



**SAVONIA**

■ OPINNÄYTETYÖ - AMMATTIKORKEAKOULUTUTKINTO  
TEKNIIKAN JA LIIKENTEEN ALA

# MEKAANISET MENETELMÄT KEMI- ALLISEN LIUKKAUDENTORJUNNAN TEHOSTAMISESSA

TEKIJÄ: Mikko Valkonen

Koulutusala Luonnonvara- ja ympäristöala			
Koulutusohjelma Ympäristötekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Mikko Valkonen			
Työn nimi Mekaaniset menetelmät kemiallisen liukkaudentorjunnan tehostamisessa			
Päiväys	20.3.2013	Sivumäärä/Liitteet	35/18
Ohjaaja(t) Merja Tolvanen, Yliopettaja			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Destia Oy			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tämän insinööriyön tavoitteena oli tutkia mekaanisia menetelmiä kemiallisen liukkaudentorjunnan tehostamiseksi. Laki määrää, että tien on täytettävä tietyt laatuvaatimukset, joita ei nykyisellään voida saavuttaa ilman kemiallisia liukkaudentorjunnan käyttämistä. Yleisimmin käytettyä tiesuolaa eli natriumkloridia ei voida aina käyttää, sillä kloridi-ionit ovat haitallisia herkillä pohjavesialueilla. Siksi on jouduttu etsimään vaihtoehtoisia kemikaaleja natriumkloridin korvaamiseksi. Yksi lupaavimmista vaihtoehtoisista aineista on kaliumformiaatti, sen vähäisten ympäristövaikutusten takia. Kaliumformiaatti on kuitenkin noin 20 kertaa tiesuolaa kalliimpaa ja lisäksi se on vesiliukoinen aine. Siksi tiellä oleva lumi ja sohjo on saatava poistettua mahdollisimman tehokkaasti ennen kemikaalin levittämistä.</p> <p>Insinööriyö aloitettiin kokoamalla teoretieto kemiallisista liukkaudentorjunta-aineista ja niiden ominaisuuksista ja käyttäytymisestä. Tämä muodostaa pääosan insinööriyön kirjallisuusosasta. Seuraavaksi Lusin-varalaskupaikalla suoritettiin lumenpoistolaitteiden kenttäkokeita, joiden tarkoituksena oli tutkia uusien menetelmien tehokkuutta. Kolmannessa vaiheessa kenttäkokeista saadut tiedot koottiin ja analysoitiin.</p> <p>Mekaanisten torjuntamenetelmien kenttäkokeille asetetut tavoitteet eivät täytyneet. Kokeisiin valitut aurat tai laitteet eivät poistaneet lunta ja sohjoa riittävän tehokkaasti, vaan tielle jäi liikaa kosteutta/vettä. Tämä tarkoittaa sitä, että kaliumformiaatti liukenee liian nopeasti ja sen teho heikkenee. Tämä puolestaan johtaa siihen, että kaliumformiaattia joudutaan lisäämään tielle useammin, mikä nostaa kustannuksia liikaa. Kokeista saatiin kuitenkin hyvää tietoa kehitystyötä varten.</p>			
Avainsanat mekaaninen liukkaudentorjunta, kemiallinen liukkaudentorjunta, natriumkloridi, kaliumformiaatti, tiesuola, kitkan mittaaminen, bentoniitti			

Field of Study Natural Resources and the Environment			
Degree Programme Degree Programme in Environmental Technology			
Author(s) Mikko Valkonen			
Title of Thesis Mechanical Methods for Perfecting Chemical Anti-Skid Treatment			
Date	20 March 2013	Pages/Appendices	35/18
Supervisor(s) Ms Merja Tolvanen, Principal Lecturer			
Client Organisation /Partners Destia Oy			
<p>Abstract</p> <p>The purpose of this thesis was to study mechanical snow removal methods in order to improve chemical de-icing. The law has set quality requirements which cannot be reached without using chemical de-icers. The most commonly used de-icer is sodium chloride which is very effective and widely available. However, chloride can be harmful to the groundwater which is why alternative chemicals must be used. One of the most potential chemicals is potassium formate due to its effectiveness. It is also environmentally friendly because formate breaks down to carbon dioxide and water. On the other hand this is also a down side because as it is applied to de-ice snow it gets diluted and the chemical becomes less effective. Therefore it is important to get the maximum amount of snow off the road by using mechanical snow removal methods.</p> <p>In the first phase of making this thesis information and material was collected and written down to form the theoretical background of the thesis. The theoretical section includes knowledge of chemical de-icers especially potassium formate acid and its behavior and characteristics. The second phase consisted of field tests that were made to test mechanical snow removal methods in the Lusi emergency landing strip. Thirdly, the test results were analyzed and conclusions were made about them.</p> <p>The objectives set for the field tests were not reached due to the amount of water that remained on the road after the tests. This leads to that potassium formate cannot be used effectively and cost efficiently as a de-icer with current snow plows. However, the information gathered during these tests gives a good base for future development.</p>			
<p>Keywords mechanical snow removal, de-iceing, sodium chloride, potassium formate, friction, bentonite</p>			

# SISÄLTÖ

1	JOHDANTO .....	6
2	TIEN TALVIKUNNOSSAPITO .....	7
2.1	Kunnossapidon vaatimukset .....	7
2.2	Teiden hoitoluokat .....	7
2.3	Sään vaikutus talvikunnossapitoon .....	9
2.4	Mekaaniset ja kemialliset menetelmät tiealueen talvikunnossapidossa .....	10
3	KITKAN MERKITYS TALVIKUNNOSSAPIDOSSA .....	11
3.1	Voiman mittaukseen perustuvat menetelmät .....	11
3.2	Epäsuorat menetelmät .....	12
3.3	Kiihtyvyyden mittaukseen perustuvat menetelmät.....	13
4	KEMIALLISET LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEET .....	14
4.1	Natriumkloridi (NaCl).....	14
4.2	Kalsiumkloridi (CaCl <sub>2</sub> ) .....	14
4.3	Kalsiummagnesiumasetaatti (CMA) .....	15
4.4	Kaliumformiaatti (Kfo) .....	15
5	KALIUMFORMIATTI .....	16
5.1	Kaliumformiaatin käyttäytyminen luonnossa .....	16
5.1.1	Pidättäytyminen .....	16
5.1.2	Hajoaminen .....	16
5.1.3	Huuhtoutuminen .....	16
5.2	Formiattien vaikutukset maaperään, pohjaveteen, kasvillisuuteen ja asfalttipäällysteisiin .....	17
5.3	Suojaus tien läheisyydessä .....	18
5.3.1	Bentoniittisavi .....	18
5.3.2	Bentoniitin paisumiskoe .....	18
5.3.3	Muut pohjaveden suojauskeinot .....	20
6	MEKAANISTEN MENETELMIEN TESTAUS LIUKKAUDEN TORJUNNAN TEHOSTAMISESSA.....	22
6.1	Koejärjestelyt .....	22
6.1.1	Kohteen kuvaus .....	22
6.1.2	Kokeiden toteutus .....	24

6.2	Työmenetelmät.....	27
6.3	Tulokset .....	28
7	JOHTOPÄÄTÖSET .....	31
8	YHTEENVETO.....	32

LÄHTEET

LIITTEET

1 Lusin varalaskupaikalla suoritettu kenttäkokeiden raportti

## 1 JOHDANTO

Täyttääkseen lainsäädännön asettamat laatuvaatimukset teiden talvi kunnossapidolle ja ylläpitämään liikenneturvallisuutta on tiellä käytettävä kemiallista liukkaudentorjuntaa tieluokilla Is ja I sekä jossakin määrin hoitoluokassa Ib. Koska tiesuolassa eli natriumkloridissa on klooria, se ei sovellu käytettäväksi pohjavesialueilla. Sen vuoksi on käytettävä vaihtoehtoisia kemikaaleja natriumkloridin sijasta. Tästä syystä on tutkittu erilaisia kemikaaleja ja yhdeksi lupaavimmista on osoittautunut kaliumformiaatti, joka on sekä ympäristöystävällinen, että tehokas. Ongelmana on kuitenkin kaliumformiaatin liuosmuoto, jolloin siinä on vettä mukana. Tästä johtuen tien pinnalla oleva lumi ja sohjo on poistettava mahdollisimman hyvin, jotta kemikaalin teho voidaan maksimoida sen sijaan, että liuos laimentaisi entisestään.

Destia Oy on kehittämässä yhteistyökumppaniensa kanssa uusia mekaanisia menetelmiä, joiden avulla päästään vaadittuihin tavoitteisiin. Tämä opinnäytetyö on osa laajempaa Destia Oy:n ja sen yhteistyökumppanien suorittamaa formiaattien käyttötutkimusta. Aihe on ajankohtainen, koska teiden kunnossapitoon liittyvät ympäristövaatimukset kasvavat ja kehitystyöllä voidaan saavuttaa kilpailuetua muihin alalla toimiviin yrityksiin nähden.

Arviolta 60 % suomalaisista saa juomavetensä pohjavesialueelta ja siksi niiden suojeleminen kloridipäästöiltä on ensiavoisen tärkeää. Esimerkiksi talvikaudella 2002–2003 käytettiin yhteensä 73 000 tonnia suolaa kemialliseen liukkaudentorjuntaan. Tähän mennessä tien läheisyydessä oleville tärkeille pohjavesialueille on rakennettu suojarakenteita, joiden avulla voidaan estää kloridin pääsy pohjaveteen. Suojarakenteet eivät kuitenkaan ole kovin yleisiä todennäköisesti korkeiden rakennuskustannusten takia. (Tiehallinto 2004, 8; Salminen & Kalevi 2008, 6)

Tähän insinööriyöhön kootaan teorian tietoa kemiallisesta liukkaudentorjunta-aineista ja syvennyttään kaliumformiaattiin ja sen ominaisuuksiin ja käyttäytymiseen. Lisäksi tässä työssä tutkitaan kokeellisesti mekaanisia menetelmiä, jotka vaikuttavat lupaavilta käytettäväksi kaliumformiaatin kanssa. Opinnäytetyön tarkoitus on auttaa kokoamaan tietoa, jotta voidaan kehittää tehokkaita ja ympäristöystävällisiä menetelmiä teiden talvikunnossapitoon.

## 2 TIEN TALVIKUNNOSSAPITO

### 2.1 Kunnossapidon vaatimukset

Teiden kunnossapidon laatuvaatimukset määräytyvät lainsäädännön mukaan. Keskeinen tekijä on toimintavaatimus. Laatuvaatimuksilla määritetään hoidettavien kohteiden laatua asetettujen ehtojen mukaan. Maantie on pidettävä yleistä liikennettä tyydyttävässä kunnossa. Kunnossapidon tason määräytymisessä otetaan huomioon liikenteen määrä ja laatu, tien liikenteellinen merkitys sekä säätila ja sen ennakoitavissa olevat muutokset, vuorokaudenaika ja muut olosuhteet. Kunnossapidossa on liikenteen toimivuuden ja liikenneturvallisuuden lisäksi otettava huomioon ympäristönäkökohdat. (maantielaki 23.6.2005/503, 3. luku, 33§).

Kunnossapidon tehtävänä on pitää huolta tiestön tilasta niin, että liikenne on sujuvaa ja mahdollisimman turvallista. Talvikaudella tämä edellyttää tehokasta lumenpoistoa, pinnan tasausta ja liukkaudentorjuntaa. Sen lisäksi talvihoitoon sisältyy muun muassa aurausviitoitus, liikennemerkkien ja opasteiden puhdistus, lumivallien madallus, lumen poiskuljetus ja sulamisvesihaittojen torjunta. (Tiehallinto 2009, 9.)

