



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Neea Pokkinen

Ratsastuskentän pintahiekan käsittely kemiallisesti

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

13.5.2019

Tekijä Otsikko	Neea Pokkinen Ratsastuskentän pintahiekan käsittely kemiallisesti
Sivumäärä Aika	44 sivua + 2 liitettä 13.5.2019
Tutkinto	insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Kemiantekniikka
Ohjaajat	Toimitusjohtaja Timo Nissinen Lehtori Timo Laitinen
<p>Insinöörityö tehtiin toimeksiantona Kemion Oy:lle osana pölynsidonnän tuotekehitysprojektiä. Työn tavoitteena oli selvittää ja testata kokeellisesti ratsastuskentille soveltuvia pölynsidonta-aineita.</p> <p>Työn alussa tehtiin kirjallisuusselvitys pölynsidonnasta ja pölynsidonta-aineista sekä käsiteltiin yleisesti ratsastuskenttiä ja niiden pölynsidontaratkaisuja. Kokeellisen osuuden alussa vertailtiin useiden pölynsidonta-aineiden ominaisuuksia alustavilla kokeilla, joiden perusteella muodostettiin koeliuokset varsinaisia pölyämiskokeita varten. Kokeissa käytettävästä hiekasta määritettiin kosteuspitoisuus ja raekokojakauma, joka mitattiin seula-analyysilaitteistolla.</p> <p>Pölyämiskokeessa mitattiin koeliuosten kykyä sitoa hiekanäytteiden pölyä puhaltamalla niiden läpi paineilmaa ja seuraamalla näytteistä irtoavan irtohiekkan määrää. Koeliuoksia oli kuusi kappaletta, joista kaksi oli perusliuoksia, kolme sisälsi polymeerejä ja yksi oli öljypohjainen tuote. Laitteistona käytettiin prosessilaboratorion modifioitua leijutuslaitteistoa. Pölyämiskokeiden lisäksi perusliuosten hygroskooppisuutta ja pakkaskestävyyttä testattiin ACS Discovery -sääkaapilla.</p> <p>Pölyämiskokeissa todettiin laitteiston soveltuvan hiekanäytteiden pölyämisen mittaamiseen. Tuloksista huomattiin, että koeliuoksilla käsitellyt näytteet pölysivät huomattavasti vähemmän kuin käsittelemättömät hiekanäytteet. Parhaiten pölyä näytteistä sitoi luonnonöljypohjainen koeliuos. Hygroskooppisuus- ja pakkaskestävyysskokeissa pölynsidonta-aineiden todettiin sitovan kosteutta ja ehkäisevän hiekan jäätymistä pakkasolosuhteissa.</p> <p>Työn tuloksia hyödynnetään pölynsidonnän tuotekehityksessä ja työssä hyväksi havaittuja pölynsidontaliuoksia pilotoidaan ratsastuskentällä. Työn kirjallisuusosuutta voidaan hyödyntää myös muihin pölynsidontakohteisiin.</p>	
Avainsanat	pölynsidonta, pöly, ratsastuskenttä, hiekka

Author Title	Neea Pokkinen Chemical treatment of riding arena sand
Number of Pages Date	44 pages + 2 appendices 13 May 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and chemical engineering
Professional Major	Chemical engineering
Instructors	CEO Timo Nissinen Lecturer Timo Laitinen
<p>This thesis was made for Kemion Oy and was a part of research and development project for dust control products. The purpose of this thesis was to find chemical solutions to stabilize riding arena dust and to test those in laboratory scale.</p> <p>First, a literature review of dust control and dust control agents was made. Then, literature on riding arenas, their requirements and dust control were reviewed. At the beginning of the experimental part of the thesis, the properties of various dust binders were investigated by preliminary experiments. The moisture content and particle size distribution of the sand were also determined.</p> <p>The binding ability of the test solutions was measured by blowing compressed air through a sample and tracking the amount of loose sand released with air flow. Test solutions included two basic solutions, three contained polymers and one was an oil-based solution. The equipment used was a modified fluidization unit. Additionally, the hygroscopicity and frost resistance measurements were conducted on the two basic solutions by ACS Discovery.</p> <p>The conclusion of the dust binding experiments was that samples treated with test solutions bind the dust significantly better compared to the non-treated samples. The equipment was found to be suitable for testing the dust binding. The best test solution in dust binding experiments was the oil-based solution. In hygroscopicity and frost resistance tests, dust binders were found to bind moisture and prevent the sand from freezing under frost conditions.</p> <p>The results of this thesis are utilized in the product development for dust control products and potential dust binding solutions could be piloted on a riding arena. The information gathered in the literature review may be used for other dust binding applications.</p>	
Keywords	dust control, dust, riding arena, sand

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Pölynhallinta	2
3	Pölynsidonta-aineet	4
3.1	Suolat	5
3.2	Polymeerit	7
3.2.1	Muunnetut luonnonpolymeerit	7
3.2.2	Synteettiset polymeerit	8
3.3	Teollisuuden sivutuotteet	9
3.4	Öljyt	10
3.5	Pinta-aktiiviset aineet	11
4	Ratsastuskentät	13
4.1	Ratsastuskentän vaatimukset	14
4.2	Ratsastuskenttien pölynhallinta	14
5	Menetelmät ja laitteet	18
5.1	Lämpökaappi	18
5.2	Seula-analyysilaitteisto	19
5.3	Pölyämiskokeiden laitteisto	20
5.4	ACS Discovery -sääkaappi	22
6	Kokeiden toteutus ja tulokset	24
6.1	Alustavat kokeet ja koeliuosten muodostus	24
6.2	Käytetyn hiekan kosteuspitoisuuden määrittäminen	26
6.3	Käytetyn hiekan raekokoanalyysi	27
6.4	Pölyämiskokeet leijutuslaitteistossa	28
6.5	Hygroskooppisuus- ja pakkaskestävyyskokeet	30
7	Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset	33

8	Yhteenveto	35
	Lähteet	37
	Liitteet	
	Liite 1. Raekokojakauman mittaustulokset	
	Liite 2. Pölyämiskokeiden mittaustulokset	

Lyhenteet ja käsitteet

Biohajoava	Mikro-organismien avulla hajoava aine
CMC	Karboksyylimetyyliselluloosa
Hygroσκοoppisuus	Aineen kyky sitoa ympäröivästä ilmasta itseensä kosteutta
Maneesi	Katettu ratsastuskenttä
PAM	Polyakryyliamidi
Pienhiukkanen	Halkaisijaltaan alle 2,5 µm oleva partikkeli

1 Johdanto

Työn tavoitteena oli selvittää ratsastuskentille soveltuvia pölynsidonta-aineita ja testata niitä kokeellisesti. Insinööri työ tehtiin osana Kemion Oy:n pölynsidonnan tuotekehitysprojektia. Kemion Oy on suomalainen kemian alan yritys, joka tarjoaa pölynsidonta- ja jäänsulatusaineita sekä muita peruskemian tuotteita esimerkiksi kaupungeille, kunnille ja eri teollisuuden aloille. Pölynsidonnan tuotekehitysprojektin tarkoituksena on kehittää entistä pitkäkestoisemmin vaikuttavia pölynsidontatuotteita nykyisten tuotteiden rinnalle. Pidemmällä pölynsidontavaikutuksella voidaan vähentää esimerkiksi pölynsidontakäsittelyjen tai pölynsidontaan käytetyn veden määrää.

Pöly on jatkuva ongelma useissa kohteissa, ja pahimmassa tapauksessa se aiheuttaa terveydellisiä haittoja sekä vaaroja. Pölynsidonta-aineita käytetään vähentämään ilmassa leijuvien pienhiukkasten määrää. Aineet vaikuttavat esimerkiksi sitomalla materiaalin partikkeleja toisiinsa, muodostamalla kalvon materiaalin päälle tai sitomalla materiaaliin kosteutta. Pölynsidonta-aineiden sisältämien raaka-aineiden ympäristövaikutukset ovat yhä laajemmin tiedossa, mikä on saanut aikaan aloitteita löytää biohajoavia ja ympäristölle turvallisia pölynsidontatuotteita. Myös hevosalalla on ollut kysyntää ratsastuskentille tarkoitetulle tehokkaalle ja ympäristöystävälliselle pölynsidontaratkaisulle.

Hevosala on jatkuvassa kasvussa, ja vuonna 2017 Suomessa oli noin 16 000 tallia. Suurin osa hevosalan yrityksistä tarjoaa ratsastuspalveluja, esimerkiksi ratsastuskoulutointia, ja siten niiden käytössä on usein ratsastuskenttä [1, s. 2, 17]. Ratsastuskenttien pölyäminen on jokapäiväinen ongelma, joka vaikuttaa sekä hevosten että ihmisten hyvinvointiin sekä yleiseen viihtyvyyteen. Ratsastuskentillä käytetty vesikastelu on kuitenkin tehoton pölynsidontaratkaisu, sillä vesi haihtuu kentältä nopeasti ja hiekka alkaa pölytä uudelleen. Pölynsidonta-aineella voitaisiin pidentää pölynsidontavaikutusta ja vähentää vesikastelua. Pölynsidonta-aineen valinnassa on otettava huomioon ulko-olosuhteet, ympäristötekijät sekä ratsastuskenttien vaatimukset pintamateriaalin osalta.

2 Pölynhallinta

Pöly on ilmassa leijuvia hiukkasia, joiden koko vaihtelee alle 1 mikrometrinä 100 mikrometriin [2]. Pölyä syntyy kaupunkialueella esimerkiksi liikenteestä, teollisuudesta ja puulämmityksestä. Pölyn koostumus riippuu siitä, mistä hiukkaset ovat peräisin. Esimerkiksi liikenteen aiheuttama pöly on yhdistelmä hiekkaa, kulunutta rengasmateriaalia ja asfalttia, kun taas teollisuudessa syntyvä pöly riippuu hyvin paljon käsiteltävistä materiaaleista ja niiden prosessoinnista. [3, s. 18; 4.] Pölyä muodostuu myös, kun tuuli nostattaa maaperän pieniä partikkeleita ilmaan [2].

Pölynhallinnalla tarkoitetaan tapoja vähentää pölyn määrää. Nämä tavat vaihtelevat hien riippuen siitä, missä sovelluksessa pölynhallinta on kyseessä. Yleisesti ottaen pölynhallintaan kuuluu mekaanisen rasituksen ja pölyä nostattavan tekijän, kuten tuulen, minimoiminen. Pölynhallintaa on myös pölyn talteenotto ja poisto ja pölypartikkeleiden sitominen toisiinsa. Pölynsidontaan käytetään usein kemiallisia aineita, kun taas pölyn talteenotto ja poisto ovat mekaanisia toimenpiteitä. Pölyävän materiaalin leviämistä estetään esimerkiksi koteloimalla pölyävä prosessin linjasto. Usein tehokkain tapa hallita pölyä on käyttää useampaa kuin yhtä pölynhallintamenetelmää. [5, s. 3; 6, s. 22, 25–26.]

Pölynhallinnan kohteita on monia, ja siksi tarvitaan erilaisia pölynhallintamenetelmiä. Liikenteessä pölynhallintaa tarvitaan päälystämättömille teille ja keväiseen katupölyn hallintaan. Teollisuudessa monet prosessivaiheet, kuten murskaaminen, tavarantoimituksen tai varastointi, saattavat aiheuttaa tarvetta pölynhallinnalle. Rakennustyömailla etenkin purkutöiden eri vaiheet, kuten materiaalien erottaminen ja hajottaminen, aiheuttavat usein pölyä. Haitallisia pölyjä ovat esimerkiksi kivi-, metalli- ja kemikaalipölyt. Suurina pitoisuuksina haitalliset pölyt voivat olla terveydelle vaarallisia, ja siksi useimmille pölyille on asetettu työterveys- ja turvallisuussäännöksissä altistusrajat. [3, s. 26–27; 7.]

Riippuen pölynsidontakohteesta pölynsidontaan haluttu vaikutusaika vaihtelee. Teollisuuden prosesseissa pölynsidonta on usein lyhytaikaista, sillä pölynsidontaa tarvitaan vain tiettyyn osaan prosessista, esimerkiksi materiaalin pudotuskohtaan. Pitkäaikaista pölynsidontaa tarvitaan esimerkiksi sorateilla, jossa sama materiaali altistuu helposti pölyä nostattaville tekijöille, kuten tuulelle ja liikenteelle. Kuten sorateilla myös ratsastuskentillä tarvitaan pitkäaikaista pölynsidontaa.

Pölynhallinta on tärkeää, sillä pölylle altistuminen aiheuttaa terveyshaittoja. Nenään sekä nielun alueelle päätyvät partikkelit, jotka ovat pienempiä kuin 30 mikrometriä. Suuret hiukkaset poistuvat liman tai yskimisen mukana. Tätä pienemmät pölypartikkelit kulkeutuvat keuhkoihin. Osa pölystä jää henkitorven ja keuhkoputkien alueelle, mutta pienimmät partikkelit, kuten pienhiukkaset, kulkeutuvat keuhkorakkuloihin asti. Keuhkorakku-loista pölypartikkelit voivat imeytyä verenkiertoon kulkeutuen muualle kehoon. [8, s. 6.] Pienhiukkasiksi kutsutaan läpimitaltaan alle 2,5 mikrometriä olevia partikkeleja. Kulkeutuessaan elimistöön pienhiukkaset lisäävät riskiä sairastua hengityselinsairauksiin sekä sydän- ja verisuonitauteihin. [9; 10.]

