

PINTAKELIRIKKOISEN TIEN LUJITTAMINEN LD-MASUUNIHIEKALLA

TEKIJÄ: Santeri Nurminen

Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala	
Koulutusohjelma Rakennustekniikan koulutusohjelma	
Työn tekijä(t) Santeri Nurminen	
Työn nimi Pintakelirikkoisen tien lujittaminen LD-Masuunihiekalla	
Päiväys 23.3.2017	Sivumäärä/Liitteet 38
Ohjaaja(t) Mervi Heiskanen, tuntiopettaja, Juha Pakarinen, tuntiopettaja	
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy, Oiva Huuskonen	
<p>Tiivistelmä</p> <p>Opinnäytetyössä perehdyttiin kulutuskerrosmurskeen pintakelirikkoa aiheuttaviin ominaisuuksiin sekä tutkittiin terästeollisuuden sivutuotteiden vaikutusta pintakelirikon torjunnassa. Kohteena oli Lamperilantie Suonenjoen alueurakassa, jonne oli tehty runkokelirikkokorjauksia kulkukelpoisuuden parantamiseksi. Tavoitteena oli selvittää parannusten yhteydessä käytetyn kulutuskerrosmurskeen ominaisuuksia vertailemalla niitä ongelmattomaan murskeeseen, sekä LD-MaHk sideaineen vaikutusta kantavuuteen. Destia on halukas kehittämään vaihtoehtoisia menetelmiä tienhoidossa ja vastaavia töitä on tehty ennenkin.</p> <p>Kummallekin tutkittavalle materiaalille tehtiin laboratoriotutkimukset ja tulosten perusteella vertailtiin materiaalien ominaisuuksia. Pääpaino tutkimuksissa oli CBR-puristuskokeilla, joilla tutkittiin kantavuuden kehitystä 5 %:n ja 10 %:n sideaineen lisäyksellä Lamperilan murskeeseen. Tuloksia verrattiin sideaineettoman vertailumurskeen CBR-tuloksiin. Tulosten perusteella tehtiin tiekoe pintastabiloidusta rakenteesta, sekä sen kantavuuden kehitystä seurattiin loppusyksy 2016 silmämääräisesti tarkastellen.</p> <p>Laboratoriotutkimusten tulosten perusteella voitiin todeta, että tutkittavien materiaalin ominaisuuksissa oli selkeitä eroja. Myös LD-Masuunihiekkastabiloinnilla on merkittävä vaikutus ainakin laboratorio-olosuhteissa Lamperilan murskeen kantavuuden kasvuun molemmilla sideainepitoisuuksilla. Tiekokeen seurannasta tuloksia ei saatu syksyn 2016 osalta.</p>	
Avainsanat Pintakelirikko, Pintastabilointi, LD-MaHk, Teräskuona-Masuunihiekka	

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme In Construction Engineering			
Author(s) Santeri Nurminen			
Title of Thesis Stabilizing The Frost Heave of the Surface Course with Steel Slag and Blast Furnace Slag			
Date	23.3.2017	Pages/Appendices	38
Supervisor(s) Mrs. Mervi Heiskanen, Lecturer and Mr. Juha Pakarinen, Lecturer			
Client Organisation /Partners Destia Oy, Oiva Huuskonen			
<p>Abstract</p> <p>The aim of this Bachelor's thesis was to research how crushed gravel causes frost heave of the surface course. It was also investigated how the mixture of steel slag and blast furnace slag prevents frost heave. The observed road is located in Lamperila in Suonenjoki's contract area. The road was renovated against negative effects of frost heave by making new bearing courses but the surface course causes problems. The purpose was to compare Lamperila's road gravel to Hautolahti's gravel and investigate the effects of steel slag and blast furnace slag mixture on bearing capacity. Destia is eager to develop alternative road maintenance methods and similar studies had been made before this thesis.</p> <p>The qualities of the materials were compared by laboratory tests that were made to research materials. The emphasis was on California bearing ratio test. Purpose of the test was to investigate the bearing capacity. Lamperila's road gravel was stabilized by 5 or 10 % steel slag and blast furnace slag mixture and results were compared to non-stabilized Hautolahti's gravel sample results. Next, the received research materials were analyzed and it was verified that the road test was successful. Development of bearing capacity was monitored in the autumn 2016.</p> <p>Based on the laboratory test results it can be said that there were clear differences between the gravels. Stabilizing the steel slag and blast furnace slag has significant effect on the increase of bearing capacity according to the laboratory tests. Road test monitoring didn't give results about the autumn period.</p>			
Keywords surface frost heave, surface stabilizing, Steel Slag-Blast furnace slag			

ESIPUHE

Haluan kiittää Destia Oy:tä, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen. Lisäksi kiitän kaikkia niitä henkilöitä, jotka olivat mukana työni eri vaiheissa ja heitä, jotka ovat joustaneet kesätöiden aikataulussa kesän 2016 aikana. Erityisesti kiitän Destian kehityspäällikkö Oiva Huuskosta, opinnäytetyöni ohjaajaa Mervi Heiskasta ja Oulun Yliopiston professori Kauko Kujalaa arvokkaista neuvoista sekä Tuomo Pitkästä laboratoriokokeiden ohjauksesta.

Pieksämäellä 2017

Santeri Nurminen

SISÄLTÖ

1	JOHDANTO	7
1.1	Taustaa.....	7
1.2	Tavoitteet ja työn rajaus	7
1.3	Destia Oy	8
2	SORATIEN KUNTO.....	9
2.1	Soratien rakenne	10
2.2	Kulutuserosmateriaalin ominaisuudet	11
2.3	Soratien kuivatus	12
2.4	Routa.....	12
2.5	Erilaisia kelirikkoja.....	13
2.6	Pintakelirikko	13
3	LD-MASUUNIHIEKKA	15
3.1	Masuunihiekan valmistusprosessi	15
3.2	Teräskuonan valmistusprosessi	16
3.3	LD-Masuunihiekan valmistusprosessi	16
3.4	LD-Masuunihiekan ominaisuudet.....	17
3.5	LD-Masuunihiekka stabilointi.....	17
4	KULUTUSKERROMATERIAALIN TUTKIMINEN	18
4.1	Rakeisuus.....	18
4.2	Humuspitoisuus	18
4.3	Veden adsorptio.....	19
4.4	Vedenpidätyskyky	19
4.5	Liettympiste	19
4.6	CBR-puristuskoe	20
5	LABORATORIOTUTKIMUKSET	21
5.1	Tutkimuskohde	21
5.2	Kiviainesnäytteet.....	22
5.3	Rakeisuuden ja hienoainespitoisuuden määrittäminen.....	23
5.4	Humuspitoisuuden määrittäminen.....	23
5.5	Veden adsorptio.....	23
5.6	Vedenpidätyskyky	24

5.7	Liettyispiste	24
5.8	CBR-puristuskoe	25
5.8.1	CBR-puristusnäytteen valmistus	25
5.8.2	CBR-puristuskoe.....	26
6	LABORATORIOKOKKEIDEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET	27
6.1	Rakeisuuskäyrät.....	27
6.2	Humuspitoisuudet	28
6.3	Veden adsorptioluvut	29
6.4	Vedenpidätyskäyrät.....	29
6.5	Liettyispisteen tulokset proctor-menetelmällä.....	29
6.6	CBR-luvut.....	30
7	TIEKOE.....	32
7.1	Tiekokeen seuranta.....	34
8	YHTEENVETO.....	36
	LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT	37

1 JOHDANTO

1.1 Taustaa

Suomessa metsäteollisuus on suuri työllistäjä, mikä näkyy etenkin Keski- ja Itä-Suomen rakenteilla sekä suunnitteilla olevista suurista metsäteollisuuden investoinneista. Metsäteollisuuden raaka-aines tulee suurimmalta osalta alemmalta tieverkostolta, jotka ovat yleensä sorapintaisia, ja niistä Suomen valtion ylläpitämiä sorapintaisia maanteitä on n.27 000 km. Ongelmana on varsinkin keväisin ja syksyisin esiintyvä tienpinnan ja tierakenteen pehmentyminen, joka johtuu suurimmalta osalta tierakenteen routimisesta, mutta myös nykyisin yleisemmin esiintyvät rankkasateet aiheuttavat ongelmia. Edellä mainittujen syiden takia osalle teistä on välttämätöntä asettaa painorajoituksia, joka taas hankaloittaa maa- ja metsätalouden liikennöintiä. (ELY-keskus 2016.)

1.2 Tavoitteet ja työn rajaus

Tämän opinnäytetyön tavoitteena on tutkia Lamperilantielle tehtyjen runkokelirikkipenkkojen ongelmallista kulutuskerrosmateriaalia, jossa esiintyy vaikeaa pintakelirikkoa keväisin ja syksyisin. Tutkimuksissa pyritään selvittämään LD-MaHk tuotteen vaikutusta pintakelirikkoherkkyyteen valitussa kohteessa, eikä vastaavaa tutkimusta pelkän kulutuskerroksen stabiloinnista ole aiemmin tehty. Pintakelirikosta on tehty Tiehallinnon Pintakelirikkoselvitys 2008, jossa selvitetään murskatuille materiaaleille yhtäläisiä ominaisuuksia roudan sulamisen ulkopuolisella ajalla tapahtuvalla pehmenemisellä. Tutkimuksen osaksi kuuluu laboratoriotöitä, joissa selvitetään ongelmallisen ja hyvälaatuisen vertailumurskeen ominaisuuksia rakeisuuden, humuspitoisuuden, veden adsorption, vedenpidätyskyvyn ja liettymispisteen perusteella. Lisäksi tärkeimpänä osuutena laboratoriossa suoritetaan CBR-kokeita ongelmalliselle murskeelle kahdella valitulla sideainepitoisuudella, ja saatuja tuloksia verrataan hyvälaatuisen sideaineettoman murskeen arvoihin. CBR-kokeiden tulosten perusteella on tarkoitus suorittaa pienimuotoinen tiekoe, jossa kulutuskerrosta stabiloidaan valituilla sideainepitoisuuksilla. Tämän opinnäytetyön tuloksena muodostuu raportti laboratoriotutkimuksista ja niiden tuloksista, sekä LD-Masuunihiekalla stabiloidusta tiestä ja jälkiseurannasta.

Opinnäytetyön tilaajana toimii Destian kehityspäällikkö Oiva Huuskonen ja työ on aloitettu keväällä 2016. Yhdessä kehityspäällikkö Huuskosen ja Suonenjoen alueurakan työnjohdon kanssa tultiin siihen tulokseen, että aihe soveltuu hyvin insinöörin opinnäytetyöksi, ja laboratoriotutkimukset tehdään Oulun yliopistolla kesän 2016 aikana.

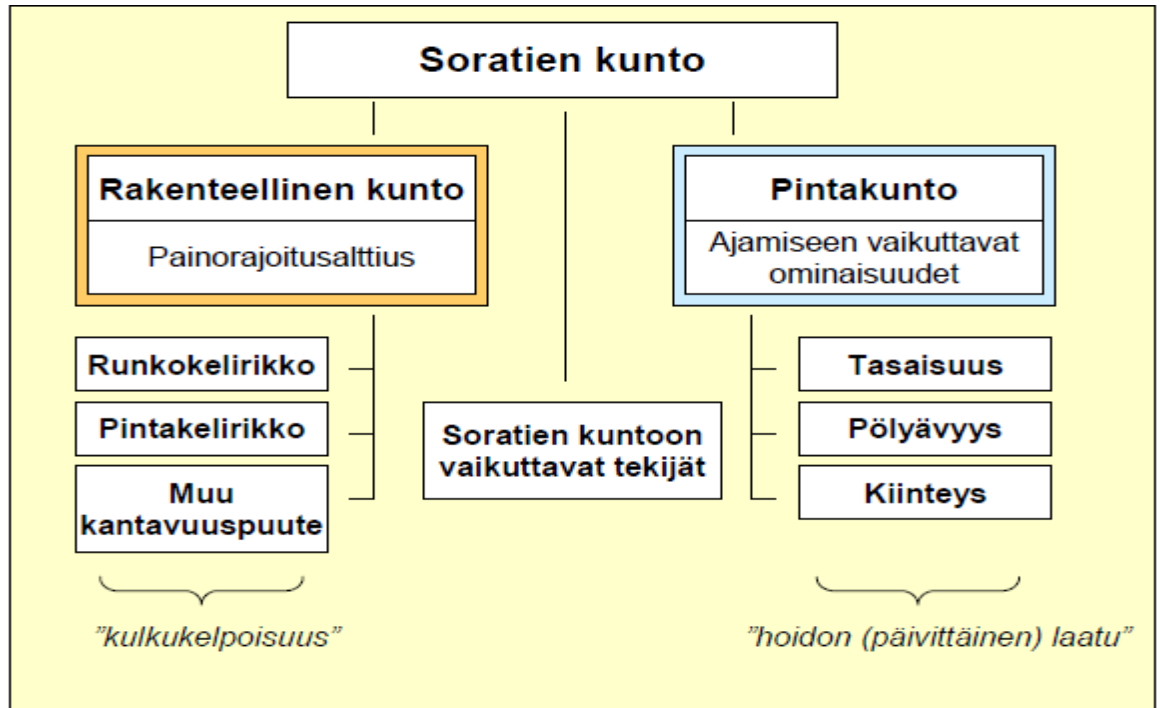
Teoriaosuudessa kerrotaan yleisesti sorateistä, kelirikosta sekä laboratoriotutkimuksissa käytetystä sideaineesta (LD-MaHk). Käytännön osuudessa käsitellään laboratoriokokeita, kerrotaan tuloksista sekä niistä vedettävistä johtopäätöksistä. Lopussa raportoidaan tiekokeen suorituksesta sekä jälki- ja jatkoseurannasta.

