

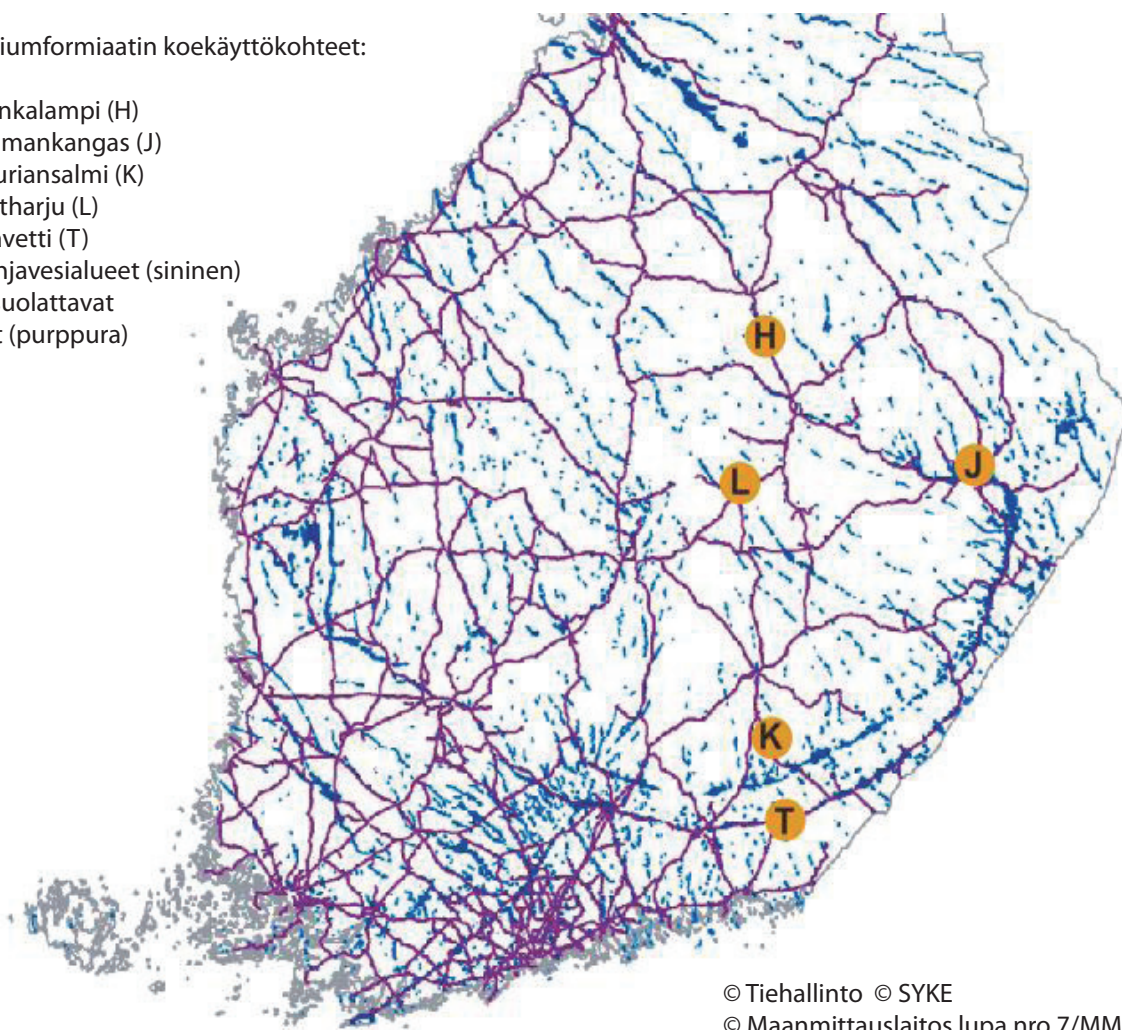
# Vaihtoehtoiset liukkauden- torjunta-aineet ja pohjavesien suojaus

**MIDAS2-hankkeen loppuraportti**

**Jani Salminen, Taina Nystén ja Sirkku Tuominen**

Kaliumformiaatin koekäyttökohteet:

Honkalampi (H)  
Jaamankangas (J)  
Kauriansalmi (K)  
Lintharju (L)  
Taavetti (T)  
Pohjavesialueet (sininen)  
ja suolattavat  
tiet (purppura)



© Tiehallinto © SYKE  
© Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/09



# Vaihtoehtoiset liukkauden- torjunta-aineet ja pohjavesien suojelu

**MIDAS2-hankkeen loppuraportti**

**Jani Salminen, Taina Nystén ja Sirkku Tuominen**



S Y K E

SUOMEN YMPÄRISTÖ 22 | 2010  
Suomen ympäristökeskus (SYKE)

Taitto: Ritva Koskinen

Kansikuva: Kaliumformiaatin koekäyttökohteet:

Honkalampi (H) Jaamankangas (J) Kauriansalmi (K) Lintharju (L) Taavetti (T).

Pohjavesialueet (sininen) ja suolattavat tiet (purppura)

© Tiehallinto © SYKE © Maanmittauslaitos lupa nro 7/MML/09

Julkaisu on saatavana ainoastaan internetistä:  
[www.ymparisto.fi/julkaisut](http://www.ymparisto.fi/julkaisut)

ISBN 978-952-11-3795-2 (PDF)  
ISSN 1796-1637 (verkkokj.)

## ESIPUHE

MIDAS-hankkeessa (Migration of Alternative De-icing Chemicals in Aquifers) kaliumformiaatti osoittautui lupaavimmaksi vaihtoehtoiseksi liukkaudentorjunta-aineeksi herkille pohjavesialueille viiden tutkitun kemikaalin joukosta. Ohessa raportoidussa MIDAS2-seurantahankkeessa (Kaliumformiaatin käytön mahdolliset pitkäaikaisvaikutuksen pohjaveteen) jatkettiin talvella 2002–2003 aloitettua kaliumformiaatin käyttöä ja pohjaveden laadun seuranta Kauriansalmen pohjavesialueella Suomenniemen kunnassa. Samalla tähän MIDAS2-raporttiin koottiin myös pohjaveden laadun tietoja Luumäen Taavetin ja Kontiolahden Jaamankankaan pohjavesialueilta, jotka olivat Tiehallinnon omia kaliumformiaatin kokeilualueita.

MIDAS2-tutkimuksen perusteella kaliumformiaattia voidaan suositella käytettäväksi vaihtoehtoisena liukkaudentorjunta-aineena herkällä pohjavesialueilla. Lisäksi tämän laajan MIDAS- ja MIDAS2-tutkimuskokonaisuuden tuloksia voidaan soveltaa erityisesti Suomen hydrogeologisia olosuhteita vastaavilla alueilla, kuten muissa Pohjoismaissa ja Pohjois-Amerikassa.

Suomen ympäristökeskuksen (SYKE:n) yhteistyökumppaneita MIDAS2-tutkimuksessa olivat (2004–2009) Tiehallinto, Finavia Oyj, ympäristöministeriö, Kaakkois-Suomen, Pohjois-Savon ja Pohjois-Karjalan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskukset, Kemira Oyj, Uudenmaan ympäristökeskus, Turun yliopisto, Vesi- ja viemärlaitosyhdistys, Geologian tutkimuskeskus ja Kanadasta Waterloo'n yliopisto. Asiantuntijoina tutkimuksen tukiryhmässä työskentelivät Tiehallinnosta DI Olli Penttinen ja kehitysvastaava Anne Leppänen; Finavia Oyj:stä ympäristösuunnittelija Tuija Hänninen; ympäristöministeriöstä yli-insinööri Tapani Suomela; Kemira Oyj:stä DI Timo Nissinen; Turun yliopistosta maaperägeologian yliassistentti Kirsti Korkka-Niemi ja hänen pro gradu -ohjattavansa Hannu Etelämäki ja Heidi Rautanen; Uudenmaan ympäristökeskuksesta ylitarkastaja Heli Herkamaa; Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksestä verkostoinsinööri Mika Rontu; Geologian tutkimuskeskuksesta DI Taija Huotari; sekä SYKEstä TKL Matti Valve. Tukiryhmän asiantuntijat ovat seuranneet ja arvioineet tutkimuksen edistymistä sekä tehneet ehdotuksia tutkimussuunnitelmaan.

SYKEssä tämän julkaisun maastotutkimusten suunnittelusta Kauriansalmen alueella vastasivat FM Pasi Hellstén (2004–2005), TKL Sirkku Tuominen 2008 ja FT Taina Nystén (2004–2009). Kauriansalmen pohjavesialueen virtausmallinnuksen tekivät (2008–2009) Sirkku Tuominen ja Waterloo'n yliopiston MSc-opiskelija Andrew Wiebe sekä PhD-opiskelija Marcelo Sousa. Projektin päätutkijana (2005–2009) oli TKT Jani Salminen. Maasto- ja laboratoriotyön tekivät laboratoriomestarit Ritva Väisänen ja Jukka Rinkinen.

Julkaisun taiton toteutti julkaisusihteeri Ritva Koskinen. Kaakkois-Suomen ja Savo-Karjalan tiepiirit ovat toimittaneet projektille koekohteiden suolaus- ja pohjavesitietoja. Lisäksi maksullisia laboratoriomäärityksiä tehtiin Helsingin kaupungin Metropolilab-laboratoriossa. Tä-

mä asianomaisten tekemä työ on ollut välttämätön osa laajan MIDAS2-tutkimuksen valmistumista.

Tiehallinnolta, Finavia Oyj:lta ja Renlundin säätiöltä saatu rahoitus on ollut edellytys projektin päätutkijan palkkaukseen, maastotöiden ja kemiallisten analyysien ostoon sekä koejärjestelyjen toteuttamiseen.

Tämän julkaisun virallisina referoijina toimivat hydrogeologi Timo Kinnunen Uudenmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskuksesta sekä yhdyskuntatekniikan päällikkö Kirsi Rontu Suomen Kuntaliitosta.

Esitän kaikille tutkimuksen edistymiseen osallistuneille kiitokset.

Helsingissä lokakuussa 2010

Yksikönpäällikkö Taina Nystén  
MIDAS2-tutkimuksen vastuullinen johtaja

## SISÄLLYS

<b>Esipuhe</b> .....	3
<b>Sanastoa ja termejä</b> .....	7
<b>I Tausta</b> .....	11
1.1 Liukkaudentorjuntakemikaalit ja niiden käyttö .....	11
1.2 Vaihtoehtoisiin liukkaudentorjunta-aineisiin liittyvät tutkimukset Suomessa .....	13
1.3 Kauriansalmen tutkimukset .....	13
<b>2 Kaliumformiaatin pohjavesi vaikutukset koekohteissa</b> .....	14
2.1 Tutkimusalueet .....	14
2.1.1 Kauriansalmen pohjavesialue, vt 13, Suomenniemi .....	14
2.1.2 Taavetin pohjavesialue, vt 6 ja vt 26, Luumäki .....	17
2.1.3 Jaamankankaan pohjavesialue, vt 6, Kontiolahti .....	17
2.1.4 Lintharjun pohjavesialue, vt 9, Suonenjoki .....	18
2.1.5 Honkalammen pohjavesialue, vt 5, Lapinlahti .....	18
2.1.6 Muut käyttökohteet .....	19
2.3 Tutkimusmenetelmät .....	20
2.3.1 Pohjavesinäytteiden otto ja analysointi .....	20
2.4 Kaliumformiaatin käyttömäärät koekohteissa .....	20
<b>3 Tulokset ja tulosten tarkastelu</b> .....	21
3.1 Pohjaveden laatu Kauriansalmen tutkimusalueella .....	21
3.1.1 Vedenottamo .....	21
3.1.2 ”Pitkän siivilän” havaintoputket M1-M8 .....	22
3.1.3 Kerrosmittaukset ja rajattuihin sedimenttikerrokseen asennetut pohjavesiputket .....	22
3.2 Yhteenveto kloridipitoisuuksien kehityksestä Kauriansalmen pohjavesialueella .....	27
3.3 Alkali- ja maa-alkalimetallit Kauriansalmen pohjavedessä .....	27
3.4 Orgaaninen aines Kauriansalmen pohjavedessä .....	29
<b>4 Muut kaliumformiaatin käyttökohteet</b> .....	32
4.1 Taavetin pohjavesialue .....	32
4.2 Jaamankankaan pohjavesialue .....	32
<b>5 Formiaatin hajoaminen maaperässä, pintavedessä ja pohjavedessä</b> .....	36
<b>6 Kaliumformiaatin käyttökokemuksista ja -kustannuksista</b> .....	37
6.1 Kaliumformiaatin käyttökokemuksista .....	37
6.2 Kaliumformiaatin käytön vaikutuksista talvihoidon kustannuksiin .....	37
<b>7 Yhteenveto ja johtopäätökset</b> .....	40
<b>Kirjallisuus</b> .....	41
<b>Liitteet</b> .....	42
<b>Kuvailulehdet</b> .....	44





## Sanastoa ja termejä

### I. Pohjavesialueiden luokittelu Suomessa

Luokka I: vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue

Luokka II: vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue

Luokka III: muu pohjavesialue

Kunnallista vedenhankintaa varten tärkeäksi pohjavesialueeksi luokitellaan pohjavesialue, jonka pohjavettä käytetään tai tullaan suunnitelmien mukaan käyttämään 20 - 30 vuoden kuluessa tai muutoin tarvitaan esimerkiksi kriisiajan vedenhankintaa varten liittymäärältään vähintään 10 asuinhuoneiston vesilaitoksessa tai hyvää raakavettä vaativassa teollisuudessa. Vedenhankintaan soveltuva alue on alue, joka soveltuu yhteisvedenhankintaan, mutta jolle toistaiseksi ei ole osoitettavissa käyttöä yhdyskuntien, haja-asutuksen tai muussa vedenhankinnassa. Muut pohjavesialueet ovat alueita, joiden hyödyntämiskelpoisuuden arviointi vaatii lisätutkimuksia veden-saantiedellytysten, veden laadun tai likaantumisen- tai muuttumisuhan selvittämiseksi

### 2. Tiehoitoluokat ja niiden kuvaukset (Tiehallinto 2008)

Tieverkko on jaettu viiteen varsinaiseen hoitoluokkaan (Is, I, Ib, II, III), joiden lisäksi on luokkaa Ib vastaava taajamien hoitoluokka TIb. Kullakin luokalla on toisistaan poikkeava palvelutaso ja laatuvaatimukset.

#### Hoitoluokka Is

Tie on sään muutostilanteita lukuun ottamatta paljas. Keski- ja Pohjois-Suomessa ja kylminä ajanjaksoina myös maan eteläosassa tiellä voi olla jonkin verran pitkittäisiä ohuita polannekaistoja, jotka eivät erityisesti vaikuta ajamiseen. Pitkinä pakkaskausi-na, jolloin suolan käyttö ei ole mahdollista, tien pinta voi olla osittain jäinen. Liukkaus torjutaan pääsääntöisesti ennakoivilla toimenpiteillä. Vilkkaat tiet, joilla KVL on yli 15000, ovat poikkeuksellisia olosuhteita (luku 4.4) ja pitkiä pakkaskausia lukuun ottamatta aina paljaat. Näillä teillä liukkaus torjutaan poikkeuksetta ennakoivilla toimenpiteillä. Suuren liikennemäärän vuoksi suolaa voidaan vilkkailla teillä käyttää suolauksen lämpötilarajoista (Is-luokassa -6°C) poiketen.

#### Hoitoluokka I

Tie on pääosan ajasta paljas tai siinä voi esiintyä kapeita, matalia polannekaistoja ajokaistojen ja ajourien välissä. Sään muutostilanteissa tiellä voi olla lievää liukkautta. Liukkauden ongelmatilanteet pyritään estämään ennakoivalla liukkaudentorjunnalla.

#### Hoitoluokka Ib

Tie on korkeatasoisesti, mutta pääosin ilman suolaa hoidettava tie. Tien pinta on liikennemäärästä ja säästä riippuen osittain paljas, osittain tiellä on polannekaistoja tai tie voi olla kokonaan lumipolanteen peittämä. Tiellä on ongelmatilanteita lukuun ottamatta hyvä talvikeli, joka ei ole täysin pitävä, mutta riittävän turvallinen, jos tienkäyttäjät huomioivat vallitsevat olosuhteet. Polanneurat ja -pinta tasataan mahdollisimman tasaiseksi. Liukkaus torjutaan suolalla pääosin syys- ja kevätliukkailla tai vastaavissa "lämpimissä olosuhteissa" sekä erityisissä ongelmatilanteissa. Sydäntalven aikana käytetään piste- ja linjahiekoitusta tarpeen mukaan.

### **Hoitoluokka TIb (taajama)**

Tiestö on sydäntalven aikaan polannepintainen. Laatu on vastaavan tasoinen kuin Ib-teillä, mutta tiellä voi olla syvemmät polanneurat, jotka eivät alhaisen nopeusrajoituksen takia aiheuta ongelmia liikenteelle.

### **Hoitoluokka II**

Tien pinta on pääosin polannepintainen tai liikennemäärästä riippuen polanne on osittain urautunut. Tie on normaalitilanteissa maltilliseen liikennöintiin riittävän pitävä ja tasainen. Risteysalueet, mäet ja kaarteet hiekoitetaan niin, että liikkuminen normaalitilanteissa on turvallista. Tie hiekoitetaan kokonaan ongelmatilanteissa. Vaikeissa säätilanteissa, kuten esimerkiksi sään äkillisesti lauhtuessa, sataessa alijäähtynyttä vettä tai heti lumisateiden jälkeen tienkäyttäjiltä edellytetään erityistä varovaisuutta.

### **Hoitoluokka III**

Tiestö on pääosan aikaa polannepintainen ja paikoin voi olla uria. Pakkaskeleillä ajo-olosuhteet ovat pääosin tyydyttävät, mutta saattavat paikoin vaihdella. Sään muuttuessa ja erityisesti alijäähtyneen veden sataessa polannepinnalle keli voi olla useiden tuntien aikana ongelmallinen, jolloin ajaminen vaatii suurta varovaisuutta.

## **3. Geologista ja pohjaveteen liittyvää sanastoa (Suomen Vesiyhdistys 2005)**

### **Alkaliniteetti**

Veteen liuenneiden bikarbonaatti-, karbonaatti- ja hydroksidi-ionien happohja neutraloivan vaikutuksen voimakkuus. Kuvaa veden puskurikapasiteettia ja kykyä pitää pH-arvo tasaisena.

### **Delta**

Joen tai jäätikköjoen lajittuneesta maa-aineksesta kerrostama suisto.

### **Distaalinen**

Maaperämuodostuman tai -kerrostuman osa, joka on muodostuman aiheuttajasta kauimmainen. Esimerkiksi jäätikön reunaan nähden muodostumassa uloimpana.

### **Huokoisuus (maaperän)**

Maalajin maahiukkasten ja -rakeiden väliin jäävän tyhjän tilan, huokostilan, suhden maamassan kokonaistilavuuteen (kokonaisuhuokoisuus).

### **Inkubaatio**

(Ympäristö)näytteiden kasvatus laboratorioissa kontrolloiduissa olosuhteissa. (Määritelmätekijöiden)

### **Jäätikköjokimuodostuma**

Mannerjäätikön sulamisvesistä muodostuneiden jäätikköjokien kuljettaman ja kerrostaman lajittuneen aineksen maaperämuodostuma, esimerkiksi harju.

### **Konseptuaalinen malli**

Konseptuaalinen malli kuvaa olemassa olevaa käsitystä mallinnettavan alueen pohjavesioloista ja geologisesta ympäristöstä.

### **Kyllästymätön vyöhyke**

Pohjavedenpinnan yläpuolella oleva maaperän vesivyöhyke, jossa huokokset ovat osittain ilman ja osittain veden täyttämiä. Vrt. vajovesi.

### **Läpäisevyys**

Kallio- ja maaperän ominaisuus ja kyky johtaa nestettä tai kaasua siten, että väliaineen rakenne pysyy muuttumattomana.

### **Maatutka**

Maatutkauksessa lähetetään maahan radiotaajuista (MHz - GHz) sähkömagneettista aaltoa, joka heijastuu takaisin vastaanottimelle rajapinnoilta, joilla kosteus muuttuu. Vastaanottimessa rekisteröidään pulssin kulkuaika ja aallonpituus. Kun tunnetaan radioaallon kulkunopeus eri kerroksissa, voidaan kulkuajoista laskea kerrosten pak-suudet.

### **Orsivesi**

Varsinaisen pohjavedenpinnan yläpuolella vettä huonosti johtavan kerrostuman päällä oleva vesikerros.

### **Packer-näytteenottotekniikka**

Packer-tekniikassa pohjavesiputki suljetaan tiiviisti näytteenottosyvyyden ylä- ja alapuolelta, jolla näyte edustaa vain ottosyvyyttä ja pohjavettä putken ulkopuolisessa sedimentissä ao. syvyydessä. (Määritelmä tekijöiden) Vrt. perinteinen tekniikka.

### **PAH-yhdisteet**

PAH-yhdisteet eli polyaromaattiset hiilivedyt sisältävät useita aromaattisia renkaita.