3 Pölynsidonta-aineet

Perinteisesti pölynhallintaan on käytetty vettä. Kuitenkin vesi on tehoton pölynsidonta-aine, sillä se haihtuu pinnoilta nopeasti, ja veden korkea pintajännitys heikentää pienten partikkelien päällystämistä. [11.] Jotta saavutettaisiin riittävä pölynsidontateho, vettä tarvitsee usein levittää suuria määriä. Kuitenkaan kaikkiin prosesseihin ei voida materiaalin liiallisen vettymisen takia käyttää vettä. Veden käyttöä rajoittaa myös pakkasajan pölynsidontatarpeet sekä vettähylkivät materiaalit. [12, s. 7.] Vaikka runsaalla vesikastelulla saataisiinkin tehokas pölynsidontavaikutus, on otettava huomioon myös kasteluun kulutetun puhtaan veden määrä. On kohtuutonta kuluttaa vettä suuria määriä, jos se haihtuu kohteessa nopeasti. Tällöin on tehokkaampaa käyttää pölynsidonta-aineita.

Pölynhallinta-aineita voidaan jaotella sen mukaan, mihin kemialliseen ryhmään aineiden raaka-aineet kuuluvat

- suolat
- polymeerit
- teollisuuden sivutuotteet
- öljyt
- pinta-aktiiviset aineet.

Useimmiten kuitenkin pölynsidonta-aineet ovat sekoituksia useammasta komponentista, jolloin aineiden eri ominaisuudet voidaan hyödyntää. Pölynsidonta-aineiden useat eri variaatiot myös mahdollistavat niiden käytön erilaisille materiaaleille tai olosuhteille. Pölynsidonta-aineet valitaan sen mukaan, millainen materiaali ja kohde on kyseessä sekä kuinka pitkään materiaalin pölyämistä on sidottava. Valinnassa on otettava huomioon myös sääolosuhteet, aineen ympäristövaikutukset sekä käsiteltävän materiaalin eteneminen tai loppusijoitus. [13, s. 1.] Teollisuudessa esimerkiksi polttoon materiaalin mukana päätyvä pölynsidonta-aine ei saa häiritä polttoprosessia. Ulko-olosuhteissa tapahtuvaan pölynsidontaan vaikuttaa sade ja pakkas, jotka vaativat pölynsidonta-aineelta

tiettyjä ominaisuuksia. Ulko-olosuhteissa myös pölynsidonta-aineen ympäristövaikutukset on otettava huomioon, jotta kasveille ja vesistöille aiheutuvat haitat olisivat mahdollisimman minimaalisia.

Pölynsidonta-aineet levitetään useimmiten ruiskuttamalla niitä nestelevittimellä käsiteltävälle alueelle tai materiaalille. Jotkin tuotteet toimitetaan konsentraatteina, jolloin niitä laimennetaan vedellä ennen käsittelyä. Kuvassa 1 levitetään pölynsidontaliuosta soratielle säiliöautosta. Osa tuotteista saattaa olla kiinteässä muodossa, esimerkiksi rakeena tai hiutaleena. Siksi kiinteiden pölynsidonta-aineiden levittämisen jälkeen käsitelty alue on kasteltava, jotta pölynsidontaprosessi alkaa ja materiaalin pinta tiivistyy. [14, s. 1–3.]



Kuva 1. Pölynsidonta-aineen levitys soratielle [15].

3.1 Suolat

Suolat ovat käytetyimpiä pölynsidonta-aineita, ja etenkin kloridisuolat ovat käytetyin pölynsidonta-aine niiden alhaisen hinnan ja helppokäyttöisyyden vuoksi [16]. Suolat

voidaan jakaa epäorgaanisiin ja orgaanisiin suoloihin. Suolat koostuvat positiivisesti varautuneesta kationista, esimerkiksi magnesium- tai kalsiumionista, ja negatiivisesti varautuneesta ionista, kuten kloridi-ionista [17]. Suolojen pölynsidontakyky perustuu niiden hygroskooppisuuteen. Se tarkoittaa, että ne sitovat ympäristöstä itseensä kosteutta. Näin ollen ne pitävät käsitellyn pinnan kosteana. Suolat myös hidastavat kosteuden haihtumista alentamalla pintajännitystä. [18, s. 15.] Kuitenkin vesiliukoisina suolat huuhtoutuvat esimerkiksi sateen vaikutuksesta pois pinnoilta ja ovat siten ulkokäytössä pölynsidontavaikutukseltaan lyhytaikaisempia kuin veteen liukenemattomat pölynsidonta-aineet [11; 16].

Kloridisuoloista pölynsidontaan käytetään magnesium- ja kalsiumkloridia. Kloridisuolat ovat erittäin vesiliukoisia, ja etenkin kloridi-ionit kulkeutuvat luonnossa pohjavesiin. Positiiviset ionit pidättyvät maaperään kationinvaihtoreaktioiden takia. Kationinvaihtoreaktiossa kationit korvaavat muita kationeja absorboitumalla negatiivisesti varautuneisiin maaperän partikkeleihin. Kloridi-ionit eivät osallistu kationinvaihtoreaktioihin, minkä vuoksi ne joutuvat vesistöön. Etenkin suurina pitoisuuksina pohjavesiin kulkeutuneet kloridi-ionit aiheuttavat veden käyttömahdollisuuksien rajoittamista. Koska kloridisuolat ovat epäorgaanisia, ne eivät hajoa luonnossa. [18, s. 37.] Kloridit vaikuttavat vesistöjen lisäksi myös kasveihin, sillä kasvien sisältämä kloridipitoisuus on suoraan verrannollinen kasvien vaurioihin. Maaperään kulkeutuneet kloridit aiheuttavat osmoottista painetta vaikuttaen kasvien kykyyn absorboida vettä [19; 20, s. 35].

Orgaanisia suoloja käytetään epäorgaanisten suolojen sijasta niiden ympäristöystävällisyyden vuoksi. Orgaaniset suolat ovat biohajoavia, eli ne hajoavat luonnossa mikro-organismien avulla. Pölynsidonnassa käytettävät formiaatti- ja asetaattipohjaiset suolat ovat myös hygroskooppisia. Formiaatti on muurahaishapon suola ja pölynsidontaan tyypillisesti käytetään kaliumformiaattia [21]. Asetaatti on etikkahapon suola, ja pölynsidontaan käytetään esimerkiksi CMA:a eli kalsium-magnesium-asetaattia ja kaliumasetaattia [22, 23].

Formiaattisuoloja käytetään pölynsidonnassa lisäksi myös jäänsulatuksessa, ja Suomen ympäristökeskus SYKE on todennut kaliumformiaatin parhaaksi vaihtoehdoksi erityisesti herkille pohjavesialueille [24]. Euroopan kemikaalivirasto ECHA ei ole todennut pölynsidonnassa käytettäviä kaliumformiaattia ja kaliumasetaattia haitalliseksi ympäristölle tai

ihmisille [25; 26]. Orgaanisten suolojen haittapuoli on kuitenkin niiden hinta, joka saattaa olla jopa 20-kertainen perinteiseen kloridisuolaan nähden [27, s. 1]. Formiaatti- ja ase- taattisuolojen etuna on ympäristöystävällisyyden lisäksi pakkaskestävyys. Liuosten pi- toisuudesta riippuen formiaattisuolojen jäätymispiste on $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ ja ase- taattisuolojen jopa $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pakkaskestävyytensä vuoksi nämä orgaaniset suolat soveltuvat myös pölynsi- dontaan talviaikana. [21; 23.]

3.2 Polymeerit

Polymeerit ovat toisiinsa liittyvistä molekyyleistä koostuva rakenne, joka voi olla esimer- kiksi ketjumainen, rengasmainen tai haaroittunut. Polymeerimolekyylit sisältävät kova- lenttisilla sidoksilla liittyneitä monomeereja. Polymeerimolekyylien rakenne ja koko vaih- telee suuresti, minkä vuoksi myös polymeerien erilaisia ominaisuuksia ja variaatiomah- dollisuuksia on runsaasti [28, s. 15]. Polymeerit voidaan jaotella ryhmiin alkuperän mu- kaan luonnonpolymeereiksi, modifioituiksi luonnonpolymeereiksi sekä synteettisiksi po- lymeereiksi [28, s. 22]. Pölynsidonnassa polymeerejä käytetään niiden partikkeleja sito- van vaikutuksen ja vedenkestävyyden vuoksi. Polymeerit ovat myös yleisesti ottaen hy- vin kestäviä mekaanista rasitusta vastaan. [29; 30.] Kirjallisuusselvityksen perusteella voidaan todeta, että useimmiten pölynhallintaan käytetään joko muunneltuja luonnonpo- lymeerejä tai synteettisiä polymeerejä.

3.2.1 Muunnetut luonnonpolymeerit

Luonnonpolymeerejä modifioidaan eli muunnellaan, jotta saadaan korostettua tai paran- nettua niiden ominaisuuksia. Tyypillisimpiä modifiointikeinoja ovat plastisointi, täyteainei- den ja lujitteiden lisäys sekä kemiallinen muuntelu. [31, s. 5, 13.] Kemiallista muuntelua on esimerkiksi ristosilloittuminen, jossa pitkien polymeeriketjujen välille muodostuu kova- lenttisiä sidoksia kemikaalilisäyksen avulla [32, s. 1]. Modifiointikeinoilla voidaan esimer- kiksi parantaa lämmön- ja vedenkestävyyttä [33]. Modifioituja luonnonpolymeerejä on kehitetty laajasti, ja suurin osa niistä perustuu aineen kykyyn muodostaa kalvo kuivues- saan.

Luonnonpolymeerinä käytetään useimmiten selluloosaa, tärkkelystä tai luonnonkumia. Selluloosapohjaisista polymeereistä pölynsidonnassa on käytetty esimerkiksi karboksyyli-metyyliselluloosaa eli CMC:tä. CMC:llä on erittäin hyvä kyky pidättää vettä, minkä vuoksi se sopii pölynsidontaan. Nestemäisessä muodossa CMC on hyvin viskoosinen liuos, minkä vuoksi sitä käytetään pölynsidonnan lisäksi esimerkiksi sakeutusaineena elintarvike- ja lääketeollisuudessa ja kosmetiikassa. [34; 35, s. 435–437.] Ainakin sora-teilla ja hiilipölynsidonnassa on käytetty karboksyyli-metyyliselluloosaa sisältävää pölyn-sidonta-ainetta. [36, s. 11; 37.] Tärkkelyksistä etenkin maissitärkkelystä on käytetty muunneltuna pölynsidonnassa [38, s. 31; 39]. Pölynsidonnan lisäksi maissitärkkelystä käytetään elintarvikkeissa sakeutusaineena sekä lääkkeiden sidonta- ja täyteaineena [40]. Tärkkelyksen ja selluloosan lisäksi myös muita polysakkarideja sovelletaan pölyn-sidontaan. Elintarvikkeiden sakeutusaineinakin käytetyt guar- ja ksantaanikumi toimivat pölynsidonta-aineessa vedenpitävyys- ja kalvonmuodostusominaisuuksiensa vuoksi [41; 42, s. 315]. Vaikka guarkumilla on erinomainen kovettamis- ja vedenpidätyskyky, sen suuri viskositeetti ja heikko vesiliukoisuus rajoittavat sen käyttöä. Siksi guarkumi vaatii modifiointia, jotta sen käyttöä voidaan soveltaa useisiin eri kohteisiin. Muunneltua guarkumia on käytetty esimerkiksi hiilipölynsidontaan. [42, s. 314–315.]

3.2.2 Synteettiset polymeerit

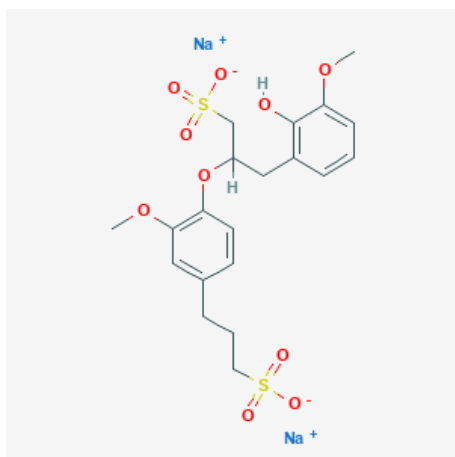
Useimmat pölynsidonnassa käytettävät synteettiset polymeerit sitovat voimakkaasti partikkeleja yhteen ja muodostavat kestävä kalvon estämään pölyämistä. Synteettiset polymeerit on teollisesti valmistettu liittämällä useita monomeereja yhteen. Synteettisten polymeerien etu verrattuna muunneltuihin polymeereihin on niiden kestävyys, sillä useat synteettiset polymeerit eivät hajoa luonnossa. Hajoamattomuutensa vuoksi myös biohajaville synteettisille polymeereille on kysyntää [43, s. 2].

Pölynsidontaan ja erityisesti maaperän stabilointiin on jo kauan käytetty polyakryyliami-dia eli PAM:ia tai siihen pohjautuvia tuotteita [44, s. 75]. Lisättynä maaperään, PAM pa-rantaa veden tunkeutumiskykyä sekä sitoo kiintoainetta yhtenäisiksi kappaleiksi. Siksi PAM:ia on käytetty esimerkiksi sorateiden pölynsidonnassa, jossa tavoitteena on yhte-näinen pinta. Anionisen polyakryyliamidin on todettu olevan pääosin turvallinen ihmisille ja ympäristölle. Kuitenkin sen käsittelyssä täytyy noudattaa varovaisuutta, jotta minimoi-daan silmä- ja ihoaltistuksen aiheuttamia vaikutuksia. [45; 46, s. 1–2.]

