



Tielaitos

Jukka Yli-Kuivila, Anna-Liisa Kivimäki, Timo Kinnunen

Talvi ja tieliikenne -projekti

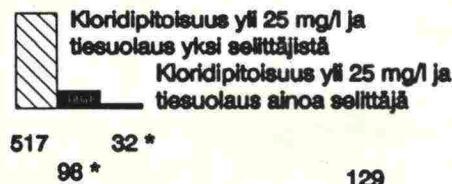
Tiesuolaus ja pohjavedet

Nykytilan selvitys

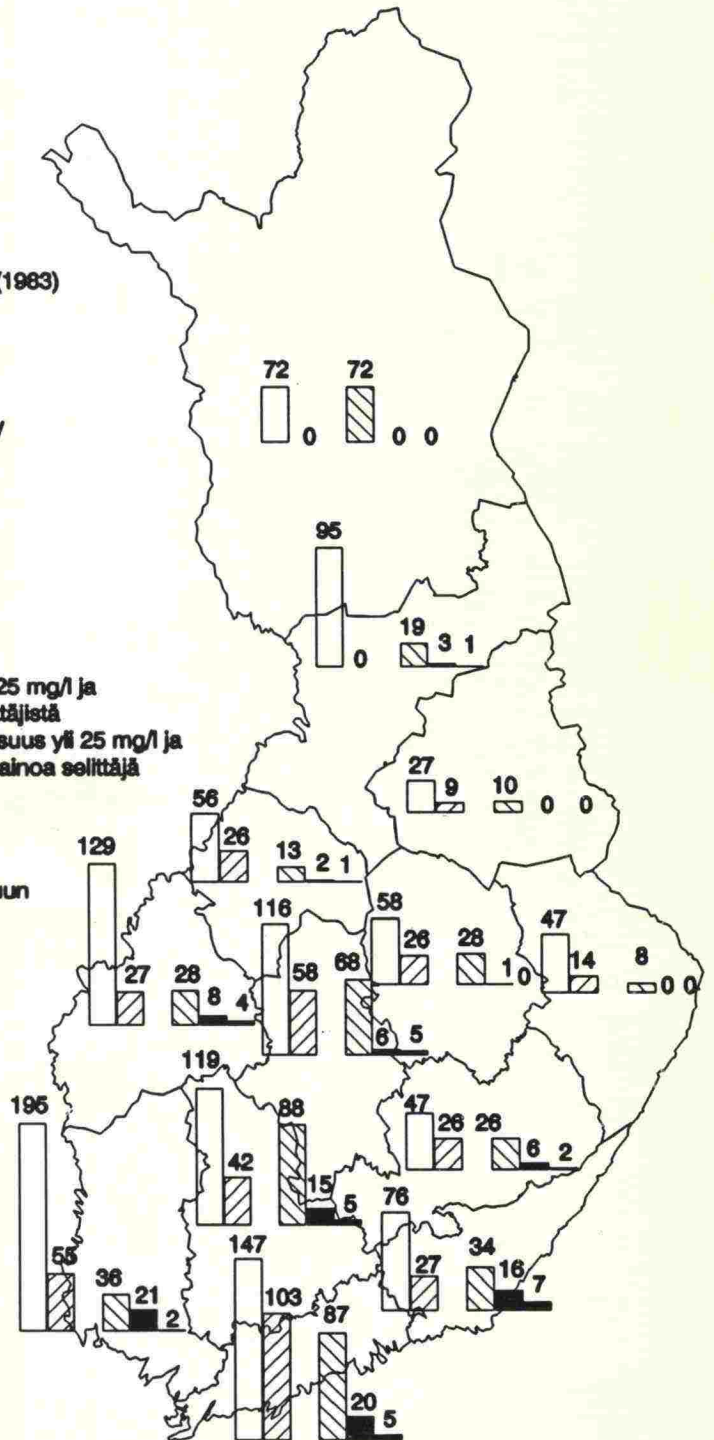
Tärkeät pohjaveealueet (1983)



Tiepiirien selvitykset



* Sisältyy edelliseen lukuun



Tielaitoksen
selvityksiä
49/1993

Helsinki 1993

Liikenteen
palvelukeskus

08 TIEL



Tielaitos
Kirjasto

Doknro: 931220
Nidenro: 931618

Tielaitoksen selvityksiä
49/1993

Jukka Yli-Kuivila, Anna-Liisa Kivimäki, Timo Kinnunen

Talvi ja tieliikenne -projekti

Tiesuolaus ja pohjavedet

Nykytilan selvitys

Tielaitos
Liikenteen palvelukeskus

Helsinki 1993

ISSN 0788-3722
ISBN 951-47-7691-7
TIEL 3200174
Painatuskeskus Oy
Helsinki 1993

Julkaisua myy:
Tielaitos, hallinnon palvelukeskus,
painotuotemyynti
Telefax (90) 1487 2652

Tielaitos
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puh. vaihde (90) 148 721

Asiasanat tiesuolat, pohjavesi, pohjaveden suojele, kunnossapito

Tiivistelmä

Raportin tavoitteena on selvittää tiesuolauksen aiheuttamat pohjaveden laatumuutokset ja luoda yleiskuva ongelmien suuruusluokasta ja suojaustoimenpiteiden tarpeesta. Keskeinen aineisto on saatu tiepiirien vuosina 1991-1992 teettämistä selvityksistä sekä vesi- ja ympäristöpiirien tekemästä valtakunnallisesta riskinarvioinnista. Riskinarviointi on tehty tärkeiden pohjavesialueiden osalta 10 vesi- ja ympäristöpiirissä.

Riskinarviointi tehtiin vesi- ja ympäristöhallituksessa kehitetyllä menetelmällä, jossa pisteytetään 11 tienpitoa, pohjavesialueen hydrogeologiaa ja alueen vedenhankintakäyttöä kuvaavaa tekijää. Riskinarvioinnin kohteena oli 469 pohjavesialuetta. Suolattavia tieosuusia on aineiston perusteella noin 45 prosentilla 1980-luvun alussa tärkeiksi luokitelluista pohjavesialueista. Helsingin, Turun ja Kymen vesi- ja ympäristöpiireissä on 62 pohjavesialuetta, joiden riskiluku voidaan luokitella huomattavan korkeaksi (yli 80, kun suurin mahdollinen on 120). Kaikkiaan näitä alueita on tarkasteltujen vesi- ja ympäristöpiirien alueella 85.

Tiepiirien selvityksissä tarkastelluista 517 pohjavesialueesta on 145:llä analysoitu vähintään 25 mg/l kloridipitoisuuksia. Tiesuolauksella on arvioitu olevan osuutta kohoneseen pitoisuuteen 98 pohjavesialueella, joista 32:lla tiesuolaus vaikuttaa ainoalta merkittävältä tekijältä. Koska veden laatua on seurattu lähinnä vedenottamoilta, voidaan olettaa, että useammankin pohjavesialueen jossain osassa kloridipitoisuus on kohonnut yli 25 mg/l:n. Tiesuolaus on pohjavesien kannalta suurin ongelma siellä, missä suolan käyttömäärätkin ovat olleet suurimpia, eli Uudenmaan, Turun, Hämeen ja Kymen tiepiireissä.

Tiepiirien raporttien perusteella on alustavasti arvioitu, että 85 pohjavesialueella tienpito ja tieliikenne ovat niin merkittävä riski pohjaveden laadulle, että pohjaveden suojelutoimet ovat erityisen tarpeellisia. Tiesuolauksen haittavaikutusten vuoksi on esitetty suojattavaksi 56 pohjavesialuetta. Suolauksen vähentämistä voidaan pitää ensisijaisena keinona 19 alueella ja lopuilla 37 alueella tiealueelta kertyvien vesien johtamista pois pohjavesialueelta. Näiden 37 alueen suojausten rakentaminen maksaisi noin 94 miljoonaa markkaa.

Keywords road salt, groundwater, maintenance

Summary

The aim of the report is to get a general idea of the effects of road salting on groundwater quality, the magnitude of problems and the need for protection measures. Crucial material has been collected and analysed by the Road Districts during the years 1991-1992. Risk Assessment for important groundwater areas has been completed in 10 Water and Environment Districts (of total 13). In this method 11 factors describing road maintenance, hydrogeology and exploitation of the aquifers are assessed and put in the scale.

The Risk Assessment is performed on 469 groundwater areas. The number covers most groundwater recharge areas with salted road sections and it corresponds to 45 % of important aquifers on districts under consideration. The Risk grade can be assessed to be remarkable high (over 80 of the maximum 120) on 85 groundwater areas. 62 of them are situated in Helsinki, Turku and Kyme Water and Environment Districts.

According to the material collected by the Road Districts, chloride concentration of the groundwater has been 25 mg/l or over in 145 aquifers of 517. It has been assessed that road salting has an effect on high chloride concentrations in 98 aquifers and is the only notable factor in 32 of them. Because the follow-up sampling is performed mostly on the intake plants, the chloride concentration is probable to be high in some parts of aquifers in greater number of groundwater recharge areas. High chloride concentrations are most widely spread in Uusimaa, Turku, Häme and Kyme Road Districts, where the use of salt is also the biggest.

Because of the road maintenance and traffic, groundwater protection measures are preliminary estimated to be especially essential in 85 groundwater recharge areas. Because of the risks of road salting, 56 groundwater recharge areas should be protected. The reduction of the use of salt could be the prime method of protection in 19 of these areas. In the remaining 37 areas melting waters should be drained away. The estimated construction costs for these 37 areas would rise to FIM 94 mill.

Alkusanat

Talousveden kloridipitoisuuksiin ei ennen 1990-lukua ole kiinnitetty suurtaakaan huomiota, koska ne vain poikkeustapauksissa ovat ylittäneet lääkintöhallituksen talousvedelle asettaman tavoitteellisen rajaarvon 100 mg/l. Pohjavesiemme kloridipitoisuustason nousu on kuitenkin todettu mahdolliseksi ongelmaksi, kun pitoisuuksia on alettu verrata suomalaisen suosituksen sijasta EY-suosituksen mukaiseen raja-arvoon 25 mg/l.

Tielaitos teetti tämän yhteenvetoraportin, jotta saataisiin kokonaiskuva siitä, missä osissa Suomea ja kuinka paljon tiesuolaus on vaikuttanut pohjaveden laatuun. Johdannoksi koottiin yleistä tietoa Suomen pohjavesistä ja ihmisen toiminnan vaikutuksesta pohjavesien kloridipitoisuuteen. Pääaineistona on käytetty tiepiirien vuosina 1991-1992 teettämiä selvityksiä. Alueellisista raporteissa esitetyt tulokset koottiin keskenään vertailukelpoiseen muotoon.

Tiepiirien selvitysten vertailuaineistona käytettiin tuloksia, jotka on saatu valtakunnallisesti yhtenäisellä menetelmällä tehdystä tiesuolauksen pohjavesiriskin arvioinnista. Riskinarvioinnissa tarvittavaa aineistoa ovat yhteistyönä koonneet vesi- ja ympäristöpiirit ja tiepiirit. Varsinainen riskinarviointi on tehty vesi- ja ympäristöpiireissä. Työtä on ohjannut ja koordinoanut vesi- ja ympäristöhallitus.

Raportin on pääosin laatinut DI Jukka Yli-Kuivila Suunnittelukeskus Oy:stä. FK Timo Kinnunen Suunnittelukeskus Oy:stä on toiminut hydrogeologian asiantuntijana ja avustanut raportin laadinnassa. FK Anna-Liisa Kivimäki vesi- ja ympäristöhallituksen kuntatoimistosta on kirjoittanut luvun 5 ja muiltakin osin avustanut raportin laadinnassa. DI Tapani Suomela vesi- ja ympäristöhallituksen kuntatoimistosta on kirjoittanut luvun 9.1.

Raportin laadintaa on ohjannut johtoryhmä, johon ovat kuuluneet: DI Anne Leppänen, DI Pasi Jääskeläinen, DI Olli Penttinen ja arkkitehti Anders HH Jansson tielaitokselta, FT Tuomo Hatva ja DI Tapani Suomela vesi- ja ympäristöhallituksesta, DI Jorma Pääkkönen Suunnittelukeskus Oy:stä ja DI Jukka Tarkkala LT-Konsultit Oy:stä.

Helsingissä lokakuussa 1993

Liikenteen palvelukeskus

Talvi ja tieliikenne -projekti
Projektipäällikkö Anne Leppänen

Sisältö

1	TAUSTATIETOA SUOMEN POHJAVESISTÄ	9
1.1	Pohjavesialueet ja vedenkäyttö	9
1.2	Pohjaveden laatua vaarantavat tekijät	10
1.3	Pohjaveden luontainen natrium- ja kloridipitoisuus	11
1.4	Kloridi- ja natriumpitoisuuden vaikutus pohjaveden käyttökelpoisuuteen	15
2	IHMISEN VAIKUTUS POHJAVESIEN KLORIDIPITOISUUTEEN	17
2.1	Yleistä	17
2.2	Teiden suolaus	18
2.3	Taajamat	21
2.4	Teollisuus	22
2.5	Vedenotto ja käsittely	22
2.6	Haja-asutus ja maatalous	23
2.7	Muut toiminnot	23
3	POHJAVEDEN KLORIDIPITOISUUDEN KOHOAMISSYYN ARVIOINTI	24
4	TIESUOLAN KULKEUTUMINEN POHJAVESIESIINTYMÄSSÄ	27
5	VALTAKUNNALLINEN RISKINARVIOINTI TIESUOLAUKSEN POHJAVESIHAITOISTA	30
5.1	Tavoitteet ja toteutus vesi- ja ympäristöpiireissä	30
5.2	Riskiluvun määrittäminen	31
5.3	Riskinarvioinnin tuloksia	32
5.4	Virhelähteitä valtakunnallisessa riskinarvioinnissa	36
6	TIEPIIRIKOHTAISET SELVITYKSET TIESUOLAUKSEN POHJAVESI-VAIKUTUKSISTA	37
6.1	Selvitysten lähtökohdat	37
6.2	Selvitykset tiepiireittäin	38
6.3	Valtakunnallinen yhteenveto tuloksista	43
7	TIEPIIRIEN SELVITYSTEN JA VALTAKUNNALLISEN RISKINARVIOINNIN VERTAILU	46

8	KEINOT TIESUOLAUKSEN HAITTAVAIKUTUSTEN PIENENTÄMISEKSI LÄHITULEVAISUUDESSA	49
8.1	Tiealueiden suojaus	49
8.2	Suolamäärien vähentäminen	53
8.3	Korvaavat kemikaalit	54
9	VIRANOMAISVALVONNAN NÄKÖKOHTIA	55
9.1	Vesilain soveltaminen pohjavesien suolaantumistapauksissa	55
9.2	Veden laadun heikkenemisen korvaus	57
10	YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	58
11	KIRJALLISUUSLUETTELO	61
12	LIITTEET	67

1 TAUSTATIETOA SUOMEN POHJAVESISTÄ

1.1 Pohjavesialueet ja vedenkäyttö

Pohjavesivaroista noin puolet sijaitsee vuonna 1983 tärkeiksi luokitelluilla pohjavesialueilla. Näiden alueiden yhteisantoisuudeksi on arvioitu noin 4 miljoonaa kuutiometriä vuorokaudessa. /60/ Pohjavesiesiintymämme ovat enimmäkseen pienehköjä ja erillään toisistaan. Esiintymän antoisuus riippuu mm. muodostumisalueen pinta-alasta, sadannasta ja haihdunnasta, maaperäolosuhteista, pintavesivalunnasta ja pintavesien pääsymahdollisuudesta esiintymään (rantaimeytyminen ym.).

Pohjaveden tasalaatuisuus, puhtaus ja edullisuus lisäävät sen käyttöä suhteessa pintavesiin. Joillakin vedenottamoilla raakavesi on niin hyvälaatuista, että sitä voidaan sellaisenaan johtaa verkostoon. Useimmin käsitteilyä tarvitaan pH:n säätämiseksi tai raudan ja mangaanin poistamiseksi.

Vuonna 1992 yhdyskuntien käyttämästä vedestä 45 % oli varsinaista pohjavettä ja 9 % tekopohjavettä. Teollisuuden, sairaaloiden ja muiden laitosten vedenkäytöstä sisältyy edellä mainittuihin lukuihin vain osa. /61/ On arvioitu, että vuoteen 2010 mennessä pohjaveden ja tekopohjaveden osuus yhdyskuntien käyttömäärästä on jo 70 %. Vesi- ja ympäristöpiireittäin pohjaveden osuus vaihtelee välillä 38 - 90 %. Suomessa on noin 1 200 pohjavettä käyttävää yhdyskuntien vedenottamoita. Vedenottamoiden kokonaismäärästä noin 92 % käyttää pohjavettä /64/, joten pintavedenottamot ovat keskimäärin selvästi pohjavedenottamoita suurempia. Lisäksi noin 300 000 haja-asutusalueen talouden /12/ ja arviolta 400 000 kesäasunnon vesihuolto perustuu pohjaveteen.

Pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitustyö on käynnissä. Tärkeiksi pohjavesialueiksi on aikaisemmin luokiteltu alueet, joilta vähintään 200 ihmistä ottaa talousvetensä. Nykyinen määritelmä laajentaa tärkeisiin kuuluvaksi kaikki alueet, joilla on vähintään 10 asunnon vesilaitos. /2/ Vanhan määritelmän mukaisia jo aiemmin tutkittuja tärkeitä alueita on noin 1200. Uuden jaottelun mukainen pohjavesialueiden kartoitus valmistuu maastotöiden osalta pääosin vuoden 1993 aikana. Taulukossa 1 esitetään nykyiset luokituskriteerit.

Taulukko 1: Pohjavesialueiden luokitus /2/

I Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue	<ul style="list-style-type: none"> * Alueen vettä ottaa vesilaitos, johon on liittynyt tai 20-30 vuoden aikana liittyy vähintään kymmenen taloutta. * Vastaavan kokoinen muuta talousvettä toimittava laitos. * Pakattua talousvettä toimittava laitos. * Aluetta tarvitaan varauduttaessa kriisiaikojen veden tarpeeseen.
II Vedenhankintaan soveltuva pohjavesialue	<ul style="list-style-type: none"> * Alueelle ei toistaiseksi ole osoitettavissa käyttöä vedenhankinnassa. * Alueen antoisuus on yli 250 m³/d tai sillä on alueellista merkitystä vedenhankinnan kannalta. * Alueen käyttöönotto ei vielä ole taloudellisesti kannattavaa.
III Muu pohjavesialue	Alueen hyödyntämiskelpoisuuden arviointi edellyttää lisätutkimuksia. Jos lisätutkimuksissa todetaan alueen soveltuvan vedenhankintaan, se siirretään luokkaan I tai II; muussa tapauksessa se voidaan jättää luokituksen ulkopuolelle.

1.2 Pohjaveden laatua vaarantavat tekijät

Vesijohtoveden hyvä laatu ja vedenjakelun toimintavarmuus ovat kehittyneiden yhdyskuntien perusvaatimuksia. Saastumaan päässeen pohjavesiesiintymän saaminen ennalleen vie paljon aikaa, on kallista ja saattaa olla jopa mahdotonta. Siksi pilaantumisriskit on minimoitava vedenottoon soveltuvien pohjavesialueiden maankäyttöä ohjaamalla ja toimintoja valvomalla. Keskeiset pohjavesien suojelumääräykset ovat vesilain pykälissä 1:18, 1:22 ja 9:20. Niiden mukaan kiellettyjä ovat toimenpiteet, jotka joko välittömästi tai jatkuessaan voivat aiheuttaa veden laadun vahingollista muuttumista.

Suurimpia uhkia pohjavesille ovat sellaiset luonnossa hitaasti hajoavat aineet, jotka ovat vaarallisia pieninäkin pitoisuuksina. Kyseisiä aineita on takavuosina saatettu käyttää huomattavia määriä teollisuuslaitoksilla ja varastoalueilla kiinnittämättä huomiota niiden mahdollisiin ympäristövaikutuksiin. Tiukentuneesta valvonnasta huolimatta niiden käyttöön liittyy

edelleenkin onnettomuus- ja huolimattomuusriski. Kaatopaikat ovat riski ainakin lähialueensa pohjavesille, koska niiden vesitaloutta ei yleensä riittävästi hallita. Monille vanhoille kaatopaikoille on lisäksi viety ongelmajätteitä muun jätteen mukana. Vesi- ja ympäristöpiirit ja kunnat selvittivät mahdollisesti saastuneiden maa-alueiden sijainnin vuosina 1990-92. Pohjavesialueilla todettiin olevan noin 300 kaatopaikkaa /27/.

Soranotto saattaa heikentää maan luontaista puhdistusmekanismia niin, että pohjavesi likaantuu alueen kautta. Karjan lanta, maanviljelyksen lannoitteet ja torjunta-aineet saattavat heikentää pohjaveden laatua. Yhdyskuntien käyttämään pohjaveteen liittyvät terveyshaitat ovat useimmiten johtuneet viemärivuotojen aiheuttamasta mikrobien esiintymisestä vedessä. Näistä on aiheutunut jakelun keskeytyksiä, mutta ne eivät ole johtaneet vedenottamon lopulliseen sulkemiseen. /62/

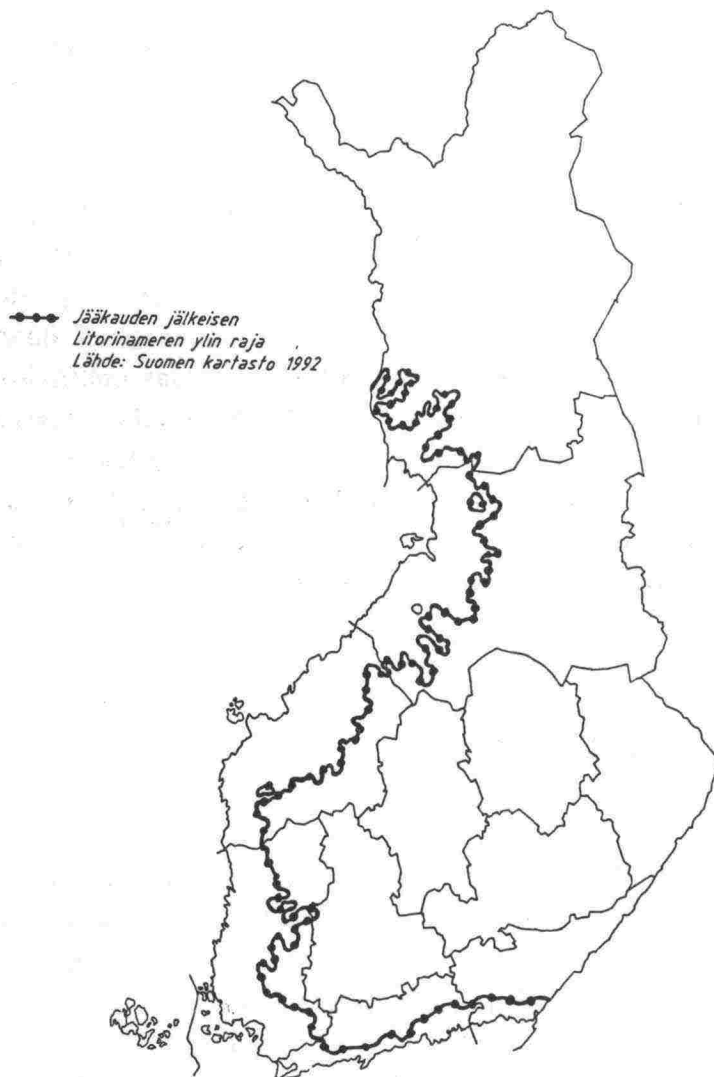
Jos vaarallisen aineen maantiekuljetukselle sattuu vakava onnettomuus pohjavesialueella, voi pahimmillaan laajankin alueen pohjavesi pilaantua erittäin pitkäksi aikaa. Pohjaveden kannalta vaarallisia aineita kuljetetaan lähes kaikilla päätteillä. /19/ Tavallisessakin onnettomuudessa voi maahan päästä joitakin kymmeniä tai satoja litroja polttoainetta. Jos polttoaine ei haihtuisi, hajoaisi eikä pidäytyisi maaperään, voisi 50 litran päästö tasaisesti levittäytyessään nostaa miljoonan vesi-m³ mineraaliöljypitoisuuden yli lääkintöhallituksen suositusrajan. Jos maannoskerros on paksu tai pohjavedet hienoaineksen suojaamia, saadaan suurtenkin vuotojen yhteydessä vaarallisten aineiden pääsy pohjavesiin yleensä estettyä.

1.3 Pohjaveden luontainen natrium- ja kloridipitoisuus

Kloridia on kallioperässä lähinnä eräissä kiilteissä ja amfiboleissa. Natriumia esiintyy kallioperän kivilajeissa huomattavasti yleisemmin. Kivilajivaihtelut eivät kuitenkaan juuri vaikuta kloridin tai natriumin esiintymiseen pohjavedessä. Suolojen liukeneminen mineraaliaineksesta on hyvin hidasta. Mitä hienompaa maalaji on rakeisuudeltaan, sitä hitaampaa on veden virtaus, sitä enemmän on reaktiopintaa veden ja mineraalien välisille reaktioille ja sitä tehokkaampaa on aineiden liukeneminen. Mineraalikoostumus vaikuttaa veteen liukenevien suolojen laatuun. /16/ Pohjavettä, johon on liuennut runsaasti kloridia mineraaliaineksesta, voi esiintyä lähinnä peitteisen kallion raoissa, joissa veden vaihtuvuus on hyvin vähäistä.