1.3 Destia Oy

Destia on suomalainen infra- ja rakennusalan palveluita tarjoava yhtiö, joka suunnittelee, rakentaa ja ylläpitää liikenne- ja rataväylien lisäksi liikenne- ja teollisuusympäristöjä sekä kokonaisia elinympäristöjä (Destia c.) Yrityksen referensseihin kuuluu väylä-, insinööri-, kallio- sekä pohja- ja aluerakentaminen. Lisäksi Destia tarjoaa palveluita energiainfraan, radan pitoon ja rakentamiseen, kunnossapitoon, kiviaineksen myyntiin, tiestötietoon sekä suunnitteluun (Destia b.) Asiakkaina ovat pääasiassa kunnat ja kaupungit, teollisuus ja liikeyritykset sekä valtion organisaatiot. Destian liikevaihto oli vuonna 2015 426,8 miljoonaa euroa ja henkilöstöä oli keskimäärin 1 500. (Destia a.)

2 SORATIEN KUNTO

Pintakunto ja rakenteellinen kunto muodostavat soratien kunto -käsitteen (kuva 1). Soratien kulkukelpoisuus ja rakenteen toimivuus varmistetaan rakenteellisen kunnon ylläpidolla ja päivittäisen liikennöitävyyden varmuus taataan pintakunnon hoidolla. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 10.)



kuva 1. Soratien kunnon osatekijät (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 10.)

Soratien pintakuntoon ja rakenteelliseen kuntoon vaikuttavat tekijät (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 10):

- tien muoto (geometria, sivukaltevuus ja leveys)
- tien rakenne ja materiaalit
- paikalliset olosuhteet (kulloinkin vallitseva keli, pohjamaa, liikennemäärät ja urakoitsijan toiminta)
- kuivatus (reunapalteet, ojarummut ja ojat).

Soratiet ovat suurimmaksi osaksi rakentamattomia teitä, joista puuttuu nykyisten vaatimusten mukaiset routimattomat rakennekerrokset. Tämä omalta osaltaan aiheuttaa kelirikko-ongelmia (kuva 2; Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 11).



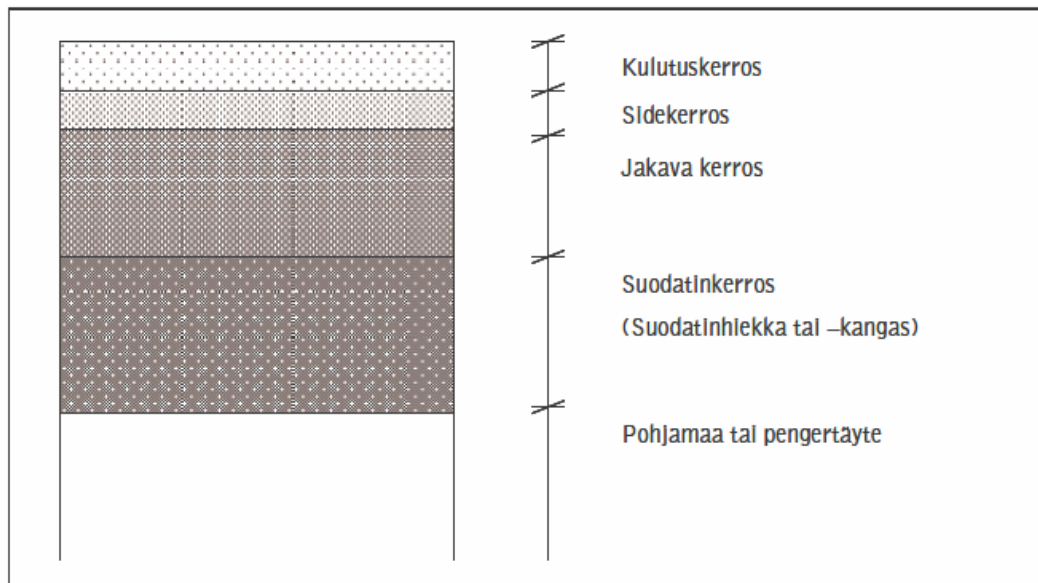
Kuva 2. Pintakelirikkoisen tie Lamperilassa (Nurminen 2016-04-13)

2.1 Soratien rakenne

Soratiet on luokiteltu kolmeen luokkaan liikennemäärän, tien verkollisen aseman, maankäytön sekä asiakastarpeiden perusteella: vähäliikenteiset soratiet, perussoratiet sekä vilkkaat soratiet (Tiehallinto e, 4). Edellä mainitut asiat vaikuttavat ohjeellisiin tien kantavuusvaatimuksiin kantavan kerroksen päältä mitattuna sekä tierakenteen kerrospaksuuksiin. Myös pohjamaan laatu vaikuttaa rakennekerrosten paksuuteen sekä käytettävän materiaalin valintaan. (Tiehallinto f, 56–57.)

Soratien rakenne (kuva 3) poikkeaa joustavasta päällysrakenteesta, sillä siinä ei ole varsinaista kantavaa kerrosta. Jakava kerros ja suodatinkerros rakennetaan kuitenkin kuten joustavissa päällysrakenteissa. Jakava kerros jakaa liikennekuormia alemmille rakennekerroksille ja sen tulisi myös katkaista veden kapillaarinen nousu kulutuskerrokseen, sekä johtaa tierakenteeseen imeytynyt vesi sivuojiin. Suodatinkerroksen tehtävänä on katkaista veden kapillaarinen nousu, sekä tärkeimpänä estää rakennekerrosten sekoittuminen keskenään. Lisäksi suodatinkerroksen tehtävänä, kuin myös muillakin rakennekerroksilla, on lisätä tien kuormituskestävyyttä sekä pienentää ja tasata routanousuja. Mikäli Pohjamaa on routivaa, suodatinkerros tarvitaan aina, koska tierakenne toimii halutulla tavalla vain, jos rakennekerrokset eivät pääse sotkeutumaan keskenään. Varsinkin pohjamaan ollessa routivaa, sen pääsy rakennekerrokseen on estettävä, muutoin rakenteista tulee routivia, joka johtaa tierakenteen toiminnan oleelliseen heikentymiseen sekä liikenne- että ympäristökuormituksia vastaan. (Ehrola 1996, 138, 152–153). Suurin osa sorateistä on kuitenkin rakentamattomia, joten niistä puuttuu tarvittavat rakennekerrokset ja näin ollen ovat yleensä routivia (Tiehallinto c, 30).

Tierakenteen tulisi toimia ulkopuolisen vesikuormituksen suhteen niin, että vesi pääsee imeytymään mahdollisimman vähän rakenteeseen. Myös routasulamista johtuva vesikuormitus tulisi saada mahdollisimman nopeasti pois rakenteesta, sekä estää pohjaveden yläpuolelle nousevan kapillaariveden pääsy rakennekerrokseen. (Ehrola 1996, 137.)



Kuva 3. Soratien rakennekerrokset (TVL 1985)

Kulutuskerroksen tehtävänä on jakaa liikennekuormia alemmille kerroksille sekä parantaa päällysrakenteen kantavuutta. Kulutuskerroksen pinnan on oltava tiivis sekä riittävän kalteva ja koossapysyvä, jotta suurin osa sulamis- ja sadevesistä pääsee valumaan sivuojiin, sekä tiepinta pysyy kasassa liikenteen vaikutuksen alla. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 24.) Sidekerros tehdään kulutuskerrosta karkeammasta ja paremmin kosteutta pidättävästä materiaalista. Sen tehtävänä on sitoa kosteutta, mikäli kulutuskerrosmateriaalin kosteuden pidätyskyky ei ole riittävä. Sidekerrosta ei tarvitse rakentaa, jos jakava kerros tehdään moreenimurskeesta, koska moreenirakenteet kykenevät hoitamaan kulutuskerroksen kosteana pysymisen. (Ehrola 1996, 152–153.)

2.2 Kulutuskerrosmateriaalin ominaisuudet

Kulutuskerrosmateriaalina käytetään sora-, kallio- tai moreenimurskettä, jonka maksimiraekoko rajoittuu 11 mm:iin tai 16 mm:iin, yleisimmin kuitenkin 16 mm:iin. 11 mm maksimiraekokoon rajoitettua murskettä voidaan käyttää yleisemmin rakennetuilla sorateilla, jossa on paljon kevyttä liikennettä. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 25.) Kulutuskerrosmateriaalin tärkein ominaisuus on raekokojakauma, koska se vaikuttaa välillisesti tai välittömästi moniin muihin ominaisuuksiin. Ennen kaikkea rakeisuuskäyrän muodon tulisi olla jatkuva, mutta myös maksimiraekoko ja hienoainepitoisuus ovat keskeisiä ominaisuuksia. (Nyman 1997, 15–16). Kulutuskerrosmateriaalissa tulisi hienoaineksen (< 0,063 mm) määrän olla 8–15 % (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 27). Kulutuskerroksen hienoaineksen ominaisuudet vaikuttavat ainakin materiaalin sitoutumiseen, kiinteänä pysymiseen sekä pintakelirikkoalttiuteen. Hienoaineksen ominaisuuksien vaikutusta kulutuskerroksen käyttäytymiseen ei vielä tunneta kattavasti, johtuen ainakin kenttäkokeiden eri olosuhteista. Arvioitaessa soratien kulutuskerroksen hienoaineksen ominaisuuksia voidaan käyttää mm. seuraavia menetelmiä:

- ominaispinta-ala
- veden adsorptioluku
- konsistenssit

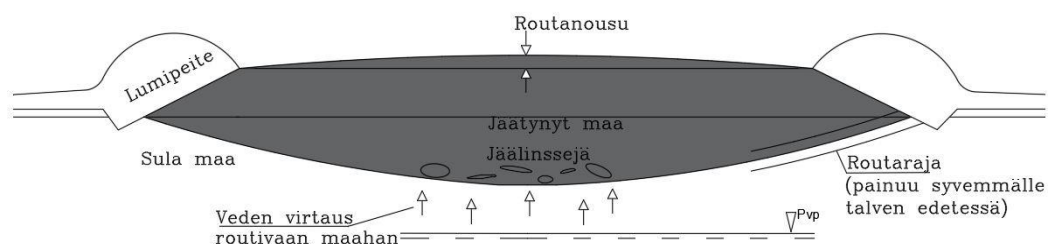
- hienoaineksen savipitoisuus
- mineralogia (Nyman 1997, 20–23).

2.3 Soratien kuivatus

Tierakenteessa ja tienpinnalla oleva ylimääräinen vesi heikentää tien kantavuutta sekä saattaa aiheuttaa tienpinnan liettymistä, mutta pölyävyyden vähentämisen kannalta tiessä tulisi olla hieman kosteutta jatkuvasti. Soratien kuivatuksella estetään veden aiheuttamat haitat tien rakenteille, tien ympäristöalueille ja liikenteelle. Haittoja aiheuttavat erityisesti pintavedet, mutta myös tierakenteen ja pohjamaan sisäiset vedet voivat olla ongelmallisia, joten hyvällä kuivatuksella pystytään vähentämään pinta- ja runkokelirikon muodostumista. Kuivatuksen toimivuuden takaamiseksi on huolehdittava reunapalteiden poistosta, sivuojiin sekä tierumpujen toimivuudesta. Etenkin reunapalteet estävät veden pääsyn sivuojiin, sillä vaikka tien sivukaltevuus olisi riittävä, vesi jää seisomaan tielle ja imeytyy rakenteeseen, ja se aiheuttaa tienpinnan reikiintymistä. Sivuojat ehkäisevät veden seisomista tien reunoilla ja takaavat veden pääsyn edelleen laskuojiin. Sivuojiin toimivuus on erityisen tärkeää huomioida sivukaltevassa maastossa ylärinteen puolella, sen tulisi estää maastosta valuvaa vettä virtaamasta tien läpi ja vähentää tierakenteeseen imeytyvää veden määrää. Tierummut sekä liittymärummut mahdollistavat ojissa virtaavan veden pääsyn tien poikkisuunnassa ja tien suunnassa sivuojiin edelleen laskuojiin, mikäli veden virtaus estyy esim. rumpujen tukkeutuessa, rikkoutuessa tai painuessa tien kunto heikkenee nopeasti. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014, 21.)

2.4 Routa

Routa on merkittävä tekijä kelirikon synnyssä, jolloin tienrungossa oleva huokosvesi jäätyy, joka johdetaan tienrungon lämpötilan laskemisesta alle $0\text{ }^{\circ}\text{C}$:n, tätä ilmiötä kutsutaan routaantumiseksi. Routaantuminen lisää merkittävästi rakenteen kuormituskestävyyttä ja jäykkyyttä sekä aiheuttaa routanousua (kuva 4) jäätyneen tilavuuden kasvun seurauksena. (Jääskeläinen, Rantamäki ja Tammirinne 1979, 115.) Lämpötilan noustessa rakenne alkaa sulaa ylhäältä ja alhaalta päin johdetaan ilman lämpenemisestä ja maasta vapautuvasta lämmöstä. Tässä tilanteessa tierakenne on vielä keskeltä jäässä, mikä estää sulamisvesiä läpäisemästä tierakennetta, joten vesi jää pintarakenteeseen. Tämä ja liikenteen aiheuttama rasitus edesauttaa tien liettymistä, mikä aiheuttaa kelirikkoa. (Jääskeläinen ym. 1979, 121.)



Kuva 4. Routan vaikutus tierunkoon

2.5 Erilaisia kelirikkoja

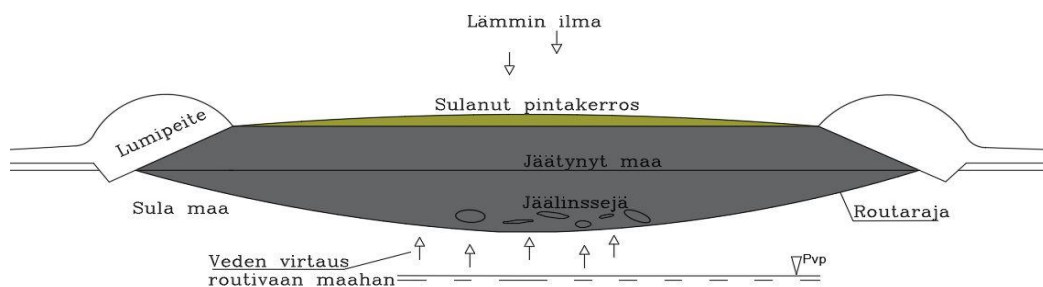
Pintakelirikko: Kohta 2.6

Runkokelirikko: Tienrungon sulaminen on edennyt 10–15 cm alapuolelle alkaa runkokelirikkovaihe, joka kestää niin kauan kunnes tienrunko on täysin sulanut. Tienrungosta ja sinne mahdollisesti muodostuneista jäälinseistä vapautuu sulamisvettä, joka ei pääse kuivattumaan tien alapuolelle tai sivulle tarpeeksi nopeasti. Liian korkea vesipitoisuus tienrungossa aiheuttaa tien kantavuuden romahduksen sekä hankaloittaa sen liikennöitävyyttä. (Tiehallinto a, 9.)