Pölynsidontaan on käytetty myös liimojen tai paperin valmistuksessa käytettäviä sidosaineita, kuten polyvinyylialkoholia ja styreenipohjaisia polymeerejä. Polyvinyylialkoholi eli PVA-pohjaisia pölynsidonta-aineita sovelletaan esimerkiksi hiilipölyn sidontaan [47, 48]. Styreeni-akrylaattia ja styreeni-butadieenia käytetään sorateiden pinnan stabilointiin sekä rakeisten ja jauhemaisten tuotteiden pölynsidontaan. Nämä sidosaineet ovat vesiliukoisia ja muodostavat kuivuessaan mekaanista rasiutusta ja vettä kestävän kalvon. Sekä PVA että styreeni-akrylaatti ovat laajasti käytössä, eikä niitä ole luokiteltu vaaralliseksi. [30; 49, s. 29–30.]

3.3 Teollisuuden sivutuotteet

Ligniini on puun luonnollinen sideaine, ja lignosulfonaatteja muodostuu selluloosan valmistuksen sulfiittiprosessissa [50]. Lignosulfonaatti koostuu enimmäkseen ligniinistä ja hiilihydraateista. Kuvassa 2 on kuvattu natriumlignosulfonaatin rakenne. Lignosulfonaatti tarttuu hiukkasten välisiin aukkoihin muodostaen vahvoja sidoksia, jotka johtuvat molekyylien välisistä voimista. Kuivalla säällä lignosulfonaattituotteet sitovat pölyä pitkään, mutta vesiliukoisuutensa vuoksi pölynsidontakyky saattaa heiketä esimerkiksi sateen vuoksi. Ligniinimolekyyli on biohajoava, mutta hajoaminen tapahtuu hitaasti. [18, s. 17, 44; 51.]



Kuva 2. Natrium-lignosulfonaatin rakenne [52].

Lignosulfonaattipohjaisia teollisuuden sivutuotteita käytetään pölynsidonnassa jonkin verran [14, s. 2; 53]. Niitä on käytetty pääosin päällystämättömillä teillä, mutta niitä on

kokeiltu myös muuhun pölynsidontaan kuten hiilipölynsidontaan. Lignosulfonaattipohjaisten tuotteiden pölynsidontateho perustuu siihen, että tuote sitoo käsiteltävän materiaalin partikkeleja yhteen ja kuivuessaan muodostaa kovettuneen kalvon materiaalin pinnalle. [54, s. 608; 55.]

Suomessa on tutkittu myös sellu- ja paperiteollisuuden sivutuotteena syntyvän puukuitulietteen hyödyntämistä pölynsidonnassa. Kuitulietettä syntyy Suomessa vuosittain jopa 750 000 tonnia [56]. Pölynsidontaan tarkoitettu kuituliete on bioteknologisesti modifioitu, minkä vuoksi kuitulietteen sitovat ominaisuudet ovat parantuneet. Esimerkiksi silikaattipitoisen hiekan sisältämät hydroksyyliyhdytymät muodostavat kemiallisia sidoksia modifioituneen kuitulietteen vapaiden hydroksyyliyhdytymien kanssa. Kemiallisten sidosten avulla muodostuu suurempia partikkeliklustereita, jotka eivät massansa vuoksi nouse pölynä ilmaan yhtä helposti kuin pienemmät partikkelit. [57, s. 30–31.]

3.4 Öljyt

Öljyjä ja etenkin öljypohjaisia tuotteita käytetään pölynsidonnassa laajasti. Öljyt ympäröivät pölypartikkelit tehden niistä painavampia vähentäen siten niiden taipumusta nousta ilman mukana. Öljypohjaiset pölynsidonta-aineet voidaan valmistaa joko raakaöljystä tai kasviöljyistä. Etenkin raakaöljypohjaisia pölynsidontatuotteita on ollut käytössä 1900-luvulla, mutta nykyään niiden käyttö on vähentynyt.

Raakaöljypohjaisia tuotteita ovat esimerkiksi bitumiemulsiot sekä mineraaliöljyt. Raakaöljypohjaisia pölynsidontatuotteita käytetään etenkin sorateilla. Bitumiemulsioita käytetään niiden pitkäkestoisen pölynsidontavaikutuksen vuoksi. Kuivuessaan bitumiemulsio kovettaa käsitellyn materiaalin pinnan sitoen pinnan yhtenäiseksi. Tällöin pöly ei pääse irtomaan materiaalista. Bitumiemulsio ei kuivumisen jälkeen ole vesiliukoinen, joten käsittely on erittäin pitkäkestoinen. [58.] Mineraaliöljyjä käytetään pölynsidonnassa, koska ne peittävät pölypartikkelit ja siten lisäävät partikkelin massaa. Aikaisemmin mineraaliöljyjä ja teollisuuden jäteöljyjä käytettiin esimerkiksi Kanadassa laajastikin, mutta nykyään niiden käyttö on ympäristösyistä rajoitettua. Raakaöljypohjaisia tuotteita on pölynsidonnassa vähennetty niistä haihtuvien hiilivety-yhdisteiden vuoksi. [59, s. 5.]

Toisin kuin raakaöljypohjaiset tuotteet, kasviöljyt ovat uusiutuva luonnonvara. Juuri ympäristösyistä kasviöljypohjaisten pölynsidonta-aineiden käyttö on kasvanut. Etuna kasviöljyillä on myös niiden biohajoavuus ja hyvä saatavuus. Pölynsidontaan käytetään etenkin mäntyöljyä ja rypsiöljyä. Niiden pölynsidontavaikutus perustuu myös partikkelien päällystämiseen, kuten raakaöljypohjaisilla tuotteilla. Mäntyöljyä muodostuu paperiteollisuuden sivutuotteena, ja siitä valmistettuja pölynsidonta-aineita käytetään esimerkiksi sorateilla. [60.] Kanadassa sorateiden pölynsidontaan käytetään myös rypsiöljypohjaista tuotetta [61].

3.5 Pinta-aktiiviset aineet

Pinta-aktiivisten aineiden avulla tehostetaan pölynsidontavaikutusta. Pinta-aktiivisia aineita eli tensidejä käytetään pintajännityksen pienentämiseksi tai vaahdon muodostamiseksi. Alhaisemman pintajännityksen vuoksi pölynsidonta on tehokkaampaa, kuin pelkästään vedellä, sillä käsiteltävä materiaali saadaan vettymään helpommin [62].

Tensidit ovat orgaanisia yhdisteitä, jotka koostuvat hydrofiilisesta ja hydrofobisesta päästä. Hydrofiilinen pää liukenee veteen, kun taas hydrofobinen pää hylkii vettä. Tensidien ominaisuuden määräytyvät hydrofiilisen ja hydrofobisen pää koon ja muodon mukaan. Pölynsidonta-aine pääsee tensidin avulla helpommin tunkeutumaan käsiteltävään materiaaliin, jolloin materiaali saadaan vettymään tehokkaammin. Tätä neste-neste-, neste-kiinteä- ja neste-kaasurajapinnoilla esiintyvää ilmiötä kutsutaan adsorptioksi. [63, s. 1062.] Neste-nesterajapinnoilla pinta-aktiiviset aineet mahdollistavat myös sekoittumattomien aineiden yhdistämisen. Yhdistäminen perustuu siihen, että tensidin toinen osa sekoittuu vain ensimmäisen aineen kanssa ja toinen jälkimmäisen aineen kanssa. Näin tensidit ovat tasapainossa kahden nesteen rajapinnassa. [64, s. 173.]

Tensidit voivat toimia myös vaahdotusaineina. Vaahdon tarkoituksena on vähentää pölynsidontaan käytettävän veden määrää, sillä vaahdolla on suurempi pinta-ala kuin vesipisaroilla. Useimmiten vaahdotusaineita lisätään veden sekaan, mutta niitä voidaan lisätä myös pölynsidonta-aineiden joukkoon. Pölynsidontateho perustuu siihen, että vaahdotus vangitsee pölyhiukkasia sisäänsä (kuva 3), jolloin pölyhiukkaset eivät pääse liikkumaan vapaasti. Vaahtoa muodostavia pölynsidonta-ainetta käytetään etenkin materiaalin kuljetuksen tai murskauksen yhteydessä. [65.] Vaahdotusaineita lisätään yleensä

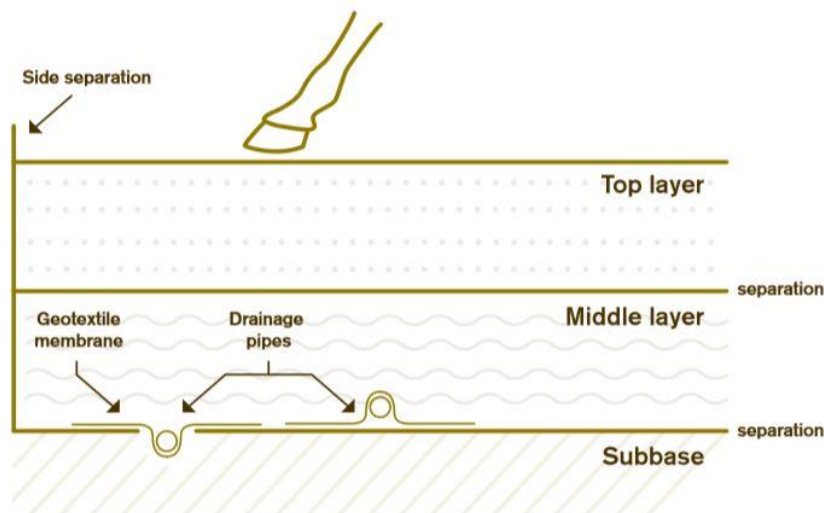
pölynsidontaliuokseen erittäin pieni määrä, minkä vuoksi vaahdotusaineen kustannukset ovat vähäisiä [66]. Runsaat määrät tensidiä saattavat aiheuttaa luonnossa vesistöjen rehevöitymistä tai vaahdon esiintymistä. [67, s. 2235.]



Kuva 3. Vaahdotetun aineen pölynsidontamenetelmä [65].

4 Ratsastuskentät

Ratsastuskentän pohja koostuu kolmesta kerroksesta: pinta-, väli ja pohjakerroksesta, jotka on esitetty kuvassa 4. Pohjakerroksen eli kantavan kerroksen tarkoituksena on tarjota hyvä alusta ratsastuskentälle, kun taas välikerroksella on liikettä tasoittava vaikutus. Välikerroksen ansiosta hevosen liikkeestä aiheutuva suurin kuormitus saadaan vaimennettua. Kerrosten materiaalit pidetään erillään suodatinkankaan tai kiilakerroksen avulla. [68, s. 83.]



Kuva 4. Esimerkki ratsastuskentän pohjan kerroksista [68, s. 83].

Pintakerros tarjoaa tasaisen ja tukevan alustan hevoselle. Pintakerroksen yleisin materiaali on hiekka [69, s. 29], johon voi olla sekoitettuna esimerkiksi kuitua, kumirouhetta tai puuhaketta. Kuitu vähentää kentän tiivistymistä ja kasteluntarvetta, kumirouhe parantaa pohjan joustoa ja puuhake parantaa vedenpidätyskykyä. [70.] Eri kerrosten paksuus riippuu materiaalivalinnoista ja siitä, onko kyseessä ulkokenttä vai maneesi eli katettu ratsastuskenttä. Ulkokentällä on otettava huomioon vedenläpäisy esimerkiksi salaojituksella, kuten kuvassa 5 on esitetty.

4.1 Ratsastuskentän vaatimukset

Toimivan kentän vaatimuksena on oikeanlainen ja ammattimaisesti rakennettu perusta sekä huolellinen kunnossapito. Oikeanlaisella kunnossapidolla saadaan kentän pintakerros pysymään samanlaisena koko kentän alueella. [71; 72.] Hevostietokeskus määrittelee hyvän pintakerroksen niin, että se tarjoaa riittävän pitävän alustan hevosen kaviolle, joustaa sopivasti askeleiden alla, mutta ei upota [70].

Kentän vaatimukset on luotu hevosten hyvinvointia varten. Jos kenttä on liian kova, hevosten jänteet rasittuvat, ja pitkällä aikavälillä tästä seuraa rasitusvammoja. Kentän ollessa liian pehmeä pohja ei ole tiivis. Tästä johtuen liikkuminen hevoselle on raskaampaa ja hevonen joutuu varomaan askeliaan, sillä pinta luisuu hevosen kavion alla. Huolellisesti suunnitellulla ja hyvin hoidetulla ratsastuskentällä hevosten riski saada vammoja on pienempi. [71.]

Joustoa ja pitoa pintamateriaaliin saadaan kosteudesta. Kosteus onkin yksi tärkeimmistä tekijöistä, mitkä vaikuttavat kentän ominaisuuksiin. Kosteus saa hiekkapartikkelit tarttumaan toisiinsa ja näin ollen hiekkamassa tiivistyy. [68, s. 63; 71; 72.] Hiekkamassan tiivistymisen vuoksi kosteudella on myös vaikutusta kentän pölyämiseen. Kosteuden haihtuessa ratsastuskentän hiekka ei ole tiivistä, jolloin hiekan hienoimmat partikkelit nousevat tuulen tai hevosten askelien voimasta ilmaan muodostaen pölyä.

