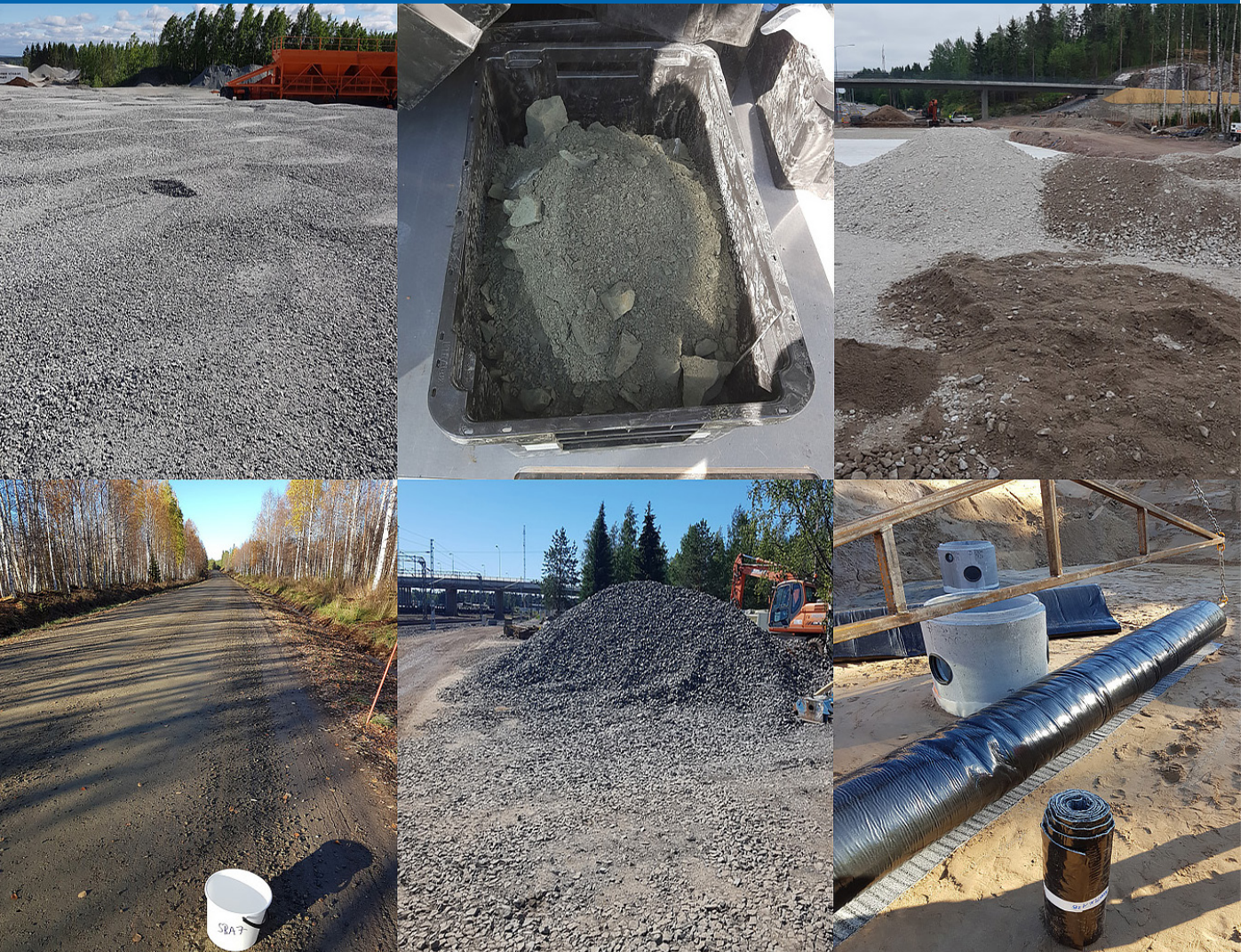


Antti Kalliainen
Pirjo Kuula
Minna Leppänen

VÄYLÄRAKENTEIDEN VALTAKUNNALLINEN KIVIAINES- JA GEOSYNTETTI- TUTKIMUS

Vuoden 2018 tutkimukset



Antti Kalliainen, Pirjo Kuula, Minna Leppänen

Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus

Vuoden 2018 tutkimukset

Väyläviraston tutkimuksia 13/2019

Väylävirasto

Helsinki 2018

Kannen kuvat: Antti Kalliainen

Verkkajulkaisu pdf (www.vayla.fi)

ISSN 2490-0982
ISBN 978-952-317-711-6

Väylävirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0295 34 3000

Antti Kalliainen, Pirjo Kuula ja Minna Leppänen: Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus - Vuoden 2018 tutkimukset. Väylävirasto. Helsinki 2019. Väyläviraston tutkimuksia 13/2019. 93 sivua. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-711-6.

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

Tiivistelmä

Tutkimus on jatkoa vuonna 2014 käynnistetyille väylärakenteiden valtakunnalliselle selvitykselle, jossa tarkastellaan tie- ja ratarakenteissa käytettävien kiviainesten ja geosynteettisten materiaalien ominaisuuksia ja laatudokumentteja. Edellisten tutkimusvaiheiden tulokset on raportoitu Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä -sarjassa:

- 18/2016, saatavilla: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>
- 22/2017, saatavilla: <http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>
- 40/2018, saatavilla: <http://urn.fi/URN:978-952-317-585-3>.

Vuonna 2018 selvitettiin tierakenteiden osalta päällystekiviainesten, soratien kulutuskerrosmurskeen ja kantavan kerroksen kiviainesten ominaisuuksia. Lisäksi tutkittiin ensimmäistä kertaa uusiomateriaaleja. Tutkimukseen valikoitui tierakenteessa käytettyjä betonimurskeita. Ratarakenteiden osalta selvitettiin raideseppelin ominaisuuksia. Hankkeet valittiin valtakunnallisesti siten, että tutkimuksesta saatiin myös alueellisesti mahdollisimman kattava. Kiviainesten lisäksi tutkittiin maanteiden pohjavedensuojaushankkeissa käytettyjä bentoniittimattoja.

Päällystekiviaineita tutkittiin vuonna 2018 ELY-keskusten tienpäällystysurakoissa ja Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeilta, yhteensä 14 kiviainesta. Kolmessa kiviaineksessa havaittiin poikkeama nastarengaskulutuskestävyydessä. Kaikki poikkeamat havaittiin luokassa A_N 7. Poikkeamiin kuitenkin reagoitiin toimenpiteiden osalta asiallisesti. Myös tuotannonaikaisen laadunvalvonnan dokumentointi ja niissä havaittujen poikkeamien käsittely vaikuttaa parantuneen.

Soratien kulutuskerrosmateriaaleja tutkittiin neljän alueurakan alueelta. Sorastuksen lopputuloksen kannalta näyttää edelleen siltä, että tehtävissä sorastustoimenpiteissä on urakkakohtaista vaihtelua. Positiivista oli kuitenkin, että kaikista käytetyistä materiaaleista oli olemassa jonkinlainen laatudokumentti. CE-merkintä oli kuitenkin vain kahdella seitsemästä testatusta kiviaineksestä.

Tien kantavan kerroksen materiaaleissa havaittiin pieniä poikkeamia rakeisuus- ja iskunkestävyysvaatimuksiin. Näyttää siltä, että tilaajan laadunvalvonnalle on tarvetta. Uusiomateriaaleista testattujen betonimurskeiden osalta tilanne vaikuttaa pienen otannan perusteella jonkin verran haastavalta. Yhtäältä on tarve yhtenäistää laatuvaatimuksia suhteessa perinteisiin kiviaineksiin. Toisaalta osalle vaadituista testimenetelmistä tarvittaisiin yhtenevät ohjeet, jotta tulosten tulkinta ja hajonta saadaan harmonisoitua.

Raideseppelin osalta saatiin vuonna 2018 hieman parempia tuloksia kuin 2017. Muotoarvopuutteita havaittiin vain yhdessä kuudesta testatusta tuotteesta. Yhdessä sepelissä havaittiin merkittävä rakeisuuspoikkeama ja yhdessä sepelissä pieni iskunkestävyyspoikkeama. Kaikissa testatuissa sepeleissä oli edelleen merkittävä määrä pitkiä, yli 100 mm rakeita. Tämän asian korjaamiseksi pitäisi päivittää tilaajan laatuvaatimuksia.

Maanteiden pohjavedensuojauksrakenteissa käytettyjen bentoniittimattoja tutkittiin kahdesta hankkeesta. Testaukset tehtiin laadun varmistamiseksi kahdessa laboratoriossa. Molemmissa hankkeissa todettiin alituksia bentoniittimäärässä ja puutteita tuotteiden laatu tiedoissa.

Antti Kalliainen, Pirjo Kuula och Minna Leppänen: Riksomfattande studie av stenmaterial och geosyntet i trafikledskonstruktioner – Studier år 2018. Trafikledsverket. Helsingfors 2019. Trafikledsverkets undersökningar 13/2019. 93 sidor. ISSN 2490-0982, ISBN 978-952-317-711-6.

Sammanfattning

Studien är en fortsättning på den riksomfattande studien av trafikledskonstruktioner, som inleddes år 2014 och gäller egenskaper hos stenmaterial och geosyntetiska material som används i väg- och bankonstruktioner samt kvalitetsdokumenten för dessa. Resultaten i de föregående undersökningsfaserna har rapporterats i serien Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä ("Trafikverkets undersökningar och utredningar")

- 18/2016, texten, inklusive sammanfattning på svenska, finns på adressen: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>
- 22/2017, tillgänglig: <http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>
- 40/2018, tillgänglig: <http://urn.fi/URN:978-952-317-585-3>.

År 2018 utreddes vad gäller vägkonstruktionerna egenskaperna hos beläggingsstenmaterial, slitagegrus i grusvägar och stenmaterialet i de bärande lagren. Därtill undersöktes för första gången återvunnet material. Betongkross som används i vägkonstruktioner valdes för studien. Vad gäller bankonstruktioner utreddes egenskaperna hos spårmakadam. Projekten valdes på riksomfattande sätt på så sätt att studien också regionalt sett blev så bred som möjligt. Utöver stenmaterial undersöktes bentonitmattor som används i grundvattenfiltreringsprojekt.

Beläggingsstenssubstanser undersöktes år 2018 utifrån NTM-centralens beläggingsentreprenader och Trafikverkets (nuvarande Trafikledsverkets) investeringsprojekt, sammanlagt 14 stensubstanser. I tre stensubstanser upptäcktes avvikelser i dubbäcksslitstyrkan. Alla avvikelser observerades i klass A_N 7. Avvikelserna var dock föremål för sakliga åtgärder. Också dokumenteringen av kvalitetsövervakningen under produktionstiden och behandlingen av observerade avvikelser i dessa ser ut att ha förbättrats.

Slitagegrusmaterialet i grusvägar undersöktes i området för fyra regionentreprenader. Med tanke på slutresultatet av grusningen ser det fortfarande ut som om entreprenadspecifika variationer förekommer i grusningsåtgärderna. Det var dock positivt att det fanns någon form av kvalitetsdokument för alla använda material. CE-märkning förekom dock enbart på två av de sju stensubstanser som testades.

I materialen i vägens bärande lager upptäcktes små avvikelser från granulations- och slaghållfasthetskraven. Det ser ut som om det finns ett behov av kvalitetsövervakning för beställaren. Vad gäller de återvunna material som testades verkar situationen vad gäller betongkross vara en aning utmanande utifrån ett litet urval. Å ena sidan finns det ett behov av att harmonisera kvalitetskraven i förhållande till sedvanliga stensubstanser. Å andra sidan finns det ett behov av harmoniserade anvisningar för en del av de krävda testmetoderna, för att resultattolkningen och -spridningen ska kunna harmoniseras.

Vad gäller spårmakadam uppnåddes år 2018 en aning bättre resultat än år 2017. Formvärdesbrister upptäcktes enbart i en av de sex testade produkterna. I en makadam upptäcktes en avsevärd granulationsavvikelse och i en makadam en liten slaghållfasthetsavvikelse. I alla testade makadam fanns det fortfarande en avsevärd mängd över 100 mm långa granulat. För att åtgärda detta borde beställarens kvalitetskrav uppdateras.

Bentonitmattor som används i grundvattenskyddsstruktionerna på landsvägarna undersöktes utifrån två projekt. Testningar gjordes för att säkerställa kvaliteten i två laboratorier. I bägge projekt konstaterades underskridande i bentonitmängden och brister i kvalitetsuppgifterna om produkterna.

Antti Kalliainen, Pirjo Kuula and Minna Leppänen: Nationwide study on quality properties of aggregate and geosynthetic materials used in road and railway structures – Studies in 2018. Finnish Transport Infrastructure Agency. Helsinki 2019. Research reports of the Finnish Transport Infrastructure Agency 13/2019. 93 pages. ISSN-L 2490-0982, ISBN 978-952-317-711-6.

Summary

The study is a follow-up of the nationwide study started in 2014 on the properties of aggregates and geosynthetic materials used in road and railway structures, and on related quality documentation. The results of the previous stages were reported in the Research reports of the Finnish Transport Agency series

- (18/2016), available at: <http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>
- (22/2017), available at: <http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>
- (40/2018), available at: <http://urn.fi/URN:978-952-317-585-3>.

In 2018, the properties of aggregates for asphalts in road structures, gravel roads wearing course materials and aggregates for load-bearing layers were studied. Also, recycled materials were studied for the first time. The materials selected for the study were types of crushed concrete used in road structures. In the case of railway structures, the properties of track ballast were studied. The projects were chosen nationally to make the study as geographically representative as possible. In addition to aggregates, bentonite mats used for groundwater protection on road projects were studied.

Pavement aggregates were studied in road paving projects run by Centres for Economic Development, Transport and the Environment in 2018 and in investment projects of the Finnish Transport Agency (now the Finnish Transport Infrastructure Agency), a total of 14 aggregates. Deviations were found in studded-tyre wear resistance in three of these aggregates. All these deviations were found in class A_N 7. However, appropriate action was taken to address the deviations. Production-time quality control documentation and action taken to address deviations seem to have improved.

Wearing course materials for gravel roads were studied in four regional contracts. Considering the end result of gravelling, it seems that there gravelling measures differ from one contract to another. What is positive is that a quality document of some kind was available for all materials used. However, only two of the seven aggregates tested had a CE marking.

Slight deviations from gradation and impact strength requirements were found in wearing course materials. It seems that there is a need for quality control to be exercised on the part of the Client. In recycled materials, the situation looks somewhat challenging for the types of crushed concrete studies, even if the sample size is small. On the one hand, there is a clear need to standardise quality requirements in relation to traditional aggregates. On the other hand, consistent instructions should be provided for the test methods required, so that the interpretation of the test results and their statistical distribution can be harmonised.

For track ballast, the results obtained in 2018 were slightly better than in 2017. Shape index deviations were only found in one of the six products tested. A major gradation deviation was found in one product, and a minor impact strength deviation was found in one product. All of the types of track ballast tested still contained a significant percentage of grain lengths in excess of 100 mm. The Client's quality requirements should be updated to correct this.

The bentonite mats used for groundwater protection structures in road projects were studied in two projects. Tests were performed at two laboratories to ensure acceptable quality. In both projects, deficiencies in the amount of bentonite and deviations in product quality details were found.

Esipuhe

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää väylärakenteissa käytettäville kiviaineksille maanteiden pohjavedensuojusrakenteiden materiaaleille asetettujen laatuvaatimusten täyttymistä erityyppisillä hankkeilla pistokoemaisesti 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:

Laura Valokoski (pj.)	Väylävirasto
Kari Lehtonen	Väylävirasto
Heikki Lappalainen	Väylävirasto
Juhan Tyrväinen	Väylävirasto
Katri Eskola	Väylävirasto
Veli-Matti Uotinen	Väylävirasto
Pentti Häkkinen	Ramboll Finland Oy

Helsingissä elokuussa 2019

Väylävirasto
Tekniikka- ja ympäristöosasto

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 mekaaniset ominaisuudet.....	16
2.2.4	Bentoniittimattomnäytteet.....	16
3	PÄÄLLYSTEKIVIAINEKSET.....	17
3.1	Testitulokset.....	17
3.1.1	Päällystekiviaines AA.....	17
3.1.2	Päällystekiviaines AB.....	18
3.1.3	Päällystekiviaines AC.....	19
3.1.4	Päällystekiviaines AD.....	20
3.1.5	Päällystekiviaines AE.....	21
3.1.6	Päällystekiviaines AF.....	22
3.1.7	Päällystekiviaines AG.....	23
3.1.8	Päällystekiviaines AH.....	24
3.1.9	Päällystekiviaines AI.....	25
3.1.10	Päällystekiviaines AJ.....	26
3.1.11	Päällystekiviaines JVP.....	27
3.1.12	Päällystekiviaines AUP.....	28
3.1.13	Päällystekiviaines LTP.....	29
3.1.14	Päällystekiviaines LTQ.....	30
3.2	Päällystekiviainesten yhteenveto.....	30
4	SORATIEN KULUTUSKERROKSET.....	32
4.1	Testitulokset.....	32
4.1.1	Sorastusmurske SRA I.....	32
4.1.2	Sorastusmurske SRA II.....	35
4.1.3	Sorastusmurske SRB I.....	37
4.1.4	Sorastusmurske SRB II.....	39
4.1.5	Sorastusmurske SRC I.....	41
4.1.6	Sorastusmurske SRC II.....	43
4.1.7	Sorastusmurske SRD I.....	45
4.2	Soratien kulutuskerrosmateriaalien yhteenveto.....	49
5	KANTAVAN KERROKSEN KIVIAINEKSET.....	51
5.1	Testitulokset.....	51
5.1.1	Kantavan kerroksen kiviaines JVK.....	51
5.1.2	Kantavan kerroksen kiviaines AUK.....	53
5.1.3	Kantavan kerroksen kiviaines LTA.....	55
5.2	Kantavan kerroksen kiviainesten yhteenveto.....	57
6	BETONIMURSKKEET TIERAKENTEISSA.....	58
6.1	Testatut ominaisuudet.....	58
6.2	Testitulokset.....	58
6.2.1	Betonimurske BEA.....	58
6.2.2	Betonimurske BEB.....	62

6.3	Betonimurskeiden yhteenveto.....	65
7	RAIDESEPELIT	66
7.1	Testitulokset	66
7.1.1	Raidesepeli RTA	66
7.1.2	Raidesepeli RTB.....	68
7.1.3	Raidesepeli RTC.....	70
7.1.4	Raidesepeli RTD	72
7.1.5	Raidesepeli RTE.....	74
7.1.6	RAidesepeli RTF.....	76
7.2	Raidesepelien yhteenveto	78
8	GEOSYNTEETIT	79
8.1	Bentoniittimatoista testatut ominaisuudet.....	79
8.2	Tulokset	80
8.2.1	Bentoniittimatto, BMA	80
8.2.2	Bentoniittimatto, BMB	82
8.2.3	Bentoniittimattojen tulosten yhteenveto	85
9	YHTEENVETO	86
9.1	Päällystekiviainekset	86
9.2	Soratien kulutuskerrosmateriaalit	87
9.3	Kantavan kerroksen materiaalit.....	89
9.4	Betonimurskeet tierakenteessa	89
9.5	Raidesepelit.....	90
9.6	Geosyntetit.....	91
9.7	Päätelmät ja jatkotutkimustarpeet	92

1 Johdanto

Tämä tutkimus on jatkoa vuonna 2014 alkaneelle väylärakenteiden valtakunnalliselle kiviainestutkimukselle. Vuosien 2015 ja 2016 aikana tutkimus on laajentunut koskemaan myös infrarakenteissa käytettäviä geosynteettejä. Tässä raportissa on esitetty vuonna 2018 tutkittujen näytteiden tulokset. Aiempien vuosien tutkimustulokset on raportoitu kolmessa raportissa:

- Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviainestutkimus, LTS 18/2016 (<http://urn.fi/URN:978-952-317-244-9>)
- Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines ja geosynteettitutkimus, LTS 22/2017 (<http://urn.fi/URN:978-952-317-402-3>)
- Väylärakenteiden valtakunnallinen kiviaines- ja geosynteettitutkimus: Vuoden 2017 tutkimukset, LTS 40/2018 (<http://urn.fi/URN:978-952-317-585-3>)

Tutkimuksen tavoitteena on

1. Kartoittaa laaja-alaisesti infrarakenteiden materiaaleissa mahdollisesti esiintyviä laatupoikkeamia ja selvittää onko poikkeamia myös CE-merkityissä materiaaleissa.
2. Arvioida aikaisemmin tehtyjen vaurioitumismallien perusteella laatu-poikkeamien 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.

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 sijaan tutkitaan näytteenottotavan vaihtelevuutta. Aiemmistä vuosista poiketen osa näytteistä on testattu eri laboratorioissa, koska tutkimus tarjosi investointihankkeille näytteenottopalvelua, ja hankkeet saivat itse määrittää, missä otetut näytteet tutkitaan.

Tutkimukseen kuuluu työmaalta rakenteesta otettavia näytteitä sekä urakoitsijoiden ja kiviainestoitimittajien kiviainesten ottopaikalta kasalta otettavia näytteitä. Testitulokset on esitetty siten, että muut kuin asianosainen tilaaja, urakoitsija ja mahdollinen materiaalitoimittaja eivät pysty tunnistamaan kohdetta tai testattua tuotetta. Kulutuskerrosmateriaalien tutkimuksen yhteydessä on kehitetty vuodesta 2017 myös paikkatietoon perustuvaa raportointitapaa, jonka kehittämistä haluttiin myös jatkaa vuonna 2018 ja laajentaa koskemaan kaikkia rakennekerroksia. Paikkatietoon perustuvaa raportointia kuvataan tässä raportissa kuitenkin vain yleisellä tasolla, jotta raportoitujen kohteiden anonymiteetti säilyy.

Vuoden 2018 tutkimuksen painopistealueet on valittu aiempien tutkimustulosten ja niistä seuranneiden ohje- ja laatuvaatimuspäivitysten perusteella. Tierakennemateriaaleista tutkimukseen haluttiin mukaan päällystekiviaineita, soratien kulutuskerrosmateriaaleja ja kantavan kerroksen materiaaleja sekä tierakenteessa käytettäviä uusiomateriaaleja. Päällystekiviaineita (luku 3) tutkittiin ELY-keskusten tienpäällystysurakoista, koska haluttiin selvittää, kuinka hyvin Asfalttinormeihin 2017 tehdyt muutokset kiviainesten tuotannonaikaisen laadunvarmistuksen parantamiseksi ovat siirtyneet käytäntöön. Lisäksi tutkittiin päällystekiviaineita joistakin Liikenneviraston hankkeista, koska haluttiin selvittää, onko vuonna 2017 ELY-keskusten tienpäällystysurakoissa havaittu päällystekiviaineiden laadun parantuminen havaittavissa myös investointihankkeissa.

Soratien kulutuskerrosmateriaalien (luku 4) tutkimuksessa jatkettiin laadun- tarkkailua. Tien pinnasta otettujen näytteiden avulla haluttiin selvittää sora- tustoimenpiteiden kokonaisvaikutusta, koska aiemmissä tutkimuksissa on ha- vaittu systemaattista poikkeamaa lisättävän murskeen laadussa. Samalla tar- kasteltiin kunnossapitourakoihin tulleiden arvonalennusperusteiden toimi- vuutta.

Tutkimukseen haluttiin mukaan myös Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) in- vestointihankkeita ja niissä käytettäviä materiaaleja. Tien kantavan kerroksen murskeita testattiin kolmesta investointihankkeesta (luku 5) ja tierakenteessa käytettäviä uusiomateriaaleja (luku 6) kahdesta hankkeesta. Molemmat testa- tut uusiomateriaalit olivat betonimurskeita.

Ratarakennemateriaaleista tutkittiin vuonna 2018 raidesepeliä (luku 7). Vuonna 2017 tehdyissä tutkimuksissa havaittiin runsaasti poikkeamia sepelin muotoar- vossa. Lisäksi pitkien, yli 100 mm rakeiden osuus oli kaikissa sepeleissä erittäin suuri. Vuonna 2018 tehdyillä testeillä haluttiin kartoittaa pitkien rakeiden osuu- den ja muotoarvopuutteiden laajuutta.

Geosynteeteistä tutkittiin vuonna 2018 pohjaveden suojauksessa käytettäviä bentoniittimattoja kahdesta kohteesta. Tulokset on esitetty luvussa 8.

Jokaisen luvun lopussa on esitetty testaustulosten perusteella tehdyt keskei- simmät päätelmät ja toimenpidesuosituksukset.

2 Tutkimusohjelma

2.1 Tutkitut materiaalit ja testausmenetelmät

Tutkimukseen on kuulunut vuonna 2018 yhteensä 18 tierakenteiden kiviaineksiin liittyvää hanketta tai urakkaa ja 6 ratarakenteiden kiviaineksiin liittyvää hanketta tai urakkaa. Maanteiden pohjavedensuojauksessa käytettäviä bentoniittimattoja on testattu kahdelta hankkeelta.

Päällystekiviaineksia on testattu ELY-keskusten tienpäällystysurakoihin liittyen yhteensä kuuden eri ELY-keskuksen alueelta. Yhteensä on testattu 10 kiviainesta. Lisäksi Liikenneviraston investointihankkeista on testattu neljä päällystekiviainesta. Kiviaineksista on testattu litteysluku ja nastarengaskulutuskestävyys. Litteysluvun testaamiseksi on otettu aina kolme rinnakkaisnäytettä. Nastarengaskulutuskestävyys on testattu kahden rinnakkaisnäytteen avulla (neljä testitulosta, kaksi keskiarvoa).

Soratien kulutuskerrosmateriaaleja on testattu yhteensä neljän eri alueurakan alueelta. Jokaisesta urakasta on otettu näytteitä kahden sorastetun tien pinnasta. Yhteensä soratien pinnasta on otettu 32 rakeisuusnäytettä.

Raidesepelinäytteitä on testattu kuudesta eri kohteesta. Sepelistä otettiin kolme rinnakkaisnäytettä, joista määritettiin rakeisuus, muotoarvo, yli 100 mm rakeiden osuus ja lopuksi Los Angeles-luku. Rinnakkaisnäytteistä on lisäksi muodostettu yksi kokoomanäyte, josta on testattu materiaalin micro-Deval-arvo.

Kiviainesnäytteille tehdyt testit ja testimäärät on koottu taulukkoon 1. Uusiomateriaalien (betonimurskeiden) vastaavat tiedot on esitetty taulukossa 2. Taulukossa 3 on esitetty näytteille tehdyt laboratoriotestit ja niissä noudatetut standardit.

Taulukko 1. Kiviaineksille tehtyjen testien määrät vuonna 2018.

Rakenne	Rakeisuus	>100 mm rakeet	Muotoarvo	Litteysluku	Los Angeles-luku	micro-Deval-arvo	Kuulamylly
Soratien kulutuskerros	32	-	-	-	-	-	-
Päällystekerros	-	-	-	42	-	-	28
Kantava kerros	13	-	-	-	9	-	-
Raidesepeli	18	18	18	-	18	6	-

Taulukko 2. Uusiokiviaineksille tehtyjen testien määrät vuonna 2018.

Rakenne	Rakeisuus	Litteysluku	Kiintotiheys ja vedenimeytyminen	Los Angeles-luku	Puristuslujuus	Uusiokiviaineksen luokittelutesti
Tien jakava kerros betonimurskeesta	6	2	2	4	2	2

Taulukko 3. Tutkimuksessa kiviainesnäytteistä testatut ominaisuudet ja testauksissa noudatetut standardit. Sulkuihin on merkitty raidesepelin testaamista koskevat tarkentavat liitteet.