Talvikaudella toimenpideajat on määritelty lumen ja sohjon poistolle. Toteutuvaan toimenpideaikaan vaikuttaa päätös toimenpiteestä, lähtönopeus ja hoitoreitille kuluva kierroisaika. Kun sateen päätyttyä sekä aurataan, että suolataan samanaikaisesti, noudatetaan lumenpoiston toimenpideaika. Suolatun tien sohjo on poistettava suolauksen päätyttyä sohjonpoiston toimenpideajassa. Liukkaudentorjunnan toimenpideajassa tien pitää olla suolattu, hiekoitettu tai karhennettu toimenpideajan puitteissa. (Tiehallinto 2009, 11–12.)

Ajoradalle asetetut laatuvaatimukset kattavat tien reunaviivasta reunaviivaan, mutta jos reunaviivaa ei ole, niin laatuvaatimukset ovat voimassa koko aurattavalla tienleveydellä lukuun ottamatta 20 cm:n kaistaleita aurausvallien reunasta. Pientareiden laatuvaatimuksissa taas vaatimukset ovat voimassa reunaviivasta aurauslinjaan, mikä on noin 25 cm:ä aurausviitoista. (Tiehallinto 2009, 10)

### 2.2 Teiden hoitoluokat

Kaikkille teille ei voida taata samaa hoitotasoa ja siksi ne on jaettu kuuteen eri hoitoluokkaan. Suomessa liikennevirasto on jakanut tieverkon seuraavasti (Liikennevirasto):

Tienhoitoluokka Is:n (3 217 km, 42 % liikenteestä) laatuvaatimuksena on, että tie on pääosin paljas. Tiellä voi olla hieman polannetta pakkautuneena lumi- tai jääharjanteena. Tien pinta voi olla osittain jäinen pitkinä pakkaskausina, kun suolaus ei ole mahdollista. Liukkaudentorjunta suoritetaan pääosin ennakoivilla toimenpiteillä.

Tienhoitoluokassa I:n (3 831 km, 17 % liikenteestä) laatuvaatimuksena on, että tie on lähes koko ajan paljas tai siinä voi olla kapeita, matalia polannekaistoja ajourien- ja kaistojen välissä. Sään

muuttuessa ja öiseen aikaan tien pinta voi olla hieman liukas. Tien pinnan liukkaus pyritään estämään ennakoivalla liukkauden torjunnalla.

Tienhoito luokissa Ib ja TIb (10 377 km, 22 % liikenteestä) liukkauden torjunta hoidetaan pääasiassa ilman suolausta, mutta silti korkeatasoisesti. Tie on osittain paljas tai tien pinnalla esiintyy jonkin verran polannekaistoja tai se on kokonaan lumipolanteen peittämä. Lukuun ottamatta pahimpia sääolosuhteita tiellä on hyvä talvikeli, muttei kuitenkaan paljaan asfaltin tasoinen, mutta silti riittävän hyvä turvallista tienkäyttöä varten. Suolaa käytetään liukkauden torjuntaan vain syys - ja kevät liukkailla ja poikkeuksellisissa sääolosuhteissa.

Talvihoitoluokassa TIb, joihin kuuluvat eräät taajamatiet, tiestö on sydäntalvella polannepintainen. Laatu on samantasoinen kuin Ib-tiellä, mutta polanneurat voivat olla syvempiä, jotka eivät kuitenkaan ole ajoturvallisuuden kannalta ongelma alhaisen nopeusrajoituksen takia.

Tienhoitoluokassa II (19 916 km, 14 % liikenteestä) tien pinta on polanteen peittämä ja polanne voi olla jonkin verran urautunut. Kuitenkin tiellä on normaali sääolosuhteissa riittävä kitka ja tasaisuus turvalliseen liikennöintiin. Risteysalueet, mäet ja kaarteet hiekoitetaan. Vaikeissa sääolosuhteissa tiet hiekoitetaan kokonaan.

Tienhoitoluokassa III (40 916 km, 6 % liikenteestä) tiestö on suurimmalta osalta polannepintainen ja joiltakin osin urainen. Ajo-olosuhteet ovat useimmiten tyydyttävät, mutta autoilijan on noudatettava erityistä varovaisuutta sään muuttuessa.



### 2.3 Sään vaikutus talvikunnossapitoon

Tien talvikunnossapidon kannalta on otettava huomioon veden eri olomuodot ja niiden muutokset, jotka vaikuttavat suoraan tien liukkauteen ja näin teiden talvihoitoon. Vesi voi joko sataa vetenä tai lumena tienpinnalle tai se voi myös jäätyä tai härmistyä. Veden olomuotoon vaikuttaa taas sekä ilman lämpötila, että tienpinnan lämpötila, joka useimmiten ei ole sama kuin ilman lämpötila. Lämpötilaerot johtuvat muun muassa pintojen ulossäteilystä ja tie rakenteen ominaislämpökapasiteetista. Tienpinnalle kehittyvän kuuran muodostumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat tienpinnan lämpötila, ilman absoluuttinen kosteus sekä ilman kastepistelämpötila ero. (Huuskonen 2008, 6.)

Musta jää syntyy, kun tienpinnalla oleva vesi jäätyy kirkkaaksi läpinäkyväksi jääksi. Musta jää on erityisen liukasta ja sitä voi olla vaikea erottaa märästä tienpinnasta. Yleisimmin mustaa jäätä esiintyy usvaisissa paikoissa tai siltojen kansilla tai jos soratie muuttuu asfalttipäällysteiseksi. Ilmiö tapahtuu etenkin selkeänä yönä säteilyjäätymisen takia korkeapaineen tai korkean selänteen aikana. Mustaa jäätä voidaan torjua ennakkosuolauksella. (Huuskonen 2008, 7.)

Kuura muodostuu suoraan vesihöyrystä kiinteäksi härmistymällä. Kuura syntyy kun kastepiste on pakkasen puolella, mutta ilman lämpötila on plusasteiden puolella ja tienpinnan lämpötila on miinusasteilla. Jos ilma on hyvin kylmää se sisältää vain vähän kosteutta ja siksi kuuraa ei muodostu kovin paljoa. Kuitenkin pitkään jatkuva kuuran muodostus aiheuttaa liikenteen vaikutuksesta pakkasliikkautta, jota on vaikea torjua. Torjuntaan voidaan kuitenkin käyttää pientä määrää alhaisen jäätympisteen omaavaa liuosta. Vaikutus ei kuitenkaan ole pitkäaikainen vaan toimenpide joudutaan uusimaan aika ajoin liikenneturvallisuuden ylläpidon kannalta. Toimenpiteet kohdistetaan aiemmin tunnistettuihin ongelmakohtiin, kuten erilaisiin liittymiin, joiden tiedetään aiheuttavan ongelmia liikenteen sujuvuudelle. Liukkaudentorjunta suoritetaan hieman ennen ruuhka-aikaa, jotta vaikutus olisi mahdollisimman tehokas. (Huuskonen 2008, 7.)

Tehokkaan kunnossapidon kannalta on olennaista seurata alati vaihtuvia sää oloja ja tietää oikeat toimenpiteet oikeaan aikaan. Esimerkiksi jos ilma jäähtyy vesisateen aikana, niin sade muuttuu lumisateeksi. Kelikeskuspäivystäjä seuraa tutkakuvasta sadealuetta ja kelikamerasta sateen olomuotoa sekä tiesääasemista lämpötilan muuttumista. Suolaus aloitetaan heti vesisateen päättyessä. (Huuskonen 2008, 7.)

## 2.4 Mekaaniset ja kemialliset menetelmät tiealueen talvikunnossapidossa

Täyttääkseen lainsäädännön vaatimat tieden kunnossapitovaatimukset käytetään tieden kunnossapidossa sekä mekaanisia, että kemiallisia liukkauden torjuntamenetelmiä. Lähtökohtana on, että tie täyttää sille asetetut hoitovaatimukset, esimerkiksi tiellä ei saisi olla muutamaa senttimetriä enempää lunta. Useimmiten liukkaudentorjunta pyritään suorittamaan ennakoivasti, jotta liikenteen sujuvuus ja liikenneturvallisuus eivät häiriintyisi. On kuitenkin selvää, että myös lumisateen aikana on suoritettava liukkaudentorjuntaa, jotta voidaan ylläpitää liikenteen kannalta tyydyttävää kitkatasoa.

Mekaanisilla liukkauden torjuntamenetelmillä tarkoitetaan työkoneiden avulla suoritettavia toimenpiteitä, joilla tiealueelta poistetaan mekaanisesti lumi, jää ja sohjo sekä pinnantasaus. Näitä ovat esimerkiksi auraus ja linkous. Ne ovat tehokkaita menetelmiä joilla voidaan lisätä kemiallisen liukkaudentorjunnan tehoa, mutta niitä voidaan myös käyttää ilman jäänestoaineitakin hoitotasoltaan alemmilla teillä.

Kemiallisiin liukkaudentorjuntamenetelmillä tarkoitetaan tiealueelle levitettävien jäänestoaineiden käyttöä, jotka sulattavat jo syntynyttä jääkerrosta, mutta myös ennalta ehkäisevät sen syntymistä ja kasvamista. Kemialliset liukkaudentorjunta-aineet voidaan levittää tielle liuosmuodossa tai kostutettuna. Kostutettussa suolassa on tarvittava alkukosteus, mikä nopeuttaa suolan vaikutusta. Keskeisiä kemialliseen liukkaudentorjuntaan vaikuttavia tekijöitä ovat tienpinnan lämpötila, kosteus, liukkaan peitteen määrä ja mahdollisen sateen määrä ja laatu. Kemiallisista menetelmistä on kerrottu lisää luvussa 4. (Tiehallinto 2001, 39–40.)

### 3 KITKAN MERKITYS TALVIKUNNOSSAPIDOSSA

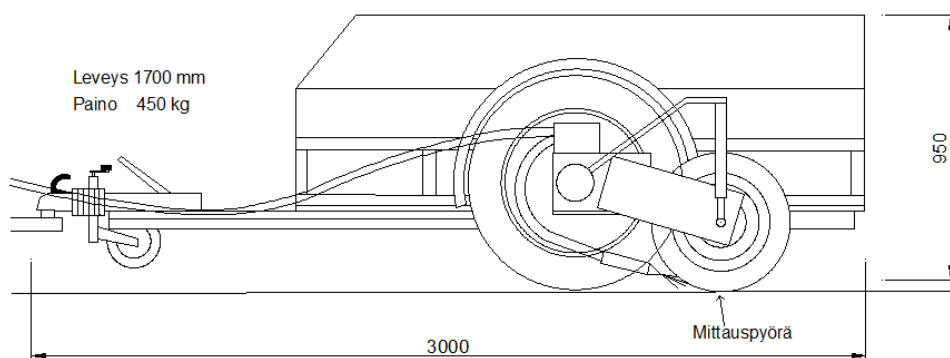
Kitkan mittauksen lähtökohtana on selvittää tien pinnan kitka-arvo, jotta voidaan arvioida tien pinnan liukkautta. Tienpinnan kitka on keskeinen tien liikenteen turvallisuuteen vaikuttava tekijä ja siksi sen mittaaminen ja arviointi on ensiarvoisen tärkeää. Useimmiten talviolosuhteissa tienpinnan kitkaan vaikuttaa lumi ja jää sekä joissakin tapauksissa myös sade. Kitkaa voidaan mitata joko mitaamalla voiman muutosta, tai kiihtyvyyttä tai epäsuorasti. (Moventor 2011)

Kitka on kosketusvoima, joka syntyy kun kaksi pintaa hankaa toisiaan vasten estäen kappaleiden liikkeen. Kitkan suuruuteen vaikuttaa pintojen muoto, materiaali ja voima, jolla pinnat painavat toisiaan. Kitkaa, joka estää kappaletta lähtemästä liikkeelle kutsutaan lepokitkäksi. Kun kappaleeseen kohdistuva lepokitka kasvaa maksimiinsa sitä kutsutaan lähtökitkäksi ja kun kappale alkaa liikkua siihen kohdistuvaa kitkaa kutsutaan liikekitkäksi. Kitkakerroin on dimensioton suhdeluku kuvaa kahden kappaleen välistä kitkaa ja voimaa, joka painaa niitä yhteen. (Suvanto 2008, 121)

#### 3.1 Voiman mittaukseen perustuvat menetelmät

Voiman mittaukseen perustuvissa menetelmissä käytetään tyypillisesti ajoneuvoon kiinnitettävää tai perässä vedettävää kitkamittaria (kuva 1). Mittalaitteessa on rengas, johon mittauksen aikana kohdistetaan tasainen kuorma. Rengas on kiinnitetty voimansiirtojärjestelmään, jossa on tietty välityssuhde ja pyörän annetaan luistaa esimerkiksi 13 %. Anturi mittaa vaihteiston aiheuttamaa jännitystä ja se on verrannollinen kitkan suuruuteen. Menetelmän etuna on, että kitkaa voidaan mitata jatkuvatoimisesti koko tieosuudelta. Sen lisäksi laite on helposti kalibroitu.

