

Salla Konttinen

**BIOPOLYMEERIN KÄYTTÖ SORATEIDEN PÖLYNSIDONNASSA JA KELIRIK-
KOKORJAUSSISSA**

BIOPOLYMEERIN KÄYTTÖ SORATEIDEN PÖLYNSIDONNASSA JA KELIRIK- KOKORJAUKSISSA

Salla Konttinen
Opinnäytetyö
Kevät 2019
Yhdyskuntatekniikan tutkinto-ohjelma
Oulun ammattikorkeakoulu

TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu
Rakennustekniikan koulutusohjelma, yhdyskuntatekniikka

Tekijä: Salla Konttinen

Opinnäytetyön nimi: Biopolymeerin käyttö sorateiden pölynsidonnassa ja kelirikkorjauksissa

Työn ohjaajat: Vesa Kallio ja Esa Perälä

Työn valmistuslukupäivä ja -vuosi: Kevät 2019

Sivumäärä: 54+8

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia sellupohjaisen biopolymeerin vaikutusta sorateiden pölynsidontaan ja kelirikkohteissa tien kantavuuteen. Työssä tutkittiin tällä hetkellä pölynsidonnassa yleisesti käytössä olevalle kalsiumkloridille ympäristöystävällisempää vaihtoehtoa, jonka valmistuksessa hyödynnetään metsäteollisuuden sivuvirtana muodostuvaa materiaalia. Työn tavoitteena oli testata uuden biopolymeerin ominaisuuksia ja saada lisää tietoa biopolymeerien käyttömahdollisuuksista sorateiden pölynsidonnassa ja kantavuuden muodostumisessa.

Biopolymeerin käyttöä tutkittiin laboratorio-olosuhteissa pölyävyyskokeilla, sadetuskokeilla, puristuslujuuden määrittämisellä ja mikroskopoinnilla näytteistä, jotka rakennettiin vastaamaan soratien kulutuskerrosta. Tutkittavia ominaisuuksia olivat hienoaineksen määrän väheneminen, kantavuuden muodostuminen ja biopolymeerikalvon muodostuminen näytteen pinnalle. Pölyävyyskokeisiin, sadetuskokeisiin ja mikroskopointiin ei ole standardoituja menetelmiä, joten niihin oli kehitettävä omat tutkimusmenetelmänsä. Näytteet rakennettiin Destia Oy:n toimittamasta maa-aineksesta Liikenneviraston ohjeistuksen mukaisen rakeisuuskäyrän mukaan. Testattavan biopolymeerin, DustBinderin, toimitti Olli Mäentausta. Työn tilaajana toimivat Destia Oy ja MFibrils Oy.

Pölyävyyskokeissa DustBinder oikealla annostuksella vähensi hienoaineksen pölyävyttä ja puristuslujuuden määrittämisessä näytteen kantavuus kasvoi. DustBinderiä ja kalsiumkloridia sisältänyt näyte pölysi testaussarjasta vähiten. DustBinderiä ja soratielle tavanomaisen määrän humusta sisältäneet näytteet pölyivät vähemmän ja niiden puristuslujuus oli suurempi verrattuna ainoastaan vettä sisältäneeseen näytteeseen. Sadetuskokeissa DustBinderiä sisältäviin näytteisiin muodostui silmin havaittavaa biopolymeerikalvoa näytteen pintaan. Aiemmin DustBinderillä käsitellyissä näytteissä DustBinder näytti säilyttävänsä ominaisuutensa kahden vuoden ulkona säilytyksen jälkeen.

Tutkimustulosten perusteella voidaan katsoa DustBinderillä olevan vaikutusta soratien kulutuskerroksen pölyävyteen vähentävästi ja tien kantavuuden muodostumiseen kasvattavasti. Jatkossa biopolymeeriä testataan kenttäkokeilla, jolloin liikenteen ja vallitsevan säätilan vaikutus tien pinnan sitoutumiseen tulee esille, koska laboratorio-olosuhteissa on vaikea jäljitellä tieolosuhteita. Rinnakkaisnäytteitä tässä testauksessa oli vain muutamista näytteistä, joten yksiselitteisiä johtopäätöksiä ei voida testauksista tehdä.

Asiasanat: biopolymeeri, pölynsidonta, kelirikkorjaus, soratie, DustBinder

ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences
Civil Engineering

Author: Salla Konttinen

Title of thesis: Biopolymer as a dust binder and frost-damage repairer on gravel roads

Supervisor(s): Vesa Kallio ja Esa Perälä

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2019 Number of pages: 54+8

The objective of this thesis was to investigate biopolymer ability to dust suppression on gravel roads and ability to increase bearing capacity of road structure in frost-damaged roads. Biopolymer is ecological alternative to chloride salts and it could reduce amount of gravel used in road procedures, which brings savings about material costs and labour expenditure. There are a few tests performed earlier and grounds of test results further research and product development is needed.

Biopolymer (DustBinder) has been developed by Olli Mäentausta from MFibrils Oy and subscriber of this thesis was Oiva Huuskonen from Destia Oy. Testing methods were measuring amount of dust when air-blasting with compressed air, surface irrigation tests, microscopic consideration and measuring bearing capacity from test pieces. There are no standardized test methods for testing air-blasting, surface irrigation and microscopic consideration, so methods and equipment for test are developed and built up with help by Esa Perälä and Olli Mäentausta. Mäentausta has been building up test methods earlier for research made by University of Oulu and gave useful information about tests.

Laboratory tests were performed in geotechnical laboratory in Oulu University of Applied Sciences in spring 2018. The test results in laboratory environmental show that DustBinder reduce dusting on gravel roads with right dosing. Right dosing also increased bearing capacity of road structure and generated biopolymer film on top of gravel sample. The lowest dustiness level was combination of DustBinder and calcium chloride and it needs more investigating. The test result was promising, and testing was decided to continue summer 2018 in field experiment.

Keywords: biopolymer, dust suppression, frost-damaged roads, gravel roads, DustBinder

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ.....	3
SISÄLLYS.....	5
1 JOHDANTO.....	7
2 SORATEIDEN LAATUVAATIMUKSET.....	8
2.1 Suomen tieverkko.....	8
2.1 Sorateiden rakenne.....	8
2.2 Kulutuskerroksen materiaalin vaikutus pölyämiseen.....	10
2.3 Soratieluokat ja kuntovaatimukset.....	12
3 SORATEIDEN KESÄNAIKAINEN PÖLYNSIDONTA.....	17
3.1 Pölynsidontan odotukset.....	17
3.2 Pölynsidonnassa yleisimmin käytettävät materiaalit.....	18
4 BIOPOLYMEERIT PÖLYNSIDONNASSA.....	19
4.1 Aiemmat laboratoriotutkimukset.....	19
4.2 Aiemmat kenttäkokeet.....	20
5 TESTATTAVAT MAA-AINEKSET.....	22
5.1 Biopolymeerillä aiemmin käsitelty maa-aines.....	22
5.2 Käsittelemättömät uudet maa-aineet.....	23
6 PÖLYÄVYYSKOKEEN, PURISTUSLUJUUDEN MÄÄRITTÄMISEN, SADETUSKOKEEN JA NÄYTTEEN PINNAN MIKROSKOPOINNIN TESTAUSMENETELMÄT.....	25
6.1 Testausten tavoitteet.....	25
6.2 Testauksissa tarkasteltavat ominaisuudet.....	25
6.2.1 Mikroskopointi.....	26
6.2.2 Puristuslujuus.....	27
6.2.3 Maa-aineksen rakeisuuden määrittäminen.....	28
6.2.4 Pölyävyys.....	29
6.2.5 Hienoaineksen sitoutuminen ja biopolymeerikalvon muodostuminen.....	31
7 TUTKIMUSTULOKSET.....	33
7.1 Pölyävyys.....	34
7.2 Hienoaineksen sitoutuminen kulutuskerrokseen.....	37
7.3 Puristuslujuus.....	40
7.4 Biopolymeerikalvon muodostuminen.....	42

7.4.1	Pölytetyt näytteen	42
7.4.2	Sadetetut näytteet.....	45
8	JOHTOPÄÄTÖKSET	51
	LÄHTEET.....	53
	LIITTEET	55

1 JOHDANTO

Kesäaikaisella onnistuneella sorateiden pölynsidonnalla on suuri vaikutus sorateiden ympäristön asukkaille ja liikenneturvallisuudelle. Tämän vuoksi pölynsidontaan etsitään ja kehitetään jatkuvasti ympäristöystävällisiä vaihtoehtoja. Tällä hetkellä kesäaikaisessa pölynsidonnassa käytetään pääasiassa kalsiumkloridia, jonka kulkeutumista ympäristöön tutkittiin Tampereen yliopistolla tehdyissä tutkimuksissa vuonna 2003. Kalsiumkloridin kulkeutuminen ja haittavaikutukset ympäristöön on tiedostettu jo 1990-luvulta saakka, joten vaihtoehtoisille ympäristöystävällisille pölynsidonta-aineille on tarvetta. (1.)

Aiempiä viitteitä biopolymeerin käytöstä pölynsidonnassa ja kantavuuden parantamisessa löytyy vähän. Kenttäkokeita on tehty kesällä 2015 Destian alueurakassa Lieksassa ja Lapualla ja kesällä 2016 toistamiseen Lapualla ja lisäksi YIT:n alueurakassa Hattulassa. Oulun yliopistolla oli tehty näihin kenttäkokeisiin käytettävän biopolymeerin tuotekoostumuksen kehittämistä ja annostuksen testausta. Kenttäkokeiden tulosten perusteella tarvitaan lisää tuotekehitystä ja kenttätestauksia. (2.)

Olli Mäentausta MFibrils Oy:stä on kehittänyt sorateiden pölynsidontaan uuden sellupohjaisen biopolymeerin, jota testattiin tässä opinnäytetyössä yhteistyössä MFibrils Oy:n ja Destia Oy:n kanssa. Destia Oy ja sen edustaja Oiva Huuskonen ovat olleet aiemmin mukana vastaavassa työssä ja jatkossa mahdollisesti tehtäviä kenttäkokeita ajatellen luonteva yhteistyökumppani. Tehtävät testaukset suunniteltiin Olli Mäentaustan ja Oiva Huuskosen kanssa. Laboratorioinsinööri Esa Perälä auttoi näytteiden suunnittelussa, laboratoriossa testauslaitteiden käytössä ja uusien menetelmien ja laitteiden rakentamisessa.

Testaukset suunniteltiin tehtävän niin, että jokaiselle näytteelle tehdään kolme rinnakkaisnäytettä. Testattaviksi ominaisuuksiksi muodostuivat pölyävyyden mittaaminen, biopolymeerin vaikutus tien kantavuuteen, biopolymeerikalvon muodostuminen näytteen pinnalle ja hienoaineksen sitoutuminen. Pölyävyyttä mitattiin puhalluskokeilla, kantavuuden muodostumista määrittämällä koekappaleiden puristuslujuus, biopolymeerikalvon muodostumista ja hienoaineksen sitoutumista sadetuskokeilla ja mikroskopoinnilla. Tarvittavat maa-ainekset saatiin Itä-Suomesta Destian murskaamolta. Maa-ainesta oli kahdenlaista, toiseen oli lisätty DustBineriä murskaamalla vuonna 2015 ja säilytetty ulkona kasassa. Toinen oli käsittelemätöntä ja kerätty samalta murskaamolta.

2 SORATEIDEN LAATUVAATIMUKSET

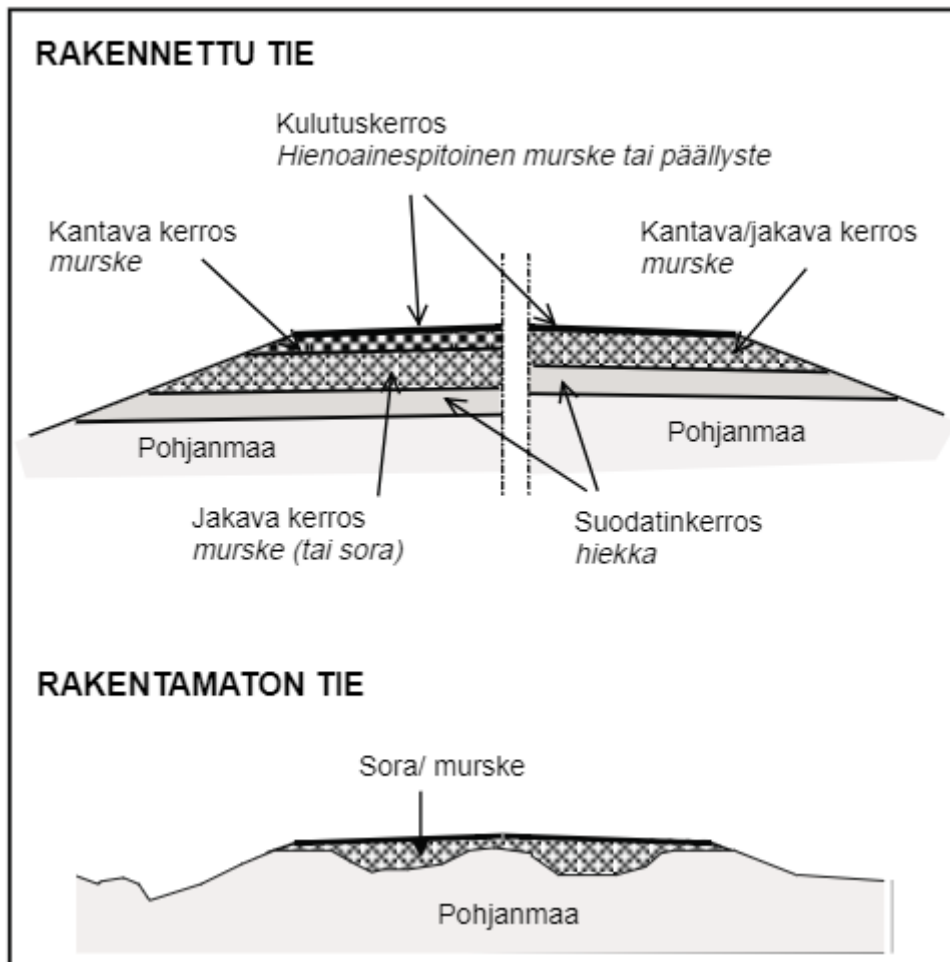
2.1 Suomen tieverkko

Suomen tieverkko sisältää maanteitä noin 78 000 km, kunnallisia katuverkkoja noin 26 000 km ja yksityis- ja metsäautoteitä noin 350 000 km (3). Suomessa sorapintaisia maanteitä on yli 27 000 km eli noin 35 % koko maantieverkon pituudesta. Sorapintaisilla maanteillä on alueellensa huomattava merkitys, sillä esimerkiksi maa- ja metsätaloudelle ympärivuotisesti liikennöitävä tieverkosto on elinehto. (4, s. 7.)

Sorateiden kunnossapitoon menee vuosittain ilman talvihoitoa noin 11 % koko tieverkon kunnossapitokustannuksista. Kunnossapidon toteutuksesta vastaa urakoitsija, laadusta sekä niitä koskevista kysymyksistä tienpitoviranomaisina ELY-keskusten liikennevastuualueet ja Liikennevirasto. (4, s. 7.)

2.1 Sorateiden rakenne

Rakennettujen sorateiden rakenteina ovat yleensä kulutuskerros, kantava kerros, jakava kerros ja suodatinkankaasta tai -hiekaista koostuva suodatinkerros (4, s. 11). Rakennettuja teitä on kuitenkin vähän, koska suurin osa sorapintaisista maanteistä on vanhojen kulkuväylien päälle paranneltuja teitä, minkä vuoksi niistä puuttuu rakennetun soratien routimattomia kerroksia (5). Tällaisten rakentamattomien teiden kulutuskerroksen kuntoa on ylläpidetty lisämurskeella ja joidenkin sorateiden kantavuutta on vahvistettu kantavalla materiaalilla. Ajan saatossa rakenteet ovat kuitenkin voineet sekoittua ja muuttua routiviksi. (4, s. 11.) (Kuva 1.)



KUVA 1. Rakennetun ja rakentamattoman soratien rakennekerrokset (6, s. 9)

Sorateilla kulutuserroksen kosteustila vaikuttaa merkittävästi tien kantavuuteen, pintakuntoon ja pölynsidonta-aineiden määrään. Soratien pinnan muutokset ovat nopeita ja syntyvät yleensä veden ja liikenteen yhteisvaikutuksesta. Pinta ja rakenne altistuvat suurimmalle rasitukselle keväällä, syksyllä ja alkutalven lämpimillä jaksoilla, jolloin tierakenteen vesipitoisuus on liian suuri. Kulutuserros pehmentyy ja huonoimmassa tapauksessa syntyy pintakelirikkoa, joka voi myöhemmin johtaa runkokelirikkoon. Aurinkoisilla paikoilla soratien pinta kuivuu, mikä aiheuttaa pinnan reikiintymistä, epätasaisuutta ja pölyämistä. Soratien pinnalla oleva vesi yhdessä ajoneuvon pyörän iskuvaikutuksen kanssa irrottaa kivirakeita toisiinsa sitovaa hienoainesta ja tien pintaan syntyy reikiä. Myöhemmin reiät suurenevät, muodostavat jonoja, epätasaista aaltomaisuutta ja pölyämistä. (4, s. 11–12.)