Korkean kloridipitoisuuden ainoa merkittävä luontainen aiheuttaja esiintymisissä, joissa vesi vaihtuu suhteellisen nopeasti, on vanha tai nykyinen

yhteys mereen. Luontaisesti kohonneet kloridipitoisuudet ovat yleisimpiä nykyistä Itämeren edeltäneen suolaisen Litorinameren vaikutuspiirissä. Litorinameren korkein rantaviiva ilmenee kuvasta 1. Meren pohjalle laskeutuneen saven huokosiin ja savikerrosten alapuolelle varastoitunut vesi voi sisältää kloridia useita satoja milligrammoja litrassa. Yleisesti voidaan todeta, että savipeitteisissä esiintymissä suolapitoisuudet ovat usein yli 25 mg/l. /6/ Mereen rajoittuvissa pohjavesiesiintymissä voi kloridipitoisuus kohota sen seurauksena, että merivettä suotautuu esim. myrskyn tai vedenoton seurauksena pohjavesiesiintymään.



Kuva 1: Jääkauden jälkeisen Litorinameren ylin raja

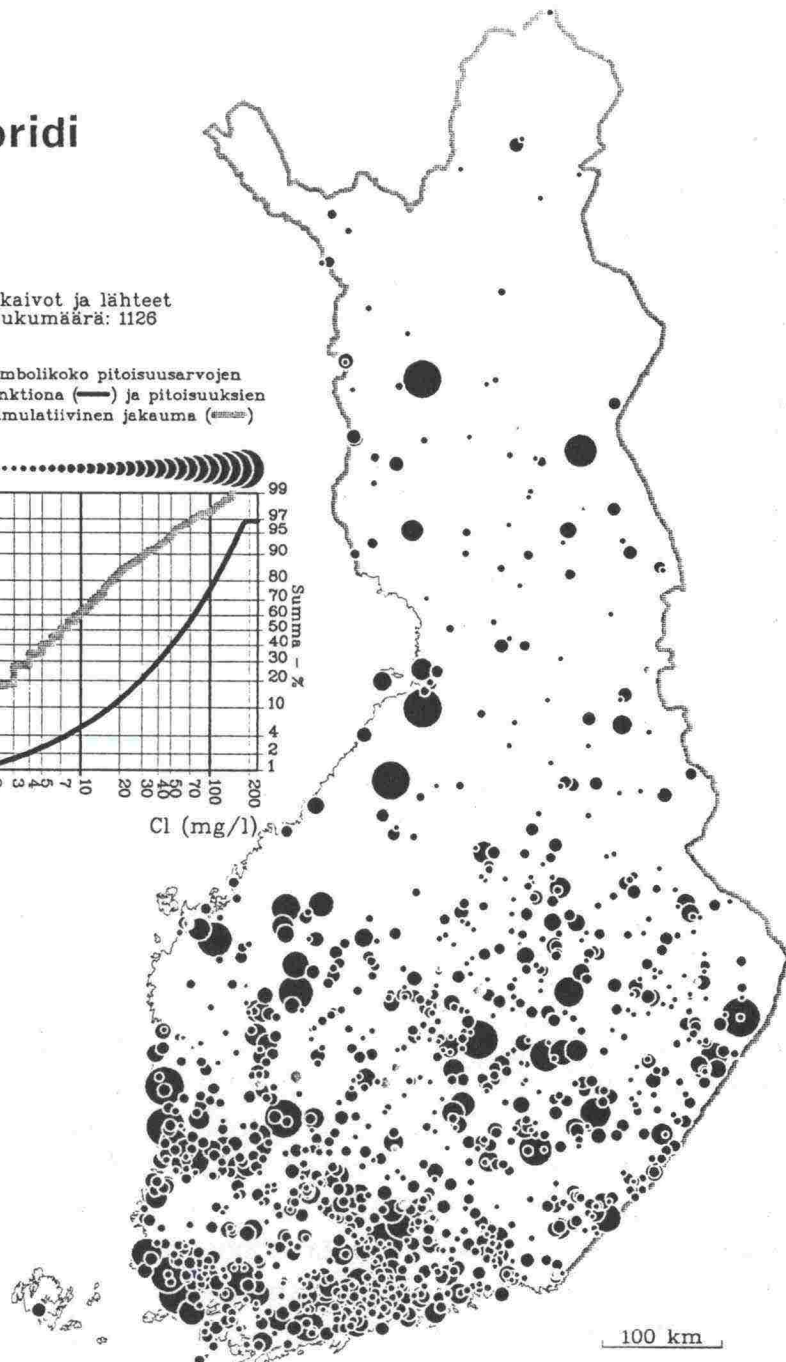
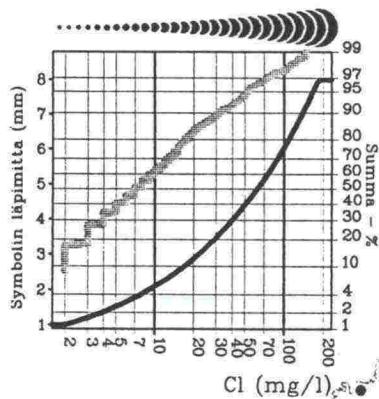
Luonnontilaisilla ympäristöönsä purkavilla hiekka- ja soraesiintymillä pohjaveden kokonaissuolapitoisuus on muutamia milligrammoja litrassa. Kloridin mediaaniarvo Suomen luonnontilaisissa pohjavesiesiintymissä on 1,5 mg/l ja natriumin 2,2 mg/l /29/. Sisämaassa näille alueille kulkeutuu 20 - 70 % kloridista ilman kautta. /7/.

Ilmaan suolat ovat joutuneet pääosin meriveden mikropisaroiden mukana. Kloridilaskeuma on vuosina 1971-1982 ollut maan etelä- ja keskiosissa 20 - 50 mg/m²/kk, pohjoisosissa 20 - 30 mg/m²/kk ja Jäämeren vaikutusalueella 28 - 36 mg/m²/kk. /7/ Sadeveden kloridipitoisuuden valtakunnallinen mediaaniarvo on 0,7 mg/l ja natriumin 0,2 mg/l /29/. Käytössä olevien kaivojen ja vedenottamoiden kloridipitoisuustaso on kuitenkin vain poikkeustapauksissa luontainen. Kuvasta 2 ilmenee kloridipitoisuuden jakauma kuilukaivoissa ja lähteissä Suomessa /12/.

Kloridi

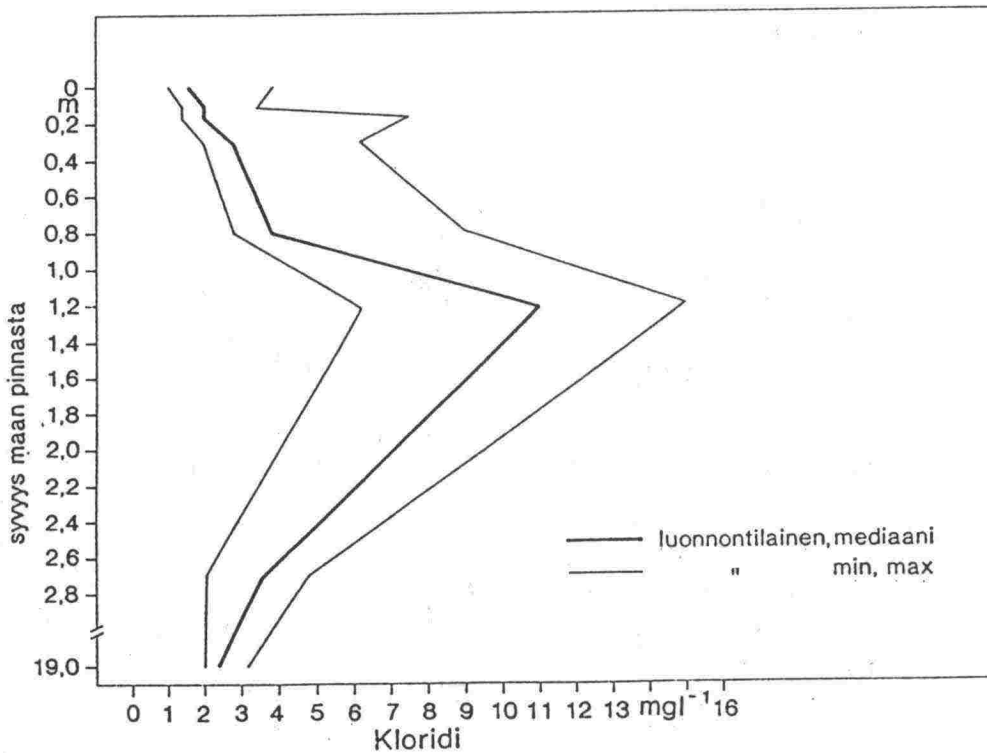
Kuilukaivot ja lähteet
Pistelukumäärä: 1126

Symbolikoko pitoisuusarvojen
funktiona (—) ja pitoisuuksien
kumulatiivinen jakauma (.....)



Kuva 2: Kloridipitoisuus kuilukaivoissa ja lähteissä /12/

Kloridipitoisuuden on todettu olevan maan pintaosien vajovedessä suurempi kuin sadevedessä, mutta varsinaisessa pohjavedessä jälleen lähellä sadeveden pitoisuutta (kuva 3). Vajovesivyöhykkeessä veden kloridipitoisuus vaihteli melko paljon mm. sateiden seurauksena, mutta pohjavedessä pitoisuus oli melko tasainen. Haihdunta selittää vajoveden rikastumisen. /28/



Kuva 3: Vajoveden kloridipitoisuus eri syvyyksillä (0 m = laskeuma, 19 m = pohjavesi) /28/

Vuosina 1949-61 suorittettujen pohjavesitutkimusten /23/ ja Suomen geokemian atlaksen /15/ tietojen perusteella ei pohjaveden kloridipitoisuudessa ole koko maan mittakaavassa tapahtunut merkittäviä muutoksia. Tätä tukee myös luonnontilaisilla pohjavesialueilla vuosina 1975-81 tehdyt tutkimukset. /29/ Keski-Pohjanmaan ja Vaasan tiepiirit selvittivät kloridipitoisuuden kehittymistä sellaisilla vedenottamoilla, joiden valuma-alueella ei ollut suolattavia teitä. Havaintoja oli parhaimmillaan yli 20 vuoden ajalta. Näilläkin vedenottamoilla kloridipitoisuudella ei ollut havaittavissa nousevaa trendiä. /38, 57/

1.4 Kloridi- ja natriumpitoisuuden vaikutus pohjaveden käyttökelpoisuuteen

Natrium ja kloridi ovat ihmiselle välttämättömiä nestetasapainon ylläpidon, sydämen ja lihasten toiminnan säätelyn sekä happo-emäs-tasapainon kannalta. Makukynnys on sekä kloridilla että natriumilla noin 300 mg/l. Suomalaiset saavat ravinnostaan suolaa päivässä keskimäärin 10 000 milligrammaa, josta kloridia on noin 6 000 milligrammaa. /26/ Juomavedestä saatavalla kloridimäärällä ei elimistön kannalta ole merkitystä (maksimissaan noin 5 % keskimääräisestä päiväannoksesta).

Lääkintöhallitus on vuoden 1991 alkupuolella asettanut talousveden kloridipitoisuuden tavoitteelliseksi enimmäisarvoksi 100 mg/l. /21/ EY on asettanut vastaavaksi arvoksi 25 mg/l, jonka myös Suomen kaupunkiliitto vuoden 1991 lopulla asetti omaksi selvitysrajasuositukseksi. Natriumille Lääkintöhallituksen asettama laatutavoite on 150 mg/l.

Tiettyjä sydän- ja verisuonitauteja sairastaville ei suositella veden nauttimista, jos siinä on natriumia yli 20 mg/l. Kasvihuoneviljelyssä kasteluveden kloridipitoisuuden ylärajaksi suositellaan 20 mg/l. Yleensä kasteluun voi kuitenkin käyttää vettä, jonka kloridipitoisuus on jopa 400 mg/l. Kloridi on välttämätön ravinne kasvien yhteyttämiseksi, mutta sitä on maassa kasvien kannalta luontaisesti riittävästi. Suuret natriumpitoisuudet heikentävät veden pidättymistä maahan.

Suomalaiset pohjavedet ovat yleensä erittäin pehmeitä. Rannikon läheisyydessä, moreenialueilla ja savikerrosten alla esiintyy kovia vesiä. Pehmeissä vesissä alkaliteetti on pieni, jolloin pienehkötkin kloridipitoisuudet voivat aiheuttaa syövyttävyyden lisääntymistä. Muutkin tekijät voivat nostaa veden syövyttävyyttä. Taulukossa 2 on esitetty valtakunnallisessa kaivo-vesitutkimuksessa /12/ käytetyt korroosivaikutusten kriteerit. Mikäli vesi ei täyttänyt kaikkia taulukon 2 suosituksia, sitä pidettiin syövyttävänä.

Taulukko 2: Kaivoveden syövyttävyyden arviointikriteerit /12/

Suure	Suositusalue
pH	> 7,0
Alkaliteetti	> 0,6 mmol/l
Kovuus	> 0,54 mmol/l (> 3,0 °dH)
Kloridi	< 25 mg/l
Sulfaatti	< 50 mg/l
Alumiini	< 0,2
Korroosioindeksi ¹⁾	≥ 1,5

$$^1) \text{ Korroosioindeksi} = \frac{\text{Alkaliteetti}}{\text{Kloridi}/35,4 + \text{Sulfaatti}/48,0}$$

Alkaliteetti yksikössä mmol/l, kloridi ja sulfaatti yksikössä mg/l

Vesihuoltolaitteiden syöpmisen seurauksena veteen tulee lähinnä rautaa, kuparia ja sinkkiä. Terveystieteistä haittaa näistä ei yleensä aiheudu, mutta rauta-, kupari-, sinkki- ja mangaanisakat saattavat värjätä pyykkiä ja kylpyhuonekalusteita.

Vesilaitoksella voidaan korkean kloridipitoisuuden vaikutusta eliminoida käsittelemällä vesi siten, että sen pH-arvoa nostettaessa alkaliteetti nousee mahdollisimman paljon. Jos veden kovuus ja hiilidioksidipitoisuus ovat alhaisia, voidaan alkaliteettiä nostaa soodan syötöllä tai kalkkikivisuodatuksella. Yksittäisissä kaivoissa vastaavan tyyppisillä vesillä voidaan veden alkaliteettiä nostaa erillisellä alkalointilaitteistolla tai lisäämällä kaivon pohjalle ja ympärille kalkkikivimurskaa. /5/ Jos käyttövesi on kovaa, saostuu kalkkia lämminvesilaitteisiin.

Yli 50 mg/l:n kloridipitoisuuden korroosiota lisäävää vaikutusta on vaikea vesilaitoksillakaan eliminoida. Vesilaitoksella voidaan kloridi poistaa vedestä käänteisosmoosilaitteistolla. Suomessa menetelmä on käytössä ainakin Luumäen kunnan Jurvalan vedenottamolla (otettu käyttöön vuonna 1993 alusta). Laitteiston rakennuskustannukset olivat siellä noin 300 000 markkaa (verkostoon pumpattu vesimäärä noin 100 m³/d). Käyttökustannukset ovat jonkin verran normaalia suuremmat, koska vesi joudutaan pumppaamaan kahteen kertaan ja noin viidennes käsitellystä vedestä menee jätevedeksi. /9/

Valtakunnallisessa kaivovesitutkimuksen /12/ aineistossa kloridipitoisuus oli 15 %:ssa yksittäisistä kaivoista yli 25 mg/l ja 3,3 %:ssa yli 100 mg/l. Pitoisuuden 100 mg/l ylitykset olivat porakaivoissa yleisempiä kuin rengaskaivoissa. Taulukossa 2 esitetty suositus korroosioindeksiksi jäi täyttämättä 55 % kaivoista.

2 IHMISEN VAIKUTUS POHJAVESIEN KLOORIDIPITOISUUTEEN

2.1 Yleistä

Valtakunnallisella tasolla tarkastellen on natriumkloridi merkittävin kloridin pohjavesikuormituksen lähde /67/. Kloridi ei pidäty maaperään, vaan kulkee veden virtausten mukana; natriumia saattaa osittain pidettyäkin. Natriumia ei pidetä yhtä suurena uhkana pohjavesille kuin kloridia.

Kaikki Suomessa käytettävä natriumkloridi tuodaan ulkomailta ja tullilaitos pitää kirjaa tuontimääristä. Vuosina 1978-92 on tuotu 430 000 - 720 000 tonnia vuodessa. Vaikka suolan hankintamäärissä on ollut huomattavaa vaihtelua on sen käyttö ollut tasaisempaa, keskimäärin 610 000 tonnia vuodessa. Parina viime vuotena tuontimäärät ovat selvästi laskeneet paperiteollisuuden vähentäessä kloorinkäyttöään ja tielaitoksen suolankäyttöään. /66, 58/

Natriumkloridia käytettiin Suomessa vuonna 1989 noin 630 000 tonnia. Merkittävimpiin käyttötarkoituksiin sitä kului seuraavasti /66, 25, 31/:

- kloorialkaliteollisuus	393 000 tonnia
- teiden liukkaudentorjuntaan	132 000 tonnia
- elintarvikehuoltoon	45 000 tonnia
- lannoite- ja tekstiiliteollisuus	32 000 tonnia
- katujen kunnossapitoon	14 000 tonnia

2.2 Teiden suolaus

Teiden liukkauden torjuntaan käytetään lähes yksinomaan natriumkloridia. Tiesuola voidaan luokitella pohjavesiriskiksi, koska suolaa joudutaan käyttämään laajasti ja suurina määrinä. Suolauksen seurauksena pohjaveden kloridipitoisuus usein nousee tien lähialueella. Jotta pohjavesi luokiteltaisiin vesilaissa määritetyllä tavalla pilaantuneeksi, pitäisi kloridin tai natriumin pitoisuus kuitenkin olla korkea.

Suolauksella pyritään liikenneturvallisuuden parantamiseen ja liikenteen sujuvuuden turvaamiseen talvisaikaan. Liikenteen sujuvuuden merkitys kasvaa liikennemäärien kasvaessa. Tiestö on jaoteltu kunnossapitoluokkiin, jotka määrittelevät liukkaudentorjunnan tavoitetason (tarkemmin liitteessä 1). /48/ Taulukosta 3 ilmenevät ohjeelliset, vuorokauden keskimääräistä liikennemäärää (KVL) vastaavat kunnossapitoluokat. Tielaitoksen talvisuolaus keskittyy pääteille (I kunnossapitoluokka), joilla hyviä liikenneoloja pyritään pitämään yllä jatkuvasti. Niille levitetään talven aikana suolaa keliolosuhteista riippuen noin kolmesta tonnista jopa yli 20 tonniin kilometrille. Vähemmän liikennöityjä päällystettyjä teitä suolataan vain mustanjään ja yllättävien liukkaiden keliön välttämiseksi. Sorateitä ei suolata talvella, mutta niiden kevätkunnostukseen ja tarvittaessa myös kesäiseen pölynsidontaan käytetään kalsiumkloridia (CaCl_2).

Taulukko 3: Tielaitoksen ohjeelliset liikennemäärää vastaavat kunnossapitoluokat talvella 1992-1993 /48/

Keskivuorokausiliikenne (KVL)	Kunnossapitoluokka	
> 6000 (2 ajorataa)	I _{sk}	Samat kuntotavoitteet, voimassaoloajan tavoitteet erilaisia
> 6000 (1 ajorata)	I _s	
1500 - 6000	I	
200 - 1500	II	Samat kunto- ja voimassaoloaikatavoitteet
kevytliikenteen väylät	IV	
< 200	III	Sallitaan huonoin kunto

Suomessa on 1950-luvulta alkaen lisätty suolaa hiekan sekaan paakkuuntumisen estämiseksi. Lisääntyvä liikenne pakotti kehittämään hiekoitusta tehokkaampia menetelmiä ja 1960-luvulla todettiin suolan poistavan jään tienpinnalta eikä vain lisäävän jäisen tien kitkaa. Suolan käyttömäärät ovat olleet 1970-luvun lopulle varsin pieniä nykykäyttöön nähden. Vuonna 1983

aloitettiin teiden ennakkosuolaus, kun säämuutosten takia oli odotettavissa tienpinnan liukastumista. Vuonna 1987 tavoitteeksi asetettiin pitää pääteiden tiepinnot paljaina läpi vuoden. Vuoden 1990 jälkeen on suolausmääriä pyritty vähentämään, mutta leutojen talvien vuoksi se on ollut vaikeaa. Tielaitoksen nykyinen liukkaudentorjuntakäytäntö pääteillä talvella 1992-1993 ilmenee kuvasta 4.




Tielaitoksen talvisuolan käyttömäärien kehitys käy ilmi kuvasta 5 ja tiepiireittaiset suolan käyttömäärät talvikausina 1991-92 ja 1992-93 kuvasta 6. Huomattakoon, että kuvassa 5 on laskentajaksona käytetty kalenterivuotta ja kuvassa 6 syyskuusta alkavaa 12 kuukauden jaksoa, jolloin koko talvi on saatu samaan jaksoon.

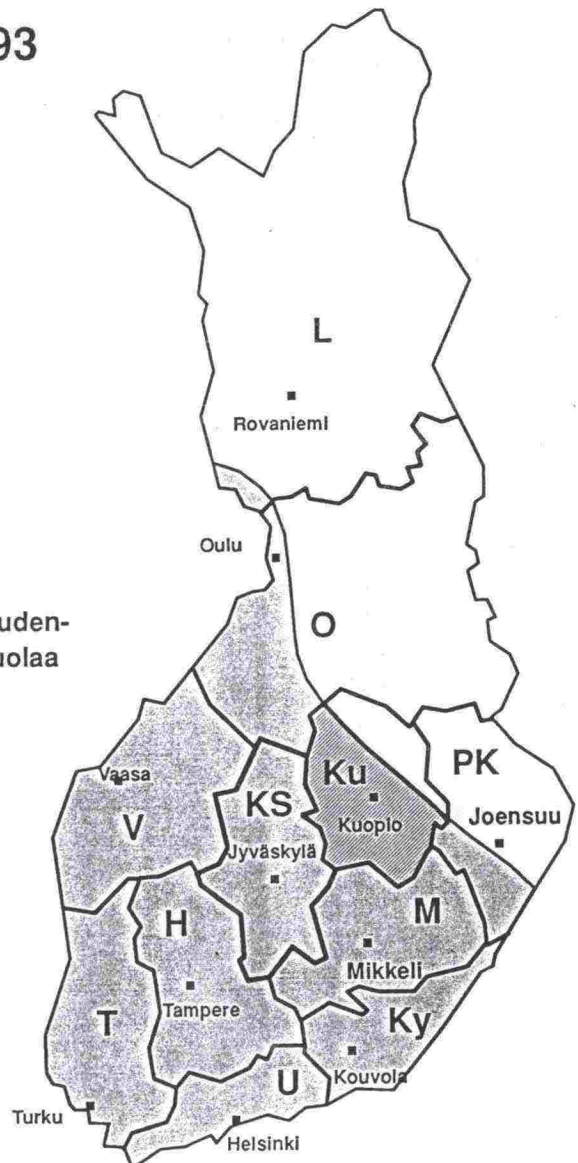


Piirit 1993

Piiri

U	Uusimaa
T	Turku
H	Häme
Ky	Kymi
M	Mikkeli
PK	Pohjois-Karjala
Ku	Kuopio
KS	Keski-Suomi
V	Vaasa
O	Oulu
L	Lappi

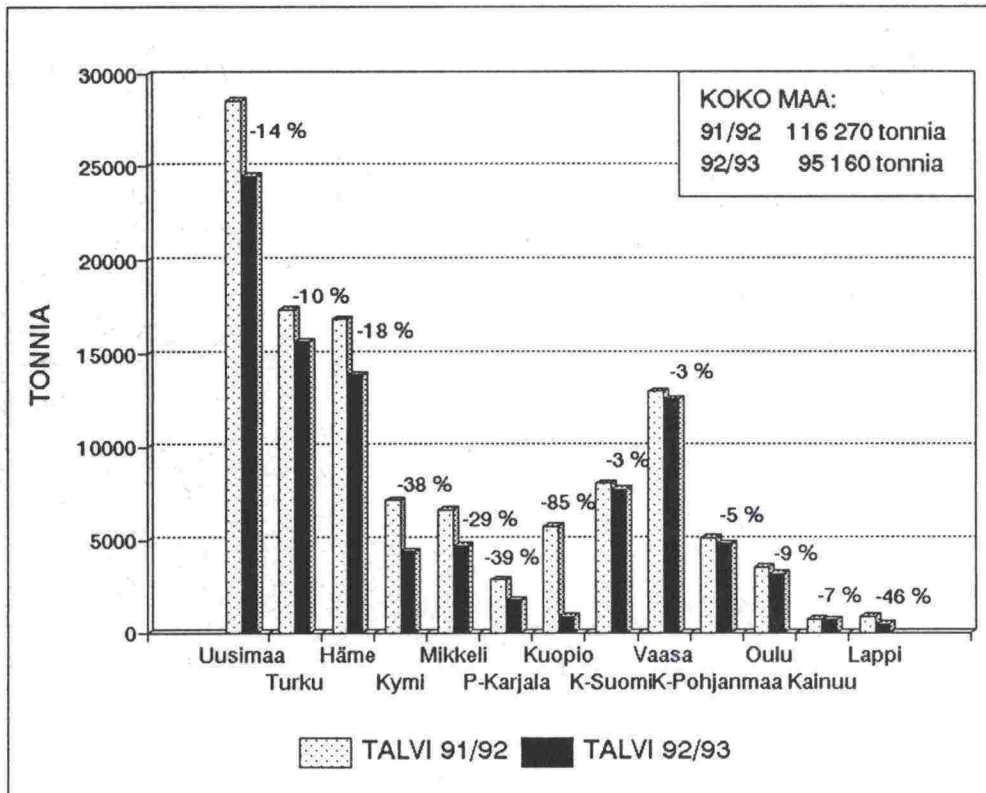
-  Valtakunnalliset päätiet suolataan läpi talven
-  Vain syys- ja kevätliukkaudentorjunnassa käytetään suolaa
-  Kokeilualue



Kuva 4: Pääteiden alueellinen suolauskäytäntö talvella 1992-1993



Kuva 5: Tielaitoksen talvisuolan käyttö vuosina 1970-1992 /25/



Kuva 6: Talvisuolan käyttömäärien jakauma tiepiireittäin /13/

Kesäsuolan käyttömäärä on pitkään ollut tasolla 40 000 - 45 000 tonnia vuodessa. Kalsiumkloridia tarvitaan soratien kevätkunnostukseen 0,5-2,5 tonnia kilometrille riippuen tien käyttöasteesta ja leveydestä. Kevätkunnostuksessa muotoillaan tien kulutuspinna noin 5 % sivukaltevuuteen höyläämällä ja kulutuspinnan tiiviyttä parannetaan kalsiumkloridia lisäämällä. Tämä lisää pinnan kestävyyttä ja vähentää pölyämistä. Poikkeustapauksissa joudutaan teitä suolaamaan myös kesällä tai syksyllä. Tien lähistön kaivojen ja pienituottoisten esiintymien veden laatu voi kärsiä sorateidenkin suolauksesta. Päälystämällä voidaan vähäliikenteisten teiden suolaustarve poistaa lähes kokonaan. /24/

2.3 Taajamat

Suolaa käytetään liukkauden torjuntaan päällystetyillä kaduilla ja pölyn sidontaan päällystämättömillä. Katualueiden liukkaudentorjunnassa voidaan monissa tapauksissa suolauksen sijasta turvautua hiekoitukseen, koska liikenteen nopeudet ovat pieniä. Katualueiden suolauksesta ei ole pohjavesille haittaa, jos kadut ovat viemäröityjä ja hulevedet johdetaan puhdistamolle tai pois pohjavesialueelta. Suolaa käytetään suurissa kunnissa selvästi enemmän kuin pienissä, kuten käy ilmi taulukosta 4.