4.2 Ratsastuskenttien pölynhallinta

Ratsastuskenttien pölynhallinta on olennaisessa asemassa kentän ylläpidon ja hevosten ja ratsastajien terveyden kannalta. Pölyävällä kentällä sekä hevoset ja ratsastajat hengittävät pölyä, mikä johtaa pitkällä aikavälillä hengitystieongelmiin. Hevosen hengityksen minuuttitilavuus rasituksessa on yli 750 l/min ja ihmisen 17–30 l/min, joten hevonen altistuu pölylle huomattavasti enemmän kuin ihminen [73; 74, s. 4]. On todettu, että ratsastuskentän pienhiukkasten pitoisuus on hevosen sierainten korkeudella hieman suurempi kuin ratsastajan pään korkeudella [75]. On otettava myös huomioon ratsastuksenopettajat sekä valmentajat, jotka hengittävät ratsastuskentältä nousevaa pölyä alempana kuin ratsastajat. He ovat myös työnsä vuoksi pölyssä useita tunteja päivässä.

Ratsastuksen kilpailukausi painottuu selkeästi kesäkuukausiin. Lämpimällä säällä vedellä kastellun kentän kosteus haihtuu hetkessä, minkä seurauksena kenttä alkaa pölyämään. Tämän vuoksi ratsastuskilpailuja saatetaan keskeyttää kentän kastelutarpeen vuoksi. Pölynsidonta-aineet mahdollistaisivat pidemmät kasteluvälit, ja näin ollen niiden käyttö säästäisi sekä aikaa että vettä.

Suomessa ratsastuskenttien pölynhallintaan käytetään pääosin pelkkää vettä. Osalla ratsastuskeskuksista on mahdollisuus käyttää oman kaivon tai lähijärven vettä kasteluun. Jos kuitenkin tätä mahdollisuutta ei ole, kastelu täytyy tehdä kunnallisvedellä. Kunnallisvedellä kastelu on erittäin kallista, kun otetaan huomioon kesäkauden pituus sekä ratsastuskenttien koko. Kesäaikaan kenttä kastellaan lähes päivittäin. [71; 72.] Eri-laiset pölynsidonta-aineet ovat tavallisimmin käytössä ulkomailla, etenkin Yhdysvalloissa. Suomessa veden lisäksi pölynsidontaan saatetaan joissakin paikoissa käyttää kalsiumkloridiliuosta [71]. Taulukkoon 1 on kerätty pölynsidonta-aineita, joita myydään ratsastuskentille Suomessa tai ulkomailla ja joista löytyi tarkempia tuotetietoja.

Taulukko 1. Ratsastuskenttien pölynsidontaan Suomessa ja ulkomailla käytettäviä aineita ja niiden ominaisuuksia [15; 76; 77; 78; 79, s. 4; 80; 81; 82].

Tuote	Vaikuttava aine	Annostelu 60x40m kentälle	Tuotteen olomuoto	Vesiliukoinen	Biohajoava
CC Road	Kalsiumkloridi	1200 kg	Hiutale	Kyllä	Ei
Eco-Binder F	Kaliumformiaatti	1500 kg	Liuos	Kyllä	Kyllä
Granlux	Metyyliamiiniformiaatti	Ei tietoa annostelusta	Liuos	Kyllä	Kyllä
Moisture Lok	Akryyliamidi kopolymeeri	168 kg raetta, levityksen jälkeen kastelu	Rae	Kyllä	Kyllä
Dustshield	Styreeni-akrylaatti-kopolymeeri	Ei tietoa annostelusta.	Liuos	Kyllä	Hajoaa hitaasti
Durasoil	Polyolefin ja asylinen yhdiste	Ei tietoa annostelusta	Liuos	Ei	Hajoaa hitaasti
SoilMoist	Synteettinen akryyli kopolymeeri	160 kg raetta. Kastelu ennen ja jälkeen levityksen.	Rae	Kyllä	Hajoaa hitaasti
WhoaDust	Anioninen polymeeri	noin 30 kg tuotetta, levityksen jälkeen kastelu.	Liuos	Kyllä	Hajoaa hitaasti
ArenaPro	Luonnonöljy	noin 560 L tuotetta	Liuos	Ei	Kyllä

Taulukon 1 tiedot perustuvat tuotteiden nettisivuilla, tuote-esitteessä tai käyttöturvallisuustiedotteessa annettuihin tietoihin. Annostelut on laskettu tuotteiden nettisivujen tai esitteiden antamien annostelutietojen mukaisesti, ja ne ovat suuntaa antavia. On otettava huomioon, että taulukossa 1 esitetyt pölynsidonta-aineet ovat kemialtaan, pölynsidontateholtaan ja hinnaltaan hyvin erilaisia. Siksi käsittelyyn tarvittavia pölynsidonta-aineen määriä ei voi suoraan vertailla keskenään.

Yhden käsittelyn antama pölynsidontateho riippuu esimerkiksi sääoloista, etenkin jos pölynsidonta-aine on vesiliukoinen. Vesiliukoisten pölynsidonta-aineiden teho heikkenee sateiden vaikutuksesta. Pölynsidonta-aineiden, kuten ArenaPro ja WhoaDust, valmistajat lupaavat tuotteen pölynsidontavaikutuksen kestävän jopa 1–2 vuotta. Pitkä pölynsidontavaikutus perustuu tuotteiden vettä hylkivään ominaisuuteen, jolloin sateet eivät

vaikuta pölynsidonta-aineeseen. Tuotteista on myös annettu hyvin vaihtelevasti tietoa, joten kaikkien tuotteiden sisällöstä, ympäristöystävällisyydestä tai biohajoavuudesta ei ole tarkkaa tietoa.

Suurin este pölynsidonta-aineiden käyttämiselle on niiden hinta, sillä ratsastuskentät ovat usein pinta-alaltaan isokokoisia, noin 1 500–3 000 m³. Kentän käsittely jo pelkästään vedellä saattaa tulla kalliiksi, ja pölynsidonta-aineen käyttäminen on todennäköisesti kalliimpaa. Liuoksesta riippuen uusintakäsittelyjä joudutaan toistamaan esimerkiksi kesän aikana, mikä lisää kustannuksia. Käsittely vaatii työvoimaa ja oikeanlaisen levityskaluston, mikä tuo myös kustannuksia.

5 Menetelmät ja laitteet

Kokeellisen osuuden tarkoituksena oli testata pölynsidontaan soveltuvien aineiden ominaisuuksia ja kykyä sitoa pölyä. Kokeet suunniteltiin sen mukaan, mitä ominaisuuksia ratsastuskentän pölynsidonnassa vaaditaan. Alustavissa kokeissa oli laaja kirjo erilaisia pölynsidonnassa käytettäviä aineita, joille tehtiin pienimuotoisia laboratoriokokeita aineiden ominaisuuksien määrittämiseksi. Pölyämiskokeissa testattiin pölynsidontaliuoksilla käsiteltyjen hiekkänäytteiden pölyämistä ja verrattiin niitä käsittelemättömiin hiekkänäytteisiin. Lisäksi testattiin valituilla pölynsidonta-aineilla käsiteltyjen hiekkänäytteiden hygroskooppisuutta sekä pakkaskestävyyttä.

Kokeissa käytettiin ratsastuskentillä käytettävää tyypillisesti silttipitoista hiekkaa, jota myydään raekoolla 0–2 mm. Kokeissa käytetty hiekka oli Kemion Oy:n yhteistyökumppanin ratsastuskentän kunnostuksessa ylijäänyttä hiekkaa. Hiekalle tehtiin myös raekoanalyysi tarkan koostumuksen selvittämiseksi. Hiekka ei sisältänyt kuitua tai muita ratsastuskentän pohjalle tyypillisiä lisämateriaaleja.

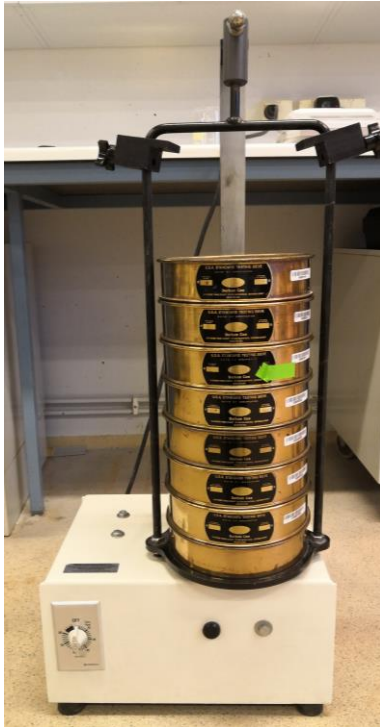
5.1 Lämpökaappi

Kokeissa käytetty hiekka sisälsi kosteutta, ja ennen pölyämiskoetta haluttiin mitata hiekan kosteuspitoisuus. Kosteuspitoisuus mitattiin haihduttamalla hiekkänäytteistä kosteutta lämpökaapissa. Kosteuspitoisuutta käytettiin avuksi suunniteltaessa pölyämiskokeita ja pölynsidonta-aineiden annostelua.

Kokeessa käytettiin Memmert-merkkistä lämpökaappia, jonka lämpötila oli asetettu 105 °C:seen. Kosteuspitoisuus mitattiin seuraamalla hiekkänäytteiden massojen muutoksia. Punnitut hiekkänäytteet asetettiin lämpökaappiin samaan aikaan. Koeaika oli 24 tuntia, minkä jälkeen näytteet asetettiin eksikaattoriin. Eksikaattorissa haihdutusmaljan sekä näytteen lämpötila laskee ilman, että näytteen kosteuspitoisuus muuttuu. Kun näytteen ja astian lämpötilojen annetaan tasaantua eksikaattorissa, kuumen astian aikaansaamat ilmavirrat eivät aiheuta virhettä punnitustuloksessa [83]. Jäähdyttämisen jälkeen haihdutusmaljat näytteenä punnittiin uudelleen hiekasta haihtuneen kosteuden selvittämiseksi.

5.2 Seula-analyysilaitteisto

Hiekan raekokojakauma selvitettiin käyttämällä seula-analyysilaitteistoa. Jakaumasta nähdään eri kokoisten partikkelien osuus koko hiekkamäärästä. Jakauman perusteella voidaan päätellä, kuinka todennäköisesti hiekka pölyää ja kuinka paljon hiekkapölyä voidaan sitoa.



Kuva 5. Raekokojakauman mittaamiseen käytetty seula-analyysilaitteisto.

Seula-analyysilaitteisto koostui moottoroidusta alustasta, jonka metallisten tukien väliin puristettiin kiinni käytettävät seulat (kuva 5). Alusta heiluttaa seuloja, jotta erikokoiset partikkelit etenevät seuloissa. Seulat asetettiin niin, että silmäkooltaan pienin seula on alimpana ja suurin päällimmäisenä. Kokeessa käytettiin seitsemää seulaa, joiden silmäkoot olivat 4 000, 2 000, 1 000, 500, 250, 125 ja 63 μm .

5.3 Pölyämiskokeiden laitteisto

Hiekan pölyämistä mitattiin modifioidulla leijutuslaitteistolla. Laitteiston pohjana oli Metropolian prosessilaboratorion leijutuslaitteisto, jonka alkuperäinen muoviputki vaihdettiin kokeeseen sopivammaksi alumiiniputkeksi. Laitteistolla tehtyjen kokeiden tavoitteena oli määrittää, voidaanko pölynsidonta-aineilla vähentää näytteestä irtoavan pölyn määrää. Laitteistossa paineilma kulkee ritilällä olevan näytteen läpi, jolloin hiekasta irtoava pöly ohjautuu putkea pitkin keräysastialle. Laitteeseen syötetty ilma otettiin paineilmaverkosta.

Laitteiston alkuperäinen muoviputki vaihdettiin poimutettua alumiinia olevaan leveämpään putkeen, jotta putkea voidaan taivuttaa kokeeseen sopivaksi. Putki venytettiin n. 2 m:n pituiseksi ja taivutettiin niin, että se ohjaa kokeessa irtoavan pölyn keräysastialle. Keräysastiana käytettiin 2 litran dekanterilasiasia. Putken halkaisija oli 160 mm, jotta se saatiin puristettua tiiviisti halkaisijaltaan 153 mm olevan laipan päälle. Putki puristettiin kiinni laippaan teräslevystä ja kumitiivisteestä valmistetulla kanavaliittimellä. Putki oli tuettu takalevyyn, jotta se ei kokeen aikana liikkuisi paineilman voimasta. Suodatinkangasta asennettiin myös putken loppuosaan, jotta pöly ohjautuisi keräysastialle ja samanaikaisesti paineilma pääsee vapautumaan suodatinkankaan läpi. Kuvassa 6 on esitetty koko laitteisto ennen kokeiden aloittamista. Alumiiniputken poimujen vuoksi näytteestä irronnut pöly ei kuitenkaan kaikki kulkeutunut keräysastialle. Tämän vuoksi luotettavia tuloksia saatiin, kun mitattiin ritilälle asetetun näytteen massaa ennen ja jälkeen pölyämiskokeen.



Kuva 6. Pölyämiskokeiden laitteisto kokonaisuudessaan.

Laitteisto koostui alustasta, putkesta sekä astiasta, johon pöly kerättiin. Alusta sisälsi ilmansyöttöventtiilin, laippakiinnityksellä olevat ritilät sekä niiden välissä olevan suodatinkankaan. Kuvassa 7 alustan rakenne. Suodatinkangas asennettiin kahden metalliritilän väliin, jotta se pysyy paikallaan tukevasti. Suodatinkankaana käytettiin polypropyleenistä valmistettua maisemointikangasta.



Kuva 7. Pölyämlaitteiston alusta, jossa paineilman sisääntulo sekä ritilä, jonka päälle näyte asetetaan.

