

Antti Kalliainen
Pirjo Kuula
Minna Leppänen

Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus

Vuoden 2016 tutkimukset



Antti Kalliainen, Pirjo Kuula, Minna Leppänen

Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus

Vuoden 2016 tutkimukset

Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2017

Liikennevirasto

Helsinki 2017

Kannen kuva: Antti Kalliainen

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN-L 1798-6656

ISSN 1798-6664

ISBN 978-952-317-402-3

Liikennevirasto

PL 33

00521 HELSINKI

Puhelin 0295 34 3000

Antti Kalliainen, Pirjo Kuula ja Minna Leppänen: Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus - Vuoden 2016 tutkimukset. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2017. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 22/2017. 82 sivua. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-402-3.

Avainsanat: kiviaines, lujuus, bentoniitti, näytteenotto, CE-merkintä, laadunhallinta, pohjavesi

Tiivistelmä

Tutkimus on jatkoa vuonna 2014 käynnistetyille väylärakenteiden valtakunnalliselle selvitykselle, jossa tarkastellaan tie- ja ratarakenteissa käytettävien kiviainesten ominaisuuksia ja laatudokumentteja. Edellisen tutkimusvaiheen tulokset on raportoitu Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä -sarjassa (18/2016) (saatavilla: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>). Vuonna 2016 selvitettiin tierakenteiden osalta päällystekiviainesten ja kantavan kerroksen kiviaineksen ominaisuuksia. Ratarakenteiden osalta selvitettiin alusrakennemateriaalien ominaisuuksia. Valitut hankkeet on pyritty valitsemaan valtakunnallisesti siten, että tutkimuksesta saatiin myös alueellisesti mahdollisimman kattava. Kiviainesten lisäksi tutkittiin väylähankkeissa käytettyjä suodatinkankaita ja geolujitteita sekä pohjavedensuojauhankkeissa käytettyjä bentoniittimattoja ja maamateriaaleja. Suodatinkankaiden näytteenotto toteutettiin pääosin yhteistyössä NorGeoSpecin pistokoenäytteenoton kanssa.

Vuonna 2016 testattiin yhteensä kahdeksan päällystekiviaineksen ominaisuuksia. Kiviaineksista vain yhden tutkitut ominaisuudet vastasivat tuotteen CE-merkintätiedoissa ilmoitettuja ominaisuuksia. Puutteita havaittiin kiviaineksen muodossa ja nastarengaskulutuskestävyydessä. Päällystekiviainesten näytteenoton yhteydessä kokeiltiin myös materiaalin nastarengaskulutuskestävyyden selvittämistä asfalttimassanäytteistä. Asfalttimassanäytteiden näytteenotto ja näytteiden valmistelu laboratoriokokeita varten on työläämpää kuin kiviainesenäytteiden, mutta niistä saadaan tarkasteltua lopputuotteen laatua. Kokemukset olivat siinä määrin positiivisia, että näytteenoton kokeiluja jatketaan päällystysurakoissa.

Kantavan kerroksen kiviainesten osalta jatkettiin vuonna 2015 alkanutta kokeilua, jossa osarakeisuusnäytteistä voitaisiin korvata massaltaan pienemmällä näytteillä, joista testattaisiin vain hienoainespitoisuus. Tällä tavalla pystyttäisiin helpottamaan työmaalla tehtävää laadunvalvontaa etenkin silloin, kun kantavassa kerroksessa käytettävän murskeen maksimirakeus on yli 31,5 mm. Saadut tulokset olivat varsin positiivisia. Tulevaisuudessa osa rakeisuusnäytteistä voitaisiin korvata hienoainesnäytteillä.

Ratarakenteiden osalta jatkettiin alusrakennemateriaalien näytteenottoa. Havaitut poikkeamat olivat varsin samankaltaisia kuin aiemmissa tutkimuksissa. Murskatuissa materiaaleissa oli puutteita materiaalien CE-merkintätiedoissa tai tiedot olivat virheellisiä. Luonnonmateriaalit olivat rakeisuudeltaan vaatimusten mukaisia. Ratarakenteista otettiin näytteitä myös kunnossapitotöiden yhteydessä. Näytteet otettiin alusrakennekerroksista tai pohjamaasta. Näytteistä arvioitiin materiaalin routivuus ja verrattiin tuloksia kairausdiagrammeista tehtyihin routivuustulkintoihin. Tehdyt tulkinnat osoittautuivat ymmärrettävästi hieman konservatiivisiksi, koska kairausdataa on yleensä käytössä melko vähän. Eroa oli enemmän, mikäli materiaali oli hienorakeisempaa.

Geotekstiilien ja lujitteiden pistokoenäytteenotto toteutettiin ensimmäisen kerran kesällä 2015 osana NorGeoSpecin laadunvalvontaan kuuluvaa satunnaisnäytteenottoa. Näytteitä on otettu yhteensä 20, joista 18 näytettä on otettu suodatinkankaista ja kaksi geolujitteista. Suodatinkangasnäytteissä havaittiin laadunlukuja puolella tuotteista. Osassa laatulukutukset olivat vähäisiä, ja testattujen B-näytteiden perusteella tuotteet olivat vaatimusten mukaisia. Kuitenkin yksi kolmasosa tuotteista poikkesi vähintään yhden testatun ominaisuutensa osalta niin merkittävästi, että tuote sai NorGeoSpec-järjestelmän mukaan hylätyn arvion. Yleensä tällöin poikkeamat olivat myös niin suuria, että tuote edustaa alemmaa käyttöluokkaa. Geolujite- ja bentoniittimattomnäytteitä on otettu toistaiseksi vähäinen määrä. Tässä tutkimuksessa testatut tuotteet ovat kuitenkin olleet vaatimusten mukaisia.

Antti Kalliainen, Pirjo Kuula och Minna Leppänen: Riksomfattande undersökning av stenmaterial och geosyntet i trafikledskonstruktioner – Undersökningar år 2016. Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2017. Trafikverkets undersökningar och utredningar 22/2017. 82 sidor. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-402-3

Sammanfattning

Undersökningen är en fortsättning på en år 2014 inledd riksomfattande undersökning av stenmaterial i trafikledskonstruktioner och gäller egenskaper hos och kvalitetsdokument för stenmaterial som används i väg- och bankonstruktioner. Resultaten i den förra undersökningsfasen har rapporterats i serien *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä* ("Trafikverkets undersökningar och utredningar", 18/2016, på finska) (texten, inklusive sammanfattning på svenska, finns på adressen: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>). År 2016 utredde man för vägkonstruktionernas del egenskaperna hos stenmaterial i beläggningen och i det bärande lagret. För bankonstruktionernas del utredde man egenskaperna hos underbyggnadsmaterialen. Man strävade också efter att välja projekten så att de representerade hela landet så bra som möjligt. Förutom stenmaterial undersökte man de filterdukar och geoförstärkningar som använts i trafikledsprojekt samt de bentonitmattor och jordmaterial som använts i grundvattenskyddsprojekt. Provtagningen av filterdukarna genomfördes främst i samarbete med NorGeoSpec i form av stickprovstagning.

År 2016 testades egenskaperna hos totalt åtta beläggingsstenmaterial. Av de undersökta stenmaterialen var det bara egenskaperna hos ett material som motsvarade de uppgivna egenskaperna i CE-märkningen. Brister observerades i stenmaterialets form och i materialets slitstyrka mot dubbdäck. I samband med provtagningen av beläggingsstenmaterial gjordes också ett försök att utreda materialets slitstyrka mot dubbdäck med hjälp av asfaltmassaprover. Provtagning av asfaltmassa och beredning av proverna för laboratorieförsök kräver mer arbete än med stenmaterialprover, men asfaltmassaprover kan användas till att granska kvaliteten i slutprodukten. Erfarenheterna var så pass positiva att provtagningsförsöken fortsätter i beläggningstreprenader.

I fråga om stenmaterialen i det bärande lagret fortsatte ett försök som hade inletts 2015, där en del av kornighetsproverna kunde ersättas med prover med mindre massa, vilka sedan endast testades med avseende på finmaterialhalt. På så sätt vore det möjligt att underlätta kvalitetskontrollen på byggarbetsplatsen, i synnerhet när den maximala kornstorleken i krossen i det bärande lagret är över 31,5 mm. Resultaten var rätt positiva. Framöver kunde en del av kornighetsproverna ersättas med finmaterialprover.

För bankonstruktionernas del fortsatte provtagningen av underbyggnadsmaterial. De observerade avvikelserna var rätt likartade som i tidigare undersökningar. För krossade material förekom brister i materialens CE-märkning eller så var uppgifterna felaktiga. Naturmaterialens kornighet uppfyllde kraven. Provtagning på bankonstruktionerna gjordes också vid underhåll. Proverna togs i underbyggnadslagren eller i undergrunden. I proverna bedömde man materialets tjälfarlighet och jämförde resultatet med de tolkningar av tjälfarlighet som gjorts utifrån borrningsdiagram. Tolkningarna visade sig förståeligt nog vara något konservativa, eftersom borrningsdata vanligen används i rätt liten utsträckning. Skillnaden var större om materialet var mer finkornigt.

Stickprovstagning av geotextiler och förstärkningar gjordes första gången sommaren 2015 som en del av den slumpmässiga provtagning som ingick i NorGeoSpecs kvalitetskontroll. Totalt togs 20 prover, av vilka 18 togs av filterdukar och två av geoförstärkningar. I filterduksproverna observerades kvalitetsunderskridningar i hälften av produkterna. I en del av fallen var underskridningarna ringa, och utifrån de testade B-proverna uppfyllde produkterna kraven. En tredjedel av produkterna avvek emellertid så mycket i minst en testad egenskap att produkten fick bedömningen underkänd i NorGeoSpecs system. Vanligen var avvikelserna i dessa fall också så stora att produkten motsvarade en lägre bruksklass. Antalet prover av geoförstärkningar och bentonitmattor är tillsvidare litet. I denna undersökning har de testade produkterna emellertid uppfyllt kraven.

Antti Kalliainen, Pirjo Kuula and Minna Leppänen: Nationwide study on quality properties of aggregate and geosynthetics materials used in road and railway structures – Studies in 2016. Finnish Transport Agency, Technology and Environment. Helsinki 2017. Research reports of the Finnish Transport Agency 22/2017. 82 pages. ISSN-L 1798-6656, ISSN 1798-6664, ISBN 978-952-317-402-3.

Summary

The study is a follow-up of the one started in 2014 concerning the quality properties of aggregate materials, focusing on the properties of aggregates used in road and railway structures, and on related quality documentation. The results of the previous stage were reported in the *Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä* series (18/2016) (available at: <http://urn.fi/URN:g78-952-317-244-9>). In 2016, the properties of pavement material and the pavement aggregate in the road base was studied. As to the railway structures, the properties of substructure materials was studied. The projects were chosen nationally to make the study as geographically representative as possible. Not only were aggregates studied but also filter fabrics and geosynthetics used in route projects, and bentonite mats and soil materials used in groundwater protection projects. The sampling of filter fabrics was carried out mainly in cooperation with NorGeoSpec's random checks.

During 2016, the properties of a total of eight pavement aggregates were tested. The properties of only one aggregate corresponded to those indicated in the CE marking. Deficiencies were found in the aggregate form and studded-tyre wear resistance. When samples were taken of the pavement aggregate, test were also made to find out the material's studded-tyre wear resistance from the asphalt mass samples. Sampling asphalt mass and preparing it for laboratory tests in more laborious than that of aggregate samples, but they display the quality of the end product. Experiences were positive to the extent that sampling tests will be continued in pavement projects.

An experiment which had been started in 2015 was continued with regard to aggregate in the road base, substituting some of the grading samples with samples of a smaller mass, with only the fine aggregate content being tested. This would help on-site quality control especially when the maximum grain size in the road base is more than 31.5 mm. The results were very positive. In future, some of the grain size samples could be replaced with fine aggregate samples.

As to the railway structures, the sampling of substructure materials was continued. The deviations were quite similar to those in previous studies. Crushed materials had incomplete CE markings, or contained incorrect information. Natural materials were in accordance with the granularity requirements. Samples were also taken of the railway structures when they were maintained. The samples were taken from the substructures or subsoil. They were tested for frost action and compared to frost interpretations made from drilling diagrams. The interpretations proved understandably somewhat conservative, because there usually is not much drilling data available. The finer the granularity, the greater the differences.

The first random checks of geo-textiles and aggregates took place in 2015 as part of the random checks carried out by NorGeoSpec. A total of 20 samples have been taken, of which 18 samples concern filter fabrics and two geosynthetics. Half of the filter fabric samples were found to be below the required quality. Some samples were only slightly below requirements and the B-tests confirmed that they actually met the requirements. However, one third of the products deviated in terms of at least one property so significantly that they received a 'failed' assessment by the NorGeoSpec system. Usually the deviations were also so major that the products represents a lower use category. So far a small number of geosynthetics and bentonite mat samples have been taken. However, products tested in this study conformed to the requirements.

Esipuhe

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää väylärakenteissa käytettäville kiviaineksille, suodatinkankaille ja geolujitteille sekä pohjavedensuojusrakenteiden materiaaleille asetettujen laatuvaatimusten täyttymistä erityyppisillä hankkeilla pisto-koemaisesti tehdyn näytteenoton avulla. Saatuja tutkimustuloksia on käytetty mm. nykyisten laatuvaatimusten kehittämiseen.

Tutkimuksen on toteuttanut Ramboll Finland Oy yhteistyössä Tampereen teknillisen yliopiston kanssa. Raportin ovat laatineet dipl.ins. Antti Kalliainen (Ramboll), dipl.ins. Pirjo Kuula (TTY) ja dipl.ins. Minna Leppänen (TTY). Tutkimuksen ohjausryhmään ovat lisäksi kuuluneet:

Kari Lehtonen	Liikennevirasto
Laura Pennanen	Liikennevirasto
Heikki Lappalainen	Liikennevirasto
Erkki Mäkelä	Liikennevirasto
Katri Eskola	Liikennevirasto
Veli-Matti Uotinen	Liikennevirasto
Pentti Häkkinen	Ramboll Finland Oy

Helsingissä toukokuussa 2017

Liikennevirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	9
2	TUTKIMUSOHJELMA	11
2.1	Tutkitut materiaalit ja testausmenetelmät	11
2.2	Näytteenotto.....	12
2.2.1	Kasalta otetut kiviainesnäytteet.....	13
2.2.2	Rakenteesta otetut kiviainesnäytteet.....	15
2.2.3	Kiviaineksen lujuustestit	16
2.2.4	Suodatinkangas- ja geolujitennäytteet	17
2.2.5	Bentoniittimatonnäytteet	17
2.2.6	Pohjavedensuojaurakenteiden kiviainesnäytteet	17
3	PÄÄLLYSTEKIVIAINEKSET	18
3.1	Litteysluku	18
3.2	Nastarengaskulutuskestävyys	19
3.3	Asfalttirouhe- ja -massanäytteiden vertailututkimus.....	23
3.3.1	Asfalttirouhe	23
3.3.2	Asfalttimassa	24
3.4	Yhteenveto päällystekiviainestutkimuksista.....	26
4	KANTAVA KERROS	28
4.1	Rakeisuus- ja hienoainesnäytteet	29
4.2	Materiaalin lujuusominaisuudet.....	35
4.3	Yhteenveto kantavan kerroksen tutkimuksista	36
5	RADAN ALUSRAKENNEKERROKSET	38
5.1	Kohde RA.....	38
5.2	Kohde RB.....	39
5.3	Rumpukohteet.....	40
5.4	Materiaalin routivuuden vertailututkimus	44
5.4.1	Kohde V1.....	44
5.4.2	Kohde V2.....	46
5.4.3	Kohde V3.....	46
5.4.4	Kohde V4.....	48
5.5	Yhteenveto ratarakenteiden materiaalien tutkimuksista	50
6	SUODATINKANGAS- JA GEOLUJITETUTKIMUS	52
6.1	NorGeoSpec-järjestelmä.....	53
6.2	Näytteenotto.....	55
6.3	Testausmenetelmät	56
6.4	Tulokset.....	60
6.5	Yhteenveto geosynteettien tutkimuksista	67
7	POHJAVEDENSUOJAUSMATERIAALIEN TUTKIMUS	68
7.1	Salaojakerros	68
7.2	Suojaverhous.....	68
7.3	Bentoniittimatonnäytteenotto	69
7.4	Testausmenetelmät	70
7.5	Tulokset.....	71
7.6	Yhteenveto pohjavedensuojaurakenteista tehdyistä tutkimuksista.....	74

8	YHTEENVETO	75
8.1	Päällystekiviainekset.....	76
8.2	Kantavan kerroksen kiviainekset	77
8.3	Ratamateriaalien yhteenveto	78
8.4	Suodatinkangas- ja geolujitetutkimuksen yhteenveto	79
8.5	Pohjavedensuojaurakenteiden tutkimuksen yhteenveto	79
	LÄHTEET	81

1 Johdanto

Tämä tutkimus on jatkoa vuonna 2014 alkaneelle väylärakenteiden valtakunnalliselle kiviainestutkimukselle. Vuosien 2014 ja 2015 koetulokset on raportoitu Liikenneviraston julkaisusarjassa (Kalliainen & Kuula 2016). Raportti on saatavilla osoitteesta: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>. Vuonna 2016 on jatkettu tie- ja ratarakenteissa käytettävien materiaalien laaduntarkkailua. Tässä raportissa on esitetty vuonna 2016 tutkittujen kiviainesnäytteiden tulokset sekä vuosina 2015 ja 2016 otettujen suodatinkangas- ja geolujitenäytteiden sekä pohjavedensuojaurakennekohteesta otettujen salaojakerros-, suojaverhous- ja bentoniittimattonäytteiden tulokset.

Tutkimuksen tavoitteena on:

1. Saada yleiskuva siitä, missä rakennekerroksissa on mahdollisesti laatupoikkeamia; onko alueellisia eroja ja onko poikkeamia myös CE-merkityissä materiaaleissa.
2. Arvioida aikaisemmin tehtyjen vaurioitumismallien perusteella laatupoikkeamien vaikutusta rakenteiden ominaisuuksiin ja käyttöikään sekä arvioida nykyisten laatuvaatimusten selkeyttä.
3. Arvioida urakoitsijoiden ja tilaajien nykyisiä laadunhallintakäytäntöjä ja niitä koskevia ohjeita.
4. Arvioida näytteenotto- ja testausmenetelmiä ja niiden esitystavan selkeyttä.
5. Tehdä ehdotuksia laatuvaatimusten ja käytäntöjen kehittämiseksi.

Tässä raportissa tulokset on esitetty siten, että muut kuin asianosainen tilaaja, urakoitsija ja mahdollinen materiaalitoimittaja eivät pysty tunnistamaan kohdetta tai tuotetta. Tässä muodossa otteita raportista on käytetty muun muassa vaatimusten kehittämiseen PANK ry:n Asfalttinormitoimikunnassa. Suodatinkangas- ja geolujitetutkimus on tehty kiinteässä yhteistyössä NorGeoSpec-järjestelmän kanssa ja osaa tutkimustuloksista on käytetty myös NorGeoSpec-järjestelmän laadunvarmistusmenettelyissä.

Vuoden 2016 tutkimusten painopistealueet on valittu aiempien tutkimustulosten perusteella. Tierakenteisiin liittyviä näytteitä on otettu päällystekiviaineksista ja kantavasta kerroksesta. Kantavasta kerroksesta otettujen näytteiden painopiste on ollut rakenteesta tehtävän näytteenoton kehittämisessä. Ratarakenteista on otettu näytteitä alusrakennemateriaaleista, painottaen pieniä kohteita, ja on jatkettu vuonna 2015 aloitettua vertailututkimusta, jonka on tarkoituksena selvittää, kuinka hyvin rakenteessa tai pohjamaana olevien materiaalien routivuuden arviointi pitää paikkansa. Suodatinkangasnäytteet on otettu osin tuotteista, joihin NorGeoSpec-järjestelmässä on ollut tarvetta kohdistaa pistokoenäytteenottoa.

Tutkimukseen kuuluu työmaalta rakenteesta otettavia näytteitä sekä urakoitsijoiden ja kiviainestoimittajien kiviainesten ottopaikalta kasalta otettavia näytteitä. Näytteiden tasalaatuisuuden ja keskinäisen vertailtavuuden varmistamiseksi näytteenotto on tehty keskitetysti. Hankkeiden keskinäinen vertailtavuus on ensiarvoisen tärkeää, kun halutaan muodostaa yleiskäsitys siitä, kuinka hyvin hankkeiden sisäinen laadunvalvonta toimii. Mikäli näytteenottoa ei tehdä keskitetysti, on olemassa riski, että näytteiden laatu vaihtelee ja kiviaineksen laadun vaihtelun asemesta tutkitaan näytteenottotavan vaihtelevuutta. Myös kaikki rakeisuusmääritykset on tehty samassa laboratoriossa, jotta voidaan varmistua tulosten keskinäisestä vertailtavuudesta.

Keskenään mahdollisimman hyvin vertailtavat testaustulokset yhdistämällä on mahdollista tehdä tarkempaa analyysiä eri materiaalien ominaisuuksista. Näytemäärän ollessa riittävä on myös mahdollista arvioida nykyisten rakenneosakohtaisten laatuvaatimusten asianmukaisuutta suhteessa keskimäärin käytössä oleviin materiaaleihin. Tutkimuksessa tehdyn analyysin keskeisenä tavoitteena on ollut laatuvaatimusten oikeellisuuden arviointi ja tarvittaessa laatuvaatimusten päivittäminen. Vaikka tutkimuksessa on otettu näytteitä pistokoemaisesti, ei ensisijaisena tavoitteena ole ollut yksittäisten hankkeiden yksittäisten laatutilustusten selvittäminen, vaan projektin on tarkoitus olla ensisijaisesti laaja-alainen katsaus väylärakentamisessa käytettävien kiviainesten ja geosynteettisten tuotteiden laadun ja laadunhallinnan tilaan. Lisäksi tavoitteena on kehittää rakentamiseen liittyviä laatuvaatimuksia siten, että kiviainesten ja geosynteettisten tuotteiden laatu voidaan varmistaa ja dokumentoida tehokkaasti toiminnan eri tasoilla.

Lukuun 2 on koottu lyhyesti tutkimukseen kuuluvat rakennekerrokset ja rakenneosakohtaisesti materiaalityypeittäin otetut näytemäärät. Luvussa kuvataan myös tutkimuksessa käytetty näytteenottomenettely sekä rakenneosakohtaisesti tehdyt laboriomääritykset.

Lukuihin 3 ja 4 on koottu tierakenteita käsittelevät tutkimustulokset. Luvussa 3 esitellään päällystekiviainesten ja luvussa 4 kantavan kerroksen kiviainesten tutkimustulokset. Luku 5 esittelee radan alusrakennekerroksissa käytettävien materiaalien tutkimustulokset ja vertailututkimukseen otettujen hienoainesnäytteiden tulokset. Luvussa 6 käsitellään suodatinkangas- ja geolujitenäytteiden tutkimukset. Luvussa 7 käsitellään pohjavedensuojusrakenteesta otettujen salaoja- ja pintaverhousmateriaalien sekä bentoniittimattojen tutkimukset. Jokaisen luvun lopussa on esitetty testaustulosten perusteella tehdyt keskeisimmät päätelmät ja toimenpidesuosituksia.

2 Tutkimusohjelma

2.1 Tutkitut materiaalit ja testausmenetelmät

Tutkimukseen on vuonna 2016 kuulunut kuusi tiehanketta tai -urakkaa ja yhdeksän ratahanketta tai -urakkaa. Suodatinkangas- ja geolujitetutkimukseen on kuulunut yhteensä 11 hanketta vuosina 2015–2016. Yhdessä pohjavedensuojauskohteessa on otettu näytteitä salaojakerroksesta, pintaverhouksesta ja bentoniittimatosta.

Päällystekiviaineksia on testattu ELY-keskusten päällystysurakoihin liittyen yhteensä viiden urakan ja kolmen eri ELY-keskuksen alueella. Lisäksi päällystekiviainenäytteitä on otettu yhteen Liikenneviraston investointihankkeeseen liittyen. Tien kantavan kerroksen näytteitä on haettu yhden investointihankkeen kiviaineksista. Radan alusrakennemateriaaleja on testattu kahdessa investointihankkeessa ja kolmessa radan kunnossapitotöihin liittyvässä urakassa. Lisäksi vertailututkimusta varten on otettu näytteitä neljän urakan alueella.

Päällystekiviaineksista on testattu materiaalin litteysluku ja nastarengaskulutuskestävyys lukuun ottamatta investointihanketta, jossa kiviaineksista testattiin ainoastaan nastarengaskulutuskestävyys. Litteyslukunäytteitä on otettu yhteensä kuudesta kiviaineksista. Yhdestä kiviaineksista on otettu aina kolme rinnakkaisnäytettä. Nastarengaskulutuskestävyyenäytteitä on otettu yhteensä kahdeksasta kiviaineksista. ELY-keskusten päällystysurakoihin kuuluneista kiviaineksista on otettu kaksi nastarengaskulutuskestävyyenäytettä (4 rinnakkaista testitulosta, kaksi keskiarvoa). Investointihankkeeseen kuuluneista päällystekiviaineksista on otettu yksi nastarengaskulutuskestävyyenäyte (kaksi rinnakkaista testitulosta, yksi keskiarvo).

Päällystekiviaineksiin liittyen tehtiin vertailututkimusta yhdessä kohteessa. Näytteitä otettiin kiviaineksen lisäksi massassa käytettävästä asfalttirouheesta ja valmiista asfalttimassasta. Asfalttirouheesta otettiin kolme rinnakkaista rakeisuus- ja sideainepitoisuusenäytettä ja yksi nastarengaskulutuskestävyyenäyte. Valmiista asfalttimassasta otettiin näytteitä kolmea rakeisuuden ja sideainepitoisuuden määrittämistä varten ja yhtä nastarengaskulutuskestävyyenäytettä varten. Taulukossa 1 on esitetty kiviaineksista tutkitut näytemäärät.

Taulukko 1. *Tehtyjen testien määrät vuonna 2016, kiviaines- ja asfalttimassanäytteet.*

Rakenne	Rakeisuus	Hienoaines-pitoisuus	Rakeisuus ja sideainepitoisuus	Litteysluku	Los Angeles -luku	Micro-Deval -arvo	Kuulamylyarvo
Kantava kerros	21	18*)	-	1	7	4	-
Päällystekerros	-	-	6	18	-	-	14
Radan alusrakennekerrokset	24	40**)	-	-	2	2	-

*) Kantavasta kerroksesta otetut erilliset hienoainesnäytteet eivät täyttäneet näytteenotto- tai seulontastandardissa ilmoitettuja minimimääriä, joten näistä näytteistä ei ole määritetty rakeisuutta, vaan pelkkä hienoainespitoisuus.

***) Radan alusrakennekerroksista on otettu hienoainesnäytteitä vanhan radan rakenteista, koska kohteissa on pyritty arvioimaan materiaalin routivuutta. Myöskään näiden näytteiden määrät eivät kaikilta osin täyttäneet em. standardien vaatimuksia, mutta näille näytteille on hienoainespitoisuuden lisäksi määritetty viitteellinen rakeisuus.

Taulukossa 2 on esitetty kiviaines- ja asfalttimassanäytteille tehdyt laboratoriotestit ja niissä noudatetut standardit.

Taulukko 2. *Tutkimuksessa kiviaines- ja asfalttimassanäytteistä testatut ominaisuudet ja testauksissa noudatetut standardit.*

Ominaisuus	Testausmenetelmä	Standardi
Rakeisuus ja hienoainespitoisuus	Pesuseulonta	SFS-EN 933-1
Rakeisuus ja sideainepitoisuus	Uuttosuodatus ja seulonta	SFS-EN 12697-1
Rakeiden muoto	Litteysluku	SFS-EN 933-3
Iskunkestävyys	Los Angeles -testi	SFS-EN 1097-2
Hiovan kulutuksen kestävyys	micro-Deval -testi	SFS-EN 1097-1
Nastarengaskulutuskkestävyys	Kuulamyly	SFS-EN 1097-9

Suodatinkankaiden ja geolujitteiden näytemäärät ja tutkimusmenetelmät on kuvattu taulukossa 4 ja bentoniittimattojen näytemäärät ja tutkimusmenetelmät taulukossa 5.

2.2 Näytteenotto

Tutkimuksesta ja sen tarkoituksesta on informoitu urakoitsijoita etukäteen ja sovittu urakoitsijan osallistumisesta näytteenottoon. Urakoitsija on itse saanut valita, haluaako osallistua näytteenottoon. Näytteenotto on pyritty tekemään siten, että otettu näyte edustaa kohteen keskimääräistä materiaalia. Erityistapauksissa on kuitenkin voitu ottaa myös silmämääräisesti havaittua laatu poikkeamaa edustavia näytteitä. Näytteenotto on tehty seuraavissa kappaleissa esitettyjen kuvausten mukaisesti.

Rakeisuus- ja litteyslukumääritykseen tarvittava testinäytteen koko määräytyy standardin SFS-EN-933-1 mukaisesti ja perustuu tutkittavan näytteen maksimiraekokoon taulukossa 3 esitetyn mukaisesti, jolloin otettu rakeisuusnäyte vastaa taulukossa 3 esitettyä näytemääriä, mikäli toisin ei ilmoiteta.

Taulukko 3. Standardissa SFS-EN 933-1 vaaditut testinäytteen vähimmäismassat.

Maksimiraekoko (mm)	Testinäyte (kg)
90	80
63	40
32	10
16	2,6
8	0,6
≤ 4	0,2

2.2.1 Kasalta otetut kiviainesnäytteet

Näytekasasta otetaan kauhakuormaajalla kauhallinen tutkittavaa materiaalia. Materiaali levitetään kauhasta tasaiseksi kerrokseksi. Levityksen jälkeen kerroksesta määritetään silmämääräisesti alue, joka vastaa tutkittavaa materiaalia keskimäärin ja tästä kohdasta otetaan tarvittava määrä näytettä tutkimuksia varten siten, että otettava näytemäärä täyttää näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) mukaisen näytemäärän (kuva 1). Rakeisuusnäytteet on jaettu näytteenottostandardin mukaisesti neliöimällä siten, että laboratorioon toimitettu osanäyte täyttää seulontastandardin (SFS-EN 933-1) vaatimukset (kuvat 2 ja 3).



Kuva 1. Kauhakuormaajalla tasaiseksi matoksi levitettyä materiaalia, josta on otettu näytteitä satunnaisista paikoista.



Kuva 2. Levitetystä materiaalista otettu näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) mukainen näyte.



Kuva 3. Näytteen jakaminen neliömällä.

2.2.2 Rakenteesta otetut kiviainesnäytteet

Näytteet on otettu kaivamalla lapiolla koekuoppa (kuva 4). Näytettä on otettu yhdestä kohdasta tutkimuksia varten riittävä määrä, joka täyttää näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) vaatimukset. Rakeisuusnäytteet on jaettu näytteenottostandardin mukaisesti neliömällä siten, että laboratorioon toimitettu osanäyte täyttää seulontastandardin (SFS-EN 933-1) vaatimukset. Tien kantavan kerroksen näytteenottotapa on kuvattu tarkemmin luvussa 4.



Kuva 4. Tien kantavaan kerrokseen kaivettu koekuoppa. Koekuopan halkaisija on noin 700–750 mm ja syvyys noin 150 mm.

2.2.3 Kiviaineksen lujuustestit

Kiviaineksen lujuustestejä varten näytteenottokohteessa on seulottu talteen lajitetta 8/16 mm kunkin testausmenetelmän vaatimusten mukainen määrä. Käytännössä esimerkiksi Los Angeles -testiä varten on seulottu noin 25 kg lajitetta, koska varsinkin karkeiden murskeiden (maksimiraekoko yli 45 mm) työmaaolosuhteissa mukaan tulee käsin seulomalla jonkin verran epäpuhtauksia.

Mikäli yllä kuvatusta näytteenottomenetelmästä on poikettu, poikkeama on dokumentoitu erikseen luvuissa 3–6.

2.2.4 Suodatinkangas- ja geolujitenäytteet

Suodatinkangasnäytteet on otettu näytteenottostandardin EN ISO 9862 – Geosynthetics: Sampling and preparation of test specimens ja NorGeoSpec-ohjeistuksen mukaisesti. Näytteenottotapa on käsitelty tarkemmin luvussa 6. Taulukossa 4 on esitetty tutkimuksessa otetut näytemäärät ja niille tehdyt testit. Geosynteettisistä tuotteista otetaan samalla kertaa A- ja B-näyte. Ensin testataan A-näyte ja jollei se täytä vaatimuksia, mutta poikkeama on riittävän vähäinen (<1...1,5 kertaa sallittu toleranssi), testataan B-näyte.

Taulukko 4. Suodatinkangas- ja geolujitenäytteet.