Taulukko 4: Liukkaudentorjuntasuolan käyttö Suomen kunnissa vuonna 1990 /31/

	Kaupungit yli 25 000 as.	Kaupungit alle 25 000 as.	Muut kunnat	Kaikki kunnat
Vain suola (tonnia)	10 210	560	120	10 890
Suola hiekan mukana (tonnia)	1 450	960	140	2 560
Yhteensä (tonnia)	11 660	1 520	260	13 450
Suola (kg/ 1000 m ²)	140	37	4	72

Katualueilta koottavan lumen mukana saattaa kulkeutua huomattavia määriä kloridia lumenkaatopaikoille. Niitä ei tulisikaan perustaa pohjavesialueille.

Jätevedet sisältävät yleensä kloridia. Tyypillisen asumajäteveden kloridipitoisuus on 30 - 60 mg/l. /8/ Kloridi on peräisin lähinnä ruokasuolasta. Eräät jäteveden puhdistukseen käytetyt kemikaalit saattavat nostaa käsitellyn veden kloridipitoisuutta jopa yli 20 mg/l. Vaikka asumisjätevesissä on jonkin verran kloridia, olisivat vuodon sattuessa muut haittavaikutukset pohjavedelle kloridipitoisuuden nousua merkittävämpiä. Jätevesien kloridipitoisuuden suuruusluokan havainnollistamiseksi voidaan laskea, että tielaitoksen vuonna 1992 käyttämän liukkaudentorjuntasuolan kloridimäärän aikaansaamiseen tarvittaisiin 35 miljoonan ihmisen jätevedet.

2.4 Teollisuus

Kloorialkaliteollisuus käyttää natriumkloridia raaka-aineena valmistettaessa lipeää (NaOH) ja klooria ja toisaalta natriumklooraattia (NaClO₃). Käyttö on ollut noin 60 % suolan kokonaiskäytöstä ja noin nelinkertainen teiden liukkaudentorjuntaan verrattuna. Suolaa käytetään monien muidenkin kemianteollisuuden prosessien raaka-aineena, mutta niiden volyymit ovat selvästi pienempiä.

Klooria käyttävissä prosesseissa syntyy kloridipitoisia jätevesiä ja kloridisakkoja. Jos sakat joutuvat ympäristöön, liukenee kloridi monissa tapauksissa veteen ja saattaa kulkeutua pohjavesiin. Klooria kuluu Suomessa eniten paperin valkaisuun. Kloorivalkaisussa syntyy ympäristössä haitallisia ja pitkäikäisiä kloorattuja hiilivetyjä. Nykyinen ympäristötietoisuus on johtanut kloorin käytön supistuksiin ja tämä suunta jatkuu. /66/

Nahkateollisuuden jätevesissä on runsaasti kloridia, koska vuodat on säilötty natriumkloridilla. Teurastamot käyttävät runsaasti natriumkloridia lihan ja nahkojen säilöntään. Myös elintarvike-, rehu-, lääke-, kemian- ja vaatetusteollisuudesta ja värjäämöistä saattaa tulla normaalia kloridipitoisempia jätevesiä. /62/

2.5 Vedenotto ja käsittely

Jos vedenotto ylittää pohjaveden muodostuksen varsinaisella pohjaveden muodostumisalueella, heikkenee veden laatu monien tekijöiden suhteen. Liiallisen vedenoton seurauksena pohjaveden pinta laskee ja hitaasti kiertävien syvempien vesikerrosten osuus kasvaa. Pohjavesivirtausten muut-

tuessa saattaa esiintymään alkaa suotautua ympäristöstä huonolaatuista vettä (esim. savi- tai moreenialueelta tai merestä).

Osa veden puhdistuksessa käytetyistä saostuskemikaaleista sisältää kloridia. Verkostoveden hygienisointiin tähtäävässä kloorauksessa käytetään yleensä joko kloorikaasua tai natriumhypokloriittiliuosta. Niitä käytettäessä kloridipitoisuus nousee vähitellen verkostossa. Natriumhypokloriittiliuoksen käyttö nostaa kloridipitoisuutta jo käsittelyn yhteydessä. Kaikkiaan juomaveden käsittelyssä voi veden kloridipitoisuus nousta muutaman milligramman litrassa. Pohjaveden tilaa kuvattaessa on olennaista, että vesinäytteet otetaan käsittelemättömästä raakavedestä.

2.6 Haja-asutus ja maatalous

Haja-asutusalueella kaivot ovat tyypillisesti pihapiirissä tai pellon tuntumassa. Jätevesien maahanimeytyksestä, karjataloudesta ja pelloilta saattaa pohjavesiin ja kaivoihin päästä jonkin verran kloridia. Valtakunnallisen kaivovesitutkimuksen niissä kaivoissa, joissa kaivon omistaja oli arvioinut näillä tekijöillä mahdollisesti olevan vaikutusta kaivon veden laatuun, kloridipitoisuuden mediaaniarvo oli noin 10 mg/l ja neljänneksellä pitoisuus yli 20 mg/l. Kaikkien tutkimukseen osallistuneiden kaivojen kloridipitoisuuden mediaani oli 8 mg/l. Monet muut talousveden laatuvaatimukset ja -ta-voitteet jäävät kloridia useammin täyttämättä yksityisissä kaivoissa. /12/

Rehuissa on kloridia, joka kulkeutuu pääsääntöisesti vain karjanlannan ja virtsan mukana ympäristöön. Yleisimmät pelloille levitettävät lannoitteet sisältävät kymmenisen prosenttia kloridia. Suositusten mukaisilla levitysmäärillä kulkeutuu kloridia lannoitteen mukana peltohehtaarille noin 50 kiloa. /17/ Määrä on niin pieni, ettei kloridipitoisuuden noususta lannoituksen seurauksena ole vakavaa uhkaa.

2.7 Muut toiminnot

Tielaitos ei enää rakenna uusia suolavarastoja pohjavesialueille, mutta vanhastaan niitä saattaa pohjavesialueillakin vielä olla. Suolavarastot ovat nykyisin pääasiassa katettuja viemäröityjä halleja, joista suola ei pääse kulkeutumaan ympäristöön. Aiemmin suolahiekkää ja suolaakin on varastoi-tu osin taivasalla.

Soranottoalueiden pölynsidontaan käytetään kalsiumkloridia. Niiltä kloridi pääsee helposti kulkeutumaan pohjaveteen.

Kunnallisilta kaatopaikoilta suotautuvissa vesissä on kloridia keskimäärin toista sataa milligrammaa litrassa, mutta jopa 1800 mg/l kloridipitoisuuksia on analysoitu. /1/ Kloridin on monissa yhteyksissä todettu indikoivan kaatopaikoilta suotautuvien vesien vaikutusta. Yhdyskuntajätteen kaatopaikkoja on pohjavesialueilla noin 300. Teollisuuskaatopaikkojen suotovesien kloridipitoisuus riippuu kaatopaikalle tuoduista aineista.

3 POHJAVEDEN KLORIDIPITOISUUDEN KOHOAMISSYYN ARVIOINTI

Pohjavesialueen hydrogeologian, virtausten ja mahdollisten kloridilähteiden tunteminen ovat keskeisiä arvioitaessa kloridipitoisuuden kohoamisen syytä. Tiedot pohjaveden ottomäärästä ja pinnankorkeuden käyttäytymisestä ovat tarpeen vedenoton vaikutusten ja luontaisten muutosten arvioimiseksi. Kloridipitoisuuden kohoamisen syytä on mielekästä arvioida vesianalyysituloksista vain yhdessä pohjavesialueen perustietojen kanssa.

Analyysituloksia tarkasteltaessa on kiinnitettävä huomiota muihinkin kuin kloridimäärityksiin. Alueen mahdolliset kloridilähteet ratkaisevat tapauskohtaisesti, mihin muihin tekijöihin kannattaa kiinnittää huomiota. Vanhan analyysiaineiston pohjalta kloridipitoisuuden nousun syitä arvioitaessa sähkönjohtavuus ja kovuus ovat keskeisimmät parametrit. Jos vedessä on luontaisesti runsaasti klorideja, on siinä runsaasti muitakin suoloja, mikä saa aikaan korkean sähkönjohtavuuden. Jos vesi on kovaa, on sen luontainen kloridipitoisuus usein korkea. Talvisuolaus ei nosta veden kovuutta. Vanhan luontaisen suolan voi erottaa uudemmissa kuormituksista veden iän määrityksellä. Analyysi on kuitenkin melko kallis. Pohjaveden keskeisten kationien (natrium, kalium, kalsium ja magnesium) ja anionien (kloridi, sulfaatti, bikarbonaatti ja nitraatti) määrät ja keskinäiset suhteet antavat usein hyvän pohjan kloridipitoisuuden nousun aiheuttajan arvioinnille.

Suolapitoisuuden ollessa pieni 1 mg/l natrium- tai kalsiumkloridia aiheuttaa noin 0,20 mS/m sähkönjohtavuuden. Tiesuolan aiheuttamalle sähkönjohtavuudelle saadaan karkea arvio kertomalla kloridipitoisuus 0,33:lla (1 mg/l kloridia vastaa 1,65 mg/l natriumkloridia). Jos sähkönjohtavuudella on nouseva trendi, vaikka siitä vähennetään kloridin kautta laskettu talvisuo-

lauksen vaikutus, ei pohjaveden likaantuminen todennäköisesti johdu ainakaan yksin maantiesuolauksesta.

Teiden liukkaudentorjuntasuola on melko puhdasta natriumkloridia, eli sen painosta noin 39 % on natriumia ja noin 61 % kloridia. Sorateilla kesäaikaan käytetty suola sisältää kalsiumia noin 36 % ja kloridia 64 %. Veden virratessa maaperässä saattaa suhde muuttua kloridipainotteisemmaksi, koska osa natriumista ja etenkin kalsiumista saattaa pidäytyä maaperään ja korvautua muilla aineilla. Adsorptio savimineraalien ja kolloidihukkasten pinnalle lienee keskeinen pidättymisreaktio natriumilla /18/. Adsorptiosidos ei ole pysyvä, vaan pinnalle pidättyneet ionit siirtyvät herkästi uudelleen liuokseen.

Kalsiumilla myös ioninvaihto on merkittävää. Siinä veden sähköinen neutraliteetti säilyy, eli vedestä pidättyvien ionien tilalle liukenee varaukseltaan vastaava määrä ioneita. Mitä suurempi varaus ionilla on sen herkemmin se pidättyy. Saman varauksisten keskinäisen pidättymistäipumuksen ratkaisee ionin säde: mitä pienempi säde, sitä "voimakkaampana magneettina" ionin positiivinen ydin toimii. /33/

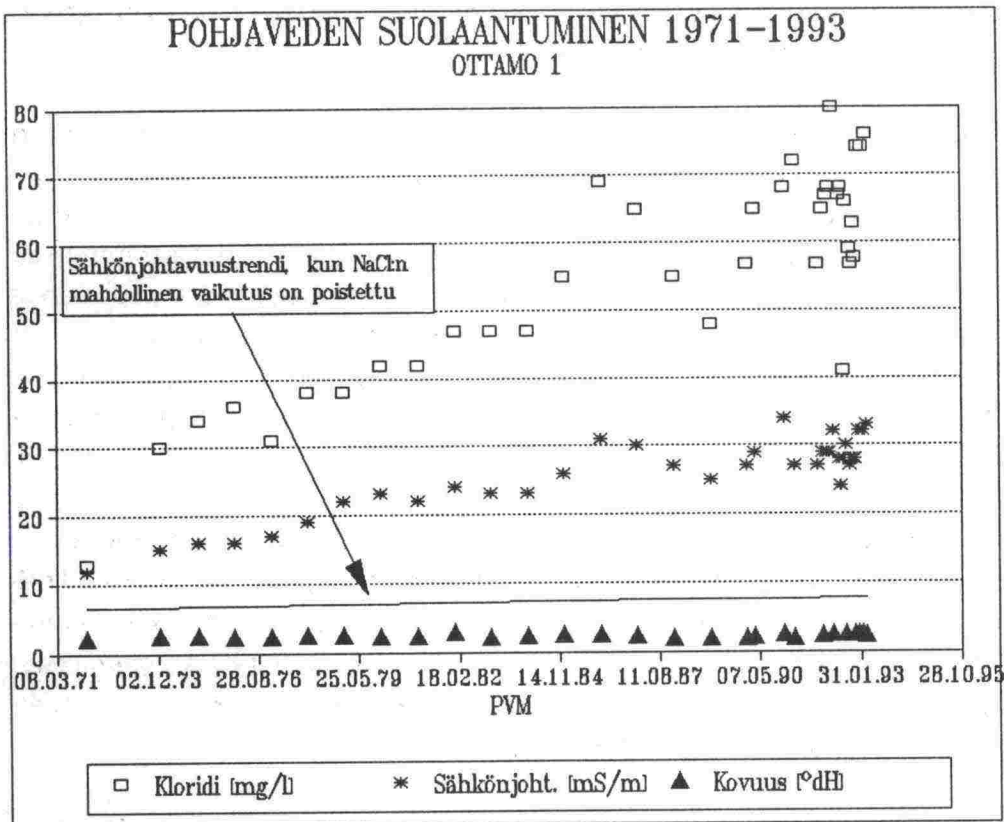
Orgaanisen aineen ja saven määrä ovat keskeisiä adsorption ja ioninvaihtokapasiteetin kannalta, mutta karkeassakin maassa voi pidättymistä tapahtua: Kanadalaisessa tutkimuksessa karkeassa maaperässä tien läheisen pohjaveden natriumin moolimäärän todettiin olevan keskimäärin 87 % kloridin moolimäärästä, kun levitetyssä suolassa suhde oli 1:1. /20/

Korkea kloridipitoisuus johtuu todennäköisimmin talvisuolauksesta tai muusta selkeästä NaCl-kuormittajasta, jos:

- vesi on pehmeää
- se ei sisällä poikkeuksellista määrää likaantumista ilmentäviä aineksia
- myös natriumpitoisuus on kohonnut
- kloridi ja natrium aiheuttavat merkittävän osan sähkönjohtavuudesta

Esimerkki veden laadun graafisesta tulkinnasta, kun ottamolta on vuosien mittaan kertynyt perusseuranta-aineistoa:

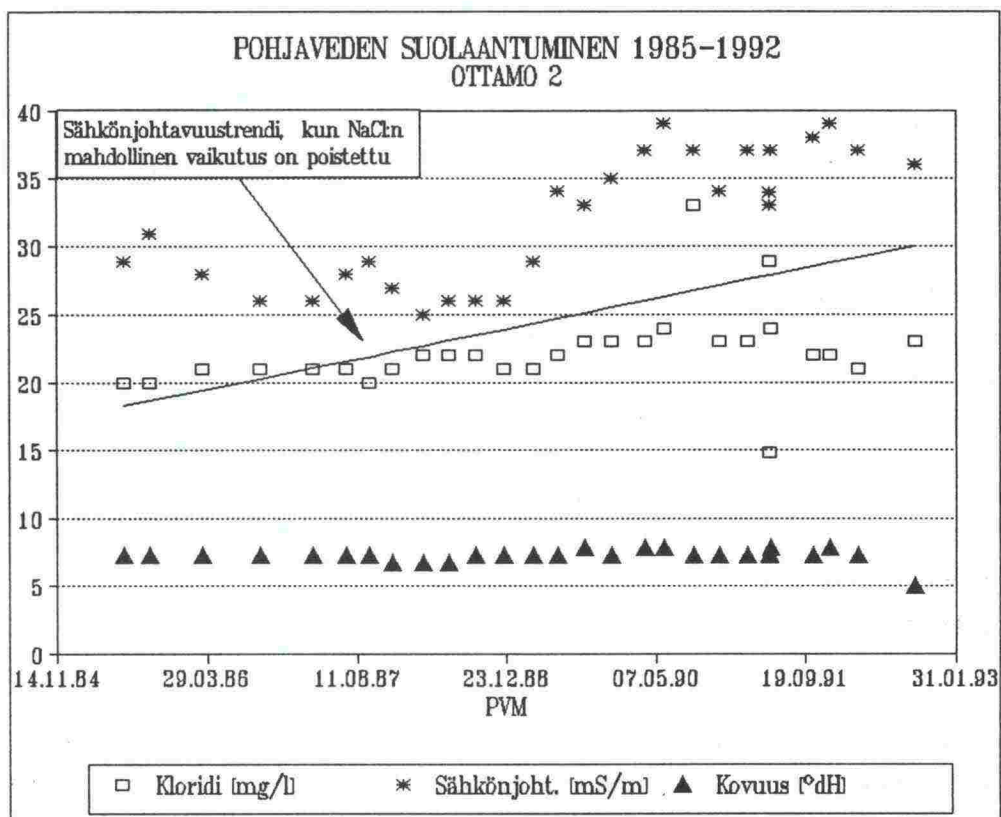
Kuvissa 7 ja 8 on esitetty kahden Uudenmaan vedenottamon analyysituloksia. Molemmilla ottamoilla raakaveden kloridipitoisuus ja sähkönjohtavuus ovat nousseet vuosien varrella ja kovuus pysynyt vakiotasolla. Kuvassa 7 olevan ottamon veden kovuus on erittäin alhainen. Kun sähkönjohtavuuksista vähennetään kloridipitoisuudet kerrottuna 0,33:lla, voidaan lopun sähkönjohtavuuden katsoa olevan peräisin muusta kuin natriumkloridista. Kuviin on piirretty kyseisiin aineistoihin sovitettut regressiosuorat.



Kuva 7: Erään Uudenmaan vedenottamon kloridi-, sähkönjohtavuus- ja kovuusmääritysten tuloksia viime vuosilta /52,55/

Kuvan 7 ottamolla ei natriumkloridin mahdollisesta vaikutuksesta riisutulla sähkönjohtavuudella ole nousevaa trendiä. Joku selkeä NaCl-lähde, esim. tiesuolaus, vaikuttaa todennäköiseltä syytä kohonneisiin kloridipitoisuuksiin. Kaksi suolattavaa tietä sijaitsee vedenottamon läheisyydessä ja virtaus on ilmeisesti teiltä ottamon suuntaan.

Kuvan 8 ottamolla natriumkloridin mahdollisesta vaikutuksesta riisutulla sähkönjohtavuudella on selvästi nouseva trendi. Koska vilkkaasti liikennöity tie sijaitsee noin 30 metrin päässä vedenottamolta, saattaa tiesuolalla olla osuutta kloridipitoisuuden nousuun. Korkea sähkönjohtavuus ja sen nouseva trendi osoittaa ottamolle tulevan muutakin kuormitusta. Ottamon vedessä on havaittu pintavesien ja todennäköisesti läheisen pellon vaikutuksia. Eri tekijöiden vaikutukset ja haittojen poistomahdollisuudet tulisi selvittää muiltakin kuin tiealueen osalta.



Kuva 8: Erään toisen Uudenmaan vedenottamon kloridi-, sähkönjohtavuus- ja kovuusmääritysten tuloksia viime vuosilta /52,55/

4 TIESUOLAN KULKEUTUMINEN POHJAVESIESIINTYMÄSSÄ

Tiesuolan kulkeutumisesta pohjavesiesiintymässä on toistaiseksi vain vähän tutkimustietoa. Suomessa suolan kulkeutumiseen on parina viime vuotena kiinnitetty paljon huomiota. Kulkeutumisen lainalaisuuksia on selvitetty maastokokeiden, teoreettisten tarkastelujen ja matemaattisten mallien avulla. /6,11,59/

Suolapitoinen vesi sulattaa tieltä jäätä ja lunta samalla laimentuen. Liikenteen ja maaston kaltevuuden vaikutuksesta suolavesi siirtyy tien vierustoille. Osa siitä saattaa kulkeutua pois pohjavesialueelta pintavesivirtausten mukana ja loput suotautuvat maaperään. Mitä karkeampaa maaperä on, sitä suurempi osa vedestä ja suolasta vajoaa ja muodostuu aikanaan pohjavedeksi. Vajoaminen viivästyy, jos maa on roudassa.

Suolaisen veden liikkeisiin maaperässä vaikuttavat samat tekijät kuin muuhunkin veteen, mutta suurempi tiheys saa aikaan alaspäin suuntautuvan lisävoiman. Tielle levitettävän liuossuolan NaCl-pitoisuus on 23-26 % ja tiheys 0 °C lämpötilassa 1,18 - 1,21 kg/l /48/ Jos tiesuolan oletetaan laimenevan puolen vuoden sademäärään (300 mm) 50 metriä leveältä tiealueelta ja suolaa käytettävän 15 tonnia kilometrille, saadaan tiealueelta suotautuvan veden suolapitoisuudeksi yksi promille. Yhden promillen (1000 mg/l) suolapitoisuus nostaa veden tiheyden noin 1,00085 kg/l:aan. Puhtaaseen veteen verrattuna ero vastaa tiheyden muutosta, kun veden lämpötila laskee 15 °C:sta 4 °C:een. Meressä ja suurissa järvissä näin suuri tiheysero saa aikaan vakaan kerrostuneisuuden. Altaissa, joissa virtaukset ovat hitaita, tuuli on ainoa kerrostumista ehkäisevä voima. /65/ Vajovesi- ja pohjavesivirtauksessa kerrostumista ehkäiseviä tekijöitä sen sijaan on useita ja kerrostuminen epätodennäköisempää. Tielaitoksen tilauksesta ovat vesi- ja ympäristöhallitus ja VTT tutkineet ja tutkivat edelleen suolapitoisen veden mahdolliseen kerrostumiseen liittyviä tekijöitä /6,11/.

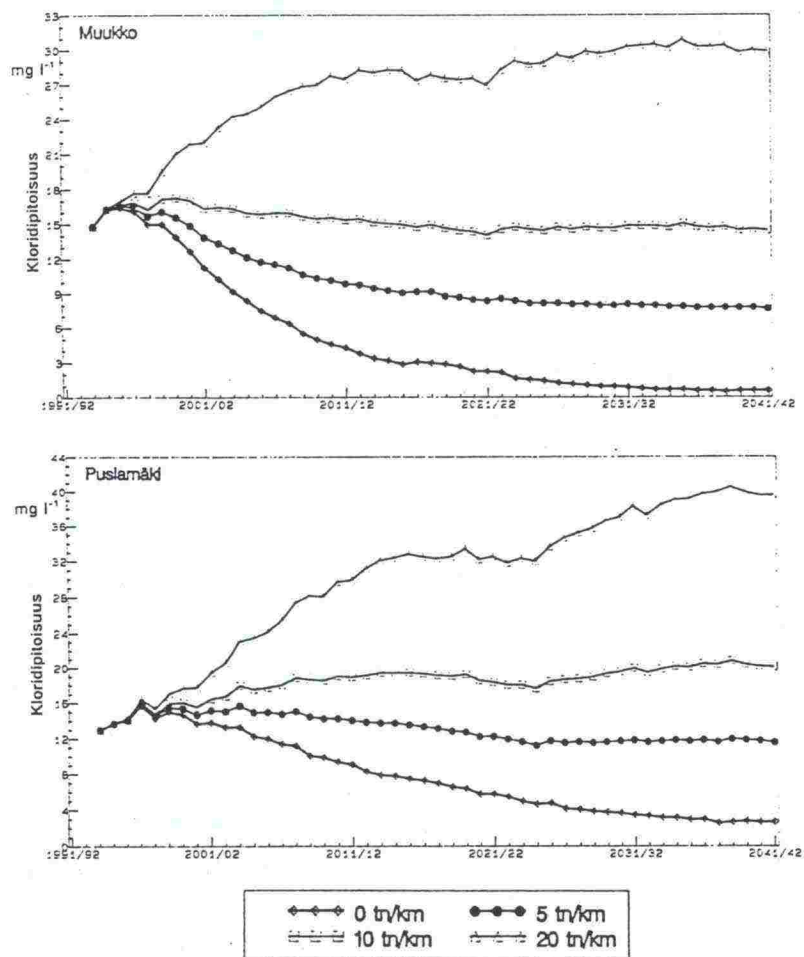
Keski-Suomen tiepiirin maastomittauksissa suolaisen veden ei havaittu kerrostuvan pohjavesiesiintymän pohjalle vaan kulkevan veden päävirtauksen mukana hyvin vettä johtavissa maakerroksissa. /59/ Havaitut kloridipitoisuudet olivat enimmillään noin 100 mg/l. Tutkittaessa pohjavesivirtausten mukana kulkevia aineita on natriumkloridia usein käytetty merkkiaineena ja väkevien liuosten todettu vajoavan luontaista vettä nopeammin. Vesi- ja ympäristöhallituksen soranoton pohjavesivaikutuksia tutkittaessa todettiin suolaliuoksen, jonka väkevyys oli yksi prosentti (tiheys noin 1,008 kg/l), vajoavan karkeassa maaperässä selvästi suolatonta vettä nopeammin /14/.