Ominaisuus	Testausmenetelmä	Standardi
Rakeisuus ja hienoaines-pitoisuus	Pesuseulonta	SFS-EN 933-1
Muotoarvo	Litteysluku	SFS-EN 933-3
	Muotoarvo	SFS-EN 933-4
Kiintotiheys	Pyknometri	SFS-EN 1097-6
Vedenimeytyminen		
Iskunkestävyys	Los Angeles -testi	SFS-EN 1097-2 (Liite A)
Rakeiden pituus	> 100 mm rakeet	Menetelmä kuvattu standardissa SFS-EN 13450
Hiovan kulutuksen kestävyys	micro-Deval -testi	SFS-EN 1097-1 (Liite A)
Nastarengaskulutuskestävyys	Kuulamyllly	SFS-EN 1097-9
Puristuslujuus	Puristuslujuus 7 ja 28 vrk iässä	PANK 9003
Uusiokiviaineksen koostumus	Karkean uusio-kiviaineksen osa-aineiden luokittelu-testi	SFS-EN 933-11

2.2 Näytteenotto

Tutkimuksesta ja sen tarkoituksesta on informoitu tutkimukseen sisältyvien hankkeiden 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 otettu myös silmämääräisesti havaittua laatupoikkeamaa edustavia näytteitä. Näytteenotto on tehty tässä luvussa esitettyjen kuvausten mukaisesti.

Rakeisuus- ja litteyslukumääritykseen tarvittava testinäytteen koko määräytyy standardin SFS-EN-933-1 mukaisesti ja perustuu tutkittavan näytteen maksimiraekokoon taulukossa 4 esitetyn mukaisesti. Rakeisuusnäytteiden koko vastaa taulukossa 4 esitettyjä näytemääriä, mikäli toisin ei ilmoiteta.

Taulukko 4. 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

Materiaalikasasta on otettu kauhakuormaajalla kauhallinen tutkittavaa materiaalia. Materiaali on levitetty kauhasta tasaiseksi kerrokseksi (kuva 1). Levityksen jälkeen kerroksesta on määritelty silmämääräisesti alue, joka vastaa tutkittavaa materiaalia keskimäärin ja tästä kohdasta on otettu tarvittava määrä näytettä tutkimuksia varten siten, että otettava näytemäärä täyttää näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) mukaisen näytemäärän (taulukko 4). 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

Rakenteesta on otettu näytteet kaivamalla lapiolla koekuoppa (kuva 4). Näytettä on otettu yhdestä kohdasta tutkimuksia varten riittävä määrä (riippuen materiaalin maksimiraekoosta), joka täyttää näytteenottostandardin (SFS-EN 932-1) vaatimukset. Rakeisuusnäytteet on jaettu näytteenottostandardin mukaisesti neliöimällä siten, että laboratorioon toimitettu osanäyte täyttää seulontastandardin (SFS-EN 933-1) vaatimukset.



Kuva 4. Radan välikerrokseen kaivettu koekuoppa. Kuopan halkaisija on noin 800 mm ja syvyys noin 250 mm.

2.2.3 Kiviaineksen mekaaniset ominaisuudet

Kiviaineksen mekaanisten ominaisuuksien testejä varten näytteenottokohteessa on seulottu 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 (maksimirakoko yli 45 mm) tapauksessa työmaolosuhteissa mukaan tulee käsin seulomalla jonkin verran lajitteiden 8/16 mm ulkopuolelle jäävää materiaalia, joten työmaalta on otettu mukaan näytteitä varmasti testeihin riittävä määrä.

Mikäli on poikettu edellä kuvatussa näytteenottomenetelmästä, poikkeama on dokumentoitu erikseen luvuissa 3-6.

2.2.4 Bentoniittimattonäytteet

Bentoniittimattonäytteet on otettu InfraRYL:n luvun 14231 liitteen 8 periaatteiden mukaisesti. Bentoniittimattonäytteitä otettiin kahdelta työmaalta. Tutkittu tuote oli molemmilla työmailla sama. Tuotteesta otettiin työmaalla A- ja B-näytteet. A- ja B-näytteistä otettiin lisäksi rinnakkaisnäytteet ja rinnakkaisnäytteet tutkittiin kahdessa eri laboratoriossa. Bentoniittimattonäyte on koko rullan levyinen ja pituudeltaan vähintään 500 mm (kuva 5). Näytteet pakattiin työmaalla rullalle ja suojattiin kaksinkertaisella muovilla.



Kuva 5. Bentoniittimattonäytteiden leikkaaminen täydestä rullasta. Kuvassa näkyvät näytteeseen tehtävät merkinnät.

Näytteistä tutkittiin bentoniitin paisumisindeksi ja neliöpaino (bentoniitin määrän maton pinta-alaa kohden uunikuivattuna). Tutkitut näytemäärät on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Bentoniittimattonäytteiden määrät ja testimenetelmät.

Ominaisuus	Standardi	Näytemäärä
Bentoniitin paisumisindeksi	ASTM D5890	2
Bentoniittimatton neliöpaino	EN-ISO 9864	2

3 Päällystekiviainekset

Päällystekiviaineksia testattiin ELY-keskusten tienpäällystysurakoissa ja Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeissa. Näytteitä haettiin kuuden urakoita teettävän ELY-keskuksen alueelta ja kolmelta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta. Yhteensä testattiin 14 kiviainesta. Näytteistä määritettiin litteysluku ja nastarengaskulutuskestävyys. Tulokset on esitetty tässä luvussa kiviainekohtaisesti.

Litteyslukunäytteiden osalta vaatimusten täyttymistä on arvioitu koostekiviainesten ja lajitteista tehtyjen massojen karkearakeisimman lajitteen osalta. Asfalttinormien 2017 taulukossa 50 on esitetty vaatimuksille alustavia valintaperusteita kuulamylyarvon ja litteysluvun perusteella. Varsinaiset vaatimukset esitetään sopimusasiakirjoissa. Asfalttilitteyslukuvaatimus koskee koko massaan käytettävää kiviainesta (≥ 4 mm materiaaleja, joille on voimassa litteysluvun määrittämiseksi standardi SFS-EN 933-3) ja sen keskiarvoa. Eri lajitteiden vaikutus litteyslukuun lasketaan menetelmän (PANK liite 933-3 menetelmä) mukaisesti prosentuaalisten osuuksien suhteessa. Koska lajitteista valmistetuista massoista pitäisi tietää kuinka paljon massassa on kutakin lajitetta, arvioidaan vaatimusten täyttymistä tässä raportissa vain karkeimman lajitteen osalta.

Lisäksi on tarkasteltu, että kiviainesten tuotannonaikainen laadunvalvonta kiviainesten nastarengaskulutuskestävyyden osalta vastaa Asfalttinormeissa 2017 esitettyjä testaustiheyksiä. Saatuja testituloksia on verrattu urakassa asetettuihin vaatimuksiin ja kiviainestoimittajan CE-merkissä ja/tai suoritus-tasoilmoituksessa ilmoitettuihin luokkiin.

3.1 Testitulokset

3.1.1 Päällystekiviaines AA

Kiviainesta AA on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu lajitteista 0/8 ja 8/16 mm. Litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 6. 8/16 mm lajite täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen F110.

Taulukko 6. Kiviaineksen AA litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatimus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/8 mm	19	19	21	F120	F120	
	8/16 mm	5	5	6	F15	F110	F110

Kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset esitetty taulukossa 7. Nastarengaskulutuskestävyydesteissä havaittiin poikkeama. Testitulosten perusteella materiaali kuuluu nastarengaskulutuskestävyydsluokkaan A_N 10. Näytteet otettiin ennen massan valmistamista. Koska myös tuotannonaikaisen testitulosten perusteella materiaali kuuluu nastarengaskulutuskestävyydsluokkaan A_N 10, jätettiin se osa kiviaineserästä, jossa havaittiin laatu-

keamia, käyttämättä. Asfalttiasemalle tuodusta, samalta kiviainesalueelta peräisin olevasta, kiviaineksesta otettiin lisänäytteitä. Lisänäytteiden testitulosten perusteella materiaali täytti luokan A_N 7 vaatimukset. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaaajuuden mukaisesti lisänäytteiden testitulosten perusteella käytettävä erä on saanut olla enintään 12 000 tonnia.

Taulukko 7. Kiviaineksen AA nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	8,8	8,8 8,7	8,7	8,7 8,7	A _N 10	A _N 7	A _N 7
Tuotannonaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	7,2	7,1	7,6	7,6	A _N 10	A _N 7	A _N 7
		7,2		7,6			
	7,3	7,3	6,9	7,2			
		7,2		6,6			
	6,4	6,5	7,3	7,3			
		6,3		7,2			
	7,7	7,8					
		7,6					
Lisänäytteiden tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	7,2	7,0	6,8	6,6	A _N 7	A _N 7	A _N 7
		7,4		6,9			
	7,4	7,3	7,0	7,0			
		7,4		6,9			

3.1.2 Päälystekiviaines AB

Kiviainesta AB on käytetty asfalttimassaan, joka on valmistettu koostekiviaineksesta 0/16 mm. Taulukossa 8 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI15 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI20.

Taulukko 8. Kiviaineksen AB litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	11	11	10	FI15	FI20	FI20

Taulukossa 9 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut vaatimukset, myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ei ole havaittu laatupoikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 18 000 tonnia.

Taulukko 9. Kiviaineksen AB nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	14,1	13,7	13,9	14,2	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		14,6		13,6			
Tuotannaikaisten tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	12,6	12,5	12,8	12,7	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		12,7		12,9			
	13,0	13,3	-	-			
		12,6	-	-			

3.1.3 Päälystekiviaines AC

Taulukossa 10 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI10 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI15.

Taulukko 10. Kiviaineksen AC litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	10	9	11	FI10	FI15	FI10

Taulukossa 11 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut vaatimukset, myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ei ole havaittu laatupoikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 18 000 tonnia.

Taulukko 11. Kiviaineksen AC nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	8,9	8,6	9,1	9,3	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		9,2		8,9			
Tuotannaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,4	9,3	8,2	8,3	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		9,5		8,1			
	9,3	9,3	-	-			
		9,3	-	-			

3.1.4 Päälystekiviaines AD

Taulukossa 12 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI15 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI35.

Taulukko 12. Kiviaineksen AD litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	14	15	15	FI15	FI35	FI15

Taulukossa 13 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut vaatimukset, myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ei ole havaittu laatu-poikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 24 000 tonnia.

Taulukko 13. Kiviaineksen AD nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritusasoi-
							lmoitus
Kuulamyly	19,3	19,4	19,1	19,0	A _N 19	A _N 19	A _N 19
		19,3		19,2			
Tuotannaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritusasoi-
							lmoitus
Kuulamyly	18,4	18,3	18,6	16,7	A _N 19	A _N 19	A _N 19
		18,4		20,4			
	18,9	18,5	18,5	18,7			
		19,2		18,4			

3.1.5 Päälystekiviaines AE

Taulukossa 14 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella karkea kiviaineslajite 8/16 mm kuuluu litteysluku- luokkaan FI10 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI15.

Taulukko 14. Kiviaineksen AE litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritusasoi-
							lmoitus
Litteysluku	0/8 mm	19	19	18	FI20	FI10	FI20
	8/16 mm	10	10	11	FI10	FI10	FI10

Taulukossa 15 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset. Testituloksissa havaittiin poikkeama, pistokoevalvonnessa saatujen testien perusteella materiaali kuuluu nastarengaskulutuskestävyysluokkaan A_N 10. Kiviainestoimittaja on myös saanut yhden poikkeavan testituloksen tuotannaikaisissa testituloksissa ja tämän perusteella tihentänyt omaa laadunvalvontaansa ja erästä on tehty yhteensä 15 nastarengaskulutuskestävyystestiä. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 45 000 tonnia.

Taulukko 15. Kiviaineksen AE nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	7,9	7,6 8,1	8,1	8,5 7,7	A _N 10	A _N 7	A _N 7
Tuotannaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	7,9	7,9 7,9	6,0	- -	A _N 7	A _N 7	A _N 7
	7,4	- -	7,4	- -			
	7,1	- -	7,0	6,8 7,2			
	7,4	7,3 7,5	7,2	7,4 7,0			
	7,2	7,4 7,0	5,9	5,7 6,2			
	7,3	7,1 7,4	7,1	7,2 7,0			
	6,0	5,8 6,2	6,1	6,0 6,2			
	6,5	6,5 6,5	-	- -			

3.1.6 Päälystekiviaines AF

Taulukossa 16 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan F115 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen F115.

Taulukko 16. Kiviaineksen AF litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	13	14	16	F115	F115	F115

Taulukossa 17 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut vaatimukset, myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ei ole havaittu laatu-poikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 30 000 tonnia.

Taulukko 17. Kiviaineksen AF nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	8,8	9,1	9,2	9,2	A _N 10	A _N 10	-
		8,5		9,2			
Tuotannonaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,0	8,6 (9,8)	8,5	8,6	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		8,3		8,3			
	9,1	9,2	8,1	8,2			
		8,9		7,9			
	8,0	7,8	-	-			
		8,2	-	-			

3.1.7 Päälystekiviaines AG

Taulukossa 18 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI20 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI20. Tuotannon aikana on saatu litteyslukululle keskiarvo 16 (23 näytteestä), joten pistokoevalvonnan tulokset ovat samaa tasoa tuotannon aikana saatujen tulosten kanssa.

Taulukko 18. Kiviaineksen AG litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	18	16	17	FI20	FI20	FI20

Taulukossa 19 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut luokan A_N 14 vaatimukset, myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ei ole havaittu laatu-poikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannon aikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 18 000 tonnia.

Taulukko 19. Kiviaineksen AG nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	10,5	10,5	10,7	10,9	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		10,5		10,4			
Tuotannaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	11,4	11,0	12,1	11,9	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		11,8		12,3			
	12,6	12,3	-	-			
		12,8	-	-			

3.1.8 Päälystekiviaines AH

Taulukossa 20 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI20 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI20. Tuotannon aikana on saatu litteysluvulle arvoja välillä 14...18, joten pistokoevalvonnan tulokset ovat jokseenkin linjassa tuotannon aikana saatujen tulosten kanssa.

Taulukko 20. Kiviaineksen AH litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	18	18	17	FI20	FI20	FI20

Taulukossa 21 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta nastarengaskulutuskestävyyden luokan A_N 14 vaatimukset, myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ei ole havaittu laatu-poikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaaajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 30 000 tonnia.

Taulukko 21. Kiviaineksen AH nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	13,7	13,7	13,9	14,3	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		13,7		13,5			
Tuotannonaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	14,2	13,8	13,7	13,3	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		14,7		14,0			
	12,8	13,2	13,3	13,4	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		12,4		13,1			
	14,4	13,9	-	-	-	-	-
		14,8		-			

3.1.9 Päälystekiviaines AI

Taulukossa 22 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella materiaali kuuluu litteyslukuluokkaan FI15 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI15. Kiviainestoimittajan ottamien rinnakkaisnäytteiden testitulokset ovat samanlaisia tässä tutkimuksessa otettujen näytteiden kanssa.

Taulukko 22. Kiviaineksen AI litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	12	11	12	FI15	FI15	FI15
Kiviainestoimittajan rinnakkaisnäytteiden tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	12	12	12	FI15	FI15	FI15

Taulukossa 23 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut vaatimukset, eikä myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ole havaittu laatu poikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannonaikaisen testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 18 000 tonnia. Myös kiviainestoimittajan tutkimien rinnakkaisnäytteiden tulokset ovat hyvin samankaltaiset pistokoevalvonnan tutkimustulosten kanssa.

Taulukko 23. Kiviaineksen A1 nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,4	9,0	9,7	9,8	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		9,9		9,6			
Kiviainestoitmittajan rinnakkaisnäytteiden tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,8	9,4	9,9	10,0	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		10,1		9,8			
Tuotannaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,1	8,8	8,9	8,7	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		9,4		9,0			
	10,2	10,3	-	-			
		10,1	-	-			

3.1.10 Päälystekiviaines AJ

Taulukossa 24 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI15 ja hankkeessa asetetun vaatimuksen FI20. Myös kiviainestoitmittajan tutkimien rinnakkaisnäytteiden tulokset ovat hyvin samankaltaiset pistokoevalvonnassa tutkittujen näytteiden tulosten kanssa.

Taulukko 24. Kiviaineksen AJ litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	12	12	15	FI15	FI20	FI20
Kiviainestoitmittajan rinnakkaisnäytteiden tulokset							
Testi	Lajite	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16 mm	10	11	13	FI15	FI20	FI20

Taulukossa 25 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Kiviaines täyttää kaikkien testitulosten osalta asetetut vaatimukset, eikä myöskään tuotannon aikana testattujen näytteiden perusteella ole havaittu laatu poikkeamia. Asfalttinormeissa 2017 määritetyn testaustaajuuden mukaisesti, tuotannaikaisten testitulosten lukumäärän perusteella, valmistettu erä on saanut olla enintään 72 000 tonnia.

Taulukko 25. Kiviaineksen AJ nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	11,8	11,7	12,1	11,9	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		11,9		12,3			
Kiviainestoimittajan rinnakkaisnäytteiden tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	12,3	11,9	11,5	11,0	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		12,7		11,9			
Tuotannaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	10,2	10,4	13,7	13,7	A _N 14	A _N 14	A _N 14
		9,2		13,6			
	13,5	13,9	11,6	11,8			
		13,1		11,4			
	13,3	13,4	12,7	13,3			
		13,2		12,0			
	12,2	11,8	10,6	11,0			
		12,5		10,2			
	10,7	10,9	9,9	9,8			
		10,5		9,9			
	13,7	13,8	12,7	12,6			
		13,6		12,8			

3.1.11 Päälystekiviaines JVP

Kiviaineksen JVP näytteet otettiin Liikenneviraston (Nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta, jossa päälystekiviaineksen tuli täyttää nastarengaskulutuskestävyyssluokka A_N 10 Asfalttinnormien 2011 mukaisesti määritettynä.

Taulukossa 26 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella molemmat kiviaineslajitteet kuuluvat litteyslukuun FI15 ja täyttävät hankkeessa asetetun vaatimuksen FI15.

Taulukko 26. Kiviaineksen JVP litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Testilajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	5/11	16	14	16	FI 15	FI 15	FI20
	11/16	12	13	11	FI 15	FI 15	FI15

Taulukossa 27 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines täyttää asetetut laatuvaatimukset. Tuotannaikaisia testituloksia ei ollut tutkimuksen käytössä.

Taulukko 27. Kiviaineksen JVP nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	7,5	7,8	7,2	7,3	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		7,2		7,1			

3.1.12 Päällystekiviaines AUP

Kiviaineksen AUP näytteet otettiin Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta, jossa päällystekiviaineksen tuli täyttää nastarengaskulutuskestävyysluokka A_N 19 Asfalttinormien 2011 mukaisesti määritettynä.

Taulukossa 28 on esitetty kiviainekselle tehtyjen litteyslukutestien tulokset. Testitulosten perusteella kiviaines kuuluu litteyslukuluokkaan FI25 ja täyttää hankkeessa asetetun vaatimuksen FI35.

Taulukko 28. Kiviaineksen AUP litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Testilajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	0/16	27	23	25	FI 25	FI 35	FI 35

Taulukossa 29 on esitetty kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyystestien tulokset. Kiviaines täyttää testitulosten perusteella asetetut vaatimukset. Tuotannonaikeisten testitulosten perusteella materiaali kuuluu myös nastarengaskulutuskestävyysluokkaan A_N 19.

Taulukko 29. Kiviaineksen AUP nastarengaskulutuskestävyystestitulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	17,5	16,8	19,2	18,6	A _N 19	A _N 19	A _N 19
		18,2		19,7			
Tuotannonaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset koetulokset	Tulos 2	Yksittäiset koetulokset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	13,4	12,8	14,9	14,4	A _N 19	A _N 19	A _N 19
		14		15,4			
	11,6	11,9	13,8	13			
		11,3		14,6			
	15,2	15,3	17,7	17,9			
		15,1		17,4			

3.1.13 Päällystekiviaines LTP

Kiviaineksen LTP näytteet otettiin Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta, jossa päällystekiviaineksen tuli täyttää nastarengaskulutuskestävyysluokka A_N 7 Asfalttinormien 2011 mukaisesti määritettynä.

Kiviaineksen litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 30. Lajitteen 11/20 mm litteyslukuluokka FI10 täyttää hankkeessa asetetun litteyslukuvaatimuksen FI10.

Taulukko 30. Kiviaineksen LTP litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Testilajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	6/11	11	12	11	FI 15	FI 10	FI 15
	11/20	8	7	6	FI 10	FI 10	FI 10

Kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset on esitetty taulukossa 31. Taulukossa on esitetty lisäksi kiviainestoimittajan tuotannonaikaisia testituloksia. Testituloksissa havaittiin kaksi poikkeamaa. Hankkeella on voimassa Asfalttinormit 2011, missä yksittäiselle kuulamylytulokselle sallitaan 15 % poikkeama luokasta. Tässä tapauksessa yksittäisen testituloksen enimmäisarvo on siis $7,0 \times 1,15 = 8,1$, eli asetetut vaatimukset täyttyvät.

Taulukko 31. Kiviaineksen LTP nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	7,7	7,4	7,3	7,3	A _N 10	A _N 7	A _N 7
		8,0		7,3			
Tuotannonaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	6,6	6,7	6,6	6,7	A _N 7	A _N 7	A _N 7
		6,4		6,4			
	7,1	-	6,9	-			
		-		-			
	6,9	-	7,5	-			
		-	-	-			
	7,2	-	-	-			
		-	-	-			

3.1.14 Päälystekiviaines LTQ

Kiviaineksen LTQ näytteet otettiin Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta, jossa päälystekiviaineksen tuli täyttää nastarengaskulutuskestävyysluokka A_N 10 Asfalttinormien 2011 mukaisesti määritettynä.

Kiviaineksen litteyslukutestien tulokset on esitetty taulukossa 32. Testitulosten perusteella lajite 8/16 mm kuuluu litteyslukuluokkaan FI10 ja täyttää hankkeessa asetetun litteyslukuvaatimuksen FI15.

Taulukko 32. Kiviaineksen LTQ litteyslukutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Testilajite (mm)	Testitulokset			Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Litteysluku	8/16	9	9	11	FI 10	FI 15	FI 15

Kiviaineksen nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset on esitetty taulukossa 33. Testitulokset täyttävät luokan A_N10-vaatimukset. Myös tuotannonaikaiset testitulokset täyttävät luokan A_N 10 vaatimukset.

Taulukko 33. Kiviaineksen LTQ nastarengaskulutuskestävyydestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,5	9,5	10,0	10,2	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		10,0		9,8			
Tuotannonaikaiset tulokset							
Testi	Tulos 1	Yksittäiset	Tulos 2	Yksittäiset	Luokka	Vaatus	Suoritustaso-ilmoitus
Kuulamyly	9,5	-	9,8	-	A _N 10	A _N 10	A _N 10
		-		-			
	9,9	-	-	-			
		-		-			

3.2 Päälystekiviainesten yhteenveto

Tutkimuksessa testattiin yhteensä 14 päälystekiviainesta. Kiviaineksille tehtiin litteysluku- ja nastarengaskulutuskestävyydestit sekä tutkittiin tuotannonaikaisen laadunvalvonnan toteutumista. Koostekiviainesten osalta litteyslukutestien tulokset täyttivät asetetut vaatimukset kaikilla testatuilla näytteillä. Mikäli massa oli valmistettu kiviaineslajitteista, havaittiin poikkeamia vaadittuun luokkaan ainoastaan hienojen lajitteiden litteyslukuarvoissa. Litteysluvun arvostelu pitää kuitenkin tehdä koko massasta, mitä varten käyttöön tarvittaisiin tarkat osuudet eri lajitteiden osuuksista.

Nastarengaskulutuskestävyydessä havaittiin poikkeamia kahdessa ELY-keskuksen hankkeessa sekä yhdessä Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeessa. Huomattavaa oli, että kaikki kolme poikkeamaa olivat luokassa A_N 7. Asfalttinormit 2017 mukaisen kiviainesten tuotannonaikaisen nastarengaskulutuskestävyyden testaustiheysvaatimuksen havaittiin toteutuvan hyvin. Tuotannonaikaisia dokumentteja saatiin kaikista ELY-keskusten hankkeista ja lisäksi myös osasta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) Asfalttinormeja 2011 noudattavista hankkeista.

Nastarengaskulutuskestävyydessä havaittujen poikkeamien käsittely oli pääosin asianmukaista. Yhdessä kohteessa pistokoetarkastuksen yhteydessä nastarengaskulutuskestävyyden testituloksissa havaittiin poikkeama, johon ehdittiin reagoimaan ennen työn aloittamista. Toisessa kohteessa kiviainestoimittaja havaitsi poikkeaman tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa likimain samanaikaisesti pistokoevalvonnan näytteiden kanssa, joissa todettiin myös poikkeama. Kiviainestoimittaja tihensi omaa tuotannonaikaista laadunvalvontaansa ja huolehti nastarengaskulutuskestävyyksivaatimuksen täyttymisestä. Kolmannessa poikkeamakohteessa myös kiviainestoimittaja sai yhden poikkeavan tuloksen tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa. Samanaikaisesti tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa saatiin kuusi hyväksyttyä tulosta, joten kiviainestoimittaja katsoi materiaalin laadun tulleen osoitetuksi. Vaikka myös tässä tutkimuksessa todettiin poikkeama, olivat molemmat havaitut poikkeamat niin pieniä, että ne mahtuivat Asfalttinormeissa 2011 (hankkeella voimassa oleva vaatimus) yksittäiselle testitulokselle sallitun 15 % poikkeaman sisään.

4 Soratien kulutuskerrokset

4.1 Testitulokset

4.1.1 Sorastusmurske SRA I

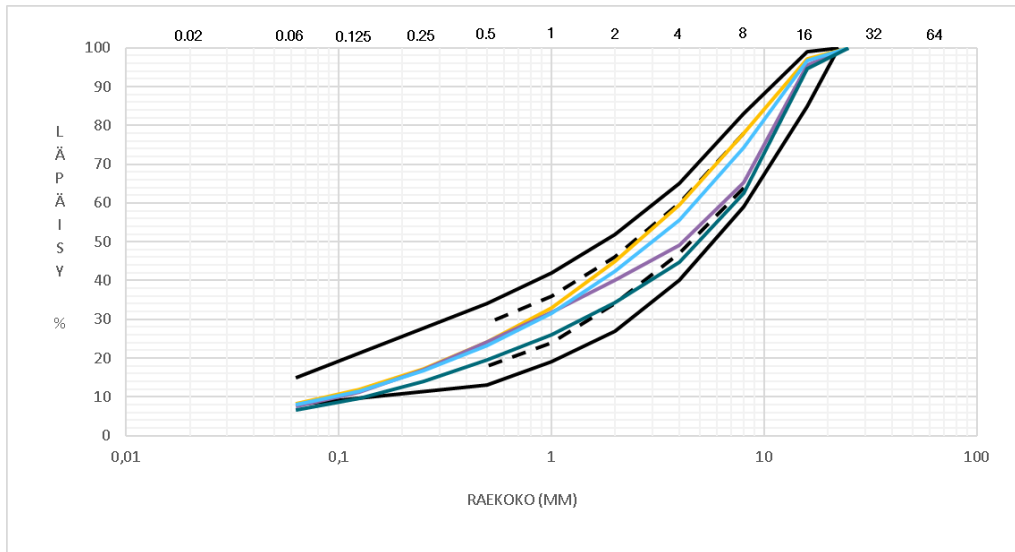
Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRA kohteessa 1 tehtiin normaalia syys-sorastusta. Kuvassa 6 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista toimitettujen tuotannon aikaisten rakeisuuskäyrien perusteella materiaali täyttää sorastusmurskeelle asetetut rakeisuusvaatimukset (kuva 8).

Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 7) kulutuskerroksessa on silti aavistuksen liian vähän hienoainesta. Tämä saattaa osin johtua siitä, että näytteenottohetkeä edeltävänä yönä alueella oli pakkasta noin -7°C . Näytteenottohetkellä tien pinta oli jäinen muutaman senttimetrin syvyydessä, mikä saattaa vaikuttaa tutkittujen näytteiden raekokojakaumaan. Osa hienoaineksesta on saattanut sitoutua kulutuskerroksen alaosaan, joka on ollut jäässä. Tähän viittaisi osaltaan myös suhteellisen ohut näytteenoton yhteydessä määritetty kulutuskerroksen rakennepaksuus, noin 25...35 mm.

