

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN M O N I S T E S A R J A

Nro 616

**LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEIDEN
VAIKUTUKSESTA POHJAVETEEN
HELSINKI-VANTAAN
LENTOASEMALLA**

Juhani Gustafsson

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLITUKSEN MONISTESARJA

Nro 616

**LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEIDEN
VAIKUTUKSESTA POHJAVETEEN
HELSINKI-VANTAAN
LENTOASEMALLA**

Juhani Gustafsson

Tekijä on vastuussa julkaisun sisällöstä eikä siihen voida vedota vesi- ja ympäristöhallituksen virallisena kannanottona.

Piirroksat: Oili Ahola

Julkaisua saa vesi- ja ympäristöhallituksen kuntatoimistosta
Puh.(90) 695 11

ISBN 951-53-0042-8
ISSN 0783-3288

Painopaikka: Vesi- ja ympäristöhallituksen monistamo, Helsinki 1995

Julkaisija
Vesi- ja ympäristöhallitus

Julkaisun päivämäärä
Tammikuu 1995

Tekijä(t) (toimielimestä: nimi, puheenjohtaja, sihteeri)
Juhani Gustafsson

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

Liukkaudentorjunta-aineiden vaikutuksesta pohjaveteen Helsinki-Vantaan lentoasemalla
(Banavisningsmedlens inverkan på grundvattenkvaliteten på Helsingfors-Vanda flygfält)

Julkaisun laji

Selvitys

Toimeksiantaja

Toimielimen asettamispvmm

Julkaisun osat

Tiivistelmä

Selvityksessä on kerätty kirjallisuudesta sekä Helsinki-Vantaan lentoaseman tärkeältä pohjavesialueelta tietoa lentokentillä liukkauden torjuntaan käytettävien kemikaalien vaikutuksista pohjaveteen. Helsinki-Vantaan lentoasemalla on käytetty urean rinnalla kalium- ja natriumasetaattia. Urean korvaaminen asetaattipohjaisilla liukkaudentoaineilla ei ole vielä merkittävästi parantanut pohjaveden laatua.

Lentokenttötoiminnan aiheuttamat haitat pohjavedelle johtuvat urean hajoamistuloksena syntyvien tyyppiyhdisteiden, lähinnä nitraatin, suotautumisesta pohjaveteen. Urean käytön vaikutus lentoaseman pohjaveteen on ollut havaittavissa jo vuodesta 1964 kohonneina nitraattipitoisuuksina.

Kalium- ja natriumasetaatin käyttökokeilusta on ollut positiivisia tuloksia. Nestemäisen kaliumasetaatin ja rakeisen natriumasetaatin käyttö yhdessä on osoittautunut yhtä tehokkaaksi jäänpoistossa kuin urea. Asetaattipohjaisiin liukkaudentoaineisiin siirtymistä ovat hidastaneet epäilykset kemikaalien korroosio-ominaisuuksista sekä moninkertainen hinta ureaan verrattuna. Myös asetaattipohjaisten liukkaudentorjunta-aineiden saatavuuden epäsäännöllisyys valmistajita on vaikuttanut aineiden käyttöön siirtymistä.

Asetaattipohjaiset liukkaudentokemikaalit ovat biologisesti hajoavia ja niiden ympäristövaikutukset rajoittuvat asetaatin hajoamisen aiheuttamaan hapenkulutukseen. Lentokenttien liukkaudentorjunta-aineiden ympäristövaikutuksia voidaan vähentää tai poistaa siirtymällä urean käytöstä kalium- ja natriumasetaattipohjaisiin liukkaudentoaineisiin sekä kiitoteiden reunojen tiivistämisellä ja salaojittamisella. Kerätyt valuedet tulisi johtaa pohjavesialueen ulkopuolelle tai käsittelylaitokselle.

