

**HUONOLAATUISEN KIVIAINEKSEN RAKEISUUDEN
MUUTOKSET TIIVISTYSTYÖN AIKANA**

Antti Määttä

Opinnäytetyö
Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

2019

Tekniikka ja liikenne
Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Antti Määttä	Vuosi	2019
Ohjaaja	Pekka Kämäräinen		
Toimeksiantaja	Graniittirakennus Kallio Oy		
Työn nimi	Huonolaatuisen kiviaineksen rakeisuuden muutokset tiivistystyön aikana		
Sivu- ja liitesivumäärä	41 + 4		

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin huonolaatuisen kiviaineksen rakeisuuden muutoksia tiivistystyön aikana. Työ suoritettiin työmaaolosuhteissa Ivalossa Nelimintien rakennustyömaalla Graniittirakennus Kallio Oy:n toimiessa pääurakoitsijana. Tavoitteena oli selvittää, onko työmaan sisältä louhittu ja murskattu kalliomurske vai ulkopuolelta toimitettu soramurske laadultaan soveltuvampaa tierakentamiseen. Tutkimus oli merkityksellinen toimeksiantajalle, sillä tutkimuksesta on hyötyä hankkeen käytänteisiin. Tutkimuksen alueellinen merkitys tuli sen antamista vastauksista juuri kyseisen alueen kiviainesten ominaisuuksiin ja laatuun.

Tutkimukseni asettui kvantitatiivisen tutkimuksen kentälle ja se tarkasteli kiviainesta luokitellen ja vertaillen. Tutkimusaineistonani käytin sora- ja kalliomursketta, joita tutkin Los Angeles -testin, rakeisuusnäytteiden ja kantavuusmittausten avulla.

Tutkimuksen tulokset osoittivat työmaalle toimitetun soramurskeen olevan laadullisesti parempi materiaali kuin työmaa-alueelta louhittu kalliomurske. Kun tierakenteen testiosuutta tiivistettiin, kalliomurskeen jauhaantuminen oli suhteessa suurempaa kuin soramurskeen jauhaantuminen. Tutkimuksen Los Angeles -koe havainnollisti kivilaatujen kovuuden eron, mikä oli havaittavissa materiaalien jauhaantumisessa rakeisuusnäytteiden kuvaajissa.

Avainsanat: tierakentaminen, kiviaines, laatu, tiivistystyö, rakeisuus

Technology, Communication and Transport
Degree Programme in Civil Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Antti Määttä	Year	2019
Supervisor	Pekka Kämäräinen		
Commissioned by	Graniittirakennus Kallio Oy		
Subject of thesis	Changes on the Granularity of Low Quality Aggregate during Compaction Work		
Number of pages	41 + 4		

This thesis dealt with changes in the granularity of low quality aggregate during compaction work. The work was carried out in Ivalo, at the Nellimintie road construction site with Graniittirakennus Kallio Oy as the main contractor. The aim was to find out whether crushed rock inside the site or crushed gravel from the outside of the site was more suitable for road construction. The research was relevant to the commissioner because the research is beneficial to the project. The regional significance of the research comes from the responses given about the properties and quality of the rock in the area.

This research was conducted as a quantitative research and it examined the aggregate by classifying and comparing. The research material consisted of gravel and crushed stone, which was investigated using the granular samples of the Los Angeles test and load-bearing measurements.

The results of the study show that the crushed gravel is a better quality material. When the road section of the road structure was sealed, the grinding of the rock crush was relatively higher than the grinding of the gravel crush. The Los Angeles test of the study illustrated the difference in a hardness of the stone grades, which was evident in the grinding of the materials in the graphs of the granular samples.

Key words: road construction, aggregate, quality, compaction work, granularity

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	MAA-AINEKSET JA NIIDEN TUOTANTO	8
2.1	Maa-ainekset	8
2.2	Kalliokiviaines	8
2.3	Maa-aineksien otto	9
2.4	Kiviainestuotanto	11
3	KIVIAINEKSEN LAATUVAATIMUKSET TIERAKENTAMISESSA.....	12
3.1	Tierakenne.....	12
3.2	Tierakenteessa käytettävän kiviaineksen laatuvaatimukset.....	13
3.2.1	Rakeisuus	13
3.2.2	Rakeisuusnäytteiden ohjealueet	13
3.2.3	Los Angeles -luku.....	16
4	TUTKIMUS JA TUTKIMUSTULOKSET	18
4.1	Tutkimus	18
4.2	Kalusto, materiaalit ja tutkimusvälineistö	19
4.2.1	Kalusto	19
4.2.2	Materiaalit.....	21
4.2.3	Tutkimusvälineistö.....	22
4.3	Tutkimuksen eteneminen.....	22
4.4	Tutkimustulokset.....	27
4.4.1	Rakeisuusnäytteiden tulokset.....	27
4.4.2	Los Angeles -luku.....	32
4.4.3	Levykuormituskoetulokset	35
5	YHTEENVETO	38
5.1	Los Angeles -luku	38
5.2	Rakeisuusnäytekuvaajat	38
5.3	Levykuormituskokeet	39
5.4	Yhteenveto.....	39
5.5	Tutkimustulosten luotettavuus	40
	LÄHTEET.....	41
	LIITTEET	42

ALKUSANAT

Kiitän tämän opinnäytetyön toimeksiannosta Graniittirakennus Kallio Oy:tä, Nelimintien perusparannushankkeen työnjohtoa ja opinnäytetyön tutkimuksissa avustaneita henkilöitä.

KÄYTETYT MERKIT JA LYHENTEET

KaM	Kalliomurske
SrM	Soramurske
LA	Los Angeles -luku

1 JOHDANTO

Tässä opinnäytetyössä käsiteltiin huonolaatuisen kiviaineksen rakeisuuden muutoksia tiivistystyön aikana. Tutkimus perustuu työmaalla havaittuihin ongelmiin kiviaineksen lujuudessa, jolloin suunnittelin testiosuuden työmaalta louhinnossa saadun kalliomurskeen ja ulkopuolisen toimijan tarjoamalle soramurskeelle. Testiosuuteen käytetystä kiviaineksestä tutkittiin Los Angeles -luku, rakeisuusnäytteet ja kantavuusarvot. Hanke, johon opinnäytetyö pohjautuu, on Nellimintien perusparannushanke Ivalossa. Hankkeen pääurakoitsijana ja opinnäytetyön toimeksiantajana toimii infrarakentamiseen erikoistunut Graniittirakennus Kallio Oy. Tutkimukset suoritettiin työmaan paalulukemalla 26740 – 26800, joka sijaitsi maaleikkauksen kohdalla, jolloin tierakenteiden alle jääneen maan vaikutus tutkimukseen minimoitiin verrattuna maapenkereellä sijaitseviin tierakenteisiin.

2 MAA-AINEKSET JA NIIDEN TUOTANTO

2.1 Maa-ainekset

Suomen maaperä käsittää kallioperän ja sen päällä olevat irtonaiset maa-ainesvarannot, jotka koostuvat eri maalajitteista. Irtonaiset maa-ainesvarat ovat syntyneet viimeisen jääkauden aikana ja sen jälkeen, jolloin moreeni, sora, hiekka, savi ja siltti ovat kerrostuneet sedimenteiksi. (Kaiva 2018b.)

Maa-ainesvarannot, kuten hiekka- ja soravarat sijaitsevat suhteellisen tasaisesti koko maan alueella. Maa- ja kiviainesvarantojen käyttökohteet ovat tienrakennus, asfaltti- ja betoniteollisuus ja talonrakennus. Näistä noin puolet kuluu tienrakennuksen tarpeisiin. Kokonaisuudessaan vuotuinen kiviaineksen käyttö on yli 100 miljoonaa tonnia. (GTK 2018b.)

Suomen merkittävimmät soran ja hiekan ottoalueet sijaitsevat Etelä-Suomessa Hämeenlinnan ja Hyvinkään seudulla, jonne Salpausselät ja lukuisat muut harjumuodostumat ovat luoneet suuret sora- ja hiekkaesiintymät. Soran ja hiekan käyttö arvioidaan olevan noin 40 % kiviaineksen kokonaiskäytöstä. (GTK 2018b.)

2.2 Kalliokiviaines

Kalliokiviaines louhitaan ja murskataan kiinteästä kalliosta, jota käytetään yleensä murskeina erilaisiin rakentamistarkoituksiin, kuten maan- tai rautateiden rakennekerrosten rakentamiseen tai betonin valmistukseen. Rakennusteollisuuden tarpeisiin kalliokiviaines on pääasiallinen lähde Etelä- ja Länsi-Suomessa. Muualla Suomessa kalliokiviaineksen käyttö ylittää noin kolmannekseen kaikesta kiviaineksen käytöstä. (GTK 2018a.)

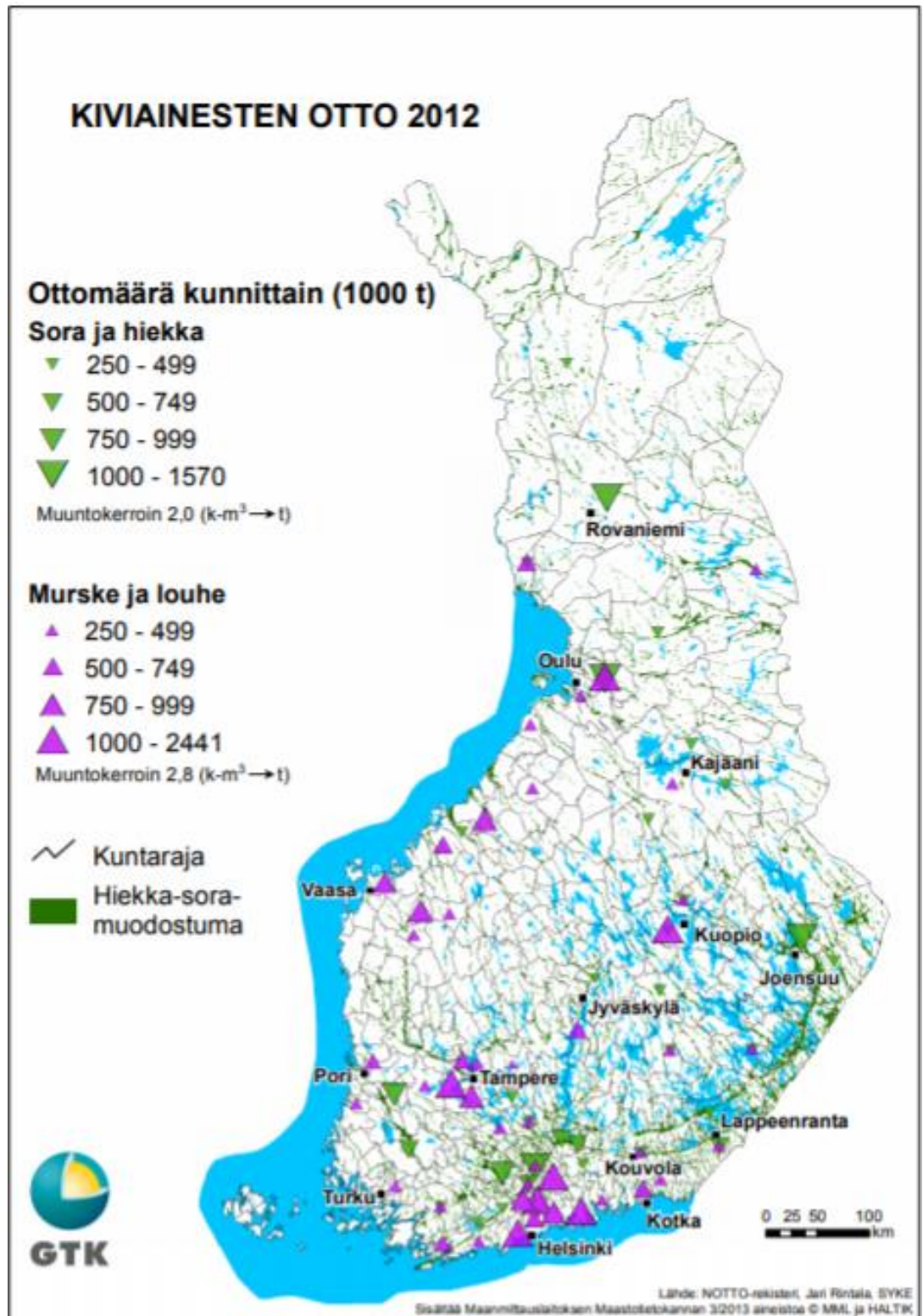
Suomen kallioperä on hyvä kestävien kiviaineksen lähde, mutta Geologian tutkimuskeskuksen kiviaineksetutkimusten mukaan alle 5 % tutkituista kallioalueista sopivat laadukkaimpien kiviaineksen tuotantoon. Laadukkaimpien kiviaineksen tuottamiseen tarvittavat kallioalueet sijaitsevat Etelä-Suomen liuskevyöhykkeillä,

