

Opinnäytetyö

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri AMK

Infratekniikka

2022

Santeri Rasimus

**VAIHTOEHTOISET
PÖLYNSIDONTAMATERIAALIT
TEIDEN JA KATUJEN
KUNNOSSAPIDOSSA**

Opinnäytetyö (AMK) | Tiivistelmä

Turun ammattikorkeakoulu

Rakennus- ja yhdyskuntatekniikka, insinööri

Pirjo Oksanen DI

2022 | 31 sivua

Santeri Rasimus

Vaihtoehtoiset pölynsidontamateriaalit teiden ja katujen kunnossapidossa

Opinnäytetyössä pyritään etsimään mahdollisia korvaavia aineita pölynsidontaan. Suomessa nykyisin käytetään suurimmaksi osaksi kalsiumkloridia pölynsidonnassa sen halvan hinnan ja saatavuuden takia. Ongelmana kuitenkin on se, että kalsiumkloridi ja magnesiumkloridi saattavat liueta vesistöihin ja pohjavesiin tuhoten ne kokonaan ja ympärillä olevan kasvuston. Työssä käydään läpi sorateiden kunnossapitoa yleisesti sekä soratietä koskevat ongelmat. Ongelmia on mm. routivuus, kelirikot, aaltomaiset epätasaisuudet ja tien pölyäminen.

Vaihtoehtoisten pölynsidonta-aineiden löytäminen on haastavaa, sillä suuri osa aineista on hyvin uusia ja niistä on hyvin vähän kokemuksia. Ulkomailla on monenlaisia ratkaisuja pölynsidontaan mutta osa niistä vaikuttaa olevan ympäristölle vielä haitallisempia kuin kalsiumkloridi. Ulkomaisia pölynsidonta-aineita on usein testattu vain oman maan keleissä, joten tuotteita tulee testata ennen kuin ne otetaan käyttöön Suomessa. Koska suurin osa aineiden tiedoista tulee valmistajien omilta sivuilta, on harjoitettava lähdekritiikkiä.

Yritykset ovat kuitenkin alkaneet korostamaan ympäristöarvojaan, ja suolan määrän vähentäminen on yksi konkreettinen tapa vaikuttaa ympäristöön positiivisesti.

Asiasanat:

Pölynsidonta, Soratiet, Kalsiumkloridi

Bachelor's| Abstract

Turku University of Applied Sciences

Civil Engineering

Pirjo Oksanen M.Sc.Eng.

2022| 31 Pages

Santeri Rasimus

Alternative dust control materials for road and street maintenance

The aim for this thesis was to search alternative products for dust control. Currently in Finland calcium chloride is the main product for dust control because of its cheap price and availability. The problem is that chloride based products may dissolve to groundwater destroying them and all the plants too. This thesis discusses basic gravel road maintenance and what the common problems are. For example frost susceptibility, frost heave, wavy unevenness and dusting.

Findind alternative dust control products is difficult because most of the products are quite new and have not been tested much. There are a lot of dust control products in other countrys but a number of the products seem to be even more harmful for the environment than salts. Products from foreingn countrys have been tested only in their respective countries so it is important to test them here in Finland before purchasing them. Most of the information for the products comes from the companies themselves so it is important to be critical towards the sources.

However companies have started to focus on their green values and reducing the usage of the calcium chloride is one way to affect the environment in a positive way.

Keywords:

Dust control, Gravel roads, Calcium chloride

Sisältö

1 Johdanto	7
2 Pääotsikko	8
2.1 Yleistä	8
2.2 Sorateiden yleiset ongelmat	9
2.2.1 Ilmastonmuutos	9
2.2.2 Sorateiden rakenne	9
2.2.3 Routiminen	11
2.2.4 Kelirikot	12
2.2.5 Aaltomaiset epätasaisuudet	13
2.2.6 Tien pölyäminen	13
2.3 Soratien kunnossapidon vuosikierto	13
3 Pölynsidonta Suomessa	16
3.1 Yleistä	16
3.2 Kalsiumkloridin käyttö Suomessa	17
3.3 Kalsiumkloridin ympäristövaikutukset	18
3.4 Magnesiumkloridin käyttö Suomessa	19
4 Vaihtoehtoiset Pölynsidonta-aineet	20
4.1 Dust/Blokr Sugar Blend	20
4.1.1 Yleistä	20
4.1.2 Levitys	20
4.2 Lignosulfonaatti	21
4.2.1 Yleistä	21
4.2.2 Levitys	21
4.2.3 Ympäristövaikutukset	21
4.3 Ground Control PolyBlend	22
4.3.1 Yleistä	22
4.3.2 Levitys	22
4.3.3 Ympäristövaikutukset	22

4.4 Permeable Pavers	23
4.4.1 Yleistä	23
4.4.2 Tuotteen asennus ja toiminta ympäristö	23
4.5 Fibry MFC RC	24
4.5.1 Yleistä	24
4.5.2 Valmistus ja levitys	24
4.6 Kemion	25
4.6.1 Eco-Binder F	25
4.6.2 Eco-Binder G	25
4.6.3 Eco-Binder Bio & Eco-Binder Geo	26
5 Yhteenveto	27
Lähteet	30

Kuvat

Kuva 1. Rakennetun ja rakentamattoman soratien poikkileikkaukset. (Hirviniementie 2022)	11
Kuva 2. Permeable Pavers tuotetta käytettynä parkkipaikalla Kaliforniassa. (TRUEGRID)	24
Kuva 3. Koepala FIBRY MFC RC aineesta. (Susanna Jokiperä, Bang & Bonsomer)	25

Taulukot

Taulukko 1. Suositeltavat kalsium- ja magnesiumkloridi määrät t/km käytettäessä hiutalesuolaa. Magnesiumkloridi määrät ovat suluissa. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito)	18
--	----

Taulukko 2. Hiutalesuolaa vastaavat liuosmäärät (m ³) eri CaCl ₂ -pitoisuuksilla. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)	18
Taulukko 3. Yhteenveto pölynsidonta-aineista.	27

1 Johdanto

Opinnäytetyön aiheena on etsiä mahdollisia korvikkeita kalsiumkloridille, joka on Suomessa eniten käytetty aine pölynsidonnassa. Opinnäytetyössä käydään läpi soratien hoitoon liittyviä asioita ja perehdytään paremmin pölynsidonta-aineisiin. Opinnäytetyö tehdään YIT:elle.