Syyskelirikko: Yleensä syksyisin esiintyvät runsaat sateet nostavat pohjaveden pintaa sekä lisäävät tienrungon vesipitoisuutta niin paljon, että kantavuus alenee ja raskaan liikenteen liikkuminen hankaloituu. (Tiehallinto a, 9.) Loppusyksystä esiintyy myös jäätymis-sulamisvaiheita, jolloin tienpintaan imeytyy tierakenteesta vettä. Tämä pumppaava mekanismi saattaa aiheuttaa tien kulutuskerroksen vettymistä sekä muuttumista plastiseksi. Syksyn jäätymis-sulamisvaiheiden määrä vaikuttaa kevään kelirikko-ongelmien vaikeuteen. (Tiehallinto b, 12.)

2.6 Pintakelirikko

Tien pintaosan (5–15 cm) pehmeneminen (kuva 5), joka olennaisesti haittaa liikennöintiä, johtuu yleensä pintaosan nopeammasta sulamisesta kuin runko-osan. Tämä estää sulamisvesien imeytymisen maahan ja aiheuttaa tienpinnan pehmenemisen. Pehmeneminen voi johtua myös rankkasateiden aiheuttamasta poikkeuksellisen suuresta vesipitoisuudesta rakenteessa tai kulutuskerrosmateriaalin liettymisestä. (Tiehallinto e, 13.)



Kuva 5. Periaatekuva pintakelirikosta (Nurminen 2017-01-18)

Pintakelirikko-ongelmallisille murskeille on löydetty yhtäläisiä ominaisuuksia:

- suuri biotiittikiilteen määrä (kivihieestä tutkittuna vähintään 10 %)
- suuri dielektrisyysarvo
- suuri kuulamylyarvo.

Lisäksi rakeisuuskäyrän muodolle on tyypillistä, että alle 4 mm rakeossa se noudattaa nykyisen ohjealueen alimpia rajakäyriä, mutta yli 4 mm rakeilla siirtyy lähelle ylempiä ohjealueen rajakäyriä. Myös hienoaineksen määrällä on merkitystä pintakelirikkoherkkyyteen, joten valmiin kulutuskerroksen hienoainepitoisuus tulisi rajoittaa 8–10 %:iin. 8–10 % on nykyisen ohjealueen alimpia raja-

käyriä, ja se tulisi huomioida etenkin sorastusmursketta valittaessa pintakelirikkoisille teille. Kulutuskerroksen hienoaineksen määrää lisää hienontuminen, jota voidaan rajoittaa asettamalla kiviainekselle lujuusvaatimuksia. Pintakelirikkoaltille teille suositellaan maksimiarvoksi pehmeille mineraaleille 30 %, dielektrisyysarvo (TS-arvo) < 16 sekä kuulamylyarvolle 22, joka vastaa MicroDeval-arvoa 15.

Kulutuskerroksen paksuudella sekä poikkiprofiilin muodolla on todettu olevan vaikutusta pintakelirikkoaltiliuteen. Liian suuri kulutuskerroksen paksuus aiheuttaa ongelmia, joten tavoitepaksuus on 50 mm ja 150 mm paksuuksissa on syytä jo miettiä kulutuskerroksen ohentamista mahdollisesti liiallisen veden sitoutumisen takia. Myös liian pieni sivukaltevuus on haitaksi, joten pintakelirikkoisilla teillä tulisi olla vähintään 4–5 % sivukaltevuus. Kuivatusjärjestelmän toimivuus on merkittävä asia pinta- sekä runkokelirikon ehkäisyssä, joten reunapalteiden poistoon ja ojien toimivuuteen on kiinnitettävä erityistä huomiota varmistaakseen tienpinnan ja rakenteen riittävä kuivatus. (Tiehallinto d, 14–23.)

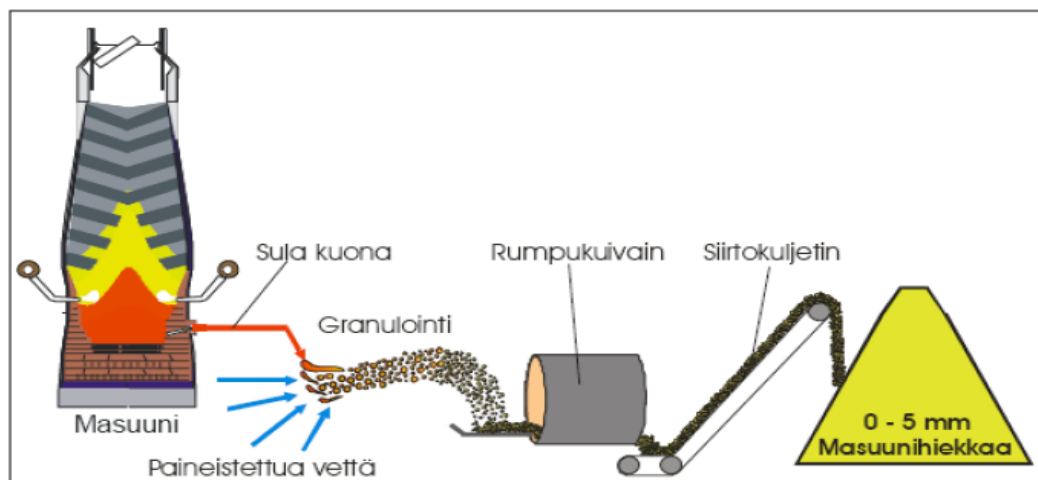
3 LD-MASUUNIHIEKKA

Tässä opinnäytetyössä LD-Masuunihiekasta/LD-MaHk tuotteesta puhuttaessa tarkoitetaan SSAB Raahen tehtaalla valmistettua tuotetta. LD-MaHk on terästeollisuuden sivutuote, joka sisältää teräskuonaa ja masuunihiekkaa. LD-MaHk sopii rakennusmateriaaliksi hyvän kantavuuden ja lämmöneristävyyden vuoksi, mikä mahdollistaa ohuimmat rakenteet kuin luonnonkivistä tehtäessä. Ohuimmat rakenteet pienentävät leikkausmassoja ja tuovat säästöjä materiaali-, kone- ja kuljetuskustannuksiin. LD-MaHk:sta tehtävien rakenteiden kuivatuksen suunnittelu ja toteutus on yleensä helpompaa. Sitoutumisen seurauksena kantavuus kasvaa ajan kuluessa. Pehmeiköille rakentaessa LD-MaHk sopii hyvin sen kantavuutensa ja sitoutumisominaisuutensa ansiosta, eivätkä sen muut tekniset ominaisuudet muutu. LD-MaHk käyttökohteita ovat tie- ja katurakenteet, piha- ja kenttärakenteet, pehmeikkörakenteet ja stabilointi. (RT-38728, 3.)

3.1 Masuunihiekan valmistusprosessi

SSAB Europe Oy:n Raahen tehtaalla raakaraudan valmistuksen yhteydessä muodostuu sivutuote, jota kutsutaan masuunihiekaksi (MaHk). Masuunihiekan kemialliset ominaisuudet riippuvat masuuniprosessista, kuin myös siinä käytettävistä raaka- ja sivuaineista. Masuunissa vallitsee 1 400–1 500 °C lämpötila, jossa rautamalmi sulaa. Malmassa olevien sivukivien oksidit reagoivat masuuniin lisätyn kalkin kanssa, näiden reagoidessa keskenään sulan raudan päälle muodostuu kuonakerros. Kuonan koostumuksen on oltava mahdollisimman tasalaatuista masuunin oikean toiminnan vuoksi. Masuunihiekan rakeisuus on hyvin lähellä luonnonhiekkaa ja sen tärkeimmät ominaisuudet tierakentamista ajatellen ovat sitoutumiskyky ja lämmöneristävyys.

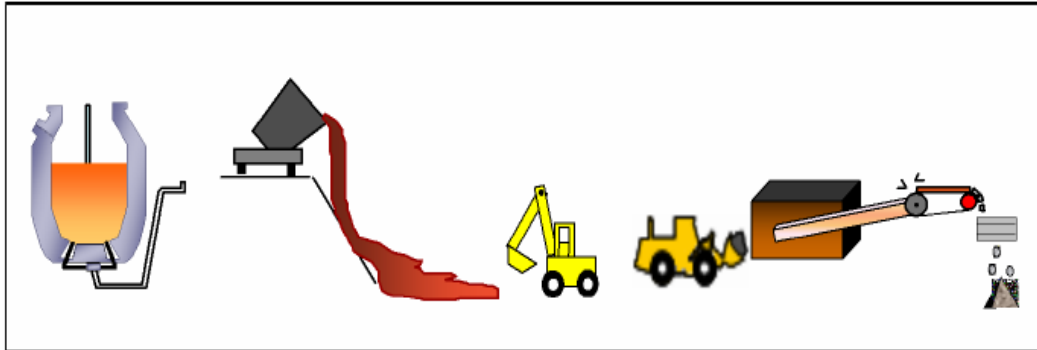
Masuunikuonaa granuloimalla eli vesijähdyttämällä valmistetaan masuunihiekkaa. Raahessa masuunihiekan laadun tasaisuuden varmistamiseksi granulointi tehdään suoragranulointilaitoksessa (kuva 6). Granuloinnissa käytetään 2,5 Barin vesipainetta, jolloin lopputuotteesta saadaan 0–5 mm raekooltaan huokoista ja lasimaista materiaalia. (Merox, 4.)



Kuva 6. Masuunikuonan suoragranulointiprosessi SSAB Europe Oy:n Raahen tehtaalla (Merox, 4)

3.2 Teräskuonan valmistusprosessi

Raahen tehtaalla raakaraudan hiilipitoisuutta laskettaessa teräskuonakonvertterissa muodostuu teräskuonaa (LD). Prosessin aikana hiilipitoisuus laskee yli 4 %:sta noin 0,05 %:iin. Raahen tehtaalla ennen hiilipitoisuuden alentamista raakaraudasta poistetaan rikki, jonka jälkeen mikserien kautta edelleen konvertterille hiilipitoisuuden alennukseen. Konvertterissa sulan pinnalle muodostuu kuonaa yhdessä hapen, raudan epäpuhtauksien sekä kuonanmuodostajien kanssa. Happi puhalletaan sulan raakaraudan alapuolelta.



Kuva 7. Teräskuonan valmistusprosessi SSAB Europe Oy:n Raahen-tehtaalla (Merox, 5)

Kuonanmuodostajana yleisimmin käytetään Poltettua kalkkia (CaO) tai dolomiittikalkkia ($\text{CaO}\cdot\text{MgO}$). Konvertterin kuonanmuodostuksessa pyrkimyksenä on saavuttaa kuohuva ja pehmeä kuona mahdollisimman aikaisessa vaiheessa puhallusta. Tämä tehostaa mellostusta, epäpuhtauksien poistuminen alkaa nopeammin lisäksi vuorauksen kuluminen hidastuu.

Kuona siirretään konvertterilta siirtosenkoilla ilmajäähdytyspaikalle, missä kuona jäähtyy useita päiviä. Jäähdytymisen jälkeen kuona koneellisesti louhitaan irti ja murskataan (kuva 7). Kun murskaus on suoritettu ja metalli erotettu, kuonatuotteet seulotaan haluttuihin jakeisiin, jonka jälkeen ne siirretään kasoihin vanhentumaan. (Merox, 5.)

3.3 LD-Masuunihiekan valmistusprosessi

LD-Masuunihiekkaa valmistetaan kahdessa seossuhteessa, 50/50 ja 30/70. Teräskuonan ja masuunihiekan suhteutuksessa pyritään saattamaan yhteen tuotteiden hyvät ominaisuudet. Seoksessa masuunihiekan lujittumisreaktion aktivaattorina toimii teräskuona. Masuunihiekan lisäys auttaa hallitsemaan teräskuonan paisumista.

Teräskuonasta liukenevien sulfaattiyhdisteiden sitomisessa apuun tulevat masuunihiekan hyvät adsorptio-ominaisuudet. Seoksen kantavuutta ja kulutuskestävyyttä lisäävät teräskuonan karkeampi raekoko ja kiviaineksen laatu. (Merox, 5.)

3.4 LD-Masuunihiekan ominaisuudet

LD-MaHk tuotteessa käytetyt kuonat ovat hyvin tasalaatuisia, koska prosessien ohjaus perustuu oikeanlaisen kuonan koostumukseen. Masuunihiekan sitoutuminen tapahtuu luonnonkosteassa tilassa hydraulisesti. Sitoutumisreaktio tapahtuu rakeen pinnalla ja reaktio käynnistyy uudelleen pinnan rikkoutuessa, mikä mahdollistaa masuunihiekkarakenteen itsekorjautumisen, mikäli halkeamia pääsee muodostumaan. Itsekorjautuvuus on merkittävä ominaisuus ajatellen rakenteen kestoikää. (RT-38728, 3.)

LD-MaHk soveltuu hyvin roikkuvatyyppisten rakeisuuskäyrien korjaamiseen, joita yleensä esiintyy kalliomurskeissa. LD-MaHk on rakeisuudeltaan 0–8 mm, tästä syystä se soveltuu hyvin erityisesti vähän hienoainesta sisältävien murskeiden rakeisuuden korjaamiseen parantaen rakenteen tiivistävyttä ja työstettävyyttä. (RT-38728, 4.)