Haittana on se, että laitteen hankintahinta on korkea ja myös käytettävät renkaat ovat tavallisia autonrenkaita kalliimpia. Sen lisäksi laite on herkkä lämpötilanvaihteluille, esimerkiksi jos laite on ollut lämpimässä varastossa ennen mittauksen aloitusta ja laitteessa oleva öljy on lämmintä ja sitä kautta laitteen vaihteiston oma kitka on pienempi, saadaan tulokseksi todellisuutta parempia arvoja. Myös asennus voi vaatia muutostöitä ajoneuvoon (Haavasoja).



Kuva 1 Perässä vedettävä kitkamittari

### 3.2 Epäsuorat menetelmät

Tutkimalla tienpinnalla vallitsevia ympäristötekijöitä, kuten vesi-, lumi- ja jääkerroksen paksuutta, voidaan tietokoneen avulla laskea kitkan suuruus. Laite lähettää infrapuna signaalin, joka heijastuu tien pinnasta takaisin sensoriin. Optinen kitkamittari pystyy havainnoimaan hyvin ohuita, jopa 30 µm paksuisia jääkerroksia. (Tiehallinto 2008, 31)

Ajoneuvon vetokoukkuun asennetaan optinen anturi (kuva 2). Matkapuhelimeen asennetulla käyttöliittymällä voidaan seurata tuloksia ja tulokset voidaan lähettää myös sähköiseen karttapalveluun. Sen lisäksi tiedot voidaan tuoda muihin järjestelmiin. (Talvikunnossapidon laadun seuranta)



Kuva 2 Ajoneuvon kiinnitettävä optinen kitkamittari (Teconer Oy)

Optinen mittari voidaan myös asentaa kiinteästi tien varteen (Kuva 3, Vaisala.com), jolloin se mittaa vain tiettyä osaa tiestä. Mittatulokset ovat tarkkoja, vaikka liikenne olisikin vilkasta. Mitatut tiedot välittyvät suoraan liikenneviraston tiesääjärjestelmään.



Kuva 3 Kiinteä optinen kitkamittari (Vaisala.com)

Optisen mittauksen etuna on että laitteet vievät vähän tilaa verrattuna voimaan perustuviin menetelmiin. Lisäksi laitteet ovat kohtullisen helppoja asentaa ja huoltaa.

Haittana optisessa kitkan mittauksessa on, että se kohta, jota kiinteä kitkamittari havainnoi ei välttämättä edusta tien liukkainta tai edes keskiarvoista kitka-arvoa. Autoon kiinnitettävän optisen kitka-

mittarin ongelmana taas on, että anturin ikkuna likaantuu vaikeissa keliolosuhteissa. Optisessa kitkanmittauksessa on myös otettava huomioon, että tulokset perustuvat mallinnettuun kitkaan. Joissain tilanteissa ongelmana on pinnalla olevan kerroksen suurempi vaikutus kuin alempana olevien kerrosten vaikutus optisen mittauksen tulokseen. Varustamalla autoon asennettava optinen mittari jarrutuskitkamittarilla voidaan varmistaa alempien kerrosten vaikutus tulokseen ja muutenkin varmentaa mallin toimisuus vaikeissa tilanteissa. Jatkuvatoimisella optisella mittauksella saadaan hyvä yleiskuva kunnossapidon laadusta ja sen avulla on helppo verrata läheisten alueiden kunnossapidon onnistumista. (Haavasoja)

### 3.3 Kiihtyvyyden mittaukseen perustuvat menetelmät

Kiihtyvyyttä voidaan mitata muutamalla eri tavalla. Yksi menetelmä on mitata nopeuden muutosta jarrutuksen aikana ja mitata auton maksimi hidastuvuus, mutta silloin on vaarana, että tulos on todellista kitkaa parempi, sillä jos jarrutus aloitetaan kevyesti tai jarrujen kuormaa kevennetään ennen ajoneuvon pysähtymistä, niin tulos häiriintyy. Tuloksia voidaan kuitenkin tarkentaa jos koe toistetaan useita kertoja ja saaduista tuloksista otetaan keskiarvo. Tämä taas vaatii, että mittaus toistetaan samassa paikassa ja samoissa olosuhteissa. (Tiehallinto 2008, 16)

Kiihtyvyyksanturin käyttö kitkan mittauksessa on periaatteessa hyvä tapa, mutta siihenkin liittyy muutamia haittoja. Laitteiden kalibrointi on melko hankalaa ja etenkin jarrutuksen aikana inhimillinen virhe vaikuttaa suuresti mittaustulokseen. Lisäksi auton jarrujen teho ja muut ajoneuvoa jarruttava tekijät vaikuttavat tulokseen. (Tiehallinto 2008, 17) Toisaalta oikein kalibroitu ja mitattuna kiihtyvyyksanturi voi antaa hyvinkin tarkkoja tuloksia. Lisäksi on kehitetty uusia menetelmiä, joissa inhimilliset virheet pyritään eliminoimaan. Vertaamalla vetävien akselien ja vapaasti pyörivien akselien nopeuseroja eri ajotilanteissa voidaan tietokoneen avulla laskea ja päätellä kitkataso. Näin saadaan reaaliaikaista tietoa tienpinnan liukkaudesta. (VTT 2013)

## 4 KEMIALLISET LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEET

### 4.1 Natriumkloridi (NaCl)

Natriumkloridi on maailmalla eniten käytetty liukkaudentorjunta-aine edullisuutensa ja tehokkuutensa takia. Sille on kuitenkin etsitty korvaajaa sillä se kiihdyttää metalliputkistojen ja muiden osien korroosiota ja lisää pohjaveden kloridipitoisuutta. Natriumkloridi on vesiliukoinen ja sen eutektinen (piste, jossa faasi muuttaa olomuotoaan) lämpötila on  $-21,2\text{ °C}$ :ta liuosväkevyydessä 23,3 %. NaCl on tehokkaimmillaan  $-4\text{ °C}$ :n lämpötilan yläpuolella ja menettää tehokkuutensa alle  $-9,44\text{ °C}$ :n lämpötilassa (Hellstén & Nystén 2001, 14).

Maaperään joutuessaan natriumioni ( $\text{Na}^+$ ) voi käyttäytyä olosuhteiden mukaan kolmella tavalla. Se voi pidättäytyä negatiivisesti varautuneeseen ioniin tai osallistua kationinvaihtoprosessiin tai huuhtoutua huleveden mukana pois. Useimmiten kuitenkin natriumioni osallistuu kationinvaihtoprosessiin syrjäyttäen jonkun toisen positiivisesti varautuneen ionin, kuten magnesium-, kalsium- tai kaliumionin. Pidättäytyminen ei kuitenkaan ole pysyvää, vaan natriumionit voivat siirtyä takaisin liuokseen (Hellstén & Nystén 2001, 14; Salminen ja Nystén & Tuominen 2012, 27).

Kloridi-ioni yhdenarvoisena negatiivisena ionina pysyy vesiliuoksessa eikä osallistu kationinvaihtoreaktioihin (Hellstén & Nystén 2001, 14). Kloridi-ioni siis joko huuhtoutuu pintavalunnan seurauksena tai suotautuu maaperään ja aina pohjaveteen asti. Voi kestää pitkäänkin ennen kuin kloridilla saastunut pohjavesi vaihtuu uuteen puhtaaseen pohjaveteen. Pintavaluntana huuhtoutunut kloridi-ioni voi puolestaan kulkeutua kauaskin veden mukana.

### 4.2 Kalsiumkloridi ( $\text{CaCl}_2$ )

Kalsiumkloridia käytetään pääasiassa pölynsidontaan, mutta sitä voidaan myös käyttää liukkaudentorjuntaan. Kalsiumkloridi on vesiliukoinen ja sen eutektinen lämpötila on  $-51,6\text{ °C}$ :een liuosväkevyydessä 29,8 % ja vaikutuslämpötila on  $-35\text{ °C}$ :een asti. Kalsiumkloridi säilyttää tehokkuutensa jopa  $-15\text{ °C}$  lämpötilaan asti (Hellstén & Nystén 2001 14). Kalsiumkloridi on vesiliukoista ja se hajoaa yhdeksi  $\text{Ca}^{2+}$  - ja kahdeksi  $\text{Cl}^-$  -ioniksi. Kalsium adsorboituu kemiallisten ominaisuuksiensa takia maaperän orgaaniseen aineeseen syrjäyttäen muita kationeita, sen sijaan kloridi pysyy muuttumattomana vesiliuoksessa ja kulkeutuu veden mukana joko pohjaveteen tai huuhtoutuu pintavalunnan mukana (Hellstén & Nystén 2001 15).

#### 4.3 Kalsiummagnesiumasettaatti (CMA)

Kalsiummagnesiumasettaatti kehitettiin Yhdysvalloissa vaihtoehtoiseksi liukkaudentorjunta-aineeksi ja sitä käytetään melko laajalti maailmalla. Sen vaikutus on erilainen kuin perinteisesti käytetyllä natriumkloridilla CMA:n eutektinen lämpötila on  $-28\text{ °C}$  liuosväkevyydessä 32,5 %, kun Ca/Mg suhde on 3:7. Tämä suhde on havaittu myös optimiksi. (Hellstén & Nystén 2001, 11) Kalsiummagnesiumasettaatti liukenee hitaammin kuin natriumkloridi, koska se tunkeutuu ensin lumi- ja jääkerroksen läpi ja alkaa vasta sitten vaikuttaa ympäröivään lumeen ja jäähän. Tästä syystä sen vaikutus kestää myös pidempään kuin natriumkloridilla. CMA sopiikin parhaiten ennakoivaan liukkaudentorjuntaan, estäen jään ja lumen kiinnittymisen tien pintaan ja täten helpottaen lumen ja jään mekaanista poistoa tienpinnalta. (Hellstén & Nystén 2001, 11)

Kalsiummagnesiumasettaatti on etikkahapon suola ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) ja väriltään valkeaa. Se on orgaaninen aine ja se dissosioituu veteen ja asettaatti hajoaa vielä vedeksi, bikarbonaatiksi ja hiilidioksidiksi.