### **”Perinteinen” näytteenottotekniikka**

*Tässä raportissa* perinteisellä pohjavesinäytteenottotekniikalla tarkoitetaan näytteiden ottamista tietyistä määräsyvyydestä. Pohjavesipumpun imupää upotetaan pohjavesiputkessa määrättyyn syvyyteen ja näyte otetaan pumpattavasta vedestä. Pumpattava vesi edustaa 1) kyseisellä syvyydellä olevaa vettä pohjavesiputken ympärillä olevan sedimentin vedenjohtavuudesta riippuen ja käänteisesti pumppausyvyyden ylä- ja alapuolelta pystyvirtauksena pohjavesiputkessa kulkeutuvaa vettä. Jos em. vedenjohtavuus on alhainen, huomattava osa otetusta näytteestä edustaa muuta kuin näytteenottosyvyyden vettä ja näyte on tällöin ennemminkin kokoomanäyte kuin yhtä syvyyttä edustava näyte. (Määritelmä tekijöiden) Vrt. packer-näytteenottotekniikka.

### **Pohjaveden muodostumisalue**

Alue, jolla sade- ja sulamisvedet imeytyvät vähintään tyydyttävästi maanpinnan alle ja suotautuvat pohjavesivyöhykkeeseen.

### **Proksimaalinen**

Maaperämuodostuman tai -kerrostuman virtauksen tulosuunnan puoleinen osa.

### **Rantakerrostuma**

Rantavoimien kerrostama maaperän kerrosyksikkö tai yksiköiden kokonaisuus, jonka aines vaihtelee hiekasta kiviin ja lohkareisiin.

### **Raskasmetallit**

Metallit, joiden tiheys on yli 5000 kg/m<sup>3</sup>.

**Reunamuodostuma**

Jäätikön reunaan syntynyt, pääosin lajittuneesta aineksesta koostuva reunan suuntainen selänne.

**Sanduri**

Jäätiköltä virranneen sulamisveden mukanaan kuljettamista sorasta ja hiekasta koostuva kuivan maan oloissa kerrostunut, pinnaltaan matalien jokiuomien pirstoma maaperämuodostuma.

**Sähkönjohtavuus (veden)**

Veden kyky johtaa sähköä. Suure kuvaa näytteessä olevien ionisoituvien liuenneiden aineiden pitoisuutta.

**TOC**

Orgaanisen hiilen kokonaispitoisuus (Total Organic Carbon); veteen liunneen tai suspendoituneen orgaanisen aineksen sisältämän hiilen määrä.

**Vajovesi**

Kyllästymässä vyöhykkeessä painovoiman vaikutuksesta liikkuva vesi.

**Vedenjohtavuus (eli vedenläpäisevyys)**

Kuvaa huokoisen väliaineen, esimerkiksi maa-aineksen) läpi kulkevan veden virtausvastusta.

# 1 Tausta

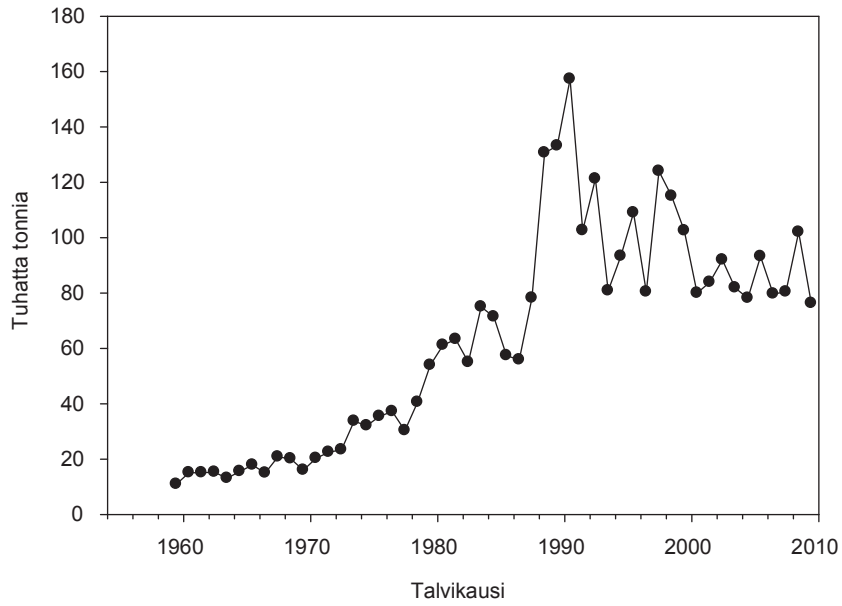
1.1

## Liukkaudentorjuntakemikaalit ja niiden käyttö

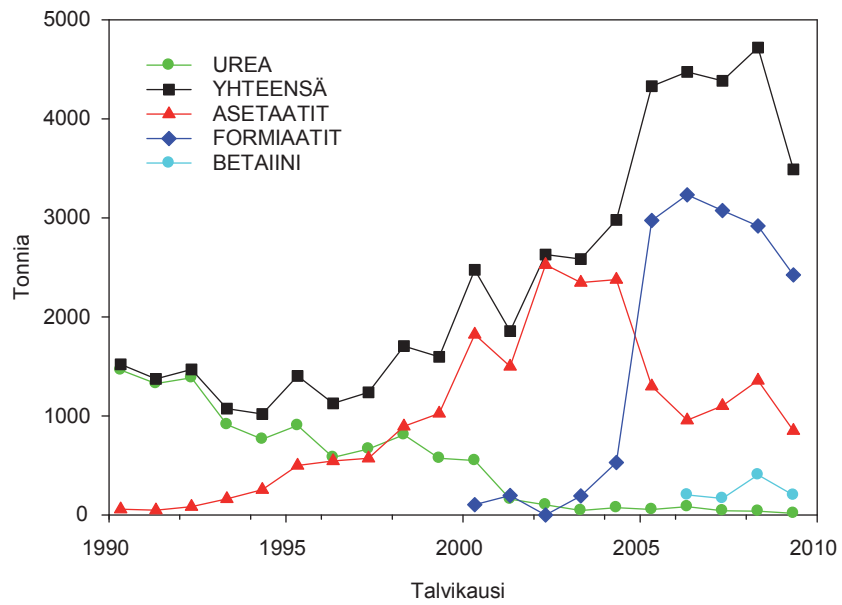
Jään ja lumen aiheuttama liukkaus asfaltoiduilla pinnoilla on keskeinen liikenteen turvallisuutta ja sujuvuutta häiritsevä tekijä Suomessa ja muissa pohjoisen pallonpuoliskon maissa. Liukkaudentorjuntakemikaalien käyttö eli suolaaminen on keskeisin talvikunnossapidon toimenpide, jolla näitä haittoja pyritään vähentämään niin tie- kuin lentoliikenteessäkin. Kemiallinen liukkaudentorjunta yleistyi Suomessa 1960-luvulla. Maanteillä alettiin käyttää natriumkloridia (NaCl) jään poistamiseen ja tienpinnan kitkan parantamiseen. Lentokentillä natriumkloridin käyttö ei ollut mahdollista sen lentokoneille aiheuttaman korroosion vuoksi ja NaCl:n asemesta liukkaudentorjuntaan alettiin käyttää ureaa ( $\text{NH}_2\text{CONH}_2$ ). Liikenteessä käytetty liukkaudentorjuntakemikaalien määrä oli aluksi vähäistä mutta kasvoi myöhemmin liikennemäärien, suolattavien teiden ja kiitoteiden määrä lisääntyessä ja jotta liikenneturvallisuus parantuisi (Kuva 1). Teiden ennakkosuolaus aloitettiin vuonna 1983. Neljä vuotta myöhemmin tavoitteeksi asetettiin, että pääteiden pinnat pysyisivät paljaana läpi vuoden. Liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömäärät lisääntyivätkin huomattavasti niin tie- kuin ilmailiikenteessä.

Tietoisuus liukkaudentorjunnan pohjavesivaikutuksista alkoi lisääntyä 1980- ja 1990-lukujen taitteessa. Liukkaudentorjuntakemikaaleja päätyi pohjavesiin, mistä seurasi pohjavesien laadun heikkenemistä pohjavesialueilla. Näiden havaintojen myötä liukkaudentorjuntaratkaisuihin alettiin etsiä muutoksia. Tiehallinto käynnisti 1990-luvun alussa laajan Talvi ja tieliikenne -tutkimusohjelman, jonka puitteissa toteutettiin monta tiesuolauksen pohjavesihaittoihin ja niiden ehkäisykeinoihin liittyvää hanketta (mm. Raukola 1994, Yli-Kuivila ym. 1993, Yli-Kuivila 1994, Kallberg 1995, Nystén ym. 1995 ja 1998, Niemi ym. 1994, Hänninen ym. 1994, Kallberg 1993). Suolauksen pohjavesihaittojen vähentämiseksi tunnistettiin kolme toimintalinjaa. 1) Liukkaudentorjuntakemikaalien käyttömäärän vähentäminen 2) Liukkaudentorjuntakemikaaleja sisältävien valumavesien ohjaaminen pois pohjaveden muodostumisalueelta geoteknisten rakenteiden avulla ja 3) Vaihtoehtoisten, mahdollisimman vähän pohjavesihaittoja aiheuttavien liukkaudentorjuntakemikaalien käyttö.

Tieliikenteessä jyrkästi nousseet suolausmäärät käännettiin laskuun ja suolauksen huippuvuodeksi jäi talvi 1990–1991 (Kuva 1). Samaan aikaan lentoliikenteessä alettiin käyttää asetaatti- ja formiaattisuoloja urean rinnalla (Kuva 2). Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden pohjavesivaikutusten tutkimus käynnistyi Suomessa 1990-luvulla. Vuonna 1993 Yli-Kuivila ym. totesivat Tiesuolaus ja pohjavedet, nykytilan selvitys -raportissa, että natriumkloridia korvaavien kemikaalien ympäristövaikutuksia ei joko vielä riittävästi tunneta tai ne ovat mittavampia perinteiseen tiesuolaan verrattuna.



**Kuva 1.** Natriumkloridin käyttö teiden liukkaudentorjunnassa talvikausittain Suomessa vuosina 1959-2009.



**Kuva 2.** Liukkaudentorjunta-aineiden (urea, asetaatit, formiaatit ja betaiini) käyttö Finavian lentokentillä Suomessa talvikausina 1989/1990 – 2008/2009

## Vaihtoehtoihin liukkaudentorjunta-aineisiin liittyvät tutkimukset Suomessa

Ensimmäiset tutkimukset vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden ympäristökäyttäytymisestä Suomen olosuhteissa tehtiin kalsium-magnesium-asetaatilla (CMA) pienimuotoisena lysimetri- ja suodatinkokeena (Yli-Kuivila 1994). Huomattava osa (noin 20 %) levitetystä CMA:sta suotautui lysimetrin läpi sellaisenaan. Yli-Kuivilan mukaan talven aikana maaperän läpi suodattuvan CMA:n määrä oli niin suuri, että kemikaalin käytöstä liukkaudentorjunta-aineena pohjavesialueilla tulisi pidättäytyä.

Joitakin vuosia myöhemmin käynnistettiin MIDAS-hanke (Migration of alternative de-icing chemicals in aquifers; Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjavedessä) Suomen ympäristökeskuksessa (SYKE). Hankkeen ensimmäisen vaiheessa verrata perinteisiä ja muutamia vaihtoehtoisia liukkaudentorjunta-aineita (kaliumasetaat, CMA, kaliumformiaatti, magnesiumkloridi, kalsiumkloridi ja natriumkloridi). Tutkimus suoritettiin 3,5 metriä korkeissa jäähdytetyissä hiekka-suodattimissa (Hellstén ym. 2001 ja 2002). Lupaavimmaksi vaihtoehtoiseksi kemikaaliksi osoittautui kaliumformiaatti asetaattisuoloja alhaisemman hapenkulutuksensa ja merkittävän biohajoamisen ansioista. Kaliumformiaatin raskasmetalleja liuottava vaikutus osoittautui verrokkeja alhaisemmaksi muutamia yksittäisiä metalleja (kupari, molybdeeni) lukuun ottamatta. Kaliumformiaatin soveltuvuutta pohjavesialueilla tapahtuvaan liukkaudentorjuntaan selvitettiin edelleen maasto-olosuhteissa lysimetrikokein talvella 2000 (Hellstén 2005b). Näiden tutkimustulosten myötä kemikaalin koeluontoinen käyttö aloitettiin valtatie 13:lla Kauriansalmen pohjavesialueella Suomenniemen kunnassa syksyllä 2002 (Hellstén ym. 2004). Kaksi vuotta myöhemmin kaliumformiaatin käyttö aloitettiin kolmessa muussa kohteessa (vt 6, Taavetin pohjavesialue, Luumäki; vt5, Jaamankankaan pohjavesialue, Kontiolahti; vt5, Lintharjun pohjavesialue, Suonenjoki). Syksyllä 2009 kaliumformiaatin käyttö aloitettiin valtatie 5:llä Kärängän mäen (5,1 km), Pajujärven (2,4 km) ja Haminanmäki-Humpin (3,8 km) pohjavesialueilla.

## Kauriansalmen tutkimukset

Kauriansalmen pohjavesialueella aloitettiin pohjaveden laadun laajamittaisempi seuranta vuonna 2002, jolloin muodostumaan asennettiin 8 pohjaveden havaintoputkea (Kuva 3). Lisäksi tutkittiin formiaatin biohajoamista Kauriansalmen maaperässä ja pohjavedessä. Kahden perättäisen liukkaudentorjuntakauden jälkeen, syksyllä 2004 formiaattia ei ollut havaittu Kauriansalmen pohjavedessä. Formiaatti hajosi hiilidioksidiksi ja vedeksi maanäytteissä erittäin nopeasti alhaisessakin lämpötilassa (-2 °C). Ensimmäiset pohjaveden laadun seuranta- ja formiaatin biohajoamistutkimusten menetelmät, tulokset ja johtopäätökset vuosilta 2002–2004 on raportoitu kokonaisuudessaan Suomen ympäristö -sarjassa (Hellstén ym. 2005a) ja vertaisarvioidussa tieteellisessä kausijulkaisussa (Hellstén ym. 2005b).

Tässä raportissa kuvataan Kauriansalmella vuosina 2005–2009 tehtyjä tutkimuksia vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden pohjavesivaikutuksista. Lisäksi esitetään liukkaudentorjunta-aineiden käyttömäärät ja pohjaveden laadun muutokset vuosina 2004–2009 Kauriansalmella ja edellä mainituissa muissa kaliumformiaatin käyttökohteissa.

## 2 Kaliumformiaatin pohjavesivaikutukset koekohteissa

### 2.1

#### Tutkimusalueet

##### 2.1.1

#### Kauriansalmen pohjavesialue, vt 13, Suomenniemi

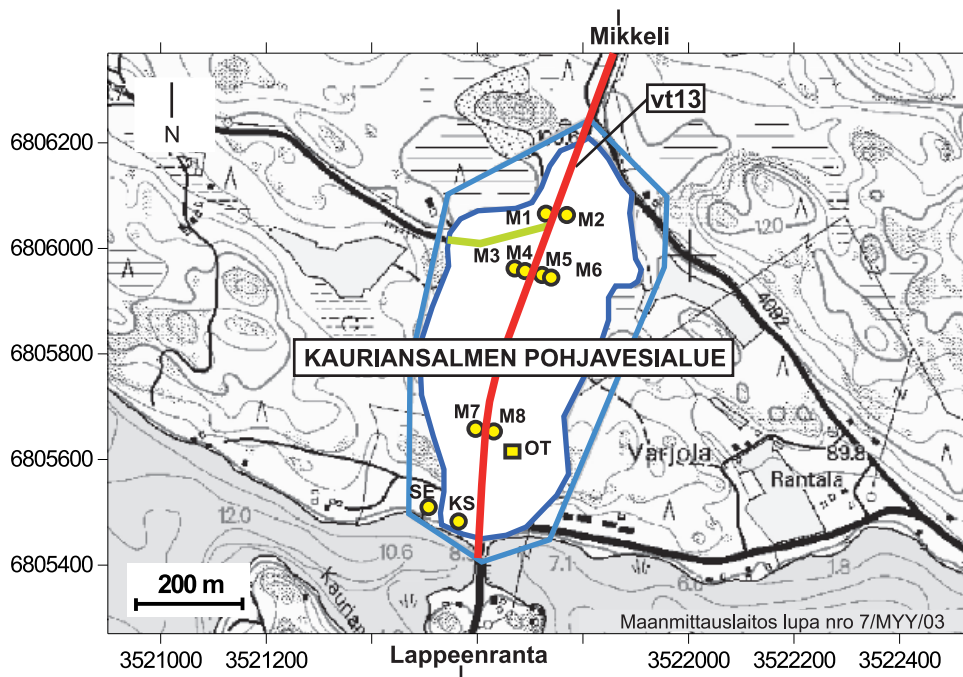
Kauriansalmen pohjavesialue (0577511) on luokiteltu vedenhankintaa varten tärkeäksi pohjavesialueeksi (luokka I). Kauriansalmen harjumuodostuman kokonaispinta-ala on 0,28 km<sup>2</sup> ja pohjaveden muodostumisalueen pinta-ala 0,2 km<sup>2</sup> (Kuva 3). Pohjavesialueen maaperä on pääosin hiekkaa ja soraa, mutta alueella on myös ohuita heikosti vettä läpäiseviä silttikerroksia. Pohjaveden pinta on 1 - 5 m syvyydellä maanpinnasta. Maaperän imeytymiskertoimeksi on arvioitu 0,3 eli vuotuisesta sademäärästä arviolta noin kolmasosasta muodostuu pohjavettä. (Hellstén ym. 2004) Topografialtaan muodostuma on jyrkkä: pohjoisosat ovat noin 101 m merenpinnan yläpuolella (mpy) eteläosien laskiessa Kuolimo-järven rantaan 77 m mpy tasolle. Korkeuseroa 600 m matkalla on siis 20 m. (Rautanen 2007) Jyrkän topografian vuoksi hydrologinen kierto on lyhyt ja vedenlaadun muutokset näkyvät nopeasti. (Hellstén 2004) Pohjavesimuodostuman kokonaisantoisuudeksi on arvioitu 100 m<sup>3</sup> vuorokaudessa. (Kaakkois-Suomen ympäristökeskus 1996).

Maakerrostumat voidaan pohjavesiputkien kairaustietoja apuna käyttäen jakaa ominaisuuksiltaan kuuteen luokkaan: IA, IB, II, III, IV, V ja turve. Geologiset yksiköt IA ja IB koostuvat pääosin sorista ja soraisista hiekoista. Yksiköt II ja III koostuvat hienoista hiekoista ja silteistä, mutta yksikkö II on selvästi yksikköä III homogeenisempi. Heterogeenisemmässä III yksikössä havaitaan paljon sisäisiä rakenteita. Yksikkö IV koostuu keskikarkeista ja karkeista hiekoista, paikoin sorasta. Yksikkö V on yksikön IV aineksesta muotoutunut 1 m rantakerrostuma. Kerrokset ovat melko ohuita. (Rautanen 2007)

Pohjavedet muodostavat tutkimusalueen pohjoisosiin kallioiden rajaaman altaan (Kuva 4). Tutkimusalue ei täysin rajaa pohjavettä omaksi alueekseen, vaan vedet ovat yhteydessä ulkopuolisiin pohjavesiin alueen kaakkois- ja luodeosissa sijaitsevien soiden kautta. Kallioaltaan eteläinen kynnys rajoittaa pohjaveden virtausta etelään. VT 13 tuntumassa kallio on paikoin hyvin lähellä maanpintaa. Pohjaveden tason ollessa normaalia matalammalla pohjaveden virtaus kalliokynnyksen yli voi toisinaan olla hyvin pientä. Etelään virtaavat vedet kulkevat kapeahkoa kallioiden rajaamaa ”ränniä” pitkin Kuolimo-järveen. (Rautanen 2007)

Kaliumformiaattia on käytetty ainoana liukkaudentorjunta-aineena Kauriansalmen pohjavesialueella lokakuusta 2002 alkaen. Tutkimusalueen poikki kulkevalla 1,7 km pituisella tieosuudella (vt 13, hoitoluokka Ib) on levitetty natriumkloridin asemesta 50 p-% kaliumformiaattiliuosta. Tätä ennen, 1970-luvun lopulta alkaen,

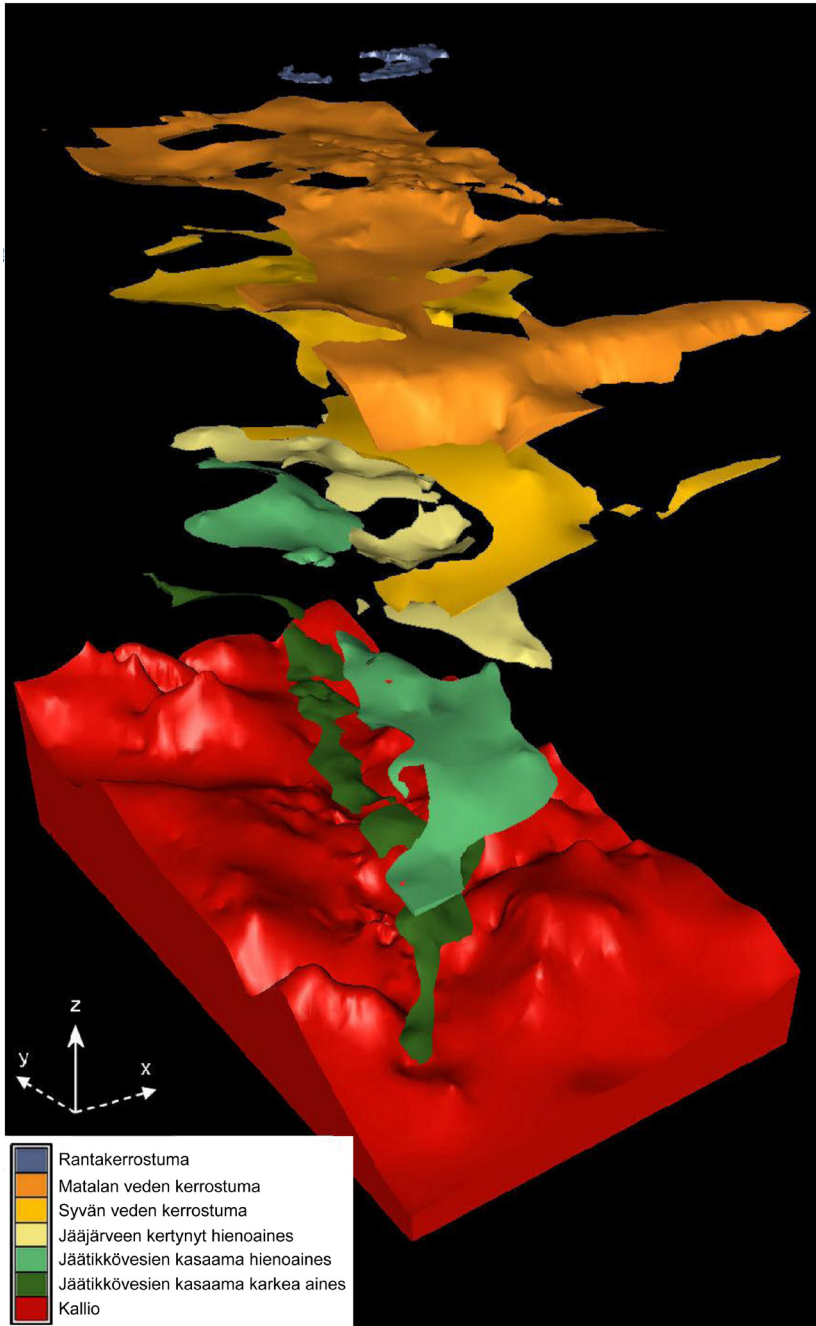




**Kuva 3.** Kauriansalmen pohjavesialueen sijainti, vt 13 ja pohjaveden näytteenottopisteet. Pohjavesialueella sijaitseva kesäsuolattava tieosuus on merkitty karttaan vaaleanvihreällä.

tieosuudella käytettiin natriumkloridia. Lisäksi kesäisin pohjavesialueella kulkevalla soratiellä (Kuva 3) käytetään yhä pölynsidontaan n. 1 200 kg/km kalsiumkloridia.