Asiasanat (avainsanat)

Pohjavesi, lentokentät, liukkaudentorjunta-aineet, urea, kaliumasetaatti, natriumasetaatti

Muut tiedot

Sarjan nimi ja numero

Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja
Nro 616

ISBN

951-53-0042-8

ISSN

0783-3288

Kokonaissivumäärä

49

Kieli

Suomi

Hinta

24,40 mk

Luottamuksellisuus

Julkinen

Jakaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
Kuntatoimisto
PL 250, 00101 Helsinki
Puh. (90) 69 511

Kustantaja

Vesi- ja ympäristöhallitus
PL 250, 00101 Helsinki

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	7
2	LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEET HELSINKI-VANTAAN LENTOASEMALLA	8
	2.1 Urean käyttö liukkauden torjunnassa	8
	2.2 Asetaattien käyttö liukkauden torjunnassa	10
3	UREAN JA ASETAATTIEN KÄYTTÄYTYMINEN MAAPERÄSSÄ JA POHJAVEDESSÄ	11
	3.1 Urea	11
	3.2 Kalium- ja natriumasetaatti	13
	3.3 Urean ja asetaattien yhteiskäyttö	15
	3.4 Natrium ja kalium	17
4	LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEIDEN VAIKUTUS POHJAVETEEN HELSINKI-VANTAAN LENTOASEMALLA	18
	4.1 Lentoaseman pohjavesialueen geologiaa	18
	4.2 Havaintopisteiden sijainti	19
	4.3 Analyysitulokset	19
	4.3.1 Ottamo	19
	4.3.2 Havaintopiste PK eli vanha pääkaivo	21
	4.3.3 Havaintopiste H	22
	4.3.4 Muut havaintopisteet	23
5	ESIMERKKITAPAUKSIA HAITTOJEN ESTÄMISEKSI	23
	5.1 Valumavesien kerääminen	24
	5.2 Puhdistusmenetelmistä	26
6	JOHTOPÄÄTÖKSET	27
7	YHTEENVETO	28
	KIRJALLISUUS	30
	LIITTEET	
1	Urean ja asetaattien sekä glykolin käyttömäärät talvikausina 85/86 – 93/94	
2	Lentoaseman ottamon veden laatu	
3	Havaintopisteen PK veden laatu	
4	Havaintopisteen H veden laatu	
5	Karttamerkkien selitys	

1 JOHDANTO

Lentokenttätöiminnan aiheuttamat haitat pohjavedelle johtuvat liukkaudentorjuntaan käytettävän urean hajoamistuloksena syntyvien typpiyhdisteiden suotautumisesta pohjaveteen. Asetaattipohjaisten kemikaalien käytön yleistymistä on varjostanut niiden biologisen hajoamisen aiheuttama hapenkulutuksen kasvu pohjavesialueilla. Ureaa korvaavina kemikaaleina on Helsinki–Vantaan lentoasemalla käytetty sekä kaliumasetaatti- että natriumasetaattipohjaisia liukkaudentorjunta kemikaaleja.

Lentokoneille tehdään talvikaudella jäänestokäsittely, jolla estetään lentokoneen ulkopintojen jäätyminen rullaus- ja nousuvaiheessa. Jäänestoaineena käytetään glykoli-vesiseosta. Nykyisin käytetään ns. kuumavesijäänpoistomenetelmää, jossa jää poistetaan lentokoneista kuumalla vedellä ja jäänestoon käytetään glykolia. Jäänestoa voidaan tehdä ainoastaan toiminnalle sallituilla paikoilla. Koneen pinnoista valuva glykoli kerätään pääosin seisonta-alueelta talteen ja johdetaan viemäriin. Glykolin aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat siis pääosin poistuneet, koska glykolipitoisia valuvesiä ei enää pääse imeytymään maaperään ja sieltä valumaan pohjavesivyöhykkeeseen.

Kiitoradalle levitetään liukkaudentorjunta-ainetta joko rakeisena tai nesteinä riippuen jääpinnan paksuudesta. Keskimääräinen käyttö on 15–20 g/m² per kerta. Lumen aurauksen yhteydessä liukkaudentorjunta-aineet leviävät kiitoradan ulkopuolelle noin 20–30 metriä radan molemmin puolin.

Urean käytön vaikutus lentoaseman pohjaveteen on ollut havaittavissa jo vuodesta 1964 kohonneina nitraattipitoisuuksina. Vanhasta pääkaivosta, joka sijaitsee kiitoteiden risteyksessä, vedenotto on lopetettu kohonneiden nitraattipitoisuuksien vuoksi.

Eri selvitysten mukaan urean käyttö ei vielä ole havaittavissa lentoaseman tärkeän pohjavesialueen ottamossa, koska vedenottamolle virtaava pohjavesi muodostuu pääasiassa Kylmänojanlaakson pohjoisosasta etelään päin. Lentokenttätöiminnan laajentuessa pohjaveden kulutus tulee kasvamaan, jolloin nitraattipitoisen pohjaveden kulkeutuminen ottamolle saattaa nopeutua.