Pölyäminen on liikenneturvallisuuden kannalta vaarallista, sillä se heikentää tien näkyvyyttä, mikä voi johtaa vaaratilanteisiin. Pölyämistä tapahtuu, kun tienpinta ei ole tiivis vaan siinä on paljon irtoainesta, mikä tekee tiellä ajamisesta liukkaampaa ja näin vaarantaa autoilijoita. Työssä käydään läpi soratien kunnossapito yleisesti talvikunnossapito rajattuna pois.

Sorateiden lisäpölynsidontan tarve on lisääntynyt kesäisin esiintyvien pitkien hellejaksojen yleistyessä. Kalsiumkloridi on ollut pitkään aine, jolla pölynsidontaa on suoritettu. Magnesiumkloridi on toinen aine, jota Suomessa on käytetty, mutta sen käyttö on huomattavasti vähäisempi. Lisääntyvä huoli ympäristöstä on lisännyt tarvetta etsiä uusia aineita, jolla sitoa pölyä ympäristöstävällisesti. Kalsiumkloridin, kuten muidenkin suolojen huonona puolena on, että sateiden mukana ne pääsevät huuhtoutumaan pohjavesiin. Suolan haitallisuus pohjavesiin on ollut pitkään tiedossa, mutta korvaavia aineita, jotka sitovat pölyä tehokkaasti ja ovat kilpailukykyisiä, ei ole ollut paljon.

Pölynsidonta-aineita korvaavaa suolaa on kehitetty ympäri maailmaa. Suurin ongelma niissä on se, että niitä ei ole käytetty vielä pitkään ja tällöin niiden pitkäaikaisista seurauksista ei ole juuri tietoa. Monia aineita on myös valmistettu ja kehitetty ulkomailla missä on hyvin erilainen ilmasto kuin Suomessa. Tämä tarkoittaa, että aineita pitäisi kokeilla Suomen maaperällä ja katsoa miten ne toimivat Suomen vaihtelevissa sääoloissa, jotta saataisiin paras tieto aineiden toimivuudesta

2 Pääotsikko

2.1 Yleistä

Suomessa sorapäälysteiset tiet kattavat vähän yli kolmanneksen kaikesta maantieverkosta eli noin 27 000 km. Liikennettä sorateilla on kuitenkin vähän verrattuna asfalttipäälysteisiin teihin, sillä kokonaisliikenteestä vain 2 % kohdistuu sorateihin. Soratiet ovat tärkeitä elinkeinoelämälle, kuljetusketjuille ja kilpailukyvyille. Joillekin aloille kuten maa- ja metsätaloudelle sorateiden ympärivuotinen käyttö on elinehto. (Sorateiden kunnossapidon toimintalinjat 2021)

Sorateiden kunnossapidon toteutuksesta vastaavat alueen kunnossapitourakoitsijat ja laadusta vastaavat sekä ELY-keskus että Väylävirasto. Sorateiden hoito muuttuu jatkuvasti kalustokehityksen ja tiukentuneiden ympäristövaatimusten takia. Myös maa- ja metsätaloudessa tapahtuneet muutokset muuttavat sorateiden hoitoa, sillä kalusto jatkuvasti muuttuu isommaksi ja tällöin ne myös painavat enemmän. Ajoneuvojen painon kasvu ja ympärivuotinen käytön tarve lisäävät sorateihin aiheutuvaa kuormitusta, jolloin vauriota ilmenee useammin. (Sorateiden kunnossapito 2014)

Sorateille ja niiden kunnossapitoon kuluu vuosittain noin 35–40 miljoonaa euroa, mikä kattaa noin 6–7 % koko maateiden kunnossapidon kustannuksista. Näihin lukuihin ei ole laskettu sorateilla tapahtuvaa talvikunnossapitoa. Tulevaisuudessa sorateiden määrä voi jopa kasvaa, mikäli vähäliikenteisiä asfalttipintaisia päätetään alentaa sorateiksi. (Sorateiden kunnossapidon toimilinjat 2021)

Soratiet jaetaan eri kunnossapitoluokkiin samalla periaatteella kuten asfalttipäälysteiset tietkin. Luokat on usein jaettu niiden vuorokausiliikenteen mukaan. Vilkkaat soratiet, joissa ajoneuvomäärät ovat yli 200 ajoneuvoa vuorokaudessa, kuuluvat hoitoluokkaan I. Perussorateilla, joissa kulkee noin

50–200 ajoneuvoa vuorokaudessa, kuuluvat hoitoluokkaan II ja vähäliikenteiset tiet, joissa kulkee alle 50 ajoneuvoa vuorokaudessa kuuluvat hoitoluokkaan III. Suurin osa sorateistä kuuluu soratieluokkaan II ja ne kattavat noin 70 % kaikista sorapäällysteisistä maanteistä. Sorateiden hoitoluokat määrittävät kuinka hyvässä kunnossa kyseiset tiet kuuluvat pitää. I luokan teiden laatuvaatimukset ovat korkeampia kuin jälkimmäisten. (Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimilinjat 2008)

2.2 Sorateiden yleiset ongelmat

2.2.1 Ilmastonmuutos

Ilmastonmuutoksen myötä soratiet joutuvat koville, sillä sääilmiöiden ääritapaukset ovat lisääntyneet Suomessakin. Kelirikot ovat lisääntyneet syksyisin ja talvisin sateiden lisääntyessä ja pysyvän pakkasen puutteesta. Keväisin joudutaan usein korjaamaan tulvavesien aiheuttamaa vahinkoa ja nämä ongelmat voi jatkua pitkälle keväeseen. Kesäisin on alkanut Suomessakin olemaan todella pitkiä hellejaksoja, jotka kuivattavat sorateita aiheuttaen niille lisäpölynsidonnain tarpeen. Ilmastonmuutoksen myötä on sorateiden kunnan ennustettavuus heikentynyt huomattavasti. (Sorateiden kunnossapidon toimilinjat 2021)