Muodostuman geologista rakennetta (Kuva 4), kuten eri sedimenttikerroksia (yksiköitä) ja niiden sijaintia täsmennettiin SYKEssä (Hellstén ym. 2004), Turun yliopiston geologian laitoksella (Etelämäki 2004, Rautanen 2007) ja Geologian tutkimuskeskuksessa (Vaitinen 2003). Vuonna 2007 otettiin pohjavesinäytteitä eri kerroksista packer-näytteenottimella, jotta voitaisiin selvittää liukkaudentorjunta-aineiden esiintymistä eri sedimenttikerroksissa. Seuraavana vuonna havaintopaikkoihin M1, M2, M5 ja M7 asennettiin pohjavesiputkia rajattuihin sedimenttikerrokseen. Havaintoputken M1 välittömään läheisyyteen asennettiin kolme pohjavesiputkea (M1A–C), joiden siivilät ulottuivat seuraaviin syvyyksiin: 3–4 m, 7,5–8,5 m ja 11,5–12,5 m maanpinnan tasosta. Havaintopaikassa M2 asennussyvyydet olivat 7–8 m (M2A), 9,5–10,5 m (M2B) ja 13,5–14,5 m (M2C), havaintopaikassa M5 3,5–4,5 m (M5A) ja 6,5–7,5 m (M5B) ja havaintopaikassa M7 3,5–4,5 m (M7A) ja 4,6–5,6 m (M7B) maanpinnan tasosta.



**Kuva 4.** Turun yliopistossa tehty hydrogeologinen 3D-malli (Rautanen 2007 ja 2008).

**Rantakerrostuma (V)** on syntynyt rantavoimien muokatessa keila-maisen muodostuman pintaosia. Kerrostuma on n.1m paksu ja on koostumukseltaan kivistä soraa ja hiekkaa.

**Matalaan veteen kertynyt keila-mainen kerrostuma (IV)** muodostui, kun Saimaan jääjärven pinta laski nopeasti 1012 m uuden avautuneen lasku-uoman seurauksena. Kerrostumisolosuhteet muuttuivat rajusti (veden syvyys n. 4 m). Aines on tasoristikerroksellista hiekkaa. Yksikkö on hyvin vettä johtava ja sijaitsee pääasiassa pohjaveden pinnan yläpuolella (virtaus pääosin vertikaalisuuntaista).

**Syvään veteen kertynyt keilamainen kerrostuma (III)** on kertynyt vaihtelevissa olosuhteissa (veden syvyys n.20 m). Aines on heterogeenista ja vedenjohtavuus pieni, sisäistä vaihtelua.

**Jääjärveen kertynyt hienoaines (II)**

kerrostui jäätikön edustalle syvään, seisovaan veteen. Kerrostuma on huonosti vettä johtava. Pohjoisosan noin 10 m paksut kerrokset vaikuttavat olennaisesti pohjaveden virtaukseen

**Jäätikön sulamisvesien kasaama hienoaines (IB)** kerrostui jäätikön liepeillä harjuytimen päälle ja levittäytyi laajemmalle; IA:n lisäksi merkittävin pohjaveden pohjoisete-läsuuntaiseen virtaukseen vaikuttava yksikkö.

**Jäätikön sulamisvesien kasaama karkea aines (IA)**, jäätikön alle sulamisvesivirtojen kerrostama pienimuotoinen harjumuodostuma, on tutkimusalueen parhaiten vettä johtava yksikkö.

## 2.1.2

### Taavetin pohjavesialue, vt 6 ja vt 26, Luumäki

Taavetin pohjavesialue on osa I Salpausselkään kuuluvaa reuna-muodostumaa. Pohjavesialue on luokiteltu luokkaan I (vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue) ja sen kokonaispinta-ala on 5,95 km<sup>2</sup> (Kuva 5). Aines on soraa ja hiekkaa, pohjoisreunalla on moreenia. Pohjoisreunan aines on karkeampaa ja eteläreunassa on hienon aineksen välikerroksia. Muodostuma rajoittuu tiiviisiin huonosti johtaviin maakerroksiin. Kallioharjanteet jakavat muodostumaa eri pohjavesialtaisiin. Kerrospaksuudet ovat varsinkin alueen länsiosassa suuret ja pohjavesi on syvällä. Pohjaveden pääpurkautumissuunnat ovat Kivijärveen, kallioruhjeita pitkin luoteeseen ja Taavetin vedenotamolle, jonka alueelta on ylivirtausta. (Kaakkois-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri 1996)

Tieosuudet (vt 6 ja vt 26), joilla käytetään kaliumformiaattia, ovat yhteispituudeltaan 5,0 km (Kuva 5, Liite 2) ja ne kuuluvat tienhoitoluokkaan Is.



**Kuva 5.** Taavetin pohjavesialue (rajattu sinisellä) ja tieosuudet, joilla käytetään kaliumformiaattia liukkaudentorjunnassa (merkitty punaisella).

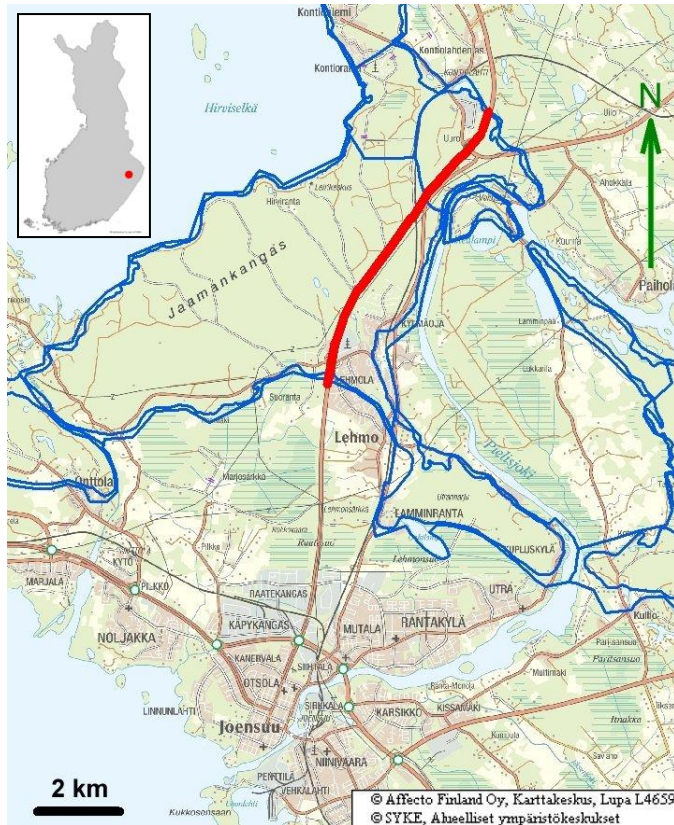
## 2.1.3

### Jaamankankaan pohjavesialue, vt 6, Kontiolahti

Jaamankangas on luokiteltu vedenhankintaa varten tärkeäksi pohjavesialueeksi (luokka I) (Kuva 6). Jaamankangas on laaja (kokonaispinta-ala 38,51 km<sup>2</sup>), monimutkainen muodostumakompleksi. Se on kerrostunut osittain kahden jäätikön kielekevyrän välissä saumamuodostumana osin sandurdeltana. Proksimaaliosassa Höytiäisen rannalla materiaali on karkeaa ja morfologia osittain päätemoreenityyppiä. Distaaliosaan eli etelään päin materiaali on hiekkaa ja hienoa hiekkaa. Jaamankankaan läpi kulkee harjajaksoja, joiden aines on hyvin vettä johtavaa karkeaa hiekkaa ja soraa. Etenkin lampien kautta kulkeva harju toimii salaojajamaisena ympäristön pohjavesien kerääjänä. Laajuutensa ja vaihtelevuutensa takia Jaamankankaan pohjavesiolot ovat vaihtelevia, ja alue on jakautunut useampaan pohjavesialtaaseen. Lännessä alue rajoittuu Höytiäisen kanavaan, vaikkakin kanavan ali on olemassa hydraulinen yhteys. Jaamankankaan alue on täynnä metsäautoteitä; ja idässä Kontioniemellä on myös taajama-asutusta. Alueella sijaitsee Lehmon vedenottamo. (Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri 1994)

Tieosuus, jolla käytetään kaliumformiaattia, on pituudeltaan 8,0 km ja kuuluu hoitoluokkaan Is.





**Kuva 6.** Jaamankankaan pohjavesialue (rajattu sinisellä) ja tieosuus, jolla käytetään kaliumformiaattia liukkaudentorjunnassa (merkitty punaisella).

#### 2.1.4

### Lintharjun pohjavesialue, vt 9, Suonenjoki

Lintharju on luokiteltu vedenhankintaa varten tärkeäksi pohjavesialueeksi (luokka I). Se on rungoltaan karkearakeinen ja laajoja hienorakeisia reunaosia käsittävä harju, jonka kokonaispinta-ala on 14,38 km<sup>2</sup> (Kuva 7). Päävirtaussuunta on harjun suuntainen (luode-kaakko). Rantaimeytys voi täydentää vesivarastoa. Maa-ainesten otto on paikoitellen heikentämässä alueen suojeltavuutta. Alueen reunaosissa on havaittavissa rantavalleja tasossa +120 m. Alueen keskiosissa, metsänviljelyn koeseaman länsipuolella, on noin 310 ha laajuinen harjijensuojeluohjelmaan kuuluva osa. Alueella sijaitsevat Kaatron ja Tolmuslammen vedenottamot. (Pohjois-Savon ympäristökeskus 1995b).

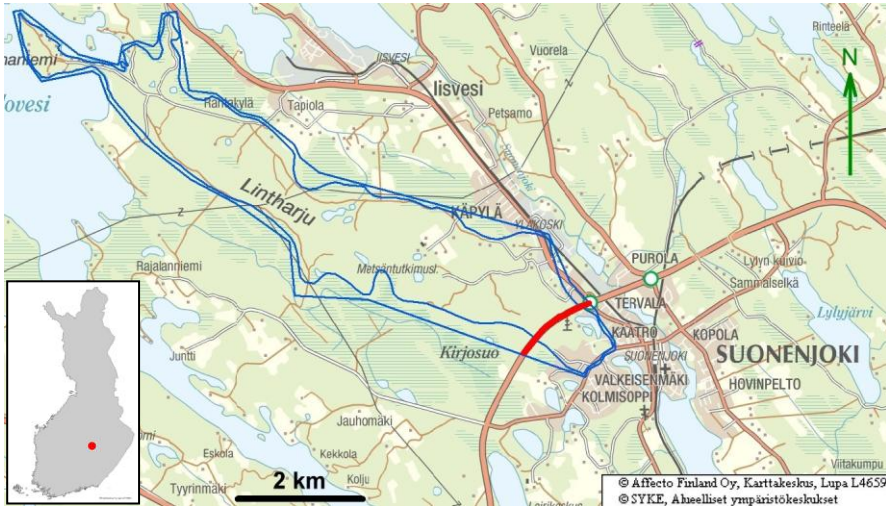
Osuus, jolla käytetään kaliumformiaattia, on pituudeltaan 1,3 km ja se kuuluu hoitoluokkaan I (Kuva 7).

#### 2.1.5

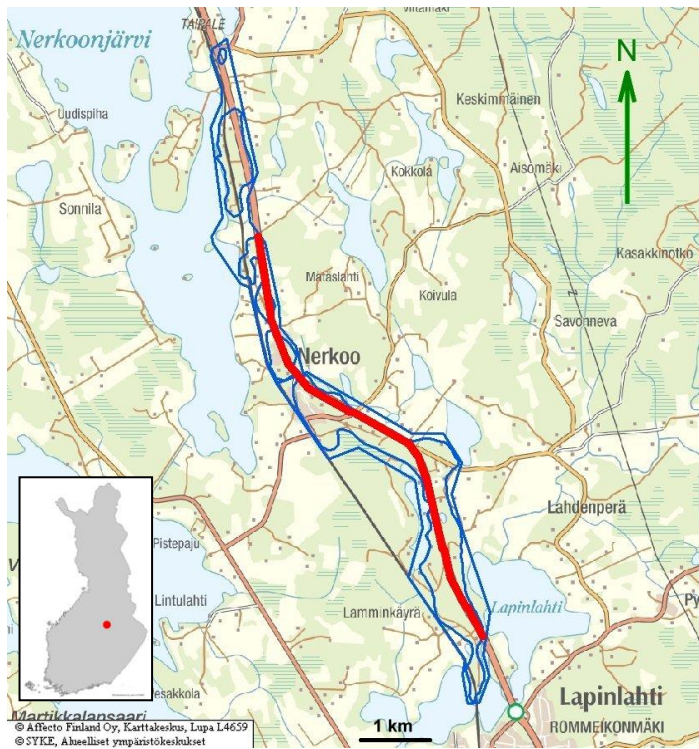
### Honkalammen pohjavesialue, vt 5, Lapinlahti

Honkalampi on vedenhankinnan kannalta tärkeäksi luokiteltu (luokka I) pohjavesialue. Eteläkaakosta pohjoisluoteeseen suuntautuva, ydinosaltaan karkearakeinen pitkittäisharjumuodostuma on kokonaispinta-alaltaan 3,55 km<sup>2</sup> ja rajoittuu vesistöihin monelta kohdista (Kuva 8). Alueen pohjoispuoliskolla vesi on varastoitunut niin, että pohjavedenpinnan taso on n. +89 m. Valkeisen kohdalla lienee pohjavettä em. korkeuteen patoava kynnyksen, jonka eteläpuolella pohjavedenpinnan taso on välillä n. +83–+86 m. Pohjaveden päävirtaussuunta on eteläkaakkoon. Alueen eteläosassa sijaitsee Honkamäen vedenottamo. (Pohjois-Savon ympäristökeskus 1995a).

Osuus, jolla käytetään kaliumformiaattia, on pituudeltaan 7,1 km ja se kuuluu hoitoluokkaan Ib.



**Kuva 7.** Lintharjun pohjavesialue (rajattu sinisellä) ja tieosuus, jolla käytetään kaliumformiaattia liukkaudentorjunnassa (merkitty punaisella).



**Kuva 8.** Honkalammen pohjavesialue (rajattu sinisellä) ja tieosuus, jolla käytetään kaliumformiaattia liukkaudentorjunnassa (merkitty punaisella).

## 2.1.6

### Muut käyttökohteet

Kaliumformiaatin käyttö on aloitettu syksyllä 2009 kolmessa muussa kohteessa Savo-Karjalan tiepiirin alueella. Nämä pohjavesialueet pääsijaintikuntineen ja tieosuudet ovat Hamina-alue, Lapinlahti, vt5 (tieosuuden pituus 3,8 km), Kärängänmäki ja Pajujärvi, Lapinlahti, vt5, tieosuuden pituus 2,4 km.

Asetaatti- ja formiaattisuoloja käytetään Suomessa 25 lentokentällä. Asetaattisuolojen käyttö aloitettiin vuonna 1989 ja formiaattisuolojen käyttö noin 10 vuotta myöhemmin (Kuva 2).

## Tutkimusmenetelmät

### Pohjavesinäytteiden otto ja analysointi

Pohjavesinäytteitä otettiin kahdella eri tavalla; ”perinteisellä” ja packer- näytteenottotekniikalla. ”Perinteisellä” tekniikalla näytteet otettiin vakiosyvyydestä pohjavesiputkesta (ks. myös termejä ja sanastoja -osio; ”perinteinen” pohjavesinäytteenotto). Kauriansalmen pohjavesialueella nämä pohjavesinäytteet otettiin aiemmin (Hellstén ym. 2004) kuvatulla tavalla. Muissa kohteissa kyseisellä tavalla kerätyt näytteet otettiin konsulttitoimiston tai alueellisen ympäristökeskuksen toimesta. Kerrosvesinäytteet (ks. ks. myös termejä ja sanastoja -osio; pohjavesinäytteenotto packer-menetelmällä) otettiin packer-tekniikalla, Pöyry Environment Oy:n erityisesti kerrosnäytteenottoon suunnitellulla pumppuyksiköllä. Havaintoputkeen asennettu kerrosnäytteen pumppausyksikkö sulki kerrallaan yhden metrin näytteenottovälin sekä ylä- että alapuolisella packerilla. Näytteitä otettiin metrin välein koko siivilän pituudelta. Kauriansalmen, Jaamankankaan ja Taavetin pohjavesialueilta otetuista pohjavesinäytteistä tehdyt analyysit ja niissä käytetyt laitteet ja menetelmät on esitetty taulukossa 1.

**Taulukko 1.** Kauriansalmen, Jaamankankaan ja Taavetin pohjavesialueilta otetuista näytteistä tehdyt määritykset ja niissä käytetyt laitteet ja menetelmät.

Analyytti	Laite	Menetelmä	Pohjavesialue		
			Kauriansalmi	Jaamankangas	Taavetti
Kloridi	IC	SFS	x	x	x
Sulfaatti	IC	SFS	x	x	
Nitraatti	IC	SFS	x	x	
TOC	IR		x	x	
Na, K, Ca, Mg,	AAF, PLO, ICP-OES		x	x	
pH	YSI556, sondi	Kenttämittaus	x	x	
Happi	YSI556, sondi	Kenttämittaus	x	x	
Lämpötila	YSI556, sondi	Kenttämittaus	x	x	
Sähkönjohtavuus	YSI556, sondi	Kenttämittaus	x	x	
Formiaatti	LC-DAD, LC-UV		x		

## Kaliumformiaatin käyttömäärät koekohteissa

Kaliumformiaatin vuotuiset käyttömäärät on esitetty taulukossa 2.

**Taulukko 2.** Kaliumformiaatin koekäyttöalueilla talvikausina 2002-2009 levitetyn kaliumformiaattiliuoksen kokonaistilavuus ja massa tiekilometriä kohti.