Lentoaseman pohjavedenottamolla on Länsi-Suomen vesioikeuden lupa ottaa vettä enintään 2 000 m³ d⁻¹ ja tilapäisesti 6 000 m³ d⁻¹. Vedenkulutus on ollut vuonna 1990 keskimäärin 928 m³ d⁻¹. Lupaehtoihin sisältyy tarkkailuvelvoite.

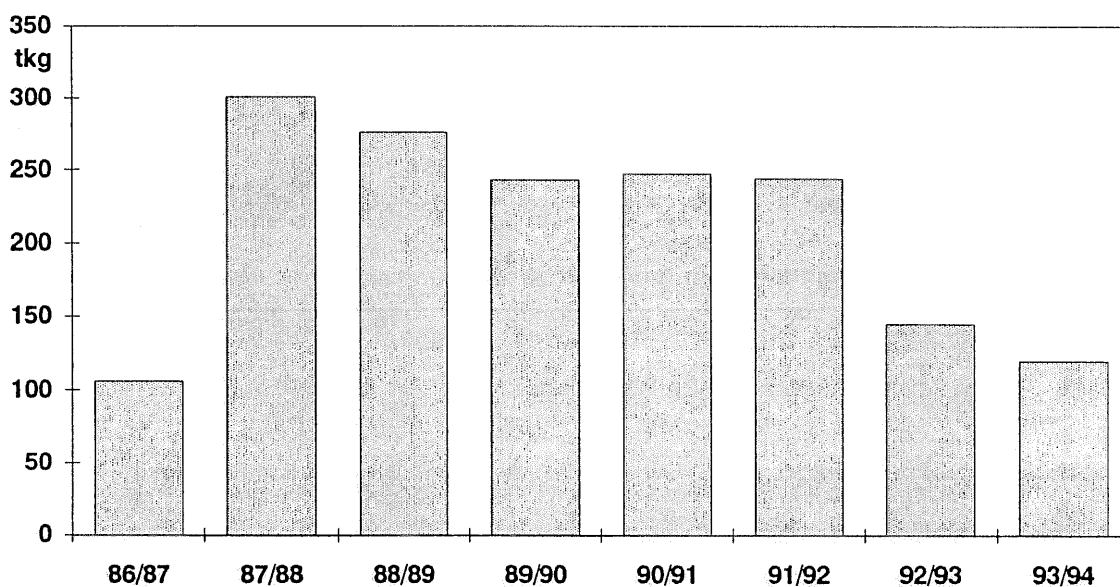
Vesien laadun tarkkailua varten Vesi-Hydro on laatinut ohjelman, jonka Helsingin vesi- ja ympäristöpiiri on eräin lisäyksin 14.12.1988 hyväksynyt kirjeellään 163/500 Hevy 1982. Tarkkailua on muutettu vuonna 1991 siten, että pinta- ja pohjavesien tarkkailu on yhdistetty.

Selvityksen tarkoituksena oli kerätä tietoa lentokentillä liukkauden estoon käytettävien kemikaalien vaikutuksista pohjaveteen. Helsinki–Vantaan lentoasemalla on jo useita vuosia käytetty urean rinnalla korvaavia kemikaaleja, jonka vuoksi haluttiin kerätä pohjaveden laatutietoja pitkältä aikaväliltä, jotta olisi voitu nähdä mahdolliset muutokset, jotka mahdollisesti johtuvat urean käytön vähenemisestä.

2 LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEET HELSINKI-VANTAAN LENTOASEMALLA

2.1 Urean käyttö liukkauden torjunnassa

Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytetään talviolosuhteissa kiitoteillä jäänsulatusaineita riittävän kitkatason saavuttamiseksi. Ilmaliikennettä harjoittavat yritykset pitävät kemiallista liukkaudentorjuntaa kylmänilmaston maissa lentoturvallisuuden kannalta välttämättömänä. SAE international antaa kullekin kiitotiekemikaalille ns. AMS-koodin (Aerospace material specification), joka kertoo kemikaalin käytettävyydestä. Liukkaudentorjuntakemikaalina on käytetty yleisimmin rakeista ureaa, koska se ei aiheuta korroosiota lentokoneissa eikä himmennä muoviva sisältäviä pintoja. Urea alettiin käyttää liukkauden torjuntaan lentokentillä 60-luvun loppupuolella. Lisäksi urea on sulatusominaisuuksiltaan kohtalaisen tehokasta eikä se ole kohtuuttoman kallista käyttää. Tavallisen tiesuolan (CaCl_2) ja CMA:n käyttö on kokonaan kielletty sen metalleille ja tiivisteille aiheuttaman korroosion takia. Hiekan käyttöä rajoittaa sotilaskoneiden suihkumoottorit, joihin joutuessaan hiekka saattaa aiheuttaa vaurioita. (Maasilta 1980, Hakunti 1990)