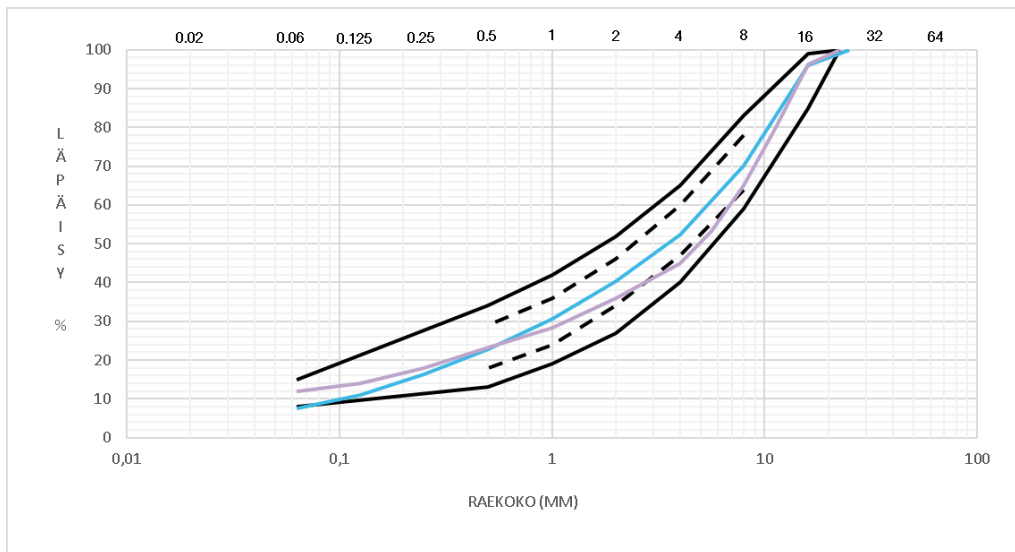
Jos tarkastellaan vielä sorastuksen lopputulosta, voidaan todeta, että rakenteen pinta on irtonainen, vaikka käytetty sorastusmurske täyttää asetetut rakeisuusvaatimukset. Koska lämpötila oli pakkasella näytteenoton aikaan, voidaan todeta, että sorastuksen jäädessä myöhään syksyyn toimenpiteiden huolellisella suunnittelulla on erityisen suuri vaikutus. Jos soratien pintaa ei homogenisoida ja tiivistetä sorastuksen yhteydessä, on olemassa riski, että kulutuskerroksen alaosa, joka sisältää enemmän hienoainesta, jäätyy, eikä tien pinta sitoudu kunnolla. Tällöin osa lisätystä murskeesta menee hukkaan, koska se kulkeutuu pois tien pinnalta nopeasti.



Kuva 6. Soratien pinta alueurakan SRA kohteessa 1.



Kuva 7. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRA kohteessa 1 (n=4). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 8. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRA kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

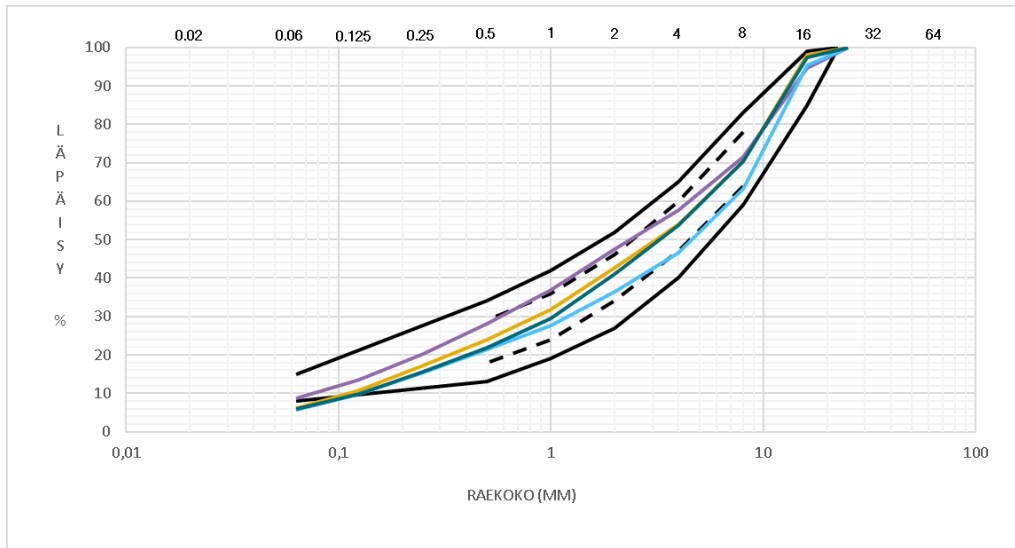
4.1.2 Sorastusmurske SRA II

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRA kohteessa 2 korjattiin pintakelirikkoa. Kuvassa 9 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina keskimääräinen raekokojakauma ja sen perusteella materiaali sisältää liian vähän hienoainesta (kuva 11).

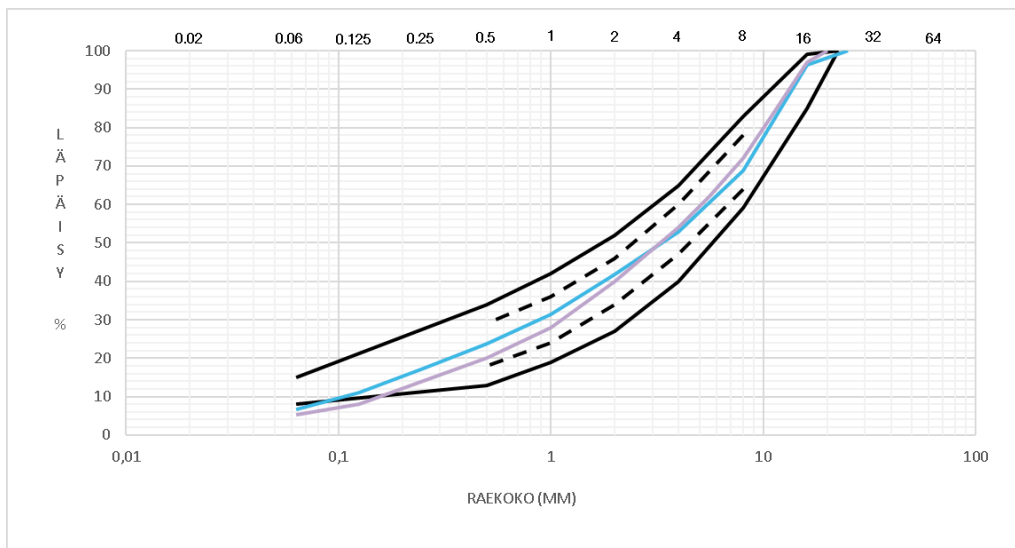
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 10) kulutuskerroksessa on aavistuksen liian vähän hienoainesta. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 9) nähdään, että tien vasemmassa reunassa näkyy edelleen vedelle herkkiä kohtia, joten käytetyllä materiaalilla on saatu korjattu pintakelirikko-ongelma likimain optimaalisesti. Kulutuskerrokseen on saatu lisättyä runkoainesta ja tien pinta on melko hyvin sitoutunut.



Kuva 9. Soratien pinta alueurakan SRA kohteessa 2.



Kuva 10. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRA kohteessa 2 (n=4). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 11. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRA kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

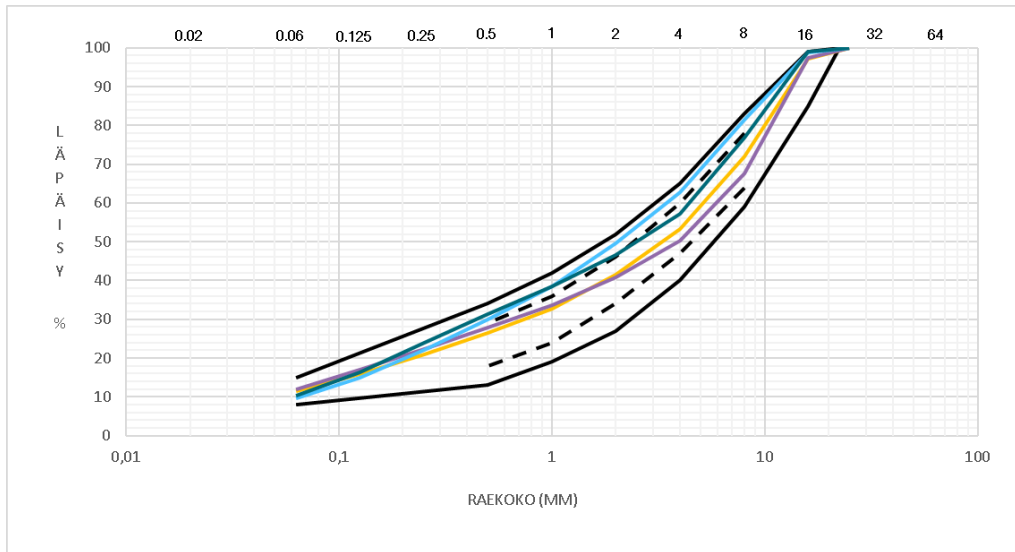
4.1.3 Sorastusmurske SRB I

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRB kohteessa 1 tehtiin normaalia syys-sorastusta. Kuvassa 12 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus. Niiden perusteella materiaali täyttää sorastusmurskeelle asetetut rakeisuusvaatimukset (kuva 14).

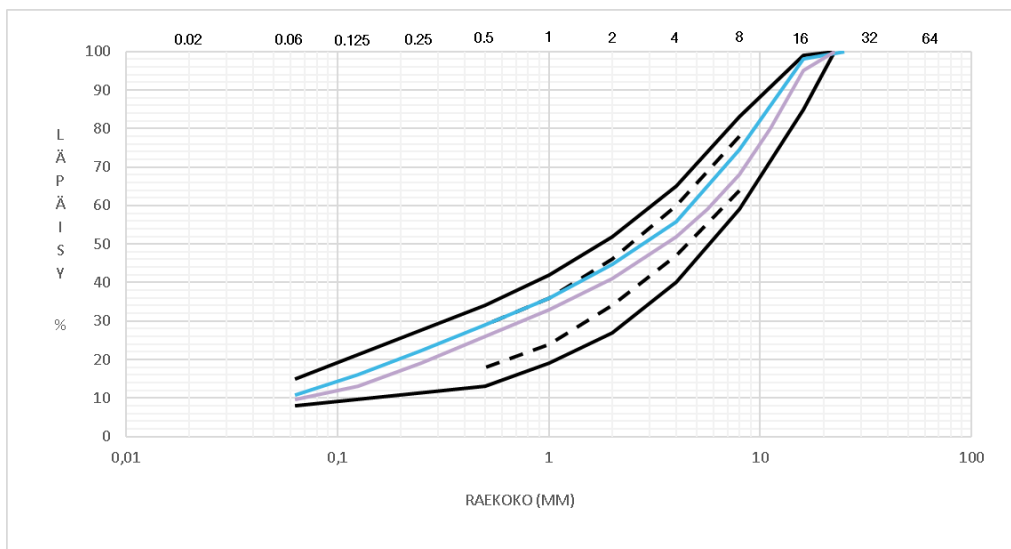
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 13) kulutuskerroksen rakeisuus täyttää laatuvaatimukset. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 12) nähdään, että tien pinta on irtonainen lukuun ottamatta ajourien kohtia, jotka liikenne on tiivistänyt. Huolelliset sorastustoimenpiteet, etenkin muokkauksen jälkeinen tiivistys, olisivat parantaneet lopputulosta tässä kohteessa.



Kuva 12. Soratien pinta alueurakan SRB kohteessa 1.



Kuva 13. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRB kohteessa 1 (n=4). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty sorastien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 14. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRB kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty sorastien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

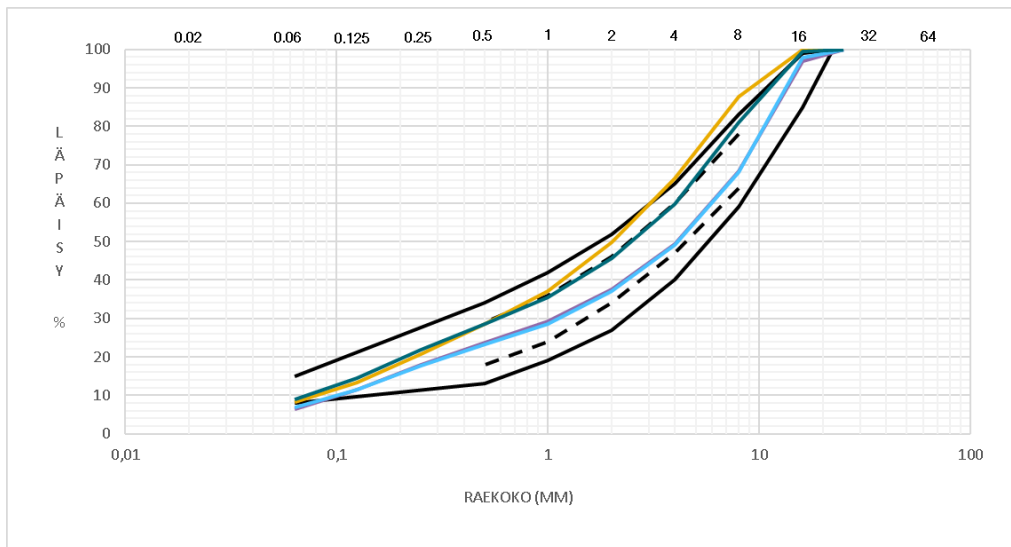
4.1.4 Sorastusmurske SRB II

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRB kohteessa 2 tehtiin normaalia syys-sorastusta. Kuvassa 15 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina keskimääräinen raekokojakauma, jonka perusteella materiaali täyttää sorastusmurskeelle asetetut rakeisuusvaatimukset (kuva 17).

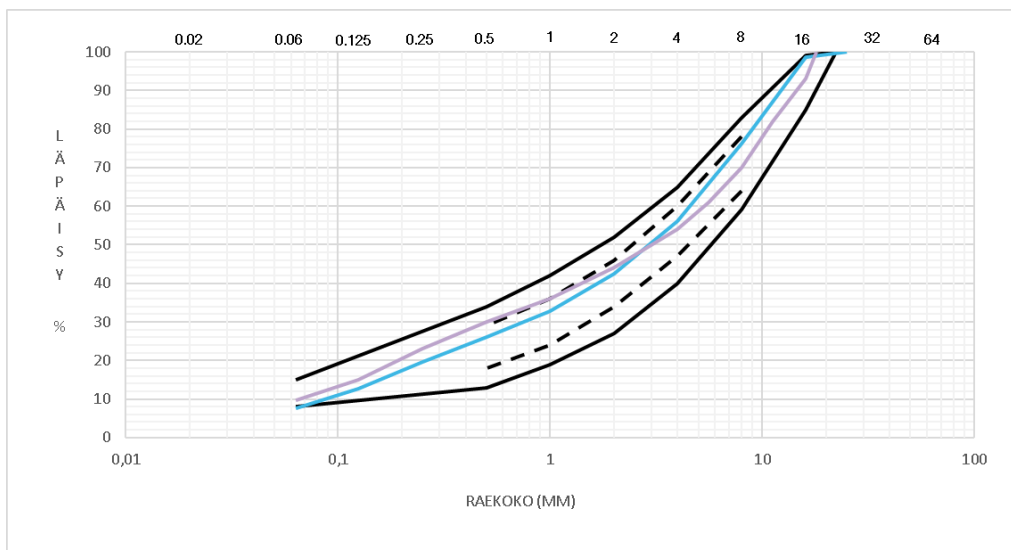
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 16) kulutuskerroksen rakeisuus täyttää osin asetetut laatuvaatimukset. Tien pinnan rakeisuudessa on jonkin verran vaihtelua. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 15) nähdään, että tien pinta on irtonainen lukuun ottamatta ajourien kohtia, jotka liikenne on tiivistänyt. Huolelliset sorastustoimenpiteet, etenkin muokkauksen jälkeinen tiivistys, olisivat parantaneet lopputulosta tässä kohteessa.



Kuva 15. Soratien pinta alueurakan SRB kohteessa 2.



Kuva 16. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRB kohteessa 2 ($n=4$). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 17. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRB kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

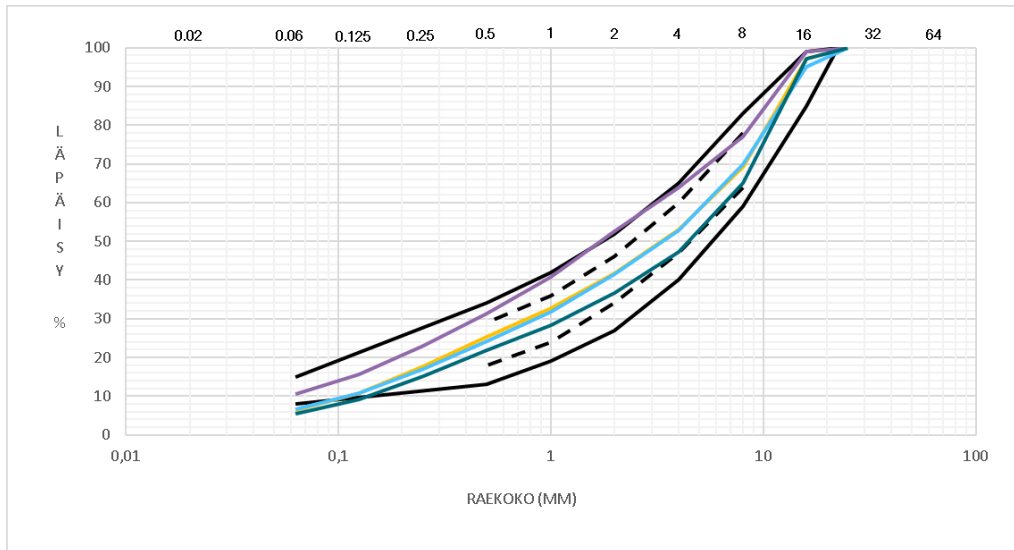
4.1.5 Sorastusmurske SRC I

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRC kohteessa 1 tehtiin normaalia syys-sorastusta. Kuvassa 18 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina keskimääräinen raekokojakauma, jonka perusteella materiaali sisältää liian vähän hienoainesta (kuva 20).

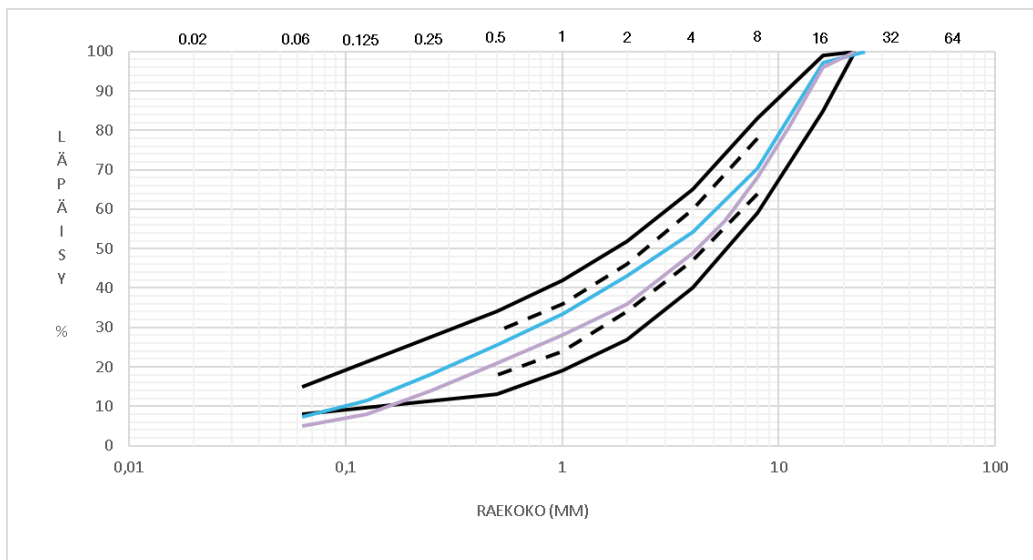
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 19) kulutuskerroksen rakeisuus täyttää osin asetetut laatuvaatimukset. Valtaosassa tutkituista näytteistä kulutuskerroksessa on hieman liian vähän hienoainesta. Tien pinnan rakeisuudessa on jonkin verran vaihtelua. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 18) nähdään, että tien pinta on irtonainen lukuun ottamatta ajourien kohtia, jotka liikenne on tiivistänyt. Ajourien kohta on keskimäärin erittäin hyvin tiivistynyt, joten huolimatta käytetyn sorastusmateriaalin pienestä hienoainemäärästä lopputuloksesta olisi voitu saada hyvä. Huolelliset sorastustoitmenpiteet, etenkin muokkauksen jälkeinen tiivistys, olisivat parantaneet lopputulosta tässä kohteessa.



Kuva 18. Soratien pinta alueurakan SRC kohteessa 1.



Kuva 19. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRC kohteessa 1 (n=4). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 20. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRC kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

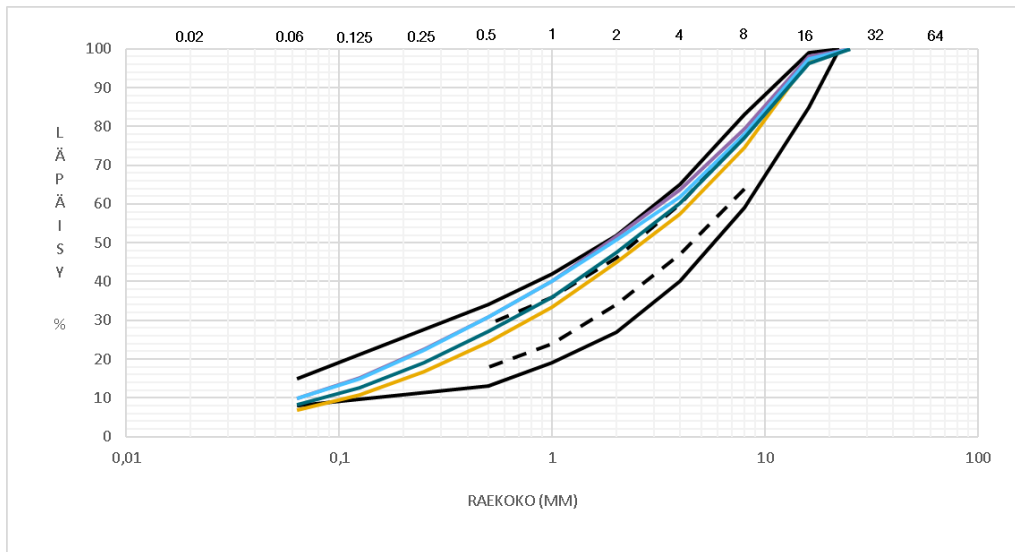
4.1.6 Sorastusmurske SRC II

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRC kohteessa 2 tehtiin normaalia syys-sorastusta. Kuvassa 21 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus. Niiden perusteella materiaali sisältää liian vähän hienoainesta (kuva 23) ja laatudokumenteissa viitataan standardiin SFS-EN 13043 eli kiviaines on valmistettu päällystekiviainekseksi.

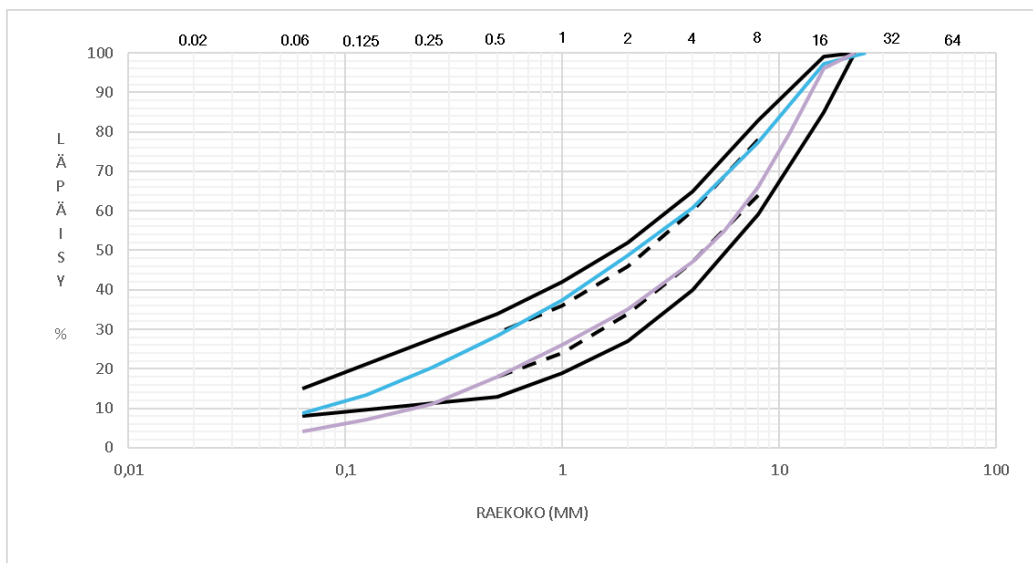
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 22) kulutuskerroksen rakeisuus täyttää osin asetetut laatuvaatimukset. Keskimääräinen raekokojakauma (kuva 23) täyttää kulutuskerroksen laatuvaatimukset raekokojakauman osalta, osassa yksittäisistä näytteistä on liian vähän hienoainesta. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 21) nähdään, että tien pinta on irtomainen. Sorastusmurskeen levitys on tapahtunut hieman ennen näytteenottoa ja tien pinnasta voidaan havaita, että pinta alkaa tiivistyä liikenteen vaikutuksesta, jos se ei pääse liiaksi kuivumaan. Huolelliset sorastustoimenpiteet, etenkin muokkauksen jälkeinen tiivistys, olisivat parantaneet lopputulosta tässä kohteessa.



Kuva 21. Soratien pinta alueurakan SRC kohteessa 2.



Kuva 22. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueuran SRC kohteessa 2 (n=4). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 23. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueuran SRC kohteessa 2. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

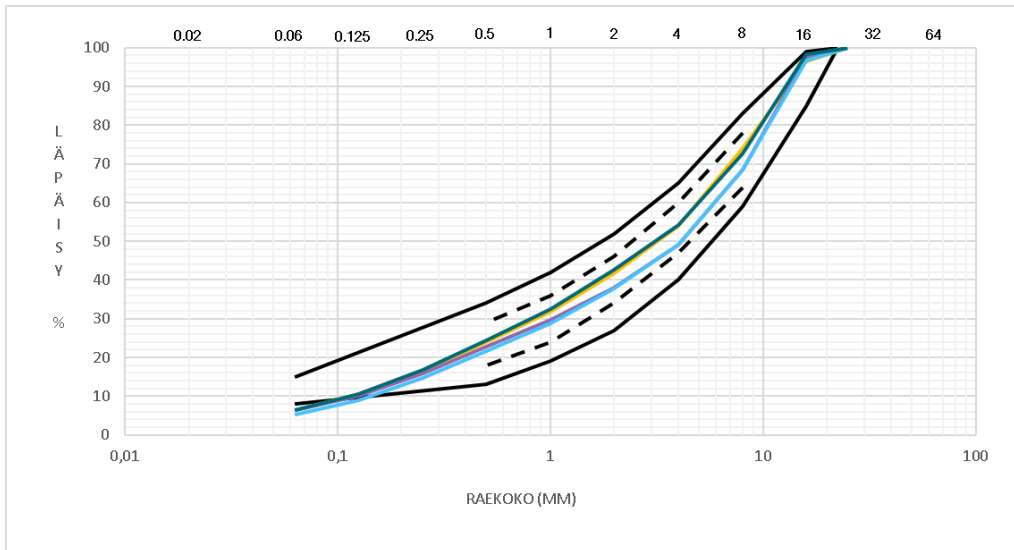
4.1.7 Sorastusmurske SRD I

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRD kohteessa 1 tehtiin sorastusta keväällä. Käytettävä sorastusmurske oli hienorakeisempaa, 0/11 mm, verrattuna normaalisti sorastuksessa käytettävään 0/16 mm kiviainekseen. Toimenpiteen avulla pyrittiin palauttamaan kulutuskerroksen pinta normaalille, 0/16 murskeen rakeisuusalueelle, koska tien pinta oli ollut karkearakeinen. Kuvassa 24 on esitetty tyypillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina keskimääräinen raekokojakauma (kuva 26).

