

Opinnäytetyö (AMK)

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Infratekniikka

2023

Anne-Mari Rautalin

Soratieksi muutetun SOP-tien pölynsidonta TapoFix- biopolymeerillä

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Ohjaaja Marika Nurmikko

2023 | 52 sivua, 6 liitesivua

Anne-Mari Rautalin

Soratieksi muutetun SOP-tien pölynsidonta TapoFix-biopolymeerillä

Opinnäytetyön aiheena oli tutkia soratieksi muutetun SOP-tien pölynsidontaa pölynsidontasuolalle vaihtoehtoisella sellukuitupohjaisella pölynsidontatuotteella. Yksi päätavoitteista oli selvittää, voidaanko Mfibrils Oy:n kehittämän TapoFix-biopolymeerin avulla osittain tai kokonaan korvata pölynsidontasuolan käyttöä. Pitkän aikavälin tavoitteena oli löytää ympäristöystävällinen, taloudellinen ja kiertotaloutta tukeva ratkaisu soratieksi purettujen SOP-teiden pölyävyysongelmaan.

Opinnäytetyö tehtiin Destia Oy:n tilaamana yhteistyössä Mfibrils Oy:n sekä Tapojärvi Oy:n kanssa. Opinnäytetyö sisälsi tiekokeita testikohteessa sekä tutkimuksia Turun ammattikorkeakoulun maalaboratoriossa. Tiekokeiden testikohteeksi valikoitui Someron ja Lohjan kaupunkien alueella sijaitseva soratieksi purettu SOP-tie.

Tiekokeissa tie jaettiin kahteen eri osioon, koeosioon ja vertailuosioon. Koeosiolla testattiin pölynsidontaan TapoFix-biopolymeeriä. Vertailuosiossa pölynsidonta tehtiin käyttäen liuosmuotoista pölynsidontasuolaa kalsiumkloridia. Tiekokeiden koeosiota ja vertailuosiota verrattiin toisiinsa pölyävyyden osalta. Laboratoriokokeissa määritettiin kuivaseulontaa käyttäen koeosion maa-ainesten rakeisuus.

Asiasanat:

pölynsidonta, purettu SOP-tie, soratie, teiden kunnossapito

Bachelor's Thesis | Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil engineering

Instructor Marika Nurmikko

2023 | 52 pages, 6 pages in appendices

Anne-Mari Rautalin

Dust binding of the surface treatment dismantled to a gravel road with TapoFix-biopolymer

The topic of the thesis was to test the dust binding of surface treatment dismantled to gravel road with an alternative dust binding product based on cellulose fiber. One of the main goals was to determine whether the TapoFix-biopolymer developed by Mfibrils Ltd can be used to partially or completely replace the dust binding salt. A long term goal was to find an environmentally friendly, economical solution supporting circular economy to the dust problem of surface treatment roads that have been dismantled into gravel roads.

The thesis was commissioned by Destia Ltd in cooperation with Mfibrils Ltd and Tapojärvi Ltd. The thesis included road tests at the test site and research in the soil laboratory of Turku University of Applied Sciences. A surface treatment road dismantled to a gravel road located in the area of the cities of Somero and Lohja was selected as the test site for the road tests.

In the road tests, the road was divided into two different sections: a test section and a comparison section. TapoFix-biopolymer was tested for dust binding in the test section. In the comparison section, dust binding was completed by using salt brine calcium chloride. The test section and the comparison section were compared with each other in terms of dustiness. In the laboratory tests, the granularity of the soil materials in the test section was determined using dry sieving.

Keywords:

dust binding, dismantled surface treatment, gravel road, road maintenance

Sisältö

Käytetyt lyhenteet ja sanasto	7
1 Johdanto	9
2 SOP-tiet	11
2.1 SOP-teiden verkosto Suomessa	12
2.2 SOP-teiden kunnossapito	12
2.3 Soratieksi muuttaminen	13
3 Sorateiden hoito ja kunnossapito	14
3.1 Soratieluokat	15
3.2 Sorateiden kunto	15
3.3 Sorateiden pintakunto	16
3.4 Pölynsidonta	18
3.4.1 Lisäpölynsidonta	18
3.4.2 Pölynsidonta-aineet	19
4 TapoFix	20
4.1 Toiminta	20
4.2 Ympäristövaikutukset	20
4.3 Konsentraatti	21
4.4 Annostus	22
4.5 Tien pölynsidonta TapoFix-biopolymeerillä	22
5 Laboratoriokokeet maa-aineksille	23
5.1 Rakeisuus	23
5.2 Kuivaseulonta	24
5.3 Kuivaseulonnan vaiheet	24
6 Tiekoheet	28
6.1 Koetie ja koeosuudet	28
6.2 Esivalmisteluvaihe	30
6.3 Työmenetelmä	31

6.4 Kalusto ja henkilöstö	33
6.5 Kokeiden suoritus	34
6.6 Havainnot kokeen aikana	38
7 Pölyävyys ja havainnot pölyävyydestä	40
8 Johtopäätökset	48
Lähteet	50

Liitteet

- Liite 1. Rakeisuuskäyrät
- Liite 2. Kuivaseulontojen tulokset

Kuvat

Kuva 1. Nummen maanteiden hoitourakan urakka-alue	10
Kuva 2. SOP-teiden määrä Suomessa vuosina 1959–2021	12
Kuva 3. Soratien kunnan osatekijät	16
Kuva 4. TapoFix-konsentraatin kuitu	21
Kuva 5. Lajittunut TapoFix-konsentraatti	22
Kuva 6. Maa-ainesnäytteiden kuivatukseen käytetty uuni	25
Kuva 7. Vakiomassaan kuivattu maa-ainesnäyte	25
Kuva 8. Seulasarja	25
Kuva 9. Näytteen punnitus seulontaa varten	26
Kuva 10. Tärytin ja tärytinkaappi	27
Kuva 11. Viuvalantie 13501 kartalla	28
Kuva 12. Viuvalantien koeosio kartalla	29
Kuva 13. Viuvalantien vertailuosio kartalla	29
Kuva 14. Viuvalantie ennen TapoFix-käsittelyä	30
Kuva 15. Konsentraatin siirtäminen oppopumpulla liuossäiliöön	31
Kuva 16. Liuossäiliön täyttäminen vedellä	32

Kuva 17. Tien lanaus	32
Kuva 18. Liuoksen levitys	33
Kuva 19. Tien pinta ensimmäisen levityksen jälkeen	34
Kuva 20. Tien pinta toisen levityksen jälkeen	35
Kuva 21. Tien pinta kolmannen levityksen jälkeen	36
Kuva 22. Tien tiivistäminen lanauksen jälkeen	36
Kuva 23. Sitoutunut pinta	37
Kuva 24. Hieman pehmentynyt mutka	38
Kuva 25. Esimerkki pölyävyydestä kuntoarvolla 2	40
Kuva 26. Koeosiolla havaittavissa reikäsarjoja	41
Kuva 27. Vertailuosion pinta	42
Kuva 28. Koeosion pölyävyys 5.4.2023, kuntoarvo 3	43
Kuva 29. Vertailuosion pölyävyys 5.4.2023, kuntoarvo 2	43
Kuva 30. Koeosion ja vertailuosion raja	44
Kuva 31. Koeosion pinta 13.4.2023	45
Kuva 32. Vertailuosion pinta 13.4.2023	45
Kuva 33. Vertailuosion ja koeosion raja	46
Kuva 34. Koeosion pinta 17.4.2023	47
Kuva 35. Vertailuosion pinta 17.4.2023	47
Kuva 36. Rakeisuuskäyrä, näyte B1	53
Kuva 37. Rakeisuuskäyrä, näyte B2	54
Kuva 38. Rakeisuuskäyrä, näyte B3	55

Taulukot

Taulukko 1. Pölyävyyden kuntoarvot	17
Taulukko 2. Maa-ainesnäytteiden tiedot	23
Taulukko 3. Vaatimukset pölyävyydelle eri soratieluokissa	40

Käytetyt lyhenteet ja sanasto

Biopolymeeri	Biopolymeerit ovat polymeerejä, jotka on tuotettu orgaanisista aineista. Biopolymeerit voidaan luokitella polynukleotideihin, polypeptideihin sekä polysakkarideihin niiden kemiallisen rakenteen perusteella. (Diagn 2015)
ELY	Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Fibrilloituminen	Fibrilloituminen voidaan jakaa sisäiseen ja ulkoiseen fibrillaatioon. Sisäisellä fibrillaatiolla tarkoitetaan kuidun sisäisen rakenteen löystymistä. Sisäisen rakenteen löystyminen muuttaa kuidun molekyyli­rakennetta, jolloin muutokset näkyvät kuitujen turpoamisena. Ulkoisella fibrillaatiolla tarkoitetaan kuitujen pintaosien irtoamista toisistaan sekä pintakerroksen hajoamista ja löystymistä. Ulkoisen fibrillaation seurauksena kuitu turpoaa ja kuituverkon sidostenmuodostumiskyky paranee. (Joensuu 2017, 26–28.)
Kevätmuokkaus	Runkokelirikkovaiheen jälkeinen soratien pinnan kunnostus. Kulutuskerroksen kevätmuokkauksella korjataan tien poikkileikkausmuoto ja tasoitetaan tien epätasaisuudet. (Väylävirasto 2021, 10.)
Kulutuskerros	Tien ylin rakennekerros, jonka päällä tieliikenne kulkee ja jonka kunto vaikuttaa tienkäyttäjän kokemaan ajomukavuuteen (Liikennevirasto 2014, 8).
KVL	Vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne
KVLras	Raskaiden ajoneuvojen vuoden keskimääräinen vuorokausiliikenne
MHU	Maanteiden hoitourakka
PAB	Pehmeä asfalttibetoni

Palvelutaso	Palvelutaso voidaan määritellä yhteiskunnan, tienkäyttäjän ja tienpitäjän näkökulmasta. Palvelutaso kuvaa yhteiskunnan näkökulmasta katsottuna koko liikennejärjestelmän toimivuutta. Tienkäyttäjän näkökulmasta palvelutaso kuvaa jonkin tienosan tai liittymän toimivuutta. Tienpitäjälle palvelutaso on liikennevirtaa ja sen sujuvuutta sekä väyläolosuhteita kuvaava tekninen mittari. (Nevala ym. 2003, 11.)
Pintakelirikko	Liikennettä olennaisesti haittaava tien pintaosan pehmeneminen. Pehmeneminen voi johtua kulutuskerrosmateriaalin liettymisestä, tien pintaosan sulamisesta tai poikkeuksellisen runsaiden sateiden aiheuttamasta rakenteen runsaasta vesipitoisuudesta. (Väylävirasto 2021, 10.)
Runkokelirikko	Syntyy nopean sulamisvaiheen aikana keväällä tien rakenteessa, kun pohjamaassa sulavista jäälinsseistä vapautuva vesi ei riittävästi ehdi poistua tierakenteista. Vesi heikentää routivien kerrosten osalta kantavuuden niin, että tie ei kestä raskasta liikennettä. (Väylävirasto 2021, 9.)
SOP-tie	SOP tarkoittaa soratien pintausta. Soratien pintausta on soratielle bitumisella sideaineella liimattu ohut murskekerros. (Liikennevirasto 2014, 10.)
Suspensio	Heterogeeninen eli sekakoosteinen seos, jossa nesteeseen on sekoittunut kiinteässä olomuodossa olevaa materiaalia (Tieteen termipankki).
TVH	Tie- ja vesirakennushallitus
TVL	Tie- ja vesirakennuslaitos
Vakiomassa	Alle 0,1% massan muutos punnitusten välin ollessa vähintään 1 h (PANK ry).
VTT	Valtion teknillinen tutkimuskeskus

1 Johdanto

Yksi suurimmista ongelmista sorateilla on liikenteen aiheuttama tienpinnan pölyäminen. Pöly haittaa näkyvyyttä heikentäen liikenneturvallisuuksi, aiheuttaa haittoja tienvarren asukkaille, lisää ajoneuvojen kulumista sekä vähentää maatalouden tuottoa. Pölyämistä estetään käyttämällä kemiallisia pölynsidonta-aineita lähinnä vähäliikenteisillä sorateilla, joiden päällystäminen ei ole taloudellisista syistä mahdollista. Pölynsidonta-aineet muodostavat yksittäisistä hienoainepartikkeleista suurempia kasaumia, lisäävät hiukkasten massaa tai sitovat hienoaineksen yhteen, jolloin hienoainepartikkelit eivät nouse niin helposti ilmaan liikenteen tai tuulen vaikutuksesta. (Kaarela 2003, 13.)