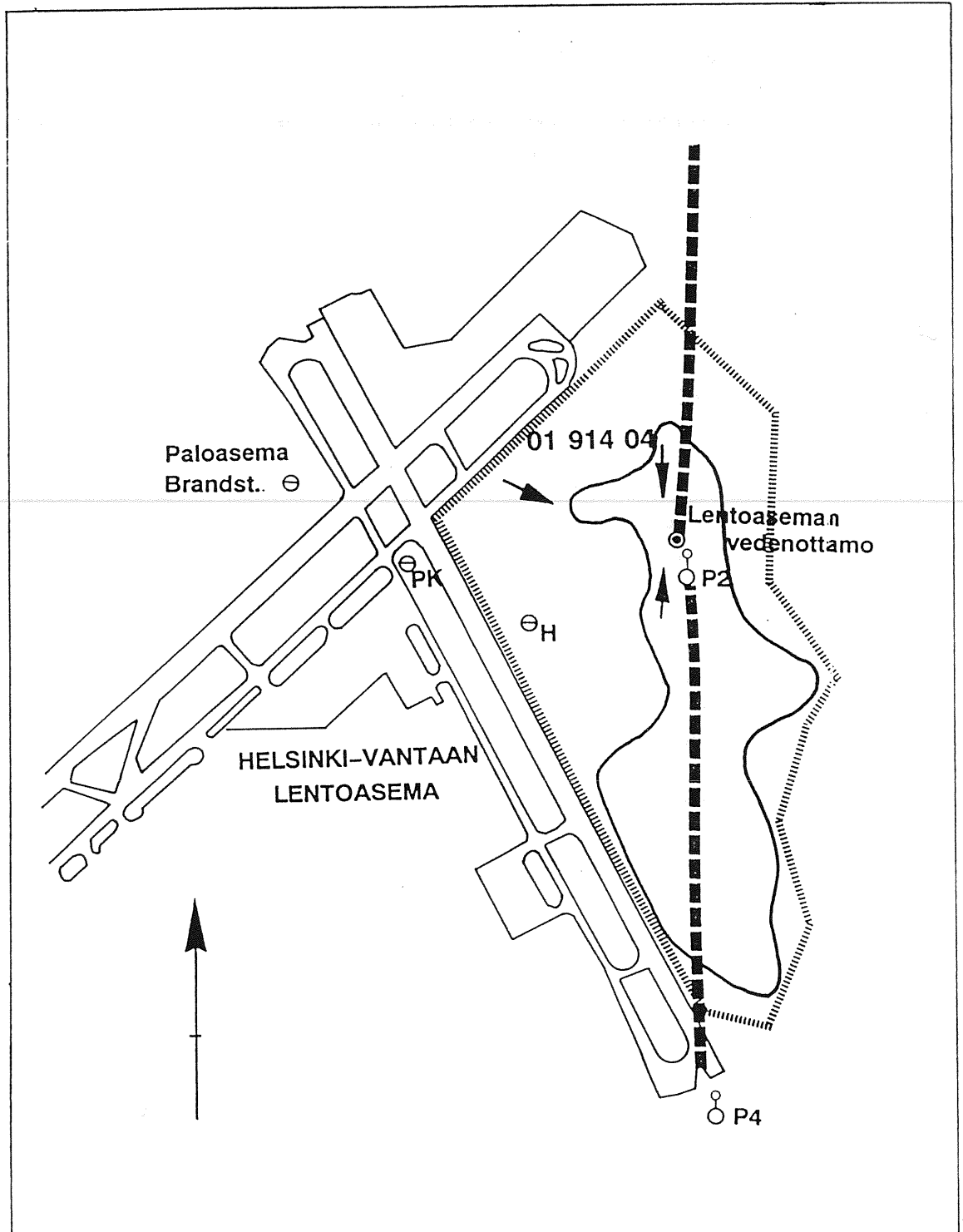


Kuva 1. Urean käyttömäärät Helsinki-Vantaan lentokentällä talvikausina 86/87–93/94.