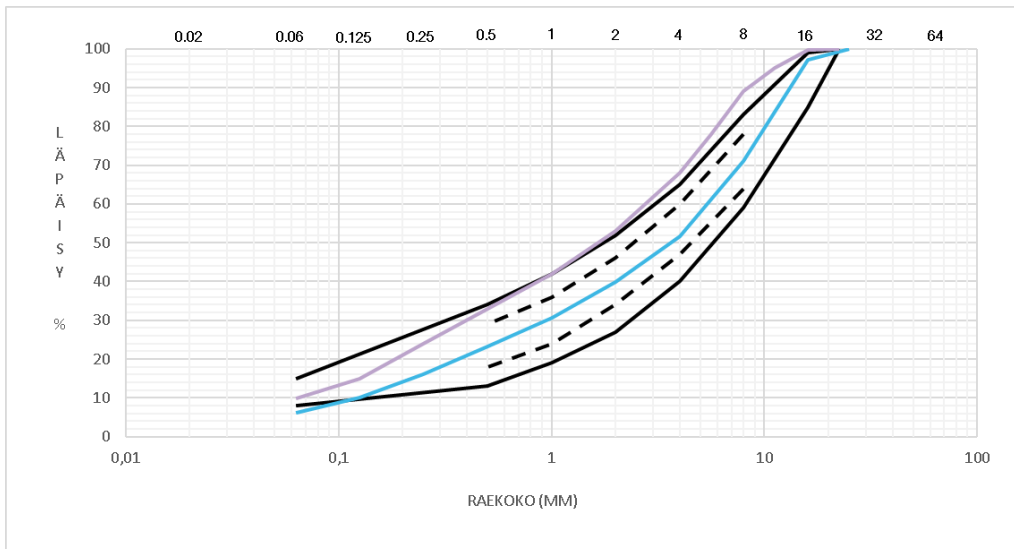
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 25) kulutuskerroksessa on liian vähän hienoainesta. Kohteessa havaittu tien pinnan karkeusongelma on kuitenkin saatu valtaosin korjattua. Kulutuskerroksen keskimääräinen rakeisuus on vaaditulla ohjealueella lukuun ottamatta hienoainespitoisuutta. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 24) nähdään, että tien pinta on irtonainen. Huolelliset sorastustoimenpiteet, etenkin muokkauksen jälkeinen tiivistys, olisivat parantaneet lopputulosta tässä kohteessa.



Kuva 24. Soratien pinta alueurakan SRD kohteessa 1.



Kuva 25. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRD kohteessa 1 (n=4). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



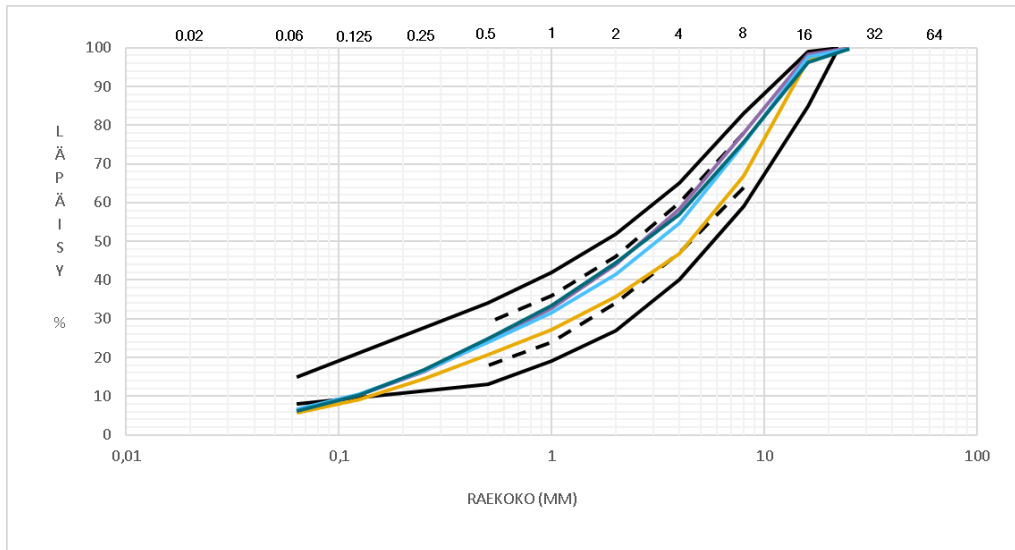
Kuva 26. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRD kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

Alueurakoitsijan mukaan alueurakan SRD kohteessa 2 tehtiin sorastusta keväällä. Käytettävä sorastusmurske oli hienorakeisempaa, 0/11 mm, verrattuna normaalisti sorastuksessa käytettävään 0/16 mm kiviainekseen. Toimenpiteen avulla pyrittiin palauttamaan kulutuskerroksen pinta normaalille, 0/16 murskeen rakeisuusalueelle, koska tien pinta oli ollut karkearakeinen. Kuvassa 27 on esitetty tyyppillinen sorastuksen lopputulos kohteessa. Sorastusmateriaalista on toimitettu materiaalin laatutietoina keskimääräinen raekokojakauma (kuva 29).

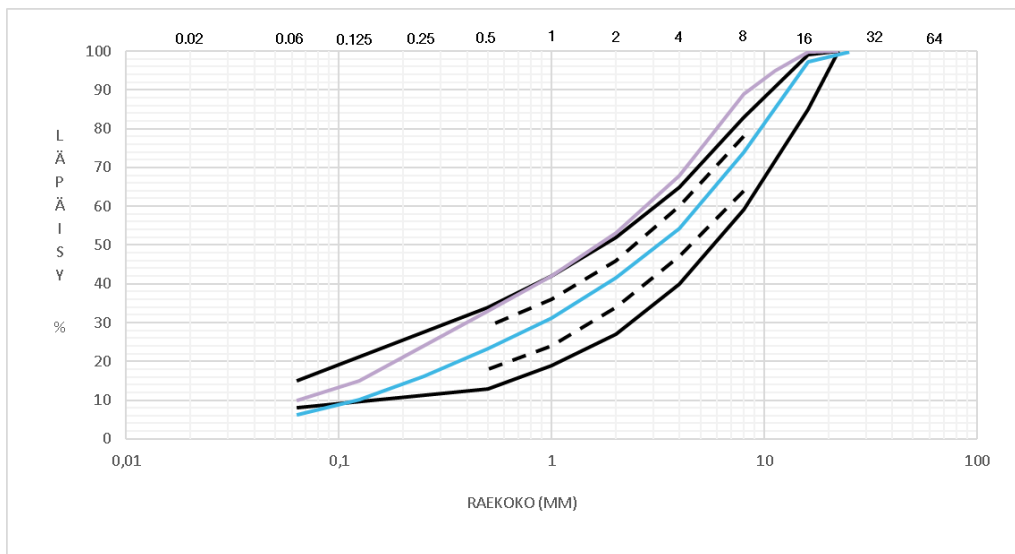
Tutkittujen näytteiden perusteella (kuva 28) kulutuskerroksessa on liian vähän hienoainesta. Kohteessa havaittu tien pinnan karkeusongelma on kuitenkin saatu valtaosin korjattua. Kulutuskerroksen keskimääräinen rakeisuus on vaa- ditulla ohjealueella lukuun ottamatta hienoainespitoisuutta. Jos tarkastellaan keskimääräistä sorastuksen lopputulosta (kuva 27) nähdään, että liikenne on jonkin verran tiivistänyt kulutuskerrosta ajourien kohdalla. Verrattuna urakan SRD kohteeseen 1, tien pinta on tiivistynyt paremmin, koska materiaali on säi- lyttänyt kosteuspitoisuutensa paremmin, jolloin rakenteessa oleva hienoaines alkaa sitoa karkeampia rakeita tien pintaan paremmin. Huolelliset sorastustoi- menpiteet, etenkin muokkauksen jälkeinen tiivistys, olisivat parantaneet loppu- tulosta tässä kohteessa.



Kuva 27. Soratien pinta alueurakan SRD kohteessa 2.



Kuva 28. Tutkittujen näytteiden rakeisuus alueurakan SRD kohteessa 2 ($n=4$). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.



Kuva 29. Tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus (sininen) ja käytetyn sorastusmurskeen tyyppirakeisuus (violetti) alueurakan SRD kohteessa 1. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 rakeisuusvaatimukset.

4.2 Soratien kulutuskerrosmateriaalien yhteenveto

Vuonna 2018 tutkittiin sorastuksen lopputuloksia neljän alueurakan alueelta, yhteensä kahdeksalta eri tieltä. Vain kahdessa kohteessa kahdeksasta lopputulos oli kulutuskerroksen raekokojakauman osalta täysin vaatimusten mukainen (taulukko 34) sorastustoimenpiteiden jälkeen. On kuitenkin huomattava, että kolmessa kohteessa käytettiin sorastusmurskeena rakeisuusvaatimukset täyttävää materiaalia, mutta sorastuksen jälkeinen tien pinnan raekokojakauma ei tästä huolimatta asettunut kaikilta osin vaatimusalueelle.

Lisäksi kahdessa kohteessa käytettiin hienorakeisempaa 0/11 mm mursketta, joka myös täyttää Soratien kunnossapito-ohjeessa asetetun vaatimuksen 0/11 mm murskeelle. Lisäksi yhdessä kohteessa tehtiin pintakelirikon korjausta, joten kaikkiaan 6/8 kohteessa valitun sorastusmateriaalin käyttö oli täysin perusteltua. Perustelluista valinnoista huolimatta kulutuskerroksen raekokojakauma sorastustoimenpiteiden jälkeen oli kaikilta osin vaatimusten mukainen vain kahdessa kohteessa kahdeksasta.

Kuten vuonna 2017, myös vuonna 2018 havaittiin paljon vaihtelua tehdyissä toimenpiteissä. Edes vaatimusten mukaisten materiaalien käyttäminen sorastuksessa ei välttämättä takaa vaatimukset täyttävää rakennekerrosta, jos koko sorastusprosessia ei suunnitella tai toteuteta kunnolla. Esimerkiksi kohteessa SRA 1 käytettiin vaatimustenmukaista sorastusmursketta, mutta tutkittujen näytteiden perusteella hienoainespitoisuus on hieman alle 8,0 %-yksikköä. Tähän saattoi tietysti vaikuttaa ennen näytteenottoa ollut pakkasyö, jonka jälkeen tien pinta oli jäinen ja vaikeutti näytteenottoa.

Jos tarkastellaan alueurakoista saatuja laatudokumentteja, on tilanne parantunut vuodesta 2017. Vuonna 2018 saatiin jonkinlainen tieto käytettävästä sorastusmateriaalista kaikista tutkimukseen valikoituneista kohteista. Käytetty sorastusmateriaali oli kuitenkin CE-merkittyä vain kahdessa tapauksessa seitsemästä ja toisessa tapauksessa näistäkin sorastusmurske oli CE-merkitty standardin (SFS-EN 13043) mukaisesti eli kyseinen materiaali on valmistettu päällystekiviainekseksi. Kulutuskerroksissa käytettävät materiaalit tulisi CE-merkitä standardin SFS-EN 13242 mukaan.

Keskimäärin suurin haaste sorastustoimenpiteiden osalta on tiivistyksen puute. Kulutuskerroksen ajatellaan useimmiten tiivistyvän liikenteen vaikutuksesta. Kulutuskerroksen tiivistyminen riippuu merkittävästi myös vallitsevasta kosteustilasta. Jos sorastuksen yhteydessä ei voida arvioida, pysyykö kulutuskerros riittävän kosteana levittämisen ja muokkauksen jälkeen, pitäisi rakenne tiivistää heti muokkauksen jälkeen. Toki käytettävän sorastusmurskeen hienoainespitoisuudella ja hienoaineksen laadulla on merkittävä vaikutus materiaaliin sitoutuvan kosteuden määrään.

Taulukko 34. Soratien kulutuskerrosmateriaalien yhteenveto. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Kohde	Toimenpide ja ajankohta	Hienoaines-pitoisuus (%) (Vaatus 8...15 %)	Dokumentit	Havainnot
SRAI	sorastus, syksy	7,5	Rakeisuus-käyrä	Hienoainespitoisuus liian pieni, näytteenottohetkellä pinta jäinen, pinta irtonainen
SRAII	pintakelirikko, syksy	6,6	Rakeisuus-käyrä	Hyvin onnistunut kelirikkokorjaus
SRBI	sorastus, syksy	10,8	CE-merkintä ja suoritus-tasoilmoitus	Pinta irtonainen
SRBII	sorastus, syksy	7,6	Rakeisuus-käyrä	Hienoainespitoisuus hieman liian pieni, pinta irtonainen
SRCI	sorastus, syksy	7,2	Rakeisuus-käyrä	Hienoainespitoisuus liian pieni
SRCII	sorastus, syksy	8,6	CE-merkintä ja suoritus-tasoilmoitus	CE-merkintä päällystekivi-ainekseksi, pinta irtonainen
SRDI	sorastus, kevät	6,1	Rakeisuus-käyrä	Käytetty hienoa sorastus-mursketta 0/11 mm, tien pinnan karkeus korjattu, hienoainespitoisuus liian pieni, pinta irtonainen
SRDII	sorastus, kevät	6,2	Rakeisuus-käyrä	Käytetty hienoa sorastus-mursketta 0/11 mm, tien pinnan karkeus korjattu, hienoainespitoisuus liian pieni

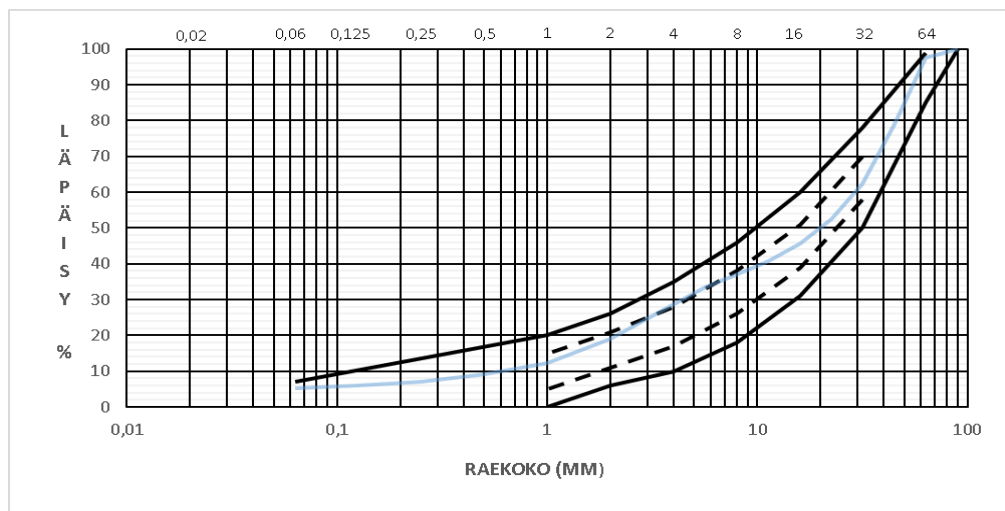
5 Kantavan kerroksen kiviainekset

Kantavan kerroksen kiviaineksia tutkittiin vuonna 2018 kolmesta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeesta. Kaikissa hankkeissa näytteet haettiin kiviaineksen tuotantopaikalta. Näytteistä on tutkittu kiviaineksen raekokajakauma ja hienoainespitoisuus vähintään kolmen rinnakkaisnäytteen avulla. Kiviaineksen jäädytys-sulatuskestävyys ja rapautumattomuus on todettu yhdellä vedenimeytymistestillä. Kiviaineksen iskunkestävyys on tutkittu kolmen rinnakkaisen Los Angeles-testin avulla. Kiviainesten testaamiseen on käytetty hankkeiden määrittämiä testauslaboratorioita.

5.1 Testitulokset

5.1.1 Kantavan kerroksen kiviaines JVK

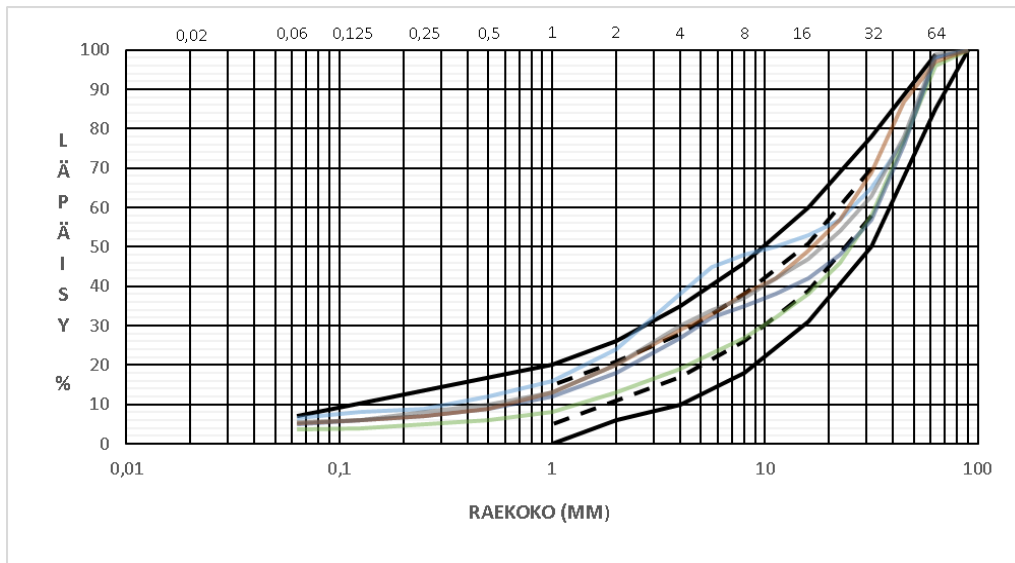
Hankkeella käytettiin kantavan kerroksen kiviaineksena KaM 0/63 mm. Tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 30 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 35 ja rakeisuuskäyrät kuvassa 31. Näytteessä JVK1 on testitulosten perusteella poikkeama seulojen 4...8 mm kohdalla. Poikkeama voi olla todellinen, yksittäinen lajittuma materiaalimassa tai laskentavirhe testituloksissa, koska materiaali yleensä katkaistaan 16 tai 8 mm:n seulan kohdalta. Kokonaisuuden kannalta poikkeama ei ole kuitenkaan merkittävä, sillä se ei nosta kaikkien näytteiden keskiarvoa 0/63 mm materiaalille keskimäärin sallitulta alueelta, vaikkakin aivan sallitulle rajalle.



Kuva 30. Kiviaineksen JVK tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokajakauma. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty KaM G₀ 0/63 mm InfraRYLin kappaleessa 21310.1 asetetut vaatimukset.

Taulukko 35. Kiviaineksen JVK tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Seula (mm)	JVK1	JVK2	JVK3	JVK4	JVK5	Keskiarvo
90	100	100	100	100	100	100
63	98	96	98	97	99	98
45	77	77	76	87	78	79
31,5	65	58	57	69	63	62
22,4	57	46	48	57	54	52
16	53	38	42	49	47	46
11,2	50	32	38	42	42	41
8	48	27	35	38	37	37
5,6	45	23	32	33	34	33
4	38	19	27	29	30	29
2	24	13	18	20	20	19
1	16	8	12	13	13	12
0,5	12	6	9	9	10	9
0,25	9	5	7	7	8	7
0,125	8	4	6	6	6	6
0,063	6,6	3,8	4,9	5,3	5,5	5,2



Kuva 31. Kiviaineksesta JVK tutkittujen näytteiden (n=5) raekokojakaumat. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty KaM G₀ 0/63 mm InfraRYLin kappaleessa 21310.1 asetetut vaatimukset.

Kiviaineksesta JVK määritettyjen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset on esitetty taulukossa 36. Materiaali on vedenimeytymistestien tuloksen perusteella rapautumatonta, koska se imee testissä itseensä vettä (0,4 %) < 1%. Vedenimeytymisen määrä on laskettu osuuksina materiaalin keskimääräisestä rakeisuudesta. alle 4 mm:n materiaalia on 26 % (testitulokseksi 0,8 %) ja lajitteen 4/16 mm testitulokseksi (0,3 %) edustaa 74 % materiaalista.

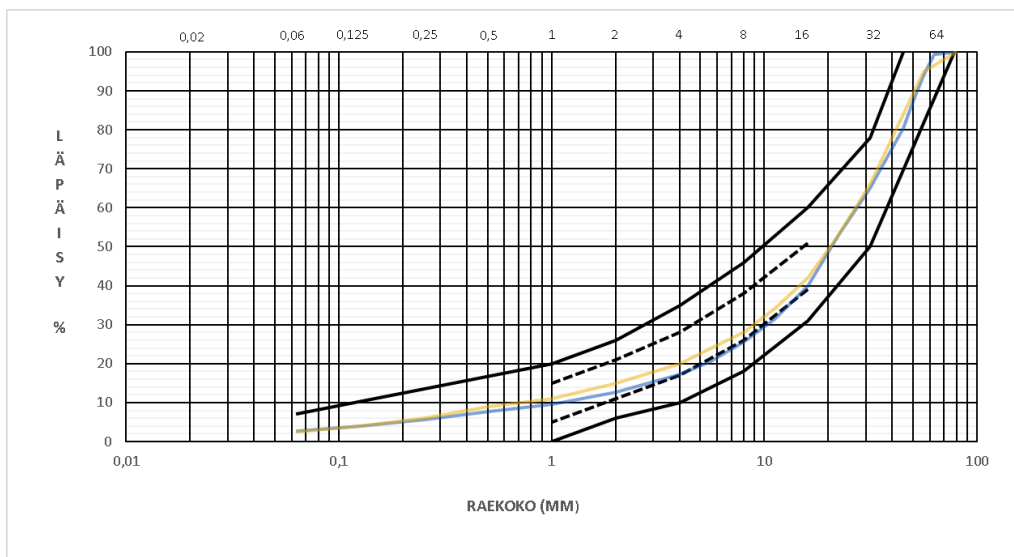
Myös kaikkien kolmen rinnakkaisen iskunkestävyystestien tulokset täyttävät InfraRYL kappaleessa 23130.1 kantavan kerroksen murskeelle esitetyn vaatimuksen LA₃₀, sillä testitulosten perusteella materiaali kuuluu luokkaan LA₁₅.

Taulukko 36. Kiviaineksesta JVK tutkittujen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset					
Testi	Näyte	Tulos	Luokka	Vaatus	Suoritusasoilmoitus
Los Angeles-luku	JVK6	12	LA ₁₅	LA ₃₀	-
	JVK7	12	LA ₁₅	LA ₃₀	-
	JVK8	12	LA ₁₅	LA ₃₀	-
Vedenimeytyminen	JVK3	0,4	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	-

5.1.2 Kantavan kerroksen kiviaines AUK

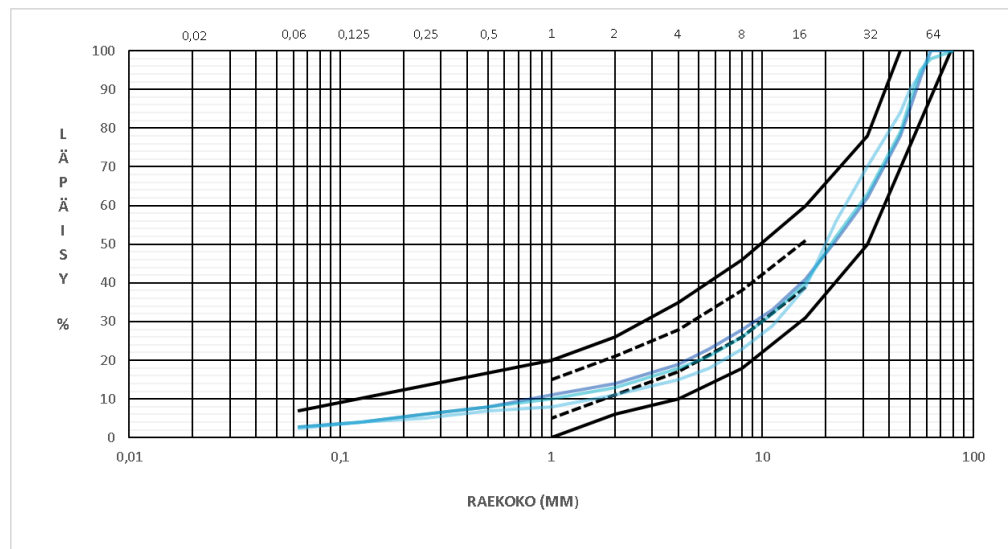
Hankkeella käytettiin kantavan kerroksen kiviaineksenä KaM 0/56 mm. Tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 32 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 37 ja rakeisuuskäyrät kuvassa 33. Yksittäiset näytteet täyttävät asetetun rakeisuusvaatimuksen, samoin otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus, vaikka rakeiden osuus välillä 4...16 mm onkin aivan karkeamman pään rajalla. Kuvassa 33 on esitetty myös tuotteen valmistuksen aikana määritettyjen raekokojakaumien keskiarvo. Raekokojakaumat vastaavat toisiaan verrattain hyvin.



Kuva 32. Kiviaineksesta AUK tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma (sininen käyrä) ja murskauksen aikana määritettyjen raekokojakaumien keskiarvo (oranssi). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty KaM G₀ 0/56 mm InfraRYLin kappaleessa 21310.1 asetetut vaatimukset.

Taulukko 37. Kiviaineksesta AUK tutkittujen näytteiden raekokojakaumat.
Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Seula (mm)	AUK1	AUK2	AUK3	Keskiarvo
80	100	100	100	100
63	100	98	100	99
56	93	95	94	94
50	85	87	90	87
45	78	79	84	80
31,5	62	63	70	65
22,4	51	52	56	53
16	41	40	39	40
11,2	33	32	29	31
8	28	26	23	26
5,6	23	21	18	21
4	19	18	15	17
2	14	13	11	13
1	11	10	8	10
0,5	8	8	7	8
0,25	6	6	5	6
0,125	4	4	4	4
0,063	2,8	2,8	2,3	2,6



Kuva 33. Kiviaineksesta AUK tutkittujen näytteiden ($n=3$) raekokojakaumat. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty KaM G_0 0/56 mm InfraRYLin kappaleessa 21310.1 asetetut vaatimukset.

Materiaalista KaM 0/56 mm määritettyjen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset on esitetty taulukossa 38. Materiaali on vedenimeytymistestin tuloksen perusteella rapautumatonta, koska se imee testissä itseensä vettä (0,6 %) < 1%. Tuotannonaikaisissa laadunvalvontatesteissä materiaalin vedenimeytyminen on ollut 0,4 ja 0,5 %.

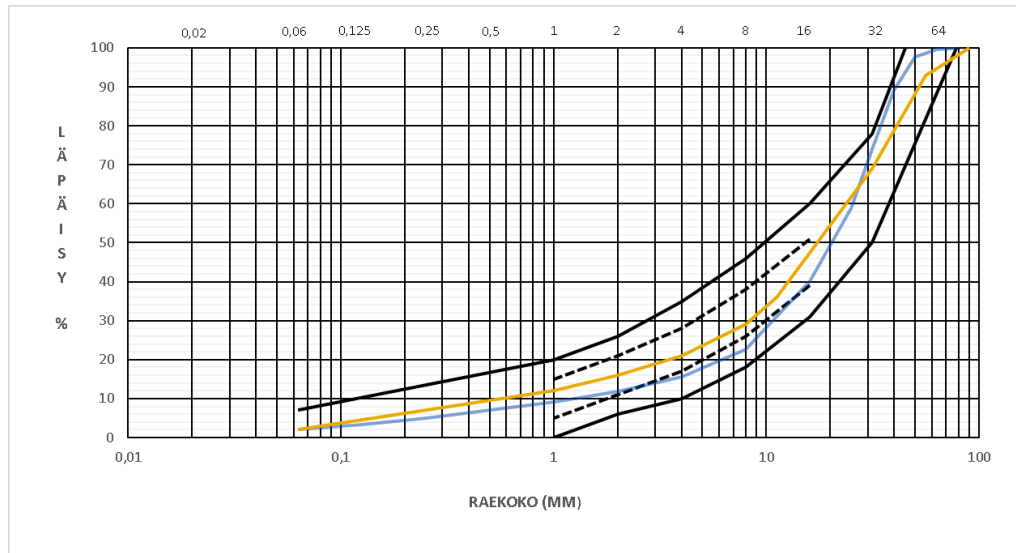
Myös kaikkien kolmen rinnakkaisen iskunkestävyydestin tulokset täyttävät InfraRYL kappaleessa 23130.1 kantavan kerroksen murskeelle esitetyn vaatimuksen LA₃₀. Tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa iskunkestävyysskojeissa saatujen tulosten (23, 24 ja 30) perusteella materiaali kuuluu luokkaan LA₃₀.