Suodatinkankaat		
Ominaisuus	Standardi/ohje	Näytteiden lukumäärä
Paksuus	EN 9863-1	4
Neliöpaino	EN ISO 9864	18
Vetolujuus	EN ISO 10319	18
Murtovenymä		18
Merkitsevä aukkokoko	EN ISO 12956	14
Puhkaisulujuus, kartiopudotuskoe	EN ISO 13433	4
Geovahvisteet		
Vetolujuus	EN ISO 10319	2
Murtovenymä		2
Dimensiot	NorGeoSpec2012 - Annex H	2
Aukkokoko		2

2.2.5 Bentoniittimattonäytteet

Bentoniittimattonäytteet on otettu InfraRYL:n 14231 liitteen 8 periaatteiden mukaisesti. Näytteenotto on kuvattu tarkemmin luvussa 6. Ohjeesta poiketen A ja B näytteet on otettu samasta rullasta. Näytteistä tutkittiin bentoniitin paisumisindeksi ja bentoniitin määrä maton pinta-ala kohden.

Taulukko 5. Bentoniittimattonäytteet.

Bentoniittimatot		
Ominaisuus	Standardi	Näytemäärä
bentoniitin paisumisindeksi	ASTM D5890	3
bentoniittimatton neliöpaino	EN ISO 9864	3

2.2.6 Pohjavedensuojusrakenteiden kiviainesnäytteet

Pohjavedensuojauskohteesta otettiin bentoniittimatton lisäksi näytteet salaojakerroksen ja suojaverhouksen materiaaleista. Näytteistä tutkittiin rakeisuus (SFS-EN 933-1).

3 Päälystekiviainekset

Päälystekiviainekset on valittu tutkimukseen pääosin sattumanvaraisesti. Jo ennen kuin urakat oli kilpailutettu, sovittiin kolmen ELY-keskuksen päälysteiden ylläpidon tilaajan kanssa, että urakoissa käytettävistä kiviaineksista otetaan näytteitä. Tällöin tutkimukseen valikoituneet urakoitsijat ja kiviainestoimittajat eivät vielä olleet tiedossa. Jokaisen ELY-keskuksen alueelta on testattu kaksi kiviainesta. Testatut kiviainekset ovat yhtä kiviainesta lukuun ottamatta liittyneet sellaiseen kohteeseen, joihin urakassa on asetettu kiviainesvaatimus. Yhdessä kohteessa päälysteelle oli asetettu toiminnalliset vaatimukset, mutta kiviaines otettiin mukaan tutkimukseen, koska samassa kohteessa tehtiin vertailututkimusta. Vertailututkimuksessa tästä kohteesta otettiin myös asfalttirouhe- ja –massanäytteitä. Lisäksi yhteen Liikenneviraston investointihankkeeseen liittyen otettiin nastarengaskulutuskestävyysnäytteitä hankkeen pyynnöstä. Saatuja koetuloksia on verrattu urakassa asetettuihin vaatimuksiin ja kiviainestoimittajan CE-merkissä ja/tai suoritustasoilmoituksessa ilmoitettuihin luokkiin.

3.1 Litteysluku

Litteysluku määritetään jakamalla testattavan näytteen > 4 mm aines standardin SFS-EN 933-3 mukaisiin kapeisiin raekokolajitteisiin. Jokaisesta lajitteesta määritetään litteiden rakeiden prosentuaalinen osuus välppäseulalla, jonka rakokoko on puolet testattavan lajitteen maksimiraekoosta. Koko näytteen litteysluku lasketaan testissä käytettyjen välppäseulojen läpäisseiden rakeiden massan prosentuaalisena osuutena kaikkien testattujen lajitteiden massasta. Litteysluku ilmoitetaan kokonaislukuna.

Päälysteessä käytettävän kiviaineksen raemuodolla (litteysluvulla) on merkitystä päälysteen deformaation kannalta. Litteät kivirakeet murtuvat pyöreitä rakeita helpommin ja ovat näin alttiimpia deformaatiolle.

Litteysluku on testattu kuudesta kiviaineksista. Kaikki litteyslukutesteihin valikoituneet materiaalit olivat KaM 0/16 mm. Testitulokset on esitetty taulukossa 6. Taulukosta havaitaan, että poikkeamia oli kolmessa kiviaineksessa, kun saatuja tuloksia verrataan kiviainestoimittajien CE-merkkeihin/suoritustasoilmoituksiin. Poikkeamat olivat selkeitä; vähintään kaksi kolmesta rinnakkaisnäytteestä ylittivät kiviainekselle ilmoitetun luokan.

Taulukko 6. Päälystekiviaineiksille tehtyjen litteyslukutestien yhteenveto. Tutkittujen näytteiden perusteella määritetty luokka on merkitty punaruskealla solulla, jos koetulosten keskiarvo poikkeaa suoritustasoilmoituksessa ilmoitetusta luokasta.

Näyte	Koetulos	Luokka	Suoritustasoilmoituksessa ilmoitettu luokka
TC1	11	FI15	FI15
TC2	13		
TC3	10		
TD1	24	FI25	FI35
TD2	24		
TD3	25		
TI1	14	FI15	FI15
TI2	14		
TI3	13		
TJ1	18	FI25	FI15
TJ2	21		
TJ3	19		
TG1	16	FI20	FI15
TG2	19		
TG3	15		
TH1	22	FI25	FI20
TH2	18		
TH3	23		

3.2 Nastarengaskulutuskkestävyys

Nastarengaskulutuskkestävyys määritetään standardin SFS-EN 1097-9 mukaisella testilaitteella seulotusta ja pestystä lajitteesta 11,2/14/16 mm. Testissä 1 kg testinäytettä, kahta litraa vettä ja 7 kg (\varnothing 15 mm) teräskuulia pyöritetään vakionopeudella pyörivässä kuulamylyrummussa 5400 kierrosta. Testin tulos lasketaan testin jälkeen < 2 mm hiontuneiden rakeiden prosentuaalisena osuutena testinäytteen massasta. Testitulokset on aina kahden yksittäistestinäytteen tuloksen keskiarvo ja se ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella.

Kiviaineksen nastarengaskulutuskkestävyys kuvaa nimensä mukaisesti kiviaineksen kykyä vastustaa nastarengaskulutus aiheuttamaa kulutusta. Kiviainekselta vaadittava nastarengaskulutuskkestävyys riippuu luonnollisesti monesta osatekijästä, kuten liikennemäärästä, ajonopeudesta ja päälysteen märkyydestä. Riittävällä kiviaineksen nastarengaskulutuskkestävyydellä saadaan alennettua päälysteen urautumisnopeutta.

Kiviaineksen nastarengaskulutuskkestävyys on testattu yhteensä kahdeksasta kiviaineksestä. Kiviaines TI on kalliosepeli (KaS) 8/16 mm, muut kiviainekset ovat kalliomurskettä (KaM) 0/16 mm. Testitulokset on esitetty taulukossa 7. Testeissä havaittiin poikkeamia viidessä kiviaineksessa. Tulosten perusteella kiviaineksista on havaittavissa selkeä trendi, jonka mukaan kiviainesten kuulamylyarvo on hieman yli luokassa sallitun matemaattisen pyörityksen. Asfalttinormeissa (2011) yksittäiselle koetulokselle sallitaan enintään 15 % poikkeama. Testitulosten perusteella näyttää siltä, että sallittua poikkeamaa on tulkittu väärin ja kiviainesten kuulamylyarvot ovat liukuneet luokkarajan yli lähes tämän poikkeaman verran.

Taulukko 7. Päälysteväiaineiksille tehtyjen nastarengaskulutuskestävyydestien yhteenveto. Tutkittujen näytteiden perusteella määritetty luokka on merkitty punaruskealla solulla, jos koetulosten keskiarvo poikkeaa suoritustasoilmoituksessa ilmoitetusta luokasta.

Näyte	Koetus	Tulos	Luokka	Suoritustasoilmoituksessa ilmoitettu luokka
TC4	15,3	15,6	A _{N19}	A _{N14}
	15,9			
TC5	15,8	15,3	A _{N19}	A _{N14}
	14,7			
TD4	9,2	9,3	A _{N10}	A _{N10}
	9,4			
TD5	9,5	9,7	A _{N10}	A _{N10}
	10,0			
TI4	10,9	10,7	A _{N14}	A _{N10}
	10,6			
TI5	11,2	11,0	A _{N14}	A _{N10}
	10,7			
TJ4	10,9	10,8	A _{N14}	A _{N10}
	10,6			
TJ5	10,4	10,1	A _{N14}	A _{N10}
	9,9			
TG4	6,7	6,9	A _{N7}	A _{N7}
	7,1			
TG5	6,7	6,5	A _{N7}	A _{N7}
	6,2			
TH4	14,3	14,3	A _{N14}	A _{N14}
	14,2			
TH5	14,5	14,3	A _{N14}	A _{N14}
	14,2			
TL1	6,0	6,0	A _{N10}	A _{N7}
	6,0			
TL2	8,6	8,5	A _{N10}	A _{N7}
	8,4			
TM1	11,5	11,5	A _{N14}	A _{N10}
	11,5			
TM2	10,7	10,5	A _{N14}	A _{N10}
	10,2			

Kolmesta kiviaineksesta tehtiin lisäksi rinnakkaistutkimuksia muissa laboratorioissa. Rinnakkaistestejä on tehty kiviaineksista TC, TL ja TM. Kiviaineksista TL ja TM on otettu rinnakkaisnäytteet kahteen laboratorioon. Testitulosten yhteenvedo on esitetty taulukossa 8. Laboratorioiden välisissä tuloksissa on pieniä eroja, mutta ne eivät muuta kiviainesten kuulamylyluokkaa. Poikkeamat ovat siis testauslaboratoriosta riippumattomia. Kiviaineksen TL ensimmäiset näytteet täyttävät ilmoitetun luokan molemmilla laboratorioissa, toisissa näytteissä on sen sijaan havaittu poikkeamat molemmilla laboratorioissa. Tämän johtuu siitä, että näytteet TL1 edustavat vanhaa murskauserää ja näytteet TL2 uutta murskauserää. Kiviaineksen ominaisuuksissa on siis tapahtunut muutoksia.

Kiviaines TM ylittää laboratoriossa A asetetun luokkarajan molempien näytteiden osalta. Laboratoriossa B toinen näytteistä mahtuu luokkarajan sisään ja toisessa näytteessä poikkeama on juuri yksittäiselle näytteelle sallitun 15 % suuruinen. Jotta yksittäisen näytteen poikkeamaa voidaan soveltaa, tulee kaikkien otettujen näytteiden keskiarvon olla kuitenkin luokkarajan mukainen. Nyt näin ei ole, sillä neljän laboratoriossa B tehdyn koetuloksen keskiarvo on 10,7, joten kyseessä on poikkeama myös laboratoriossa B tehtyjen testien osalta.

Taulukko 8. Kiviaineksille TL ja TM kahdessa eri laboratoriossa tehtyjen kuulamylytestien tulokset. Tutkittujen näytteiden perusteella määritetty luokka on merkitty punaisella solulla, jos koetulosten keskiarvo poikkeaa suoritus-tasoilmoituksessa ilmoitetusta luokasta.

Näyte	Koetulos, kursiivilla keskiarvo		Luokka	Suoritus-taso-ilmoituksessa ilmoitettu luokka
	Laboratorio A	Laboratorio B		
TL1	6,0	5,4	A_{N10}	A_{N7}
	6,0	5,7		
<i>ka</i>	6,0	5,6		
TL2	8,6	8,9		
	8,4	8,5		
<i>ka</i>	8,5	8,7		
TM1	11,5	10,8	A_{N14}	A_{N10}
	11,5	11,5		
<i>ka</i>	11,5	11,1		
TM2	10,7	10,3		
	10,2	10,1		
<i>ka</i>	10,5	10,2		

Kiviainekselle TC tehtiin mittava määrä kuulamylyttestejä. Kiviainekselle on tehty yhteensä 25 kuulamylytestiä neljässä eri laboratoriossa. Osa näytteistä on otettu eri näytteenotto-kerroilla ja näytteenottaja on vaihdellut. Lisäksi yksi näytteenottoista on tehty siten, että rinnakkaisnäytteitä on ollut ottamassa kolme eri näytteenottajaa. Saadut testitulokset on esitetty taulukossa 9.

Kuten taulukosta 9 esitetyistä tuloksista voi havaita, kiviaineksen laatu vaihtelee. Testitulokset sisältävät luokan sisään mahtuvia koetuloksia, mutta myös yksittäiselle näytteelle sallitun 15 % poikkeaman ylittäviä tuloksia. Testitulosten perusteella asetettu luokkaraja kuitenkin ylittyi niukasti.

Taulukko 9. Kiviainekselle TC neljässä eri laboratoriossa tehtyjen kuulamylytestien tulokset.

Näyte	Laboratorio	Koetus	Suoritustasoilmoituksessa ilmoitettu luokka
1	1	12,4	
2		14,4	
3		12,9	
4		14,5	
5		14,1	
6	2	13,0	
7		13,4	
8		12,6	
9		15,5	
10		16,0	
11		14,4	
12	3	15,6	
13		15,3	
14		14,9	
15		17,1	
16		17,2	
17		15,7	
18		16,1	
19		15,8	
20	4	13,7	
21		14,3	
22		14,7	
23		13,6	
24		13,8	
25		14,1	
Kaikkien tulosten keskiarvo		14,6	
Luokka		AN19	AN14

Kiviaines TC sisältää petrografisen analyysin perusteella 2 % killeliusketta, mutta otetuissa näytteissä määrän havaittiin olevan suurempi (liuskeisen materiaalin määrä vaihteli silmämääräisesti arvioiden 10...30 %). Jotta voitiin arvioida kiviaineksen heterogeenisyyden vaikutusta kuulamylytuloksiin, kiviaineksesta eroteltiin liuskeinen osa ja graniittinen osa. Tämän jälkeen molemmille osille tehtiin kuulamylytesti erikseen (kuva 5). Graniittisen osan kuulamylyarvo oli 14,3 ja liuskeisen osan 19,3. Liuskeisen osan vaihteleva määrä siis selittää osan tulosten hajonnasta.



Kuva 5. Kiviaineksesta TC erotettujen graniittisen osan (vasemmalla) ja liuskeisen (oikealla) osan kuulamylynäytteet.

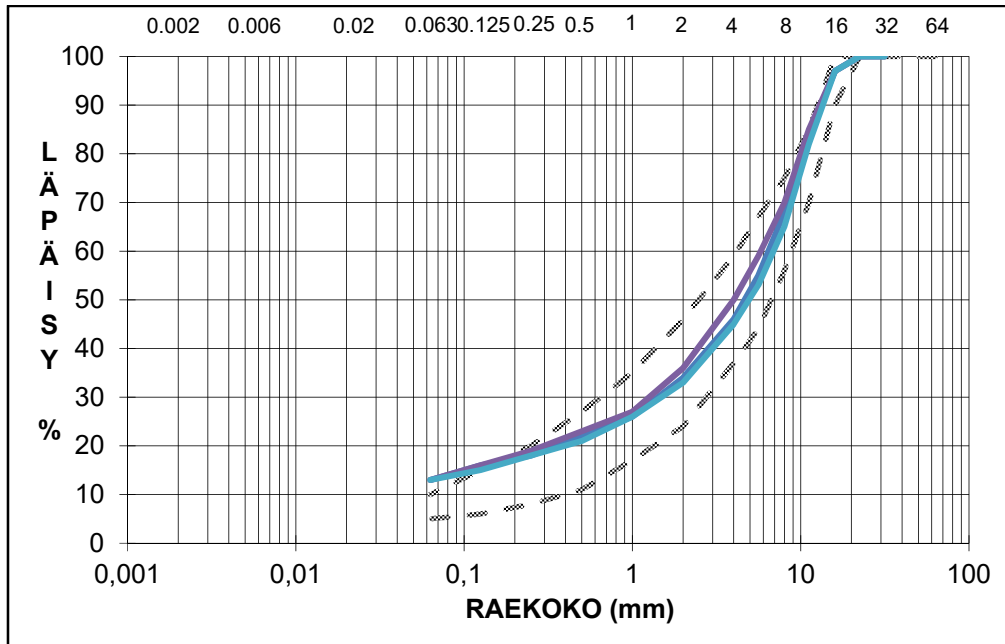
Nastarengaskulutuskestävyydestien perusteella näyttää siltä, että kiviainesten laatu ei vastaa asetettuja vaatimuksia. Asfalttinormeissa (2011) sallittua yksittäisen näytteen poikkeamaa on käytetty ja tulkittu todennäköisesti virheellisellä tavalla, jolloin kiviainesten todellinen laatu on luisumassa asetettujen luokkarajojen yli. Asia on merkityksellinen, koska päällysteen kestoiän arvioinnissa käytettävissä malleissa kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys on merkittävä laskentaparametri. Jos kiviaineksen laatu poikkeaa asetetusta luokkarajasta, voi tilanne johtaa päällysteen kestoiän lyhenemiseen.

3.3 Asfalttirouhe- ja -massanäytteiden vertailututkimus

Asfalttirouheen ja -massan vertailututkimuksen tavoitteena oli selvittää, saadaanko asfalttirouheesta ja -massasta ylipäättään otettua järkevästi vertailukelpoisia näytteitä siten, että tilaaja voisi tehdä omia laadunvalvontatutkimuksiaan myös asfalttirouheelle ja -massalle. Lisäksi haluttiin selvittää, olisiko asfalttimassan nastarengaskulutuskestävyys selvitettävissä ottamalla näytteitä massassa käytettävästä kiviaineksesta ja asfalttirouheesta.

3.3.1 Asfalttirouhe

Asfalttirouhenäytteet on otettu samalla tavalla kuin kiviainesnäytteet. Materiaalia on otettu kasalta kauhakuormaajalla kauhallinen ja levitetty se matoksi. Tämän jälkeen rakeisuus- ja sideainepitoisuusnäytteet on otettu koekuoppamenetelmällä. Otettu näyte on jaettu noin 2,5 kg näytteeksi jakamalla otettu määrä neljään kertaan neliömällä. Rakeisuuden ja sideainepitoisuuden määrittämistä varten on otettu kolme rinnakkaisnäytettä. Lisäksi asfalttirouheesta on otettu karkeaa ainesta talteen katkaisemalla rouhe 10 mm seulalla ja ottamalla ylite talteen nastarengaskulutuskestävyyden testaa- mista varten. Rakeisuus ja sideainepitoisuus on määritetty uutuosuodatusmenetelmällä. Jokainen kolmesta rinnakkaisnäytteestä on jaettu laboratorioissa kahteen uutuosuodatusnäytteeseen. Tulokset on ilmoitettu koko näytteelle. Nastarengaskulutuskestävyydestiä varten on myös uutettu 10/16 mm asfalttirouhelajitetta. Näyte on tämän jälkeen valmisteltu puhtaista kivistä. Asfalttirouheelle määritetyt raekokojakaumat on esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Asfalttirouhenäytteille määritetyt raekokojakaumat. Harmaalla katkoviivalla on merkitty Asfalttinormin (2011) mukainen AB16-massan raekokojakauman ohjealue.

Taulukossa 10 on esitetty tutkittujen näytteiden sideainepitoisuudet ja nastarengaskulutuskestävyydestin tulokset. Kaikkiaan rakeisuus- ja sideainepitoisuustulokset ovat tasalaatuisia, joten näyttäisi siltä, että näytteenottotapa on toimiva. Materiaalin nastarengaskulutuskestävyyden tulee lähtökohtaisesti olla luokkaa A_{N7} . Luokka ei aivan täyty, mutta kyseessä on silti varsin hyvälaatuinen asfalttirouhe.

Taulukko 10. Asfalttirouhenäytteiden sideainepitoisuus ja nastarengaskulutuskestävyydestin tulokset.

Näyte	Sideainepitoisuus (%)	
TE1	5,0	
TE2	5,2	
TE3	5,0	
	Kuulamyly	
TE4	7,8	7,8
	7,7	

3.3.2 Asfalttimassa

Asfalttimassanäytteet on otettu levitetystä asfalttilaatasta. Näytteet on otettu ottamalla asfalttilapion levyinen kaistale koko levittimen perän matkalta ennen laatan tiivistämistä. Toisin sanottuna näyte edustaa levitetyn laatan koko poikkileikkausta tietyllä paalulukemalla. Tästä näytteestä on jaettu kolme asfalttimassanäytettä rakeisuuden ja sideainepitoisuuden määrittämistä varten. Näytteet on jaettu kuumasta massasta, koko otetusta näytteestä. Koko poikkileikkausnäyte on noin kolme 20 litran ämpäristä. Kaikki kolme ämpäriä on yhdistetty teräslevyn päällä yhdeksi näytteeksi. Tämän jälkeen näyte on neliöity (kuva 7) ja kolme neljästä osanäytteestä on jaettu noin 2 kg:n painoisiksi näytteiksi. Massanäytteen loppuosa on otettu työmaalta talteen nastarengaskulutuskestävyydestinäytteen valmistelua varten. Massanäytteiden ottaminen edellyttää yhteistyötä työmaahenkilöstön kanssa ja erityistä tarkkuutta, koska näyte otetaan välittömästi levittämisen jälkeen. Näytteiden jakaminen tulee tehdä heti,

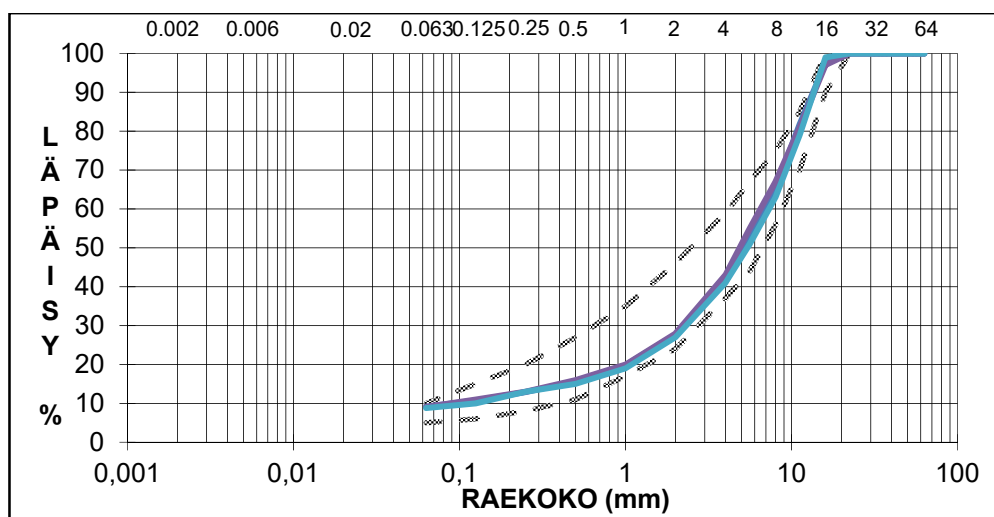
ettei massa ehdi jäähtyä, joten jakaminen täytyy tehdä lähellä näytteenottopistettä. Näytteenotto vaatii erityistä tarkkaavaisuutta ja ripeitä otteita. Myös työsuojeluun on syytä kiinnittää huomiota.



Kuva 7. Asfalttimassanäytteen jakamista työmaalla teräslevyn päällä.

Asfalttimassanäytteen sideainepitoisuus määritettiin uuttsuodatusmenetelmällä standardin SFS-EN 12697-1 mukaisesti. Menetelmässä asfalttimassanäytteen bitumi liotetaan pois metyleenikloridilla, jonka jälkeen määritetään näytteen raekokojakautuma seulomalla. Sideainepitoisuus lasketaan sideaineen massan prosentuaalisena osuutena koko massanäytteestä. Sideainepitoisuus ilmoitetaan yhden desimaalin tarkkuudella. Pestystä massanäytteestä kerättiin lajitetta 11,2/16 mm kuulamylyttestiä varten.

Jokainen kolmesta rinnakkaisnäytteestä on jaettu laboratoriossa kahteen uuttsuodatuserään. Tulokset on ilmoitettu koko näytteelle. Kuvassa 8 on esitetty tutkittujen näytteen raekokojakaumat. Kohteessa käytetty massa oli AB16. Kuvasta 8 nähdään, että massa on rakeisuudeltaan vaatimusten mukaista.



Kuva 8. Asfalttimassanäytteiden raekokojakaumat ja katkoviivalla Asfalttinormien (2011) ohjeellinen raekokoalue AB 16 massalle.

Taulukossa 11 on esitetty tutkittujen näytteiden sideainepitoisuudet ja nastarengaskulutuskestävyydestin tulokset. Kaikkiaan rakeisuus- ja sideainepitoisuustulokset ovat tasalaatuisia, joten näyttäisi siltä, että näytteenottotapa on toimiva eikä massa lajitu näytteenoton yhteydessä tehdyn jakamisen aikana. Toisaalta jakaminen myös keskiarvoistaa tulosta. Pistokoenäytteenoton ensisijaisena tavoitteena on tarkkailla materiaalin keskimääräistä laatua, joten näytteenottotapa on tähän tarkoitukseen varsin toimiva. Yksittäisten poikkeamien tarkkailuun menetelmä on haastavampi soveltaa. Massan nastarengaskulutuskestävyyden tulee lähtökohtaisesti olla luokkaa A_{N10} . Nastarengaskulutuskestävyydestin perusteella massa on vaatimusten mukaista.

Taulukko 11. *Asfalttimassanäytteistä määritetyt sideainepitoisuudet ja nastarengaskulutuskestävyys.*

Näyte	Sideainepitoisuus (%)	
TF1	5,3	
TF2	5,2	
TF3	5,2	
Kuulamyly		
TF4	8,7	8,8
	8,9	

Massassa oli käytetty 10 % asfalttirouhetta. Jos yhdistellään kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyys ja asfalttirouheen vastaava painotettuna keskiarvona, saataisiin laskennalliseksi kuulamylyarvoksi 9,4. Ero massanäytteestä saatuun tulokseen (taulukko 11) on melko suuri, joten näyttää siltä, että eri ainesosien arvoja yhdistelemällä ei välttämättä saada selvitettyä asfalttirouhetta sisältävän asfalttimassan kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyyttä. Käytettävän kiviaineksen ja asfalttirouheen ominaisuudet saattavat muuttua massanvalmistusprosessin aikana, joten lopputuotteen ominaisuuksien selvittämiseksi näytteet kannattaa ottaa lopputuotteesta, koska tehdyn kokeilun perusteella näytteiden ottaminen onnistuu suhteellisen yksinkertaisilla järjestelyillä. Lopputuotteen tarkastelu on mielekästä myös siksi, että kiviaines- ja asfalttirouhekomponenttien ominaisuuksia tarkastelemalla joudutaan olettamaan, että molemmissa on jäljellä samassa suhteessa kuulamylykokeeseen valikoituva kiviainesta. Näin ei välttämättä kuitenkaan todellisuudessa ole, ja massan valmistamisen yhteydessä kiviaineksen ominaisuudet saattavat muuttua. Lisäksi asfalttirouheessa ei kaikissa tapauksissa ole lainkaan kuulamylytestiin käytettävää lajitetta 11,2/16 mm, sillä rouhe voi olla esim. 0/11 mm, eikä sen vaikutus näin ollen tule esille kuulamylyssä.

3.4 Yhteenveto päällystekiviainestutkimuksista

Päällystekiviainestutkimuksen tavoitteena oli tarkastella käytettävien kiviainesten laadudokumenttien paikkansa pitävyyttä. Testeihin valikoitui satunnaisotannalla kahdeksan eri kiviainesta. Tutkittujen näytteiden perusteella poikkeamia havaittiin seitsemässä kiviaineksessa.

Havaittujen poikkeamien johdosta PANK ry:n asfalttinormitoimikunta päätti julkaista Asfalttinormien 2011 lisälehtenä kuulamylytulosten tulosten arviointiin liittyvän korjauksen. Vuoden 2017 alusta alkaen tuotettavien kiviainesten laatuvaatimuksista poistettiin aiemmin sallittu 15 % yksittäisen tuloksen ylitys. Käytännössä Asfalttinormeissa palattiin vuoden 2008 normien ja CE-merkinnän mukaisiin vaatimuksiin. Lisäksi tarkennettiin vielä asfalttimassaan käytettävän kiviaineksen kuulamylytestin testaustaajuutta ja testattavia näytemääriä seuraavasti:

”Asfaltin suunnittelua varten on ilmoitettava CE-merkinnän lisäksi myös tuotantoeräkohtaiset yksittäisten kuulamylytestien tulokset testaustaajuudella 1 testaustulos / 6 000 tonnia. Testaustaajuus määräytyy kokonaistuotantomäärän perusteella, aina on kuitenkin tehtävä vähintään 3 testiä / tuotantoerä. Kokonaistuotantomäärällä tarkoitetaan samaan aikaan murskattavien asfalttikiviainesten yhteismäärää. Näytteitä otetaan edustavasti koko tuotantoajalta. Yksittäisten tulosten tulee täyttää taulukosta (taulukko 12) valitun luokan vaatimukset.”

Taulukko 12. Nastarengaskulutuskestävyyden luokat (Asfalttinormien lisälehti 1.1.2017.)

Luokka	Kuulamylyarvo
A _N 7	≤ 7
A _N 10	≤ 10
A _N 14	≤ 14
A _N 19	≤ 19
A _N 30	≤ 30

Kuulamylytestin tulos ilmoitetaan standardin SFS-1097-9 mukaan yhden desimaalin tarkkuudella Tuotestandardien luokkarajat on kuitenkin esitetty kokonaislukuina. Kiviaineksen valmistaja ilmoittaa luokan CE-merkinnässä. Luokkaa valittaessa käytetään matemaattisia pyöristyssääntöjä: esimerkiksi kuulamylytestitulokseksi 7,4 kuuluu luokkaan A_N7 ja vastaavasti testitulokseksi 7,5 pyöristyy kokonaislukuun 8 ja kuuluu tällöin luokkaan A_N10.

Kiviainesten testaamisen lisäksi tehtiin asfalttirouheen ja -massan vertailututkimusta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, voidaanko asfalttirouheesta ja/tai -massasta ottaa tasalaatuisia ja luotettavia näytteitä. Asfalttirouheen osalta näytteistä saatiin tasalaatuisia, kun ne otettiin kasalta samaan tapaan kuin kiviainenäytteet. Asfalttimassasta saatiin otettua tasalaatuisia näytteitä, kun näytteet otettiin heti levittämisen jälkeen ennen tiivistämistä koko levittimen matkalta. Kuuma massa jaettiin välittömästi työmaalla, jolloin näytteistä tuli tasalaatuisia ja myös laboratorioissa käsiteltäviä. Materiaalin nastarengaskulutuskestävyyden selvittäminen onnistui myös massasta ja rouheesta. Tulos edustaa paremmin päällysteessä käytettävää kiviainesta, kun näyte otetaan massasta.

4 Kantava kerros

Tutkimuksen aiemmissa vaiheissa on havaittu, että kantavan kerroksen pinta lajittuu, kun rakenteessa käytetään maksimirakekooltaan suuria murskeita. Tässä tutkimuksessa päädyttiin ottamaan paljon näytteitä yhdestä kohteesta, jossa myös tilaajan edustaja oli havainnut lajittumista. Kohteessa käytetty murske oli KaM 0/56 mm. Näytteenotto on tehty siten, että materiaalin lajittumisen selvittämiseksi on otettu kolme rinnakkaisnäytettä valmiin rakenteen poikkileikkauksen eri kohdista. Poikkileikkaukselinjaa ei välttämättä ole noudatettu täsmällisesti, jotta pinnan karkeuden vaihtelu on saatu mahdollisimman suureksi. Näytteet on otettu mahdollisimman karkealta näyttävästä pinnasta (merkitty tämän luvun tuloksissa sinisellä värillä), mahdollisimman hienorakeiselta pinnalta (punainen) ja keskimääräiseltä, hyvälaatuiselta pinnalta (vihreä). Esimerkki näytteenoton järjestelystä rakenteen poikkileikkauksessa on esitetty kuvassa 9. Näytteitä otettiin kuudesta poikkileikkauksesta, yhteensä 18 kpl.