Ongelmana sorateiksi puretuilla SOP-teilla on runsas pölyävyys, joka johtuu veden luonnollisen kapillaarisen nousun häiriintymisestä. Sorateiksi puretut SOP-tiet pölyävät tavallisia sorateita enemmän, koska karkeat rakennekerrokset estävät kapillaariveden nousun. Kapillaariveden nousun häiriintymisen vuoksi tien pinta voi kuivua liikaa. Pölyävyyden seurauksena kevätpölynsidonta on tehtävä muita sorateita aikaisemmin, jotta kulutuskerros ei jäisi ”auki” ja vaikeuttaisi pölyävyyden hallintaa. (Liikennevirasto 2014, 17.)

Pölyävyysohjelman seurauksena joudutaan käyttämään runsaasti ympäristöä kuormittavaa pölynsidontasuolaa. Pölynsidontasuolaus saatetaan joutua toistamaan kesäkaudella, jolloin haitalliset ympäristövaikutukset kasvavat.

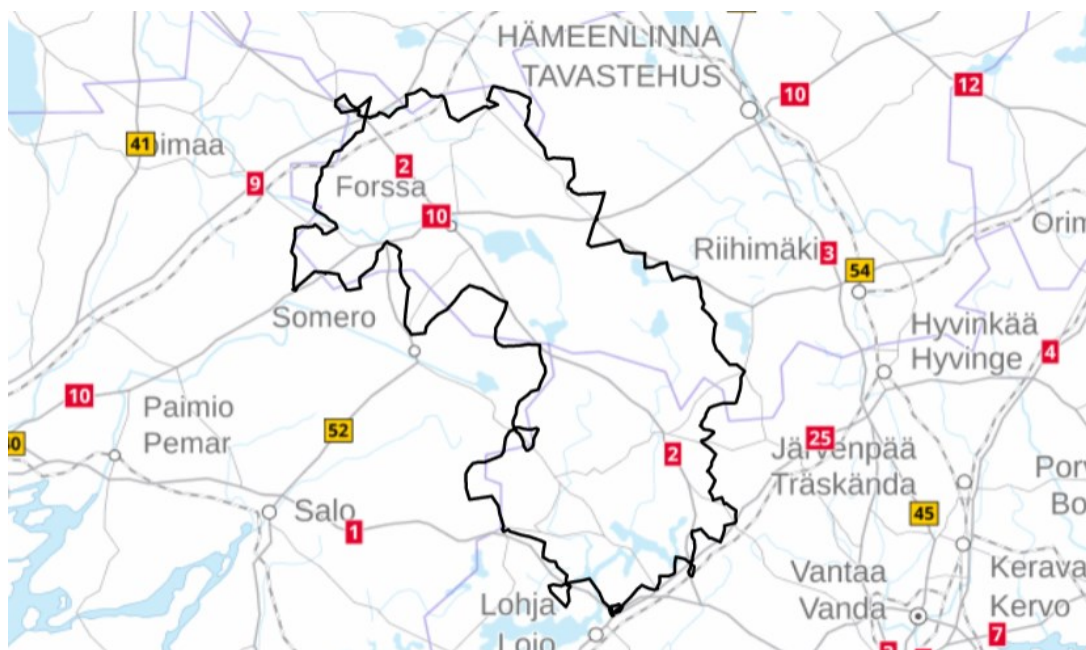
Opinnäytetyön tutkimusmenetelminä käytettiin havainnointia, laboratoriokokeita ja tiekokeita. Laboratoriokokeet toteutettiin syksyn 2022 aikana Turun ammattikorkeakoulun maalaboratoriossa. Tiekokeet toteutettiin syksyn 2022 aikana Someron ja Lohjan kaupunkien alueella sijaitsevalla yhdystiellä 13501. Kevään 2023 aikana tehtiin seuranta yhdystien 13501 pölyävyyden osalta. Seuranta jatkuu kevään 2023 jälkeen urakka-ajan loppuun 2026 asti, jotta saadaan selville TapoFix-pölynsidontatuotteen pitkäaikainen vaikutus ja pölyä torjuvan vaikutuksen kesto. Yhdystie 13501 on Destia Oy:n Nummen maanteiden hoitourakan hoidossa vuosina 2021–2026.

Nummen maanteiden hoitourakka on Destia Oy:n ylläpitämä ja Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen tilaama. Destia Oy on Suomen suurin infra-alan palveluyhtiö sekä osa kansainvälistä Colas-konsernia.

Urakka-alue sijaitsee Lohjan, Vihdin, Karkkilan, Lopen, Tammelan, Forssan, Ypäjän ja Humppilan alueilla kuvan 1 mukaisesti. Nummen maanteiden hoitourakkaan kuuluu tiestöä noin 1 150 kilometriä, josta talvihoitoluokkaa I se on noin 10 kilometriä, II se noin 200 kilometriä, sorateitä noin 200 kilometriä ja kävely- ja pyöräilyväyliä noin 60 kilometriä. Urakka on vaativuudeltaan vaativa urakka.

Nummen maanteiden hoitourakka huolehtii, että tiestö on yleisten laatuvaatimusten mukaisessa kunnossa. Osa kunnossapitotöistä toteutetaan yhteistyössä aliurakoitsijoiden kanssa.

Keväällä 2023 Nummen maanteiden hoitourakan hoidettavana ja kunnossapidettävänä oli kuusi kappaletta soratieksi purettuja SOP-teitä. (MHU Nummi)



Kuva 1. Nummen maanteiden hoitourakan urakka-alue (Väylävirasto 2022)

2 SOP-tiet

SOP-tie on pinnoitettu soratie, jonka pinnoitteeksi on levitetty kivimursketta ja bitumiliuosta. SOP-teiden rakentaminen aloitettiin 1980-luvulla pikaparannustyönä ja tuolloin niiden taloudelliseksi pitoiäksi arvioitiin viisi vuotta. (Tiehallinto 2002)

Soratien pintausta luokitellaan kylmäpäällysteeksi. Kylmäpäällyste eroaa kuumapäällysteestä siten että kiviaineksen ja sideaineen kuumentamisen sijaan kuumennetaan vain sideaine. (Lehtipuu 1983, 17.)

Soratien pintausta rantautui Suomeen 1970-luvulla. Sorateiden kesäkunnossapidon hinnan nousun takia 1960-luvulla tehtiin kokeiluja, joiden tarkoituksena oli saada pinnat pölyämättömiksi öljytuotteilla. Norjassa kehitetty Otta-päällyste otettiin sorateiden kunnossapitomenetelmäksi.

Y1G -sorateiden käsittelymenetelmän yleistyessä Ruotsissa, tehtiin Suomessa vuosina 1978–79 kokeiluja TVH:n, TVL Turun piirin, VTT:n ja Neste Oy:n toimesta. Kokeilujen tavoitteena oli löytää vähäliikenteisille sorateille perinteistä kesäkunnossapitoa osittain tai kokonaan korvaava vuosikustannuksiltaan edullisempi menetelmä.

1980-luvulla tehtiin kokeiluja TVL Pohjois-Karjalan piirissä. 1981-luvulle mennessä tehtyjen kokeilujen perusteella julkaistiin ensimmäinen sorateiden pintausten työselitys TVH:n toimesta. Vuosina 1989–90 Neste Oy kehitti bitumiöljyn ja -liuoksen korvaavat ympäristöystävällisemmät ja työturvallisemmat emulsiosideaineet.

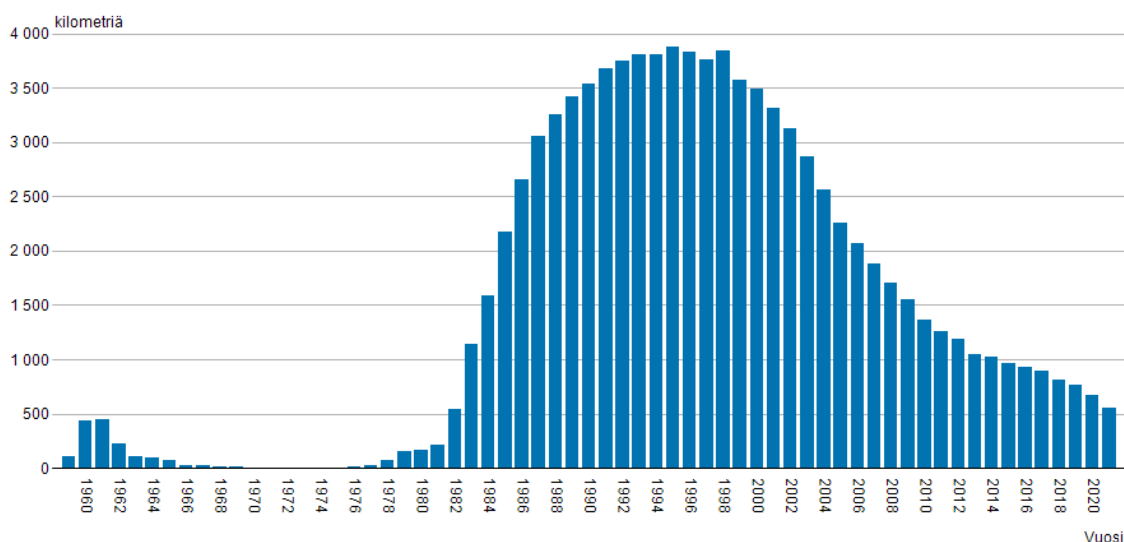
Emulsiosideaineista tehtiin vuonna 1990 paljon kokeiluja sekä tielaitoksen eri piireissä että kuntien töissä Lemminkäisen ja Nesteen yhteistyönä. Vuonna 1995 koeteillä testattiin BE-SOP -emulsion lisäksi pehmeiden bitumien B650/900, V3000 ja B500/650 soveltuvuutta sideaineeksi korvaamaan BÖ4 ja BL5. Vuosina 1996–1997 tehtiin joitakin kokeiluja ainakin Espoon ja Turun tiepiirissä käyttäen edellä mainittuja sideaineita.

Vuosina 1976–1981 tehtiin sorateiden pintauksia yhteensä 3,14 miljoonaa m². 2000-luvulla ei ole tehty yksittäisiä kohteita enempää uusien soratien pintauksia. Vanhoja SOP-teitä on joko pidetty kunnossa SOP-teinä, parannettu PAB-teiksi tai vuodesta 1999 alkaen parannettu sorateiksi. (Eskola 2019, 5–22.)

2.1 SOP-teiden verkosto Suomessa

Suomessa oli vuonna 2021 SOP-teitä yhteensä 553 kilometriä. 2000-luvun alusta SOP-teiden pintaukset ovat vähentyneet vuosi vuodelta kuvan 2 mukaisesti. Sorateiden pintausten huippuvuosi saavutettiin vuonna 1995, jolloin SOP-teitä oli Suomessa lähes 4 000 kilometriä. (Tilastokeskus n.d.)

Tiepäällysteet muuttujina Vuosi. Soratien pintausta, Tiepituus.



Kuva 2. SOP-teiden määrä Suomessa vuosina 1959–2021 (Tilastokeskus n.d.)

2.2 SOP-teiden kunnossapito

Soratien pintausta vaatii säännöllistä kunnossapitoa pysyäksään hyväkuntoisena. Päällysteen vaurioitumista voidaan hidastaa kuivatuksen kunnossapitotoimilla. Tarvittaessa nopeusrajoituksia alennetaan liikenneturvallisuuden ylläpitämiseksi.

Pieniä tai alkavia vaurioita paikataan sekä tarpeen vaatiessa keväällä asetetaan teille painorajoituksia. (Eskola 2019, 27.)

2.3 Soratieksi muuttaminen

Huonokuntoisten sorateiden pintausten muuttaminen sorateiksi voi olla edullisin vaihtoehto vähäliikenteisille teille, jotka ovat käyttöikänsä päässä. Päälystetyn tien muuttamista soratieksi suositellaan, kun tie on vähäliikenteinen ja päällyste erittäin huonokuntoinen. Tien muuttaminen soratieksi on aina tehtävä tiekohtaisen kannattavuustarkastelun perusteella, missä huomioidaan taloudellisten tekijöiden ohella myös liikenneturvallisuus ja liikennöitävyys. (Väylävirasto 2021, 27–28.)

Päälystetyn tien muuttaminen soratieksi alkaa maakivien poistolla. Havaitut maakivet poistetaan ja maakivien kuopat täytetään tien runkoa vastaavalla materiaalilla. Maakivien poiston jälkeen pintausta rikotaan, hienonnetaan ja sekoitetaan kantavan kerroksen joukkoon käyttämällä kivi- tai sekoitusjyrsintä.