joissa esiintyy pienirakeiset felsiset ja intermediääriset metavulkaniitit. (GTK 2018a.)

2.3 Maa-aineksien otto

Maa-aineksien ottoä säätelee maa-aineslaki, jonka tavoitteena on maa-ainesten otto ympäristön kestävää kehitystä tukevalla tavalla. Lakia sovelletaan kiven, soran, hiekan, saven ja mullan ottamiseen, jos aineksia kuljetetaan pois, varastoidaan tai jalostetaan. Maa-aineksen ottoä varten on saatava lupa, pois lukien kotitarvekäyttöä varten joka voi käsittää rakentamisen ja kulkuyhteyksien kunnossapidon. Luvan hakemismenettelystä ja hakemuksessa esitettävistä tiedoista säädetään valtioneuvoston asetuksessa. (Maa-aineslaki 555/1981, 1 §, 4 §.)

Vuonna 2012 Suomessa oli voimassa noin 6600 maa-ainesten ottamislupaa, joista aktiivisia ottoalueita oli noin 3000. Luvista noin 4300 oli soralle ja hiekalle, kallion ottoalueita oli noin 1800 ja loput 500 ottoaluetta oli muille maa-aineksille. (Kuvio 1.) Kallion ottamisluvat ovat kasvaneet 60 % vuosien 2001–2012 välillä, jolloin soran ja hiekan ottoalueet ovat vähentyneet 20 %. (Kaiva 2018a.)



Kuvio 1. Kiviainesten otto kunnittain vuonna 2012 (GTK 2018a)

2.4 Kiviainestuotanto

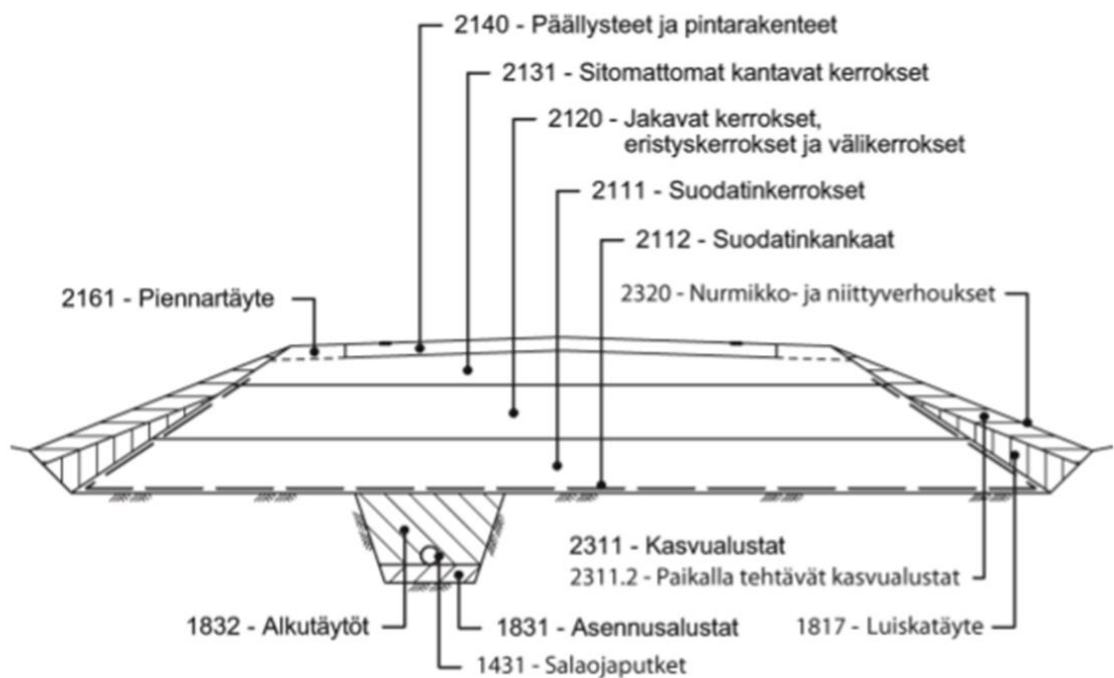
Kiviainestuotanto vastaa maamme kiviainestarpeisiin vuotuisesti 100 miljoonan tonnin verran. Pitkät etäisyydet ja routiva maaperä ovat suurimmat tekijät kiviaineksen suureen tarpeeseen. Kilometriin valmista maantietä kuluu noin 17000–24000 tonnia kiviainesta, omakotitalon rakentaminen vaatii kiviaineksia noin 300–400 tonnia ja talvisin liukkauden torjuntaan kuluvat kiviainekset selittävät kiviaineksen menekkiä. (Infra Ry. 2018.)

Kiviainestuotannon vuotuinen taloudellinen arvo käyttäjille on noin 500 miljoonaa euroa ja kiviainestuotanto työllistää noin 3000 henkilöä. Kiviaineksen vienti vuonna 2014 oli 772 000 tonnia, minkä taloudellinen arvo oli noin 9,5 miljoonaa euroa. (GTK 2018b.)

3 KIVIAINEKSEN LAATUVAATIMUKSET TIERAKENTAMISESSA

3.1 Tierakenne

Tyypillinen suomalainen tien päällysrakenne koostuu suodatinkerroksesta, jakavasta kerroksesta ja sidotusta tai sitomattomasta kantavasta kerroksesta sekä päällystekerroksista (Kuvio 2). Tierakenteen suunnittelun tavoitteena ovat liikenteelliset vaatimukset ja rakenteellisen kestävyuden saavuttaminen, jotta tierakenne kestää koko käyttöikänsä ajan. Suurimmat vaurioita synnyttävät tekijät tierakenteelle ovat liikenteestä ja ilmastosta johtuvat rasitukset. (Kuula 2015, 44.)



Kuva 18. Tierakenteeseen liittyviä nimikkeitä.

Kuvio 2. Tien rakennekerrokset (Romakkaniemi 2017)

3.2 Tierakenteessa käytettävän kiviaineksen laatuvaatimukset

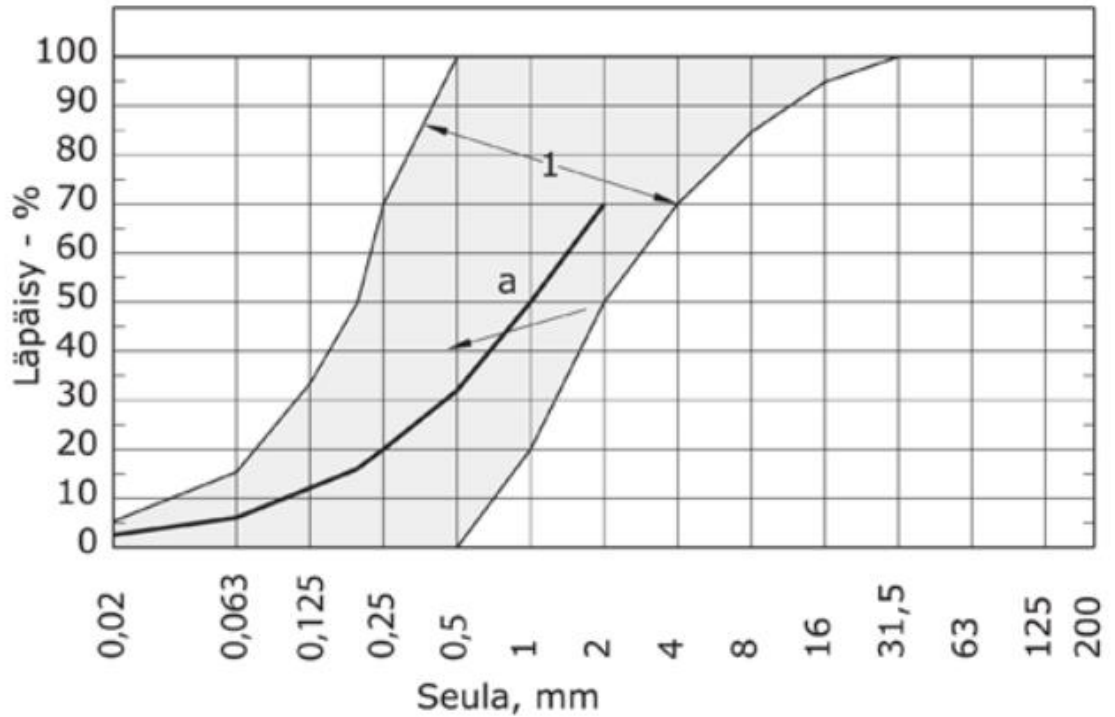
3.2.1 Rakeisuus

Kiviaineksien materiaalien rakeisuus tutkitaan pesuseulontamenetelmällä SFS-EN 933-1. Testissä kiviaines seulotaan erikokoisiin seuloihin, joiden on täytettävä ISO 3310-1- ja ISO 3310-2 -vaatimukset. Seulasarjan valintaan vaikuttavat näytteen ominaisuudet ja vaadittava tarkkuus.