Talvikausi	Levitetyn 50 p-% kaliumformiaattiliuoksen tilavuus (m <sup>3</sup> )					Levitetyn kaliumformiaatin massa (kg/tie-km)				
	Kauriansalmi	Taavetti	Lint-harju	Jaamankangas	Honkalampi	Kauriansalmi	Taavetti	Lint-harju	Jaamankangas	Honkalampi
2002–2003	13,7	-	-	-	-	5420	-	-	-	-
2003–2004	12,5	-	-	-	-	4960	-	-	-	-
2004–2005	13,1	19,1	9,9	27,0	-	5190	2580	4970	2270	-
2005–2006	17,5	29,2	3,7	14,8	-	6960	3950	1850	1250	-
2006–2007	21,6	32,2	3,5	17,8	-	8580	4350	1750	1500	-
2007–2008	21,6	16,0	3,8	33,6	5,0	8600	2170	1900	2830	480
2008–2009	18,3	46,9	2,5	19,0	2,5	7290	6340	1250	1600	240

## 3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

### 3.1

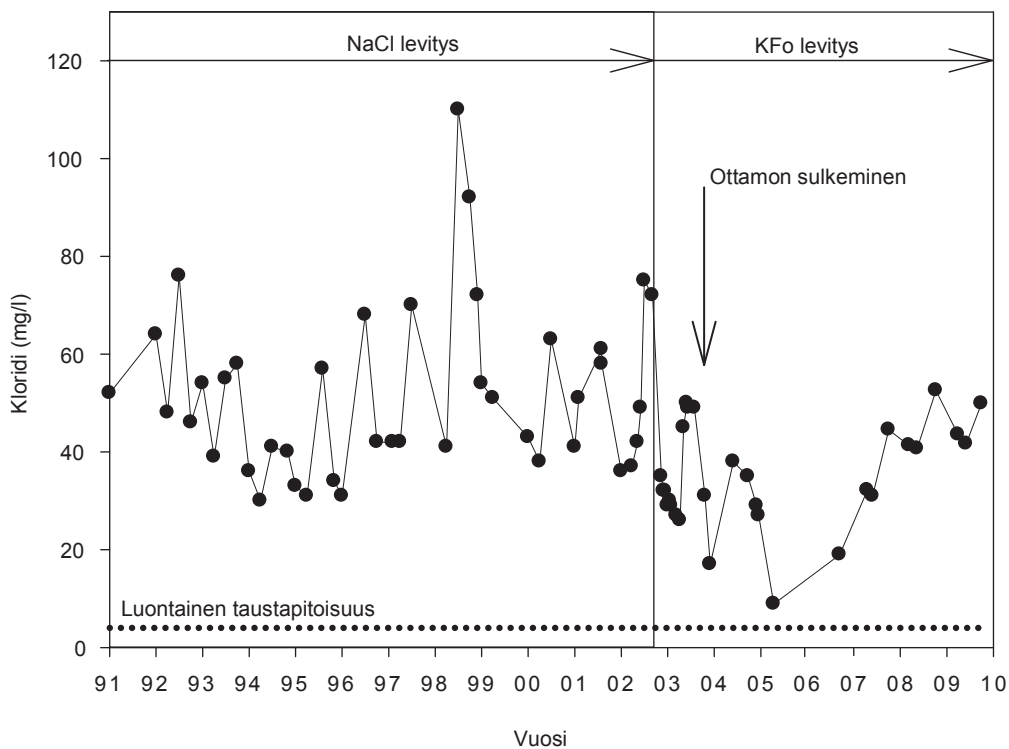
#### Pohjaveden laatu Kauriansalmen tutkimusalueella

Formiaatin kulkeutumista pohjaveteen seurattiin havaintoputkista M1–M8 vuosina 2002–2009 ja lyhyen siivilä havaintoputkista M1A–C, M2–C, M5A–B ja M7A–B vuonna 2009. Pohjavedessä ei havaittu formiaattia lokakuuhun 2009 mennessä. Pohjavedestä (yhteensä 20 havaintoputkea ja Kauriansalmen vedenottamo) seurattiin lisäksi kloridin, sulfaatin, orgaanisen hiilen (TOC), natriumin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuuksia.

#### 3.1.1

##### Vedenottamo

Kauriansalmen 31.12.2003 suljetun vedenottamon kloridipitoisuus kääntyi laskuun 2003 ja saavutti lähes luonnontilaista vastaavan pitoisuuden vuonna 2005 (Kuva 9). Sitten kloriditrendi kääntyi nousevaksi ja vuosina 2008–2009 pitoisuus oli noin 40–50 mg/l (Kuva 9). Vedenottamon pohjaveden laadun muutoksiin on todennäköisesti vaikuttanut vedenottamon sulkeminen vuoden 2003 lopussa ja pohja-



**Kuva 9.** Kloridipitoisuuden muutos Kauriansalmen vedenottamon pohjavedessä vuodesta 1991 vuoden 2009 lokakuuhun. Vedenottamon sulkemisajankohta (31.12.2003) on merkitty pystyvuolella.



veden virtausolosuhteiden muutokset alueella. Käytössä ollessaan vedenottamalla pumpattiin vettä noin 4,5 m<sup>3</sup> vettä vuorokaudessa ja nämä näytteet edustivat vettä laajemmin ottamon ympäristössä. Vedenotolla on myös ollut vaikutusta pohjaveden virtausreitteihin. Vedenotto aiheutti pohjaveden pinnan paikallista alenemista ottamon ympäristössä ja pohjaveden pinnankorkeuksien ja gradienttien muutoksia muodostumassa. Vedenoton loputtua pohjaveden virtaus palautui luonnontilaiseksi ja ottamolta otetut näytteet edustivat ottamon kaivon välitöntä ympäristöä.

### 3.1.2

#### ”Pitkän siivilän” havaintoputket M1–M8

Kloriditrendi oli nouseva kolmessa (M1, M4 ja M5) ja laskeva viidessä havaintoputkessa (M2, M3, M6, M7 ja M8) (Kuva 10). Kahdeksan havaintoputken ja vedenottamon kloridipitoisuuksista laskettu vuotuinen keskiarvo<sup>1</sup> aleni 23 % vuodesta 2002 (59 mg/l) vuoteen 2009 (45 mg/l) eli noin 3,3 % vuodessa (Kuva 11). Mikäli kloridipitoisuuden lasku jatkuu samanlaisena (3,3 %/v), pohjavesimuodostuman keskimääräinen kloridipitoisuus saavuttaa 20 mg/l tason noin vuonna 2040, 10 mg/l tason noin vuonna 2060 ja luonnontilaisen tason noin vuonna 2110 (Kuva 12). Nämä laskelmat ovat suuntaa-antavia koko pohjavesimuodostuman osalta eivätkä kuvaa yksittäisen havaintopisteiden odotettavissa olevaa kehitystä. Mikäli tarkastelussa huomioidaan vain ne havaintopisteet, joissa liukkaudentorjunnan vaikutus näkyy (eli rajataan pois HP M1, jossa liukkaudentorjunnan vaikutus ei näy selkeästi ja pölynsidonnan vaikutuksille altistuva HP M3), on vuotuisen keskiarvon alenema sama 23 %. Sen sijaan pohjaveden keskimääräiseksi kloridipitoisuudeksi vuonna 2002 saadaan 79 mg/l ja edellä mainittujen pitoisuustasojen saavuttamiseen kuluva aika pitenee noin 10 vuodella.

### 3.1.3

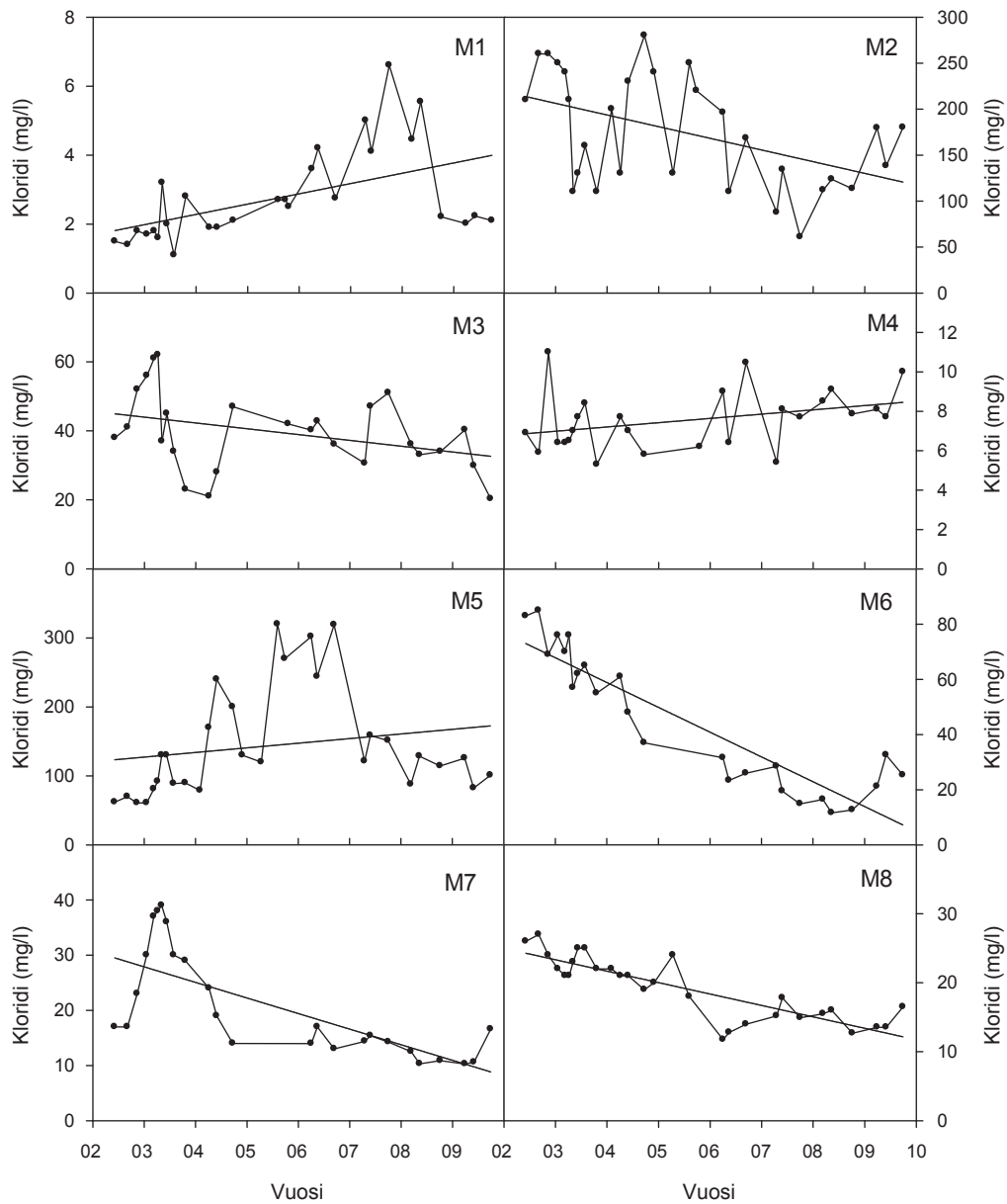
#### Kerrosmittaukset ja rajattuihin sedimenttikerroksiin asennetut pohjavesiputket

”Pitkän siivilän” havaintoputkissa M1–M8 siivilä ulottuu pohjaveden pinnan yläpuolisesta tasosta kallioperään saakka. Siivilä kattaa koko vedellä kyllästyneen vyöhykkeen. Veden virtaus pumppauksen yhteydessä eri kerroksista siivilän läpi putkeen vaihtelee kunkin kerroksen vedenjohtavuuden mukaan. Toisaalta ”pitkän siivilän” havaintoputkessa saattaa tapahtua pystyvirtausta. Näistä syistä havaintoputkista M1–M8 vakiosyvydestä eri kerroilla ”perinteisellä” tavalla otetut pohjavesinäytteet eivät välttämättä täysin edusta havaintopisteen keskimääräistä vedenlaatua. Lisäksi systemaattisesti tietystä vakiosyvyydestä eri ajankohtina ”perinteisellä” tekniikalla otetut näytteet eivät myöskään välttämättä edusta sitä näytteenottosyvyyttä, jolta näytteet otetaan.

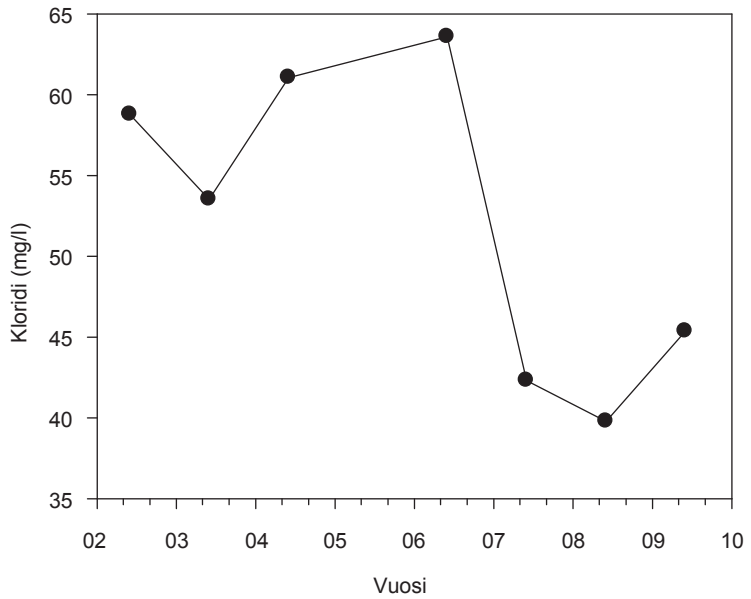
Kauriansalmen pohjavesialueelle asennettiin havaintoputkia rajattuihin kerroksiin havaintoputkien M1, M2, M5 ja M7 välittömään läheisyyteen (yhteensä 10 havaintoputkea; M1A–C, M2A–C, M5A–B ja M7A–B). Näistä havaintoputkista otetut näytteet edustivat vain sitä kerrosta, johon siivilä ulottui. Eri syvyyksille samassa havaintopaikassa asennettujen putkien pohjaveden laatua voitiin siten verrata niihin tuloksiin, joita saatiin ”pitkän siivilän” havaintoputkista samassa havaintopaikassa. ”Pitkän siivilän” havaintoputkista otettiin lisäksi lokakuussa 2007 pohjavesinäytteitä Pöyry Oyj:n packer-laitteistolla, jolla havaintoputkessa erotetaan 1 m vyöhykkeitä, joista näyte otetaan. Pitkä siivilä jaettiin tällä tavalla keinotekoisiiin osiin, joista näytteet otettiin.

<sup>1</sup> Vuotuinen keskiarvo = kalenterivuoden aikana yhdestä havaintoputkesta tehtyjen mittausten keskiarvo. Yhdeksän mittauspisteen (M1–M8 ja ottamo) vuotuisten keskiarvojen keskiarvo edustaa koko muodostuman keskimääräistä kloridipitoisuutta kunakin kalenterivuonna.

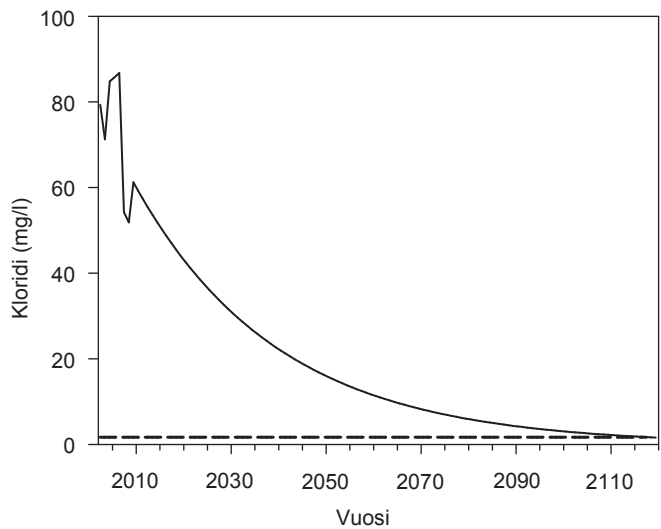




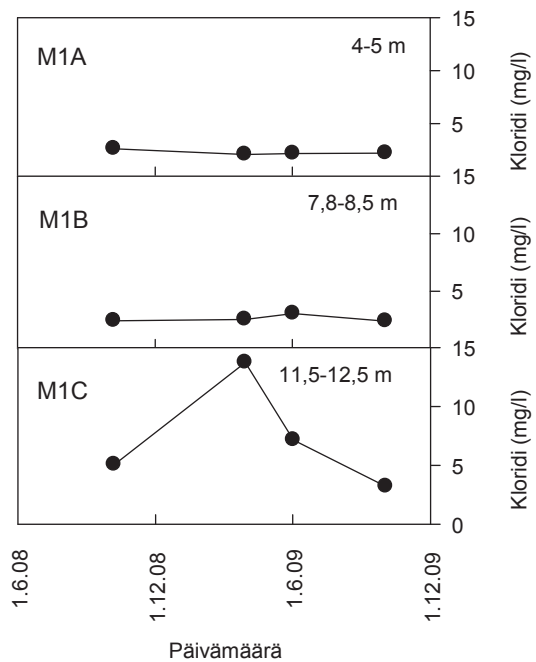
**Kuva 10.** Kloridipitoisuudet ja lineaarisella regressiolla lasketut kloriditrendit Kauriansalmen pohjavesialueen havaintoputkissa M1–M8 vuosina 2002–2009.



**Kuva 11.** Kauriansalmen pohjavesialueen havaintoputkien M1-M8 ja ottamon vuosikeskiarvojen keskiarvot vuosina 2002-2009.



**Kuva 12.** Suuntaa-antava ennuste Kauriansalmen pohjavesialueen keskimääräisen kloridipitoisuuden kehittymisestä vuoden 2010 jälkeen. Luonnontilaisen pohjaveden keskimääräinen kloridipitoisuus on merkitty kuvaajaan.



**Kuva 13.** Pohjaveden kloridipitoisuus eri syvyyksiin asennetuissa lyhyen siivilän havaintoputkissa M1A, M1B ja M1C Kauriansalmen pohjavesialueella vuosina 2008-2009. Havaintoputkien siivilöiden sijaintisyvyydet on esitetty kuvassa (m maanpinnan tasosta)

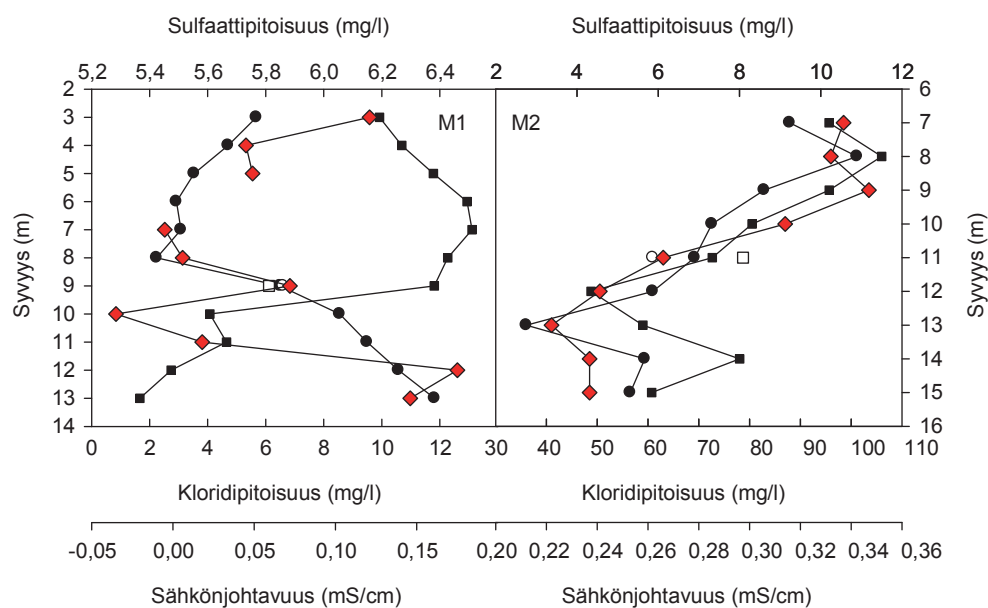
Pohjaveden laatu vaihteli eri kerroksissa pisteissä M1, M2, M5 ja M7. Kloridipitoisuuksien erot eri kerrosten välillä samassa havaintopisteessä olivat useimmiten systemaattisia. Esimerkiksi havaintoputken M1 vesi oli lähes luonnontilaista 4–5 m ja 7,5–8,5 m syvyydellä (Kuva 13). Sen sijaan 11,5–12,5 m syvyydellä kallionpinnan tuntumassa tiesuolauksen vaikutus pohjaveden laatuun näkyi lievästi kohonneina kloridipitoisuuksina (5–15 mg/l).

Lokakuussa 2007 otettujen kerrosvesinäytteiden tulokset tukevat rajattuihin kerroksiin asennetuista havaintoputkista tehtyjä määrittelyksiä. Kerrosvesinäytteenotto ”pitkän siivilän” putkesta (M1) osoittaa, että pohjaveden kloridipitoisuudessa tapahtui selkeä muutos noin 8–9 m syvyydessä (Kuva 14). Tämän syvyyden yläpuolella kloridipitoisuus oli 2–5 mg/l ja alapuolella 6–12 mg/l. Yhdeksän metrin syvyydestä samassa yhteydessä ”perinteisellä” tekniikalla otetun pohjavesinäytteen pitoisuus oli noin 6 mg/l, mikä vastasi erittäin hyvin kerrosvesinäytteenoton tulosta tässä havaintoputkessa.

Havaintoputken M1 ja käytettyjen menetelmien osalta voidaan tehdä seuraavia päätelmiä. 1) Pohjaveden kloridipitoisuus vaihtelee kerroksittain ja kloridi saattaa kulkeutua havaintopaikkaan joidenkin tiettyjen (rajallisten) kerrosten kautta. 2) Pohjaveden kloridipitoisuuksien erot eri kerroksissa ovat todennäköisesti usein pitkäaikaisia ja jopa pysyviä. 3) ”Perinteisellä” näytteenottotekniikalla otettu näyte vastaa hyvin kyseisessä syvyydessä olevan kerroksen pohjavettä. ”Perinteisellä” näytteenottotekniikalla ”pitkän siivilän” havaintoputkesta M1 eri aikoina otetut näytteet ovat siten keskenään vertailukelpoisia aikasarjoja tehtäessä.

Havaintoputkessa M2 (pitkä siivilä) pohjaveden laatu muuttui syvyyssuunnassa (Kuva 14). Kerroksittain otetut näytteet sisälsivät kloridia enimmillään noin 100 mg/l 8 m syvyydellä ja vähimmillään 35 mg/l 13 m syvyydellä. ”Perinteisellä” tavalla otettujen näytteiden kloridi- ja sulfaattipitoisuudet vastasivat hyvin packer-tekniikalla otettujen näytteiden tuloksia.

