilaisten kelirikkorakenteiden arviointia. Kohteina oli kaksi Juvan alueurakan tieosuutta, joihin oli tehty kolmea erilaista rakenteen parannusta. Kohteita oli paranneltu tien kulkukelpoisuuden parantamiseksi kelirikko-aikaan. Tavoitteena oli kerätä mittausdataa näistä parannusmenetelmistä, erityisesti kivimurskaimella tehdystä menetelmästä, jota Destia yrittää saada tuotteistettua.</p> <p>Opinnäytetyön teoriaosuudessa on käsitelty routaa ja kelirikkoa yleisesti sekä niiden aiheuttamia ongelmia. Työssä on kerrottu näistä kelirikkorakenteista ja lisäksi on kerrottu pääpiirteittäin näiden menetelmien tekotavasta. Teoriaosuuteen kuuluu myös osuus mittauskohteisiin tehdystä mittauksista. Mittaukset tehtiin kesällä 2015 ja niihin kuuluivat pudotuspainokokeet, kuvien ottaminen sekä maa-ainesnäytteiden kerääminen. Teoriaosuudessa käytettiin erilaisia infra- ja rakennusalan julkaisuja internetistä sekä alan kirjallisuutta.</p> <p>Opinnäytetyön tuloksena laadittiin suunnitelmien mukainen arviointiraportti erilaisista kelirikkorakentamisessa käytetyistä menetelmistä. Opinnäytetyön tuloksia voidaan käyttää kivimurskainmenetelmän tuotteistamisessa, sekä voidaan vertailla erilaisien mahdollisuuksien sopivuutta oikeaan kohteeseen.</p>	
Avainsanat Kelirikko, kivimurskain, suodatinkangas, geoverkko	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Tuomas Rissanen			
Title of Thesis Evaluation of Different Types of Frost Heave Structures			
Date	22 October 2015	Pages/Appendices	26/39
Supervisor(s) Mrs. Mervi Heiskanen, Lecturer and Mr. Juha Pakarinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Destia Oy, Oiva Huuskonen			
<p>Abstract</p> <p>This thesis deals with the evaluation of different types of frost heave structures. Two sites were observed from Juva's contract area where three different types of structural improvements have been used. Improvements on the sites have been made to improve the passability during frost heave. The aim was to gather measurement data from these method improvements which have been applied on the sites, especially where a stone cutter has been used, which is a method that Destia is trying to productize</p> <p>The literature review discusses ground frost and frost heave in general, as well as the problems which they cause. It also goes over the three different types of structures and gives an overview of how the methods are applied. Gathering of the data is also introduced. The data was gathered in the summer of 2015 and it included tests by a falling weight deflectometer, taking photographs as well as gathering gravel samples from the sites. The literature review is based on publications within the construction and infra sectors.</p> <p>As a result of the observations and the data gathered, a systematic evaluation report on the different methods used in frost heave structures was produced. The results of this thesis can be used to help with the productizing of the stone cutter method, as well as to help to compare the compatibility of different methods to the right sites.</p>			
Keywords frost heave, stone cutter, filtter fabric, geomat			

ESIPUHE

Tein opinnäytetyöni Destia Oy:lle. Haluan kiittää Destia Oy:tä opinnäytetyöni aiheesta ja mahdollisuudesta olla mukana uuden menetelmän tuotteistamisen aloittamisessa. Kiitos kuuluu kaikille niille henkilöille, jotka olivat mukana työni eri vaiheissa ja auttoivat sen läpi viennissä. Erityiset kiitokset myös opinnäytetyöni 1.ohjaaja Mervi Heiskaselle sekä Destian kehityspäällikkö Oiva Huuskoselle. Lisäksi haluan kiittää avopuolisoani, perhettäni sekä ystäviäni tuesta opinnäytetyön aikana.

Kuopiossa 2015

Tuomas Rissanen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Työn tausta ja tavoitteet.....	7
1.2	Destia Oy	8
2	MITÄ KELIRIKKO ON?	9
2.1	Kelirikkokäsitteitä	9
2.2	Routa.....	10
2.3	Routanousu ja sulamispainumat	10
2.4	Kantavuus	11
3	TUTKIMUSKOHTEIDEN RAKENTEET	12
3.1	Suodatinkangasrakenne.....	12
3.2	Geoverkkorakenne	13
3.3	Kivimurskainrakenne	13
4	KELIRIKKOKOHTEIDEN MITTAUKSET	15
4.1	Mittaus järjestelyt	15
4.2	Kantavuuden mittaus Loadmanilla	15
4.3	Routanousukokeet	16
4.4	Rakeisuusnäytteet, kuivaseulonta	16
5	TULOSTEN ANALYSOINTI	18
5.1	Silmämääräiset arviot ja havainnot	18
5.1.1	Auvilantie 15178.....	18
5.1.2	Jyrinäahontie 15334	19
5.2	Loadmanin tulokset	19
5.2.1	Jyrinahontie 15178	19
5.2.2	Auvilantie 15334.....	21
5.3	Routanousukokeiden tulokset.....	22
5.4	Rakeisuuskäyrien tulokset	22
6	YHTEENVETO	24
6.1	Oman tuotoksen analysointi	24

6.2	Suodatinkangas	24
6.3	Geoverkko	25
6.4	Kivimurskain	25
LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT		26
LIITE 1: LOADMAN TULOKSET		27
LIITE 2: TUTKIMUSSELOSTE ROUTANOUSUKOKEET JA RAKEISUUSKÄYRÄ		54
LIITE 3: ROUTANOUSUKOKEIDEN TULOKSET JA KUVAT		60

1 JOHDANTO

Suomi tunnetaan metsätalousmaana. Suomeen ollaan rakentamassa Äänekoskelle uutta biotuote-tehdasta ja Kuopion Sorsasaloon suunnitellaan uutta, kooltaan jättimäistä, sellutehdasta. (Kuva 1) Tämä lisää puiden kuljetuksia merkittävästi alemmalla tieverkolla Itä- ja Keski-Suomessa. Yleensä metsien hakkuut ovat sorateiden varrella ja Suomessa onkin valtion ylläpitämiä sorapintaisia teitä n. 27 000 km. Ongelmana on varsinkin keväisin ja osin syksyisin kelirikko, joka johtuu tierakenteen routimisesta. Tämän seurauksena tielle voi olla pakollista laittaa painorajoituksia, jotka sotkevat mm. puidenkuljetuksia, sekä aiheuttavat päänvaivaa myös karjatiloilille. (ELY-keskus 2015.)



Kuva 1. Äänekosken biotuotehtaan takia uusitaan jo asfalttipinnoitteita. (Rissanen 2015-08-05)

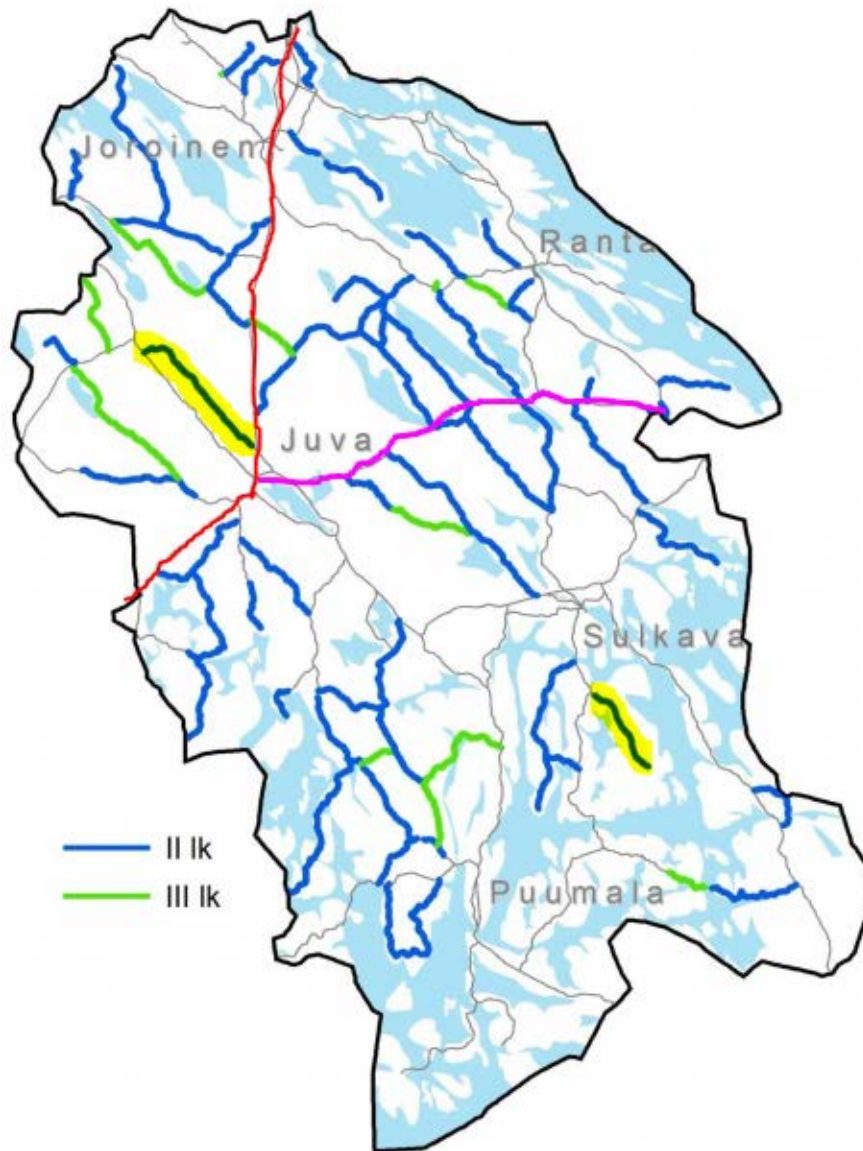
1.1 Työn tausta ja tavoitteet

Teoriaosuudessa kerron yleisesti sorateistä, kelirikosta, tehtävistä mittauksista, kantavuudesta ja sen parantamismahdollisuuksista sorateilla. Käytännön osuudessa käsittelen mittaustuloksia ja vertailen niitä keskenään. Tavoitteenani on tehdä raportti, jota Destia voi käyttää hyväksi tulevaisuuden kelirikko-kohteiden parantamisen suunnittelussa ja oikean menetelmän valitsemisessa.

Opinnäytetyössäni tutkitaan kolmea erilaista kelirikkorakennetta ja tutkimuksen pääpaino kohdistuu kivimurskaimella tapahtuvaan menetelmään. Destia on panostanut paljon ko. menetelmään ja haluaa aloittaa menetelmän tuotteistamisen ja myymisen eteenpäin. Kaksi muuta rakennetta ovat yleensä kelirikko-kohteisiin tehtävä suodatinkangas-murske -rakenne sekä kokeilumielessä tehty geoverkko-murske -rakenne.

Opinnäytetyöni aiheen sain Destian kehityspäällikkö Oiva Huuskoselta keväällä 2015. Yhdessä aloimme suunnitella tehtäviä mittauksia ja missä nämä mittaukset tehtäisiin. Mittauskohteet sijaitsevat Juvan alueurakan alueella. (Kartta 1) Kivimurskaimella tehty tieosuus on Sulkavalla Auvilantiellä,

tiellä numero 15178. Suodatinkangas- sekä geoverkko-rakenteella tehty osuus on Juvalla Jyrinahon-
tiellä, tiellä numero 15334.



Kartta 1. Mittauskohteiden sijainti. Keltaisella ylivivatut ovat kohteet, punainen viiva on valtatie 5 ja aniliinin väri on valtatie 14. Sininen väri on soratien hoitoluokka II ja vihreä on luokka III. (HYYRY-LÄINEN 2015-30-01)

1.2 Destia Oy

Destia Oy on suomalainen infra- ja rakennusalan palveluja tuottava yritys. Yritys tarjoaa monipuolisia palveluita suunnittelusta, rakentamisesta alkaen aina ylläpitoon ja erilaisiin mittauspalveluihin. Destia suunnittelee ja toteuttaa vaikeita kohteita ja Destialla on asiakkaitaan niin yksityisiä kuin kunnallisia asiakkaita. Destialla on erikseen rakentamiseen, kunnossapitoon, ratapuolelle, kiviainespuolelle, suunnittelu- sekä mittaus- ja tutkimuspuolelle erikoistuneet yksiköt, jotka tuottavat palveluita. Destian liikevaihto vuonna 2014 oli yli 430 miljoonaa euroa ja työntekijöitä yrityksessä on noin 1 500. (Destia 2015.)

2 MITÄ KELIRIKKO ON?

Sorateiden rakenteelliseen kuntoon vaikuttaa vahvasti se, että hyvin suurelta osin soratiet ovat rakenteeltaan rakentamattomia teitä. Tämä tarkoittaa sitä että niistä puuttuvat oikeanlaiset rakennekerrokset ja tarvittavat rakenteelliset ominaisuudet, joita tie vaatisi erityisesti kelirikko-aikaan. (Kuva 2) Tällainen rakentamattomuus yhdessä roudan vaikutusten kanssa aiheuttaa tiestössä pintakelirikkaa ja myös runkokelirikkaa, joka vaikeuttavat hyvin paljon tiellä tapahtuvaa liikennöintiä ja aiheuttaa sen, että tiellä on asetettava painorajoituksia. Pintakelirikko on yleisempää kuin runkokelirikko, mutta ei runkokelirikkokään ole lainkaan harvinaista. (Tiehallinto, Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjat 2008, 27.)



Kuva 2. Kelirikkokohteen parannusta tehtäessä keväällä 2015 Vesannon Oinaskylällä murskeen ajossa ollut kuorma-auto upposi pehmeään tiehen. (Rissanen 2015-05-18)

2.1 Kelirikkokäsitteitä

Pintakelirikko: Tien pintaosan sulamisen johdosta tapahtuva kulkukelpoisuuden aleneminen. Tämä tapahtuu, kun tien pintaosa on sulanut noin 10- 15 cm syvyyteen. Tien sulamisessa vapauttama vesi, sateet ja sivuilta valuvat sulamisvedet pitkittävät pintakelirikkaa. (Tiehallinto, Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen 2007, 7.)

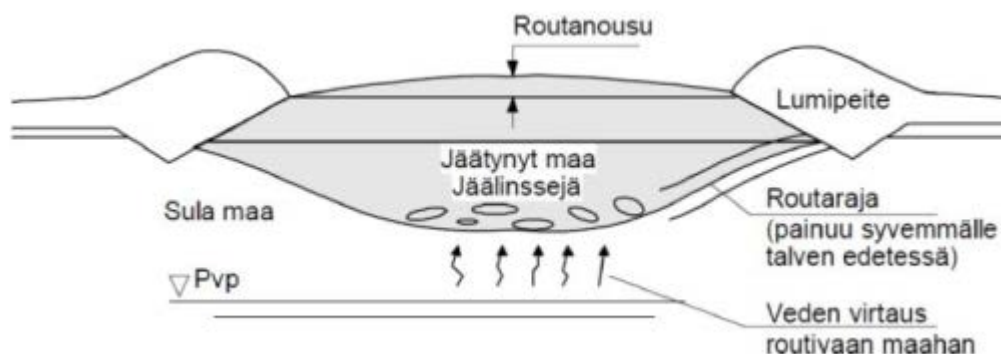
Paikalliset olosuhteet: Tekijöitä, jotka vaikuttavat mm. roudan sulamiseen ja tien kelirikon etenemiseen. Tähän vaikuttavat, esimerkiksi pakkasmäärä, lumimäärä, kohteen maastonmuodot. (Tiehallinto, Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen 2007, 7.)

Runkokelirikko: Tien rungossa olevan veden ja mahdollisten jäälinsien sulamisen seurauksena tapahtuvan tien kantavuuden ja kulkukelpoisuuden aleneminen. Seurausta siitä, että tien rungossa oleva vesi ei pääse poistumaan rakenteesta. Ylimääräinen vesi kyllästyttää rakenteita ja yhdessä mekaanisen rasituksen kanssa aiheuttaa runkokelirikkoa. Alkaa, kun tien runko on sulanut 10 - 15 cm:n alapuolelle. (Tiehallinto, Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen 2007, 8.)

Syyskelirikko: Syksyn rankoista sateista johtuva tien kantavuuden ja kulkukelpoisuuden aleneminen. Seurausta siitä, että sateet nostavat pohjeveden pintoja, mikä lisää tierungon vesipitoisuutta. (Tiehallinto, Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen 2007, 8.)

2.2 Routa

Routa on oleellisessa osassa kelirikon synnyssä. Lämpötilan laskiessa tien rungossa alle 0 °C:n, maassa oleva huokosvesi jäätyy. Rakenteen jäätymistä kutsutaan routaantumiseksi ja se lisää rakenteen jäykkyyttä ja kuormituskestävyyttä merkittävästi, sekä aiheuttaa routanousua. (Kuva 3) Kuitenkin lämpötilan noustessa ja roudan lähtiessä sulamaan rakenne sulaa ylhäältä ja alhaalta päin. Tämä aiheuttaa sen, että keväällä sulamisvedet eivät pääse läpäisemään tierakennetta ja vesi jää pintarakenteeseen. Tämä yhdessä liikenteen rasituksen kanssa aiheuttaa tien velliintymistä, mikä aiheuttaa kelirikkoa. (Jääskeläinen, Rantamäki ja Tamminne 1979, 115.)