2.2 Kulutuskerroksen materiaalin vaikutus pölyämiseen

Soratien pölyämistä tapahtuu, kun ajoneuvojen renkaiden iskut ja liikenteen ilmapirtaukset irrottavat kuivasta tienpinnasta pölynä ilmaan nousevaa hienoainesta. Pölyäminen vaikuttaa liikenneturvallisuuteen heikentämällä näkyvyyttä, laskee tien varrella asumisen viihtyvyyttä ja terveellisyyttä sekä likaa tien lähiympäristön kasvillisuutta ja rakennuksia. Pölyämistä voidaan ehkäistä oikeanlaisilla kulutuskerroksen materiaaleilla, jolloin tien pinta pysyy kiinteänä ja materiaalien hävikki on pieni. (4, s. 17.) (Taulukko 1.)

TAULUKKO 1. Soratien tavoiteltaviin ominaisuuksiin vaikuttavat ominaisuudet kulutuskerrosmateriaalissa (4, s. 24)

<i>Arviointinäkökulma</i>	<i>Tavoitettava ominaisuus</i>	<i>Materiaalin vaikuttava ominaisuus</i>
<i>Liikenteen turvallisuus</i>	<i>Kiinteä ja tasainen pinta</i>	<i>Rakeisuus ja kerrospaksuus</i>
	<i>Hyvä kitka märällä tien pinnalla</i>	<i>Mineralogiset ja rakenteelliset ominaisuudet, kosteustilaherkkyys</i>
<i>Ajomukavuus</i>	<i>Hyvä päällysrakenteen kantavuus</i>	<i>Maksimiraekoko, rakeisuuskäyrän muoto ja kerrospaksuus</i>
<i>Kuormituskestävyys</i>	<i>Pinnan koossapysyvyys liikenteen kuormituksessa</i>	<i>Hienoainespitoisuus ja hienoaineksen mineralogiset ominaisuudet</i>
	<i>Muokattavuus</i>	<i>Muokattavan kerroksen paksuus</i>
<i>Pinnan hoito</i>	<i>Uudelleen sitoutuvuus</i>	<i>Maksimiraekoko ja rakeisuuskäyrän muoto, kosteustilaherkkyys</i>
	<i>Pieni pölynsidontamateriaalin käyttötarve</i>	<i>Hienoainespitoisuus ja hienoaineksen ominaisuudet, rakeisuuskäyrän muoto</i>
	<i>Vähäinen pintakelirikkoherkkyys</i>	<i>Vedensitomiskyky, mineralogiset ominaisuudet, paksuus</i>

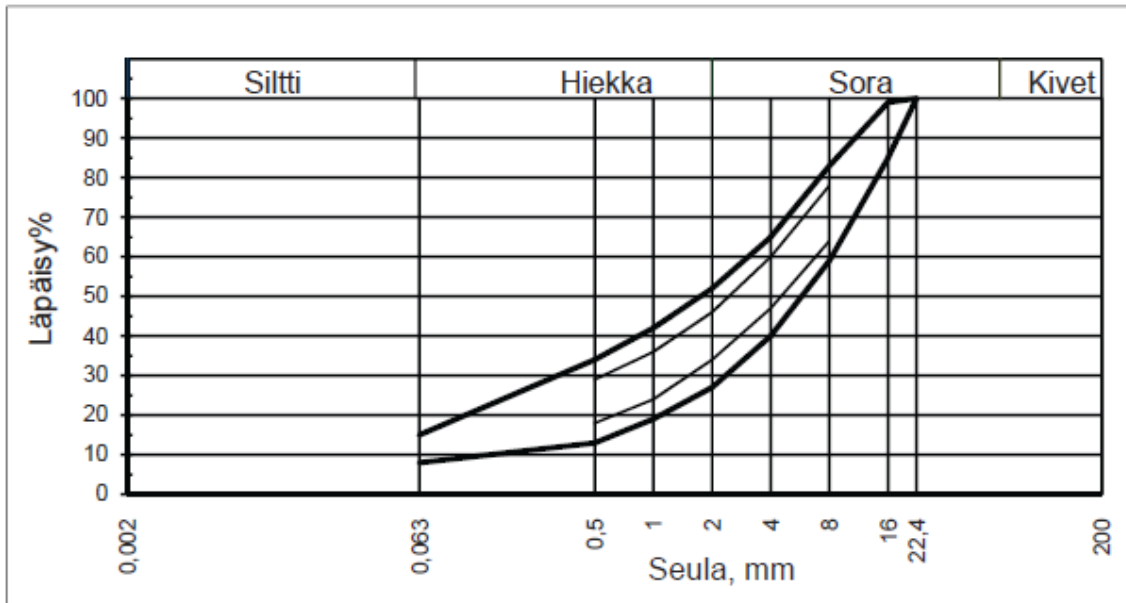
Kulutuskerrosmateriaaleja tutkittaessa on todettu, että materiaalien ominaisuudet muuttuvat liikenteen vaikutuksesta. Eniten kiviaineksen hienonemista tapahtuu ensimmäisen kesän aikana ja hienoainespitoisuus lisääntyy ensimmäisten 1–2 vuoden aikana. Tämän jälkeen hienoaineksen suhteellinen osuus yleensä laskee pölyämisen vaikutuksesta. Hiekan suhteellinen osuus lisääntyy jopa 3–17 %. Lisäykseen vaikuttaa hieman hiekan käyttö liukkaudentorjunnassa. (4, s. 25.)

Liikenneturvallisuus, ajomukavuus, tierakenteen kuormituskestävyys ja pintakunnon vaatimukset määrittelevät soratien päällysteenä käytettävän kulutuskerroksen ominaisuuksia. Kulutuskerroksen materiaalina käytetään kallio-, moreeni- tai soramurskettä, jonka maksimiraekoko on 16 tai 11 mm.

Yleisimmin rakentamattomilla sorateilla käytetään 16 mm:n mursketta parantamaan kantavuutta ja rakennetuilla sorateilla 11 mm:n mursketta. Tien rakenteesta ja pohjamaasta riippuen kulutuskerroksen paksuus on 5–10 cm. Kulutuskerrosmursketta käytetään keskimäärin 150–250 tonnia kilometrille kertalisäyksenä 3–5 vuoden lisäskierrolla. Materiaalin hävikillä on siis suuri taloudellinen merkitys sorateiden kunnossapidossa. (4, s. 17, 24, 25.)

Pölynsidontaa tarvitaan tien pinnan ollessa kuivimmillaan, jolloin hienoaineksen sitova vaikutus pyrkii häviämään veden aiheuttaman rakeiden välisen tartuntavoiman vähetessä. Sään ja liikenteen nostattamasta pölystä suurin osa eli noin 70 % on rakeisuudeltaan karkeampaa kuin 0,053 mm. Kulutuskerroksen hienoainespitoisuuden laskiessa kulutuskerroksesta tulee irtonainen ja siitä seuraa kuoppia, urautumista ja kulutuskerrosaineksen sinkoutumista luiskiin ja pientareelle. Tämä aiheuttaa lisääntyneitä kustannuksia tienpitäjälle. (7, s. 22.)

Kulutuskerrosten eri lajitteiden pakkautuminen toisiinsa nähden vaikuttaa kulutuskerrosaineksen muodonmuutoskestävyyteen ja koossapysyvyyteen. Pakkautumisominaisuuksiin voidaan vaikuttaa kulutuskerroksen rakeisuuskäyrän muodolla ja hienoaineksen määrällä, jolloin raekoon 0,063 mm seulan läpäisyprosentin tulisi olla 8–15 %. (4, s. 26–27.) (Kuva 2.)



0/16 murskeen ohjeseulojen läpäisyprosentit				
Keskiarvot			Yksittäiset tulokset	
Sisemmät rakeisuuskäyrät			Uloimmat rakeisuuskäyrät	
Seulat mm	Alaraja	Yläraja	Alaraja	Yläraja
22,4			100	100
16			85	99
8	64	78	59	83
4	47	60	40	65
2	34	46	27	52
1	24	36	19	42
0,5	18	29	13	34
0,063			8	15

KUVA 2. Liikenneviraston ohjeistus soratien kulutuskerrosmurskeen 0/16 mm rakeisuusvaatimuksesta (4, s. 26)

2.3 Soratieluokat ja kuntovaatimukset

Liikenneturvallisuus, tien kuormituskestävyys ja ajomukavuus asettavat laatuvaatimuksia sorateille (4, s. 25). Suomessa soratiet jaetaan kolmeen luokkaan liikennemäärien mukaan, mutta yksittäistä tietä luokiteltaessa otetaan huomioon asiakastarpeet ja tien merkitys suhteessa muihin vähäliikenteisiin teihin. Myös tien kunnolle, kuten pölyävyydelle, asetetaan rajoituksia tien luokituksella. Luokitus tehdään liittymäväleittäin ja luokat voivat muuttua maankäytön tai tien verkollisen aseman muuttuessa, vaikka liikennemäärät pysyisivät rajojen sisällä. (8, s. 23.) (Taulukko 2.)

TAULUKKO 2. Soratieluokat ja luokitusperusteet (8, s. 23)

Soratie- luokka	Sora- tiestö	Perus- luokitus	Muut perusteet	
			Luokan nosto	Luokan lasku
I Vilkkat	n. 10 %	KVL > 200		- lyhyt osuus yhdistetään luokan 2 tiehen
II Perus- soratiet	n. 70 %	KVL 50-200	<ul style="list-style-type: none"> • huomioidaan asiakastarpeet • merkittävä verkollinen asema • merkittävää maankäyttöä tien välittömässä läheisyydessä • on osa pitkää yhteysväliä • KKVL > 250 	<ul style="list-style-type: none"> • pistotie, jolla ei tarvitse ajaa pitkiä matkoja • ei maankäyttöä tien välittömässä läheisyydessä
III Vähä- liikenteiset	n. 20 %	KVL < 50	<ul style="list-style-type: none"> • huomioidaan asiakastarpeet • merkittävä verkollinen asema • maankäyttöä tien välittömässä läheisyydessä 	

Soratieluokituksen I luokan tie on vilkasliikenteinen soratie, jossa kulkee vähintään 200 ajoneuvoa vuorokaudessa. I luokan tien välittömässä läheisyydessä on merkittävää maankäyttöä, sillä on merkittävä tieverkollinen asema, tiellä olevan liikenteen kulku on turvattava ympäri vuoden tai liikennemäärä lisääntyy merkittävästi kesäaikana. Seututiet kuuluvat pääsääntöisesti luokkaan I. (8, s. 24.)

Soratieluokassa II ovat perussoratiet, joissa kulkee 50–200 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tähän luokkaan kuuluu suurin osa sorateistä. Soratieluokassa III ovat vähäliikenteiset soratiet, joissa kulkee alle 50 ajoneuvoa vuorokaudessa. Tähän luokkaan kuuluvat yleensä lyhyet pistotiet. (8, s. 24.)

Sorateiden pintakuntovaatimukset muodostuvat tien pinnan tasaisuuden, kiinteyden ja pölyävyyden mukaan (taulukko 3). Pintakunnon kuvaamisessa on käytössä viisi eri kuntoarvoluokkaa. Arvostelu tapahtuu silmämääräisesti ja jokainen laatuksiteeri arvostellaan erikseen. (4, s. 63.)

TAULUKKO 3. Sorateiden pintakunnon laatuvaatimukset (4, s. 63)

Soratiin pintakunton vaatimukset (kuntoarvo, TIEH 2200055-v-08)			
Soratieluokka	Tasaisuus	Kiinteys	Pölyävyys
I	Vähintään 3	Vähintään 3	Vähintään 3 100 m lähempänä asutusta ja erityiskohteita 4
II	Pääosin vähintään 3 soratiella tai sen 1 km osuudella kuntoarvoa 2 enintään 10 %	Pääosin vähintään 3 soratiella tai sen 1 km osuudella kuntoarvoa 2 enintään 10 %	Vähintään 3 100 m lähempänä asutusta ja erityiskohteita 4
III	Pääosin vähintään 3 soratiella tai sen 1 km osuudella kuntoarvoa 2 enintään 20 %	Pääosin vähintään 3 soratiella tai sen 1 km osuudella kuntoarvoa 2 enintään 20 %	Vähintään 2 100 m lähempänä asutusta ja erityiskohteita 3
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Kuntoarvoa 1 ei saa esiintyä missään soratieluokassa. ▪ Tasaisuuden kuntoarvoa 2 ei saa olla yhtenäisenä jaksona yli 20 m luokissa II ja III. ▪ Soratiin pinnalla olevan kuopan syvyys ei saa olla yli 7 cm. ▪ Soratiin pinnalla ei saa olla ajoneuvon rikkovia teräviä heittoja tai maakiviä. ▪ Soratiin ja päällystetyn tien rajakohta on pidettävä tasaisena. ▪ Soratiin pinnalla ei saa olla yli 3 cm irtokiviä. ▪ Sivukaltevuuden on oltava $4\% \pm 1\%$ ja kaarteissa yksipuolisen max. 7 %. ▪ Yli 3 cm korkeat ja muut liikennettä haittaavat maakivet on poistettava tasaustyön yhteydessä tai viimeistään 1 vk kuluessa. ▪ Kiinteyden vaatimukset on täytettävä I luokassa 1 vk, II luokassa 2 vk ja III luokassa 3 vk kuluttua sorakulutuskerroksen tasaus- ja muokkaustoimenpiteistä. ▪ Pölyävyyden erityiskohteita ovat vihannes- ja marjaviljelmät, koulut ja laitokset. 			

Arvosteltavia laatukriteerejä ovat tien pölyävyys, pinnan tasaisuus ja kiinteys sekä poikkileikkauksen osalta sivukaltevuus (9, s. 1). Asteikossa kuntoarvo 1 tarkoittaa kelvotonta ja kuntoarvo 5 erinomaista. Soratieluokkien mukaan soratiin pintakunnolle on asetettu vaatimuksia, joita tienpitäjän tulee noudattaa. (4, s. 63.)

Laskemalla tielle palvelutasoindeksi (kaava 1), saadaan tielle kuntoarvoluokka, jossa yhdistetään pölyävyyden, pinnan tasaisuuden ja kiinteyden arvot yhdeksi kuntoarvoluvuksi (8, s. 37).

Palvelutasoindeksi lasketaan kaavalla 1 (8, s. 37).

$$0,65 * \text{tasaisuus} + 0,25 * \text{kiinteys} + 0,1 * \text{pölyävyys}$$

KAAVA 1

Heikointa kuntoarvoa 1 ei saa esiintyä missään soratieluokassa (kuva 3). Minimiarvo on kuntoarvo 2 ja se hyväksytään soratieluokassa III. Taulukon paras arvo on kuntoarvo 5. Tienpitäjän tulee pyrkiä parhaaseen kuntoarvioon, mutta sitä ei kuitenkaan vaadita edes korkeimmassa soratieluokassa I. (4, s. 63.)



KUVA 3. Sorateiden pölyävyyden kuntoarvo 1 (9, s. 18)

Kuntoarvon 1 tie pölyää runsaasti ja haittaa merkittävästi näkyvyyttä. Pöly leviää erittäin paljon tien ympäristöön ja aiheuttaa huomattavaa haittaa tien varren asutukselle ja viljelyksille. Kuntoarvon 2 tie pölyää kohtalaisesti ja haittaa lievästi näkyvyyttä. Pöly leviää melko paljon tien ympäristöön ja haittaa tien varren asutusta ja viljelyksiä. Kuntoarvon 3 tie pölyää jonkin verran ja pöly ei leviä pientareita kauemmas. Kuntoarvon 4 tiellä on pientä pölyämistä renkaiden kohdalla. Kuntoarvon 5 tiellä havaittavaa pölyämistä ei ole (kuva 4). (4, s. 64.)



KUVA 4. Sorateiden pölyävyyden kuntoarvo 5 (9, s. 20)

3 SORATEIDEN KESÄNAIKAINEN PÖLYNSIDONTA

Sorateiden pölyämistä tapahtuu kesäisin, kun ajoneuvojen renkaiden iskut ja liikenteen ilmavirta irrottavat hienoainesta auringon kuivattamasta tien pinnasta. Hienoaines nousee pölynä ilmaan ja heikentää liikenneturvallisuutta, likaa tien lähiympäristön rakennuksia, kasvillisuutta ja viljelyksiä sekä heikentää tien varrella asuvien viihtyvyyttä ja terveellisyttä. Soratien pinnan muutokset tapahtuvat yleensä nopeasti, joten oikea-aikainen pölynsidonta edesauttaa tien hyvän pintakunnon ylläpitämistä. (4, s. 14, 17.)

Kevätpölynsidonta tehdään keväällä heti pintakelirikon loputtua pintasuolauksena tai sekoitussuolauksena. Runkokelirikkoisilla teillä pölynsidonta voidaan tehdä kelirikkovaiheen päätyttyä. Sekoitussuolauksessa suola saadaan sekoittumaan koko kulutuskerrokseen tien ollessa tarpeeksi kostea ja kuohkea muokkauksen jälkeen. Sekoitussuolausta käytettäessä kulutuskerroksesta saadaan homogeenisempi ja kosteutta pidättävämpi verrattuna pintasuolaukseen. (4, s. 41.) Pintasuolauksessa suola levitetään kostealle ja tasoitetulle tienpinnalle eikä sekoiteta kulutuskerrokseen (7, s. 20).