Taulukko 38. Kiviaineksesta AUK tutkittujen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset					
Testi	Näyte	Tulos	Luokka	Vaatus	Suoritusasoilmoitus
Los Angeles-luku	AUK4	24	LA ₂₅	LA ₃₀	LA ₃₀
	AUK5	23	LA ₂₅		
	AUK6	24	LA ₂₅		
Vedenimeytyminen	AUK2	0,6	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1

5.1.3 Kantavan kerroksen kiviaines LTA

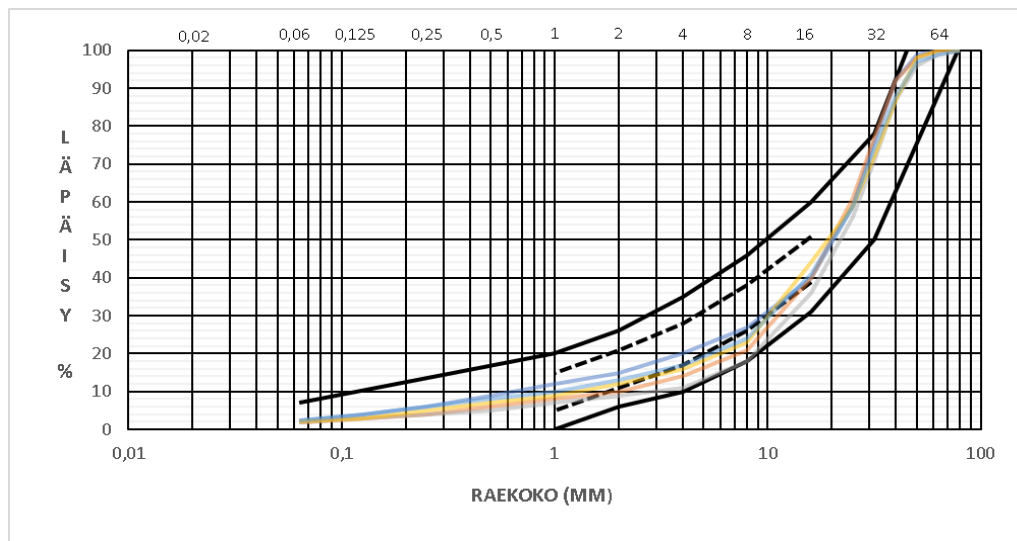
Hankkeessa LTA käytettiin kantavan kerroksen kiviainekseksi KaM 0/56 mm. Tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 34 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 39 ja rakeisuuskäyrät kuvassa 35. Yksittäiset näytteet täyttävät asetetun rakeisuusvaatimuksen, mutta materiaalin keskimääräinen rakeisuus on hieman liian karkea välillä 4...16 mm.



Kuva 34. Kiviaineksesta LTA tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekojakauma (sininen) ja kiviainestoimittajan ilmoittama tyyppirakeisuus (oranssi). Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty KaM G₀ 0/56 mm InfraRYLin kappaleessa 23130.1 asetetut vaatimukset.

Taulukko 39. Kiviaineksesta LTA tutkittujen näytteiden raekokojakaumat.
Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Seula (mm)	LTA1	LTA2	LTA3	LTA4	LTA5	Keskiarvo
80	100	100	100	100	100	100
63	100	100	100	100	100	100
50	97	97	94	95	96	96
40	87	90	89	88	80	87
31,5	75	80	79	76	64	75
25	62	68	67	65	51	63
16	48	52	53	52	35	48
8	34	37	41	36	24	34
4	23	26	30	25	17	24
2	18	20	23	19	13	19
1	14	16	18	15	10	15
0,5	11	13	15	12	8	12
0,25	8	9	10	9	6	8
0,125	5	6	7	6	4	6
0,063	3,3	3,7	4,2	3,6	2,4	3,4



Kuva 35. Hankkeelta tutkittujen näytteiden (n=5) raekokojakaumat. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty KaM G₀/56 mm InfraRYLin kappaleessa 21310.1 asetetut vaatimukset.

Kiviaineksesta LTA määritettyjen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset on esitetty taulukossa 40. Materiaali on vedenimeytymistestien tuloksen perusteella rapautumatonta, koska se imee testissä itseensä vettä (0,1 %) < 1%.

Kahden rinnakkaisen iskunkestävyydestin tulokset ylittävät InfraRYL kappaleessa 23130.1 kantavan kerroksen murskeelle esitetyn vaatimuksen LA₃₀. Testitulosten perusteella materiaali kuuluu luokkaan LA₃₅.

Tuotannonaikaiset testitulokset Los Angeles-luvulle ovat olleet 27 ja 30. Lisäksi kiviainestoimittaja on ottanut tilaajan pistokoenäytteenoton yhteydessä rinnakkaisnäytteen, jonka tulos on ollut 29. Jos tarkastellaan standardissa (SFS-EN 1097-2) esitettyä koemenetelmän sisäistä hajontaa, voidaan todeta, että kaikkien tutkitut näytteiden tulokset mahtuvat hajonnan toleransseihin.

Taulukko 40. Hankkeelta materiaalista KaM 0/56 mm tutkittujen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset					
Testi	Näyte	Tulos	Luokka	Vaatus	Suoritusasoilmoitus
Los Angeles -luku	LTA6	30	LA ₃₀	LA ₃₀	LA ₃₀
	LTA7	31	LA ₃₅		
	LTA8	31	LA ₃₅		
Vedenimeytyminen	LTK3	0,1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1	WA ₂₄ 1

5.2 Kantavan kerroksen kiviainesten yhteenveto

Kantavan kerroksen kiviaineksia testattiin kolmesta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeesta. Yhdessä materiaalissa havaittiin lievä iskunkestävyyspuute, mutta ko. materiaalista on saatu myös tien kantavalta kerrokselta vaadittavaan iskunkestävyysluokkaan kuuluvia tuloksia. Standardissa (SFS-EN 1097-2) esitetyt iskunkestävyyskokeen uusittavuuden ja toistettavuuden hajonnat ovat kuitenkin melko suuria, joten kiviainestoimittajien tulee kiinnittää erityistä huomiota, mihin iskunkestävyysluokkaan kiviainekset voidaan merkitä. Yksi parhaista keinoista kiviaineksen laatuvarhailun huomioimisessa on huolehtia vaadittujen materiaaliominaisuuksien riittävästä testaustiheydestä, joka voi tapauskohtaisesti olla huomattavasti tiheämpi kuin esim. InfraRYLissä asetetut vähimmäistestaustiheydet.

Kahden materiaalin raekokojakaumissa havaittiin pieniä puutteita. Havaitut puutteet tuskin ovat merkittäviä rakenteen toiminnan kannalta. Toisaalta havaitut puutteet indikoivat, että kantavan kerroksen materiaalien laadunvalvontaa tarvitaan.

6 Betonimurskeet tierakenteissa

Tierakenteissa käytettäviä uusiomateriaaleja tutkittiin kahdelta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta. Molemmissa hankkeissa käytettiin betonimursketta tien jakavassa kerroksessa ja sitä alemmissa rakenteissa. Betonimurskeille tehtiin testejä kattavammin kuin InfraRYLin kappaleessa 21310.1 on materiaalin laadun osoittamiseksi edellytetty. Laajoilla testisarjoilla haluttiin saada tietoa betonimurskeen ominaisuuksista, jotta laatuvaatimuksia voidaan tiedon karttuessa tulevaisuudessa mahdollisesti kehittää.

6.1 Testatut ominaisuudet

Betonimurskeen raekokojakautuma, Los Angeles- testi ja vedenimeytyminen määritettiin vastaavien kiviainesstandardien mukaisesti eli käytettiin standardeja SFS-EN 933-1, SFS-EN933-3, SFS-EN 1097-2 ja SFS-EN 1097-6.

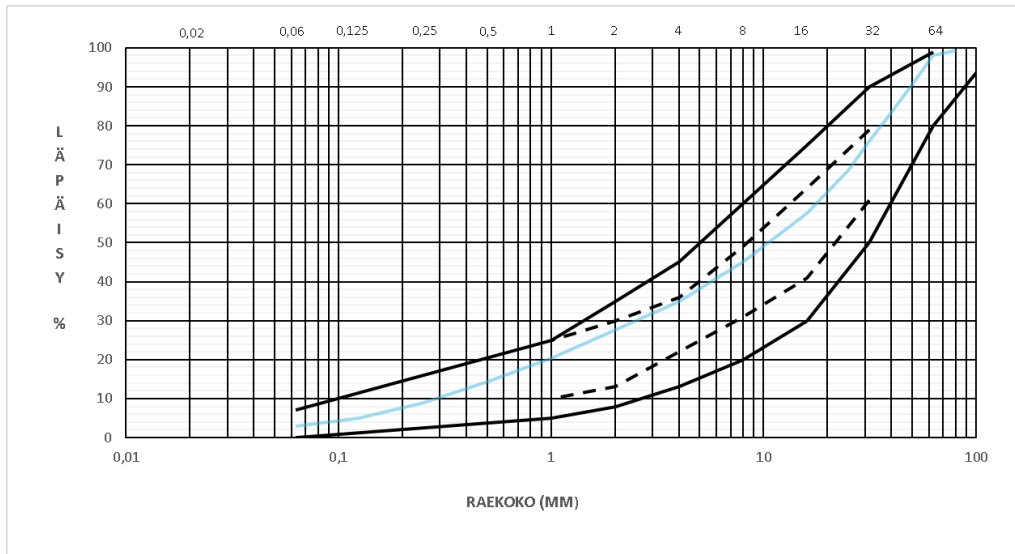
Betonimurskeen puristuslujuuden testaaminen perustuu PANK-menetelmään PANK 9003. Menetelmä on hyväksytty käyttöön vuonna 2018, mutta vastaavaa menettelyä on käytetty betonimurskeen tuottajien käytännön laboratorio-toiminnassa jo yli kymmenen vuoden ajan. Puristuslujuustestissä betonimurskeen lajitteesta 0/22 mm valmistetaan koekappaleita kiertotiivistimellä vakio-paineella valitussa vesipitoisuudessa. Koekappaleita säilytetään vakio-olosuhteissa 7 ja 28 vuorokautta, jonka jälkeen kappaleista määritetään puristuslujuudet. Betonimurske luokitellaan 28 vuorokauden puristuslujuuden perusteella kahteen luokkaan BeM I (lujuus $\geq 1,2$ MPa) ja BeM II (puristuslujuus $\geq 0,8$ MPa).

Betonimurskeen osa-aineiden luokittelutesti perustuu standardiin SFS-EN 933-11, menetelmässä luokitellaan > 4 mm rakeet seitsemään erilaiseen osaineluokkaan, luokkien tarkemmat kuvaukset on esitetty taulukossa 44. Testinäytteen tulee sisältää vähintään 1000 raetta. Kantavassa ja jakavassa kerroksessa käytettävän betonimurskeen osa-aineiden luokittelutestin tuloksille on esitetty vaatimukset InfraRYL:ssä.

6.2 Testitulokset

6.2.1 Betonimurske BEA

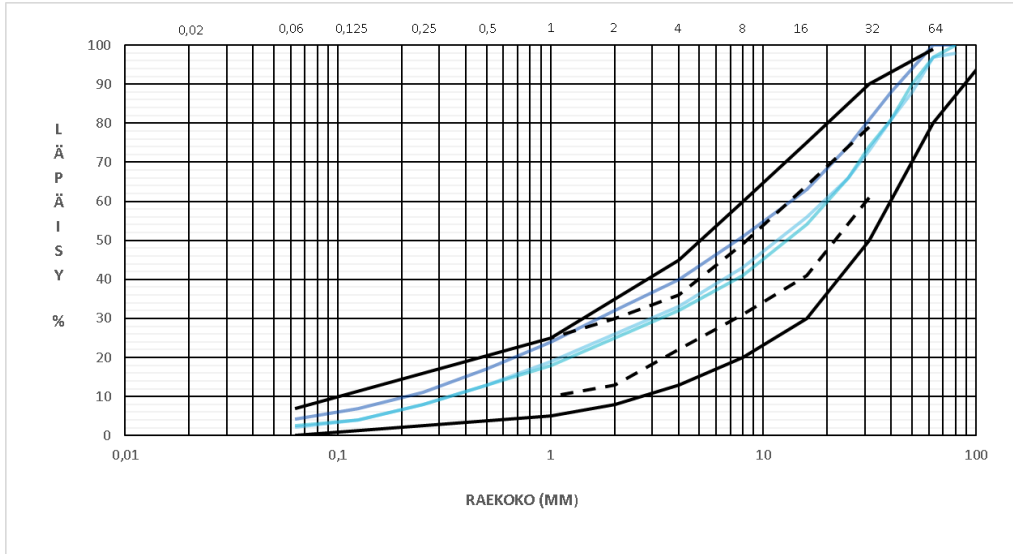
Betonimurskeesta BEA tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 36 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 41 ja rakeisuuskäyrät kuvassa 37. Näytteet täyttävät InfraRYLissä esitetyt rakeisuusvaatimukset G_c 0/63 mm murskeelle (SFS-EN 13285). Tosin materiaalin CE-merkintä ei täytä standardin SFS-EN 13242 2002 + A1:2007 vaatimuksia. Standardi edellyttää materiaalin hienoainesmäärän ilmoittamista, CE-merkinnässä on kuitenkin f_{NR} eli hienoainesmäärää ei ole ilmoitettu. Testitulosten perusteella materiaali ei sisällä liikaa hienoainesta.



Kuva 36. Betonimurskeesta BEA tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekojakauma. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty G_c 0/63 mm kiviainekselle InfraRYLin kappaleessa 21210.1 asetetut vaatimukset.

Taulukko 41. Betonimurskeesta BEA tutkittujen näytteiden raekojakaumat. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Seula (mm)	BEA1	BEA2	BEA3	Keskiarvo
80	100	100	98	99
63	100	97	97	98
50	94	90	88	91
40	88	81	81	83
31,5	81	74	73	76
25	74	66	66	69
16	63	54	56	58
8	51	41	43	45
4	40	32	33	35
2	32	25	26	28
1	24	18	19	20
0,5	17	13	13	14
0,25	11	8	8	9
0,125	7	4	4	5
0,063	4,2	2,5	2,2	3,0



Kuva 37. Betonimurskeesta BEA tutkittujen näytteiden ($n=3$) raekokoja-kaumat. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty G_c 0/63 mm kiviainekselle InfraRYLin kappaleessa 21210.1 asetetut vaatimukset.

Betonimurskeesta BEA määritettyjen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset on esitetty taulukossa 42. Näytteet on testattu tutkimusmielessä, sillä em. ominaisuuksille ei ole asetettu vaatimuksia InfraRYLissä.

Taulukko 42. Betonimurskeesta BEA tutkittujen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset					
Testi	Näyte	Tulos	Luokka	Vaatus	Suoritustasoilmoitus
Los Angeles-luku	BEA4	37	LA ₄₀	-	-
	BEA5	37	LA ₄₀	-	-
Vedenimeytyminen	BEA1	5,6	-(*)	-	-
	BEA2	5,1	-(*)	-	-
	BEA3	5,4	-(*)	-	-
Litteysluku	BEA1	7	FI10	-	-

(* Standardissa SFS-EN 1097-6 on vain luokat WA₂₄₁ ja WA₂₄₂, joten luokkaa ei voida merkitä.

Taulukossa 43 on esitetty Betonimurskeelle BEA tehtyjen puristuslujuustestien tulokset. Testitulokset täyttävät vaatimukset luokassa BeM II.

Taulukko 43. Betonimurskeelle BEA tehtyjen puristuslujuustestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Näyte	Koetuslo 7 vrk	Keskiarvo 7 vrk	Koetuslo 28 vrk	Keskiarvo 28 vrk	Vaatus (28 vrk)	Suoritus- tasoilmoitus
Puristuslujuus (MPa)	BEA6	0,82	0,74	0,81	0,87	BeM II > 0,8	-
		0,7		0,83			
		0,7		0,85			
		-		0,98			

Taulukossa 4 on esitetty materiaalille tehdyn luokittelutestin (SFS-EN 933-11) tulokset. Tehdän testin perusteella tuote vastaa suoritusasoilmoituksessa esitettyjä arvoja. Jakavan kerroksen osalta InfraRYLin kappaleessa 21210.1 ja liitteessä T18 esitetty vaatimukset täyttyvät.

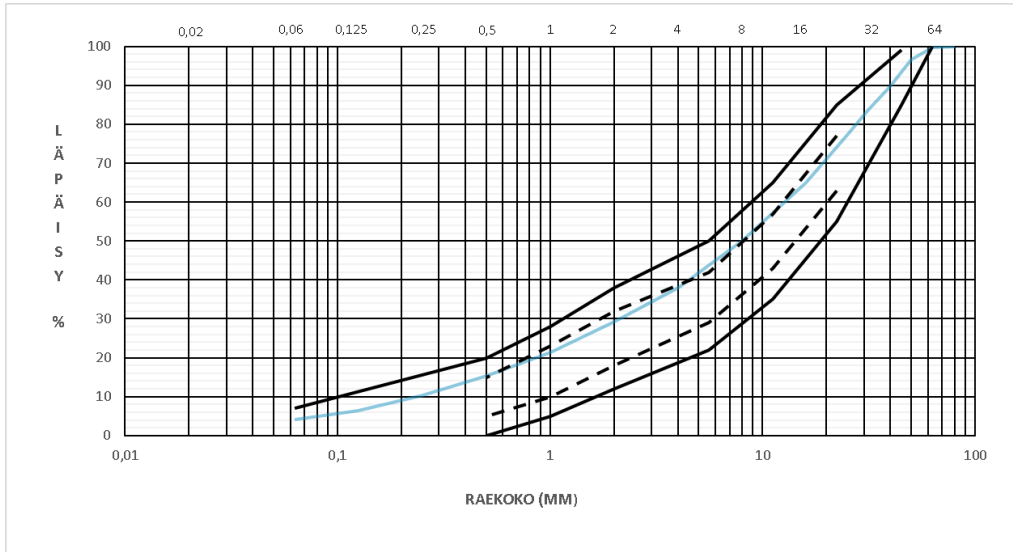
Taulukko 44. Betonimurskeelle BEA tehtyjen luokittelutestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Osa- aine	Kuvaus	Osuus (%)	Vaatus jakava kerros	Suoritusaso- ilmoitus
R _c	Betoni, betonituotteet, laasti, betoniharkot	76	≥ 90	Rc 70
R _u	Sitomaton kiviaines, luonnonkivi, hydraulisesti sidottu kiviaines	22		
R _g	Lasi	0,1		
R _b	Poltetut tiilet, kalkkihiekka- tiilet ja -harkot, kellumaton vaahbetoni	2	≤ 10	Rb 30-
R _a	Bitumiset materiaalit	0,0		
X	Muut: Koheesiomaa, seka- laiset metallit, kellumaton puu, muovi, kumi, kipsilaasti	0	≤ 1	X 1
Osa- aine	Kuvaus	Osuus (cm ³ /kg)		
FL	Kelluvien rakeiden osuus	2	≤ 10	FL 10

Materiaali täyttää InfraRYLin kappaleessa 21210.1 ja liitteessä T18 asetetyt vaatimukset betonimurskeelle, kun käyttö on jakavassa kerroksessa. Sen sijaan materiaalin laatudokumenteissa on puutteita. Materiaalin suoritusasoilmoituksessa on ilmoitettu tiilituotteiden osuudeksi Rb 30- eli alle 30 paino-%. Oli pa käyttö tierakenteessa jakavassa tai kantavassa kerroksessa, tulisi tiilituotteiden osuuden olla alle 10 paino-%. Suoritusasoilmoituksen mukaan tuote ei olisi kelvollista käytettäväksi tierakenteissa. Testitulosten perusteella materiaali ei kuitenkaan sisällä yli 10 paino-% tiiliä tai vastaavia tuotteita, joten testitulosten perusteella materiaali kelpaa tierakenteen jakavan kerrokseen.

6.2.2 Betonimurske BEB

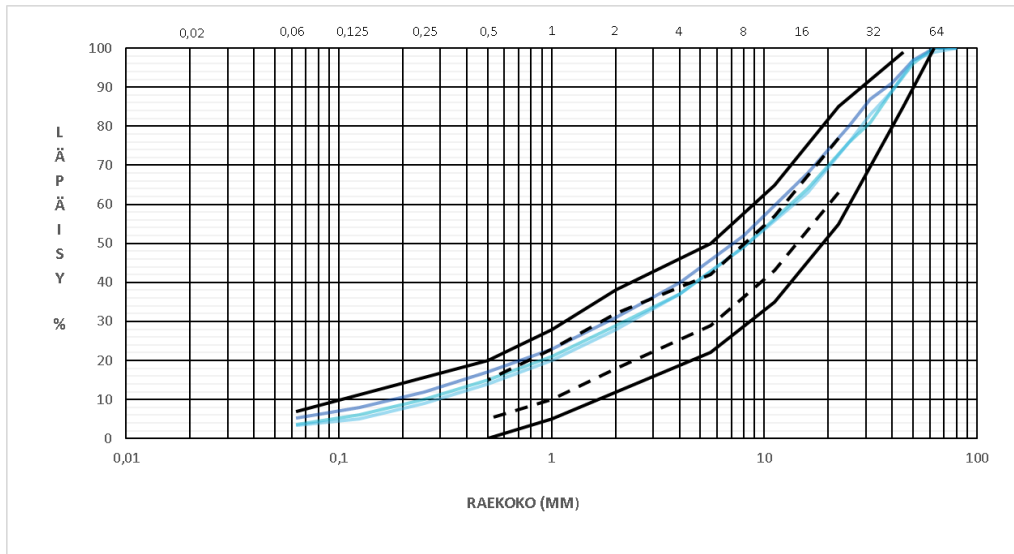
Betonimurskeesta BEB tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 38 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 45 ja rakeisuuskäyrät kuvassa 39. Yksittäiset testinäytteet täyttävät rakeisuusvaatimuksen luokassa G_A 85 0/45 mm murskeelle (SFS-EN 13285), keskiarvokäyrä on noin 6...8 mm kohdalla hivenen liian hienorakeinen. Asialla ei todennäköisesti ole merkittävää vaikutusta rakenteen toimintaan, koska betonimurske on lujittuva materiaali.



Kuva 38. Betonimurskeesta BEB tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma.

Taulukko 45. Hankkeelta tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Seula (mm)	BEB1	BEB2	BEB3	Keskiarvo
80	100	100	100	100
63	100	100	99	100
50	97	96	97	97
40	91	89	89	90
31,5	87	81	83	84
25	80	76	76	77
16	68	64	63	65
8	52	49	49	50
4	40	37	37	38
2	31	29	28	29
1	23	21	20	21
0,5	17	15	14	15
0,25	12	10	9	10
0,125	8	6	5	6
0,063	5,3	3,6	3,4	4,1



Kuva 39. Betonimurskeesta BEB tutkittujen näytteiden ($n=3$) raekokojakaumat. Mustalla yhtenäisellä viivalla ja katkoviivalla on esitetty $G_A 0/45$ mm kiviainekselle InfraRYLin kappaleessa 21310.1 asetetut vaatimukset.

Betonimurskeesta BEB määritettyjen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset on esitetty taulukossa 46. Näytteet on testattu tutkimusmielessä, näille ominaisuuksille ei ole asetettu InfraRYLissä vaatimuksia. Materiaalitoimittaja on suoritusasoilmoituksessaan yksilöinyt tuotteen käyttötarkoituksen kantavaan kerrokseen. Tällöin InfraRYLin kappaleen 21310.1 ja liitteen T18 taulukon mukaisesti vaaditaan, että kantavan kerroksen betonimurskeelle pitää ilmoittaa iskunkestävyysarvo. Suoritusasoilmoituksessa iskunkestävyyden kohdalla lukee NPD eli arvoa ei ole määritetty.

Taulukko 46. Hankkeelta tutkittujen iskunkestävyys- ja vedenimeytymistestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset					
Testi	Näyte	Tulos	Luokka	Vaatimus	Suoritusasoilmoitus
Los Angeles-luku	BEB4	38	LA ₄₀	-	-
	BEB5	39	LA ₄₀		
Vedenimeytyminen	BEB1	5,2	-(*)	-	-
	BEB2	6,1	-(*)		
	BEB3	6,3	-(*)		
Litteysluku	BEB1	7	FI10	-	-

(* Standardissa SFS-EN 1097-6 on vain luokat WA₂₄₁ ja WA₂₄₂, joten luokkaa ei voida merkitä.

Taulukossa 47 on esitetty materiaalille tehtyjen puristuslujuustestien tulokset. Tuotteen on ilmoitettu olevan BeM II-luokkaa, joten puristuslujuustestien tulosten 28 vrk iässä tulee olla vähintään 0,8 MPa. Testitulokset täyttävät vaatimukset.

Taulukko 47. Betonimurskeelle BEB tehtyjen puristuslujuustestien tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Pistokoevalvonnan tulokset							
Testi	Näyte	Koetus 7 vrk	Keskiarvo 7 vrk	Koetus 28 vrk	Keskiarvo 28 vrk	Vaatus (28 vrk)	Suoritus- tasoilmoitus
Puristuslujuus (MPa)	BEB6	0,84	0,87	1,01	1,03	BeM II > 0,8	BeM II > 0,8
		0,88		0,94			
		0,90		1,18			
		-		1,00			

Taulukossa 48 on esitetty materiaalille tehdyn luokittelutestin (SFS-EN 933-11) tulokset. Tehdyn testin perusteella tuote poikkeaa suoritustasoilmoituksessa esitetystä. Materiaali ei sisällä kantavassa kerroksessa vaadittua määrää betonia ja muita betonituotteita (yli 90 %). Materiaalia on kuitenkin käytetty jakavassa kerroksessa. Jakavan kerroksen osalta InfraRYLin kappaleessa 21210.1 ja liitteessä T18 esitetyt vaatimukset täyttyvät.

Taulukko 48. Betonimurskeelle BEB tehdyn luokittelutestin tulokset. Mahdolliset poikkeamat on merkitty oranssilla värillä.

Osa- aine	Kuvaus	Osuus (%)	Vaatus jakava kerros	Suoritustaso- ilmoitus
Rc	Betoni, betonituotteet, laasti, betoniharkot	84	≥ 90 %	Rc 90
Ru	Sitomaton kiviaines, luonnonkivi, hydraulisesti sidottu kiviaines	14		
Rg	Lasi	0,0		
Rb	Poltetut tiilet, kalkkihiekka-tiilet ja -harkot, kellumaton vaahtobetoni	2	≤ 10 %	Rb 10-
Ra	Bitumiset materiaalit	0,0		
X	Muut: Koheesiomaa, sekalaiset metallit, kellumaton puu, muovi, kumi, kipsilaasti	0	≤ 1 %	X 1-
Osa- aine	Kuvaus	Osuus (cm ³ /kg)	Vaatus jakava kerros	Suoritustaso- ilmoitus
FL	Kelluvien rakeiden osuus	1	≤ 10	

Materiaali täyttää InfraRYLin kappaleessa 21210.1 ja liitteessä T18 asetetut vaatimukset betonimurskeelle, kun sitä käytetään jakavassa kerroksessa. Sen sijaan materiaalin laatudokumentit ovat tehtyjen testien perusteella puutteellisia. Materiaalin koostumus ei ole yli 90-prosenttisesti betonituotteita, kuten suoritustasoilmoituksessa ilmoitetaan.

6.3 Betonimurskeiden yhteenveto

Uusiomateriaaleista tutkittiin betonimurskeita kahdelta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta. Molemmissa hankkeissa betonimursketta oli suunniteltu käytettäväksi jakavaan kerrokseen ja/tai sen alapuolisiin rakenteisiin. Molemmat testatut materiaalit täyttivät InfraRYLin kappaleessa 21210.1 ja liitteessä T18 esitetyt vaatimukset betonimurskeelle jakavassa kerroksessa.