5.4 ACS Discovery -sääkaappi

ACS Discovery -sääkaapissa (kuva 8) testattiin kahta ominaisuutta: hygroskooppisuutta sekä pakkaskestävyyttä. Kokeessa käytettiin alustavien kokeiden perusteella valmistettuja koeliuoksia 1 ja 2 (katso tarkemmin kpl 6.1), joiden tiedettiin olevan hygroskooppisia. Polymeerien ei uskottu muuttavan hygroskooppisuutta tai pakkaskestävyyttä ja päätettiin stabiilisuuskokeissa käyttää vain tiettyjä liuoksia. Oletettiin myös, että luonnonöljypohjainen liuos 6 ei ole hygroskooppinen, joten sitä ei valittu näihin kokeisiin. Kokeessa nollanäytteet käsiteltiin vedellä, jotta näytteissä olisi saman verran kosteutta kokeiden aloitushetkellä.



Kuva 8. ACS Discovery -sääkaappi, jossa testattiin hygroskooppisuutta ja pakkaskestävyyttä.

Hygroskooppisuutta testattiin kuivan kesäpäivän olosuhteissa, jossa lämpötilana oli 20 °C ja suhteellinen kosteus oli 40 %. Suhteellisella kosteudella tarkoitetaan ilmassa olevan veden suhteellista osuutta siihen, kuinka paljon ilma voi vallitsevassa lämpötilassa kosteutta sisältää. [84.] Tällä kokeella testattiin, pystyykö pieni määrä pölynsidontaliuosta sitomaan näytteen kosteutta suhteellisen kuivissa olosuhteissa. Näytteet punnittiin ennen ja jälkeen kokeen, sillä hygroskooppisuutta seurattiin massan muutosten avulla. Oletettiin, että pölynsidontaliuoksilla käsiteltyjen näytteiden massat muuttuisivat vähemmän kuin käsittelemättömien näytteiden massat, sillä ne ovat hygroskooppisia.

Pakkaskestävyyttä testattiin -10 °C:ssa 17 tunnin ajan. Kokeella testattiin pölynsidonta-aineiden käyttömahdollisuutta talviolosuhteissa. Kokeessa seurattiin näytteiden jäätymistä ja pölyämistä. Kovettumista analysoitiin näytteistä silmämääräisesti ja kääntelemällä näytepusseja. Pölyämistä testattiin ravistelemalla näytepusseja 30 sekunnin ajan ja seurattiin näytteiden pölyämistä silmämääräisesti.

6 Kokeiden toteutus ja tulokset

6.1 Alustavat kokeet ja koeliuosten muodostus

Kirjallisuusselvityksen perusteella pölyä sitovia aineita käytetään sorateilla, kaivoksilla tai esimerkiksi kasoilla, jossa tuulen vaikutus halutaan minimoida. On otettava huomioon, että sorateilla pinnan halutaan olevan tiivis ja kova, kun taas ratsastuskentän toivotaan olevan elastinen mutta pitävä. Siksi samat aineet eivät sellaisinaan välttämättä sovellu kentän pölynhallintaan. Tämän vuoksi tehtiin alustavia kokeita, joiden perusteella muodostettiin liuokset pölyämis-, hygroskooppisuus- ja pakkaskestävyyskokeita varten. Koska ratsastuskenttä sijaitsee välittömässä eläinten, ihmisten ja luonnon läheisyydessä, pölynsidonta-aineen tulisi olla turvallinen käyttää.

Alustavissa kokeissa vertailtiin 20 erilaisen pölynsidonta-aineen ominaisuuksia. Aineiden ominaisuuksia testattiin kolmella kokeella: muodostamalla niistä kalvo, sekoittamalla niitä hiekkaan ja testaamalla niiden pölyämistä ravistuskokeessa.

Kalvonmuodostuskokeessa arvioitiin, millaisen kalvon kyseinen aine kuivuessaan muodostaa. Pölynsidonta-aineet annosteltiin laakealle alustalle, minkä jälkeen niiden annettiin kuivua kokonaan. Kuvassa 9 on kuivumassa olevia näytteitä. Tavoitteena oli löytää pölynsidonta-aine, joka muodostaisi mahdollisimman elastisen ja mekaanista rasitusta sekä vettä kestävän yhtenäisen kalvon. Kuivumisen jälkeen muodostuneiden kalvojen ulkonäköä ja kestävyyttä arvioitiin. Kestävyyttä testattiin taivuttelemalla kalvoa ja seuraamalla, kuinka helposti kalvo halkeaa tai hajoaa pienempiin osiin. Tämän jälkeen arvioitiin kalvojen käyttäytymistä vesirasituksessa, jossa kalvo upotettiin veteen ja seurattiin, miten vesi vaikuttaa kalvoon. Vesirasitus kesti yhteensä kaksi vuorokautta, jonka aikana näytettä sekoitettiin useaan otteeseen. Osa kalvoista hajosi ja liukeni välittömästi veteen laittamisen jälkeen ja osa niistä piti muotonsa koko vesirasituksen ajan.



Kuva 9. Pölynsidonta-aineita kalvonmuodostuskokeessa.

Kalvonmuodostuskokeiden perusteella valittiin aineet, joita testattiin hiekan kanssa vuorokokeissa. Valinnoissa painotettiin yhtenäisen ja suhteellisen kestävien kalvojen muodostaneita aineita. Pölynsidonta-aineista valmistettiin liuokset ja 100 g:n hiekkänäytteiden joukkoon lisättiin liuoksia 25 g. Näytteiden annettiin kuivua 10 vuorokauden ajan, minkä aikana vesi haihtui pois ja jäljelle jäi kakkumainen näyte. Kuivumisen jälkeen arvioitiin, miten hyvin pölynsidontaliuokset sitovat hiekkapartikkeleja toisiinsa ja säilyttävät hiekan kosteana ja muokattavana. Osa pölynsidontaliuoksista muodosti yhtenäisen ja kivikovan kakun kun taas toiset aineista eivät. Arvioinnin jälkeen tehtiin vesirasituskoee, jossa näytteet asetettiin veteen ja seurattiin niiden muodon pitävyyttä. Vesirasituskoee kesti yhden vuorokauden ajan, jonka aikana näytteitä sekoitettiin useampaan otteeseen. Osa kakuista hajosi välittömästi vesirasituksessa, mutta toiset pitivät muodon paremmin.

Myös pölyämistä testattiin pienimuotoisesti ennen laitteiston pölyämiskokeita ravistelukoikeilla. Hiekka ja testattavat pölynsidontaliuokset sekoitettiin huolellisesti suljettavassa pussissa, minkä jälkeen näytteiden annettiin kuivua avonaisissa pusseissa huoneilmassa kaksi vuorokautta. Kuivuneita näytteitä ravistettiin ja ravistelussa syntyvän pölyn määrää arvioitiin silmämääräisesti. Ravistelukoikeiden perusteella voitiin arvioida pölynsidontaliuosten tehoa ja ennakoida pölyämiskokeiden tuloksia.

Pölynsidonta-aineet, joilla alustavien kokeiden perusteella on ratsastuskentille sopivia ominaisuuksia, valittiin pölyämiskokeissa käytettäviin koeliuoksiin. Jokaista koeliuosta valmistettiin kokeita varten 100 g. Koeliuosten reseptit ovat taulukossa 2.

Taulukko 2. Laitteistolla tehtyjä pölyämiskokeita varten valmistetut koeliuokset.

1	m (g)	4	m (g)
Vesi	75,0	Vesi	70,0
Orgaaninen suola	25,0	Kasviöljyjohdannainen	25,0
		Polymeeri 2	5,0
2	m (g)	5	m (g)
Vesi	75,0	Vesi	70,0
Kasviöljyjohdannainen	25,0	Kasviöljyjohdannainen	25,0
		Polymeeri 3	5,0
3	m (g)	6	m (g)
Vesi	70,0	Luonnonöljy	100,0
Orgaaninen suola	25,0		
Polymeeri 1	5,0		

Koeliuosten lisäksi pölyämiskokeissa oli myös aina nollanäyte eli vedellä käsitelty hiekanäyte, jotta tuloksia voitiin vertailla. Koeliuokset 1 ja 2 olivat perusliuoksia, joita käytettiin myös erillisissä hygroskooppisuus- ja pakkaskestävyyskokeissa. Liuokset 3, 4 ja 5 pohjautuvat perusliuoksiin, ja niihin lisättiin kolmea erilaista polymeeriä. Liuos 6 sisälsi luonnonöljypohjaista pölynsidonta-ainetta.

6.2 Käytetyn hiekan kosteuspitoisuuden määrittäminen

Hiekkaa punnittiin kahteen pieneen haihdutusmaljaan 10 g ja yhteen isompaan haihdutusmaljaan 20 g. 24 tunnin koeajan jälkeen näytteet asetettiin eksikaattoriin 30 minuutiksi. Hiekan kosteuspitoisuus laskettiin näytteestä kaavan 1 mukaisesti.

$$\text{Kosteuspitoisuus (\%)} = \frac{m_{\text{näyte ennen koetta}} - m_{\text{näyte kokeen jälkeen}}}{m_{\text{näyte ennen koetta}}} * 100 \quad (1)$$

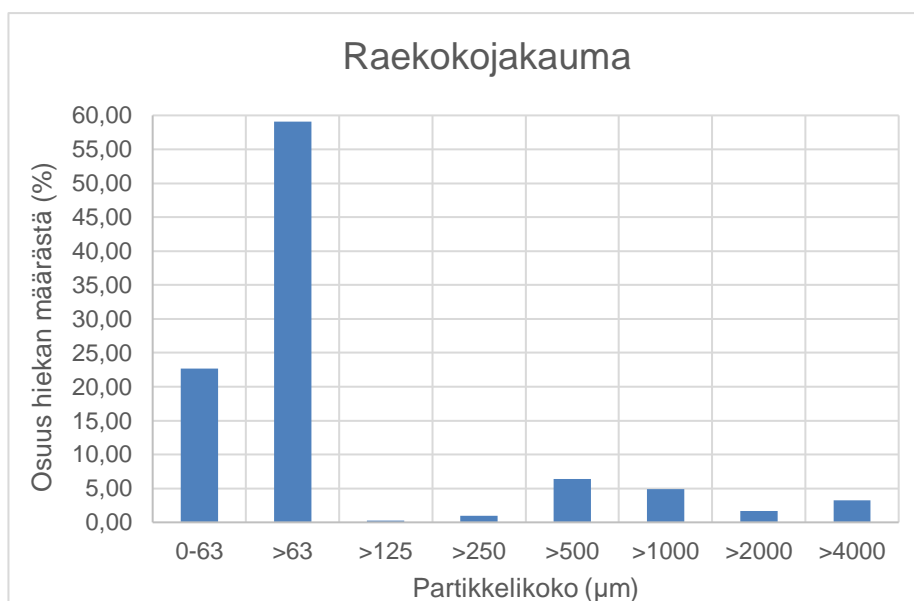
Taulukko 3. Hiekkänäytteiden kosteuspitoisuus ja kosteuspitoisuuden keskiarvo.

Malja	Kosteuspitoisuus (%)	Kosteuspitoisuuden keskiarvo
1	8,17	8,31
2	8,23	
3	8,52	

Hiekan kosteuspitoisuuden keskiarvoksi saatiin 8,31 %, kuten taulukossa 3 on esitetty. Kosteuspitoisuuden perusteella valittiin pölyämiskokeiden liuosten annosteluksi 4 % hiekan massasta. Tämä siksi, koska kostea hiekka ei pölyä ollenkaan ja toisaalta täysin kuiva hiekka pölyää erittäin helposti.

6.3 Käytetyn hiekan raekokoanalyysi

Kokeeseen käytettiin 200 g kuivattua hiekkaa. Koe aloitettiin punnitsemalla jokainen kokeessa käytettävä seula. Seulat järjesteltiin laitteistoon ja hiekka kaadettiin ylimmän seulan päälle. Tämän jälkeen kansi asetettiin paikalleen ja seulat kiinnitettiin puristimien avulla paikalleen. Laitteisto käynnistettiin ja hiekkaa seulottiin kolmen minuutin ajan. Seulat irrotettiin laitteesta yksi kerrallaan ja jokainen seula punnittiin. Siten saatiin selville, kuinka paljon kullakin seulalla on hiekkaa. Analyysin tulokset ovat kuvassa 10 ja mittaustulokset ovat liitteessä 1.



Kuva 10. Käytetyn hiekan raekokojakauma.

Kaaviosta nähdään, että suurin osa hiekan partikkeleista on halkaisijaltaan alle 125 µm. Tästä voidaan päätellä, että hiekan seassa on paljon partikkeleja, jotka pölyävät ja joita on mahdollista sitoa pölynsidontaliuoksilla. Valmistaja oli luokitellut hiekan partikkelikoon 0-2 mm. Seula-analyysin perusteella hiekasta löytyi jopa yli 4 mm:n kokoisia partikkeleja, jotka koostuvat pääosin pienistä kivistä.

6.4 Pölyämiskokeet leijutuslaitteistossa

Jokaista näytettä varten minigrip-pusseihin punnittiin 100 g hiekkaa. Hiekan sekaan lisättiin 4 g koeliuoksia (ks. luku 5.5), minkä jälkeen näytteitä ravisteltiin yhden minuutin ajan. Ravistelulla varmistettiin koeliuosten huolellinen sekoittuminen koko hiekkamassaan. Näytteiden annettiin kuivua viikon ajan avonaisissa pusseissa, kunnes hiekan sisältämä kosteus oli täysin haihtunut.