3.1 Pölynsidonnan odotukset

Pölynsidonnan tavoitteena on saada soratien pinnasta tiivis ja pölyämätön. Pölyämättömyys parantaa liikenneturvallisuutta sekä nostaa soratien varrella asumisen viihtyvyyttä ja terveellisyttä. Lisäksi tienvarren rakennukset ja viljelykset pysyvät puhtaampina. Pölyämisen vähennyttyä lisäpölynsidonnan ja tasaustyön tarve vähenee sekä materiaalihävikki pienenee. (4, s. 17.)

Soratiellä aiheutuu materiaalihävikkiä, kun tien kulutuskerroksessa oleva hienoaines irtoaa karkeasta kiviaineksesta. Karkea kiviaines kulkeutuu pientareille, ojiin ja sekoittuu kulutuskerroksen alapuolisiin rakenteisiin. Irronnut hienoaines nousee pölynä ilmaan sekä kulkeutuu sadevesien mukana tien reunapalteeeseen ja sivuojiin. Hienoainesmäärän muuttuminen vaikuttaa kulutuskerroksen ja tien pinnan ominaisuuksiin ja sitä kautta uuden kulutuskerroksen materiaalin määrään. Materiaalihävikkiä voidaan pienentää valitsemalla kulutuskerrokseen sopivaa kiviainesta ja asianmukaisella, oikea-aikaisella kunnossapidolla. (4, s. 17.)

3.2 Pölynsidonnassa yleisimmin käytettävät materiaalit

Pölynsidonnassa käytetään kalsiumkloridia ja magnesiumkloridia. Pölynsidonnassa on kokeiltu myös monia muita aineita, kuten natrium- ja kalsiumlignosulfonaatteja, tärkkelyksiä, rypsiöljyä ja bitumipohjaisia pölynsidonta-aineita sekä ympäristöllisesti herkillä alueilla kaliumformiaattia. (4, s. 42–43.)

Kalsium- ja magnesiumkloridit ovat hygroskooppisia suoloja, jotka voivat ottaa ilmasta niin paljon kosteutta, että muuttuvat liuosmuotoon. Pölynsidonnassa kalsium- ja magnesiumkloridit ottavat ilmasta kosteutta, pitävät kapillaarivoimien avulla kulutuskerroksen hienoaineshiukkaset paikoillaan ja estävät niiden irtoamisen rakenteesta. Jotta pölynsidonta tapahtuisi odotetusti, tulee kulutuskerroksessa olla riittävästi hienoainesta. Pölynsidontasuoloilla ei ole kulutuskerrosta vahvistavaa vaikutusta. (4, s. 42.)

4 BIOPOLYMEERIT PÖLYNSIDONNASSA

Biopolymeerit ovat helposti muokattavissa olevia, yleisiä ja maailmanlaajuisesti saatavilla olevia metsä- ja maatalouden tuotteita. Pölynsidontaan biomateriaaleista voidaan valita selluloosa- ja tärkkelysjohdannaisia eli polysakkarideja. Suomessa ja maailmalla on tutkittu vain vähän biopolymeerien käyttöä pölynsidonnassa. Käytännön esimerkkejä biopolymeerien käytöstä yhdessä kalsium- ja magnesiumsuolojen kanssa ei löydy maailmalta. (2, s. 10.)

Biopolymeerejä voidaan käyttää yksin tai yhdessä hygroskooppisuuden perustuvien aineiden kanssa. Biopolymeerien avulla on tarkoitus luoda hitaasti biohajoava ja vähän vettä läpäisevä polymeerikerros tienpintaan, mikä estäisi tienpinnan pölyämisen ja suojaisi tien kulutuskerrosta. Biopolymeerejä sisältävä pölynsidontaratkaisu voisi auttaa vähentämään kalsiumkloridin käyttöä pölynsidonnassa ja luonnonvarojen käyttöä sorastuksissa. (2, s. 9.) Tiesuolan käyttömääriä on pyritty vähentämään ja etsimään vaihtoehtoja pölynsidontaan 1990-luvun jälkeen, jolloin alettiin tiedostaa riski kloridien käytöstä pohjavesille (10, s. 18).

4.1 Aiemmat laboratoriotutkimukset

Biopolymeerien käyttöä sorateiden pölynsidonnassa on tutkittu aiemmin Oulun yliopistossa vuonna 2015, jolloin määriteltiin sopivia biopolymeerikoostumuksia ja annostuksia kesän 2015 kenttäkokeisiin. Kokeet suoritettiin Destian alueurakassa Lieksassa ja Lapualla ja kesällä 2016 Lapualla ja YIT:n alueurakassa Hattulassa. Tutkimuksissa päädyttiin käyttämään tärkkelyspohjaisia biopolymeerejä ja yhdelle tieosuudelle karboksymetyyliselluloosaa. (2, s. 11.)

Sorateiden pölynsidonta-aineiden ympäristövaikutuksia on tutkittu aiemmin Tampereen teknillisessä yliopistossa. Tutkimuksen on tehnyt Outi Kaarlela vuonna 2003. Tutkimuksen kokeellisessa osassa tutkittiin pölynsidonta-aineiden kulkeutumista tien kulutuskerroksesta ympäristöön sadetus- ja kolonnikokeiden aikana. Tutkittavia pölynsidonta-aineita olivat bitumiemulsio, kalsiumkloridi, liginosulfonaatti ja ksylitoliliemi. (1, s. 5.)

Tampereen teknillisessä yliopistossa tehdyissä sadetuskokeissa käytettiin suhteitettua kalliomursketta ja se tiivistettiin Proctor-vasaralla vastaamaan todellista soratien tiiveyttä 2 300 kg/m³. Kokeessa käytettiin 24 cm korkeita ämpäreitä, joiden pohjaan oli porattu halkaisijaltaan 5 mm:n ko-

koisia reikiä. Ämpäriin pohjalle asetettiin hienoainesseula. Näyte koostui pölynsidonta-ainetta sisältävästä kerroksesta ja pelkistä kiviainesta sisältävästä kerroksesta. Tiivistyksen jälkeen näytteen annettiin kuivua kaksi vuorokautta ennen sadetuksen aloittamista. Sadetus tehtiin tislattulla vedellä käyttämällä ruiskupulloa, johon pumpattiin painetta käsin. Ämpäreiden päälle asennettiin 2 cm:n muovireunus ehkäisemään veden valumista ämpäriin laitoja pitkin. (1, s. 56–58.)

Sadetetun veden määräksi kokeessa valittiin heinäkuun keskimääräistä sademäärää vastaava määrä 5 ml/vrk, jolloin päivittäiseksi sadetusmääräksi saatiin pölynsidontakerroksen pinta-ala huomioiden noin 250 ml. Yhteensä sadetukseen käytettiin noin 3 500 ml tislattua vettä, poikkeuksena lignosulfonaattia sisältävä näyte, jota sadetettiin yhteensä 4 160 ml. Sadetus tehtiin 2–3 päivän välein ja kokonaiskesto oli 30 vuorokautta. (1, s. 58.)

Sadetus tehtiin aamuisin neljässä erässä kahden tunnin aikana, ja suotautunut vesi kerättiin ilta-päivällä. Sadetusta jaksotettiin tehtäväksi 2–3 päivän välein, jotta näyte saisi kuivahtaa ja pölynsidonta-aineet voisivat kulkeutua takaisin pintakerrosta kohti, jolloin aineiden käyttöikä voisi lisääntyä. Sadetuskokeella oli tarkoitus mallintaa todellisia tieolosuhteita mahdollisimman hyvin. (1, s. 58.)

Sadetetusta vedestä analysoitiin pH, sähkönjohtavuus ja TOC sekä lisäksi kloridi kalsiumkloridia ja ksylitolilientä sisältävistä näytteistä. Pölynsidonta-aineiden jäännöspitoisuutta pölynsidontakerroksessa kalsiumkloridia ja ksylitolilientä sisältävien näytteiden osalta mitattiin sadetuskokeen päätyttyä ravistelutestillä. Yhteenvedona todettiin, että sadetuskokeissa kalsiumkloridia sisältävän pölynsidontakerroksen kloridipitoisuus ja ksylitolilientä sisältävän pölynsidontakerroksen TOC-pitoisuus olivat laskeneet noin 10 % alkuperäisestä arvosta. Todettiin myös, että laboratorio-olosuhteissa on haastava simuloida monimutkaisia tieolosuhteita, joten lisäkokeiden tarve niin laboratorioissa kuin kentällä on tarpeen. (1, s. 58, 71.)

4.2 Aiemmat kenttäkokeet

Kesällä 2015 toteutettiin Destian alueurakassa Lieksassa ja Lapualla ja kesällä 2016 toistamiseen Lapualla ja lisäksi Hattulassa YIT:n alueurakassa kenttäkokeita biopolymeerien toimivuudesta so-rateiden pölynsidonnessa. Tutkimus oli jatkoa Hämeenkyrössä aiemmin suoritetuille kenttäkokeille ja tähän testaukseen sopivat tuotekoostumukset oltiin kehitelty yhteistyössä Oulun yliopiston kanssa. (2, s. 3, 11.)

Kesällä 2015 Lieksassa ja Lapualla testauksessa oli erittäin vaativat kohteet, joiden pölynsidonta joudutaan suorittamaan yleensä useamman kerran kesäkauden aikana. Näissä kokeissa biopolymeerit levitettiin nestemäisessä muodossa tien pintaan noin kuukausi kevätmuokkauksen jälkeen kesäkuun alussa. Kesän 2015 poikkeuksellinen sateisuus vaikutti osaltaan tulosten arviointiin ja kokeiden tulokset olivat vaihtelevia, jolloin päädyttiin tekemään uusia kenttäkokeita seuraavan kesänä, joissa biopolymeerikäsittely tehtäisiin kevätmuokkauksen yhteydessä. (2, s. 3, 11.)

Kesän 2016 kenttäkokeissa Lapualla ja Hattulassa biopolymeerikäsittely tehtiin nestemäisillä ja kiinteillä biopolymeereillä kevätmuokkauksen yhteydessä ja lisäksi tien pinnalle levitettiin käsittelyn jälkeen kalsiumkloridiliuosta kosteuden ylläpitämiseksi ja tienpinnan kiinteyden muodostamiseksi. Ennen käsittelyä tien pinta Lapualla avattiin tiehöylällä ja Hattulassa karhennettiin kevyesti. (2, s. 3, 11.)

Hattulan koe jouduttiin keskeyttämään noin kuukauden kuluttua ja tie käsittelemään kalsiumkloridilla, koska biopolymeerikäsittelyllä ei ollut riittävä vaikutus pölynsidontaan. Lapuan kokeissa verrattiin tien pintaa kalsiumkloridilla käsiteltyihin sorateiden pintaan ja havaittiin, että biopolymeerillä käsitelty soratien pinta on irtonaisempi, mutta siihen ei ilmestynyt kuoppia pitkienkään sadejaksojen jälkeen. Kaiken kaikkiaan todettiin, että tehdyillä biopolymeerikäsittelyillä ei saavutettu oleellista hyötyä ja toivottua pitkäaikaisvaikutusta verrattuna kalsiumkloridikäsittelyyn, joten pitkäaikaisvaikutusten ja kulutuskestävyyden lisääminen vaativat lisää tutkimusta ja tuotekehittelyä. (2, s. 3, 11.)

5 TESTATTAVAT MAA-AINEKSET

Pölyävyyskokeissa, puristuslujuuden määrittämisessä, sadetuskokeissa ja näytteen pinnan mikroskopoinnissa käytettiin käsittelemätöntä maa-ainesta. Aiemmin DustBinderillä käsitellystä maa-aineksesta tutkittiin, miten biopolymeeri vaikuttaa maa-aineksen ominaisuuksiin kahden vuoden ulkona kasassa säilyttämisen jälkeen. Käsittelemättömälle maa-ainekselle tehtiin testauksia, joissa tutkittiin eri yhdistelmien vaikutusta maa-aineksen ominaisuuksiin.

Pölyävyyskokeissa näytteen koko oli 400 g maa-ainesta ja 60 ml nestettä, sadetuksessa 470 g maa-ainesta ja 70 ml nestettä ja puristuslujuuden testauksessa 1 850 g maa-ainesta ja 185 ml nestettä. Pölyävyyskokeisiin tehtiin näytteitä yhteensä 14 kappaletta, joista 12 oli aiemmin käsittelemättömästä maa-aineksesta, 1 kappale aiemmin DustBinderillä käsitellystä maa-aineksesta ja 1 kappale 50–50 suhteessa aiemmin käsiteltyä ja käsittelemätöntä maa-ainesta. Sadetukseen tehtiin näytteitä 12 kappaletta, joista käsittelemättömästä maa-aineksesta 10 kappaletta ja aiemmin DustBinderillä käsitellystä maa-aineksesta 2 kappaletta.

Puristuslujuutta tutkittiin 7 vuorokauden ja 28 vuorokauden ikäisistä koekappaleista. 7 vuorokauden ikäisinä testattavia koekappaleita tehtiin 10 kappaletta, joista 7 kappaletta oli aiemmin käsittelemättömästä maa-aineksesta, 2 aiemmin DustBinderillä käsitellystä maa-aineksesta ja 1 kappale 50–50 suhteessa aiemmin käsiteltyä ja käsittelemätöntä maa-ainesta. 28 vuorokauden iässä testattavia koekappaleita tehtiin 5 kappaletta, joista myös 2 kappaletta oli aiemmin DustBinderillä käsitellystä maa-aineksesta ja 1 kappale 50–50 suhteessa aiemmin käsiteltyä ja käsittelemätöntä maa-ainesta.

5.1 Biopolymeerillä aiemmin käsitelty maa-aines

Aiemmin käsiteltyyn näyte-erään oli sekoitettu DustBinderä murskaamalla keväällä 2015 ja nyt tutkittiin, miten DustBinder vaikuttaa maa-aineksen ominaisuuksiin kahden vuoden säilytyksen jälkeen. Näytettä oli säilytetty ulkona kasassa, josta sitä kerättiin kolmeen sankoon lapiolla ja toimitettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriolle. Laboratoriolla näyte säilytettiin sankoissa kannet päällä näytteiden sekoitukseen ja kuivaamiseen saakka. (11.)

Näyte-erästä määriteltiin hienoainespitoisuus, rakeisuus ja vesipitoisuus. Humuspitoisuuden määrittämistä ei tehty, koska DustBinder on orgaaninen aine, jolloin määrittäminen esimerkiksi polttomenetelmällä ei olisi onnistunut DustBinderin palaessa muun orgaanisen aineen mukana.

Hienoainespitoisuus ja rakeisuus saatiin seulontamenetelmällä (14). Jokaisesta kolmesta sankosta otettiin sama määrä näytettä ja ne sekoitettiin keskenään. Tämän jälkeen näyte punnittiin, pestiin ja kuivattiin uunissa. Kuivaamisen jälkeen näyte punnittiin, kaadettiin seulasarjan ylimmälle tasolle ja ravisteltiin koneellisesti 15 minuuttia. Seulonnan jälkeen jokaiselle seulalle jäänyt materiaalin määrä punnittiin yksitellen ja painot merkattiin ylös. Tuloksista saatiin määriteltyä rakeisuuskäyrä ja hienoaineksen määrä (liite 1).

Näytteen kosteuspitoisuus saatiin kuivaamalla näytettä tuulettuvassa lämpökaapissa ja vertaamalla kuivatun näytteen painoa alkuperäiseen kostean näytteen painoon. Jokaisesta kolmesta sankosta otettiin omaan astiaansa näytettä ja painot kirjattiin ylös. Tämän jälkeen niitä kuivattiin lämpökaapissa 110 ± 5 °C:n lämpötilassa, kunnes massa oli kauttaaltaan kuivaa. Tämän jälkeen näytteet punnittiin, painot kirjattiin ylös ja verrattiin kuivaamattoman näytteen painoon. Keskimääräiseksi kosteuspitoisuudeksi näytteelle saatiin noin 5 %.

Tutkimussuunnitelman mukaisesti aiemmin DustBinderillä käsiteltyyn maa-ainekseen ei sekoitettu testausvaiheessa muita materiaaleja. Näytteet rakennettiin ottamalla jokaisesta kolmesta sankosta sama määrä näytettä ja sekoittamalla ne keskenään tasalaatuisen näytteen saamiseksi. Näytteet punnittiin siinä kosteudessa, missä ne oli toimitettu laboratoriolle, koska kuivauksen arveltiin vaikuttavan DustBinderin ominaisuuksiin.

5.2 Käsittelemättömät uudet maa-ainekset

Käsittelemätöntä maa-ainesta toimitettiin laboratorioon kahdessa erässä. Näytteet oli kerätty Des-tian soramurskaamolta Itä-Suomesta marraskuussa 2017 (11). Näytteet kuivattiin tuulettuvassa lämpökaapissa 110 ± 5 °C:n lämpötilassa, kaadettiin seulasarjan ylimmälle tasolle ja ravisteltiin koneellisesti 15 minuuttia. Tämän jälkeen jokaiselle seulalle jäänyt näyte kaadettiin omaan astiaansa.