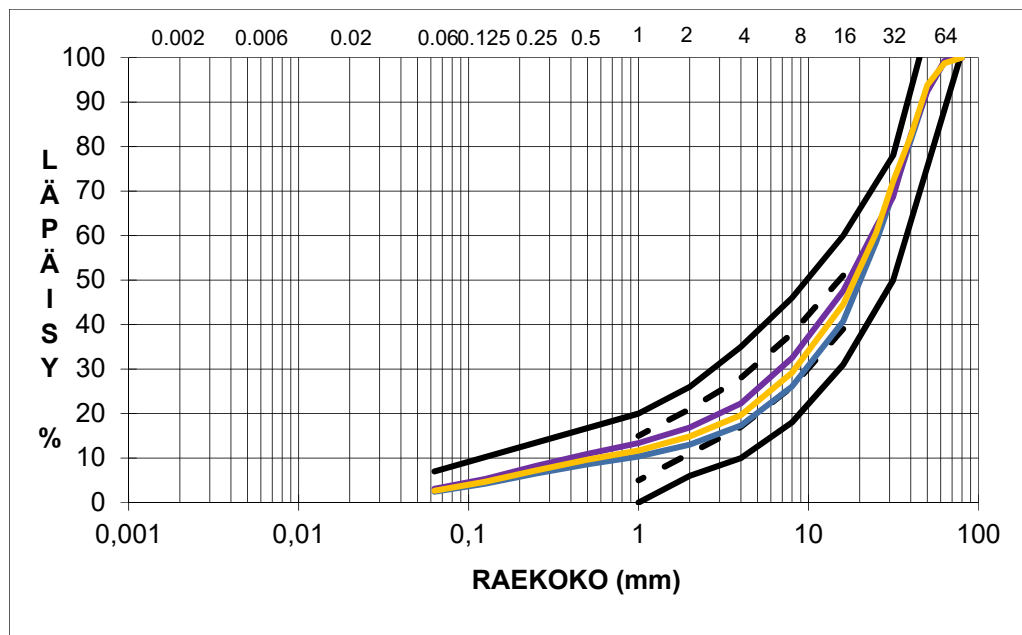
Kuva 9. Kantavan kerroksen näytteenotto lajittuneesta poikkileikkauksesta. Näytteet on otettu karkearakeiselta (sininen), hienorakeiselta (punainen) ja keskimääräiseltä (vihreä) näyttävältä pinnalta.

Materiaalin lajittumisen selvittämisen lisäksi testattiin uutta näytteenottotapaa, jossa materiaalin kelpoisuutta tarkkaillaan hienoainespitoisuuden perusteella. Hienoainenäytteet on otettu samoista kohdista rakeisuusnäytteiden kanssa. Alkuperäinen rakeisuusnäyte täyttää näytteenottostandardin (SFE-EN 932-1) vaatimukset. Laboratorioon vietävä rakeisuusnäyte on otettu jakamalla alkuperäinen näyte työmaalla kertaalleen neliöimällä. Neliöinnistä yli jäänyt materiaali on kasattu uudelleen osanäytteeksi ja tästä osanäytteestä on tehty hienoainenäyte jakamalla näyte kahteen kertaan neliöimällä, jolloin hienoainenäytteen koko on ollut noin 12-15 kg (yksi sangollinen).

Rakeisuus- ja hienoainespitoisuuden lisäksi rakenteesta on otettu iskunkestävyys- ja kulutuskestävyysnäytteitä. Lisäksi materiaalista on otettu vertailunäytteet kiviaines-toimittajan ottopaikalta, kolme rakeisuusnäytettä ja yksi iskunkestävyysnäyte.

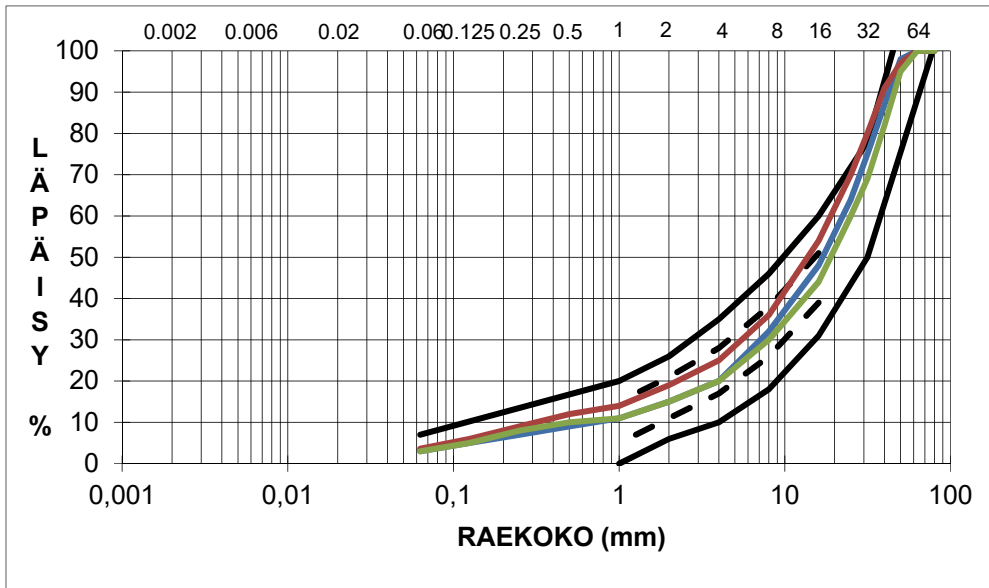
4.1 Rakeisuus- ja hienoainesnäytteet

Kuvassa 10 on esitetty kiviainestoimittajan tuotantopaikalta otettujen näytteiden rakekokojakaumat. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali on varsin tasalaatuista, eikä työmaalla havaittu lajittumisongelma todennäköisesti johdu tuotantopaikan toimenpiteistä.

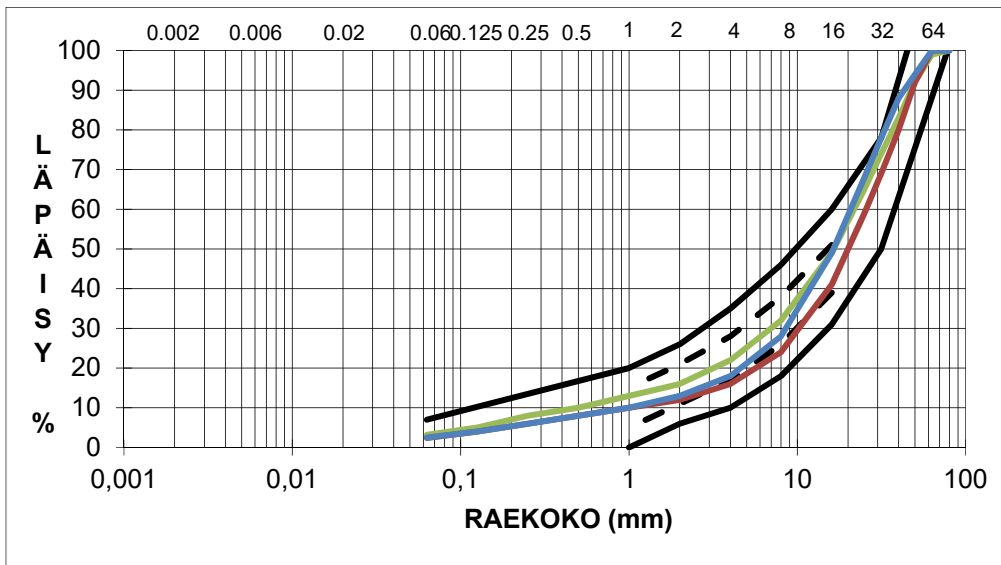


Kuva 10. Kiviainestoimittajan tuotantopaikalta otettujen näytteiden rakekokojakaumat. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYL:n 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyyppirakeisuuden ohjealue.

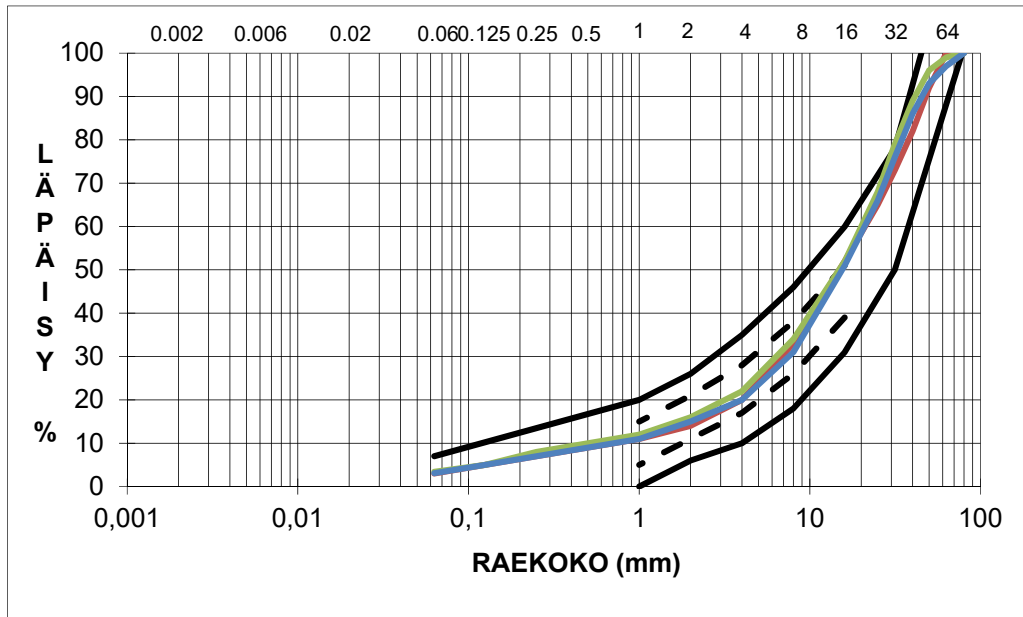
Kuvissa 11-16 on esitetty työmaalta kuudesta eri poikkileikkauksesta otettujen näytteiden rakekokojakaumat. Näytteet on otettu 150 mm paksuudelta valmiista, tiivistetystä kerroksesta. Rakeisuuskäyrien perusteella näyttää siltä, että pinnan visuaalisesti arvioitu karkeus ei korreloi näytteen rakeisuuden kanssa. Joissain tapauksissa hienorakeiselta näyttävältä pinnalta otettu näyte oli jopa poikkileikkauksen karkearakeisin.



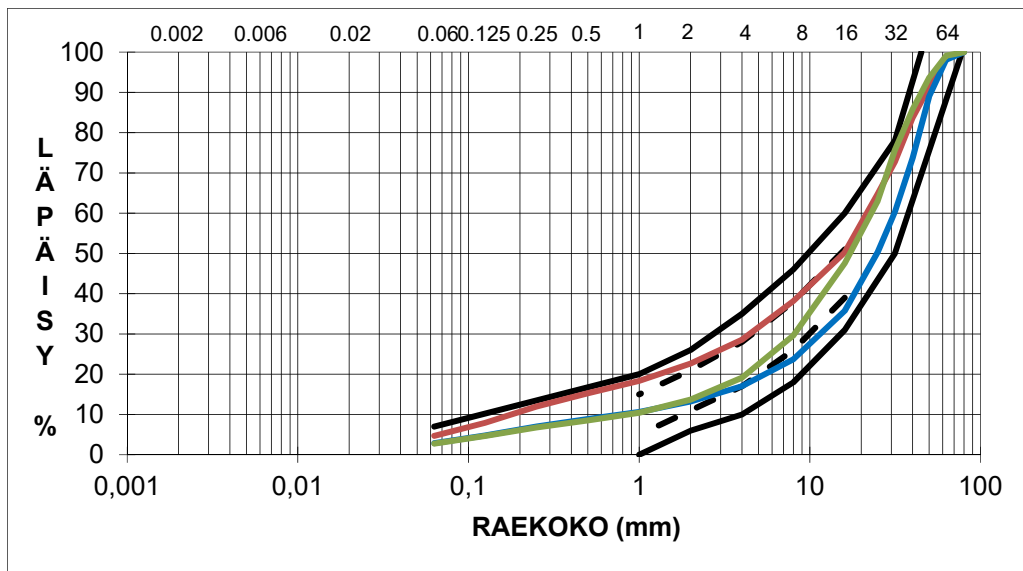
Kuva 11. Ensimmäisestä poikkileikkauksesta otettujen näytteiden raekokojakaumat. Punaisella hienorakeinen, sinisellä karkearakeinen ja vihreällä keskimääräinen rakenteen pinta. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYLin 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyyppirakeisuuden ohjealue.



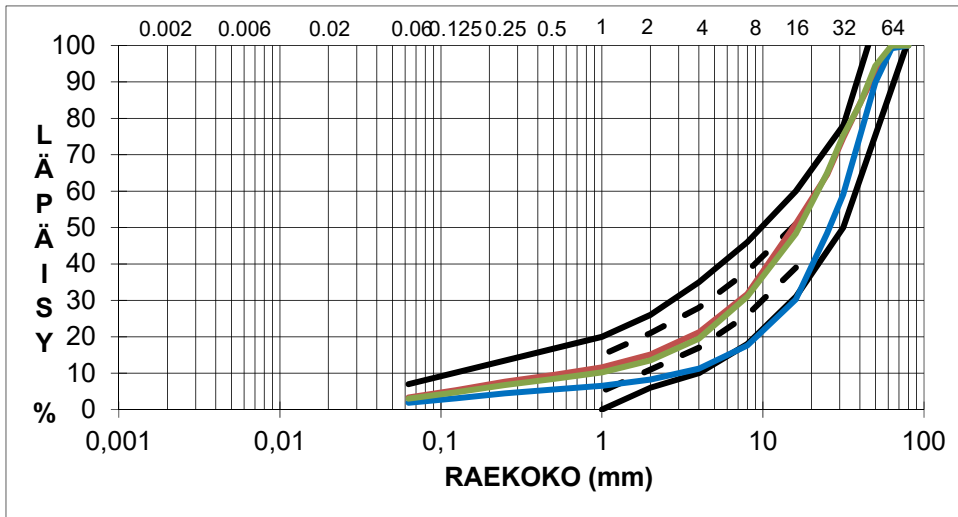
Kuva 12. Toisesta poikkileikkauksesta otettujen näytteiden raekokojakaumat. Punaisella hienorakeinen, sinisellä karkearakeinen ja vihreällä keskimääräinen rakenteen pinta. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYLin 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyyppirakeisuuden ohjealue.



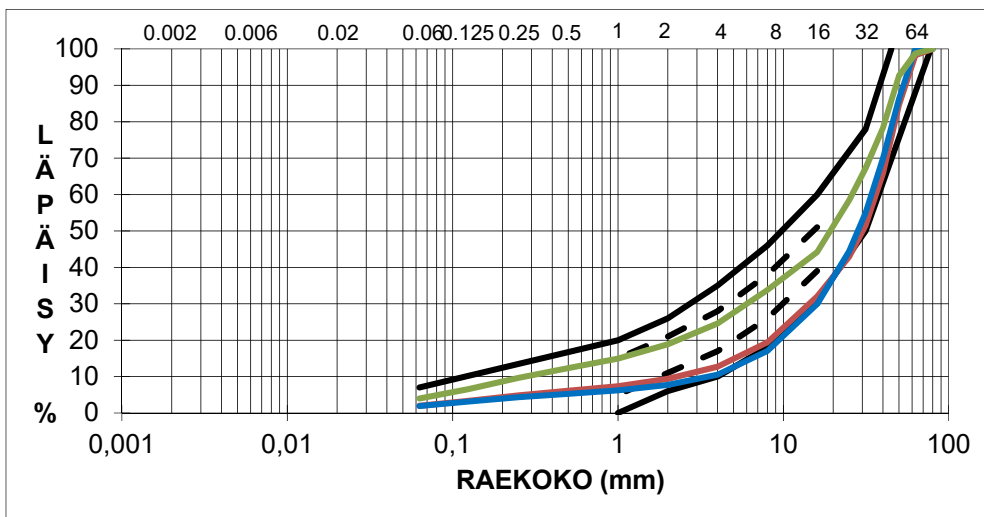
Kuva 13. Kolmännestä poikkileikkauksesta otettujen näytteiden raekojakaumat. Punaisella hienorakeinen, sinisellä karkearakeinen ja vihreällä keskimääräinen rakenteen pinta. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYL:n 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyyppirakeisuuden ohjealue.



Kuva 14. Neljännestä poikkileikkauksesta otettujen näytteiden raekojakaumat. Punaisella hienorakeinen, sinisellä karkearakeinen ja vihreällä keskimääräinen rakenteen pinta. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYL:n 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyyppirakeisuuden ohjealue.



Kuva 15. Viidennestä poikkileikkauksesta otettujen näytteiden raekokojakaumat. Punaisella hienorakeinen, sinisellä karkearakeinen ja vihreällä keskimääräinen rakenteen pinta. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYLin 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyypirakeisuuden ohjealue.

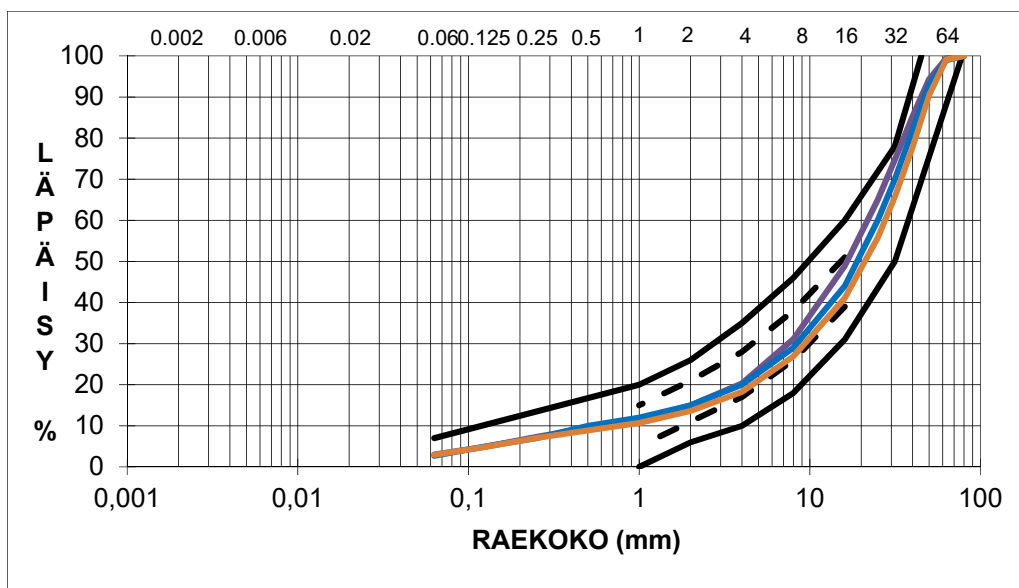


Kuva 16. Kuudennesta poikkileikkauksesta otettujen näytteiden raekokojakaumat. Punaisella hienorakeinen, sinisellä karkearakeinen ja vihreällä keskimääräinen rakenteen pinta. Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYLin 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyypirakeisuuden ohjealue.

Tutkittujen näytteiden perusteella on varsin selvää, että materiaalin lajittuminen johtuu käytetyistä työmenetelmistä. Materiaali lajittuu, koska:

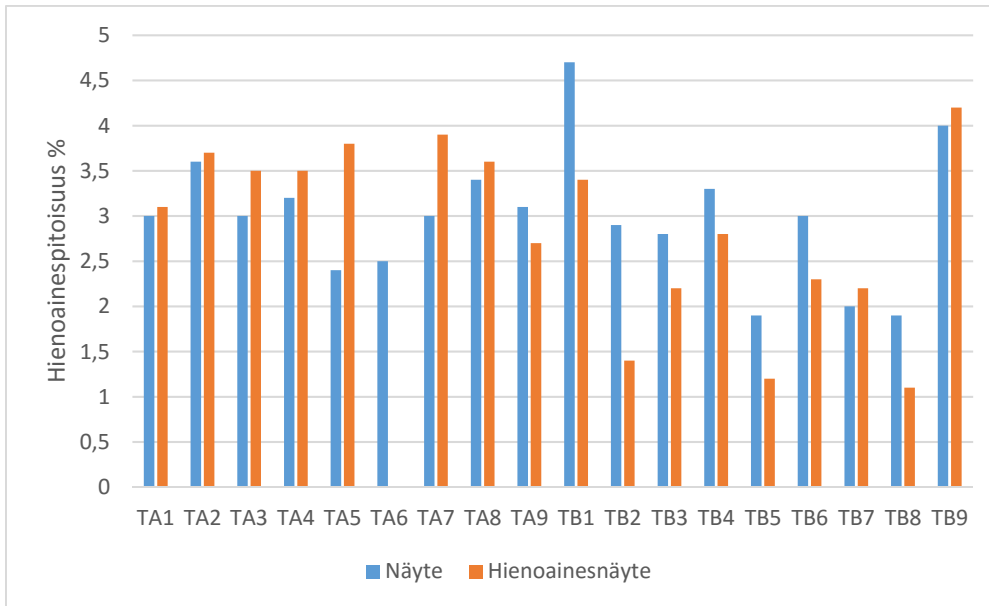
- kantava kerros levitetään useana kerroksena kippaamalla materiaali suoraan kuorma-auton lavalta matoksi,
- levitysten välillä kerroksen pintaa muotoillaan tiehöylällä, jotta saadaan tieto kerroksen paksuudesta ja tarvittavan lisämurskeen määrästä,
- materiaalin karkearakeisemmat rakeet alkavat pyöriä höylän terässä ja kuljettuvat terän reunoille, jonka seurauksena materiaali lajittuu,
- käytetään työtapaan nähden maksimiraekooltaan liian karkeaa mursketta,
- yritetään optimoida käytettävän murskeen määrä koneohjauksen avulla.

Kuvien 11–16 perusteella osassa yksittäisistä poikkileikkauksista otetuissa näytteissä havaittiin melko suurta hajontaa. Jos tarkastellaan tilannetta keskimääräisten rakeisuuksien avulla, huomataan, että hajonta on huomattavasti pienempää. Kuvaan 17 on koottu materiaalin keskimääräiset raekokojakaumat. Sinisellä värillä on merkitty kiviainestoimittajan tuotantopaikalta otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus. Violetilla värillä on merkitty kolmesta ensimmäisestä poikkileikkauksesta otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus ja oranssilla värillä kolmen jälkimmäisen poikkileikkauksen keskimääräinen rakeisuus. Hajontaa on jonkin verran, mutta se pysyy näiden keskiarvotulosten perusteella materiaalille tyypillisessä vaihteluvälissä. Yksittäisen poikkileikkauksen tuloksissa havaittu hajonta johtuu tämän perusteella materiaalin lajittumisesta työmaalla.



Kuva 17. Keskimääräiset rakeisuudet; sinisellä värillä kiviainestoimittajan ottopaikalta otetut näytteet (3 kpl), violetilla rakenteesta A otetut näytteet (9 kpl) ja oranssilla rakenteesta B otetut näytteet (9 kpl). Yhtenäisellä mustalla viivalla on esitetty InfraRYLin 21310:K3 mukainen yksittäisten rakeisuuksien ohjealue ja katkoviivalla on esitetty tyyppirakeisuuden ohjealue.

Hienoainesnäytteiden avulla oli tarkoitus arvioida, voitaisiinko työmaavalvonnassa korvata osa varsinaisista rakeisuusnäytteistä kooltaan pienempien hienoainesnäytteiden avulla. Vuonna 2015 tehdyn tutkimuksen perusteella (Kalliainen & Kuula 2016) havaittiin, että hienoainesnäytteet eivät korreloineet kovin hyvin tutkittujen varsinaisten rakeisuusnäytteiden kanssa. Tuolloin hienoainesnäytteet otettiin erikseen omasta koekuopastaan. Tässä tutkimuksessa hienoainesnäytteet otettiin samasta koekuopasta varsinaisen rakeisuusnäytteen kanssa. Tulokset on esitetty taulukossa 13 ja kuvassa 18.



Kuva 18. Koko näytteestä ja hienoainenäytteestä pesuseulonnalla määritetyt hienoainespitoisuudet.

Yksi hienoainenäytteistä (TA15) puuttuu taulukosta, koska näytteestä ei pystytty määrittämään hienoainespitoisuutta näytteen turmeltumisen takia. Jäljelle jääneistä 17 parista kymmenessä hienoainespitoisuuden ero on alle 0,5 %-yksikköä. Neljässä näytteessä ero on 0,5...1,0 %-yksikköä ja kolmessa näytteessä yli 1 %-yksikkö. Niissä näytteissä, joissa suurempia eroavaisuuksia on havaittu, ei ole selkeää trendiä siitä, että varsinaisen rakeisuusnäytteen hienoainespitoisuus olisi järjestelmällisesti suurempi tai pienempi kuin hienoainenäytteen. Poikkeamat ovat kuitenkin pienempiä kuin aiemmassa tutkimuksessa, ja näyttäisi siltä, että massaltaan pienempiä hienoainespitoisuusnäytteitä voitaisiin jatkossa käyttää laaduntarkkailumenetelmänä.

Taulukko 13. Hienoainespitoisuuksien vertailu. Näytteet TA1-9 ja TB1-9 ovat varsinaisia rakeisuusnäytteitä, näytteet TA10-TA18 ja TB10-TB18 hienoainespitoisuuksia. Hienoainespitoisuuden merkitys on merkitty keltaisella solulla, jos se poikkeaa varsinaisen rakeisuusnäytteen hienoainespitoisuudesta 0,5...1,0 %-yksikköä ja oranssilla, jos vastaava poikkeama on > 1,0 %-yksikköä. NA: ei määritetty

Rakeisuusnäyte	Hienoainespitoisuus (%)	Hienoainespitoisuusnäyte	Hienoainespitoisuus (%)
TA1	3,0	TA10	3,1
TA2	3,6	TA11	3,7
TA3	3,0	TA12	3,5
TA4	3,2	TA13	3,5
TA5	2,4	TA14	3,8
TA6	2,5	TA15	NA
TA7	3,0	TA16	3,9
TA8	3,4	TA17	3,6
TA9	3,1	TA18	2,7
TB1	4,7	TB10	3,4
TB2	2,9	TB11	1,4
TB3	2,8	TB12	2,2
TB4	3,3	TB13	2,8
TB5	1,9	TB14	1,2
TB6	3,0	TB15	2,3
TB7	2,0	TB16	2,2
TB8	1,9	TB17	1,1
TB9	4,0	TB18	4,2

4.2 Materiaalin lujuusominaisuudet

Los Angeles -testillä kuvataan kiviaineksen iskunkestävyyttä. Materiaalin iskunkestävyyden avulla selvitetään kiviaineksen kulutuskestävyyttä ja lujuutta. Liikennekuormitus aiheuttaa maarakenteeseen dynaamisia, iskumaisia kuormituksia. Mikäli kiviaineksen iskunkestävyys ei ole riittävä, karkeat rakeet rikkoutuvat pienemmiksi. Tämä aiheuttaa ensivaiheessa kiviaineksen uudelleenjärjestymistä rakenteessa. Tämä näkyy rakenteessa pysyvinä muodonmuutoksina. Kiviaineksen jauhaantuessa materiaalin kuormituskestävyys (rakenteen kantavuus) heikkenee ja hienoaineksen kasvava määrä saattaa muuttaa rakenteen routimiskäyttäytymistä.

Los Angeles -luku määritetään standardin SFS-EN 1097-2 mukaisella testilaitteella lajitteesta 10/14 mm. Testissä 5 kg näytettä ja 11 kappaletta 400–445 g painoista teräskuulaa pyöritetään vakionopeudella pyörivässä myllyssä 500 kierrosta. Testin tulos on pienemmäksi kuin 1,6 mm hienontuneen materiaalin prosentuaalinen osuus testinäytteen massasta. Testitulos ilmoitetaan kokonaislukuna ilman yksikköä.

Micro-Deval-testillä kuvataan kiviaineksen hiovan kulutuksen kestävyyttä. Liikennekuormitus aiheuttaa aina muodonmuutoksia rakenteessa. Kiviainesrakeet pyrkivät liikkumaan rakenteessa toistensa suhteen. Mikäli rakenteessa on lisäksi vettä (käytännössä aina jonkin verran), kiviainesrakeiden pinnalta irtoaa hienoainesta kontaktien liikkeen myötä. Jos materiaalin hiovan kulutuksen kesto ei ole riittävän hyvä, irtoava

hienoaines ja vesi alkavat muodostaa rakenteeseen kuormitus- ja routakestävyyttä heikentävää lietettä.

Micro-Deval -arvo määritetään standardin SFS-EN 1097-1 mukaisella testilaitteella lajitteesta 10 /14 mm. Testissä 500 g kiviainesta, 5 kg teräskuulia (\varnothing 10 mm) ja 2,5 litraa vettä pyöritetään vakionopeudella pyörivässä metallirummussa 12 000 kierrosta. Testin tulos on pienemmäksi kuin 1,6 mm hienontuneen materiaalin prosentuaalinen osuus testinäytteen massasta. Testi tehdään kahdesta näytteestä yhtä aikaa eli rumpu koostuu kahdesta testikammioista. Testin tulos on kahden määrittelyn keskiarvo ja se ilmoitetaan kokonaislukuna ilman yksikköä.

Materiaalin lujuustestien tulokset on esitetty taulukossa 14. Materiaali täyttää kantavan kerroksen murskeelle asetetun iskunkestävyysvaatimuksen LA₃₀. Näytteet olivat tulosten perusteella tasalaatuisia lukuun ottamatta yhtä iskunkestävyyšnäytettä (näyte 21 näytesarjassa TA), jonka iskunkestävyys oli muita näytteitä selvästi parempi. Materiaali kestää myös hiovaa kulutusta hyvin, sillä se täyttäisi myös radan eristys- ja välikerrosmurskeelle asetetun kulutuskestävyysvaatimuksen mDE₁₅.

Taulukko 14. Tutkittujen materiaalien lujuustestien tulokset.

	Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso- ilmoitus	Vaatus
Näytesarja TA	Los Angeles -luku	19	25	LA ₂₅	LA ₃₀	LA ₃₀
		20	25			
		21	20			
	Micro-Deval	7	13	M _{DE15}	ei ilmoitettu	ei ole
		8	13			
Näytesarja TB	Los Angeles -luku	19	25	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀
		20	25			
		21	26			
	Micro-Deval	7	13	M _{DE15}	ei ilmoitettu	ei ole
		8	12			
Kiviaines- toimittajan tuotanto- paikalta	Los Angeles -luku	4	26	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀

4.3 Yhteenvedo kantavan kerroksen tutkimuksista

Kantavan kerroksen materiaalin näytteenoton tavoitteena oli tarkastella kahta jo aiemmassa tutkimuksessa havaittua tai tarpeelliseksi koettua seikkaa. Maksimiraekooltaan suurilla murskeilla on havaittu lajittumisongelmaa, jonka on arveltu johtuvan usean seikan yhdistelmästä. Toisena tavoitteena oli kehittää menetelmää, jolla yksinkertaistettaisiin työmaalla tehtävää näytteenottoa siten, että osa laaduntarkkailussa vaadituista rakeisuusnäytteistä korvattaisiin näytteillä, joista määritetään pelkkä hienoainespitoisuus.

Materiaalin lajittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- ohut kantavan kerroksen kokonaispaksuus,
- useana kerroksena tapahtuva levitys,
- kerrosten levityksen välissä tehtävä höyläys,
- murskeen suuri maksimiraekoko, ja
- koneohjaus ja tiukka geometrinen toleranssi.

Edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutus johtaa lajittumisen myötä paikoitellen heikkolaatuiseen rakenteeseen. Jos rakenteen pinta on liian karkea, saattaa se johtaa kasvavaan päällystekerroksen menekkiin ja huonoon tartuntaan. Toisaalta lajittunut murske myös johtaa kantavan kerroksen epätasaisiin muodonmuutosominaisuuksiin. Tällöin riski kantavan kerroksen deformaation rakenteen käyttöiän aikana kasvaa. Edellä mainituista syistä InfraRYLin päivittyvään versioon on lisätty sitomattomalle kantavalle kerrokselle seuraava vaatimus: ”*Käytettävän materiaalin maksimiraekoko saa olla enintään yksi kolmasosa kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta*”. Mikäli kantava kerros on 100 mm paksu, voi sen materiaalina tällöin käyttää 0/31,5 mm mursketta. 150 kantavalla kerroksella voidaan käyttää murskeita 0/31,5 tai 0/45 mm jne.

Hienoainesnäytteet eivät täysin vastanneet varsinaisia rakeisuusnäytteitä. Havaitut poikkeamat olivat kuitenkin verrattain pieniä, ja tutkittujen näytteiden hienoainespitoisuuksien keskiarvot olivat erittäin lähellä toisiaan (varsinaiset rakeisuusnäytteet 3,0 %; hienoainesnäytteet 2,8 %), joten jatkossa rakenteesta tehtävässä laadunvalvonnassa voitaisiin käyttää hienoainesnäytteitä. Työmaavalvonta voitaisiin tehdä esimerkiksi seuraavalla tavalla:

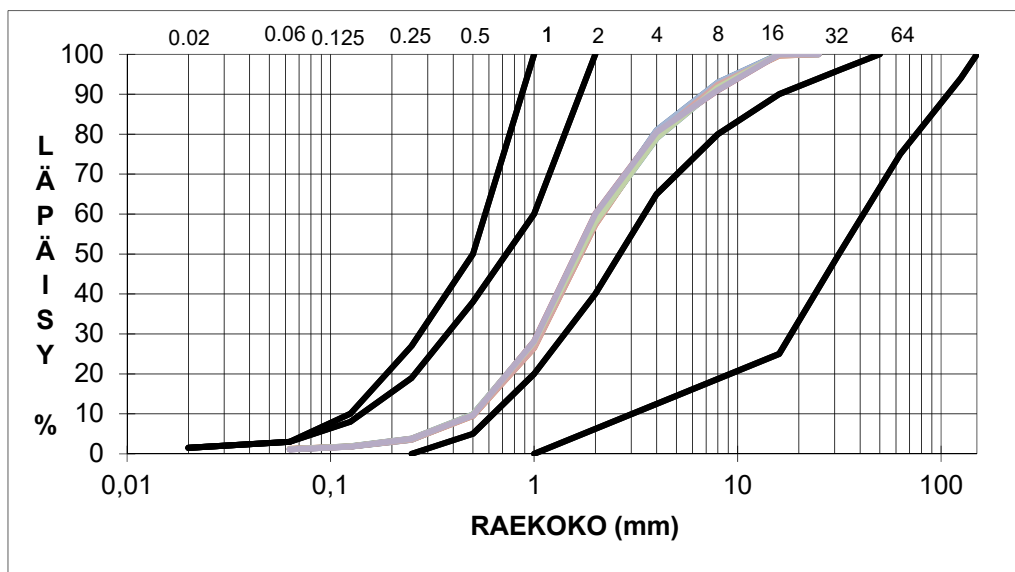
- Ensimmäisessä vaiheessa materiaalille tehdään vastaanottotarkastus. 1. kilometriltä otetaan 5 kappaletta tavanomaisia, massaltaan näytteenotto- ja seulontastandardit täyttäviä näytteitä. Mikäli materiaali todetaan kelpaavaksi, voidaan loput työmaalla otettavista näytteistä ottaa hienoainesnäytteinä.
- Jos hienoainespitoisuudessa havaitaan yli 2%-yksikön poikkeamia verrattuna ensimmäisen vaiheen keskimääräiseen hienoainespitoisuuteen kesken työmaan, palataan ottamaan varsinaisia rakeisuusnäytteitä.