VTT:n teoreettisissa mallilaskelmissa havaittiin suolaisen veden vajoamistodennäköisyyden olevan suurin hyvin vettä johtavissa maalajeissa virtauksen ollessa hidasta (pohjaveden pinnan kaltevuus eli gradientti hyvin pieni). Kun pohjaveden pinnan kaltevuus kasvaa, kasvaa myös virtausnopeus ja sekoittuminen, jolloin kerrostumistodennäköisyys pienenee. Hienorakeisissa maalajeissa huono pystysuuntainen vedenjohtavuus pienentää kerrostumistodennäköisyyttä, mutta toisaalta virtauksen hitaus saattaa kasvattaa sitä. Vaakasuuntainen kerrostuneisuus ja etenkin tiiviit maakerrokset vähentävät suolaisen veden kerrostumistodennäköisyyttä. Osa suolasta saattaa poistua pohjavesialueelta myös pintavirtausten mukana. /11/

Kloridipitoisuus ei nouse tasaisesti koko esiintymässä, vaan nousua tapahtuu lähinnä pohjaveden virtauksen suuntaan kloridilähteestä. Jos tie kulkee pohjavesivirtauksen suuntaisesti, on kerrostumisriski suurempi kuin poikit-

taisessa tapauksessa, koska laimentavien vesien määrä on pienempi. Tien kulkiessa pohjavedenjakajan tienoilla ei sivuilta tule laimentavia vesiä. /11/

Maaperän hydraulinen johtavuus vaikuttaa veden virtausnopeuteen. Yleisesti veden virtauksen ja sen myötä kloridin kulkeutumisen voidaan todeta olevan hidasta. Lisäksi veden sekoittuminen, maahiukkasten pinta-voimat ja kemialliset reaktiot laimentavat vesiä niin tehokkaasti, että saattaa kestää vuosia, ennen kuin tiesuolauksen vaikutukset havaitaan ottamalla tai lähteessä. Tiedossa olevat esimerkit /37/ viittaavat vastavasti siihen, että pienenkin pohjavesiesiintymän puhdistuminen voi kestää vuosikymmeniä. Pohjavesialueelle tulevan ja siltä lähtevän kloridikuorman voidaan joissain tapauksissa olettaa saavuttavan tasapainon laskettavissa olevan viiveen jälkeen. Havainnollisesti tämä käy ilmi mallilaskennoilla. Kuvassa 9 on esimerkki ottamoista, joilla suolausmäärän ja kloridipitoisuuden välillä vallitsee pitkällä tähtäimellä tasapaino. Laskennat on tehty vaakatason virtaukset huomioon ottavalla mallilla /4/.



Kuva 9: Pohjavesimallia hyväksi käyttäen lasketut suolausmäärästä riippuvat kloridipitoisuudet Muukon ja Puslamäen vedenottamoilla vuosina 1992-2042 /4/.

5 VALTAKUNNALLINEN RISKINARVIOINTI TIESUOLAUKSEN POHJAVESIHAIHOISTA

5.1 Tavoitteet ja toteutus vesi- ja ympäristöpiireissä

Kesällä 1992 tiepiireissä ja vesi- ja ympäristöpiireissä käynnistettiin yhteistyönä riskinarviointi, jossa tavoitteena on arvioida tiesuolauksen pohjavesialueille ja erityisesti pohjavedenottamoille aiheuttaman riskin suuruutta ja selvittää ongelman laajuus valtakunnallisesti. Riskinarviointiprojekti voidaan jakaa seuraaviin vaiheisiin: **1.** Kartoitetaan pohjavesialueilla olevat tieosuudet. **2.** Arvioidaan tieosuuksista aiheutuva pohjavesien pilaantumisriski. **3.** Etsitään kriittisimmät tieosuudet. **4.** Selvitetään tarvittavat suojaustoimenpiteet. Riskinarviointia on tehty menetelmällä, joka on kehitetty vesi- ja ympäristöhallituksessa keväällä 1992. Kehitystyön aikana riskinarviointimenetelmää käsiteltiin myös tiehallituksen ja vesi- ja ympäristöhallituksen yhteistyöryhmässä. Arviointilomake on liitteenä 2.

Koska pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus on vesi- ja ympäristöpiireissä vielä kesken, on riskinarviointi aloitettu tärkeiltä eli I-luokan pohjavesialueilta, jotka on pääosin kartoitettu jo 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa. Joissakin piireissä, joissa pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus on edennyt pitkälle, on riskinarvioinnissa ollut mukana myös uusia I-luokan pohjavesialueiksi määriteltyjä alueita: Helsingissä 28 kpl, Turussa 14 kpl, Pohjois-Karjalassa 9 kpl, Vaasassa 1 kpl ja Kokkolassa 4 kpl. Koska lopullisia yhteenvetoja uusien pohjavesialueiden määrästä piireittäin ei vielä ole saatavissa, on riskinarvioinnin tuloksia käsiteltäessä käytetty tietoja aikaisemmin kartoitetuista tärkeistä pohjavesialueista /60/. Riskinarviointimenetelmää kehitettäessä lähtökohtana pidettiin, että riskinarviointi laajennetaan tehtäväksi uusilla I-, II- ja III-luokan pohjavesialueilla, kun pohjavesialueiden kartoitus ja luokitus on valmistunut.

Riskinarvioinnissa tiepiirit ovat kartoittaneet pohjavesialueet, joilla kulkee suolattavia teitä sekä koonneet tieosuuksia ja tienpitoa koskevat lähtötiedot. Lopullinen riskinarviointi on tehty vesi- ja ympäristöpiireissä lähtötietojen sekä pohjavesialueiden kartoituksessa kertyneiden hydrogeologisten ja vedenottoa koskevien tietojen perusteella. Elokuuhun 1993 mennessä riskinarviointi on tehty kymmenessä vesi- ja ympäristöpiirissä I-luokan pohjavesialueilla. Koska Tampereen, Oulun ja Lapin piirien tiedot puuttuvat, ei kattavaa valtakunnallista yhteenvetoa voida tehdä.

5.2 Riskiluvun määrittäminen

Riskinarvioinnissa on määritetty jokaiselle pohjavesialueelle riskiluku. Riskilukua laskettaessa käydään läpi 11 tekijää ja lisätiedot. Pisteytettävät tekijät on jaettu neljään luokkaan:

- A. POHJAVESIALUELUOKKA
- B. KULKEUTUMISEEN VAIKUTTAVAT HYDROGEOLOGISET TEKIJÄT
- C. VEDENOTTOTIEDOT
- D. TEIDEN SUOLAUS JA VAARALLISTEN AINEIDEN KULJETUS.

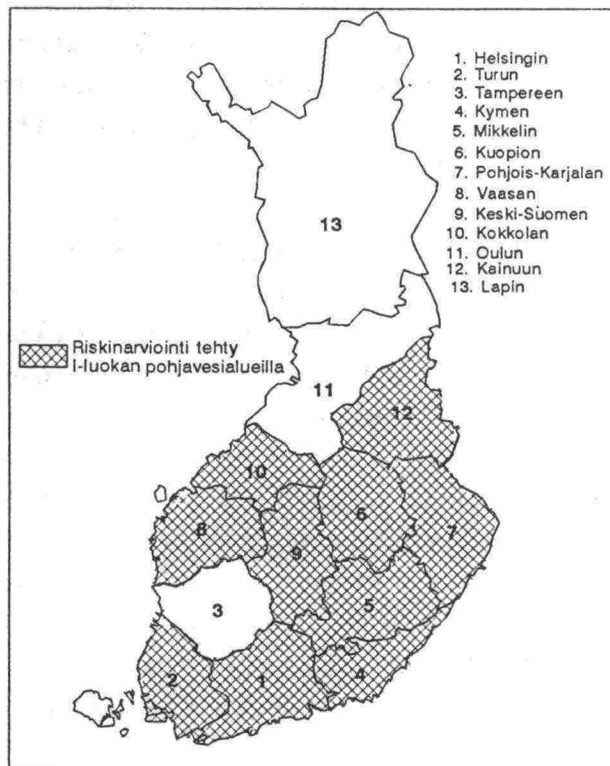
Eri vaihtoehdot saavat tietyn riskiarvon. Riskiluku saadaan laskemalla eri tekijöiden pisteet yhteen. Riskilukuun lisätään 5 - 20 pistettä, mikäli alueelta on analysoitu 10 mg/l ylittäviä kloridipitoisuuksia, pitoisuuksissa on nouseva trendi ja nousun katsotaan mahdollisesti johtuvan tienpidosta. Jos kohonnut kloridipitoisuus johtuu selvästi muista tekijöistä kuin tienpidosta, ei pisteitä lisätä riskilukuun. Riskiluku voi teoriassa olla 9 - 120.

Riskilukujen vertailu on suuntaa-antava menetelmä asettaa pohjavesialueet järjestykseen potentiaalisen uhan perusteella. Riskiluku ei määrittele vahingon tapahtumisen todennäköisyyttä tai sen laajuutta. Riskiluku kuvaa alueen herkkyyttä tieltä kulkeutuvien lika-aineiden suhteen. Siten pohjavesialue saattaa saada melko suuren riskiluvun, vaikka lika-aineet eivät pääsisikään pohjaveden mukana virtaamaan suoraan vedenottamolle. Tällaisissa tapauksissa pohjaveden kloridipitoisuus saattaa olla kohonnut joissakin osissa pohjavesialuetta, esim. yksityisissä kaivoissa, vaikka korkeita kloridipitoisuuksia ei ottamalla vielä olisi havaittukaan.

Riskinarvioinnin yhteydessä on koottu järjestelmällisesti tiedot pohjavesialueilla sijaitsevista suolattavista teistä ja tiedot on tallennettu vesi- ja ympäristöhallituksen tieriskirekisteriin tiedonhaun ja -käsittelyn helpottamiseksi. Riskinarvioinnissa kaikkia riskiin vaikuttavia tekijöitä ei voida yksiselitteisesti pisteyttää ja luonnonolosuhteita joudutaan yksinkertaistamaan. Tämän vuoksi ei riskilukuja pidä tarkastella kriittikittömästi erillään. Suojaustoimenpiteiden kiireellisyysjärjestyttä arvioitaessa on syytä riskiluvun ohella tarkastella esim. pohjavesialueen vedenhankinnallista merkitystä eli onko alue kunnan ainoa vedenhankintamahdollisuus vai löytyykö mahdollisia varavedenottoaikoja. Edellä mainitun vuoksi ei tässä yhteenvedossa käsitellä laajasti pohjavesialuekohtaisia riskilukuja eikä esitetä riskilukuluokituksia, vaan keskitytään käsittelemään riskinarvioinnin yleisiä tuloksia.

5.3 Riskinarvioinnin tuloksia

Kuvassa 10 on esitetty valtakunnallisen riskinarvioinnin tilanne vesi- ja ympäristöpiireissä elokuussa 1993. Riskinarviointitietoja on tallennettu ns. tieriskirekisteriin, joka on yhteensopiva vesi- ja ympäristöpiireissä ylläpidettävän pohjavesialuerekisterin kanssa. Kaikkiaan on käyty läpi 469 I-luokan pohjavesialuetta, joista 56 on uusimman kartoituksen yhteydessä I-luokan alueiksi määriteltyjä (taulukko 5). Niiden vesi- ja ympäristöpiirien alueella, jossa riskinarviointi on tehty, on aikaisemmin kartoitettu kaikkiaan 923 tärkeätä pohjavesialuetta /60/. Siten voidaan arvioida, että noin 45 % tärkeistä pohjavesialueista on sellaisia, joiden muodostumisalueella kulkee suolattavia tieosuuksia. Osuudet vaihtelevat piireittäin. Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueella ko. osuus on suurin, 62 %. Vaasan piirin alueella osuus on vain 19 %, mikä johtuu mm. siitä, että Pohjanmaan rannikkoalueella pohjavesialueet ovat pienialaisia ja usein vettä läpäisemättömän aineksen peittämiä. Kymen piirissä osuus on vain 35 %, vaikka päätiet kulkevat pitkin Salpauselkien reunamuodostumia. Selityksenä voidaan todeta, että Kymen piirissä riskinarviointi on tehty vain niillä pohjavesialueilla, joilla sijaitsevalla ottamalla veden kloridipitoisuus on jossakin vaiheessa ylittänyt arvon 25 mg/l.



Kuva 10: Valtakunnallisen riskinarvioinnin tilanne vesi- ja ympäristöpiireissä elokuussa 1993

*Taulukko 5: Riskinarvioinnissa tarkasteltujen tärkeiden pohjavesialueiden määrä vesi- ja ympäristöpiireittäin ja pohjavesialueiden muo-
 dostumisalueella kulkevat suolattavat tieosuudet*

Vesi- ja ympä- ristöpiiri	Riskikartoituk- sessa tarkastellut I-luokan pv-alueet (kpl)		Vanhoja I- luokan pv- alueita kaik- kiaan (kpl)	Tarkasteltu- jen vanhojen pv-alueiden osuus (%)	Tarkastelluilla pv- alueilla olevien suolattavien teiden pituus yh- teensä (km)
	Vanhoja	Uusia			
Helsingin	138	28	222	62	303
Turun	62	14	156	40	186
Kymen	27		76	35	70
Mikkelin	26		47	55	36
Kuopion	26		58	45	51
Pohjois-Karjalan	14	9	47	30	41
Vaasan	22	1	114	19	54
Keski-Suomen	58		116	50	77
Kokkolan	31	4	60	52	110
Kainuun	9		27	33	26
Yhteensä	413	56	923	45	954

Riskinarvioinnissa tarkastelluista 469 pohjavesialueesta 262 alueelta ei kloridipitoisuustasoa ollut tiedossa, 145 on sellaisia, joilla sijaitsevalla vedenottamalla on analysoitu 10 mg/l ylittäviä kloridipitoisuuksia (taulukko 6). Näistä 145 pohjavesialueesta 74 prosetilla on todettu olevan tiesuolauksen lisäksi muita kloridipitoisuuteen mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä. Suojaamaton suola- tai suolahiekkavarasto sijaitsee tai on sijainnut 22 pohjavesialueella. Yhtä poikkeusta lukuunottamatta kaikilla pohjavesialueilla, joiden ottamoilla on analysoitu 50 mg/l ylittäviä kloridipitoisuuksia, harjoitetaan tiesuolauksen lisäksi muita kloridipitoisuuteen mahdollisesti vaikuttavia toimintoja. Näillä alueilla kloridin alkuperän selvittäminen edellyttää tarkkoja tutkimuksia.

Taulukko 6: Pohjavesialueilla sijaitsevilla vedenottamoilla tai tutkituilla vedenottoaikoilla analysoituja kloridipitoisuuksia.

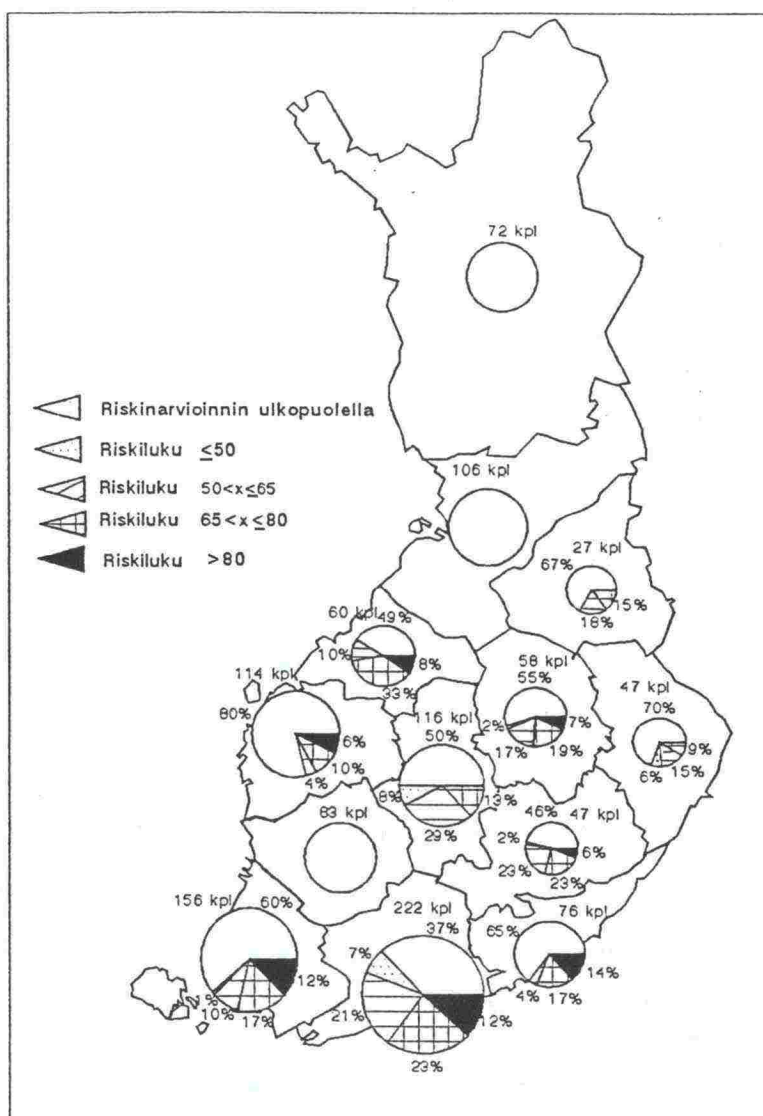
Kloridipitoisuus (mg/l)	Pohjavesialueita (kpl)	Alueet, joilla tiesuolauksen lisäksi muita Cl-pitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä (kpl)
< 10	62	39
10 - 25	73	54
25 - 50	57	39
50 - 100	11	10
> 100	4	4
Yhteensä	207	146

Pohjavesialueilla, joiden riskiluku on suurempi kuin 65, on suurin riski alueen käyttökelpoisuuden heikkenemiseen vedenhankinnassa. Kaikilla alueilla on kuitenkin suoritettava lisätutkimuksia riskin tarkentamiseksi ja likaantumisen estämiseksi. Taulukossa 7 on esitetty vesi- ja ympäristöpiireittäin, kuinka suuri osa pohjavesialueista on saanut riskinarvioinnissa vähintään riskiluvun 65. Suhteellisesti eniten näitä alueita on Kymen, Kokkolan ja Vaasan piireissä, joissa kyseisten alueiden osuus kaikista tarkastelluista on yli 80 %.

Taulukko 7: Pohjavesialueet, joiden riskiluku on vähintään 65, vesi- ja ympäristöpiireittäin

Vesi- ja ympäristöpiiri	Pohjavesialueet, joiden riskiluku ≥ 65 (kpl)	Osuus kaikista tarkastelluista alueista (%)	Tarkasteltuja pohjavesialueita yhteensä (kpl)
Helsingin	93	56	166
Turun	54	71	76
Kymen	24	89	27
Mikkelin	15	58	26
Kuopion	16	62	26
Pohjois-Karjalan	5	22	23
Vaasan	19	83	23
Keski-Suomen	17	29	58
Kokkolan	29	83	35
Kainuun	4	44	9
Yhteensä	276	59	469

Riskilukujen suuruusjakauma (kuva 11) osoittaa, että tiesuolauksen pohjavesivaikutusten ehkäisemiseen pitää kiinnittää erityistä huomiota Helsingin, Turun ja Kymen vesi- ja ympäristöpiirien alueella. Näiden piirien alueella tarkastelluista tärkeistä pohjavesialueista 12 - 14 %:lla on riskiluku yli 80. Eri piireissä riskinarviointi on tehty eri tarkkuuksilla: Kymen piirissä riskinarviointi on tehty pohjavesialueilla, joilla sijaitsevalla ottamalla veden kloridipitoisuus on jossakin vaiheessa ylittänyt arvon 25 mg/l. Kymen osalta kuuluu kuvan 11 valkoiseen sektoriin myös alueita, joilla kulkee suolattavia teitä, mutta riskinarviointia ei ole tehty. Tampereen, Oulun ja Lapin piireissä riskinarviointia ei ole tehty. Helsingin piirissä kuvan 11 valkoinen sektori osoittaa niiden pohjavesialueiden osuuden, joilla ei kulje suolattavia teitä. Muiden piirien osalta tarkastelukriteerit saattavat vaihdella.



Kuva 11: Tärkeiden pohjavesialueiden /60/ lukumäärä ja niiden osalta riskilukujen jakauma vesi- ja ympäristöpiireittäin

Tielle levitettävän suolan määrä vaihtelee tien kunnossapitoluokan mukaan. Riski tiesuolan kulkeutumiseen vedenottamolle on suurin silloin, kun pohjaveden päävirtaussuunta on tieltä ottamolle päin. Näiden pohjavesialueiden vesi- ja ympäristöpiireittäinen jakauma on esitetty liitteessä 3. Eniten tällaisia pohjavesialueita kartoitettiin Helsingin (53 kpl), Turun (38 kpl) ja Kokkolan (34 kpl) piirien alueella. Helsingin ja Kymen piirien alueella on ko. ryhmässä eniten kunnossapitoluokkiin Isk ja Is kuuluvia teitä, joiden liikenne- ja suolausmäärät ovat suurimmat.

5.4 Virhelähteitä valtakunnallisessa riskinarvioinnissa

Koska riskinarviointia ovat tehneet vesi- ja ympäristöpiireittäin eri henkilöt, on riskinarviointiohjeita joiltakin kohdin sovellettu eri tavoin. Lisäksi pisteytyksen subjektiivisuus vähentää valtakunnallisen aineiston vertailukelpoisuutta.

Pohjavesialueita on käsitelty yhtenä kokonaisuutena eli olosuhteiden vaihteluja yhden pohjavesialueen eri osissa ei ole pyritty erittelemään. Ohjeiden mukaan pitäisi riski samalla pohjavesialueella kulkeville eri tieosuuksille arvioida erikseen, mikäli liikenne- ja suolausmäärät tieosuuksilla poikkeavat selvästi toisistaan. Lisäksi ohjeissa mainitaan, että jos tarkasteltavalla pohjavesialueella on useampia kuin yksi vedenottamo, määritetään riskiluku erikseen kaikkien ottamoiden suhteen. Edellä mainituissa tapauksissa koko pohjavesialuetta kuvaavana riskilukuna käytetään suurinta riskilukua. Käytännössä riskiluku on useimmiten määritetty vain eniten liikennöidylle tieosuudelle ja muut alueella kulkevat tiet on mainittu lisätietona. Tämä aiheuttaa virhettä laskettaessa rekisterin yhteenvetoraporteissa pohjavesialueilla kulkevien suolattavien teiden kokonaiskilometrimääriä.

Vaarallisten aineiden kuljetuksista ei jokaisessa piirissä saatu tarkkoja tietoja, joten paikoitellen kuljetuksia koskeva pisteytys perustuu pelkkiin arvioihin. Lisätiedoissa mainittavia muita mahdollisia kloridipitoisuuden vaikuttavia tekijöitä ja toimintoja on eri piireissä kartoitettu vaihtelevalla tarkkuudella.

Kaikkia kloridipitoisuuksien analyysituloksia ei riskinarvioinnin yhteydessä ole saatu luotettavasti koottua. Kloridipitoisuus ei vedenottamon vedessä aina ole merkittävästi kohonnut, vaikka saman pohjavesialueen yksittäisessä havaintoputkessa esiintyy kloridia yli 100 mg/l. Siten voidaan todeta, että pohjavesiesiintymän suolaantumisen luotettava selvittäminen edellyttää veden laadun seuranta sekä vedenottamosta että oikein sijoitetuista havaintoputkista.

6 TIEPIIRIKOHTAISET SELVITYKSET TIESUOLAUKSEN POHJAVESIVAIKUTUKSISTA

6.1 Selvitysten lähtökohdat

Tiepiirit laativat vuosien 1991 - 1992 aikana selvityksiä tiesuolan ja osin myös vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuusriskin vaikutuksista alueidensa pohjaveden laatuun. Selvityksissä käytetyt tietolähteet olivat vain osin yhtenäisiä ja huomioon otetuissa seikoissa ja raporttien perusteellisuudessa oli eroja. Osa selvityksistä koski tiepiirin tärkeitä pohjavesialueita ja osa pohjavedenottoamoita. Taulukosta 8 käy ilmi seikat, joihin piirien raporteissa on kiinnitetty huomiota.

Taulukko 8: Seikat, joihin tiepiireissä on kiinnitetty huomiota pohjavesialueiden suolaantumisriskiä arvioitaessa

Piiri	Cl ⁻ mg/l	Muut analyysit	Muut Cl ⁻ -lähteet	Hydr. yhteys ottoon	Antoisuus	Vedenotto	Muuta	Tiekoht. suolaus
Uusimaa	x	sähkök.	x	x	x	x		
Turku	x	sähkök.	x	x		x	a)	x
Häme	x		x	x	x	x	b)	
Kymi	x	sähkök. c)	(x)	(x)	x	x	d)	x
Mikkeli	x		x	x	x	x	b)	
Pohjois-Karjala	x			x				x
Kuopio	x	sähkök.	x	x	x	x	b)	
Keski-Suomi	x		(x)	x			a)	
Vaasa	x	sähkök.	x	(x)	x	x	a)	x
Keski-Pohjanmaa	x	sähkök. pH		x	x	x		
Oulu	x	sähkök.	x	x	x	(x)		x
Kainuu				(x)	(x)	(x)		(x)
Lappi	x	sähkök.	(x)	x	x	x		

a) maastokäynti

b) onnettomuudet laskennallisesti arvioitu

c) fluoripitoisuus ylittää lääkintöhallituksen asettamat laatuvaatimukset yhdeksällä ottamalla

d) ottamon tärkeys

(x) aineiston käsittely vaikuttaa pintapuoliselta

Osa tiepiireistä on hankkinut alueensa kunnista tiedot kaikista kloridianalyyseistä. Toiset taas ovat käyttäneet vain vuoden 1987 tietoa /63/ ja mahdollisesti joitain hajatuloksia. Kloridipitoisuutta on osalla ottamoista analysoitu vain satunnaisesti eivätkä aivan kaikki ottamot, joilla sen taso on korkea, ole ilmeisestikään vielä tiedossa. Natriumia ja kalsiumia on vedenottamoilla analysoitu vain poikkeustapauksissa, eräissä raporteissa on mainintoja likaantumisen yleisistä indikaattoreista, mutta analyysituloksia ei ole käytetty hyväksi kloridilähteen arvioinnissa. Eräiden piirien raporteissa kloridilähteistä muihin kuin tiesuolaukseen, on kiinnitetty vain vähän huomiota.