Seulotusta näytteestä punnittiin näytteet Liikenneviraston ohjeistuksen mukaisen rakeisuuskäyrän perusteella laadittujen reseptien mukaan (ks. kuva 2). Sadetukseen käytettiin 470 g näytettä, pölytykseen 400 g ja puristuskappaleisiin 1 850 g. Käytettäväksi hienoainespitoisuudeksi määriteltiin

10 % ja kosteuspitoisuudeksi 15 %. Näytteisiin tarvittavan maa-aineksen määrä saatiin arvioimalla, testaamalla ja vertaamalla näytettä soramurskeella tehtyihin harjoitusnäytteisiin. Hienoainepitoisuus määriteltiin arvioimalla soratiellä olevan hienoaineksen määrä ja kosteudeksi arvioitiin sora-tien kevään vesimäärä. Arvioinnissa oli apuna Oiva Huuskonen (12).

6 PÖLYÄVYYSKOKEEN, PURISTUSLUJUUDEN MÄÄRITTÄMISEN, SADE- TUSKOKEEN JA NÄYTTEEN PINNAN MIKROSKOPOINNIN TESTAUSME- NETELMÄT

Pölyävyyskoe, puristuslujuuden määrittäminen, sadetuskoe ja näytteen pinnan mikroskopiointi määriteltiin tutkimusmenetelmiksi haluttujen tietojen perusteella. Testausten tarkoituksena oli saada tietoa biopolymeerin käytöstä sorateiden pölynsidonnassa ja tien kantavuuden parantamisesta kelirikko-kohteissa. Testattavat näytteet rakennettiin vastaamaan soratien kulutuskerrosta Liikenneviraston ohjeistuksen mukaisesti (4).

Testaukset tehtiin käsittelemättömästä, puhtaasta näytteestä, joka kuivattiin ja seulottiin sekä aiemmin DustBinderillä käsitellystä näytteestä, jonka vesipitoisuus oli noin 5 %. Aiemmin käsiteltyä näytettä ei kuivattu ennen testauksia, koska sen arveltiin vaikuttavan siinä olevan DustBinderin ominaisuuksiin ja juuri DustBinderin vaikutusta aiemmin käsiteltyyn maa-ainekseen haluttiin tutkia. Aiemmin käsitellyn maa-aineksen rakeisuuskäyrä (liite 1) määriteltiin pesuseulonnalla (14).

6.1 Testausten tavoitteet

Biopolymeerin käyttö sorateiden pölynsidonnassa voi olla ympäristöä vähemmän kuormittavaa ja edullisempaa kalsiumkloridiin ja magnesiumkloridiin verrattuna. Biopolymeeri vaikuttaa sitomalla kulutuskerroksen hienoainesta, jolloin sadeveden tunkeutuminen kulutuskerrokseen vähenee, hienoaines pysyy paremmin paikallaan ja kloridin liukoisuus ympäristöön vähenee. Biopolymeerikäsitteilyllä tavoitellaan vettä kestävä, joustava ja hitaasti biohajoava kerrosta, joka ei aiheuta kemiallista liukautta tien pintaan. (2, s. 10.)

Testausten tavoitteena oli tutkia laboratorio-olosuhteissa uuden biopolymeerin käyttöominaisuuksia pölynsidonnassa ja kantavuuden parantamisessa kelirikko-kohteissa. Testausten perusteella päätettiin jatkotutkimuksista kenttäolosuhteissa ja tuotekehittelystä laboratorio-olosuhteissa.

6.2 Testauksissa tarkasteltavat ominaisuudet

Testauksissa haluttiin tarkastella DustBinderin vaikutusta pölyävyyteen, kantavuuden muodostumiseen ja biopolymeerikalvon muodostumiseen näytteen pinnalle. Käytettäviä menetelmiä olivat

pölyävyyskokeet, puristuslujuuden määrittäminen, sadetuskokeet ja näytteen pinnan mikroskoopitarkastelu. Testauksissa mitattiin hienoaineksen määrän vähenemistä pölyämällä, kantavuuden kasvua ja biopolymeerikalvon muodostumista näytteen pinnalle.

Pölyävyyskokeisiin, sadetuskokeisiin ja mikroskoopitarkasteluun ei ole standardimenetelmiä, joten niihin oli kehitettävä omat tutkimusmenetelmät. Tarvittaviin laitteisiin ja menetelmiin saatiin ohjeistusta Olli Mäentaustalta Oulun yliopistolla aiemmin tehdyistä kokeista (11). Muut testaukset tehtiin voimassa olevien standardien ja menetelmien mukaan.

6.2.1 Mikroskopointi

Mikroskopoinnille ei ole standardoitua koemenetelmää. Mikroskopoinnissa tutkitaan näytteen pinnan muutoksia ja eroja muihin näytteisiin silmämääräisesti verrattuna mikroskoopin avulla. Tarkastelussa tarvittavia välineitä ovat mikroskooppi, mikroskooppiin sopiva kamera, mitta-asteikko ja muistiinpanovälineet. (11.)

Havainnot dokumentoidaan kuvaamalla näyte mikroskoopin läpi. Tärkeää on tehdä mikroskopointi samalla tavalla jokaisen näytteen kohdalla, jotta kuvat ja havainnot ovat vertailtavissa keskenään. Mikroskoopin asetusten tulee olla samalla tavalla ja kuviin lisättävä mitta-asteikko on skaalattava kameran polttovälin mukaan vastaamaan todellista mitta-asteikkoa. Kuvauksen kellonaika ja kuvattavan näytteen tiedot merkataan ylös kuvien käsittelyä ja identifiointia varten. (11.)

Sadetuskokeissa mikroskopointi tehdään tutkimalla näytteen pintaa ennen ensimmäistä sadetusta, joka toinen päivä ennen veden lisäämistä ja kaksi vuorokautta sadetuksen päätyttyä. Tarkastelussa arvioidaan, onko hienoaines sitoutunut näytteen pinnalle vai painunut veden mukana näytteeseen ja onko näytteen pinnalle muodostunut liimamaista biopolymeerikalvoa. (11.)

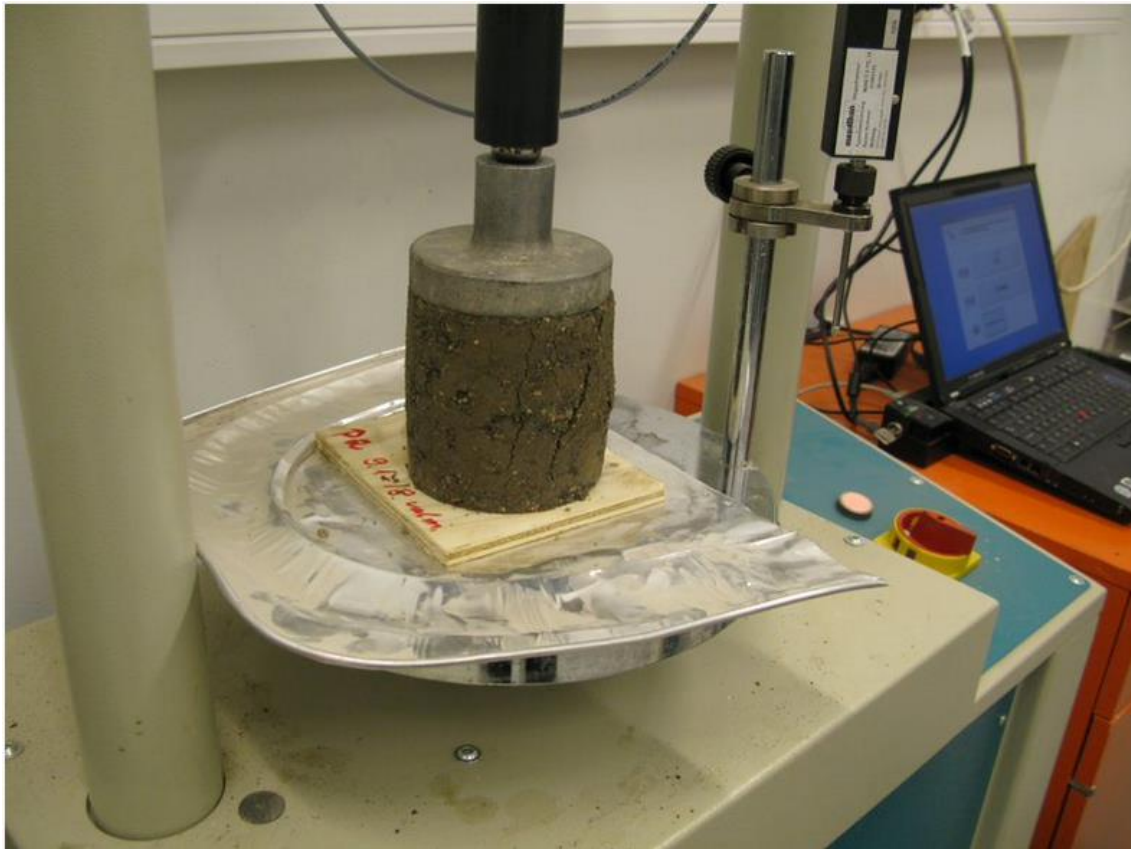
Pölytettyjen näytteiden tarkastelussa tutkitaan hienoaineksen kiinnittymistä suurempirakeisten osien pintaan ja rakeiden pinnan muotoja. Tarkastelu tehdään pölytyksen jälkeen kuivalle näytteelle, jolloin osa hienoaineesta on jo lähtenyt näytteestä ja näyte on irtonaista. (11.)

6.2.2 Puristuslujuus

Puristuslujuuden testauksessa käytetään standardia CEN ISO/TS 17892-7:fi Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan laboratoriokeet. Osa 7: Hienorakeisen maan yksiakiaalinen puristuskoe. Puristuslujuus saadaan tutkimalla suurin pystysuora jännitys, jonka sivuuton näyte voi saavuttaa, tai 15 %:n pystymuodonmuutosta vastaava pystysuora jännitys. Se tulos otetaan huomioon, kumpi testauksessa tapahtuu ensin. (13.)

Testauksessa tarvittavia välineitä ovat kuormituslevyt, kuormituskehä, puristin, koekappaleeseen kohdistuvan voiman mittaava laite sekä koekappaleen akselin suuntaisen puristuman mittaava laite. Lisäksi tarvitaan mitta, vaaka, laskin ja muistiinpanovälineet. Puristuslujuutta testataan lieriön muotoisella koekappaleella, jonka korkeus ja halkaisija ovat tiivistämisen jälkeen noin 100 mm. Koekappale valmistetaan punnitsemalla tarvittava määrä näytettä lieriön muotoiseen muottiin, joka asetetaan ICT-laitteeseen ja tiivistetään. Tiivistämisen jälkeen koekappale säilytetään kannellisessa laatikossa, jonka pohjalle on laitettu rimoja ja vettä. Näin estetään kappaleiden kuivuminen. Puristuslujuus voidaan testata 7, 28 ja 91 päivän ikäisillä kappaleilla. (13.)

Puristuslujuuskokeeseen käytetään yleisaineen koestuslaitetta (kuva 5). Ennen testausta koekappale punnitaan ja mitataan korkeus ja halkaisija. Ajonopeus kN/s määritetään koekappaleelle sopivaksi näytteen materiaalin ja koostumuksen mukaan. Koekappale asetetaan laitteeseen ja sitä kuormitetaan niin kauan, kunnes se murtuu ja suurin kuormitusvoima murtumishetkellä kirjataan ylös. Puristuslujuus saadaan jakamalla suurin kuormitusvoima murtumishetkellä kappaleen pinta-alalla. (13.)



KUVA 5. Lieriön muotoisen koekappaleen puristuslujuuden testaus

6.2.3 Maa-aineksen rakeisuuden määrittäminen

Maa-aineksen rakeisuuden määrittelemisessä käytetään standardia SFS-EN 933-1 Kiviainesten geometristen ominaisuuksien testaus. Osa 1: rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Näyte pestään ennen kuivaamista tai näyte voidaan suoraan kuivata ilman pesua. Hienoaineksen erottamiseksi ja liettämiseksi näyte laitetaan astiaan, johon kaadetaan vettä, kunnes näyte peittyy kokonaan. Näytettä sekoitetaan voimakkaasti, minkä jälkeen se kaadetaan seulasarjan päällimmäiselle seulalle. Pesemiseen tulee olla vain siihen käyttöön tarkoitettu seulasarja, joka koostuu aukkokooltaan 0,063 mm:n seulasta, jonka päälle asetetaan joko 1,0 mm:n tai 2,0 mm:n seula. Seula asetetaan niin, että testiseulan läpäisevä liete valuu viemäriin tai astiaan ja pesua jatketaan niin kauan, kunnes 0,063 mm seulan läpäisevä vesi on kirkasta. (14.)

Pesun jälkeen näyte kuivataan tuuletetussa lämpökaapissa lämpötilassa 110 ± 5 °C, minkä jälkeen se punnitaan ja massa merkataan ylös. Kuivattu näyte kaadetaan seulasarjaan, jonka aukkokoot ovat 16,0 mm, 11,2 mm, 8,0 mm, 5,6 mm, 4,0 mm, 2,0 mm, 1,0 mm, 0,5 mm, 0,25 mm, 0,125 mm ja 0,063 mm. Lisäksi seulasarjaan kuuluu kansi ja pohja. Seulasarjaa ravistellaan koneellisesti 15

minuuttia, minkä jälkeen seulat irrotetaan yksitellen alkaen aukkokooltaan suurimmasta. Seulalle jäänyt materiaali punnitaan, massa merkataan ylös ja materiaali kaadetaan erilliseen astiaan. (14.)

Tulosten laskemisessa massat kirjataan erilliselle lomakkeelle ja lasketaan kullekin seulalle jäänyt massa prosentteina alkuperäisestä kuivasta massasta. Saadut prosentit lasketaan yhteen aina aukkokoon 0,063 mm:n seulaan asti. Näytteen aukkokoon 0,063 mm seulan läpäisevän hienoaineksen prosenttimäärä saadaan vähentämällä alkuperäisestä kuivasta painosta 0,063 mm:n seulalle jääneen jäännöksen massa ja lisäämällä siihen pohjalle jääneen massan paino, jakamalla saatu tulos alkuperäisen kuivan massan painolla ja lopuksi kertomalla luvulla 100. Kuivaseulonassa hienoaineksen määrä saadaan kertomalla pohjalle jääneen materiaalin massa luvulla 100 ja jakamalla saatu tulos alkuperäisen kuivan näytteen painolla. Testitulos on luotettava, kun ravistelun ja punnituksen jälkeen seuloille ja pohjalle jääneen materiaalin massojen summa eroaa vähemmän kuin 1 % lähtötilanteen massasta. Pesuseulonassa summaan tulee lisätä pesutappion osuus ja verrata saatua summaa lähtötilanteen massaan. (14.)

6.2.4 Pölyävyys

Pölyävyyden mittaukseen ei ole standardoitua koemenetelmää. Testauksen rakentamiseen saatiin vinkkejä Olli Mäentaustalta Oulun yliopistolla suoritetuista pölyävyyksokeista. Testauksessa tarvittavia välineitä ovat vaaka, sekuntikello, muistiinpanovälineet, astia, jonka pohja peittyy näytteestä, lusikka sekoittamiseen, imuri, paineilmapistooli ja säädettävä painemittari. (11.)

Pölyävyyksokeissa punnitaan seulotusta kiviaineksesta 400 g:n näyte, jonka rakeisuus on määritetty Liikenneviraston ohjeistuksen mukaan (4). Hienoainespitoisuus eli raekooltaan alle 0,063 mm olevan kiviaineksen osuus on 10 % eli 40 g. Näytteeseen lisätään nestettä 60 ml 15 %:n kosteuspitoisuuden saavuttamiseksi sekä muita materiaaleja tutkimussuunnitelman mukaan. Näyte sekoitetaan ja annetaan kuivua sekoitusastiassa ilman kantta ja sekoittamatta kaksi vuorokautta. Sekoitusastia valitaan niin, että näyte peittää astian pohjan. (11.) Tässä käytettiin 10 litran vetoisia sänkojä.

Näytteen kuivuttua kaksi vuorokautta tehdään pölytys. Pölytyksessä näytettä puhalletaan paineilmalla 1,5 baarin voimakkuudella astian ylälaidan tasalta pyörivin liikkein ja pölyynyt osa näytteestä imuroidaan astian yläpuolelle sijoitetulla imurilla (kuva 6). Ennen pölytystä näyte sekoitetaan lusikalla ja punnitaan. Tämän jälkeen näytettä puhalletaan 1 minuutin ajan, punnitaan, puhalletaan 1 minuutin ajan, punnitaan ja sekoitetaan kevyesti, puhalletaan 1 minuutin ajan ja punnitaan. Ennen

loppupunnitusta näyte sekoitetaan kauttaaltaan ja puhalletaan ilman ajan ottamista samalla ravistaen niin kauan, että näyte ei enää silmämääräisesti arvioituna pölyä. Kaiken kaikkiaan näytettä puhalletaan 3 minuutin ajan yhden minuutin sykleissä ja lopuksi ilman ajanottoa niin kauan, kunnes näytteestä ei nouse enää pölyä. (11.)