Pintauksen purkamisen jälkeen kantava kerros muotoillaan pintakuivatuksen edellyttämään sivukaltevuuteen ja tiivistetään. Muotoilun ja tiivistämisen jälkeen soratielle rakennetaan kulutuskerros. Yleensä kulutuskerrosta tehtäessä käytetään normaalia kulutuskerroksen ohjepaksuutta (5 cm) suurempaa kerrospaksuutta (10 cm). Kulutuskerrosmateriaali valitaan ottamalla huomioon tienpinnan kosteus-tila. Lopuksi tielle tehdään pölynsidonta. Soratieksi puretussa SOP-tiessä on varauduttava käyttämään huomattavasti suurempaa määrää pölynsidontatuotetta verrattuna tavalliseen soratiehen. (Huuskonen 2019)

3 Sorateiden hoito ja kunnossapito

Maantieverkostosta noin 27 000 kilometriä eli 35 prosenttia on sorateita. Sorateiden osuus maantieverkosta on suuri, mutta liikennesuorite on pääosalla sorateista pieni ja vähenevä. Maanteiden kokonaisliikennesuoritteesta sorateiden osuus on vain kaksi prosenttia. Sorateilla on silti oleellinen merkitys elinkeinoelämälle, kilpailukyvyllä ja kuljetusketjuille. Maa- ja metsätaloudelle sorateiden ympärivuotinen liikennöitävyys on jopa ehto. Keskimääräinen vuorokausiliikenne valtaosalla sorateista on alle 100 ajoneuvoa.

Lukuunottamatta talvihoitoa sorateiden kunnossapitoon käytetään vuosittain 35–40 miljoonaa euroa, mikä on 6–7 prosenttia koko tieverkon kunnossapitokustannuksista.

Laki liikennejärjestelmästä ja maanteista 503/2005 ja muutokset 527/2018 sekä 908/2018 asettavat tienpidolle palvelutasotavoitteita, yleisiä vaatimuksia sekä määräävät maanteiden kunnossapidosta. Tienpidon yleisten tavoitteiden mukaan maantiet on pidettävä kunnossa niiden liikenteellinen merkitys huomioon ottaen. Maanteiden tulee mahdollistaa turvallinen ja toimiva liikkuminen ja kuljettaminen koko maassa kohtuullisin kustannuksin huomioiden erilaiset kulkutavat, eri väestöryhmien kulkutarpeet sekä eri elinkeinoalojen kuljetustarpeet.

Sorateilla on oltava tien alueellista merkitystä vastaava ja alueellisen tarpeen edellyttämä palvelutaso. Teiden kunnossapidon taso saa sorateilla olla muuta tieverkkoa matalampi ja se saa paikallisesti tai ajallisesti vaihdella liikenteelliset olosuhteet ja tarpeet huomioiden. (Väylävirasto 2021, 11–12.)

Pitkäjänteinen hyvä kunnossapito turvaa tien kunnon säilymisen, tien päivittäisen liikennöitävyyden, säästää toimenpiteiden määrässä ja on taloudellisesti kannattava. Kunnossapitourakoitsijan ammattitaito, hyvä yhteistyö tilaajan kanssa sekä oikeat toimenpiteet vaikuttavat keskeisesti soratien kuntoon ja päivittäiseen liikennöitävyyteen.

Sorateiden kuntoon vaikuttaa myös oleellisesti kunnossapitoon käytettävissä oleva rahoitus. Urakoitsijan ja tilaajan yhteinen tavoite on täyttää mahdollisimman hyvin tienkäyttäjien tarpeet käytettävissä olevin resurssein. Kunnossapito ei saa olla niin kallista, että toiminta ei ole käytettävissä olevat taloudelliset mahdollisuudet ja liikenteen määrä huomioiden suotavaa tai järkevää. (Liikennevirasto 2014, 18.)

3.1 Soratieluokat

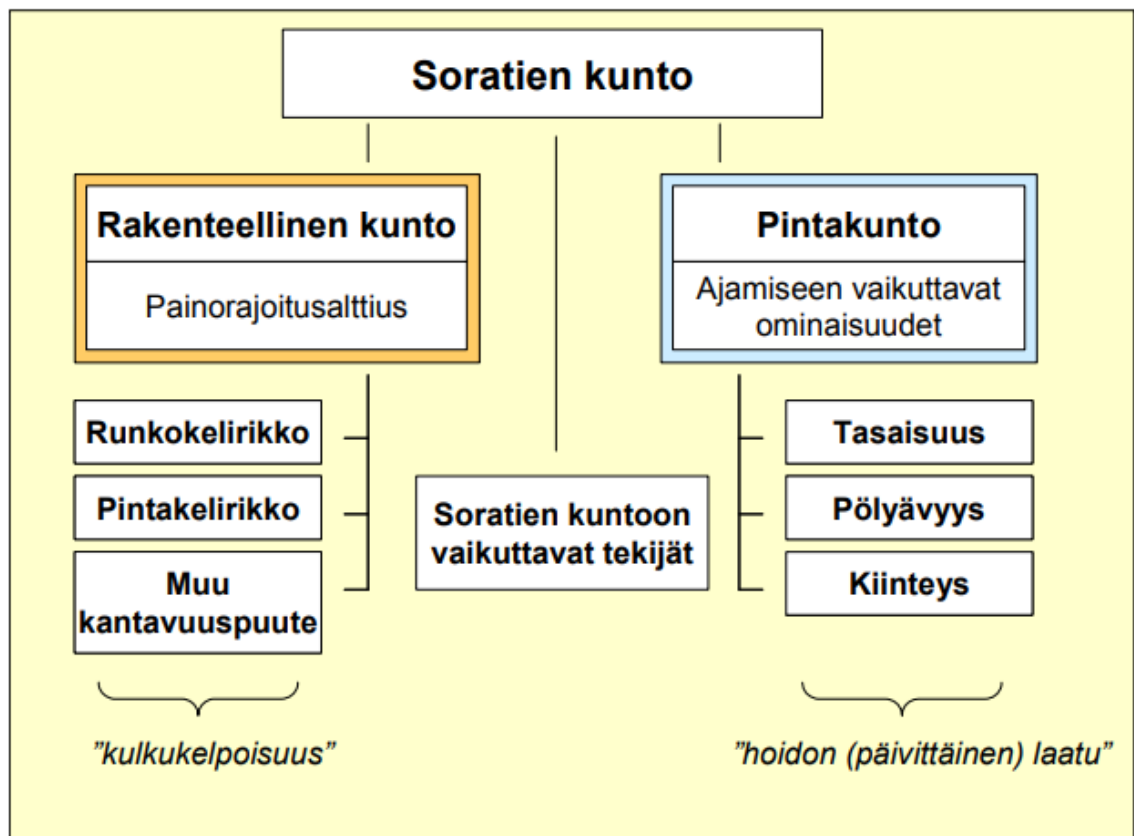
Soratieluokitukset määritetään ELY-keskuksissa ja hyväksytään Väyläviraston toimesta. Soratiet luokitellaan kahteen soratieluokkaan: verkollisesti merkittäviin ja vilkkaisiin sorateihin (soratieluokka I) sekä perussorateihin (soratieluokka II). Pääsääntöisesti luokittelun perusteena käytetään liikennemäärärajaa KVL 150 ja luokittelussa pyritään pitkiin yhtenäisiin jaksoihin liittymäväliden sijaan. Vaikka KVL jäisi alle 150:n, voidaan verkollisesti merkittäviä teitä nostaa ylempään soratieluokkaan. (Väylävirasto 2021, 21.)

Soratieluokan I vilkkaille sorateille määritetään tavoiteleveudeksi 7,0 metriä ja luokan II perussorateille 6,5 metriä. Perussorateilla voi olla myös perustelluista syistä käytössä 7,0 metrin tavoiteleveys. (Väylävirasto 2021, 29.)

3.2 Sorateiden kunto

Sorateiden kunto riippuu oleellisesti vallitsevista sääolosuhteista sekä kunnossapitoon käytettävissä olevista määrärahoista. Lisäksi kuntoon vaikuttaa kuivatus- ja materiaalipuutteet, poikkeamat poikkileikkausleveydessä, rakennekerrosten ja pohjamaan ongelmat sekä liikenteen määrä ja koostumus.

Sorateiden kunto muodostuu rakenteellisesta kunnosta, pintakunnosta sekä muista tekijöistä. Pintakuntoon vaikuttavat pinnan kiinteys, pölyävyys ja tasaisuus. Rakenteelliseen kuntoon vaikuttavat runkokelirikko, painorajoitusalttius, pintakelirikko sekä kantavuuspuutteet. Soratien kuntoon vaikuttavat osatekijät on esitetty kuvassa 3. (Väylävirasto 2021, 8–22.)



Kuva 3. Soratien kunnan osatekijät (Liikennevirasto 2014, 10.)

3.3 Sorateiden pintakunto

Sorateiden pintakunnon laatua arvioidaan kolmen tekijän suhteen, joita ovat kiinteys, pölyävyys ja tasaisuus. Kiinteiden, pölyävyyden ja tasaisuuden suhteen on asetettu perusvaatimukset soratieluokittain. (Väylävirasto 2021, 25).

Pölyävyydelle on määritetty kolme eri kuntoarvoa, joiden mukaan pintakunnon laatua arvioidaan pölyävyyden osalta. Pölyävyyden kuntoarvot on esitetty taulukossa 1. Pölyävyyden kuntoarvot kuvaavat henkilöauton aiheuttamaa pölyämistä ajonopeudella 60 km/h. (Väylävirasto 2022, 15.)

Taulukko 1. Pölyävyyden kuntoarvot (Väylävirasto 2022, 15).

Kuntoarvo	määritelmä	selite
1	Tie pölyää runsaasti	<ul style="list-style-type: none"> • Pöly leviää paljon tien ympäristöön. • Pöly haittaa näkyvyyttä. • Pöly aiheuttaa haittaa tien varren asutukselle ja viljelyksille.
2	Tie pölyää kohtalaisesti	<ul style="list-style-type: none"> • Pöly ei leviä tiealueen ulkopuolelle. • Pöly haittaa lievästi näkyvyyttä.
3	Tie pölyää vähän	<ul style="list-style-type: none"> • Pöly ei leviä pientareita kauemmaksi. • Pientä pölyämistä renkaiden takana havaittavissa.

Liikenteen ilmapirtaukset ja ajoneuvojen renkaiden iskut irrottavat kuivasta tienpinnasta hienoainesta, joka nousee pölynä ilmaan. Pölyäminen heikentää liikenneturvallisuutta, näkyvyyttä, tien varrella asumisen terveellisyyttä ja viihtyisyyttä sekä likaa tien lähiympäristön kasvillisuutta ja rakennuksia.

Kulutuskerroksen hienoaineksen vähetessä irtoaa karkeaakin materiaalia ja tien pinnasta tulee irtonainen. Syntyy urautumista sekä kuoppia ja materiaalia lentää sivuojiin ja pientareille. Karkean materiaalin irtoaminen tulee erityisesti esille sorateiksi takaisin muutetuilla teillä ja runkokelirikon korjauskohteissa. Varhaisella kevätmuokkauksella ja suolauksella sekä hyvällä 5–10 cm paksulla kulutuskerroksella voidaan vähentää pölyämistä ja materiaalihävikkiä sekä lisäpölynsidonnan ja tasaustyön tarvetta. (Liikennevirasto 2014, 17.)

3.4 Pölynsidonta

Sorateilla kevätpölynsidonta tehdään sekoitussuolauksena heti pintakelirikon loputtua kevätmuokkauksen yhteydessä. Tie on tällöin muokkauksen jälkeen kuohkea ja yleensä riittävän kostea, jolloin suola saadaan sekoittumaan koko kulutuskerrokseen. Runkokelirikkoisilla teillä tehdään kevätpölynsidonta vasta kelirikkovaiheen päätyttyä. Runkokelirikkoisillakin teillä voidaan joutua torjumaan pölyä aiemmin vauriokohteiden ulkopuolella.

Eryisesti talvikauden alussa voi esiintyä ongelmallista niin sanottua pakkasajan pölyämistä lumettomilla, paljailla sorateilla. Pakkasajan pölynsidontaa tehdään tien kohdissa, joista 100 metrin säteen sisällä sijaitsee asutusta tai muita altistuvia erityiskohteita. Kalsiumkloridiliuos soveltuu hyvin pakkasajan pölynsidontaan.

Pölynsidontamäärät riippuvat tieosuuksien ominaisuuksista. Aurinkoisilla ja aukeilla osuuksilla pölynsidontamäärät voivat olla suurempia, kun taas varjoisilla metsäisillä tieosuuksilla pienempiä. Pölynsidontamäärät suunnitellaan tiekohtaisesti kunnossapidon työsuunnittelun yhteydessä. (Liikennevirasto 2014, 41–54.)