Uudenmaan, Turun ja Kymen tiepiireissä selvitettiin ensin vedenottamoiden kloridipitoisuudet. Sen jälkeen huomio kiinnitettiin lähinnä niihin pohjavesialueisiin, joilla oli havaittu korkeita kloridipitoisuuksia. Hämeen, Mikkelin ja Kuopion tiepiireissä selvitettiin tärkeillä pohjavesialueilla sijaitsevat yleiset tiet. Tiesuolan pohjavesivaikutuksia selvitettiin alueilla, joilla ainakin yhden tien keskivuorokausiliikenne oli yli 1000. Hämeen tiepiirissä käytettiin uutta pohjavesien tärkeysluokitusta ja sen aineistoa Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueella ja vanhaa luokitusta muiden vesi- ja ympäristöpiirien alueella. Kuopion ja Mikkelin piirien alueella uusi ja vanha luokitus olivat kutakuinkin samat. Niiden osalta jouduttiin käyttämään vanhaa kartta- ja lomakeaineistoa. Vaasan ja Keski-Pohjanmaan tiepiireissä keskivuorokausiliikenteen rajaksi oli valittu 1500. Keski-Suomen ja Oulun tiepiireissä tarkasteltiin kaikkia tärkeitä pohjavesialueita, joilla kulkee yleinen tie; samoin Lapin tiepiirissä, mutta siellä käytettiin uutta pohjavesialueiden tärkeysluokitusta. Pohjois-Karjalan ja Kainuun tiepiirien raporttien aineistot olivat muihin verrattuina niukkoja.

6.2 Selvitykset tiepiireittäin

Uudenmaan tiepiirissä laadittiin vuoden 1991 lopulla selvitys alueen kunnallisten pohjavedenottamoiden kloridipitoisuuksien kehityksestä. /52/ Tiedot koottiin kunnista ja Helsingin vesi- ja ympäristöpiiristä. Tarkasteltuja pohjavedenottamoita oli 87 tärkeällä pohjavesialueella kaikkiaan 101. Pohjavesialueita, joilla kloridipitoisuudet olivat yli 25 mg/l tai nousu tälle tasolle vaikutti lähiaikoina todennäköiseltä, tutkittiin muita tarkemmin.

Viidellä vedenottamalla arvioitiin korkean kloridipitoisuuden johtuvan lähinnä tiesuolauksesta ja 15:llä sen olevan yksi merkittävistä syistä. Jatkotyönä on arvioitu tienpidon ja tieliikenteen aiheuttamaa riskiä ja suojaustarvetta 14 pohjavesialueella. /53,54/ Erytysseurantaan on otettu

kolme vedenottamoa, joilla tiealueelta tulevan kloridin käyttäytymistä selvitetään tarkemmin. Talven 1992-1993 aikana tarkkailtiin tiesuolan vaikutuksia pohjaveteen tiealueen läheisyyteen asennettujen havaintoputki- en ja vedenottamoiden raakavesinäytteiden avulla. Talven 1994-1995 ajaksi tarkkailuohjelma laajennettiin käsittämään 5 pohjavedenottamoa. Kloridipitoisuustilanteen kehittyminen piirin alueen kaikissa kunnissa tarkis- tetaan vuoden 1993 aikana. /55/ Suojauksia ollaan rakentamassa kolmelle pohjavesialueelle.

Turun tiepiirissä selvitettiin vuoden 1991 loppuun mennessä tärkeiden pohjavedenottamoiden ja tiestön suhde ja hankittiin tiedot kloridipitoisuu- den kehityksestä niillä /49/. Kloridipitoisuudesta saatiin tietoa 147 ottamol- ta. Jatkoselvityksessä tutkittiin saatavilla olevan aineiston pohjalta tarkem- min niitä 36 pohjavesialuetta, joilla kloridipitoisuudet olivat yli 25 mg/l /50/. Näistä 28 alueella kulkee tie. Ottamoita oli mukana tarkastelussa 41. Kulla- kin tutkimusalueella suoritettiin myös silmämääräinen maastotarkastus kesällä 1992. Osalla alueista otettiin vesinäytteitä ja kahdelle alueelle asennettiin pohjaveden havaintoputkia.

Kahdella pohjavesialueella arvioitiin korkean kloridipitoisuuden johtuvan lähinnä tiesuolauksesta ja 19:llä sen olevan yksi merkittävistä syistä. Meriveden arvioitiin vaikuttaneen 22 pohjavesialueen korkeisiin pitoisuuksiin. Suojaustarpeen ja -kustannusten arviointi suoritettiin kaikilla tarkem- man selvityksen pohjavesialueilla. Vaarallisten aineiden kuljetusten pohja- vesiriskiä tutkittiin 70 pohjavesialueella /51/.

Hämeen tiepiirin alueelta käynnistettiin vuoden 1991 lopulla selvitys liiken- neympäristön tilasta. /32,34,35/ Pohjavesivaikutuksia selvitettiin niillä tärkeillä pohjavesialueilla, joiden alueella on tie, jonka keskivuorokausiliiken- ne on suurempi kuin 1000 ajoneuvoa. Helsingin vesi- ja ympäristöpiirin alueella käytettiin uutta pohjavesien tärkeysluokitusta ja sen aineistoa; muiden vesi- ja ympäristöpiirien alueella käytettiin vanhaa luokitusta. Tarkasteltuja pohjavesialueita oli kaikkiaan 88. Tarkastelluilla pohjavesialu- eilla kulkevan tiestön pituudeksi mitattiin kartalta yhteensä 335 km. Suojaustarvetta arvioitiin sekä suolaantumisen että vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksien kannalta. Kolmella pohjavesialueella on vanhoja kalvosuojauksia ja viidellä uusia maa-ainessuojauksia.

Kahdelle pohjavesialueelle esitettiin rakennettavaksi lisäsuojauksia tiesuolan takia. Yhdeksällä alueella tullaan kloridipitoisuuden kehitykseen kiinnittä- mään erityishuomiota. 15 alueella kloridipitoisuus oli yli 25 mg/l. Viidellä alueella arvioitiin kohonneiden pitoisuuksien johtuvan lähinnä maanteiden suolauksesta ja kymmenellä sen olevan osasy.

Kymen tiepiirissä laadittiin vuoden 1992 lopulla selvitys alueen yhdyskuntien pohjavedenottamoiden suolaantumisen ja tiealueiden suojaustarpeesta. /42/ Vesianalyysitiedot kerättiin kunnista. Tarkasteltuja vedenottamoita oli 101. Päähuomio kiinnitettiin pohjavesialueisiin, joilla kloridipitoisuus oli yli 25 mg/l. Kloridipitoisuus oli korkea 26 pohjavesialueella, joista vuoden 1983 luokituksen mukaan tärkeitä oli 22.

Veden siirto Utin alueelta muuttaa Anjalankosken ja Vehkalahden kuntien pohjavedenottamoiden käyttötarvetta olennaisesti. Haminan ja osaksi Elimäen, litin ja Suomenniemen ottamoilla korkea fluoripitoisuus on keskeinen ongelma. Viidellä ottamolla, jotka ovat käytössä jatkossakin ja joilla fluori ei rajoita veden käyttöä, arvioitiin korkean kloridipitoisuuden johtuvan lähinnä tiesuolauksesta ja viidellä sen olevan yksi merkittävistä syistä. Kahdeksalle ottamolle arvioitiin alustavasti suojauskustannukset ja niille esitettiin laadittavaksi tarkemmat suojaussuunnitelmat vuoden 1995 loppuun mennessä. Yksi ottamo ollaan siirtämässä esiintymässä sopivampaan kohtaan ja yhdellä otetaan käyttöön käänteisosmoosiin perustuva puhdistusmenetelmä.

Mikkelin tiepiirin alueelta laadittiin vuoden 1992 lopulla selvitys liikenneympäristön tilasta. /43/ Se laadittiin pohjaveden osalta samoin perustein kuin Hämeen tiepiirissä. Tarkasteltuja alueita oli 26. Suolaantumishavainnot poimittiin tiepiirin aiemmasta selvityksestä /68/. Vedenottamotiedot otettiin vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisusta: Vesihuoltolaitokset 31.12.1987 /63/. Tarkastelluilla pohjavesialueilla kulkevan tiestön pituudeksi mitattiin kartalta yhteensä 61 km. Suojaustarvetta arvioitiin sekä suolaantumisen että vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksien kannalta. Kaikille pohjavesialueille laskettiin suojausten kustannusarvio.

Seitsemällä alueella kloridipitoisuus oli yli 25 mg/l tai nousu tälle tasolle vaikutti todennäköiseltä. Yhdellä alueella arvioitiin kohonneiden pitoisuuksien johtuvan lähinnä maanteiden suolauksesta ja loppuilla sen olevan osasyä. Suolaus esitettiin kiellettäväksi kokonaan kolmella pohjavesialueella ja sallittavaksi 14 alueella vain poikkeustilanteissa. Tarkennettu suojeleusuunnitelma esitettiin laadittavaksi neljällä alueella.

Pohjois-Karjalan tiepiiri on vuonna 1991 selvittänyt tiesuolauskäytäntöä alueellaan ja pohtinut pohjavesiproblematiikkaa. /45,46/ Selvityksen aineisto oli niukkaa eikä pohjavesialueiden suojaustarvetta tai -kustannuksia ole arvioitu. Kloridipitoisuustietoja saatiin kahdeksalta pohjavesialueelta ja ne olivat kaikki alle 25 mg/l. Selvityksessä todettiin kahdella pohjavesialueella olevan suolaantumisen riski. Kloridipitoisuutta pohjavedenottamoilla alettiin seurata. Tiestä alle 60 metrin päässä olevien 12 yksityistalon kaivon kloridipitoisuudet vaihtelivat välillä 1 - 150 mg/l.

Kuopion tiepiirin alueelta laadittiin selvitys samoin perustein kuin Hämeen tiepiirissä. /41/ Tarkasteltuja alueita oli 28. Vesianalyysitietoja kerättiin vesi- ja ympäristöpiirin arkistosta. Tarkastelluilla pohjavesialueilla kulkevan tiestön pituudeksi mitattiin kartalta yhteensä 90 km. Suojaustarvetta arvioitiin sekä suolaantumisen että vaarallisten aineiden kuljetusonnettomuuksien kannalta. Kloridipitoisuus oli noin 25 mg/l vain yhdellä pohjavedenottamalla. Sen korkeahkoon pitoisuuteen on maantiesuolauksen lisäksi saattanut vaikuttaa soranotto ja teollisuus. Suojaustoimenpiteitä esitettiin kahdelle pohjavesialueelle.

Kuopion tiepiirissä on vuosina 1992-94 meneillään "rajoitetun suolankäytön kokeilu", jonka aikana pääteilläkin torjutaan suolalla vain mustan jään aiheuttamaa liukkautta. Keski-Suomen tiepiiri on kokeilun vertailualueena. /10,40/

Keski-Suomen tiepiirissä ilmestyi alkuvuodesta 1993 raportti, joka kattaa kaikki piirin 68 tärkeää pohjavesialuetta, joilla kulkee tie. /39/ Niillä on yhteensä 200 kilometriä yleisiä teitä, joista 52 kilometriä valta- ja kantateitä. Raportissa on arviot suojaustarpeesta ja -kustannuksista kaikille pohjavesialueille. Kloridipitoisuuksien on todettu ylittäneen 25 mg/l kymmenellä vedenottamalla. Viidellä korkean kloridipitoisuuden on arvioitu johtuvan lähinnä tiesuolauksesta. Näiden teiden kunnossapitoluokkaa alennettiin syksyllä 1991. Kuudelle ottamolle on esitetty kloridipitoisuuden erityistarkkailua.

Tiesuolan pohjavesivaikutuksista Keski-Suomen tiepiirin alueella on tehty myös diplomityö, joka ilmestyi vuonna 1992. /59/ Siinä selvitettiin tiesuolauksen vaikutuksia tärkeillä pohjavesialueilla ja 45 yksittäisessä kaivossa. Kloridin kulkeutumista tutkittiin kuudella pohjavesialueella. Kerrosittaisessa mittauksessa havaittiin kloridipitoisuuksien olevan korkeimpia hyvin vettä johtavissa maakerroksissa tiiviimpien maakerrosten päällä. Tutkituilla pohjavesialueilla kloridin varastoituminen esiintymän pohjalle ei vaikuttanut todennäköiseltä.

Vaasan tiepiiri laati selvityksen vuoden 1992 lopulla. Kloridipitoisuudet selvitettiin kaikilta tärkeiltä pohjavesialueilta (28 kpl), joiden alueella on I talvihoitoluokan tie (KVL > 1500). Lisäksi tutkittiin 11 aluetta, joilla on kesäsuolattavia teitä ja 6 tausta-alueita. Tarkempaan seurantaan valittiin 16 aluetta, joilla suoritettiin silmämääräinen maastotarkastus. Pohjavesialueista 11:llä on havaittu yli 25 mg/l kloridipitoisuuksia. Neljällä alueella kohonneen kloridipitoisuuden voidaan katsoa johtuvan lähinnä tiesuolauksesta ja neljällä sen olevan yksi merkittävästä syistä. Suojausten rakentamista esitettiin kuudelle pohjavesialueelle. /56,57/

Keski-Pohjanmaan tiepiiri selvitti vuonna 1991 tiesuolauksen vaikutuksia I hoitoluokan teiden läheisyydessä oleville pohjavesialueille /38/. Näitä pohjavesialueita kuului tutkimukseen 13 ja vertailualueita oli kolme. Vedenlaatua tutkittiin lisäksi 28 vedenottamalla tai pohjavesikaivossa, jotka olivat 20 - 500 metrin päässä I hoitoluokan tiestä.

Alle sadan metrin päässä tiestä olevissa kaivoissa kloridipitoisuus oli yli 25 mg/l kuudessa kaivossa yhdestätoista; loppuissa vain kahdella. Yhden pohjavesialueen tien läheisyydessä olevissa havaintoputkissa kloridipitoisuudet olivat huomattavan korkeita, mutta alueella ei ole vedenottamoita. Muilla pohjavesialueilla kloridipitoisuudet ovat olleet nousussa, mutta yhtä lukuunottamatta pysyneet alle 25 mg/l:n. Suojausten rakentamista esitettiin kahdelle pohjavesialueelle. Vesioikeuden kolmelle pohjavedenottamolle antamissa lupaehdoissa on vesilaitoksen haltija veloitettu suojaamaan tiivistämällä pohjavesialueen halki kulkevien pääteiden luiskat ja ojanpohjat. Näille alueille on laadittu suojaussuunnitelmat ja arvioitu suojauskustannukset. /37/

Oulun tiepiiri laati selvityksen pohjavesien suolaantumisen ja vaarallisten aineiden kuljetuksista vuoden 1992 lopulla. /44/ Kloridipitoisuustaso selvitettiin kaikilta alueen 19 tärkeältä pohjavesialueelta, joiden alueella on suolattava tie. Ottamoita näillä alueilla on 28. Lisäksi tutkittiin 101 tien läheistä kaivoa ja 15 pohjavesiputkea. Raporttiin ei ole kirjattu kaikkea suolaantumisen syy-yhteyksien kannalta olennaista tietoa, vaikka niitä on ilmeisesti ollut raporttia laadittaessa käytettävissä.

Yhdellä vedenottamalla arvioitiin korkean kloridipitoisuuden johtuvan lähinnä tiesuolauksesta ja kahdella sen olevan yksi merkittävistä syistä. Suojausten rakentamista esitettiin kahdelle pohjavesialueelle. Meriveden arvioitiin vaikuttaneen viiden ottamon korkeisiin pitoisuuksiin.

Kainuun tiepiirissä koottiin vuonna 1992 tietoja pohjavesialueista, joilla on suolattavia teitä. Selvityksen aineisto oli niukkaa. Tarkasteltuja alueita oli kymmenen. Kloridipitoisuustietoja saatiin neljältä pohjavesialueelta ja ne olivat kaikki pieniä. Kaikkien selvityksen pohjavesialueiden suojaustarve ja -kustannukset oli arvioitu. Suojauksia esitettiin rakennettavaksi viidelle alueelle. /36/

Lapin tiepiirissä laadittiin selvitys vuoden 1992 lopulla. Selvitykseen on otettu kaikki pohjavesialueet, jotka oli kesään 1992 mennessä luokiteltu I luokkaan kuuluviksi. Pohjavesialueita oli yhteensä 157 ja ottamoita 148. Suolaamisen ohella kiinnitettiin huomiota vaarallisten aineiden kuljetuksiin. Kaikki kloridipitoisuudet olivat pienempiä kuin 25 mg/l. Kaikkien selvityksen pohjavesialueiden suojaustarve ja -kustannukset oli arvioitu. Korkeahkon

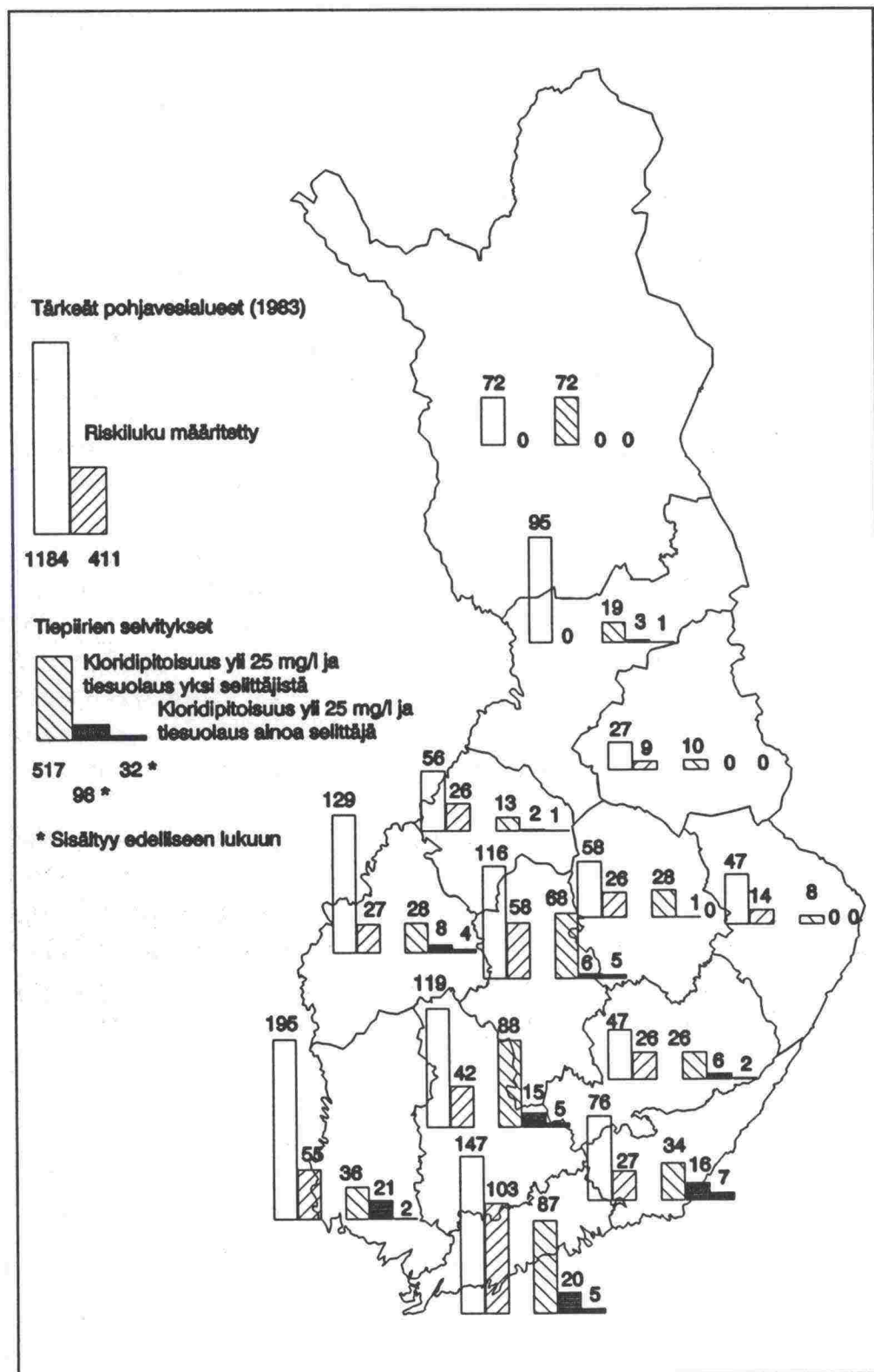
riskiluvun perusteella esitettiin piirin raportissa suojattavaksi 7 pohjavesialuetta. /24/

6.3 Valtakunnallinen yhteenveto tuloksista

Tiepiirien raporteista tehtiin valtakunnallinen kooste, jotta saataisiin realistinen kuva tiesuolauksen pohjavesihaittojen suuruusluokasta. Erot tiepiirien selvitysten perusteellisuudessa ja tasossa vaikeuttivat koosteen tekemistä, koska ottamokohtaisten lisätietojen kattavaan hankintaan ei projektin puitteissa ollut resursseja. Pohjavesialuekohtaisia päätelmiä on kuitenkin tarkistettu, mikäli siihen on raporttien pohjalta ollut edellytyksiä.

Selvitysten erilaisista lähtökohdista huolimatta, aineisto kattaa melko hyvin ne yli 200 asukkaan ottamat, joilla on havaittu korkeita kloridipitoisuuksia ja joihin teiden suolauksella voi olla vaikutusta. Kuvassa 12 esitetään tiepiirien tarkastelemien tärkeiden pohjavesialueiden (v. 1983) lukumäärät ja niiden alueiden osuudet, joilla tiesuolan on arvioitu vaikuttaneen korkeaan kloridipitoisuuteen. Lisäksi esitetään tiepiireittäin tärkeiden pohjavesialueiden (v. 1983) kokonaismäärä ja alueet, joilla riskinarviointi on tehty.

Monien piirien tarkastelu lähti vedenottamoista eikä pohjavesialueista. Siksi tästä aineistosta ei suoraan voi päätellä niiden tärkeiden pohjavesialueiden määrää, joilla tiesuolaus saattaa heikentää vedenlaatua jollain pohjavesiesiintymän osa-alueella. Taulukossa 9 on niiden pohjavesialueiden lukumäärät, joilla korkeita (> 25 mg/l) kloridipitoisuuksia on havaittu ja arviot kloridipitoisuuden nousun syistä.



Kuva 12: Selvityksissä huomioidut tärkeät pohjavesialueet (vuodelta 1983) tiepiireittäin ja arvio alueista, joiden kohonnut kloridipitoisuus saattaa johtua tiesuolauksesta

Taulukko 9: Tiepiirien raporttien pohjalta arvioitu syy pohjavesialueen kohonneeseen kloridipitoisuuteen

tiepiiri / pohjavesialueita, joilla Cl yli 25 mg/l yhteensä	luontainen/meri	lähinnä tiesuolaus	tiesuolaus osana	suolavarasto	so- ran- otto	kaa- to- paik- ka	asu- tus/ teoll.	ve- den- otto	epä- mää- räi- nen
Uusimaa / 30	7	5	15	3		3	10	8	3
Turku / 36	22	2	19	6	1			2	
Häme / 15		5	10	5			6	4	
Kymi / 26	6	7	9	1	1	1	7		3
Mikkeli / 7		2	4		1		4		1
Pohjois-Karjala / 0									
Kuopio / 1			1		1		1		
Keski-Suomi / 10		5	1				1		4
Vaasa / 11	3	4	4	2			2	4	
Keski-Pohjanmaa / 2		1	1		1		1		
Oulu / 7	5	1	2	2	1		1	1	
Kainuu / 0									
Lappi / 0									
Yhteensä / 145	43	32	66	19	6	4	33	19	11

Tiesuolaus on pohjavesien kannalta suurin ongelma siellä, missä suolan käyttömäärätkin ovat suurimpia, eli Uudenmaan, Turun, Hämeen ja Kymen tiepiireissä. Kymen tiepiirissä on suolan käyttöä vähennetty viime vuosina huomattavasti, mikä kääntänee eräissä tapauksissa kloridipitoisuudet laskuun. Tiepiirien tarkasteluissa olleilla pohjavesialueilla, joilla on havaittu korkeita kloridipitoisuuksia, tiesuolaus vaikuttaa kahdella kolmasosalla ainakin osatekijältä pitoisuuden nousuun. Tapauksia, joissa tiesuolaus vaikuttaa ainoalta merkittävältä tekijältä, on kuitenkin vain 32.

Tiesuolauksen lisäksi muita tekijöitä, jotka saattavat vaikuttaa pohjaveden kloridipitoisuuteen, on tarkasteltu vaihtelevalla tarkkuudella eri tiepiireissä. Rannikon läheisyyden on todettu vaikuttavan monien pohjavesialueiden kloridipitoisuuteen. Pohjavesialueiden muuhun käyttöön ei kaikissa raporteissa ole kiinnitetty juurikaan huomiota. Asutukseen ja teollisuuteen liittyvä kloridikuormitus voi johtua lähinnä katualueiden liukkaudentorjunnasta, viemäriveruodoista tai kloorin tai kloridipitoisten aineiden huolimatt-

tomasta käsittelystä. Näistä on vaikea tehdä päätelmiä pelkän karttatarkastelun pohjalta. Maan pidätyskyvyn, pohjaveden muodostuksen ja virtausten muutoksilla saattaa myös olla vaikutusta. Vanhoilla taajama- ja teollisuusalueilla vaikutus kloriditasoon on todennäköisempää kuin uusilla alueilla.