KUVA 6. Pölyävyysnäytteen puhaltamista paineilmalla

Pölynneen materiaalin määrä prosentteina saadaan miinustamalla alkuperäisestä näytteen painosta pölytetyn näytteen paino ja jakamalla saatu tulos alkuperäisellä painolla, ja lopuksi kertomalla luvulla 100. Loppupunnituksessa ei oteta aikaa, vaan pölyämisen loppuminen arvioidaan silmämääräisesti. Tämän vuoksi keskenään vertailukelpoisia tuloksia ovat kolmen ensimmäisen minuutin aikana saadut tulokset. Loppupunnituksen tuloksia voi käyttää ravisteltaessa irtoavan hienoi-
neksen määrän mittaamiseen, mikä voi vaihdella suuresti eri näytteitä vertaillen. (11.)

6.2.5 Hienoaineksen sitoutuminen ja biopolymeerikalvon muodostuminen

Hienoaineksen sitoutumisen arviointiin ja biopolymeerikalvon muodostumiseen näytteen pinnalle ei ole standardoituja koemenetelmiä. Sadetusjärjestelmän rakentamiseen saatiin vinkkejä Olli Mäentaustalta ja Tampereen teknillisessä yliopistossa suoritetusta sadetuskokeesta. Sadetusjärjestelmä koostuu noin litran vetoisesta muovipullosta, suodatinpaperista ja astiasta, jossa katkaistu pullo pysyy pystyssä ylösalaisin (kuva 7). Lisäksi tarvitaan vaaka, tislattua vettä, kamera, mikroskooppi, muistiinpanovälineet ja johtokyky mittari. Sadetettava tislattun veden määrä tässä testauksessa on 300 ml, joka vastaa heinäkuun keskimääräistä kuukausisadantaa. (1, s. 56–59; 11.)



KUVA 7. Sadetuksessa käytettyä välineistöä

Ensin määritellään tarvittavan näytteen koko mittaamalla pullon pohjan pinta-ala ja korkeus pohjasta 6 cm, joka on keskimääräinen kevätmuokkauksessa käytettävän uuden kulutuskerroksen paksuus. Näin saadaan testaukseen käytettävän näytteen koko 470 g, johon lisätään nestettä 70 millilitraa 15 % kosteuspitoisuuden saavuttamiseksi. Pullo katkaistaan niin, että sadetettavalle vedelle jää tiivistystason yläpuolella 2–3 cm tilaa. Katkaistun pullon pohjalle porataan reikiä, jotta sa-

detettu vesi pääsee virtaamaan näytteen läpi. Varmistetaan, että katkaistu pullonpohja asettuu tiiviisti kaulaosaan pohja korkkia kohden ja että pullo pysyy pystyssä erillisessä pohja-astiassa. Pohja-astia myös varmistaa, että sadetettu vesi pysyy tallessa, jos pullon korkki vuotaa. (11.)

Sadetusastia punnitaan ja lukema kirjataan ylös. Sadetusastian pohjalle asetetaan pohjan koiseksi leikattu suodatinpaperi, jotta hienoaines ei valu sadetetun veden mukana pohja-astiaan. Näyte punnitaan, sekoitetaan ja tiivistetään 6 cm:n korkeuteen sadetusastiaan. Astia ja näyte punnitaan ja annetaan kuivua noin vuorokauden ennen sadetuksen aloittamista. Ennen sadetusta astia ja näyte punnitaan ja näytteen pinnasta otetaan mikroskooppikuva. (11.)

Sadetuksessa käytetään tislattua vettä. Vedellä täytetty pullo tai vastaava astia punnitaan ennen ja jälkeen veden lisäämisen ja lukemat kirjataan ylös. Miinustamalla ennen sadetusta saatu lukema sadetuksen jälkeen saadulla lukemalla saadaan selville sadetettu vesimäärä. Vesi kaadetaan varovasti näytteen pinnalle, jotta hienoaines liikkuisi mahdollisimman vähän näytteen pinnalla. Vettä lisätään joka toinen päivä, kunnes lisätyn veden kokonaismäärä on 300 ml, joka vastaa keskimääräistä heinäkuun sadantaa. Ennen veden lisäämistä otetaan mikroskooppikuvat, näyte punnitaan ja lukema kirjataan muistiin. Viimeiset kuvat näytteen pinnasta otetaan kaksi vuorokautta sadetuksen päätyttyä. (11.)

Johtokyky mitataan näytteen läpäisseestä vedestä joka toinen päivä sadetuksen aloittamisesta ennen veden lisäämistä. Näytteen läpäisevä vesi valuu katkaistun pullon kaulaosaan ja se sekoitetaan kevyesti ennen mittaamista. Mittari asetetaan veteen niin, että anturi on vedenpinnan alapuolella. Mittarista valitaan yksiköksi mS/cm ja tulos kirjataan muistiin. Suotautunutta vettä ei kerätä välillä pois, vaan sadetettu vesi valuu aiemmin suotautuneiden vesien sekaan. (11.) Tässä työssä testausten edetessä johtokykymittaustulosten analysointi päätettiin jättää pois lopullisista tuloksista tulosten hankalan tulkinnan vuoksi.

7 TUTKIMUSTULOKSET

Pölyävyyskokeissa, puristuslujuuden määrittämisessä, sadetuskokeissa ja näytteen pinnan mikroskopoinnissa käytettiin käsittelemätöntä maa-ainesta (Uusi) ja DustBinderillä aiemmin käsiteltyä maa-ainesta (Vanha). Näytteen tunnus muodostuu käytetystä nesteestä ja nesteen määrästä sekä siitä, kuinka monta prosenttia humusta näytteeseen on lisätty. (Taulukot 4–6.) Testaussarjaan suunniteltiin tehtävän kolme rinnakkaisnäytettä, mutta tästä kuitenkin jouduttiin luopumaan hienoaineksen ja karkearakeisen materiaalin vähäisen määrän vuoksi.

TAULUKKO 4. Pölyävyysnäytteiden tunnusten selitykset

Pölyävyys	
Sisältö	Tunnus
Uusi 400 g + vesi 60 ml	VE60
Uusi 400 g + vesi 60 ml	VE60
Uusi 400 g + DB 60 ml	DB60
Uusi 400 g + DB 30 ml + vesi 30 ml	DB30-VE30
Uusi 400 g + DB 30 ml + vesi 30 ml	DB30-VE30
Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + vesi 60 ml	HU3-VE60
Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + vesi 60 ml	HU9-VE60
Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + DB 30 ml + vesi 30 ml	HU3-DB30-VE30
Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + DB 60 ml	HU3-DB60
Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + vesi 30 ml + DB 30 ml	HU9-DB30-VE30
Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + DB 60 ml	HU9-DB60
Vanha 400 g	VA
Vanha 200 g + uusi 200 g	VA-UU
Uusi 400 g + DB 30 ml + kalsiumkloridi 10 ml	DB30-SUOLA10

TAULUKKO 5. Sadetusnäytteiden tunnusten selitykset

Sadetus	
Sisältö	Tunnus
Uusi 470 g + vesi 70 ml	VE70
Uusi 470 g + vesi 70 ml	VE70
Uusi 470 g + DB 70 ml	DB70
Uusi 470 g + DB 35 ml + vesi 35 ml	DB35-VE35
Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + vesi 70 ml	HU3-VE70
Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + vesi 70 ml	HU9-VE70
Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + DB 35 ml + vesi 35 ml	HU3-DB35-VE35
Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + DB 70 ml	HU3-DB70
Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + vesi 35 ml + DB 35 ml	HU9-DB35-VE35
Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + DB 70 ml	HU9-DB70
Vanha 470 g	VA1
Vanha 470 g	VA2

TAULUKKO 6. Puristuslujuusnäytteiden tunnusten selitykset

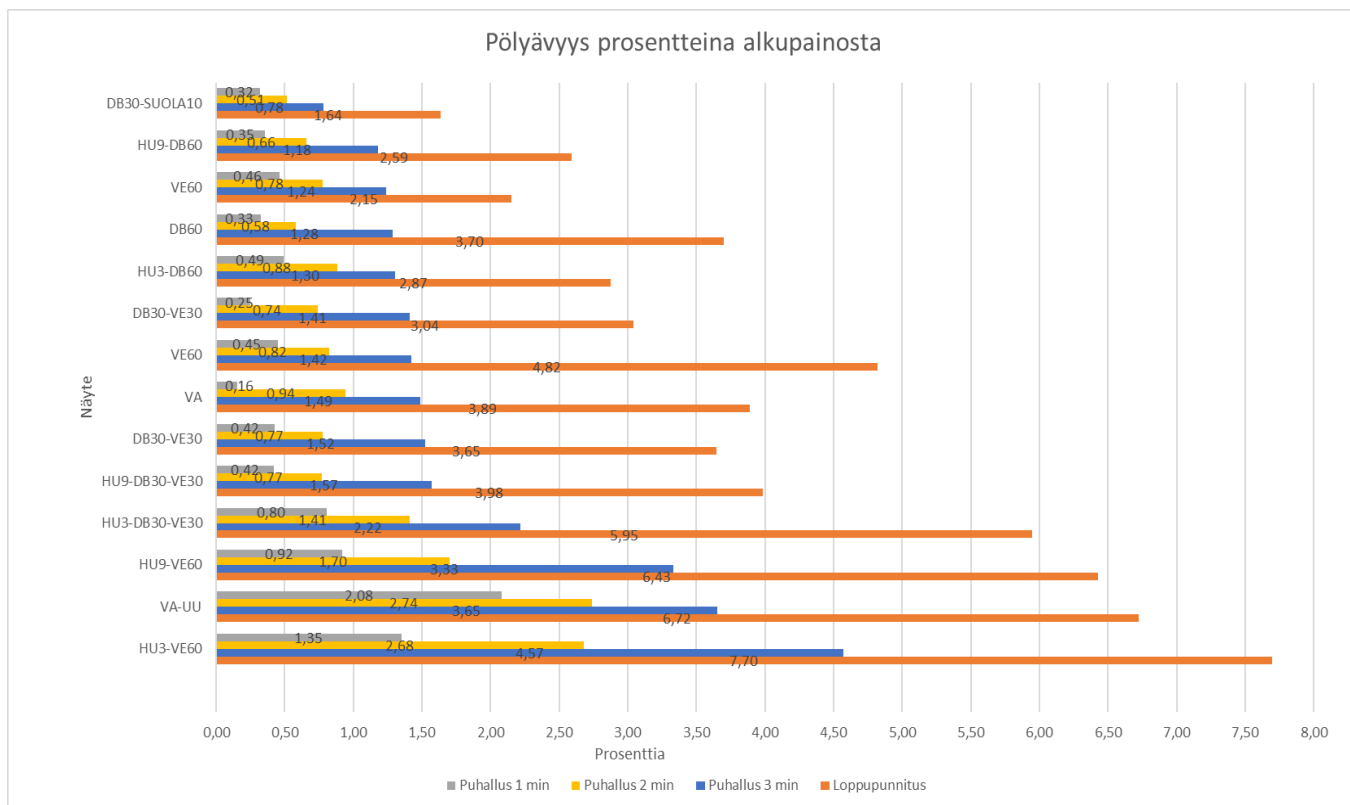
Puristuslujuus	
Sisältö	Tunnus
Uusi 1850 g + vesi 185 ml	VE185
Uusi 1850 g + DB 185 ml	DB185
Uusi 1850 g + vesi 92,5 ml + DB 92,5 ml	DB92,5-VE92,5
Uusi 1794,5 g + humus 3 % (55,5 g) + vesi 185 ml	HU3-VE185
Uusi 1683,5 g + humus 9 % (166,5 g) + vesi 185 ml	HU9-VE185
Uusi 1794,5 g + humus 3 % (55,5 g) + DB 92,5 ml + vesi 92,5 ml	HU3-DB92,5-VE92,5
Uusi 1683,5 g + humus 9 % (166,5 g) + DB 92,5 ml + vesi 92,5 ml	HU9-DB92,5-VE92,5
Vanha 1850 g	VA1
Vanha 1850 g	VA2
Uusi 925 g + vanha 925 g	UU-VA

7.1 Pölyävyys

Pölyävyyden testauksessa näytteen koko oli 400 g maa-ainesta ja 60 ml nestettä. Näytteet sekoitettiin 10 litran vetoisiin astioihin, joiden pohjan näyte peitti ja annettiin kuivua kaksi vuorokautta. Tämän jälkeen näytteet pölytettiin puhaltamalla astian ylälaidan tasalta paineilmalla, jonka voimakkuudeksi oli säädetty 1,5 baaria. Pöly imuroitiin astian yläpuolelle asetetulla imurilla. Näyte punnittiin yhden, kahden ja kolmen minuutin välein sekä lopuksi, kun näytettä oli puhallettu ilman ajanot-

toa niin kauan, että näyte ei enää silmämääräisesti pölynnyt. Pölynneen hienoaineksen prosentuaalinen määrä laskettiin vähentämällä alkupainosta pölytetyn näytteen paino, jakamalla saatu erotus alkuperäisellä painolla ja kertomalla saatu tulos luvulla 100.

Kuvan 8 pylväskaaviossa on esitetty näytteiden prosentuaalinen painohäviö alkupainosta 1 minuutin, 2 minuutin ja 3 minuutin puhalluksen jälkeen sekä loppupunnituksen tulos. Loppupunnituksen tulokset ovat tulkinnanvaraisia, koska aikaa ei mitattu, vaan pölyävyyden loppuminen todettiin silmämääräisesti. Myös astian ravisteluissa saattoi olla eroja. Tämän vuoksi tuloksissa käsitellään kolmen minuutin ajan pölytettyjen näytteiden tuloksia. Loppupunnituksen tuloksista voi kuitenkin havaita eri ominaisuuksien vaikutusta pölyävyyden kestoon ja määrään. Esimerkiksi ainoastaan vettä sisältäneet uudet näytteet pölyisivät loppupuhalluksen aikana keskimäärin 2,16 % alkupainosta, kun taas vettä ja DustBinderiä sisältäneet näytteet pölyisivät 1,88 %. Näytteet ovat järjestyksessä kolmen minuutin puhalluksen tulosten perusteella vähiten pölynneestä näytteestä eniten pölynneeseen näytteeseen.



KUVA 8. Näytteiden pölyävyydet prosentteina alkuperäisistä painoista 3 minuutin puhalluksen mukaan järjestettynä

Taulukossa 7 on esitetty pölyävyydet prosentteina alkupainosta kolmen minuutin puhalluksen jälkeen vähiten pölynneestä eniten pölynneeseen.

TAULUKKO 7. Pölyävyydet prosenttia alkupainosta 3 minuutin puhalluksen jälkeen

Sisältö	Tunnus	Puhallus 3 min
Uusi 400 g + DB 30 ml + kalsiumkloridi 10 ml	DB30-SUOLA10	0,78
Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + DB 60 ml	HU9-DB60	1,18
Uusi 400 g + vesi 60 ml	VE60	1,24
Uusi 400 g + DB 60 ml	DB60	1,28
Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + DB 60 ml	HU3-DB60	1,30
Uusi 400 g + DB 30 ml + vesi 30 ml	DB30-VE30	1,41
Uusi 400 g + vesi 60 ml	VE60	1,42
Vanha 400 g	VA	1,49
Uusi 400 g + DB 30 ml + vesi 30 ml	DB30-VE30	1,52
Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + vesi 30 ml + DB 30 ml	HU9-DB30-VE30	1,57
Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + DB 30 ml + vesi 30 ml	HU3-DB30-VE30	2,22
Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + vesi 60 ml	HU9-VE60	3,33
Vanha 200 g + uusi 200 g	VA-UU	3,65
Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + vesi 60 ml	HU3-VE60	4,57

Vanhasta näytteestä oli kolmen minuutin puhalluksen jälkeen lähtenyt 1,49 % alkupainosta. Näytteestä, jossa oli puolet vanhaa maa-ainesta ja puolet uutta maa-ainesta, oli pölynnyt 3,65 % alkuperäisestä painosta. Ainoastaan vettä sisältäneet uudesta maa-aineksesta tehdyt näytteet pölyivät 1,24 % ja 1,42 % prosenttia alkupainosta. Tästä voidaan päätellä, että vanhan näytteen DustBinder ei enää tartu uuteen materiaaliin, koska sekoitettuna vanhaa maa-ainesta uuteen maa-ainekseen näytteen pölyävyys lisääntyi.

60 ml DustBineriä sisältänyt uusi näyte oli pölynnyt kolmen minuutin puhalluksen jälkeen 1,28 % alkupainosta. 30 ml DustBineriä ja 30 ml vettä sisältävät uudet näytteet olivat pölynneet kolmen minuutin jälkeen 1,41 % ja 1,52 % alkupainosta. Koko nestemäärän ollessa DustBineriä näyte pölysi vähemmän verrattuna näytteeseen, jossa nestemäärästä puolet oli vettä ja puolet DustBineriä. Tulosten perusteella näyttäisi, että DustBinderin määrällä on vaikutusta uuden maa-aineksen pölyämiseen.