3.4.1 Lisäpölynsidonta

Eryisesti asutuilla ja aukeilla alueilla osalla sorateista joudutaan kesällä tekemään lisäpölynsidontaa haitallisen pölyämisen estämiseksi. Lisäpölynsidonnassa käytettävät suolamäärät ovat pienempiä kuin kevään sekoitussuolauksessa.

Lisäpölynsidonta tehdään joko hiutale- tai liuossuolalla. Tavoitteena on saada suola imeytymään riittävän syväälle kulutuskerrokseen ja leviämään tasaisesti ajoradalle. Hiutalesuola levitetään joko sateen jälkeen tai tie kastellaan ennen suolausta. (Liikennevirasto 2014, 46.)

3.4.2 Pölynsidonta-aineet

Pölynsidonnassa yleisesti käytettyjä aineita ovat kalsiumkloridi ja magnesiumkloridi. Pölynsidonnassa on kokeiltu monia muitakin aineita, kuten kalsium- ja natriumlignosulfonaatteja, tärkkelyksiä, bitumipohjaisia pölynsidonta-aineita ja rypsiöljyä. Ympäristöllisesti herkillä alueilla on kokeiltu myös kaliumformiaattia pölynsidonnassa.

Ruotsalaisten tutkimusten mukaan kustannustehokkaimmat ja parhaat pölynsidontatulokset on saatu kalsium- ja magnesiumkloridilla. Suomessa kalsiumkloridi on yleisin pölynsidonta-aine. Yleisimmin pölynsidonnassa käytetään liuosmuotoista kalsiumkloridia. Kalsiumkloridiliuosta saa joko valmiina tehdastuotteena tai sitä voidaan tehdä hiutalesuolasta kunnossapitotukikohdan omalla liuosasemalla. (Liikennevirasto 2014, 42–43.)

Kalsiumkloridi ei epäorgaanisena yhdisteenä hajoa ja on pysyvä ympäristössä. Kalsiumkloridin sisältämät kloridi-ionit liikkuvat helposti maaperässä veden mukana, jolloin pohjaveden kloridipitoisuudet saattavat kohota. Kohonneet kloridipitoisuudet heikentävät pohjaveden laatua. Kalsiumkloridilla ei ole vaikutusta vesistöjen rehevöitymiseen tai hapen kulutukseen. (Kaarela 2003, 37–40.)

4 TapoFix

TapoFix on Mfibrils Oy:n kehittämä sellukuitupohjainen pölynsidontatuote. TapoFix-biopolymeeriä on kokeiltu kaivosalueilla ja sorateilla pölynsidontaan sekä pintakelirikon torjuntaan. TapoFix-biopolymeeriä valmistetaan selluteollisuuden sivutuotteena syntyvästä nollakuidusta, kartonkiteollisuuden sivutuotteena syntyvästä kuitulietteestä tai paperiteollisuuden kuitusavesta. Osana TapoFix-tuotteen valmistusprosessia sellukuidulle tehdään entsyymaattinen käsittely. Entsyymaattinen käsittely saa aikaan fibrilloitumista selluloosakuidussa. Entsyymaattisessa käsittelyssä nollakuidun sisältämiä selluloosakimppuja avataan rajoitettu määrä elementaarikuiduiksi sekä katkotaan muodostuneita kuitujatkeita. (Mfibrils Oy 2022)

4.1 Toiminta

TapoFix-biopolymeeri sitoutuu silikaattimineraaleihin vety- ja muilla kemiallisilla sidoksilla ja sitoo hienoainesta vähentäen pölyämistä ja vahvistaen tien rakennetta. TapoFix-biopolymeeri on hygroskooppinen eli pystyy sitomaan vettä ja kosteutta ilmasta. (Mfibrils Oy 2022)

4.2 Ympäristövaikutukset

TapoFix on biohajoava. Sellukuidut hajoavat hitaasti luonnollisen sellulaasibakteeritoiminnan seurauksena sokereiksi. TapoFix ei liukene sade- tai kasteluv veden mukana, ei vaikuta pohjaveteen eikä korrosoi. Paloturvallisuuden kannalta ei synny vaaraa, koska TapoFix-biopolymeerin käytöstä syntyvä palokuorma on pieni. (Mfibrils Oy 2022)

4.3 Konsentraatti

TapoFix-konsentraatti varastoidaan ja toimitetaan IBC-konteissa, joiden tilavuus on 1 m³. TapoFix-konsentraatti on bioteknisesti prosessoitua sellukuitua vesisuspensiossa. Tyypillisesti konsentraatti on väriltään ruskeaa ja tuoksuu märälle kartongille tai sellulle. Konsentraatin kuitu on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. TapoFix-konsentraatin kuitu (Rautalin 2022)

TapoFix-konsentraatti voi varastoinnin ja kuljetuksen aikana lajittua, jolloin kuitugeeli laskeutuu kontin pohjalle. (kuva 5.) Konsentraatin lajittuessa, tulee konsentraattia sekoittaa voimakkaasti esimerkiksi uppopumpulla ennen kasteluautoon tankkaamista.

TapoFix-konsentraatin säilyvyys on useita kuukausia. Konsentraattia ei tule säilyttää suorassa auringonpaisteessa tai kuumassa pitkään. (Seilonen 2022)



Kuva 5. Lajittunut TapoFix-konsentraatti (Rautalin 2022)

4.4 Annostus

TapoFix toimitetaan konsentraattina, joka laimennetaan vedellä käyttöliuokseksi. Laimennussuhde vaihtelee tyypillisesti 1:3 ja 1:4 välillä. Kuhunkin työkohteeseen annostelu määritetään laboratoriossa tehtävin esitestein. (Seilonen 2022)

4.5 Tien pölynsidonta TapoFix-biopolymeerillä

TapoFix-liuoskäsitelyssä tien tulisi olla valmiiksi kostea. Optimaalinen ajankohta käsittelylle on heti sateen jälkeen. Jos sadetta ei ole ollut, voidaan pinta tarvittaessa kastella vedellä ennen liuoskäsitelyä. Ennen käyttöliuoksen levitystä käsittelyalue lanataan. Pölynsidonnassa TapoFix-käyttöliuosta levitetään noin 2-3 litraa neliömetrille. Laimennetun TapoFix-liuoksen levityksen jälkeen lanataan tie uudelleen, jotta liuos saadaan sekoittumaan tien pintakerrokseen. (Seilonen 2022)

5 Laboratoriokokeet maa-aineksille

Laboratoriokokeita suoritettiin Tapojärvi Oy:n laboratoriossa Oulussa sekä Turun ammattikorkeakoulun maalaboratoriossa. Tässä opinnäytetyössä keskitytään Turun ammattikorkeakoulussa standardien SFS EN 933–1 ja SFS–EN ISO 17892–4:2016 mukaisesti tehtyihin laboratoriokokeisiin. Turun ammattikorkeakoulun maalaboratoriossa määritettiin näytteiden B1, B2 ja B3 rakeisuus. Taulukossa 2 on esitetty näytteidenottopaikat ja laboratoriot, joissa näytteitä on käsitelty.

Taulukko 2. Maa-ainesnäytteiden tiedot

Näytteen tunnus	tieosa	paalulukema	määrä	näytteenottopäivä	laboratorio
A1	1	500	5 l	22.8.2022	Tapojärvi Oy
A2	1	1000	5 l	22.8.2022	Tapojärvi Oy
A3	1	1500	5 l	22.8.2022	Tapojärvi Oy
B1	1	500	5 l	22.8.2022	Turku AMK maalaboratorio
B2	1	1000	5 l	22.8.2022	Turku AMK maalaboratorio
B3	1	1500	5 l	22.8.2022	Turku AMK maalaboratorio

5.1 Rakeisuus

Rakeisuudella tarkoitetaan maa-ainesnäytteissä eri suuruisten rakeiden suhteellista painojakaumaa. Rakeisuus ja sen avulla lajitepitoisuus määritetään aerometrikokeella ja seulonnalla. Kuivaseulonnalla voidaan määrittää karkearakeisten maalajien rakeisuus. Kun maa-ainesnäytteen hienoainespitoisuus on korkeintaan 10 prosenttia, käytetään pesuseulontaa. Hienorakeisten maalajien rakeisuus selvitetään joko sedigrafilla tai areometrikokeella. (Ronkainen 2012, 22.)

5.2 Kuivaseulonta

Kuivaseulonta tehdään SFS EN 933–1 standardin mukaisesti. Kuivaseulonnassa materiaali jaetaan useisiin kooltaan yhä pieneneviin raekokoluokkiin seulasarjan avulla. Seula-aukkojen koot ja seulojen lukumäärä valitaan vaadittavan tarkkuuden ja näytteen ominaisuuksien mukaisesti.

Seulasarja koostuu seuloista, jotka on asetettu ylhäältä alaspäin aukkokooltaan pienenevään järjestykseen, sekä kannesta ja pohja-astiasta. Kullekin seulalle jäänyttä maa-aineksen rakeiden massaa verrataan koko näytteen alkuperäiseen massaan. Seulonnan jälkeen jokaisen seulan läpäissyt yhteenlaskettu prosenttiosuus ilmoitetaan numeerisesti. Seulan läpäisy prosenttiosuuksien perusteella laaditaan rakeisuuskäyrä.

Ensin näytteet jaetaan standardin SFS EN932–2 mukaisesti vaaditun testinäytemäärän varmistamiseksi. Seulasarjaa ravistetaan koneellisesti täryttimellä. Ravistuksen jälkeen seulat irrotetaan yksitellen alkaen aukkokooltaan suurimmasta. Ensin punnitaan suurimman aukkokoon seulalle jäänyt materiaali. Punnituksesta merkitään muistiin massa R1. Tehdään samoin järjestyksessä seuraavalle seulalle ja merkitään muistiin massa R2. Jatketaan suoritusta kaikilla seuloilla, jolloin saadaan määritettyä kullekin seulalle jääneen materiaalin massa. Seulasarjan pohja-astiaan jäänyt osa punnitaan ja merkitään muistiin massa P.

5.3 Kuivaseulonnan vaiheet

Ennen kuivaseulontaa maa-ainenäytteet B1, B2 ja B3 kuivatettiin 110 asteisessa uunissa vakiomassaan. Kuvassa 6 on esitetty kuivatukseen käytetty uuni ja kuvassa 7 vakiomassaan kuivattu maa-ainenäyte.



Kuva 6. Maa-ainenäytteiden kuivatukseen käytetty uuni (Rautalin 2022)



Kuva 7. Vakiomassaan kuivattu maa-ainenäyte (Rautalin 2022)

Kuivaseulonnassa käytettiin seuloja, joiden nimelliskoot olivat 0,063; 0,125; 0,25; 0,5; 1; 2; 4; 8; 16 ja 31,5 millimetriä. Kuivaseulontaan käytetty seulasarja on esitetty kuvassa 8.



Kuva 8. Seulasarja (Rautalin 2022)

Ensin näytteet jaettiin standardin EN932–2 mukaisesti vaaditun testinäytemäärän varmistamiseksi. Raekoon ollessa korkeintaan 16 millimetriä, tulee seulottavien kiviainesten massan olla vähintään 2,6 kilogrammaa, jotta testimenetelmän tarkkuus säilyy hyvänä.

Vakiomassaan kuivattu näyte punnittiin vaa’alla kuvan 9 mukaisesti ja kirjattiin muistiin näytteiden massat. Vaaka oli kalibroitu juuri ennen punnitusta, jotta punnituksen virhemarginaali pysyi sallituissa rajoissa.



Kuva 9. Näytteen punnitus seulontaa varten (Rautalin 2022)

Punnituksen jälkeen näyte kaadettiin seulasarjalle. Seulasarja suljettiin kannella ja asetettiin tärytinkaappiin tärytettäväksi. Maa-ainenäytettä tärytettiin yhteensä kymmenen minuutin ajan. Tärytin ja tärytinkaappi on esitetty kuvassa 10.



Kuva 10. Tärytin ja tärytinkaappi (Rautalin 2022)

Tärytyksen jälkeen punnittiin seuloille jääneiden maa-ainesten massat ja tulokset talukoitiin Exceliin. Seulat puhdistettiin ja seulontoja toistettiin uusilla maa-ainesnäytteillä.

Seulontoja tehtiin yhteensä kuusi kappaletta. Ensimmäisellä ja toisella seulonnalla seulottiin maa-ainesnäyte B1, kolmannella ja neljännellä näyte B2 ja viidennellä ja kuudennella näyte B3. Näytteiden B1, B2 ja B3 seulonnat suoritettiin kahdessa osassa, jotta vältettiin seulojen ylikuormittuminen.