Pesuseulontamenetelmä sisältää näytteen pesun ja näytteen kuivatuksen jälkeisen kuivaseulonnan. Jokaiselle seulalle jääneiden rakeiden massaa verrataan koko näytteen alkuperäiseen massaan, minkä tuloksena kunkin seulan yhteenlaskettu prosenttiosuus osoitetaan numeerisesti ja graafisesti. (SFS-EN 933-1.)

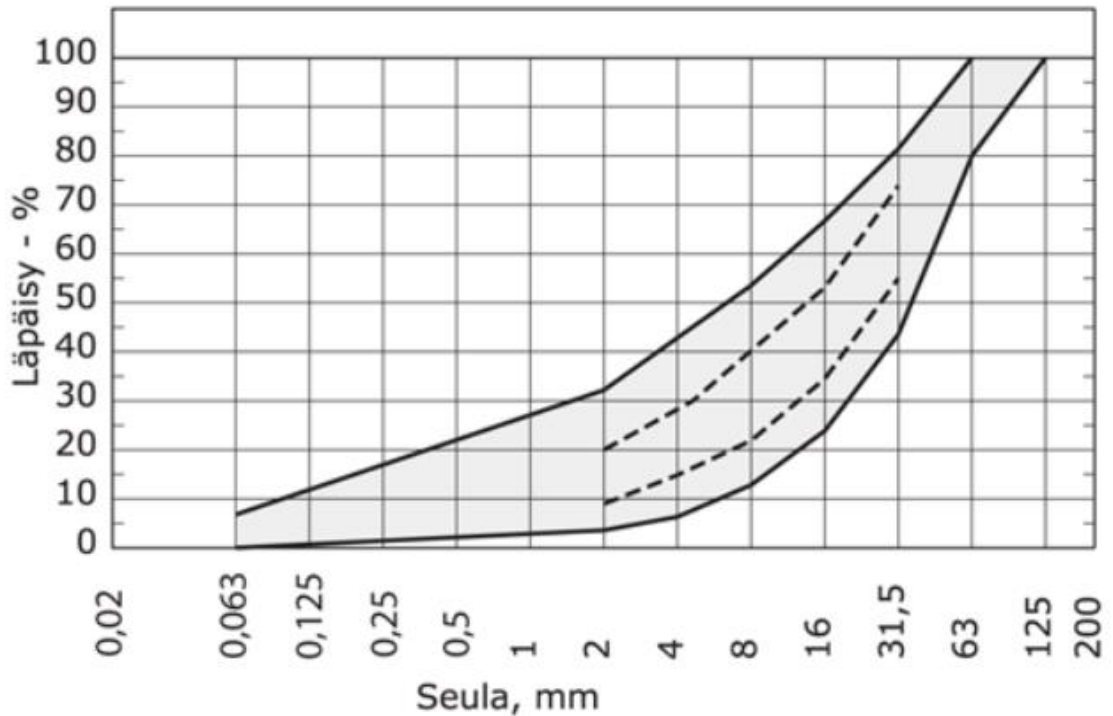
3.2.2 Rakeisuusnäytteiden ohjealueet

Tierakenteen suodatinkerros rakennetaan luonnonkiviaineksesta tai uusiomateriaaleista. Kyseinen luonnonkiviaines ei saa sisältää savea tai haitallisia epäpuhtauksia, kuten humusmaata silmämääräisesti arvioiden. Suodatinkerroksen rakeisuuskuvaaja tulee olla alueella 1, eikä rakeisuuskäyrä saa ylittää paksua viivaa nuolen suunnassa (Kuvio 3). Suodatinkerroksen rakeisuus varmistetaan kerran 5000 tonnia kohden tai kerran viikossa käyttäen pesuseulontaa standardia SFS-EN 933-1. (InfraRYL 2017a.)



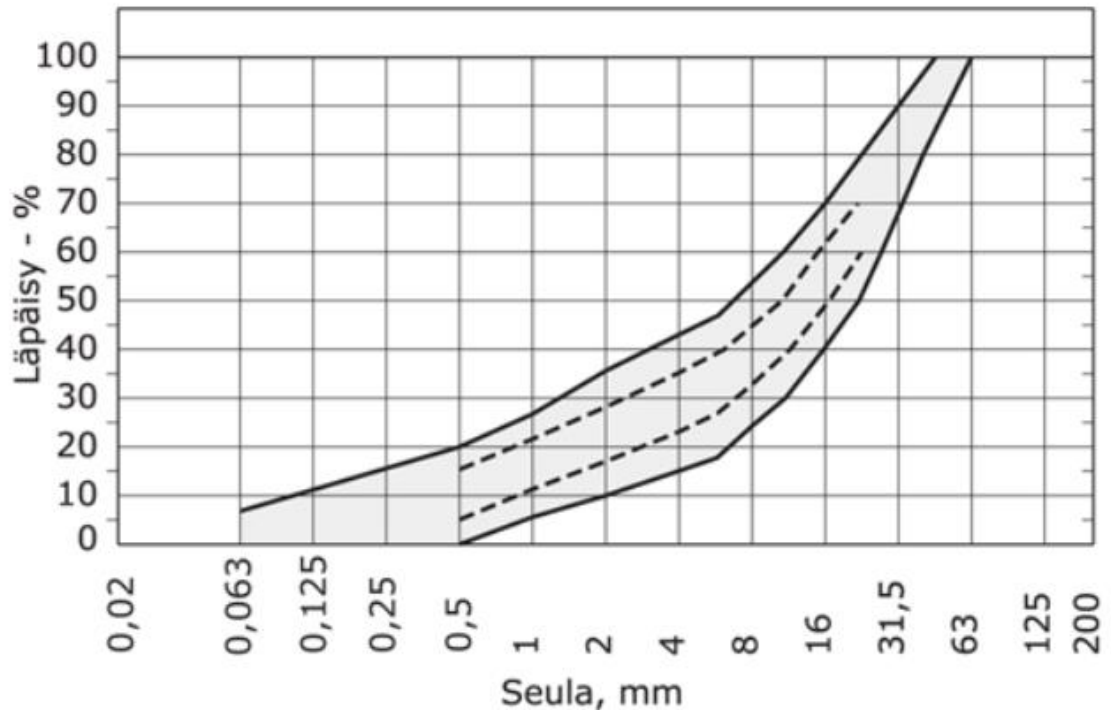
Kuvio 3. Suodatinkerroksen rakeisuuden ohjealue (InfraRYL 2017a)

Tierakenteen jakava kerros voidaan rakentaa luonnonsorasta, soramurskeesta, kalliomurskeesta tai uusiomateriaaleista. Jos jakava kerros rakennetaan murskeesta, murskeiden rakeisuus on standardin SFS-EN 13285:n rakeisuusluokan G_p tai G_c mukainen, (Kuvio 4) 0/63 G_p . Jakavassa kerroksessa voidaan käyttää yllämainitun standardin mukaisia rakeisuuksia 0/32, 0/40, 0/45, 0/56, 0/63, 0/80, 0/90 tai suurirakeisia murskeita esimerkiksi louhetta. (InfraRYL 2017b.)



Kuvio 4. Kalliomurskeesta tehdyn jakavan kerroksen rakeisuuden ohjealue 0/63 G_p (InfraRYL 2017b)

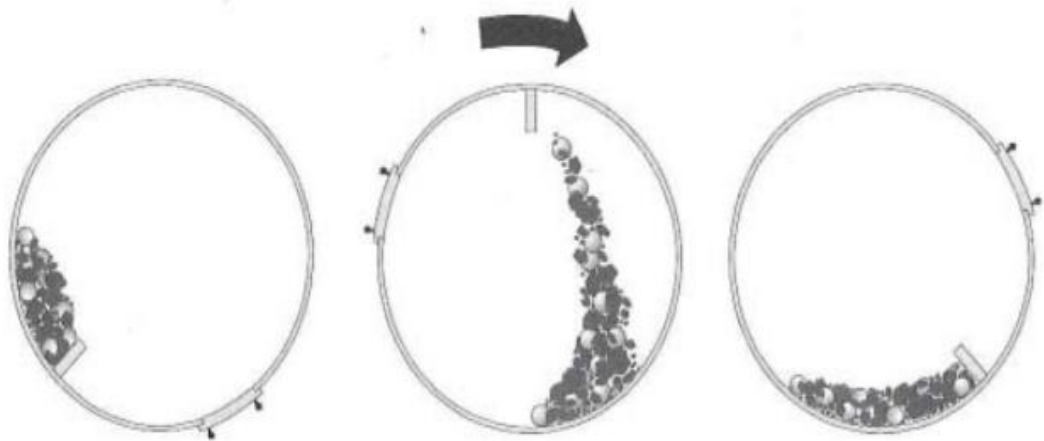
Tierakenteen sitomaton kantava kerros voidaan rakentaa kalliomurskeesta, so-ramurskeesta tai uusiomateriaaleista, joka päätetään hankekohtaisesti. Kiviaines ei saa sisältää epäpuhtauksia, haitallisia aineita eikä materiaali saa olla rapautunutta tai rapautumisherkkää. Murskeen valmistaja suorittaa standardin SFS-EN 13242 mukaiset tyyppitestaukset ja sisäistä laadunvalvontaa, jotta tuote on vaatimusten mukainen. Kantavassa kerroksessa käytetään seuraavia rakeisuuksia standardin SFS-EN 13285 mukaan 0/32, 0/40, 0/45, 0/56 ja 0/63. Murskeiden rakeisuus valitaan yllämainitun standardin mukaan joko G_O tai G_A (Kuvio 5; InfraRYL 2017c.)



Kuvio 5. Sitomattoman kantavan kerroksen rakeisuuden ohjealue G₀ 0/45 (Inf-raRYL 2017c)

3.2.3 Los Angeles -luku

Los Angeles -testillä selvitetään kiviaineksen lujuutta, iskun- ja kulutuksenkestävyyttä. Jos kiviaineksen iskunkestävyys ei ole riittävä, karkeimmat rakeet rikkoutuvat pienemmiksi liikennekuormituksen alla, mikä aiheuttaa kiviaineksen uudelleenjärjestäytymistä rakenteessa. Kiviaineksen muutokset rakenteessa näkyvät oleellisesti pysyvinä muodonmuutoksina tien pinnassa. Kiviaineksen jauhautuessa rakenteessa materiaalin kuormituskestävyys heikkenee ja hienoainespitoisuuden noustessa rakenteesta voi tulla routiva. Los Angeles -luku määritetään SFS-EN 1097-2 standardin mukaisella testilaitteella. Testattavasta kiviaineksestä seulotaan tai murskataan 10/14mm lajitetta 5 kg verran, mikä pyöritetään vakionopeudella pyörivässä myllyssä 500 kierrosta 11 teräskuulan kanssa, joiden massa kappaleelta on 400–445g (Kuvio 6). Los Angeles -luku saadaan punnitsemalla pienemmäksi kuin 1,6 mm hienontuneen materiaalin määrä suhteessa testatun kiviaineksen massaan eli 5000g (Kalliainen, Kuula & Leppänen 2017, 35.) Los Angeles -luvun laskentakaava on esitetty alla.