Rajattuun syvyyteen asennetuissa havaintoputkissa M2A ja M2B kloridipitoisuudet erosivat toisistaan huomattavasti ja ero oli likimain samansuuruinen kaikkina näytteenottoajankohtina (Kuva 15). Syvimmälle (13,5–14,5 m) asennetussa havainto-

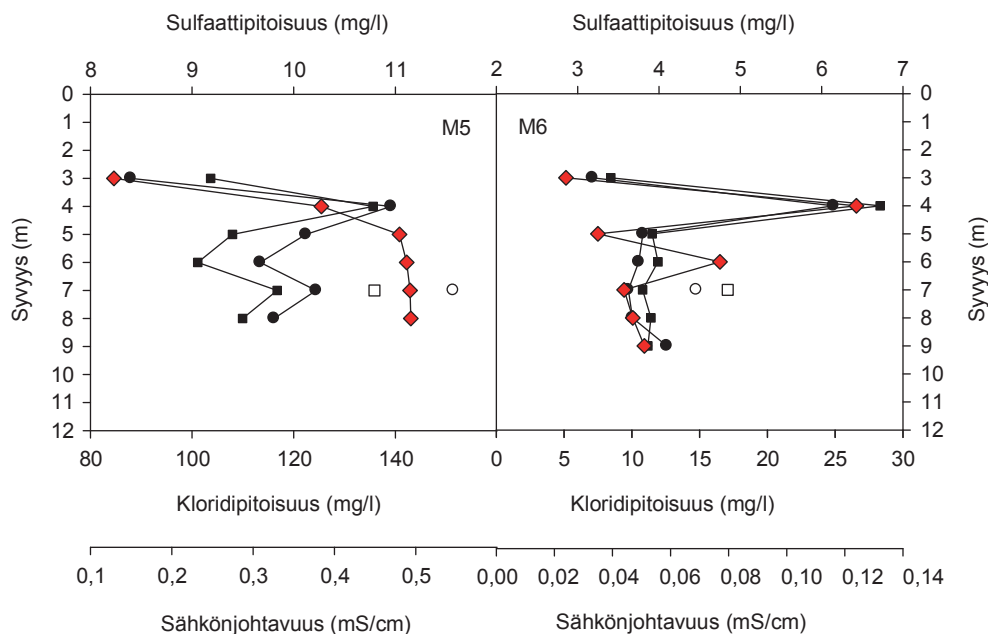
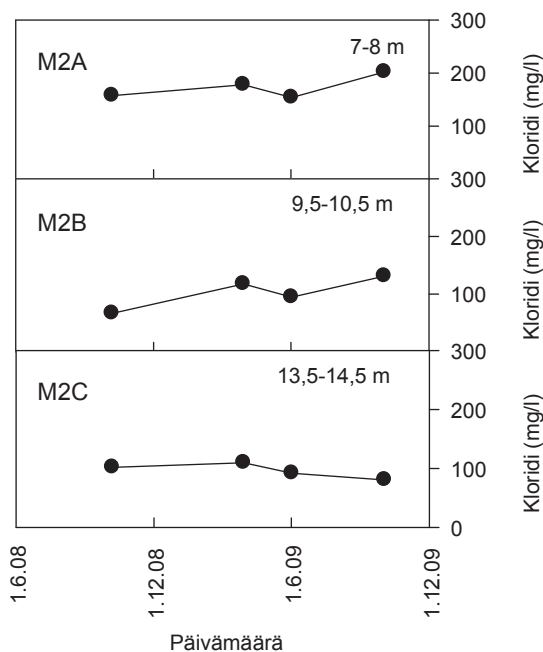


**Kuva 14.** Packer-näytteenottotekniikalla otettujen kerrosvesinäytteiden kloridi- (•) ja sulfaattipitoisuudet (■) ja sähkönjohtokyky (♦) havaintoputkissa M1 ja M2 2.10.2007. ”Perinteisellä” näytteenottotekniikalla 9 m (M1) ja 11 m (M2) otettujen näytteiden kloridi- (○) ja sulfaattipitoisuudet (□) on merkitty samaan kuvaajaan.

putkessa (M2C) kloridipitoisuuden vaihtelu oli vähäisempää kuin ylempänä olevissa kerroksissa.

Havaintoputkissa M5 ja M6 packer-tekniikalla ja "perinteisellä" näytteenottotavalla otettujen näytteiden kloridi- ja sulfaattipitoisuudet erosivat toisistaan kohtuullisen paljon (noin 20–50 %) (Kuva 16). "Perinteisellä" tavalla otettujen näytteiden pitoisuudet olivat suurempia kuin packerilla otettujen näytteiden, mutta pitoisuuksien suuruusluokka oli sama.

**Kuva 15.** Pohjaveden kloridipitoisuus rajattuihin kerroksiin asennetuissa pohjavesiputkissa havaintopaikalla M2 Kauriansalmen pohjavesialueella vuosina 2008-2009. Havaintoputkien tunnuksat ja siivilöiden sijaintisyvytydet on esitetty kuvassa (m maanpinnan tasosta)



**Kuva 16.** Packer-näytteenottotekniikalla otettujen kerrosvesinäytteiden kloridi- (•) ja sulfaattipitoisuudet (■) sekä sähkönjohtokyky (♦) kerrosvesinäytteissä havaintoputkissa M5 ja M6 2.10.2007. "Perinteisellä" näytteenottotekniikalla 7 m (sekä M5 että M6) syvyydeltä otettujen näytteiden kloridi- (○) ja sulfaattipitoisuudet (□) on merkitty samaan kuvaajaan.

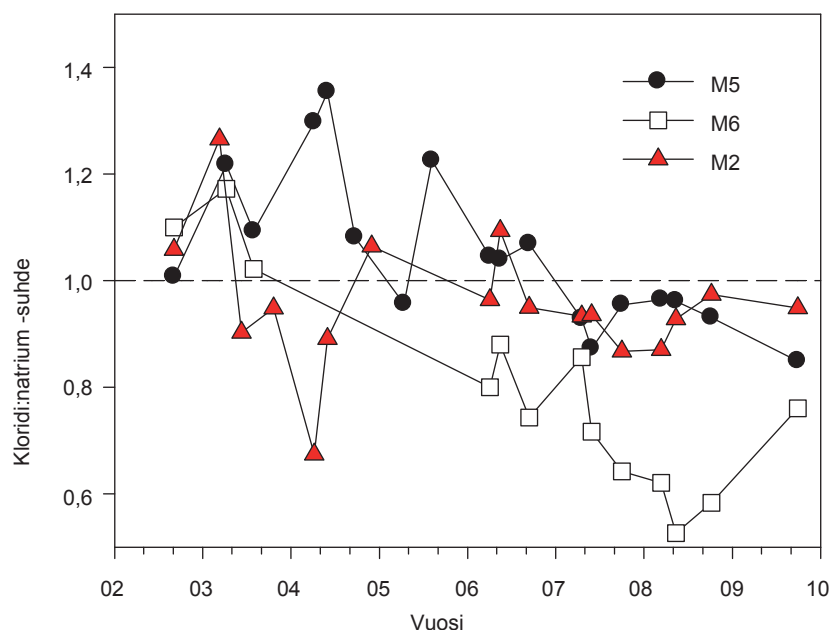
## Yhteenveto kloridipitoisuuksien kehityksestä Kauriansalmen pohjavesialueella

Pohjaveden keskimääräinen kloridipitoisuus on laskenut hitaasti Kauriansalmen pohjavesialueella vuoden 2002 jälkeen. Kloridipitoisuuksissa on melko voimakasta ajallista ja paikallista vaihtelua ja syvyysuuntaista vaihtelua. Joissakin runsaasti kloridia sisältävissä hienorakeisissa vyöhykkeissä/kerroksissa pohjaveden liike on niin hidasta, että kloridipitoisen veden vaihtuminen uudempaan, vähän kloridia sisältävään pohjaveteen kestää kauan.

## Alkali- ja maa-alkalimetallit Kauriansalmen pohjavedessä

Perinteisen tiesuolan käytön myötä maaperään päätyy natriumia tien välittömässä läheisyydessä. Maaperässä natrium-ioni ( $\text{Na}^+$ ) joko 1) pidätty negatiivisesti varautuneiden maapartikkelien pinnalle, 2) osallistuu kationinvaihtoprosesseihin tai 3) huuhtoutuu pinta- tai pohjavesiin sade- ja sulamisvesien mukana. Kationinvaihtoprosesseissa natrium-ioni syrjäyttää maapartikkelin pinnalla olevan toisen kationin (useimmiten magnesium, kalium tai kalsium). Tällöin natrium-ioni pidätty vapauttaen samalla jonkin muun ionin maaperän vesifaasiin. Kaliumformiaatin käytön myötä natrium-kuormitus vähenee ja kaliumin kuormitus lisääntyy. Kalium-ionit kiinnittyvät kationinvaihtopaikoille syrjäyttäen natrium-ioneja, jotka ovat täyttäneet kationinvaihtopaikkoja perinteistä tiesuolaa käytettäessä. Kalium pidätty tehokkaasti ja natriumia voimakkaammin kationinvaihtopaikoille. Tästä syystä kalium kulkeutuu natriumia hitaammin pohjaveteen ja pohjavedessä kun perinteinen tiesuola korvataan kaliumformiaatilla.

Kauriansalmen pohjavesialueella tiesuolasta peräisin oleva natrium on huuhtoutunut pohjaveteen yhdessä kloridin kanssa. Lähtötuotteessa ( $\text{NaCl}$ ) natriumin ja kloridin suhde (mol/mol) on 1. Havaintoputkissa M2, M5, M6, M7 ja M8 kloridipitoisuus on alentunut natriumpitoisuutta nopeammin (Kuva 16). Kloridi–natrium-

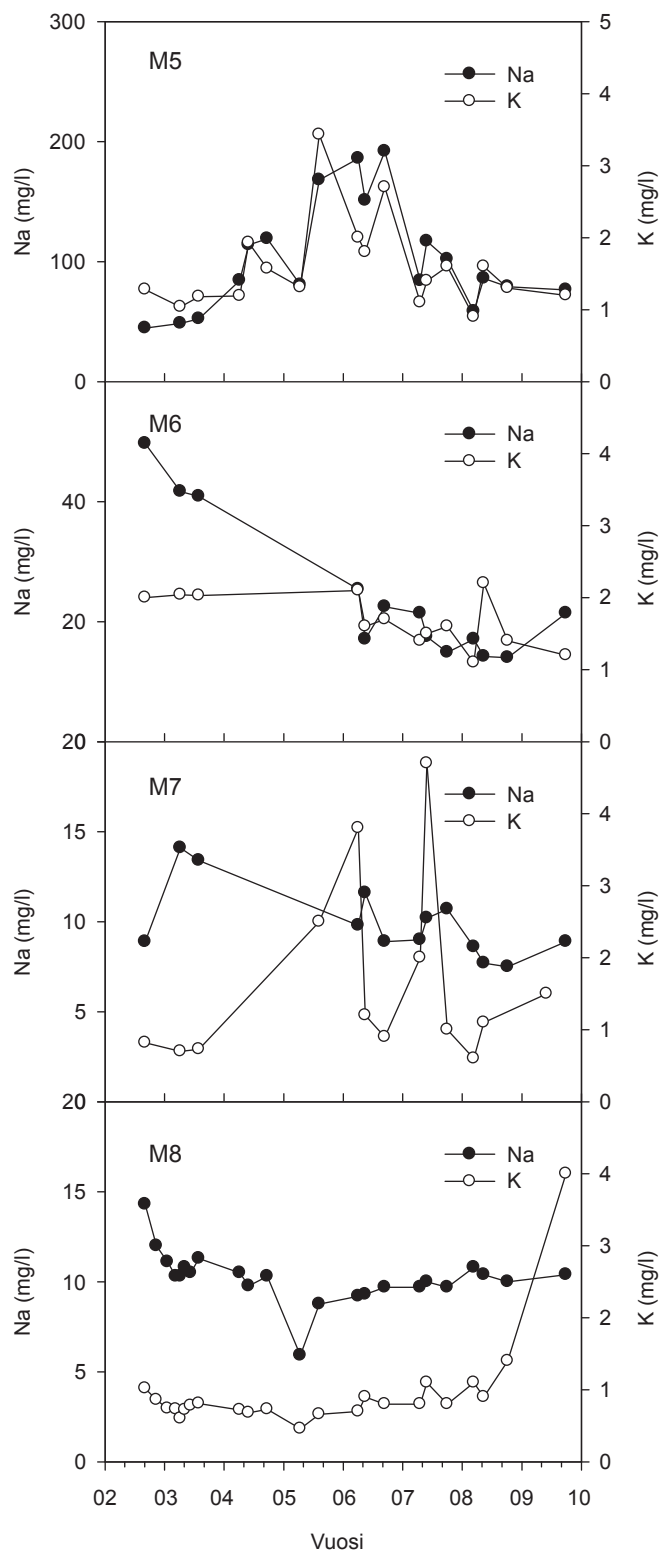


**Kuva 17.** Kloridi–natrium-suhde havaintoputkissa M2, M5 ja M6 Kauriansalmen pohjavesialueella vuosina 2002–2009. Suhdeluvun ollessa >1, pohjaveden kloridipitoisuus on teoreettista arvoa (1) suurempi suhteessa natriumpitoisuuden ja päinvastoin.

suhde (mol/mol) on laskenut näissä kolmessa havaintoputkessa vuoden 2002 jälkeen keskimäärin noin 23 %.

Kaliumpitoisuudet ovat kohonneet absoluuttisesti ja suhteessa natriumpitoisuuksiin vain kahden havaintopaikan pohjavedessä (M7 ja M8) vuoden 2002 jälkeen (Kuva 18). Esimerkiksi havaintoputkissa M5 ja M6 vastaavaa kaliumpitoisuuksien kohoamista ei havaittu (Kuva 18).

Havaintoputkissa M3 ja M4 näkyy kesäisin kalsiumkloridilla ( $\text{CaCl}_2$ ) tehtävän pölynsidonnan vaikutus. Pohjaveden kalsiumpitoisuudet ovat huomattavasti luonnon-



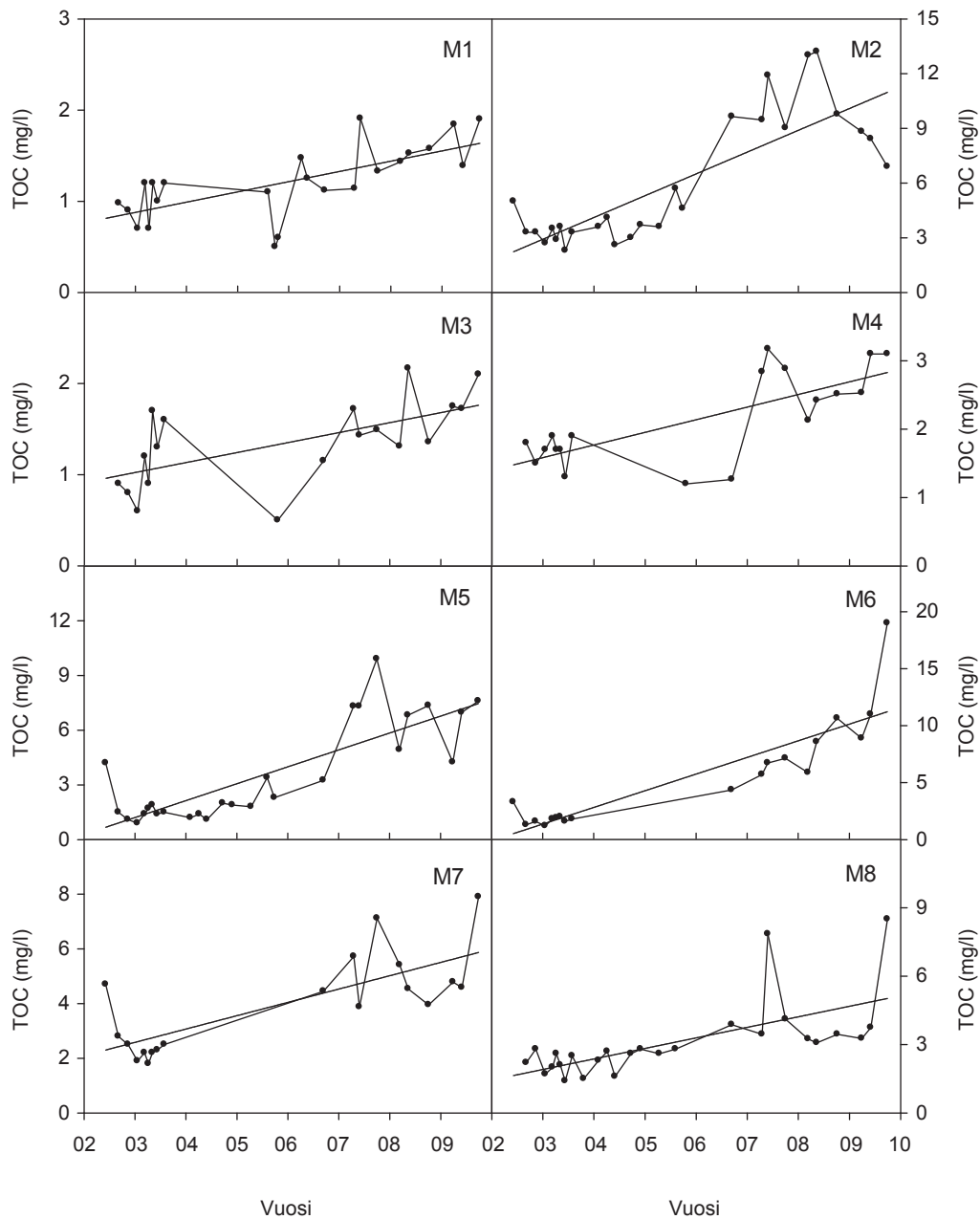
**Kuva 18.** Natriumin (●) ja kaliumin (○) pitoisuudet havaintoputkissa M5, M6, M7 ja M8 Kauriansalmen pohjavesialueella vuosina 2002–2009.

tilaisia pitoisuuksia korkeampia ja korkeampia kuin natrium- ja kaliumpitoisuudet näissä havaintopisteissä.

3.4

### Orgaaninen aines Kauriansalmen pohjavedessä

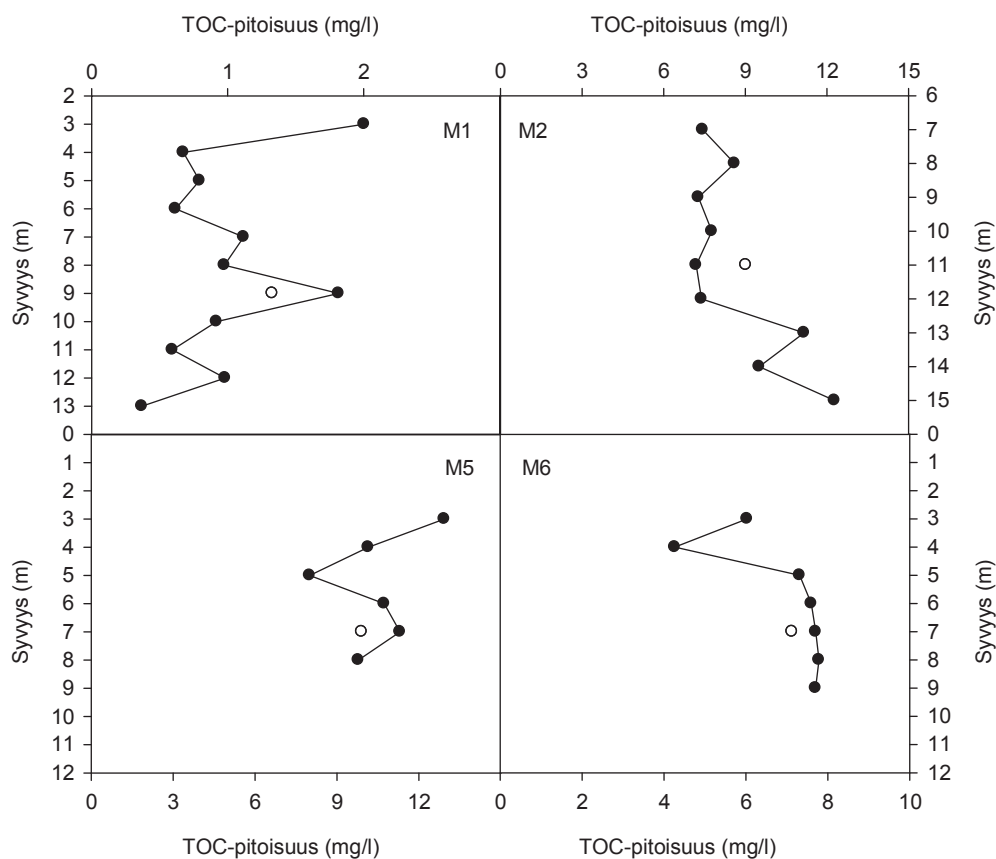
Orgaanisen aineksen (TOC) pitoisuudet kohosivat kaikissa havaintoputkissa tutkimusjakson aikana (Kuva 19). Pohjavesinäytteistä ei kuitenkaan löytynyt formiaattia. Alueella on käytetty kokeilun aikana (2002–2009) puhdasta kaliumformiaattia, joka ei sisällä orgaanisia lisäaineita. Pohjavesinäytteistä määritettiin varmuuden vuoksi myös kaupallisen tuotteen sisältämää orgaanista lisäkemikaalia. Näytteistä ei löytynyt myöskään kyseistä ainetta.