Seulonnassa saatujen tulosten perusteella maa-ainesnäytteille laadittiin rakeisuuskäyrät. Seulontojen tulokset löytyvät liitteestä 2 ja laaditut rakeisuuskäyrät liitteestä 1.

6 Tiekokeet

Tiekokeet suoritettiin syksyn 2022 aikana. Tiekokeiden suorittamisessa apuna käytettiin aliorakointsijaa TapoFix-liuoksen levityksen sekä tien lanaamisen osalta.

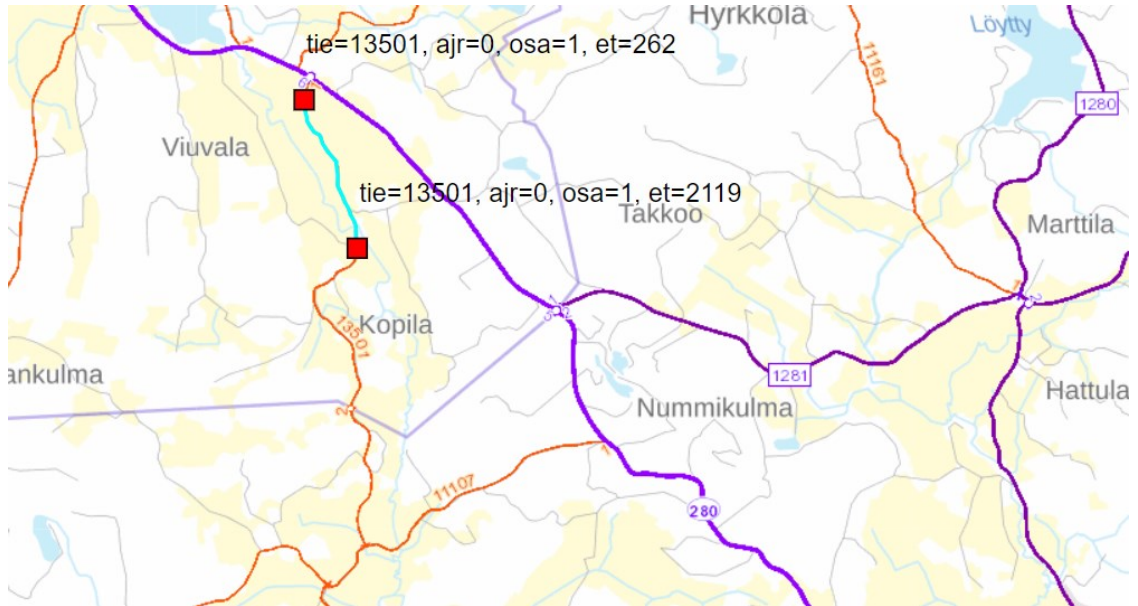
6.1 Koetie ja koeosuudet

Koetieksi valittiin Nummen maanteiden hoitourakan alueelta yhdystie 13501, joka on purettu SOP-tiestä soratieksi. Yhdystie 13501 eli Viuvalantie sijaitsee Someron ja Lohjan kaupunkien alueella noin 30 km Karkkilasta länteenpäin. Tien liikennemäärä KVL on 61–88 ajon/vrk ja KVLras on 4–6 ajon/vrk. Tie luokitellaan liikennemäärän perusteella soratieluokkaan II eli perussoratiehin. Nopeusrajoitus vaihtelee 50–80 km/h välillä. Ajoradan leveys vaihtelee 5 metristä 6 metriin. Tietä ei ole valaistu. (Tiemappi)



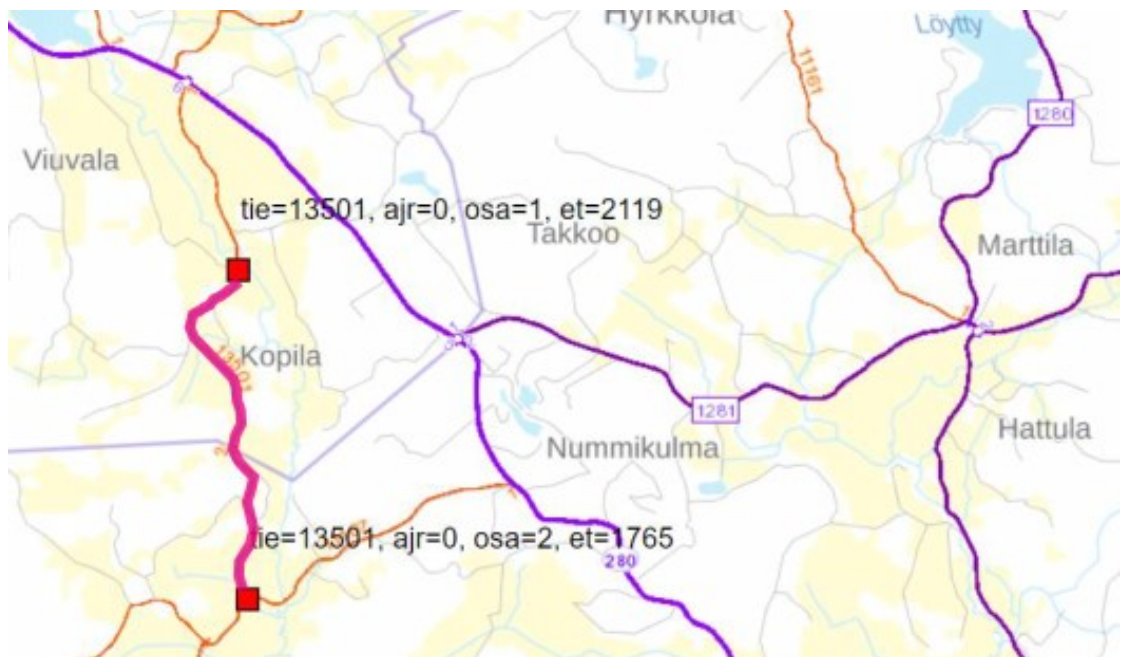
Kuva 11. Viuvalantie 13501 kartalla (Väylävirasto 2022)

Viuvalantie jaettiin kahteen eri osioon: koe- ja vertailuosioon. Koeosio tieosalla 1 paaluvälillä 262–2119 oli koeosuus TapoFi-biopolymeerin käytölle pölynsidonnessa. Koeosio on kokonaisuudessaan pituudeltaan 1,9 kilometriä. Koeosio on esitetty kuvassa 12.



Kuva 12. Viuvalantien koeosio kartalla (Väylävirasto 2022)

Vertailuosio on tieosalla 1 paaluvälillä 2119–4426 ja tieosalla 2 paaluvälillä 0–1765. Vertailuosio on kokonaisuudessaan pituudeltaan 4,1 kilometriä. Vertailuosio käsiteltiin käyttäen liuosmuotoista pölynsidontasuolaa kalsiumkloridia. Vertailuosio on esitetty kuvassa 13.



Kuva 13. Viuvalantien vertailuosio kartalla (Väylävirasto 2022)

Pölynsidonnan osalta vertailuosiota verrattiin koeosiolla saataviin tuloksiin. Vertailu- ja koeosiolla liikennemäärät ovat keskenään lähes identtiset, jolloin osiot ovat vertailukelpoiset pölyävyyden osalta.

6.2 Esivalmisteluvaihe

Ennen tiekokeiden aloittamista tiekokeille oltiin saatu rahoitus MHU Nummen urakan tilaajalta eli Kaakkois-Suomen ELY-keskukselta. Esivalmisteluna koeosuudelta otettiin maa-ainenäytteitä tieosalta 1 paaluilta 500, 1000 ja 1500. Osa Maa-ainenäytteistä toimitettiin postitse Tapojärvi Oy:n laboratorioon Ouluun analysoitavaksi, osa analysoitiin Turun ammattikorkeakoulun maalaboratoriossa. Tapojärvi Oy:n laboratoriossa maa-ainenäytteille tehtiin erilaisia testejä, joiden perusteella määritettiin tiekokeisiin käytettävän TapoFix-konsentraatin määrä sekä laimennossuhde.

Ennen tiekokeiden suorittamista käytiin Viuvalantien lähtötilanne kuvaamassa (kuva 14), jotta tuloksia voitiin verrata havainnoinnin lisäksi kuvien perusteella.



Kuva 14. Viuvalantie ennen TapoFix-käsittelyä (Ylikarjula 2022)

6.3 Työmenetelmä

Koeosuudella työmenetelmässä soratieksi puretun SOP-tien pinta lanattiin. Lanauksen jälkeen tien pintaan ajokaistoille levitettiin TapoFix-konsentraatista laimentamalla valmistettu käyttöliuos. Käyttöliuoksen laimennossuhde oli testikohteessa 1:3. Käyttöliuoksen levittämisen jälkeen tie lanattiin uudestaan, jotta TapoFix:n kuidut pääsivät reagoimaan paremmin tien hienoaineksen kanssa.

Työmenetelmän kuvaus:

vaihe 1 – konsentraatin sekoittaminen uppopumpulla, konsentraatin siirtäminen kontista liuossäiliöön uppopumpun avulla (kuva 15)



Kuva 15. Konsentraatin siirtäminen uppopumpulla liuossäiliöön (Rautalin 2022)

vaihe 2 – käyttöliuoksen valmistaminen palopostista saatavan veden avulla (kuva 16)



Kuva 16. Liuossäiliön täyttäminen vedellä (Rautalin 2022)

vaihe 3 – soratien lanaus (kuva 17)



Kuva 17. Tien lanaus (Ylikarjula 2022)

vaihe 4 – liuoksen levitys (kuva 18)



Kuva 18. Liuoksen levitys (Rautalin 2022)

vaihe 5 – tien pinnan lanaus liuoksen levittämisen jälkeen

6.4 Kalusto ja henkilöstö

Työryhmään kuului työnsuorittajia ja kalustoa seuraavasti:

- henkilötyö
 - 1 kpl ammattihenkilö, tielanan käyttäjä
 - 1 kpl ammattihenkilö, liuoksen levittimen käyttäjä
 - 1 kpl insinöörioppilas
 - 1 kpl työmaapäällikkö
- konetyö
 - 1 kpl liuoksen levitin, tilavuus 12,5 m³
 - 1 kpl tielana
 - 3 kpl traktori (1 kpl lanaukseen, 1 kpl liuoksen levittämiseen, 1 kpl uppopumpun käyttöön)
 - 1 kpl pyöräkuormaaja (lastaus)
 - 1 kpl uppopumppu

6.5 Kokeiden suoritus

Torstaina 20.10.2022 aloitettiin tiekokeet. Keli vaihteli aurinkoisen ja pilvisen välillä ilman lämpötilan ollessa 2,0...9,0 °C. Valmista käyttöliuosta levitettiin päivän aikana yhteensä 20 m³.

Päivä alkoi käyttöliuoksen valmistamisella konsentraatista. TapoFix-konsentraattia sekoitettiin ensin uppopumpulla IBC-kontissa muutaman minuutin ajan. Sekoituksen jälkeen konsentraatti pumpattiin uppopumpun avulla liuossäiliöön. Liuossäiliö käytiin täyttämässä vedellä, joka haettiin läheisestä palopostista.

Samaan aikaan käyttöliuoksen valmistamisen kanssa käytiin Viuvalantien koeosuus lanaamassa. Lanauksen jälkeen ensimmäinen kuorma käyttöliuosta levitettiin ajamalla koeosuus edes takaisin kaksi ja puoli kertaa, jotta koko kymmenen kuutiota TapoFix-käyttöliuosta saatiin levitettyä. Ensimmäisen levityksen jälkeen tien pinta oli melko kostea (kuva 19), joten liuoksen annettiin imeytyä tiehen lounastauon ja liuossäiliön uudelleen täytön ajan.



Kuva 19. Tien pinta ensimmäisen levityksen jälkeen (Rautalin 2022)

Lioussäiliö käytiin täyttämässä uudelleen koeosuuden toista levitystä varten. Toisessa levityksessä koeosuus käsiteltiin kymmenellä kuutiolla käyttöliuosta. Toisen levityksen jälkeen tien pinta oli huomattavasti kosteampi kuin ensimmäisen levityksen jälkeen, joltain osin jopa hieman liejuinen. Tien pinta toisen levityksen jälkeen on esitetty kuvassa 20.



Kuva 20. Tien pinta toisen levityksen jälkeen (Rautalin 2022)

Perjantaina 21.10.2022 tehtiin koeosiolle kolmas käsittely. Käyttöliuosta levitettiin 10 m³. Keli oli puolipilvinen ja lämpötila vaihteli 4,7...7,0 °C välillä. Päivä alkoi torstain (20.10.2022) tapaan heti aamusta lioussäiliön täytöllä ja konsentraatin laimentamisella käyttöliuokseksi.