Kuva 3. Roudan vaikutus tierunkoon

2.3 Routanousu ja sulamispainumat

Asiat, joita tienkäyttäjät huomaavat talvella/kevällä, ovat myös routanousu ja sulamispainumat, jotka ovat maanpinnan, tässä tapauksessa tien pystyliikettä, routaantumisen- ja sulamisvaiheessa. Yleensä syynä tähän on teiden kohdalla se, että pohjamaa routii ja rakennekerrokset taas ovat rou-

timattomia. (Tiehallinto, Roudan syvyyden määritys 2007, 3.) Tienrakenteissa tapahtuvalle routanousulle on määritelty päällysteen vaurioitumis pohjalta ylärajat. Routanousu tapahtuu epätasaisesti, joten se johtaa päällysteen epätasaisuuteen, mistä voi olla merkittävää haittaa esimerkiksi tien talvikunnossapidossa. Sorateille määritetty suurin sallittu routanousu on 150 mm. (Tiehallinto, Tierakenteen routamitoitus 2001, 20.)

2.4 Kantavuus

Kantavuus on oleellinen asia tiestöllä ajettaessa. Kun kantavuus on huono, on lähtökohtaisesti myös huono ajaa. Mitä vilkkaampi tie, sen parempi on kantavuuden oltava. Näin ollen Tiehallinto jakaa kantavuuden kuuteen (1 - 6) erilaiseen luokkaan perustuen kuormituskertalukuun eli liikennemääriin. Irtonaiset maalajit ja kallio jaetaan seitsemään (A - G) eri maalajiluokkaan, joista routimattomat maalajit sekä kallio kuuluvat luokkiin A - D. Routivat maalajit kuuluvat luokkiin E - G. Jokaisella luokalla on maalajilla oma tyypillinen kantavuusarvonsa. (Hartikainen 2000, 33.)

Vanhoissa tierakenteissa on usein seassa hienorakeista maalajia. Roudan sulamisen seurauksena ja lumen sulamisen seurauksena rakenteessa on myös paljon kosteutta, joka ei pääse poistumaan alaspäin, koska tien rakenteet ovat vielä jäässä. Tämä yhdistettynä tiehen kohdistuneen liikenteen aiheuttamaan tärinään ja kuormitukseen johtaa tien pinnan velliintymiseen eli pintakeliriksoon tai jopa runkokeliriksoon. (Jääskeläinen ym. 1979, 121.) Kantavuuteen vaikuttaa kantavan kerroksen materiaalivalinnat. Materiaalin tässä kerroksessa tulisi olla mahdollisimman vähän hienonevaa ja sen tulisi olla routimatonta. Kantavan kerroksen kantavuuden lisäämistä on tutkittu lisäämällä kantavaan kerrokseen esimerkiksi teollisuuden sivutuotteita, jotka eivät ole ympäristölle haitallisia. Toinen vaatimus sivutuotteilla on, että sen täytyy olla iskun, hierron, veden ja pakkasen kestävä. (RIL 165-2, 2006. Liikenne ja väylät II, 229.)

3 TUTKIMUSKOHTEIDEN RAKENTEET

3.1 Suodatinkangasrakenne

Suodatinkangasrakennetta on käytetty yleisesti kelirikkohteiden parannukseen. Kyseinen rakenne tehdään niin, että vanhan tierungon päälle levitetään suodatinkangas (Kuva 4), jonka ideana on estää vanhan routivan rakenteen ja uuden korjatun rakenteen sekoittuminen. Suodatinkankaaksi levitetään N3-luokan kangasta, jonka päälle ajetaan kantavan kerroksen mursketta (0/32). Murskeen levitys tapahtuu yleensä kuorma-autolla lavalta kippaamalla ohueksi "matoksi". Samalla kun kuljetta- ja käy kääntämässä kuorma-auton, hän voi pois tulleessaan levitellä kerroksen tasaisemmaksi alusterällä, jos kuorma-autossa sellainen on. Kantavan kerroksen paksuudeksi pyritään ajamaan 25 cm mursketta, jonka päälle vielä ajetaan 5 - 10 cm kulutuskerros murske (0/16). Tämän jälkeen uusittu tienpätkä ojitetaan, jolla saadaan tiestä tehtyä oikean levyinen ja estetään tien lässähtämistä liian leveäksi.

Suodatinkangasrakenteella tehtävän parannuksen hinta riippuu pitkälti siitä, kuinka kaukaa kantavan- ja kulutuskerroksen sorat joudutaan ajamaan. Mitä kauempaa kuljetus tapahtuu, sen kalliimpaa rakenteen tekeminen on. Tätä menetelmää pystytään tekemään myös kovien sateiden aikaan, koska tässä ei varsinaisesti tongita tien rakenteita, jolloin tie ei häiriinny niin helposti kulkukelvottomaksi. Työ kannattaa kuitenkin ajoittaa pahimman kelirikkoisuuden ulkopuolelle, jotta esimerkiksi kuorma-auto ei jää jumiin murskeen levityksen yhteydessä.



Kuva 4. N3-luokan suodatinkangas valmiiksi levitettynä murskeen ajoa varten (Rissanen 2015-05-25)

3.2 Geoverkkorakenne

Geoverkkorakenne on lähes samanlainen kuin suodatinkangasrakenne, mutta ero tulee tienrunгон päälle levitettävästä kankaasta. Tutkimuskohteessani geoverkko oli suodatinkangasta, joka oli sitten vahvistettu muovisella verkkorakenteella. (Kuva 5) Tämän jälkeen tulee aivan vastaavat työvaiheet kuin suodatinkankaalla tehtävällä parannuksella. Geoverkkorakenteen hinta määräytyy samoin perustein kuin suodatinkankaalla tehtävällä menetelmällä.



Kuva 5. Kuvassa näkyy geoverkkomattoa kuopan pohjalla (Rissanen 2015-26-5)

3.3 Kivimurskainrakenne

Kivimurskainmenetelmä on soratie-remix -menetelmää raskaampi menetelmä, jossa kiviaineksen murskaus ulotetaan 30 - 40 cm syvälle tien runkoon. Tarvittaessa tietä voidaan stabiloida lisää sekoittamalla rakenteeseen esim. teräshiekkaa. Tätä parannusmenetelmää käytettäessä pyritään pitämään toinen kaista avoinna liikenteelle, eli työ tehdään kaista kerrallaan.

Kivimurskainrakenteen teko alkaa humuspitoisen kerroksen poistolla ojan luiskista ja tienkantin avaamisesta. Tämän jälkeen tienrunko harataan ja siitä poistetaan halkaisijaltaan yli 35 cm:n kivet pois, joita murskain ei saisi rikottua. Tämän jälkeen murskataan tien rungossa oleva materiaali kantavaan kerrokseen (Murskaus 1). Samaan aikaan suoritetaan laitaojien harausta ja siirretään sopiva kivinen materiaali tielle, jossa murskain murskaa sen kantavaksi materiaaliksi (Murskaus 2). Vielä tämänkin jälkeen on mahdollista siirtää lisämateriaalia tielle tai ajattaa lisämateriaalia tienrungolle. Tämän jälkeen taas murskaus, josta kantavan kerroksen materiaalia (Murskaus 3). Tämän jälkeen ajetaan vielä kerran kivimurskaimella tie läpi, jolla tehdään tiehen kulutuskerroksen materiaali

(Murskaus 4). Viimeisenä vaiheena on ojituksen viimeistely, sekä tienpinnan muotoilu ja tiivistäminen. Tavoitteena on saada muokattava ja helppohoitoinen tie.

Tällä "Tirkkosen menetelmäksi" kutsutulla työllä saavutetaan keskimäärin noin 800 - 900 metriä parannettua tietä päivässä. (Kuva 6) Työn haittapuolena on se, että kovilla sateilla työt joudutaan keskeyttämään, koska muuten tie häiriintyisi liikaa ja voisi johtaa tien kulkukelvottomuuteen. Tämän menetelmän hintaan sopivassa kohteessa ei tarvitse laskea sorastukseen kuuluvia kuluja, koska kaikki aines revitään rakenteesta tai tien reunoilta, joten hinta pysyy varsin vakiona. Menetelmän tiekilometri kustannukseksi tulee 25 000 - 30 000 €/tkm.



Kuva 6. Kuvassa järeä traktori murskaamassa kiveä. Lisälaitteena edessä hara ja perässä murskain. Kauempana edessä näkyy kaivinkone haraamassa ojaa. Lisäksi mukaan tarvitaan tiehöylä, jossa lisälaitteena täry tiivistykseen, sekä kuorma-auto, jolla hoidetaan kalusto- ja materiaalikuljetukset. (Tirkkonen 2013-08)

Kivimurskaimen etuja ympäristövaikutuksissa voidaan pitää varsin merkittävänä. Tätä menetelmää käyttämällä ei tarvitse kuluttaa ehtyviä soraomonttujen varantoja, vaan nämäkin tonnimäärät soraomontuilta voidaan käyttää johonkin muuhun tarkoitukseen, esimerkiksi sorastuksiin muulla tieverkolla. Lisäksi kivimurskainmenetelmä vähentää sorakuljetusten määrää, joka puolestaan vähentää hiilidioksidipäästöjä. Toki tulee ottaa huomioon se, että päästöjä tulee myös kivimurskainmenetelmän käyttämisestä, mutta varsinkin pitkillä kuljetusmatkoilla etu kääntyy kivimurskainmenetelmän eduksi. Täytyy myös muistaa mitä hiilidioksidi- ja melupäästöjä syntyy, kun soraomontulla ryhdytään murskamaan kiviainesta käyttötarkoitusta varten sopivaksi. Lisäksi on hyvä muistaa, että tällä menetelmällä korjattaessa saadaan sama juoksumetrimäärä tehtyä nopeammin kuin esimerkiksi suodatinkangasmenetelmää käytettäessä; kivimurskaimella saavutetaan 800 - 900 metriä/päivä, kun taas omasta kokemuksesta voin kertoa, että suodatinkangasmenetelmällä aikaa samaan metrimäärään voi kulua helpostikin useampikin viikko.

4 KELIRIKKOKOHTEIDEN MITTAUKSET

4.1 Mittaus järjestelyt

Opinnäytetyössä oli tavoitteena kerätä mittausaineistoa työtäni varten ja ensimmäisellä kerralla, samalla kun mittasin painumia, löin paalun tienlaitaan merkiksi, jolla varmistin sen, että aina mitattiin samasta kohdasta tietä. Destian käyttämästä KUNTO-järjestelmästä tarkastin vielä tieosoitteen ja merkitsin sen ylös mittauspöytäkirjaan. Ensimmäisillä kerroilla tein myös mitattaville osuuksille silmämääräisiä arvioita roudan sulamisesta tierakenteesta.

Kuten jo aikaisemmasta kartasta oli havaittavissa, molemmat kohteet kuuluvat sorateidenhoitoluokkaan II. Auvilantien KVL on 54 ajoneuvoa/vrk ja Jyrinahontien KVL on 41 ajoneuvoa/vrk. Liikennemäärät eivät ole siis kovinkaan suuria, mutta teiden varsilla sijaitsee mm. maataloutta, joille on turvallava kuljetukset myös kelirikon aikaan. KVL tarkoittaa keskimäärin vuorokaudessa kulkevien autojen liikennettä. (Liikennevirasto 2015.)

4.2 Kantavuuden mittaus Loadmanilla

Loadmanin pudotuspainolaite antaa E-moduulina rakenteen kantavuuteen liittyviä arvoja ja tiivistetävän kerroksen tiiviyssasteen. Loadmania voidaan käyttää ohuiden sidottujen rakenteiden ja sitomattomien kerrosten sekä rakennekerrosten kantavuusmittauksiin. Mittausten vaikutussyvyys on n. 20 - 50 cm, johon vaikuttaa mittauslevyn halkaisija. Sääntönä on, että mitä suurempi levyn halkaisija, sitä suurempi on tehollinen mittausvyvyys. Mittauksen periaate on pudottaa vapaasti 10 kg:n suuruinen paino jäykälle kuormituslevylle ja mitata laitteeseen kiinnitettyllä kiihtyvyyssanturilla aiheutunut painuma.

Laitte asetetaan pystyasentoon ja "hierotaan" tiiviisti kiinni edestakaisella liikkeellä mitattavaan kohtaan. Pudotusnapista painaen vapautetaan paino ja näyttöön tulee tulos "E= XXX". Tulos tallennetaan, joko laitteen muistiin tai kirjoitetaan ylös käsin. Tämän jälkeen pyöräytetään laitteen pudotuspaino ylös ja toistetaan äskeinen uudestaan. Mittauskertojen lukumäärä on 3 - 6 kertaa, mutta Destian mittauspöytäkirjassa on 3 - 8 kertaa. Mittaus antaa tuloksena tiiviyssarvon r ja kantavuusarvon E. (Pank Kantavuuden mittaus Loadman, 2002.)

Tiiviyssuhde r on samasta kohdasta eri mittauskerroilla laskettua E moduulien suhdetta E_{max}/E_1 , jossa

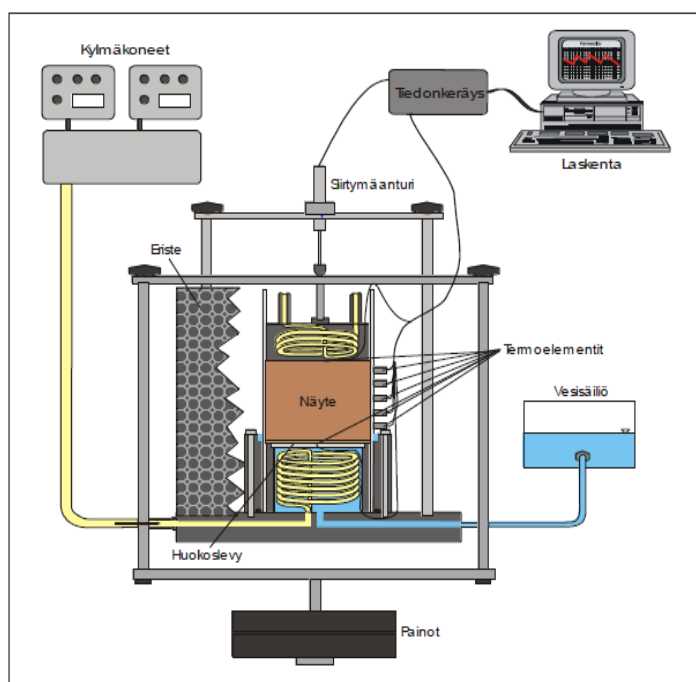
E_{max}	on samasta kohdasta mitattujen arvojen maksimiarvo, MPa
E_1	on ensimmäisen mittauksen tulos, MPa

Soratieltä kulutuskerroksen pinnasta mitattavan kantavuuden arvon tulee olla vähintään 80 MPa ympäri vuoden. Käytännössä tämän rajan saavuttamisessa yleisellä tieverkolla ainut ongelmajankohda on kelirikkokaudet, jolloin tien kantavuus voi laskea dramaattisesti roudan lähtiessä sulamaan tienrungosta.

4.3 Routanousukokeet

Routanousukokeiden näytteet otin kivimurskaintekniikalla tehdyiltä rakenteelta kolmesta eri kohtaa. Routanousukokeista saatuja tuloksia voidaan vertailla olemassa oleviin valmiisiin tuloksiin, jotka kertovat millaista kivimurskaimen läpi mennyt maa-aines oikein on. Näytteet toimitettiin Oulun yliopistolle vesi ja ympäristötekniikan laboratorioon, jossa on routanousukokeita varten tarvittavat mittauslaitteet. Näytteet kaivettiin tienrakenteesta noin 20 - 35 cm syvyydeltä, joka on kivimurskaimen työskentelysyvyys.

Routanousukoetta varten maa-ainesnäytettä laitettiin neljässä kerroksessa sylinteriin, kokonaisuudessaan 10 cm jokaisen kerran jälkeen tiivistäen, jotta näytteestä saadaan ylimääräiset ilmarat pois. Näytteen raekoko saa olla maksimissaan 20 mm, tämän jälkeen valmistellaan samalla tavalla toinen näyte, jonka jälkeen näytteet asetetaan alla olevan kuvan mukaiseen telineeseen ja näytteeseen asennetaan antureita, jotka mittaavat mm. routanousua ja näytteen lämpötilan kehittymistä. (Kuva 7)



Kuva 7. Havainnekuva routanousukokeeseen liittyvästä laitteistosta. (Varis 2015)

Routanousukokeen tuloksena saadaan tieto näytteen routivuusluokituksesta, kokonaisroutanousu, sekä segregaatiopotentiaalista eli routimiskertoimesta. Lisäksi näytteestä mitataan erikseen näytteen vesipitoisuus ja tilavuuspainot. (Varis 2015.)

4.4 Rakeisuusnäytteet, kuivaseulonta

Rakeisuusnäytteet otettiin kivimurskainmenetelmällä tehdyiltä Auvilantieltä noin 20 - 35 cm syvyydeltä tienrakenteesta, joka on kivimurskaimen työskentelysyvyys. Seulonta aloitetaan punnitsemalla

näytteen määrä, joka kirjataan ylös. Näytteen on oltava kuiva ja näytettä tulee olla 0,5 - 1,0 kg. Tämän jälkeen näyte kaadetaan normaaliseulasarjaan, jossa seulat on asetettu suuruusjärjestykseen ylhäältä alaspäin. Täryttävä kytetään päälle noin 10 minuutiksi, jonka jälkeen punnitaan ja kirjataan ylös jokaiselle seulalle jäänyt näytemäärä. Kirjauksen jälkeen voidaan laskea prosenttiosuudet/seula, jonka avulla voidaan piirtää sitten rakeisuuskäyrät. Seulonnan yhteydessä syntyy usein mittatappiota, jolloin seulonnan jälkeen näytteen määrä olisi pienempi kuin alkupunnituksessa olleen näytteen tulos. Mittatappio lisätään suurimpiin läpäisyprosentteihin, mutta maksimissaan mittatappio saisi olla vain alle 1 %. Tuloksena tulevan käyrän avulla voidaan verrata saatua tulosta normien mukaisiin käyriin, jolla voidaan jo arvioida onko näyte routivaa vai ei. (Jääskeläinen ym. 1979, 73.)