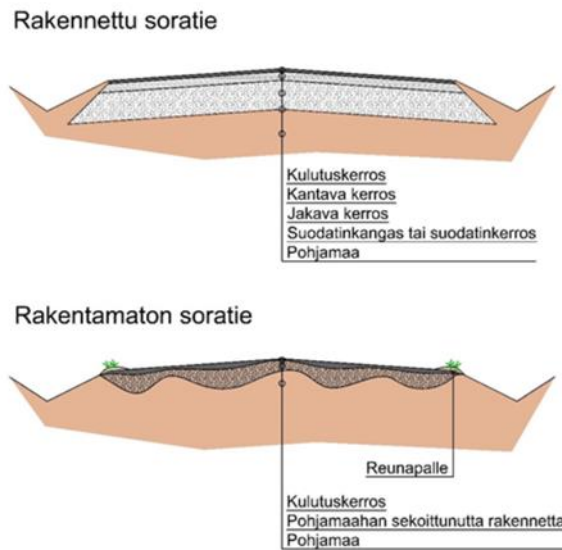
2.2.2 Sorateiden rakenne

Soratiet rakentuvat kulutus-, kantava-, jakava-, suodatinkerroksesta tai suodatinkankaasta. Kuvassa 1 näkyy kyseiset kerrokset. Teitä, joissa on kaikki nämä elementit ovat kuitenkin vähemmistössä. Suurin osa sorateistä on rakentamattomia teitä, joissa ei ole käytetty muun muassa routimattomia materiaaleja rakenteessa. Rakentamattomilla teillä tarkoitetaan reittiä, joka on syntynyt luontaisesti, kun on huomattu, että kyseinen reitti kestää kulkemista. Kyseisiä teitä on vahvistettu lisämurskeella, jotta tie olisi palvelukelpoinen. Soratiet, jotka on muokattu kantavammaksi, alkavat routimaan, kun

vahvisteeksi suunniteltu aine alkaa sekoittua muiden materiaalien kanssa ja lopulta muuttuu routivaksi. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Sorateiden kunto tulee sen rakenteellisesta- ja pintakunnosta. Rakenteellisella kunnolla tarkoitetaan tien rakennekerroksien pitämistä kunnossa. Käytännössä tämä tarkoittaa mahdollisten kelirikkojen korjaamista ja kantavuuden parantamista osuuksilla, joilla sitä tarvitaan. Pintakunnon huoltamisella varmistetaan päivittäisen liikenteen toimivuus, mikä tarkoittaa kuoppien poistamista ja pölyntorjumista. Rakenteelliseen- ja pintakuntoon vaikuttavat vahvasti tien muoto, kuivatus, rakenne, pohjamaan laatu, olosuhteet, liikennemäärät sekä urakoitsijan oma tekeminen. Olosuhteisiin urakoitsijat eivät pysty vaikuttamaan, mutta muihin edellä mainittuihin asioihin pystytään puuttumaan tarvittaessa. Etenkin kuivatus ja pintakerroksien muokkaaminen ovat keskeisiä sorateiden kunnossapidon kohteita. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Sorapäällysteisten teiden kunnan heikentyminen johtuu yleisesti veden ja ajoneuvojen liikkumisen yhteisvaikutuksesta. Tien kerrokset joutuvat suurimmalle rasitukselle keväisin, syksyisin tai talven lämpimillä jaksoilla, kun rakenteiden vesipitoisuudet nousevat liian suuriksi. Soratien päälle jäävä vesi tuottaa ongelmia ajoneuvojen kulkiessa irrottaen hienoaineksen, joka pitää suurempia kivirakeita paikoillaan. Hienoaineksen irtoaminen aiheuttaa myös pölyämistä, kun tie kuivuu ja hienoaines jää tien pintaan irralleen. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)



Kuva 1. Rakennetun ja rakentamattoman soratien poikkileikkaukset. (Hirviniementie 2022)

2.2.3 Routiminen

Routimisella tarkoitetaan tierakenteessa olevan veden jääymistä. Veden jäätyessä rakenteessa sen tilavuus kasvaa ja se voi nostattaa paikoitellen maanpintaa. Soratielle routiintumisen aikaan voi syntyä jäälinsejä, joiden paksuus voi vaihdella muutamista millimetreistä kymmeneen sentteihin. Jäälinsejä syntyy maaperän alla, kun sulaa vesi nousee kapillaarisesti maaperässä ja sitten lähempänä maan pintaa jäätyy linsseiksi. Kapillaariseen nousuun ei voi aina vaikuttaa edes ojituksella, jos rakenteen materiaali on hyvin altista kapillaariseen nousuun kuten silttimoreenia tai hienorakeista silttiä. Routimista voidaan ehkäistä oikeilla materiaalivalinnoilla. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Routiminen voi aiheuttaa rumpujen kohdille routaheittoja. Tämä johtuu siitä, jos rumpukaivanto on täytetty routimattomalla aineella, niin rumpu ei nouse muun tien tavoin routiintumisen aikana. Joissain tapauksissa rumpujen saumat saattavat avautua ja sen seurauksena rumpuun valuu pintakerroksen maa-ainesta. Maa-

aineksen valuessa rumpuun aiheuttaa se tien pintaan reiän, joka voi huonossa tapauksessa olla hyvin vaarallinen autoilijalle. Roudan vaikuttaessa tien syvemmistä kerroksista voi myös nousta suurempia kiviä pintaan. Tämä tapahtuu, kun routa työntää suuren kiven kohti pintaa ja tien pintakerroksissa oleva hienempi aines korvaa suuremman lohkareen jättämän tilan. Pintakerroksista valuva hienoaines estää lohkareen siirtymistä omalle paikalleen routimisen päätyttyä. Keväisin pintaan noussut kivi saattaa sulattaa ympärillään olevan jään nopeammin kuin muissa paikoissa, jolloin maa lähtee madaltumaan ja lopputuloksena paikkaan syntyy kuoppa. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

2.2.4 Kelirikot

Kelirikko tarkoittaa tien pinnan tai rakenteen pehmentymistä, jonka takia tien kulkukelpoisuus heikentyy huomattavasti. Tien pinta tai rakenne pehmentyy usein roudan sulaessa keväällä tai sitten jostain muusta syystä tien rakenteessa oleva vesi pääsee pehmentämään maata. Kelirikot voidaan jakaa kahteen luokkaan, pintakelirikkoon ja runkokelirikkoon, niiden sijainnin perusteella. (Sorateiden kunnossapito 2014)