Käyttöliuoksen valmistamisen jälkeen levitettiin kolmas kuorma liuosta Viuvalantien koeosiolle. Kolmannen käsittelyn jälkeen tie jäi melko märäksi. Kolmannen käsittelyn jälkeinen tien pinta näkyy kuvassa 21.



Kuva 21. Tien pinta kolmannen levityksen jälkeen (Ylikarjula 2022)

Kolmannen levityksen jälkeen Viuvalantien koeosio päätettiin lanata sekä tiivistää ja jättää neljäs käsittely odottamaan seuraavalle viikolle. Tien tiivistäminen on esitetty kuvassa 22.



Kuva 22. Tien tiivistäminen lanauksen jälkeen (Ylikarjula 2022)

Maanantaina 24.10.2022 tarkastettiin viikonlopun ajan sitoutunut koeosio. Keli oli aurinkoinen ja ilman lämpötila vaihteli -3,1...5,0 °C välillä. Koeosion pinta oli suurimmaksi osaksi lähtenyt hyvin sitoutumaan. Sitoutunut tien pinta on esitetty kuvassa 23.



Kuva 23. Sitoutunut pinta (Rautalin 2022)

Varjopaikoissa oli melko paljon kosteutta ja yhdessä mutkassa tien pinta oli hieman pehmentynyt, kuten kuvasta 24 voidaan havaita. Havaintojen perusteella vaikutti siltä, että neljännelle TapoFix-liuoskäsittelylle ei olisi tarvetta.



Kuva 24. Hieman pehmentynyt mutka (Rautalin 2022)

6.6 Havainnot kokeen aikana

Kokeen aikana havaittiin, että konsentraatin sekoittaminen ja siirtäminen uppopumpun avulla liuossäiliöön sujui nopeasti lukuunottamatta kontin pohjalle jäävää konsentraattia. Konsentraatin jäädessä IBC-kontin pohjalle joukkoon täytyi lisätä vettä ja valuttaa jäljellä oleva konsentraatti kontin hanan kautta toiseen täydempään IBC-konttiin. Veden lisäys konttiin ja lopun konsentraatin valuttaminen toiseen IBC-konttiin lisäsi työaikaa ja konetyötä.

Käyttöliuoksen levittämisen jälkeen tuli kulutuskerrosmateriaali sekoittaa hyvin lanaamalla, jotta TapoFix-biopolymeeri saatiin tierakenteeseen. Tien pinta jäi liuoksen levityskertojen jälkeen melko märäksi, jolloin vaarana oli tien pinnan liiallinen vettäminen. Tien pinnan jäädessä melko märäksi liuoksen levityksen yhteydessä, ei pinnan liiallisesta kuivumisesta levityskertojen välissä muodostunut ongelmaa. Liuoksen levityskertojen välissä piti pitää taukoa, jotta

tien pinta ei kastunut liikaa. Sadekelillä liuosta levitettäessä ongelmaksi voisi muodostua tienpinnan liiallinen vettyminen.

Liuoksen levityksen osalta kaikki sujui tiekoikeissa suunnitellusti. Liuoksen levittimen suuttimet eivät tukkeutuneet ja liuoksen levitys oli nopeaa.

Liuoksen levitysten jälkeen liuossäiliö huuhdeltiin huolellisesti vedellä. Liuossäiliön huuhtelemisella varmistettiin, että liuoksen levittimen suuttimet eivät tukkeutuisi ja TapoFix-kuituja ei jäisi liuossäiliöön. Liuossäiliön täyttämiseen käytetty uppopumppu huuhdeltiin vedellä toimintakunnon varmistamiseksi. TapoFix-tuotteen kokeiluluonteisuuden vuoksi työvaiheisiin kului huomattavasti enemmän aikaa kuin rutinoituneella käytöllä olisi kulunut.

7 Pölyävyys ja havainnot pölyävyydestä

Viivalantien kuuluessa soratieluokkaan II eli perussorateihin tulee kuntoarvon pölyävyyden osalta olla taulukon 3 mukaan 2.

Taulukko 3. Vaatimukset pölyävyydelle eri soratieluokissa (Väylävirasto 2021, 26.)

Soratieluokka	Perusvaatimus koko tiestölle (kuntoarvo)
I	3
II	2

Kuntoarvolla kaksi tie pölyää kohtalaisesti eli pöly ei leviä tiealueen ulkopuolelle, mutta pöly haittaa lievästi näkyvyyttä. Kuntoarvon kaksi tie on esitetty kuvassa 25.



Kuva 25. Esimerkki pölyävyydestä kuntoarvolla 2 (Väylävirasto 2022, 16.)

Viivalantien pölyävyyttä havainnoitiin keväällä 2023. Syksyllä pölyävyydestä ei olisi saatu hyviä havaintoja, koska syksyn 2022 sateiden seurauksena tien pinta pysyi kosteana ja pölyäminen vähäisempänä kevääseen 2023 verrattuna.

Havaintoja pölyävyydestä:

Tiistaina 4.4.2023 klo 8.30–9.00 välisenä aikana pölyävyyden tarkastelussa koeosuudella ja vertailuosiolla oli havaittavissa pölyämistä. Havainnointihetkellä oli aurinkoinen sekä poutainen keli, ilman lämpötila oli $-4,0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja tien lämpötila $-3,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Koeosuuden ja vertailuosion pölyävyydessä ei ollut keskenään suurta eroa. Vertailuosion osalta pöly viipyi ilmassa hieman pidempään kuin koeosiolla. Koe- ja vertailuosion kuntoarvo pölyävyyden osalta oli 2 eli pöly haittasi lievästi näkyvyyttä ja pölyäminen pysyi tiealueen sisäpuolella.

Hieman yllättävästi koeosuudella oli havaittavissa enemmän reikäsarjoja kuin vertailuosiolla, vaikka TapoFix-tuotteen pitäisi ennaltaehkäistä kelirikkoa. Kuva 26 havainnollistaa koeosuudella esiintyviä reikäsarjoja.



Kuva 26. Koeosiolla havaittavissa reikäsarjoja (Rautalin 2023)

Kuten kuvista 26 ja 27 voidaan huomata oli koeosuus väritykseltään ruskeampi kuin vertailuosio. Suuria eroja vertailu- ja koeosion pintojen kiinteydessä ei voitu havaita, koska maa oli havainnointihetkellä vielä osittain jäässä.



Kuva 27. Vertailuosion pinta (Rautalin 2023)

Keskiviikkona 5.4.2023 klo 8.00–8.30 välisenä aikana pölyävyyttä tarkasteltiin tien aukeilla osuuksilla, joilla pölyäminen on yleensä runsainta. Havainnointihetkellä oli pilvinen keli, ilman lämpötila oli $-0,5\text{ °C}$ ja tien lämpötila $0,4\text{ °C}$.

Koeosuudella ja vertailuosiolla oli havaittavaissa pölyämistä. Koeosiolla pölyäminen oli todella vähäistä. Vertailuosio pölysi huomattavasti enemmän kuin koeosio. Edelliseen päivään (4.4.2023) verrattuna ero koe- ja vertailuosion pölyävyydessä oli huomattava. Pilvisellä säällä koeosio pölysi huomattavasti vähemmän kuin aurinkoisella säällä. Vertailuosioon aurinkoisella tai pilvisellä säällä ei näyttänyt olevan suurta vaikutusta pölyävyyteen.

Koeosio (kuva 28) oli pölyävyyden osalta kuntoarvossa 3 eli parhaimmassa mahdollisessa luokituksessa. Kuntoarvolla 3 pöly ei leviä pientareita kauemmaksi, mutta pientä pölyämistä renkaiden takana on havaittavissa.



Kuva 28. Koeosion pölyävyys 5.4.2023, kuntoarvo 3 (Rautalin 2023)

Vertailuosio (kuva 29) oli pölyävyiden osalta kuntoarvossa 2. Kuntoarvolla kaksi pöly ei leviä tiealueen ulkopuolelle, mutta haittaa lievästi näkyvyyttä. Kuvissa 28 ja 29 autoa ajettiin tasaisella 60 km/h nopeudella.

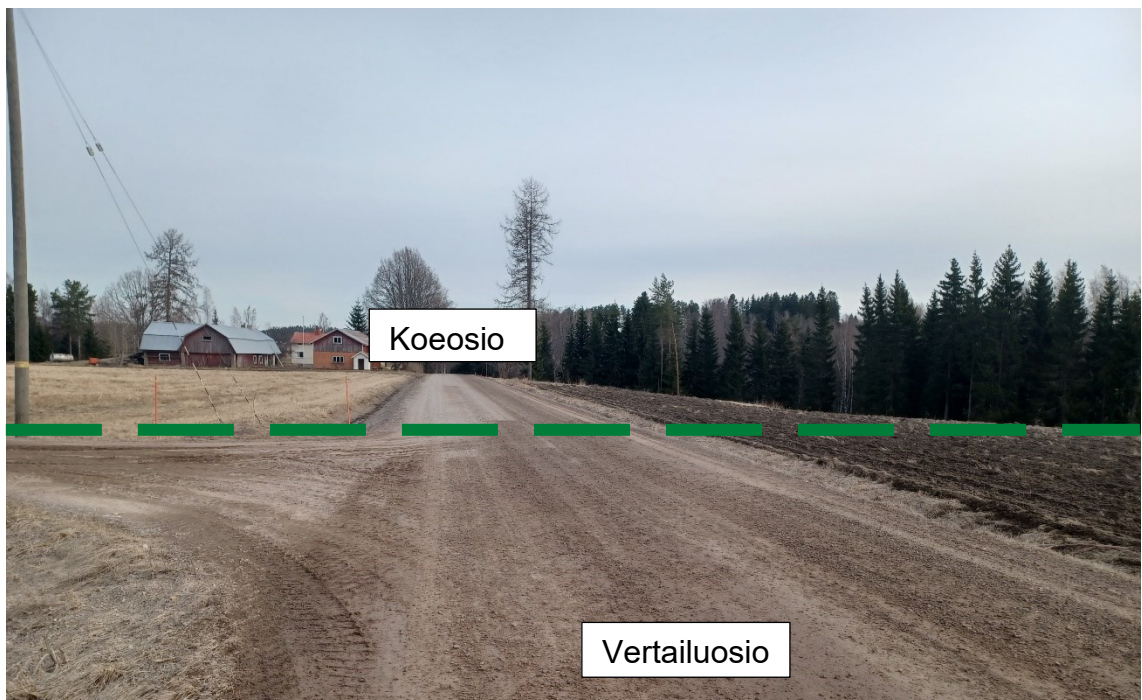


Kuva 29. Vertailuosion pölyävyys 5.4.2023, kuntoarvo 2 (Rautalin 2023)

Torstaina 13.4.2023 havainnointihetkellä klo 8.30–9.00 koeosio pölysi huomattavasti enemmän vertailuosioon verrattuna. Havainnointihetkellä oli pilvinen keli, ilman lämpötila oli 5,3 °C ja tien lämpötila 6,7 °C.

Tien vertailuosiolle oli edellisenä päivänä (ke 12.4.2023) tehty kevätmuokkaus. Kevätmuokkauksessa vertailuosio lanattiin ja osiolle tehtiin pölynsidonta käyttäen liuosmuotoista kalsiumkloridia. Koeosio lanattiin ja kasteltiin vedellä vertailuosion kevätmuokkauksen yhteydessä.

Vertailuosiolla pölyämistä ei juuri ollut havaittavissa edellisenä päivänä (ke 12.4.2023) tehdyn pölynsidontakäsittelyn ansiosta. Koeosion ja vertailuosion pinnan kosteudessa oli havainnointihetkellä selkeä ero, jonka huomaa kuvasta 30.



Kuva 30. Koeosion ja vertailuosion raja (Rautalin 2023)

Koeosion pinta oli etenkin aukeilla paikoilla edellisen päivän kastelusta huolimatta melko kuiva kuvan 31 mukaisesti. Pölyävyyden osalta koeosio oli kuntoarvossa 2 eli pöly haittasi lievästi näkyvyyttä, mutta pöly ei levinnyt tiealueen ulkopuolelle.



Kuva 31. Koeosion pinta 13.4.2023 (Rautalin 2023)

Vertailuosion pinta oli aukeillakin osioilla kostea kuvan 32 mukaisesti. Pölyämistä vertailuosiolla ei juurikaan esiintynyt. Pölyävyyden osalta verttailuosio oli kuntoarvossa 3 eli pölyämistä ei juurikaan esiintynyt.