**Kuva 19.** TOC-pitoisuudet ja lineaarisella regressiolla lasketut TOC-trendit Kauriansalmen pohjavesialueen havaintoputkissa M1-M8 vuosina 2002–2009.

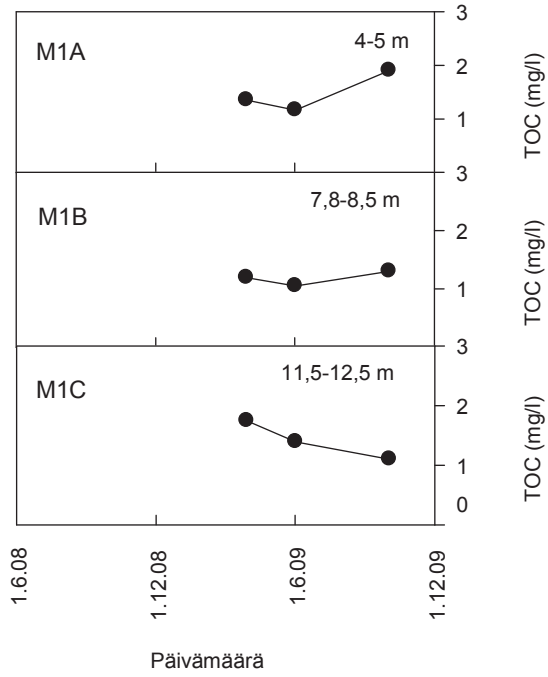
Orgaanisen aineksen pitoisuusvaihtelut olivat kerrosvesinäytteenotossa kloridi- ja sulfaattipitoisuuksien vaihtelua huomattavasti vähäisempiä (Kuvat 10 ja 19). ”Perinteisellä” tavalla ja packer-tekniikalla otettujen näytteiden TOC-pitoisuudet vastasivat hyvin toisiaan (Kuva 20). Pitoisuuserot olivat melko vähäisiä myös eri kerroksissa lyhyen siivilän havaintoputkissa M1 ja M2 (Kuvat 21 ja 22). Lyhyen siivilän havaintoputkissa M5A ja M5B ja M7A ja M7B pitoisuusvaihtelu eri näytteenottokertojen ja -syvyyksien välillä oli huomattavasti suurempaa.

Kerrosmittaukset ja rajattuihin syvyyksiin asennettujen havaintoputkien mittaukset osoittavat, että orgaanisen aineksen pitoisuuden muutokset eivät liity joihinkin tiettyihin kerroksiin tai havaintopaikkoihin. TOC-pitoisuuksien nousua havaittiin kaikissa havaintopisteissä; myös niissä, joissa tiesuolauksen vaikutus ei näy (M1, erityisesti M1A) tai näkyy vain hyvin lievästi (M3). Pohjaveden orgaaninen aines ei ollut formiaattia tai lisäainetta vaan todennäköisesti luonnosta peräisin olevaa orgaanista ainesta. Kauriansalmella pohjavesi sijaitsee lähellä maanpintaa ja pintamaan orgaanista kerrosta. Koska luonnon orgaaninen aines, kuten humus, hajoaa hitaasti maaperässä ja pohjavedessä, saattaa sitä huuhtoutua ajoittain runsaammin pohjaveen Kauriansalmen muodostuman kaltaisissa olosuhteissa. Huuhtoutumiseen vaikuttavia tekijöitä ovat muun muassa sadanta ja sen ajoittuminen sekä pohjaveden pinnankorkeuden vaihtelut (mukaan lukien vedenottamon sulkemisen vaikutus).

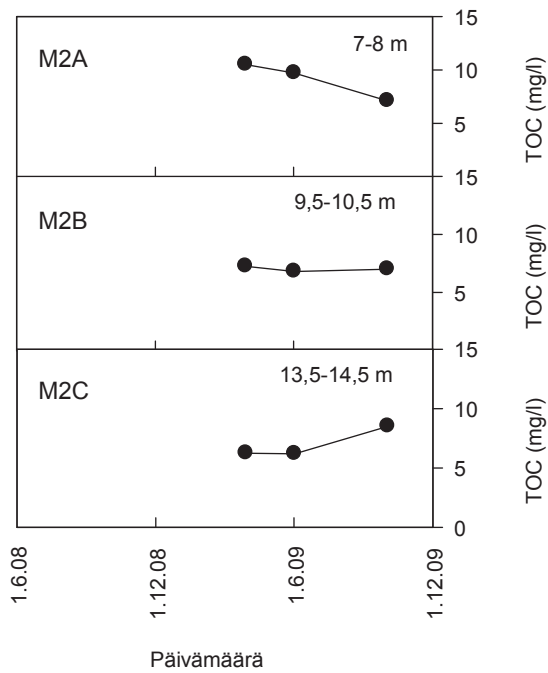


**Kuva 20.** Packer-näytteenottotekniikalla otettujen kerrosvesinäytteiden TOC-pitoisuudet kerrosvesinäytteissä havaintoputkissa M1, M2, M5 ja M6 2.10.2007. ”Perinteisellä” tekniikalla otettujen näytteiden TOC-pitoisuudet (○) on merkitty samaan kuvaajaan.





**Kuva 21.** Pohjaveden TOC-pitoisuus rajattuihin kerroksiin asennetuissa havaintoputkissa havaintopaikassa M1 Kauriansalmen pohjavesialueella vuonna 2009. Havaintoputkien tunnuksia ja siivilöiden sijaintisyvytydet on esitetty kuvassa (m maanpinnan tasosta)



**Kuva 22.** Pohjaveden TOC-pitoisuus rajattuihin kerroksiin asennetuissa havaintoputkissa havaintopaikassa M2 Kauriansalmen pohjavesialueella vuonna 2009. Havaintoputkien tunnuksia ja siivilöiden sijaintisyvytydet on esitetty kuvassa (m maanpinnan tasosta)

## 4 Muut kaliumformiaatin käyttökohteet

### 4.1

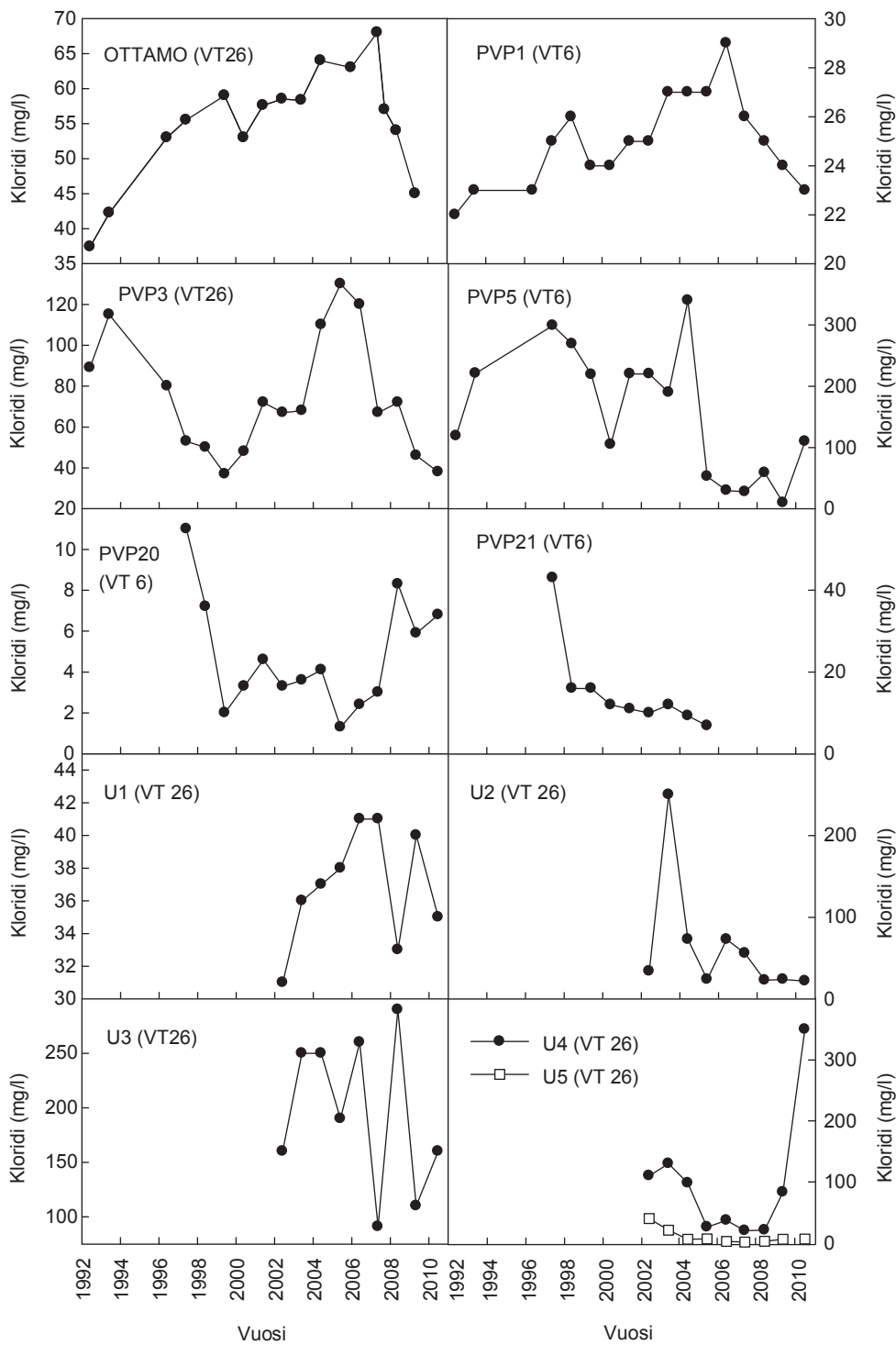
#### Taavetin pohjavesialue

**Taavetin pohjavesialueella** pohjaveden kloridipitoisuuden muutoksia seurataan vedenottamalla ja 9 havaintoputkesta, joista yksi (PVP21) on tuhoutunut vuoden 2006 aikana (Liite 2). Laajemmalla ympäristöstään vettä keräävän Taavetin vedenottamon kloridipitoisuus kääntyi laskuun vuonna 2008 (Kuva 23). Tätä ennen ottamon veden kloridipitoisuus oli noussut lähes yhtäjaksoisesti 25 vuoden ajan (Ahokas & Tikkanen 2000) saavuttaen korkeimman mitatun pitoisuuden (68 mg/l) vuonna 2007. Vuoden 2009 kesällä kloridipitoisuus oli laskenut viimeksi 1990-luvun alkupuolella mitatulle tasolle (45 mg/l). Havaintoputkien pohjavesi edustaa niiden välittömässä läheisyydessä tapahtuvia muutoksia. Neljässä havaintoputkessa kloriditrendi on ollut laskeva viime vuosina ja neljässä muussa havaintoputkessa trendi on ollut tasainen. Havaintoputkien kloridipitoisuuksille on tyypillistä suuri mittausten välinen vaihtelu. Vuosina 2006–2009 Taavetin pohjavesialueelta otetut näytteet antavat viitteitä pohjaveden kloridipitoisuuksien laskusta kaliumformiaatin käyttöön siirtymisen myötä. Pohjavedestä ei ole määritetty muita parametreja, joten kaliumformiaatin vaikutuksia pohjaveteen ei voida arvioida muilta osin. Kloridipitoisuuksien ja mahdollisesti muiden vedenlaatuparametrien seuranta on perusteltua jatkaa Taavetin pohjavesialueella kaliumformiaatin käytön jatkuessa.

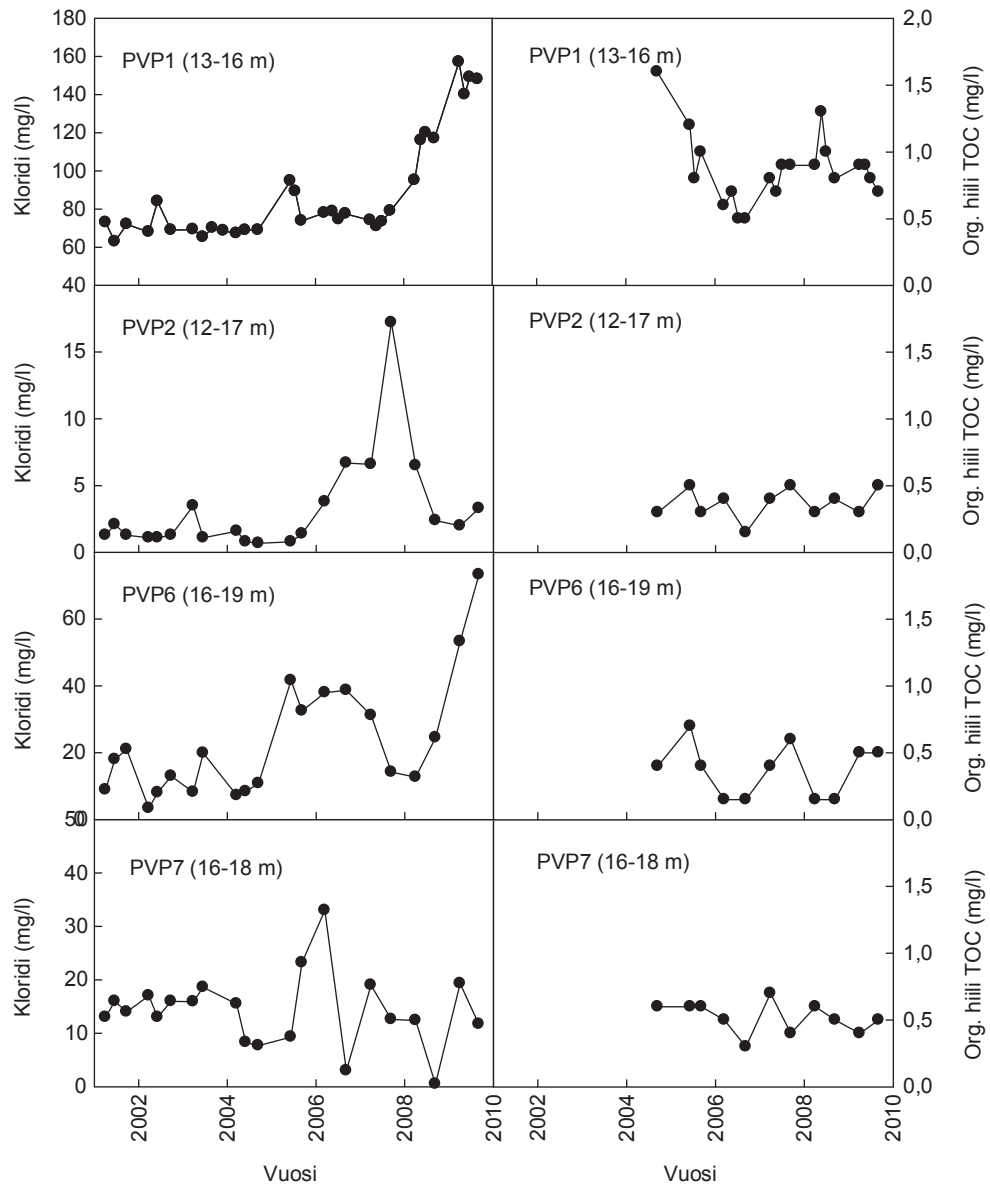
### 4.2

#### Jaamankankaan pohjavesialue

**Jaamankankaan pohjavesialueella** pohjaveden kemiallista laatua tarkkaillaan seitsemästä pohjavesikaivosta (PVP1-PVP7). Määritettäviä parametreja on 14 ja ne kuvaavat varsin hyvin kaliumformiaatin käytöstä mahdollisesti aiheutuvia pohjaveden laadun muutoksia, vaikka formiaattipitoisuuksia ei määritetäkään näytteistä. Tällaisia muutoksia ovat mm. orgaanisen aineksen pitoisuuden kasvu, happipitoisuus (hapen kuluminen) ja liukoisen raudan lisääntyminen (Taulukko 3). Vuosina 2001–2009 kerätty aineisto osoittaa, että pohjaveden kemiallisessa koostumuksessa ei ole tapahtunut muutoksia (Taulukko 3) lukuun ottamatta kloridi- ja natriumpitoisuuksien nousua. Korkeimmat pohjaveden kloridipitoisuudet on mitattu kaivoista PVP1, PVP6 ja PVP7 (Kuva 24). Näissä kaivoissa ei ole tapahtunut pohjaveden laadun muutoksia kaliumformiaatin käytön aloittamisen jälkeen: Pohjaveden orgaanisen aineksen pitoisuus on matala ja pohjavesi on hapellista (Taulukko 3). Kaivoissa PVP2 (Kuva 24), PVP3, PVP4 ja PVP5 kloridipitoisuus vastaa luonnontilaista pitoisuutta eikä kaliumformiaatin käytöllä luonnollisesti ole ollut vaikutusta näiden kaivojen pohjaveden kemialliseen koostumukseen.



**Kuva 23.** Kloridipitoisuudet Taavetin vedenottamolla ja pohjavesialueen havaintoputkissa vuosina 1992-2009. Huomaa, että kloridiakselin skaalaus on erilainen eri kuvaajissa. Ottamon ja havaintoputkien sijainnit valtatie 6 tai valtatie 26 läheisyydessä on esitetty Liitteessä 2. Alueelle on rakennettu pohjavesisuojaukset vuonna 1994 ja niitä on korjattu vuonna 2000.



**Kuva 24.** Kloridi- ja orgaanisen aineksen (TOC) pitoisuudet Jaamankankaan pohjavesialueen havaintoputkissa PVP1, PVP2, PVP6 ja PVP7 vuosina 2001-2009. Havaintoputkien siivilöiden sijaintisyvyydet on esitetty kuvaajissa. Huomaa, että kloridiakselin skaalaus on erilainen eri kuvaajissa.

**Taulukko 3.** Jaamankankaan pohjavesikaivoista määritettävät parametrit ja määritysten tulokset (keskiarvo ± keskihajonta) pohjavesikaivossa PVPI ajalla 18.3.2004 - 2.9.2009.

Parametri	Arvo	Havaittu muutos
Happi (mg/l)	11,3±0,2	Ei
Rauta (mg/l)	0,9±0,9	Ei
Sulfaatti (mg/l)	3,7±2,3	Ei
Orgaaninen kokonaishiili (mg/l)	0,9±0,3	Ei
Alkaliniteetti (mmol/l)	0,40±0,02	Ei
Kalium (mg/l)	2,6±0,4	Ei
Kalsium (mg/l)	12,1±1,3	Ei
Magnesium (mg/l)	2,9±0,3	Ei
Natrium (mg/l)	52±13	Nouseva trendi
Kloridi (mg/l)	99±29	Nouseva trendi
Lämpötila (°C)	5,8±0,4	Ei
pH	6,3±0,1	Ei
Sameus	33±69	Ei
Sähkönjohtavuus (mS/m)	39±10	Nouseva trendi

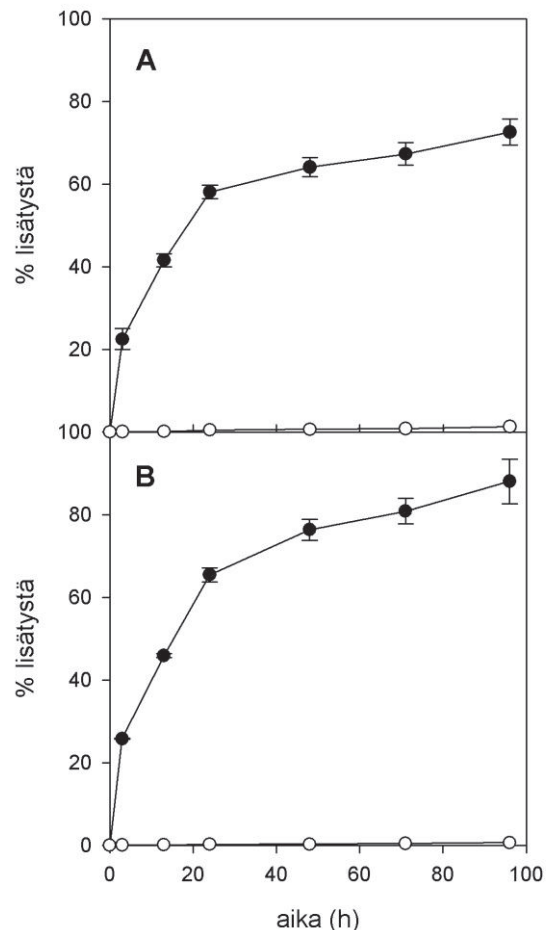
## 5 Formiaatin hajoaminen maaperässä, pintavedessä ja pohjavedessä

Formiaatin kohtaloon maaperässä, pohja- ja pintavesissä keskeisimmin vaikuttava tekijä on mikrobiologinen hajoaminen, jonka tuloksena syntyy hiilidioksidia ja vettä. MIDAS-tutkimuksessa selvitettiin formiaatin hajoamista kussakin kolmessa matrisissa. Biohajoaminen oli nopeinta paljon orgaanista ainesta ja mikrobitoimintaa sisältävässä pintamaassa, jossa erittäin nopeaa hajoamista tapahtui -2 oC lämpötilassa (Hellstén ym. 2004).