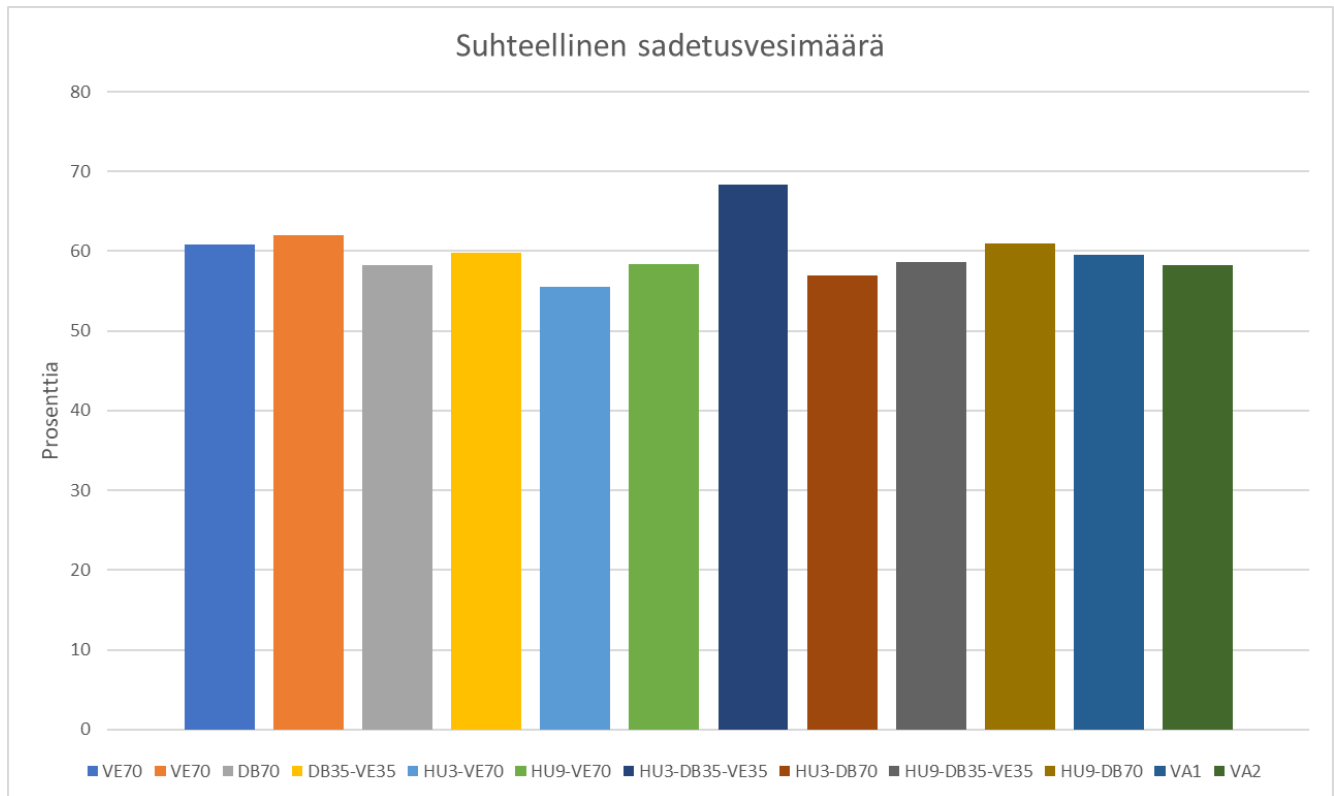
3 % humusta ja 60 ml DustBineriä sisältänyt uusi näyte oli pölynnyt kolmen minuutin puhalluksen jälkeen 1,30 %. 3 % humusta, 30 ml DustBineriä ja 30 ml vettä sisältänyt näyte oli pölynnyt 2,22

% ja 3 % humusta ja 60 ml vettä sisältänyt näyte 4,57 %. Tästä voidaan päätellä DustBinderin yhdessä tavanomaisen humusmäärän kanssa vähentävän pölyävyyttä tienpinnassa.

DustBineriä 30 ml ja kalsiumkloridia 10 ml sisältänyt uusi näyte pölysi kolmen minuutin puhalluksen jälkeen 0,78 % alkupainosta. Uudet näytteet, joissa oli 30 ml DustBineriä ja 30 ml vettä, olivat pölynneet kolmen minuutin jälkeen 1,41 % ja 1,52 % alkupainosta. Tulosten mukaan DustBineriä ja kalsiumkloridia sisältänyt näyte oli pölynnyt lähes puolet vähemmän kuin vastaavan määrän DustBineriä sisältäneet uudet näytteet. DustBinderin yhdessä kalsiumkloridin kanssa voidaan katsoa vähentävän pölyävyyttä ja sitovan hienoainesta tienpinnassa.

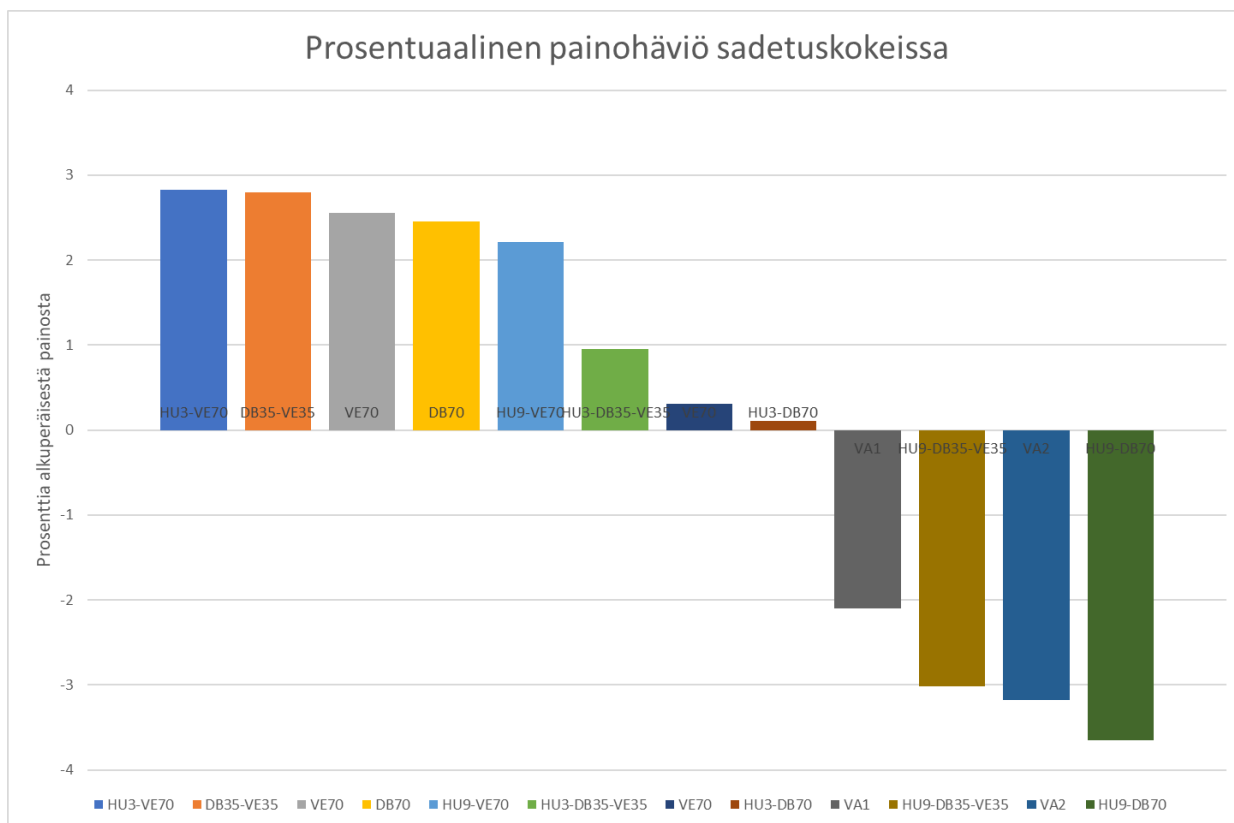
7.2 Hienoaineksen sitoutuminen kulutuskerrokseen

Hienoaineksen sitoutumista tutkittiin sadetuskokeilla. Näytteen koko oli 470 g maa-ainesta ja 70 ml nestettä. Näytteen hienoainespitoisuus oli 10 %. Sadetukseen käytettiin tislattua vettä. Vanhasta maa-aineksesta tehtiin näytteet tiivistämällä se astioihin siinä kosteudessa, missä se oli laboratoriolle toimitettu. Kuvassa 9 olevassa pylväskaaviossa on esitettyä suhteellinen sadetettu vesimäärä näytteittäin. Diagrammin perusteella voidaan todeta, että näytteitä on sadetettu keskimäärin saman verran ja tutkimustulokset ovat vertailukelpoisia keskenään, lukuun ottamatta näyte HU3-DB30-VE30, jossa sadetusmäärä oli noin 10 % suurempi.



KUVA 9. Sadetuskokeissa käytetty suhteellinen sadetusvesimäärä näytteittäin

Testauksessa tutkittiin, kuinka paljon hienoainesta poistuu sadetetun veden mukana tai vastaavasti kuinka paljon näyte sitoo vettä. Prosentuaalinen painohäviö sadetuskokeissa saadaan laskemalla alkupainon ja loppupainon erotus, joka jaetaan alkupainolla ja kerrotaan luvulla 100. Positiivinen tulos ilmoittaa, kuinka paljon hienoainesta on poistunut näytteestä. Negatiivinen tulos ilmoittaa, kuinka paljon näyte sitoo kosteutta. Kuvassa 10 olevassa pylväskaaviossa on esitetty prosentuaalinen hienoaineksen painohäviö alkupainoon verrattuna sadetuskokeissa. Näytteet ovat järjestetty häviön perusteella suurimmasta häviöstä pienimpään.



KUVA 10. Hienoaineksen prosentuaalinen painohäviö sadetuskokeissa

Taulukossa 8 on esitetty hienoaineksen prosentuaalinen painohäviö näytteittäin. Positiivinen luku tarkoittaa näytteen keventyneen ja hienoaineksen hävinneen sadetettun veden mukana. Negatiivinen luku tarkoittaa näytteen painon nousseen ja näytteen sitoneen sadetettua vettä.

TAULUKKO 8. Näytteen hienoaineksen prosentuaalinen painohäviö sadetuskokeissa

Sisältö	Tunnus	Prosenttia alkupainosta
Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + vesi 70 ml	HU3-VE70	2,82
Uusi 470 g + DB 35 ml + vesi 35 ml	DB35-VE35	2,79
Uusi 470 g + vesi 70 ml	VE70	2,55
Uusi 470 g + DB 70 ml	DB70	2,45
Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + vesi 70 ml	HU9-VE70	2,21
Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + DB 35 ml + vesi 35 ml	HU3-DB35-VE35	0,96
Uusi 470 g + vesi 70 ml	VE70	0,31
Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + DB 70 ml	HU3-DB70	0,11
Vanha 470 g	VA1	-2,10
Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + vesi 35 ml + DB 35 ml	HU9-DB35-VE35	-3,01
Vanha 470 g	VA2	-3,18
Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + DB 70 ml	HU9-DB70	-3,65

9 % humusta ja 70 ml vettä sisältävä uusi näyte keveni, kun taas vastaavat DustBineriä sisältäneet näytteet pidättivät eniten vettä. Humuspitoinen kulutuskerros tiivistyi huonosti, jolloin näytteiden korkeus oli yli kulutuskerroksen paksuuden 6 cm. Tästä voidaan päätellä, että humuksen määrällä yhdessä DustBinerin kanssa on vaikutusta soratien rakenteen kuivumiseen ja tiivistymiseen. Kulutuskerroksen suuri humusmäärä voi pitää tien rakenteen kosteana keväällä, mutta toisaalta alentaa tierakenteen kantavuutta. 9 %:n humusmäärä on harvinaista sorateilla. Niin suuria humusmääriä voi esiintyä ainoastaan lähinnä paikallisesti tien piennaralueilla.

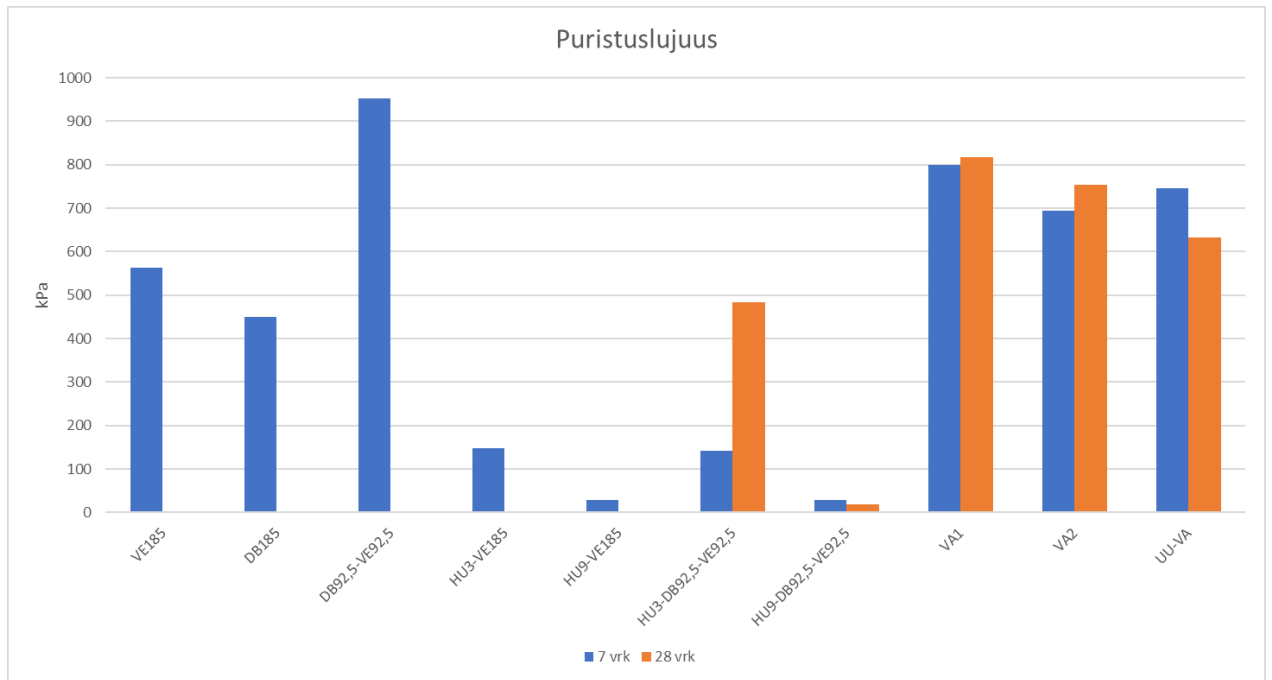
3 %:n humusmäärä yhdessä DustBinerin kanssa sitoi parhaiten hienoainesta ja piti näytteen kosteuden lähellä näytteen sadetuksen aloituskosteutta, joka oli noin 10 %. Vettä ja DustBineriä sisältävät uudet näytteet sitoivat huonoiten hienoainesta. Tästä voidaan päätellä, että tavanomainen humusmäärä soratien kulutuskerroksen rakenteessa yhdessä DustBinerin kanssa sitoo hienoainesta. Kulutuskerroksessa on usein jonkin verran humusta, joten DustBiner voi toimia hienoaineksen sitojana ja sitä kautta alentaa pölyämistä ja tienpinnan kulumista.

Vanhat näytteet pidättivät vettä keskimäärin 2,65 %. Maa-aines oli otettu kasasta murskaamolta ja sen ei oletettu sisältävän humusta. DustBiner on humuksen tavoin orgaaninen aine, joten testauksen perusteella ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä DustBinerin määrästä näytteissä ja sitä kautta sen säilyvyydestä maa-aineksessa. Vanhassa maa-aineksessa voisi kuitenkin päätellä olleen DustBineriä, koska näytteet pidättivät vettä. Maa-aines oli sora-ainekseen kaltaista ja humusta ei ollut silmämääräisesti huomattavissa. DustBinerin biohajoavuutta tulisi tutkia lisää, jotta voitaisiin tehdä yksiselitteiset johtopäätökset biopolymeerin säilymisestä soratien kulutuskerroksessa.

7.3 Puristuslujuus

Puristuslujuuden määrittämiseen valmistettiin koekappaleet, jotka sisälsivät 1 850 g maa-ainesta ja 185 g nestettä. Osa nesteestä valui pois muotin välistä tekohetkellä. Näytteet säilytettiin kannellisessa laatikossa, jonka pohjalle oli asetettu puurimoja ja vettä tasaisen kosteuden säilyttämiseksi. Vettä lisättiin sen verran, että laatikon pohja peittyi, mutta vesi ei yltänyt kappaleisiin. Veden määrää seurattiin tasaisin väliajoin ja vettä lisättiin tarvittaessa.

Kappaleet testattiin 7 vuorokauden ikäisenä. Lisäksi testattiin 28 vuorokauden ikäisenä vanhasta maa-aineksesta tehdyt kappaleet sekä HU3-DB92,5-VE92,5 ja HU9-DB92,5-VE92,5. Yhtään kappaletta ei testattu 0 vuorokauden ikäisenä. Kuvassa 11 olevassa pylväskaaviossa on esitettyä puristuslujuuden testauksen tulokset.