Kuva 32. Vertailuosion pinta 13.4.2023 (Rautalin 2023)

17.4.2023 klo 14–14.30 välisenä aikana pölyävyyttä tarkasteltiin jälleen tien aukeilla osuuksilla. Havainnointihteikellä oli aurinkoinen poutainen keli, ilman lämpötila oli 13,1 °C ja tien lämpötila 27,0 °C. Koeosioilla pölyäminen oli selvästi runsaampaa kuin vertailuosioilla. Vertailuosion ja koeosion raja oli edelleen havaittavissa silmämääräisesti. (kuva 33.)



Kuva 33. Vertailuosion ja koeosion raja (Rautalin 2023)

Koeosio (kuva 34) oli pölyävyyden osalta kuntoarvon 2 ja kuntoarvon 1 rajamailla. Koeosio oli siinä rajalla, täyttääkö osio pölyävyydelle asetetut vaatimukset. Koeosion pinta oli huomattavasti kuivempi kuin vertailuosion pinta.



Kuva 34. Koeosion pinta 17.4.2023 (Rautalin 2023)

Vertailuosio (kuva 35) on pölyävyyden osalta kuntoarvossa 3. Pientä pölyämistä renkaiden takana oli havaittavissa vertailuosiolla.



Kuva 35. Vertailuosion pinta 17.4.2023 (Rautalin 2023)

8 Johtopäätökset

Syksyllä 2022 TapoFix-tuotteen toiminta pölynsidonnassa vaikutti lupaavalta. TapoFix-pölynsidontakäsittelyä seuraavina päivinä testikohteen tienpinta sitoutui kiinteäksi ja pölyävyys pysyi hyvin hallinnassa. Kevään tullen tuote näytti vielä pakkaskeleillä pilvisellä säällä toimivan odotetusti vähentäen pölyämistä. Kevään 2023 edetessä ja aurinkoisten päivien lisääntyessä pölyävyydestä tehtyjen havaintojen perusteella TapoFix-tuotteen teho testikohteen pölyävyyden hallinnassa näytti hiipuvan. Testikohteen koeosion pinta alkoi lähes sateettoman huhtikuun 2023 aikana kuivumaan todella paljon.

Keväällä 2023 Viuvalantien lanauksen yhteydessä koeosiolle levitettiin vettä, jonka avulla pyrittiin aktivoimaan TapoFix-tuotetta. Kastelemisesta huolimatta TapoFix ei vaikuttanut sitovan itseensä kosteutta tehokkaasti. Koeosio oli jo kastelemista seuraavana päivänä pinnaltaan kuiva.

Tuote-esityksen mukaan TapoFix-biopolymeerin vaikutus piti olla pitkäkestoinen. Viuvalantien koeosiolle tuotteen pitkäkestoisuudesta ei ole viitteitä, sillä tuotteen pölynsidontateho alkoi hiipumaan jo heti keväällä 2023. Testikohteen osalta kalsiumkloridiliuoksella tehtävä pölynsidonta näyttäisi toimivan huomattavasti paremmin kuin pölynsidonta TapoFix-biopolymeerillä.

Tuotteella saadut tulokset olisivat voineet olla hieman erilaisia, jos pölynsidonta olisi tehty syksyn sijaan keväällä. TapoFix-tuotteen toimivuuteen on osittain voinut vaikuttaa kuiva ja lähes sateeton huhtikuu. Jos huhtikuussa olisi satanut enemmän, TapoFix-tuote olisi mahdollisesti aktivoitunut paremmin pölynsidontaominaisuuksien osalta.

Jatkotoimenpiteenä Viuvalantien kokeilu TapoFix-biopolymeerin käytön osalta keskeytetään. Koeosiolle tehdään uusi pölynsidonta käyttäen liuosmuotoista kalsiumkloridia, jotta voidaan minimoida pölyämisestä aiheutuvat haitat tienvarren asutuksille ja viljelyksille. Uudella pölynsidonnalla pyritään varmistamaan, että Viuvalantien pölyävyys pysyy sallituissa rajoissa.

Viivalantien pölyävyyden tarkastelua jatketaan kesän 2023 aikana. Kesän 2023 aikana tarkastellaan TapoFix-biopolymeerin ja kalsiumkloridin mahdollista yhteisvaikutusta pölyävyyteen.

Viivalantien epäonnistuneesta pölynsidontakokeilusta huolimatta, tulee kalsiumkloridin käytölle pölynsidonnassa pyrkiä löytämään uusia ympäristöystävällisempiä ja toimitusvarmempia tuotteita. Kalsiumkloridin korvaaminen uusilla tuotteilla on tarpeellista, jotta voidaan turvata pohjavesien hyvä laatu, vähentää pölynsidonnasta muodostuvia ympäristövaikutuksia sekä löytää pölynsidontaominaisuuksiltaan kalsiumkloridia tehokkaampi tuote ratkaisuksi SOP-teiden pölyävyyssongelmaan.

Lähteet

Eskola, K. 2019. Mihin katosivat sorateiden pintaukset?. Tieyhdistys. Viitattu 3.10.2022.

https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1746/mihin_katosivat_sorateiden_pintaukset_002.pdf

Huuskonen, O. 2019. Miksi ja miten päällystetty tie muutetaan soratieksi? Tieyhdistys. Viitattu 24.10.2022.

https://www.tieyhdistys.fi/site/assets/files/1746/miksi_ja_miten_paallystetty_tie_muutetaan_soratieksi_artikkeli_20190516.pdf

J Clin Diagn Res. 2015. Biomedical Biopolymers, their Origin and Evolution in Biomedical Sciences: A Systematic Review. National Library of Medicine. Viitattu 24.11.2022.

<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4606363/>

Joensuu, J. 2017. Kaksoiskartiojauhimen toiminnan parantaminen havupuumassan jauhatuksessa hienopaperikoneella. Diplomityö. LUT kone. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen yliopisto. Viitattu 24.11.2022

https://lutpub.lut.fi/bitstream/handle/10024/134888/Diplomity%C3%B6_Joensuu_Jaakko.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Kaarela, O. 2003. Sorateiden pölynsidonta-aineiden ympäristövaikutuksia. Tiehallinto Viitattu 7.3.2023.

<https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/139144/4338tie.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Lehtipuu, E. 1983. Asfalttipäällysteet. Helsinki: Rakentajan Kustannus Oy

Liikennevirasto. 2014. Sorateiden kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita. viitattu 27.10.2022.

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Liikennevirasto/lo_2014-01_sorateiden_kunnossapito_web.pdf

Mfibrils Oy. Henkilökohtainen tiedoksianto. 2022

MHU Nummi. Urakka-asiakirjat. Viitattu 3.10.2022. (vain urakassa työskentelevien saatavilla)

Nevala, R.; Niittymäki, J.; Rautio, J.; Rämä, P.; Penttinen, M. 2003. Liikenteen palvelutason määritelmiä, tekijöitä ja mittareita. Tiehallinnon selvityksiä 42/2003. Tiehallinto. Viitattu 8.3.2023.

<https://www.tieh.fi/julkaisut/pdf/3200829vliikpalvelutaso.pdf>

PANK Ry. Kiviainekset, vesipitoisuus, uunikuivaus. Viitattu 10.11.2022.

<https://www.pank.fi/wp-content/uploads/2020/12/pank-2109-vesipitoisuus-uunikuivaus.pdf>

Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Suomen ympäristökeskus. viitattu 13.10.2022.

<https://core.ac.uk/download/pdf/14927376.pdf>

SFS-EN 933-1. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 932-2. Kiviainesten yleisten ominaisuuksien testaus. Osa 2: Laboratorionäytteiden jakaminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN ISO 17892-4:2016. Geotekninen tutkimus ja testaus. Maan laboratorionäytteet. Osa 4: Rakeisuuden määrittäminen. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto.

Seilonen, M. 2022. Dustbinder. Käyttöohje pölynsidontaan ja stabilointiin.

Tiehallinto. 2002. SOP-teitä parannetaan edelleen sorateiksi ja osin päällysteisiksi syksystä 2002 alkaen. Viitattu 3.10.2022.

<https://www.tieh.fi/upiiri/tied2002/220802.htm>

Tieteen termipankki. Suspensio. Viitattu 3.11.2022.

<https://tieteentermipankki.fi/wiki/Nimitys:suspensio>

Tilastokeskus. Statfin. Tietilasto. 12k5. Tiepäällysteet 1959-2021. Viitattu 7.3.2023.

https://pxweb2.stat.fi/PxWeb/pxweb/fi/StatFin/StatFin_tiet/statfin_tiet_pxt_12k5_px/table/tableViewLayout1/

Väylävirasto. 2021. Sorateiden kunnossapidon toimintalinjat. Väyläviraston julkaisu 72/2021. Viitattu 27.10.2022.

https://www.doria.fi/bitstream/handle/10024/183033/vj_2021-72_978-952-317-923-3.pdf?sequence=1&isAllowed=y

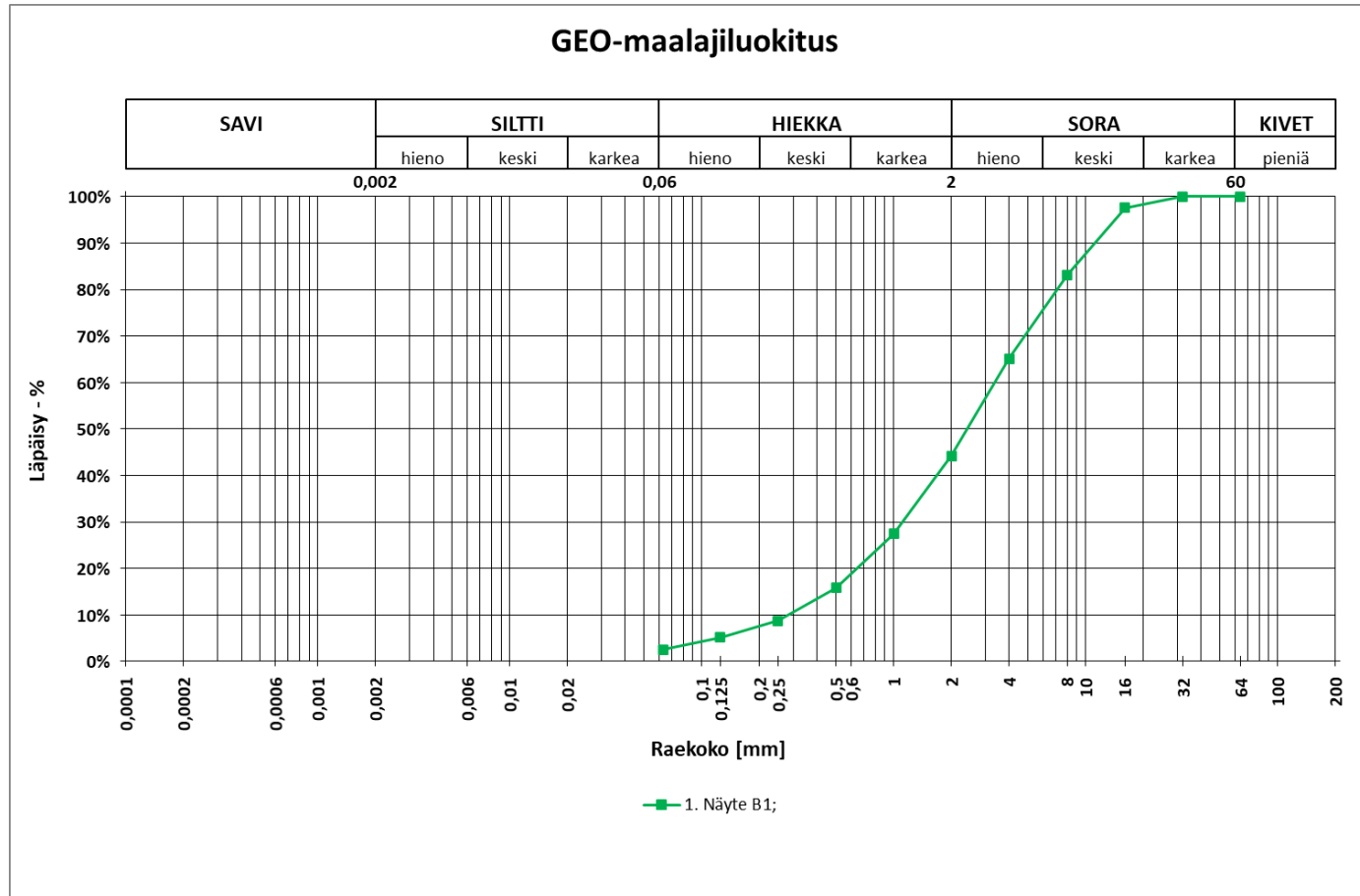
Väylävirasto. 2022. Sorateiden pintakunnon määrittäminen. Väyläviraston ohjeita 39/2022. Viitattu 6.3.2023.