Lentokentän kunnossapidossa irtonainen lumi harjataan pois kiitotien pinnasta. Mikäli kiitotiepintaan on muodostunut huurretta tai kiinteä lumi- tai jääkerros, on jouduttu käyttämään ureaa. Ureaa levitetään joko kuivana tai kaliumasetaattiliuoksella kostutettuina rakeina kiitoteille erityisellä levityslaitteella. Myös glykolilla tai vedellä kostutettua ureaa käytetään. (Vesi-Hydro 1990) Ohuet lumi- ja jääkerrokset sulavat ureakäsittelyn jälkeen kokonaan. Paksuihin jää- ja lumikerroksiin urearakeet sulattavat reikiä, minkä jälkeen muodostuva urealiuos leviää jään ja kiitotien päällysteen väliin irrottaen jääkerroksen. Näin syntynyt sohjo ja irtonainen jää voidaan harjata kiitotien reunoille. Alle -4°C lämpötiloissa ei urealla ole tehoa sulatusaineena. Ureaa käytetään myös kiitoteiden pinnan jäätyksen ennaltaehkäisyyn jäätävissä olosuhteissa (esim. alijäähtynyt vesisade tai kostean pinnan jäätyminen), jolloin kiitotiet voidaan pitää tietyissä olosuhteissa huomattavasti pitempään sulana kuin jälkikäteen käsiteltyinä. Tällöin urealla saattaa olla vaikutusta vielä lähes -10°C lämpötiloissa. (Hakunti 1990)

Nykyään ureaa käytetään ainostaan alueilla, joista valumavedet johdetaan kunnalliseen viemäriverkkoon.

Ureaa on käytetty Helsinki–Vantaan lentoasemalla vuosina 1975–1990 noin 100–312 t/vuosi. (Britschgi 1993) Talvikausina 1991/1992 ja 1992/1993 ovat urean käyttömäärät laskeneet. Urean käyttöä on korvattu kalium- ja natriumasetaatilla (liite 1).



Kuva 2. Helsinki–Vantaan lentoaseman sijainti Lentoaseman tärkeän pohjavesialueen (01 914 04) välittömässä läheisyydessä. Mittavaava 1:20 000. Karttamerkkien selitykset liitteessä 5.

2.2 Asetaattien käyttö liukkauden torjunnassa

Viime vuosina on kokeiltu asetaatteja ureaa korvaavina kiitoteiden jäänsulatuskemikaaleina eri maiden sekä Suomen lentokentillä. Tuotenimiltään nämä nestemäiset kaliumasetaatit ovat BP Chemicalsin valmistama Clearway 1 ja Hoechst Chemicalsin valmistama Safeway KA. Rakeiset natriumasetaatit ovat tuotenimiltään BP Chemicalsin valmistama Clearway 2s ja Hoechst Chemicalsin valmistama Safeway SD.

Clearway 1:sta ja Safeway KA:sta saadut käyttökokemukset lentoasemilla ovat olleet pääsääntöisesti positiivisia. Kaliumasetaatti poistaa huurretta tehokkaasti, käyttöä ei rajoita lämpötila ja vaikutus kestää jopa vuorokausia. (Ilmailulaitos 1992)

Kaliumasetaatti tehoaa matalammissa lämpötiloissa kuin urea ja käytännössä sulattaa jäätä ja lunta vielä -10°C :ssa. Kiitotien pinta pysyy sulana vielä -18°C :ssa. Kaliumasetaatti ei myöskään ime ilmasta kosteutta kiitotien pintaan kuten urea.

Clearway 1 sulattaa jäätä alentamalla sen sulamispistettä. Jos jää kiitotien pinnassa on paksua, on tärkeää että Clearway 1 ehtii sulattaa jään ennen kuin jään sulamisesta syntynyt vesi ehtii laimentamaan Clearway-liuoksen liian laimeaksi. Jos Clearway:tä käytetään liian matalana konsentraationa saattaa pinta jäätyä uudelleen. BP Chemicalsin mukaan Clearway 1:n annostuksena tulisi käyttää 20 g/m^2 ehkäisemään liukkaita, 40 g/m^2 jäänpoistoon. (BP:n esite)