Molempien testattujen materiaalien laatudokumenteissa havaittiin kuitenkin puutteita. Betonimurskeelle BEA oli toimitettu vain CE-merkki, ei suoritustasoilmoitusta. Näin ei rakennustuoteasetuksen tai standardin (SFS-EN 13242 +A1) perusteella voi olla. Lisäksi materiaalin BEA CE-merkintätiedot olivat puutteelliset. Materiaalin hienoainespitoisuutta tai kiintotiheyttä ei ollut ilmoitettu, vaikka standardin (SFS-EN 13242 +A1) mukaan pitäisi.

Betonimurskeen BEB CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus yksilöivät materiaalin (BeM II 0/45 mm) kelpaavan kantavan kerroksen kiviainekseksi. Mikäli betonimursketta halutaan käyttää kantavassa kerroksessa, tulee sen sisältää yli 90 -paino% osa-aineita R_c (betonia, betonituotteita, laastia ja betoniharkkoja). Betonimurskeelle BEB tehdyn luokittelutestin perusteella materiaali kuitenkin sisälsi tuotteita R_c 84 paino%. Materiaalin suoritustasoilmoitus ei siis vastaa luokittelutestin tuloksia.

Toinen seikka liittyen InfraRYLin Liitteessä T18 vaadittuihin ominaisuuksiin liittyy materiaalin iskunkestävyyteen. Betonimurskeen osalta iskunkestävyys pitää ilmoittaa, jos sen suunniteltu käyttötarkoitus on kantavassa kerroksessa. Toisaalta InfraRYL 20 000-sarjan lukujen päivityksen yhteydessä lisättiin iskunkestävyysarvon ilmoitusvelvollisuus jakavan kerroksen kiviaineksille. Betonimurskeen osalta tämä ilmoitusvelvollisuus puuttuu liitteen T18 taulukosta, jos suunniteltu käyttötarkoitus on jakavassa kerroksessa.

Edellisessä kappaleessa kuvailtujen vaatimuserojen vaikutuksesta voidaan päätyä tilanteeseen, jossa betonimurskeen valmistajat merkitsevät betonimurskeen käytön mahdolliseksi vain jakavassa kerroksessa ja tekevät sen edellyttämät testit, koska vaatimukset ovat kevyemmät ja vaatimuksia luokittelutestin osalta on vähemmän. Tällöin kantava kerros rakennettaisiin perinteisistä kiviaineksista. Tilanne ei ole toivottava, koska betonimurske lujittuessaan muodostaa jäykän rakenteen sitomattoman kantavan kerroksen alapuolelle. Toisaalta myös kantavan kerroksen päälle tulevat sidotut päällystekerrokset ovat huomattavan jäykkiä verrattuna sitomattomista kiviaineksista rakennettuun kantavaan kerrokseen. Tierakenteeseen muodostuu tällöin nk. *sandwich*-rakenne, jolloin sitomaton kantava kerros altistuu jauhaantumiselle ja tätä kautta tierakenne voi deformatua nopeasti verrattuna suunniteltuun käyttöikänsä.

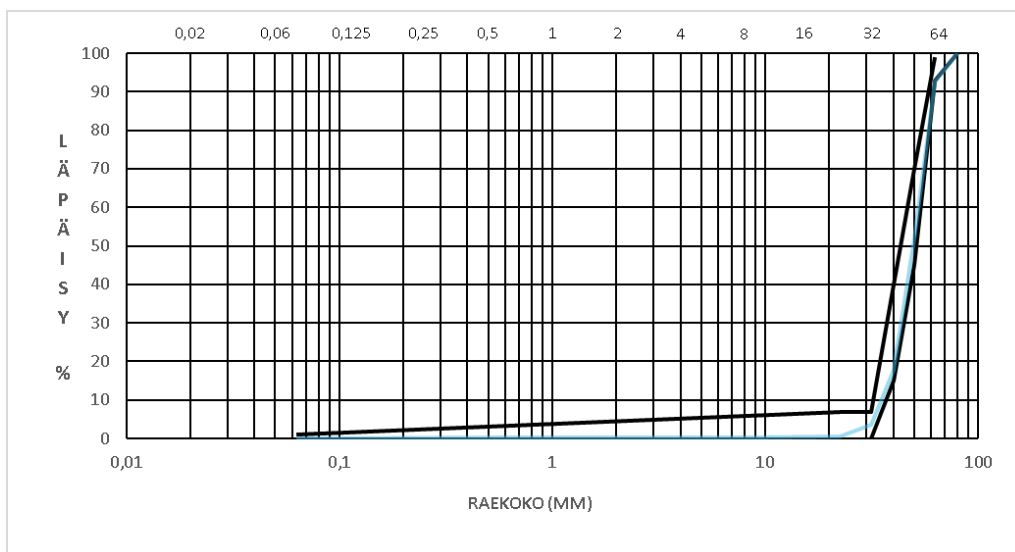
7 Raidesepelit

Raidesepelien testituloksissa havaittiin vuonna 2017 runsaasti muotoarvopuutteita. Lisäksi pitkiä, yli 100 mm mittaisia rakeita oli kaikissa testatuissa sepeleissä hälyttävän paljon, keskimäärin noin 20 paino-%. Vuonna 2018 haluttiin testata lisää sepeleitä siten, että testit levittäytyisivät mahdollisimman kattavasti ympäri maata peräsin oleviin kiviaineksiin. Vuonna 2018 testattiin kuusi raidesepelierää.

7.1 Testitulokset

7.1.1 Raidesepeli RTA

Sepelistä RTA tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 40 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 49. Yksittäisissä näytteissä on kahdessa pienessä poikkeamia sallittuun rakeisuuteen, mutta otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus täyttää asetetut vaatimukset. Kun huomioidaan, että poikkeama voi johtua yhden suuren rakeen puuttumisesta/mukanaolosta näytteessä, tulisi materiaalin raekokojakauma arvostella nimenomaisesti useamman näytteen keskiarvon avulla. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali täyttää rakeisuusluokan F (SFS-EN 13450) vaatimukset.



Kuva 40. Raidesepelistä RTA tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma.

Taulukko 49. Raidesepelistä RTA tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Poikkeamat vaadittuun (luokka F) on merkitty oranssilla.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RTA1	RTA2	RTA3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	92	92	95	93	93..99
50	51	55	50	52	45..70
40	19	19	15	18	15..40
31,5	4	5	2	3	0..7
22,4	0,4	1,2	0,3	1	0..7
8	0,3	0,5	0,1	0	
1	0,3	0,3	0,1	0	
0,5	0,3	0,3	0,1	0	
0,063	0,1	0,2	0,1	0,1	0..1

Näytteistä testattiin rakeiden geometrisia ominaisuuksia muotoarvon ja rakeiden pituuden avulla. Testitulokset on esitetty taulukossa 50. Raidesepelikiviainesstandardin (SFS-EN 13450) kansallisen soveltamisohjeen mukaan Suomessa käytetään muotoarvovaatimuksena luokkaa Sl₂₀. Kaikkien tutkittujen näytteiden muotoarvotestien tulos on vaatimusten mukainen.

Näytteistä määritettiin myös yli 100 mm rakeiden osuus (SFS-EN 13450). Suomessa yleisesti käytössä olevassa standardin (SFS-EN 13450) kansallisessa soveltamisohjeessa ei toistaiseksi rajoiteta yli 100 mm rakeiden osuutta. Testissä määritetään mittaamalla 40 kg:n näytteestä kaikkien yli 100 mm pitkien rakeiden määrä näytteen kokonaismassasta. Standardissa (SFS-EN 13450) alin mahdollinen luokka yli 100 mm rakeiden osuudelle on 12 %. Testatuissa näytteissä tämä osuus ylittyi selvästi. Vaikka yli 100 mm rakeiden osuutta ei olekaan asetettu vaatimukseksi, saattaa pitkulaisten rakeiden suuri määrä saattaa lyhentää raidesepelin käyttöikä.

Taulukko 50. Sepelistä RTA tutkittujen näytteiden geometrinen ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RTA1	19	Sl ₂₀	Sl ₂₀	Sl ₂₀
	RTA2	15			
	RTA3	18			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RTA1	20	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RTA2	21			
	RTA3	25			

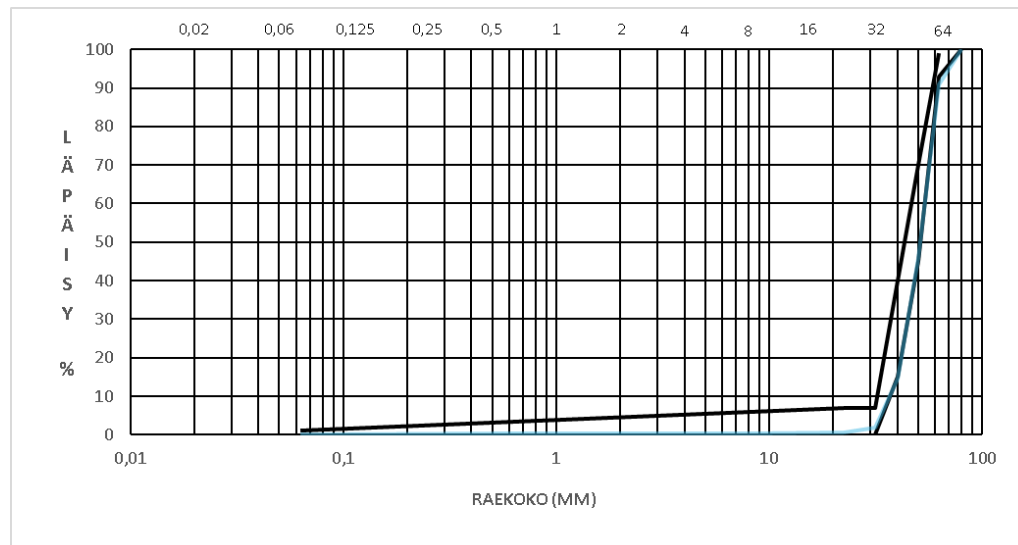
Materiaalin mekaanisten ominaisuuksien testit on tehty otetuista rakeisuusnäytteistä seulotuista lajitteista. Testitulokset on esitetty taulukossa 51. Materiaalin iskunkestävyydestin perusteella Los Angeles-luku oli enintään 15 (vaatus LA_{RB16}), joten materiaalin iskunkestävyysvaatus täyttyy. Materiaalin kulutuskestävyydestin perusteella microDeval-arvo oli 10 (vaatus M_{DeRB11}), joten kulutuskestävyysvaatus täyttyy.

Taulukko 51. Sepelistä RTA tutkittujen näytteiden mekaanisten ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RTA1	15	LA _{RB} 16	LA _{RB} 16	LA _{RB} 16
	RTA2	13			
	RTA3	14			
Micro-Deval	RTA4	10	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11
Vedenimeytyminen	RTA1	0,2	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,2	W _{cm} 0,5
	RTA2	0,2			
	RTA3	0,1			

7.1.2 Raidesepele RTB

Sepelistä RTB tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 41 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 52. Yksittäisissä näytteissä on kahdessa pienessä poikkeamassa sallittuun rakeisuuteen, niin ikään 63 mm seulan läpäisy on keskimäärin hieman liian pieni, eli materiaali on vähän liian karkearakeinen. Liian karkearakeinen sepeli saattaa hakea asemaansa jonkin verran pidempään verrattuna optimaaliseen raekokojakaumaan ja tätä kautta elinkaaren alkuvaiheessa aiheuttaa ylimääräistä tumentarvetta.



Kuva 41. Raidesepeleistä RTB tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma.

Taulukko 52. Raidesepelistä RTB tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Poikkeamat vaadittuun (luokka F) on merkitty oranssilla.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RTB1	RTB2	RTB3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	89	94	90	91	93..99
50	45	48	45	46	45..70
40	16	14	14	14	15..40
31,5	2	3	1	2	0..7
22,4	0	1	0	1	0..7
8	0	1	0	0	
1	0	1	0	0	
0,5	0	1	0	0	
0,063	0	0	0	0,2	0..1

Raidesepelin RTB muotoarvo- ja rakeiden pituus -testien tulokset on esitetty taulukossa 53. Testitulosten perusteella materiaali on muotoarvoltaan poikkeuksellisen hyvää, muotoarvoluokka on Sl_{10} eli materiaali täyttää asetetun muotoarvonvaatimuksen Sl_{20} . Sen sijaan yli 100 mm pitkiä rakeita sepelissä paljon, yli 20 %-yksikköä.

Taulukko 53. Sepelistä RTB tutkittujen näytteiden geometrinen ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RTB1	9	Sl_{10}	Sl_{20}	Sl_{20}
	RTB2	12			
	RTB3	5			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RTB1	23	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RTB2	22			
	RTB3	22			

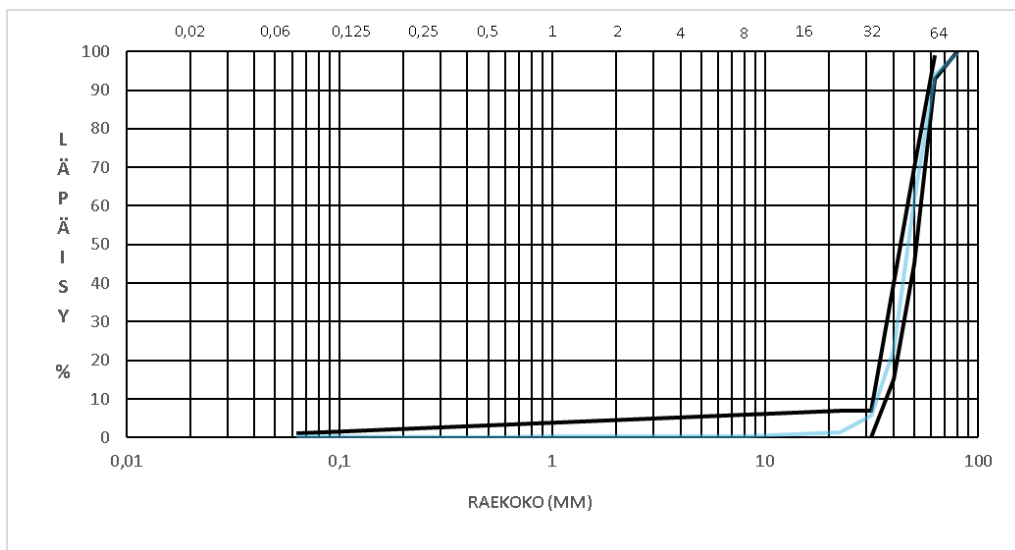
Materiaalin mekaanisten ominaisuuksien testitulokset on esitetty taulukossa 54. Materiaalin iskunkestävyydestin perusteella Los Angeles-luku oli enintään 8 (vaatus LA_{RB12}), joten materiaalin iskunkestävyysvaatus täyttyy. Materiaalin kulutuskestävyydestin perusteella microDeval-arvo oli 8 (vaatus M_{DERB11}), eli kulutuskestävyysvaatus täyttyy.

Taulukko 54. Sepelistä RTB tutkittujen näytteiden mekaanisten ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RTB1	8	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12
	RTB2	7			
	RTB3	7			
Micro-Deval	RTB4	8	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11
Vedenimeytyminen	RTB1	0,1	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5
	RTB2	0,1			
	RTB3	0,1			

7.1.3 Raidesepeli RTC

Sepelistä RTC tutkittujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 42 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 55. Yksittäisissä näytteissä on kahdessa pienessä poikkeamassa sallittuun rakeisuuteen, mutta otettujen näytteiden keskimääräinen rakeisuus täyttää asetetut vaatimukset.



Kuva 42. Raidesepelistä RTC tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma.

Taulukko 55. Raidesepelistä RTC tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Poikkeamat vaadittuun (luokka F) on merkitty oranssilla.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RTC1	RTC2	RTC3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	99	100	100	100
63	91	96	95	94	93..99
50	58	69	58	62	45..70
40	21	27	20	23	15..40
31,5	4	7	6	6	0..7
22,4	1	2	1	1	0..7
8	0	1	0	0	
1	0	1	0	0	
0,5	0	0	0	0	
0,063	0,2	0,3	0,2	0,2	0..1

Raidesepelin RTC muotoarvo- ja rakeiden pituus -testien tulokset on esitetty taulukossa 56. Testitulosten perusteella materiaalin muotoarvoluokka on Sl₂₅ eli muotoarvovaatus ei täyty. Sepeli RTC sisältää tutkittujen näytteiden perusteella myös paljon, yli 20 %-yksikköä, yli 100 mm pitkiä rakeita.

Taulukko 56. Sepelistä RTC tutkittujen näytteiden geometrinen ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RTC1	21	Sl ₂₅	Sl ₂₀	Sl ₂₀
	RTC2	26			
	RTC3	24			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RTC1	23	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RTC2	16			
	RTC3	26			

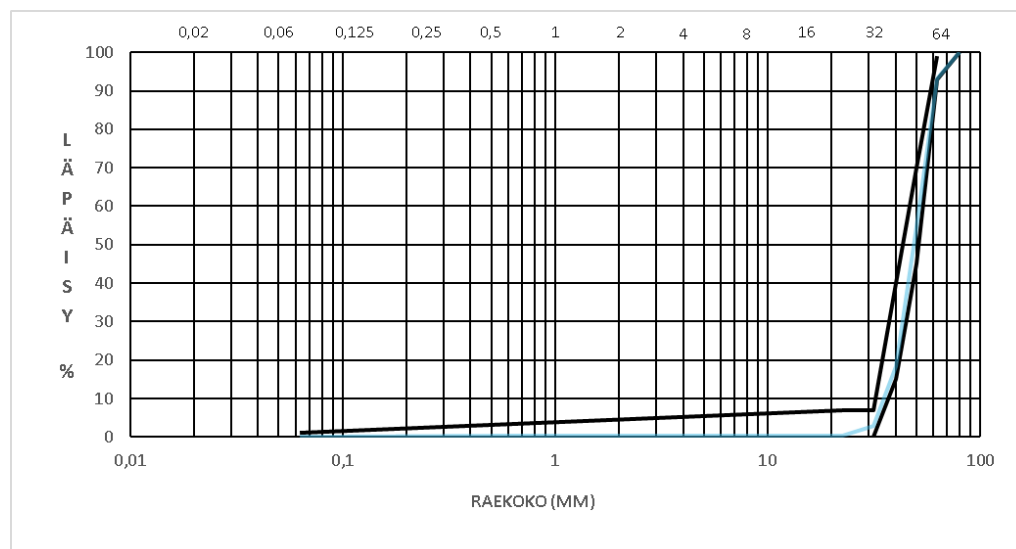
Materiaalin mekaanisten ominaisuuksien testitulokset on esitetty taulukossa 57. Materiaalin iskunkestävyydestin perusteella Los Angeles-luku oli enintään 10 (vaatus LA_{RB12}), joten materiaalin iskunkestävyysvaatus täyttyy. Materiaalin kulutuskestävyydestin perusteella microDeval-arvo oli 5 (vaatus M_{DE}RB11), eli kulutuskestävyysvaatus täyttyy.

Taulukko 57. Sepelistä RTC tutkittujen näytteiden mekaanisten ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatimus
Los Angeles-luku	RTC1	10	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12
	RTC2	10			
	RTC3	8			
Micro-Deval	RTC4	5	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11
Vedenimeytyminen	RTC1	0,1	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5
	RTC2	0,1			
	RTC3	0,1			

7.1.4 Raideseveli RTD

Otettujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 43 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 58. Tutkittujen näytteiden perusteella seveli täyttää asetetut vaatimukset.



Kuva 43. Raidesevelistä RTD tutkittujen näytteiden keskimääräinen rakekokojakauma.

Taulukko 58. Raidesepeleistä RTD tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Poikkeamat vaadittuun (luokka F) on merkitty oranssilla.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RTD1	RTD2	RTD3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	93	93	93	93	93..99
50	56	50	59	55	45..70
40	16	20	19	18	15..40
31,5	3	4	2	3	0..7
22,4	0	0	0	0	0..7
8	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	
0,5	0	0	0	0	
0,063	0,2	0,1	0,1	0,1	0..1

Raidesepelein RTD muotoarvo- ja rakeiden pituus -testien tulokset on esitetty taulukossa 59. Testitulosten perusteella materiaali täyttää luokan Sl_{20} vaatimuksen. Yksittäisessä näytteessä on havaittu sallitun muotoarvon ylitys, mutta kaikkien näytteiden keskiarvoa käytetään arvosteluperusteena. Sepeli sisältää tutkittujen näytteiden perusteella myös yli 20 %-yksikköä yli 100 mm pitkiä rakeita.

Taulukko 59. Sepelistä RTD tutkittujen näytteiden geometrinen ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RTD1	23	Sl_{20}	Sl_{20}	Sl_{20}
	RTD2	18			
	RTD3	18			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RTD1	23	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RTD2	20			
	RTD3	24			

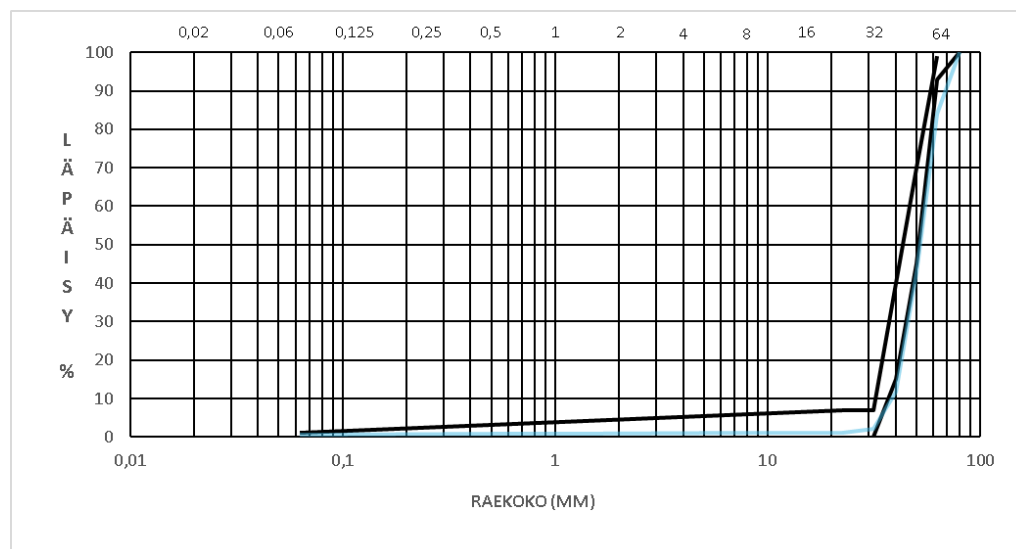
Materiaalin mekaanisten ominaisuuksien testitulokset on esitetty taulukossa 60. Materiaalin iskunkestävyydestin perusteella Los Angeles-luku oli enintään 8 (vaatus LA_{RB12}), joten materiaalin iskunkestävyysvaatus täyttyy. Materiaalin kulutuskestävyydestin perusteella microDeval-arvo oli 4 (vaatus M_{DeRB11}), eli kulutuskestävyysvaatus täyttyy.

Taulukko 60. Sepelistä RTD tutkittujen näytteiden mekaanisten ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Los Angeles-luku	RTD1	8	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12
	RTD2	8			
	RTD3	8			
Micro-Deval	RTD4	4	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11
Vedenimeytyminen	RTD1	0,1	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5
	RTD2	0,2			
	RTD3	0,2			

7.1.5 Raideseveli RTE

Otettujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 44 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 61. Tutkittujen näytteiden perusteella seveli ei täytä asetettuja vaatimuksia.



Kuva 44. Raidesevelistä RTE tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma.

Taulukko 61. Raidesepeleistä RTE tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Poikkeamat vaadittuun (luokka F) on merkitty oranssilla.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				Vaatimus
	RTE1	RTE2	RTE3	Keskiarvo	
80	100	100	100	100	100
63	83	82	87	84	93..99
50	45	37	47	43	45..70
40	12	7	16	12	15..40
31,5	2	2	2	2	0..7
22,4	1	1	1	1	0..7
8	1	1	1	1	
1	1	1	1	1	
0,5	1	1	1	1	
0,063	0,4	0,5	0,5	0,5	0..1

Raidesepelein RTE muotoarvo- ja rakeiden pituus -testien tulokset on esitetty taulukossa 62. Testitulosten perusteella materiaalin muotoarvo täyttää luokan Sl_{20} vaatimuksen. Sen sijaan sepele RTE sisältää tutkittujen näytteiden perusteella noin 23 %-yksikköä yli 100 mm pitkiä rakeita.

Taulukko 62. Sepelistä RTE tutkittujen näytteiden geometrinen ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustasoilmoitus	Vaatimus
Muotoarvo	RTE1	16	Sl_{20}	Sl_{20}	Sl_{20}
	RTE2	12			
	RTE3	14			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RTE1	17	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RTE2	30			
	RTE3	24			

Materiaalin mekaanisten ominaisuuksien testitulokset on esitetty taulukossa 63. Materiaali oli niin karkearakeista, ettei otetuista näytteistä pystytty tekemään kaikkia mekaanisten ominaisuuksien testejä, koska näytteissä oli liian vähän lajitetta 31,5/50 mm. Materiaalin iskunkestävyydestin perusteella Los Angeles-luku oli enintään 8 (vaatimus LA_{RB12}), joten materiaalin iskunkestävyysvaatimus täyttyy. Materiaalin yksittäisen kulutuskestävyydestin perusteella microDeval-arvo oli 6 (vaatimus M_{DERB11}), eli kulutuskestävyysvaatimus täyttyisi, mutta testitulos perustuu yksittäiseen testiin, ei kahden testin keskiarvoon.

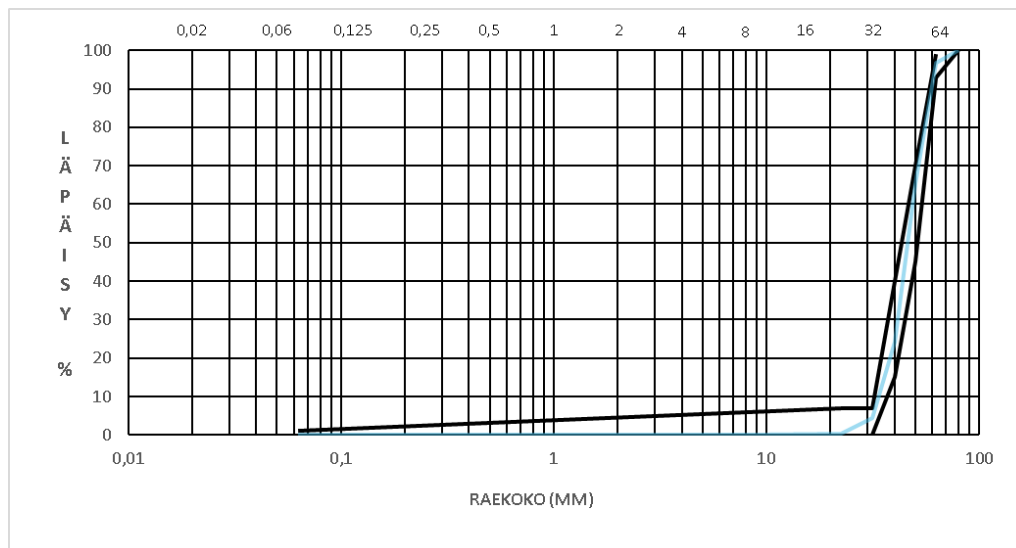
Taulukko 63. Sepelistä RTE tutkittujen näytteiden mekaanisten ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulokset	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatimus
Los Angeles-luku	RTE1	8	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12
	RTE2	8			
	RTE3	-			
Micro-Deval	RTE4	- (yksittäistulos 6) ^(*)	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11
Vedenimeytyminen	RTE1	0,1	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5	W _{cm} 0,5
	RTE2	0,1			
	RTE3	0,1			

(*otettujen näytteiden rakeisuuspoikkeamasta johtuen materiaalin lajitetta 31,5/50 mm oli testattavana liian vähän, joten microDeval-arvoa ei pystytty määrittämään, koska testiä varten tarvittiin kaksi rinnakkaista testitulosta ja niiden keskiarvo.

7.1.6 Raidesepeli RTF

Otettujen näytteiden rakeisuustulosten keskiarvo on esitetty kuvassa 45 rakeisuuskäyränä. Yksittäisten näytteiden läpäisyprosentit eri seuloilla on esitetty taulukossa 64. Tutkittujen näytteiden perusteella sepeli täyttää asetetut vaatimukset.