Kuvio 6. Los Angeles -testin periaatekuva (Liikennevirasto 2015)

$$LA = \frac{5000-m}{50}, \text{ missä } m = 1,6\text{mm seulalle jäänyt kiviaines grammoina (1)}$$

4 TUTKIMUS JA TUTKIMUSTULOKSET

4.1 Tutkimus

Tutkimuksessa tutkitaan huonolaatuisen kiviaineksen rakeisuuden muutoksia tiivistystyön aikana pohjautuen Mt 969 Nellimintien perusparannus hankkeeseen (Kuvio 7). Hankkeessa lähtökohtaisesti kaikki rakenteisiin tarvittava maa- ja kiviaines leikataan tai louhitaan ja murskataan.

Lähtökohtina tutkimukselle olivat aikaisemmat laboratoriotutkimukset kantavan kerroksen kiviaineksen laatutekijöistä, jotka osoittautuivat huonommiksi kuin suunnitteluvaiheessa tehdyt kairaukset ja laboratoriotutkimukset olivat osoittaneet. Käytettävän kiviaineksen Los Angeles -luku ei täyttänyt asetettuja raja-arvoja. Silmämääräinen kiviaineksen laadun tarkkailu puolsi laboratoriotutkimuksia, kalliomurske silmämääräisesti jauhaantui työmaaliikenteen alla. Tielinjalta louhittua ja murskattua kalliomurskettä verrataan Destia Oy:n soramurskeeseen, joka saadaan heidän soran ottoalueeltaan. Tutkimuksen etenemisestä kerrotaan kohdassa 4.3.



Kuvio 7. Karttakuva työmaan sijainnista. Työmaa ulottuu lähes Keväjärveltä Nellimin kylään saakka lukuun ottamatta noin 5 kilometrin osuutta, jota ei paranneta

4.2 Kalusto, materiaalit ja tutkimusvälineistö

Tutkimuksen suorittamiseen käytettiin sekä työmaan konekalustoa että Lapin ammattikorkeakoulun tutkimusvälineistöä.

4.2.1 Kalusto

Kenttätutkimusten tekoon käytettiin kahta pyöräkuormaajaa KUP, kahta kuorma-autoa KA ja täryjyriä JT. Tiivistystyön näkökulmasta oleellisin työkone on täryjyriä. Tiivistystyö suoritettiin Volvon SD135B:lla, jonka oma massa oli 12728 kg (Kuvio 8; Volvo Construction Equipments Oy 2018.)



Kuvio 8. Tiivistämiseen käytetty Volvo SD135B valssiyrä

Kantavan kerroksen vastaanotossa työskennelleessä pyöräkuormaajassa oli 3D-mittalaitteisto ja malli kantavasta kerroksesta. Sama Ljungby L18 pyöräkuormaaja toimi levykuormituskokeen vastapainona. Vastapainokoneen oma massa oli 18 000 kg, lisäksi mittausten aikana kuormaajan kauha oli täytetty moreenilla (Kuvio 9).



Kuvio 9. Vastaanotto- ja levykuormituskokeen vastapainokone, Ljungby L18

4.2.2 Materiaalit

Tutkittavina materiaaleina olivat Kaitavaaran kallioleikkauksista murskattu kalliomurske raekooltaan 0-56 mm ja soramurske raekooltaan 0-56 mm Destia Oy:n vuokraamalta läheiseltä soran ottoalueelta Matjärveltä. Materiaaleista oli tehty ennakkotutkimukset, mukaan lukien rakeisuusnäytteet ja Los Angeles -luku.

Käytettävän kalliomurskeen Los Angeles -luvun keskiarvo murskaustyön aikana otetuista näytteistä oli 48,5 eli LA50, mikä ei täytä tilaajan vaatimusta Kaitavaarasta tuotetulle murskeelle raja-arvon ollessa LA40.

Käytettävän soramurskeen Los Angeles -luku on 36 eli LA40, mikä ei täytä tilaajan vaatimusta työmaan ulkopuolisen toimittajan murskeen Los Angeles -luvusta, mikä on LA35.

Molempien materiaalien Los Angeles -luku tutkittiin uusista näytteistä, jotka on otettu kenttätutkimuksien yhteydessä.

4.2.3 Tutkimusvälineistö

Kenttätutkimuksien kantavuusmittauksissa käytössä oli Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kolmikellon levykuormituskoje. Kenttätutkimuksista saadut rakeisuus-, Los Angeles- ja huokoisuusnäytteet kuljetettiin Rovaniemelle, Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorioon tutkittavaksi. Näytteet tutkittiin pesuseulontamenetelmällä ja Los Angeles -testin vaatimalla laitteistolla.

4.3 Tutkimuksen eteneminen

Tutkimuksen työstäminen aloitettiin laatimalla tutkimussuunnitelma ja työvaihekohtainen työ- ja laatusuunnitelma (Liite 1). Kenttätutkimuksien aloittamista puolsi valmis jakava kerros, josta oli mitattu tarkepisteet ja jakava kerros täytti laatuvaatimukset. Testiosuudeksi valittiin leikkauspohjalla oleva tierakenne pohjamaan vaikutuksen minimoimiseksi ja se merkattiin mittakepin maastoon (Kuvio 10).



Kuvio 10. Testiosuuden päättymisen osoittava mittakeppi, taustalla vastaanottokone tarkkailemassa materiaalien liitoskohtaa

Kenttätutkimukset alkoivat torstaina 27.9.2018 kello 16.00 kantavan kerroksen rakentamisella (Kuvio 11). Kun 20 senttimetrin vahvuinen sitomaton kantava kerros oli vastaanotettu oikeaan korkeusasemaan ja muotoon, rakenteesta otettiin rakeisuusnäytteet kolmesta kohdasta materiaalilajiketta kohden ennen tiivistyksen aloittamista (Kuvio 12).



Kuvio 11. Sitomattoman kantavan kerroksen sora murskeosuuden rakentaminen



Kuvio 12. Kalliomurskeesta ennen tiivistystä otetut rakeisuusnäytteet

Tiivistystyö suoritettiin kuuden yliajokerran verran, jonka jälkeen ensimmäiset levykuormituskokeet voitiin suorittaa. Tiivistetyn kerroksen rakeisuusnäytteet otettiin levykuormituskokeiden jälkeen, kolme rakeisuusnäytettä materiaalilajiketta kohden (Kuvio 13).



Kuvio 13. Levykuormituskoje asetettuna mittausvalmiuteen

Kenttätutkimukset lopetettiin kuljettamalla näytesangot työmaatalaan. Sekä ennen että jälkeen tiivistystyön otetut rakeisuusnäytteet kalliomurskeesta toimitettiin perjantaina 28.9.2018 Mitta Oy:lle tutkittaviksi pesuseulontaan. Muut laboratoriotutkimukset tehtiin myöhemmin syksyllä Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa.

Maanantaina 1.10.2018 tiivistystyötä jatkettiin oikeanpuoleiselta ajokaistalta kolmen yliajokerran verran, jolloin tiivistystyötä suoritettiin yhteensä yhdeksän

yliajokertaa. Rakenteesta otettiin kaksi rakeisuusnäytettä ja kaksi levykuormituskoetta materiaalilajiketta kohden. Kaikki mittauspisteet ja rakeisuusnäytteiden sijainnit koottiin kahteen tarkekuvaan ja levykuormituskokeiden tuloksista laadittiin mittauspöytäkirja, jotka esitetään luvussa 4.4.

4.4 Tutkimustulokset

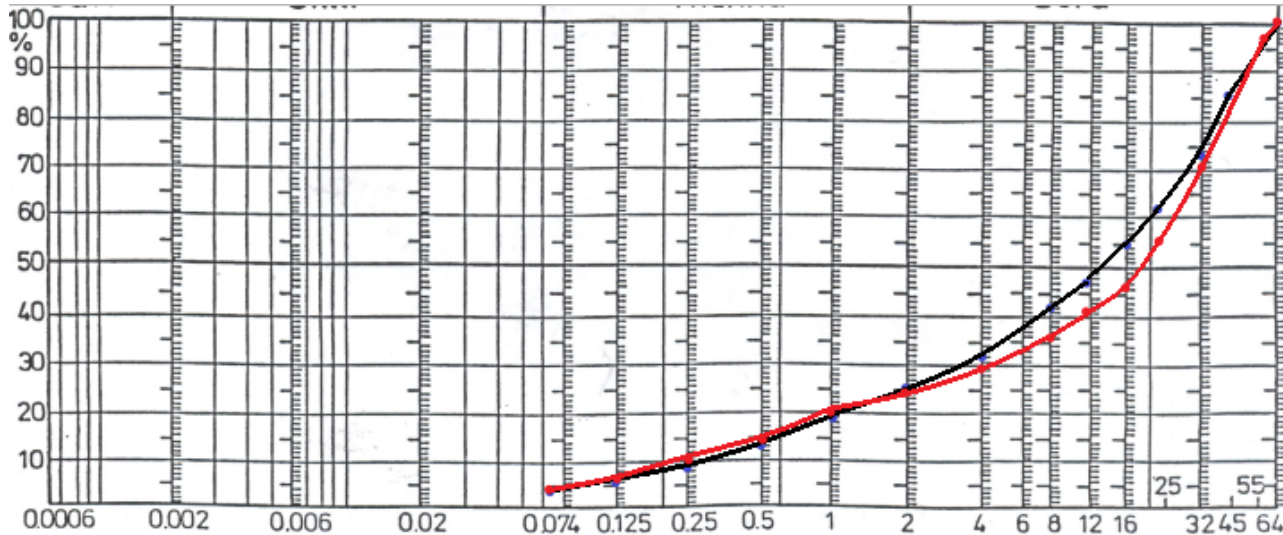
4.4.1 Rakeisuusnäytteiden tulokset

Rakeisuusnäytteet tutkin Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratoriossa, jossa on nykyaikainen välineistö yleisimpien kiviainesnäytteiden analysointiin. Näytteiden rakeisuudet määritettiin pesuseulontaa käyttäen. Rakeisuusnäytteet tehtiin standardin SFS-EN 933-1 mukaisesti ja testeissä käytetty välineistö oli standardien ISO 3310-1 ja ISO 3310-2 mukainen. Kalliomurskeen osalta tiivistämättömät ja 6 yliajokertaa tiivistetyt näytteet tutkittiin Mitta Oy:n laboratoriossa, koska rakeisuusnäytteet tarvittiin pikimmiten kiviaineksen laaduntarkkailuun.

Rakeisuusnäytteiden kuvaajat on koottu niin, että tiivistysmäärittäin molemmat materiaalilajikkeet on esitetty graafisesti ja numeraalisesti samassa kuvaajassa, jotta vertailu olisi helpompaa (Kuvio 14, 15 ja 16).

Seuraavat rakeisuusnäytekuvaajat ovat keskiarvokuvaajia. Tiivistämättömästä rakenteesta ja kuusi kertaa tiivistetystä rakenteesta otettuja näytteitä oli materiaalilajiketta kohden kolme näytettä. Yhdeksän kertaa tiivistetystä rakenteesta otettuja näytteitä oli kaksi materiaalilajiketta kohden (Kuvio 16).