KUVA 11. Puristuslujuustulokset

Paljon humusta sisältävä näyte ei tiivistynyt koekappaleiden tekovaiheessa, vaan jäi korkeammaksi kuin muut kappaleet. 9 % humusta sisältävien uusien näytteiden puristuslujuudet jäivät testauksen heikoimmiksi. Tulosten perusteella suuri humuspitoisuus alentaa puristuslujuutta.

3 % humusta, vettä ja DustBineriä sisältävän näytteen puristuslujuus kasvoi ajan kuluessa. Dust-Binder näyttäisi kasvattavan tavanomaisen humuspitoisen kulutuskerroksen puristuslujuutta.

Ainoastaan vettä sisältävän näytteen puristuslujuus oli 560 kPa, ainoastaan DustBineriä sisältävän näytteen 450 kPa ja vettä ja DustBineriä sisältävän näytteen 950 kPa. Koko nestemäärän ollessa DustBineriä puristuslujuus jäi heikommaksi kuin pelkästään vettä sisältävän näytteen. Puolet näytteen nestemäärästä ollessa vettä ja puolet DustBineriä puristuslujuus oli testausten korkein. Tästä voidaan päätellä, että DustBinder kasvattaa puristuslujuutta oikealla annostuksella.

Vanhojen näytteiden 7 vuorokauden ikäisten kappaleiden puristuslujuus oli 800 kPa ja 690 kPa. Vastaavien kappaleiden 28 vuorokauden puristuslujuus oli 820 kPa ja 750 kPa. Näytteen, jossa oli puolet vanhaa ja puolet uutta maa-ainesta 7 vuorokauden ikäisen kappaleen puristuslujuus oli 750 kPa ja 28 vuorokauden 630 kPa. Vanhojen näytteiden puristuslujuus oli suurempi 28 vuorokauden ikäisillä kappaleilla kuin 7 vuorokauden ikäisillä. Ainoastaan vettä sisältävän näytteen puristuslujuus oli 7 vuorokauden ikäisellä kappaleella 560 kPa, joka on noin 200–300 kPa pienempi kuin

vanhojen näytteiden. Tästä voidaan päätellä, että vanhassa maa-aineksessa voi olla jäljellä Dust-Binderiä kahden vuoden jälkeen ja se vaikuttaa puristuslujuuteen kasvattavasti. DustBinderiä sisältävä kulutuskerros voi olla kantavampaa verrattuna DustBinderiä sisältämättömään kerrokseen.

7.4 Biopolymeerikalvon muodostuminen

Biopolymeerikalvon muodostumista tutkittiin sadetuskokeiden yhteydessä tehdyllä mikroskopoinnilla näytteen pinnasta ja jo pölytettyjen näytteiden mikroskopoinnilla. Mikroskoopin asetukset pidettiin samana ja näytteet kuvattiin. Kuviin liitettiin mitta, joka skaalattiin kameran polttovälin mukaan oikeankokoiseksi joka kuvalle. Sadetuksessa tutkittiin näytteen pintaa ensimmäisen sadetuksen jälkeen ja sadetuksen päätyttyä.

7.4.1 Pölytetyt näytteen

Mikroskopoinnissa pölytetyt näytteet on jaoteltu silmämääräisesti hienoaineksen kiinnittymisen ja sitoutumisen arvion perusteella kolmeen ryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä ei ole havaittavissa selkeää hienoaineksen kiinnittymistä ja sitoutumista (liite 2), toisessa ryhmässä jonkin verran (liite 3) ja kolmannessa ryhmässä sitoutuminen ja kiinnittyminen ovat selkeästi havaittavissa (liite 4).

Kaikissa 60 ml DustBinderiä sisältävissä näytteissä hienoaines oli kiinnittynyt kivien pintaan ja tiivistynyt murumaisesti muualle näytteeseen, lukuun ottamatta 3 % humusta sisältävää näytettä. DustBinderiä 30 ml ja vettä 30 ml sisältävässä näytteessä hienoainesta oli kivien pinnassa, mutta tiivistyminen oli heikkoa (kuva 12). Vettä 60 ml sisältävässä uudessa näytteessä ei ollut havaittavissa hienoaineksen selkeää kiinnittymistä kiviin ja sitoutumista. Tulosten perusteella voidaan päätellä, että DustBinderin määrällä on vaikutusta hienoaineksen sitoutumiseen ja tiivistymiseen.



KUVA 12. Uusi 400 g + DB 30 ml + vesi 30 ml. Näyte on irtonaista, mutta hienoainesta on kiinnittynyt kivien pintaan. Mitan yksi väli on 1 mm

Vanhassa näytteessä hienoaines oli kiinnittynyt kivien pintaan ja oli murumaisesti muualla näytteessä. DustBinderin voidaan katsoa vaikuttavan hienoaineksen sitoutumiseen ja kiinnittymiseen kivien pinnalle kahden vuoden säilytyksen jälkeen ja sitä kautta tienpinnan pölyävyyteen.

3 % humusta ja 60 ml vettä sisältäneessä uudessa näytteessä hienoaines oli kiinnittynyt kivien pintaan, mutta ei ollut sitoutunut muualle näytteeseen (kuva 13). Humusta 3 % ja DustBineriä sisältäneissä uusissa näytteissä hienoaines oli selkeästi kiinnittynyt kivien pintaan ja sitoutunut isommiksi kappaleiksi muualle näytteeseen. DustBinder näyttää parantavan hienoaineksen kiinnittymistä kivien pintaan ja vaikuttavan hienoaineksen sitoutumiseen muualle näytteeseen.



KUVA 13. Uusi 400 g + humus 3 % + vesi 60 ml. Näyte on irtonaista ja kivet ovat melko puhtaita. Mitan yksi väli on 1 mm

Kalsiumkloridia 10 ml ja DustBinderiä 30 ml sisältäneessä uudessa näytteessä hienoaines oli lähes liimaantunut kivien pintaan selkeäksi kerrokseksi (kuva 14). Hienoainesta ei ollut havaittavissa muualla näytteessä, eikä näyte pölynnyt sitä käsiteltäessä. Tästä voidaan päätellä DustBinderin yhdessä kalsiumkloridin kanssa sitovan ja tiivistävän hienoainesta. Tämä taas voi vaikuttaa alentavasti tien pölyävyyteen ja parantaa tiiviin tienpinnan muodostumista.



KUVA 14. Uusi 400 g + DB 30 ml + kalsiumkloridi 10 ml. Hienoaines on tiiviinä kerroksena kivien pinnassa. Mitan yksi väli on 1 mm

7.4.2 Sadetetut näytteet

Biopolymeerikalvon muodostumista arvioitiin silmämääräisesti ensimmäisen sadetuksen jälkeen ja sadetuksen päätyttyä. Näytteet on jaoteltu arvioinnin mukaan kolmeen ryhmään. Ensimmäisessä ryhmässä näytteen pinnassa ei ollut havaittavissa selkeää biopolymeerikalvon muodostumista (liite 5). Toisessa ryhmässä näytteiden pintaan oli paikoittain muodostunut biopolymeerikalvoa (liite 6). Kolmannessa ryhmässä näytteen pinnassa voitiin havaita selkeästi vaalean biopolymeerikalvon muodostumista (liite 7).

Paljon humusta sisältäneet uudet näytteet eivät tiivistyneet samalla tavalla kuin humusta sisältämättömät uudet näytteet. Humuksen eri osat ja hienoainesta oli havaittavissa näytteen pinnassa, mutta se ei ollut sitoutunut biopolymeerikalvomaiseen muotoon (kuva 15). Humuspitoiset näytteet suodattivat hitaammin vettä kuin humusta sisältämättömät näytteet. Tästä voidaan päätellä humuksen pidättävän kosteutta, mikä taas vaikuttaa osaltaan hienoaineksen häviöön näytteissä. Humuksen kyky sitoa kosteutta voi pitää tierakenteen kosteana keväällä, mutta toisaalta alentaa tierakenteen kantavuutta.



KUVA 15. Uusi 470 g + humus 3 % + vesi 70 ml, sadetuksen päätyttyä. Mitan yksi väli on 1 mm

Hienoaines ei liettynyt 9 % humusta sisältävien uusien näytteiden pintaan tiivistysvaiheessa ja humus erottui selvästi. Pinnasta ei erottanut selvästi hienoainesta humuksesta, pinta oli tasainen ja kostea, eikä biopolymeerikalvoa ollut havaittavissa (kuva 16). 3 % humusta sisältävien uusien näytteiden pintaan hienoainesta liettti tiivistysvaiheessa, mutta biopolymeerikalvoa ei ollut havaittavissa sadetuksen päätyttyä. Tästä voidaan päätellä suuren humuspitoisuuden vaikuttavan alentavasti tienpinnan tiivistymiseen ja biopolymeerikalvon muodostumiseen. 9 %:n humusmäärää esiintyy kuitenkin lähinnä ainoastaan tien piennaralueilla.



KUVA 16. Uusi 470 g + humus 9 % + vesi 70 ml, sadetuksen jälkeen. Mitan yksi väli on 1 mm

Ainoastaan vettä nesteinä sisältävän uuden näytteen pinta oli tummempi verrattuna vastaavaan ainoastaan DustBineriä nesteinä sisältävään näytteeseen. Pinta oli hieman liettynyt, mutta hienoaineksen sitoutumista biopolymeerikalvomaiseen muotoon ei ollut havaittavissa (kuva 17). Tästä voidaan päätellä, että hienoaineksen sitoutuminen näkyy vaaleana muodostumana näytteen pinnassa.



KUVA 17. Uusi 470 g + vesi 70 ml, sadetus päättynyt. Mitan yksi väli on 1 mm

DustBinderiä 70 ml sisältävän uuden näytteen pinnalle muodostui selkeästi biopolymeerin muodostamia vaaleita hienoaineshyytymiä tiheään, kun taas 35 ml vettä ja 35 ml DustBinderiä sisältävän näytteen pinnassa hyytymiä oli paikoitellen (kuva 18). Tämän perusteella DustBinderin määrällä on vaikutusta biopolymeerikalvon muodostumiseen näytteen pinnalla.



KUVA 18. Uusi 470 g + DB 35 ml + vesi 35 ml, sadetus päättynyt. Mitan yksi väli on 1 mm

Aiemmin DustBinderillä käsiteltyjen näytteiden pintaan oli muodostunut sadetuksen jälkeen paikoin vaaleaa biopolymeerikalvoa, joka oli sitonut hienoaineksen tiiviiksi kerrokseksi. Hienoaines oli tarttunut kivien pintaan. (Kuva 19.) DustBinderiä 35 ml ja vettä 35 ml sisältävä uusi oli verrattain samankaltainen kuin vanhat näytteet. Tästä voidaan päätellä DustBinderin säilyttävän ominaisuuksensa kahden vuoden säilytyksen jälkeenkin.



KUVA 19. Aiemmin käsitelty 470 g, sadetuksen jälkeen. Mitan yksi väli on 1 mm

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Työn tarkoituksena oli tutkia biopolymeerin vaikutusta sorateiden pölynsidontaan, tien kantavuuteen, hienoaineksen sitoutumiseen ja biopolymeerikalvon muodostumiseen näytteen pinnalle. Testaukset suoritettiin Oulun ammattikorkeakoulun laboratoriossa. Osa testausmenetelmistä kehitettiin ja rakennettiin laboratoriossa Olli Mäentaustan avustuksella, koska niihin ei ole olemassa standardoituja menetelmiä.

Testauksissa saatujen tulosten perusteella voidaan päätellä, että DustBinder oikealla annostuksella vähentää hienoaineksen pölyävyyttä ja kasvattaa tien kantavuutta ja muodostaa biopolymeerikalvoa näytteen pinnalle. DustBinderin annostusta tulisi kuitenkin vielä tutkia ja tarkentaa. Tässä tutkimuksessa tehdyissä testauksissa joko nesteen koko määrä oli DustBinderiä tai puolet määrästä DustBinderiä ja puolet vettä. Ne testaukset, joissa puolet nesteestä oli DustBinderiä, tuottivat parempia tuloksia kuin ne, joissa DustBinderiä oli koko nestemäärä.

DustBinder on humuksen tavoin orgaaninen aine, joten testauksen perusteella ei voida tehdä suoria johtopäätöksiä DustBinderin määrästä vanhoissa näytteissä ja sitä kautta sen säilyvyydestä maa-aineksessa. DustBinderin säilyvyyden testausta vaikeuttaa sen erottaminen maa-aineksessa olevasta humuksesta, joten DustBinderin biohajoavuutta tulisi tutkia lisää, jotta voitaisiin tehdä yksiselitteiset johtopäätökset biopolymeerin säilymisestä soratien kulutuskerroksessa. DustBinder näyttää kuitenkin tulosten perusteella säilyttävän ominaisuutensa maa-aineksessa kahden vuoden ulkona säilytyksen jälkeen.

DustBinder vaikuttaa puristuslujuuteen kasvattavasti, minkä vuoksi DustBinderiä sisältävä kulutuskerros voi olla kantavampaa verrattuna DustBinderiä sisältämättömään kerrokseen. Tästä voi olla hyötyä kelirikkohteiden ylläpidossa ja huollossa. Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan testattu yhtään koekappaletta 0 vuorokauden ikäisenä, jolloin olisi saatu tietoa koekappaleen lähtötilanteen puristuslujuudesta. Tämä on hyvä huomioida seuraavia testauksia suunniteltaessa. Testauksia olisi hyvä jatkaa kenttäkokeilla testauspätkällä, koska aiemmin käsitelty maa-aines oli säilytetty murskaamalla kasassa, johon liikenteen rasittava vaikutus ei kohdistu.

Testausten edetessä johtokykymittaustulosten analysointi päätettiin jättää pois lopullisista tuloksista tulosten hankalan tulkinnan vuoksi. Suotautunutta vettä ei kerätty välissä pois, vaan mittaukset tehtiin vedestä, jossa oli edelliset sadetusvedet mukana. Jatkossa testauksissa suotautunut vesi kannattaa kerätä pois, mitata johtokyky ja verrata arvoja lähtötilanteeseen ja aiempiin tuloksiin

ja sitä kautta arvioida DustBinderin kulkeutumista maa-aineksen läpi veden mukana. Tämä antaa viitteitä DustBinderin säilymiseen tien rakennekerroksissa. Suotautuneen vesimäärän painoa kannattaa verrata myös näytteen painoon ja verrata niiden erotusta lähtötilanteeseen ja aiempiin tuloksiin. Tästä voidaan päätellä luotettavammin näytteen kykyä pidättää vettä.

DustBinder yhdessä kalsiumkloridin kanssa pölysi testauksissa vähiten ja sitoi eniten hienoainesta. DustBinderin vaikutusta yhdessä kalsiumkloridin olisi hyvä tutkia lisää, koska pienenkin kalsiumkloridimäärän korvaus luontoystävällisemmällä vaihtoehdolla vaikuttaa positiivisesti sorateiden ympäristöön. Testausten vertailukelpoisuuden säilyttämiseksi tutkimukset on syytä tehdä jäljittelemällä mahdollisimman tarkasti tässä työssä esiteltyjä testauksia ja välineitä. Mahdollisesti muita lisäaineita testattaessa on hyvä huomioida lisäaineiden vaikutus ympäristöön yhdessä ja erikseen DustBinderin kanssa, koska biopolymeerin käytöllä pyritään juurikin löytämään ympäristöystävällinen vaihtoehto kalsiumkloridille.

Tässä työssä pölyävyyskokeissa ei mitattu aikaa viimeisen puhalluksen aikana, jolloin määriteltiin silmämääräisesti pölyämisen loppuminen. Jatkossa tehtävissä tutkimuksessa ajan mittaaminen voisi olla osana testausta. Tulokset voisivat antaa viitteitä sorateiden pölyämisen kestosta ja pölyn laskeutumisajasta ajoneuvolla ajon jälkeen, ja sitä kautta leviämisestä ympäristöön. Pölyävyyskokeissa näytteen pinta sai kuivua koskemattomana kaksi vuorokautta, mikä ei käytännössä ole kenttäkokeissa mahdollista. Kenttäkokeissa on useita eri rasisitustekijöitä, kuten ajoneuvoliikenne, säävaihtelut ja ilmankosteuden vaihtelut, jotka vaikuttavat tuloksiin. Laboratoriossa testaustulokset olivat lupaavia, joten kenttäkokeille on selkeä tarve.