5 Radan alusrakennekerrokset

Radan alusrakennemateriaaleista on haettu näytteitä yhteensä kuudesta kohteesta, joista kahdessa on rakennettu uusia alusrakennekerroksia. Neljä kohdetta on liittynyt ratarumpujen vaihdon yhteydessä käytettäviin alusrakennemateriaaleihin. Näiden lisäksi on tehty vertailututkimusta neljässä kohteessa. Näistä kohteista on haettu hienoainesnäytteitä, joiden avulla on arvioitu pohjamaan/alusrakenteen routivuutta ja verrattu saatuja tuloksia routatutkimuslomakkeeseen tehtyihin maalajitulkintoihin.

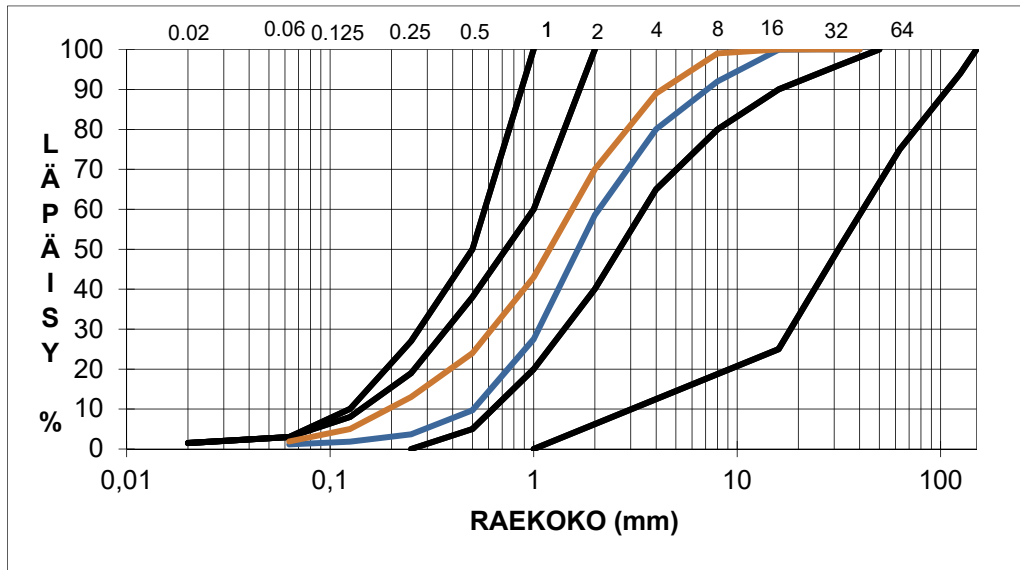
5.1 Kohde RA

Kohde RA on investointihanke, jossa rakennetaan uutta ratalinjaa. Kohteessa on käytetty eristyskerroksen materiaalina hiekkaa. Näytteet (4 kpl) on otettu raiteen päällä olleen esikuormituspenkereen päältä. Esikuormituspenkereen materiaalia on käytetty eristyskerroksen rakentamiseen esikuormitusvaiheen jälkeen. Tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja luonnonmateriaalista rakennettavan eristyskerroksen ohjealueet (mustalla värillä) on esitetty kuvassa 19. Materiaali on rakeisuudeltaan vaatimusten mukaista ja hyvin tasalaatuista.



Kuva 19. Kohteesta RA otettujen näytteiden raekokojakaumat. Mustalla on esitetty InfraRYLin 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.

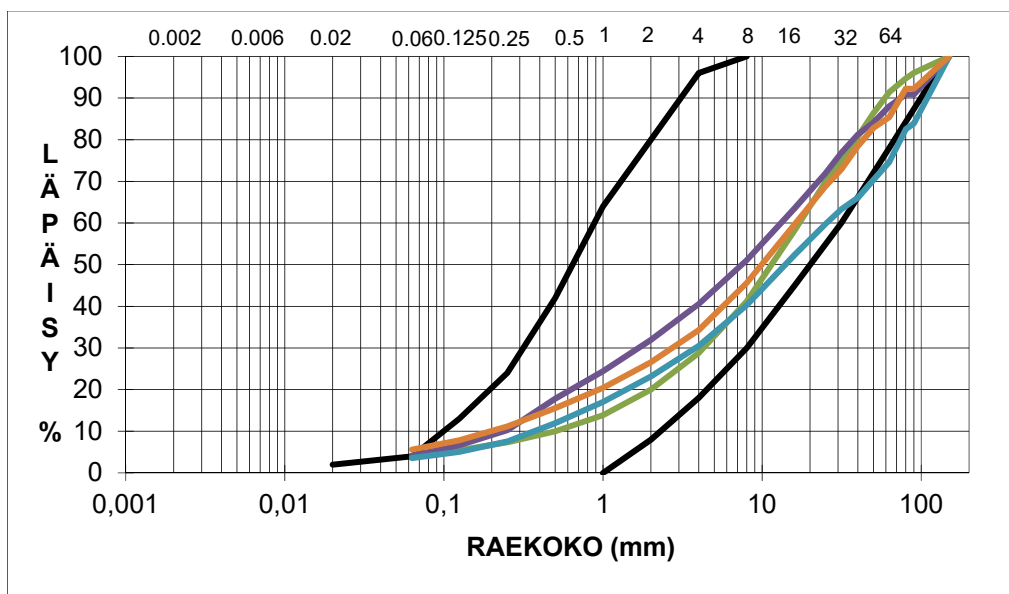
Kuvassa 20 on esitetty kiviainestoimittajan ilmoittama materiaalin rakeisuus ja otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus. Rakeisuudet poikkeavat toisistaan jonkin verran. Molemmat rakeisuuskäyrät ovat eristyskerrokselle sallitulla alueella. Kiviainestoimittajan ilmoittaman tyyppirakeisuuden perusteella materiaalin raekokosuhde on 8,5 (vaatimus $d_{60}/d_{10} \geq 5$). Tutkittujen näytteiden perusteella materiaalin raekokosuhde on noin 4...4,1. Raekokosuhde liittyy materiaalin tiivistyvyyteen, ja kohteessa tulisivin tehdä alusrakenteen tiivistystyö erityisellä huolellisuudella ja varmistua tiivistystyön lopputuloksesta rakentamisen edetessä.



Kuva 20. Kohteesta RA otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja kiviainestoimittajan ilmoittama, laatuaineiston perusteella määritetty tyyppirakeisuus (oranssi). Mustalla on esitetty InfraRYL:n 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.

5.2 Kohde RB

Kohde RB on investointihanke, jossa rakennettiin uusia alusrakennekerroksia. Alusrakennekerrosten materiaalina oli luonnonsora. Näytteet on otettu valmiin välikerroksen pinnalta siten, että koekuoppa ulottuu vähintään 75 % syvyyteen välikerroksen paksuudesta. Kaikki näytteet on otettu kaksoisraidetta varten rakennetun penkereen keskilinjan kohdalta. Kuvassa 21 on esitetty tutkittujen näytteiden raekokojakaumat ja luonnonsoraan rakennettavan välikerroksen rakeisuuden ohjealue (mustalla värillä).



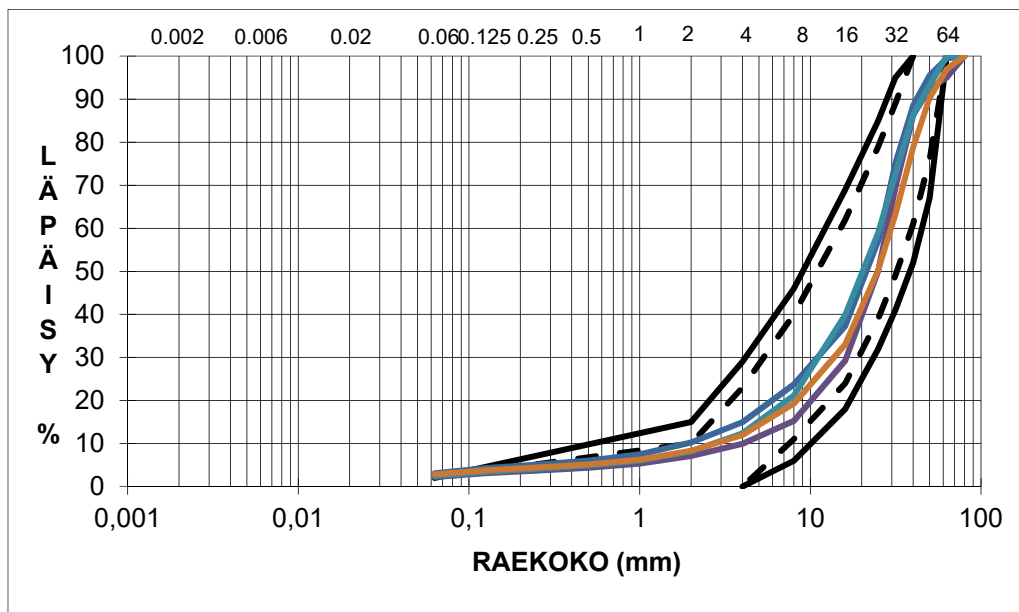
Kuva 21. Kohteesta RB otettujen näytteiden raekokojakaumat ja mustalla InfraRYL:n 21230:K1 mukainen ohjekäyräalue.

Yksi näytteistä sisälsi liikaa hienoainesta, mikä johtui todennäköisesti valmiin kerroksen päällä liikennöinnistä ja kaivukoneen telojen mukana kulkeutuneesta hienoaineksesta. Kohteessa oli tehty ohjeiden mukaisesti materiaalin laadunvalvontaa. Laadunvalvontatulokset olivat samankaltaisia tässä tutkimuksessa saatujen tulosten kanssa.

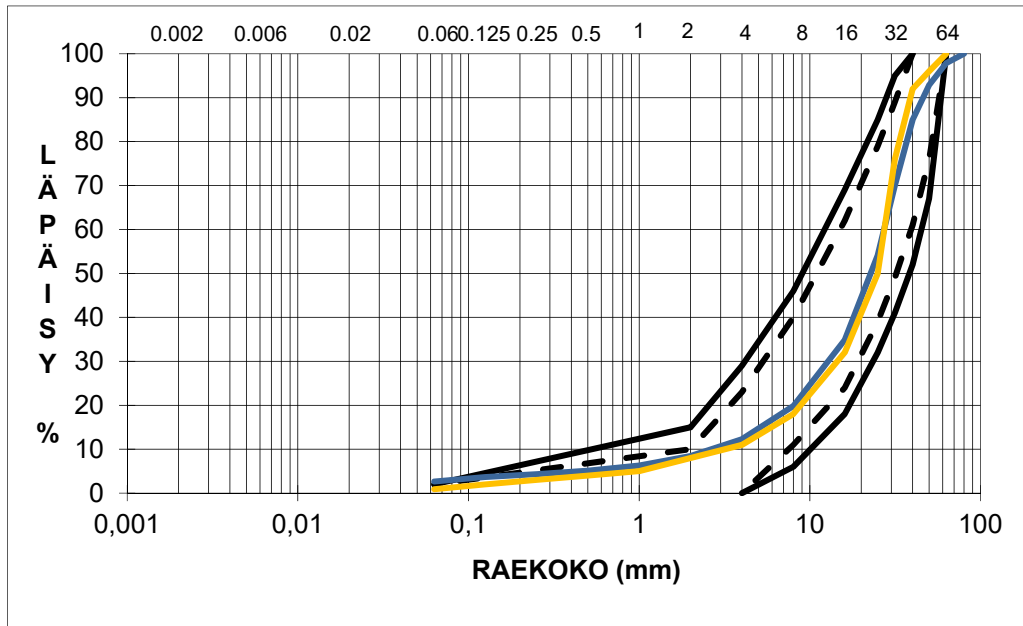
5.3 Rumpukohteet

Kohteet RC-RF olivat rummunvaihdkohteita (yhteensä neljä kohdetta), joissa nykyinen rumpu vaihdettiin aukikaivamalla. Kaikissa kohteissa käytettiin rummun vaihdon jälkeen materiaalina eristys-/välikerrosmursketta KaM 0/63 mm. Kohteista RC-RE on otettu rakeisuusnäytteet murskeesta. Kohteesta RF on otettu vertailun vuoksi rakeisuusnäytteet vanhasta alusrakennemateriaalista, koska kohteissa RE ja RF käytettiin samaa murskettä. Kohteista RC ja RD on otettu lisäksi lujustestinäytteitä siten, että näistä kohteista materiaalista on testattu iskunkestävyys ja kulutuskestävyys.

Kohteesta RC otettujen rakeisuusnäytteiden tulokset ja EV-murskeen rakeisuusohjealue (mustalla värillä) on esitetty kuvassa 22. Yhdessä näytteistä oli 0,1 %-yksikköä liikaa hienoainesta, mutta poikkeama on niin vähäinen, ettei sillä ole merkitystä ja saattaa johtua myös näytteenottotarkkuudesta. Lisäksi tulosten perusteella materiaali sisältää hyvin pienen määrän liian suuria rakeita. Poikkeama on kuitenkin niin pieni, ettei sillä ole käytännön merkitystä. Kohteen RC materiaalin keskimääräinen raekokojakauma ja kiviainestoitimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus on esitetty kuvassa 23. Keskimääräisen rakeisuuden perusteella materiaalin rakeisuus vastaa ilmoitettua.

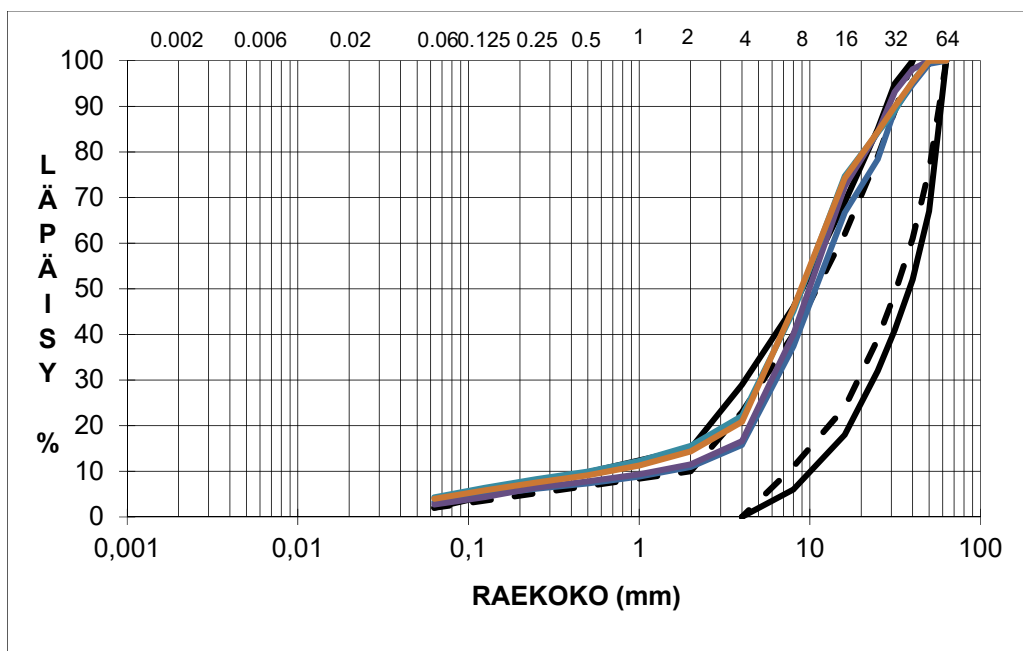


Kuva 22. Kohteesta RC otettujen näytteiden raekokojakaumat ja mustalla InfraRYLin 21220:K2 mukainen ohjealue.

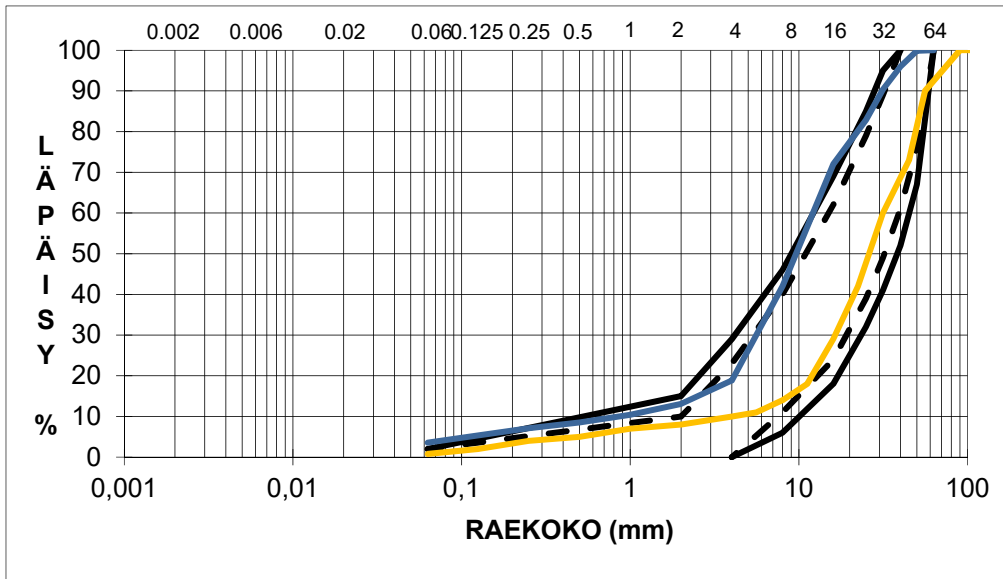


Kuva 23. Kohteesta RC otettujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma (sininen) ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus (keltainen) sekä mustalla InfraRYLin 21220:K2 mukainen ohjealue.

Kohteesta RD otettujen näytteiden raekokojakaumat on esitetty kuvassa 24. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali on hieman liian hienorakeista. Kohde sijaitsee vähän liikennöidyllä rataosalla, jossa vanha alusrakenne on luonnonhiekkaa/soraa, joten tilanne ei ole ongelmallinen, pikemminkin roudan tunkeutumisen kannalta parempi kuin jos materiaali olisi ollut kiviainestoimittajan ilmoittaman kaltaista. Poikkeama kiviainestoimittajan suoritustasoilmoituksessa ilmoittamaan rakeisuuteen on keskimääräisen rakeisuuden perusteella kuitenkin suuri (kuva 25).



Kuva 24. Kohteesta RD otettujen näytteiden raekokojakaumat ja mustalla InfraRYLin 21220:K2 mukainen ohjealue.



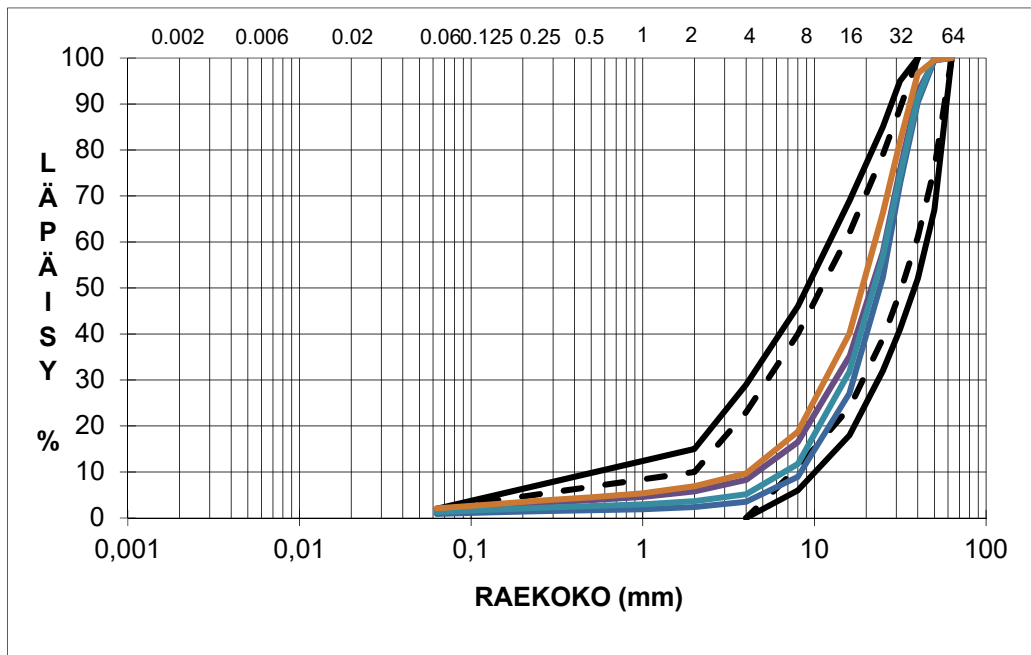
Kuva 25. Kohteesta RD otettujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma (sininen) ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus (keltainen) sekä mustalla InfraRYLin 21220:K2 mukainen ohjealue.

Kohteista RC ja RD otettujen lujuustestinäytteiden tulokset on koottu taulukkoon 15. Kohteessa RC kiviainestoimittaja ei ollut ilmoittanut materiaalin kulutuskestävyyttä, mutta sekä kulutuskestävyys että iskunkestävyydestien perusteella materiaali on vaatimusten mukaista. Kohteesta RD otettujen näytteiden perusteella materiaalin kulutuskestävyys ei täytä vaatimuksia. Materiaalin CE-merkissä on ilmoitettu materiaalin nastarengaskulutuskestävyys (kuulamyly) eli CE-merkintä ei ole standardin SFS EN 13242 mukainen. Materiaalista on toimitettu myös kulutuskestävyysskoeken (micro-Deval) tulokset, joiden mukaan materiaalin kulutuskestävyys täyttää luokan M_{DE15} . Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali ei täytä luokan M_{DE15} vaatimusta.

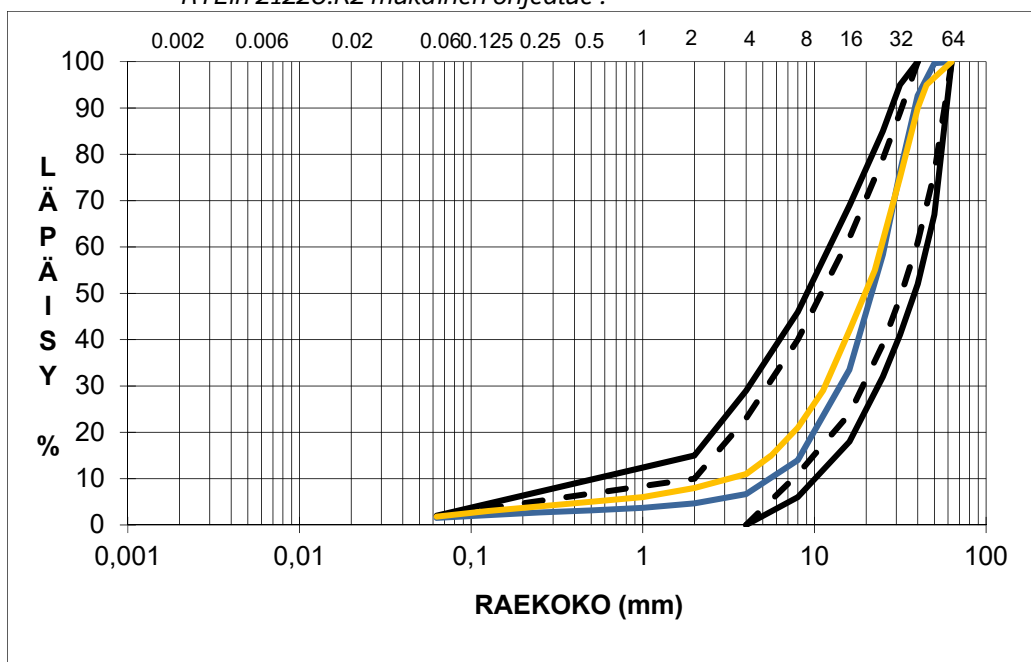
Taulukko 15. Kohteista RC ja RD otettujen lujuustestinäytteiden tulokset Taulukkoon on merkitty punaruskealla solulla havaitut poikkeamat. NA: ei määritetty

Näyte	Los-Angeles-luku	micro-Deval	Luokka	Vaatimus	Suoritus-tasoilmoitus
RC5	15	NA	LA ₁₅	LA ₂₅	LA ₂₀
RC6	NA	17	M_{DE20}	M_{DE15}	ei ilmoitettu
RD5	22	NA	LA ₂₅	LA ₂₅	LA ₂₅
RD6	NA	14	M_{DE15}	M_{DE15}	ei ilmoitettu

Kohteissa RE ja RF käytettiin samaa eristys-/välikerrosmurskettä. Kohteesta RE otettujen näytteiden raekokojakaumat on esitetty kuvassa 26. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali on vaatimusten mukaista. Kuvassa 27 on esitetty kohteesta RE otettujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaalin rakeisuus vastaa ilmoitettua suhteellisen hyvin. Materiaalin CE-merkintätietojen perusteella materiaali kelpaa radan eristys-/välikerroksen murskeeksi.

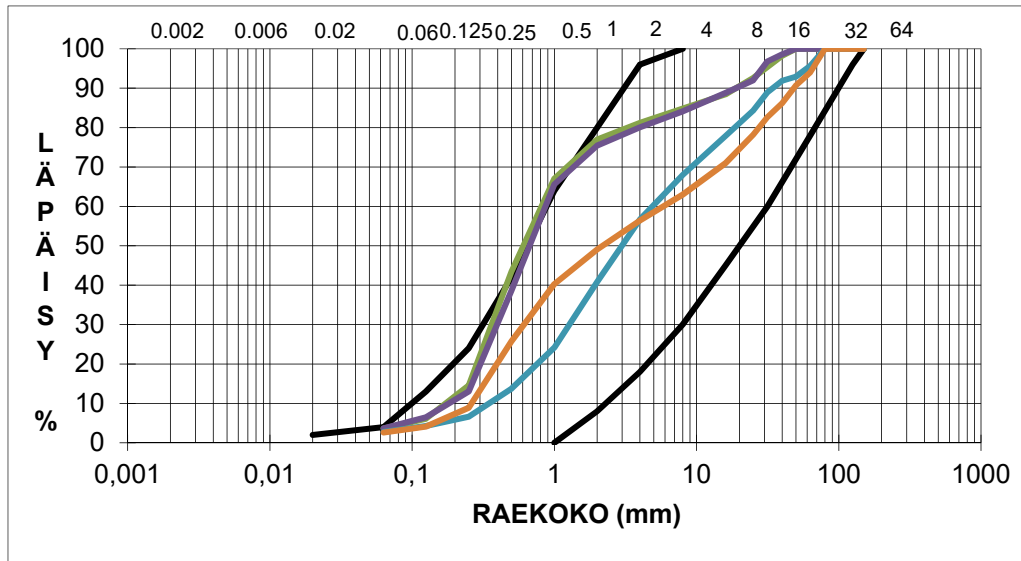


Kuva 26. Kohteesta RE otettujen näytteiden raekokojakaumat ja mustalla InfraRYLin 21220:K2 mukainen ohjealue .



Kuva 27. Kohteesta RE otettujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma (sininen) ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus (keltainen) sekä mustalla InfraRYLin 21220:K2 mukainen ohjealue.

Kohteesta RF otettiin vertailun vuoksi näytteet vanhasta alusrakennemateriaalista. Otettujen näytteiden raekokojakaumat on esitetty kuvassa 28. Kaksi näytettä on otettu tukikerroksen alapuolelta ja kaksi noin tasolta Kv -1,0 m. Materiaalien eroavaisuus on selvästi havaittavissa. Silmämääräisesti arvioiden alemmalla tasolla ollut materiaali sisälsi silttipaakkuja, joten vanhoja materiaaleja ei hyödynnetty rummun vaihdossa, vaikka ne otettujen näytteiden perusteella olisivatkin olleet kelvollisia.



Kuva 28. Kohteesta RF otettujen näytteiden raekokojakaumat ja mustalla Infra-RYL:n 21230:K1 mukainen ohjekäyräalue.

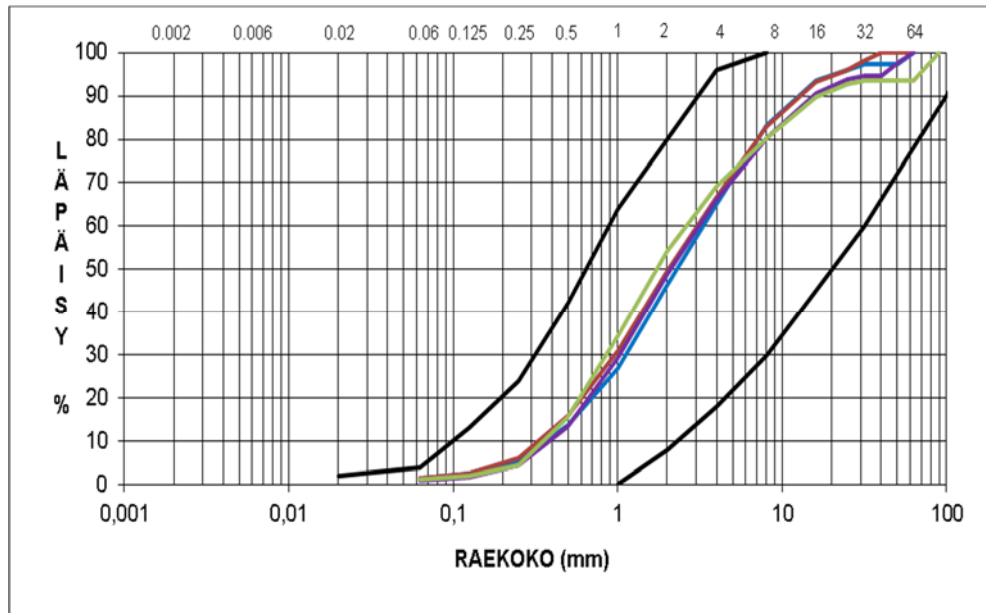
5.4 Materiaalin routivuuden vertailututkimus

Vertailututkimuksessa on haettu näytteitä kohteista, joissa rataa on kaivettu auki. Käytännössä vertailututkimukseen valikoituneet kohteet ovat olleet vaihtenvaihtokohteita, koska niistä on saatu suhteellisen helposti otettua näytteitä leikkaustasosta ja leikkaustason alapuolelta. Näytteitä on otettu yhteensä viiden vaihteen alueelta. Kohteessa V4 otettiin näytteitä kahden vaihteen alueelta. Jokaisessa kohteessa on otettu yhteensä kahdeksan näytettä, neljä näytettä leikkaustasosta ja neljä näytettä 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta. Näytteet on otettu kahdesta poikkileikkauksesta, neljä näytettä on otettu risteyskärjen kohdalta ja neljä näytettä vaihteen jatkoksen kohdalta. Näytteet on voitu ottaa etu- tai takajatkoksen kohdalta riippuen kohteen työjärjestyksestä.