Pintakelirikolla tarkoitetaan soratien pintakerroksen muuttumista veden vaikutuksesta, jolloin siitä tulee huonosti kantava. Pahimmassa tapauksessa tienpinta muuttuu vellimäiseksi ja tekee siinä liikkumisesta hyvin vaikeaa. Kelirikkoon vaikuttaa paljon sulamisen aikana oleva säätila. Pintakelirikkoa syntyy usein, kun tien kallistukset ovat liian loivia ja tien päällä oleva vesi ei pääse valumaan ojiin. Aurinkoinen ja tuulinen keli yhdistettynä yöpakkasiin voivat nopeuttaa pinnan kuivumista, vähentävät sen syntyä ja lyhentää sen kestoja vain muutamaa päivään. (Sorateiden kunnossapito 2014)

Runkokelirikko taas tarkoittaa sitä, että nopean sulamisen aikana keväällä sulava vesi ei ehdi poistua sivuojiin tai imeytyä pohjamaahan. Tällöin vesi heikentää kantavuutta niin, ettei siinä enää raskaat ajoneuvot voi kulkea. (Kelirikkoteiden liikenteen rajoittaminen 2018)

2.2.5 Aaltomaiset epätasaisuudet

Aaltomaista epätasaisuutta arkikielessä kutsutaan nimismiehen kiharoiksi. Niitä syntyy, kun ajon aikana auton jousitus pumpppaa ja irrottaa maa-ainesta kasatene aaltomaisiksi töyssyiksi. Aaltomaista epätasaisuutta esiintyy paljon varsinkin silloin, kun kulutuskerroksessa on valmiiksi liikaa hiekkaa, tai kun ajon aikana hienoainesta lentää pois ja jäljelle jää hiekkarakeita irtonaiseksi tien pintaan. Tyypillisesti epätasaisuudet syntyvät mäkiin ja kaarteisiin. Niihin ei pysty kunnolla vaikuttamaan kuin jatkuvalla tarkkailulla ja puuttumalla niihin nopeasti. (Sorateiden kunnossapito 2014)

2.2.6 Tien pölyäminen

Ajoneuvot kuluttavat tien pintaa irrottaen sen pintakerroksesta hienoainesta, joka nousee ilmavirtojen mukana ilmaan. Irtoaineen noustessa ilmaan heikentää se huomattavasti näkyvyyttä vaarantaen liikenneturvallisuuden. Paikallisille asukkaille pölyntyminen vähentää viihtyisyyttä sekä terveellisuyttä asua alueella. Irtoaines myös likaa alueella olevia rakennuksia ja kasvillisuutta. Pölyntyminen on ihan normaalia soratien toimintaa, mutta varhaisella kevätmuokkauksella ja sideaineen lisäämisellä voidaan ennalta vähentää pölyntymistä ja lisä pölynsidonta-aineiden tarvetta. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

2.3 Soratien kunnossapidon vuosikierto

Sorateiden kuntoa pidetään yllä jatkuvalla hoidolla. Sorateilla tapahtuvassa säännöllisessä tiestötarkastuksessa puututaan mahdollisiin tiellä esiintyviin ongelmiin. Mitä nopeammin pieniin ongelmiin puututaan, sitä paremmin pidetään tien toimintaluokka oikeana. Sorateiden kunto muuttuu hyvin nopeasti, sen takia on tärkeää puuttua pieniin ongelmiin kuin antaa niiden eskaloitua suuremmiksi, jolloin korjaus on kalliimpaa ja vaikeampaa. (Sorateiden kunnossapito 2014)

Sorateilla sivukaltevuuuden tulee olla suorilla osuuksilla 4 % ja kaarteissa, joissa on yksipuolinen kaltevuus 3–7 %. Suorilla osuuksilla kaltevuuutta voidaan muuttaa +/- 1 % riippuen soratien raekoosta ja miten vesi pääsee sieltä poistumaan. (Sorateiden pintakunnon määrittäminen 2008)

Soratien muokkaus suoritetaan keväisin. Muokkauksella tarkoitetaan tien pintakerrosten muokkaamista takaisin ajokuntoon talven jäljiltä. Keväisin sulamisen aikaan suoritetaan sorateilla pinnan tasausta. Tasaus ajoitetaan tähän ajankohtaan, koska silloin tien pinta on pehmeä. Tasaustyön tarkoituksena on kasvattaa vettä haihduttavaa pinta-alaa kulutuskerroksessa ja sen myötä nopeuttaa tien kuivumista. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Hoidon yhteydessä tehdään sorateista kuntoarvioita. Kuntoarviossa käsitellään soratien tasaisuutta, kiinteyttä eli irtoaineksen määrää tiessä ja pölyävyyttä. Jokaista kohtaa arvioidaan asteikolla 1–5, jossa 1 tarkoittaa, että tie on huonossa kunnossa ja 5 on käytännössä täydellisessä kunnossa oleva tie. (Sorateiden pintakunnon määrittäminen 2008)

Kesäisin saatetaan sorateilla tarvita lisäpölynsidontaa. Lisäpölynsidontaa aiheuttaa usein pitkään kestänyt kuiva keli. Soratielle levitettävät suolamäärät ovat kesäisin huomattavasti pienempiä kuin keväällä muokkauksen yhteydessä levitettävä määrä. Suolaus voidaan suorittaa joko pinta- tai sekoitussuolauksena. Mikäli pinta on päässyt kulumaan paljon ja se täytyy lanata uudestaan, voidaan suolaus toteuttaa samalla sekoitussuolauksena. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Kesäisin sorateilla usein joudutaan korjaamaan niiden kuoppaisuutta. Kuopat tasoitetaan höyläämällä tie. Mikäli kesäaikana on ollut pitkät hellejaksot ja tie ei ole saanut kosteutta juuri yhtään, saattaa tien höyläminen pahentaa ongelmia entisestään.