3.5 LD-Masuunihiekka stabilointi

Stabilointi on rakentaessa tai perusparantaessa käytettävä menetelmä, jossa kuormituskestävyyttä kasvatetaan sitomalla rakennekerroksia sideaineella. LD-MaHk 50/50 stabilointia käytettäessä kantaavuuden kehitys on tasalaatuisinta, eikä ole välttämätöntä käyttää sementtiaktiivointia. Stabiloidun kerroksen sitoutuminen jatkuu kuukausia liikenteen alla. Stabiloidun rakenteen rikkoutuessa liikenteen vaikutuksen, routanousun tai tienhoidollisista syistä sitoutumisreaktio käynnistyy uudelleen rikkoutuneella raepinnalla. Sitoutumisreaktio on hidas LD-MaHk stabiloidulla rakenteella, joten työskentelyajat ovat tämän ansioista pidemmät kuin rakenteilla, joissa käytetään bitumi- tai sementtistabilointia. (RT-38728, 4.)

4 KULUTUSKERROMATERIAALIN TUTKIMINEN

Kulutuserosmateriaalia voidaan tutkia useilla eri kokeilla. Yleisimpiä kulutuserosmateriaalille tehtäviä laboratoriotestejä on rakeisuuden, hienoainespitoisuuden ja humuspitoisuuden määrittäminen. Joissain tilanteissa maailmalla käytetään erilaisia menetelmiä kuin Suomessa, joten olisi hyvä harkita käytettävien niitä myös täällä.

4.1 Rakeisuus

Rakeisuus määritellään kiviaineksen sisältämien erikokoisten rakeiden painosuhteiden perusteella, eli tällöin määritetään jokaisen raekoon jakauma. Yleisimmin rakeisuuden määrittäminen tapahtuu kuivaseulonnalla, jossa selvitetään yleensä perusseulasarjaa apuna käyttäen näytteen läpäisyarvot painoprosentteina. Perusseulasarjan seulakoot ovat standardin SFS-EN 933-2 mukaan 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, 16, 31.5 ja 63 mm. Jokaisen seulan läpäisyarvojen perusteella piirretään näytteen rakeisuuskäyrä. Kiviainesnäytteen raejakauma on selvästi hahmotettavissa rakeisuuskäyrän muodosta. (Pohjonen 2014, 6.)

Hienoainespitoisuuden ($< 0,063$ mm) tarkka määrittäminen edellyttää pesuseulontaa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että hienoaines pestään $0,063$ mm seulan läpi ja poistunut massa kirjataan ylös pesutappiona. Pesussa käytetään yleensä apuna 1 mm tai 2 mm seulaa, koska karkeammat raekoot särkevät helposti $0,063$ mm seulan. Pesun jälkeen kuivattu näyte seulotaan normaalisti, jolloin saadaan selville tarkka hienoainespitoisuus sekä raejakauma.

4.2 Humuspitoisuus

Maalajin humuspitoisuudesta puhuttaessa tarkoitetaan sen sisältämän eloperäisen aineen suhteellista osuutta kuivan kiviaineksen määrään verrattuna. Humuspitoisuus vaikuttaa merkittävästi maalajin geoteknisiin ominaisuuksiin. Märkänä humus useimmiten heikentää maalajin lujuusominaisuuksia, mutta kuivana lisää maalajin lujuutta. Humus lisää maalajin vesipitoisuutta heikentäen leikkauslujuutta ja vedenläpäisevyyttä. Humus vaikuttaa myös paljolti maalajin kokoonpuristumisominaisuuksiin. (Jääskeläinen ym. 1979, 77–78). Humuspitoisuus määritetään yleensä poltto- tai natriumhydroksidimenetelmällä. Natriumhydroksidimenetelmässä tutkittavan materiaalin sekaan laitetaan natriumhydroksidiliuosta, joka värjäytyy humuspitoisuuden mukaan. Mitä tummempaa nestettä, sitä enemmän humusta on näytteessä. Polttomenetelmässä orgaaninen aine poltetaan uunissa pois, jolloin polton aikana hävinnyt massa on humusta, josta saadaan laskettua prosenttiluku.

Humuspitoisuus on mahdollista määrittää myös kolori- ja spektrometrimenetelmillä. Menetelmät perustuvat näytteen heijastaman sähkömagneettisen aallon taajuuden ja intensiteetin mittaukseen ja tuloksia vertaillaan tunnettujen vertailunäytteiden heijastuksiin. (Haavisto-Hyvärinen, Kutvonen 2007, 49.)

4.3 Veden adsorptio

Veden adsorptiokokeella määritetään maa- ja kiviaineksen hienoaineksen ($< 0,063$ mm) kykyä adsorboida eli sitoa vesihöyryä 100 %:n suhteellisessa kosteudessa. Veden adsorptioluku kuvaa tietystä ajassa näytteeseen adsorboituneen veden määrää ilmaistuna painoprosentteina kuivasta massasta. (PANK-2108.) Rakeiden pinnalle voi adsorboitua useampia molekyylikerroksia johtuen vesimolekyylin reaktiivisuudesta ja tästä syystä veden adsorptioluku ei korreloi maa-aineksen ominaispinta-alaan. Maa-ainekset ovat hyvin herkkiä suolalle, joka saattaa nostattaa adsorptiolukua 10–15 kertaiseksi. Tämä rajoittaa adsorptioluvun käyttöä. (Nyman 1997, 22)

Kuivina kausina veden adsorptio vaikuttaa omalta osaltaan kulutuskerroksen kosteana pysymiseen, mutta myös pintakelirikkoherkkyyteen. Pintakelirikkoherkkyyteen vaikuttaa veden adsorption lisäksi hienoaineksen määrä. (Huuskonen, 22–23.)

4.4 Vedenpidätyskyky

Vesi pysyy maarakeissa kapilaari-, adsorptio-, ja osmoosivoimien avulla. Pohjaveden pinnassa ilman ja vedenpaine ovat samansuuruisia. Vedenpaine kasvaa suoraviivaisesti kuten hydrostaattinen paine pohjavedenpinnasta alaspäin mentäessä, eli ilman osapaine maahuokosessa kasvaa ja veden osapaine pienenee pohjavedenpinnasta ylöspäin noustaessa. Osapaineiden paine-eroa kutsutaan maaveden jännitykseksi tai alipaineeksi, joka sitoo vettä. Jokaisella maalajilla on erilainen jännitys ja näin ollen myös erilainen vedenpidätyskäyrä. Käyrissä on yleensä toisena akselina maan vesipitoisuus ja toisella akselilla alipaine, joka kuvastaa maan kuivumista tiettyyn vesipitoisuuteen. Alipaineen yksikkönä voidaan käyttää pF-lukua tai SI-järjestelmän baari (Bar), Pascal (Pa), ATM eli ilmanpaine. pF-luku kuvaa kymmenpotenssia eli pF-luvun ollessa 4, alipaine vastaa suuruudeltaan 10 000 cm vesipatsaan aiheuttamaan hydrostaattista painetta. (Airaksinen 1978, 32–33.)

4.5 Liettymispiste

Liettymispiste (Transportable moisture limit) on materiaalin maksimivesipitoisuus, jolloin se on vielä turvallinen kuljettaa vesiteitse. Liettymispisteen arvo on 90 % maa-aineksen juoksupisteestä (Flow moisture point). Testi voidaan suorittaa iskupöytä-, tunkeutuvuus- tai proctor-menetelmällä. (WWW.BUREAUVERITAS.COM, transportable-moisture-limit).

Iskupöytämenetelmä sopii materiaaleille, joiden maksimiraekoko on 1 mm ja joissain tapauksissa soveltuu myös maksimissaan 7 mm rakeiselle materiaalille. Menetelmässä mitataan iskupöydän aiheuttama materiaalin leviämä. Tunkeutuvuusmenetelmässä tutkittavaa materiaalia ravistetaan tärinäpöydällä ja juoksupiste määrittyy indikaattorin tunkeuman mukaan. Tätä menetelmää voidaan käyttää 25 mm rakeisuuksiin asti. Proctor-kokeeseen perustuva menetelmä sopii maksimissaan 5 mm rakeisille materiaaleille. Menetelmässä tehdään proctor-kokeita optimivesipitoisuuden yli yhteensä 5–10 eri vesipitoisuudella. Proctor-kokeen tuloksista voidaan määrittää liettymispiste. (IMSBC 2008, 310–332.)

4.6 CBR-puristuskoe

CBR eli California Bearing Ratio on maailmalla yleisemmin käytetty puristuskoe tien alusrakenteen ja rakennemateriaalien kantavuuden määrittämiseksi. CBR-luku on prosenttiluku, joka kuvaa tarvittavaa painetta saman muodonmuutoksen aikaansaamiseksi tutkittavan materiaalin ja standardimateriaalin välillä, joka on kalkkikiveä. Kokeen tavoitteena on määrittää muodonmuutosominaisuudet mahdollisimman samanlaisissa olosuhteissa kuin se olisi todellisessa tierakenteessa. (Ehrola 1996, 189.) Testissä kantavuus määritetään puristamalla halkaisijaltaan 50 mm mäntää 1,25 mm/min vauhdilla koekappaleeseen, jolloin mitataan 2,5 mm ja 5 mm painumaan tarvittavaa voimaa, joista suuremmasta tulee lopullinen CBR-luku. Menetelmä soveltuu maksimissaan 19 mm rakeisille materiaaleille. (WWW.THECONSTRUCTOR.ORG, California Bearing Ratio Test.)

5 LABORATORIOTUTKIMUKSET

Opinnäytetyössä tehtiin kiviainesmateriaaleille tutkimuksia laboratoriossa. Laboratoriotutkimukset tehtiin Oulun yliopistolla Vesi- ja ympäristötekniikan laboratoriossa. Tehtäviä tutkimuksia olivat rakeisuuden määrittäminen ja hienoainespitoisuuden selvitys, humuspitoisuuden määrittäminen, veden adsorptio, vedenpidätyskyky, liettymispiste ja CBR-puristuskoet. Hautolahden vertailumurskeesta rakeisuuskäyrä oli jo olemassa, joten sitä ei tarvinnut selvittää, mutta muut laboratoriotutkimukset tehtiin molemmilla kiviaineksilla.

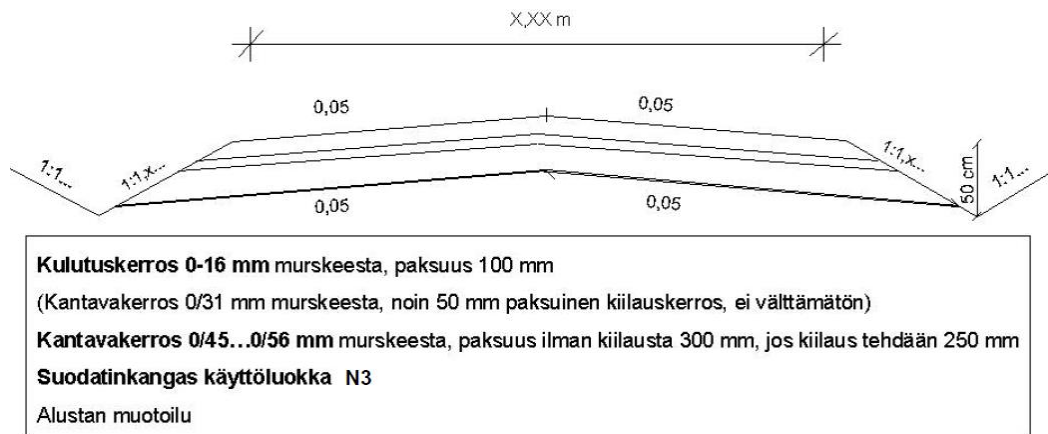
5.1 Tutkimuskohde

Tutkimuskohteena oli Kuopion Lamperilassa sijaitseva tie nro 5513, erityisesti tieosa kolme, paaluväliä 1 500–1 800 (kuva 8). Lamperilantielle on tehty runkokelirikkokorjauksia, jonka yhteydessä ajettu uusi kulutuskerrosmateriaali on erittäin pintakelirikkoherkkää. Vakavaa pintakelirikkoa esiintyy keväisin sulamisen aikaan ja syksyllä jäätymsulamis-sykliden aikana, mutta tiestöllä ei muilta osin esiinny näin vakavaa pintakelirikkoa. Runkokelirikkokorjauksen yhteydessä huolehditaan tierakenteen kuivatus kuntoon, mikä omalta osaltaan vähentää pintakelirikkoalttiutta. Tutkimuskohde ei sijaitse suoalueella, eikä alue muutoinkaan vaikuta liian märältä, vaikkakin tutkimuskohde sijaitsee alavassa maastonkohdassa.



Kuva 8. Tutkimuskohde kartalla (<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>)

Runkokelirikkokorjauksessa tiehen rakennetaan uudet rakennekerrokset, jossa pohjalle laitetaan suodatinkangas estämään uusien ja vanhojen rakennekerrosten sekoittuminen, ja sen päälle tehdään murskeesta rakennekerrokset. Ensimmäisenä tehdään kantavakerros, seuraavana mahdollinen kiilauskerros ja viimeisenä uusi kulutuskerros. Kuvassa 9 on esitetty suodatinkankaan käyttöluokka, murskeen raokokovaatimukset sekä tierakenteen vaadittu muoto.



Kuva 9. Runkokelirikkokorjauksen suunniteltu tierakenteen poikkileikkaus. (Soratien runkokelirikko-kohteiden korjaaminen 2011, 5)

5.2 Kiviainesnäytteet

Laboratoriokokeissa tutkittava ongelmallinen murske kerättiin Lamperilasta tieltä 5513, tieosalta kolme, paaluväliltä 1 500–1 800 (kuva 10). Näytettä kerättiin tien molemmilta ajoradoilta yhteensä neljästä eri kohdasta noin 200 kg. Näytettä ottaessa rajattiin lapiolla kulutuskerroksesta 70 cm x 250 cm alue, josta raaputettiin lapiolla kulutuskerrosta, joka laitettiin sankkoihin. Samalla pyrittiin välttämään isompien kivien sankoon joutumista, jotka olivat selvästi nousseet kantavastakerroksesta pintaan tien "elämisen" seurauksena. Laboratoriokokeissa vertailukiviaineksena käytettiin Hautolahden soranottoalueelta haettua srM 0–16 srT mursketta noin 20 kg.