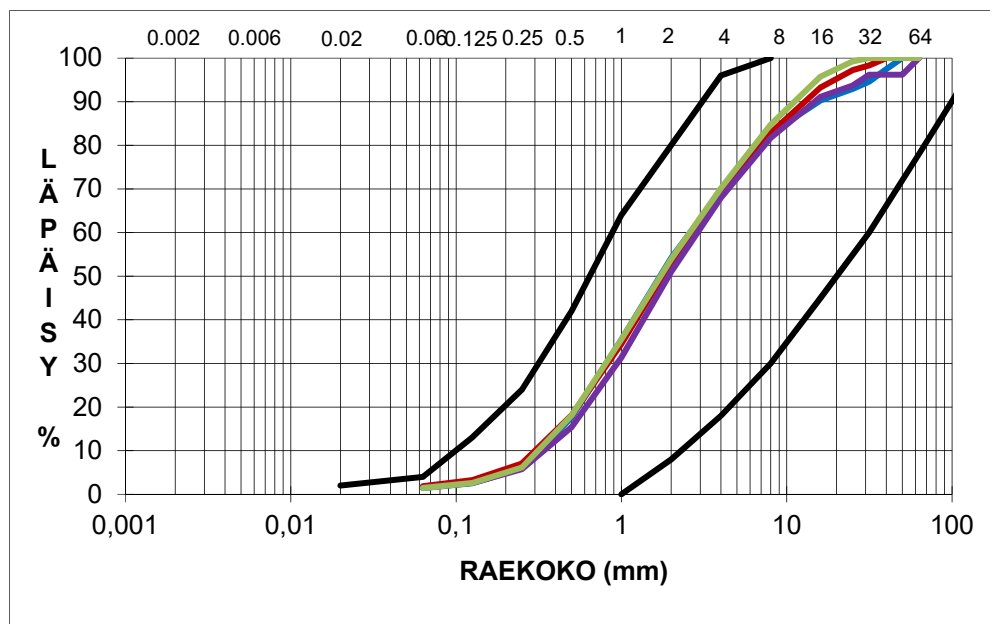
Näytteistä on määritetty ensisijaisesti materiaalin routivuus hienoainespitoisuuden perusteella. Materiaalin maksimirakeesta riippuen, kaikki otetut näytteet eivät välttämättä täytä näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) vaatimuksia näytemäärän osalta. Yksi näyte on ollut enintään noin 15 kg (yksi ämpäri). Mikäli materiaali on ollut hienorakeista, on saatettu ottaa tätä pienempiä näytteitä laboratorioissa tehtävän työmäärän pienentämiseksi. Näytteistä on määritetty myös viitteellinen rakeisuus ja raekokojakaumat on raportoitu tarpeen mukaan.

5.4.1 Kohde V1

Vaihteen alueelle oli tehty kaksi kairauspistettä. Routatutkimuslomakkeessa esitetyn perusteella materiaali on sekä leikkaustasossa että 0,5 metriä leikkaustason alapuolella soraista hiekkaa. Kohteen leikkaustaso oli Kv -0,55 m. Taulukkoon 16 on koottu arvio otettujen näytteiden routivuudesta hienoainespitoisuuden avulla ja maalajitulkin. Kuvassa 29 on esitetty leikkaustasosta otettujen näytteiden raekokojakaumat ja kuvassa 30 vastaavat raekokojakaumat 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta. Tutkittujen näytteiden tulokset ja routatutkimuslomakkeen merkinnät vastaavat toisiaan erittäin hyvin.



Kuva 29. Kohteesta V1 leikkaustasosta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat ja mustalla InfraRYL:n 21230:K1 mukainen ohjekäyräalue.



Kuva 30. Kohteesta V1 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat ja mustalla InfraRYL:n 21230:K1 mukainen ohjekäyräalue.

Taulukko 16. Kohteesta V1 otettujen näytteiden hienoainespitoisuus, routivuusarvio ja viitteellisen rakeisuuden avulla määritetty maalaji.

Näyte	Hienoainespitoisuus (%)	Routiva	Maalaji
V1_1	1,5	ei	srHk
V1_2	1,4	ei	hkSr
V1_3	1,4	ei	hkSr
V1_4	1,8	ei	srHk
V1_5	1,0	ei	srHk
V1_6	1,3	ei	srHk
V1_7	1,5	ei	srHk
V1_8	1,4	ei	srHk

5.4.2 Kohde V2

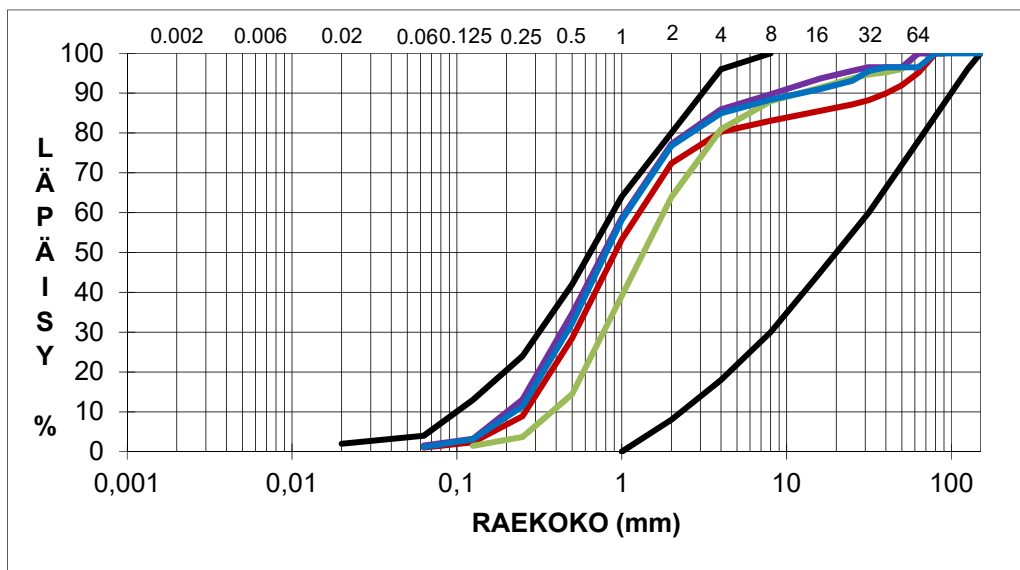
Vaihteen alueelle oli tehty yksi kairauspiste. Saman ratapihan viereisten vaihteiden alueella oli tehty lisäksi neljä kairauspistettä. Routatutkimuslomakkeen perusteella maaperän pitäisi olla soraa tai hiekkaista soraa 1,5...2,5 metrin syvyyteen saakka. Kohteen leikkaustaso oli Kv -0,55 m. Materiaali oli kuitenkin sekä leikkaustasossa että puoli metriä leikkaustason alapuolella vanhaa sepeliä. Taulukkoon 17 on koottu kohteen V2 oleelliset tiedot. Materiaalin raekokojakaumia ei määritetty, koska otettu näyte on suhteellisen pienikokoinen verrattuna edustavaan näytteeseen.

Taulukko 17. Kohteesta V2 otettujen näytteiden hienoainespitoisuus, routivuusarvio ja viitteellisen rakeisuuden avulla määritetty maalaji.

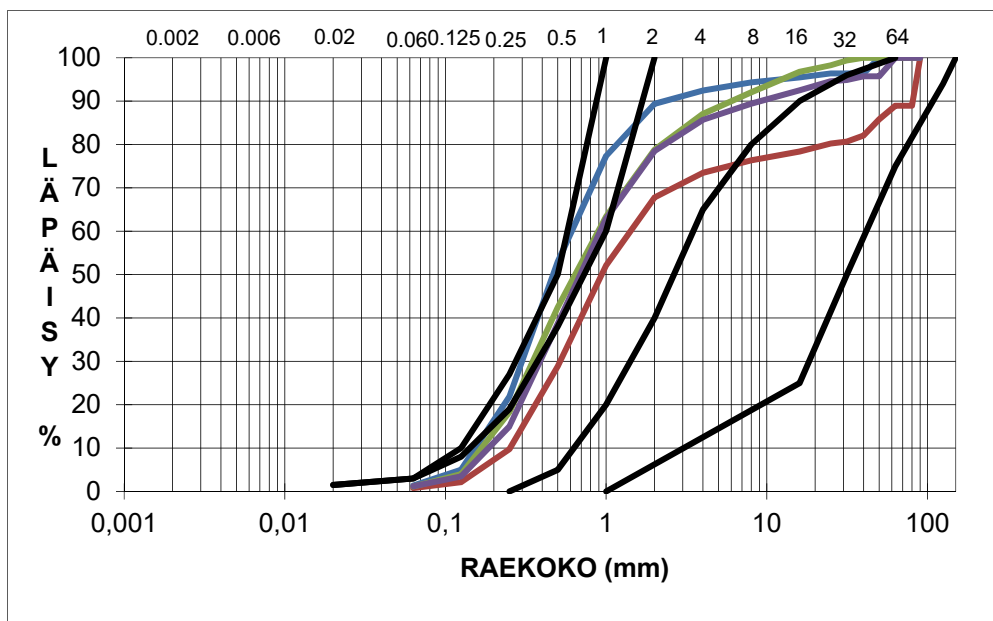
Näyte	Hienoainespitoisuus (%)	Routiva	Maalaji
V2_1	0,7	ei	Sr
V2_2	0,8	ei	Sr
V2_3	0,8	ei	Sr
V2_4	0,7	ei	Sr
V2_5	0,8	ei	Sr
V2_6	1,3	ei	Sr
V2_7	0,5	ei	Sr
V2_8	0,7	ei	Sr

5.4.3 Kohde V3

Vaihteen alueelle oli tehty kaksi kairauspistettä ja viereisten vaihteiden alueelle neljä kairauspistettä. Kohteessa on routatutkimuslomakkeen perusteella hiekkaista soraa tai soraista hiekkaa välillä Kv -0,5 m...Kv -1,4 m. Leikkaustaso oli Kv -0,55 m. Leikkaustasosta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat on esitetty kuvassa 31 ja 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat kuvassa 32. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali on pääosin hiekkaa, jossa on yksittäisiä suuria rakeita (kiviä). Tulosten perusteella maaperä oli jonkin verran hienorakeisempaa kuin routatutkimuslomakkeessa on arvioitu. Taulukkoon 18 on koottu arvio tutkittujen näytteiden routivuudesta hienoainespitoisuuden perusteella ja maalajitulkinta.



Kuva 31. Kohteesta V3 leikkaustasosta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat ja mustalla InfraRYL:n 21230:K1 mukainen ohjekäyräalue.



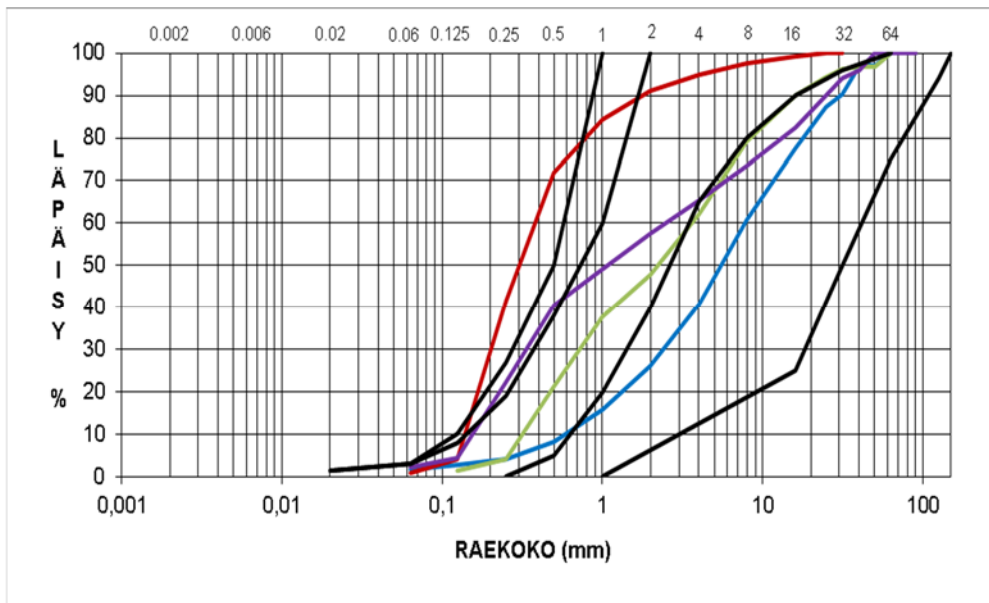
Kuva 32. Kohteesta V3 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat. Mustalla on esitetty InfraRYL:n 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.

Taulukko 18. Kohteesta V3 otettujen näytteiden hienoainepitoisuus, routivuusarvio ja viitteellisen rakeisuuden avulla määritetty maalaji.

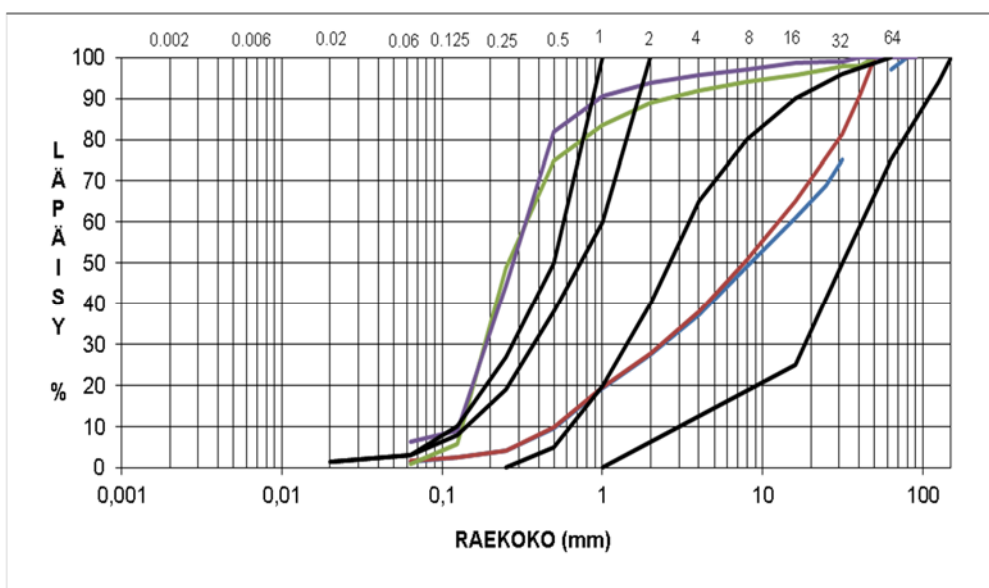
Näyte	Hienoainepitoisuus (%)	Routiva	Maalaji
V3_1	1,2	ei	Hk
V3_2	1,0	ei	Hk
V3_3	1,4	ei	Hk
V3_4	0,8	ei	srHk
V3_5	1,5	ei	srHk
V3_6	1,5	ei	Hk
V3_7	1,1	ei	Hk
V3_8	1,2	ei	Hk

5.4.4 Kohde V4

Kahden vaihdettavan vaihteen alueelle oli tehty yhteensä neljä kairauspistettä. Routatutkimuslomakkeen perusteella maaperä on varsin vaihtelevaa. Kohteen leikkaustaso on Kv -0,9 m ja routivien kerrosten yläpinta ylimmillään noin Kv-1,1 m. Leikkaustasossa ei pitäisi esiintyä routivia materiaaleja. Leikkaustason materiaalin pitäisi olla vaihteessa V41 hiekkaa ja vaihteessa V42 soraista hiekkaa. Leikkaustason maaperä saattaa olla myös kivistä. Puoli metriä leikkaustason alapuolella pitäisi olla vaihteessa V41 hiekkaista silttiä ja vaihteessa V42 silttistä hiekkaa tai hiekkamoreenia. Kuvassa 33 on esitetty vaihteen V41 alueelta leikkaustasosta ja kuvassa 34 on 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat.



Kuva 33. Kohteesta V4, vaihteen V41 alueelta leikkaustasosta otettujen näytteiden viitteellinen raekokojakauma. Mustalla on esitetty InfraRYLin 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.



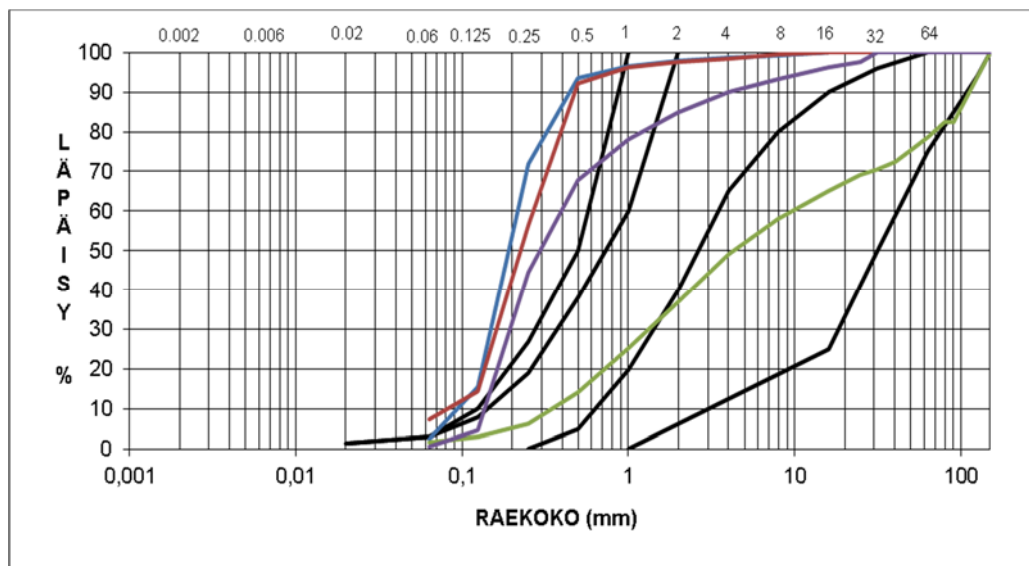
Kuva 34. Kohteesta V4, vaihteen V41 alueelta 0,5 m leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteellinen raekokojakauma. Mustalla on esitetty InfraRYLin 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.

Taulukkoon 19 on koottu arvio otettujen näytteiden routivuudesta hienoainespitoisuuden avulla ja maalajitulkinta vaihteen V41 alueelta. Routatutkimuslomakkeeseen verrattuna tutkitut näytteet olivat rakeisuuden perusteella hivenen karkearakeisempia. Puoli metriä leikkaustason alapuolelta otetuista näytteistä vain yksi oli routiva, joten arviot olivat hivenen konservatiivisia verrattuna näytteistä määritettyihin routivuuksiin.

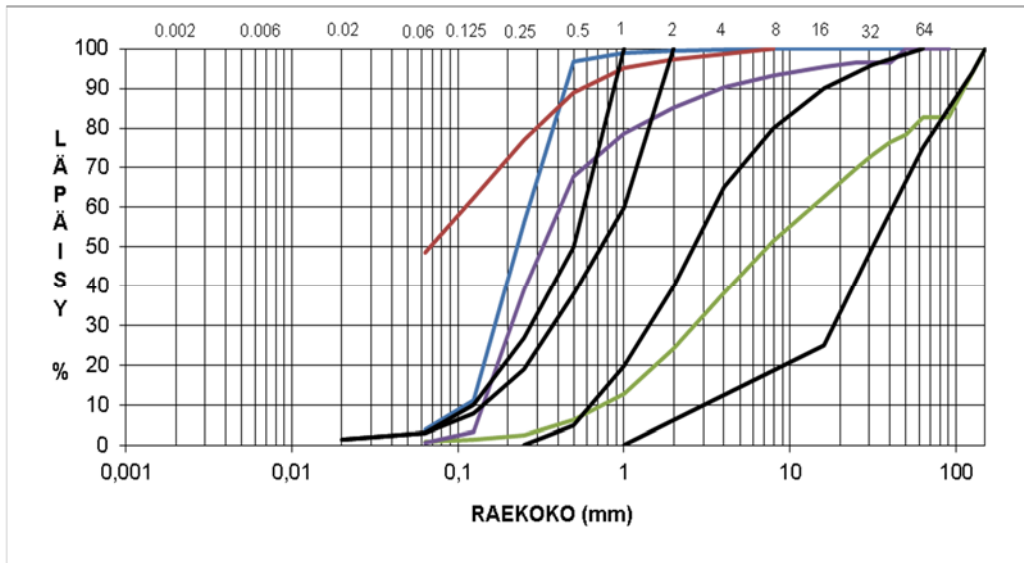
Taulukko 19. Kohteesta V4, vaihteen V41 alueelta otettujen näytteiden hienoainespitoisuus, routivuusarvio ja viitteellisen rakeisuuden avulla määritetty maalaji.

Näyte	Hienoainespitoisuus (%)	Routiva	Maalaji
V41_1	1,8	ei	Sr
V41_2	1,0	ei	Hk
V41_3	1,5	ei	Sr
V41_4	1,7	ei	Sr
V41_5	1,5	ei	hkSr
V41_6	2,3	ei	srHk
V41_7	0,8	ei	Hk
V41_8	6,2	kyllä	hkMr

Kuvassa 35 on esitetty vaihteen V42 alueelta leikkaustasosta ja kuvassa 36 on 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteelliset raekokojakaumat. Taulukkoon 20 on koottu arvio otettujen näytteiden routivuudesta hienoainespitoisuuden avulla ja maalajitulkinta vaihteen V42 alueelta.



Kuva 35. Kohteesta V4, vaihteen V42 alueelta leikkaustasosta otettujen näytteiden viitteellinen raekokojakauma. Mustalla on esitetty InfraRYL in 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.



Kuva 36. Kohteesta V4, vaihteen V42 alueelta 0,5 metriä leikkaustason alapuolelta otettujen näytteiden viitteellinen raekokojakauma. Mustalla on esitetty InfraRYLin 21220:K1 mukaiset eristyskerroksen alaosan ja yläosan ohjekäyräalueet.

Taulukko 20. Kohteesta V4, vaihteen V42 alueelta otettujen näytteiden hienoainespitoisuus, routivuusarvio ja viitteellisen rakeisuuden avulla määritetty maalaji.

Näyte	Hienoainespitoisuus (%)	Routiva	Maalaji
V42_1	2,7	ei	Hk
V42_2	7,3	kyllä	Hk
V42_3	3,9	ei	Hk
V42_4	48,7	kyllä	Sa
V42_5	1,7	ei	hkSr
V42_6	0,6	ei	Hk
V42_7	0,9	ei	Sr
V42_8	0,6	ei	Hk

Myös vaihteen V42 alueelta otettujen näytteiden rakeisuuksien perusteella maaperä on jonkin verran karkearakeisempaa kuin routatutkimuslomakkeen perusteella olisi voinut olettaa. Routiviksi luokiteltavia näytteitä oli vain kaksi, tosin toinen niistä (V42_4) oli savea.

5.5 Yhteenveto ratarakenteiden materiaalien tutkimuksista

Tutkimusten perusteella ratarakenteiden materiaalien ominaisuuksissa havaittiin jonkin verran poikkeamia, erityisesti eristys/välikerroksen murskeissa. Havaitut poikkeamat olivat suhteellisen vähäisiä, ja ottaen huomioon kohteet, joissa materiaaleja käytettiin, poikkeamat tuskin aiheuttavat merkittäviä ongelmia rakenteessa. Materiaalien suoritustasoilmoituksissa oli kuitenkin puutteita, joten materiaalia ei lähtökohtaisesti tulisi hyväksyä työmaalle.

Luonnonmateriaalien osalta käytetyt materiaalit olivat raekokojakaumaltaan vaatimusten mukaisia. Yhdessä materiaalissa havaittiin tutkittujen näytteiden perusteella olevan aavistuksen liian pieni raekokosuhte, joka saattaa vaikeuttaa rakennekerrosten tiivistämistä.

Routivuuden arvioinnin osalta vertailututkimuksen tulosten perusteella näyttää siltä, että tutkittujen näytteiden perusteella materiaali tulkitaan suhteellisen hyvin oikein, kun kyseessä on routimaton, karkearakeinen materiaali kuten sepeli, sora, tai sorainen hiekka. Hiekkapitoisista maista hienorakeisempiin maalajeihin siirryttäessä routatutkimuslomakkeisiin tehdyt tulkinnat ovat jopa hivenen konservatiivisia. Tämä on toki osin ymmärrettävää, sillä tulkintoihin jätetään pelivaraa, kun kairauspisteitä on keskimäärin käytössä vähän.

Jatkossa haastavammissa kohteissa, joissa maaperä näyttää kairausten perusteella vaihtelevalta ja hienorakeiselta, voisi olla hyödyksi tehdä tarkempia tutkimuksia. Toisaalta kohteissa, joissa maaperä on karkearakeista, nykyinen routakartoitus näyttää olevan riittävä toimenpide.

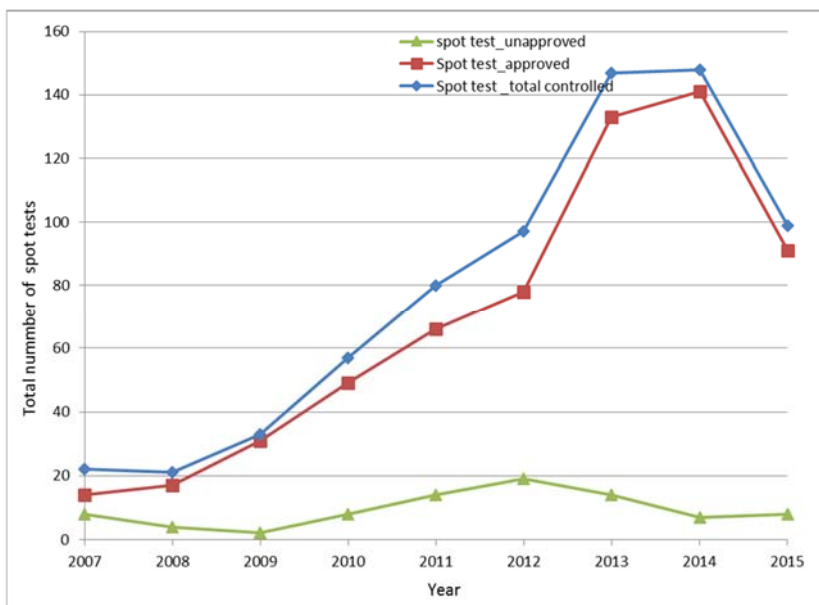
6 Suodatinkangas- ja geolujitetutkimus

Suodatinkangas- ja geolujitetutkimusta on tehty vuosina 2015 ja 2016. Tutkimus on tehty kiinteässä yhteistyössä NorGeoSpec-organisaation kanssa. Näytteitä on otettu yhteensä 20, joista 18 näytettä on otettu suodatinkankaista ja kaksi geolujitteista. Suodatinkangasnäytteistä 4 on rinnakkaisia näytteitä, jotka on joko otettu samaan aikaan, mutta lähetetty toiseen laboratorioon tutkittavaksi, tai eri aikaan ja eri paikasta samasta tuotteesta otettuja näytteitä. Suodatinkangasnäytteistä 11 on NorGeoSpec-käyttöluokan N3 kankaista, kolme näytettä on käyttöluokan N4 ja neljä näytettä on käyttöluokan N5 tuotteista. Näytteenotto kattaa 13 suodatinkangastuotetta ja yhden lujitteen.

Geolujitteita saatiin tutkimukseen vähemmän kuin haluttiin, koska kohteita on vielä melko vähän ja yleensä lujitteet toimitetaan työmaalle tarpeen mukaan eikä niitä ole työmaan varastoissa.

Tutkimuksen käynnistimenä on ollut esisijaisesti NorGeoSpec-laadunvarmistusjärjestelmän tarve työmaanäytteenotolle ja toisaalta Norjan tiehallinnon käynnistämässä omavalvonnassa todetut laadunalitukset. Norjan tiehallinto on vuodesta 2007 lähtien ottanut näytteitä tieprojekteissa käytetyistä suodatinkankaista ja testaa niistä omassa laboratoriossaan vetolujuutta (NS EN ISO10319) ja neliöpainoa (NS EN ISO 9864). Tuloksia verrataan NorGeoSpec-luokitusta varten ilmoitettuihin arvoihin. (Damtew et al 2014).

Kuvassa 37 on yhteenvetoa Norjan tiehallinnon tekemien testausten kokonaismäärästä ja vaatimukset alittaneiden tulosten määrästä vuosina 2007–2015. Testauksia on tehty eniten käyttöluokan 4 ja 3 tuotteille. Havaittujen alitusten lukumäärä on pysynyt suunnilleen samalla tasolla, vaikka testausten määrä on moninkertaistunut.



Kuva 37. Norjan tiehallinnon vuosina 2007–2015 testaamien suodatinkangasnäytteiden kokonaismäärä sinisellä, hyväksytyjen tulosten lukumäärä punaisella ja vihreällä vaatimukset alittaneiden tulosten lukumäärä (Damtew Tseday, Norwegian Public Roads Administration)

NorGeoSpec-laadunvarmistusjärjestelmään sisältyy satunnaisnäytteiden otto tehtaalta. Mikäli tehtaalla ei ole varastossa tavaraa, testaus voidaan tehdä maahantuojan varastosta tai työmaalta. Osa vuosina 2015-2016 tehdystä tutkimuksesta on Liikenneviraston omaa valvontaa ja osa on NorGeoSpec-järjestelmään kuuluvaa satunnaisnäytteenottoa. Tutkittavat tuotteet ja testattavat ominaisuudet määräytyivät sen mukaan, oliko kyseessä NorGeoSpec-järjestelmän edellyttämä pistokoenäytteenotto vai Liikenneviraston oma valvonta. Testaukset toteutettiin osittain päällekkäin laboratorioiden vertailemiseksi.

Näytteenottajat koulutettiin ennen näytteenottoa. Kaikki tutkimustulokset on tässä raportissa käsitelty nimettöminä. Geosynteettien testaukset on tehty useammassa eri laboratorioissa, jotka kaikki ovat riippumattomia eli eivät ole valmistajien laboratorioita.

6.1 NorGeoSpec-järjestelmä

Pohjoismainen NorGeoSpec-sertifiointijärjestelmä on yksi mahdollinen tapa varmistua tuotteen laadusta ja sen soveltuvuudesta tiettyyn käyttötarkoitukseen. NorGeoSpec (*Nordic system for specification and control of geotextiles in roads and other trafficked areas*) luokitus on syntynyt pohjoismaisena yhteistyönä VTT:n kehittämän, vuodelta 1993 peräisin olevan VTTGEO-luokituksen pohjalta. Luokituksen laativat SINTEF ja VTT. Työtä rahoittivat Nordic Industrial Fund, Vägverket (Ruotsi), Vegdirektoratet (Norja) ja Tiehallinto (Suomi) sekä eräät suodatinkankaiden valmistajat ja maahantuojat.

NorGeoSpec-luokitus on otettu käyttöön Suomessa Tiehallinnon kirjeellä 1.3.2005 ja se on sisällytetty kansallisiin ohjeisiin, kuten InfraRYLiin. Pohjoismainen luokitusjärjestelmä on luonut yhteismarkkinat, jonka tuotteissa voidaan huomioida alueelle ominaiset maaperä- ja ilmasto-olosuhteet. Luokitus perustuu geotekstiilien eurooppalaisille tuotestandardeille ja testimenetelmästandardeille ja on käytössä Suomen lisäksi Ruotsissa, Norjassa ja Eestissä. Järjestelmän sertifiointilaitos on SINTEF. InfraRYL:n nykyiset vaatimukset ovat luokituksesta vuodelta 2002, joka on päivitetty 2012. InfraRYL:n päivityksen yhteydessä päivitetään myös suodatinkankaiden vaatimukset, joihin on tehty vähäisiä muutoksia, NorGeoSpec 2012 versioon.

NorGeoSpec-järjestelmä koostuu kahdesta osasta, laadunvarmistussertifikaatista (*quality product certification*) ja käyttökohdekohtaisesta tuotemäärittelysertifikaatista (*quality product specification*). Laadunvalvontaosion tavoitteena on tuottajan vapaaehtoisien laadunvalvonnan kehittäminen. NorGeoSpec-sertifikaatin saaneen tuotteen valmistajan laadunvalvonta on varmistettu kolmannen osapuolen toimesta.

NorGeoSpec-käyttöluokitusta sovelletaan suodatinkankaisiin suodattamis- ja erotustoiminnoissa. Käyttöluokitus sisältää viisi fysikaalisiin, mekaanisiin ja hydraulisiin ominaisuuksiin perustuvaa suodatinkangasprofiilia (käyttöluokat N1...N5, taulukko 21) ja taulukon profiilin valinnasta pohjaolosuhteiden ja käytettävän kiviaineksen maksimiraekoon perusteella. Sertifioidut tuotteet on luetteloitu NorGeoSpecin kotisivuilla, ja tuoterullissa on merkintä sertifioinnista. NorGeoSpec-sertifikaatti on voimassa kaksi vuotta. Käyttöluokituksen ansiosta ei tarvitse hankekohtaisesti määritellä suodatinkankaan ominaisuuksia, vaan voidaan viitata käyttöluokkaan. Taulukossa 21 on esitetty suodatinkankailta InfraRYL 2010:ssa vaaditut vähimmäisominaisuudet NorGeoSpec-käyttöluokittain.

CE-merkintä on NorGeoSpec-sertifikaatin edellytys. CE-merkintäjärjestelmässä ilmoitettu laitos tarkistaa valmistajan laadunvarmistusjärjestelmän, mutta ei tuotteiden laatua. CE-merkintään sisältyy tuotteen tyyppitestausta, tehtaan ja tehtaan sisäisen laadunvalvonnan alkutarkastus sekä tehtaan sisäisen laadunvalvonnan jatkuva valvonta, arviointi ja hyväksyminen. Geotekstiilien CE-merkintä perustuu valmistajan ilmoittamiin tietoihin (vaatimuksenmukaisuus- eli AVCP-luokka 2+). Valmistaja ilmoittaa laadunvalvontansa perusteella tuotteen ominaisuudet ja niiden hajonnan.