5 TULOSTEN ANALYSOINTI

Suluissa olevat numerosarjat tarkoittavat tieosoitetta, jonka saa KUNTO- laitteen kautta. Esimerkiksi numerosarjan 15178/3/840 ensimmäinen numero on tiennumero, toinen tarkoittaa tieosan numeroa ja viimeinen numero tarkoittaa paalunumeroa eli metrimäärää.

5.1 Silmämääräiset arviot ja havainnot

5.1.1 Auvilantie 15178

Ensimmäisenä mittauskertana 13.5.2015 silmämääräisesti arvioiden Auvilantien pinnassa ei ollut havaittavissa minkäänlaisia roudan aiheuttamia nousuja tai painumia. Tie vaikutti muutenkin pinnaltaan olevan hyvässä kunnossa, ei ollut pahempaa kuoppaisuutta, ei pyykkilautaa eikä myöskään havaittavaa kelirikkoa. 21.5.2015 teimme yhdessä Oiva Huuskosen kanssa 2. paalulle (15178/3/840) koekuopan (Kuva 8), josta mittasimme tehdyn rakenteen paksuuden ja sen alla olevien kerrosten paksuudet. Lisäksi yritimme löytää routaa lyömällä rautakankea niin syväälle kuin vain oli mahdollista. Samalla otimme maa-ainesnäytteet noin 20 - 35 cm syvyydestä routanousu- ja seulontakokeita varten.



Kuva 8. Koekuopassa mittanauhan alareuna on silmämääräisen kivimurskaimella tehdyn rakenteen ja alla olevan rakenteen rajalla. (Rissanen 2015-05-26)

Havaitsimme, että kivimurskaimella tehtyä rakennetta oli 27 - 35 cm, jonka jälkeen oli 20 cm kerros siltiksi silmämääräisesti arvioitua maa-ainesta. Tämän jälkeen tuli eloperäistä mutaista maata. Var-

mistetun sulanmaan kerros oli tasan yksi metri. Pohjavedenpinnasta ei olla täysin varmoja, mutta tien reunasta 0.8 metriä alaspäin kulki sivuojassa vesi, joten pohjaveden voi olettaa silloin olevan tällä korkeudella tien rakenteessa. 12. paalulle (15178/3/3314) teimme samat tutkimukset kuin edellä. Siellä tehtyä rakennetta oli 29 cm ja varmistettua sulaa maata oli 117 cm. Saaduissa paksuuksissa tulee ottaa huomioon, että teitä sorsastetaan tarpeen mukaan lisäämällä kulutuskerroksen materiaalia, joten heittoja kerrosten paksuuksissa voi olla paikoin.

5.1.2 Jyrinäahontie 15334

Jyrinäahontiellä ajomukavuus routaheittojen ja -painaumien takia ei ollut vielä toukokuun mittauskerroilla kovinkaan miellyttävä. Kuitenkin 1.6.2015 ollessani tekemässä mittauksia havaitsin, että heitot tienpinnasta olivat hävinneet, joten päätin myös roudan laskeneen rakenteessa. Tiessä esiintyi kuitenkin mittauskerroilla paikoin aika pahojakin reikiä, joka tosin ei tarkoita sitä, että nämä olisivat roudan aikaansaamia, vaan vika voi olla esimerkiksi väärässä tien sivukaltevuudessa. Missään vaiheessa tiessä ei ollut havaittavissa tien velliintymistä, joka on merkki kelirikosta. Jyrinahontiellä sivuojissa oli jokaisella mittauskerralla vettä ja veden liikettä ei ollut juurikaan, joten ojissa seisova vesi kyllästytti tierakennetta.

21.5.2015 Jyrinahontien geoverkko rakenteella korjatulla osuudella mittasimme 25 cm rakennepaksuuden 2. paalulta (15334/1/7375). Perinteisen suodatinkangasosuuden rakennepaksuudeksi saimme 21 cm 2. paalulta (15334/1/2183). Rautakangen työntämistä emme lähteneet tekemään, koska arvioimme roudan olevan vielä lähellä pintaa, kun heittojakin vielä kerran oli. Saaduissa paksuuksissa tulee ottaa huomioon, että teitä sorsastetaan tarpeen mukaan lisäämällä kulutuskerroksen materiaalia, joten heittoja kerrosten paksuuksissa voi olla paikoin riippuen milloin viimeksi kyseinen kohta on sorsastettu.

5.2 Loadmanin tulokset

Loadmanilla tehtyjen kokeiden mittaukset tapahtuivat 13.5 - 16.6.2015 kerran viikossa. Jyrinahontiellä mittauspaikat valikoituivat pisimmille suodatinkangaspätkille sekä kahdelle testimielessä tehdylle geoverkko -osuudelle. Auvilantiellä lähdettiin mittamaan koko kivimurskaimella tehtyä pätkää noin 200 metrin välein. Suunnitelmana oli se, että kun saadut arvot alkavat olemaan tarpeeksi korkealla tasolla, mittauksen väliä lisätään sitten, että matka kasvoi noin 400 metriin eli käytännössä mittasin joka toiselta paalulta. Sekä Auvilan- ja Jyrinahontiellä mittasin pudotuspainotuloksia tien keskilinjalta, oikeasta ja vasemmasta reunasta noin 15 senttimetrin päästä ojanreunaa. 13.5.2015 suoritettiin mittaukset vain Auvilantiellä ja Jyrinahontiellä yhteen kohtaan geoverkkorakennetta, koska ajalliset resurssit olivat rajallisia kyseisenä päivänä.

5.2.1 Jyrinahontie 15178

Loadmanilla suodatinkangasrakenteella tehdyn kelirikkipopenkan kantavuuden arvot nousivat alkupe-
räisten odotusten mukaan siten, että alussa mittauskertojen erot olivat paljon suuremmat kuin lop-
pua kohden mentäessä. Esimerkiksi tien keskilinjalta mitattujen E2-arvojen keskiarvo oli 21.5.2015

noin 133 MPa:lia ja 26.5.2015 mitattujen E2-arvojen keskiarvo oli noin 160 MPa:lia. Näiden kahden mittauskerran ero on siis noin 27 MPa. Tätä kun vertaa sitten 1.6.2015 mitattuun E2-keskiarvoon, joka on noin 177 MPa, eli ero on tässä vaiheessa enää noin 17 MPa. Tästä vielä viikon verran eteenpäin E2-keskiarvo oli 183 MPa eli eroa on enää noin 6 MPa. Tästä voidaan siis päätellä sen, että tien maksimikantavuus rupeaa lähenemään siirryttäessä kesäkuun puolelle. Vajaassa kuukaudessa kehitystä kantavuudessa tapahtui noin 50 MPa:n verran, joka on jo todella merkittävä lisä kantavuuden kasvuun ja esimerkiksi vaikutus raskaanliikenteen kulkemiseen on merkittävä.

Geoverkkorakenteella parannetun kelirikko-kohteen kantavuuden kehittyminen on pitempään suurempaa, joka johtuu osaltaan siitä, että lähtöarvot ovat noin 30 MPa pienemmät kuin suodatinkangasrakenteen. Esimerkiksi 21.5.2015 tien keskilinjalta mitattu E2-arvojen keskiarvo oli noin 114 MPa, kun samana ajankohtana suodatinkangasrakenteelta mitattujen E2-keskiarvo oli noin 133 MPa. Geoverkkorakenteen 26.5 - 1.6.2015 välinen ero on vielä noin 27 MPa, mutta tästä mentäessä ajassa viikolla eteenpäin mittauskertojen E2 arvojen ero on enää noin 11 MPa.

Taulukko 1. Jyrinahontien keskilinjasta mitattujen E2-keskiarvojen kehitys. Tulokset MPa

Päivämäärä	Geoverkko	Suodatinkangas
21.5.2015	114	133
26.5.2015	144	160
1.6.2015	171	177
9.6.2015	182	183
16.6.2015	152	170

Nämä yllä kerrotut arvot ja näiden vertailut on siis tehty tien keskilinjasta. Usein ongelmana onkin se, että kohdattaessa liikennettä myös tien reunat ovat käytössä, joissa ei ole kantavuutta lähellekään niin paljon kuin tien keskellä. Esimerkiksi vertaillen tien vasemmanreunan E2-arvojen keskiarvoja keskilinjasta vastaaviin, tien kantavuus arvot ovat jo lähtötasoiltaan huomattavasti matalammalla.

Taulukko 2. Jyrinahontien vasemmasta reunasta mitattujen E2-keskiarvojen kehitys. Tulokset MPa

Päivämäärä	Geoverkko	Suodatinkangas
21.5.2015	84	80
26.5.2015	110	101
1.6.2015	125	97
9.6.2015	128	110
16.6.2015	113	109

Yllä olevasta taulukosta on mielenkiintoista huomata, että geoverkkorakenteella parannetun kelirikko-kohteen reuna on huomattavasti kantavuudeltaan suurempi kuin suodatinkangasrakenteen. Tässä tullaan siihen, että geoverkolla korjatussa kohteessa geoverkon ominaisuudet ilmeisesti vaikuttavat paremmin tien reunassa, kuin tien keskilinjassa. Tien keskilinjasta mitatut korkeimmat kantavuudet

ovat liki samat, mutta reunasta mitattaessa eroa on parhaimmillaan 28 MPa. Tämä ero on jo huomattava kun ajatellaan tilannetta, jossa joudut ajamaan tien reunassa esimerkiksi kohdattaessa kuorma-autoa.

5.2.2 Auvilantie 15334

Auvilantiellä tulokset kehittyvät odotusten mukaan. Kantavuuden tulokset tien keskilinjasta alkavat nousta samalla 30 MPa tahdilla kuin suodatinkangas- ja geoverkkorakenteella, mutta E2-tulosten keskiarvo yllättäen nousee 21.5 - 26.5.2015 välisenä aikana 40 MPa. Tähän voi vaikuttaa tierakenteen kuivuminen ja roudan sulaminen alemmista kerroksista. Tämän jälkeen kantavuuden kehitys nousee 16 MPa. 1.6 - 9.6.2015 E2-keskiarvojen kehitys on 10 MPa ja tästä viikko eteenpäin kehitystä on enää 2 MPa. Kantavuuden kehittyminen siis hidastuu rakenteen kuivuessa samalla tavalla kuin muissakin kelirikkorakenteissa.

Taulukko 3. Auvilantien kivimurskainrakenteen E2-tulosten keskiarvojen kehitys. Tulokset MPa.

Päivämäärä	Tien keskilinja	Tien vasen reuna
13.5.2015	133	91
21.5.2015	167	108
26.5.2015	207	131
1.6.2015	223	150
9.6.2015	233	152
16.6.2015	235	152

Auvilantien mittaukset aloitettiin viikkoa aiemmin kuin Jyrinahontiellä. Auvilantien kantavuustulokset tien keskilinjalta ovat kantavuudeltaan viikkoa edellä, jos vertaa tuloksia Jyrinahontien suodatinkangas tuloksiin. Auvilantien E2-tulosten keskiarvo 13.5.2015 oli 133 MPa, kun Jyrinahontiellä E2-tulosten keskiarvo 21.5.2015 oli 133 MPa. Tähän vaikuttaa ympäristölliset ja alueelliset seikat, mutta kuitenkin kivimurskaimella suoritettussa parannuksessa saman ajankohdan arvot 9.6.2015 ovat 50 MPa suuremmat kuin geoverkko- ja suodatinkangasrakenteen. Tähän syitä voi hakea tierakenteiden alemmista kerroksista, jotka voivat mahdollistaa tien suuremman lopullisen kantavuuden. Tierakenteiden alempien kerroksia voisi selvittää esimerkiksi ottamalla kairausnäytteitä tien rakenteista.

Loadmanilla tien vasemmasta reunasta otettujen E2-kantavuuksien keskiarvojen kehittyminen kulkee pääsääntöisesti samaa tasaista tahtia alussa kuin tien keskilinjastakin mitatut tulokset. Samoin kuin suodatinkangas- ja geoverkkorakenteessa alun kehityksen vauhti on noin 20 MPa/vko. Kivimurskaimella tehdyn parannuksen kehittyminen on vastaavaa kuin geoverkolla, mutta se on maksimikantavuusarvoissa lopulta geoverkkorakennetta korkeampi liki 25 MPa. Soratiellä oleva sallittu minimikantavuus kulutuskerroksen päältä mitattuna on 80 MPa. Tämän tuloksen alituksia oli yksittäisissä mittauskohteissa kaikissa kelirikkorjaus menetelmissä, kun kantavuuksia mitattiin tienreunasta. Tämä on otettava huomioon, jos soratietä ajettaessa vastaan tulee auto, niin tien reuna saattaa olla hyvinkin upottavaa. Huomiona se, että millään menetelmällä ei saatu aikaiseksi niin tasalaatuista tulosta, että kantavuudet olisivat olleet jokaisessa mittauskohdassa yli sallitun minimikantavuuden.

Kuitenkin kivimurskainmenetelmällä parannetun kohteen kehittyminen vaadittuun minimikantavuuteen oli huomattavasti nopeampi kuin suodatinkangas- tai geoverkkomenetelmällä. Tien keskilinjän kantavuuden kanssa ei ollut näillä parannetuilla osuuksilla mitään ongelmia. Tuloksiin voi perehtyä paalukohtaisesti tarkemmin lopussa olevassa liitteessä 1.

5.3 Routanousukokeiden tulokset

Auvilantieltä otettujen routanousukoenäytteiden tulokset ovat varsin rohkaisevia. Taulukosta 3 on havaittavissa, että kivimurskainmenetelmällä tehdyllä tiellä käsitelty materiaali on routimatonta tai lievästi routivaa näytteenottoaikoilla. Tämä tarkoittaa sitä että tämän kivimurskaimella tehdyn rakenteen alla olevat entiset, mahdollisesti hienoaines tai humuspitoiset maalajit, ovat jääneet tämän uuden tehdyn kantavan kerroksen alle, eikä niihin ole sekoittunut ainakaan kovinkaan paljoa näitä vanhoja rakenteita. Jonkinlainen vaikutus on myös kivimurskainmenetelmän aloittavalla pintamaan poistolla ja sen huolellisella tekemisellä, jolla estetään eloperäisen maa-aineksen sekoittuminen kantavaan rakenteeseen. Tämä vähentää oleellisesti veden kapillaarista nousua tässä uudessa tehdyssä rakenteessa.

Taulukko 4. Routanousukokeiden tulokset.

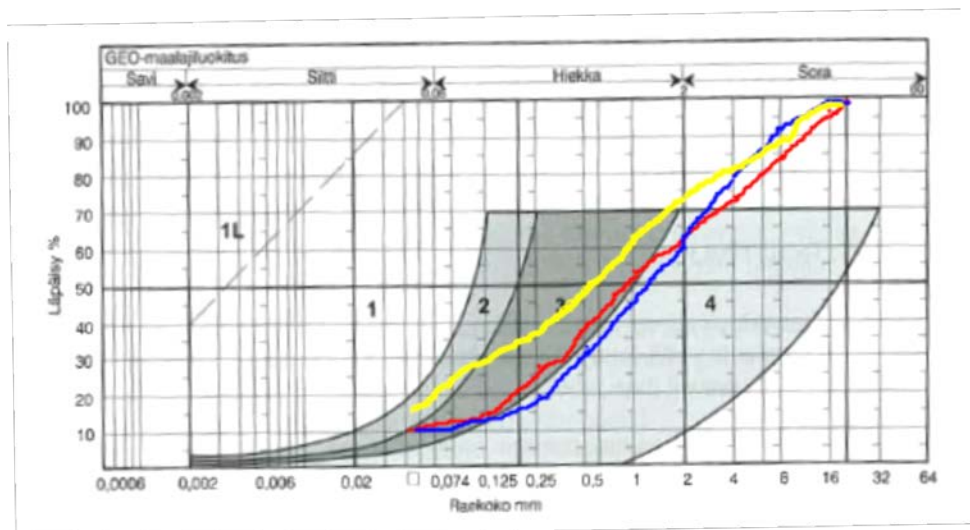
Paalu numero	Kokonaisroutanousu (mm)	Routimiskerroin (mm ² /Kh)	Routivuusluokitus
Paalu 2	2,3	0,98	Lievästi routiva
Paalu 6	0,0	0	Routimaton
Paalu 12	2,1	0,72	Lievästi routiva

Tietenkin tässä on muistettava se, kuten kaikissa kokeissa, että nämä kokeet ovat pistekohtaisia. Väliin voi siis sattua myös laadullisesti huonompia tai mahdollisesti parempia näytteitä. Kun laskee segregaatipotentialin keskiarvon näiltä näytteenottoaikoilta, niin keskiarvoksi tulee noin 0,56 mm²/Kh, joka on routivuusluokituksestaan lievästi routiva. On kuitenkin muistettava, että tien kulkuskerroksessa tulee olla mukana hienojakoisia maalajeja esimerkiksi silttiä, jotka sitovat soratien pinnan tehden pinnasta mukavamman ja turvallisemman ajaa. Kuitenkin tätä silttiä tulisi mahdollisuuksien mukaan välttää kantavissa rakenteissa, koska se aiheuttaa osaltaan tien routaantumista, joka johtaa taas kelirikoon ja mahdollisiin painorajoitusten asettamisiin tiestölle. Routanousukokeiden tarkemmat pöytäkirjat ja selostukset liitteessä 2.