CMA: n valmistus:  $3\text{Ca} (\text{CH}_3\text{COO})_2 + 7\text{Mg} (\text{CH}_3\text{COO})_2 \Rightarrow \text{Ca}_3\text{Mg}_7(\text{CH}_3\text{COO})_{20}$

CMA: n dissosioituminen:  $\text{Ca}_3\text{Mg}_7 (\text{CH}_3\text{COO})_{20} (\text{aq}) \Rightarrow 3\text{Ca}^{2+} + 7\text{Mg}^{2+} + 20\text{CH}_3\text{COO}^-$

Asetaatin hajoaminen:  $\text{CH}_3\text{COO}^- + 2\text{O}_2 \Rightarrow \text{HCO}_3^- + \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

(Hellstén & Nystén 2001 12)

#### 4.4 Kaliumformiaatti (Kfo)

Kaliumformiaattia alettiin käyttää alun perin lentokentillä, koska se korrodoi metalleja ja betonia vähemmän kuin kloridia sisältävät liukkauden torjunta-aineet. Sitä on kasvatettu suosittuun myös tiealueen liukkauden torjunta-aineena, joskin se on noin kaksikymmentä kertaa kalliimpaa kuin natriumkloridi. Kaliumformiaattia käytetään liukkauden torjuntaan sellaisissa paikoissa, joissa kloridi-ionit voivat vahingoittaa ympäristöä, kuten herkillä pohjavesialueilla. (Hellstén & Nystén 2001, 12; Hellstén Nystén, Kokkonen, Valve, Laaksonen, Määttä ja Miettinen 2002, 8)

Formiaatti on muurahaishapon ioni, se on luonnontuote ja se on lisäksi väritön ja hajuton. Kun formiaatin väkevyyden on 50 %, sen jäätymispiste on alle  $-50\text{ °C}$  ja kalsiumformiaatin eutektinen lämpötila on  $-11\text{ °C}$  13 % liuosväkevyydessä (Hellstén P. & Nystén T. 2001 13). Haittana on, että koska formiaatti on täysin vesiliukoinen tuote ja se levitetään liuosmuodossa, se laimenee nopeasti jos tienpinta on märkä ja tällöin sen teho heikkenee. Tästä seuraa, että formiaattia joudutaan lisäämään enemmän ja kustannukset kasvavat.

## 5 KALIUMFORMIATTI

### 5.1 Kaliumformiaatin käyttäytyminen luonnossa

#### 5.1.1 Pidättäytyminen

Kaliumformiaatin pidättäytyminen maaperässä tapahtuu joko spesifisesti tai epäspesifisesti, riippuen pidättäytymisen voimakkuudesta. Jako ei kuitenkaan ole aina selkeä vaan vaihtopinta voi olosuhteista riippuen sitoa ioneja joko spesifisesti tai epäspesifisesti.

Epäspesifisessä pidättymisessä eli kationinvaihdossa ionit pidättyvät maaperään suhteellisen heikosti ja voivat vapautua helposti takaisin maanesteeseen. Spesifisessä pidättymisessä ionien pidättäytyminen tapahtuu epäspesifistä pidättymistä voimakkaammin ja näin sitoutuneiden ionien vapautuminen maanesteeseen on huomattavasti vaikeampaa. (Kerko 2005, 11)

#### 5.1.2 Hajoaminen

Eri tutkimusten perusteella (Hellstén, ym. 2002, 8) on todettu, että kaliumformiaatti on yksi lupaavimmista vaihtoehtoisista aineista käytettäväksi kemiallisessa liukkaudentorjunnassa natriumkloridin sijaan. Se on luonnontuote joka mikrobitoiminnan seurauksena hajoaa ensin kaliumioniksi ( $K^+$ ) ja formiaatiksi ( $HCOO^-$ ) (reaktio 1). Formiaatti puolesta hajoaa vielä vedeksi ja hiilidioksidiksi.

Kaliumformiaatin hajoaminen:  $KHCOO (ag) \rightarrow K^+ + HCOO^- (1)$

Biohajoaminen tapahtuu nopeasti alhaisessakin lämpötilassa ( $-2\text{ °C}$ ) paljon orgaanista ainesta sisältävässä pintamaassa ja tästä syystä kaliumioni pidättyy maaperään ja se ei etene syvälle pohjaveteen asti. Pintavedessä taas vesiliukoinen formiaatti hajoaa eikä myöskään kulkeudu pitkälle veden virtauksen mukana. (Salminen, Nystén ja Tuominen 2010, 36)

#### 5.1.3 Huuhtoutuminen

Kaliumformiaatin huuhtoutuminen maaperässä syvemmälle on mahdollista, jos sadanta on haihduntaa suurempaa. Suomessa huuhtoutuminen on mahdollista, koska haihdunta on 30–70 % sadannasta. Yleisesti voidaan sanoa, että mitä enemmän valuntaa muodostuu, sitä runsaammin voi huuhtoutumista tapahtua (Kerko 2005, 16). Huuhtoutumiseen vaikuttaa voimakkaimmin ionien sitoutumisvoimakkuus, mutta myös biologiset prosessit, pH, sademäärä, sekä kationinvaihtokapasiteetti. Kuitenkin ionien sitoutumisvoimakkuus on tärkein huuhtoutumiseen vaikuttava tekijä. Kalium huuhtoutuu herkästi alhaisen sitoutumisvoimakkuutensa takia. Tämän lisäksi kaliumin huuhtoutumisalttiutta, verrattuna korkeampi valenssiin ioneihin, vähentää sen voimakas pidättäytyminen vaikeasti vaihtuvaan muotoon. (Kerko 2005, 16)



## 5.2 Formiattien vaikutukset maaperään, pohjaveteen, kasvillisuuteen ja asfalttipäällysteisiin

Kokeellisesti on todettu, että (Hellstén, Nystén, Salminen, Grandlund, Huotari ja Vallinkoski 2004, 19) kaliumformiaatin kemiallisten ominaisuuksien takia kaliumioni ( $K^+$ ) irtoaa formiaatista ( $HCOO^-$ ) ja todennäköisimmin pidättäytyy maaperään, koska maaperän kaliumpitoisuuden pysyvät samana tutkimuskauden ajan. Biohajoamiskokeissa huomattiin, että formiaatin hajoaminen käynnistyi alle kolmessa tunnissa  $+6$  ja  $-2$  °C välillä. Formiaatin hajoaminen on nopeinta paljon orgaanista ainesta sisältävässä pintamaassa. Formiaatti hajoaa luonnostaan hiilidioksidiksi ja vedeksi ja voidaan olettaa, että tämä reaktio on tapahtunut tienalueen läheisyydessä ennen kuin ainetta on kulkeutunut pohjaveden mukana kauemmaksi.

Talvikaudella 2002–2003 liukkaudentorjunnassa käytetyllä kaliumformiaatilla ei seuraavaan talvikauden mennessä havaittu olevan haitallista vaikutusta pohjaveden laatuun. Formiaattia ei havaittu mistään tien lähellä olevasta pohjavesiputkesta. (Hellstén, Nystén, Salminen, Grandlund, Huotari ja Vallinkoski 2004, 34) Viitaten edelliseen kappaleeseen formiaatti siis todennäköisesti pidättäytyi ja hajosi jo maaperässä eikä se ehtinyt kulkeutua pohjaveteen.

Kaliumformiaatin vaikutuksista kasvillisuuteen ei ole paljoa tutkittua tietoa, mutta yhden tutkimuksen mukaan (Hellstén, Nystén, Salminen, Grandlund, Huotari ja Vallinkoski 2004, 34) kaliumformiaatin vaikutuksista kasvillisuuteen ei voida tehdä johtopäätöksiä. Vaikutukset olisivat todennäköisesti olleet havaittavissa piennaralueella, johon kohdistuu suurin kemikaalikuormitus, mikäli niitä olisi ollut.

Liuta-projektissa on kokeellisesti todettu, että liukkaudentorjunta-aineilla ei ole vaikutusta asfalttipäällysteen alifaattisten öljyhiilivetyjen ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin eikä kaliumformiaattia tai natriumkloridia sisältävissä asfalttipäällysteissä muodostu öljyhiilivetyjä tai PAH-yhdisteitä kun niitä kuumennetaan  $55$  tai  $100$  °C:een. (Salminen & Kalevi 2008, 29) Todennäköisesti suurin osa liuoksesta huuhtoutuu pintavaluntana pois tien pinnalta ja vain pieni määrä ainetta imeytyy diffuusion myötä asfalttipäällysteen pintaan. Pitkäaikainenkaan altistus ei juuri vaikuta bitumin laatuun.

### 5.3 Suojaus tien läheisyydessä

Pohjaveden suojatarpeeseen vaikuttavat seuraavat kolme tekijää:

- tien aiheuttama riski (suolausmäärä, vaarallisten aineiden kuljetukset, pohjaveden virtaussuunta tien ja vedenottamon välillä, tien sijainti pohjavesialueella)
- pohjavesialueen merkitys (alueen luokitus, maaperän ja veden laatu, alueen merkitys vedenhankinnalle)
- pohjavesialueen herkkyys (pohjavesialueen virtauskuva, pohjavesialueen koko, pohjavesialueella mitatut kloridipitoisuudet)

(Tiehallinto 2004, 12–14)

Suojaus on rakennettava tilanteissa, joissa seuraavat kolme ehtoa toteutuvat:

- pohjavesialueella on käytössä oleva vedenottamo tai suunniteltu vedenottoalue
- pohjaveden virtaus suuntautuu tieltä vedenottamolle tai suunnitellulle vedenottoalueelle
- tien suolaus tulee olemaan yli 8 tn/km/v tai vaarallisten aineiden kuljetuksia tulee olemaan yli 100 000 tn/v

(Tiehallinto 2004, 12–14)

Näiden edellä mainittujen tekijöiden vuoksi on joihinkin pohjavesialueisiin rakennettu bentoniittimastosta suojaava kerros, joka estää tien suolauksesta tulevan kloridin pääsyn pohjaveteen. Suojaus rakennetaan jos pohjavesialueen yläpuolinen pintakerros on esimerkiksi paljon hiekkaa sisältävä maalaji ja se läpäisee vettä helposti.

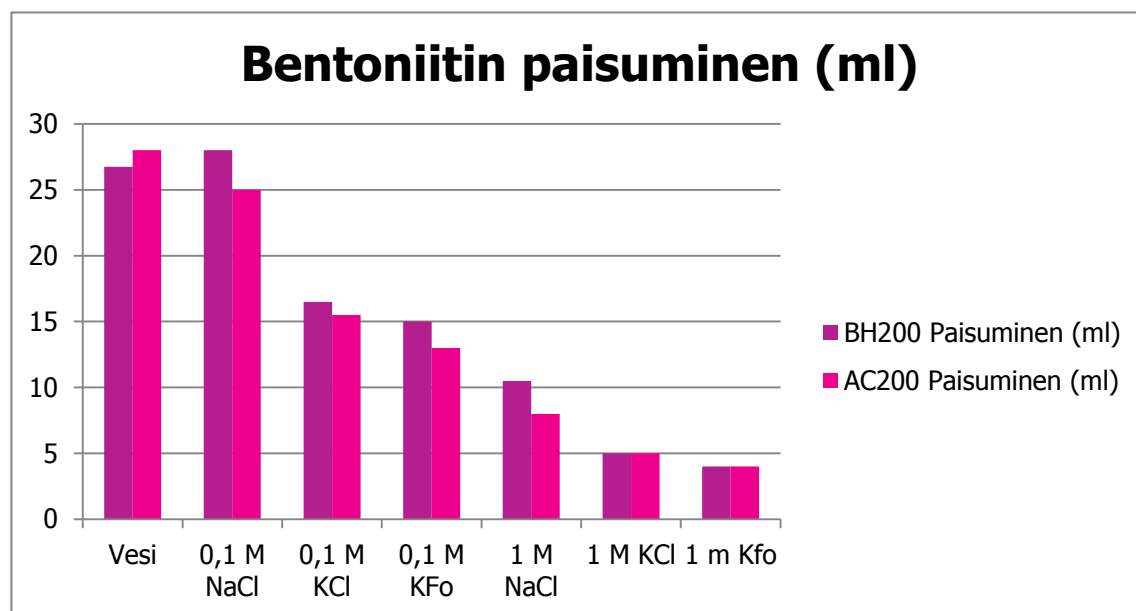
#### 5.3.1 Bentoniittisavi

Bentoniitti on luonnossa esiintyvää, erittäin hienojakoista savea. Sen ominaispiirre on, että se pystyy optimaalisissa olosuhteissa absorboimaan suuria määriä vettä, ja tällöin bentoniittisavi paisuu tilavuudeltaan lähes kymmenkertaiseksi, muuttuen samalla lähes vettäläpäisemättömäksi. Näiden ominaisuuksien takia bentoniittia käytetäänkin suojaavana kerroksena tärkeillä pohjavesialueilla. Paisumiseen kuitenkin vaikuttaa muun muassa negatiivisesti varautuneisiin savikerrokseen jääneet positiivisesti varautuneet kationit ja niiden ominaisuudet ja siksi onkin tärkeää tutkia pohjavesialueen geologiset ominaisuudet ennen kuin päätetään, mitä kemiallista liukkauden torjunta-ainetta tiealueella käytetään. Näin voidaan varmistaa, että bentoniittisaven ja siinä olevien kationeiden kanssa reagoivat ionit eivät heikennä suojakerroksen veden eristyskykyä tai aiheuta muita odottamattomia vaikutuksia. (Bentoniitin ominaisuudet, Henri Horn, Teknillinen korkeakoulu)