Kuva 10. Näytettä keräämässä Lamperilasta. (Nurminen 2016-05-03)

Ennen varsinaisten tutkimusten aloittamista Lamperilasta kerätty kiviaines homogenisoitiin. Laboratorion pihalle levitettiin pressu, jonka päälle tyhjennettiin maastosta kerätty näyte. Näytettä pyöriteltiin pressun vierekkäisistä kulumista vetämällä niin, että kiviaines pääsi pyörimään pressun päällä, ja toimenpidettä toistettiin niin kauan, kunnes silmämääräisesti näyte näytti homogenisoituneen. Näyte

laitettiin takaisin näyteämpäreihin lapioimalla jokaiseen ämpäriin vuorotellen, kunnes pressu oli tyhjä. Lisäksi tässä vaiheessa näytteestä poistettiin silminnähden liian suuret kivet, jotka eivät edusta kulutuskerrosmateriaalia.

5.3 Rakeisuuden ja hienoainespitoisuuden määrittäminen

Lamperilantieltä kerätyn murskeen rakeisuus määritettiin kuiva- ja pesuseulonnalla noudattamalla julkaisujen PANK-2101 (1995) ja PANK-2102 (1995) ohjeistuksia. Hautolahden murskeelle ei tarvinnut määrittää rakeisuutta, koska se oli jo tiedossa. Seulontanäytteestä poistettiin silmämääräisesti yli 22 mm rakeet, jonka jälkeen näyte kuivattiin uunissa noin 105 °C vesipitoisuuden määrittämiseksi. Kuivatuksen jälkeen näytteestä pestiin pois hienoainesta ja kuivattiin uudelleen. Pesun aikana hävinnyt massa kirjattiin ylös pesutappiona. Pesty ja kuivattu näyte seulottiin seulasarjalla pitämällä näyte 15 minuutin ajan seulantäryttimessä. Seulonnassa käytettiin 0.063, 0.125, 0.25, 0.5, 1, 2, 4, 8, ja 16 mm seuloista muodostuvaa seulasarjaa. Jokaiselle seulalle jäänyt materiaali punnittiin sekä kirjattiin ylös ja rakeisuuskäyrä voitiin muodostaa laskettujen läpäisyprosenttien perusteella seuloille jääneistä massoista.

5.4 Humuspitoisuuden määrittäminen

Kulutuskerrosmateriaalin humuspitoisuus määritettiin värimenetelmällä SFS 5277 standardin mukaan. Tutkittavasta kiviaineksesta poistettiin seulomalla yli 8 mm rakeet. Läpinäkyvään lasiastiaan kaadettiin 100 ml kolmeprocenttista natriumhydroksidiliuosta, jonka jälkeen lisättiin kiviainesta sen verran, että liuoksen pinta nousi puolitoistakertaiseksi alkuperäiseen pinnankorkeuteen nähden. Koeastia suljettiin tiiviisti ja sitä ravistettiin voimakkaasti 30 sekunnin ajan niin, että näyte oli täysin kostunutta ja sekoitunutta. Koeastia siirrettiin syrjään, jotta kiintoaines laskeutuu ja näytteen väri tasaantuu. Tasaantuneen näytteen väriä vertailtiin taulukon ohjeväreihin hyvässä valaistuksessa vaaleaa taustaa vasten. (SFS-5277 1987, 1.)

5.5 Veden adsorptio

Veden adsorptiokoe suoritettiin PANK-2108 ohjeen mukaan. Testi aloitettiin kuivaamalla näytteitä uunissa noin 105 °C niin kauan, kunnes näytteet olivat kuivia, joilloin näytteistä poistettiin seulomalla yli 0,063 mm rakeet. Kiviaineksen kuivuessa valmisteltiin Petrimaljat, joita pestiin ja kuivatettiin uunissa noin 105 °C neljä tuntia. Kuivattamisen jälkeen maljoja jäähdytettiin 30 minuutin ajan huoneenlämpöisessä eksikaattorissa, jonka pohjalla oli silikageeliä. Tämän jälkeen tyhjien maljojen painot selvitettiin analyysivaa'alla. Maljoihin punnittiin 5–10 g hienoainesta tasaiseksi kerrokseksi (kuva 11) ja ne asetettiin uuniin noin 105 °C kuivumaan yön yli.



Kuva 11. Analyysivaa'alla adsorptionäytettä punnitsemassa. (Nurminen 2016-06-08)

Kuivattamisen jälkeen näytteet asetettiin jäähtymään 30 minuutiksi eksikaattoriin, jonka pohjalla oli silikageeliä. Jäähtymisen jälkeen näytteet punnittiin ja laitettiin toiseen eksikaattoriin, jonka pohjalla oli vettä. Näytteet punnittiin niiden oltua eksikaattorissa seitsemän päivää. Veden adsorptioluvut laskettiin kaavalla $An = \frac{m3-m2}{m2-m1} * 100$.

Missä An = adsorptioluku [%]
 $m1$ = petrimaljan massa [g]
 $m2$ = massa kokeen alussa [g]
 $m3$ = massa kokeen lopussa [g].

Tulokset esitettiin kahden desimaalit tarkkuudella kahden rinnakkaisnäytteen keskiarvosta. (PANK-2108 2009, 2–3.)

5.6 Vedenpidätyskyky

Vedenpidätyskäyrä määritettiin painekammion avulla, jossa kyllästettyihin näytteisiin kohdistettiin asteittain kasvava paine. Ensin näytteet tiivistettiin halkaisijaltaan 70 mm ja korkeudeltaan 60 mm oleviin muovisyntereihin ja ne kyllästettiin vedellä kapillaarisesti. Kyllästetyt näytteet punnittiin ja asetettiin painekammioon, jossa paineen vaikutuksesta näytteistä irtoava vesi valuu pois. Ensimmäisessä vaiheessa painekammioon kohdistettiin 1 kPa paine. Veden valumisen lakattua näytteet punnittiin ja asetettiin seuraava paineporras 2 kPa. Paine portaina käytettiin 1, 2, 4, 8, 20, 50, 100, 230 ja 460 kPa ja jokaisen paineporras välissä näytteet punnittiin. Punnituksessa selvisi irronneen vesimäärän massa, joka muutettiin tilavuudeksi ja vesimäärä suhteessa alkuperäiseen näytteen tilavuuteen saatiin laskettua.

5.7 Liettymispiste

Proctor-menetelmä soveltuu maksimissaan 5 mm rakeisille materiaaleille, joten kokeen suoritus aloitettiin seulomalla näytemateriaali vaadittuun karkeuteen. Kokeessa oli tarkoitus suorittaa 5–10 erillistä proctor-koetta eri vesipitoisuuksilla niin, että materiaali muuttuisi kuivasta lähes plastiseen. Ma-

teriallin vähäisyyden vuoksi testissä käytettiin samaa näytettä vastoin ohjeen, johon erillisten kokeiden jälkeen lisättiin vettä 2 % nousuilla. Testaus aloitettiin tavoitteellisella 4 % kosteuspitoisuudella. Proctor-kokeessa sylinteriin tiivistettiin kerrallaan viidesosa vaaditusta materiaalin määrästä. Tiivistämiseen käytettiin proctor-vasaraa, jolla lyötiin sylinterin kehää kiertäen kuusi täyttä kierrosta, lyöntimäärä oli kuitenkin rajoitettu 25:een ja sama toistettiin kaikille viidelle kerrokselle. Viimeisen tiivistyksen jälkeen kaksiosaisesta sylinteristä otettiin ylin osa pois ja näyte tasattiin leikkaavalla liikkeellä viivainta apuna käyttäen alemman pinnan tasoon. Pinnan tasauksen jälkeen sylinteri punnittiin sekä otettiin näyte kosteuspitoisuuden selvittämiseksi. Viimeiseksi sylinteri tyhjennettiin näytepussiin ja koe suoritettiin uudelleen suuremmalla kosteuspitoisuudella. Proctor-kokeita Tehtiin niin monta, että valmiin näytteen massa oli pienempi kuin edellisen näytteen, jolloin tiedettiin proctor-käyrän lähteen laskuun.

5.8 CBR-puristuskoe

Kokeen suoritus aloitettiin seulomalla tieltä kerätystä kiviaineksesta yli 16 mm rakeet, jotta näyte edustaisi pelkästään kulutuskerrosta. Tämän jälkeen kiviainekseen lisättiin teräskuonamasuunihiekkaseosta 5 % tai 10 % kuivan kiviaineksen osuudesta, sekä vettä optimivesipitoisuuden saavuttamiseksi. Ajanpuutteen vuoksi optimivesipitoisuutta ei määritetty, vaan oletimme sen olevan 7 %, joka perustui Tuomo Pitkäsén arvioon. Kiviaines, vesi sekä sideaine sekoitettiin näytepussissa ja kosteuden annettiin tasaantua. CBR luku selvitettiin myös ilman sideainetta molemmille materiaaleille.

5.8.1 CBR-puristusnäytteen valmistus

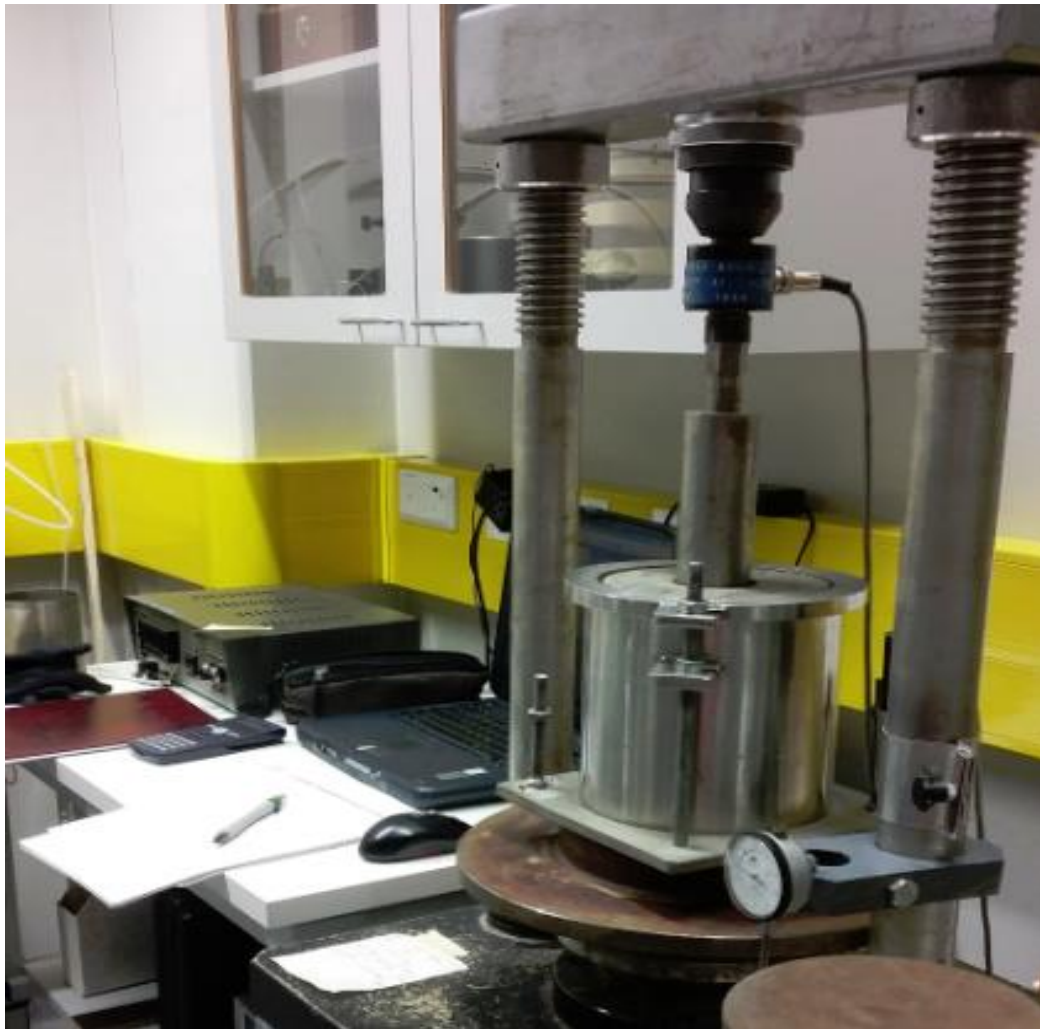
Ennen varsinaista CBR-puristuskoeita valmistettiin puristusnäytteet sekä määritettiin, kuinka paljon kiviainesta tarvittiin. Tässä käytettiin apuna ICT-kiertotiivistyslaitetta, joka määrittä kiviaineksen tiheyden hiertämällä kiviainesta vakioyöpaineella (4 Bar) samanaikaisesti pyörien vakio kierrosmäärän (100 r). Tässä kokeessa pyrittiin saamaan aikaiseksi halkaisijaltaan 100 mm olevaan sylinteriin 100 mm korkuinen kakku. Tuomo Pitkänen kokemukseräisesti arvioi, että noin 1 800 g kiviainesta muodostaisi halutunlaisen kakun. Kiviaines punnittiin sylinteriin ja asetettiin ICT-kiertotiivistyslaitteeseen, jonka jälkeen kakku punnittiin ja korkeus mitattiin 90 ° välein. Mittauksella selvitettiin keskimääräinen korkeus. Tässä vaiheessa pystyttiin laskemaan kiviaineksen tiheys tiedossa olevilla luvuilla. Puristenäytteen vaadittu pinta-ala oli $180,5 \text{ cm}^2$, korkeus $11,86 \text{ cm}$ ja näistä laskemalla tilavuudeksi saatiin $2 140 \text{ cm}^3$.

Tiedossa olevalla tilavuudella sekä tiheydellä pystyttiin laskemaan, kuinka paljon kiviainesta tarvittiin puristusnäytteensylinteriin, jotta saataisiin halutunlainen näyte ja näin ollen vertailukelpoisia tuloksia eri näytteiden välillä. puristusnäytteet tiivistettiin neljässä tasaisessa kerroksessa sylinteriin, joista jokaisen kerroksen päälle asetettiin sylinterin halkaisijallinen metallilevy, joka välitti tiivistysvaikutuksen. Tiivistys suoritettiin sähkökäyttöisellä iskuporakoneella sekä tuurnaa ja vasaraa apuna käyttäen. kolmen ensimmäisen tiivistyksen jälkeen edellisen kerroksen pintaan raaputettiin jälkiä, jotka paransivat seuraavan kerroksen tarttumista. Viimeisen kerroksen tiivistäminen oli tehtävä tarkasti sylinte-

rin pinnan tasoon. Toimenpiteessä käytettiin apuna metallilevyä, joka yletyi sylinterin reunojen ulkopuolelle. Tiivistyksen jälkeen muotti purettiin ja sylinteri laitettiin säilytykseen laatikkoon, jossa vallitsi 100-prosenttinen ilmankosteus.