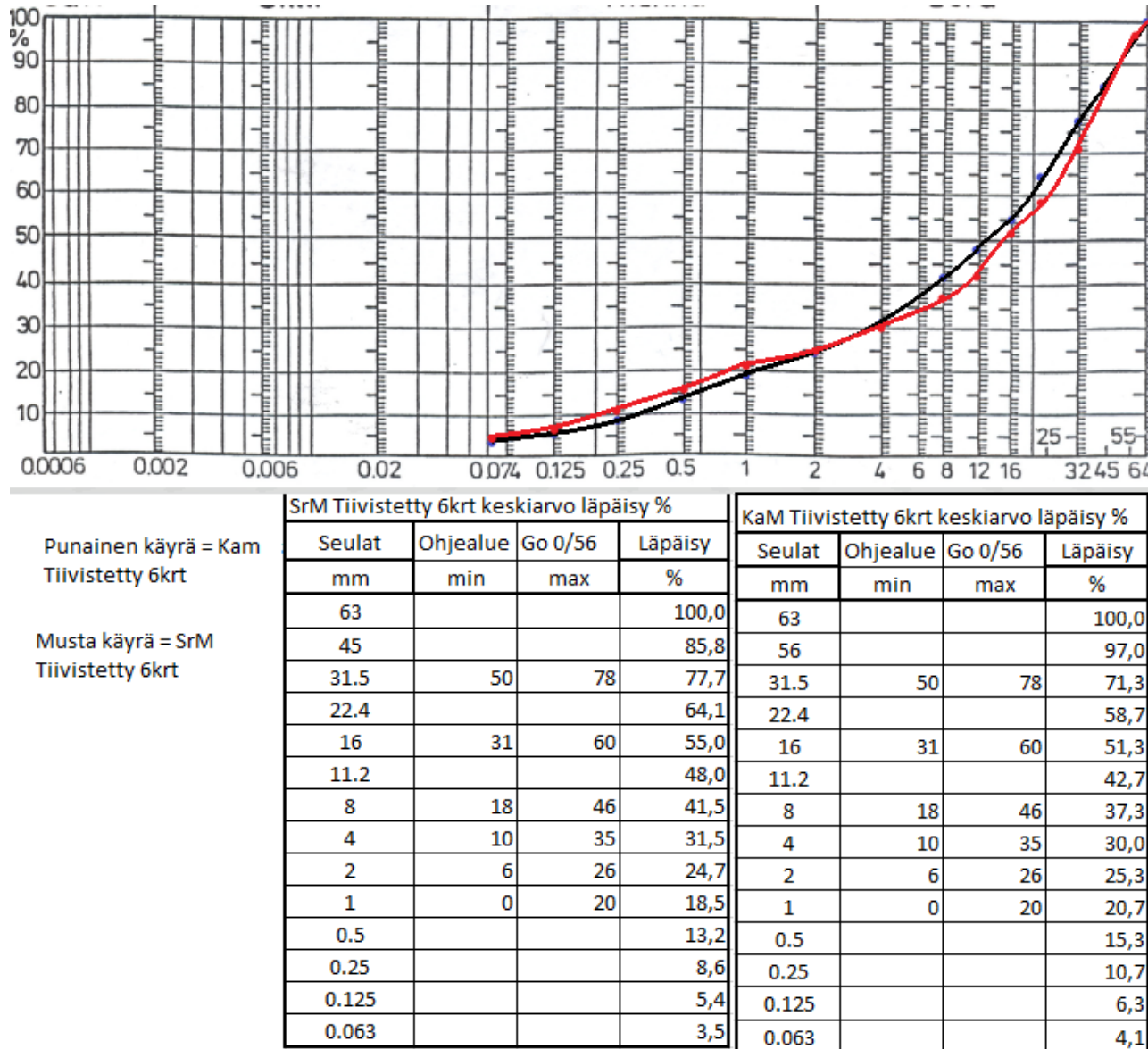
Tiivistämättömästä tierakenteesta otetut rakeisuusnäytteet olivat kuvaajaltaan hieman toisistaan poikkeavat (Kuvio 14). Soramurskeen kuvaaja on hyvin tasaisesti nouseva, kun taas kalliomurskeen kuvaaja on roikkuva 2 mm:stä 45 mm:iin saakka verrattuna soramurskeen kuvaajaan. Hienoainespitoisuus 0,063 mm on lähes sama, mutta 0,125–1 mm kiviaines on kalliomurskeella suurempi. Lähtötilanteessa siis voidaan olettaa kalliomurskeen olevan hieman hienojakoisempaa kuin soramurske.



	SrM Tiivistämätön keskiarvo läpäisy %				KaM Tiivistämätön keskiarvo läpäisy %			
	Seulat	Ohjealue	Go 0/56	Läpäisy	Seulat	Ohjealue	Go 0/56	Läpäisy
	mm	min	max	%	mm	min	max	%
Punainen käyrä = KaM Tiivistämätön	63			100	63			100,0
	45			85,9	56			96,0
	31.5	50	78	73,4	31.5	50	78	70,3
	22.4			61,7	22.4			56,0
	16	31	60	54,6	16	31	60	46,7
	11.2			47,2	11.2			40,7
	8	18	46	41,9	8	18	46	36,0
	4	10	35	32	4	10	35	29,0
	2	6	26	25,2	2	6	26	24,3
	1	0	20	18,6	1	0	20	20,0
	0.5			13	0.5			14,7
	0.25			8,5	0.25			9,7
	0.125			5,5	0.125			6
	0.063			3,6	0.063			3,7
	Musta käyrä = SrM Tiivistämätön	63			100	63		
45				85,9	56			96,0
31.5		50	78	73,4	31.5	50	78	70,3
22.4				61,7	22.4			56,0
16		31	60	54,6	16	31	60	46,7
11.2				47,2	11.2			40,7
8		18	46	41,9	8	18	46	36,0
4		10	35	32	4	10	35	29,0
2		6	26	25,2	2	6	26	24,3
1		0	20	18,6	1	0	20	20,0
0.5				13	0.5			14,7
0.25				8,5	0.25			9,7
0.125				5,5	0.125			6
0.063				3,6	0.063			3,7

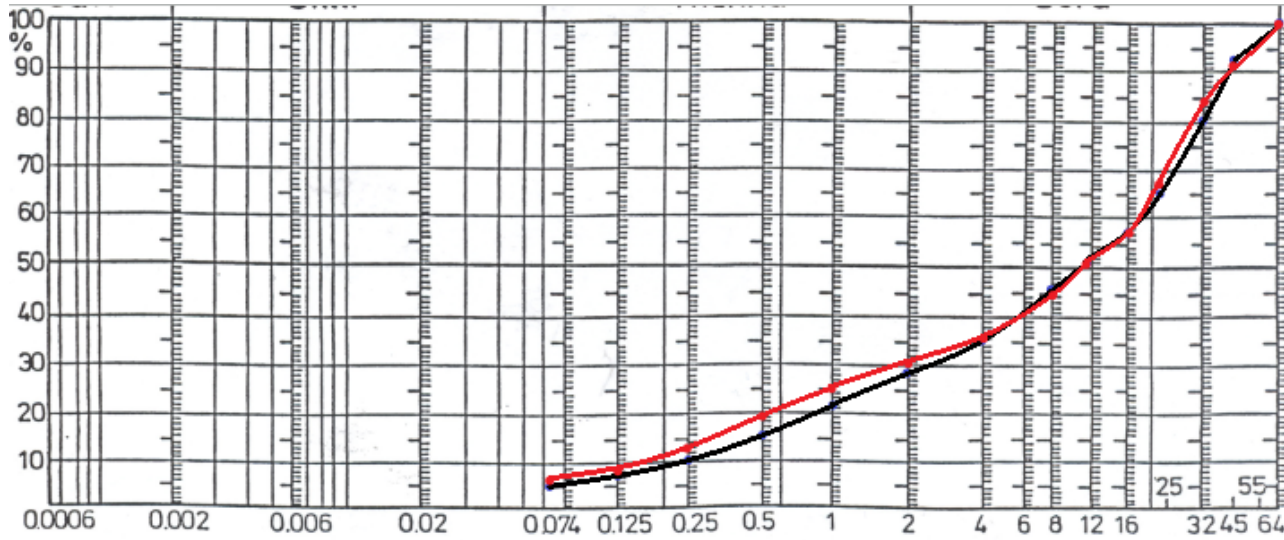
Kuvio 14. Yhdistetty rakeisuuskvaaja tiivistämättömistä rakeisuusnäytteistä

Kuuden yliajokerran tiivistämisen jälkeen tutkitut rakeisuusnäytteet osoittavat kalliomurskeen kuvaajan olevan roikkuva 2–45 mm:n raekoissa (Kuvio 15). Soramurskeen hienoainespitoisuus 0,063 mm ei kasvanut, toisinkuin kalliomurskeen, jonka hienoainespitoisuus nousi 0,4%. 0,063–2 mm kiviaineksen määrä on kalliomurskeessa hieman suurempi kuin soramurskeessa, ja ero on hieman kasvanut tiivistämättömästä tierakenteesta ottamista näytteistä.



Kuvio 15. Yhdistetty rakeisuuskuvaaja kuuden yliajokerran jälkeisistä rakeisuusnäytteistä

Yhdeksän yliajokerran tiivistämisen jälkeen tutkitut rakeisuusnäytteet osoittavat selvästi kiviaineksen hienontumisen molemmassa materiaaleissa (Kuvio 16). Hienoainespitoisuudet 0,063 mm ovat kasvaneet 1,5% kuuden yliajokerran tiivistämisen jälkeen tutkittuihin näytteisiin verrattuna. Kalliomurskeen hienoainespitoisuus 0,063mm on 0,6% suurempi kuin soramurskeen. Esimerkiksi 0,5 mm ja 1 mm raekoissa kalliomurskeen läpäisyprosentti on 3,4% suurempi kuin soramurskeella, mikä kertoo kalliomurskeen hienontumisesta.