Kuva 45. Raidesepelistä RTF tutkittujen näytteiden keskimääräinen raekokojakauma.

Taulukko 64. Raidesepeleistä RTF tutkittujen näytteiden raekokojakaumat. Poikkeamat vaadittuun (luokka F) on merkitty oranssilla.

Seula (mm)	Seulan läpäisy (%)				
	RTF1	RTF2	RTF3	Keskiarvo	Vaatus
80	100	100	100	100	100
63	98	97	95	97	93..99
50	69	64	64	65	45..70
40	25	22	27	24	15..40
31,5	4	6	4	5	0..7
22,4	1	0	0	0	0..7
8	0	0	0	0	
1	0	0	0	0	
0,5	0	0	0	0	
0,063	0,2	0,1	0,1	0,1	0..1

Raidesepelein RTE muotoarvo- ja rakeiden pituus -testien tulokset on esitetty taulukossa 65. Testitulosten perusteella materiaalin muotoarvo täyttää luokan Sl₂₀ vaatimuksen. Tutkittujen näytteiden perusteella materiaali sisältää myös noin 15 %-yksikköä yli 100 mm pitkiä rakeita.

Taulukko 65. Sepelistä RTF tutkittujen näytteiden geometrinen ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatus
Muotoarvo	RTF1	19	Sl ₂₀	Sl ₂₀	Sl ₂₀
	RTF2	19			
	RTF3	19			
Rakeiden pituus (> 100 mm rakeiden osuus)	RTF1	13	> 12 %	ei ilmoitettu	-
	RTF2	10			
	RTF3	19			

Materiaalin mekaanisten ominaisuuksien testit on tehty otetuista rakeisuusnäytteistä seulotuista lajitteista. Testitulokset on esitetty taulukossa 66. Materiaalin iskunkestävyydestä Los Angeles-luvussa havaittiin poikkeama, jonka myötä iskunkestävyysluokaksi tuli LA_{RB}14. Materiaalin iskunkestävyysvaatimuksena on luokka LA_{RB}12, joten iskunkestävyysvaatus ei täyty. Materiaalin yksittäisen kulutuskestävyydestä perusteella microDeval-arvo oli 8 (vaatus M_{De}RB11), eli kulutuskestävyysvaatus täyttyy.

Taulukko 66. Sepelistä RTF tutkittujen näytteiden mekaanisten ominaisuuksien testien tulokset. Mikäli poikkeamia on havaittu (standardin SFS-EN 13450 kansallinen soveltamisohje), ne on merkitty oranssilla värillä.

Testi	Näyte	Testitulos	Luokka	Suoritustaso-ilmoitus	Vaatimus
Los Angeles -luku	RTF1	13	LA _{RB} 14	LA _{RB} 12	LA _{RB} 12
	RTF2	11			
	RTF3	12			
Micro-Deval	RTF4	8	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11	m _{DE} RB 11
Veden- imeytyminen	RTF1	0,1	W _{cm} <0,5 %	W _{cm} <0,5 %	W _{cm} <0,5 %
	RTF2	0,2			
	RTF3	0,1			

7.2 Raidesepelien yhteenveto

Raidesepelinäytteitä haettiin yhteensä kuudesta kohteesta. Yhdessä sepelissä havaittiin poikkeama rakeisuudessa, ja materiaali oli tutkittujen näytteiden perusteella liian karkearakeista. Lisäksi yhdessä sepelissä havaittiin poikkeama iskunkestävyydessä.

Muotoarvopuutteita havaittiin yhdessä sepelissä, joten sepelin muotoarvoissa on siis tapahtunut kehitystä edellisen vuoden tuloksiin verrattuna. Yli 100 mm rakeiden osuus oli kuitenkin edelleen suuri kaikissa testatuissa sepeleissä. Vaikka yli 100 mm rakeiden osuutta ei olekaan asetettu vaatimukseksi, pitkulaisien ja ylisuurten rakeiden suuri määrä saattaa lyhentää raidesepelin käyttöikää tai hankaloittaa kunnossapitoa. Yli 100 mm rakeiden määrän rajoittamista pohdittiin jo edellisen vuoden tutkimuksessa. Pitkien rakeiden suuri osuus selittyy ainakin osin testimenetelmillä. Muotoarvotesti tehdään lajitteelle 4/63 mm, joten yli 63 mm rakeet, jotka usein ovat yli 100 mm pitkiä, jäävät tämän testin ulkopuolelle. Yli 63 mm rakeita on tyypillisesti 5...7 %-yksikköä koko tuotteesta, joten tämä osuus tuote-erästä jää testaamatta muotoarvotestissä. Vaikka materiaalin muotoarvo olisikin kunnossa, se ei siis automaattisesti tarkoita, että ylipitkiä rakeita olisi vähän. Asian korjaamiseksi pitäisi päivittää tiilajan hankintadokumentteja.

8 Geosynteetit

8.1 Bentoniittimatoista testatut ominaisuudet

Kahdesta pohjavedensuojauskohteesta otettiin bentoniittimattönäytteet. Molemmista kohteista otettiin kaksi A- ja B näytteen käsittävää näytesarjaa. Tampereen teknillisen yliopiston (TTY) geolaboratoriossa tutkittiin A-näytteistä bentoniittimäärä ja bentoniitin paisuntaindeksi. B-näytteet lähetettiin tutkittavaksi NorGeoSpec-järjestelmässä mukana olevaan, akkreditoituun KIWA-testauslaboratorioon Saksaan. KIWAN testausraportin perusteella bentoniitin vesipitoisuus on määritetty vain yhdestä osanäytteestä ja kuivaus on kestänyt vain 5 h

Molemmissa hankkeissa oli käytetty samaa bentoniittimattotuotetta, jossa bentoniittimaton päälle oli liimalla kiinnitetty ohut HDPE-muovikalvo. Suoritus-tasoilmoituksessa ei ole ilmoitettu vedenläpäisevyyttä, vaan ilmoitettu tuotteen olevan läpäisemätön. Muovikalvon paksuudeksi on ilmoitettu tuotetiedoissa 0,2 mm. Testauksen yhteydessä revittiin yhdestä osanäytteestä muovikalvo irti (kuva 46) ja määritettiin sen perusteella bentoniittimäärän laskennassa käytettävä muovikalvon neliöpaino. Bentoniittimäärä tutkittiin 200 mm x 200 mm osanäytteistä testistandardin SFS-EN 14196 mukaisesti ja paisuntaindeksi testistandardin ASTM D 5890 mukaisesti. Testausmenetelmät on kuvattu vuoden 2017 raportissa (22/2017).

Bentoniittimaton tuotetiedoissa tuotteen kokonaispainoksi on ilmoitettu $4\,500\text{ g/m}^2 \pm 10\%$ ja bentoniitin määräksi $4\,000\text{ g/m}^2$. Bentoniittimäärän laskennassa on käytetty geotekstiilien neliöpainoina tuotetiedoissa ilmoitettua 100 g/m^2 ja 200 g/m^2 . Muovikalvon neliöpainoksi on arvioitu 190 g/m^2 , sillä kalvon tuotetiedoissa ei ole ilmoitettu neliöpainoa. Lisäksi tarkastelussa otetaan huomioon InfraRYL 2010 liitteen 8 vaatimusten mukaisesti 10 % hajonta geotekstiilien neliöpainossa.

Bentoniittinäytteet vesipitoisuusmäärittystä ja paisuntaindeksiä varten koottiin neliöpainon määrittystä varten otettujen osanäytteiden vierestä irrotetusta bentoniitista (kuva 46).



Kuva 46. Kuvia bentoniittimattönäytteiden käsittelystä. Yllynnä vasemmalla näyte ja oikealla kalvon irrotusta. Alhaalla vasemmalla testi-näytteestä irrotettu kalvo ja oikealla bentoniitin irrotusta vesipitoisuus- ja paisumisindeksimäärittystä varten.

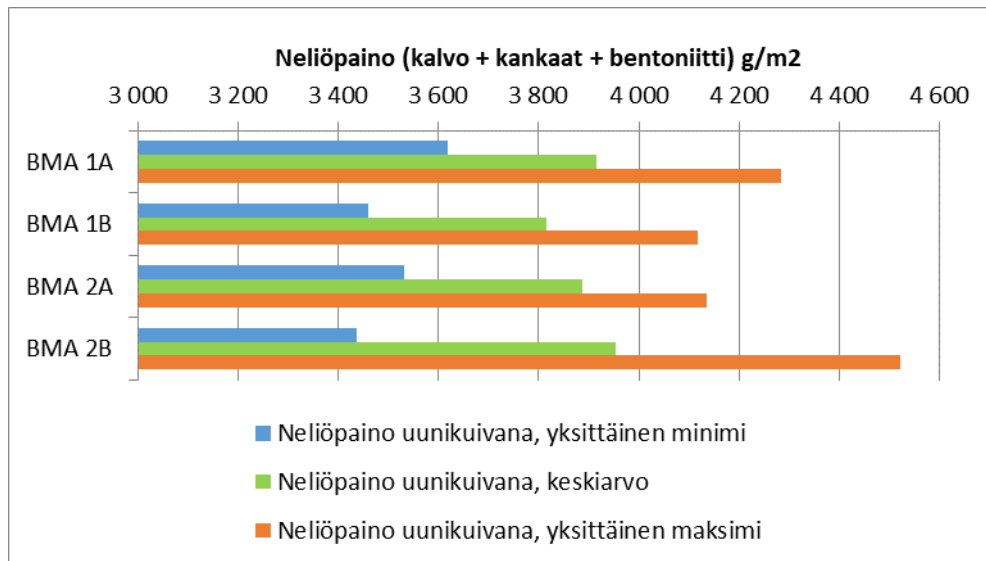
8.2 Tulokset

8.2.1 Bentoniittimatto, BMA

Kohteessa BMA käytetyn bentoniittimaton neliöpaino uunikuivana on esitetty taulukossa 67. Kuvassa 47 on esitetty tutkittujen testikappaleiden minimi- ja maksimitulokset sekä keskiarvo. Tuotteen kokonaisneliöpaino alittaa tuotetiedoissa ilmoitetun kokonaispainon $4\,500\text{ g/m}^2 \pm 10\%$.

Taulukko 67. Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimatonäytteiden neliöpaino uunikuivana (painossa mukana kankaat ja kalvo, $n=2$).

Neliöpaino uunikuivana	BMA 1A (TTY)	BMA 1B (KIWA)	BMA 2A (TTY)	BMA 2B (KIWA)
	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
testikappaleiden tulosten keskiarvo	3 916	3 816	3 889	3 954
hajonta	230	253	228	408
variaatiokerroin	5,9 %	6,6 %	5,9 %	10,3 %

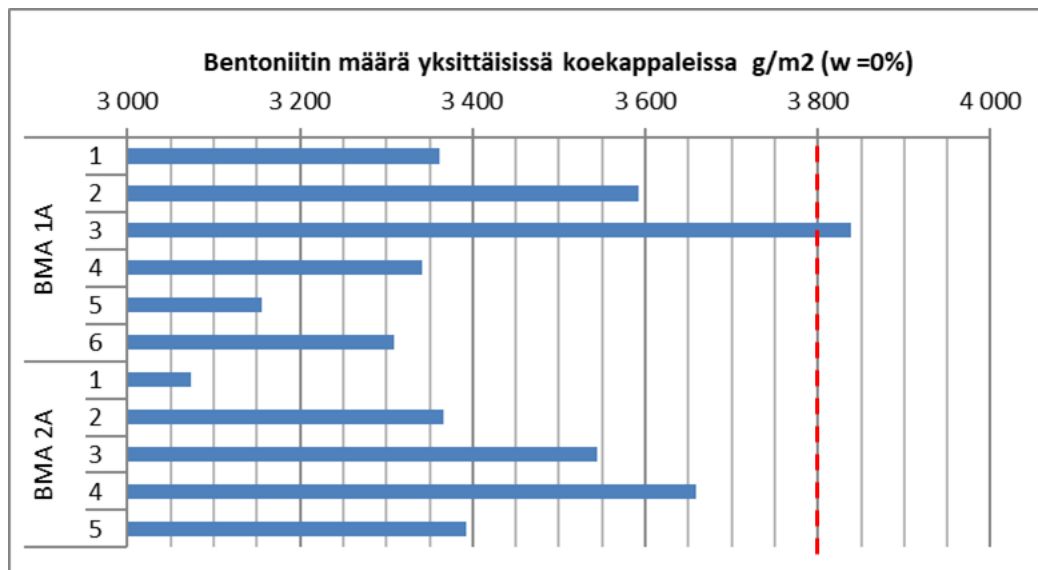


Kuva 47. Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimatonäytteiden neliöpainot (painossa mukana kankaat ja kalvo, $n=2$). Kuvassa on esitetty testikappaleiden neliöpainon yksittäinen minimi, yksittäinen maksimi ja tulosten keskiarvo (=testitulokset).

Bentoniittimatosta laskennallisesti määritetty bentoniitin neliöpaino uuni-kuivana on esitetty taulukossa 68. Bentoniittimäärän laskennassa on käytetty bentoniitista määritettyjä vesipitoisuuksia sekä geotekstiilien neliöpainoina 100 g/m² ja 200 g/m² ja muovikalvon neliöpainona 190 g/m². Kuvassa 48 on esitetty yksittäisten testikappaleiden neliöpainot uunikuivana ilman kankaita ja muovikalvoa eli bentoniitin laskennallinen neliöpaino. Yksittäisten testikappaleiden neliöpainon hajonta oli alle 10 %, joten työmaatestauksen vaatimuksena on InfraRYL 2010 liitteen 8 taulukon Liite:T15 mukaisesti $\geq 3\,800$ g/m². Taulukossa 68 esitettyssä bentoniittimäärässä on huomioitu InfraRYL 2010 liitteen 8 mukaisesti geotekstiilien neliöpainon 10 % hajonta. Muovikalvon neliöpainon hajontaa ei ole huomioitu. Bentoniitin keskimääräinen määrä alittaa työmaatestauksessa saavutettavaksi vaaditun määrän $\geq 3\,800$ g/m² ja tuotetiedoissa ilmoitetun 4 000 g/m².

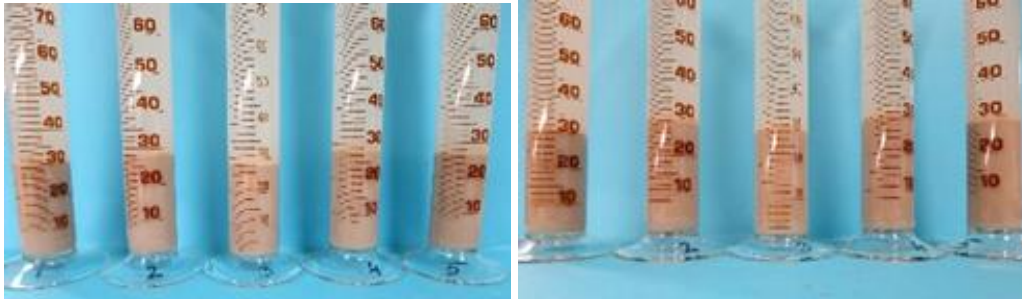
Taulukko 68. Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimattonäytteiden bentoniitin neliöpainot (TTY). InfraRYL 2010 liitteen 8 taulukon 15 mukainen vaatimus on vähintään 3800 g/m².

Näyte	Bentoniitin keskimääräinen vesipitoisuus	Testikappaleiden bentoniittimäärä eli neliöpainojen keskiarvo kuivana ilman kankaita ja kalvoa	Kankaiden (100 g/m ² ja 200 g/m ²) neliöpainon 10 % hajonta	Bentoniittimäärä kuivana (hajonta huomioitu)
	%	g/m ²	g/m ²	g/m ²
BMA 1A	28,3	3 433	-30...+30	3 403
BMA 2A	28,3	3 407	-30...+30	3 377



Kuva 48. Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimattonäytteiden bentoniitin määrä eli bentoniitin neliöpaino uunikuivana ilman kankaiden ja kalvon painoa yksittäisissä testikappaleissa (TTY). Katkoviivalla on esitetty InfraRYL 2010 liitteen 8 taulukon Liite: T15 mukainen työmaatestauksen vaatimus $\geq 3\,800$ g/m².

Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimattomnäytteiden bentoniitin paisuntaindeksi on esitetty taulukossa 69. ja kuvassa 49. Paisuntaindeksi täytti ilmoitetun arvon ja InfraRYLin 2010 liitteen 8 taulukon Liite: T15 vähimmäisvaatimuksen 24 ml/2g.



Kuva 49. Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimattomnäytteiden bentoniitin paisumisindeksikoe TTY:lla. Vasemmalla osanäytteet 1A ja oikealla osanäytteet 2A.

Taulukko 69. Kohteesta BMA tutkittujen bentoniittimattojen paisuntaindeksit.

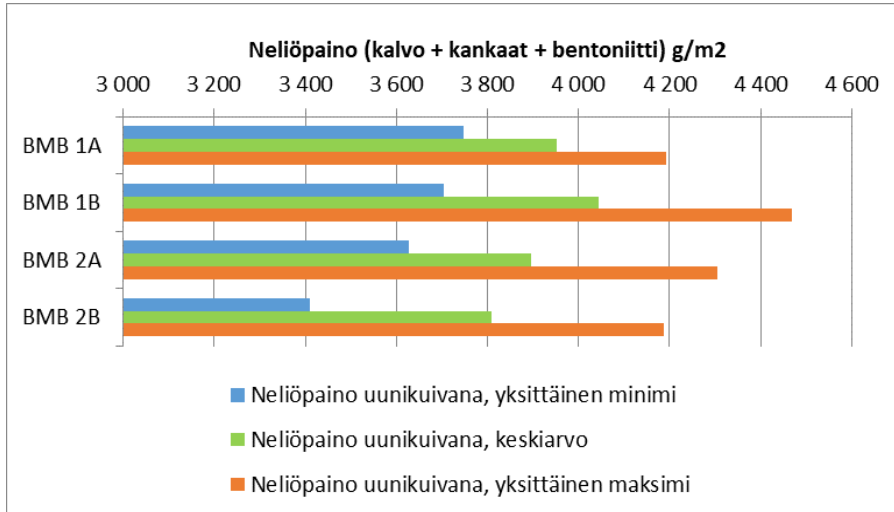
Näyte	Paisuntaindeksi (ml/2g)		
	TTY	KIWA	Vaatimus
BMA 1	28	28,5	24
BMA 2	30	28,5	

8.2.2 Bentoniittimatto, BMB

Kohteessa BMB käytetyn bentoniittimattom neliöpaino uunikuivana on esitetty taulukossa 70. Kuvassa 50 on esitetty tutkittujen testikappaleiden minimi- ja maksimitulokset sekä keskiarvo. Tuotteen kokonaisneliöpaino alittaa tuotetiedoissa ilmoitetun kokonaispainon $4\ 500\ \text{g/m}^2 \pm 10\%$.

Taulukko 70. Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattomnäytteiden neliöpaino uunikuivana (painossa mukana kankaat ja kalvo, n=2).

Neliöpaino uunikuivana	BMB 1A (TTY)	BMB 1B (KIWA)	BMB 2A (TTY)	BMB 2B (KIWA)
	g/m ²	g/m ²	g/m ²	g/m ²
testikappaleiden tulosten keskiarvo	3 952	4 044	3 895	3 809
hajonta	186	278	262	277
variaatiokerroin	4,7 %	6,9 %	6,7 %	7,3 %



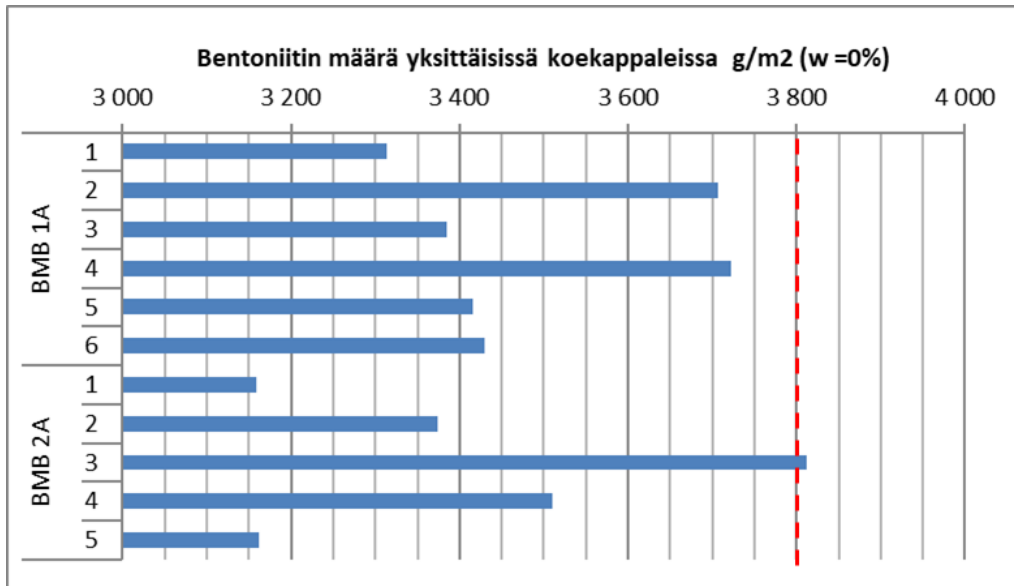
Kuva 50. Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattomien näytteen neliöpainot (painossa mukana kankaat ja kalvo, n=2). Kuvassa on esitetty testikappaleiden neliö-painon yksittäinen minimi, yksittäinen maksimi ja tulosten keskiarvo (=testitulos).

Bentoniittimattomasta laskennallisesti määritetty bentoniitin neliöpaino uunikuivana on esitetty taulukossa 71. Bentoniittimäärän laskennassa on käytetty bentoniitista määritettyjä vesipitoisuuksia sekä geotekstiilien neliöpainoina 100 g/m² ja 200 g/m² ja muovikalvon neliöpainona 190 g/m². Kuvassa 51 on esitetty yksittäisten testikappaleiden neliöpainot uunikuivana ilman kankaita ja muovikalvoa eli bentoniitin laskennallinen neliöpaino.

Yksittäisten testikappaleiden neliöpainon hajonta oli alle 10 %, joten työmaatestauksen vaatimuksena on InfraRYLin 2010 liitteen 8 taulukon Liite: T15 mukaisesti $\geq 3\,800$ g/m². Taulukossa 71 esitettyssä bentoniittimäärässä on huomioitu InfraRYLin 2010 liitteen 8 mukaisesti geotekstiilien neliöpainon 10 % hajonta. Muovikalvon neliöpainon hajontaa ei ole huomioitu. Bentoniitin keskimääräinen määrä alittaa InfraRYL:n liitteessä 8 esitetyn työmaatestauksessa saavutettavaksi vaaditun määrän $\geq 3\,800$ g/m² ja tuotetiedoissa ilmoitetun 4 000 g/m².

Taulukko 71. Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin neliöpainot (TTY). InfraRYL 2010 liitteen 8 taulukon 15 mukainen vaatimus on vähintään 3800 g/m².

Näyte	Bentoniitin keskimääräinen vesipitoisuus	Testikappaleiden bentoniittimäärä eli neliöpainojen keskiarvo kuivana ilman kankaita ja kalvoa	Kankaiden (100 g/m ² ja 200 g/m ²) neliöpainon 10 % hajonta	Bentoniittimäärä kuivana (hajonta huomioitu)
	%	g/m ²	g/m ²	g/m ²
BMB 1A	30,3	3 496	-30...+30	3 466
BMB 2A	32,4	3 403	-30...+30	3 373

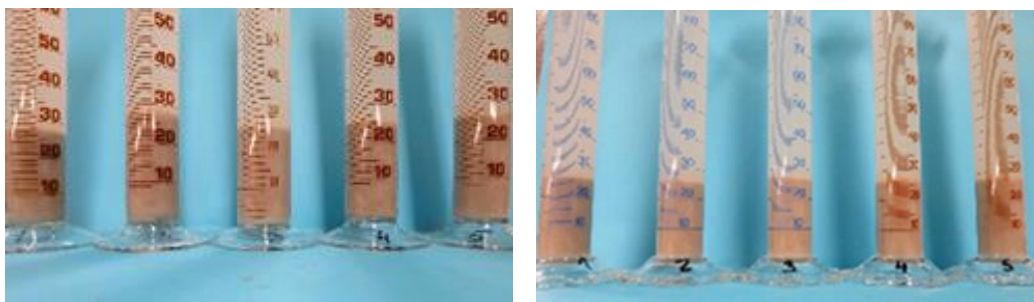


Kuva 51. Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattomäytteiden bentoniitin määrä eli bentoniitin neliöpaino uunikuivana ilman kankaiden ja kalvon painoa yksittäisissä testikappaleissa (TTY). Katkoviivalla esitetty on InfraRYL 2010 liitteen 8 taulukon Liite: T15 mukainen työmaatestauksen vaatimus $\geq 3\,800\text{ g/m}^2$.

Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattomäytteiden paisuntaindeksi on esitetty taulukossa 72 ja kuvassa 52. Paisuntaindeksi täytti ilmoitetun arvon ja InfraRYLin 2010 liitteen 8 taulukon Liite: T15 vähimmäisvaatimuksen 24 ml/2g.

Taulukko 72. Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattomäytteiden paisuntaindeksit.

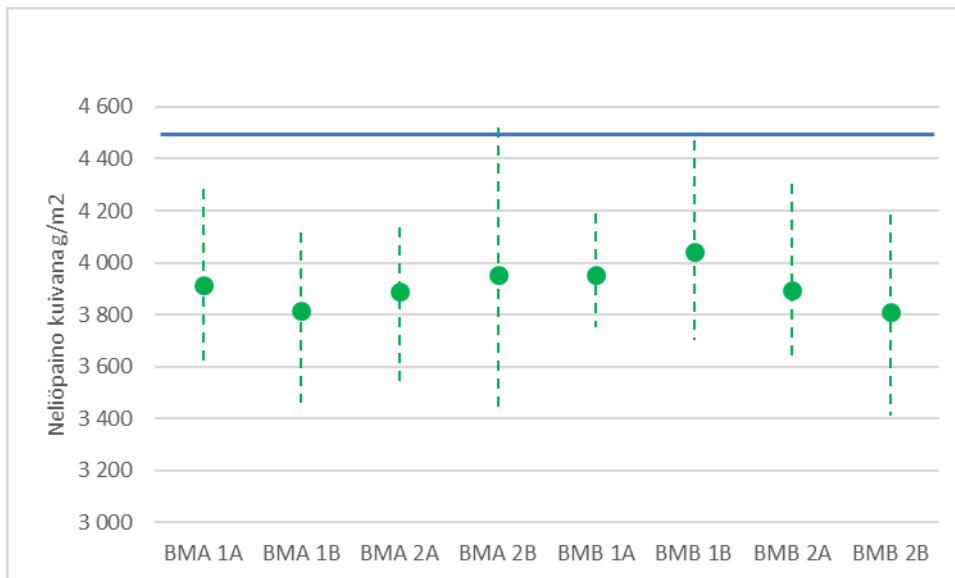
Näyte	Paisuntaindeksi(ml/2g)		
	TTY	KIWA	Vaatimus (ml/2g)
BMB 1A	28	26	24
BMB 2A	27	27,5	



Kuva 52. Kohteesta BMB tutkittujen bentoniittimattojen bentoniitin paisuntaindeksikoe TTY:lla. Vasemmalla osanäytteet 1A ja oikealla osanäytteet 2A.

8.2.3 Bentoniittimattojen tulosten yhteenveto

Molemmissa näytteenottokohteissa käytettiin samaa tuotetta. Kaikkien tulosten perusteella bentoniitin paisuntaindeksi täytti vaatimukset, mutta bentoniittimaton neliöpaino kuivana alitti tuotetiedoissa ilmoitetun arvon. Yhteenveto bentoniittimattojen neliöpainoista on kuvassa 53. Kaikkien testitulosten eli testikappaleiden tulosten keskiarvojen keskiarvo oli $3\,909\text{ g/m}^2$ ja hajonta 77 g/m^2 . TTY:n geolaboratoriossa ja KIWAN laboratoriossa saadut tulokset ovat samaa suuruusluokkaa.