Kesäaikana tapahtuu myös tienvarsien vesakon poisto. Vesakon poisto tarkoittaa tievarsilla kasvavien kasvien ja pienten puiden katkomista. Vesakko poistetaan yleisen siisteyden ja ajoturvallisuuden takia. Mikäli vesakoita ei

leikattaisi pois, niin tien näkemä huonontuisi. Vesakon poiston myötä myös tien ylittävät eläimet huomataan nopeammin ja näin voidaan välttyä ylimääräisiltä onnettomuuksilta. Kesäajan kunnossapitoon kuuluu myös ojitusten korjaaminen ja hoito sekä tien alittavien rumpujen hoito, mikäli ne eivät ole kunnossa. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Syksyllä, kuten kaikkina muinakin aikoina tien pintaa tasaillaan höylän avulla tarvittaessa. Syksyisin ennen lumen tuloa ja pakkasia tie tasoitetaan ja sorastetaan. Tasoituksen jälkeen tie valmistetaan talvea varten aurasviitoittamalla tie. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

3 Pölynsidonta Suomessa

3.1 Yleistä

Nykyisin pölynsidontaa tehdään keväisin sekoitussuolauksena teiden muokkaamisen yhteydessä, kun pintakelirikko on loppunut. Tien kosteus on tällöin riittävällä tasolla, jolloin suola saadaan sekoittumaan koko kulutuskerrokseen. Teillä, joissa on runkokelirikko, kevätpölynsidonta suoritetaan vasta kelirikkovaiheen päätyttyä. Sekoitussuolauksen avulla kulutuskerroksesta tulee homogeenisempi ja kosteutta pidättävämpi kerros kuin pintasuolauksessa. Sekoitussuolauksessa suola levitetään tien muokkauksen yhteydessä. Mikäli tien kulutuskerrosmateriaali on höylätty auki ajoradan keskeltä, levitetään suola auki höylätyn alueen päälle yhdellä levityskerralla. Tämän jälkeen höyläämisen yhteydessä irronnut irtoaines ja suola levitetään molemmille ajokaistoille. Mikäli molemmat kaistat on höylätty, niin molempiin kaistoihin levitetään suola erikseen. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Kesäisin asutut ja aukeilla alueilla sijaitsevat soratiet saattavat tarvita lisäpölynsidontaa, jotta haitallinen pöly ei vaikuttaisi liikaa elämiseen. Lisäpölynsidonnassa käytetty suolan määrä on pienempi kuin keväisin. Mikäli soratien pinta on päässyt reikiintymään ja purkaantumaan niin pahasti, että sitä tarvitsee muokata uudestaan, tehdään lisäpölynsidonta kevään tapaan sekoitussuolauksella. Jos tien pinta on muuten hyvässä kunnossa niin tie vain pintasuolataan, jolloin kulutuskerrosta ei tarvitse sekoittaa. Lisäpölynsidonnassa käytetään joko liuos- tai hiutalesuolaa. Suolauksen tarkoituksena on saada suola levittymään tielle tasaisesti ja imeytymään riittävän syväälle kulutuskerrokseen (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Hiutalesuolaa levittäessä voidaan käyttää kuorma-autoihin asennettavaa levitintä, joita on käytössä liukkaudentorjunnassa rakeisen talvisuolan ja hiekan levityksessä. Liuossuolaa levittäessä voidaan käyttää samoja levityslaitteita mitä käytetään talvisin liukkaudentorjunnassa. Pölynsidonnassa käytettävät

suolat ovat hygroskooppisia ja teräsrakenteita ruostuttavia, joten levityslaitteiden puhdistus käytön jälkeen on tärkeää. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

3.2 Kalsiumkloridin käyttö Suomessa

Kalsiumkloridi (CaCl_2) on käytetyin pölynsidonta-aine Suomessa.

Kalsiumkloridin toiminta perustuu sen hygroskooppisuuteen. Hiutalesuola sitoo ilmasta kosteutta ja muuttuu liuokseksi sitoen tien kulutuskerrosta yhteen.

Kalsiumkloridia saa myös tehtailta suoraan liuoksena. Kalsiumkloridin kosteudensitomiskyky riippuu paljon vallitsevasta ilman lämpötilasta, sillä kalsiumkloridi alkaa imemään kosteutta ilmasta vasta, kun ilman suhteellinen kosteus ylittää 30 %. (Sorateiden kunnossapito 2014)

Yleisesti pölynsidonnessa käytetään kalsiumkloridiliuosta, jota saa tehdastuotteena 32 % liuoksena. Liuosta ei suositella käytettävän yli 36 % pitoisuuksilla, sillä se alkaa kiteytymään jo -1 asteessa ja 40 % liuos alkaa kiteytymään jo 13 asteessa. Vesimäärät liuoksissa ovat suuria ja mikäli tehtailta saatava liuos on 32 prosenttista liuosta väkevämpää, voidaan sitä käyttää, kunhan se levitetään tielle ilman välivarastointia. Mikäli kunnossapitourakoitsijalla on oma liuosasema, voidaan hiutalesuolasta tehdä liuosta paikan päällä. Tällöin liuoksen kalsiumkloridipitoisuudesta tulee jopa 37–41 % ja se tulee levittää tielle ilman välivarastointia. Hiutalesuolaa käytettäessä kalsiumkloridimäärään vaikuttaa kyseisen tien liikennemäärä ja tien leveys. Määrät ovat taulukossa 1 ja hiutalesuolaa vastaavat liuosmäärät taulukossa 2. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Taulukko 1. Suositeltavat kalsium- ja magnesiumkloridi määrät t/km käytettäessä hiutalesuolaa. Magnesiumkloridi määrät ovat suluisia. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito)

Liikennemäärä KKVL ajon/vrk	Tien leveys		
	5,0 m	6,0 m	7,0 m
> 500	-	2,0 (2,6)	2,5 (3,3)
200–500	1,2 (1,6)	1,6 (2,1)	2,0 (2,6)
100–200	0,9 (1,2)	1,3 (1,7)	1,5 (2,0)
< 100	0,7 (0,9)	0,9 (1,2)	1,1 (1,4)

Taulukko 2. Hiutalesuolaa vastaavat liuosmäärät (m³) eri CaCl₂-pitoisuuksilla. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

Liuoksen CaCl ₂ - pitoisuus %	Vastaava suolaliuosmäärä m ³ eri hiutalesuolamäärillä (t/km, kun CaCl ₂ -pitoisuus on 77 %)						
	Hiutaleet. 0,5 t/km	Hiutaleet 0,8 t/km	Hiutaleet 1,0 t/km	Hiutaleet 1,3 t/km	Hiutaleet 1,5 t/km	Hiutaleet 2,0 t/km	Hiutaleet 2,5 t/km
32	0,88	1,41	1,76	2,29	2,64	3,52	4,40
33	0,85	1,36	1,70	2,22	2,56	3,41	4,25
34	0,83	1,32	1,65	2,15	2,48	3,30	4,15
35	0,80	1,28	1,60	2,09	2,41	3,20	4,00
36	0,78	1,25	1,56	2,03	2,34	3,11	3,90
37	0,76	1,22	1,52	1,97	2,27	3,02	3,80
38	0,73	1,18	1,47	1,91	2,20	2,93	3,68
39	0,71	1,14	1,42	1,85	2,13	2,84	3,55
40	0,69	1,10	1,38	1,79	2,07	2,75	3,42
41	0,67	1,07	1,33	1,73	2,00	2,66	3,32