5.4 Rakeisuuskäyrien tulokset

Auvilantieltä näytteille tehdyt rakeisuuskäyrät eivät kuitenkaan ole linjassa routanousukokeiden suhteen. Maa-ainesnäytteet sijoittuvat alueille 2, 3, tai 4, mutta käyrien alapäättävät rajakäyrien vasemmanpuoleisen käyrän yläpuolelle. Testejä tehdessä (2015-09-02) laboratoriomestari Tuomo Pitkänen Oulun yliopistolta sanoi omaan kokemukseensa viitaten, hypistellessään maanäytteitä sormissaan, että ensivaikutelma hänellä maa-aineksesta on sellainen, että sen ei pitäisi olla ainakaan routivaa, mahdollisesti se olisi jopa routimatonta. Routanousukokeiden tulokset ovat linjassa hänen

arvio kanssa, mutta rakeisuuskäyrien tulokset eivät puolla hänen ensi arvioita. Näytteiden rakeisuuskäyrät löytyvät tarkemmin liitteestä 2. Suodatinkangas- ja geoverkkoarakenteelle ajettujen sorien käyrät löytyvät urakoitsijalta, jonka velvollisuutena on toimittaa tilaajalle rakeisuuskäyrät rakentamiseen ajetusta materiaalista. Alla olevaan maan routivuuden määrittävään rakeisuuskäyrän kuvaan (Kuva 9) on sijoitettu maa-ainenäytteiden rakeisuuskäyrät. Käyrät osuvat alueille 2, 3 tai 4, mutta piirretyt käyrät menevät kuitenkin vasemmanpuoleisten rajojen yli, joten ne ovat RIL:n määritelmän mukaan routivia. Punainen väri on PL 2, sininen väri PL6 ja keltainen väri PL12. Routanousukokeilla tehdyt kokeet ovat tarkempia ja antavat tarkemman arvion maan routivuudesta.



Kuva 9. Maa-ainenäytteen routivuuden määrittämistä rakeisuuskäyrän avulla. Alueella 1 sijaitsevat käyrät ovat routivaa maalajia ja alueilla 2, 3 tai 4 olevat käyrät ovat routimattomia maalajeja, elleivät käyrien alapäätt pääty vasemmanpuoleisen rajakäyrän yläpuolelle. (RIL 261-2013, 42).

6 YHTEENVETO

6.1 Oman tuotoksen analysointi

Opinnäytetyön tavoitteena oli kerätä mittausaineistoa ja arvioida erilaisia kelirikkorakenteita saatujen tulosten pohjalta. Omasta mielestäni onnistuin opinnäytetyölle asetetuissa tavoitteissa. Sain aikaan laajan mittausdatan erilaisten kelirikkorakenteiden kantavuuksista ja kivimurskain menetelmälle lisäksi vielä routanousu- ja rakeisuuskokeet. Kuitenkin mittausdatan luotettavuudessa kannattaa olla hieman kriittinen, koska jos katsoo pudotuspainolaitteella mitattujen kertojen määrää päivässä, niin siinä tulee monia kymmeniä mittauksia, joten mukaan mahtuu todennäköisesti myös virheellisiä pudotuksia. Tässä kannattaisi miettiä mahdollisesti auton perässä vedettävää pudotuspainolaitetta, jolla voisi saada aikaan virheettömämpiä tuloksia. Yksi vaihtoehto voisi olla myös maatutkan käyttäminen, jolla voisi havaita roudan liikkumista tierakenteessa. Lisäksi olisi ollut hyvä saada ainakin rakeisuuskäyrät suodatinkangas- ja geoverkkorakenteista, jolloin niitä olisi voinut verrata suoraan kivimurskaimella tehdyn rakenteen tuloksiin. Oulun yliopistolla tehdyt routanousu- ja seulontatutkimukset ovat tehty laboratorio-olosuhteissa, joten tulosten pitäisi olla luotettavia. Toki maanainenäytteiden otossa olisi varmasti voinut olla vieläkin säntillisempi ja kasata se ensimmäinen kasa vieläkin suuremmalta alueelta.

Kuitenkin opinnäytetyön pääasiallisena tarkoituksena oli tutkia ja tarkastella kivimurskaimella rakennetun penkan toimivuutta ja saada Destialle tuloksia, joilla tätä menetelmää voidaan ryhtyä markkinoimaan ja tuotteistamaan entistä kovemmin. Mielestäni sain hyvin tuloksia aikaan, joita Destia voi käyttää omassa tuotteistamis- ja kehitystyössään. Tähän alapuolelle olen kerännyt omia pohdintoja tutkimusteni ja osittain muilta saadun tiedon perusteella. Tarkoitukseni on kertoa millaiseen kohteeseen kyseisen menetelmän valitsisin ja pohdin mahdollisia lisätutkimusten aiheita näille menetelmille.

6.2 Suodatinkangas

Itse olen ollut tekemässä kahtena kesänä suodatinkangasrakenteella tehtyä kelirikkorakennetta, jotka ovat onnistuneet lopulta hyvin. Omia ongelmia tässä parannuskeinossa on rakennusvaiheen aikana tapahtuva liikenne, joka joutuu ajamaan hyvinkin karkean murskeen päällä, mikä herättää tienkäyttäjissä myös ristiriitaisia mielipiteitä. Lopputuotteena tiestä, kun tähän sisällytetään vielä ojitus tehdylle penkan pätkälle, tulee kantavan näköinen, ryhdikäs lopputulos. Tosin tällä tehdessä tien leveys kapenee vanhasta yleensä oleellisesti, mikä taas aiheuttaa paikallisissa tienkäyttäjissä hyvinkin paljon negatiivisia mielipiteitä. Suodatinkangasmenetelmän hyvänä puolena voidaan pitää myös sitä, että sitä voi tehdä myös sateiden aikaan, joten tämä ei ole niin sateille herkkä menetelmä. Korjausmenetelmänä voi olla hyvinkin edullinen, jos sopiva soraomonttu sattuu olemaan lähellä, mutta matkan kasvaessa myös parannuksen kustannukset luonnollisesti kasvavat. Tämän menetelmän valitsisin itse todella häiriintymisherkälle tieosuudelle, jossa soraomonttu olisi suhteellisen lähellä, koska tällä menetelmällä ei vanhaa rakennetta myllätä ollenkaan. Toki tämä on tällä hetkellä ainut menetelmä, jolla voidaan todella häiriintymisherkkää tietä parantaa ja sen kantavuutta lisätä koskematta sen vanhoihin rakenteisiin.

6.3 Geoverkko

Tämä menetelmä antoi hyvin mielenkiintoisia tutkimustuloksia Loadmanilla tehtävissä kantavuuskokeissa, jos niitä verrataan suodatinkangasmenetelmään. Tienreunan kantavuus oli tällä menetelmällä nopeammin korkeampi kuin pelkällä suodatinkankaalla. Mielestäni tätä tulisi tutkia lisää ja ryhdyttävä miettimään esimerkiksi mahdollisia tulevaisuuden yhdistettyjä suodatinkangas-/geoverkkorakennetta, jossa olisi esimerkiksi metrin verran molemmissa reunoissa geoverkkoa ja keskellä oleva osa olisi perinteistä suodatinkangasmateriaalia. Tämän menetelmän valitsisin sopivaan kohteeseen, jossa voisi tutkia sitä lisääkö geoverkko todella reunan kantavuutta merkittävästi sen vielä ollessa taloudellisestikin järkevää.

6.4 Kivimurskain

Tämän menetelmän etu tutkimustuloksia vertailemalla on suurempi kantavuus kuin muissa tutkituissa menetelmissä. Muista kohteista ei ole tarjolla rakeisuuskyärien tuloksia eikä routanousukokeiden tuloksia, mutta vahva epäilykseni on, että nekin tulokset kestäisivät vertailun. Itse kivimurskainmenetelmästä ei minulla ole kokemusta, mutta astetta kevyemmästä soratie-remix -menetelmästä on kahdelta kesältä kokemuksia. Näihin kokemuksiin peilaten suuri ongelma on sateet, jolloin menetelmän käyttö on pakko lopettaa, jotta tie säilyy kulkukelpoisena. Yhtenä kivimurskaimen etuna voidaan pitää lähes vakiona pysyvää hintaa tiekilometriä kohden. Hintaa nostaa ainoastaan se, jos joudutaan kuljettamaan kauempaa sopivaa materiaalia murskattavaksi tien pintaan. Menetelmää voi pitää myös ympäristöystävällisenä juuri tästä syystä, että korjattavalle osuudelle ei välttämättä tarvitse ajaa useita sorakuormia, jotka tuottavat hiilidioksidipäästöjä. Juvan alueurakan työmaapäällikkö Petri Kettusen (2014-11-11) mukaan ensimmäisenä kesänä tieosuuden valmistuttua pienenä ongelmana on ollut sateella tienpinnan liejuuntuminen, mutta jo seuraavana vuonna tätä ongelmaa ei ole enää ollut ja tie on ollut helppohoitoinen siinä mielessä, että siihen on riittänyt normaalit sorastukset ja ojitukset ohjelman mukaan.

Itse valitsisin kivimurskaimen sellaiselle kohteelle, jossa tienrungosta nousee kiviä ja silmämääräisesti on havaittavissa, että ojien sivuiltakin on löydettävissä sopivaa kiviainesta murskattavaksi tien runkoaineeksi. Tienrungosta nousevat kivet ovat joillain osuuksilla iso harmi, joista aiheutuu tienpitäjälle ylimääräisiä kustannuksia, jos esimerkiksi tienkäyttäjä ajaa sellaiseen ja hajottaa autonsa. Tällä menetelmällä näistä ongelmallisista kivistä päästään eroon ja samalla ojat kaivamalla parannetaan tien kuivatusta kun sivuojuissa virtaa ylimääräinen vesi pois. Tieosuus ei saisi olla kovin häiriintymisherkkä, jotta tie säilyttää kulkukelpoisuuden työmaan aikana ja myös sen jälkeen. Erityisesti suosittelen tätä sellaiselle osuudelle, josta sora on montunut kaukana ja esimerkiksi suodatinkangasrakenteen tulisi tästä syystä kalliiksi. Tällä menetelmällä myös saadaan nopeammin valmista osuutta kuin suodatinkangas- tai geoverkkomenetelmällä. Mielestäni tilaajan, eli usein ELY-keskusten, tulisi rohkeasti kokeilla tätä menetelmää, koska Auvilantien tulokset ovat ainakin hyviä ja vertailukelpoisia muihin parannusmenetelmiin nähden. Lisäksi tulisi tutkia lisää sidosaineiden käyttöä tässä menetelmässä, esimerkiksi kuinka paljon se lisää kantavuutta kelirikkoajaksi.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

DESTIA www-sivu. [Viitattu 2015-7-19] SAATAVISSA

<http://www.destia.fi/fi/yritys.html>

ELY-KESKUS www-sivu. [Viitattu 2015-7-19] SAATAVISSA

https://www.ely-keskus.fi/web/ely/soratiet#.VatNs_ntmko

HARTIKAINEN, Olli-Pekka 2000. Maanrakennustekniikka. 11.painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

HYRYLÄINEN, Harri 2015-01-30. [Viitattu 2015-10-16] SAATAVISSA

http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/urakoitsijat_suunnittelijat/investointien_kilpailutukset/tieurakoiden_kilpailutus/Juva%202015-2020%20urakan%20esittely.pdf

JÄÄSKELÄINEN, Raimo, RANTAMÄKI, Martti ja TAMMIRINNE, Markku 1979. Geotekniikka. 21.painos.

Helsinki: Hakapaino Oy.

KETTUNEN, Petri 2014-11-11. Työmaapäällikkö. [Haastattelu.] Juva: Destian tukikohta.

KUVA 3. [verkojulkaisu] SIJAINTI <https://hirviniementie.wordpress.com/kunnossapito/routavaurio/>

PANK-9001 Kantavuuden mittaaminen, loadman. www-sivu. [Viitattu 2015-9-28] SAATAVISSA

http://pank.fi/file/414/281_pank9001.pdf

PITKÄNEN, Tuomo 2015-09-02. Laboratoriomestari. [Kommentti.] Oulu: Oulun Yliopisto

RIL 165-2 Liikenne ja väylät II. 1.painos. Rakennusinsinööriliitto RIL Ry, Otavan kirjapaino Oy.

RIL 261-2013. Routasuojaus - rakennukset ja infrarakenteet. 1.painos. Rakennusinsinööriliitto

RIL Ry, Tammerprint Oy.

TIEHALLINTO www-sivu. [Viitattu 2015-10-19] SAATAVISSA

<https://devtest.liikennevirasto.fi/webgis-aineistot/karttasovellus/appdirectory-build/template.html?config=liikenne>

TIEHALLINTO [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-10-20] SAATAVISSA

<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/18-routamitoitus.pdf>

TIEHALLINTO [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-8-11] SAATAVISSA

http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/1000205-v-sorateiden_hoidon_ja_yllap.pdf

TIEHALLINTO [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-9-17] SAATAVISSA

http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2200047-v-kelirikkoteiden_liikenteen_rajoittaminen.pdf

TIEHALLINTO [verkkoaineisto]. [Viitattu 2015-9-21] SAATAVISSA

<http://alk.tiehallinto.fi/tppt/pdf/5-roudansyvyys.pdf>

VARIS, Karoliina 2015. [Viitattu 2015-9-28] Routanousukokeen suorittaminen ja tulosten analysointi.

Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta, Ympäristötekniikka. Kandidaatintyö.

Projekti	Laatija
Opinnäytetyö	Tuomas Rissanen
Tilaaaja	Pvm
Oiva Huuskonen	13.5.2015
Kerros/rakenne	Laatuvaatimukset
Kivimurskain	E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

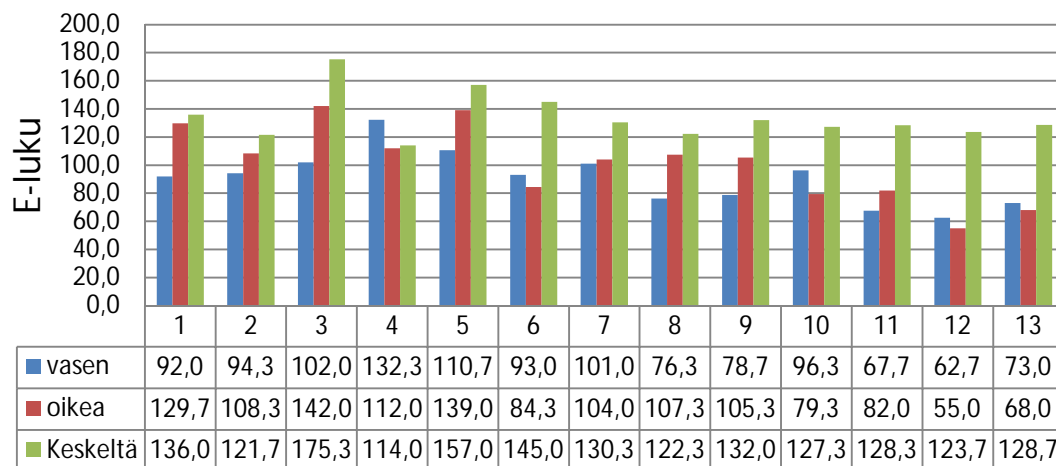
Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskerroilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15178/3/6240	107	0	0	0	133	135	133	121	129,7	1,21	1.Paalu
vas	75	0	0	0	76	86	94	96	92,0	1,23	
kesk	118	0	0	0	131	125	146	137	136,0	1,15	
15178/3/840	146	0	0	0	102	107	108	110	108,3	0,74	2.Paalu
	85	0	0	0	93	92	95	96	94,3	1,11	
	88	0	0	0	146	93	135	137	121,7	1,38	
15178/3/1040	114	0	0	0	131	151	155	120	142,0	1,25	3..paalu
	69	98	98	98	110				102,0	1,48	
	118	144	167	186	173				175,3	1,49	
15178/3/1230	76	102	113	109	114				112,0	1,47	4.paalu
	83	112	119	143	135				132,3	1,59	
	111	102	119	119	104				114,0	1,03	
15178/3/1532	93	103	178	141	98				139,0	1,49	5.paalu
	84	107	104	107	121				110,7	1,32	
	116	137	143	173	155				157,0	1,35	
15178/3/1839	76	97	83	68	102				84,3	1,11	6.paalu
	79	82	96	88	95				93,0	1,18	
	140	141	135	141	159				145,0	1,04	
15178/3/2137	76	96	99	105	108				104,0	1,37	7.paalu
	88	93	97	98	108				101,0	1,15	
	104	129	141	143	107				130,3	1,25	