#### 5.3.2 Bentoniitin paisumiskoe

Helsingin yliopistossa tehdyssä kokeessa on havaittu, että kaliumformiaatista irtoava kaliumioni reagoi bentoniittisavessa. Kalium syrjäyttää natriumin kationina ja heikentää bentoniitin turpoamista. Tästä seuraa, että savikerros ei enää ole vettä läpäisemätön ja pohjavesi on alltiina pilaantumiselle.

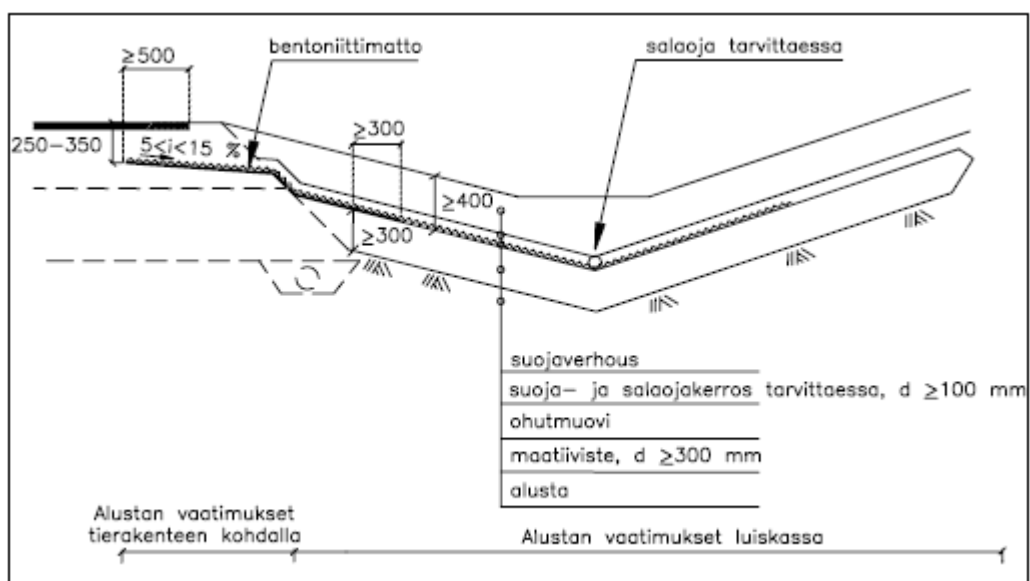
Kuvioista (1) voidaan selkeästi havaita, että juuri kaliumioni heikentää bentoniitin turpoamista oleellisesti. Sekä natriumbentoniitissa että natriumaktivoitussa kalsiumbentoniissa veden (luokka I) ja 0,1 molaarisen natriumkloridiliuoksen aikaansaama paisuminen oli 2 g:n bentoniittimäärässä samaa suuruusluokkaa eli noin 25 - 28 ml paisumisen ollessa natriumbentoniitilla jopa suurempaa natriumkloridi- kuin vesiliuoksessa. Samanvahvuisten kaliumkloridi- ja kaliumformiaattiliuosten aikaansaama 13 - 16 ml paisuminen oli selvästi natriumkloridin aikaansaamaa pienempää eli kaliumin negatiivinen vaikutus paisumiseen oli selvästi havaittavissa. Yksi molaaristen liuosten kohdalla bentoniittien paisuminen jäi noin 10 millilitraan tai alle. Tässäkin tapauksessa natriumkloridiliuoksessa paisuminen oli kuitenkin selvästi kaliumkloridi- ja kaliumformiaattiliuoksissa tapahtunutta suurempaa, vaikka erot eri liuosten välillä olivat pienempiä. (Kerko 2005, 41) Tästä syystä voidaan todeta, että on järkevää välttää kaliumformiaatin käyttöä niillä pohjavesialueilla, joihin on tehty bentoniittisavesta suojaava kerros.



Kuvio 1 Veden ja kahden eri vahvuisen NaCl-, KCl- ja Kfo-liuoksen vaikutus a) natriumbentoniitin BH200 ja b) natriumaktivoitun kalsiumbentoniitin AC200 paisumiseen

### 5.3.3 Muut pohjaveden suojauskeinot

Suojauksen rakentaminen bentoniittisavesta on yleisin tapa pohjaveden suojauksen, mutta muitakin tapoja käytetään kohteesta ja suojaustarpeesta riippuen. Kloridisuojauksen vaatimuksen perusteella tärkeitä pohjavesiesiintymiä voidaan seurata myös muilla tavoin, kuten muovikalvolla ja hiekka tai suojaverhouksella (kuva 4 Tiehallinto, 2004). Yksi tapa on myös käyttää asfattia ja muovia, mutta asfaltti soveltuu vain ruotimattomalle maalle. Suojakerroksen valintaan vaikuttaa kohteen vaativuuden lisäksi myös luiskankaltevuus ja esiintymän syvyys sekä ympäröivän maan hydro-geologiset ominaisuudet. (Tiehallinto 2004, 26–27)

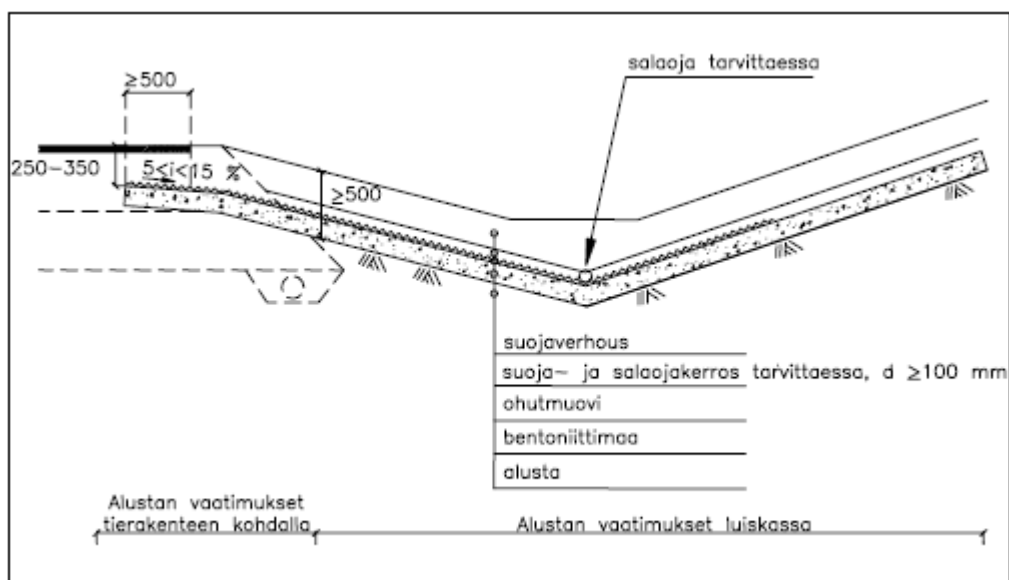


Kuva 4 Pohjaveden suojaus bentoniittimaalla (vaativa kloridisuojaus ja kloridisuojaus)

Tiehallinto 2004–30

Ongelmana perinteisissä maatiivisteissä ja hiekkasuojauksessa on, että ne eivät aina pidätä klorideja riittävän tehokkaasti. Lisäksi kuivuminen voi aiheuttaa tiivisteeseen halkeilua ja lisäksi maa voi löyhetyä ja tämä heikentää vesitiiviyyttä. Muovikalvot voivat puolestaan vaurioitua jäätymissulamissykleistä ja tehdä muovista vettäläpäisevää. Kolmanneksi kasvien juuret tunkeutuvat maahan ja löyhdyttävät maaperää. Muovikalvo tosin hidastaa kasvien juurien tunkeutumista. (Tiehallinto 2008, 26–27)

Kuten jo aiemmin todettiin kalium heikentää bentoniitin paisumisominaisuuksia ja tälläin on mahdollista, että kloridi voi tunkeutua saven läpi pohjaveteen. Paras keino onkin käyttää kohteessa useita eri menetelmiä (kuva 5, Tiehallinto 2004). Esimerkiksi jos kohde on erityisen vaativa, voidaan käyttää bentoniittimaata sekä suojamuovia, hiekkaa tai suojaverhousa. Muovikalvo suojaa bentoniittia eroosiolta ja estää paremmin kloridipitoisen veden pääsyn pohjaveteen vaikka bentoniittisavikerron jostain syystä vaurioituisi. (Tiehallinto 2004, 26–27)



Kuva 5 Pohjaveden suojaus maatiivisteellä (kloridisuojaus) Tiehallinto 2004–30

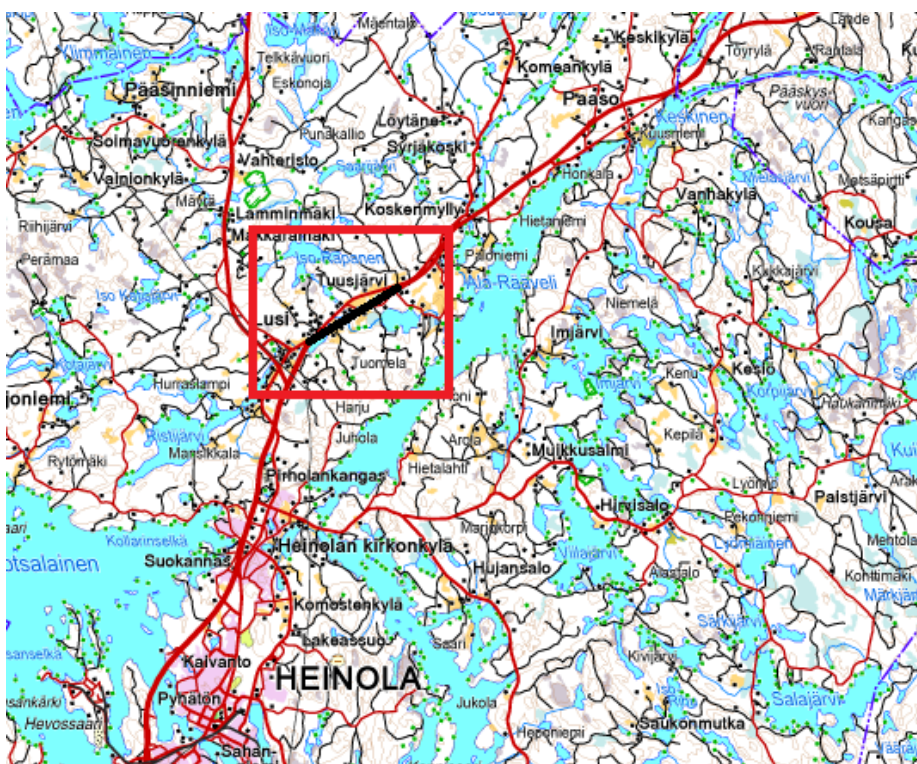
## 6 MEKAANISTEN MENETELMIEN TESTAUS LIUKKAUDEN TORJUNNAN TEHOSTAMISESSA

### 6.1 Koejärjestelyt

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia mekaanisia menetelmiä kemiallisen liukkaudentorjunnan tehostamisessa. Osana tätä tutkimusta suoritettiin myös kenttäkokeita. Kokeiden tavoitteina on kokeellisesti tutkia millä mekaanisilla keinoilla voidaan vähentää liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömäärää. Kenttäkokeilla selvitetään erilaisten laitteiden avulla miten mekaanisesti voidaan vähentää tien pinnalle jäävää vesimäärää ennen liukkaudentorjuntakemikaalin levitystä.