5.8.2 CBR-puristuskoelaitteisto

Puristusnäyte laitettiin metalliseen puristusmuottiin, jotta muovisylinteri ei rikkoutuisi puristuksen voimasta. Näytteen päälle asetettiin 6888 g keskireiällisiä pintakuormituslevyjä. Puristuskoelaitteisto suoritettiin prässissä (kuva 12), jossa koekappaletta puristettiin vakionopeudella (1,25 mm/min) 50 mm halkaisijaltaan olevaa mäntää vasten. Prässiin oli asennettu antureita, jotka mittasivat painumaa sekä voimaa. Tiedot syötettiin datankeräysohjelmaan, josta ne tallennettiin muistitikulle ja siirrettiin valmiiseen Excel-pohjaan, joka laskee CBR-arvot.

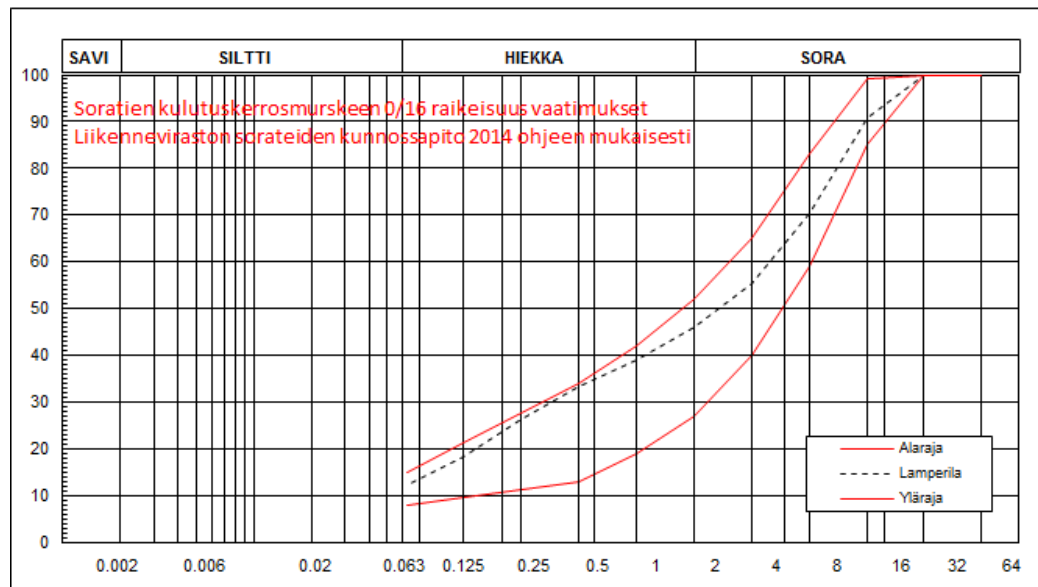


Kuva 12. CBR-puristuslaite (Nurminen 2016-06-08)

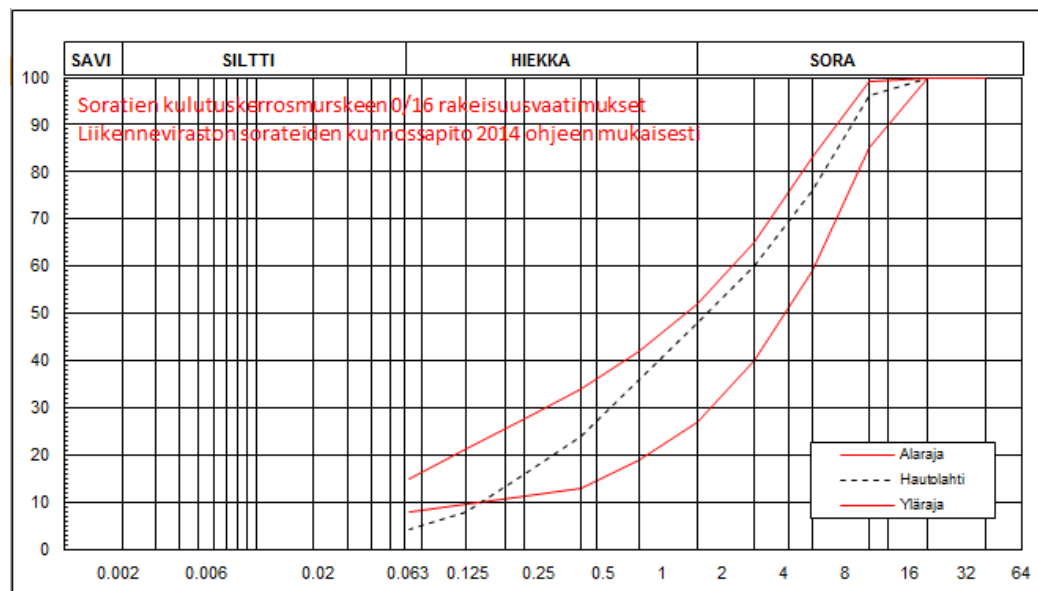
6 LABORATORIOKOKKEIDEN TULOKSET JA JOHTOPÄÄTÖKSET

6.1 Rakeisuuskäyrät

Tutkittavien murskeiden rakeisuuskäyrät näkyvät kuvissa 13 ja 14. Kuvissa on myös esitetty liikenneviraston sorateiden kunnossapito 2014 -julkaisun vaatimukset soratien 0/16 mm kulutuskerrosmateriaalille.



Kuva 13. Lamperilan rakeisuuskäyrä



Kuva 14. Hautolahden rakeisuuskäyrä

Hautolahden murske on niin kokemusperäisesti kuin rakeisuuskäyränkin (kuva 14) perusteella hyvää, vaikka rakeisuuskäyrän loppupää putoaa sallitun alarajan alapuolelle hieman ennen 0,125 mm lajitetta. Näin ollen myöskään hienoainespitoisuus 4,3 % ei täytä liikenneviraston (2014) sorateiden kunnossapitajulkaisussa esitettyjä vaatimuksia kulutuskerrosmateriaaleille.

Lamperilantieltä kerätyn murskeen rakeisuuskäyrä (kuva 13) täyttää edellä mainitut vaatimukset, eikä siinä ollut mitään poikkeavaa, mikä selittäisi pintakelirikkoherkkyyden. Hienoainepitoisuus on 12,2 % joka on normaali ottaen huomioon, että kulutuskerros on ollut tiellä useamman vuoden ajan ja se on ehtinyt jauhautumaan liikenteen alla. Hienoainepitoisuuden tiedetään lisäävän pintakelirikkoherkkyyttä, ja vaikka hienoainepitoisuus täyttää vaatimukset raja-arvojen osalta, voi kuitenkin reilu hienoainepitoisuus pahentaa pintakelirikkoa. Lisäksi tielle on varmasti kulkeutunut orgaanisia aineksia, jotka myös omalta osalta nostattavat hienoainepitoisuutta. Rakeisuuskäyrästä näkee hiekan osuuden olevan melko lähellä ylärajaa, mikä johtuu todennäköisesti murskeen jauhautumisesta ja liukkaudentorjuntamateriaalien käytöstä.

6.2 Humuspitoisuudet



Kuva 15. Vasemmalla Hautolahden näyte ja oikealla Lamperilan näyte (Nurminen 2016-06-17)

Värimenetelmällä tehtyjen humuskokeiden perusteella voitiin todeta, että Hautolahden murske on lähes humuksetonta ja Lamperilantieltä kerätty murske sisältää enemmän humusta. Tuloksia vertailtiin taulukon 1 mukaiseen värikarttaan. murskeen humusluokaksi valittiin 1, koska se ei ole täysin kirkas, muttei myöskään tumma kuten kuvasta 15 näkee (valokuvassa valotus on heikko, mikä antaa väärän kuvan tilanteesta, todellisuudessa nesteet olivat huomattavasti vaaleampia). Käytännössä se on kuitenkin puhtainta materiaalia, mitä tierakentamisessa käytetään. Lamperilan murskeen humusluokaksi valittiin 3, koska se ei ole täysin ruskea eikä musta. Humusluokan nousu on normaalia johtuen tielle kulkeutuvasta materiaalista. Esimerkiksi traktorin renkaiden mukana pellolta kulkeutuva multa lisää humuspitoisuutta sekä keväisin tehtävän raskaan tienmuokkauksen yhteydessä tielle saattaa reunapalsteista nousta humusta.

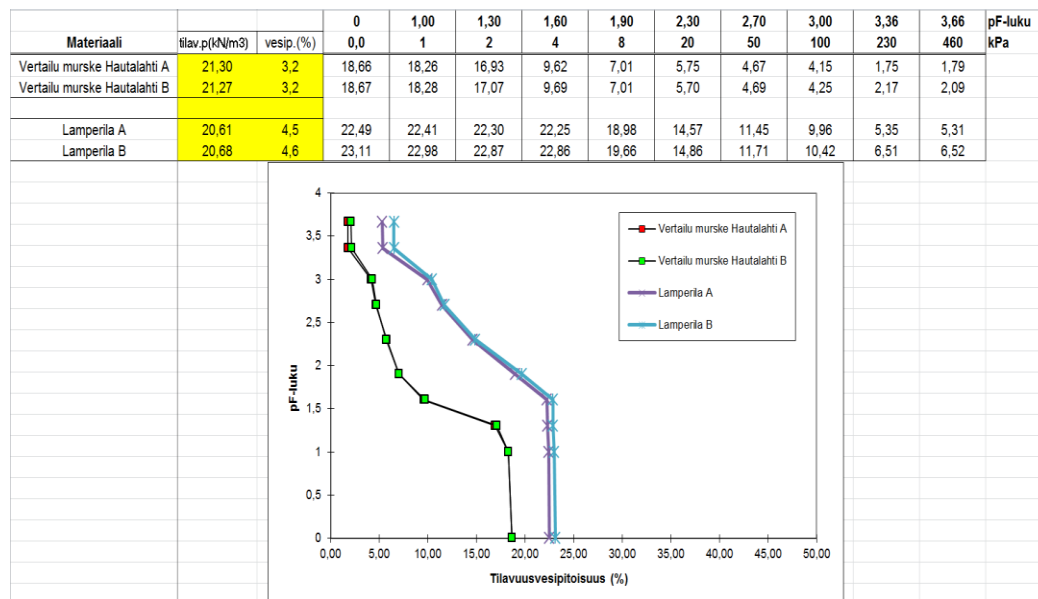
Taulukko 1. Humuspitoisuudet eri väreille (SFS-5277 1987, 1.)

Liuksen väri	Humuspitoisuuden luokka
Väritön	0
Vaalean keltainen	1
Vaalean punainen tai vaalean ruskea	2
Punainen tai ruskea	3
Ruskea tai musta	4

6.3 Veden adsorptioluvut

Hautolahden murskeen veden adsorptioluvuksi tuli 2,36 % ja 2,14 %, joiden keskiarvo on 2,25 %. Lamperilantieltä kerätyn murskeen veden adsorptioluvuksi muodostui 3,48 % ja 3,55 %, jolloin keskiarvoksi tuli 3,51 %. Tulosten perusteella voidaan sanoa, että Lamperilantieltä kerätty murske adsorboi vettä 56 % enemmän kuin Hautolahden murske. Suurempi veden adsorptio vaikuttaa lisäksi pintakelirikkoalttiuteen. Veden adsorptiolukujen ero ei ole kuitenkaan niin merkittävä, että se yksistään selittäisi, miksi Lamperilantiellä esiintyy vakavaa pintakelirikkoa.

6.4 Vedenpidätyskäyrät



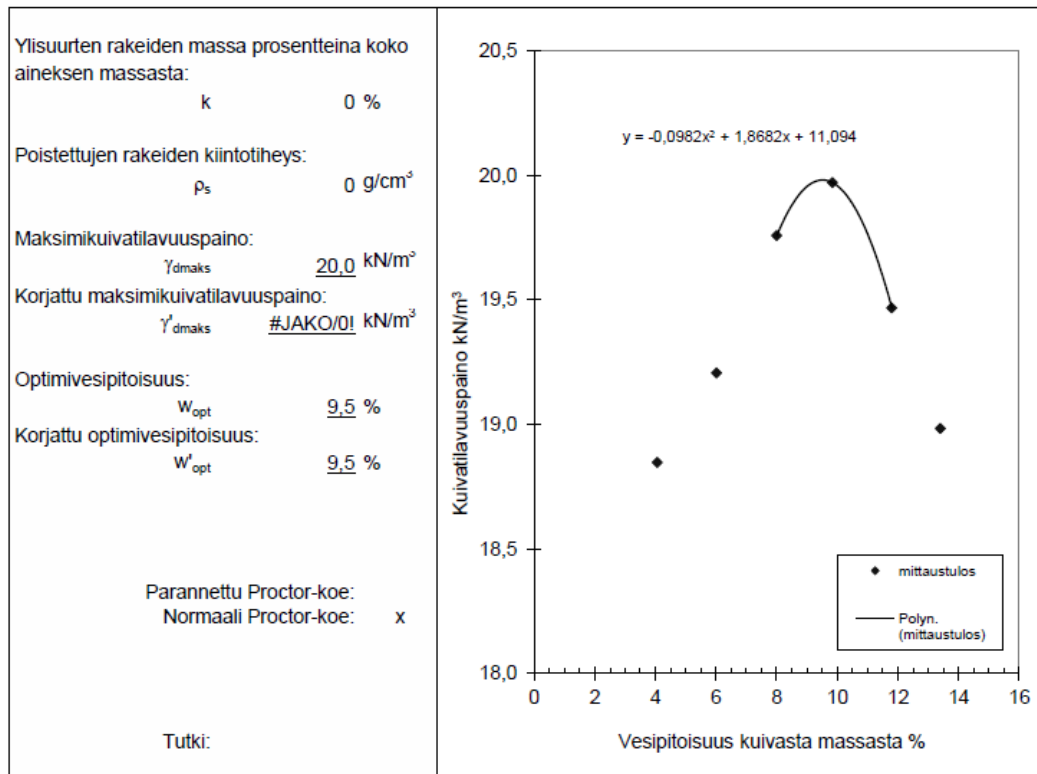
Kuva 16. Kahden rinnakkaisnäytteen vedenpidätyskäyrät Lamperilan ja Hautolahden murskeista

Vedenpidätyskäyrien osalta voidaan sanoa, että rinnakkaisnäytteiden osalta tulokset olivat toisiaan tukevia, mutta Lamperilantien murskeen käyrissä on enemmän keskinäistä hajontaa. Käyristä näkee myös, että Lamperilantien murske vaatii enemmän imua, ennen kuin alkaa luovuttaa vettä. Myös vedenluovutuksen loputtua murskeeseen jää noin kolme kertaa enemmän vettä kuin Hautolahden vertailumurskeeseen perustuen pF-luvun 3,66 tuloksiin (kuva 16).