15178/3/2432	108	113	121	103	98				107,3	0,99	8.paalu
	67	94	88	81	60				76,3	1,14	
	114	121	127	124	116				122,3	1,07	
15178/3/2753	68	85	94	97	125				105,3	1,55	9.paalu
	60	59	90	77	69				78,7	1,31	
	165	197	135	120	141				132,0	0,80	
15178/3/3037	70	66	70	81	87				79,3	1,13	10.Paalu
	84	120	83	104	102				96,3	1,15	
	102	122	137	121	124				127,3	1,25	
15178/3/3314	73	80	84	79	83				82,0	1,12	11.paalu
	56	58	61	68	74				67,7	1,21	
	71	98	123	133	129				128,3	1,81	
15178/3/3616	45	40	51	51	63				55,0	1,22	12.paalu
	89	76	67	42	79				62,7	0,70	
	93	105	123	121	127				123,7	1,33	
15178/3/3894	70	93	65	71	68				68,0	0,97	13.paalu
	59	65	80	61	78				73,0	1,24	
	114	124	123	134	129				128,7	1,13	

Kivimurskain 13.5.2015



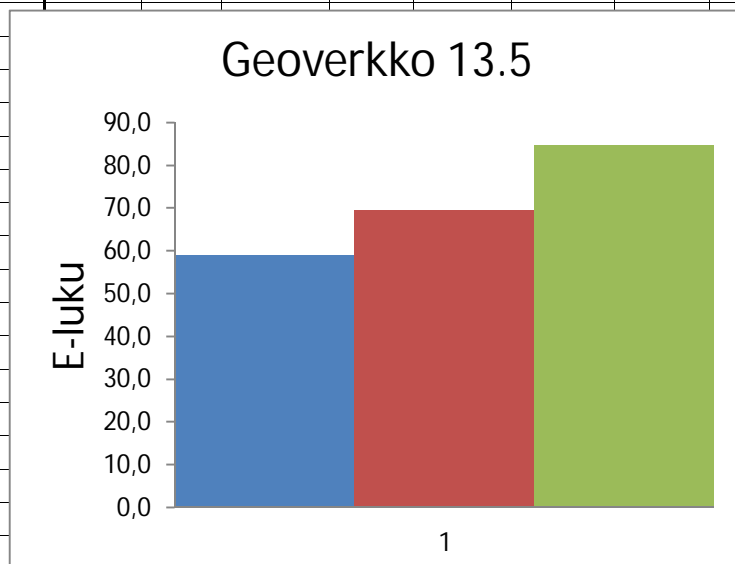
Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 13.5.2015
Kerros/rakenne Geoverkko	Laatuvaatimukset E2 _{min} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskertoilla								Tulos	
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	
15334/1/7375	43				53	57	60	60	60	59,0
	47	0	0	0	65	66	70	72	72	69,3
	72				92	82	90	82	82	84,7



Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 21.5.2015
Kerros/rakenne Kivimurskain	Laatuvaatimukset E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

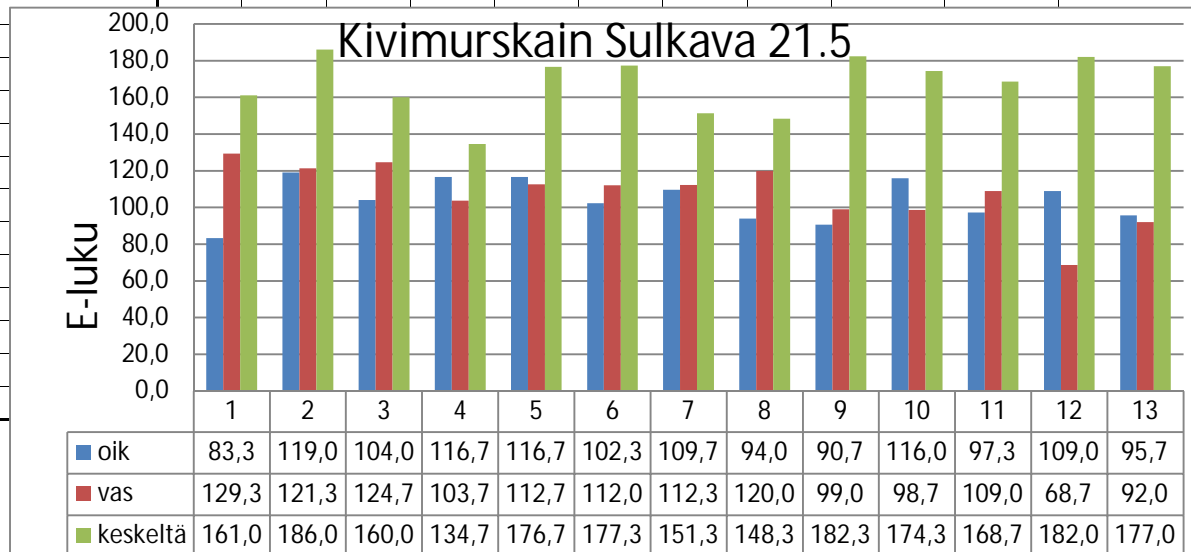
Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

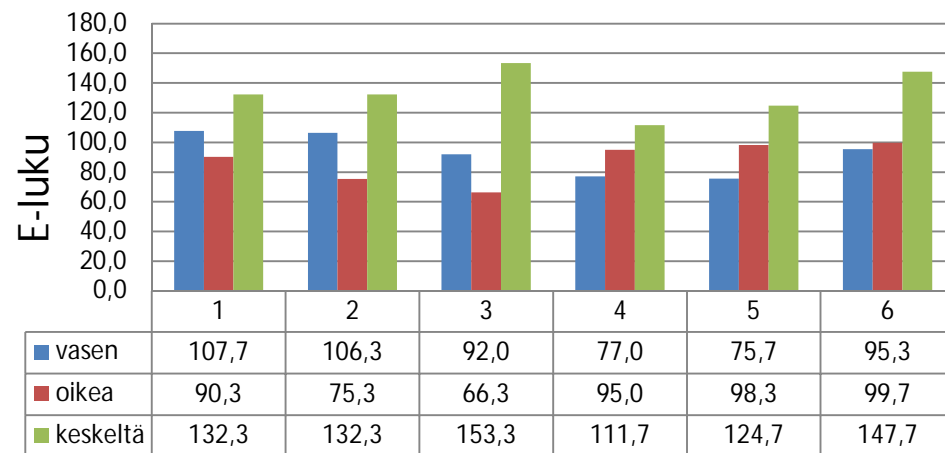
Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskertoilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15178/3/624 oik	65	89	70	88	93	94	73	83	83,3	1,28	1. oik
vas	93	123	127	116	133	129	131	128	129,3	1,39	vas
kesk	136	154	160	154	150	155	165	163	161,0	1,18	kesk
15178/3/840	44	45	50	45	44	44	45	43	44,0	1,00	2.rakenteen alta!!
	98	111	100	103	124	117	121	119	119,0	1,21	oik
	82	109	104	1177	119	125	120	119	121,3	1,48	vas
	88	137	145	160	182	190	186	182	186,0	2,11	kesk
15178/3/1040	74	99	94	99	105	104	104	104	104,0	1,41	3.
	96	112	115	110	124	129	126	119	124,7	1,30	
	147	150	162	163	174	163	155	162	160,0	1,09	
15178/3/1230	112	109	113	113	109	110	120	120	116,7	1,04	4.
	100	107	101	95	107	107	99	105	103,7	1,04	
	123	143	159	143	134	121	155	128	134,7	1,09	
15178/3/1532	92	113	115	116	11	109	119	122	116,7	1,27	5.
	90	114	104	117	119	109	109	120	112,7	1,25	
	92	131	154	160	167	176	186	168	176,7	1,92	
15178/3/1839	79	94	92	99	107	104	102	101	102,3	1,30	6.
	89	101	106	112	119	110	113	113	112,0	1,26	
	168	159	165	162	160	160	190	182	177,3	1,06	
15178/3/2137	73	96	98	100	109	106	113	110	109,7	1,50	7.
	92	95	106	109	109	119	104	114	112,3	1,22	

	123	136	150	155	167	144	165	145	151,3	1,23	
15178/3/2432	82	95	90	95	94	98	91	93	94,0	1,15	8.
	99	94	113	108	122	124	117	119	120,0	1,21	
	124	145	150	150	130	150	148	147	148,3	1,20	
15178/3/2753	79	96	94	83	106	88	92	92	90,7	1,15	9.
	87	92	91	101	107	97	99	101	99,0	1,14	
	151	161	137	157	178	179	190	178	182,3	1,21	
15178/3/3037	92	105	105	92	108	119	115	114	116,0	1,26	10.
	88	97	96	98	105	105	95	96	98,7	1,12	
	108	143	128	152	176	189	184	150	174,3	1,61	
15178/3/3314	83	96	95	103	99	97	100	95	97,3	1,17	11.
	94	106	98	108	110	112	105	110	109,0	1,16	
	120	157	156	147	172	163	167	176	168,7	1,41	
15178/3/3616	90	105	104	103	117	105	113	109	109,0	1,21	12.
	50	60	69	70	71	61	69	76	68,7	1,37	
	113	152	152	167	152	158	188	200	182,0	1,61	
	36	41	48	45	61	68	51	64	61,0	1,69	rakenteen alta!!
1315178/3/3894	66	90	86	96	99	99	89	99	95,7	1,45	13.
	67	78	84	84	92	92	92	92	92,0	1,37	
	121	163	17	193	193	167	188	176	177,0	1,46	



Suodatinkangas 21.5.2015



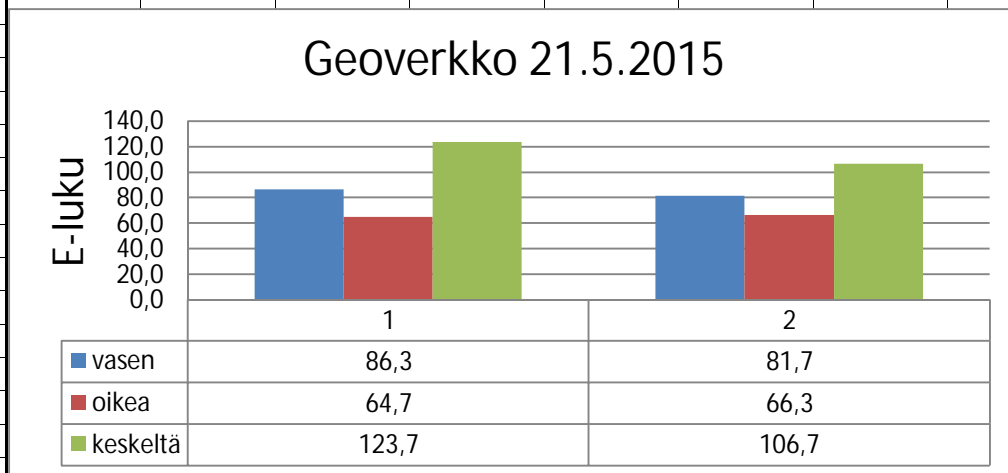
Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 21.5.2015
Kerros/rakenne Geoverkko	Laatuvaatimukset E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskerroilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15334/1/9595 va oik	54	72	82	81	87	81	89	89	86,3	1,60	1.paalu
kek	32	48	54	31	60	65	66	63	64,7	2,02	
15334/1/7375	69	109	106	107	123	114	127	130	123,7	1,79	
	59	79	80	80	78	80	78	87	81,7	1,38	2.paalu
	54	62	62	67	69	63	67	69	66,3	1,23	
	69	113	108	107	114	113	104	103	106,7	1,55	
*	45	60	60	66	62	60	70	67	65,7	1,46	Geoverkon alta!!



Projekti	Laatija
Opinnäytetyö	Tuomas Rissanen
Tilaaja	Pvm
Oiva Huuskonen	26.5.2015
Kerros/rakenne	Laatuvaatimukset
Kivimurskain	E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

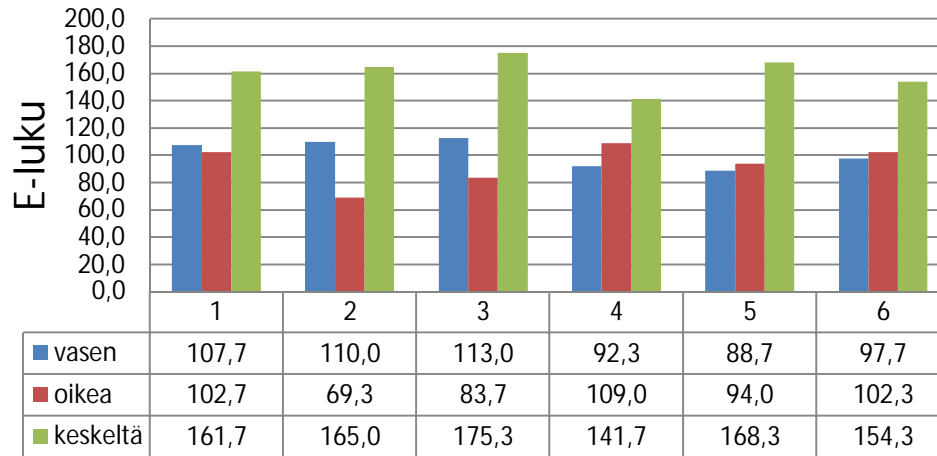
Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskertoilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15178/3/624 oik	79	89	86	81	116	111	120	130	120,3	1,52	1.paalu
vas	90	73	88	86	113	107	133	122	120,7	1,34	
kesk	156	117	134	147	154	172	178	190	180,0	1,15	
15178/3/840	102	107	126	134	126	119	134	128	127,0	1,25	2.paalu
	98	117	134	151	137	141	143	137	140,3	1,43	
	116	114	197	200	174	186	205	239	210,0	1,81	
15128/3/1040	94	105	113	163	110	109	107	104	106,7	1,13	3.paalu
	88	12	108	119	133	107	124	105	112,0	1,27	
	138	158	10	139	152	168	172	180	173,3	1,26	
15128/3/1230	94	105	113	163	110	109	107	104	106,7	1,13	4.paalu
	88	123	108	119	133	107	124	105	112,0	1,27	
	138	158	140	139	152	168	172	180	173,3	1,26	
15128/3/1532	118	128	140	150	162	155	157	155	155,7	1,32	5.paalu
	88	137	133	134	139	150	160	168	159,3	1,81	
	163	246	242	452	225	232	255	267	251,3	1,54	
15128/3/1839	108	128	150	155	162	160	151	167	159,3	1,48	6.paalu
	97	113	133	137	148	147	151	149	149,0	1,54	
	154	211	178	186	219	239	234	229	234,0	1,52	
15128/3/2137	91	129	117	145	140	127	145	145	139,0	1,53	7.paalu
	96	128	139	134	150	143	154	158	151,7	1,58	
	132	172	198	176	160	162	205	205	190,7	1,44	

Suodatinkangas



Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 26.5.1015
Kerros/rakenne Geoverkko rakenne	Laatuvaatimukset E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskertoilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15334/1/9595 vas	65	103	105	99	120	119	116	120	118,3	1,82	1.paalu
oik	58	58	65	74	56	62	58	57	59,0	1,02	
kek	80	104	137	125	163	133	152	157	147,3	1,84	
15334/1/7375	60	93	99	104	110	92	105	110	102,3	1,71	2.paalu
	54	74	80	76	80	86	79	81	82,0	1,52	
	104	119	114	139	128	138	140	145	141,0	1,36	
*	58	68	64	63	64	65	69	70	68,0	1,17	Geoverkon alta!!