NorGeoSpec-tuotesertifiointijärjestelmässä varmistetaan tuotteen laatu CE-merkinän toimenpiteiden lisäksi järjestämällä tehtaalta ja jälleenmyyjän varastolta tai rakennuspaikalta otettujen pistokoenäytteiden testausta. Riippumattomassa laboratorioissa tehtävien testauksien perusteella osoitetaan, että tuote täyttää määritetyn käyttöluokan mukaiset vaatimukset.

Taulukko 21. Suodatinkankaan ominaisuuksien vaaditut arvot käyttöluokittain. (InfraRYL 2010, Liite T20)

Ominaisuus	Testimenetelmä	Enimmäishajonta	95 %:n luottamusrajaa vastaavat vaaditut arvot ²⁾				
			Käyttöluokka				
			%	N1	N2	N3	N4
Vetolujuus, vähimmäisarvo, kN/m, Fa,95	SFS-EN ISO 10319	-10	6	10	15	20	26
Murtovenymä, vähimmäisarvo enimmäiskuormalla, %, εa,95	SFS-EN ISO 10319	-20	15	20	25	30	35
Reikäkoko kartiopudotuskokeessa, enimmäisarvo, mm	SFS-EN ISO 13433	20	42	36	27	21	12
Energiaindeksi ³⁾ , vähimmäisarvo, kN/m, Ra,95	SFS-EN ISO 10319		1,2	2,1	3,2	4,5	6,5
Nopeusindeksi ⁴⁾ , vähimmäisarvo, 10 ⁻³ m/s	SFS-EN ISO 11058	-30	3	3	3	3	3
Merkitsevä aukkokoko, enimmäisarvo, mm, O ₉₀	SFS-EN ISO 12956	± 30	0,2	0,2	0,2	0,15	0,15
Massan enimmäishajonta yksikköä kohti ⁴⁾	SFS-EN ISO 9864		± 12 %	± 12 %	± 10 %	± 10 %	± 10 %
Staattisen puhkaisulujuuden enimmäishajonta ⁵⁾	SFS-EN ISO 12236		- 10 %	- 10 %	- 10 %	- 10 %	- 10 %

¹⁾ Enimmäishajonta CE-merkin liitteessä tai muissa valmistajan asiakirjoissa ilmoitetulle hajonnalle. Hajontavaatimus on suositus.

²⁾ Hajontaa ei saa lisätä vaadittuihin arvoihin. Tuotteen 95 %:n luottamusrajaa vastaava arvo, joka on nimellisarvo +/- hajonta, lasketaan ja verrataan vaadittuun arvoon.

³⁾ Energiaindeksin ja sen hajonnan laskeminen esitetään InfraRYL:n liitteessä 10.

⁴⁾ Jos CE-merkissä on ilmoitettu vedenläpäisevyyden arvo, lasketaan nopeusindeksi (VIH50) kaavalla: $VIH50 = K \times 50/t$, jossa K on vedenläpäisevyys ja t on geotekstiilin paksuus, mm. Tämä riippuvuus on voimassa vain vedenläpäisevyyskokeessa, jossa veden virtaus on laminaarista.

⁵⁾ Ominaisuuksien arvoille ei aseteta vaatimusta. Hajonta, ks. huomautus 1.

NorGeoSpec-luokitettujen tuotteiden mekaanisten, fysikaalisten ja hydraulisten ominaisuuksien hajonta saa olla korkeintaan NorGeoSpec-käyttöluokituksen mukaisen maksimihajonnan suuruinen. Nämä vaatimukset on esitetty myös InfraRYLissä (taulukko 21). Ominaisuudesta riippuen sallitaan vain alitus tai ylitys tai molemmat, esimerkiksi vetolujuuden osalta maksimihajonta on -10% ja neliöpainon osalta maksimihajonta on $\pm 12\%$. Hajonnan rajoittamisella pyritään takaamaan tuotteiden tasalaatuisuus.

Testaustulosta verrataan ilmoitettuun arvoon. Jos mitattu arvo poikkeaa valmistajan ilmoittamasta arvosta vähemmän kuin käyttöluokan mukainen enimmäishajonta on, tuote hyväksytään. Jos poikkeaman arvo ylittää maksimihajonnan kerrottuna 1,5:llä, tuote hylätään. Jos poikkeaman arvo on 1...1,5-kertainen hajonnan vaatimuksen arvoon verrattuna, testataan näyte B. Jos B-näyte täyttää vaatimukset, tuote hyväksytään testatun ominaisuuden osalta. Jos B-näytteen testaustulokset eivät ole valmistajan ilmoittamien toleranssien mukaiset, tuote hylätään. Hylkäyksen jälkeen tuotteen vaatimustenmukaisuus voidaan osoittaa uudelleen toistamalla sertifiointiprosessi.

NorGeoSpec-laadunvalvontasertifikaattia voidaan soveltaa myös käytettäessä suodatinkankaita muissa käyttötarkoituksissa. Järjestelmää ollaan laajentamassa myös muihin geosynteettisiin tuotteisiin ja käyttökohteisiin. Uudessa, vuonna 2012 voimaan tullessa versiossa (NorGeoSpec 2012) on jo mukana lujitteiden laadunvalvonta.

6.2 Näytteenotto

Suodatinkankaiden ja lujitteiden näytteenotto on tehty näytteenottostandardin EN ISO 9862 – Geosynthetics: Sampling and preparation of test specimens ja NorGeoSpec-ohjeistuksen mukaisesti. Näytteenotto etenee seuraavasti:

1. Työmaalla tai varastossa olevat tuotteet katselmoidaan ja rullien määrä sekä kunto dokumentoidaan. Esimerkiksi kuvassa 38 olevat suodatinkangasrullat on varastoitu kuivalle alustalle, mutta muutaman rullan suojamuovit ovat repeytyneet rullia käsiteltäessä. Suojamuovi suojaa tuotteita likaantumiselta ja UV-säteilyltä, joten tuotteita tulisi käsitellä varoen.
2. Rullissa olevat merkinnät tarkistetaan. Jokaisesta rullasta tulee löytyä tuotteen CE-merkintätiedot sekä tuotteen yksilöivä tunniste, käytännössä rullanumero.
3. Näytteenottoon valitaan kaksi rullaa (A- ja B-näyte). Rullat pyritään valitsemaan siten, että niiden rullanumerot poikkeavat toisistaan mahdollisimman paljon. Näytteenottoa varten suodatinkankaita tulisi olla varastossa 10 avamatonta rullaa ja geolujitteita kuusi rullaa.
4. Näyte otetaan aina täydestä rullasta. Rullan alusta leikataan pois vähintään kaksi täyttä kierrosta, jotta esim. kuljetuksen aikana tulleet vauriot karsitaan pois testikappaleista. Tämän jälkeen otetaan varsinainen näyte, joka on koko rullan levyinen. Suodatinkangasnäytteen pituus on viisi metriä ja geolujitteen kaksi. Näytteet pyritään ottamaan siten, että ne pysyvät mahdollisimman puhtaina.
5. Otetut näytteet merkitään. Merkinnästä käy ilmi rullan pituus- eli konesuunta (MD) ja poikkileikkaussuunta eli konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta (CMD), tuotteen valmistaja, tuotemerkki, rullan numero, näytteenottoaika ja -päivämäärä sekä näytteenottaja. Vastaavat merkinnät dokumentoidaan myös näytteenottolomakkeeseen. Lomakkeeseen kirjataan lisäksi tehdyt havainnot kuten likaisuus, kosteus, suojamuovien ehjyys jne.
6. Tuotteet pakataan ja lähetetään laboratorioon tutkittaviksi. Tuotteet pakataan UV-suojattuun muoviin.

Näytteistä tutkitaan lähtökohtaisesti A-näyte. B-näyte tutkitaan, mikäli A-näytteen testituloksista havaitaan poikkeama, joka on 1–1,5 kertaa valmistajan ilmoittama toleranssi. Mikäli poikkeama on suurempi, ei B-näytettä voida tutkia.

Näytteitä otettiin kesällä 2015 yhteensä 12 tuotteesta, joista 11 oli suodatinkankaita ja 1 lujitteita. Kesällä 2016 näytteitä otettiin viidestä suodatinkankaasta ja yhdestä lujitteesta.



Kuva 38. Suodatinkankaita työmaan varastossa.

6.3 Testausmenetelmät

Suodatinkankaiden ja geolujitteiden ominaisuudet määritettiin taulukon 4 mukaisilla menetelmillä. Lujitteesta tutkittiin pelkästään vetolujuus (EN ISO 10319) ja elementtien ja aukkojen mitat NorGeoSpecin ohjeiden mukaisesti (NorGeoSpec 2012).

Vuonna 2015 tutkituista 9 suodatinkankaasta testattiin seuraavat ominaisuudet:

- neliöpaino EN ISO 9864
- vetolujuus EN ISO 10319
- merkitsevä aukkokoko EN ISO 12956

Lisäksi tutkittiin neljästä suodatinkankaasta, joista kaksi oli samoja kuin edellä, eri tutkimuslaboratoriossa seuraavat ominaisuudet:

- neliöpaino EN ISO 9864
- paksuus EN ISO 9863-1
- vetolujuus EN ISO 10319
- kartiopudotuskoe EN ISO 13433

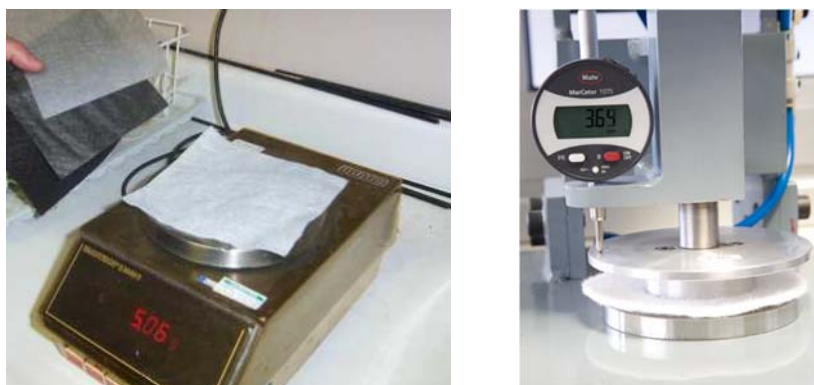
Vuonna 2016 tutkittiin viisi suodatinkangastuotetta, joista tutkittiin vain neliöpaino ja vetolujuus em. menetelmillä. Näistä yksi oli sama tuote, joka testattiin jo vuonna 2016, mutta eri laboratoriossa. Näytteistä osa otettiin maahantuojan varastosta. Yhdestä valmistajan varastosta otetusta rinnakkaisnäytteestä (GT13.2) tutkittiin lisäksi:

- staattinen puhkaisulujuus CBR EN ISO 12236
- kartiopudotuskoe EN ISO 13433
- merkitsevä aukkokoko EN ISO 12956
- läpäisevyys EN ISO 11058

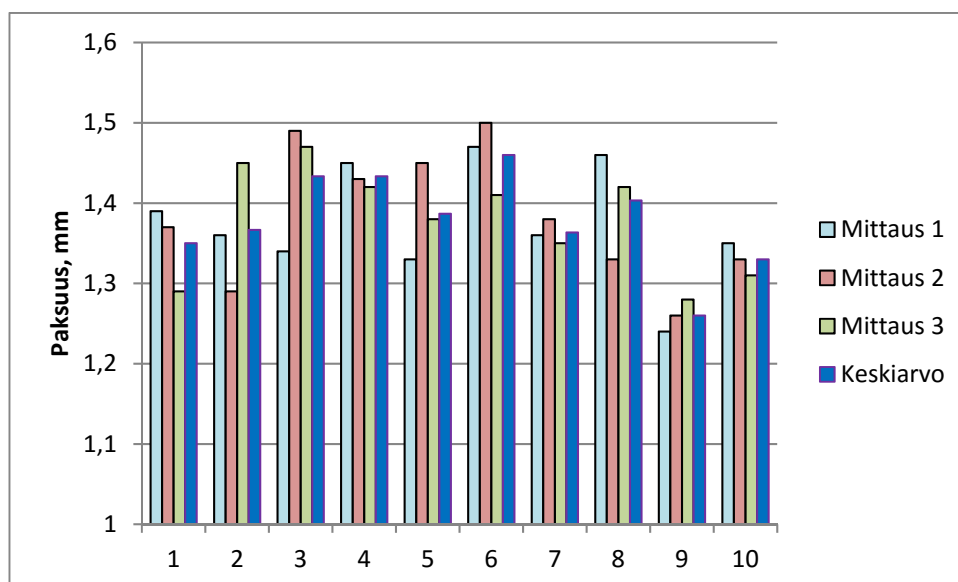
Määritykset tehdään standardin ISO 554 mukaisissa olosuhteissa ($20 \pm 2^\circ\text{C}$, RH $65 \pm 5\%$) vähintään 24 tuntia säilytetylle näytteelle.

Neliöpaino (EN ISO 9864) määritetään punnitsemalla kymmenen vakio-olosuhteissa säilytettyä ja vakiokokoon (100 cm²) leikattua testinäytettä. Tuloksena ilmoitetaan mittaustulosten keskiarvo kokonaislukuna (g/m²). Kuvassa 39 on esitetty mittauksen periaate. Neliöpaino kuvaa tuotteen tasalaatuisuutta ja korreloi useimpien ominaisuuksien kanssa. Neliöpaino kertoo, kuinka paljon tuotteen valmistamiseen on käytetty raaka-aineita. Neliöpaino on merkitsevä ominaisuus, kun tuotetta käytetään suojaamiseen.

Suodatinkankaan paksuus (EN ISO 9863-1) määritetään mittaamalla yksitellen $2 \pm 0,01$ kPa vakiopaineessa kymmenen neliön tai ympyrän muotoisen testinäytteen paksuus. Mittaus tehdään kolmella näytesarjalla. Kuvassa 39 on esimerkki käytettävästä mittaustuloksesta ja kuvassa 40 on esimerkki erään näytteen mittaustuloksista. Paksuus on merkitsevä ominaisuus, kun tuotetta käytetään veden tai kaasun johtamiseen tuotteen tasossa, suojaamiseen tai suodattamiseen.



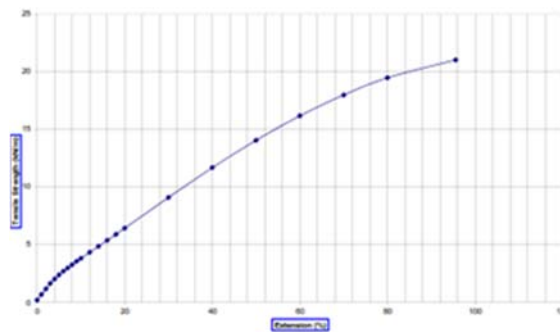
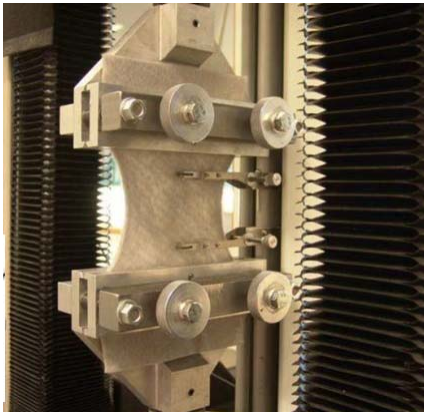
Kuva 39. Geotekstiilin neliöpainon mittaus vasemmalla (© GRI) ja oikealla geotekstiilin paksuuden mittalaite (©Edilfloor).



Kuva 40. Esimerkki geotekstiilin paksuuden mittaustuloksista. Tuloksena ilmoitetaan kymmenen testinäytteen kolmen mittauksen keskiarvo.

Vetolujuus kuvaa tuotteen kestävyyttä asennuksen ja käytön aikaisia kuormituksia vastaan. Suodatinkankaiden vetolujuuden määrittäminen (kuva 41) tehdään standardin ISO 10319 mukaan vetämällä 200 mm leveää näytettä erikoisvalmisteisilla 100 mm etäisyydellä toisistaan olevilla leuoilla vakio- ja muutosnopeudella 20 ± 5 %/minuutti. Testi tehdään konesuunnassa (MD) ja konesuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (CMD). Näytteitä testataan vähintään viisi testinäytettä molemmissa suunnissa. Näytteet säilytetään vakio-olosuhteissa ennen testausta. Tuloksena ilmoitetaan vetolujuuden keskiarvo (kN/m) ja vastaava murtovenymä (%).

Lujitteiden vetolujuus määritetään saman standardin mukaisesti. Lujitteilla murtolujuuden lisäksi ilmoitetaan lujuus eri venymän arvoilla ja nimellislujuutta vastaava venymä.



Kuva 41. Esimerkki suodatinkankaiden vetolujuuden koejärjestelystä (©Tseday Damtev) ja esimerkki vetokokeen tuloskuvaajasta (vaaka-asteikolla venymä prosentteina ja pystyasteikolla vetolujuus kN/m).

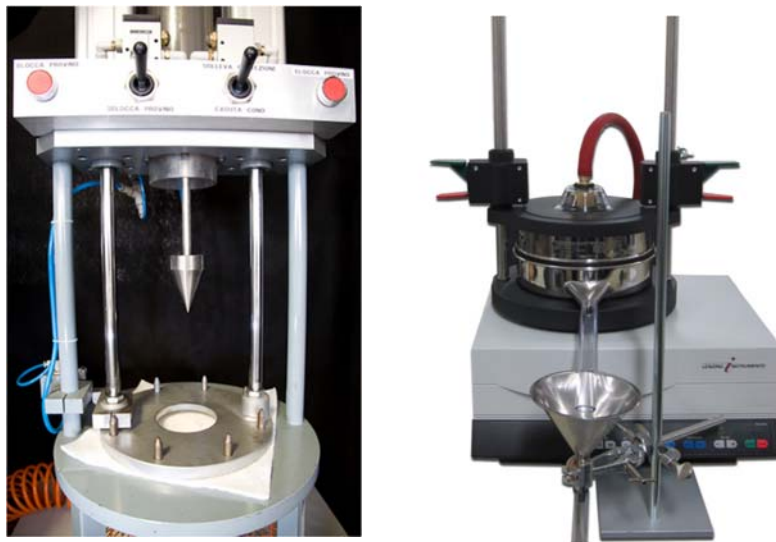
Puhkaisulujuus kuvaa tuotteen kestävyyttä erilaisten esineiden kuten kivien tunkeutumisesta vastaan. Suodatinkankaiden staattinen puhkaisulujuus määritetään EN ISO 12236 viidestä testinäytteestä. Testissä mitataan pyöreään kehykseen asetetun geotekstiilinäytteen venymää, kun sitä kuormittaa sylinterin muotoinen teräsmäntä (ns. CBR-mäntä), jonka halkaisija on $50 \pm 0,5$ mm. Mäntää työnnetään nopeudella 50 ± 5 mm/min kankaan läpi. Kehyksen sisäpuolella olevan kankaan halkaisija on $150 \pm 0,5$ mm. Kankaan venymää aletaan mitata 20 N esikuormituksen jälkeen. Kokeen tuloksena saadaan kankaan läpäisyyden tarvittava voima (kN) ja sitä vastaava venymä millimetrin tarkkuudella. Kuvassa 42 on esimerkki testauslaitteistosta.



Kuva 42. Esimerkki suodatinkankaiden staattisen puhkaisulujuuden testauslaitteistosta (© Zwick Roell).

Suodatinkankaiden dynaaminen puhkaisulujuus määritetään EN ISO 13433 mukaan kartiopudotustestillä (kuva 43). Testissä 1 kg painoinen kartio pudotetaan vakio- korkeudelta (500 mm) pyöreään kehukseen asetettuun kangasnäytteeseen. Testi tehdään vähintään viidelle testinäytteelle. Tuloksena ilmoitetaan kartion aikaansaaman reiän halkaisija millimetrin tarkkuudella.

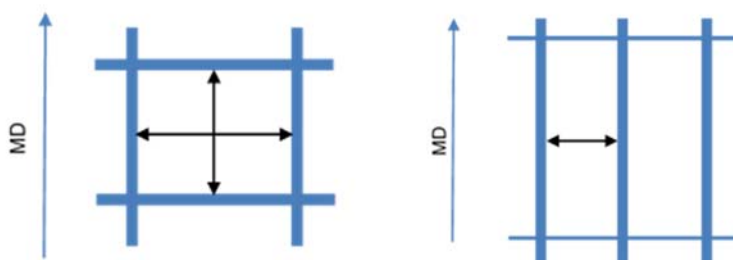
Suodatinkankaiden merkitsevä huokoskoko kuvaa kankaan kykyä toimia suodattimena eli toisaalta läpäistä vettä ja toisaalta pidättää tietyn kokoisia partikkeleita. Merkitsevä aukkoko määritetään standardin SFS-EN ISO 12956 mukaan vähintään kolmella rinnakkaisella testillä. Testissä rakeisuudeltaan tunnettua materiaalia pestään yhden geotekstiilikerroksen läpi, minkä jälkeen määritetään geotekstiilikerroksen läpi menneen materiaalin raekokojakauma seulomalla. Merkitsevä aukkoko O_{90} on rakeisuus- käyrältä määritetty 90 % läpäisyä vastaava raekoko. Testi antaa siis yksittäisen arvon eikä kuvaa huokoskojen jakaumaa. Kuvassa 43 on esitetty esimerkki testauslaitteis- tosta.



Kuva 43. Esimerkki suodatinkankaiden dynaamisen puhkaisulujuuden määrittä- mislaitteistosta vasemmalla (© Edilfloor) ja oikealla merkitsevän huokos- koon määrittäislaitteistosta (© Lenzing-instruments).

Suodatinkankaan läpäisevyys kankaan tasoa vastaan kohtisuoraan määritetään stan- dardin EN ISO 11058 mukaan viidestä testinäytteestä mittasellissä, jonka halkaisija on vähintään 50 mm.

Geolujitteiden dimensiot määritetään NorGeoSpec-ohjeistuksen mukaisesti (Nor- GeoSpec 2012, Annex H). Testiä varten leikataan vähintään viisi 200 x 200 mm kokoista kappaletta. Kappaleista määritetään lujite-elementtien leveys ja paksuus sekä ele- menttien väliin jäävän aukon koko kuvassa 44 esitetyn mukaisesti. Testi tehdään kone- suunnassa (MD) ja konesuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (CMD). Tuloksena ilmoitetaan mittojen keskiarvo.



Kuva 44. Geolujitteiden aukkokoon määrittäminen; vasemmalla kaksiakselinen geoverkko ja oikealla yksiakselinen geoverkko (NorGeoSpec 2012).

6.4 Tulokset

Näytteitä on testattu satunnaisesti neljässä eri laboratoriossa.

Geotekstiilin paksuudelle ei ole asetettu vaatimuksia. Muiden tulosten osalta tuloksia verrataan tuotteen valmistajan NorGeoSpec-sertifikaattia varten ilmoittamaan nimellisarvoon (*declared value*) ja hajontaan (*maximum tolerances*). Ilmoitettujen arvojen tulee perustua valmistajan laadunvalvontatuloksiin. Ominaisuuksien hajonnan tulee täyttää taulukossa 21 esitetyt vaatimukset.

Alla oleviin taulukoihin on merkitty punaruskealla värillä, mikäli tulos poikkeaa NorGeoSpec-sertifikaatissa ilmoitetusta toleranssista yli 1,5 kertaa, jolloin tuotteen laatua ei voida osoittaa B-näytteellä. Poikkeamat, joissa B-näytteen tutkiminen on ollut mahdollista eli tulos poikkeaa ilmoitetusta toleranssista 1–1,5 kertaa, on merkitty keltaisella värillä. Valkoisten ruutujen tulokset ovat ilmoitettujen toleranssien sisällä. Eri laboratoriossa samasta tuotteesta tehtyjen testausten tulokset on esitetty näytenimen kakkostason numeroinnilla. B-näyte on otettu eri rullasta, mutta testataan samassa laboratoriossa kuin A-näyte. Niiden osalta tulokset on esitetty taulukossa tunnisteella B.

Taulukossa 22 on esitetty neljän tutkitun geotekstiilin paksuudet ja tulosten hajonta. Tulos koostuu kolmesta mittaussarjasta, joissa jokaisessa mitataan 10 testinäytteen arvo. Hajonnan suuruus kuvaa tuotteen laadun vaihtelua.

Taulukko 22. Geotekstiilinäytteiden paksuus (EN ISO 9863-1).

Näyte	Tulos, mm	Yksittäisen testinäytteen minimiarvo, mm	Yksittäisen testinäytteen maksimiarvo, mm	Standardihajonta	CV, %
GT2.1	1,24	1,09	1,35	0,08	6,61
GT3.2	1,36	1,23	1,48	0,08	5,61
GT4.1	0,87	0,81	0,91	0,03	3,49
GT8.1	1,38	1,26	1,46	0,06	4,25

Neliöpainoa ei edellytetä geotekstiilien CE-merkinnässä, mutta NorGeoSpec-sertifikaattia varten se edellytetään, sillä se kuvaa tuotteen tasalaatuisuutta ja korreloi useimpien ominaisuuksien kanssa. NorGeoSpec-järjestelmässä sallitaan neliöpainolle käyttöluokassa N2 ja N3 $\pm 12\%$ toleranssi ja käyttöluokassa N4 ja N5 $\pm 10\%$ toleranssi.

Taulukossa 23 on esitetty tutkittujen suodatinkankaiden neliöpainot (EN ISO 9864). Laboratoriot ovat käyttäneet neliöpainon määrittämisessä eri kokoisia testinäytteitä, millä on tulosten perusteella jonkin verran vaikutusta. Tulosten perusteella yksi tut-

kittu näyte (GT4.1.) alittaa vähän neliöpainovaatimuksen, mutta muiden samasta tuotteesta tehtyjen määritysten perusteella ja B-näytteen perusteella neliöpaino on vaatimuksen mukainen. Myös näytteestä GT2.1 testattiin B-näyte testausraportissa esitetyn suurehkon hajonnan takia, vaikka keskimääräinen tulos täytti vaatimuksen, samoin kuin saman tuotteen toisessa laboratorioissa tutkittu näyte.

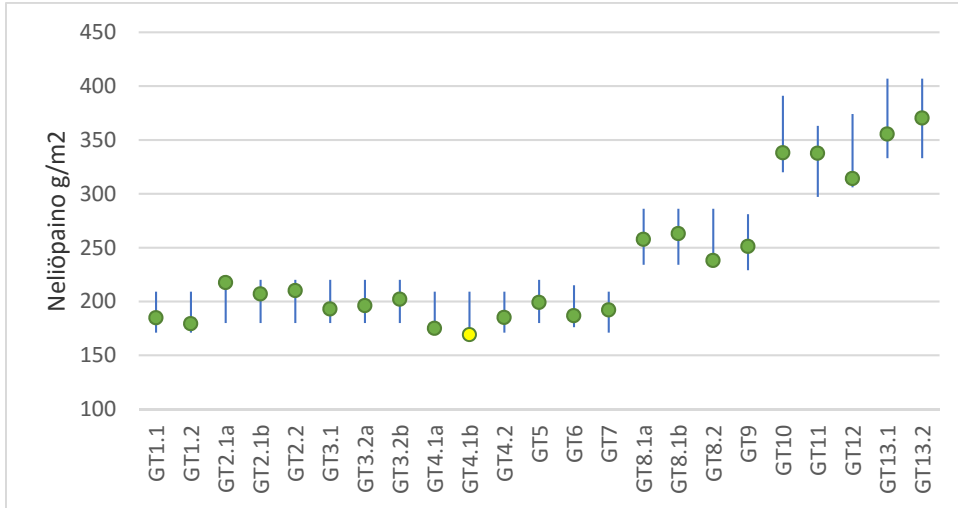
Kuvassa 45 on esitetty yhteenveto tutkittujen näytteiden neliöpainoista (kymmenen osanäytteen keskiarvo standardin EN ISO 9864 mukaisesti) ja valmistajan NorGeoSpec-luokitusta varten ilmoittama vaihteluväli. Rinnakkaisten, eri testinäytekokoa tehtyjen määritysten tulokset on esitetty kirjaimin a...b.

Taulukossa 24 on esitetty suodatinkankaiden vetolujuudet ja sitä vastaava venymä (EN ISO 10319). Tulosten perusteella vetolujuusvaatimus alittuu jommassakummassa suunnassa kahdeksalla tuotteella. Yhdellä tuotteella alittuu vain venymävaatimus. Kolmella näytteellä alitus on alle 1,5 kertaa ilmoitettu toleranssi eli on voitu tutkia B-näyte. Niiden osalta tulokset on esitetty samassa taulukossa tunnisteella B.

Kuvassa 46 on esitetty yhteenveto tutkittujen näytteiden vetolujuuksista rullan pituus-suunnassa eli koneen suunnassa (MD machine direction) ja rullan poikkisuunnassa eli konesuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (CMD cross machine direction) (EN ISO 10319) sekä valmistajan NorGeoSpec-luokitusta varten ilmoittamat minimiarvot. Kuvassa 47 on esitetty vastaavat venymätulokset.

Taulukko 23. Geotekstiilinäytteiden neliöpaino eri testinäytekoolla määritettynä.

Näyte	Neliöpaino g/m ² , testinäytteen koko			
	100 cm ²	314 cm ²	400 cm ²	2500 cm ²
GT1.1	185			
GT1.2	179			
GT2.1			217	207
GT2.1B			190	191
GT2.2			210	
GT3.1			193	
GT3.2			196	202
GT4.1			175	169
GT4.1B			209	192
GT4.2		185		
GT5			199	
GT6	187			
GT7	192			
GT8.1			258	263
GT8.2	238			
GT9	251			
GT10			338	
GT11	338			
GT12		314		
GT13.1	355			
GT13.2	370			



Kuva 45. Tutkittujen geotekstiilinäytteiden neliöpainot ja NorGeoSpec-luokitusta varten ilmoitettu vaihteluväli.

Taulukko 24. Geotekstiilinäytteiden vetolujuus ja venymä (EN ISO 10319). Näytteet GT1-GT7 kuuluvat käyttöluokkaan N3, näytteet GT8 ja GT9 luokkaan N4 ja GT10-GT13 luokkaan N5.

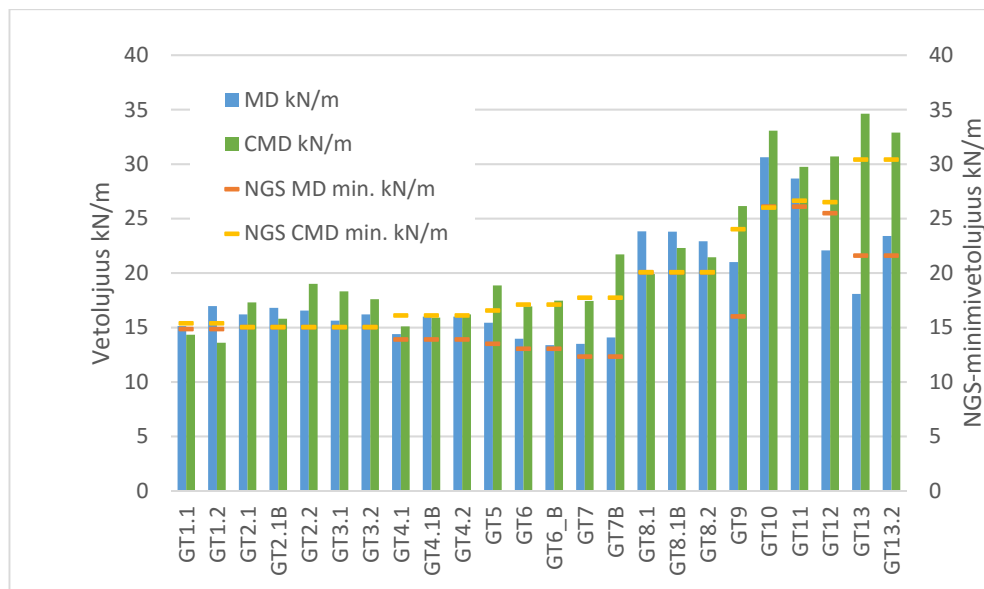
Näyte	Vetolujuus		Venymä	
	Konesuunta MD	Konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta CMD	Konesuunta MD	Konesuuntaa vastaan kohtisuora suunta CMD
	kN/m	kN/m	%	%
GT1.1	15,1	14,3	41,7	45,7
GT1.2	17,0	13,6	38,1	47,5
GT2.1	16,2	17,3	39,6	40,3
GT2.1B	16,8	15,8	41,2	41,9
GT2.2	16,6	19,0	50,1	50,4
GT3.1	15,6	18,3	46,1	44,9
GT3.2	16,2	17,6	38,6	39,1
GT4.1	14,4	15,1	35,5	58,1
GT4.1B	16,0	15,9	48,2	59,4
GT4.2	16,0	16,2	47,9	64,9
GT5	15,4	18,9	56,6	61,7
GT6	14,0	16,9	54,6	55
GT6_B	13,4	17,5	61,4	62,4
GT7	13,5	17,4	91,6	31,1
GT7B	14,1	21,7	102,0	30,5
GT8.1	23,8	19,9	37,7	49,9
GT8.1B	23,8	22,3	44,7	55,7
GT8.2	22,9	21,5	51,9	59,1
GT9	21,0	26,1	95,6	30,9
GT10	30,6	33,1	44,9	46,4
GT11	28,7	29,8	50	47,4
GT12	22,1	30,7	57,4	60,2
GT13.1	18,1	34,6	94,1	47,5
GT13.2	23,4	32,9	105,5	51

Tuote GT1 alitti vaatimukset molempien näytteiden perusteella eikä B-näytteen testaaminen ollut mahdollista. NorGeoSpec-järjestelmän kautta otettiin yhteyttä valmistajaan ja kerrottiin tulos toimenpiteitä varten.