Koska kosteana hiekkapartikkelit tarttuvat toisiinsa, kuivumisen aikana näytteisiin oli muodostunut pallomaisia hiekkakappaleita. Koeliuoksesta riippuen pallomaisten kappaleiden koko ja määrä vaihteli. Jotta näytteet olisivat mahdollisimman samanlaisia, kuivuneet näytteet seuloittiin isompien kappaleiden erottamiseksi. Seulassa silmäkokona käytettiin 4 mm:ä, jota isommat hiekkakappaleet painettiin kevyesti seulan läpi. Hiekan

seassa oli myös vaihtelevasti yli 4 mm:n kokoisia kiviä, jotka poistettiin seulonnassa, sillä ne olisivat saattaneet vaikuttaa kokeen tuloksiin.

Jotta näytteet olisivat ritilällä tasaisesti, ne kaadettiin ritilälle muotin avulla. Tämän jälkeen alumiiniputki puristettiin liittimellä kiinni ritilään. Liittimen alareuna teipattiin, millä varmistettiin ritilän, putken ja liittimen yhdistelmän olevan ilmatiivis. Paineilma käynnistettiin ja sitä puhallettiin näytteeseen kahden minuutin ajan 2 baarin paineella. Kokeen jälkeen ritilä ja siinä oleva hiekkänäyte punnittiin uudelleen. Hiekasta irronneen pölyn määrä laskettiin kaavan 2 mukaisesti.

$$\text{Pölyn määrä (\%)} = \frac{m_1 - (m_2 - m_r)}{m_1} * 100, \quad (2)$$

jossa

m_1 on seulottu näyte ennen koetta

m_2 on ritilän ja näytteen paino kokeen jälkeen

m_r on tyhjän ritilän paino

Jokaisesta pölynsidontaliuoksesta tehtiin kolme samanlaista näytettä, jotta tulokset olisivat luotettavia ja vertailukelpoisia. Taulukossa 4 on esitetty pölynsidontaliuoksilla käsitellyt näytteet ja pölyämiskokeessa irronneen pölyn määrän keskiarvo prosentteina. Myös jokaisella pölynsidonta-aineella saatujen tulosten vaihteluväli on kuvattu taulukossa 4. Liitteessä 2 on tarkemmat tiedot mittaustuloksista. Muista poiketen, liuoksesta 6 ei saatu kolmea onnistunutta mittausta. Yhden näytteen tulosta ei voitu ottaa keskiarvossa huomioon, sillä laitteiston putki ei pysynyt telineessä vaan irtosi osuen näytteeseen. Tämän vuoksi osa näytteestä putosi ritilältä, jolloin punnitustulos ei vastannut kokeen tulosta.

Taulukko 4. Pölyämiskokeiden tulokset ja tulosten vaihteluvälit.

Koeliuos	Näytteestä irronneen pölyn keskiarvo (%)	Tulosten vaihteluväli (%)
0	16,39	[15,47-17,94]
1	4,65	[3,71-4,83]
2	4,08	[3,64-3,77]
3	7,72	[5,67-8,75]
4	3,66	[2,28-3,65]
5	4,12	[3,16-4,43]
6	2,39	[1,78-2,70]

6.5 Hygroσκοoppisuus- ja pakkaskestävyyskokeet

Kokeet aloitettiin punnitsemalla minigrip-pusseihin 100 g hiekkaa, johon lisättiin 4 g pölynsidontaliuosta. Kokeissa käytettiin pölynsidontaliuoksia 1 ja 2, ja vertailunäytteenä vedellä käsiteltyä hiekkaa. Sekä liuoksista että vedestä tehtiin kolme samanlaista näytettä. Kun pölynsidontaliuos tai vesi oli lisätty hiekkaan, pusseja ravisteltiin yhden minuutin ajan tasaisen sekoittumisen varmistamiseksi. Sekoituksen jälkeen näytepusseja avattiin ja aseteltiin tasaisesti alustoille, jotka siirrettiin sääkaapin ritilälle. Toisin kuin pölyämiskokeissa, hiekan sisältämää kosteutta ei haihdutettu, vaan kokeet aloitettiin heti näytteiden valmistamisen jälkeen.



Kuva 11. Näytteet hygroskooppisuuskokeen jälkeen.

Sääkaappi oli asetettu hygroskooppisuuskoea varten valmiiksi 20 °C:seen ja 40 %:n suhteelliseen kosteuteen. Koeaika oli 24 tuntia, minkä jälkeen näytteet punnittiin haihtuneen kosteust määrän selvittämiseksi. Kuvassa 11 on näytteet hygroskooppisuuskokeen jälkeen, ja siitä näkyy, että kostea hiekka kuivuessa muodostaa helposti pallomaisia kappaleita. Kokeen tulokset on kuvattu taulukossa 5. Haihtuneen kosteuden määrä on laskettu kaavan 1 mukaisesti. Kokeen toistot on merkitty alaindeksiin.

Taulukko 5. Hygroskooppisuuskokeen tulokset.

Näyte	Haihtuneen kosteuden määrä (%)	Keskiarvot	
1 ₁	9,87 %	1	9,91 %
1 ₂	10,00 %		
1 ₃	9,85 %		
2 ₁	9,83 %	2	9,58 %
2 ₂	9,54 %		
2 ₃	9,38 %		
0 ₁	11,13 %	0	11,08 %
0 ₂	11,49 %		
0 ₃	10,62 %		

Pakkaskestävyyskokeet aloitettiin heti hygroskooppisuuskokeen jälkeen. Pakkaskestävyyskokeen näytteet asetettiin alustalle sääkaappiin sen lämpötilan ollessa vielä 20 °C. Kaapin tavoitelämpötilaksi asetettiin -10 °C, ja käynnistämisen jälkeen sen lämpötila alkoi heti laskea. Noin 30 minuutin kuluttua tavoitelämpötila oli saavutettu. Koeaika oli yhteensä 17 tuntia, minkä jälkeen näytteiden ulkomuoto ja jäätyminen arvioitiin silmämääräisesti.

Vedellä käsitellyt näytteet olivat jäätyneet pusseissa koviksi yhtenäisiksi kappaleiksi, eikä hiekka ollut irtonaista. Kappaleet kuitenkin hajosivat pienemmiksi palasiksi kevyesti puristamalla. Seassa oli myös keskikokoisia kappaleita, jotka olivat jäätyneet erittäin koviksi, eikä niitä saanut puristamalla hajotettua. Pölynsidontaliuos 2:lla käsiteltyjen näytteet olivat hieman jähmettyneitä, mutta hiekka oli pääosin juoksevaa. Kuten vedellä käsitellyissä näytteissä, myös näissä näytteissä oli jäätyneitä keskikokoisia hiekkakappaleita. Kappaleiden määrä oli kuitenkin huomattavasti pienempi, kuin vedellä käsitellyissä näytteissä. Pölynsidontaliuos 1:n näytteet kestivät pakkasta selkeästi paremmin, kuin

muut kokeen näytteet. Näytteet olivat pääosin juoksevaa hiekkaa lukuun ottamatta yksittäisiä jähmettyneitä kohtia. Jäätynyttä hiekkakappaleita ei liuos 1:llä käsitellyissä näytteissä ollut.

Silmämääräisen arvioinnin jälkeen kaikki näytteet ravisteltiin. Näytteiden ravistelussa todettiin, ettei mikään näyte pölyä. Voidaan siis päätellä, että pölynsidonta-aineen lyhytaikainen jäädyttäminen ei vaikuta negatiivisesti pölynsidontakykyyn.

7 Tulosten tarkastelu ja johtopäätökset

Alustavat kokeet sisälsivät kalvonmuodostus- ja vuokakokeet, vesirasitustestit sekä ravistelukokeet. Kokeet onnistuivat hyvin ja pölynsidonta-aineiden ominaisuuksia saatiin vertailtua koeliuosten muodostusta varten. Esimerkiksi kokeessa käytettyjen pölynsidonta-aineiden kalvonmuodostus- ja vedenkestokyvyssä oli huomattavia eroja. Useista eri pölynsidonta-ainevaihtoehdoista valittiin ratsastuskenttien kannalta parhaita ominaisuuksia sisältävät aineet, joista muodostettiin kuusi koeliuosta pölyämiskokeita varten.

Hiekan ominaisuuksista määritettiin kosteuspitoisuus ja raekokojakauma. Molemmat kokeet olivat onnistuneita, ja kosteuspitoisuuden perusteella päätettiin pölyämiskokeiden koeliuosten annostelumäärä. Raekokoanalyysin perusteella todettiin, että näyte ratsastuskentillä käytettävästä hiekasta sisältää suureksi osaksi alle 125 µm halkaisijaltaan olevia hiekkapartikkeleja. Tulos on realistinen, sillä ratsastuskentän hiekan halutaan sisältävän pieniä hiekkapartikkeleja tiiviin pintarakenteen saavuttamiseksi. Raekokojakautaman tuloksesta päätettiin, että kuiva ja käsittelemätön hiekka pölyää paljon ja koeliuoksilla on mahdollista sitoa pieniä hiekkapartikkeleja.

Pölyämiskokeissa testattiin kuuden eri koeliuoksen pölynsidontakykyä. Pölyämiskoe oli ratsastuskenttäolosuhteisiin verrattuna vaativampi, sillä kokeessa käytettiin täysin kuivaa hiekkaa ja ilmaa puhallettiin suurella paineella näytteeseen. Kuitenkin kokeessa käytetty laitteisto soveltui hyvin pölyämisen mittaamiseen ja kokeet onnistuivat hyvin. Kaikki koeliuokset sitoivat pölyä huomattavasti paremmin verrattuna käsittelemättömiin näytteisiin. Pölyämiskokeessa käsittelemättömistä nollanäytteistä irtosi hiekkaa paineilman mukana keskimäärin 16 % koko näytteen massasta, kun taas koeliuoksilla käsitellyistä näytteistä irtosi 2,4–7,7 %. Voidaan olettaa, että näytteistä irronneet hiekkapartikkelit olivat pienimpiä ja siten kevyimpiä. Koeliuosten tulokset olivat hyvin samansuuntaisia, esimerkiksi näytteistä 1, 2 ja 5 irronneen pölyn määrä oli 4 % koko näytteen massasta. Koeliuokset 1 ja 2 olivat perusliuoksia ja voidaan todeta, että tällä kokeella ei saatu eroja niiden pölynsidontatehoon. Alustavissa kokeissa tehdyissä ravistelukokeissa ennakoitiin pölynsidontakokeiden tuloksia. Kuten oletettiin, kahden kokeen hyvin erilainen toteutus todennäköisesti antaa erilaisia tuloksia, ja ravistelukokeisiin verrattuna koeliuoksilla saatiin hieman erilaisia tuloksia pölyämiskokeessa. Esimerkiksi polymeerejä sisältävät koeliuokset 3 ja 5 toimivat ravistelukokeissa parhaiten eivätkä pölynneet juuri ollenkaan.

Kuitenkin pölyämiskokeessa liuoksella 3 käsiteltyt näytteet pölysivät käsitellyistä näytteistä eniten, kun taas liuoksella 5 pölynsidonta oli tehokkaampaa. Pölyämiskokeissa parhaiten pölyä sitoi luonnonöljypohjainen pölynsidontaliuos 6, josta irtosi kokeessa vain 2,4 % näytteen massasta.

Pölyämiskokeessa eri koeliuksilla saatujen tulosten vaihteluvälit olivat suhteellisen pieniä, mikä vahvisti kokeen luotettavuutta. Pölyämiskokeen perusteella voitiin todeta, että perusliuoksiin lisätyt polymeerit eivät merkittävästi parantaneet pölynsidontatuloksia. Polymeerien osuutta koeliuksessa olisi voinut suurentaa, mikä olisi saattanut parantaa liuosten kykyä sitoa hiekkapartikkeleja toisiinsa.

Hygroskooppisuus- ja pakkaskestävyyskokeissa testattiin vain perusliuoksia 1 ja 2. Kokeet onnistuivat hyvin, sillä perusliuosten ja nollanäytteen välillä oli selkeitä eroja. Hygroskooppisuudeltaan molemmat perusliuokset olivat hyvin samanlaisia, ja niillä käsiteltyjen näytteiden painohäviö oli 1,5 % pienempi kuin käsittelemättömillä näytteillä. Käsiteltyjen ja käsittelemättömien näytteiden massan muutosten erot johtuvat pölynsidontaliuoksista ja niihin sitoutuneesta vedestä. Näin ollen perusliuokset siis sitovat kosteutta hiekkänäytteeseen pitäen sen kosteimpana pidempään kuin käsittelemätön näyte. Myös pakkaskestävyydessä oli selkeä ero. Vedellä käsiteltyt näytteet jäätyivät ja pölynsidontaliuksilla käsiteltyt näytteet pysyivät pääosin irtonaisena hiekkana. Tämän vuoksi on todennäköistä, että perusliuoksia voidaan käyttää myös talvipölynsidonnassa.

8 Yhteenveto

Työn tavoitteena oli selvittää ratsastuskentille sopivia pölynsidontaliuoksia ja testata niitä kokeellisesti. Työn kirjallisuusosuudessa käsiteltiin pölynsidontan peruseriaatteita sekä perehdyttiin yleisesti käytössä oleviin pölynsidonta-aineisiin. Kirjallisuusselvityksessä käsiteltiin myös ratsastuskenttien rakennetta ja ominaisuuksia sekä ratsastuskenttien tämänhetkisiä pölynsidontaratkaisuja.