Geoverkko 26.5



Projekti	Laatija
Opinnäytetyö	Tuomas Rissanen
Tilaaja	Pvm
Oiva Huuskonen	1.6.2015
Kerros/rakenne	Laatuvaatimukset
Kivimurskain	E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

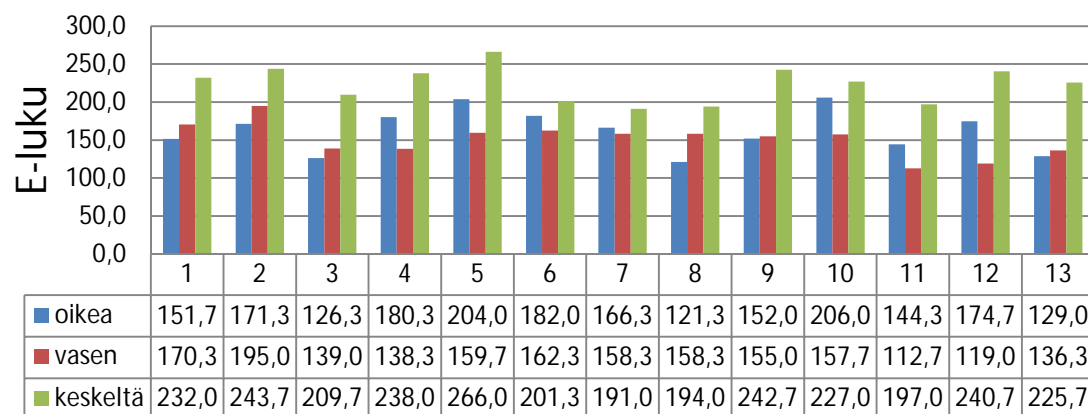
Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

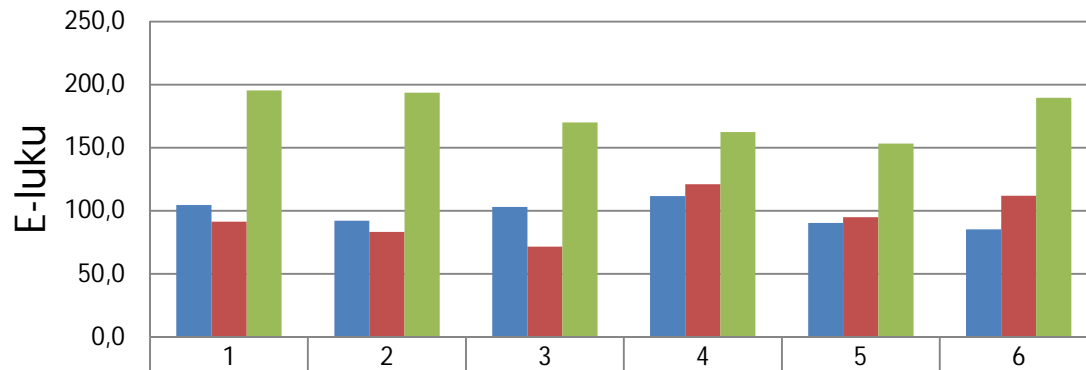
Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskerroilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15178/3/624 oik	109	129	119	162	155	165	140	150	151,7	1,39	1.paalu
vas	119	150	180	152	130	180	155	176	170,3	1,43	
kesk	165	186	180	216	235	235	232	229	232,0	1,41	
15178/3/840	120	144	144	142	167	162	176	176	171,3	1,43	2.paalu
	106	155	125	152	176	184	203	198	195,0	1,84	
	184	225	225	222	246	242	239	250	243,7	1,32	
15178/3/1040	85	101	110	107	115	130	121	128	126,3	1,49	3.paalu
	94	105	120	130	140	130	143	144	139,0	1,48	
	134	143	188	195	186	200	207	222	209,7	1,56	
15178/3/1230	119	158	160	174	186	176	182	183	180,3	1,52	4.paalu
	96	100	107	119	147	137	140	138	138,3	1,44	
	124	186	184	216	205	239	246	229	238,0	1,92	
15178/3/1532	122	195	192	205	174	171	219	222	204,0	1,67	5.paalu
	99	139	139	144	136	154	163	162	159,7	1,61	
	193	225	258	239	222	262	271	265	266,0	1,38	
15178/3/1839	122	148	138	157	155	161	188	197	182,0	1,49	6.paalu
	112	144	134	162	142	155	165	167	162,3	1,45	
	113	188	180	182	98	211	195	198	201,3	1,78	
15178/3/2137	118	134	144	163	162	165	160	174	166,3	1,41	7.paalu
	118	154	158	154	170	154	151	170	158,3	1,34	
	138	203	190	219	198	188	192	193	191,0	1,38	

15178/3/2432	89	93	113	121	121	125	121	118	121,3	1,36	8.paalu
	115	126	15	150	160	155	157	163	158,3	1,38	
	125	160	195	193	205	208	184	190	194,0	1,55	
15178/3/2753	88	118	143	148	158	136	157	163	152,0	1,73	9.paalu
	90	121	129	143	154	150	160	155	155,0	1,72	
	178	208	242	262	229	232	267	229	242,7	1,36	
15178/3/3037	137	163	152	182	186	211	202	205	206,0	1,50	10.paalu
	91	137	147	163	158	158	152	163	157,7	1,73	
	145	22	216	232	258	232	222	227	227,0	1,57	
15178/3/3314	102	124	119	132	154	131	150	152	144,3	1,42	11.paalu
	71	74	94	99	109	116	112	110	112,7	1,59	
	105	152	155	157	193	195	198	198	197,0	1,88	
15178/3/3616	107	140	163	167	167	170	174	180	174,7	1,63	12.paalu
	79	105	113	121	113	115	121	121	119,0	1,51	
	180	188	229	254	222	258	229	235	240,7	1,34	
15178/3/3894	95	115	129	132	132	134	129	124	129,0	1,36	13.paalu
	88	116	131	134	133	140	136	133	136,3	1,55	
	126	229	190	200	246	222	230	225	225,7	1,79	

Kivimurskain Sulkava 1.6



Suodatinkangas 1.6



vasen	104,7	92,3	103,0	111,7	90,3	85,3
oikea	91,3	83,3	71,7	121,0	95,0	112,0
keskeltä	195,3	193,7	170,0	162,3	153,3	189,7

Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 1.6.2015
Kerros/rakenne Geoverkko rakenne	Laatuvaatimukset E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskerroilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15334/1/9595 vas	90	121	110	131	136	139	138	137	138,0	1,53	1.paalu
oik	69	75	78	84	82	77	80	84	80,3	1,16	
kesk	116	131	150	136	157	178	180	184	180,7	1,56	
15334/1/7375	68	99	93	99	115	110	98	114	107,3	1,58	2.paalu
	71	97	94	99	94	91	96	96	94,3	1,33	
	131	145	154	164	180	163	163	162	162,7	1,24	

Geoverkko 1.6

	1	2
vasen	137	114
oikea	80,3	94,3
keskeltä	180,7	162,7

Projekti	Laatija
Opinnäytetyö	Tuomas Rissanen
Tilaaja	Pvm
Oiva Huuskonen	9.6.2015
Kerros/rakenne	Laatuvaatimukset
Kivimurskain	E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

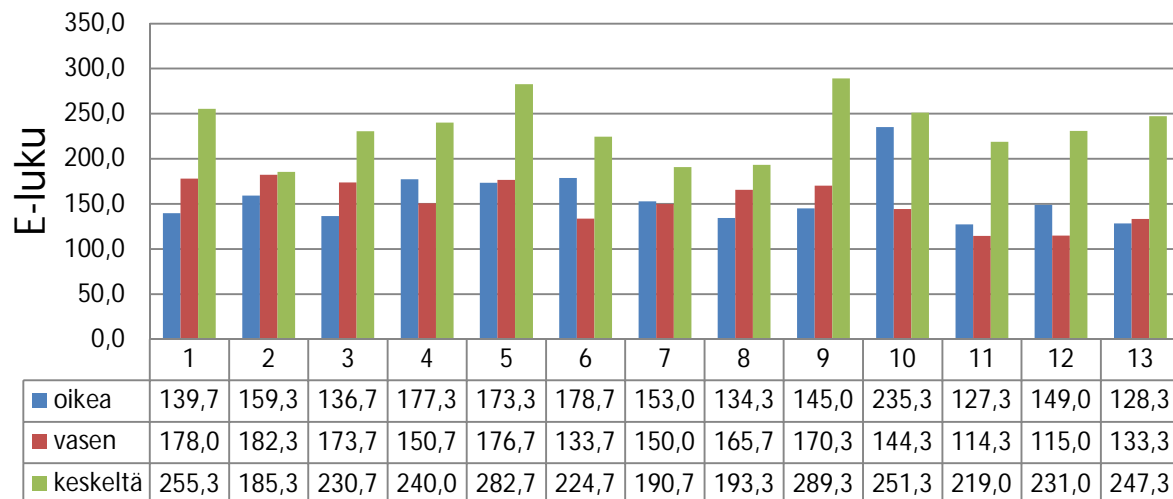
Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

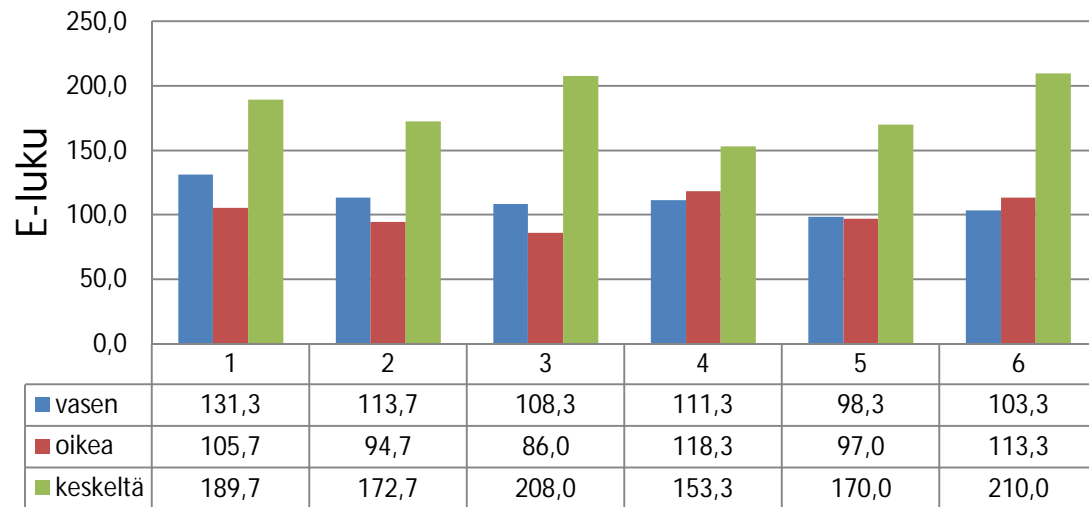
Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskertoilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15178/3/624 oik	115	129	142	144	148	140	137	142	139,7	1,21	1.paalu
vas	124	144	165	134	182	176	186	172	178,0	1,44	
kesk	198	229	246	258	250	258	258	250	255,3	1,29	
15178/3/840	131	151	163	15	151	157	151	170	159,3	1,22	2.paalu
	123	163	162	157	176	172	182	193	182,3	1,48	
	172	184	193	182	188	186	182	188	185,3	1,08	
15178/3/1040	99	121	116	132	132	136	134	140	136,7	1,38	3.paalu
	151	182	213	213	164	186	167	168	173,7	1,15	
	195	235	235	239	234	229	234	229	230,7	1,18	
15178/3/1230	131	163	167	174	176	176	176	180	177,3	1,35	4.paalu
	123	142	132	143	152	151	151	150	150,7	1,22	
	151	155	180	186	211	235	239	246	240,0	1,59	
15178/3/1532	120	160	157	155	178	180	168	172	173,3	1,44	5.paalu
	115	163	167	174	176	176	178	176	176,7	1,54	
	182	219	250	263	281	271	291	286	282,7	1,55	
15178/3/1839	120	145	157	163	168	174	178	184	178,7	1,49	6.paalu
	122	148	152	152	148	136	132	133	133,7	1,10	
	182	213	215	210	193	203	232	239	224,7	1,23	
15178/3/2137	113	151	165	162	158	155	153	151	153,0	1,35	7.paalu
	101	129	137	134	142	148	152	150	150,0	1,49	
	134	134	160	167	196	168	182	222	190,7	1,42	

15178/3/2432	100	122	133	128	128	127	139	137	134,3	1,34	8.paalu
	109	140	154	163	167	167	165	165	165,7	1,52	
	139	178	170	184	205	182	193	205	193,3	1,39	
15178/3/2753	99	125	125	143	144	136	151	148	145,0	1,46	9.paalu
	120	158	154	151	172	167	174	170	170,3	1,42	
	208	254	258	274	254	291	281	296	289,3	1,39	
15178/3/3037	162	211	190	195	225	229	242	235	235,3	1,45	10.paalu
	108	131	140	144	148	145	143	145	144,3	1,34	
	188	211	217	225	219	258	225	271	251,3	1,34	
15178/3/3314	102	122	129	130	129	127	124	131	127,3	1,25	11.paalu
	79	95	103	112	108	108	115	120	114,3	1,45	
	170	178	198	211	216	216	222	219	219,0	1,29	
15178/3/3616	115	126	143	152	133	152	148	147	149,0	1,30	12.paalu
	83	102	107	113	118	119	107	119	115,0	1,39	
	163	203	225	239	235	239	225	229	231,0	1,42	
15178/3/3894	97	104	109	108	107	128	128	129	128,3	1,32	13.paalu
	102	115	126	130	137	138	132	130	133,3	1,31	
	180	222	232	246	246	242	250	250	247,3	1,37	

Kivimurskain Sulkava 9.6



Suodatinkangas 9.6



Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 9.6.2015
Kerros/rakenne Geoverkko rakenne	Laatuvaatimukset E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

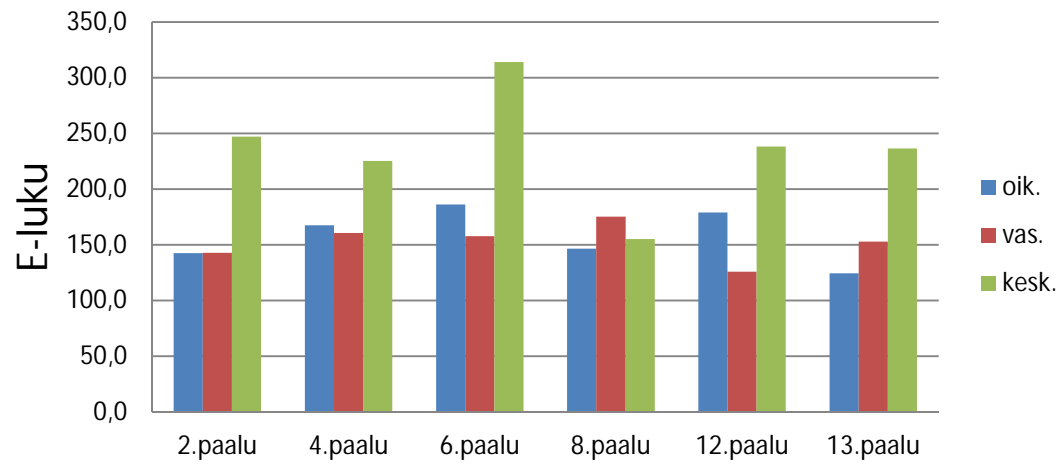
Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskertoilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15334/1/9595 vas	93	112	114	122	133	128	132	136	132,0	1,42	1.paalu
oik	71	83	91	92	95	79	88	86	84,3	1,19	
kek	99	137	162	172	172	178	176	190	181,3	1,83	
15334/1/7375	83	113	125	125	126	124	121	120	121,7	1,47	2.paalu
	74	94	94	104	106	106	105	104	105,0	1,42	
	116	150	174	155	172	180	180	190	183,3	1,58	

Geoverkko 9.6

	1	2
vasen	136	120
oikea	84,3	105,0
keskeltä	181,3	183,3

Kivimurskain 16.6



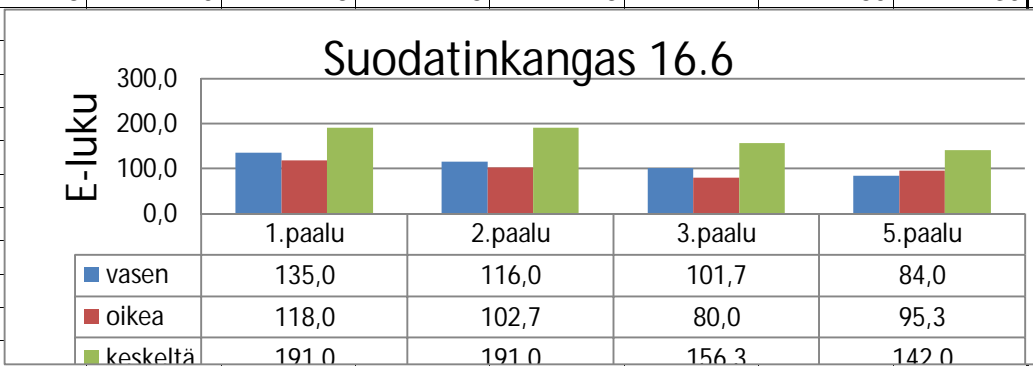
Projekti Opinnäytetyö	Laatija Tuomas Rissanen
Tilaaaja Oiva Huuskonen	Pvm 9.6.2015
Kerros/rakenne Suodatinkangas	Laatuvaatimukset E2 _{min} = E2/E1 _{max} =

Testin tulos määritetään seuraavasti:

Kantavuus E2 = kolmen viimeisen pudotuskerran (6., 7. ja 8.) tulosten keskiarvo

Tiivysuhde E2/E1 = kolmen viimeisen pudotuskerran tiivysuhteiden keskiarvo (E1 = ensimmäinen tulos)

Mittauskohta (paalu/nro)	Tulokset pudotuskerroilla								Tulos		Huom
	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	E2	E2/E1	
15334/1/2024 vas	87	99	133	130	133	140	134	131	135,0	1,55	1.paalu
oik	63	104	114	113	119	115	121	118	118,0	1,87	
kesk	132	182	150	180	174	188	203	182	191,0	1,45	
15334/1/2183	74	96	99	94	115	120	111	117	116,0	1,57	2.paalu
	73	94	94	107	102	97	110	101	102,7	1,41	
	132	182	150	180	174	188	203	182	191,0	1,45	
15334/1/2695	55	101	109	113	73	85	105	115	101,7	1,85	3.paalu
	83	101	105	99	62	73	72	95	80,0	0,96	
	154	180	200	190	203	184	133	152	156,3	1,02	
15334/1/2972	62	99	106	107	51	72	95	85	84,0	1,35	5.paalu
	90	107	112	125	49	97	106	83	95,3	1,06	
	78	110	118	125	126	127	160	139	142,0	1,82	



TUTKIMUSSELOSTUS

Tilaja: Destia / Oiva Huuskonen
Savonia Amk/ERR12SY/ Insinööriopiskelija Tuomas Rissanen

Tehtävä: Tehtävänä oli määrittää Destian syyskuussa 2015 toimitetuista maanäytteistä routivuusominaisuus routanousukokeen avulla sekä rakeisuus pesu/kuivaseulonnalla.

Materiaalit: Tilajan toimittamat maanäytteet tierakenteesta Sulkavalta. Tutkittavia näytteitä oli kolme ja näyte tunnukset olivat Näyte PL2, Näyte PL6 ja Näyte PL12. Ennen tiivistämistä näytteestä poistettiin yli 20 mm kivet.