Keski-Suomen, Keski-Pohjanmaan, Oulun ja Pohjois-Karjalan tiepiirien alueilla tutkittiin tärkeiden pohjavedenottomoiden lisäksi parin sadan yksityisen kaivon kloridipitoisuuksia. /38,44,46,59/ Keski-Suomessa valittiin tarkasteluun kaivoja, joissa tiesuolauksen aiheuttama kloridinousu vaikutti karttatarkastelun ja maastokäynnin perusteella ainoalta todennäköiseltä kuormittajalta. Muissa piireissä kaivojen valinta oli sattumanvaraisempaa: valintakriteerinä oli yleensä tien läheisyys ja / tai kaivon omistajan valitus kloridipitoisuudesta. Alueilla, joilla kaivoihin tuleva vesi muodostuu, saattoi olla muitakin kuormitustekijöitä ja veden virtaussuunta oli vain osassa tapauksista tieltä kaivon suuntaan.

Keski-Suomessa tehtyjen havaintojen mukaan kaivon etäisyys tiestä pohjavesivirtauksen suunnassa ja tien pituus pohjaveden muodostumisalueella olivat merkittävimmät kloriditason selittäjät. Näiden lisäksi tiellä käytetyn suolan määrä on olennainen tekijä.

Yksityisten kaivojen vedenkäyttö on usein vähäistä ja vesi otetaan pohjavesikerroksen pinnasta. Siksi veden laatu saattaa vaihdella melko paljon. Tien läheisissä kaivoissa on havaittu kloridipitoisuuden vuodenaikaisvaihtelu: Aivan tien lähialueella kloridimaksimi ajoittuu yleensä lumien ja roudan sulamisen jälkeiseen aikaan, mutta kauempana kesään tai syksyyn. Havainto tukee luvussa 4 esitettyä teoriaa. Pohjaveden pintakerrosta hyödyntävissä kaivoissa tiesuolauksen vaikutukset näkyvät selkeimmin pohjaveden virtaussuunnassa noin 100 metrin etäisyydelle tiestä. Syvempiä vesikerroksia hyödyntävissä kaivoissa ja lähteissä saattaa tiesuolaus vaikuttaa kloridipitoisuuteen kaukanakin tiestä.

7 TIEPIIRIEN SELVITYSTEN JA VALTAKUNNALLISEN RISKINARVIOINNIN VERTAILU

Tiepiirien ja vesi- ja ympäristöpiirien yhteistyönä määrittämät pohjavesialueiden riskiluvut helpottavat alueiden keskinäistä vertailua ja antavat suuntaa suolaantumisuhan arvioinnille. Vaikka riskiluvun määrittäminen perustuu jossain määrin subjektiivisiin arvioihin ja yleistykseen, auttaa pisteytys

valitsemaan ensisijaista huomiota vaativat kohteet. Riskilukuja ei kuitenkaan voi suoraan käyttää maantiesuolauksen vaikutusten osoittamiseen eikä suojaustarpeen määrittämiseen.

Tiepiirien tarkasteluissa on yleensä otettu huomioon vähemmän vaikuttavia tekijöitä kuin riskinarvioinnissa. Suolauksen vaikutusten osalta huomiota on kiinnitetty lähinnä havaittuihin kloridipitoisuuksiin sekä tiehen ja suolaukseen liittyviin tekijöihin; suojaustarpeen osalta myös vaarallisten aineiden kuljetuksiin. Tiepiirien selvityksissä pohjavesialueen yleisiin ominaisuuksiin on kiinnitetty vähemmän huomiota kuin riskinarvioinnissa.

Osassa tiepiirien selvityksistä on tarkastelun lähtökohta sama kuin riskinarvioinnissa: kootaan tiedot kaikista tärkeistä pohjavesialueista, joilla kulkee suolattava tie. Osa on keskittynyt niihin ottamoihin, joilla on havaittu korkeahkoja kloridipitoisuuksia. Tiepiirikohtaisesti tehdyissä tiesuolauksen pohjavesivaikutusten selvityksissä on tarkastelun pääpaino ollut yksittäisissä vedenottamoissa eikä niinkään niiden yhteismitallisessa vertailussa. Olemassa olevien tietojen perusteella tehdyn arvion täsmennykseksi pitäisi asiantuntijan käydä alueella suorittamassa vähintäänkin silmämääräinen maastotutkimus. Joissakin tapauksissa pitäisi alueella tehdä tarkempia tutkimuksia, ennen kuin saadaan varmuus alueen hydrogeologiasta, tien ja vedenottamon hydraulisesta yhteydestä ja korkean kloridipitoisuuden aiheuttajista. Näitä täsmennyksiä ja varmistuksia on tehty vasta pieneltä osin.

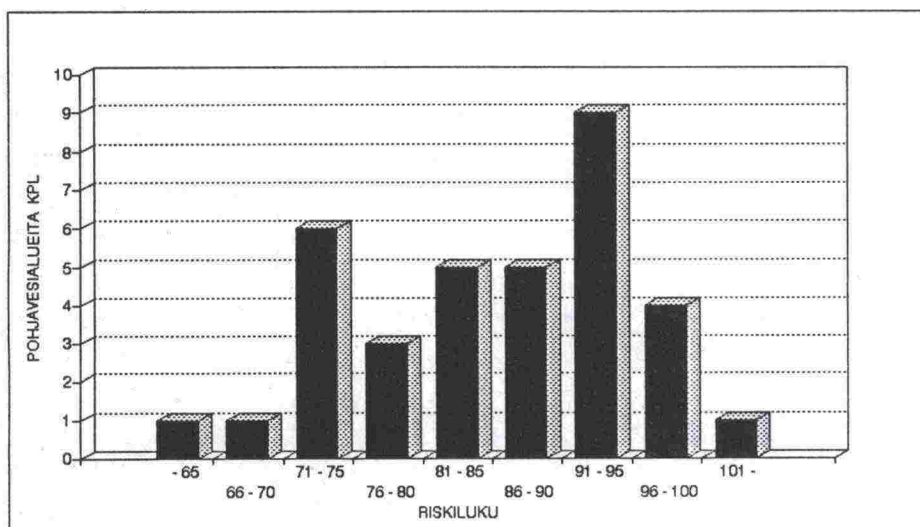
Tiepiirien selvitysten erilaisuuden lisäksi riskinarvioinnin ja tiepiirien selvitysten tulosten vertailua vaikeuttaa se, että tiepiirijako poikkeaa vesi- ja ympäristöpiirijaosta. Liitteessä 4 on kunnittainen lista näistä poikkeavuuksista.

Kloridipitoisuudet ovat nousseet useilla tärkeillä pohjavesialueilla sijaitsevilla ottamoilla. Noin kymmenellä prosentilla kaikista tärkeistä pohjavesialueista (lista vuodelta 1983) kloridipitoisuus ylittää 25 mg/l ainakin osittain tiesuolauksen vaikutuksesta. Nousu on monella ottamalla ollut jyrkkääkin, mutta vain muutamassa poikkeustapauksessa kloridipitoisuus ylittää lääkintöhallituksen asettaman talousveden laatuvoitteen ($Cl < 100$ mg/l). Näissä tapauksissa on korkeaan kloridipitoisuuteen yleensä useampia mahdollisia syitä, joista merellinen vaikutus on yleisin. Tiepiirien selvityksissä 98 pohjavesialuetta, joilla kloridipitoisuus on ylittänyt 25 mg/l ja tiesuolaus vaikuttaa ainakin osatekijältä korkeahkoon pitoisuuteen. Näistä 32:lla tiesuolaus vaikuttaa ainoalta merkittävältä tekijältä. Riskinarvioinnissa on 72 pohjavesialueella kloridipitoisuuden todettu olevan yli 25 mg/l ja näistä 19:llä tiesuolauksen olevan ainoa merkittävä kloriditasoon vaikuttava tekijä.

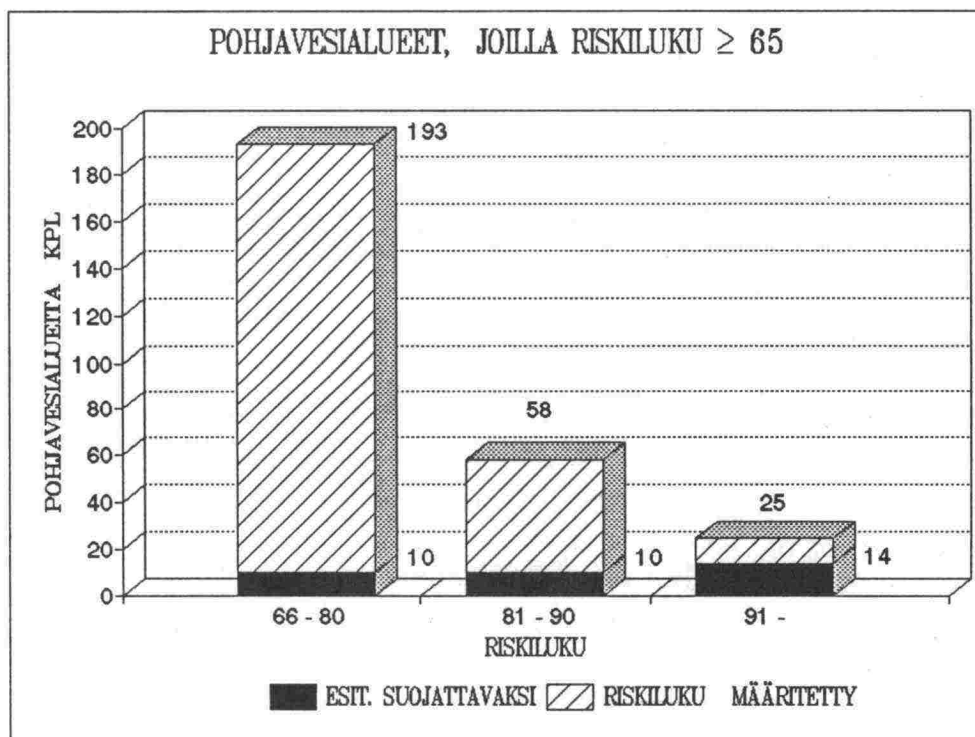
Riskinarviointi ja tiepiirien selvitykset antavat varsin samansuuruisen arvion niiden pohjavesialueiden määrästä, joilla tiesuolaus on selvästi aiheuttanut kloridipitoisuuden nousun. Riskinarvioinnissa todettujen ongelma-alueiden pienempää määrää selittää mm. se, että riskinarviointi on tekemättä kolmen vesi- ja ympäristöpiirin alueella. Kummankin selvityksen perusteella tiesuolauksesta on eniten haittaa pohjavesien käytölle Uudellamaalla, Varsinais-Suomessa ja Kymessä. Tampereen vesi- ja ympäristöpiirin riskinarviointi ei ole valmistunut, mutta tiepiirin selvityksen perusteella Hämeenkin vaikuttaa ongelma-alueelta.

Riskinarviointitietojen perusteella on arvioitu, että niillä pohjavesialueilla, joiden riskiluku on suurempi kuin 65, riski alueen käyttökelpoisuuden heikkenemiseen vedenhankinnassa on huomattava. Näitä alueita on tarkastelluissa vesi- ja ympäristöpiireissä kaikkiaan 276 kappaletta. Määrä on selvästi suurempi, kuin niiden alueiden määrä (145 kpl), joilla oli havaittu vähintään 10 mg/l kloridipitoisuuksia. Lukumäärien huomattava ero havainnollistaa ongelman piilevyyttä: on mahdollista, että tiesuolaus on vaikuttanut pohjavesialueen kloridipitoisuuteen, vaikka pitoisuuden nousu ei vielä nykytilassa näkyisikään vedenottamalla.

Pohjavesialueiden, joilla suojaukset on arvioitu tarpeellisiksi ja ensisijaiseksi keinoksi kloriditason alentamiseksi, riskiluvut ovat 64 - 103. Kahdelle suojattavaksi esitetyle alueelle ei ole määritetty riskilukua. Alueiden riskilukujakauma ilmenee kuvasta 13. Pohjavesialueita, joiden riskiluku on huomattavan korkea (≥ 80), on yhteensä 85. Kuvasta 14 ilmenee suojattavaksi esitettyjen alueiden osuudet eri riskilukualueista. Kolmen vesi- ja ympäristöpiirin riskilukutietojen puuttuminen pienentää kokonaismäärän pylväitä.



Kuva 13: Tiepiirien selvitysten pohjalta ensisijaisesti suojattavaksi esitettyjen pohjavesialueiden riskilukujakauma



Kuva 14: Pohjavesialueiden lukumäärä, joilla riskiluku ylittää 65 ja ensisijaisesti suojattavaksi esitettyjen osuus

8 KEINOT TIESUOLAUKSEN HAITTAVAIKUTUSTEN PIENENTÄMISEKSI LÄHITULEVAISUUDESSA

8.1 Tiealueiden suojaus

Tiepiirikohtaisista selvityksistä koottiin ne pohjavesialueet (luokka I) ja vedenottamot, joilla suolaus vaikuttaa päätekijältä kohonneisiin kloridipitoisuuksiin tai vaarallisten aineiden kuljetukset muodostavat huomattavan riskin vedenlaadulle. Lisäksi määritettiin näillä pohjavesialueilla sijaitsevat vähintään I kunnossapitoluokan tiesuodet, näiden pohjavesialueilla ja pohjaveden muodostumisalueilla kulkemat kilometrimäärät sekä tiepiirien arvioimat suojauskilometrimäärät ja suojauskustannukset.

Niiden tiepiirien osalta (Oulu, Häme), jotka eivät olleet arvioineet suojauskustannuksia, laadittiin arvio käyttämällä suojaustyyppinä perussuojausta ja suojauksen keskimääräisenä kilometrihintana arvoa 1,0 Mmk. Kymen, Keski-Pohjanmaan ja Vaasan tiepiireistä ei ollut käytettävissä tie-

piirien laatimaa vaarallisten aineiden kuljetusten aiheuttaman pohjaveden likaantumiseriskin arviointia, Uudenmaan tiepiirin osalta arviointi koski vain osaa tiepiirin pohjavesialueista.

Osa tiepiireistä oli laatinut selvitykset siten, että suojaustoimenpiteiden tarve ja -kustannukset oli arvioitu kaikille tiepiirin alueella sijaitseville pohjavesialueille riippumatta pohjaveden kloridipitoisuustasosta. Osa tiepiireistä taas oli käyttänyt selvitysrajana Kaupunkiliiton selvitysrajaa (25 mg/l) alhaisempaa kloridipitoisuustasoa. Tästä johtuen suojeltavaksi oli eräissä tiepiireissä esitetty sellaisiakin pohjavesialueita, joiden kloridipitoisuus selvityksen laatimishetkellä oli alhainen. Nyt esitettävässä suojaustarvearviossa on karsittu pois alueet, joilla pohjaveden kloridipitoisuuden ei ole havaittu ylittäneen tasoa 25 mg/l. Kuitenkin sellaiset alueet, joilla on arvioitu olevan merkittävä tieliikenteestä aiheutuva likaantumiseriski, on otettu suojaustarvearvioon mukaan, vaikka pohjaveden kloridipitoisuustaso olisikin alle em. arvon.

Taulukkoon 10 on suojaustoimenpiteitä vaativat alueet jaettu kolmeen ryhmään:

- tiesuolauksen on havaittu vaikuttaneen alueen pohjaveden laatuun
- vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuusriski on merkittävä
- alueisiin, joilla molemmat edellämainitut pätevät

Taulukko 10: Pohjavesialueiden suojaustoimenpiteiden tarve- ja kustannusarvio

Suojaustoimenpiteen syy	Pohjavesialueita kpl	Vedenoittamoita kpl	Tieosuuksia km	Tieosuuksia pohjaveden muodostumisalueella km	Suojattavaa tieosuutta km	Suojauskustannukset Mmk A)
(1) Vain tiesuolauksen pohjavesivaikutukset	13	13	36	32	28	33
(2) Tiesuolauksen pohjavesivaikutukset ja onnettomuusriski samalla alueella	43	55	148	100	136	135
(1 + 2) Alueet, joilla tiesuolaus vaikuttaa suojaustarpeeseen	56	68	185	133	164	168
(3) Vain vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuusriski B)	29	33	82	44	64	60
(2 + 3) Alueet, joilla vaarallisten aineiden kuljetusten onnettomuusriski vaikuttaa suojaustarpeeseen B)	72	88	230	145	201	196
(1 + 2 + 3) Alueet, joilla tiesuolaus tai vaarallisten aineiden kuljetukset vaikuttavat suojaustarpeeseen	85	101	266	177	228	228

A) Kaikki suojaustoimenpiteitä vaativat alueet on oletettu suojattavaksi.

B) Kaikki tiepiirit eivät ole arvioineet vaarallisten aineiden kuljetuksia pv-alueilla

Selvitysaineiston perusteella maassamme on 85 pohjavesialuetta, joilla tienpito ja tieliikenne ovat niin merkittävä riski pohjaveden laadulle, että pohjaveden suojelutoimenpiteet on arvioitu tarpeellisiksi. Näillä pohjavesialueilla on 128 tieosuutta, joiden yhteispituus on 266 km. Tieosuuksilla on suojelutoimenpiteitä vaativia osuuksia n. 228 km. Mikäli kaikilla näillä tieosuuksilla estettäisiin tiealueelta kertyvän veden pääsy pohjaveteen, olisivat kustannukset noin 230 Mmk. Jos tarkastellaan vain tiesuolauksen

aiheuttamien pohjavesivaikutusten poistamista suojausrakentein, kustannukset olisivat noin 170 Mmk.

Taulukossa 10 esitettyjen tieosuuksien vaikutuspiirissä on 101 vedenottamo. Näistä vedenottamoista käytetään vettä yhteensä n. 88 000 m³/d. Yhdyskuntien vedenottamoiden keskimääräisen vedenkulutuksen perusteella (267 l/hlö/d) käyttö vastaa n. 300 000 henkilön päivittäistä vedenkulutusta. Vedenottamoista 58 on sellaisia, joissa pohjaveden kloridipitoisuus on joskus ylittänyt tason 25 mg/l, ja 51 sellaisia, joissa viimeisin käytävissä oleva analyysituloks on ollut yli 25 mg/l. Lopuilla vedenottamoista liikennetä on niin suuri, että suojaus on arvioitu tarpeelliseksi.

Tiesuolauksen vaikutusten vuoksi suojelutoimenpiteitä vaativia pohjavesialueita on 56 kpl, joista noin puolet sijaitsee Uudenmaan, Kymen ja Turun tiepiirien alueella. Näillä on vilkkaasti liikennöityjä tieosuuksia 86 kpl, yhteensä n. 185 km. Suojelutoimenpiteitä vaativia osia näillä teillä on yhteensä n. 164 km. Suolauksen vaikutukselle alttiita vedenottamoita teiden vaikutuspiirissä on 68.

Tiesuolauksen vaikutusten poistamiseksi voidaan suojausten rakentamista pitää ensisijaisena toimenpiteenä 37 pohjavesialueella. Niiden suojausten rakentamisesta aiheutuvat kustannukset ovat noin 94 Mmk. Kloridipitoisuustason alentaminen on arvioitu mahdolliseksi suolausta vähentämällä 19 pohjavesialueella (taulukko 11).

Taulukko 11: Tiealueiden suojaustarve- ja kustannusarvio pohjavesialueilla, joiden vedenlaatuun tiesuolauksella on ollut vaikutusta

Toteutustapa	Pohjavesialueita	Vedenottamoita	Tieosuuksia	Tieosuuksia pohjaveden muodostumisalueella	Suojattavaa tieosuutta	Suojauskustannukset
	kpl	kpl	km	km	km	Mmk
Ensisijaisesti suojausrakenteet	37	40	114	74	92	94
Ensisijaisesti suolauksen vähentäminen	19	28	71	59		

8.2 Suolamäärien vähentäminen

Pääteiden kemiallista liukkaudentorjuntaa on vaikea korvata kokonaan. Aurauksella voidaan poistaa lunta ja jäätä sekä tasata polanteita. Renkaiden nastoituksella voidaan lisätä pitoa jäisellä kelillä. Nastat myös karhentavat jääpolanteen pintaa, mikä lisää nastattomienkin talvirenkaiden pitoa. Hiekoitus tulee kyseeseen vain, jos liikennemäärä (etenkin raskaiden ajoneuvojen) on riittävän pieni.

Perinteisin suolausmenetelmä, jota käytetään jonkin verran edelleen, on kuivasuolaus. Kuivana levitettävästä raesuolasta suurin osa lentää tien oheen tuulen ja liikenteen takia eikä kuivasuolaus sovellu ennakkosuolaukseen. Kehittyneempien menetelmien vaatiman kaluston yleistyessä kuivasuolauksesta ollaankin luopumassa kokonaan.

Suolaliuoksella kostutetun suolarakeen paino on suurempi ja tarttuvuus tiehen paljon kuivaa suolaa parempi. Kostutus nopeuttaa sulatuksen alkamista varsinkin kylmissä ja kuivissa oloissa. Levityskerralla tarvittavan suolan määrä kilometriä kohden on noin 70 % kuivasuolauksen tarpeesta.

Liuossuolalla tarkoitetaan natrium- tai kalsiumkloridiliuosta. Ne soveltuvat parhaiten ohuen jään tai kuuran sulatukseen ja ennakkosuolaukseen. Jää- tai lumipolannetta ei liuossuolalla voi sulattaa, koska liuos laimenee tehottomaksi. Liuossuola jää lähes kokonaan päällystetylle tieosalle, jos sitä levitetään niin, että tienpinta tulee kosteaksi - ei märäksi. Tällöin levityskerralla tarvittavan suolan määrä kilometriä kohden on vain noin 30 % kuivasuolauksen tarpeesta. Liuossuolauksesta on saatu niin myönteisiä käyttökokemuksia, että sen osuus kokonaissuolauksesta kasvaa huomattavasta kalustoinvestointitarpeesta huolimatta. Kostutetun suolan ja liuosuolan ohjeelliset levitysmäärät ilmenevät liitteestä 5.

Suolan levitysmäärien ja -kertojen tarkemmalla seurannalla ja valvonnalla, voidaan välttää "varman päälle"-annostukset ja vähentää suolauskertoja. Tietyissä sääoloissa voidaan pohjavesialueilla käyttää suolauksen sijaan mekaanisia liukkaudentorjuntamenetelmiä tai luopua liukkaudentorjunnasta. Tielaitoksen kaksivuotisen Talvi ja tieliikenne projektin tavoitteena on selvittää yhteiskunnan kannalta edullisin teiden talvihoidon taso sekä keinot siihen pääsemiseksi.

Osana tielaitoksen Talvi ja tieliikenne -projektia on Kuopion läänissä tutkittu kunnossapitoa pääsääntöisesti ilman suolaa. Suolattavilla teillä suolan kulutusta saatiin ensimmäisen kokeilutalven aikana pudotettua noin 90 %. /10/ Muissa tiepiireissä on suolan käyttöä pyritty vähentämään tuntuvasti.

Eniten suolan käyttöä on rajoittanut Kymen tiepiiri, jossa suolattavien teiden karsinnalla ja uuden kaluston käyttöönotolla on suolausmäärä saatu putoamaan noin kolmannekseen vuodesta 1990. Kokeilujen tässä vaiheessa on vaikea vetää pitkälle meneviä johtopäätöksiä niiden vaikutuksista liikenneturvallisuuteen.

8.3 Korvaavat kemikaalit

Kemikaalin, joka korvaisi natriumkloridin liukkaudentorjunnassa, tulisi olla riittävän tehokas ja helposti käsiteltävä. Sen käyttö ei saisi tulla kohtuuttoman kalliiksi. Siitä ei saisi olla merkittävää haittaa ympäristölle eikä pohjavesien käytölle. Täydellistä liukkaudentorjuntakemikaalia ei kuitenkaan ole olemassa, vaan jokaisella on omat hyvät ja huonot puolensa.

Luonnossa hajoavista aineista natriumformiaatti ja kalsium-magnesium-asettaatti eli CMA vaikuttavat lupaavimmilta. CMA:ta on maailmalla tutkittu paljon ja se on melko laajasti käytössäkin /47/. Natriumformiaattia ei sen sijaan ole juurikaan tutkittu, vaikka sen hajoamistuote, natriumbikarbonaatti, on ympäristössä haitaton ja hajotusprosessissa kuluu happea vain puolet CMA:n hajotukseen kuluvasta. Sen kuten CMA:nkin varjopuolena on moninkertainen hinta suolaan nähden.

CMA:n hajoamistuotteet, kalsium- ja magnesiumbikarbonaatti ja hiilidioksidi, ovat luonnossa haitattomia ja vähentävät pohjaveden happamoitumista. Osa hajoamistuotteista jää kalkkikivenä maaperään. CMA:n syövyttävyyden on erittäin pieni ja se on luonnolle myrkytön. CMA:n hajoaminen kuitenkin kuluttaa happea pohja- ja pintavesistä: gramma CMA:ta kuluttaa 0,47 grammaa happea. Hapen puute on monien järvien keskeinen ongelma ja pohjavedenkin laatu huononee olennaisesti, jos happi kuluu siitä loppuun.