3.3 Kalsiumkloridin ympäristövaikutukset

Erilaisia suoloja käytetään pölynsidonnassa hygroskooppisten ominaisuuksien takia. Kalsiumkloridi on hyvin vesiliukoista eikä se haihdu. Kalsiumkloridin imeytyminen maahan on hyvin paikkakohtaista ja siihen vaikuttavat muun muassa maaperä, tien kaltevuus ja kasvillisuus. (Tiehallinnon selvityksiä 23/2003)

Kalsiumkloridi ei ole biohajoava eikä se sisällä typpeä tai fosforia, joten se ei vaikuta vesistöjen rehevöitymiseen tai hapen kulutukseen. Suurin huolenaihe kalsiumkloridin käytössä on kuitenkin sen vaikutus pohjavesiin ja muihin vesistöihin. Suolojen kulkeutuminen vesistöihin aiheuttaa ympärillä olevan kasvuston kuolemista. Suolan liuetessa pohjavesiin, valuu se pohjavesialtaan pohjalle ja jää sinne pilaten pohjaveden. Vaikka pölynsidonnassa käytetty kalsiumkloridin käyttö on huomattavasti pienempää kuin talvisuolauksessa käytetyn natriumkloridin, niin pölynsidontaa tarvitaan usein pikkuteillä, jossa asutus on lähellä tietä ja niissä käytettävä vesi tulee paikallisesta kaivosta. (Tiehallinnon selvityksiä 23/2003) Suolan kulkeutuminen pohjavesiin aiheuttaa vesistön suolaantumista ja kohonneet kloridipitoisuudet saattavat aiheuttaa putkille korroosiota. Kohonneet suolamäärät vesissä rajoittavat veden käyttöä talousvetenä. (Hellsten et al. 2022)

3.4 Magnesiumkloridin käyttö Suomessa

Magnesiumkloridi on kalsiumkloridin tavoin hygroskooppinen aine. Magnesiumkloridin käyttö Suomessa on kumminkin huomattavasti vähäisempää kuin kalsiumkloridin. Tuotteet ovat monella tavalla hyvin samanlaisia mutta niiden kuiva-aines / vesi suhteet ovat erilaiset. Taulukosta 1. näkee, että magnesiumkloridia tulisi käyttää noin 1.6 kertaa enemmän kuin kalsiumkloridia. Magnesiumkloridin ympäristövaikutukset ovat suurimaksi osaksi samanlaisia kuin kalsiumkloridilla. (Liikennevirasto, Sorateiden kunnossapito 2014)

4 Vaihtoehtoiset Pölynsidonta-aineet

4.1 Dust/Blokr Sugar Blend

4.1.1 Yleistä

DBSB on kanadalaisen yrityksen Cypher Environmental Ltd tuote. DBSB on käyttökelpoinen millä tahansa maa-aineksella ja se parantaa huomattavasti tien lujuutta. DBSB on tuotettu ympäristöystävällisistä polymeereistä, joita DBSB hyödyntää pölynsitomisessa. (Cypher Environmental)

Tuote on ollut markkinoilla yli 10 vuotta ja viime vuonna se on saanut amerikkalaisen EPA:n hyväksynnän. Tuotetta on alettu käyttää kaivosalalla, sillä perinteisen suolan aiheuttama korroosio maksoi yrityksille liikaa.

Lentokonevalmistaja Boeing on sertifioinut aineen käytettäväksi päälylystämättömillä kiitoradoilla ja helikopterien laskeutumispaikoilla. Tuote ei sisällä formiaatteja, ja vaikka niitä markkinoidaan ympäristöystävällisenä vaihtoehtona niiden pitkäaikaisista vaikutuksista, on niistä hyvin vähän tietoa. (Cypher Environmental)

4.1.2 Levitys

Ainetta levitetään tielle säiliöautoilla, joihin lisätään vettä ja sen jälkeen DBSB. Vesi / DBSB suhde vaihtelevat tilanteen mukaan. Levityksen jälkeen tien tulisi olla käyttämättömänä pienen ajan, jotta tuote ehtisi imeytyä maahan kunnolla (Cypher Environmental Ltd.)

Mixed-in käsittely on tiepinnan peruskäsittely, joka parantaa tien kulutuspintaa ja sitoo pölyä pitkävaikutteisesti myös reuna-alueilta tulevaa irtopölyä. Tuote ei huuhtoudu sateesta ja sopiva sade jopa parantaa tiellä esiintyvää pölyongelmaa ja näin pidentää hoitokäsittelyjen väliä. Aineella voidaan myös ehkäistä aaltomaisien kuoppien syntymistä, mikäli muut asiat kuten tien kaltevuus ovat kunnossa.

4.2 Lignosulfonaatti

4.2.1 Yleistä

Lignosulfonaatit on sulfiittiselukkeiton sivutuote. Prosessissa puista tuleva ligniini muuttuu vesiliukoiseksi ja erottuu muista aineista. Tätä sivutuotetta voidaan käyttää teiden pölynsidonnassa. Kuivilla keleillä lignosulfonaatti voi kestää tien pinnassa pitkäänkin. Koska lignosulfonaatti on hyvin vesiliukoista vesisateet voivat aiheuttaa sen, että lignosulfonaatti imeytyy syvemmälle tiehen, jolloin siitä tulee tehoton. Huonoimmassa tapauksessa lignosulfonaatti voi myös sateiden myötä kokonaan liueta pois tieltä. (Tiehallinnon selvityksiä 23/2003)

4.2.2 Levitys

Ligniini levitetään soratien pintakerrokseen, jossa se sitoo pintakerroksen hiukkasia yhteen muodostamalla niistä isompia kokonaisuuksia. (Tiehallinnon selvityksiä 23/2003)