Menetelmä: Tutkimusmateriaalien routivuutta tutkittiin kylmälaboratoriossa routanousukokeella. Kokeet suoritettiin vakioämpötilakokeina liite1, kuva1. Varsinaista tiiveystavoitetta ei ollut, mutta tiivistys suoritettiin standard-Proctor vasaraa käyttäen, 15 lyöntiä / kerros. Tiivistys tehtiin neljänä 2,5 cm kerroksena ja näin saavutettiin kohtalaisen tiivis näyte. Näytteet PL6- ja PL12 tiivistettiin toimituskosteudessa ja näytteen PL2 vesipitoisuutta laskettiin ilmakuivaamalla ennen tiivistämistä. Tiivistys vesipitoisuudet ja tilavuuspainot on esitetty liitteessä 1, taulukko 1. Näytteiden lähtökorkeus oli 100 mm ja halkaisija 100 mm. Routanousukokeissa käytetty pintakuorma oli 15,0 kPa.

Ennen varsinaista routanousukokeen aloittamista näytteen kuormitus ja lämpötila (+ 3.5 C°) annettiin tasaantua n. 20 tuntia. Tasaantumisen aikana ulkoisen vesilähteen vesipinta pidettiin hieman näytteen alapinnan yläpuolella.

Kokeen aikana näytteen yläpinnan lämpötilaa pidettiin -2.5 C° ja alapinnan lämpötila + 2.0 C°. Kokeen aikana mitattiin näytteen kylkilämpötilat sekä syöttöveden ja jäähdytysnesteen lämpötilat T-tyypin termopareilla. Lämpötila-anturit sijaitsivat näytteen kyljessä 15, 35, 55, 75 ja 95 mm etäisyydellä näytteen yläpinnasta lukien. Pystysiiirtymä mitattiin näytteen yläosasta siirtymäanturilla. Tiedonkeruuyksikkö rekisteröi mittaustiedot 30 min:n välein. Ulkoisen vesilähteen vesipinta pidettiin kokeen aikana hieman näytteen alapinnan yläpuolella. Kokeen aikana kylmähuoneen lämpötila pidettiin n. + 3.0 C°. Kokeen kesto oli 96 h.

Ennen tiivistämistä poistettujen yli 20 mm kivien osuus oli PL2- ja PL6 näytteellä 1,0 % ja PL12 näytteellä 5,8 %. Rakeisuusmääritys tehtiin pesu- ja kuivaseulonnalla routatestinäytteelle kokeen jälkeen. Rakeisuuskäyrät on esitetty kuvassa 2.

Tulokset: Routivuuskertoimeen eli segregatiopotentiaaliin perustuvan routivuusluokituksen mukaan näyte PL6 on routimaton ja näytteet PL2- ja PL12 lievästi routivia, liite1, taulukko 2. Koetulokset on esitetty graafisesti liitteissä 2.

Kauko Kujala

Tuomo Pitkänen

Prof.

Laboratoriomestari

LIITE1

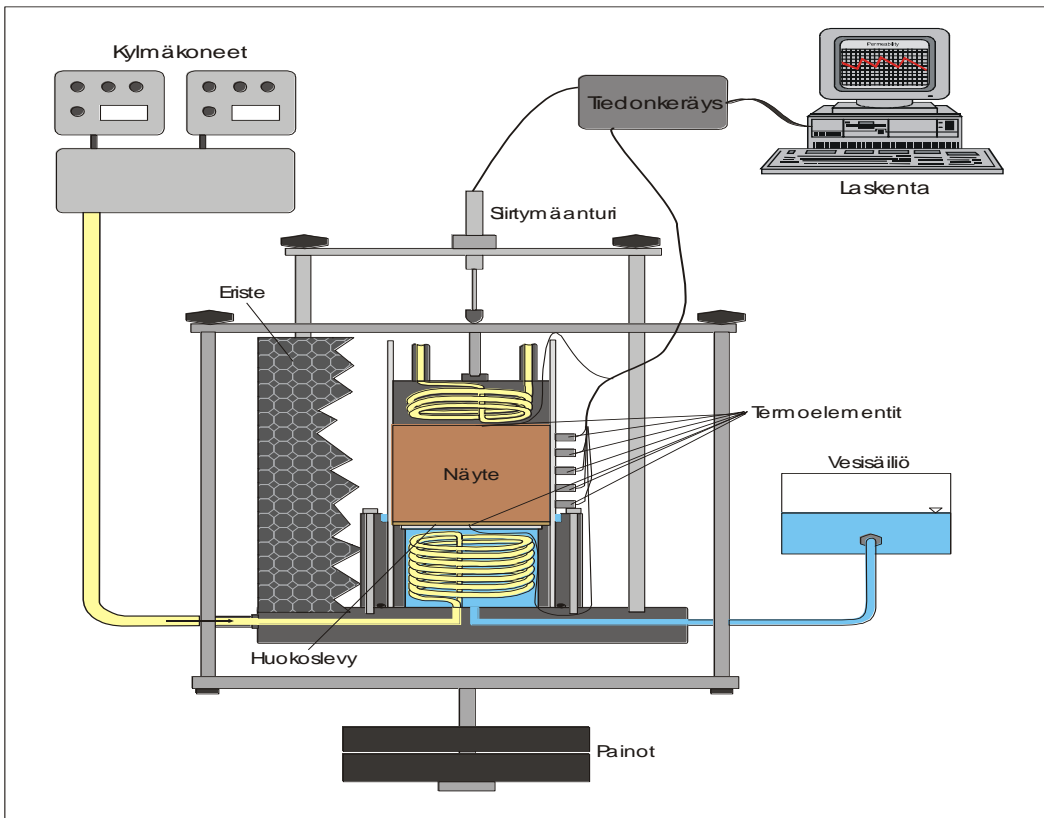
Taulukko 1. Näytteiden vesipitoisuus ja tilavuuspainot ennen routanousukoetta.

Tunnus	Vesipitoisuus %	Kuivatilavuuspaino [kN/m ³]	Tilavuuspaino [kN/m ³]
Näyte PL2	6,6	21,09	22,48
Näyte PL6	3,8	20,76	21,55
Näyte PL12	5,3	20,76	21,86

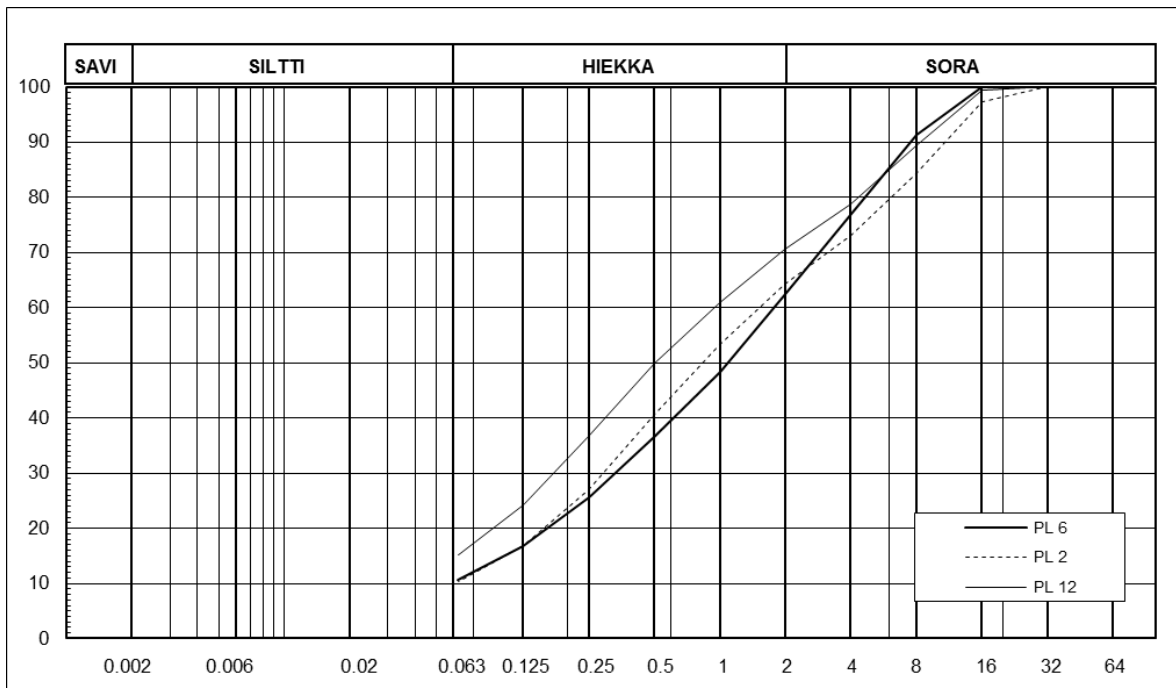
Taulukko 2. Routanousukokeiden tulokset.

Tunnus	Kuormitus [kPa]	Kokonaisrou- nousu [mm]	Routimiskerroin [mm ² /Kh]	Routivuusluokitus
Näyte PL2	15,0	2,3	0,98	Lievästi routiva
Näyte PL6	15,0	0,0	0	Routimaton
Näyte PL12	15,0	2,1	0,72	Lievästi routiva

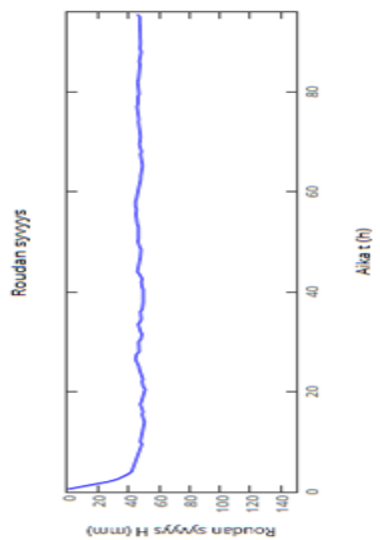
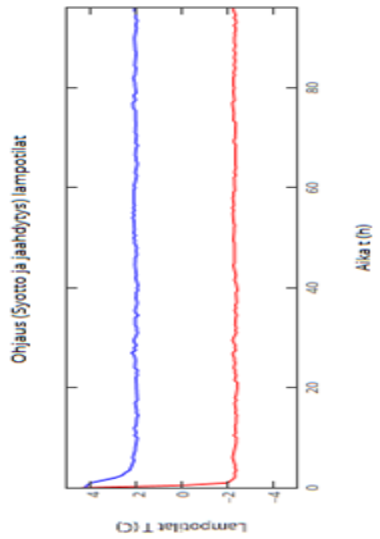
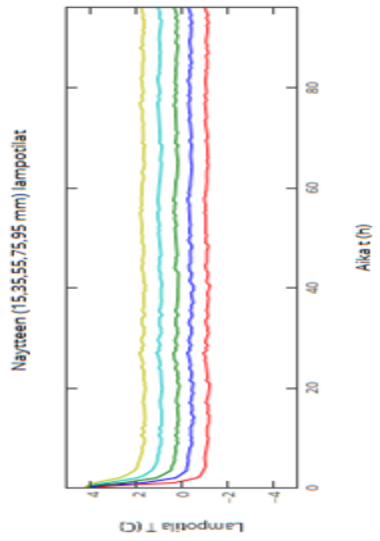
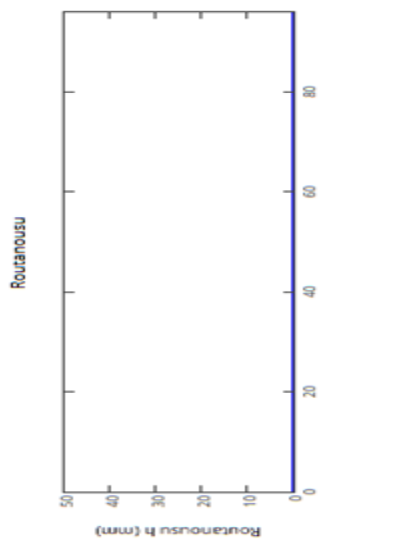
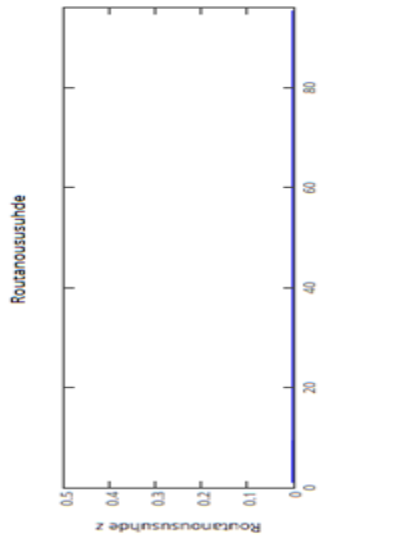
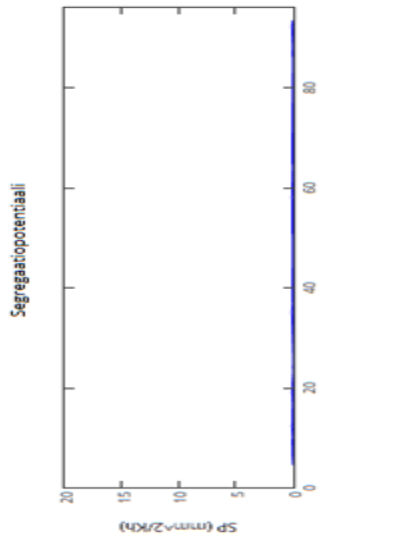
Kuva 1. Periaatekuva routanousulaitteistosta



Kuva 2. Routanouskokeissa käytettyjen näytteiden rakeisuuskäyrät.

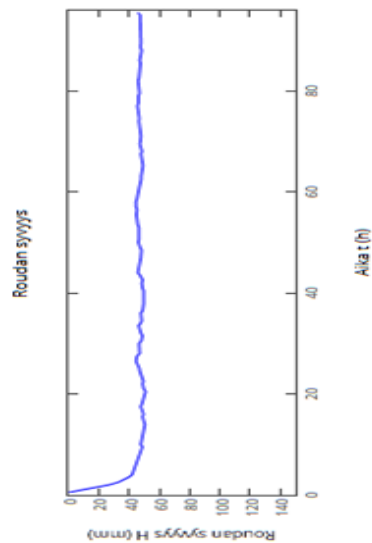
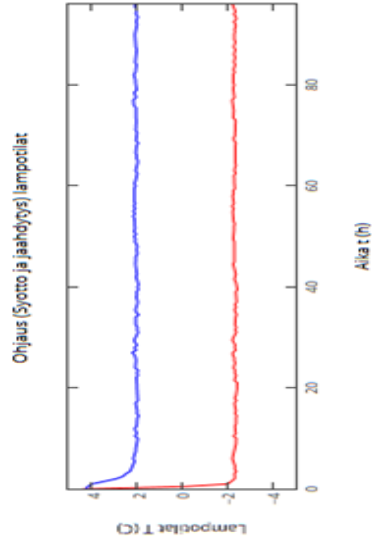
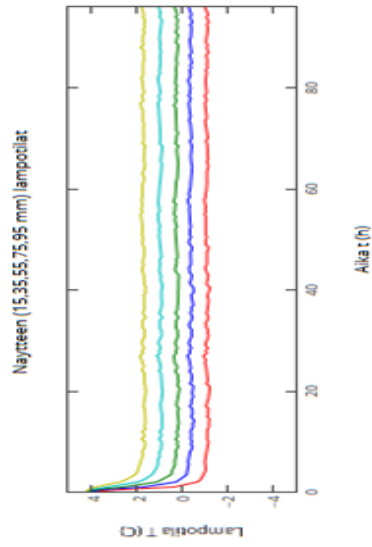
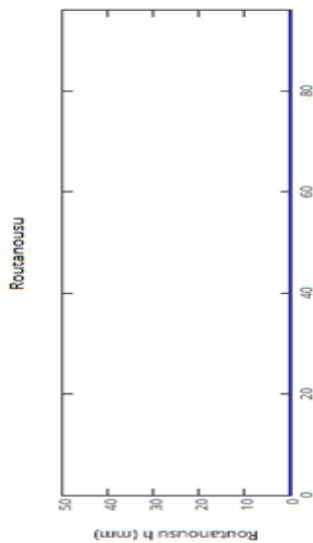
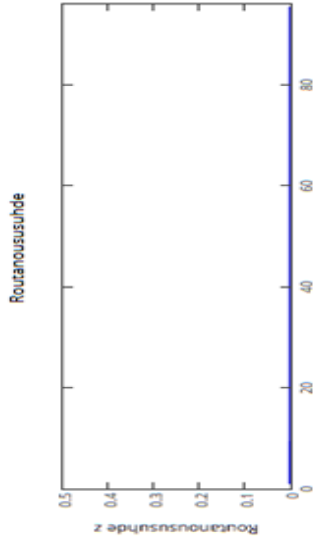
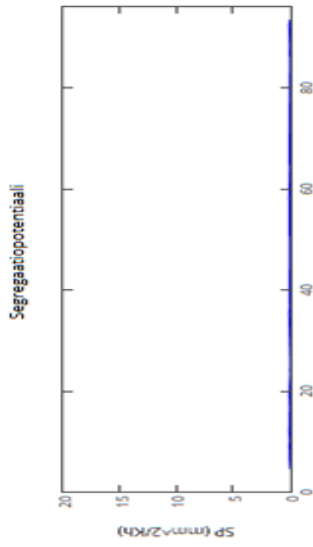