Kuva 53. Kohteista BMA ja BMB tutkittujen bentoniittimattojen neliöpainotulokset vaihteluväleineen. Yhtenäisellä sinisellä viivalla tuotetiedoissa ilmoitettu neliöpaino.

9 Yhteenveto

Vuosien 2014–2018 välisenä aikana on tutkittu mittava määrä eri rakennekerrosten materiaaleja tie- ja ratarakenteista. Joidenkin rakennekerrosmateriaalien laatu on parantunut järjestelmällisesti tutkimuksen myötä. Vastaavasti toisissa rakennekerroksissa ei ole tapahtunut laadun parantumista, vaan poikkeamia on havaittu toistuvasti.

Vuonna 2018 tutkittiin tierakennemateriaaleista päällystekiviaineita, soratien kulutuskerrosmateriaaleja ja kantavan kerroksen materiaaleja. Lisäksi tutkittiin ensimmäistä kertaa uusiomateriaalien käyttöä tierakenteessa ja tutkittiin kahden betonimursketta, joita käytettiin tierakenteen jakavassa kerroksessa. Geosynteettisistä tuotteista tutkittiin tien pohjavedensuojauksessa käytettäviä bentoniittimattoja kahdesta kohteesta.

Ratamateriaalien osalta painopisteeksi otettiin vuonna 2018 raidesepeleli, koska sepeleissä havaittiin vuonna 2017 useita laatueroja.

Kutakin materiaalia koskevien lukujen lopussa olevat yhteenvedot on koottu alla oleviin kappaleisiin 9.1–9.6. Kappaleeseen 9.7 on koottu tutkimustulosten perusteella tehdyt päätelmät ja jatkotutkimusehdotukset.

9.1 Päällystekiviaineet

Tutkimuksessa testattiin yhteensä 14 päällystekiviainesta. Kiviaineksille tehtiin litteysluku- ja nastarengaskulutuskestävyydestit sekä tutkittiin tuotannonaikaisen laadunvalvonnan toteutumista. Koostekiviainesten osalta litteyslukutestien tulokset täyttivät asetetut vaatimukset kaikilla testatuilla näytteillä. Mikäli massa oli valmistettu kiviaineslajitteista, havaittiin poikkeamia vaadittuun luokkaan ainoastaan hienojen lajitteiden litteyslukuarvoissa. Litteysluvun arvostelu pitää kuitenkin tehdä koko massasta, mitä varten käyttöön tarvittaisiin tarkat osuudet eri lajitteiden osuuksista.

Nastarengaskulutuskestävyydessä havaittiin poikkeamia kahdessa ELY-keskuksen hankkeessa sekä yhdessä Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeessa. Huomattavaa oli, että kaikki kolme poikkeamaa olivat luokassa A_N 7. Asfalttinormit 2017 mukaisen kiviainesten tuotannonaikaisen nastarengaskulutuskestävyyden testaustiheysvaatimuksen havaittiin toteutuvan hyvin. Tuotannonaikaisia dokumentteja saatiin kaikista ELY-keskusten hankkeista ja lisäksi myös osasta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) Asfalttinormeja 2011 noudattavista hankkeista. Yhteenveto päällystekiviaineiksissa havaituista poikkeamista ja toimenpiteistä on esitetty taulukossa 73.

Taulukko 73. Päälystekiviaineksien tarkastuksissa havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet.

Kohde	Havainnot ja Toimenpiteet
AE	Pistokoevalvonnassa havaittiin poikkeama kuulamylyarvossa An7-luokan kiviaineksessa. Kiviainestoimittajalla on ollut myös 1 poikkeama tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa. Kiviainestoimittaja on testannut laadun tihennetysti valmistuksen aikana, eikä muita poikkeamia ole ollut. Testitulosten määrän perusteella materiaali ok, hyväksytyjä testituloksia saatiin > 85 % kaikista testeistä ja poikkeamat olivat Asfalttinormeissa 2017 esitettyjen toleranssien sisällä.
AA	Pistokoevalvonnassa havaittiin poikkeama kuulamylyarvossa An7-luokan kiviaineksessa. Myös kiviainestoimittajan tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa oli useampia poikkeamia. Näytteet otettiin ennen päälystystä. Kelpaamattomaksi todettua erää ei käytetty päälystyksiin. Kiviainestoimittaja ja urakoitsija todensivat käytettävän erän laadun uusilla testituloksilla.
LTP	Pistokoevalvonnassa havaittiin poikkeama kuulamylyarvossa An7-luokan kiviaineksessa. Hankkeessa oli voimassa Asfalttinormit 2011 ja havaittu poikkeama oli sallitun raja-arvon sisällä. Myös tuotannonaikaisissa havaittiin testituloksissa poikkeama 1/7 näytteessä. Asfalttinormeissa 2011 ei ole asetettu poikkeamien suhteelliselle osuudelle ylärajaa. Kaikkien testattujen näytteiden kuulamylyarvon keskiarvo täytti luokan An7 vaatimukset.

Nastarengaskulutuskestävyydessä havaittujen poikkeamien käsittely oli pääosin asianmukaista. Yhdessä kohteessa pistokoetarkastuksen yhteydessä nastarengaskulutuskestävyyden testituloksissa havaittiin poikkeama, johon ehdittiin reagoimaan ennen työn aloittamista. Toisessa kohteessa kiviainestoimittaja havaitsi poikkeaman tuotannonaikaisessa laadunvalvonnassa likimain samanaikaisesti pistokoevalvonnan näytteiden kanssa, joissa todettiin myös poikkeama. Kiviainestoimittaja tihensi omaa tuotannon aikaista laadunvalvontaansa ja huolehti nastarengaskulutuskestävyyksivaatimuksen täyttymisestä. Kolmannessa poikkeamakohteessa myös kiviainestoimittaja sai yhden poikkeavan tuloksen tuotannon aikaisessa laadunvalvonnassa. Samanaikaisesti tuotannon aikaisessa laadunvalvonnassa saatiin kuusi hyväksytyä tulosta, joten kiviainestoimittaja katsoi materiaalin laadun tulleen osoitetuksi. Vaikka myös tässä tutkimuksessa todettiin poikkeama, olivat molemmat havaitut poikkeamat niin pieniä, että ne mahtuivat Asfalttinormeissa 2011 (hankkeella voimassa oleva vaatimus) yksittäiselle testitulokselle sallitun 15 % poikkeaman sisään.

9.2 Soratien kulutuskerrosmateriaalit

Vuonna 2018 tutkittiin sorastuksen lopputuloksia neljän alueurakan alueelta, yhteensä kahdeksalta eri tieltä. Vain kahdessa kohteessa kahdeksasta lopputulos oli kulutuskerroksen raekokojakauman osalta täysin vaatimusten mukainen sorastustoimenpiteiden jälkeen. On kuitenkin huomattava, että kolmessa kohteessa käytettiin sorastusmurskeena rakeisuusvaatimukset täyttävää materi-

aalia, mutta sorastuksen jälkeinen tien pinnan raekokojakauma ei tästä huolimatta asettunut kaikilta osin vaatimusalueelle.

Lisäksi kahdessa kohteessa käytettiin hienorakeisempaa 0/11 mm mursketta, joka myös täyttää Soratien kunnossapito-ohjeessa asetetun vaatimuksen 0/11 mm murskeelle. Lisäksi yhdessä kohteessa tehtiin pintakelirikon korjausta, joten kaikkiaan 6/8 kohteessa valitun sorastusmateriaalin käyttö oli täysin perusteltua. Perustelluista valinnoista huolimatta kulutuskerroksen raekokojakauma sorastustoimenpiteiden jälkeen oli kaikilta osin vaatimusten mukainen vain kahdessa kohteessa kahdeksasta. Soratien kulutuskerrosmateriaaleista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet on esitetty taulukossa 74.

Taulukko 74. Soratien kulutuskerrosmateriaaleissa havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet.

Kohde	Havainnot ja toimenpiteet
SRA II	Käytetyn sorastusmurskeen hienoainespitoisuus oli 5,2 %. Kohteessa tehtiin pintakelirikon korjausta, joten materiaalivalinta oli perusteltu. Tutkittujen näytteiden perusteella hienoainespitoisuus tien pinnassa oli 6,6 % eli asetettu vaatimus ei täyty.
SRC II	Käytetyn sorastusmurskeen hienoainespitoisuus 4,0 %. Tien pinnassa oli hienoainesta tutkittujen näytteiden perusteella 8,0% eli sorastuksen lopputulos täyttää asetetut vaatimukset.
SRC I	Käytetyn sorastusmurskeen hienoainespitoisuus oli 4,9 %. Tien pinnassa oli hienoainesta tutkittujen näytteiden perusteella 7,2 %, eli asetettu hienoainespitoisuusvaatimus ei täyty. Materiaalin käytöstä kohteessa oli sovittu tilaajan edustajan kanssa etukäteen.

Kuten vuonna 2017, myös vuonna 2018 havaittiin paljon vaihtelua tehdyissä toimenpiteissä. Edes vaatimusten mukaisten materiaalien käyttäminen sorastuksessa ei välttämättä takaa vaatimukset täyttävää rakennekerrosta, jos koko sorastusprosessia ei suunnitella tai toteuteta kunnolla.

Jos tarkastellaan alueurakoista saatuja laatudokumentteja, on tilanne parantunut vuodesta 2017. Vuonna 2018 saatiin jonkinlainen tieto käytettävästä sorastusmateriaalista kaikista tutkimukseen valikoituneista kohteista. Käytetty sorastusmateriaali oli kuitenkin CE-merkittyä vain kahdessa tapauksessa seitsemästä ja toisessa tapauksessa näistäkin sorastusmurske oli CE-merkitty standardin (SFS-EN 13043) mukaisesti eli kyseinen materiaali on valmistettu päällystekiviainekseksi. Kulutuskerroksissa käytettävät materiaalit tulisi CE-merkitä standardin SFS-EN 13242 mukaan.

Keskimäärin suurin haaste sorastustoimenpiteiden osalta on tiivistyksen puute. Kulutuskerroksen ajatellaan useimmiten tiivistyvän liikenteen vaikutuksesta. Kulutuskerroksen tiivistyminen riippuu merkittävästi myös vallitsevasta kosteustilasta. Jos sorastuksen yhteydessä ei voida arvioida, pysyykö kulutuskerros riittävän kosteana levittämisen ja muokkauksen jälkeen, pitäisi rakenne tiivistää heti muokkauksen jälkeen. Toki käytettävän sorastusmurskeen hienoainespitoisuudella ja hienoaineksen laadulla on merkittävä vaikutus materiaaliin sitoutuvan kosteuden määrään.

9.3 Kantavan kerroksen materiaalit

Kantavan kerroksen kiviaineksia testattiin kolmesta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeesta. Yhdessä materiaalissa havaittiin lievä iskunkestävyyspuute. Materiaalin samasta tuote-erästä on saatu myös tien kantavalta kerrokselta vaadittavaan iskunkestävyysluokkaan kuuluvia tuloksia. Standardissa (SFS-EN 1097-2) esitetyt iskunkestävyyskokeen uusittavuuden ja toistettavuuden hajonnat ovat kuitenkin melko suuria, joten kiviainestoimittajien tulee kiinnittää erityistä huomiota, mihin iskunkestävyysluokkaan kiviainekset voidaan merkitä. Yksi parhaista keinoista kiviaineksen laatuvaihtelun huomioimisessa on huolehtia vaadittujen materiaaliominaisuuksien riittävästä testaustiheydestä, joka voi tapauskohtaisesti olla huomattavasti tiheämpi kuin esim. InfraRYLissä asetetut vähimmäistestaustiheydet. Kantavan kerroksen materiaaleista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet on esitetty taulukossa 75.

Taulukko 75. Kantavan kerroksen materiaaleista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet.

Kohde	Havainnot ja toimenpiteet
LTA	Materiaalin LosAngeles-luku kuului pistokoevalvonnan yhteydessä tehtyjen testien perusteella luokkaan LA35. Materiaalin käyttö kiellettiin kesken urakan ja laskettiin käytetystä määrästä arvonalennukset. Urakan jäljelle jääneet sitomattomat kantavat kerrokset tehtiin toisella materiaalilla.

Kahden materiaalin raekokojakaumissa havaittiin pieniä puutteita. Havaitut puutteet tuskin ovat merkittäviä rakenteen toiminnan kannalta. Toisaalta havaitut puutteet indikoivat, että kantavan kerroksen materiaalien laadunvalvontaa tarvitaan.

9.4 Betonimurskeet tierakenteessa

Uusiomateriaaleista tutkittiin betonimurskeita kahdelta Liikenneviraston (nyk. Väylävirasto) investointihankkeelta. Molemmissa hankkeissa betonimursketta oli suunniteltu käytettäväksi jakavaan kerrokseen ja/tai sen alapuolisiin rakenteisiin. Molemmat testatut materiaalit täyttivät InfraRYLin kappaleessa 21210.1 ja liitteessä T18 esitetyt vaatimukset betonimurskeelle jakavassa kerroksessa.

Molempien testattujen materiaalien laatudokumenteissa havaittiin kuitenkin puutteita. Betonimurskeelle BEA oli toimitettu vain CE-merkki, ei suoritustasoilmoitusta. Näin ei rakennustuoteasetuksen tai standardin (SFS-EN 13242 +A1) perusteella voi olla. Lisäksi materiaalin BEA CE-merkintätiedot olivat puutteelliset. Materiaalin hienoainespitoisuutta tai kiintotiheyttä ei ollut ilmoitettu, vaikka standardin (SFS-EN 13242 +A1) mukaan pitäisi.

Betonimurskeen BEB CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus yksilöivät materiaalin (BeM II 0/45 mm) kelpaavan kantavan kerroksen kiviainekseksi. Mikäli betonimursketta halutaan käyttää kantavassa kerroksessa, tulee sen sisältää yli 90-paino% osa-aineita R_c (betonia, betonituotteita, laastia ja betoniharkkoja). Betonimurskeelle BEB tehdyn luokittelutestin perusteella materiaali kuitenkin sisälsi tuotteita R_c 84 paino%. Materiaalin suoritustasoilmoitus ei siis vastaa

luokittelutestin tuloksia. Betonimurskeista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet on esitetty taulukossa 76.

Taulukko 76. Betonimurskeista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet.

Kohde	Havainnot ja toimenpiteet
BEB	Betonimurskeen laatudokumentit eivät täytä kantavalle kerrokselle asetettuja vaatimuksia, vaikka suoritusasoilmoituksessa tuotteen käyttö on yksilöity kantavaan kerrokseen. Testien perusteella materiaali kelpaa käytettäväksi jakavassa kerroksessa. Materiaalia on käytetty jakavaan kerrokseen.
BEA	Betonimurskeelta puuttuu kokonaan suoritusasoilmoitus. Testien perusteella materiaali kelpaa käytettäväksi jakavassa kerroksessa. Materiaalia on käytetty jakavaan kerrokseen.

Toinen seikka liittyy InfraRYLin Liitteessä T18 vaadittuihin ominaisuuksiin liittyy materiaalin iskunkestävyyteen. Betonimurskeen osalta iskunkestävyys pitää ilmoittaa, jos sen suunniteltu käyttötarkoitus on kantavassa kerroksessa. Toisaalta InfaRYL 20 000-sarjan lukujen päivityksen yhteydessä lisättiin iskunkestävyyssarvon ilmoitusvelvollisuus jakavan kerroksen kiviaineksille. Betonimurskeen osalta tämä ilmoitusvelvollisuus puuttuu liitteen T18 taulukosta, jos suunniteltu käyttötarkoitus on jakavassa kerroksessa.

Edellisessä kappaleessa kuvailtujen vaatimuserojen vaikutuksesta voidaan päätyä tilanteeseen, jossa betonimurskeen valmistajat merkitsevät betonimurskeen käytön mahdolliseksi vain jakavassa kerroksessa ja tekevät sen edellyttämät testit, koska vaatimukset ovat kevyemmät ja vaatimuksia luokittelutestin osalta on vähemmän. Tällöin kantava kerros rakennettaisiin perinteisistä kiviaineksista. Tilanne ei ole toivottava, koska betonimurske lujittuessaan muodostaa jäykän rakenteen sitomattoman kantavan kerroksen alapuolelle. Toisaalta myös kantavan kerroksen päälle tulevat sidotut päällystekerrokset ovat huomattavan jäykkiä verrattuna sitomattomista kiviaineksista rakennettuun kantavaan kerrokseen. Tierakenteeseen muodostuu tällöin nk. *sandwich* -rakenne, jolloin sitomaton kantava kerros altistuu jauhaantumiselle ja tätä kautta tierakenne deformatuu nopeasti verrattuna suunniteltuun käyttöikään.

9.5 Raidesepelit

Raidesepelinäytteitä haettiin yhteensä kuudesta kohteesta. Yhdessä sepelissä havaittiin poikkeama rakeisuudessa, ja materiaali oli tutkittujen näytteiden perusteella liian karkearakeista. Lisäksi yhdessä sepelissä havaittiin poikkeama iskunkestävyydessä.

Muotoarvopuutteita havaittiin yhdessä sepelissä, joten sepelin muotoarvoissa on siis tapahtunut kehitystä edellisen vuoden tuloksiin, jolloin muotoarvopuutteita havaittiin 50 % tutkituista materiaaleista. Yli 100 mm rakeiden osuus oli kuitenkin edelleen suuri kaikissa testatuissa sepeleissä. Vaikka yli 100 mm rakeiden osuutta ei olekaan asetettu vaatimukseksi, pitkulaisten ja ylisuurten rakeiden suuri määrä saattaa lyhentää raidesepelin käyttöikää tai hankaloittaa kunnossapitoa. Yli 100 mm rakeiden määrän rajoittamista pohdittiin jo edellisen vuoden tutkimuksessa. Pitkien rakeiden suuri osuus selittyy ainakin osin testimenetelmällä. Muotoarvotesti tehdään lajitteelle 4/63 mm, joten yli 63 mm rakeet, jotka usein ovat yli 100 mm pitkiä, jäävät tämän testin ulkopuolelle. Yli

63 mm rakeita on tyypillisesti 5..7 %-yksikköä koko tuotteesta, joten tämä osuus tuote-erästä jää testaamatta muotoarvotestissä. Asian korjaamiseksi pitäisi päivittää tilaajan vaatimuksia. Raidesepeleistä havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet on esitetty taulukossa 77.

Taulukko 77. Raidesepeleistä havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet.

Poikkeama	Toimenpiteet
RTA	yli 20 % >100 mm pitkiä rakeita. Materiaali vastaa tilattua.
RTB	Materiaali hieman liian karkeaa, läpäisy 63 mm seulalla 91 % (vaatimus 93...99). Muotoarvo oli poikkeuksellisen hyvä, mutta >100 mm pitkiä rakeita yli 20 %. Urakkaan kuuluu jälkituentalvelvoite, joka arvioitiin riittäväksi toimenpiteeksi.
RTC	Muotoarvo oli luokkaa S125, suositeltu toimenpiteenä arvonalennusta. >100 mm pitkiä rakeita lähes 20 %.
RTD	yli 20 % >100 mm pitkiä rakeita.
RTE	Materiaali oli hieman liian karkeaa, läpäisy 63 mm seulalla oli 84% (vaatimus 93...99), 50 mm seulalla 43 % (vaatimus 45...70) ja 40 mm seulalla 12 % (vaatimus 15...40). >100 mm pitkiä rakeita yli 20 %. Raekokojakauman poikkeamista laskettiin arvonalennus.
RTF	Iskunkestävyysluokka ylittyy yhdessä näytteessä, suositeltiin arvonalennusta. >100 mm pitkiä rakeita noin 15 %.

9.6 Geosynteetit

Bentoniittimattonäytteitä otettiin kahdesta pohjavedensuojauhankkeesta. Molemmissa hankkeissa käytettiin samaa tuotetta, jossa bentoniittimaton päälle on liimattu 0,2 mm paksuinen HDPE-muovikalvo. Muovikalvon paksuus ei täyttänyt InfraRYL 2010:ssä esitettyjä ohutkalvon vaatimuksia. Bentoniittimaton kokonaispaino ei vastannut tuotetiedoissa ilmoitettuja arvoja. Bentoniittimatton laskennallinen bentoniittimäärä ei täyttänyt vaatimuksia. Bentoniittimatin paisuntaindeksi oli vaatimusten mukainen. Akkreditoidussa NorGeoSpec-järjestelmässä mukana olevassa laboratorioissa tutkittujen B-näytteiden tulokset vastasivat Tampereen teknillisen yliopiston tuloksia. Pohjavedensuojauksessa käytettävistä materiaaleista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet on esitetty taulukossa 78.

Taulukko 78. Pohjavedensuojauksessa käytettävistä materiaaleista havaitut poikkeamat ja niiden aiheuttamat toimenpiteet.

Kohde	Havainnot ja toimenpiteet
BMA	Pistokoevalvonnan yhteydessä tehdyissä testeissä havaittiin poikkeama tuotteen bentoniittimäärässä. Lisäksi tuotteen laadudokumenttien perusteella tuotteeseen valmiiksi kiinnitetty ohutmuovi ei täytä tien pohjavedensuojaurakenteelle asetettuja vaatimuksia. Tuotteesta ei toimitettu CE-merkintää tai suoritustasoilmoitusta, vaan laadudokumenttina toimitettiin ainoastaan "Technical Data Sheet". Hanke on valmistunut ennen kuin tutkimustulokset olivat käytössä. Tutkimustulokset on annettu tiedoksi hankkeen tilaajalle ja valvojalle, toimenpiteet selviävät takuuajana. Poikkeamista on raportoitu TUKESille.
BMB	Pistokoevalvonnan yhteydessä tehdyissä testeissä havaittiin poikkeama tuotteen bentoniittimäärässä. Lisäksi tuotteen laadudokumenttien perusteella tuotteeseen valmiiksi kiinnitetty ohutmuovi ei täytä tien pohjavedensuojaurakenteelle asetettuja vaatimuksia. Tuotteesta toimitettiin aluksi laadudokumenttina ainoastaan "Technical Data Sheet". Tuotteen CE-merkintä ja suoritustasoilmoitus saatiin myöhemmin erikseen pyytämällä. Hankkeessa on asennettu osa pohjavedensuojaurakenteista. Havaittujen poikkeamien perusteella urakoitsija on veloitettu poistamaan laatuvaatimukset alittavat tuotteet ja tekemään asennukset uudestaan. Poikkeamista on raportoitu TUKESille.

9.7 Päätelmät ja jatkotutkimustarpeet

Vuonna 2014–2018 tehtyjen tutkimusten perusteella nähdään, mitkä materiaalit erityisesti vaativat myös tilaajan suorittamaa laadunvalvontaa. Tierakenteiden osalta on tärkeää huolehtia etenkin päällystekiviainesten ja kantavassa kerroksessa käytettävien murskeiden materiaalien laadusta, koska tiellä liikkuvien ajoneuvojen massat ja mitat ovat kasvaneet viime vuosina. Tämä kasvattaa etenkin tierakenteen yläosan rasituksia, joten lähellä tien pintaa olevien rakennekerrosten laadusta on erityisesti huolehdittava.

Vuosina 2017 ja 2018 tehty soratien kulutuskerroksen laaduntarkkailu sorastuksen jälkeen vaikuttaisi toimivalta menetelmältä tarkkailla toteutuvaa kulutuskerroksen laatua. Kohtuullisessa laajuudessa toteutettuna saadaan kerättyä aineistoa, jonka avulla voidaan selvittää materiaalin lisäksi merkittävät tekijät sorastuksen onnistumisessa. Tällä hetkellä näyttäisi siltä, että sorastuksen yhteydessä tehtävät toimenpiteet vaihtelevat urakoittain liian paljon, jotta lopputulos olisi laadukas kaikissa urakoissa. Tähän voidaan vaikuttaa aluevas-
taavien tietoisuutta lisäämällä, mutta myös tilaajan tekemien pistokoetarkastusten avulla. Painottamalla pistokoetarkastuksia alkaviin urakoihin voidaan saavuttaa myös urakoitsijoiden osalta positiivinen vaikutus, jotta he osaavat kiinnittää sorastuksen kokonaislaatuun huomiota koko urakka-ajan.

Luonnonvarojen kestävä käyttö edellyttää myös uusiomateriaalien käyttämistä infrarakenteissa. Vuonna 2018 tutkittiin ensimmäistä kertaa myös uusiomateriaaleja, kun kahdesta betonimurskeesta otettiin näytteitä. Laatudokumentointia tulee kehittää myös uusiomateriaalien osalta, sillä molemmissa tutkituissa materiaaleissa havaittiin pieniä puutteita laatudokumenteissa. Tutkituissa kohteissa betonimursketta käytettiin jakavassa kerroksessa. Betonimurskekerros rakenteessa on verrattain jäykkä. Nyt tutkituissa kohteissa rakennettiin sitomaton kantava kerros kiviaineksesta betonimurskekerroksen ja päällysteen väliin. Tierakenteeseen muodostuu tällöin nk. *sandwich* -rakenne, jolloin sitomaton kantava kerros altistuu jauhaantumiselle ja tätä kautta tierakenne deformoituu nopeasti verrattuna suunniteltuun käyttöikänsä. Näyttää siis siltä, että uusiomateriaalien käytön lisääntyessä tarvitaan parempaa tietoutta eri uusiomateriaalien ominaisuuksista ja mekaanisesta käyttäytymisestä jo rakenteen suunnitteluvaiheessa.

Ratarakenteiden osalta tarvitaan toimenpiteitä, jotta raidesepelin ja radan alusrakennekerroksissa käytettävän kalliomurskeen laatua saadaan parannettua. Raidesepelin osalta puutteet näyttävät liittyvän pääasiassa materiaalin muotoarvoon ja erityisesti pitkien rakeiden osuuteen. Pitkien (pisimmältä särmältäään yli 100 mm) rakeiden osuutta ei tällä hetkellä rajoiteta, koska valtaosin tilaajan hankintadokumenteissa viitataan Ratahallintokeskuksen julkaisemaan standardin (SFS-EN13450) kansalliseen soveltamisohjeeseen vuodelta 2004. SFS 7007 (Raidesepelikiviaineksilta vaadittavat ominaisuudet ja niille asetetut vaatimustasot) vuodelta 2016 määrittelee ilmoittamaan myös pitkien rakeiden osuuden ja käyttämään luokkaa D (enintään 12 %). Pelkästään vaihtamalla hankinnassa käytettävät velvoittavat asiakirjat voitaisiin saada merkittävä parannus pitkien rakeiden osuuteen. Luonnollisesti prosessin siirtymistä käytäntöön tulisi myös tarkkailla.

Radan alusrakennekerroksissa käytettävän kalliomurskeen laadussa on havaittu säännöllisesti poikkeamia. Yksi syy on todennäköisesti se, että maksimiraekooltaan noin 56..63 mm kalliomurskeita ei lähtökohtaisesti valmisteta varastoon siten, että ne täyttäisivät radan eristys- ja välikerrosten vaatimuksia. Tällaisen materiaalin menekki ei ole säännöllistä, joten useimmiten karkearakeiset kalliomurskeet valmistetaan tierakenteissa vaadittavien laatuominaisuuksien mukaisesti. Tarpeen vaatiessa kiviainesalueelta murskataan ratarakenteessa vaadittavaa rakeisuutta, mutta usein jätetään muut ratarakenteessa käytettävän kiviaineksen laatuvaatimukset huomioimatta. Tähän voivat vaikuttaa kiviainestoimittajalle tuntematon käyttötarkoitus sekä urakoitsijan ja tilaajan edustajien puutteellinen tietämys laatuvaatimuksista. Useissa tapauksista, joissa laatu poikkeamia on havaittu, myöskään laatudokumentit eivät ole olleet saatavilla siinä aikataulussa, kuin sopimuksissa on edellytetty.

Pohjavedensuojausrakenteissa käytettävien bentoniittimattojen osalta on havaittu puutteita bentoniittimattojen bentoniittimäärässä ja käytettävien ohutmuovien paksuudessa sekä laatudokumenteissa. Syynä on todennäköisesti tiedon puute ja vaatimusten ja tuotetietojen vastaavuuden arvioimisen haasteet sekä materiaalivalmistajilla että rakentajilla.



ISSN 2490-0982
ISBN 978-952-317-711-6
www.vayla.fi