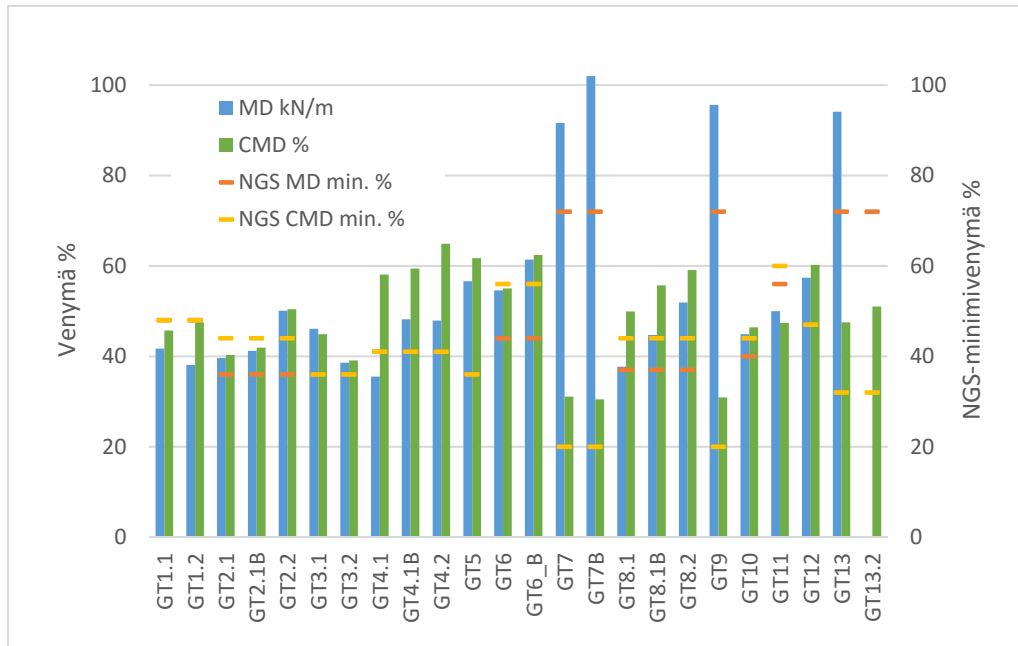
Tuotteesta GT2 tehtiin rinnakkaisia määryksiä kahdessa laboratoriossa, joista toisessa saatiin vetokokeessa tulokseksi vaatimukset alittava venymä. B-näytteen tulos on suunnilleen samaa luokkaa. Toisen laboratorion tulokset täyttivät vaatimukset.

Näytteestä GT4.1 testattiin B-näyte, vaikka todetut alitukset olivat suurempia kuin 1,5 kertaa toleranssi, sillä rinnakkaisesta näytteestä GT4.2 saatiin toisessa laboratoriossa hyväksytty tulos. B-näytteen poikkisuuntainen venymä ei täyttänyt vaatimusta, mutta oli kuitenkin 1,5 kertaa toleranssin rajoissa.

Näytteillä GT7, GT6 ja GT8 alitus oli vähäinen, joten B-näytteen testaaminen oli mahdollista ja niiden tulokset täyttivät vaatimukset. Näytteillä GT11, GT12 ja GT13.1 todettu alitus oli sen verran suuri, ettei B-näytteen testaaminen ollut mahdollista, joten niiden osalta otettiin yhteyttä valmistajaan toimenpiteitä varten. Tuotteesta GT13 otettiin laadun varmistamiseksi myöhemmin uusi näyte GT13.2 valmistajan varastosta ja sen tulos täytti vaatimukset.

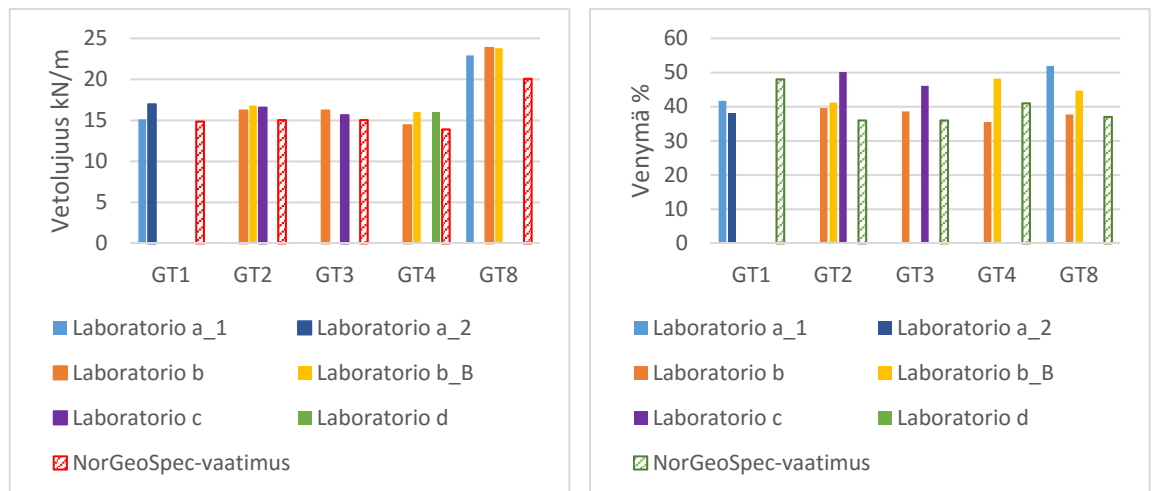


Kuva 46. Tutkittujen geotekstiilinäytteiden vetolujuus rullan pituussuunnassa eli koneen suunnassa (MD) ja rullan poikkisuunnassa (CMD) sekä vastaavat NorGeoSpec-luokitusta varten ilmoitetut minimiarvot. Jos kuvaajassa näkyy vain toinen minimiarvoista, se tarkoittaa, että arvo on sama molemmissa suunnissa.

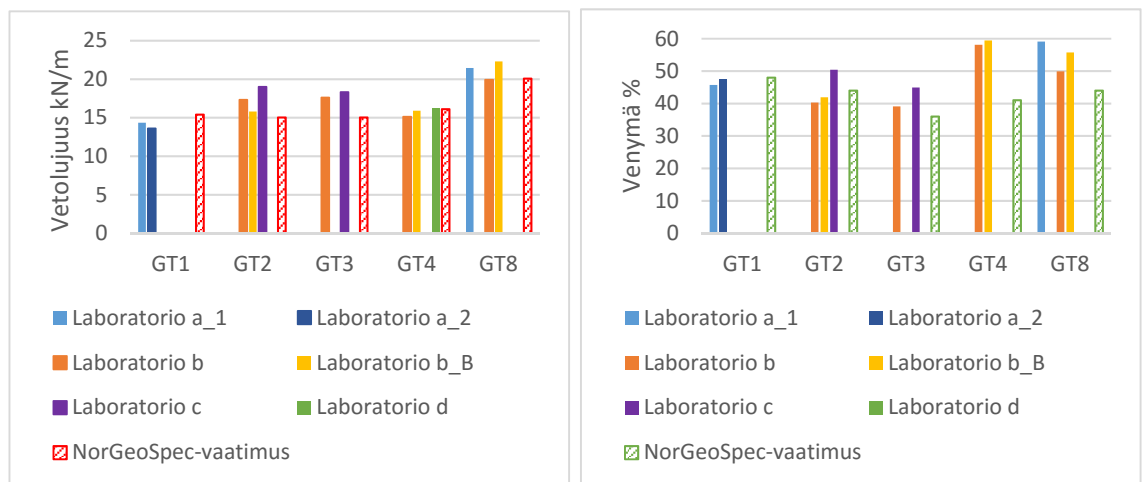


Kuva 47. Tutkittujen geotekstiilinäytteiden vetomurtolujuutta vastaava venymä rullan pituussuunnassa eli koneen suunnassa (MD) ja rullan poikkisuunnassa (CMD) ja sekä vastaavat NorGeoSpec-luokitusta varten ilmoitetut minimiarvot. Jos kuvaajassa näkyy vain toinen minimiarvoista, se tarkoittaa, että arvo on sama molemmissa suunnissa.

Kuten tuloksista voi havaita, tuotteiden laadussa voi olla valmistustavasta johtuvaa vaihtelua, joka vaikuttaa testaustulokseen. Osa eroista selittyy myös laboratoriomenetelmien mittaustarkkuudella. Kuvissa 48 ja 49 on esitetty yhteenveto samasta tuotteesta eri laboratorioissa tehtyjen vetokokeiden tuloksista. Kahdesta tuotteesta otetuista näytteistä otettiin vuonna 2015 rinnakkaisia näytteitä, jotka toimitettiin kahteen eri laboratorioon tutkittavaksi. Rinnakkaiset näytteet otettiin samoista rullista. Lisäksi vuonna 2016 otettiin näyte sellaista tuotteesta (GT3), joka on tutkittu jo vuonna 2015 eri laboratorioissa.

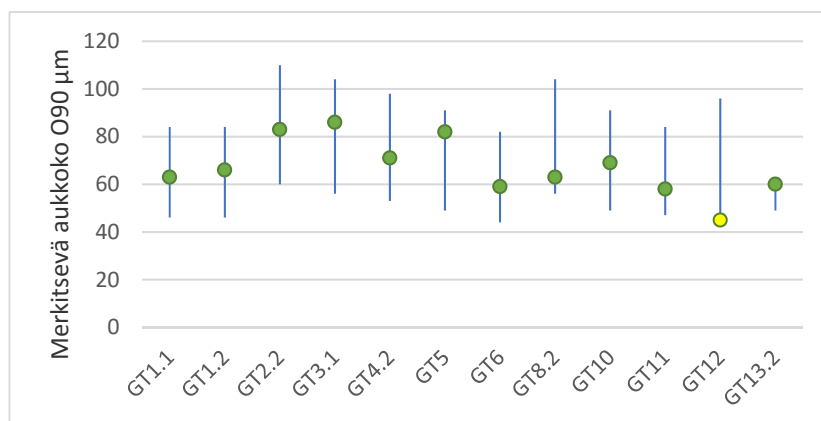


Kuva 48. Eri laboratorioissa tutkittujen rinnakkaisnäytteiden vetolujuustulosten ja vastaavien venymien vertailu, konesuunnassa (MD).



Kuva 49. Eri laboratorioissa tutkittujen rinnakkaisnäytteiden vetolujuustulosten vertailu, konesuuntaa vastaan kohtisuorassa suunnassa (CMD).

Yhdestätoista näytteestä tutkittiin merkitsevä aukkoko. Yhden näytteen GT12 tulos ei täyttänyt vaatimusta, mutta B-näytettä ei tutkittu, koska kyseinen tuote hylättiin vetokokeen perusteella. Tulokset on esitetty taulukossa 25 ja kuvassa 50.



Kuva 50. Yhteenveto tutkittujen geotekstiilien merkitsevistä aukkokoosta ja luokitusta varten ilmoitetusta vaihteluvälistä.

Taulukko 25. Tutkittujen geotekstiilinäytteiden merkitsevä aukkokoko (EN ISO 12956).

Näyte	Tulos μm
GT1.1	63
GT1.2	66
GT2.2	83
GT3.1	86
GT4.2	71
GT5	82
GT6	59
GT8.2	63
GT10	69
GT11	58
GT12	45
GT13.2	60

Viidestä näytteestä tutkittiin kartiopudotuskokeella dynaaminen puhkaisulujuus ja yhdestä näytteestä staattinen puhkaisulujuus ja läpäisevyys. Tulokset ja vastaava Nor-GeoSpec-sertifikaatin vaatimus on esitetty taulukossa 26. Tulokset täyttävät vaatimukset.

Taulukko 26. Geotekstiilinäytteiden dynaamisen ja staattisen puhkaisukokeen sekä läpäisevyyskokeen tulokset. NA: ei määritetty

Näyte	Kartiopudotuskoe, kartion tunkeuma (mm)	Staattinen puhkaisukoe, CBR		Läpäisevyys
		puhkaisuvoima, N	venymä, mm	VH50 m/s
GT2.1	16	NA	NA	Na
GT3.2	15,8	NA	NA	NA
GT4.1	17,4	NA	NA	NA
GT8.1	11	NA	NA	NA
GT13.2	12	4701	52	0,041

Taulukkoon 27 on koottu geolujitteille tehtyjen testien tulokset. Toisesta näytteestä oli raportissa esitetty myös 2%, 3%, 4% ja 5% venymää vastaavat lujuudet sekä nimellisuutta vastaava venymä, toisen laboratorion raportissa ne pitää määrittää vetokokeen kuvaajasta. Molemmat näytteet olivat vaatimusten mukaisia. Testaukseen valikoituneet näytteet olivat itse asiassa samasta tuotteesta. Näytteet otettiin eri työmailta, eri vuonna ja testattiin eri laboratoriossa. Näytteistä on testattu myös Nor-GeoSpec-järjestelmän määritysten mukaisesti tuotteen elementtien mitat. Määritysten tulokset on esitetty taulukossa 28.

Taulukko 27. Tutkittujen geolujitenäytteiden vetokokeen tulokset. MD: koneen suunta eli rullan pituussuunta ja CMD koneen suuntaa vasten kohtisuora

Näyte	Vetolujuus kN/m		Venymä %	
	MD	CMD	MD	CMD
GL1	36,0	41,9	6,4	8,6
GL2	34,1	37,3	7,6	7,7

Taulukko 28. Tutkittujen geolujitenäytteiden elementtien mitat. MD: koneen suunta eli rullan pituussuunta ja CMD koneen suuntaa vasten kohtisuora suunta.

Näyte	Elementin leveys MD	Elementin leveys CMD	Elementin paksuus MD	Elementin paksuus CMD	Aukon koko MD	Aukon koko CMD
	mm	mm	mm	mm	mm	mm
GL1	7,4	7	0,9	0,8	32,4	34,6
GL2	7,3	7,1	0,81	0,8	33,5	31,7

6.5 Yhteenvedo geosynteettien tutkimuksista

Tutkimus kattoi 13 suodatinkangastuotetta ja yhden lujitteen. Tutkituissa suodatinkangasnäytteissä havaittiin laadunalituksia yli puolessa tutkituista tuotteista. Pääosa alituksista todettiin vetokokeen tuloksissa. Osassa laatuallitukset olivat vähäisiä, ja testattujen B-näytteiden perusteella tuotteet olivat vaatimusten mukaisia. Kuitenkin yksi kolmasosa tuotteista poikkesi vähintään yhden testatun ominaisuutensa osalta niin merkittävästi, että tuote sai NorGeoSpec-järjestelmän mukaan hylätyn arvion. Yleensä tällöin poikkeamat olivat myös niin suuria, että tuote edustaa alemmaa käyttöluokkaa.

Molemmat testatut geolujitenäytteet olivat vaatimusten mukaisia. Näytteet edustivat samaa tuotetta.

Mikäli työmaalta otetun näytteen testauksessa todetaan hylkäykseen johtava laatuvaatimusten alitus, otetaan työmaaolosuhteet ja varastointi huomioon siten, ettei tulos johda suoraan sertifikaatin hylkäämiseen. Sen sijaan NorGeoSpec-audittoija tarkistaa valmistajan valmistuksen aikaiset laadunvalvontatiedot ja ottaa valmistajan tai maahantuojan varastosta uuden satunnaisnäytteen, joka testataan NorGeoSpec-testauslaboratoriossa. Saatujen tulosten perusteella NorGeoSpec joko säilyttää tai evää tuotteen NorGeoSpec-sertifikaatin.

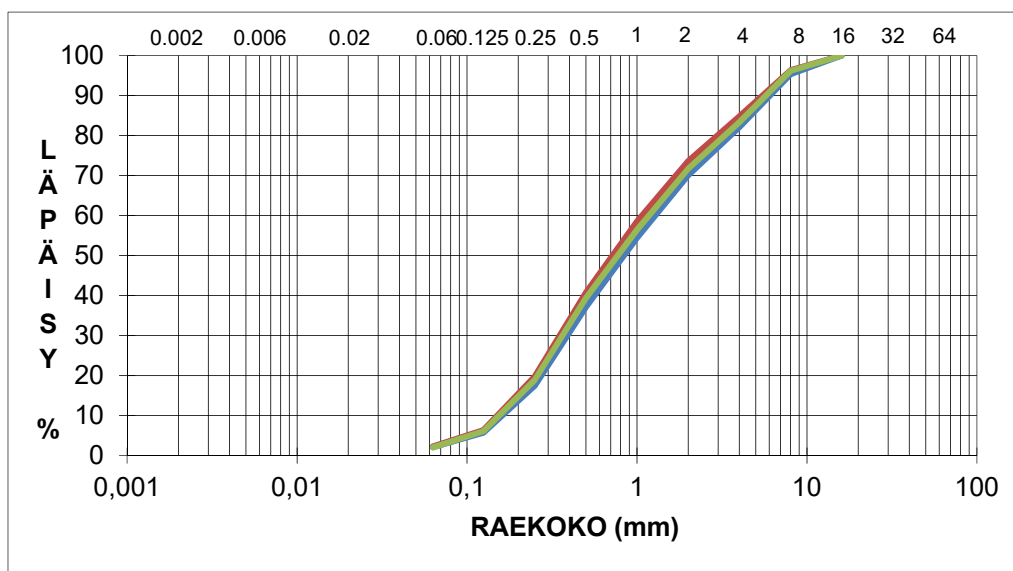
Vaikka poikkeamia havaittiin kolmasosassa tuotteita, ei tilanne poikkea oleellisesti esimerkiksi Norjasta, missä paikallinen tieviranomais on testannut suodatinkankaita omassa laboratoriossaan vuodesta 2007 lähtien (Damtew et al 2014). Siellä havaittiin aluksi laadunalituksia suunnilleen saman verran kuin nyt Suomessa, mutta testaustoiminnan ansiosta laadunalitusten määrä on saatu laskemaan noin 10–15 % tasolle. Jatkamalla testaustoimintaa Suomessa saavutetaan todennäköisesti myös Suomessa samankaltainen vaikutus. NorGeoSpec jatkaa suodatinkankaiden ja geolujitteiden näytteenottoa työmaita Suomessa ja muissa Pohjoismaissa myös vuonna 2017.

7 Pohjavedensuojausmateriaalien tutkimus

Vuonna 2016 tehtiin pohjavedensuojausmateriaalien näytteenottoa yhdessä kohteessa. Näytteitä otettiin salaojakerroksesta, bentoniittimatosta ja suojaverhousmateriaalista. Suoja- ja salaojakerroksesta sekä suojaverhousmateriaaleista otetuista näytteistä testattiin materiaalin rakeisuus. Bentoniittimattonäytteistä testattiin maton ja bentoniitin neliöpaino sekä bentoniitin paisumisindeksi. Kaikista pohjavedensuojausrakenteen osista otettiin kolme rinnakkaisnäytettä.

7.1 Salaojakerros

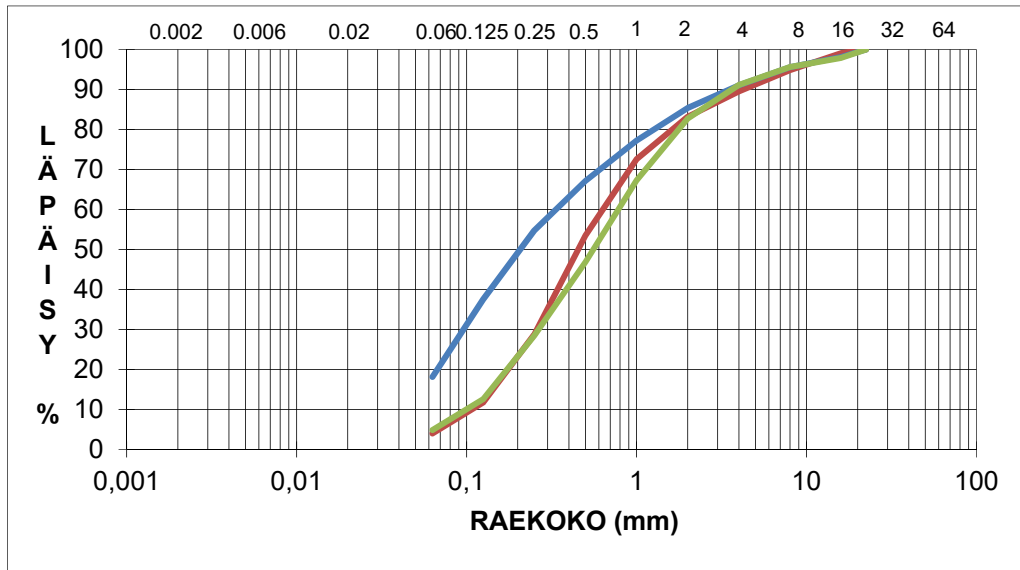
Salaojakerroksesta otettujen näytteiden rakeisuudet on esitetty kuvassa 51. InfraRYL 2010 14231.1.3.2 mukaan suoja- ja salaojakerroksen materiaalin hienoainespitoisuus (0,063 mm seulan läpäisy) saa olla enintään 4 %. Maksimiraekoko saa olla 22 mm, kun 2 mm:n seulan läpäisy on vähintään 70 %, ja enintään 12 mm, kun 2 mm:n seulan läpäisy on 30...70 %. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali täyttää vaatimukset.



Kuva 51. Suoja- ja salaojankerroksen materiaalista otettujen näytteiden raekokojakaumat ($n=3$).

7.2 Suojaverhous

Suojaverhousmateriaalina tulee käyttää InfraRYL 2010 14231.1.3.1 mukaan kitkamaata, jonka enimmäisraekoko on 100 mm, kuitenkin enintään 1/3 suojaverhouksen paksuudesta. Materiaalin hienoainespitoisuus (0,063 mm seulan läpäisy) saa olla enintään 50 %. Kohteessa käytetty suojaverhouskerroksen paksuus oli vähintään 400 mm, joten käytettävän materiaalin maksimiraekoko saa olla 100 mm. Otetuissa näytteissä havaittiin muutama yksittäinen suurempi kivi, halkaisijaltaan 70–100 mm. Tutkitut näytteet eivät välttämättä täysin edusta koko materiaalin rakeisuutta, sillä yksittäisten kivien vaikutus on jätetty huomioimatta rakeisuutta määritettäessä. Tutkittujen näytteiden raekokojakaumat on esitetty kuvassa 52.



Kuva 52. Suojaverhousmateriaalista otettujen näytteiden raekokojakaumat ($n=3$).

7.3 Bentoniittimattonäytteenotto

Bentoniittimattonäytteitä otettiin työmaalla kolmesta rullasta, jotka ovat kaikki samaa tuotetta. Kaikista rullista otettiin A- ja B-näyte. Näytteet on otettu InfraRYL 2010 ohjeistuksen mukaisesti, pääpiirteittäin samaan tapaan kuin suodatinkangasnäytteet. Suurimpana erona suodatinkangasnäytteisiin verrattuna oli A- ja B-näytteen ottaminen samasta rullasta. Lisäksi tarvittava näytemäärä on suodatinkankaita pienempi. Bentoniittimattonäyte on koko rullan levyinen ja pituudeltaan vähintään 500 mm (kuva 53). Näytteet pakattiin työmaalla rullalle ja suojattiin kaksinkertaisella muovilla.

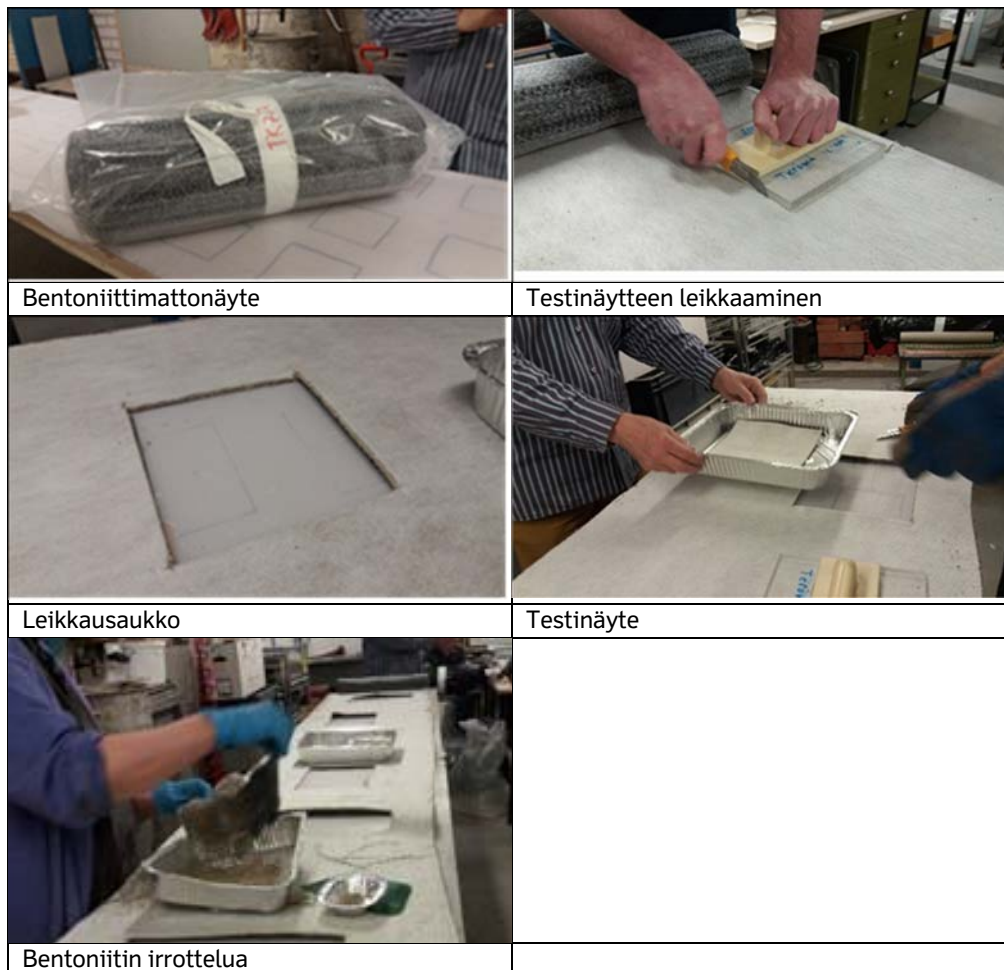


Kuva 53. Bentoniittimattonäytteiden leikkaaminen täydestä rullasta. Kuvassa näkyvät näytteeseen tehtävät merkinnät.

7.4 Testausmenetelmät

Bentoniittimattojen neliöpaino määritettiin standardin EN 14196:2016 ”Geosynthetics. Test methods for measuring mass per unit area of clay geosynthetic barriers” mukaisesti.

Näytteet säilytettiin huoneenlämmössä. Suojamuovit poistettiin juuri ennen testausta. Samalla tarkastettiin näytteiden merkinnät. Testinäytteet (5 kpl/näyte) otettiin muotilla ja mattoveitsellä standardin SFS-EN 14196 mukaisesti. Neliömuotoisen testinäytteen koko oli 200 x 200 mm. Leikkauksessa irtoavan bentoniitin määrä todettiin pieneksi (0...0,8 g), joten se jätettiin testeissä huomioimatta. Testikappaleita ei otettu mattorullan reunoilta, joissa oli saumausta varten suurempi bentoniittimäärä. Bentoniittimaton vesipitoisuuden määrittämistä varten irrotettiin bentoniittia kankaiden välistä. Kuvassa 54 on esitetty kuvasarjan muodossa näytteiden valmistelua ja käsittelyä laboratoriossa.

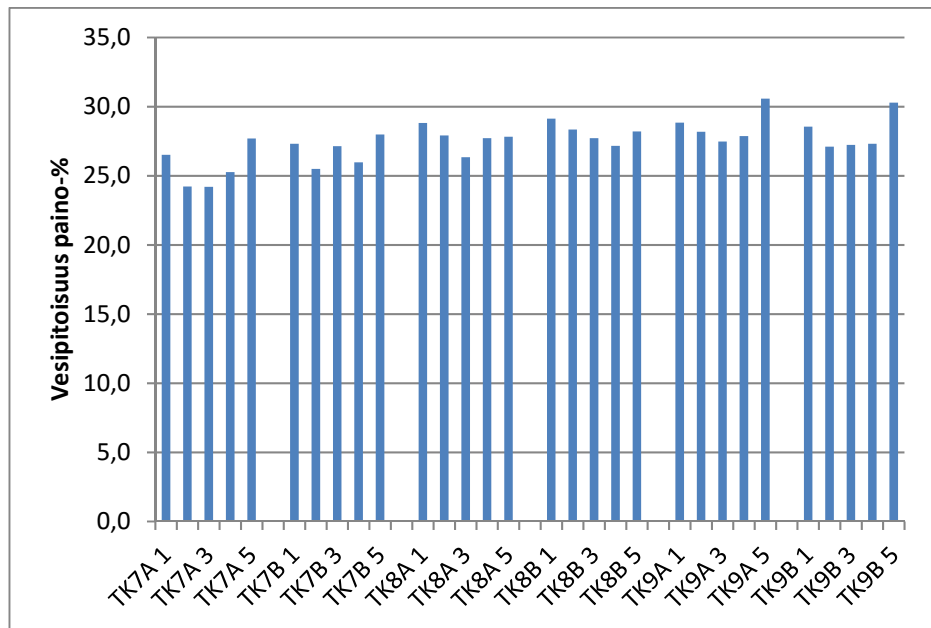


Kuva 54. *Bentoniittimattonäytteiden valmistelua ja käsittelyä laboratoriossa. Kuvat: Tampereen teknillinen yliopisto.*

Bentoniitin vesipitoisuus määritettiin uunikuivatuksella standardin SFS-ISO 11465 mukaisesti. Bentoniitin paisumisindeksi määritettiin standardin ASTM D 5890 mukaisesti.

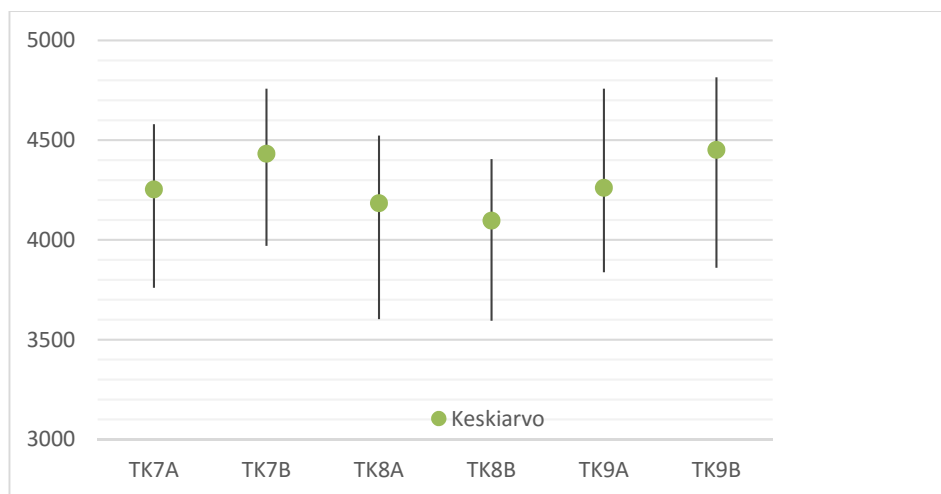
7.5 Tulokset

Kuvassa 55 on esitetty yhteenveto bentoniittimatoista otettujen bentoniittinäytteiden vesipitoisuuksista. Tuloksia on yhteensä 30. Jokaisesta näytteestä tutkittiin 5 osanäytettä neliöpainon määrittystä varten otetun testinäytteen leikkauspinoilta (kts. kuva 5/40). Tuotteen tasalaatuisuuden ja laboratoriotestauksen toistettavuuden ja tarkkuuden arvioimiseksi tutkittiin sekä A- että B-näyte. Bentoniitin vesipitoisuus vaihteli 24,2...29,1 % välillä (keskiarvo 27,0 %).