LIITE2



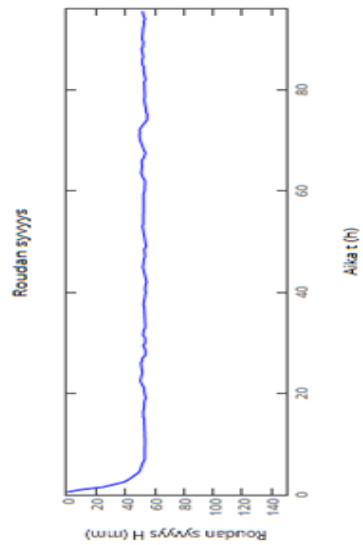
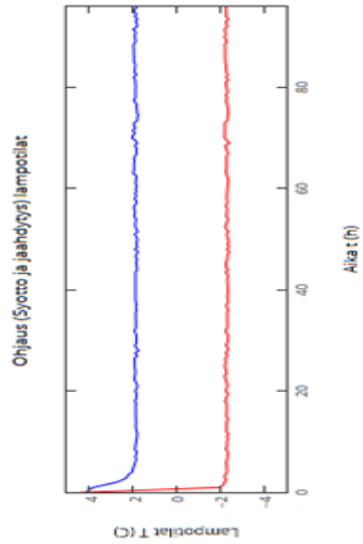
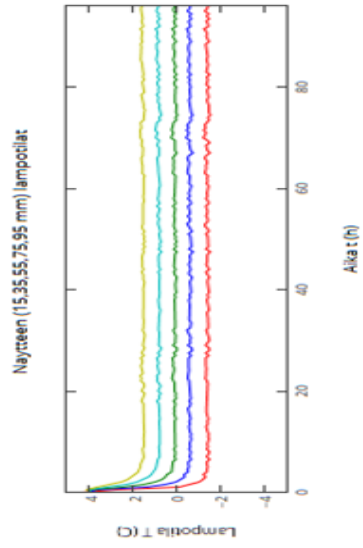
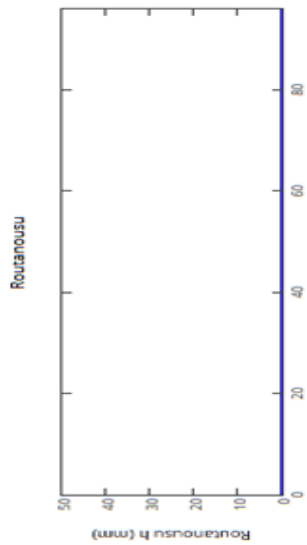
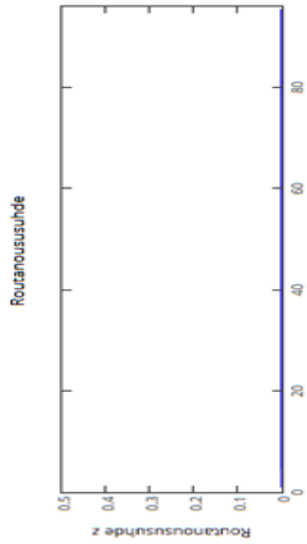
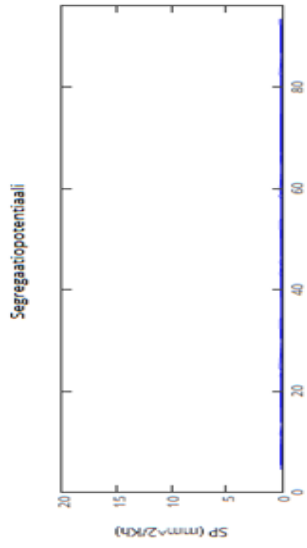
NÄYTTEEN TIEDOT:
 PL12 15178/3615
 Tilaaja: Destia
 Kohde: Sulkava
 Materiaali: Murske
 Käsittelijä: T.P.
 Näytteenotto-PVM: 16.06.2015

ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET:
 Routanousuke-PVM: 08.09.2015
 Kok.routanousu 2.1 mm ja kok.routanousuka 96.0 h
 Kuormitus: 15.0 kPa
 Routanousuhde 24h: 0.01 ja 248h: 0.02
 Routanousunopeus 24h: 0.04 mm/h ja 248h: 0.03 mm/h
 Siirymä h24h: 0.84 mm ja h48h: 1.46 mm
 Segregaatiopotentiaali: 24h: 0.7 mm²/h



NÄYTTEEN TIEDOT:
 PL6
 Tilaaja: Destia
 Kohde: Sulkaiva
 Materiaali: Murske
 Käsittelijä: T.P.
 Näytteenotto-PVM: 16.06.2015

ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET:
 Routanousukoe-PVM: 08.09.2015
 Kokoroutanousu -0.0 mm ja kokoroutanousuaika 96.0 h
 Kuormitus: 15.0 kPa
 Routanousuhde z24h: nan ja z48h: nan
 Routanousunopeus v24h: nan mm/h ja v48h: nan mm/h
 Siirtymä h24h: nan mm ja h48h: nan mm
 Segregaatiopotentiaali 24h: -0.1 mm²/h



Aika t (h)

Aika t (h)

Aika t (h)

Näytteen (15,35,55,75,95 mm) lämpötilat

Ohjaus (syyttö ja jäädytys) lämpötilat

Routan syvyys

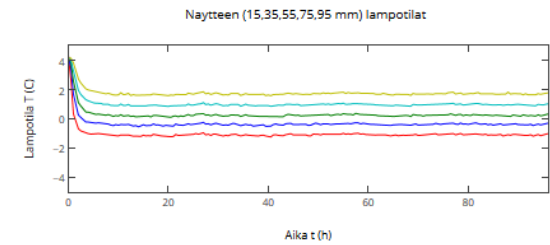
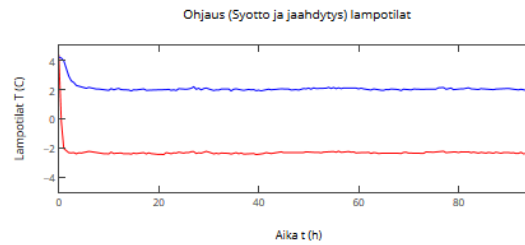
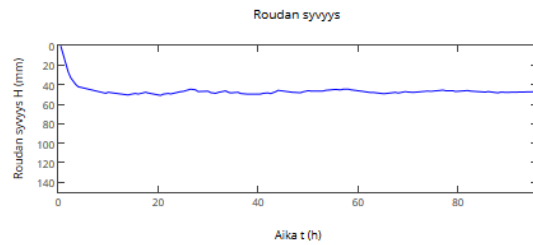
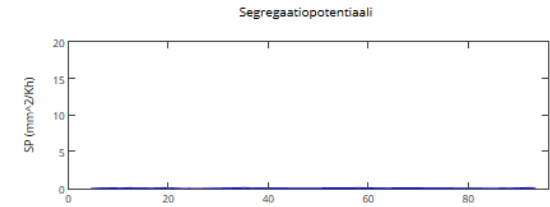
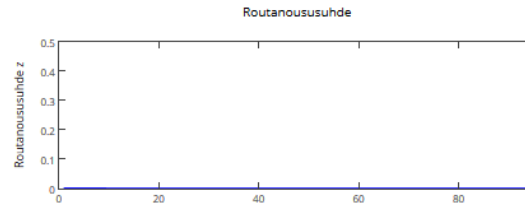
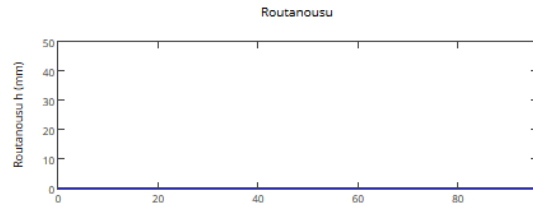
NÄYTTEEN TIEDOT:

PL2
Tilaja: Destia
Kohde: Sulkava
Materiaali: Muurste
Käsitteily: T.P.
Näytteenotto-PVM: 21.05.2015

ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET:

Routanousuke-PVM: 18.09.2015
Kok.routanousu 2.3 mm ja kok.routanousuaika 96.0 h
Kuormitus: 15.0 kPa
Routanousuhde 24h: 0.02 ja 248h: 0.03
Routanousunopeus v24h: 0.05 mm/h ja v48h: 0.04 mm/h
Siirtymä h24h: 1.14 mm ja h48h: 1.78 mm
Segregaatiopotentiaali 24h: 1.0 mm²/h

Testiajo 1, Näyte PL12 (A)



NAYTTEEN TIEDOT:
 PL12 15178/3/3615
 Tilaaja: Destia
 Kohde: Sulkava
 Materiaali: Murske
 Kasittelija: T.P.
 Naytteenotto-PVM: 16.06.2015

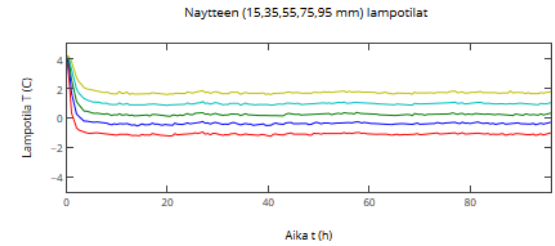
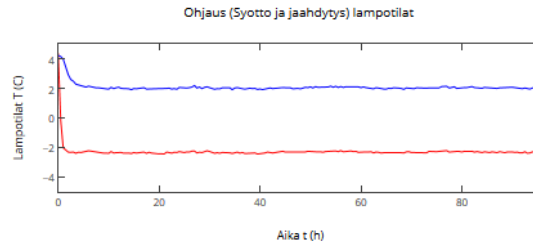
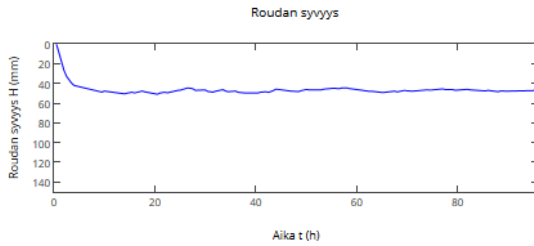
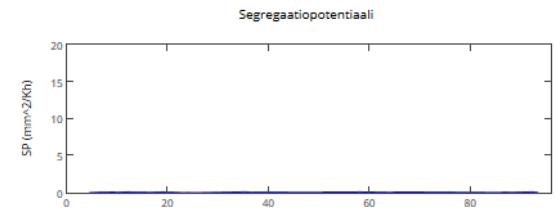
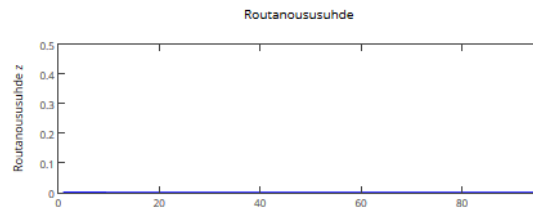
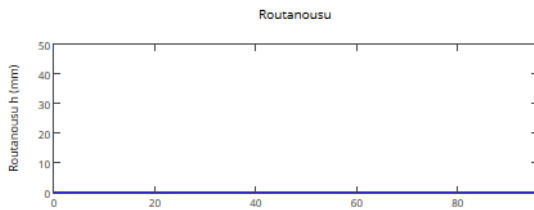
ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET:
 Routanousukoe-PVM: 08.09.2015
 Kok.routanousu 2.1 mm ja kok.routanousuaika 96.0 h
 Kuormitus: 15.0 kPa
 Routanousuhde z24h: 0.01 ja z48h: 0.02
 Routanousunopeus v24h: 0.04 mm/h ja v48h: 0.03 mm/h
 Siirtyä h24h: 0.84 mm ja h48h: 1.46 mm
 Segregaatiopotentiaali 24h: 0.7 mm²/h

Testiajo 1, Näyte PL12 (A)



- ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET NAYTTEEN S1 OSALTA:
- Kokonaisroutanousu 2.1 mm ja kokonaisroutanousuaika 96.0 h
- Routanoususuhde z24h: 0.014178 ja z48h: 0.024201
- Routanousunopeus v24h: 0.035048 mm/h ja v48h: 0.030370 mm/h
- Siirtyä h24h: 0.8411530 mm ja h48h: 1.4577490 mm
- Segregaatiopotentiaali 24h: 0.72 mm²/h
- Kuormitus: 15.0 kPa

Testiajo 1, Näyte PL6 (B)



NAVITTEEN TIEDOT:
PL6
Tilaja: Destia
Kohde: Sulkava
Materiaali: Murske
Kasittelija: T.P.
Naytteenotto-PVM: 16.06.2015

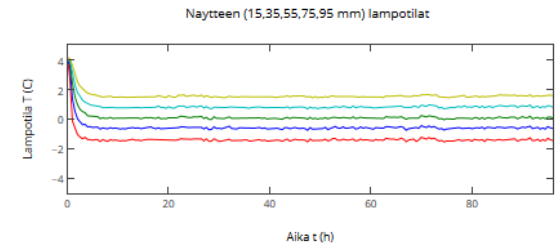
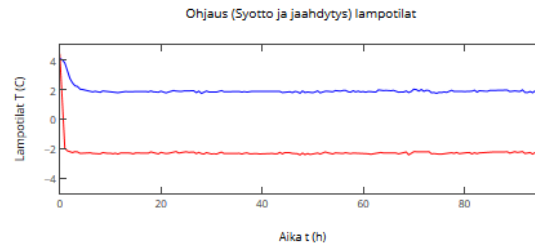
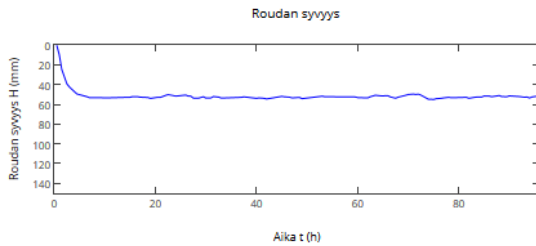
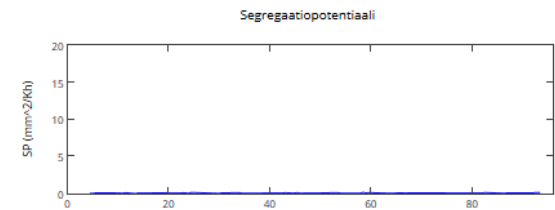
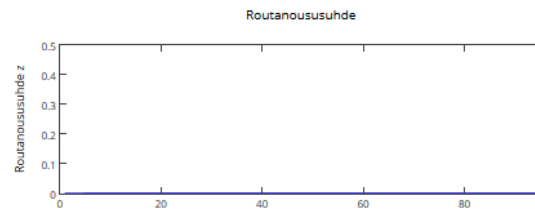
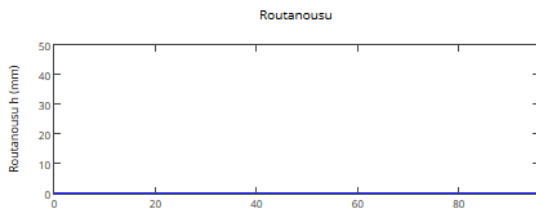
ROUTANOUSKOKKEEN TULOKSET:
Routanouskoe-PVM: 08.09.2015
Kok.routanous -0.0 mm ja kok.routanousaika 96.0 h
Kuormitus: 15,0 kPa
Routanousuhde z24h: nan ja z48h: nan
Routanousnopeus v24h: nan mm/h ja v48h: nan mm/h
Siirtyma h24h: nan mm ja h48h: nan mm
Segregaatiopotentiaali 24h: -0.1 mm²/h

Testiajo 1, Näyte PL6 (B)



- ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET NAYTTEEN S2 OSALTA:
- Kokonaisroutanousu 0 mm ja kokonaisroutanousuaika 96.0 h
- Routanoususuhde z24h: 0 ja z48h: 0
- Routanousunopeus v24h: 0 mm/h ja v48h: 0 mm/h
- Siirtymä h24h: 0 mm ja h48h: 0 mm
- Segregaatiopotentiaali 24h: 0 mm²/Kh
- Kuormitus: 15 kPa

Testiajo 2, Näyte PL2 (A)



NAYTTEEN TIEDOT:

PL2
Tilaaja: Destia
Kohde: Sulkava
Materiaali: Murske
Kasittelija: T.P.
Nayteenotto-PVM: 21.05.2015

ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET:

Routanouskoe-PVM: 18.09.2015
Kok.routanousu 2.3 mm ja kok.routanousuaika 96.0 h
Kuormitus: 15.0 kPa
Routanousuhde z24h: 0.02 ja z48h: 0.03
Routanousunopeus v24h: 0.05 mm/h ja v48h: 0.04 mm/h
Siirtyma h24h: 1.14 mm ja h48h: 1.78 mm
Segregaatiopotentiaali 24h: 1.0 mm²/h

Testiajo 2, Näyte PL2 (A)



- ROUTANOUSUKOKEEN TULOKSET NAYTTEEN S1 OSALTA:
- Kokonaisroutanousu 2.3 mm ja kokonaisroutanousuaika 96.0 h
- Routanoususuhde z24h: 0.020793 ja z48h: 0.030067
- Routanousunopeus v24h: 0.047498 mm/h ja v48h: 0.037145 mm/h
- Siirtymä h24h: 1.1399510 mm ja h48h: 1.7829730 mm
- Segregaatiopotentiaali 24h: 0.98 mm²/h
- Kuormitus: 15.0 kPa