Pääteiden nykyistä liukkaudentorjuntatasoa vastaava CMA:n käyttömäärä (20 t/km) kuluttaa happea kilometriä kohti saman verran kuin 300 asukkaan jätevedet. Jos veden lämpötila on 4 °C, voi siinä normaali-ilmanpaineessa olla liuenneena happea enintään 13 g/m³. Tonni CMA:ta kuluttaa siis hapen loppuun noin 36 000 m³:stä hapen suhteen kylläistä vettä, jos veteen ei samalla liukene happea ympäristöstä. Hapen loppuessa keskeytyy CMA:n hajoaminen. CMA hajoaa muutenkin hitaasti kylmissä olosuhteissa, mikä saattaa siirtää hapenkulutuksen maan pintakerroksesta ja vajovesistä varsinaiseen pohjaveteen, jossa veden hapettuminen on tehotonta. Hajoamaton CMA saattaa aiheuttaa haitallista bakteerien kasvua vesijohto-

verkostossa. CMA:n hajoamista maaperässä tutkitaan Talvi ja tieliikenne -projektiin liittyen pienimuotoisesti lysimetrikokein.

Lentokentillä ja silloilla on liukkaudentorjuntaan ja jäätyamisen estoon käytetty jonkin verran metanolia, etyylialkoholia ja ureaa. Ne kuluttavat selvästi enemmän happea kuin CMA ja urean hajoamistuotteena syntyvän nitraatin on todettu heikentävän lähialueiden pohjavesien laatua /4/.

Yhtenä vaihtoehtona natriumkloridin käyttömäärien vähentämiselle on muiden aineiden sekoittaminen sen joukkoon. Ympäristön kannalta tarkasteltuna kyseeseen voisivat lähinnä tulla kaliumbikarbonaatti, CMA tai natriumformiaatti.

9 VIRANOMAISVALVONNAN NÄKÖKOHTIA

9.1 Vesilain soveltaminen pohjavesien suolaantumistapauksissa

Vesilain 1 luku sisältää mm. pohjaveden muuttamiskiellon ja pilaamiskiellon. Näistä tiesuolausta koskee lähinnä pohjaveden pilaamiskielto (VL 1:22), joka kuuluu seuraavasti:

Tämän luvun 19 §:ssä tarkoitettua ainetta tai energiaa ei saa panna tai johtaa sellaiseen paikkaan tai käsitellä siten (pohjaveden pilaamiskielto), että

- 1) tärkeällä tai muulla vedenhankintakäyttöön soveltuvalla pohjavesialueella pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai sen laatu muutoin olennaisesti huonontua;*
- 2) toisen kiinteistöllä oleva pohjavesi voi käydä terveydelle vaaralliseksi tai kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä muutoin voitaisiin käyttää tai*
- 3) toimenpide vaikuttamalla pohjaveden laatuun muutoin saattaa loukata yleisiä tai toisen yksityistä etua.*

Lisäksi maassamme on muodostettu toimivien tai perustettavien pohjavedenottamoiden ympärille vesioikeudellisia suoja-alueita, joissa saattaa olla tiesuolausta koskevia määräyksiä, kieltoja tai rajoituksia. Yleinen pohjaveden pilaamiskielto on kuitenkin aina voimassa kaikkialla, myös näillä suoja-

alueilla, vaikka suoja-aluepäätöksessä ei tiesuolausta olisi erikseen käsiteltykään.

Tiesuolan levityksestä ei yleensä aiheudu pohjavedessä terveydelle haitallisia vaikutuksia, mutta sitä vastoin siitä voi olla seurauksena pohjaveden laadun olennainen huonontuminen tai veden käyminen kelpaamattomaksi tarkoitukseen, johon sitä muutoin voitaisiin käyttää. Pääasiallinen haitta on tällöin veden syövyttävyyden lisääminen. Tärkeillä ja muilla vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla (luokat I ja II) kielto koskee siis kaikkea pohjavettä. Niiden ulkopuolella pilaamiskielto koskee naapurikiinteistöllä olevaa pohjavettä.

Pilaamiskielto koskee myös pohjaveden vaarantamista, eli toimenpiteitä, joiden seurauksena pohjavesi saattaa pilaantua. Sen, milloin pohjavettä vaarannetaan vesilaissa tarkoitetulla tavalla, ratkaisevat ensi kädessä valvontaviranomaiset, joita ovat valtion vesi- ja ympäristöhallinto ja kuntien ympäristönsuojeluviranomaiset. Mahdolliset riitatapaukset ratkaistaan vesituomioistuimissa.

Siitä, milloin pohjavesi on vaarantunut, ei ole riittävästi vesioikeudellisia ennakkotapauksia, ja lisäksi hydrogeologisten olosuhteiden vaihtelu aiheuttaa sen, että jokainen vaarantuminen on käytössä käsiteltävä omana tapauksenaan. Vesiviranomaiset katsovat, että kloridipitoisuuden ylittäessä 25 mg/l on syytä ryhtyä valvontatoimenpiteisiin. Tämä ei vielä aiheuta korvausvelvollisuutta.

Meillä ja muissakin maissa sovelletaan ns. aiheuttamisperiaatetta, jonka mukaan pohjaveden pilaaja tai vaarantaja on vastuussa haitan poistamisesta. Jos tiesuolan levityksestä siis aiheutuu pohjaveden pilaamiskiellon vastaisia seurauksia, on tienpitäjä niistä vastuussa. Mikäli aiheuttajia on useita, ne ovat yhdessä vastuussa.

Vesilain 21 luvun 2 §:n mukaan valvontaviranomaisen on vesilakia rikottaessa ryhdyttävä toimenpiteisiin, jos yleistä etua loukataan tai yksityinen haitankärsijä ilmoittaa asian valvontaviranomaiselle. Tällöin valvontaviranomaisen on ilmoitettava asiasta viralliselle syyttäjälle tai "muulla tavoin ryhdyttävä toimenpiteisiin sen oikaisemiseksi, mitä oikeudettomasti on tehty tai laiminlyöty". Jos kyseessä on vain yksityisen edun loukkaus, on yleisen oikeuskäytännön perusteella mahdollista, että pohjaveden pilaaja tai vaarantaja sekä toisaalta haitankärsijä sopivat asiasta keskenään, jolloin valvontaviranomaisen ei tarvitse puuttua asiaan. Sopiminen tapahtuu yleensä käytännössä siten, että pilaaja poistaa tai korvaa aiheuttamansa haitan. Yleistä etua vaarannettaessa tällaista sopimismahdollisuutta ei ole.

Toistaiseksi on hieman epäselvää, miten vastuu jakautuu vaarallisten aineiden kuljetuksissa aiheutuviissa pohjaveden pilaantumistapauksissa. Ne jouduttaneenkin paljolti ratkaisemaan tapauskohtaisesti. Jos tienpitäjä on huolehtinut tien suunnittelusta, rakentamisesta ja kunnossapidosta asianmukaisesti sekä voimassa olevia ohjeita ja normeja noudattaen, ei tienpitäjän vastuu mahdollisissa onnettomuustapauksissa muodostune kovin merkittäväksi.

9.2 Veden laadun heikkenemisen korvaus

Kaupunkiliiton kloridipitoisuudelle antama selvitysraja (25 mg/l) on suositusluontoinen samoin kuin lääkintöhallituksen talousvedelle asettama laatutavoite (Cl < 100 mg/l). Jos kohonneesta kloridipitoisuudesta on selvästi haittaa pohjaveden käytettävyydelle, sen voidaan katsoa pilanneen veden. Tällöin on selvitettävä korkean pitoisuuden aiheuttavat tekijät. Jos pilaajat on yksilöitävissä, on heidän korvattava aiheuttamansa vahinko.

Vesilaki on pohjavesiasioissa erityislaki, joka juridiselta velvoittavuudeltaan ohittaa yleislait. Koska vesilaissa ei ole korvaussäännöksiä, joita voitaisiin suoraan soveltaa pohjavesien pilaamiseen, on vesioikeus joutunut käsittelemään riidat tapauskohtaisesti. Laki ympäristövahinkojen korvaamisesta tulee voimaan joulukuussa 1993, mikä selkiyttäne suolausvahinkojenkin korvauksia. /22/

Tiepiirit ovat korvanneet jonkin verran yksityisiä kaivoja, joissa kloridipitoisuus on ollut korkea ja nousu on selvästi johtunut tiesuolasta. Nämä tapaukset ovat selvästi kuuluneet lakitermin "yksityinen etu" piiriin. Jo muutaman talouden vedenotto pohjavesialueelta saattaa muuttaa kloridipitoisuuden nousun loukkaukseksi "yleistä etua" kohtaan, johon vesilain mukaan ei voi saada lupaa. Jos haitta koskee yleistä etua, on pohjaveteen kohdistuvaa kloridikuormaa vähennettävä niin paljon, että haitta poistuu. Jos vesiviranomaiset katsovat yleistä etua koskevan pohjavesialueen pilaantumisvaaran olevan ilmeinen, he voivat velvoittaa pienentämään kloridikuormaa, vaikka haittaa ei vielä olisi ilmennytäkään.

Jos pohjaveden laadun merkittävä heikkeneminen johtuu selvästi tiesuolauksesta, on tilanne korjattavissa pienentämällä tieltä tulevaa kuormitusta riittävästi joko suolausta vähentämällä tai johtamalla tiealueelta kertyvät suolaiset vedet pois pohjavesialueelta. Jos kumpikaan näistä ei ole mahdollista, on selvitettävä, mistä hyvälaatuista raakavettä olisi saatavilla. Useimmissa tapauksissa uuden entistä vastaavan vedenottamon ja vesijoh-

tolinjan kustannukset nousevat moninkertaisiksi tien suojauksesta aiheutuviin kustannuksiin verrattuna, sillä likaantunutta esiintymää vastaavia pohjavesiesiintymiä ei yleensä ole kulutuskeskuksen tai likaantuneen vedenottamon lähistöltä löydettävissä. Joissain tapauksissa riittää kuitenkin ottamon siirto toiseen kohtaan samaa pohjavesialuetta, jolloin kokonaiskustannukset saattavat olla kohtuulliset.

10 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Kloridista vedessä ei alle 300 mg/l pitoisuuksina ole suoraa terveydellistä tai makuhaittaa, mutta se lisää veden syövyttävyyttä. Syövyttävyyden lisäyksen vuoksi on Kaupunkiliitto asettanut talousveden kohonneen kloridipitoisuuden syyn selvitysrajaksi 25 mg/l ja lääkintöhallitus laatutavoitteeksi alle 100 mg/l pitoisuuden.

Luonnontilaisen pohjaveden kloridipitoisuus on yleensä selvästi alle 10 mg/l. Poikkeustapauksia ovat mm. meren vaikutusalueella sijaitsevat tai vettä ympäristöstään keräävät osin savipeitteiset pohjavesiesiintymät. Muissa tapauksissa kloridipitoisuuden kohoaminen yli 10 mg/l:n osoittaa veden laadun muuttuneen ihmisen toiminnan vaikutuksesta. Esimerkiksi liukkaudentorjunta, pölynsidonta, asutus, kaatopaikat, maatalous ja eräät teollisuuden alat saattavat nostaa pohjaveden kloridipitoisuutta.

Tiepiirit ovat teettäneet vuosina 1991-1992 selvitykset tiesuolauksen pohjavesivaikutuksista alueillaan. Tarkastelluista pohjavesialueista 145:llä on havaittu vähintään 25 mg/l kloridipitoisuuksia. Tiesuolauksella on arvioitu olevan osuutta kohonneeseen pitoisuuteen 98 pohjavesialueella, joista 32:lla tiesuolaus vaikuttaa ainoalta merkittävältä tekijältä. Koska veden laatua on seurattu lähinnä vedenottamoilla, voidaan useammankin pohjavesialueen jossain osassa kloridipitoisuuden olettaa kohonneen yli 25 mg/l:n. Tiesuolaus on pohjavesien kannalta suurin ongelma siellä, missä suolan käyttömäärätkin ovat olleet suurimpia eli Uudenmaan, Turun, Hämeen ja Kymen tiepiireissä.

Vesi- ja ympäristöpiirit ja tiepiirit aloittivat kesällä 1992 tienpidon ja tieliikenteen pohjavesialueille aiheuttaman riskin arvioinnin yhtenäisellä menetelmällä. Riskinarvioinnissa lasketulle riskiluvulle ei voida määrittää varmaa merkitsevyyserajaa. Arviointimenetelmä on suunniteltu ensisijaista huomiota vaativien kohteiden selvittämiseen eikä maantiesuolauksen vaikutusten suoranaiseen osoittamiseen tai suojaustarpeen määrittämiseen. Karkeasti voidaan arvioida, että riski alueen vedenhankinnallisen käyttökel-

poisuuden heikkenemiseen on huomattava alueilla, joiden riskiluku on suurempi kuin 65. Näitä alueita on tarkastelluissa vesi- ja ympäristöpiireissä kaikkiaan 276 kappaletta. Määrä on selvästi suurempi, kuin niiden alueiden määrä (145 kpl), joilta riskinarviointia tehtäessä oli tiedossa 10 mg/l ylittäviä kloridipitoisuushavaintoja.

Valtakunnallisen riskinarviointiaineiston perusteella suolattavia tieosuusia on 45 prosentilla 1970-luvulla ja 1980-luvun alussa tärkeiksi luokitelluista pohjavesialueista. Käytävissä olivat kymmenen vesi- ja ympäristöpiirin riskinarviointitulokset (piirejä on yhteensä 13). Riskinarviointi on suoritettu kaikkiaan 469 pohjavesialueella. Helsingin, Turun ja Kymen vesi- ja ympäristöpiireissä on 62 pohjavesialuetta, joiden riskiluku on huomattavan korkea (yli 80, maksimin ollessa 120). Kaikkiaan näitä alueita on tarkasteltujen vesi- ja ympäristöpiirien alueella 85.

Tiepiirien selvitysten aineisto ja riskinarviointiaineisto tukivat hyvin toisiaan ja antoivat samaa suuruusluokkaa olevia arvioita nykytilanteesta. Tiepiirien aineiston perusteella suolauksen vuoksi ensisijaisesti suojattavaksi esitettyjen pohjavesialueiden riskiluvut olivat välillä 64 - 103. Käytävissä ollut aineisto kattaa melko hyvin tärkeät pohjavedenottamot. Korkeiden riskilukujen suuri kokonaismäärä havainnollistaa ongelman piilevyyttä: on mahdollista, että tiesuolaus on vaikuttanut pohjavesialueen kloridipitoisuuteen, vaikka kloridipitoisuuden nousu ei vielä nykytilassa näkyisikään vedenotalla.

Teiden suolauksen pohjavesihaittoja voidaan torjua estämällä tiealueelta tulevan veden imeytyminen maaperään tai pienentämällä suolausmääriä. Kemiallisista liukkaudentorjunta-aineista NaCl vaikuttaa edelleen parhaalta vaihtoehdolta, kun otetaan huomioon ympäristövaikutukset, liikenneturvallisuus, käyttömukavuus ja hinta. Natriumkloridia korvaavien kemikaalien ympäristövaikutuksia ei joko vielä riittävästi tunneta tai ne ovat kloridia haitallisempia. Niidenkin käyttömahdollisuuksia ja ympäristövaikutuksia tulee edelleen tutkia. Niin kauan kuin natriumkloridia ei voida korvata haitattomammilla aineilla, kannattanee päähuomio kiinnittää tarvittavien suolamäärien vähentämiseen.

Suojausrakenteet, jotka estävät veden imeytymistä maaperään, ja vedenpistojärjestelyt ovat kalliita. Siksi pohjavesien suolaantumisen ehkäisyssä lienee lähitulevaisuudessa pääpaino suolan käyttömäärien vähentämisellä. Suojausten rakentamisen tarpeellisuus on harkittava tapauskohtaisesti. Alueilla, joilla on useampia kuormitustekijöitä, kannattaa eri suojelutoimenpiteiden vaikutukset pohjaveden laatuun arvioida, jotta saavutettaisiin paras mahdollinen lopputulos resursseja tuhlaamatta.

Tiepiirien raporttien perusteella voidaan alustavasti arvioida, että tienpito ja tieliikenne ovat tällä hetkellä niin merkittävä riski pohjaveden laadulle 85 pohjavesialueella, että pohjaveden suojelutoimet ovat erityisen tarpeellisia. Jos jätetään tiealueella sattuvien onnettomuuksien seurausten riski ottamatta huomioon, jää tiesuolauksen haittavaikutusten vuoksi suojeltaviksi 56 pohjavesialuetta. Suolauksen vähentämistä voidaan pitää ensisijaisena suojelukeinona 19 alueella ja loppuilla 37 alueella tieltä kertyvien vesien johtamista pois pohjavesialueelta. Näiden 37 alueen suojausten rakentaminen maksaisi noin 94 miljoonaa markkaa. Kun jatkossa pohjaveden suojelutarpeeseen osataan kiinnittää enemmän huomiota, voidaan kalliiden suojausrakenteiden tarvetta pienentää jo suunnitteluvaiheessa: Pohjavesialueilla tien rakentaminen on yleensä edullista, mutta suojauksista aiheutuu lisäkustannuksia. Pohjavesialueiden ulkopuolella pohjavesisuojaus ei tarvita, mutta pohjanvahvistus, routasuojaukset ja maa-ainesten pitkät kuljetusmatkat saattavat nostaa vaihtoehtoisen linjauksen kustannuksia.

11 KIRJALLISUUSLUETTELO

1. Assmuth, T. Poutanen, H. Strandberg, T. Melanen, M. Penttilä, S. ja Kalevi, K. Kaatopaikkojen ongelmajätteiden ympäristövaikutukset, Riskikaatopaikkatutkimuksen pääraportti. Helsinki. 1990. 199 s. + liitt. 12 s. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja sarja A 67) ISBN 951-47-4281-8. ISSN 0786-9592.
2. Britschgi, R. Hatva, T. ja Suomela, T. Pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitusohjeet. Helsinki. 1991. 54 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja sarja B 7). ISBN 951-47-4280-x, ISSN 0786-96-06.
3. Britschgi, R. Lentokenttäalueiden urean ja glykolin käytön vaikutus pohjaveteen. Helsinki. 1993. 43 s. + liitt. 4 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 502). ISBN 951-47-7368-3. ISSN 0783-3288.
4. de Coster, A. Granlund, K. ja Soveri, J. Tiesuolauksen pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla. Helsinki. 1993. Tielaitos, Keskushallinto. 53 s. + liitt. 32 s. (Tielaitoksen selvityksiä 33/1993). ISBN 951-47-7661-5. ISSN 0788-3722. TIEL 3200158
5. Hatva, T. Iron and Manganese in Groundwater in Finland, Occurrence in Glacifluvial Aquifers and Removal by Biofiltration. Helsinki. 1989. 99 s. (Publications of the Waters and Environment Research Institute, National Board of Waters and the Environment, Finland, No. 4). ISBN 951-47-3097-6. ISSN 0783-9472.
6. Hatva, T. Teiden suolaus ja tiealueiden suojaus pohjavesialueilla. 1992. Vesitalous 4/1992. s. 13-17
7. Järvinen, O. Laskeuman laatu suomessa 1971-82. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. 1986. 142 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 408)
8. Kaatopaikan valinta ja kunnossapito. Helsinki. Vesihallituksen projekti n:o 7531. 1976. 66 s. + 1 liite. (Viatek Oy, Purhonen, O. Somervuo, H.)
9. Kainlauri, T. Suullinen tiedonanto 15.10.1993. (Luumäen kunnanrakennusmestari).
10. Kallberg, V.-P. Kuopion tiepiirin suolaamattomuuskokeilu, Vaikutukset talvella 1992-1993. Helsinki. 1993. (Luentotiivistelmä Talvi ja tieliikenneseminaarista 31.8.1993)

11. Kling, T. Niemi, A. ja Pirhonen, V. Tiesuolan pohjavesivaikutukset - Kulkeutumismekanismien moni-ilmiömallinnus. Helsinki. Tielaitos, Keskushallinnon erillisprojekti. 1993. 40 s. + kuvat 41 kpl + liitt. 23 s. Luonnos, valmistuu syksyllä 1993.
12. Korkka-Niemi, K. Sipilä, A. Hatva, T. Hiisvirta, L. Lahti, K. ja Alfthan, G. Valtakunnallinen kaivovesitutkimus, Talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Helsinki. 1993. 110 s. + liitt. 115 s. (Sosiaali- ja terveysministeriön selvityksiä 2/93. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A 146). ISBN 951-47-7382-9 ja 951-47-7567-8. ISSN 1236-2115 ja 0786-9592.
13. Kuusela, R. Liukkaudentorjuntasuolan käyttö. Tampere. Tielaitos, Tuotannon palvelukeskus, Tampere. 1993. (Tielaitoksen sisäinen tiedote suolankäyttömääristä 14.5.1993)
14. Kuusinen, K. Soranoton vaikutus pohjaveteen, Tutkimusraportti IV, Mikrobin kulkeutuminen maaperässä ja pohjavedessä. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. 1993. 62 s. + liitt. 11 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 331). ISBN 951-47-4694. ISSN 0783-3288.
15. Lahermo, P. Ilmasti, M. Juntunen, R. Taka, M. Suomen geokemian atlas, Osa 1: Suomen pohjavesien hydrogeokemiallinen kartoitus. Espoo. Geologian tutkimuskeskus. 1990. 66 s. + 42 kuvaa + 6 taul.
16. Lahermo P. ja Rainio H. Suolat (Na + Cl) Suomen pohjavesissä. 1990. Vesitalous 2/1990. 8 s.
17. Lannoitekäsikirja. Helsinki. Kemira Agro. 1992. 48 s. (PL 330, 00101 Helsinki)
18. Levinson, A. Introduction to Exploration Geochemistry. 2. ed. Wilmetie, Illinois, USA. Applied Publishing Ltd. 1980. 924 p. (University of Calgary, Department of Geology and Geophysics.) ISBN 0-915834-04-9.
19. Liikenneministeriö. Vaarallisten aineiden tiekuljetukset, Viisivuotisselvitys. Helsinki. Valtion painatuskeskus. 1989. 20 s. + liitt. 12 s. ISBN 951-861-992-1 ja 951-47-3282-0
20. Locat, J. and Gélinas, P. Infiltration of de-icing road salts in aquifers: the Trois-Rivières-Ouest case, Quebec, Canada. CAN. J. EARTH SCI. 1989. Vol. 26. s. 2186-2193

21. Lääkintöhallitus. Talusveden terveydellisen laadun valvonta. Helsinki. 1990. Lääkintöhallituksen yleiskirje nro 1977 (12.12.1990).
22. Mattila P. Teiden suolauksen aiheuttamien ympäristövahinkojen korvaaminen. 1992. 21 s. + liite. (Tielaitoksen selvityksiä 57/1992). ISSN 0788-3722, ISBN 951-47-6624-5
23. Natukka, A. Vuosina 1949-61 suoritettujen pohjavesitutkimusten yhteenvetoja ja jälkiselvittelyjä. Helsinki. 1962. 60 s. + liitt. 52 s.
24. Nätyнки, R. Tienpidon ja tieliikenteen pohjavesihaittojen riskialuekartoitus. Rovaniemi. Tielaitos, Lapin tiepiiri. 1992. 96 s. + liitt. 14 s.
25. Penttinen O. Talvisuolan käyttö 1992. Helsinki. 1993. (Tielaitoksen sisäinen tiedote 5.2.1993). 1 s + liitt. 4 s.
26. Pietinen, P. Ruokasuola on turha juttu. 1990. Tiede 2000, 2/1990. s. 12-16
27. Puolanne, J. Jeltsch. U. ja Pyy, O. Valtakunnallisen saastuneeksi epäiltyjen alueiden kartoituksen tulokset. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 462). Tekeillä.
28. Sandborg, M. Soranoton vaikutus pohjaveteen, Tutkimusraportti III, Vajovesitutkimukset. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. 1993. 116 s. + liitt. 11 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 330). ISBN 951-47-4693-7. ISSN 0783-3288.
29. Soveri J. Influence of Meltwater on the Amount and Composition of Groundwater in Quarternary Deposits in Finland. Helsinki. 1985. (Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja 63).
30. Soveri, J. de Coster, A. ja Vesterinen, J. Tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen Salpausselän alueella. Helsinki. Tielaitos, tiehallitus. 1991. (Tielaitoksen selvityksiä 21/1991) ISBN 951-47-4389-X. ISSN 0788-3722.
31. Talvikunnossapidon seurantaselvitys 1991. Helsinki. Suomen kaupunkiliitto, Suomen kunnallisliitto, Ympäristöministeriö. 1991. ISBN 951-759-778-9. (Insinööritoimisto LTT Oy)
32. Tarkkala J. Hämeen tiepiirin liikenneympäristön tilaselvitys. Helsinki. 1992. (Julkaisematon työraportti 21.5.1992: pohjavedet). 19 s. + liitt. 45 s. (LT-Konsultit Oy)

33. Teknillisten tieteiden akatemia. Kromatografia termoanalyysi. Jyväskylä. Gummerus. 1980. 341 s. (Instrumenttianalytiikka-sarja n:o 3). ISBN 951-20-1840-3.
34. Tielaitos, Hämeen tiepiiri. Hämeen tiepiirin alueen ympäristöselvitys. 1992. 55 s. + liitt. 5 s. (LT-Konsultit Oy)
35. Tielaitos, Hämeen tiepiiri. Tiesuolauksen mahdolliset pohjavesihaitat, riskialuekarttoitus. 1991. 3 s. + liitt. 14 s. (LT-Konsultit Oy)
36. Tielaitos, Kainuun tiepiiri. Tienpidon ja tieliikenteen aiheuttaman pohjaveden pilaantumisriskin arviointi, Lähtötiedoston hankinta. 3 s. + liitt. 20 s. + 11 karttaa
37. Tielaitos, Keski-Pohjanmaan tiepiiri. Pohjavesialueiden tiesuojaukset Vesipostin, Puumalan ja Grusmarkin vedenottamoiden kohdalla. 1993. 8 s. + liitt. 29 s. + 9 kuvaa (Maa ja vesi Oy)
38. Tielaitos, Keski-Pohjanmaan tiepiiri. Tiesuolauksen vaikutus pohjavesiin Keski-Pohjanmaan tiepiirissä. Ylivieska. 1991. 32 s. + liitt. 34 s. (Matinheikki, M.)
39. Tielaitos, Keski-Suomen tiepiiri. Tiesuolauksen ja vaarallisten aineiden kuljetusten aiheuttama riski pohjavesialueilla Keski-Suomen läänissä. Jyväskylä. 1993. 15 s. + liitt. 21 s.
40. Tielaitos, Kuopion tiepiiri. Kohonneet kloridipitoisuudet pohjavesissä Kuopion tiepiirin alueella. Kuopio. 1993. 2 s. (tiedote: pohjatietoa suolan käytön vähentämiskokeiluun liittyvään informaatioon 26.2.1993).
41. Tielaitos, Kuopion tiepiiri. Liikenneympäristön tila 1992, raportti: pohjavedet. Kuopio. 1992. 39 s. + liitt. 63 s. + 1 kartta (LT-Konsultit Oy)
42. Tielaitos, Kymen tiepiiri. Tiesuolan käytön vaikutus Kymen tiepiirin alueella olevien pohjavedenottamoiden kloridipitoisuuksiin. Kouvola. 1992. 51 s. + liitt. 141 s. (Vallius, P.)
43. Tielaitos, Mikkelin tiepiiri. Liikenneympäristön tila 1992, väliraportti: pohjavedet. Mikkeli. 1992. 36 s. + liitt. 74 s. + 1 kartta (LT-Konsultit Oy)
44. Tielaitos, Oulun tiepiiri. Tiesuolauksen ja vaarallisten aineiden kuljetusten aiheuttama riski pohjavesialueille. Oulu. 1992. 51 s. + liitt. 27 s. (Matinheikki, M.)