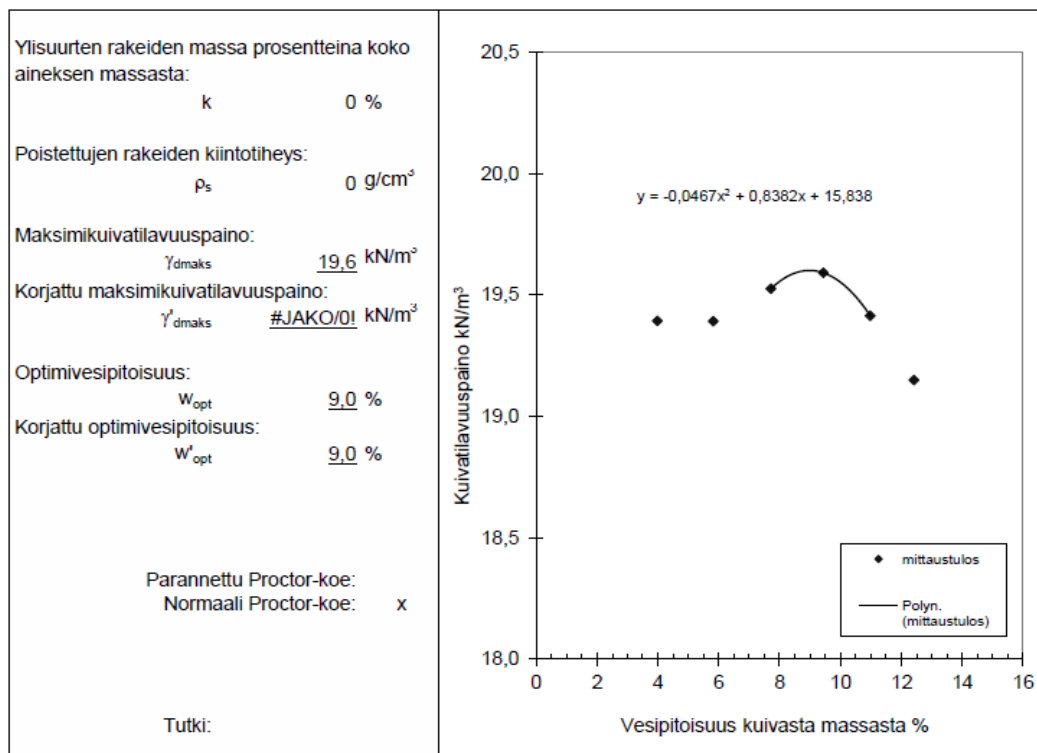
6.5 Liettymispisteen tulokset proctor-menetelmällä

Liettymispisteen osalta tuloksia ei saatu, koska todettiin, ettei testi sovellu tässä tapauksessa materiaalin kelirikkokäyttäytymisen arviointiin.

Liettymispistettä selvittäessä tehdyissä proctor-kokeissa kuitenkin havaittiin proctor-käyrien käyttäytymän merkittävästi eri tavalla toisiinsa nähden (kuva 17 ja 18). Lamperilan murskeen käyrä nousee ja laskee jyrkästi, kun taas Hautolahden murskeen käyrä ei kahdella ensimmäisellä vesipitoisuudella lähtenyt nousuun ja laskukin on maltillisempi. Materiaalien välillä havaittiin myös silmämääräisesti eroja Lamperilan murskeen sitoessa kaiken veden itseensä ja muuttuen plastiseksi, kun taas Hautolahden murske nosti ylimääräisen veden näytteen pinnalle.



Kuva 17. Lamperilan proctor-käyrä

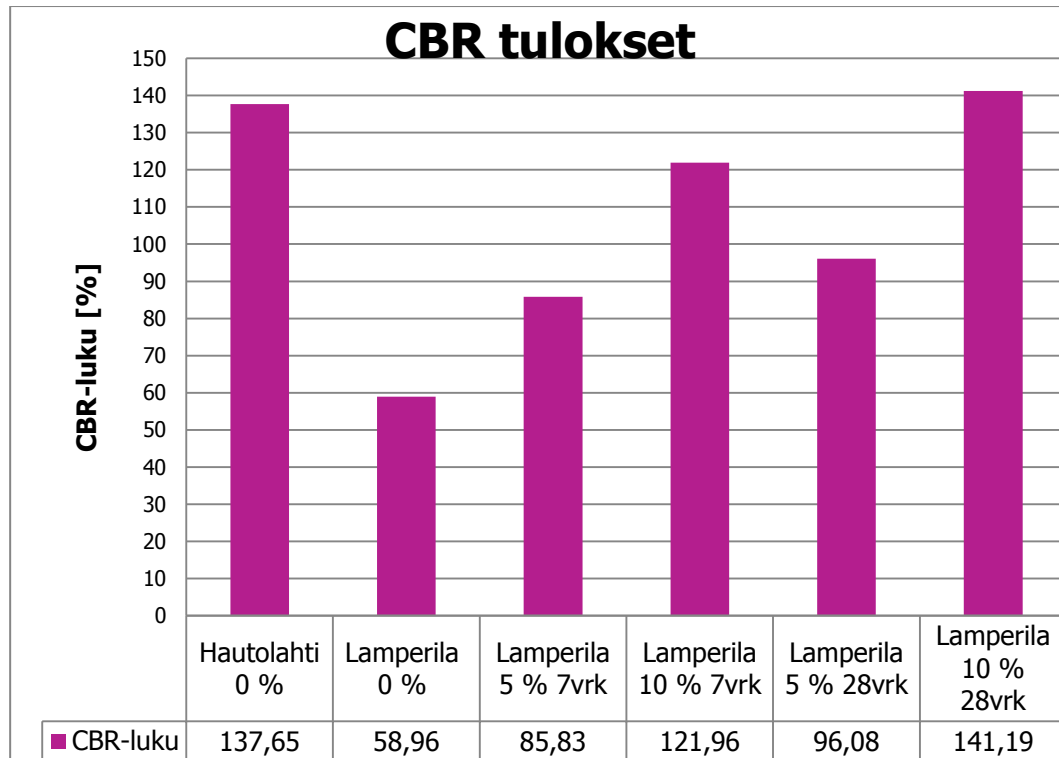


Kuva 18. Hautolahden Proctor-käyrä

6.6 CBR-luvut

CBR-kokeen painotus oli 28 vrk:n koekappaleille, jotka tehtiin Lamperilan murskeelle 5 ja 10 % sideainemäärillä (kuva 19). Koestukset tehtiin myös 7 vrk:n ikäisenä ja näytteitä oli varalla myös 91 vrk:n koestuksiin, mutta sitä ei koettu tarpeelliseksi suorittaa. Sideaineellisten näytteiden CBR-luvut ilmoitetaan 3 näytteen keskiarvona.

Lamperilan murskeesta sideaineetonta näytettä tiivistäessä huomattiin veden irtoavan sylinterin pohjalle ja kyseisen näytteen vesipitoisuus oli 6,34 %. Näytemassojen vesipitoisuus vaihteli välillä 6,17–6,76 %, joten ongelma ei ollut liian suuressa vesipitoisuudessakaan. Muiden näytteiden tiivistyksessä ei ollut havaittavissa vastaavaa ilmiötä, mistä voi päätellä sideaineen lisäävän ainakin Lamperilan murskeen vedenkestävyyttä.



Kuva 19. CBR-luvut eri sideainepitoisuuksilla 0, 7 ja 28 vrk:n ikäisenä

Sideaineettomien näytteiden CBR-luvut poikkeavat suuresti toisistaan (kuva 19). Lamperilan luku 59 % on 2,33 kertaa pienempi kuin Hautolahden luku 137,7 %. CBR-lukujen suurelle erolle ei voida nimetä yhtä yksittäistä tekijää, mutta suurimmaksi osaksi voidaan olettaa erojen johtuvan Lamperilan murskeen hiekan osuuden kasvusta, suuremmasta hienoainepitoisuudesta sekä veden adsorptiolumusta.

Lamperilan murskeessa 28 vrk:n iässä 5 % sideaineen lisäyksellä saavutettiin 63 % nousu CBR-luvussa ja 10 % lisäyksellä saavutettiin 139 % nousu verrattuna sideaineettomaan tulokseen. 10 % lisäyksellä saavutettiin Hautolahden vertailumursketta 2,6 % suurempi tulos, kun vastaavasti 5 % lisäyksellä tulos jäi 30 % pienemmäksi. Kantavuuden kehitys oli voimakkaampaa nolasta seitsemään vuorokauteen, kuin 7–28 vrk:n välillä, mikä oli vastoin odotuksiamme.

CBR-tulosten perusteella ei pystytä suoraan sanomaan, onko 5 vai 10 % sideaineen lisäys tien pintakelirikkoherkkyyden torjunnan kannalta parempi vaihtoehto. 10 % saavutettiin suurempi kantavuuden nousu kuin 5 % lisäyksellä, mutta 5 % lisäykselläkin saavutettiin merkittävää kantavuuden kehitystä alkuperäiseen tilanteeseen nähden, mikä todennäköisesti olisi riittävä. Tien muokattavuuden säilyminen on ensiarvoisen tärkeää, joten haluttu lopputulos tulisi saavuttaa mahdollisimman pienellä sideainepitoisuudella.

7 TIEKOE

Laboratoriossa tehtyjen CBR-kokeiden tulokset olivat hyviä, joten päädyimme yhdessä kehityspäällikkö Huuskosen ja Suonenjoen alueurakan työnjohdon kanssa hakemaan rahoitusta pienimuotoista tiekoetta varten ELY-keskukselta. Kävin esittelemässä laboratoriokokeiden tuloksia ja tarjoustamme tiekokeen suorittamisesta Suonenjoen alueurakan työmaakokouksessa valvoja Matti Antikaiselle. Antikainen keskusteli oman esimiehensä kanssa ja he myönsivät rahoituksen. Tarkoituksena oli tehdä kaksi 100 m pitkää 5 cm syvyyteen pintastabiloitua rakennetta 5 % ja 10 % LD-Masuunihiekan lisäyksellä, tienkohtiin 5513/3/1557–1667 (5 %) ja 5513/3/1777–1877 (10 %). Vähäsateisen syksyn takia tiekokeen suorituspäivä venyi 30.9.2016 asti, jolloin saatiin sadetta ja tie pehmenemään, mutta näin myös estettiin pölyäväisyys. Stabiloinnin työvälineenä oli mahdollista käyttää kivijyrsintä, tiehöylää tai raskasta traktorilanaa, joista päädyimme raskaaseen traktorilanaan, koska olimme valinneet stabiloitavan kerroksen paksuudeksi 5 cm, ja se pystyttiin saavuttamaan tälläkin kalustolla. LD-Masuunihiekka levitettiin Suonenjoen alueurakan omalla kuorma-autolla, johon oli asennettu hiekan-sirotin, mikä toista kohdetta tehtäessä poistettiin ja materiaali levitettiin lavalta suoraan ”matoksi”.

Ensimmäisenä maastoon merkattiin puuvaarnoilla kohteiden paaluvälit koneen kuljettajien työskentelyä helpottamaan sekä myöhempää seurantaa varten (Kuva 20).



Kuva 20. Työkohteen rajamerkki (Nurminen 2016-09-30)

Kohteiden maastoon merkitsemisen jälkeen tienpinta lanattiin auki useita kertoja, että syvyysvaikutus olisi mahdollisimman suuri (kuva 21).



Kuva 21. Tienpinnan auki lanausta. (Nurminen 2016-09-30)

Valitsemallamme kalustolla pääsimme haluttuun syyvyysvaikutukseen silmämääräisen arvion mukaan (kuva 22).



Kuva 22. Syyvyysvaikutusta havainnollistava kuva. (Nurminen 2016-09-30)

Pinnan aukaisun jälkeen sideaine levitettiin viiden prosentin kohteeseen kuorma-auton lavalta hiekansirottimella (kuva 23).



Kuva 23. Sideaineen levittämistä hiekansirottimella. (Nurminen 2016-09-30)

Hiekoittimen käytön todettiin olevan hidasta, joten päädyimme levittämään 10 prosentin kohteen suoraan lavalta matoksi (kuva 24).



Kuva 24. Sideaineen levittämistä suoraan lavalta. (Nurminen 2016-09-30)

Levityksen jälkeen sideaine sekoitettiin kulutuskerrosmateriaaliin traktorilanalla. Lanausta suoritettiin useita kertoja laadun tasaisuuden varmistamiseksi (kuva 25).