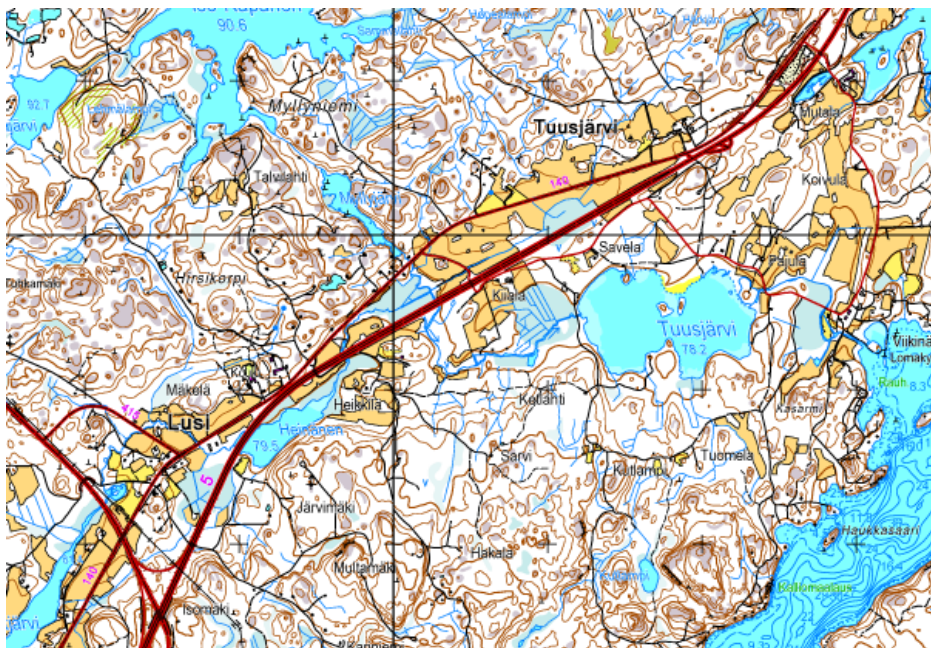
#### 6.1.1 Kohteen kuvaus

Tutkimuskohteeksi valittiin Lusin varalaskupaikka (kuva 6), joka sijaitsee valtatie 5:den varrella Heinolassa (kuva 6 ja kuva 7). Paikka on tutkimuksen toteuttamisen kannalta erinomainen sillä leveä nelikaistainen tie mahdollistaa melko helposti muun liikenteen ohjauksen. Lisäksi toisin kuin tavallisella kiitotielä Lusissa on autojen renkaiden kulutuksesta johtuen urat, aivan kuten tavallisella tiellä ja lisäksi tiellä on normaalit tiemerkinnot.



Kuva 6 Testauspaikan sijainti (Paikkatietoikkuna 2012, Heinola-Lusi)

Koealueen pituus oli noin 800 metriä ja kutakin tutkittavaa menetelmää varten varattiin noin 50 metrin pituinen osuus. Tutkimuksiin käytettävä osa tiestä rajattiin sulkukartioilla ja muu liikenne ohjattiin toiselle kaistalle.



Kuva 7 Testauspaikka Lusin varalaskupaikka (Paikkatietoikkuna 2012, Heinola-Lusi)

Tuo 50 metrin osuus peitettiin noin 5 cm:n paksuisella lumikerroksella. (kuva 8) Viisi senttimetriä lunta tien pinnalla on reilusti toimenpiderajan ylittävä määrä, mutta näin varmistettiin, että pois aurrattavaa lunta olisi varmasti riittävästi. Jokaisen kohteen väliin jätettiin lyhyt lumesta vapaa alue, jotta ajoneuvo pysyisi kiihdyttämään vaadittavaan työnopeuteen.



Kuva 8 Lumen levitys kauhakuormaajalla (Mikko Valkonen & Keijo Voutilainen)



### 6.1.2 Kokeiden toteutus

Kokeet toteutettiin 14–15.2.2013. Tien lämpötila vaihteli  $-3\text{ °C}$ :n ja  $0\text{ °C}$ :n välillä ja tien lämpötila vaihteli  $-4\text{ °C}$ :n ja  $-7\text{ °C}$ :n välillä. Sää oli pilvinen, mutta tyyni. Kohteeseen levitettiin suolaa (kuva 9), jonka jälkeen odotettiin tietty aika, jotta suola ehtisi sulattaa lumen sohjoksi. Suolan määrä vaihteli kohteittain, koska sopivaa pitoisuutta lumen sulattamiseen ei tiedetty. Toisena testauspäivänä suolaa sirotettiin myös lumikerroksen alle reaktion nopeuttamiseksi. Tällä todennäköisesti on jonkin verran vaikutusta tuloksiin. Esimerkiksi toisena testauspäivänä kohteen 9. alle laitettiin  $150\text{ g/m}^2$  suolaa ja lumikerroksen päälle laitettiin kahdesti  $200\text{ g/m}^2$  suolaa. Tämä määrä on moninkertaisesti enemmän kuin mitä tavallisesti tien suolauksessa käytetään, mutta tässä tapauksessa välttämätöntä reaktion nopeuttamiseksi. Kohteissa 1-8 lumi oli hieman sohjoista ja kohteessa 9-12 lumi oli jo sohjoisempaa. Sen sijaan kohteissa 13-16 lumi oli täysin sohjoa ja syrjäytyi kokonaan.



Kuva 9 Suolan levitys kohteeseen (Mikko Valkonen & Keijo Voutilainen)



Kunkin laitteen testaus alkoi sen jälkeen, kun suolan oli annettu vaikuttaa tietty aika. Laitte siis aurasi kohteen lumesta yhdellä kerralla (kuva 10), jonka jälkeen mitattiin tien pinnan kitka optisella mittarilla. Tämän jälkeen kohteesta valittiin alue, jossa tielle jäänyt sohjon paksuus edusti silmämääräistä keskiarvoa kohteen sohjon paksuudesta. Tämä alue rajattiin puukehikolla, joka oli siis pinta-alaltaan neliömetrin kokoinen (kuva 11). Kehikko sijoitettiin 50 cm:n sulkuviivasta, niin että kehikon sisälle jäi renkaiden kulutuksesta johtuva ura. Kehikon sisälle jäänyt sohjo kerättiin lastojen ja rikkalapion avulla ämpäriin ja sen jälkeen kerätty sohjo punnittiin.



Kuva 10 Kohteen aeraus koelaitteella (Mikko Valkonen & Keijo Voutilainen)



Kuva 11 Sohjon talteenotto (Mikko Valkonen & Keijo Voutilainen)

Kun sohjo oli puhdistettu lastalla pois tien pinnalta, kehikon kahteen vastakkaiseen nurkkaan laitettiin wettex-liinat, joiden päällä oli vanerilevy ja paino (kuva 12). Kunkin liinan annettiin imeä vettä kaksi minuuttia, kunnes se vaihdettiin uuteen. Joka kohteesta otettiin siis neljä näytettä. Märät liinat laitettiin minigrip-pussiin kuljetuksen ajaksi, kunnes liinat punnittiin laboratorioissa. Punnitsemalla märän liinan paino ja vertaamalla sen painoa kuivaan liinaan saadaan tietää kuinka paljon vettä liina on imenyt itseensä.



Kuva 12 Veden imeytys Wettex-liinaan (Mikko Valkonen & Keijo Voutilainen)

Kun tiedetään sekä ämpäriässä olevan veden määrä sekä liinoinhin imeytyneen veden määrä, saadaan tietää kuinka paljon vettä on yhteensä grammoina neliometriä kohti ( $\text{g/m}^2$ ). Tämän selvittäminen on ensiarvoisen tärkeää, sillä veden määrä tien pinnalla vaikuttaa suoraan siihen, miten paljon liukaudentorjuntakemikaalia joudutaan käyttämään, jotta saavutetaan laatuvaatimuksien vaatimat kitkavot. Vähentämällä mekaanisesti veden määrää voidaan siis vähentää kemikaalien kuten suolan tai kaliumformiaatin käyttöä. Tämä vähentää kustannuksia, mutta myös kemikaalien käytöstä johtuvia ympäristövaikutuksia.

## 6.2 Työmenetelmät

Taulukossa 1 on listattu kenttäkokeessa käytetyt aura/laitteet. Joitakin laitteista testattiin uudelleen, esimerkiksi ensimmäisessä kohteessa käytetty H-sarjan etuauralla tehty koe epäonnistui täysin ja se toistettiin uudelleen kohteessa 13. LPC-etuauraa testattiin useita kertoja sekä kaksikkoterän kanssa, että ilman. Myös RKA-etuharjaa kokeiltiin, vaikka sitä käytetäänkin useimmin kevyen liikenteen väylillä. Sen lisäksi myös kahden tyyppisiä alusteriä kokeiltiin, yhtä vakiopainatuksella ja toista älykkäällä vakiopainatuksella.

Taulukko 1 Testatut laitteet

Olosuhteet	Kokeen numero	Testattu laite
Luminen sohjo	1	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.
Luminen sohjo	2	JS 3000, Jäykkäteräinen kaksikkoterä
Luminen sohjo	3	Kovametallinen alusterä vakiopainatuksella
Luminen sohjo	4	RKA-etuharja
Luminen sohjo	5	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää
Luminen sohjo	6	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä
Luminen sohjo	7	Alusterä, 20 bar älykäs vakiopainatus
Luminen sohjo	8	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti ja alusterä 20 bar paineella
Tiivistyvä sohjo	9	JS 3000, jäykkäteräinen kääntöaura, kaksikkoterä käytössä
Tiivistyvä sohjo	10	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää
Tiivistyvä sohjo	11	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää
Tiivistyvä sohjo	12	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä
Syrjäytyvä sohjo	13	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.
Syrjäytyvä sohjo	14	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää
Syrjäytyvä sohjo	15	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä
Syrjäytyvä sohjo	16	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää

### 6.3 Tulokset

Kenttäkokeiden havainnot on koottu liitteeseen 1. Taulukosta 2 voidaan nähdä, että selvästi parasta laitetta ei ole, sillä esimerkiksi parhaan tuloksen saanut LPC-etuaura (305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää) jätti kohteessa 5 vain 1110 grammaa vettä tienpintaa, mutta toistettuna uudelleen kohteessa 11 tienpintaan jäi 4520 grammaa vettä. Tulokset siis vaihtelivat suuresti jo pieniä muutoksia tekemällä. Kaksikkoterän käytössä auran oikea painotus näyttää olevan ratkaisevassa asemassa hyvän työjäljen saamiseksi. Sen sijaan harjaus ei menetelmänä toiminut olleenkaan, koska lunta oli niin paljon. Alusterän käyttö ei myöskään vaikuttanut sopivalta tähän tarkoitukseen.