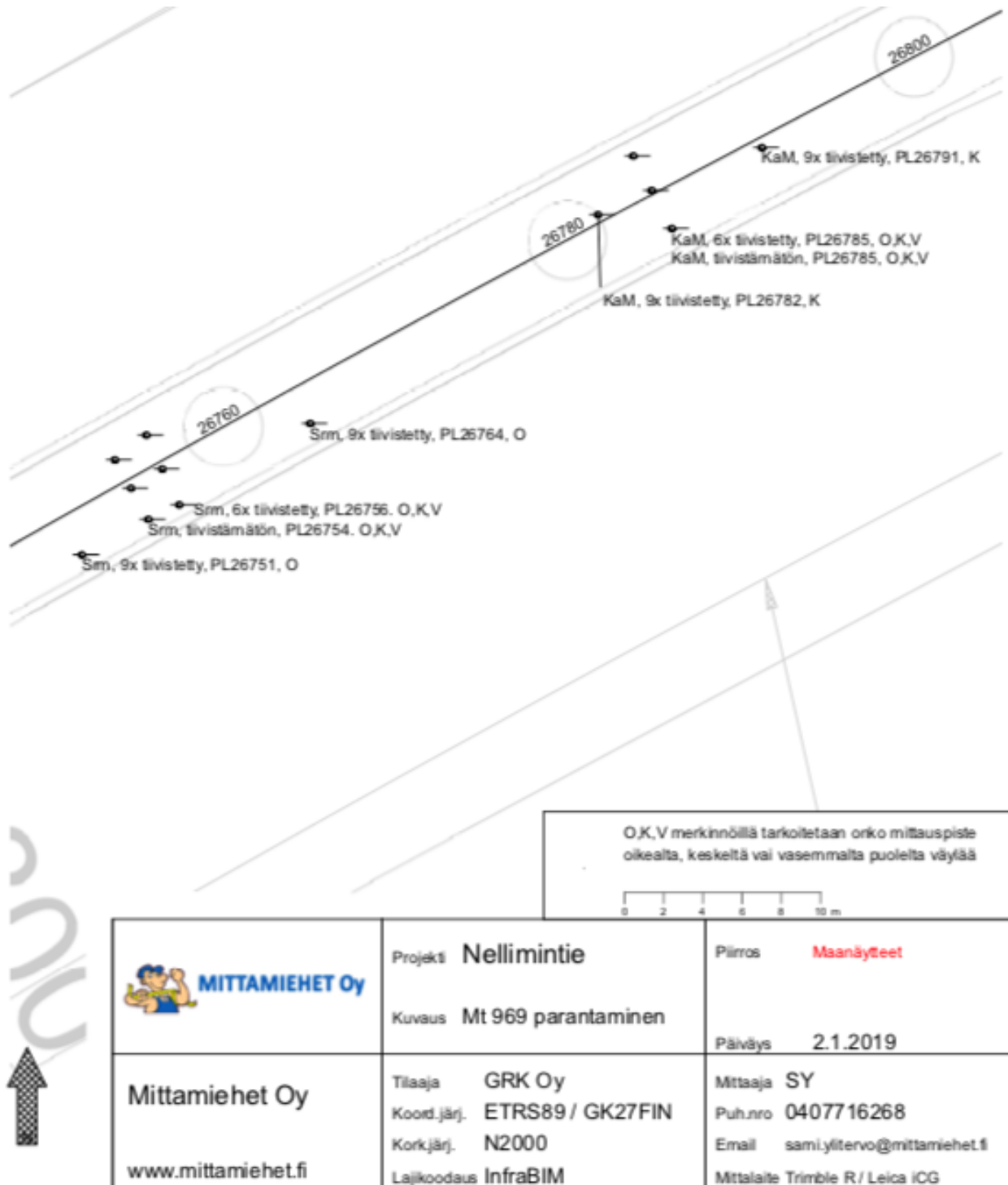


Punainen käyrä = KaM
Tiivistetty 9krt

Musta käyrä = SrM
Tiivistetty 9krt

SrM Tiivistetty 9krt keskiarvo läpäisy %				KaM Tiivistetty 9krt keskiarvo läpäisy %			
Seulat	Ohjealue	Go 0/56	Läpäisy	Seulat	Ohjealue	Go 0/56	Läpäisy
mm	min	max	%	mm	min	max	%
63			100,0	63			100,0
45			92,9	45			91,3
31.5	50	78	80,7	31.5	50	78	84,6
22.4			65,7	22.4			67,0
16	31	60	57,9	16	31	60	57,8
11.2			50,8	11.2			50,7
8	18	46	45,4	8	18	46	44,7
4	10	35	35,3	4	10	35	36,0
2	6	26	28,4	2	6	26	30,5
1	0	20	21,6	1	0	20	25,0
0.5			15,7	0.5			19,1
0.25			10,6	0.25			12,8
0.125			7,1	0.125			8,1
0.063			5	0.063			5,6

Kuvio 16. Yhdistetty rakeisuuskuvaja yhdeksän yliajokerran jälkeisistä rakeisuusnäytteistä




Kuvio 17. Tarkekuva rakeisuusnäytteiden ottokohdista

4.4.2 Los Angeles -luku

Los Angeles -testit suoritettiin Rovaniemen kaupungin PANK-hyväksytyssä kiviaineslaboratoriossa, laborantti Heikki Kämäräisen opastuksella. Testi aloitettiin esiseulonnalla, jolloin 10–14 mm kiviaines saatiin eroteltua muusta kiviaineksesta. Testiä varten esiseulottu näyte pestiin ja kuivattiin lämpöuunissa. Kuivattu näyte punnittiin suhdelukujen mukaan yhteensä 5000g näytteeksi ja pyöritettiin 500 kierrosta Los Angeles -testilaitteessa 11 teräskuulan kanssa. 1,6 mm seulalle jääneet rakeet punnitaan ja Los Angeles -luvun laskukaavaa käyttäen saadaan Los Angeles -luku.


Molempien kiviainesnäytteiden kiviaineslajikkeet 10–14 mm eivät riittäneet täyttämään 5000g vaatimusta ja suhdelukuja, jolloin kokonaisnäytteen yli 16 mm kiviainesta murskattiin Lapin ammattikorkeakoulun rakennuslaboratorion kiviainesmurskaimella. Näin saavutettiin riittävä määrä 10–14 mm lajikkeita, jolloin pysyttiin suhteutuksen osalta sallituissa rajoissa vaikkei lajikkeiden suhteet toisiinsa olleet optimaaliset soramurskeen osalta. Kalliomurskeen lajikkeet olivat lähestulkoon optimaaliset.

Kalliomurskeen LA -luku oli 43,6 eli LA50. Testitulokset ei ole tilaajan määrittämän raja-arvon sisällä LA40. Raportissa tarkat luvut (Kuvio 18).

ROVANIEMEN KAUPUNKI TEKNISET PALVELUT / Päälyste- ja kiviaineslaboratorio Betonitie 4 Alakorkalo PANK -hyväksytty Testausorganisaatio Puh. 040 562 4354 Heikki.Kamarainen@Rovaniemi.fi Os. Hallituskatu 7 96100 Rovaniemi			
ISKUNKESTÄVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN Los Angeles -testimenetelmällä		SFS-EN 1097-2	
27.09.2018 KaM 0/56 Nellimi Antti Määttä / Lapin AMK Los Angeles mylly: ROAMK / Tekniikka ja Liikenne Tyyppi: Scanteknik Valm.no: Hankintavuosi: 2005 Seulat: Scanteknik	Työ no: 851		
	Näyte no: 1		
	Vastaanottopvm. 19.11.2018		
	Tutkimuspvm 19.- 20.11.2018		
Testinäytteen massa 5000 g ± 5 g	10,0 - 11,2 mm = 30 - 40 % = 1750 g (35 %)	1750.0	1750.4
	11,2 - 12,5 mm = 30 % = 1500 g (30 %)	1500.0	1500.3
	12,5 - 14 mm = 30 - 40 % = 1750 g (35 %)	1750.0	1750.7
Alkuperäisen näytteen (10 - 14 mm) massa (g) m_1 :		5000.0	5001.4
La -testin jälkeen seulalle jäänyt kiviaines: 1,6 mm (g) m_2 :			2822.6
LAATULUOKKA / L O S A N G E L E S LUKU $LA = 100 \times (m_1 - m_2) / m_1$		LA50	43.6
Laatuoluokat: $\leq 20 = LA20$, $\leq 25 = LA25$, $\leq 30 = LA30$, $\leq 35 = LA35$, $\leq 40 = LA40$, $\leq 50 = LA50$, $\leq 60 = LA60$, $>60,5 = LA$ ilmoitettu, ei vaatimuksia LANR			
Havainnot testin aikana: Mursekenäytteessä olleet yli 16 mm:n kivet murskattiin LAMK:n (Rovaniemi) laboratoriomurskaimella 0/25 mm:ksi, jotta saatiin 10,0 - 14,0 mm:n raekokoja riittävästi.			
Päiväys: 20.10.2018			
Testin suorittaja:		H. Kämäräinen / A. Määttä	

Kuvio 18. Los Angeles -testin raportti kalliomurske

Soramurskeen LA -luku oli 35,6 eli LA40. Testituloksella ei ole tilaajan määrittämien raja-arvojen sisällä LA35, mutta kuitenkin huomattavasti parempi kuin työmaan sisältä saadun kalliomurskeen lujuusarvo. Raportissa soramurskeen tarkat luvut (Kuvio 19).

ROVANIEMEN KAUPUNKI TEKNISET PALVELUT / Päällyste- ja kiviaineslaboratorio Betonitie 4 Alakorkalo PANK -hyväksytty Testausorganisaatio Puh. 040 562 4354 Heikki.Kamarainen@Rovaniemi.fi Os. Hallituskatu 7 96100 Rovaniemi			
ISKUNKESTÄVYYDEN MÄÄRITTÄMINEN Los Angeles -testimenetelmällä		SFS-EN 1097-2	
27.09.2018 SM 0/56 Nellimi Antti Määttä / Lapin AMK Los Angeles mylly: ROAMK / Tekniikka ja Liikenne Tyyppi: Scanteknik Valm.no: Hankintavuosi: 2005 Seulat: Scanteknik	Työ no: 850		
	Näyte no: 1		
	Vastaanottopvm. 19.11.2018		
	Tutkimuspvm 19.- 20.11.2018		
Testinäytteen massa 5000 g ± 5 g	10,0 - 11,2 mm = 30 - 40 % = 1750 g (35 %)	1750.0	1751.2
	11,2 - 12,5 mm = 30 % = 1500 g (30 %)	1500.0	1607.4
	12,5 - 14 mm = 30 - 40 % = 1750 g (35 %)	1750.0	1643.1
Alkuperäisen näytteen (10 - 14 mm) massa (g) m_1 :		5000.0	5001.7
La -testin jälkeen seulalle jäänyt kiviaines: 1,6 mm (g) m_2 :			3221.7
LAATULUOKKA / LOS ANGELES LUKU $LA = 100 \times (m_1 - m_2) / m_1$		LA40	35.6
Laatulokat: $\leq 20 = LA20$, $\leq 25 = LA25$, $\leq 30 = LA30$, $\leq 35 = LA35$, $\leq 40 = LA40$, $\leq 50 = LA50$, $\leq 60 = LA60$, $>60,5 = LA$ ilmoitettu, ei vaatimuksia LANR			
Havainnot testin aikana: Mursekenäytteessä olleet yli 16 mm:n kivet murskattiin LAMK:n (Rovaniemi) laboratoriomurskaimella 0/25 mm:ksi, jotta saatiin 10,0 - 14,0 mm:n raekokoja riittävästi.			
Päiväys: 20.10.2018			
Testin suorittaja:		H. Kämäräinen / A. Määttä	