Hajoaminen oli nopeaa myös pinta- ja pohjavesinäytteissä (Taulukko 4, Kuva 25). Nopea biohajoaminen vajovesikerroksessa esti formiaatin kulkeutumisen pohjaveen Kauriansalmen pohjavesialueella tutkimusjakson aikana. Pintavalunnan mukana formiaattia kulkeutuu tutkimusalueen eteläosassa sijaitsevaan Kuolimojärveen todennäköisesti vain vähäisiä määriä. Esimerkiksi toukokuussa tien varren purosta mitatut formiaattipitoisuudet olivat enimmillään 2,1 mg/l. Alhaisia pitoisuuksia selittää formiaatin nopea biohajoaminen pintavedessä.

**Taulukko 4.** Radioaktiivisesti leimatun <sup>14</sup>C-formiaatin hajoaminen radioaktiiviseksi hiilidioksidiksi (<sup>14</sup>CO<sub>2</sub>) pohjavesi- (M1-M8) ja pintavesinäytteissä (W1-W4) 5 vuorokauden laboratorioinkubaation aikana +6 °C lämpötilassa. (% lisätystä <sup>14</sup>C-formiaatista, kolmen rinnakkaisen keskiarvo ja keskihajonta)

M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	W1	W2	W3	W4
59±8	92±12	74±7	65±6	47±30	34±3	43±4	31±13	41±6	45±21	67±3	81±3



**Kuva 25.** Purovesinäytteisiin lisätyn radioaktiivisesti leimatun <sup>14</sup>C-formiaatin hajoaminen hiilidioksidiksi ajan funktiona (% lisätystä <sup>14</sup>C-formiaatista). A = näyte puron sululta Kuolimojärvestä, B = purovesinäyte tutkimusalueen läpi Kuolimojärveen virtaavasta purosta. Kolmen rinnakkaisnäytteen keskiarvo ja keskihajonta (•) sekä kontrollinäyte (○), jossa bakteerien toiminta on lopetettu.

## 6 Kaliumformiaatin käyttökokemuksista ja -kustannuksista

### 6.1

#### Kaliumformiaatin käyttökokemuksista

Kaliumformiaatin käyttökohteissa saatujen kokemusten mukaan kemikaali soveltuu hyvin mustan jään torjuntaan. Sen sijaan polanteen sulattamiseen kaliumformiaatti soveltuu natriumkloridia huonommin. Kaliumformiaatti aiheuttaa natriumkloridia vähemmän suolasumua liikenteessä. Kaliumformiaatin käyttökohteissa ei ole havaittu silmämääräisiä vaurioita asfalttipäällysteissä.

SYKEN LIUTA-tutkimuksessa selvitettiin, onko liukkaudentorjunta-aineiden (asetaatit, formiaatit ja natriumkloridi) käytöllä vaikutusta päällysteiden alifaattisen öljyhiilivetyjen ja PAH-yhdisteiden pitoisuuksiin. Hanke toteutettiin tutkimalla kahdesta tie- (VT13, Suomenniemi; VT6 Taavetti) ja kahdesta lentokenttäkohteesta (Helsinki-Vantaa; Kuopio) otettuja asfalttinäytteitä.

LIUTA-tutkimuksen perusteella asfalttipäällysteet sisältävät hyvin pieniä määriä formiaattia, asetaattia tai kloridia liukkaudentorjuntakauden jälkeen eikä liukkaudentorjunta-aineilla ole vaikutusta asfalttipäällysteen öljyhiilivety- ja PAH-pitoisuuksiin. Kaliumformiaattia tai natriumkloridia sisältävissä asfalttipäällysteissä ei myöskään muodostu PAH-yhdisteitä tai öljyhiilivetyjä huoneenlämmössä tai kun niitä kuumentetaan 55 tai 100 °C:een (Salminen & Kalevi 2008).

Lentokentillä kaliumformiaatin on havaittu aiheuttavan vikoja lentokentän maantasolla sijaitseviin sähkölaitteisiin, kuten valoihin. Kaliumformiaatin korroosiovaikutuksista on tehty erillinen tutkimus (Alatyppö ym. 2008). Kaliumformiaatin ja natriumkloridin korroosiovaikutukset vaihtelevat jonkin verran metalleittain tai metalliseoksittain. Vaikutuksen tieliikenteessä ja -rakenteissa käytettyihin metalleihin ovat keskimäärin samaa luokkaa kaliumformiaatin ja natriumkloridin välillä. Kaliumformiaatti korrodoi joitakin sellaisia erikoismetalliseoksia, joita on puolustusvoimien lentokalustossa.

### 6.2

#### Kaliumformiaatin käytön vaikutuksista talvihoidon kustannuksiin

Talvihoidon kokonaiskustannuksien arviointiin on käytettävissä lähinnä suuntaantavia aineistoja. Kallbergin (1995) ja Sipilän ja Mäkelän (2006) mukaan aurauksen (mukaan lukien sohjonpoisto), tasauksen, suolaamisen ja hiekoittamisen osuus talvihoidon kokonaiskustannuksista on noin 70±5 %. Sipilä ja Mäkelä vertailivat eri tiettyyppien ja hoitoluokkien vaikutusta talvihoidon työ- ja kokonaiskustannuksiin. Tekijät huomauttavat, että luvut perustuvat urakoitsijoilta saatuihin arvioihin ja niitä tulisi siksi käyttää ensisijaisesti keskinäiseen vertailuun eikä absoluuttisina ja yksilöityinä lukuina talvihoidon todellisista kustannuksista. Tässä raportissa arvioidaan herkillä erityisalueilla tapahtuvat kaliumformiaatin käyttöön siirtymisen kus-

tannuksia muutamilla tavoilla. Vertailuun on sisällytetty arvio suojausrakenteiden kustannuksista.

Kaliumformiaatin hinta (noin 2000 €/t, suullinen tiedonanto keväällä 2010 Timo Nissinen, Kemira Oyj) on noin 20-kertainen natriumkloridin hintaan (noin 100 €/t, sähköinen tiedonanto keväällä 2010 Asko Pöyhönen, Pohjois-Savon elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus) verrattuna. Kemikaalikustannus muodostaan kuitenkin vain osan talvitiehoiton kokonaiskustannuksista ja nämä muut kustannukset ovat pääsääntöisesti riippumattomia käytetystä liukkaudentorjuntakemikaalista. Talvihoiton vuotuiset kokonaiskustannukset ovat noin 100 milj. € Suomessa (Sipilä & Mäkelä 2006). Natriumkloridin keskimääräinen vuotuinen käyttömäärä on noin 90 000 t ja tämän kemikaalimäärän hinta on noin 9 milj. € eli kemikaalikustannus muodostaa hieman alle 10 % talvihoiton kokonaiskustannuksista. Kuvassa 26 on esitetty kaliumformiaatin käytön kemikaalikustannusten muutos kokonaistiepitäytteen (km) ja suolausmäärän (t/km) funktiona. Suolausmäärälle on annettu kolme vaihtoehtoa, jotka kuvaavat eri tietyyppisiä ja olosuhteita. Suomessa noin 800 km suolattavia teitä sijaitsee vedenhankinnan kannalta tärkeiksi luokitelluilla pohjavesialueilla. Mikäli näillä tieosuuksilla siirryttäisiin kaliumformiaatin käyttöön ja suolausmääräksi oletettaisiin 5 t/km, kemikaalikustannus olisi noin 8 milj. €. Vuotuinen kemikaalikustannus kasvaisi noin 90 % ja talvihoiton kokonaiskustannukset noin 7 %.

Kaliumformiaatin tai natriumkloridin käytön tai pohjavesisuojausten kustannuksia voidaan arvioida esimerkinomaisesti kaliumformiaatin koekäyttökohteissa (Taulukko 5). Kaliumformiaatin käytön vuosikustannukset ylittävät pohjavesisuojausten laskennallisen vuosikustannuksen ainoastaan Kauriansalmen pohjavesialueella, missä kaliumformiaatin keskimääräinen käyttömäärä on ollut muita kohteita suurempi. Pohjavesisuojausten kustannuksia arvioitaessa on huomioitava, että niiden toimivuudesta pitkällä aikavälillä ei ole saatavissa tietoa. Ahokkaan ja Tikkasen (2000) ja Nysténin ym. (1999) mukaan osa suojausrakenteista ei ole toiminut toivotulla tavalla. Pohjavesien suojelun kannalta optimaalisesti toimivat suojausrakenteet ohjaavat natriumkloridipitoiset hulevedet lähes poikkeuksetta jonnekin muualle ympäristöön, missä näillä hulevesillä saattaa olla haitallisia ympäristövaikutuksia.

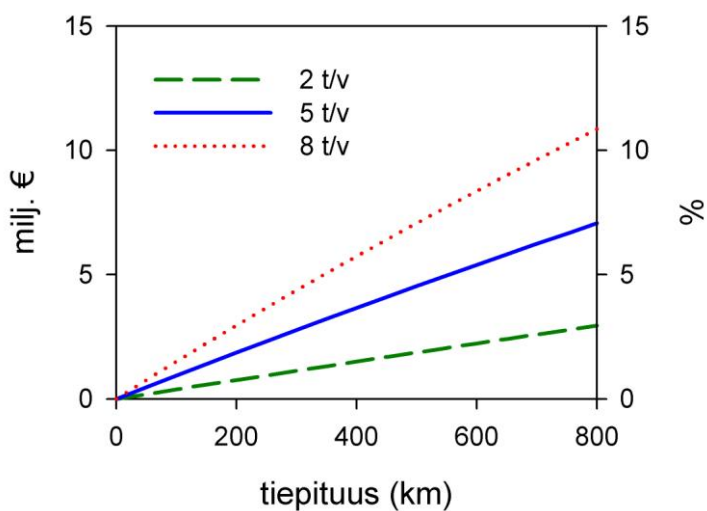
Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden käytön tarkoituksena pohjavesialueilla on pohjavesien suojeleminen. Tämä tavoite voidaan saavuttaa riittävästi, mikäli natriumkloridin käyttöä voidaan vähentää huomattavasti. Natriumkloridin käyttöä ei ole kuitenkaan tarkoituksenmukaista korvata kokonaisuudessaan kaliumformiaatilla, mikäli tapauskohtaisesti vähäisellä natriumkloridin käytöllä voidaan merkittävästi vähentää kaliumformiaatin kulutusta. Tällaisia tilanteita saattaa olla esimerkiksi polanteen poisto tiepinnalta. Kaliumformiaatin käytön kustannusten vähentämiseksi olisi perusteltua myös kiinnittää huomiota toimenpiteisiin, teknisiin ratkaisuihin ja osaamiseen, joilla kaliumformiaatilla tapahtuva liukkaudentorjunta tapahtuu mahdollisimman tehokkaasti ja vähällä kemikaalikulutuksella.



**Taulukko 5.** Kaliumformaatin ja natriumkloridin kemikaalikustannukset ja pohjavesisuojausten kustannusten vertailu viidessä eri kaliumformaatin käyttökohteessa

	Kauriansalmi	Taavetti	Jaamankangas	Lintharju	Honkalampi
Tieosuuden pituus (km)	1,7	5,0	8,0	1,3	7,1
Keskimääräinen käyttö (t/km)	6,7	3,9	1,9	2,3	0,36
KFO kemikaalikust. €/v <sup>1</sup>	23 000	39 000	30 000	6 000	5 100
NaCl kemikaalikust. €/v <sup>1</sup>	1 100	2 000	1 500	300	300
Pohjavesisuojauskust. (€/v) <sup>2</sup>	28 000	83 000	130 000	22 000	120 000

<sup>1</sup>Kaliumformaatin ja NaCl oletushinnat 2 000 €/t ja 100 €/t mainitussa järjestyksessä  
<sup>2</sup>Pohjavesisuojauksen oletuskustannus 500 000 €/km ja oletettu laskennallinen käyttöikä 30 v



**Kuva 26.** Kaliumformaatin käyttöön siirtymisen kustannukset (milj. €) ja vaikutukset kokonaiskustannuksiin (%) tiepituuden funktiona eri suolausmäärillä. Tärkeiksi luokitelluilla pohjavesialueilla sijaitsevien talvisuolattavien teiden kokonaispituus on noin 800 km. Vuonna kaliumformaattia käytettiin tieosuuksilla, joiden yhteispituus on noin 25 km

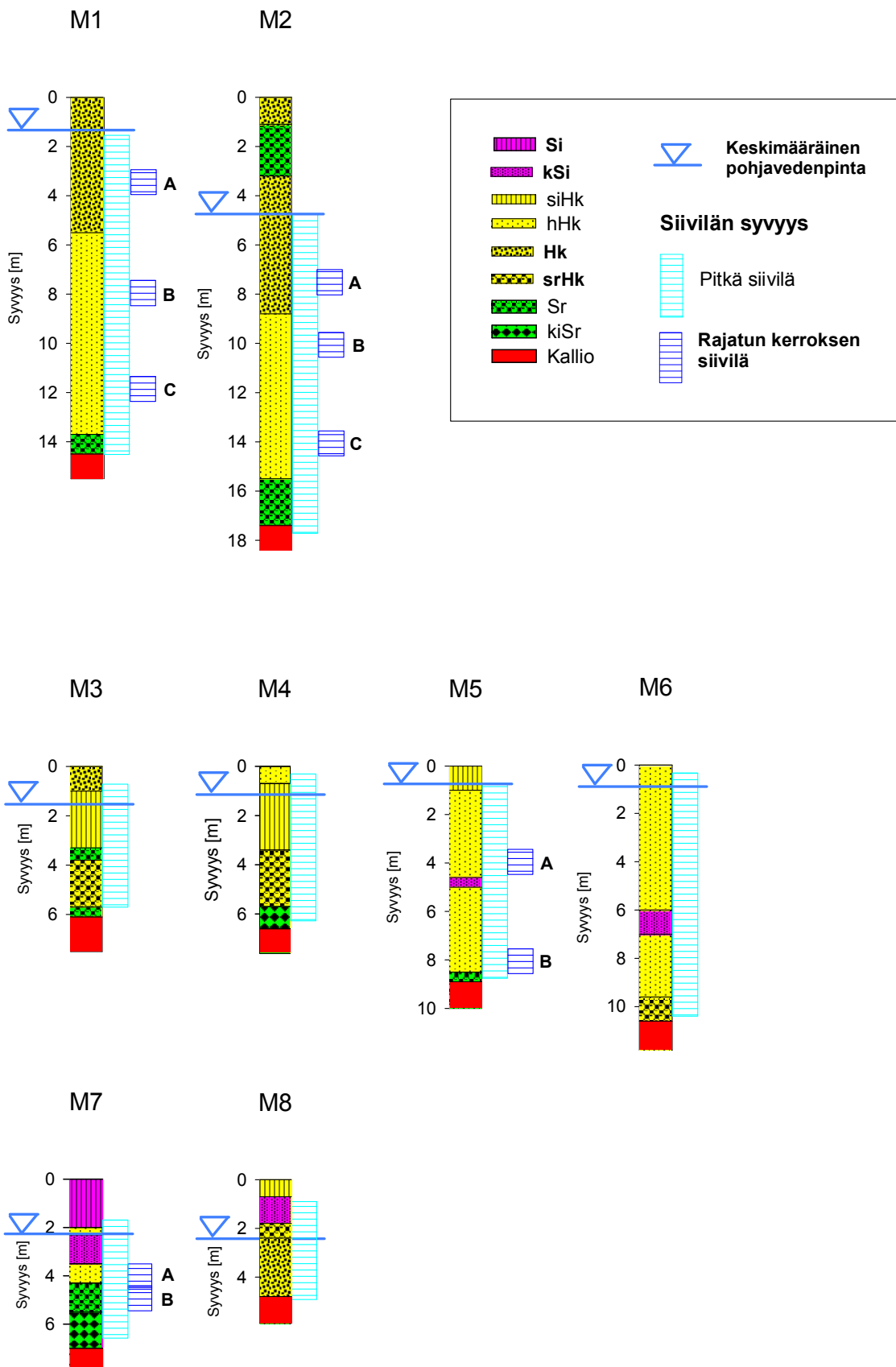
## 7 Yhteenveto ja johtopäätökset

1. Kaliumformiaattia käytettiin Kauriansalmen pohjavesialueella ainoana liukkaudentorjuntakemikaalina vuosina 2002–2009. Formiaattia ei päätynyt tutkimusalueen pohjaveteen tuona aikana.
2. Formiaatti hajoaa ympäristössä nopeasti hiilidioksidiksi ja vedeksi. Maaperässä alhaisissakin lämpötiloissa (-2 °C... +1 °C) tapahtuva nopea mikrobiologinen hajoaminen estää formiaatin päätyminen pohjaveteen. Myös pintavesissä formiaatin biohajoaminen on nopeaa, joten formiaatin käyttö liukkaudentorjunnassa aiheuttaa vain vähäistä orgaanisen aineen kuormitusta vesistöihin.
3. Runsaasti orgaanista ainesta sisältävä mikrobiologisesti aktiivinen maaperän pintakerros (joko luonnon oma maannos tai rakennettu nurmetus tms.) on formiaatin hajoamisen kannalta ensiarvoisen tärkeä. Tällöin hiekkaisessa maaperässä 1–2 m paksuinen pohjaveden pinnan yläpuolinen kyllästymätön vyöhyke on riittävä. Mikäli alueella (tienpientareet tms.), johon formiaattipitoista vettä päätyy, ei ole orgaanista ainesta sisältävää pintakerrosta ja maaperä on karkearakeista, kyllästymättömän vyöhykkeen tulee olla huomattavasti paksumpi (> 4 m).
4. ”Perinteisellä” näytteenottotekniikalla vakiosyvyydestä otettujen näytteiden kloridi- ym. pitoisuudet vastasivat pääsääntöisesti hyvin samasta syvyydestä packer-tekniikalla otettujen näytteiden pitoisuuksia. ”Perinteisellä” näytteenottotekniikalla pitkän siivilän havaintoputkesta eri aikoina otetut näytteet ovat siten keskenään vertailukelpoisia aikasarjoja tehtäessä. Rajattuihin kerroksiin asennettujen havaintoputkien asentaminen ja pitkän siivilän putkissa tehtävä packer-näytteenotto on kuitenkin välttämätöntä, mikäli tiesuolan kulkeutumista pohjavesimuodostumassa halutaan ymmärtää.
5. Kaliumformiaatti soveltuu hyvin liukkaudentorjuntaan tie- ja lentokenttäolosuhteissa. Kaliumformiaatin etuja natriumkloridiin verrattuna on sen tehokkuus mustan jään aiheuttaman liukkauden torjunnassa ja vähäisempi suolasumun muodostuminen liikenteessä. Polanteen poistamiseen kaliumformiaatin soveltuu natriumkloridia huomattavasti paremmin.
6. Kaliumformiaattia suositellaan käytettäväksi liukkaudentorjuntaan erityisesti tieosuuksilla, jotka sijaitsevat tärkeillä pohjavesialueilla, joilla suolaantumisen riski on suuri, ja lentokentillä kun liukkaudentorjunnan pinta- ja pohjavesivaikutuksia halutaan vähentää.
7. Kaliumformiaatin käytöllä voidaan merkittävästi vähentää talvihoidon pohjavesivaikutuksia. Jatkossa on suositeltavaa kiinnittää huomiota käytäntöihin, ratkaisuihin ja osaamiseen, joiden avulla kaliumformiaattia voidaan käyttää kustannustehokkaasti. Natriumkloridia voidaan yhä käyttää kaliumformiaatin rinnalla vähäisessä määrin myös pohjavesialueilla esimerkiksi polanteen poistoon.