4.2.3 Ympäristövaikutukset

Lignosulfonaatista on tehty paljon tutkimuksia liittyen sen ympäristövaikutuksiin. Kokeissa on päästy tuloksiin, joissa on todettu, että lignosulfonaatti ei ole kovin myrkyllistä vesieliöille. Eri lignosulfonaateista ammoniumlignosulfonaatti on kalsiumlignosulfonaattia myrkyllisempi. Lignosulfonaattia ei itsessään ole luokiteltu myrkylliseksi aineeksi, herkkäihoisille ihmisille se voi aiheuttaa kuitenkin lievää ihon ärtymistä. (Tiehallinnon selvityksiä 23/2003)

Lignosulfonaatin joutumista vesistöihin on vältettävä, koska sillä on suuri biologinen ja kemiallinen hapenkulutus. Kulkeutuessa vesistöihin tai pohjavesiin voivat ne vähentää niiden happipitoisuutta. Lignosulfonaatti voi myös aiheuttaa vesistöjen värjäytymistä ja huonoa hajua. (Dust Control for Unpaved Roads 2005, Tiehallinnon selvityksiä 23/2003)

4.3 Ground Control PolyBlend

4.3.1 Yleistä

Ground Control PolyBlend on Dustech LLC nimisen yrityksen tuote poistamaan pölyä päällystämättömiltä teiltä. Tuote on kopolymeeri emulsio, joka sitoo yhteen soratien pintakerroksen hiukkasia tehden tien pinnasta kestävämmän. (Dustech LLC)

Ground Control PolyBlend parantaa alueen ilman laatua ja näkyvyyttä mikä vähentää hengitysteiden ongelmia. Hienoainesta pölyä vähemmän, joten tien korjaustarpeen tiheys voi vähentyä. Tuote ei aiheuta korroosiota ja on ympäristölle ystävällinen. Tuotteella voi saavuttaa pitkä aikaisen tuloksen pölynsidonnassa. (Dustech LLC)

4.3.2 Levitys

Suhde arvot ovat keleistä ja paikoista riippuvaisia mutta yleisimmät sekoitussuhteet imperiaalisen järjestelmän mukaan ovat:

1:10, jossa 275 gal pakkaus sekoitetaan 2750 gal vettä ja se levitetään 0,25–1 gallonaa jaardinneliön alueelle;

1:20, jossa 275 gal pakkaus sekoitetaan 5500 gal vettä ja se levitetään 0,25–0,50 gallonaa jaardinneliön alueelle.

Ground Control PolyBlend levitetään tielle rekan avulla, jossa on vesitankki ja sitä voidaan siitä levittää tielle. (Dustech LLC)

4.3.3 Ympäristövaikutukset

Tuotteelle ei löydy kolmannen osapuolen tekemää tutkimusta aineen haitallisuudesta ympäristölle.

4.4 Permeable Pavers

4.4.1 Yleistä

Permeable Paver on tuote, joka on eräänlainen muotti maa-aineessa. Tuotteen kehittäjä on TRUEGRID niminen yritys, joka on yhdysvaltalaislähtöinen. Tuotteen toimintaperiaatteena on asentaa tien pintaan matto, jossa on lohkoja. Lohkot täytetään sen jälkeen soralla. Tarkoituksena on, että maton läpi pääsisi vesi imeytymään maaperään. Kun vesi pääsee imeytymään raoista maaperään, vähentää se alueen tulvia ja muottien ansiosta hienoaines ei pääse liikkumaan vapaasti, joten pölyntyminenkin vähenee. Kuvasta 2 näkee tuotteen asennettuna ja siitä saa paremman kuvan, miten se toimii. Koska tuote ei ole mikään levitettävä aine tai kemikaali on se ympäristölle haitaton. (TRUEGRID)

4.4.2 Tuotteen asennus ja toiminta ympäristö

Tuotetta saa betonisina elementteinä, jotka asennettuna tekevät alueelle Paver tyyppisen rakenteen. Toinen vaihtoehto on muovista valmistetut matot, joita saa eri tyyppisissä malleina kuten rullatavarana, joka levitetään alueelle.

Paver tuotteita ei kannatta käyttää normaaleilla ajoteilla mutta kuten kuvassa 2. näkyy, että parkkipaikoilla, jotka ovat entuudestaan sorapäälysteisiä voidaan niissä pölyämistä mahdollisesti vähentää tällä tuotteella. Tuote saattaisi myös sopia varastoalueille, jossa on sorapäälysteinen pinta. (TRUEGRID)



Kuva 2. Permeable Pavers tuotetta käytettynä parkkipaikalla Kaliforniassa. (TRUEGRID)

4.5 Fibry MFC RC

4.5.1 Yleistä

Syksyllä 2021 Lahdessa kokeiltiin Fibry MFC RC nimistä sideainetta, jonka pääraaka-aineena on sokerituotannosta jäänyt ylijäämäosa, joka muulle teollisuudelle on jätettä. Hankkeessa mukana olivat Lahden kaupunki, Peab Asfaltti ja Bang & Bonsomer, jonka tuote Fibry MFC RC on. Sideaineen tarkoituksena on yhdistää soratien pienempiä partikkeleita yhteen muodostaen niistä isomman kokonaisuuden. (Lahti.fi)

4.5.2 Valmistus ja levitys

Tuote poikkeaa muista aineista siten, että sitä ei levitetä tielle ruiskuttamalla tai sekoittamalla sitä maaperään. Ainetta levitetään samalla tavalla kuin asfalttia, ja näin vaatii asfaltin teko välineet sen valmistajalta. Muutos asfalttiin on se, että sideaine ei ole bitumi vaan Fibry MFC RC. Kuvassa 3 on laboratorioissa tehty koepala. Kun aine on levitetty tielle, niin suositellaan, että siinä ei ajettaisi kahteen tuntiin. Vaikka aineelle kohdistuisi ajoa saman tien, niin se ei ole

vakavaa, sillä aineen plastisuuden avulla painumat korjaantuvat itsestään ajan myötä. (Yle.fi uutinen, Bang & Bonsomer)



Kuva 3. Koepala FIBRY MFC RC aineesta. (Susanna Jokiperä, Bang & Bonsomer)

4.6 Kemion

4.6.1 Eco-Binder F

Eco Binder F on formiaattipohjainen liuos, jota voidaan käyttää pölynsidonnassa. Aine on biologisesti hajoava ja se on ympäristön kannalta kestävä ratkaisu. Tuote kestää jopa -50 asteen pakkasia. Ainetta voidaan siis käyttää jo alkukevästä, vaikka on vielä yöpakkasia. Ainetta voidaan levittää normaaleilla nestelevittimillä ja tuotetta voidaan laimentaa, mikäli käyttökohde vaatii sen. Tuotetta toimitetaan irtotavarana 1000 litraa konteissa tai 200 tynnyreissä. (Kemion)