Kuvio 19. Los Angeles -testin raportti soramurske

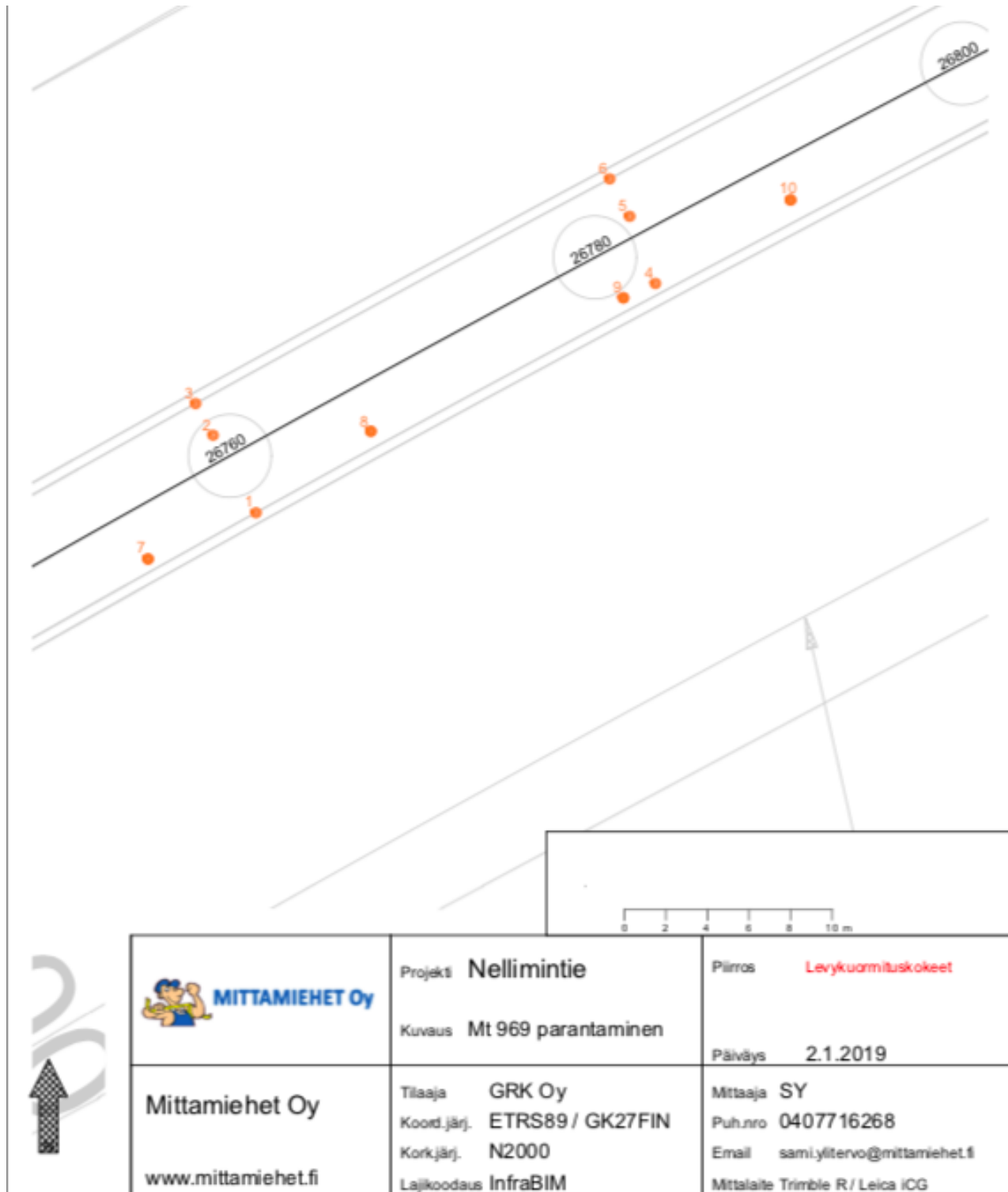
4.4.3 Levykuormituskoetulokset

Levykuormituskokeet suoritettiin testiosuuden tiivistyksien jälkeen. Levykuormituskokeena toimi Lapin ammattikorkeakoulun kolmikelloinen levykuormituskoe. Levykuormituskokeessa käytettiin kymmentä mittauspistettä, viisi materiaalilajiketta kohden. Mittauspisteet on merkitty tarkekuvaan (Kuvio 20). Alla olevassa mittauspöytäkirjassa (Taulukko 1) näkyvät tiivistysmäärittäin lajittelemani materiaalilajikkeet mittauspisteineen ja paalulukemineen. Jokaisen mittauspisteen kohdalla on esitetty E_1 , E_2 ja tiiveyssuhdeluvut.

Mittauspisteessä 10 on havaittavissa huomattava ero muihin E_2 -arvoihin nähden, mikä on selitettävissä mittausvirheellä. Yksi heittokelloista todennäköisesti juuttui hetkeksi paikoilleen ja näin muutti heittokellolukemista laskettua keskiarvoa alakanttiin, joka nosti E_2 -arvoa kohtuuttomasti. Kahden heittokellon keskiarvolla laskettu E_2 -arvo mittauspisteellä 10 olisi 294 MPa, jolloin tiiveyssuhde laskee 3,3:een. Silti mittauspisteen 10 arvot ovat heikkoja lukuun ottamatta E_2 arvoa.

Taulukko 1. Kantavuusmittauksien mittauspöytäkirja

Mittauspöytäkirja				Antti Määttä			
Levykuormituskoe		27.9.2018		Mt 969 Nellimintien perusparannus testiosuus plv. 26740 - 26800			
Mittauspiste	Paalulukema	Materiaali	Tiivistysmäärä	E ₁	E ₂	Tiiveyysuhde E ₂ /E ₁	
1	26760 o	SrM	6	98	225	2,3	
2	26760	SrM	6	121	318	2,6	
3	26760 v	SrM	6	114	235	2,1	
4	26782 o	KaM	6	88	207	2,4	
5	26782	KaM	6	94	214	2,3	
6	26782 v	KaM	6	99	189	1,9	
7	26754 o	SrM	9	104	199	1,9	
8	26766 o	SrM	9	114	273	2,4	
9	26780 o	KaM	9	118	265	2,3	
10	26790 o	KaM	9	90	335	3,7	
		SrM = soramurske					
		KaM = Kalliomurske					



Kuvio 20. Tarkekuva levykuormituskokeiden mittauspisteistä

5 YHTEENVETO

5.1 Los Angeles -luku

Tulosten arviointi on syytä aloittaa Los Angeles -luvun käsittelyllä, koska sillä on selvä yhteys rakeisuuskvaajien tuloksiin. Kalliomurskeen LA-luku oli 43,6 (Kuvio 18) ja soramurskeen vastaava oli 35,6 (Kuvio 19). Lukujen erotus on 8 yksikköä, joka on kohtalaisen suuri. Kun Los Angeles -lukua käyttää referenssitietona rakeisuuskvaajia tutkiessa, voi havaita selvästi, kuinka kalliomurske hienontuu enemmän kuin hieman paremman LA-luvun omaava soramurske.

5.2 Rakeisuusnäytekuvaajat

Kuviossa 14 tiivistämättömästä rakenteesta tutkitut rakeisuuskvaajat osoittavat kalliomurskeen olevan lähtötilanteessa hieman soramursketta hienompaa. 0,063 mm kiviainesta kalliomurskeessa on 3,7 % ja soramurskeessa 3,6 %.

Kuviossa 15 kuusi kertaa tiivistetystä rakenteesta tutkitut rakeisuuskvaajat osoittaa kalliomurskeen hienontuneen enemmän. 0,063 mm kiviainesta kalliomurskeessa on 4,1 %, kun soramurskeessa vastaava luku on 3,5 %. Soramurskeen hienoainespitoisuus on pysynyt samana, jopa pudonnut yhden kymmenyksen.

Kuviossa 16 yhdeksän kertaa tiivistetystä rakenteesta tutkitut rakeisuuskvaajat osoittavat jälleen kasvavassa määrin kalliomurskeen hienontumisen. 0,063 mm kiviainesta kalliomurskeessa on 5,6 % ja soramurskeessa 5,0 %. Kalliomurskeen hienoainespitoisuus on noussut tiivistämättömästä rakenteesta kaikkiaan 1,9 %. Soramurskeen vastaava luku on 1,5 %.

Kuvioissa 14–16 on havaittavissa selvästi soramurskeen tasaiset kuvaajat ja kalliomurskeen roikkuvat kuvaajat.

5.3 Levykuormituskokeet

Levykuormituskokeiden tulokset ovat hieman toisistaan poikkeavat eivätkä tulokset vastaa muiden tutkimusten tuloksia. Mittauspisteiden E_2 -arvot ovat hyviä, ja läpäisevät asetetun vaatimuksen 145 MPa. Tiiveyssuhde E_2/E_1 on myös kohtalainen molemmilla materiaaleilla, mutta asetettu vaatimus 2,2 ei täyty kaikissa mittauspisteissä. E_2 -arvojen ollessa yli 200 MPa, tiiveyssuhde nousee jokaisessa mittauspisteessä 2,1 tai ylittää sen.

Seuraavassa esittelen ja analysoin soramurskeen levykuormituskokeiden tuloksia. Taulukko 1 mittauspisteiden 7 ja 8, E_2 -arvojen keskiarvo on 236 MPa ja tiiveyssihteiden keskiarvo on 2,15. Kun mittauspisteiden 7 ja 8 keskiarvoja vertaa mittauspisteiden 1-3 keskiarvoihin, havaitaan E_2 -arvon pudonneen noin 15 MPa. Tiiveyssuhde on parantunut keskiarvojen perusteella noin 0,2 yksikköä. Kun tierakennetta tiivistettiin 3 yliajokertaa enemmän kuin ohjearvo on, E_2 -arvo heikkeni, mutta tiiveyssuhde parani hieman.

Seuraavassa esittelen ja analysoin kalliomurskeen levykuormituskokeiden tuloksia. Taulukko 1 mittauspisteiden 9 ja 10 E_2 -arvojen keskiarvo on 300 MPa ja tiiveyssihteiden keskiarvo on 3,0. Kun mittauspisteiden 9 ja 10 keskiarvoja vertaa mittauspisteiden 4–6 keskiarvoihin, havaitaan E_2 -arvon nousseen lähes 100 MPa. Kun mittauspisteen 10 tuloksesta poistetaan todennäköisestä mittakellon jumiutumisen aiheutunut virhemittaus, on E_2 -arvon nousu on noin 80 MPa. Tiiveyssihteen nousu ennen todennäköisen mittausvirheen korjausta on 0,8 yksikköä, ja mittausvirheen korjaamisen jälkeen 0,5 yksikköä.

5.4 Yhteenveto

Tutkimuksen tulokset osoittavat tutkituista materiaaleista soramurskeen olevan laadullisesti parempi materiaali. Kun tierakenteen testiosuutta tiivistettiin, kalliomurskeen jauhaantuminen oli suhteessa suurempaa kuin soramurskeen jauhaantuminen. Tutkimuksen Los Angeles -koe havainnollistaa kivilaatujen ko-

vuuden eron, mikä on havaittavissa materiaalien jauhaantumisessa rakeisuusnäytteiden kuvaajissa.