Kokeellinen osuus sisälsi useita kokeita. Kokeet aloitettiin alustavilla kokeilla, joissa vertailtiin kirjallisuusselvityksen perusteella valittujen pölynsidonta-aineiden ominaisuuksia, kuten kalvonmuodostuskykyä, kykyä sekoittua hiekkaan ja kykyä sitoa pölyä minigrip-pusseissa tehdyissä ravistelukokeissa. Kokeellisen osuuden alussa myös käytettävän hiekan kosteuspitoisuus ja raekokojakauma määritettiin. Alustavien kokeiden perusteella valmistettiin koeliuokset pölyämiskokeisiin, jossa testattiin koeliuosten kykyä sitoa hiekanäytteiden pölyä. Koeliuoksia valmistettiin kuusi kappaletta, joista kaksi oli perusliuoksia, kolme sisälsi polymeerejä ja yksi oli öljypohjainen tuote.

Pölyämiskokeet tehtiin modifioidulla leijutuslaitteistolla, jossa puhallettiin näytteeseen paineilmaa ja seurattiin näytteestä irtoavien pölypartikkelien määrää. Irtoavien partikkelien määrää mitattiin punnitsemalla alkuperäisiä näytteitä ennen koetta ja sen jälkeen. Pölyämiskokeissa todettiin koeliuksilla käsiteltyjen näytteiden pölyävän huomattavasti vähemmän kuin käsittelemättömät hiekanäytteet. Eri koeliuosten pölynsidontakykyjen välillä nähtiin jonkin verran eroja, ja parhaiten pölyä sitoi luonnonöljypohjainen koeliuos.

Alustavien kokeiden perusteella valmistetuille perusliuksille tehtiin myös hygroskooppisuus- ja pakkaskestävyyskokeet, jotka suoritettiin ACS Discovery -sääkaapilla. Hygroskooppisuuskokeessa perusliuksilla ja vedellä käsitellyt näytteet olivat sääkaapissa 24 tuntia 20 °C:ssa ja 40 %:n suhteellisessa kosteudessa. Liuosten todettiin sitovan kosteutta ja vähentävän näytteistä haihtuvan kosteuden määrää verrattuna vedellä käsiteltyihin näytteisiin. Pakkaskestävyyskoe kesti 17 tuntia, jonka ajan näytteet olivat -10 °C:ssa. Myös pakkaskestävyyskokeessa huomattiin selkeitä eroja, ja todettiin perusliuosten ehkäisevän hiekan jäätymistä.

Kokeiden perusteella löydettiin pölynsidontaliuoksia, jotka ominaisuuksiltaan sopivat ratsastuskentille. Pölynsidontaliuokset pidentävät pölynsidontavaikutusta verrattuna vesikäsittelyyn, ja liuokset soveltuvat myös pakkasolosuhteiden aikaiseen pölynsidontaan. Pölynsidontaliuoksella käsitelty hiekka kuivuessaan pölyä selkeästi vähemmän kuin käsittelemätön hiekka, joka pölyä erittäin helposti.

Pölyämiskokeita varten muokattu laitteisto soveltui näytteiden testaamiseen hyvin, ja sääkaapilla saatiin vertailukelpoisia tuloksia. Tuloksia voidaan kuitenkin pitää vain suuntaa antavina, sillä testattavien hiekkänäytteiden massat olivat hyvin pieniä. Ennen pölynsidontaliuosten tuotteistamista on suositeltavaa tehdä kenttäkokeita isommassa mittakaavassa käytännön toimivuuden varmistamiseksi.

Insinööriyön avulla saatiin lisätietoa erilaisten ratsastuskenttien pölynsidonta-aineiden ominaisuuksista, ja niiden perusteella voidaan suunnitella ratkaisuja myös muihin pölynsidontakohteisiin. Työn kokeellisen osuuden tuloksia hyödynnetään Kemion Oy:n pölynsidontatuotteiden kehityksessä.

Lähteet

- 1 Hevostalous lukuina 2017. Verkkoaineisto. Hippolis, Suomen Hippos ry, Suomen Ratsastajainliitto ry, Luke Hevostalous. <https://www.ratsastus.fi/site/assets/files/2864/hevostalous_lukuina_2017.pdf>. Luettu 21.3.2019
- 2 Dust Stop® Liquid Concentrate. 2018. Verkkoaineisto. Cypher Environmental. <<https://www.cypherenvironmental.com/dust-stop/dust-stop-liquid-concentrate/>>. Luettu 15.12.2018.
- 3 Säämänen, Arto; Riipinen, Hannu; Kulmala, Ilpo & Welling, Irma. 2014. Pölyn-
torjunta. Kansainvälinen yhteistyö- ja tiedonvälityshanke hyvien työympäristö-
ratkaisujen edistämiseksi. Verkkoaineisto. <<http://virtual.vtt.fi/virtual/proj3/poly-verkko/pace.pdf>>. Luettu 15.12.2018.
- 4 Katupöly. 2017. Verkkoaineisto. Helsingin seudun ympäristöpalvelut -kuntayhtymä. <<https://www.hsy.fi/fi/asiantuntijalle/ilmansuojelu/tietoailmasta/Sivut/Katupoly.aspx>>. Luettu 12.2.2019.
- 5 Methods for Dust Control. 2016. Verkkoaineisto. Washington State Department of Ecology. <<https://fortress.wa.gov/ecy/publications/documents/96433.pdf>>. Luettu 19.11.2018
- 6 Ympäristöasioiden hallinta kiviainestuotannossa. 2010. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Verkkoaineisto. <https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/37976/SY25_2010.pdf?sequence>. Luettu 2.3.2019.
- 7 Pölyt ja nanohiukkaset. 2012. Verotus ja tulliliitto. Verkkoaineisto. <https://ec.europa.eu/taxation_customs/dds2/SAMANCTA/FI/Safety/Dust_FI.htm>. Luettu 2.3.2019.
- 8 Hengittyvän ja alveolijakeisen pölyn tavoitetasoperustelumuistio. 2016. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://www.ttl.fi/wp-content/uploads/2016/12/hengittyva-ja-alveolijakeinen-poly-tavoitetaso.pdf>>. Luettu 12.2.2019.
- 9 Tuomisto, Jouko. 2014. Mikä kaupunki-ilmassa määttää? Duodecim. Verkkoaineisto. <https://www.terveyskirjasto.fi/terveyskirjasto/tk.koti?p_artikkeli=asy00401&p_hakusana=pöly>. Luettu 10.2.2019.
- 10 Hoffrén, Jukka. 2008. Ilman pienhiukkaset merkittävä terveysongelma. Tilastokeskus. Verkkoaineisto. <https://www.stat.fi/artikkelit/2008/art_2008-05-30_007.html?s=0>. Luettu 10.2.2019.
- 11 Schilling, Kevin; Freeman, Dan & McPherson, Roger. 2009. Dust suppressant and soil stabilization composition. Patentti US7514018B2. Luettu 8.1.2019.

- 12 A Guide to Spray Technology for Dust Control. 2008. Verkkoaineisto. Spraying Systems Co. <http://www.sgntekniikka.fi/wp-content/uploads/2015/03/b652_dust_control.pdf>. Luettu 14.12.2018.
- 13 Dust Palliative Selection and Application Guide. 1999. Verkkoaineisto. United States Department of Agriculture. <https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/stelprdb1043546.pdf>. Luettu 14.12.2018.
- 14 Steevens, Jeffery; Suedel, Burton; Gibson, Alfreda; Kennedy, Alan; Blackburn, William; Splichal, David & Pierce, J. Thomas. 2007. Environmental Evaluation of Dust Stabilizer Products. Verkkoaineisto. U.S. Army Engineer Research and Development Center. <<https://apps.dtic.mil/dtic/tr/fulltext/u2/a471771.pdf>>. Luettu 10.1.2019.
- 15 Eco-Binder -esite. Kemionin sisäinen dokumentti.
- 16 Detloff, Cheryl. 2017. Alternatives to Chlorides for Effective Dust Control. Midwest Industrial Supply Incl. Verkkoaineisto. <<http://blog.midwestind.com/alternatives-to-chlorides-for-effective-dust-control/>>. Luettu 10.1.2019.
- 17 Suolat. Verkkoaineisto. Peda.net. <<https://peda.net/kotka/perusopetus/langinkosken-koulu/oppiaineet2/kemia/8-luokka-luonnos/tyl/suolat/suolat>>. Luettu 22.3.2019.
- 18 Kaarela, Outi. 2003. Sorateiden pölynsidonta-aineiden ympäristövaikutuksia. Helsinki: Tiehallinto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf/3200811v_sorateiden.pdf>. Luettu 20.11.2018.
- 19 A Review of Deicers and their Effect on Vegetation. 2009. Verkkoaineisto. Occidental Chemical Corporation. <<https://www.oxy.com/OurBusinesses/Chemicals/Products/Documents/CalciumChloride/173-01881%20A%20Review%20of%20Deicers%20and%20their%20Effect%20on%20Vegetation.pdf>>. Luettu 27.12.2018.
- 20 Kelting, Daniel L. & Laxson, Corey L. 2010. Review of Effects and Costs of Road De-icing with Recommendations for Winter Road Management in the Adirondack Park. Paul Smith's College. Verkkoaineisto. <http://www.protectiontadks.org/wp-content/uploads/2010/12/Road_Deicing-1.pdf>. Luettu 5.3.2019.
- 21 Tuote-esite Eco-Binder F. 2019. Kemion Oy:n sisäinen dokumentti. Luettu 9.1.2019.
- 22 Font, Anna & Fuller, Gary. 2016. Re-assessment of the 250 µg m⁻³ action value. King's College London. Verkkoaineisto. <<https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/commonplace-cloudfront/resources/hs2/Kings+College+London+->

- +Testing+PM10+trigger+values+at+construction+sites....compressed.pdf>. Luettu 21.1.2019.
- 23 Artic Dust 55TM chlorine-free industrial dust suppressant and de-icing agent. 2019. Verkkoaineisto. Groupe Somavrac. <<https://www.groupe-somavrac.com/en/our-services/chemical-distribution/53-industrial/228-potassium-acetate-artic-dust-55tm-mining>>. Luettu 4.2.2019.
 - 24 Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjavedessä (MIDAS). 2013. Verkkoaineisto. Suomen ympäristökeskus. <<https://www.syke.fi/hankkeet/midas>>. Luettu 4.12.2018.
 - 25 Potassium acetate. Verkkoaineisto. European Chemicals Agency. <https://echa.europa.eu/fi/substance-information/-/substanceinfo/100.004.385?_disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Ffi%2Fhome%3Fp_p_id%3Ddisssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D2%26_disssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3D>. Luettu 23.3.2019.
 - 26 Potassium formate. Verkkoaineisto. European Chemicals Agency. <https://echa.europa.eu/fi/substance-information/-/substanceinfo/100.008.799?_disssubinfo_WAR_disssubinfoportlet_backURL=https%3A%2F%2Fecha.europa.eu%2Ffi%2Fhome%3Fp_p_id%3Ddisssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet%26p_p_lifecycle%3D0%26p_p_state%3Dnormal%26p_p_mode%3Dview%26p_p_col_id%3Dcolumn-1%26p_p_col_count%3D2%26_disssimplesearchhomepage_WAR_dissearchportlet_sessionCriteriaId%3D>. Luettu 23.3.2019.
 - 27 Millerb, Jennifer R.; LaLamac, Matthew J; Kusnicd, Rachel L.; Wilsonc, Darian E.; Kiralyc, Paije M.; Dicksonc, Samuel W. & Zellera, Matthias. 2018. On the nature of calcium magnesium acetate road deicer. Journal of Solid State Chemistry helmikuu 2019, s.1–10.
 - 28 Seppälä, Jukka. 2005. Polymeeriteknologian perusteet. Helsinki: Otatieto.
 - 29 Dust Control. 2019. Verkkoaineisto. AggreBind Inc. <<https://aggrebind.com/about/dust-control>>. Luettu 7.1.2019.
 - 30 Dust Suppression. 2019. Verkkoaineisto. Mallard Creek Polymers. <<https://www.mcpolymers.com/applications/dust-suppression>>. Luettu 7.1.2019.

- 31 Imre, Balázs. 2013. Modification of Biopolymers – Chemistry, Interactions, Structure and Properties. Budapest University of Technology and Economics. Verkkoaineisto. <<https://repozitorium.omikk.bme.hu/bitstream/handle/10890/1298/ertekezes.pdf?sequence=1>>.
- 32 Höök, Tuula. ValuAtlas ja CAE DS – Muotin suunnittelu. Verkkoaineisto. <http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/mould_injmoulding_materials_FI.pdf>. Luettu 7.2.2019.
- 33 Modification of natural polymers. Verkkoaineisto. Wageningen University & Research. <<https://www.wur.nl/en/show/Modification-of-natural-polymers.htm>>. Luettu 10.2.2019.
- 34 Dust Suppressant. 2011. Patentti CN102295915A. Luettu 25.2.2019.
- 35 Wüstenberg, Tanja. 2015. Cellulose and Cellulose derivatives in food industry. Weinheim, Germany: Wiley-VCH.
- 36 Nissinen, Timo & Pottala, Jorma. 2016. Biopolymeerit soratien pölynsidonassa. Helsinki: Liikennevirasto. Verkkoaineisto. <https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lts_2016-51_biopolymeerit_polynsidonta_web.pdf>. Luettu 7.12.2018.
- 37 Bytnar, Stephen C.; Trujillo, Joshua J. & Wolfe, Mark Steven. 2010. Alkylcellulose and salt compositions for dust control applications. EnviroTech Inc. Patentti CA2704868C. Luettu 3.2.2019.
- 38 Hui, Chen; Zhihua, Shan & Xugang, Dang. 2015. Usability of oxidized corn starch–gelatin blends for suppression and prevention of dust. Journal of Applied Pharmaceutical Science 4.4.2012, s. 31–37.
- 39 Modified starchy dust suppressant and preparation method and application method thereof. 2012. Patentti CN102702581A. Luettu 3.2.2019.
- 40 Chitedze, Judith; Monjerezi, Maurice; Saka, JD Kalenga & Steenkamp, Jan. 2012. Binding Effect of Cassava Starches on the Compression and Mechanical Properties of Ibuprofen Tablets.
- 41 Burnside, Kenneth D. & Cranfill, John C. 2009. Dust control compositions and method of inhibiting dust. Patentti US20090061102A1. Luettu 5.3.2019.
- 42 Zhang, Haihan; Nie, Wen; Wang, Hongkun; Bao, Qiu; Jin, Hu & Liu, Yanghao. 2018. Preparation of experimental dust suppression performance characterization of a novel guar gum-modification-based environmentally-friendly degradable dust suppressant. Powder Technology marraskuu 2018, s. 314–325.