LÄHTEET

1. Kaarela, Outi 2003. Sorateiden pölynsidonta-aineiden ympäristövaikutuksia. Tiehallinnon selvityksiä 23/2003. Helsinki: Edita Prima Oy.
2. Nissinen, Timo – Pottala, Jorma 2016. Biopolymeerit ja pölynsidonta. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 51/2016. Helsinki: Liikennevirasto.
3. Tieverkko. 2017. Liikennevirasto. Saatavissa: <https://www.liikennevirasto.fi/tieverkko#.XBiMYZwzbc>. Hakupäivä 8.10.2018.
4. Sorateiden kunnossapito. 2014. Liikenneviraston ohjeita 1/2014. Helsinki: Liikennevirasto.
5. Soratiet. 2018. Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskus. Saatavissa: <https://www.ely-keskus.fi/web/ely/soratiet>. Hakupäivä 8.10.2018.
6. Yksityisten teiden kunnossapito. 1999. Tielaitos. Saatavissa: <https://docplayer.fi/1908944-Yksityisten-teiden-kunnossapito.html>. Hakupäivä 27.11.2017.
7. Sorateiden hoito ja kunnostus. 1995. Tielaitos. Kunnossapidon ohjaus. Tuotannon palvelukeskus, Liikenteen palvelukeskus. Helsinki: Lahden Kirjapaino ja Sanomalehti "Lahtiprint".
8. Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjat. 2008. Tiehallinto. Toiminta- ja suunnitelma-asiakirjat. Helsinki: Edita Prima Oy.
9. Sorateiden pintakunnon määrittäminen. 2008. Tiehallinto. Asiantuntijapalvelut. Helsinki: Edita Prima Oy.
10. Hellstén, Pasi – Nystén, Taina – Kokkonen, Pauliina – Valve, Matti – Laaksonen, Timo – Määttä, Taimi – Miettinen, Ilkka 2002. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa. Suomen Ympäristökeskus. Helsinki: Edita Oy
11. Mäentausta, Olli 2017. MFibrils Oy. Keskustelut 2017–2018.
12. Huuskonen, Oiva 2017. Kehittämispäällikkö, Destia Oy. Keskustelut 2017–2018.
13. CEN ISO/TS 17892-7:fi. 2004. Geotekninen tutkimus ja koestus. Maan laboratoriokeet. Osa 7: Hienorakeisen maan yksiaksiaalinen puristuskoee. Helsinki: Suomen standardisoimisliitto

SFS ry. Saatavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CENISO/ID5/1/41970.html.stx> (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 22.3.2018.

14. SFS-EN 933-1. 2012. Kiviainesten geometrinen ominaisuuksien testaus. Osa 1: Rakeisuuden määrittäminen. Seulontamenetelmä. Helsinki: Suomen Standardisoimisliitto SFS ry. Saatavissa: <https://online.sfs.fi/fi/index/tuotteet/SFS/CEN/ID2/9/201534.html.stx> (vaatii sisäänkirjautumisen ja käyttöoikeudet). Hakupäivä 8.2.2018.
15. PANK 2103. 2002. Rakeisuusmääritys, hydrometrikoe. Päällystealan neuvottelukunta. Saatavissa: <http://pank.fi/tekniset-vaatimukset/pank-menetelmat/pank-2-kiviainekset>. Hakupäivä 11.3.2018.

OULUN AMMATTIKORKEAKOULU OY
RAKENTAMISTEKNIIKAN LABORATORIO

PESUSEULONTA

seula # [mm]	seulalle jäi [g]	seulalle jäi [%]	läpäisy [%]
63,0			100,0
45,0			100,0
31,5			100,0
22,4			100,0
16,0	0	0,0	100,0
11,2	41,7	4,2	95,8
8,0	145,4	14,6	81,2
5,6	121,7	12,2	69,0
4,0	97,3	9,8	59,2
2,0	139,0	14,0	45,2
1,0	114,4	11,5	33,7
0,5	91,2	9,2	24,5
0,25	71,7	7,2	17,3
0,125	54,2	5,4	11,9
0,063	37,2	3,7	8,2
pohja	5,7	0,6	
Pesutappio	75,8	7,6	
Summa	995,3	100,0	(pesutappio + pohja + seulalle jäänyt (0,063 - 63)

1 PUNNITUS

Kuivanäyte + astia: 1263,9

Astia: 270,3

A Kuivanäyte: 993,6

2 PESU

3 KUIVAUS

Näytteen paino
pestynä + astia 1188,1

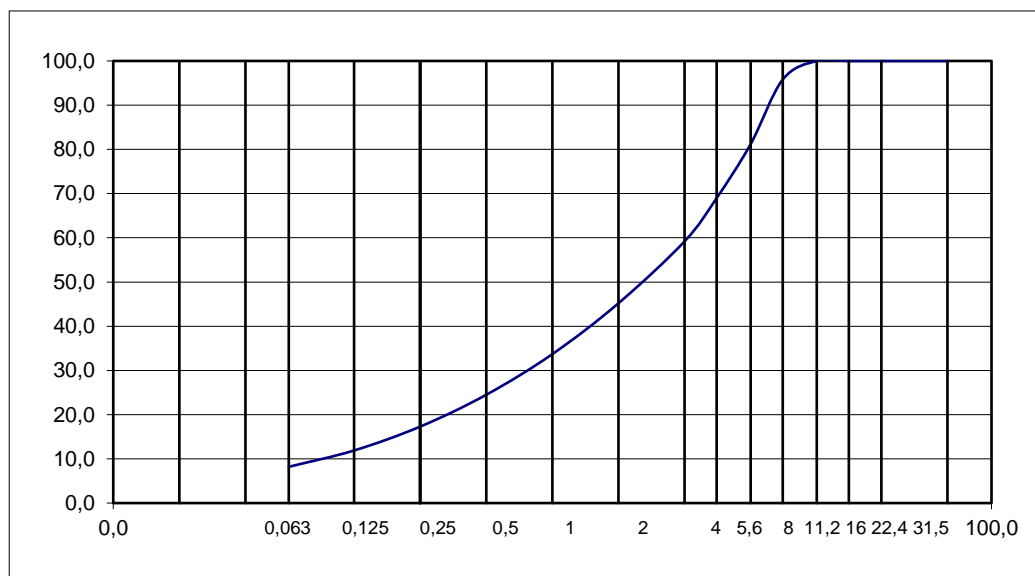
Astia: 270,3

B Pesty näyte: 917,8

Pesutappio (A-B) 75,8

4 SEULONTA

Tarkistus:
Kuivanäyte - summa= -1,7



4.12.2017

Salla Konttinen

Tunnus ja sisältö	Kuvaus	Hienoaineksen kiinnittymisen ja sitoutuminen
VE60 Uusi 400 g + vesi 60 ml	Näyte oli irtonaista ja hienoaines oli tasaisesti näytteessä.	Hienoaineksen selkeää kiinnittymistä ja sitoutumista ei ollut havaittavissa.
HU9-VE60 Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + vesi 60 ml	Näytteessä oli selkeästi havaittavissa humus ja kiviaines tasalaatuisena, irtonaisena massana, jossa hienoaines oli tasaisesti jakaantunut koko näytteen alalle.	Hienoaineksen kiinnittymistä ja sitoutumista ei ollut juurikaan havaittavissa.
HU9-DB30-VE30 Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + vesi 30 ml + DB 30 ml	Näytteessä oli havaittavissa kuitumaisia partikkeleja, kivet olivat melko puhtaita hienoaineksesta ja hienoaines oli jakaantunut tasaisesti näytteeseen.	Hienoaineksen kiinnittymistä kivien pintaan oli havaittavissa vain vähäisiä määriä eikä sitoutumista isommiksi kappaleiksi lainkaan.

Tunnus ja sisältö	Kuvaus	Hienoaineksen kiinnittymisen ja sitoutuminen
DB30-VE30 Uusi 400 g + DB 30 ml + vesi 30 ml	Näyte oli irtonaisempaa verrattuna ainoastaan DustBinderä sisältävään näytteeseen, mutta hienoaines oli sitoutunut selvästi enemmän kuin näytteessä, jossa DustBinderä ei ollut.	Hienoainesta oli jonkin verran kiinnittynyt kivien pintaan, mutta sitoutuminen isommiksi kappaleiksi oli heikkoa.
HU3-VE60 Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + vesi 60 ml	Näyte oli irtonaista, kivien pinnalla oli vähän hienoainesta ja näyte oli tasalaatuista.	Hienoainesta oli kiinnittynyt hieman kivien pintaan eikä sitoutumista juuri ollut havaittavissa.

Tunnus ja sisältö	Kuvaus	Hienoaineksen kiinnittymisen ja sitoutuminen
<p>DB30 - SUOLA10 Uusi 400 g + DB 30 ml + kaliumkloridi 10 ml</p>	<p>Näytteessä ei ollut lainkaan havaittavissa irtonaista hienoainesta, vaan hienoaines oli lähes liimaantunut paksummaksi kerrokseksi kivien pinnalle. Näytettä käsitellessä hienoaines pysyi kivien pinnassa eikä pölynnyt.</p>	<p>Hienoaines oli sitoutunut ja tiivistynyt lujaksi, yhteiseksi kerrokseksi kivien pintaan. Muualla näytteessä ei ollut havaittavissa hienoainesta.</p>
<p>DB60 Uusi 400 g + DB 60 ml</p>	<p>Näytteessä oli havaittavissa kuitumaisia partikkeleita, hienoainesta oli kiinnittynyt kivien pintaan sekä oli tiivistynyt murumaisesti näytteeseen.</p>	<p>Hienoainesta oli selkeästi kiinnittynyt kivien pintaan ja sitoutunut isommiksi kappaleiksi.</p>
<p>HU3-DB30-VE30 Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + DB 30 ml + vesi 30 ml</p>	<p>Näytteessä hienoainesta oli kiinnittynyt kivien pintaan, mutta myös murumaisesti muun näytteen joukkoon ja kuitumaisia partikkeleita oli havaittavissa.</p>	<p>Hienoainesta oli selkeästi kiinnittynyt kivien pintaan ja sitoutunut isommiksi kappaleiksi.</p>
<p>HU3-DB60 Uusi 400 g + humus 3 % (12 g) + DB 60 ml</p>	<p>Näytteessä oli havaittavissa irtonaista humusta ja hienoaines oli murumaisesti kivien pinnalla ja muualla näytteessä.</p>	<p>Hienoaines oli kiinnittynyt isompina kappaleina kivien pintaan ja muualla näytteeseen.</p>
<p>HU9-DB60 Uusi 400 g + humus 9 % (36 g) + DB 60 ml</p>	<p>Näytteessä humus oli selvästi havaittavissa, näytteessä oli kuitumaisia partikkeleita ja hienoaines oli kiinnittynyt murumaisesti niin kiviin kuin humuksen pintaan.</p>	<p>Hienoaines oli sitoutunut isommiksi kappaleiksi ja kiinnittynyt niin kiviin kuin humuksen osiin.</p>
<p>VA Vanha 400 g</p>	<p>Näytteessä kivet olivat kauttaaltaan murumaiseksi muodostuneen hienoaineksen peitossa ja näyte oli rakeista.</p>	<p>Hienoaines oli kiinnittynyt isompina kappaleina kivien pintaan ja muualla näytteeseen.</p>

Sisältö	Kuvaus 1. sadetuksen jälkeen	Kuvaus sadetuksen päätyttyä	Biopolymeerikalvon muodostuminen
VE70 Uusi 470 g + vesi 70 ml	Näytteen pinta oli ensimmäisen sadetuksen jälkeen kostea, liettynyt, melko tasainen, hienoaines oli irtonaisena näytteessä ja kivet olivat puhtaita.	Hienoaines oli painunut sadetetun veden mukana ja pinta oli epätasainen, kostea, kivet olivat puhtaita ja liettymistä oli enää vähän havaittavissa.	Pinnassa ei ollut havaittavissa biopolymeerin muodostamaa kalvoa.
HU3-VE70 Uusi 470 g + humus 3 % (14,1 g) + vesi 70 ml	Näytteen pinta oli ensimmäisen sadetuksen jälkeen tasainen, hienoaines oli liettynyt näytteen pintaan ja pinnassa oli selkeä ohut vesikerros.	Näytteen pinta oli kostea, alkutilannetta hie-man epätasaisempi ja karkeampi hienoaineksen painuttua veden mukana sekä humuksen osia erottui pinnasta.	Pinnassa ei ollut selkeää biopolymeerikalvoa.
HU9-VE70 Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + vesi 70 ml	Näytteen pinta ensimmäisen sadetuksen jälkeen oli kostea, tasainen, irtonainen ja kivet olivat puhtaita.	Näytteen pinta oli hie-man alkutilannetta epätasaisempi, hienoainesta oli vaikea erottaa näytteen pinnasta humuksen seasta, kivet olivat puhtaita ja erottuivat selvästi ja pinta oli kostea.	Pinnassa ei ollut selkeää biopolymeerikalvoa.
HU9-DB35-VE35 Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + vesi 35 ml + DB 35 ml	Näytteen pinta ensimmäisen sadetuksen jälkeen oli tasainen, irtonainen, kostea ja liettymistä ei ollut havaittavissa.	Näytteen pinta oli melko tasainen, irtonainen, humus ja ki-viaineksen eri raekoot olivat selvästi havaittavissa sekä kivet olivat puhtaita.	Pinnassa ei ollut selkeää biopolymeerikalvoa.
HU9-DB70 Uusi 470 g + humus 9 % (42,3 g) + DB 70 ml	Näytteen pinta oli ensimmäisen sadetuksen jälkeen tasainen, melko tiivis, kivet olivat puhtaita, hienoaines oli epätasaisesti tiivistynyt humuksen kanssa ja pinta oli enemmän kuivahko kuin kostea.	Näytteen pinta oli ta-soittunut, kivet puhtaita, hienoainesta ei voinut selkeästi erottaa näytteen pinnasta ja pinta oli kostea.	Pinnassa ei ollut selkeää biopolymeerikalvoa.

HU3-DB35-VE35

Uusi 470 g + humus 3 %
(14,1 g) + DB 35 ml + vesi
35 ml

Näytteen pinta ensimmäisen sadetuksen jälkeen oli tasainen, kostea, kivet erottuivat selkeästi ja liettymistä oli havaittavissa vähän.

Näytteen pinnasta oli selkeästi havaittavissa humus ja maa-aineksen eri raekoot, pintaan oli tullut pientä epätasaisuutta hienoaineksen painumisesta veden mukana ja hienoaines oli irtonaisena näytteen pinnassa.

Hienoainesta oli näytteen pinnassa, mutta selkeää biopolymeerin muodostamaa kalvoa ei ollut havaittavissa.

HU3-DB70

Uusi 470 g + humus 3 %
(14,1 g) + DB 70 ml

Näytteen pinta ensimmäisen sadetuksen jälkeen oli tasainen, vähän liettynyt, kostea ja kivet olivat puhtaita.

Näytteen pintaan oli tullut pientä epätasaisuutta hienoaineksen painuttua veden mukana, humus ja kivet erottuivat selvästi, hienoaines oli irtonaisena pinnassa ja pinta oli kostea.

Hienoainesta oli näytteen pinnassa, mutta selkeää biopolymeerin muodostamaa kalvoa ei ollut havaittavissa. Ei huomattavaa eroa vettä, DustBINDERiä ja 3 % humusta sisältävään näytteeseen. Vettä ja humusta 3 % sisältävään näytteeseen verrattuna molemmissa on havaittavissa hienoainesta näytteen pinnassa.

Sisältö	Kuvaus 1. sadetuksen jälkeen	Kuvaus sadetuksen päätyttyä	Biopolymeerikalvon muodostuminen
<p>DB35-VE35 Uusi 470 g + DB 35 ml + vesi 35 ml</p>	<p>Näytteen pinta oli ennen sadetusta tasainen, liettynyt ja kostea.</p>	<p>Näytteen pinta oli aloitustilannetta epätasainen mutta tiiviin näköinen kohdissa, joissa oli hienoainesta, kivet olivat peittyneet hienoaineksella ja pinnassa oli selkeitä vaaleampia hyytelömäisiä hienoaineslautoja.</p>	<p>Hienoaines oli sitoutunut paikoittain biopolymeerin muodostamaan kalvomaiseen muotoon, paikoittain taas painunut näytteeseen.</p>
<p>VA1 Vanha 470 g</p>	<p>Näytteen pinta oli ensimmäisen sadetuksen jälkeen kostea, epätasainen ja kivet olivat puhtaita.</p>	<p>Näytteen pintaan oli muodostunut hyytelömäisiä alueita, kivien pinnat olivat peittyneet hienoaineksella, osa hienoaineksesta oli painunut veden mukana ja pinta oli alkutilannetta epätasainen sekä pinta oli kostea.</p>	<p>Hienoaines oli paikoittain sitoutunut näytteen pintaan biopolymeerin muodostamaan kalvomaiseen muotoon.</p>
<p>VA2 Vanha 470 g</p>	<p>Näytteen pinta ensimmäisen sadetuksen jälkeen oli epätasainen, kostea ja kivet olivat puhtaita.</p>	<p>Näytteen pinta oli hienoaineksen painumisesta johtuen alkutilannetta epätasainen, hienoaines oli muodostanut selkeitä hyytelömäisiä alueita, kivet olivat hienoaineksen peitossa ja pinta oli kostea.</p>	<p>Hienoaines oli paikoittain sitoutunut näytteen pintaan biopolymeerin muodostamaan kalvomaiseen muotoon.</p>

Sisältö	Kuvaus 1. sadetuksen jälkeen	Kuvaus sadetuksen päätyttyä	Biopolymeerikalvon muodostuminen
DB70 Uusi 470 g + DB 70 ml	Näytteen pinta ensimmäisen sadetuksen jälkeen oli tasainen, pinnalla oli selvästi ohut vesikerros ja kivet olivat melko puhtaita	Näytteen pinnassa oli pienellä alueella epätasaisuutta, hienoainesta oli selvästi näytteen pinnassa ja kivet kuulsivat hienoaineksen läpi.	Hienoaines oli sitoutunut selkeästi biopolymeerin muodostamaan kalvomaiseen muotoon.