5.5 Tutkimustulosten luotettavuus

Opinnäytetyön tutkimus on tuotettu noudattaen tutkimuseettisiä ohjeita. Tutkimuksen mittaukset ja laboratoriotutkimukset on tuotettu InfraRYL:n asiakirjojen mukaisesti ja tulokset on kirjattu, kuten tutkimustulokset ovat ne osoittaneet. Olen huomionnut tutkijapositioni suhteessa yritykseen, jossa työskentelin, eikä suhteeni yritykseen ole vaikuttanut tutkimustuloksiin enkä ole tulkinnut tutkimuksen tuloksia yritykselle suotuisammin.

LÄHTEET

GTK 2018a. Geologian tutkimuskeskus. Kalliokiviaines. Viitattu 26.9.2018
<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/kalliokiviaines/index.html>.

GTK 2018b. Geologian tutkimuskeskus. Maa-aines. Viitattu 26.9.2018
<http://www.gtk.fi/geologia/luonnonvarat/maa-aines/index.html>.

Infra ry 2018. Louhinta ja kiviainestuotanto. Viitattu 29.9.2018
<http://www.rakennusteollisuus.fi/INFRA/Tietoa-alasta/Louhinta-ja-kiviaines/>.

InfraRYL 2017a. 21110 Suodatinkerrokset. Rakennustieto. Viitattu 6.1.2019
https://www-rakennustieto-fi.ez.lapinamk.fi/infraryl/extra/teknisetvaatimukset.html.stx?id=TL21111id1598399_2017_1.

- 2017b. 21210.1 Jakavan kerroksen materiaalit. Rakennustieto. Viitattu 6.1.2019
<https://bit.ly/2UTlqQ7>.

- 2017c. 21310.1 Sitomattoman kantavan kerroksen materiaalit. Rakennustieto. Viitattu 6.1.2019
<https://bit.ly/2SIOQTM>.

Kaiva.fi 2018a. Kiviainesten ottoalueet 2018. Viitattu 27.9.2018
<https://kaiva.fi/kaivannaisala/kiviaineshuolto/kiviainesten-ottopaikat/>.

Kaiva.fi 2018b. Suomen maaperä 2018. Viitattu 26.9.2018
<https://kaiva.fi/geologia/suomen-maaperä/>.

Kalliainen A. & Kuula P. & Leppänen M. 2017. Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus. Viitattu 20.12.2018
https://julkaisut.liikennevirasto.fi/pdf8/lts_2017-22_vaylarakenteiden_valtakunnallinen_web.pdf.

Kuula P. 2015. Tien ja radan sitomattomissa rakennekerroksissa käytettävien kiviainesten lujuuden ja hienontumisen tutkiminen. Viitattu 11.10.2018
http://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/121669/lts_2015-68_978-952-317-181-7.pdf?sequence=1&isAllowed=y.

Maa-aineslaki 24.7.1981/555. Viitattu 27.9.2018
<https://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1981/19810555>.

Volvo Construction Equipments Oy 2018. Maajyrä SD135B. Viitattu 29.9.2018
<https://www.volvoce.com/suomi/fi-fi/products/compactors/soil/sd135b/>.

LIITTEET

LIITE 1. Excel Työvaihekohtainen työ- ja laatusuunnitelma sitomaton kantava kerros

Graniittirakennus Kallio Oy			
Urakka	Maantien 969 Nellimintien parantaminen	Työnumero	
Työvaihe	21310 Sitomaton kantava kerros, opinnäytetyön testiosuus plv.	Käytettävät suunnitelmat	Suunnitelman nrot / revisio
Laatija	Antti Määttä	Laatimis pvm	18.9.2018
Tarkastaja	Nimi	Versio nro	1
TYÖSUUNNITELMA			
Työhön varattavat resurssit	<input type="checkbox"/> Oma henkilöstö / kalusto	<input checked="" type="checkbox"/> Aliurakoitsijan henkilöstö / kalusto	
	Koneet ja laitteet		
	- KUP 2 kpl		
	- KA 2 kpl		
- Jyrä 1 kpl Volvo SD135B			
Työryhmät ja henkilöt			
- Mittamies			
- 1-2 RAM (tarvittaessa)			
Materiaalit			
- Kantava kerros tehdään kalliomurskeesta 0-56mm (murskataan Kaitavaaran kallioalueesta saatavasta kiviaineksesta).			
Edeltävät työvaiheet ja valmistelevat työt	Edelliset työvaiheet ja niiden valmiusaste		
	- Jakava kerros louheesta tehty.		
	- Kalliomurskeen laatu varmistettu.		
	Työn edellyttämät luvat ja ilmoitukset		
Muut infomoitavat osapuolet ja -tavat			
- Yksityisteillä tapahtuvasta työmaaliikenteestä sovittava asianomaisten tienpitäjien kanssa.			
Työmaa- ja liikennejärjestelyt			
- Liikenteenohjaussuunnitelmat laadittu/päivitetty ja niiden toteutukset.			
Suojaukset			

	<p>Melun, pölyn, värinän torjunnan toimenpiteet</p> <p>- Maa-ainekset eivät saa levitä yleisille teille, jotka puhdistetaan tarvittaessa.</p>
Työvaiheeseen kohdistuvat riskit ja niiden hallinta	<p>Työryhmään ja koneisiin kohdistuvat riskit</p> <p>- Yleinen liikenne, noudatettava varovaisuutta.</p> <p>Rakenteeseen kohdistuvat riskit</p> <p>- Työn aikana seurataan, ettei kerrosmateriaali pääse haitallisesti lajittumaan.</p> <p>- Mikäli kantavaa kerrosta rakennetaan lämpötilan ollessa nollian alapuolella, kerros tiivistetään välittömästi levityksen jälkeen ennen materiaalin jäätymistä.</p> <p>Ympäristöön ja muihin alueen käyttäjiin kohdistuvat riskit</p>
Työn suoritus	<p>Työvaiheet</p> <p>- Kerrosmateriaalin vastaanotto, levitys ja tiivistys yhtenä kerroksena.</p> <p>- Tarvittaessa kerrosrakenteen kosteleminen optimikosteuden saavuttamiseksi.</p> <p>Työn kuvaus</p> <p>Sitomaton kantava kerros rakennetaan paalukohtaisten poikkileikkausten mukaiseen tasoon ja kaltevuuteen. Sitomaton kantava kerros tehdään kalliomurskeesta yhtenä kerroksena. Kiviaines ei sisällä epäpuhtauksia eikä ole rapautunutta tai rapautumisherkkää. Kuljetuskaluston reitit jaetaan koko tien leveydelle urautumisen ja materiaalin lajittumisen vähentämiseksi. Työmenetelmät valitaan siten, ettei hienoainespitoisuus kerrosta rakennettaessa merkittävästi lisäännä. Liikaa jyräystä vältetään, koska se voi löyhdyttää kerroksia tai lisätä hienoainespitoisuutta. Tarvittaessa kerrokseen lisätään vettä optimikosteuden saavuttamiseksi niin, että se jakautuu tasaisesti koko tiivistettävään kerrokseen. Jos kiviainesta joudutaan lisäämään virheellisen korkeustason, epätasaisuuden tai virheellisen rakeisuuden vuoksi, on jo tiivistetty kerros sekoitettava siten, että uudelleentiivistettävän kerroksen paksuus on yhdessä lisäkiviaineksen kanssa vähintään kaksi kertaa kiviaineksen enimmäisraekoko. Lisäkiviaineksen ja aikaisemmin levitetyn kiviaineksen muodostaman seoksen rakeisuuden tulee olla vaatimuksen mukainen. Piv. jaetaan kolmeen 20 metrin osuuteen, jotka tiivistetään täryjyrällä. Tiivistyksessä ylijokerrat vaihtelevat osuuksien mukaan, joka mahdollistaa tutkimuksen. Rakenteesta otetaan rakeisuusnäytteet sekä ennen että jälkeen tiivistyksen.</p> <p>Työvaiheen aikataulu.</p> <p>syyskuu 2018</p>

	Vastuut
	Tarkastukset, katselmukset ja mittaukset
	- Kantavasta kerroksesta otetaan rakeisuusnäytteet sekä ennen että tiivistyksen jälkeen, jokaisesta tiivistysosuudesta omansa. - Hienoainespitoisuus tutkitaan rakeisuusnäytteistä. - Kantavuus ja tiiveysaste mitataan levykuormituskokeella kantavan kerroksen päältä.

LAADUNVARMISTUS / - OSOITUS

Laatutekijä	Viite	Toleranssi	Mittausmenetelmä	Mittaus-tiheys	Mittaus-ajankohta	Dokumentti	Mittauksen suorittaja
Murskemateriaali	InfraRYL 21310	E-moduli > 280 MPa	Pesuseulonta	1/5000t	Ennen työn aloitusta / työn aikana	Rakeisuuskäyrät	Mittaryhmä
Rakenteen yläpinnan tasosijainti vaakasuunnassa	InfraRYL 21310:T3	-0...+150 mm	Koneohjaus / GPS	1/20 m	Työn aikana / työn jälkeen	Tarkemittauspöytäkirja	Mittaryhmä / koneenkuljettaja
Rakenteen yläpinnan tasosijainnin poikkeaman muutos 20 m:n matkalla	InfraRYL 21310:T3	100 mm	Koneohjaus / GPS	1/20 m	Työn aikana / työn jälkeen	Tarkemittauspöytäkirja	Mittaryhmä / koneenkuljettaja
Rakenteen yläpinnan korkeustaso, yksittäinen poikkeama	InfraRYL 21310:T3	± 20 mm	Koneohjaus / GPS	1/20 m	Työn aikana / työn jälkeen	Tarkemittauspöytäkirja	Mittaryhmä / koneenkuljettaja
Rakenteen yläpinnan korkeustason muutos 20 m:n matkalla, yksittäinen poikkeama	InfraRYL 21310:T3	20 mm	Koneohjaus / GPS	1/20 m	Työn aikana / työn jälkeen	Tarkemittauspöytäkirja	Mittaryhmä / koneenkuljettaja
Rakenteen yläpinnan kaltevuuden poikkeama	InfraRYL 21310:T3	± 0,5 %-yksikköä	Koneohjaus / GPS	1/20 m	Työn aikana / työn jälkeen	Tarkemittauspöytäkirja	Mittaryhmä / koneenkuljettaja
Kantavuus	InfraRYL 21310:T4	Maantie 969 145 MN/m ² ; Y-tiet 60 MN/m ²	Levykuormitus oe	1/100 m / ajorata	Työn jälkeen	Mittauspöytäkirja	Mittaryhmä

Tiivisyysuhde	InfraRYL 21310:T4	Maantie 969 E ₂ /E ₁ ≤ 2,1; Y-tiet E ₂ /E ₁ ≤ 2,0	Levykuormitus oe	1/100 m / ajorata	Työn jälkeen	Mittauspöytäkirja	Mittaryhmä
Hienoainespitoisuus	InfraRYL 21310	≤ 9 %	Pesuseulonta	Vähintään 4 kpl	Työn jälkeen	Mittauspöytäkirja	Mittaryhmä