## KIRJALLISUUS

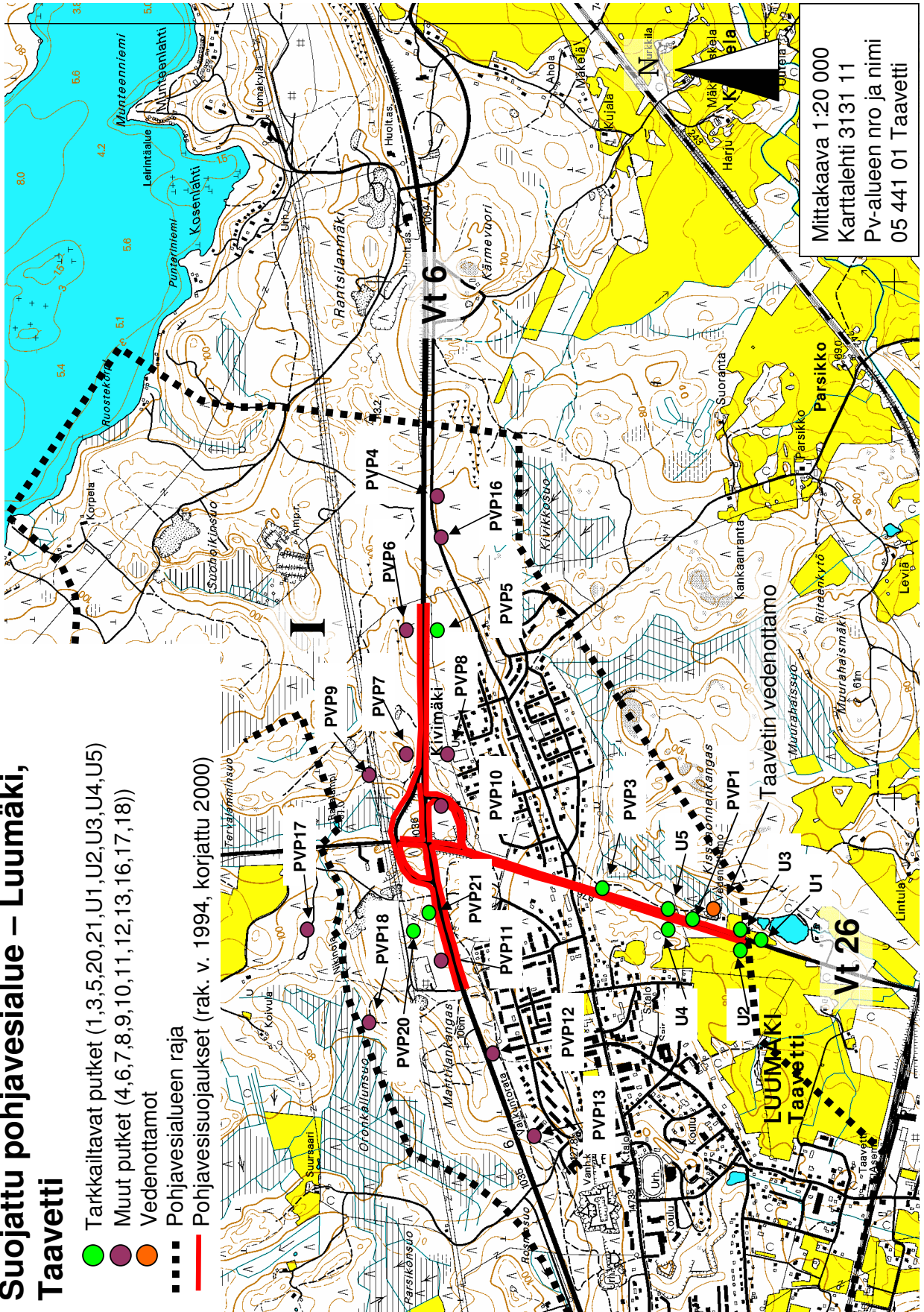
- Ahokas, H. & Tikkanen, E. 2000. Luiskasuojauksen vaikutuksista pohjaveden kloridipitoisuuteen eräissä kohteissa. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 42/2000. TIEL 4000262. Tiehallinto, Helsinki. 57 s.
- Alatyyppö, V., Aromaa, J. & Holmikari M. 2008. Kaliumformiaatin korroosiovaikutukset. Tiehallinnon julkaisuja 31/2008. Tiehallinto, Helsinki. 61 s.
- Etelämäki, H. 2004. Kokeellisten ja laskennallisten vedenjohtavuuden määrittämenetelmien vertailua Kauriansalmen pohjavesialueen maaperän vedenjohtavuuden selvittämisessä. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos. 160 s. + 82 liites.
- Hellstén, P. & Nystén, T. 2001. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kemialliset reaktiot pohjaveden kulkeutumisessa. Suomen ympäristö 515. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 65 s.
- Hellstén, P., Nystén, T., Kokkonen, P., Valve, M., Laaksonen, T., Määttä, T. & Miettinen, I. 2002. Vaihtoehtoisten liukkaudentorjunta-aineiden kulkeutuminen pohjavedeen. Suomen ympäristö 552. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 63 s.
- Hellstén, P., Nystén, T., Salminen, J., Grandlund, K., Huotari, T. & Vallinkoski, V.-M. 2004. Kaliumformiaatin hajoaminen maaperässä ja pohjavedessä, MIDAS-loppuraportti. Suomen ympäristö 675. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 53 s.
- Hellstén, P.P., Kivimäki, A.-L., Miettinen, I.T., Mäkinen, R.P., Salminen, J.M. & Nystén, T.H. 2005a. Degradation of potassium formate in the unsaturated zone of a sandy aquifer. *Journal of Environmental Quality* 34(5), 1665–1671.
- Hellstén, P.P., Salminen, J., Jørgensen, K.S. & Nystén, T.H. 2005b. Use of Potassium Formate in Road Winter Deicing Can Reduce Groundwater Deterioration. *Environmental Science and Technology* 39(13), 5095–5100.
- Hänninen, T., Kivimäki, A.-L., Liponkoski, M. & Niemi, A. 1994. Tiesuolauksen vaikutus tärkeillä pohjavesialueilla. Tilastollinen tarkastelu. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 70/1994. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki.
- Kaakkois-Suomen ympäristökeskus. 1996. Suomenniemen kunta – pohjavesialueet. Keski-Suomen vesi- ja ympäristöpiiri. 1996. Luumäen kunta – pohjavesialueet.
- Kallberg, V.-P. 1993. Teiden suolauksen vähentämiskokeilu Kuopion tiepiirissä. Tielaitoksen selvityksiä 86/1993. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki. 43 s + 4 liites.
- Kallberg, V.-P. 1995. Teiden suolauksen vähentämiskokeilu Savo-Karjalan tiepiirissä. Tielaitoksen selvityksiä 34/1995. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki. 50 s + 12 liites.
- Niemi, A., Kling, T., Vaittinen, T., Vahanne, P., Kivimäki, A.-L. & Hatva, T. 1994. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten simulointi tyyppimuodostumissa. Tielaitoksen selvityksiä 66/1994. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki. 60 s.
- Nystén, T., Granlund, K., Kivimäki, A.-L. & Tuominen, S. 1995. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten mallintamistutkimukset Miekkamäen alueella. Tielaitoksen selvityksiä 29/1995. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki. 116 s. + 90 liites.
- Nystén, T. & Hänninen, T. 1998. Tiesuolan pohjavesihaittojen vaikutuksista ja torjuntakeinoista. Suomen ympäristö 57. Suomen ympäristökeskus, Helsinki. 55 s.
- Nystén, T., Gustafsson, J. & Oinonen, T. 1999. Pohjaveden kloridipitoisuudet ensimmäisen Salpausselän alueella. Suomen ympäristö, ympäristön suojele, 331. Suomen ympäristökeskus, Helsinki, Finland. 76 s.
- Pohjois-Karjalan vesi- ja ympäristöpiiri. 1994. Kontiolahden kunta – pohjavesialueet. Pohjois-Savon ympäristökeskus. 1995a. Lapinlahden kunta – pohjavesialueet. Pohjois-Savon ympäristökeskus. 1995b. Suonenjoen kunta – pohjavesialueet.
- Raukola, T. 1994. Natriumkloridin vaihtoehtoja kemiallisessa liukkaudentorjunnassa. Kirjallisuusreferaatti Yhdysvalloissa tehdyistä tutkimuksista. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 35/1994. 43 s.
- Rautanen, H. 2007. Akviferin 3D hydrogeologiseen mallintamiseen tarvittava tieto ja sen tuottaminen, esimerkkinä Kauriansalmen akviferi Kaakkois-Suomessa. Pro gradu -tutkielma, Turun yliopisto, Geologian laitos. 90 s.
- Rautanen, H. 2008. Akviferin 3D hydrogeologiseen mallintamiseen tarvittava tieto ja sen tuottaminen. Pro gradu -esitelmä, Turun yliopisto. 28 s.
- Salminen, J. & Kalevi, K. 2008. Liukkaudentorjunta-aineet ja asfalttipäällysteet. LIUTA-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristö 38/2008, Ympäristönsuojele. Suomen ympäristökeskus. Julkaisu on saatavana ainoastaan verkkojulkaisuna verkko-osoitteessa [www.ymparisto.fi/syke/liuta](http://www.ymparisto.fi/syke/liuta). 42 s.
- Sipilä, J. & Mäkelä, O. 2006. Talvihoidon suoritteet ja kustannukset eri tietyypeillä. Tiehallinnon selvityksiä 35/2006. Tiehallinto, Helsinki. 37 s. + 5 liites.
- Vaittinen, K. 2003. Tiesuolalla kontaminoituneen Kauriansalmen pohjavesialueen tutkiminen geofysiikan sähköisin menetelmin. Pro Gradu työ. Oulun yliopisto, Geotieteiden laitos. 83 s + 21 liites.
- Yli-Kuivila, J., Kivimäki, A.-L. & Kinnunen, T. 1993. Tiesuolaus ja pohjavedet. Nykytilan selvitys. Tielaitoksen selvityksiä 49/1993. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki. 67 s + 8 liites.
- Yli-Kuivila, J. 1994. CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 34/1994. Liikenteen palvelukeskus, Tielaitos, Helsinki. 32 s.

**LIITE 1.** Suomenniemen Kauriansalmen pohjavesiputkien M1–M8 siivilöiden sijaintisyvyudet maanpinnasta sekä maainesprofiilit.



## Suojattu pohjavesialue – Luumäki, Taavetti

- Tarkkailtavat putket (1,3,5,20,21,U1,U2,U3,U4,U5)
- Muut putket (4,6,7,8,9,10,11,12,13,16,17,18)
- Vedenottamot
- Pohjavesialueen raja
- Pohjavesisuojaukset (rak. v. 1994, korjattu 2000)





## KUVAILULEHTI

Julkaisija	Suomen ympäristökeskus (SYKE)			Julkaisu-aika Lokakuu 2010
Tekijä(t)	Jani Salminen, Taina Nystén ja Sirkku Tuominen			
Julkaisun nimi	<b>Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet ja pohjavesien suojele – MIDAS2-hankkeen loppuraportti</b>			
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 22/2010			
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu			
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut				
Tiivistelmä	<p>Tässä raportissa luodaan katsaus vaihtoehtoisten liukkaudentorjuntakemikaalien pohjavesivaikutuksista tehtyyn tutkimukseen Suomessa sekä esitetään tuloksia Kauriansalmen (Suomenniemi), Taavetin (Luumäki) ja Jaamankankaan (Kontiolahti) pohjavesialueilta natriumkloridin ja kaliumformaatin käytön pohjavesivaikutusten seurantatuloksista. Lisäksi arvioidaan kaliumformaatin käytön kustannuksia suhteessa perinteisen tiesuolan käyttöön sekä pohjavesisuojausten käyttöön verrattuna.</p> <p>Kauriansalmen alueella kulkevalla valtatie 13:lla käytettiin kaliumformaattia ainoana liukkaudentorjuntakemikaalina vuodesta 2002 alkaen vuoden 2009 loppuun saakka.</p> <p>Kauriansalmen pohjavedestä ei löytynyt formaattia vuosina 2002–2009 tehdyn pohjavesiseurannan aikana. Pohjaveden kloridipitoisuudet laskivat muodostumatasolla keskimäärin 3,3 % vuodessa natriumkloridin käytön loputtua keväällä 2002. Kloridipitoisuuksien muutoksissa havaittiin vuosina 2002–2009 suuria pohjaveden havaintoputkikohtaisia eroja. Joissakin havaintopaikoissa kloridipitoisuuden lasku oli voimakasta, kun taas kahdessa havaintoputkessa korkeimmat kloridipitoisuudet mitattiin vuosia natriumkloridin käytön loppumisen jälkeen. Kaliumpitoisuuden noususta pohjavedessä saatiin ensimmäisiä viitteitä seurantajakson loppupuolella (vuosina 2007 ja 2009) kahden havaintoputken yksittäisistä näytteistä. Kauriansalmen pohjaveden orgaanisen aineen pitoisuudet nousivat tutkimusjakson aikana, vaikka vedestä ei löytynyt formaattia. Tutkimustulosten perusteella orgaanisen aineksen pitoisuuden nousu muodostuman pohjavedessä liittyi todennäköisimmin pohjaveden pinnan vaihteluihin ja luonnon orgaanisen aineksen huuhtoutumiseen pohjaveen syistä, jotka eivät liity liukkaudentorjuntaan.</p> <p>Myös Taavetin vedenottamalla kloridipitoisuus laski kaliumformaatin käyttöönoton (v. 2004) jälkeen. Sen sijaan Jaamankankaan pohjavedessä ei havaittu merkittäviä laadun muutoksia vuosina 2004–2009, jolloin alueella käytettiin kaliumformaattia.</p> <p>Tutkimustulokset osoittavat, että kaliumformaatti soveltuu käytettäväksi liukkaudentorjuntaan erityisesti tieosuuksilla, jotka sijaitsevat tärkeillä pohjavesialueilla, joilla suolaantumisen riski on suuri, ja lentokennillä, kun liukkaudentorjunnan pinta- ja pohjavesivaikutuksia halutaan vähentää. Edellytyksenä formaatin hajoamiselle maaperän kyllästymättömässä vyöhykkeessä on runsaasti orgaanista ainesta ja korkean mikrobiaktiivisuuden sisältävä maaperän pintakerros sekä riittävät kerrospaksuudet pohjaveden pinnan yläpuolella.</p>			
Asiasanat	liukkaudentorjunta, suola, kloridi, formaatti, biohajoaminen, tiet, lentokentät, pohjavesi, ympäristövaikutukset, veden laatu			
Rahoittaja/ toimeksiantaja	Suomen ympäristökeskus, Liikennevirasto, Finavia, K.H. Renlundin säätiö			
	ISBN	ISBN 978-952-11-3795-2 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1637 (verkkoj.)
	Sivuja 46	Kieli Suomi	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta (sis.alv 8 %)
Julkaisun myynti/ jakaja				
Julkaisun kustantaja	Suomen ympäristökeskus (SYKE) PL 140, 00251 HELSINKI Puh. 020 610 123 Sähköposti: neuvonta.syke@ymparisto.fi, www.ymparisto.fi/syke			
Painopaikka ja -aika				

## PRESENTATIONSBLAD

Utgivare	Finlands miljöcentral (SYKE)		Datum Oktober 2010	
Författare	Jani Salminen, Taina Nystén och Sirkku Tuominen			
Publikationens titel	<b>Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet ja pohjavesien suojelu – MIDAS2-hankkeen loppuraportti</b> (Alternativa halkbekämpningsmedel och skydd av grundvatten – Slutrapport av projektet MIDAS2)			
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 22/2010			
Publikationens tema	Miljövård			
Publikationens delar/andra publikationer inom samma projekt				
Sammandrag	<p>Denna rapport är ett sammandrag av undersökningar gjorda i Finland angående halkbekämpningsmedlens effekter på grundvatten. I rapporten presenteras också resultaten av en uppföljningsundersökning som beskriver verkningarna användningen av natriumklorid och kaliumformiat har haft på grundvattenområdena i Kauriansalmi (Suomenniemi), Taavetti (Luumäki) och Jaamankangas (Kontiolahti). Därtill beräknas kostnaderna av kaliumformiatets användning i förhållande till användning av vanlig vägsalt och anläggning av grundvattenskydd.</p> <p>Kaliumformiat har använts som det enda halkbekämpningsmedlet på vägen vt13 genom Kauriansalmi grundvattenområde från år 2002 till slutet av år 2009. I uppföljningsundersökningarna 2002–2009 har inget formiat observerats i Kauriansalmis grundvatten. Grundvattnets kloridhalter sjönk på formationnivå 3,3 % i medeltal per år efter det att användning av natriumklorid upphörde våren 2002. Stora skillnader i förändringarna i kaliumhalterna observerades i olika grundvattenrör. Nedgången i kloridhalterna var tydlig i vissa observationspunkter, men i två grundvattenrör mättes de högsta kloridhalterna på flere år efter det att natriumklorid användningen upphörde. De första antydningarna om ökade kaliumhalter i grundvattnet erhöles från enstaka samplen från två observationsrör i slutet av uppföljningsperioden (åren 2007 och 2009). Halten organiskt material ökade i grundvattnet i Kauriansalmi under undersökningsperioden, även om inget formiat kunde hittas i vattnet. Ökningen av organiskt material i formationens grundvatten berodde troligen på variationer i grundvattenytan höjd och på den naturliga utsköljningen av organiskt material, någonting som inte hänger samman med halkbekämpning.</p> <p>Kloridhalten i vattenverket i Taavetti sjönk även efter det att användningen av kaliumformiat påbörjades (2004). Åter igen i Jaamankangas har inga förändringar i grundvattenkvalitet kunnat observeras år 2004–2009, under den tid kaliumformiat användes i området.</p> <p>Forskningsresultaten av projektet MIDAS2 visar, att kaliumformiat lämpar sig väl för halkbekämpning i synnerhet på vägsträckor, som ligger på grundvattenområden och som är viktiga för vattenförsörjningen och ytterligare har hög risk för saltning, och på flygfält, när man önskar minska effekterna av halkbekämpningen på yt- och grundvatten. Formiat sönderfaller i markens omättade zon under förutsättning att det finns rikligt organiskt material och hög mikrobaktivitet i markens ytlager och tillräckligt tjocka jordlager ovanför grundvattenyta.</p>			
Nyckelord	halkbekämpning, salt, klorid, formiat, biologisk rening, vägar, flygfält, grundvatten, miljöeffekter, vattenkvalitet			
Finansiär/uppdragsgivare	Finlands Miljöcentral, Trafikverket, Finavia, K.H. Renlunds Stiftelse			
	ISBN	ISBN 978-952-11-3795-2 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1637 (online)
	Sidantal 46	Språk finska	Offentlighet Offentlig	Pris (inneh. moms 8 %)
Beställningar/distribution				
Förläggare	Finlands miljöcentral (SYKE) PB 140, 00251 Helsingfors Tfn. +358 20 610 123 Epost: neuvonta.syke@ymparisto.fi, www.miljo.fi/syke			
Tryckeri/tryckningsort och -år				

## DOCUMENTATION PAGE

<i>Publisher</i>	Finnish Environment Institute (SYKE)			<i>Date</i> October 2010
<i>Author(s)</i>	Jani Salminen, Taina Nystén and Sirkku Tuominen			
<i>Title of publication</i>	<b>Vaihtoehtoiset liukkaudentorjunta-aineet ja pohjavesien suojelu – MIDAS2-hankkeen loppuraportti</b> (Alternative deicing agents and ground water protection - final report of MIDAS2-project)			
<i>Publication series and number</i>	The Finnish Environment 22/2010			
<i>Theme of publication</i>	Environmental protection			
<i>Parts of publication/ other project publications</i>				
<i>Abstract</i>	<p>This report summarizes existing research on alternative deicing agents and their impacts on ground water in Finland. Furthermore, novel data from a 7-year follow-up study on the ground water quality at three areas (Kauriansalmi, Taavetti, and Jaamankangas aquifers) where potassium formate has been used as a sole deicing chemical are presented. Cost effects of potassium formate application on the total costs of winter road maintenance in comparison with traditional road salt and geosynthetic protections materials at valuable ground water areas in Finland are estimated.</p> <p>On highway 13, running along Kauriansalmi aquifer (Suomenniemi municipality, SW Finland), potassium formate was used as a sole deicer from 2002 until the end of 2009. During that period, no formate was found in the ground water at the area. The average chloride concentration in the formation has decreased on average by 3,3 % a year since sodium chloride application started in the late 1970's came to an end in 2002. The trends in chloride concentrations were highly variable in the monitoring wells. Some wells showed rapid decrease in chloride concentration while in two wells chloride concentration peaked some years after NaCl application had ceased. The first signs of increasing levels of potassium in the ground water were recorded in 2007 and 2009 in two individual samples from two monitoring wells. The concentration of organic carbon showed upward trend in the ground water in 2002–2009. The data, however, point to factors other than application of potassium formate (that is, changes in hydraulic head and discharge of natural organic matter into the ground water) behind these changes.</p> <p>At Taavetti municipal water intake, chloride concentration decreased sharply after 2004 when potassium formate was introduced in deicing at the area. At Jaamankangas aquifer, no changes in ground water quality could be seen in 2004–2009.</p> <p>This study shows that potassium formate can be applied in winter road maintenance in particular at sensitive ground water areas, with high risk for salinization, and at airports to minimize the adverse impacts on ground and surface water resulting from deicing. For the rapid biodegradation of formate in cold environment, organic surface layer with high microbial activity, and sufficient thickness of unsaturated zone, are required.</p>			
<i>Keywords</i>	de-icing, salt, chloride, formate, biodegradation, roads, airports, groundwater, environmental impacts, water quality			
<i>Financier/ commissioner</i>	Finnish Environment Institute, Finnish Transport Agency, Finavia, K.H. Renlund Foundation			
	ISBN	ISBN 978-952-11-3795-2 (PDF)	ISSN	ISSN 1796-1637 (online)
	<i>No. of pages</i> 46	<i>Language</i> Finnish	<i>Restrictions</i> Public	<i>Price (incl. tax 8 %)</i>
<i>For sale at/ distributor</i>				
<i>Financier of publication</i>	Finnish Environment Institute (SYKE) P.O.Box 140, FI-00251 Helsinki, Finland Tel. +358 20 610 123, fax +358 20 490 2190 Email: neuvonta.syke@ymparisto.fi, www.environment.fi/syke			
<i>Printing place and year</i>				



Tässä raportissa luodaan katsaus vaihtoehtoisten liukkaudentorjuntakemikaalien pohjavesivaikutuksista tehtyyn tutkimukseen Suomessa sekä esitetään tuloksia Kauriansalmen (Suomenniemi), Taavetin (Luumäki) ja Jaamankankaan (Kontiolahti) pohjavesialueilta natriumkloridin ja kaliumformiaatin käytön pohjavesivaikutusten seurantaloksista. Lisäksi arvioidaan kaliumformiaatin käytön kustannuksia suhteessa perinteisen tiesuolan käyttöön sekä pohjavesisuojausten käyttöön verrattuna.

Kaliumformiaattia suositellaan käytettäväksi liukkaudentorjuntaan erityisesti tieosuukilla, jotka sijaitsevat tärkeillä pohjavesialueilla, joilla suolaantumiseriski on suuri, ja lentokentillä kun liukkaudentorjunnan pinta- ja pohjavesivaikutuksia halutaan vähentää. Edellytyksenä formiaatin hajoamiselle maaperän kyllästymättömässä vyöhykkeessä on runsaasti orgaanista ainesta ja korkean mikrobiaktiivisuuden sisältävä maaperän pintakerros sekä riittävät kerrospaksuudet pohjaveden pinnan yläpuolella.