Tuloksista voidaan päätellä, että veden kokonaismäärään vaikuttaa eniten auran/laitteen painotus ja teräkulma suhteessa tienpintaan nähden. Jos terä on painotettu liikaa eteen, aura alkaa pomppia ja työjäljestä tulee epätasainen. Toisaalta jos painostusta on liian vähän aura vain tasaa ja tiivistää sohjoa. Tähän voidaan myös lisätä, että kuljettajan ammattitaito korostuu hyvän työjäljen saamiseksi.

Tulokset eivät kuitenkaan ole absoluuttisia, sillä tulosten toistettavuus ei ollut riittävän hyvä. Näin todetaan myös Jarkko Valtosen tekemässä kenttäkokeiden raportissa (liite 1). Näytteitä pitäisi ottaa jokaisesta kohteesta enemmän, jotta saataisiin parempi keskiarvo kunkin kohteen veden kokonaismäärästä. Lisäksi sääolosuhteet ja lämpötila vaikuttavat ratkaisevasti lumen/sohjon käyttäytymiseen siis sen sulamiseen ja olomuodon muutoksiin. Olisikin hyvä tehdä lisää kokeita useampina testiviikkoina. Wettex-liinat eivät myöskään toimineet odotetulla tavalla, sillä tien pinta oli liian kylmä, jotta vesi olisi ollut selvästi nestemäistä. Tässä testaustapauksessa sohjon poiston jälkeen tienpintaan jäänyt vesikerros jäättyi osittain, eikä tarttunut wettex-liinaan. Liinoja pitäisi käyttää vain jos tienpinta on selvästi märkä. Tässä tapauksessa sohjon määrän mittaaminen antoi paremman kuvan kunkin auran/laitteen toimivuudesta.

Taulukko 2 Testatut laitteet kokeen numeron mukaan

Kokeen numero	Testattu laite	Sohjoa (g/m <sup>2</sup> )	Vettä (g/m <sup>2</sup> )	Veden kokonaismäärä (g/m <sup>2</sup> )
1	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.	8220	800	9020
2	JS 3000, Jäykkäteräinen kaksikkoterä	3240	267	3507
3	Kovametallinen alusterä vakiopainatuksella	6740	178	6918
4	RKA-etuharja	14980	248	15228
5	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	1040	70	1110
6	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	1782	235	2017
7	Alusterä, 20 bar älykäs vakiopainatus	12110	560	12670
8	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti ja alusterä 20 bar paineella	1900	109	2009
9	JS 3000, jäykkäteräinen kääntöaura, kaksikkoterä käytössä	1760	1282	3042
10	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	2420	295	2715
11	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	3610	910	4520
12	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	1130	1836	2966
13	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.	1150	532	1682
14	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	1690	961	2651
15	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	4840	594	5434
16	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	2710	815	3525

Taulukko 3 Laitteiden lajittelu veden kokonaismäärän mukaan

Laitteiden lajittelu veden kokonaismäärän mukaan				
Kokeen numero	Testattu laite	Sohjoa (g/m <sup>2</sup> )	Vettä (g/m <sup>2</sup> )	Veden kokonaismäärä (g/m <sup>2</sup> )
5	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	1040	70	1110
13	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.	1150	532	1682
8	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti ja alusterä 20 bar paineella	1900	109	2009
6	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	1782	235	2017
14	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	1690	961	2651
10	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	2420	295	2715
12	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	1130	1836	2966
9	JS 3000, jäykkäteräinen kääntöaura, kaksikkoterä käytössä	1760	1282	3042
2	JS 3000, Jäykkäteräinen kaksikkoterä	3240	267	3507
16	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	2710	815	3525
11	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	3610	910	4520
15	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	4840	594	5434
3	Kovametallinen alusterä vakiopainatuksella	6740	178	6918
1	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.	8220	800	9020
7	Alusterä, 20 bar älykäs vakiopainatus	12110	560	12670
4	RKA-etuharja	14980	248	15228



Taulukko 4 Laitteet jaettuina laitekokonaisuuksiin

Laitteiden lajittelu laitekokonaisuuksiin				
Kokeen numero	Testattu laite	Sohjoa (g/m <sup>2</sup> )	Vettä (g/m <sup>2</sup> )	Veden kokonaismäärä (g/m <sup>2</sup> )
7	Alusterä, 20 bar älykäs vakiopainatus	12110	560	12670
13	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.	1150	532	1682
1	H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.	8220	800	9020
2	JS 3000, Jäykkäteräinen kaksikkoterä	3240	267	3507
9	JS 3000, jäykkäteräinen kääntöaura, kaksikkoterä käytössä	1760	1282	3042
3	Kovametallinen alusterä vakiopainatuksella	6740	178	6918
8	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti ja alusterä 20 bar paineella	1900	109	2009
5	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	1040	70	1110
14	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	1690	961	2651
10	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	2420	295	2715
16	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	2710	815	3525
11	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää	3610	910	4520
6	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	1782	235	2017
12	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	1130	1836	2966
15	LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä	4840	594	5434
4	RKA-etuharja	14980	248	15228

## 7 JOHTOPÄÄTÖSET

Näiden kenttäkokeiden perusteella voidaan sanoa, että yksikään laitteista ei antanut haluttuja tuloksia, vaan lunta, sohjoa, vettä jäi liikaa tienpinnalle. On vaikea sanoa miksi näin kävi, mutta yksi syy on todennäköisimmin juuri auran/laitteen väärässä painotuksessa ja kulmassa. Kuitenkin LPC-etuaura (305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää) onnistui kohteessa 5 melko hyvin ja laite on vielä kehitysvaiheessa, joten sitä tullaan tulevaisuudessa parantamaan. Kun kaikki kohteet, jossa LPC-etuauraa (305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää) käytettiin, jäi tienpintaan keskimäärin 2900 g/m<sup>2</sup> vettä.

Kaliumformiaatin käytön kannalta tulos ei kuitenkaan ole tyydyttävä. Kuten on jo aiemmin todettu, kaliumformiaatti levitetään liuksena ja tielle jäänyt lumi/sohjo sulaessaan laimentaa kaliumformiaatin pitoisuutta. Tästä aiheutuu, että kaliumformiaatin teho heikkenee ja jotta päästään vaadittuun kitka-arvoon, on tielle levitettävä lisää kaliumformiaattia. Kustannusten kannalta tämä on hälyttävä asia, sillä verrattuna normaaliin tiesuolaan kaliumformiaatti on noin 20 kertaa kalliimpaa ja jos levitysmäärät nousevat suuriksi, niin myös kustannukset nousevat sietämättömiksi. Toisaalta liuoslevityksellä päästään pienempiin käyttömääriin kuin levittämällä kemikaalia raemuodossa, koska liuksen voi levittää tielle tasaisemmin ja näin kerrospaksuus jää ohueksi. Liikenne kuivattaa tehokkaasti ohuen kerroksen ja lisäksi keväällä haihtuminen on voimakasta tien pinnalla.

Vaikka kaliumformiaatin vaikutukset ympäröivään maaperään, pohjaveteen, kasvillisuuteen ja asfalttipäällysteisiin ovat tutkimusten mukaan pienet, on kuitenkin todettava, että suuren käyttömäärien vaikutusta esimerkiksi bentoniittisuojuuksiin ei tunneta.

Lopulta on todettava, että kenttäkokeissa käytettyjen aurojen/laitteiden testaus on vielä osittain kehitysvaiheessa ja tulevaisuudessa päästään todennäköisesti haluttuihin tuloksiin. Nykyisellä kalustolla tämän testin perusteella ei kuitenkaan voida saavuttaa haluttua suorituskykyä. Tämä tarkoittaa sitä, että kaliumformiaattia ei voida kustannussyistä käyttää niin laajalti kuin olisi suositeltavaa ympäristön näkökulmasta, vaan on toistaiseksi jatkettava tiesuolan käyttöä kemiallisessa liukkaudentorjunnassa.

## 8 YHTEENVETO

Uusien tienhoitomenetelmien kehittämien talvikunnossapitoon on tärkeässä osassa, jotta voidaan tulevaisuudessa taata hyvä liikenneturvallisuus sekä tarjota ympäristön kannalta kestäviä ratkaisuja. Tavoitteena työssä oli kehittää mekaanisia menetelmiä kemiallisen liukkaudentorjunnan tehostamiseksi. Työn kirjallisuusosassa keskityttiin kemiallisiin liukkaudentorjunta-aineiden, etenkin kaliumformaatin teorian tiedon koontiin ja Lusin varalaskupaikalla suoritettujen kenttäkokeiden muodostivat työn käytännönosuuden.

Tässä työssä esitetyistä tuloksista voidaan päätellä, että kokeissa käytettyjen aurojen kehitystyö on vasta alussa, mutta tulevaisuudessa teiden talvikunnossapito tehostuu ja muuttuu nykyistä ympäristöystävällisemmäksi. Toisaalta natriumkloridi tulee olemaan vielä pitkään yleisimmin käytetty kemiallinen liukkaudentorjunta-aine, sen tehokkuuden ja kilpailukykyisen hinnan vuoksi. Lentokentillä on jo käytössä liukkaudentorjuntakalustoa, joiden avulla saavutetaan talviolosuhteissakin korkeat kitkarvot. Taloudellisista syistä johtuen on kuitenkin mahdotonta käyttää samanlaista kalustoa. Todennäköisesti kaliumformaatti kuitenkin yleistyy liukkaudentorjunta-aineena, jos sen litrahinta saadaan tuotua kilpailukykyiselle tasolle. Kenttäkokeiden jälkeen oli selvää, että vettä jäi tien pinnalle liikaa, mutta luultavasti melko pienellä kehitystyöllä saadaan aikaan aura tai laite, jolla voidaan puhdistaa tien pinta nykyistä tehokkaammin lumesta ja sohjosta. Etenkin LPC-etuaura vaikutti kokeiden perusteella lupaavalta.

Työn ajankäyttö olisi voinut olla tehokkaampaa, mutta toisaalta on otettava huomioon kenttäkokeiden kannalta vaaditut sääolosuhteet joihin ei tietenkään voi vaikuttaa. Sen lisäksi testauslaitteiden ja aurojen rakentaminen vei oman aikansa. Työn kuitenkin onnistui hyvin siitä huolimatta, että kenttäkokeet eivät antaneet toivottua tulosta. Kenttäkokeissa oli omat puutteensa, mutta ne silti antoivat hyvät lähtökohdat seuraavia kenttäkokeita varten. Työhön saatu lähdeaineisto tuli suurelta osin Destia Oy:ltä, mikä helpotti kirjoitusprosessin aloittamista ja työn alkuunsaattamista. Sen sijaan kitkamittauksesta oli melko vaikeaa löytää hyvää aineistoa, mutta onneksi Taisto Haavasoja liikenä antaa tietoa asiasta. Lisäksi kenttäkokeisiin osallistunut Aalto yliopiston tietekniikan laboratorio teki hyvät muistiinpanot kenttäkokeista (liite 1), joiden perusteella oli helppo alkaa analysoida tuloksia.