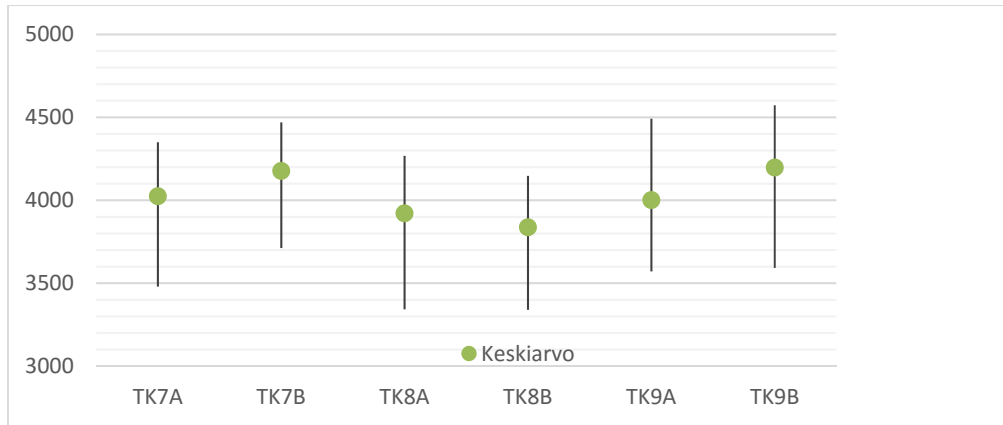
Kuva 55. Bentoniitin vesipitoisuudet.

Kuvassa 56 on esitetty bentoniittimatonnäytteiden keskimääräinen neliöpaino, jossa on mukana koko tuotteen massa uunikuivana, myös kankaiden massa.



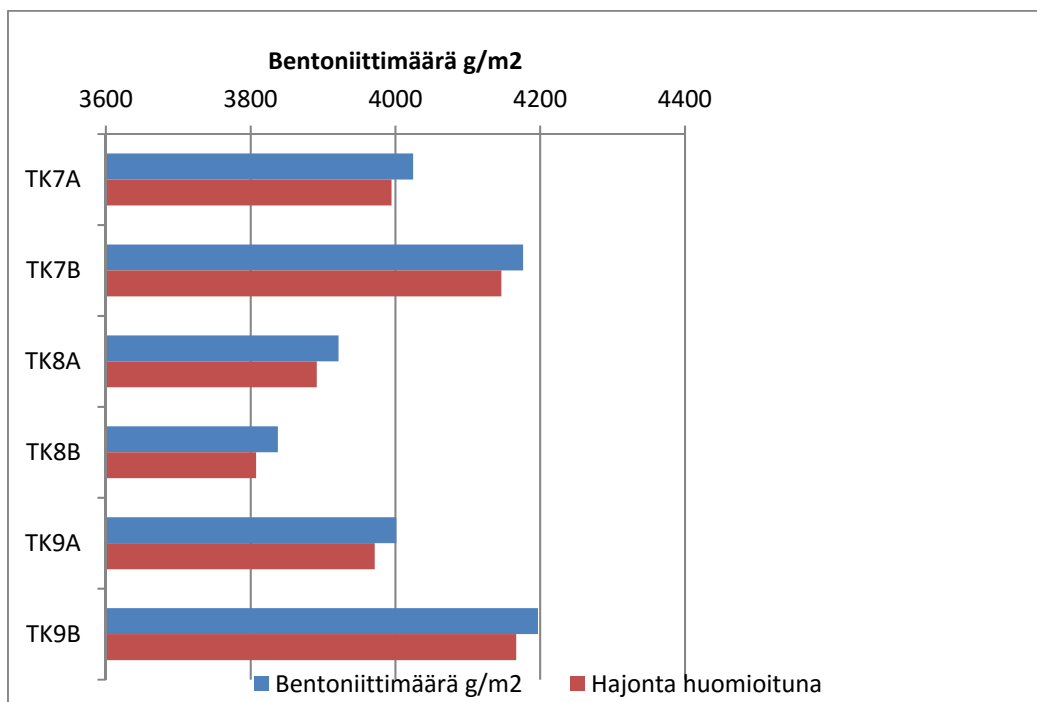
Kuva 56. Bentoniittimaton neliöpaino kuivana; kaikkien tutkittujen testikappaleiden osalta viiden testikappaleen minimi, maksimi ja keskiarvo.

Kuvassa 57 on esitetty bentoniittimaton sisältämä bentoniittimäärä pinta-alaa kohden kuivana ($w = 0\%$). Laskennassa on käytetty InfraRYLin liitteen 8 ohjeen mukaisesti bentoniittimaton geotekstiilien nimellispainona alakankaalle 100 g/m^2 ja yläkankaalle 200 g/m^2 . Bentoniitin vesipitoisuutena on käytetty ko. testikappaleen kohdalta määritettyä bentoniitin vesipitoisuutta.



Kuva 57. Bentoniitin määrä pinta-alaa kohden kuivana; kaikkien tutkittujen testikappaleiden osalta viiden testikappaleen minimi, maksimi ja keskiarvo.

Tulokset on esitetty taulukossa 29. InfraRYL 2010 mukaan tulosten tarkastelussa huomioidaan 10% hajonta geotekstiilien neliöpainossa. Tulokset on esitetty kuvassa 58.



Kuva 58. Bentoniitin määrä pinta-alaa kohden kuivana viiden testikappaleen keskiarvona sinisellä ja punaisella, kun -10% hajonta geotekstiilien neliöpainossa otetaan huomioon.

Tulosten perusteella tutkittujen näytteiden keskimääräinen bentoniittimäärä täyttää vaatimuksen $\geq 3800\text{ g/m}^2$ geotekstiilien -10% hajonta huomioidenkin. Yksittäisten testinäytteiden tuloksista osa alittaa keskiarvolle asetetun vaatimuksen (kuva 57).

Taulukko 29. Bentoniittimattojen bentoniittimäärän ja neliöpainon määrittysten tulokset.

Näyte		Neliöpaino vallitsevassa kosteudessa $\rho_{\text{GBR-C}}$ g/m ²	Ilman kankai- den painoa ρ_{CLAY} g/m ²	Bentoniitin vesipitoisuus W_{CLAY} paino-%	Bentoniitti- määrä kuivana $\rho_{\text{CLAY}0\%}$ g/m ²
TK7A	1	5245	4945	26,5	3909
	2	5508	5208	24,2	4192
	3	5703	5403	24,2	4350
	4	5553	5253	25,3	4193
	5	4743	4443	27,7	3479
keskiarvo		5350	5050	25,6	4025
keskihajonta		338	338	1,4	308
variaatiokerroin		6,3 %	6,7 %	5,3 %	7,6 %
TK7B	1	5570	5270	27,3	4140
	2	5623	5323	25,5	4241
	3	5983	5683	27,1	4469
	4	5743	5443	26,0	4320
	5	5050	4750	28,0	3711
keskiarvo		5594	5294	26,8	4176
keskihajonta		307	307	0,9	256
variaatiokerroin		5,5 %	5,8 %	3,4 %	6,1 %
TK8A	1	4605	4305	28,8	3342
	2	5193	4893	27,9	3825
	3	5558	5258	26,3	4161
	4	5423	5123	27,7	4011
	5	5755	5455	27,8	4268
keskiarvo		5307	5007	27,7	3921
keskihajonta		396	396	0,8	326
variaatiokerroin		7,5 %	7,9 %	2,9 %	8,3 %
TK8B	1	4613	4313	29,1	3340
	2	5150	4850	28,3	3779
	3	5375	5075	27,7	3974
	4	5573	5273	27,2	4147
	5	5363	5063	28,2	3949
keskiarvo		5215	4915	28,1	3838
keskihajonta		329	329	0,7	275
variaatiokerroin		6,3 %	6,7 %	2,3 %	7,2 %
TK9A	1	5293	4993	28,8	3875
	2	5940	5640	28,2	4400
	3	6025	5725	27,5	4491
	4	4993	4693	27,9	3670
	5	4963	4663	30,6	3571
keskiarvo		5443	5143	28,6	4001
keskihajonta		457	457	1,1	377
variaatiokerroin		8,4 %	8,9 %	3,8 %	9,4 %
TK9B	1	5553	5253	28,5	4086
	2	6113	5813	27,1	4573
	3	6038	5738	27,2	4510
	4	5678	5378	27,3	4224
	5	4980	4680	30,3	3592
keskiarvo		5672	5372	28,1	4197
keskihajonta		405	405	1,2	352
variaatiokerroin		7,1 %	7,5 %	4,3 %	8,4 %

InfraRYL:n liitteen 8 taulukon T15 mukaan bentoniittimatossa tulee olla kuivaa bentoniittimassaa neliötä kohden

- $\geq 3600 \text{ g/m}^2$ (hajontaluku 10 %), $T_1 \geq 3800 \text{ g/m}^2$
- $\geq 3700 \text{ g/m}^2$ (hajontaluku 20 %), $T_1 \geq 4200 \text{ g/m}^2$

missä T_1 = työmaatestauksessa sovellettava normaaliin laadun toteamiseen käytettävä vaatimusraja, joka on vähintään toisen näytteistä (A tai B) täytettävä.

Käyttötarkoituksen takia on tarpeen varmistua tuotteen tasalaatuisuudesta. Siksi on tärkeää keskiarvotuloksen lisäksi määrittää myös sallittu hajonta tai asettaa myös alaraja yksittäisen testinäytteen minimiarvolle.

A- ja B-näytteiden tuloksia verrattaessa voidaan todeta, että vaikka kyseessä on aivan vierekkäiset näytteet, vaihteluväli hieman kasvaa, kun tarkastellaan molempien tuloksia yhdessä. Testinäytteen kohdan valinnalla on vaikutusta tuloksiin. Bentoniittimäärän minimikohta on useimmiten havaittavissa reuninäytteessä eli ensimmäisessä tai viimeisessä osanäytteessä. Tuotteen valmistustavasta johtuen sama heikkouskohta toistuu koko tuotteen matkalla, jollei valmistuksessa tapahdu muutoksia.

Bentoniitin paisumisindeksi määritettiin A-näytteistä kahdesta rinnakkaisesta osanäytteestä. Tulokset on esitetty taulukossa 30. Paisumisindeksin osalta käytetty bentoniittimatto täyttää InfraRYL 2010 esitetyn vaatimuksen $\geq 24 \text{ ml/2g}$ ja homogeeninen sakka/väri koko korkeudelta.

Taulukko 30. Bentoniitin paisumisindeksi kahden mittauksen keskiarvona.

Näyte	TK7A	TK8A	TK9A
Paisumisindeksi (ml/2g)	28	29	29

7.6 Yhteenveto pohjavedensuojusrakenteista tehdyistä tutkimuksista

Pohjavedensuojusmateriaalien näytteenottoa kokeiltiin yhdessä kohteessa. Näytteenotto onnistui suhteellisen helposti. Tämä tosin edellyttää hyvää yhteistyötä urakoitsijan kanssa, koska bentoniittimattojen näytteenotossa tarvitaan työkoneita.

Saatujen tulosten perusteella bentoniittimatot täyttivät vaatimukset. InfraRYL 2010 mukaan työmaalta otetuissa näytteissä bentoniittimäärän tulee olla vähintään 3800 g/m^2 , kun valmistajan ilmoittama hajontaluku tuotteelle on 10 %. Kaikkien kolmen testatun rullan molempien näytteiden keskiarvo täytti tämän vaatimuksen. Myös bentoniitin paisumisindeksi oli vaatimusten mukainen.

8 Yhteenveto

Päällystekiviaineuksia testattiin kahdeksan kappaletta, joista seitsemässä havaittiin laatupoikkeamia. Runsaiden laatupoikkeamien takia on ryhdytty toimenpiteisiin, ja asfalttinormien päivityksessä tiukennetaan päällystekiviaineiksille asetettuja laatu-kriteereitä ja kiviainesten testaustiheyksiä.

Kantavan kerroksen kiviaineekselle tehty lajittumisen tarkkailu osoitti, että työmaatekniikalla on suuri merkitys lopputulokseen. Vaikka valmiin rakennekerroksen pinta näytti lajittuneelta, ei rakeisuustuloksissa ollut sellaisia loogisia eroja, joita lajittumien perusteella olisi voitu päätellä. Toisaalta materiaalista sekä tuotantopaikalta että rakenteesta otettujen näytteiden keskimääräiset raekokojakaumat eivät poikenneet toisistaan merkittävästi, joten silmämääräisesti havaittu lajittuminen johtuu materiaalin käsittelystä. Rakentamisen apuna käytettävien teknologioiden kehittyessä tulisi yhä kiinnittää huomiota työmaalla tehtäviin toimenpiteisiin, sillä kaikkia ongelmia ei pystytä korjaamaan ohjeistuksen avulla. Tämän tutkimuksen tuloksena InfraRYLin päivitettyyn versioon on kuitenkin kirjattu vaatimus käytettävän materiaalin maksimiraekoon ja kantavan kerroksen paksuuden suhteelle. Uusi vaatimus vähentää osaltaan lajittumisongelmaa, mutta ei poista työmaalla tehtävien toimenpiteiden merkitystä. Materiaalin levittämiseen ja tasaamiseen tulee kiinnittää erityistä huomiota, vaikka kehittyvä teknologia tarjoaa tähän lisää geometrista tarkkuutta koneohjauksen myötä.

Ratarakenteiden alusrakennemateriaaleissa havaittiin joitakin poikkeamia, mutta verrattuna vuosina 2014 ja 2015 tehtyihin tutkimuksiin tähän tutkimukseen valikoitui enemmän hankkeita, joissa radan alusrakennekerroksissa käytetyt materiaalit olivat vaatimusten mukaisia. Siitä huolimatta etenkin eristys-/välikerrosmurskeen ominaisuuksissa havaittiin puutteita ja laatudokumentaatioissa virheitä.

Vaihdekohteiden avulla toteutetussa vertailututkimuksessa havaittiin, että maaperän ollessa karkearakeista nykyinen routatutkimuskäytäntö näyttäisi olevan riittävä menetelmä. Maaperän muuttuessa hienorakeisemmaksi ja sekalaatuisemmaksi olisi kuitenkin ehdottoman tärkeää tehdä vähintään useampia kairauspisteitä tai harkinnan mukaan, etenkin korkealuokkaisilla radoilla, ottaa alusrakenteesta/pohjamaasta riittävä määrä näytteitä ennen kunnossapitotoimenpiteitä, jotta riittävät toimenpiteet saadaan tehtyä kerralla.

Suodatinkangas- ja geolujitetutkimusta on tehty vuosina 2015 ja 2016 kiinteässä yhteistyössä NorGeoSpec-organisaation kanssa. Satunnaisnäytteiden otto joko maahan-tuojan varastosta tai työmaalta on osa NorGeoSpec-laadunvarmistusjärjestelmää. Suomessa tehty näytteenotto kattaa tähän mennessä 13 suodatinkangastuotetta ja yhden lujitteen. Geotekstiilien ja lujitteiden tuloksia verrataan NorGeoSpec-sertifikaatissa ilmoitettuihin arvoihin ja hajontaan.

Yli puolessa tutkituissa suodatinkangastuotteissa todettiin NorGeoSpec-sertifikaatin vaatimukset alittavia tuloksia. Osa alituksista oli sen verran vähäisiä, että vaatimusten täyttyminen pystyttiin osoittamaan B-näytteen perusteella. Tutkimuksen tulokset raportoitiin projektille.

Tulosten perusteella työmaanäytteenotto täydentää kolmannen osapuolen laadunvalvontaa. Työmaalla otetun näytteen tuloksen perusteella ei hylätä sertifiointia, koska varastointi ja käsittely on voinut vaikuttaa ominaisuuksiin, vaan todettu alitus johtaa valmistajan laadunvalvontatulosten tarkistamiseen ja mahdollisesti lisänäytteenottoon varastoista. Lisäksi todetuista alituksista tulee raportoida projektille.

Pohjavedensuojusrakenteiden osalta on InfraRYLissä ollut vaatimus työnaikaisesta näytteenotosta, mutta selvitysten mukaan niitä ei ole juurikaan tehty tai ne on toteutettu puutteellisesti. Kesällä 2016 kokeiltiin pistonäytteenottoa myös yhdessä pohjavedensuojauskohteessa, josta otettiin näytteitä bentoniittimatosta ja sen yläpuolisissa rakennekerroksissa käytetyistä materiaaleista. Tulokset täyttivät InfraRYLin vaatimukset. InfraRYLin päivitystyön yhteydessä kehitetään myös työmaanäytteenoton ohjeita, jotta se muodostuisi jatkossa rutiiniksi.

8.1 Päälystekiviainekset

Taulukossa 31 on esitetty päälystekiviainesten yhteenveto. Testatuissa kiviaineksissa havaittiin runsaasti poikkeamia. Kuulamylykokeiden osalta näyttää siltä, että Asfalttinormeissa 2011 ollutta yksittäiselle näytteelle sallittua poikkeamaa on sovellettu siten, että päälysteissä käytettävien kiviainesten kuulamylykokeiden tulokset ovat liukuneet lähelle luokkarajoja ja jopa vähän niiden yli. Trendin pysäyttämiseksi on laadittu Asfalttinormeihin lisälehti, joka on tullut voimaan 1.1.2017. Jatkossa yksittäisellekään näytteelle ei enää sallita luokasta poikkeavaa kuulamylytulosta. Käytännössä siis palataan Asfalttinormeissa 2008 olleeseen tilanteeseen.

Taulukko 31. Tutkituissa päälystekiviaineksissa todettujen poikkeamien yhteenveto.

Materiaali	Näytteenotto	Poikkeama	Havainnot
TC	Kasa	Kuulamyly	Tehty suuri määrä kuulamylykokeita havaitun ylityksen jälkeen, kaikkien tulosten keskiarvo niukasti luokkarajan yli
TD	Kasa	-	-
TG	Kasa	Litteysluku	Poikkeama suoritustasoilmoitukseen verrattuna
TH	Kasa	Litteysluku	Poikkeama suoritustasoilmoitukseen verrattuna
TI	Kasa	Kuulamyly	Poikkeama suoritustasoilmoitukseen verrattuna
TJ	Kasa	Kuulamyly Litteysluku	Voisi täyttää kuulamylyluokan, jos litteysluku olisi ilmoitettu
TL	Kasa	Kuulamyly	Poikkeama suoritustasoilmoitukseen verrattuna
TM	Kasa	Kuulamyly	Poikkeama suoritustasoilmoitukseen verrattuna

Päälysteille tehtiin myös asfalttimassan vertailututkimusta, jossa tavoitteena oli selvittää, saadaanko asfalttirouheesta ja massasta ylipäättään otettua järkevästi vertailukelpoisia näytteitä siten, että tilaaja voisi tehdä omia laadunvalvontatutkimuksiaan myös asfalttirouheelle ja -massalle. Lisäksi haluttiin selvittää, olisiko asfalttimassan nastarengaskulutuskestävyys selvitettävissä ottamalla erikseen näytteitä massassa käytettävästä kiviaineksesta ja asfalttirouheesta.

Testitulosten perusteella käytettävän kiviaineksen ja asfalttirouheen ominaisuudet saattavat muuttua massanvalmistusprosessin aikana, joten lopputuotteen ominaisuuksien selvittämiseksi tutkittavat näytteet kannattaa ottaa lopputuotteesta. Tehdyn kokeilun perusteella näytteiden ottaminen onnistuu suhteellisen yksinkertaisilla järjestelyillä. Lopputuotteen tarkastelu on mielekästä myös siksi, että kiviaines- ja asfalttirouhekomponenttien ominaisuuksia tarkastelemalla joudutaan oletamaan, että molemmissa on jäljellä samassa suhteessa kuulamylykokeeseen valikoituva kiviainesta. Näin ei välttämättä kuitenkaan todellisuudessa ole, ja massan valmistamisen yhteydessä kiviaineksen ominaisuudet saattavat muuttua. Laboratoriokokeet ovat toki työlämpiä kuin pelkälle kiviainekselle. Toisaalta massanäytteiden avulla saadaan lopputuotteen laatu selville.

8.2 Kantavan kerroksen kiviainekset

Vuonna 2016 testattiin vain yhtä kantavan kerroksen kiviainesta. Tästä kiviaineksesta otettiin kuitenkin varsin paljon näytteitä, koska kantavan kerroksen materiaalin näytteenoton tavoitteena oli tarkastella kahta jo aiemmassa tutkimuksessa havaittua tai tarpeelliseksi koettua seikkaa. Maksimiraekooltaan suurilla murskeilla on havaittu lajittumisongelmaa, jonka on arveltu johtuvan usean tekijän yhdistelmästä. Toisena tavoitteena oli kehittää menetelmää, jolla yksinkertaistettaisiin työmaalla tehtävää näytteenottoa siten, että osa laaduntarkkailussa vaadituista rakeisuusnäytteistä korvattaisiin näytteillä, joista määritetään pelkkä hienoainespitoisuus.

Materiaalin lajittumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- ohut kantavan kerroksen kokonaispaksuus
- useana kerroksena tapahtuva levitys
- kerrosten levityksen välissä tehtävä höyläys
- murskeen suuri maksimiraekoko
- koneohjaus ja tiukka geometrinen toleranssi

Otettujen näytteiden perusteella lajittuminen näyttäisi tapahtuvan kerroksen pintaosissa. Näytteitä otettiin rakenteen poikkileikkauksesta siten, että otetut näytteet edustivat erityyppisiä pinnan karkeuksia. Testitulosten perusteella ei kuitenkaan käynyt ilmi selkeää trendiä, jossa pinnasta karkearakeisimmalta näyttänyt näyte olisi ollut myös rakeisuudeltaan karkearakeisin.

Edellä mainittujen tekijöiden yhteisvaikutus johtaa lajittumisen myötä paikoitellen heikkolaatuiseen rakenteeseen. Jos rakenteen pinta on liian karkea, saattaa se johtaa kasvavaan päällystekerroksen menekkiin ja huonoon tartuntaan. Toisaalta lajittunut murske myös johtaa kantavan kerroksen epätasaisiin muodonmuutosominaisuuksiin. Tällöin riski kantavan kerroksen deformaation rakenteen käyttöänsä aikana kasvaa. Edellä mainituista syistä InfraRYLin päivittyvään versioon on lisätty sitomattomalle kantavalle kerrokselle seuraava vaatimus: ”Käytettävän materiaalin maksimiraekoko saa olla enintään yksi kolmasosa kerralla tiivistettävän kerroksen paksuudesta”. Mikäli kantava kerros on 100 mm paksu, voi sen materiaalina tällöin käyttää 0/31,5 mm mursketta. 150 kantavalla kerroksella voidaan käyttää murskeita 0/31,5 tai 0/45 mm jne.

Hienoainesnäytteet eivät täysin vastanneet varsinaisia rakeisuusnäytteitä. Havaitut poikkeamat olivat kuitenkin verrattain pieniä, ja otettujen näytteiden hienoainepitoisuuksien keskiarvot olivat erittäin lähellä toisiaan (varsinaiset rakeisuusnäytteet 3,0%; hienoainesnäytteet 2,8 %), että jatkossa rakenteesta tehtävässä laadunvalvonnassa voitaisiin käyttää hienoainesnäytteitä. Työmaavalvonta voitaisiin tehdä esimerkiksi:

- Ensimmäisessä vaiheessa materiaalille tehdään vastaanottotarkastus. 1. kilometriltä otetaan 5 kappaletta tavanomaisia, massaltaan näytteenotto- ja seulontastandardit täyttäviä näytteitä. Mikäli materiaali todetaan kelpaavaksi, voidaan loput työmaalla otettavista näytteistä ottaa hienoainesnäytteinä.
- Jos hienoainepitoisuudessa havaitaan yli 2%-yksikön poikkeamia kesken työmaan, palataan ottamaan varsinaisia rakeisuusnäytteitä.

8.3 Ratamateriaalien yhteenveto

Taulukossa 32 on esitetty ratarakennemateriaalien yhteenveto. Poikkeamia havaittiin jonkin verran, etenkin eristys/välikerroksen murskeissa. Havaitut poikkeamat olivat suhteellisen pieniä, ja ottaen huomioon kohteet, joissa materiaaleja käytettiin, poikkeamat tuskin aiheuttavat merkittäviä ongelmia rakenteessa. Materiaalien suoritusasoilmoituksissa oli kuitenkin puutteita, joten materiaalia ei lähtökohtaisesti tulisi hyväksyä työmaalla.

Luonnonmateriaalien osalta käytetyt materiaalit olivat raekokojakaumaltaan vaatimusten mukaisia. Yhdessä materiaalissa havaittiin kuitenkin otettujen näytteiden perusteella olevan aavistuksen liian alhainen raekokosuhde, joka saattaa vaikeuttaa rakennekerrosten tiivistämistä.

Taulukko 32. Tutkittujen ratarakennemateriaalien poikkeamien yhteenveto.

Materiaali	Näytteenotto	Poikkeama	Havainnot
RA	Esikuormitus-rakenne	Raekokosuhde	Saattaa aiheuttaa ongelmia tiivistystyössä
RB	Rakenne	yhdessä näytteessä liikaa hienoainesta	Todennäköisesti liikenteen kuljettamaa hienoainesta
RC	Kasa	micro-Deval	Poikkeama suoritusasoilmoitukseen verrattuna
RD	Kasa	micro-Deval	Ei ilmoitettu suoritusasoilmoituksessa
		liikaa hienoainesta	Ei haitallinen määrä, ympäröivä ratapenger luonnonhiekkaa
RE	Kasa	ei poikkeamia	ei havaittu poikkeamia?
RF	Rakenne	ei poikkeamia	Testattu vanhan radan materiaalia, materiaalissa silttipaakkuja, jotka eivät käy ilmi otetuissa näytteissä, materiaali muuten ok.

Ratarakennemateriaalien osalta tehtiin myös routivuuden vertailututkimusta, jossa otettiin näytteitä vanhasta alusrakenteesta/pohjamaasta. Otetuista näytteistä määritettiin hienoainepitoisuus, jonka perusteella arvioitiin materiaalin routivuus. Lisäksi määritettiin viitteellinen rakeisuus. Saatuja tuloksia verrattiin kairausdiagrammeista määritettyihin maalajeihin.

Tulosten perusteella materiaali tulkitaan kairausten perusteella suhteellisen hyvin oikein, kun kyseessä on routimaton, karkearakeinen materiaali (sepeli, sora, sorainen hiekka). Hiekkapitoisista maista hienorakeisempiin maalajeihin siirryttäessä kairausten perusteella tehdyt tulkinnat ovat hivenen konservatiivisia. Tämä on osin ymmärrettävää, sillä tulkintoihin jätetään pelivaraa, kun kairauspisteitä on keskimäärin vähän.

Jatkossa haastavammissa kohteissa, joissa maaperä näyttää kairausten perusteella vaihtelevalta ja hienorakeiselta, voisi olla hyödyksi tehdä tarkempia tutkimuksia. Toisaalta kohteissa, joissa maaperä on karkearakeista, nykyinen routakartoitus näyttää olevan riittävä toimenpide.

8.4 Suodatinkangas- ja geolujitetutkimuksen yhteenveto

Näytteenoton lähtökohtana oli NorGeoSpec-luokitukseen sisältyvä pistonäytteenotto-tarve ja toisaalta Norjan tiehallinnon jo vuonna 2007 käynnistämä tilaajan valvonta, jossa on todettu useita alituksia (Damtew et al 2014). Testaukset suunniteltiin ja toteutettiin NorGeoSpecin kanssa yhteistyössä. Näytteenottajat koulutettiin ennen näytteenottoa. Tuloksia verrattiin valmistajan NorGeoSpec-sertifiointia varten ilmoittamiin ominaisuuksien nimellisarvoihin ja hajontoihin, joiden tulee olla NorGeoSpec-luokituksen (taulukko 21) mukaisia.

Tutkituissa suodatinkangasnäytteissä havaittiin laadunalituksia yli puolessa tutkituista tuotteista. Osassa laatualitukset olivat vähäisiä, jolloin voitiin testata samaan aikaan otettu B-näyte. Testattujen B-näytteiden perusteella tuotteet olivat vaatimusten mukaisia. Kuitenkin yksi kolmasosa tuotteista poikkesi vähintään yhden testatun ominaisuutensa osalta niin merkittävästi, että tuote sai NorGeoSpec-järjestelmän mukaan hylätyn arvion. Suurin osa laatualituksista todettiin vetokokeessa.

Molemmat testatut geolujitenäytteet olivat vaatimusten mukaisia.

Vaikka poikkeamia havaittiin kolmasosassa tuotteita, ei tilanne poikkea oleellisesti Norjan tilanteesta. Siellä havaittiin aluksi laadunalituksia suunnilleen saman verran kuin nyt Suomessa, mutta testaustoiminnan ansiosta laadunalitusten määrä on saatu laskemaan noin 10–15 % tasolle. Jatkamalla testaustoimintaa Suomessa saavutetaan todennäköisesti myös samankaltainen vaikutus.

8.5 Pohjavedensuojaurakenteiden tutkimuksen yhteenveto

Pohjavedensuojausmateriaalien näytteenottoa kokeiltiin yhdessä kohteessa. Näytteenotto onnistui suhteellisen helposti. Salaojakerroksesta ja suojaverhousmateriaalista tutkittiin rakeisuus ja ne täyttivät InfraRYL 2010:ssä esitetyt vaatimukset.

Bentoniittimatosta otettiin kolme näytettä. A- ja B-näytteet otettiin samasta rullasta tasalaatuisuuden ja laboratoriotestin toistettavuuden arvioimiseksi. Tuloksiin vaikuttaa osanäytteiden sijoittaminen ja tuotteen laadunvaihtelu.

Geosynteettisissä tuotteissa ominaisuus määritetään tyypillisesti usean osanäytteen tuloksen keskiarvona. Hajonnan rajoittamisella voidaan varmistaa tuotteen tasalaatuisuus.

Saatujen tulosten perusteella testattu bentoniittimatto täytti InfraRYL 2010 esitetyt vaatimukset tutkittujen ominaisuuksien eli bentoniittimäärän ja paisumisindeksin osalta.

Lähteet

ASTM D5890 Standard Test Method for Swell Index of Clay Mineral Component of Geosynthetic Clay Liners

Damtew T., Vaslestad J., Løvstad D.S., Kynbråten T.A. & Recker C. (2014) Experience on delivery control of nonwoven geotextiles at road construction sites in Norway. Published in proceedings of 10th International Conference on Geosynthetics, Berlin, Germany 21-25 September 2014; ICG 2014. Deutsche Gesellschaft für Geotechnik e.V., ISBN 9783981395396

Kalliainen, A. & Kuula, P. 2016. Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviainestutkimus. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 18/2016. Liikennevirasto, Helsinki 2016.

NorGeoSpec 2012. Nordic system for the certification and specification of geosynthetics and geosynthetic-related products. Saatavissa: http://www.norgeospec.org/data/uploads/dateien/sintef_guideline_27-09.pdf

SFS-EN 13249:2016 Geotekstiilit ja vastaavat tuotteet. Teiden ja muiden liikennöityjen alueiden rakentamisessa käytettäviltä geotekstiileiltä ja vastaavilta tuotteilta vaadittavat ominaisuudet

SFS-EN ISO 10319:en Geosynthetics. Wide-width tensile test (ISO 10319:2015)

SFS-EN ISO 12956:en Geotextiles and geotextile-related products. Determination of the characteristic opening size (ISO 12956:2010)

SFS-EN ISO 13433:en Geosynthetics. Dynamic perforation test (cone drop test) (ISO 13433:2006)

SFS-EN ISO 9864:en. Geosynthetics. Test method for the determination of mass per unit area of geotextiles and geotextile-related products (ISO 9864:2005)
Päällystealan Neuvottelukunta 2011. Asfalttinormit 2011. Päällystealan neuvottelukunta, Helsinki 2011.

Rakennustieto 2010, InfraRYL 2010. Infrarakentamisen yleiset laatuvaatimukset. Osa 1. Väylät ja alueet., Rakennustietosäätiö RTS, Helsinki.

SFS 2014, SFS-EN 1097-6. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 6: Determination of particle density and water absorption. SFS 2012 a, SFS-EN 933-1. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä.

SFS 2012 b, SFS-EN 933-3. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 3: Raemuodon määrittäminen. Litteysluku.

SFS 2011, SFS-EN 1097-1. Tests for mechanical and physical properties of aggregates. Part 1: Determination of resistance to wear (micro Deval).

SFS 2010, SFS-EN 1097-2. Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Iskunkestävyyden määrittämismenetelmät.

SFS 2008, SFS-EN 13242 + A1. Maa- ja vesirakentamisessa ja tienrakenteissa käytettävät sitomattomat ja hydraulisesti sidotut kiviainekset.

SFS 2005, SFS-EN 1097-9 Kiviainesten mekaanisten ja fysikaalisten ominaisuuksien testaus. Osa 9: Nastarengaskulutuskestävyyden määrittämismenetelmä: Pohjoismainen testi (kuulamylymenetelmä).

SFS 1997, SFS-EN 932-1. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 1: Näytteenottomenetelmät.

ISSN-L 1798-6656
ISSN 1798-6664
ISBN 978-952-317-402-3
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