45. Tielaitos, Pohjois-Karjalan tiepiiri. Tiesuolaus ja pohjaveden suojele. 1992. (muistio 10.1.1992: Olavi Hirvonen). 5 s. + liitt. 2 s.
46. Tielaitos, Pohjois-Karjalan tiepiiri. Tiesuolaus ja pohjavesi. Joensuu. 1991. 16 s. + liitt. 17 s.
47. Tielaitos, tiehallitus. CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia, kirjallisuustutkimus. Helsinki. 1992. 38 s. (Tielaitoksen selvityksiä 38/1992). ISBN 951-47-6076-X. ISSN 0788-3722. TIEL 3200092.
48. Tielaitos, tiehallitus. Teiden talvihoito II, Menetelmäohjeet. Helsinki. 1992. 74 s. + liitt. 4 s.
49. Tielaitos, Turun tiepiiri. Tiesuolauksen mahdollisten pohjavesihaittojen riskialuekartointi Turun tiepiirissä. Turku. 1991. 5 s. + liitt. 16 s. (Lumiahho, K.).
50. Tielaitos, Turun tiepiiri. Tienpidosta pohjavedelle aiheutuvien haittojen hallinta ja ehkäisy, Osa I, Yleistä; Osa II, Aluekuvaukset. Turku. 1992. Osa I 296 s. Osa II noin 300 s. (Vesihydro Oy)
51. Tielaitos, Turun tiepiiri. Vaarallisten aineiden kuljetuksista pohjavesille aiheutuvien riskien todennäköisyys, hallinta ja ehkäisy. Turku. 1992. 290 s. (Vesihydro Oy)
52. Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri. Pohjaveden suolaantumisen raportointi ja suolaantumisen seurantajärjestelmä. Helsinki. 1991. 62 s. + liitt. 107 s. (Suunnittelukeskus Oy)
53. Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri. Tiesuolauksen riskit ja pohjaveden suojaustarpeet Uudenmaan läänissä, Tilanne 1992. Helsinki. 1992. 6 s. + liite (Suunnittelukeskus Oy)
54. Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri. Uudenmaan pohjavesien kloriditutkimukset, loppuraportti. Helsinki. 1992. 20 s. + liitt. 34 s. + 12 karttaa (Suunnittelukeskus Oy)
55. Tielaitos, Uudenmaan tiepiiri. Uudenmaan pohjavesien kloriditutkimustietojen päivitys. Helsinki. 1993. Tekeillä, valmistuu joulukuussa 1993. (Suunnittelukeskus Oy)
56. Tielaitos, Vaasan tiepiiri. Pohjavesien kloridipitoisuudet suolattavien teiden varsilla. Vaasa. 1991. 2 s. + liitt. 7 s. (Tiedote joukkoviestimille).

57. Tielaitos, Vaasan tiepiiri. Tiesuolauksen vaikutus pohjavesiin. Vaasa. 1992. 2 + 10 s. + liitt. 77 s. + 5 karttaa. (Korhonen, A.)
58. Tullilaitos, Tilastopalvelu. 1993. Puhelin: 9600-8501.
59. Tuominen, P. Tiesuolauksen vaikutus pohjaveteen Keski-Suomessa. Helsinki. Vesi- ja ympäristöhallitus. 1992. 118 s. (Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nro 423).
60. Vesihallitus. Yhdyskuntien vedenhankinnalle tärkeät pohjavesialueet, Vuosina 1977-1982 tehdyn tarkistustyön tulokset. Helsinki. 1983. 140 s. + 14 karttaa (Vesihallituksen tiedotus 225).
61. Vesi- ja viemärlaitostilasto. Vesihuoltolaitokset 1992. Ennakkotieto Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisusta. Ilmestyyneen vuoden 1993 lopulla.
62. Vesi- ja viemärlaitosyhdistys. Pohjaveden laaturiskien selvittäminen. Helsinki. 1993. 1 s. + liitt. 4 s. (Osa Vesi- ja viemärlaitosyhdistyksen kirjeestä 1/93).
63. Vesi- ja ympäristöhallitus. Vesihuoltolaitokset 31.12.1987. Helsinki. 1988. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A nro 28). ISBN 951-47-2159-4. ISSN 0783-327x
64. Vesi- ja ympäristöhallitus. Vesihuoltolaitokset 1991. Helsinki. 1993. (Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A nro 136). ISBN 951-47-7188-5. ISSN 0786-9592
65. Vesiyhdistys ry. Sovellettu hydrologia. Helsinki. 1986. 503 s. ISBN 951-95555-1-X. ISSN 0782-9612.
66. Viljanen, R. Natriumhydroksidin tuotanto, tuonti, käyttö ja varastointi. Helsinki. Puolustustalouden suunnittelukeskus. 1991. 28 s. + liitt. 6 s. (Puolustustalouden suunnittelukeskus, selvityksiä ja raportteja N:o 8). ISBN 951-47-5790-4. ISSN 0782-5277.
67. Viljanen R. Suullinen tiedonanto 14.6.1993.
68. Yrjänäinen, K. Pohjavesialueiden kunto ja tienpito 1992. Mikkeli. Tielaitos, Mikkelin tiepiiri. 1992.

12 LIITTEET

1. Tielaitoksen kunnossapitoluokkien mukaiset kuntotavoitteet talvella 1992-1993
2. Valtakunnallisessa tienpidon ja tieliikenteen pohjavesialueille aiheuttaman riskin arvioinnissa käytetty lomake
3. Niiden pohjavesialueiden vesi- ja ympäristöpiireittäinen jakauma, joilla tien pohjavesiriski on arvioitu ja pohjaveden päävirtaussuunta on tieltä ottamolle päin.
4. Tiepiirijaon poikkeavuudet vesi- ja ympäristöpiirijaosta vuonna 1992
5. Kostutetun ja liuossuolan ohjeelliset levitysmäärät talvella 1992-1993

Teiden kunnossapitotavoitteet talvella 1992-1993 /48/

Taulukko 1: Tielaitoksen kunnossapitoluokan mukaiset kuntotavoitteet

KPLK	KVL	Tavoitekunto	Minimikitkakerroin
Isk	> 6000 (2-ajor.)	4	0,3
Is	> 6000 (1-ajor.)	4	0,3
I	1 500 - 6 000	4	0,3
II	200 - 1 500	3	0,25
III	> 200	2	0,15
IV	kevytliikenteen väylät	3	0,25

Kun tavoitekunto alittuu on tie saatettava vaadittuun kuntoon toimenpiteajan kuluessa. Käytännössä kitka-arvoon $\leq 0,30$ päästään talvella vain suolauksen avulla. Voimassaoloajat tasotavoitteille ovat:

- ◆ Isk- ja Is-luokissa koko ajan
- ◆ I-luokassa jatkuvasti, paitsi sydänyön tunteina laatutaso 3.
- ◆ II-luokassa arkipäivinä n. klo 6.00 - 22.00, viikonloppuisin päiväsaikaan. Muina aikoina laatutaso 2.
- ◆ III-luokassa arkipäivinä n. klo 6.00 - 22,00, viikonloppuisin päiväsaikaan. Muina aikoina liukkaus laatutasoa 2 ja lumen määrä korkeintaan 10 cm.
- ◆ IV-luokassa kuten luokassa II.

Isk-, Is- ja I-luokan teillä kitkavaatimus on voimassa, kun suolan kohtuullisella käytöllä saavutetaan haluttu tulos. Käytännössä suolausta ei käytetä liukkaudentorjuntaan, kun tienpinta on kylmempi kuin -7°C . Tällöin mm. pakkasliukkauden osalta noudatetaan kuntoarvon 3 vaatimusta 0,25.

Taulukko 2: Teiden talvihoidon kuntoluokitus

	Kuntoarvo 1	Kuntoarvo 2	Kuntoarvo 3	Kuntoarvo 4	Kuntoarvo 5
I LIUKKAUS - kitka-arvo - tien pinnan kuvaus	0,00-0,15 pääkallokeli tai muuten erittäin liukas	0,15-0,25 kuiva jää- tai lumipolanne	0,25-0,30 karkea jää- tai lumipolanne pakkassäällä	0,30-0,45 paljas ja märkä, ajourien välissä voi olla polannetta	0,45-1,00 paljas ja kuiva
II LUMISUUS - pakkaslumi - suojalumi - sohjo - kinostuneisuus	> 50 mm > 40 mm > 30 mm paikoitellen kulkuvaikeuk- sia, auto voi juuttua ki- nokseen kiinni	< 50 mm < 40 mm < 30 mm kielekkeitä ulottuu tien yli tai ajoradan reunalla lunta kohtalaisesti, ajonopeutta on paikoin hiljennettävä	< 30 mm < 25 mm < 20 mm kielekkeet ulottuvat siellä täällä yli ajokaistan, ajono- peutta voi joutua hiljentä- mään	< 20 mm < 15 mm < 10 mm kielekkeet ulottuvat siellä täällä 1,5 m:n etäisyydelle reunaviivasta tai päällysten reunasta, ajonopeutta ei yleensä tarvitse hiljentää	- - -
III TASAISUUS - urat - muu epätasaisuus	> 30 mm polanne hyvin epätasai- nen, mahdollisesti kynnys- mäisiä kuoppia, ajono- peutta hiljennettävä	< 30 mm polanteessa runsaasti syöpymiä tai häiritsevää kuoppaisuutta, ajonopeut- ta paikoin hiljennettävä	< 20 mm polanne tasainen, mahdol- liset epätasaisuudet eivät juuri häiritse ajoa	< 10 mm polannekaistaleiden pak- suus liikenteen käyttämällä tieosalla < 10 mm	- -

TIENPIDON JA TIELIIKENTEEN POHJAVESIALUEILLE AIHEUTTAMAN RISKIN ARVIOINTILOMAKE

Pvm: _____

Tiepiiri: _____ Kunta: _____

Peruskarttalehdet: _____

Pohjavesialueen nro ja nimi: _____

Tiennumero ja pohjaveden muodostumisalueella kulkevan tieosuuden pituus (km): _____

A. POHJAVESIALUELUOKKA

PISTEYTYS

1. Pohjavesialue luokka

2 III

10 II

20 I

B. KULKEUTUMISEEN VAIKUTTAVAT HYDROGEOLOGISET TEKIJÄT

2. Imeytymiskerroin tien läheisyydessä

0 < 0,1 (rakennettu erittäin vaativa suojaus tai
suojausta vastaavat luonnonolosuhteet eli paksut savikerrokset)

2 0,1 – 0,3 (Mr)

4 > 0,3 – 0,4 (hHk – kkHk)

6 > 0,4 – 0,6 (kHk – hSr)

8 > 0,6 – 0,7 (kSr)

10 > 0,7 (soranottoalueet)

JOS TEKIJÄSSÄ 2 VALITAAN VAIHTOEHTO 0, VOIDAAN KATSOA TIENPIDON AIHEUTTAMAN RISKIN OLEVAN NIIN PIENI, ETTÄ MUITA RISKIIN VAIKUTTAVIA PISTEYTETTÄVIÄ TEKIJÖITÄ EI TARVITSE KÄYDÄ LÄPI! ALUE JÄTETÄÄN TÄLLÖIN VERTAILEVAN RISKINARVIOINNIN ULKOPUOLELLE.

3. Pohjaveden virtaussuunta tien ja vedenottamon / suunnitellun vedenottoaikan / arvioidun vedenotto- vyöhykkeen välisellä alueella

1 päävirtaussuunta vedenottovyöhykkeeltä pois päin

3 paikallinen virtaussuunta vedenottovyöhykkeeltä
pois päin tai vedenottovyöhykettä ei ole arvioitu

5 paikallinen virtaussuunta vedenottovyöhykkeelle päin

10 päävirtaussuunta vedenottovyöhykkeelle päin

4. Tien ja vedenottamon / suunnitellun vedenottoaikan / arvioidun vedenottovyöhykkeen välillä pohjaveden virtausta estäviä tekijöitä

- 0 kalliokynnys
- 3 vettä huonosti läpäisevä kerrostuma tai vedenottovyöhykettä ei ole arvioitu
- 6 ei virtausta estäviä tekijöitä _____

5. Aineksen vedenläpäisevyys koko muodostumassa

- 1 hiekkamoreeni
- 2 hieno hiekka
- 3 hiekka – sora
- 4 karkea sora / kallioruhje _____

C. VEDENOTTOTIEDOT

6. Vedenotto 0 ei ole suunniteltu vedenottoa

- 1 vedenottoa alustavasti suunniteltu / kriisiajan varavedenottamo
- 3 vedenotto käynnissä tai käynnistymässä viiden vuoden kuluessa
- 5 vedenotto käynnissä ja alueella useampia kuin yksi vedenottamo (ottamoilla vedenotto vähintään $100 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$) _____

7. Tien sijainti pohjavesialueella vedenottamoon / suunniteltuun vedenottoaikkaan / arvioituun vedenottovyöhykkeeseen nähden

- 1 ei vedenottoa eikä vedenottovyöhykettä arvioitu
- 4 tie kulkee eri osa-alueella kuin millä vedenottoaikka sijaitsee
- 6 tie kulkee kaukosuojavyöhykkeellä
- 8 tie kulkee lähisuojavyöhykkeellä, mutta etäisyys vedenottoaikkaan $> 100 \text{ m}$
- 10 tie kulkee ottamon välittömässä läheisyydessä ($< 100 \text{ m}$) _____

D. TEIDEN SUOLAUS JA VAARALLISTEN AINEIDEN KULJETUS

8. Tien suhde pohjaveden muodostumisalueeseen

- 1 tie kulkee muodostumisaluetta hipoen tai pääasiassa pohjavesialueen reunavyöhykkeellä
- 2 tie kulkee muodostumisalueella muodostumaan nähden poikittain
- 4 tie kulkee muodostumisalueella muodostumaan nähden pitkittäin _____

9. Suolakuorma kunnossapitoluokan mukaan

- 0 ei suolausta
- 6 I-luokan tie
- 15 Isk-luokan tie
- 3 II-luokan talvisuolaus/kesäsuolaus
- 8 Is-luokan tie _____

10. Tiesuuden sijainti tiepiireittäin (vaikuttaa talvisuolauksen määrään I-, Is- ja Isk-luokan teillä)

0 tiesuudella on II-luokan talvisuolaus / kesäsuolaus

(= sijainti ei vaikuta merkittävästi suolauksen määrään)

1 Pohjois-Karjala, Kainuu, Oulu itäinen, Lappi

4 Mikkeli, Kuopio, Keski-Suomi, Keski-Pohjanmaa, Oulu rannikko

8 Uusimaa, Turku, Häme, Kymi, Vaasa

11. Vaarallisten aineiden (öljyt, hapot, emäkset) kuljetukset tonnia/vuosi pohjavesialueella kulkevalla tiesuudella (10 000 tonnia/vuosi = 400 rekkaa/vuosi)

1 < 25 000

2 25 000 - 50 000

4 > 50 000 - 100 000

6 > 100 000 - 200 000

8 > 200 000

RISKILUKU ELI PISTEITÄ YHTEENSÄ

LISÄTIEDOT

12. Pohjaveden laadun seurannassa havaitut Cl-pitoisuudet

0 < 10 mg

5 10 - 25 mg l⁻¹, nouseva trendi

10 > 25 - 50 mg l⁻¹

15 > 50 - 100 mg l⁻¹

20 > 100 mg l⁻¹

13. Mikäli vedestä ei ole analysoitu Cl-pitoisuutta, voidaan tarkastella onko sähkönjohtavuusarvossa tapahtunut merkittäviä muutoksia. Nouseva trendi veden sähkönjohtavuudessa viittaa mahdolliseen suolaantumiseen. On kuitenkin otettava huomioon, että sähkönjohtavuuteen vaikuttavat myös monet muut tekijät. Sähkönjohtavuus johtuu vesissä pääasiassa Ca-, Na-, Mg-, HCO₃⁻- ja Cl⁻-ioneista.

14. Muita pohjaveden Cl-pitoisuuteen vaikuttavia toimintoja. Todennäköiset tai havaitut suolalähteet.

Niiden pohjavesialueiden vesi- ja ympäristöpiireittäinen jakauma, joilla tien pohjavesiriski on arvioitu ja pohjaveden päävirtaussuunta on tieltä ottamolle päin.

Vyp/ tien kunnossapito- toluokka	Pohjavesialueita yhteensä (kpl)	Riskilukujen suuruusjakauma			
		51-60	61-70	71-80	>80
HELSINGIN					
I _{ak}	6	0	0	0	6
I _a	15	0	1	1	13
I	7	0	0	5	2
II/kesäsuolaus	25	2	12	10	1
YHTEENSÄ	53	2	13	16	22
TURUN					
I _{ak}	3	0	0	0	3
I	23	0	1	9	13
II/kesäsuolaus	12	1	9	1	1
YHTEENSÄ	38	1	10	10	17
KYMEN					
I _a	10	0	0	0	10
I	2	0	0	0	2
YHTEENSÄ	12	0	0	0	12
MIKKELIN					
I _a	3	0	0	1	2
I	4	0	0	3	1
II/kesäsuolaus	1	0	1	0	0
YHTEENSÄ	8	0	1	4	3
KUOPION					
I _{ak}	2	0	0	0	2
I	4	0	2	2	0
II/kesäsuolaus	2	0	2	0	0
YHTEENSÄ	8	0	4	2	2
POHJOIS-KARJALAN					
I _a	2	0	0	2	0
I	1	0	0	1	0
II/kesäsuolaus	1	0	1	0	0
YHTEENSÄ	4	0	1	0	0
VAASAN					
I	10	0	0	4	6
II/kesäsuolaus	6	1	3	2	0
YHTEENSÄ	16	1	3	6	6
KESKI-SUOMEN					
I	5	0	2	3	0
II/kesäsuolaus	13	3	6	4	0
YHTEENSÄ	18	3	8	7	0
KOKKOLAN					
I _a	1	0	0	0	1
I	16	0	4	6	6
II/kesäsuolaus	17	0	16	1	0
YHTEENSÄ	34	0	20	7	7
KAINUUN					
I	3	0	2	1	0
II/kesäsuolaus	6	0	5	1	0
YHTEENSÄ	9	0	7	2	0
KAIKKI YHTEENSÄ	200	7	67	57	69

Tiepiirijaon poikkeavuudet vesi- ja ympäristöpiirijaosta vuonna 1992

TIEPIIRI	VASTAAVA VESI- JA YMPÄRISTÖPIIRI
Uudenmaan	Helsingin, lukuunottamatta seuraavia kuntia: Asikkala, Hattula, Hauho, Hausjärvi, Hollola, Humpkala, Hämeenlinna, Janakkala, Jokioinen, Kalvola, Koski HL, Kärkölä, Lahti, Lammi, Loppi, Nastola, Padasjoki, Renko, Riihimäki, Tammela, Tuulos ja Ypäjä
Turun	Turun, lukuunottamatta seuraavaa kuntaa: Somero Lisäksi seuraavat kunnat: Honkajoki, Hämeenkyrö, Ikaalinen, Jämijärvi, Kankaanpää, Karvia, Kihniö, Kiikoinen, Lavia, Merikarvia, Mouhijärvi, Noormarkku, Parkano, Pomarkku, Punkalaidun, Siikainen, Suodenniemi, Vammala, Viljakkala, Äetsä
Hämeen	Tampereen, lukuunottamatta Turun piirin kohdalla mainittuja lisäkuntia. Lisäksi Uudenmaan piirin kohdalla mainitut kunnat ja Somero.
Kymen	Kymen
Mikkelin	Mikkelin
Pohjois-Karjalan	Pohjois-Karjalan
Kuopion	Kuopion
Keski-Suomen	Keski-Suomen
Vaasan	Vaasan Lisäksi seuraavat kunnat: Evijärvi, Kokkola, Korttesjärvi, Kruunupyy, Pedersöre, Pietarsaari ja Uusikaarlepyy
Keski-Pohjanmaan	Kokkolan, lukuunottamatta Vaasan tiepiirin kohdalla mainittuja kuntia. Lisäksi seuraavat kunnat: Haapavesi, Kärsämäki, Merijärvi, Oulainen ja Pyhäjoki
Oulun	Oulun, lukuunottamatta Keski-Pohjanmaan tiepiirin kohdalla mainittuja kuntia.
Kainuu	Kainuun
Lapin	Lapin

Kostutetun ja liuossuolan ohjeelliset levitysmäärät talvella 1992-1993 /48/

Taulukko 1: Tielaitoksen suositus kostutetun suolan levitysmääräksi (tien leveys 7 m)

Tienpinnan lämpötila	Mustajää, kuura ja valumat		Alijäähdytynyt sade		Jäätyvä räntä		Lumisade	
	kg/km	g/m ²	kg/km	g/m ²	kg/km	g/m ²	kg/km	g/m ²
+..-2 °C	14-35	2-5	35-140	5-20	70-175	10-25	70-140	10-20
0..-7 °C								
Vakaa							70-210	10-30
Muuttuva								

Taulukko 2: Tielaitoksen suositus NaCl-liuoksen (25 %) levitysmääräksi (tien leveys 7 m)

Tienpinnan lämpötila	Mustajää, kuura ja valumat		Ennakkosuolaus		Lumi- ja räntäsade		Pakkasliukkaus	
	kg/km	g/m ²	kg/km	g/m ²	kg/km	g/m ²	kg/km	g/m ²
> =2 °C	35-140	5-20	35-105	5-15	140-280	20-40	70	10
n. 0 °C								
-15 °C								

TIELAITOKSEN SELVITYKSIÄ

- 26/1993 Bentoniittimattojen ja muovikalvojen kelpoisuus pohjaveden suojaukseen; Tutkimuksia ja suosituksia. TIEL 3200152
- 27/1993 Valaisinpylväiden perustaminen; Ympäristytön laadun ja tiivistämistavan vaikutus pilariperustuksen siirtymiin. TIEL 3200153
- 28/1993 Nastallisen ja nastattoman liikenteen päällysteet, yhteenveto. TIEL 3200154
- 29/1993 Tieinvestointien toteutustapa viidessä Euroopan maassa. TIEL 3200155
- 30/1993 Pasilan virastokeskuksen työmatka- ja työliikennetutkimus. TIEL 3200156
- 31/1993 Savo-Karjalan tiepiirin murskaustoiminnan kehittäminen.
- 32/1993 Tiemerkintöjen näkyvyys; Paluuheijastavuustutkimus Lapin tiepiirissä. TIEL 3200157
- 33/1993 Tiesuolan pohjavesivaikutusten mallintaminen Joutsenonkankaalla. TIEL 3200158
- 34/1993 Kalliomurskeiden tiivistyminen ja hienoneminen, esitutkimus. TIEL 3200159
- 35/1993 Strategic Highway Research Program (SHRP) - Longterm Pavement Performance (LTPP); Koeteillä tehdyt mittaukset vuonna 1992 ja tierakenteen vaurioitumiseen vaikuttavat tekijät. TIEL 3200160
- 36/1993 Palaturpeen käyttö lämpöeristeenä, raportti koerakenteiden rakentamisesta TIEL 3200161
- 37/1993 Talvikunnossapidon laadun logistiset vaikutukset. TIEL 3200162
- 38/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Kirjallisuusselvitys. TIEL 3200163
- 39/1993 Sitomattomien kerrosten kiviainesten muodonmuutosominaisuudet; Esiselvitysvaiheen kuormituskokeet. TIEL 3200164
- 40/1993 Teiden tasaisuusmittareiden vertailu; PTM:n, Roadmanin ja Tipstickin laitevertailu sekä epätasaisuuksien vaikutus tierasitukseen. TIEL 3200165
- 41/1993 Stabiloidun materiaalin maksimiraekoon sekä koekappaleen koon ja muodon vaikutus puristuslujuuteen. TIEL 3200166
- 42/1993 Tieliikennemelun mittaaminen; Opas. TIEL 3200167
- 43/1993 Asfaltti- ja murskausasemien melun leviäminen. TIEL 3200168
- 44/1993 Auton polttoaineenkulutuksen joustot eri väestöryhmissä; esitutkimus. TIEL 3200169.
- 45/1993 Talvirengastutkimus; Talvirenkaiden käyttö ja kunto sekä kuljettajien arviot talvirenkaistaan talvikaudella 1992-93. TIEL 3200170
- 46/1993 Tieympäristön pehmentämisen turvallisuusvaikutukset. TIEL 3200171
- 47/1993 Väsymissuorat tierakenteen mitoitusta varten. TIEL 3200172
- 48/1993 Tietullit ja käyttömaksut; Asennoituminen tie- ja automaksuihin. TIEL 3200173