- 43 Kalmi, Mikko. 2005. Synteettiset biohajoavat materiaalit. Helsingin yliopisto. Verkkoaineisto. <<http://www.helsinki.fi/kemma/data/kemiaa-kumpulassa/biohajoavat.pdf>>. Luettu 15.1.2019.
- 44 Sojka, R.E.; Bjorneberg, D.L.; Entry, J.A.; Lentz, R.D. & Orts, W.J. 2007. Polyacrylamide in Agriculture and Environmental Land Management. *Advances in Agronomy* 2007, s. 75–162.
- 45 Cahn, Michael. A Guide to Using Polyacrylamide (PAM) Polymers for Control of Irrigation Run-off on the Central Coast. Monterey County. Verkkoaineisto. <<http://cesantabarbara.ucanr.edu/files/75493.pdf>>. Luettu 18.12.2018.
- 46 Polyacrylamide (PAM). 2010. State of Michigan. Verkkoaineisto. <https://www.michigan.gov/documents/deq/nps-polyacrylamide_332130_7.pdf>. Luettu 27.12.2018.
- 47 Coal dust suppression mushroom residue type and preparation method. 2015. Verkkoaineisto. Patentti CN104927773B. <<https://patents.google.com/patent/CN104927773B/en?q=CN104927773>>. Luettu 6.1.2019.
- 48 Wantling, Steven Joseph; Holder, Jason Lee; Wren, Harden Christopher & Nochebuena, Eduardo Romero. 2012. Compositions and processes for dust suppression. Verkkoaineisto. Patentti US20130037621A1. <<https://patents.google.com/patent/US20130037621A1/en?q=US20130037621A1>>. Luettu 19.1.2019.
- 49 Heinonen, Heidi. 2017. Muovin korvaaminen biohajoavalla materiaalilla kasvikapselissa. Lahden ammattikorkeakoulu. Verkkoaineisto. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/134480/Heinonen_Heidi.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 16.12.2018.
- 50 Dustex. Verkkoaineisto. <<https://www.dustex.com.au/about-dustex/>>. Luettu 10.11.2018.
- 51 Borregaard, *Dust Suppressant*. Verkkojulkaisu. <<https://www.ligno-tech.com/Product-Functionalities/Dust-Suppressant>>. Luettu 10.11.2018.
- 52 Sodium Lignosulfonate. Verkkoaineisto. PubChem. <<https://pubchem.ncbi.nlm.nih.gov/compound/44135711>>. Luettu 17.12.2019.
- 53 Anthone, Robert & Parks, Michael P. 1974. Composition and method for soil stabilization. Verkkoaineisto. Patentti US4001033A. <<https://patents.google.com/patent/US4001033A/en>>. Luettu 16.2.2019.

- 54 Zhou, Gang; Fan, Tao; Qiu, Han; Wang, Jiayuan & Qiu, Lei. 2018. The development and characterization of a novel coagulant for dust suppression in open-cast coal mines. *Adsorption Science & Technology* 2018, Vol. 36, s. 608–624.
- 55 Lignosulfonate. 2019. Verkkoaineisto. EnviroTech Services Inc. <<https://envirotechservices.com/dust-control-soil-stabilization/lignin-dust-control-products/lignosulfonate/>>. Luettu 14.1.2019.
- 56 Kuokkanen, Matti; Kuokkanen, Toivo; Mäentausta, Olli & Räsänen, Kimmo. Bioteknisesti modifioidun kuitulietteen eko- ja kustannustehokas hyödyntäminen. MFibrils ja Oulun yliopisto. Verkkoaineisto. <<https://www oulu.fi/sites/default/files/content/Kuitulieteposteri200514.pdf>>. Luettu 16.3.2019.
- 57 Kuokkanen, Matti & Mäentausta, Olli. 2018. Kuituliete on potentiaalinen pölynsidonta-aine tiekäyttöön. Suomen Tieyhdistys ry. Tie&Liikenne 6/2018, s.30–31.
- 58 Dust-Lock. Verkkoaineisto. Fulton Hogan. <<https://www.cluthadc.govt.nz/your-services/roadin/>>. Luettu 25.2.2019.
- 59 Kurki, Timo. 2005. Vähäliikenteisten teiden päällysteiden uudet ideat. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka.
- 60 Dust Control – pölynsidontaemulsio. Verkkoaineisto. NordicSeal Ltd Oy. <<https://www.nordicseal.fi/polynsidonta/>>. Luettu 25.2.2019.
- 61 ADHEREX Dust Control. 2009. Verkkoaineisto. Envirosafe Chemicals Canada. <<https://www.envirosafechem.com/main.php?section=3&subsection=1&product=43>>. Luettu 25.2.2019.
- 62 A Guide to Spray Technology for Dust Control. 2008. Verkkoaineisto. Spraying Systems Co. <www.sgntekniikka.fi/wp-content/uploads/2015/03/b652_dust_control.pdf>. Luettu 1.3.2019.
- 63 Xu, Guang; Chen, Yinping; Eksteen, Jacques & Xu, Jialin. 2018. Surfactant aided coal dust suppression: A review of evaluation methods and influencing factors. *Science of Total Environment* 639, 2018, s. 1060–1076.
- 64 Witten, Thomas A. & Pincus, Philip A. 2010. *Structured Fluids: Polymers, Colloids, Surfactants*. Oxford University Press USA – OSO.
- 65 What Is Foam Dust Suppression?. 2019. Verkkoaineisto. Best-Chem Limited. <<https://www.best-chem.co.uk/dust-suppression/what-is-foam-dust-suppression/>>. Luettu 1.3.2019.

- 66 Nguyen, Van G. 2005. Compositions for dust suppression and methods. Verkkoaineisto. Patentti US8052890B2. <<https://patents.google.com/patent/US8052890B2/en?q=US8052890B2>>. Luettu 5.3.2019.
- 67 Yuan, C.L.; Xu, Z.Z.; Fan, M.X.; Liu, H.Y.; Xie, Y.H. & Zhu, T. 2014. Study on characteristics and harm of surfactants. Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2014, s. 2233–2237.
- 68 Equestrian surfaces – a guide. 2014. Verkkoaineisto. Swedish Equestrian Federation and the Swedish University of Agricultural Sciences. <https://inside.fei.org/system/files/Equestrian_Surfaces-A_Guide.pdf>. Luettu 15.11.2018.
- 69 Louhelainen, Suvi & Thuneberg, Terhi. 2010. Tallirakentaminen ja tekniikan hyödyntäminen. Hämeenlinna: Hämeen ammattikorkeakoulu. Verkkoaineisto. <https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/90752/Tallirakentaminen_ja_tekniikan_hyodyntaminen_2010.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Luettu 2.2.2019.
- 70 Ratsastuskentän pohjan hoidosta. 2016. Verkkoaineisto. Suomen Hevostietokeskus ry. <<https://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=1049&kieli=3>>. Luettu 2.12.2018.
- 71 Nyman, Tomas. 2018. Yrittäjä, Niihama Riding Oy, Tampere. Puhelinkeskustelu 14.12.2018.
- 72 Seyrl, Guenter. 2018. Ripro GmbH, Itävalta. Puhelinkeskustelu 17.12.2018.
- 73 Hevosen hengityselimistö. Verkkoaineisto. Suomen hevostietokeskus ry. <<https://www.hevostietokeskus.fi/index.php?id=685&kieli=3>>. Luettu 3.2.2019.
- 74 Hengitä ja hengästy. Verkkoaineisto. Hengityслиitto. <<https://www.hengityслиitto.fi/sites/default/files/opaat/hengitajahengasty.pdf>>. Luettu 3.2.2019.
- 75 Lesté-Lasserre, Christa. 2017. Indoor Arena Dust: Damaging to Horse and Rider. Verkkoaineisto. <<https://thehorse.com/17002/indoor-arena-dust-damaging-to-horse-and-rider/>>. Luettu 7.2.2019.
- 76 CC road® - pölynsidontaa ratsastuskentällä ja maneesissa. Verkkoaineisto. TETRA Chemicals. <http://tetrachemicals.fi/files/esitteet/polynsidonta_ratsastus.pdf>. Luettu 2.3.2019.
- 77 Moisture Lok Dust Control. 2019. Verkkoaineisto. Ramm Fence Systems, Inc. <<https://www.rammfence.com/farm/arena-dust-control>>. Luettu 5.3.2019.

- 78 DustShield. Verkkoaineisto. Soil-Loc. <<https://static1.squarespace.com/static/58d2c66fdb29d6db2055fec9/t/58dae04cd482e9b362ede6ee/1490739288129/DustShield.pdf>>. Luettu 5.3.2019.
- 79 GSA Authorized Price List. 2016. Verkkoaineisto. SoilWorks. <https://www.gsaadvantage.gov/ref_text/GS07F5364P/0PKOHB.3B1BCD_GS-07F-5364P_GS07F5364PSOILWORKS0216.PDF>. Luettu 5.3.2019.
- 80 Control dust in horse arenas with Soil Moist granular. Verkkoaineisto. JRM Chemical, Inc. <<http://www.soilmoist.com/products/equestrian-arena.php>>. Luettu 5.3.2019.
- 81 WhoaDust. Verkkoaineisto. Strathcona Ventures. <<https://www.whoa-dust.com/>>. Luettu 5.3.2019.
- 82 ArenaPro. 2011. Verkkoaineisto. Dustkill. <<http://www.arenadust.com/bio-based/arenapro/>>. Luettu 5.3.2019.
- 83 Kosteuden määrittäminen elintarvikkeesta. Verkkoaineisto. Opetushallitus. <http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/laboratorio/elintarvikeanalyysit_kosteus.html>. Luettu 23.1.2019.
- 84 Ilmankosteus. Verkkoaineisto. Hiilipuu. <<http://www.hiilipuu.fi/fi/artikkelit/ilman-kosteus>>. Luettu 23.1.2019.

Liite 1. Raekokojakauman punnitustulokset

Seulan numero	m tyhjä seula (g)	m kokeen jälkeen (g)	m erotus (g)	%-osuus	Seulakoko (µm)
5	507,31	513,31	6,00	22,71	4000
10	473,95	477,01	3,06	59,06	2000
18	443,75	452,81	9,06	0,30	1000
35	393,95	405,8	11,85	0,93	500
60	368,72	370,46	1,74	6,36	250
120	356,34	356,89	0,55	4,86	125
230	347,60	457,6	110,00	1,64	63
pohja	389,36	431,66	42,30	3,22	0

Kuva 1. Raekokojakauman punnitustulokset.

Liite 2. Pölyämiskokeiden punnitustulokset

Liuos	Näytteen mro	m_kostea hiekka (g)	m_kuivunut näyte (g)	m_seulottu näyte (g)	m_näyte kokeen jälkeen (g)	m_näytteen muutos (g)	pölyn %-osuus
0	1	101,00	92,54	90,81	76,76	14,05	15,47
0	2	101,00	92,53	91,75	75,29	16,46	17,94
0	3	100,00	91,50	87,32	73,56	13,76	15,76
1	1	100,00	93,38	91,46	87,75	3,71	4,06
1	2	100,13	93,29	91,47	86,64	4,83	5,28
1	3	100,19	93,43	92,52	88,26	4,26	4,60
2	1	100,03	92,96	90,72	86,95	3,77	4,16
2	2	100,01	92,70	91,65	88,01	3,64	3,97
2	3	100,00	93,02	91,60	87,84	3,76	4,11
3	1	100,02	93,29	92,07	86,40	5,67	6,16
3	2	100,10	93,60	92,91	85,88	7,03	7,57
3	3	100,06	93,51	92,70	83,95	8,75	9,44
4	1	100,04	93,33	89,83	86,35	3,48	3,87
4	2	100,05	93,34	90,58	86,93	3,65	4,03
4	3	100,01	93,28	91,37	88,55	2,82	3,09
5	1	100,17	93,42	91,61	88,45	3,16	3,45
5	2	100,03	93,27	91,48	87,71	3,77	4,12
5	3	100,09	93,38	92,34	87,91	4,43	4,80
6	1	100,01	94,80	93,98	92,20	1,78	1,89
6	2	100,14	94,88	92,44	80,26	12,18	13,18
6	3	100,03	94,01	93,61	90,91	2,70	2,88

Kuva 2. Pölyämiskokeiden punnitustulokset.