Kuva 25. Sideaineen sekoittamista tierakenteeseen. (Nurminen 2016-09-30)

7.1 Tiekokeen seuranta

Tiekokeen suorituksen jälkeen alkoi seurantavaihe, joka kesti 1.10.2016–30.11.2016. Seuranta suoritettiin minun lisäksi Suonenjoen alueurakan työnjohto tietarkastuksien yhteydessä. Seuranta suoritettiin näköhavainnot ylöskirjaten sekä valokuvaamalla, sekä myös syksyn säätietoja tarkkailtiin viikoittain sekä seurantapäivinä. Tarkkailtavia tietoja oli sademäärää ja lämpötila Savilahdessa sijaitsevan sääaseman dataan perustuen (taulukko 2). Syksy oli hyvin kuiva (kuva 26) ja tien 5513 pinnan laadussa ei ollut moitteita ensimmäiseen jäätymiseen asti, joka tapahtui loka- ja marraskuun vaihteessa (kuva 27). Tien ollessa jäässä seurantakäyntejä ei ollut syytä suorittaa. Tie suli marraskuun viimeisellä viikolla, jolloin suoritettiin viimeinen seurantakäynti 23.11.2016, eikä tiellä esiintynyt merkittävää sulamis-jäätymissyklistä johtuvaa pintakelirikkoa, eikä myöskään ongelmia ollut millään seu-

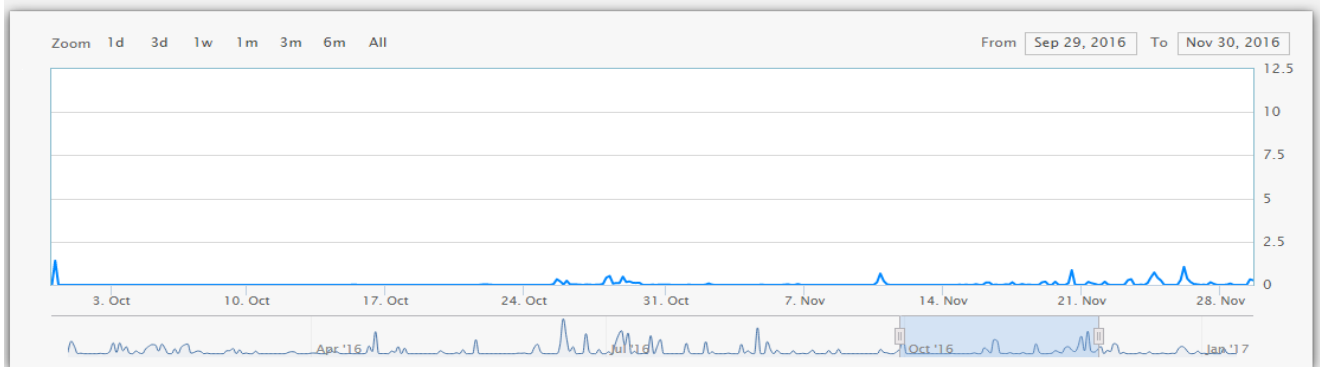
rantaan kuuluvalla osuudella. Seuranta on syytä jatkaa keväällä 2017, kun tienpinta alkaa sulaa ja kelirikko-ongelmat alkavat. Pintakelirikon ollessa pahimmillaan seuranta voisi suorittaa jopa päivittäin, jolloin pintakunnon kehitys selviäisi parhaiten. Muutoin kerran tai kaksi viikossa riittää, kunnes tie on kuivunut.

Taulukko 2. Taulukossa esitetty seurantapäivän lämpötila sekä viikon sademäärä.

(<https://euweather.eu>)

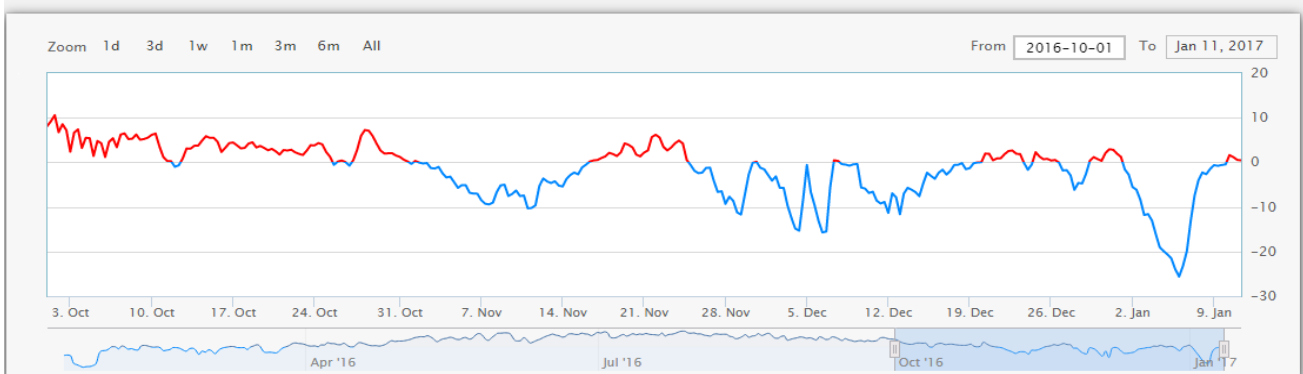
Päivämäärä	Vallitseva säätila	Viikon sademäärä
7.10.2016 Klo 10:00	tienpinta jäinen koko lähiseudulta + 0 °C	1-7.10.2016: 0 mm
14.10.2016 Klo 9:00	+ 2 °C	8-14.10.2016: 0 mm
21.10.2016 Klo 17:20	+ 3 °C	15-21.10.2016: 0,2 mm
28.10.2016 Klo 13:00	Tienpinta märkä + 5 °C	22-28.10.2016: 7,9 mm
29.10- 22.11.2016	Ei seuranta käyntiä, tienpinta jäinen sekä luminen	-
23.11.2016 Klo 14:00	Vesisadetta + 4 °C. Tienpinta sulanut ja muuttunut paikoitellen plastiseksi	16-23.11.2016: 22,8 mm
23.11.2016 jälkeen ei seurantakäyntiä enää suoritettu. Säätila pysyin plussalla tämän jälkeen 2 päivää, jonka aikana vettä satoi 23,5 mm. Voidaan olettaa, että tien pintakunto ei olennaisesti muuttunut edellisestä käynnistä tuona aikana.		

Sade



Kuva 26. Sadantakäyrä seuranta ajalta (<https://euweather.eu>)

Lämpötila



Kuva 27. Lämpötilakäyrä (<https://euweather.eu>)

8 YHTEENVETO

Tämän työn tavoitteena oli tutkia 50/50 seossuhteen teräskuona-masuunihiekkapintastabiloinnin vaikutusta soratien pintakelirikon torjuntaan, sekä vertailla pintakelirikko-ongelmallisen kulutuskerrosmurskeen ominaisuuksia ongelmattomaan murskeeseen. Tutkimukseen kuului osaksi laboratorioitöitä, joissa tutkittiin murskeiden ominaisuuksia ja pyrittiin löytämään selkeitä tekijöitä, miksi pintakelirikkoa esiintyy. CBR-kokeiden perusteella selvitettiin, onko sideaineella Lamperilan murskeeseen kantavuutta lisäävää vaikutusta sekä löytämään optimaalinen sideainepitoisuus, jolla ongelma korjaantuisi. Laboratoriosta saatujen positiivisten tulosten perusteella suoritettiin pienimuotoinen tiekoe Lamperilantielle, jossa tehtiin kaksi 100 m pitkää stabilointirakennetta 5 ja 10 % sideaineen lisäyksellä.

Laboratoriotutkimuksissa havaittiin selkeitä eroja materiaalien välillä, mutta yksittäistä tekijää ei voida nimetä ongelman aiheuttajaksi. Laboratoriokokeiden tuloksista merkittävimminä eroina materiaalien välillä oli Lamperilan murskeen suurempi veden adsorptioluku ja veden pidätyskyky. Myös proctor-käyrän muoto oli normaalista poikkeava ja koetta suoritettaessa tehdyt näköhavainnot kertoivat murskeen omituisesta käyttäytymisestä, kun vettä on runsaasti tierakenteessa. Nämä kolme tekijää, sekä omalta osaltaan paikalliset olosuhteet vaikuttavat tien pintakelirikko-ongelmiin. Teräskuonan ja masuunihiekkaseoksen lisäyksellä Lamperilan murskeeseen CBR-kokeiden tulosten perusteella on merkittävä vaikutus kantavuuden kehitykseen, mikä omalta osalta viittaa siihen, että pintakelirikkoa on mahdollista torjua tällä menetelmällä. Varmuutta menetelmätoimivuudesta ei saatu syksyllä suoritettujen seurantajakson perusteella, koska syyskelirikkoa ei tiellä esiintynyt, vaan varmuus saadaan keväällä 2017 suoritettavasta seurannasta, joka ei enää kuulu tähän opinnäytetyöhön. Kevään seurannasta käy myös mahdollisesti ilmi, kumpi sideainemäärä on optimaalisempi ongelman korjaukseen kyseisellä tiellä. Mikäli stabilointimenetelmä todetaan toimivaksi, se on mahdollista suorittaa kaikille tien kelirikopenkkaosuuksille, joissa esiintyy pintakelirikko-ongelmaa.

Opinnäytetyö onnistui hyvin ja tavoitteet täyttyivät niin työskentelyn kuin aikataulunkin osalta, vaikka laboratoriotutkimukset veivät odotettua kauemmin aikaa johtuen aikataulujen yhteensovittamisongelmista sekä pitkästä välimatkasta. Laboratoriotutkimukset suoritettiin tarkasti, mikä oli edellytys onnistuneelle tutkimukselle sekä vertailukelpoisille tuloksille ja kokeiden tulokset vastasivatkin oletuksiamme. Osan laboratoriotutkimuksista olisi voinut tehdä Savonian laboratoriossa, jotta Oulussa käydessä olisi voitu keskittyä vielä tarkemmin haasteellisempiin tutkimuksiin. Laboratoriossa olisi voinut vielä selvittää materiaalien ominaispinta-alat, mikä olikin tarkoitus tehdä, mutta se jätettiin aikataulullisista syistä pois. Kokonaisuudessaan opinnäytetyö oli laaja sekä tarpeeksi haastava, mutta ennen kaikkea todella mielenkiintoinen sekä opettavainen.

LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

AIRAKSINEN, Jussi 1978. Maa- ja pohjavesihydrologia. Oulu: Pohjonen Oy

Betonin runkoaineet 1987. Orgaaniset epäpuhtaudet (Humus). SFS 5277. Vahvistettu 1987. Suomen betoniyhdistys ry. Helsinki: Suomen Standarditoimistoliitto.

BUREAUVERITAS.COM [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-12-17] SAATAVISSA:

<http://www.bureauveritas.com/services+sheet/commodities/transportable-moisture-limit>

DESTIA c. [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-10-12] SAATAVISSA: <http://www.destia.fi/yritys.html>

DESTIA b. [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-10-12] SAATAVISSA: <http://www.destia.fi/referenssit.html>

DESTIA a. [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-10-12] SAATAVISSA :

<http://www.destia.fi/media/vuosikertomus-2015/destia-vuosikertomus-2015.pdf>

ELY-KESKUS www-sivu. [Viitattu 2016-09-27] SAATAVISSA: https://www.ely-keskus.fi/web/ely/soratiet#.V_EISvmLTIV

EUWEATHER www-sivu. [Viitattu 2017-10-01] SAATAVISSA: <https://euweather.eu>

HAAVISTO-HYVÄRINEN, Maija ja KUTVONEN, Harri 2007. Maaperäkartan käyttöopas. Geologian tutkimuskeskus. Espoo.

HUUSKONEN, Oiva 2009. Soratien kulutuskerroksen uusiokäyttö. Helsingin yliopisto insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Tietekniikka. Lisensiaattityö.

INTERNATIONAL MARITIME SOLID BULK CARGOES CODE, 2008. Hyväksytty 2008. Maritime Safety Committee.

LIIKENNEVIRASTO [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-10-18] SAATAVISSA:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf

LIIKENNEVIRASTO [verkkoaineisto].[Viitattu 2017-01-02] SAATAVISSA:

http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf3/ohje_2011_soratien_runkokelirikko.pdf

MEROX. MAA- JA TIENRAKENNUSTUOTTEET. LD-Masuunihiekka, LD-MaHk. Suunnittelu- ja rakentamisperusteet. [Markkinointimateriaalia].[Viitattu 2016-12-23] SAATAVISSA: SSAB Oy

NYMAN, Martti 1997. Soratien kulutuskerrosmateriaalien indeksitutkimus. Oulun yliopisto teknillinen tiedekunta. Rakentamistekniikka. Lisensiaattityö. Sijainti: Kuopio: Savonia-ammattikorkeakoulu. Mikroradun kampus. Kirjasto.

PAIKKATIETOIKKUNA www-sivu. [Viitattu 2017-18-01] SAATAVISSA:

<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>

PANK-2108, 2009. Veden adsorptio. Hyväksytty 2009. Päällystealan neuvottelukunta

JÄÄSKELÄINEN, Raimo, RANTAMÄKI, Martti, ja TAMMIRINNE, Markku 1979. Geotekniikka. 21.painos. Helsinki: Hakapaino Oy.

RT 38728, 2015. Masuunihiekka. LD-Masuunihiekka [verkkodokumentti].[viitattu2016-10-02] SAATAVISSA: www.rttuotetieto.fi/Download/34285/38728.pdf

TIEHALLINTO e. [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-10-02] SAATAVISSA:

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

TIEHALLINTO a. [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-10-02] SAATAVISSA:

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

TIEHALLINTO c. [verkkoaineisto].[Viitattu 2017-01-09] SAATAVISSA:

http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200858_painoraj.pdf

TIEHALLINTO f. [verkkoaineisto].[Viitattu 2017-01-15] SAATAVISSA:

<http://alk.tiehallinto.fi/thohje/pdf/2100029-v-04tierakenteensuunn.pdf>

TIEHALLINTO d.[verkkoaineisto].[Viitattu 2017-01-19] SAATAVISSA:

<http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf2/3201092-v-pintakelirikkoselvitys.pdf>

TIEHALLINTO b. [verkkoaineisto].[Viitattu 2017-01-19] SAATAVISSA:

http://alk.tiehallinto.fi/julkaisut/pdf/3200978-vs14-kelirikkokorjausten_suunnitt_ ja_rakent.pdf

THECONSTRUCTOR.ORG [verkkoaineisto].[Viitattu 2016-12-15] SAATAVISSA:

<http://theconstructor.org/geotechnical/california-bearing-ratio-test/2578/>