https://ava.vaylapilvi.fi/ava/Julkaisut/Vaylavirasto/vo_2022-39_soratien_pintakunto.pdf

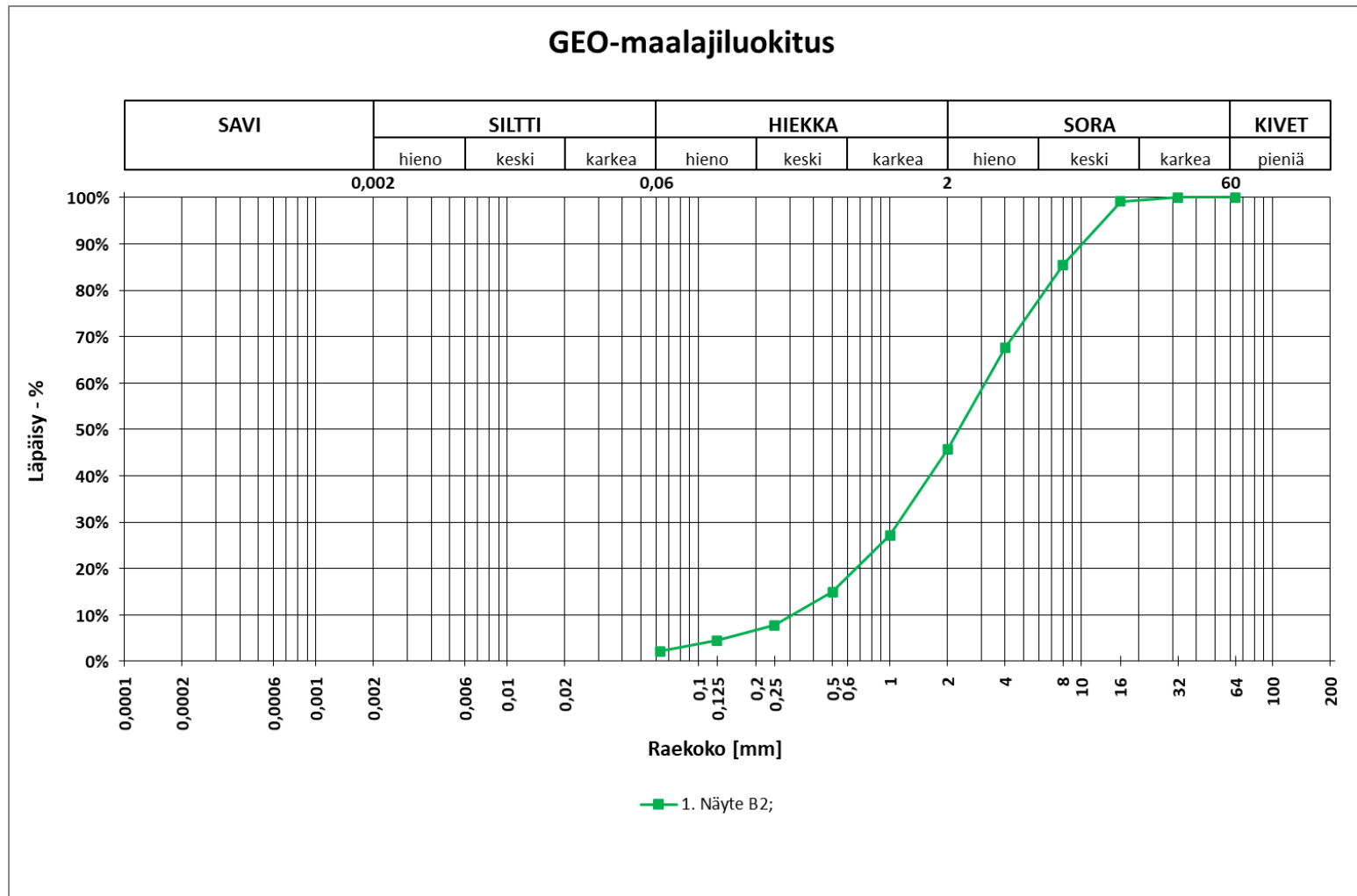
Väylävirasto. 2022. Extranet. Tiemappi. Viitattu 18.11.2022

<https://extranet.vayla.fi/tiemappi/> (vaatii sisäänkirjautumisen)

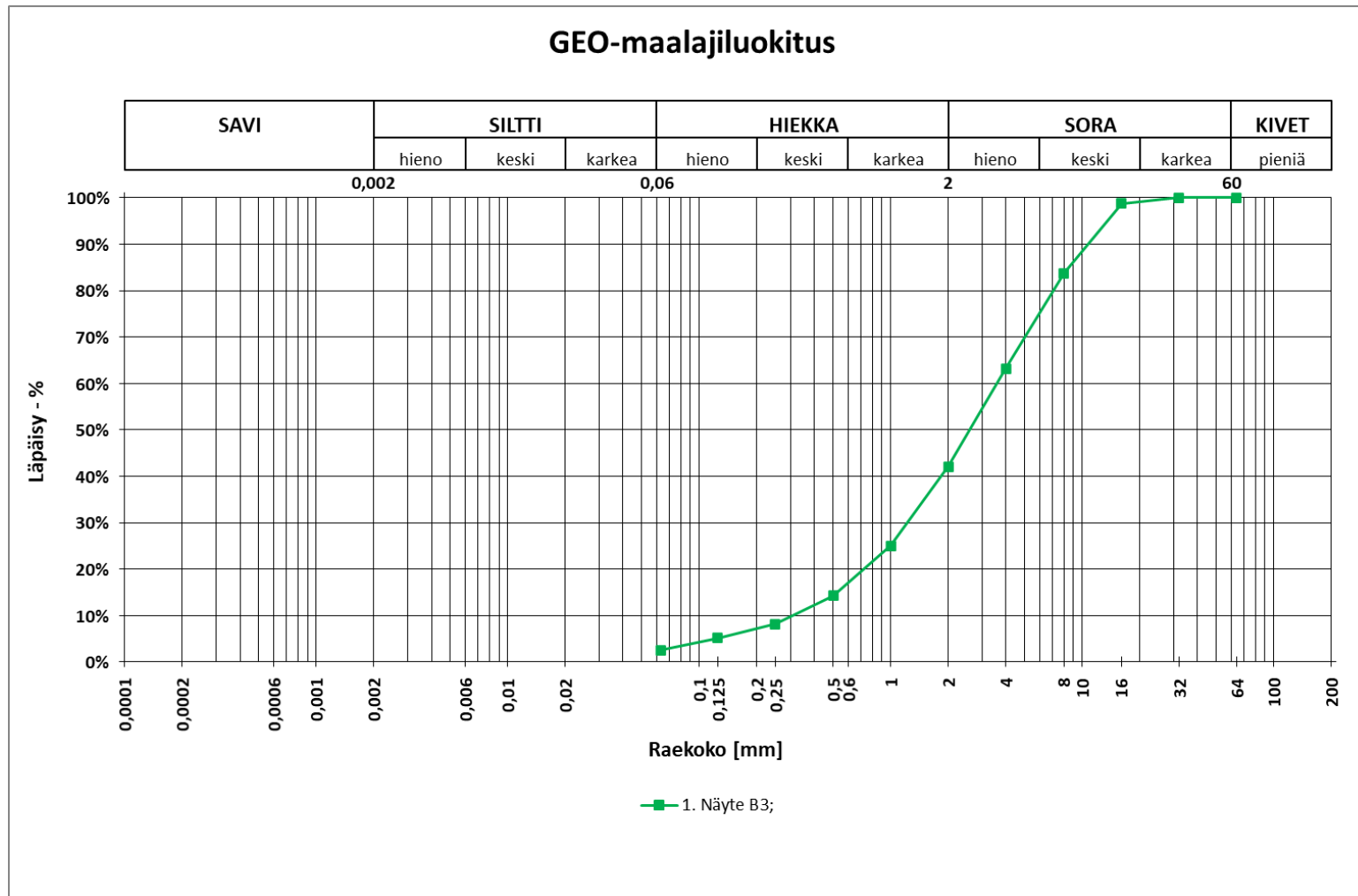
Liite 1. Rakeisuuskäyrät



Kuva 36. Rakeisuuskäyrä, näyte B1



Kuva 37. Rakeisuuskäyrä, näyte B2



Kuva 38. Rakeisuuskäyrä, näyte B3

Liite 2. Kuivaseulontojen tulokset

Näyte B1.1

1.seulonta (seulottava määrä 1500.6 g)

seula	seulalle jäi		läpäisy
halkaisija mm		g	%
31,5	R ₁ =	0	0,0
16	R ₂ =	50,5	3,4
8	R ₃ =	186	12,5
4	R ₄ =	234,8	15,7
2	R ₅ =	320,6	21,5
1	R ₆ =	266,3	17,8
0,5	R ₇ =	184,9	12,4
0,25	R ₈ =	112,5	7,5
0,125	R ₉ =	54,2	3,6
0,063	R ₁₀ =	43,2	2,9
pohja	P=	39,7	2,7
yht.		1492,7	

Näyte B1.2

2.seulonta (seulottava määrä 1500 g)

seula	seulalle jäi		läpäisy
halkaisija mm		g	%
31,5	R ₁ =	0	0
16	R ₂ =	20,6	1,4
8	R ₃ =	245,1	16,4
4	R ₄ =	305,6	20,5
2	R ₅ =	302,7	20,3
1	R ₆ =	234,4	15,7
0,5	R ₇ =	162,9	10,9
0,25	R ₈ =	99,8	6,7
0,125	R ₉ =	52,7	3,5
0,063	R ₁₀ =	35,1	2,4
pohja	P=	34,4	2,3
yht.		1493,3	

Liite 2

Näyte B2.1

3.seulonta (seulottava määrä 1500 g)

seula	seulalle jäi		läpäisy
		g	
halkaisija mm			%
31,5	R ₁ =	0,0	0,0
16	R ₂ =	0,0	100,0
8	R ₃ =	194,5	13,0
4	R ₄ =	265,4	17,8
2	R ₅ =	331,4	22,2
1	R ₆ =	280,5	18,8
0,5	R ₇ =	186,8	12,5
0,25	R ₈ =	112,7	7,5
0,125	R ₉ =	51,1	3,4
0,063	R ₁₀ =	37,0	2,5
pohja	P=	35,4	2,4
yht.		1494,8	

Näyte B2.2

4.seulonta (seulottava määrä 1500,2 g)

seula	seulalle jäi		läpäisy
		g	
halkaisija mm			%
31,5	R ₁ =	0,0	0,0
16	R ₂ =	26,0	1,7
8	R ₃ =	212,4	14,2
4	R ₄ =	272,6	18,2
2	R ₅ =	322,9	21,6
1	R ₆ =	273,4	18,3
0,5	R ₇ =	177,6	11,9
0,25	R ₈ =	102,0	6,8
0,125	R ₉ =	48,8	3,3
0,063	R ₁₀ =	29,9	2,0
pohja	P=	29,8	2,0
yht.		1495,4	

Liite 2

Näyte B3.1

5.seulonta (seulottava määrä 1500 g)

seula	seulalle jäi			läpäisy
		g	%	
halkaisija mm				%
31,5	R ₁ =	0,0	0,0	100,0
16	R ₂ =	20,3	1,4	98,6
8	R ₃ =	222,1	14,9	83,8
4	R ₄ =	316,4	21,2	62,6
2	R ₅ =	314,5	21,0	41,6
1	R ₆ =	252,2	16,9	24,7
0,5	R ₇ =	157,7	10,5	14,2
0,25	R ₈ =	89,8	6,0	8,2
0,125	R ₉ =	43,3	2,9	5,3
0,063	R ₁₀ =	39,3	2,6	2,6
pohja	P=	39,3	2,6	
yht.		1494,9		

Näyte B3.2

6.seulonta (seulottava määrä 1500,8 g)

seula	seulalle jäi			läpäisy
		g	%	
halkaisija mm				%
31,5	R ₁ =	0,0	0,0	100,0
16	R ₂ =	16,0	1,1	98,9
8	R ₃ =	227,6	15,2	83,7
4	R ₄ =	296,9	19,9	63,9
2	R ₅ =	317,4	21,2	42,6
1	R ₆ =	259,0	17,3	25,3
0,5	R ₇ =	164,2	11,0	14,3
0,25	R ₈ =	93,9	6,3	8,0
0,125	R ₉ =	44,9	3,0	5,0
0,063	R ₁₀ =	38,4	2,6	2,5
pohja	P=	37,0	2,5	
yht.		1495,3		