4.6.2 Eco-Binder G

Eco-Binder G on kasvivasvapohjainen pölynsidonta-aine. Tuote ei sisällä suoloja ja se on erinomainen ratkaisu paikkoihin, jossa sähkönjohtavuus on

ongelma. Tuotteen levitykseen käytetään nestelevitintä ja sitä voi halutessaan laimentaa vastaamaan käyttötarpeita. Tuotetta toimitetaan irtotavarana 1000 litran konteissa tai 200 litran tynnyreissä (Kemion)

4.6.3 Eco-Binder Bio & Eco-Binder Geo

Eco Binder Bio ja – Geo ovat toistaiseksi vielä kehitysasteella olevia aineita. Aineiden toiminta perustuu flokkaukseen eli aineet kokoavat hienoaineen suuremmiksi kokonaisuuksiksi. Pölynhallinnan lisäksi tuotteet soveltuvat pintojen stabilointiin, mikä tarkoittaa sitä, että aine vähentää mahdollisten haitallisten aineiden kulkeutumisen maaperään ja pohjavesiin. (Kemion)

5 Yhteenveto

Taulukko 3. Yhteenveto pölynsidonta-aineista.

Tuote/Yritys / Jälleenmyyjä	Positiiviset / Negatiiviset
DUST/BLO KR Sugar Blend Cypher Environme ntal / Vumos Oy	Positiiviset <ul style="list-style-type: none"> - Tuotteella on jälleenmyyjä Suomessa. - Tuote on ollut markkinoilla noin 10 vuotta, joten testauksiakin on tehty. - Tuotetta käytetty jo muualla maailmassa. - Ympäristöystävällisempi kuin suolat. Negatiiviset <ul style="list-style-type: none"> - Tuotetta ei vielä testattu Suomessa
Lignosulfo naatti / Borrenbrig ht CY22P Borrengaar d	Positiiviset <ul style="list-style-type: none"> - Tuotetta käytetty jo Suomessa - Ympäristöystävällisempi kuin suolat - Lignosulfonaatista on paljon tehtyjä tutkimuksia Negatiiviset <ul style="list-style-type: none"> - Vesiliukoinen, joten kovalla sateella saattaa liueta pois.
Ground Control PolyBlend Dustech LLC	Positiiviset <ul style="list-style-type: none"> - Tuote on korroosiota aiheuttamaton pölynsidonta-aine Negatiiviset

	<ul style="list-style-type: none"> - Tuotetta saatavana Amerikasta ja ei ole tietoa rahdataanko tuotetta vielä Eurooppaan.
Permeable Paver TRUEGRID	<p>Positiiviset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote estää pölyämisen lähes kokonaan - Voi mahdollisesti tehdä alueesta visuaalisesti paremman näköisen - Tuote sopii hyvin esimerkiksi parkkipaikkoihin ja varastoalueisiin, jossa on sorapäällysteinen pinta. <p>Negatiiviset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuotetta ei tarkoitettu maanteille käytettäväksi
Fibry MFC RC Bang & Bonsomer	<p>Positiiviset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuote ympäristöystävällinen - Käyttää muusta tuotannosta jäämää "roskaa" raaka-aineena. - Tuotetta valmistetaan Säkylässä, joten rahdeista ei tarvitse murehtia. - Tuotetta testattu Lahdessa, joten tutkimustuloksia saadaan läheltä. <p>Negatiiviset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuotetta testattu viime syksynä Lahdessa, joten pitkäaikaisesta käytöstä ei ole tietoa
Eco-Binder Kemion	<p>Positiiviset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Tuoteryhmään kuuluu monenlaisia tuotteita, jotka sopeutuvat eri tilanteisiin. - Kaikki tuoteperheeseen kuuluvat tuotteet ovat ympäristöystävällisiä. <p>Negatiiviset</p> <ul style="list-style-type: none"> - Osa tuotteista on vielä kehitysvaiheessa

Lähteet

Bang & Bonsomer. 2022. Fibry MFC RC. Tuote-esittely

Cypher Environmental Ltd. 2022. Viitattu 22.3.2022.

<https://www.environmental-expert.com/products/dust-blokr-superior-road-dust-control-723445>

Cypher Environmental Ltd. 2022. Dust Stop FAQ

Dustech. 2022. Ground control polyblend. Viitattu 1.5.2022

<https://dustechllc.com/dust-control-products/polymer-polyblend/>

Hellsten, P. & Nysten, T. 2001. Vaihtoehtoisten liukkauden-torjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa. Suomen Ympäristö 515.

Hirviniementie. 2022. Soratien pintakuntoon vaikuttaa kulutuskerros. Viitattu 1.5.2022

<https://hirviniementie.wordpress.com/2019/11/09/soratien-kulutuskerros/>

InfraGuide. 2005. Dust Control for Unpaved Roads.

Liikennevirasto. 2018. Kelirikkoiteiden liikenteen rajoittaminen. Liikenneviraston ohjeita 34/2018.

Liikennevirasto. 2014. Sorateiden kunnossapito. Liikenneviraston ohjeita 1/2014

Susanna Jokiperä, Sales Manager, Bang & Bonsomer .

Tiehallinto. 2008. Sorateiden hoidon ja ylläpidon toimintalinjat. Helsinki: Edita Prima Oy

Tiehallinto. 2008. Sorateiden pintakunnon määrittäminen. Helsinki Edita Prima Oy.

Truegrid. 2022. Permeable pavers Viitattu 15.4.2022

<https://www.truegridpaver.com/road-dust-control/>

Väylävirasto. 2021. Sorateiden kunnossapidon toimintalinjat. Väyläviraston julkaisuja 72/2021.

Vumos Oy. 2022. Benefits of DUST/BLOKR Sugar Blend.

Riitta Tapiomäki. Yle uutinen. 2.9.2021. Viitattu 2.5.2022
<https://yle.fi/uutiset/3-12073584>

Kemion. 2022. Eco-binder pölynsidonta. Viitattu 14.4.2022
<https://kemion.fi/polynsidonta/>