## LÄHTEET

Haavisoja, Talvikunnossapidon laadun seuranta [verkkodokumentti] Teconer Oy. Saatavissa:

<http://www.teconer.fi/Talvikunnossapidon%20laadun%20seuranta.pdf>

Haavasoja, Teconer Oy [haastattelu]

Hellstén P., & Nystén T., 2001, Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveteen kulkeutumisessa, Syke 515 3,11, 12, 13, 14, 15

Hellstén P., Nystén T., Kokkonen P., Valve M., Laaksonen T., Määttä T. ja Miettinen I. 2002 Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen, Syke 552 8

Hellstén P., Nystén T., Salminen J., Grandlund K., Huotari T. ja Vallinkoski V. 2004 Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä, Syke 675, Midas-loppuraportti 19, 34

Horn H. Teknillinen korkeakoulu [verkkojulkaisu] Saatavissa:

[http://tfy.tkk.fi/aes/AES/courses/crspages/tfy170\\_00/03\\_bentoniitti.pdf](http://tfy.tkk.fi/aes/AES/courses/crspages/tfy170_00/03_bentoniitti.pdf)

Huuskonen O. 2008, Kuopio, Säätietoa kunnossapitäjille 6, 7

Kerko E. 2005, Kaliumformiaatin kaliumin maaperävaikutukset Kauriansalmen pohjavesialueella, Helsingin yliopisto 11, 16, 41

Paikkatietoikkuna 2012, Heinola-Lusi [digikuva]. Verkkojulkaisu. Sijainti:

<http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>

Salminen J., & Kalevi K. 2008, Liukkaudentorjunta-aineet ja asfalttipäällysteet, LIUTA-projektin loppuraportti 29

Salminen J., Nystén T & Tuominen S. 2012, Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet, Syke 27

Salminen J., Nystén T & Tuominen S, 2010 Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet ja pohjavesien suojele, MIDAS2-hankkeen loppuraportti, 36

Tiehallinto 2001 Teiden talvihoito, menetelmätieto 39–40

Tiehallinto 2004 Pohjaveden suojaus tien kohdalla 26, 27

Tiehallinto 2004–30-31, pohjavesisuojauksen poikkileikkaus [digikuva]. Sijainti: Pohjaveden suojaus tien kohdalla

Tiehallinto 2008 Kitkamittareiden mittaustarkkuuden vertailu 16, 17

Tiehallinto 2009 Teiden talvihoito, laatuvaatimukset moniste 9, 11–12

Moventor 2011. Kitkan mittaus [verkkojulkaisu] Saatavissa: <http://www.momentor.com/fi/kitkanmittaus/kitkanmittaus-teoria>

Suvanto K. 2008 Tekniikan Fysiikka 1, 121

Liikennevirasto 2012. Tieden talvihoitoluokat [verkkajulkaisu] Saatavissa:

[http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/kunnossapito/talviolosuhteet/teiden\\_talvihoitoluokat](http://portal.liikennevirasto.fi/sivu/www/f/kunnossapito/talviolosuhteet/teiden_talvihoitoluokat)

maantielaki 23.6.2005/503, 3. luku, 33§ [verkkajulkaisu] Saatavissa:

<http://finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2005/20050503>

Vaisala, optinen kitkanmittari [digikuva]. Verkkajulkaisu. Sijainti: [http://www.vaisala.com/Vaisala Documents/Brochures and Datasheets/DSC111-Datasheet-B210470EN-B-LoRes.pdf](http://www.vaisala.com/Vaisala_Documents/Brochures_and_Datasheets/DSC111-Datasheet-B210470EN-B-LoRes.pdf)

VTT 2013 liukkauden tunnistin varoittaa etukäteen kuljettajaa [verkkajulkaisu] Saatavissa:

[http://www.vtt.fi/news/2013/23012013\\_liukkaudentunnistin.jsp](http://www.vtt.fi/news/2013/23012013_liukkaudentunnistin.jsp)

## LIITE 1

Lusin varalaskupailla suoritettu kenttäkokeiden raportti.

MEKAANISET MENETELMÄT LIUKKAUDENTORJUNNAN TEHOSTAMISESSA

JV 4.3.2013

### Tavoite

Vähentää liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömäärää. Kenttäkokeilla selvitetään, miten erilaisilla mekaanisilla menetelmillä voidaan vähentää tienpinnalle jäävää vesimäärää ennen emikaalien levitystä.

### Testausjärjestelyt

Tutkimus tehtiin Lusin varalaskupaikan pohjoiseen menevällä ajokaistalla 14.–15.2.2013. Puhdistettava pinta lumetettiin ensin pyöräkuormaimella. Sen jälkeen levitettiin natriumkloridia lumen muuttamiseksi sohjoksi. Kun lumi oli sulanut sohjoksi, poistettiin sohjoinen lumi vertailtavalla laitteella ja heti sen jälkeen mitattiin kitka RCM- ja  $\mu$ TEC-laitteella. Lopuksi mitattiin sohjon määrä neliömetrin alueelta ja jäljelle jääneen veden määrä Wettex-menetelmällä (kaksi kohtaa, joissa kummassakin kaksi liinaa kahden minuutin ajan). Samalla mitattiin ilman ja tienpinnan lämpötilat. Myöhemmin mitattiin tienpinnan lämpötila myös puhdistetun neliömetrin kohdalta. Sitä nimitetään raportissa neliön lämpötilaksi.

Kohteen urasyvyys oli 6 mm.

Kokeissa 1-8 oli sohjo varsin lumista. Kokeissa 9-12 tehtiin suolaus ensin alle ja päällesuolauksessa käytettiin suurempaa määrää. Kokeissa 13-16 levitettiin suolaa alle ensin 150 g/m<sup>2</sup> ja päälle kaksi kertaa 200 g/m<sup>2</sup>.

Ensimmäinen vertailtava laite oli H-sarjan etuaura, 792 mm kovametallielementti.

Lunta ryhdyttiin sulattamaan ensin levittämällä 100 g/m<sup>2</sup>, mutta koska sulaminen eteni varsin hitaasti, levitettiin suolaa saman verran lisää. Mittausten alussa oli ilman lämpötila -2 °C ja tien -7,5 °C. Sohjoa kertyi neliömetrin alueelta 8220 g ja vettä jäi jäljelle keskimäärin 800 g (510 g ja 1089 g). Kaksikkoterän painatusta oli liikaa, jolloin varsinainen terä nousi ylös.

Toinen koe tehtiin jäykkäteräisellä kaksikkoteräisellä kääntöauralla JS 3000. Suolan levitysmäärä oli 200 g/m<sup>2</sup>. Ilman lämpötila oli -1 °C ja tien -6 °C. Sohjoa kerättiin 3240 g ja vettä 267 g (326 g ja 207 g). Todettiin, että autossa säilytetty Wettex-liina lämmittää tien pintaa noin kaksi astetta.

Kolmannessa kokeessa oli kovametallinen alusterä vakiopainatuksella. Suolaus tehtiin kuten edellä. Ilman lämpötila oli 0 °C ja tien -8 °C. Sohjoa kerättiin 6740 g ja vettä 178 g (255 g ja 101 g).

Neljäs koe tehtiin RKA-etuharjalla. Ilman lämpötila oli -1 °C ja tien -8,5 °C. Sohjoa kerättiin 14980 g ja vettä 248 g (249 g ja 247 g).

Viidennen kokeen laite oli LPC-etuaura, jossa 305 mm kovametallielementti, ei kaksikkoterää. Ilman lämpötila oli 0 °C ja tien -4 °C. Sohjoa kerättiin 1040 g ja vettä 70 g (69 g ja 70 g).

Kuudennen Kokeen laitteena oli LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti, kaksikkoterä oli käytössä.

Ilman lämpötila oli -1 °C ja tien (sohjonkeräysneliön kohdalla) -5,5 °C. Sohjoa kerättiin 1782 g ja vettä 235 g (307 g ja 163 g).

Seitsemännessä kokeessa käytettiin alusterää, jolla oli 20 bar älykäs vakiopainatus. Ilman lämpötila oli -2 C ja tien sekä neliön -7 C. Sohjoa kerättiin 12110 g ja vettä 560 g (727 g ja 393 g).

Kahdeksannessa kokeessa oli laitteena LPC-etuaura, jossa 305 mm kovametallielementti ja alusterä 20 bar paineella. Kaksikkoterä ei ollut käytössä. Ilman lämpötila oli 0 °C, tien -5,5 °C ja neliön -5 °C. Sohjoa kerättiin 1900 g ja vettä 109 g (121 g ja 97 g). Huom! Laite auras lunta laidasta mittausalueelle.

Yhdeksännessä kokeessa oli käytössä jälleen jäykkäteräinen kääntöaura JS 3000, jonka työterä oli kovametallinen 1220 mm / 915 mm. Kaksikkoterä oli käytössä. Ilman lämpötila oli -2 °C, tien -7 °C ja neliön -10 °C. Sohjoa kerättiin 1760 g ja vettä 1282 g (1480 ja 1083 g).

Kymmenennessä kokeessa laitteena oli LPC-etuaura, 305 mm kovametallielementti. Kaksikkoterä ei ollut käytössä. Ilman lämpötila oli -1 °C, tien -6 °C ja neliön -9 °C. Sohjoa kerättiin 2420 g ja vettä 295 g (236 g ja 354 g).

Yhdestoista koe oli kymmenennen toisinto. Ilman lämpötila oli -1 °C, tien -6 °C ja neliön -9 °C. Sohjoa kerättiin 3610 g ja vettä 910 g (1045 g ja 774 g).

Kahdestoista koe oli kuudennen kokeen toisinto. Ilman lämpötila oli 0 °C, tien -6 °C ja neliön -9 °C. Sohjoa kerättiin 1130 g ja vettä 1836 g (2497 g ja 1175 g).

Kokeita jatkettiin seuraavana aamuna ja kolmastoista koe oli ensimmäisen kokeen toisinto, mutta ilman kaksikkoterää. Ilman lämpötila oli -4 °C, tien -4 °C ja neliön -6 °C. Sohjoa kerättiin 1150 g ja vettä 532 g (410 g ja 654 g).

Neljästoista koe oli kymmenennen ja yhdennentoista kokeen toisinto. Ilman lämpötila oli -3 °C, tien -5 °C ja neliön -8 °C. Sohjoa kerättiin 1690 g ja vettä 961 g (705 g ja 1217 g).

Viidestoista koe oli kuudennen ja kahdennentoista kokeen toisinto. Ilman lämpötila oli -3 C, tien -5 C ja neliön -10 C. Sohjoa kerättiin 4840 g ja vettä 594 g (831 g ja 357 g).

Kuudestoista koe oli kymmenennen, yhdennentoista ja neljännen kokeen toisinto. Ilman lämpötila oli -3 C, tien -6 C ja neliön -10 C. Sohjoa kerättiin 2710 g ja vettä 815 g (1088 g ja 541 g).

Taulukko 1. Sohjon ja veden määrät tehdyissä kokeissa.

Kokeen numero	Sohjoa (g)	Vettä (g)
1	8220	800
2	3240	267
3	6740	178
4	14980	248
5	1040	70
6	1782	235
7	12110	560
8	1900	109
9	1760	1282
10	2420	295
11	3610	910
12	1130	1836
13	1150	532
14	1690	961
15	4840	594
16	2710	815

#### Päätelmät

Sohjon määrän mittaaminen antoi Wettex-menetelmään verrattuna selvemman kuvan siitä, miten eri menetelmät kokeissa menestyivät, kun tiellä oli lumista sohjoa.

Kokeiden toistettavuus ei ollut riittävän hyvä. Jatkossa tulisi tehdä sohjon määrän mittaus kolmelta eri neliöltä ja käyttää Wettex-menetelmää apuna vain, jos pinnalle jää selvästi vettä.

Viidennessä kokeessa saatiin parhaat tulokset sekä sohjon että veden määrissä mitattuina, mutta neljässä toisinnossa ei onnistuttu ollenkaan niin hyvin.

## LIITE 2