Nestemäinen kaliumasetaatti ei sulata paksua jäätä, jonka paksuus on $>0,5-1,0\text{mm}$. Urearakeiden kostuttamista kaliumasetaattiliuokseen on kokeiltu paksun jään sulattamisessa. Kaliumasetaattiin kostutetut urearakeet myös pysyvät paremmin kiitotien pinnassa. (Ilmailulaitos 1992)

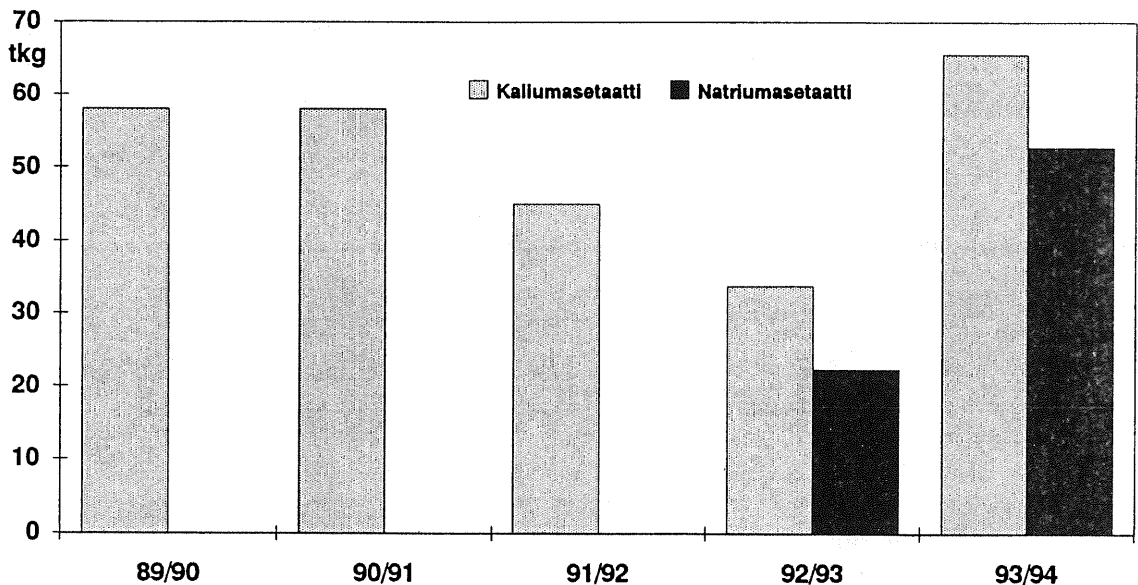
Nestemäisten kemikaalien käyttöön on todettu liittyvän vaikeuksia ja uusia riskitekijöitä saattaa ilmetä tietyissä olosuhteissa. Jos nestemäistä jäänpoistokemikaalia levitetään kiinteän jääkerroksen päälle seurauksena on erittäin liukas kiitotienpinta ja lentoliikenne on mahdotonta. (Hakunti 1990)

Nestemäisten asetaattipohjaisten liukkaudenestoaineiden rinnalla on käytetty rakeista natriumasetaattia. Nestemäistä kaliumasetaattia käytetään ohuen jään sulattamiseen ja liukkauden ennaltaehkäisyyn. Rakeista natriumasetaattia käytetään kiitotien pinnalle syntyneen paksumman jään sulattamiseen. Rakeista natriumasetaattia käytetään pääsääntöisesti kaliumasetaattiin kostutettuna. Näin rakeet pysyvät paremmin kiitotien pinnalla ja vaikutus tehostuu.

Helsinki-Vantaan lentoasemalla saatujen kokemusten perusteella rakeinen natriumasetaatti ja nestemäinen kaliumasetaatti ovat liukkauden torjunnassa yhtä tehokkaita kuin urea. Asetaattien pitkäaikaiskäytössä mahdollisesti ilmenevistä korroosiovaikutuksista ei ole vielä riittävästi tietoa. Kaliumasetaattivalmisteet ovat 4-6 kertaa ureaa kalliimpia, mutta teho vaikutuksen huomioon ottaen vain 2-3 kertaa kalliimpia. Lisäkustannuksia syntyy myös nestemäisen kaliumasetaatin levittämiseen tarvittavasta kalustosta.

Asetaattipohjaisia liukkauden poistoaineita on Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytetty vuosittain 45 000 - 188 200 kg talvikausien 1989 - 1994 aikana. Talvikautena 92/93 käytettiin 33 700 kg kaliumasetaattia eli 60%:a käytetystä asetaattimäärästä. Natriumasetaatin käyttömäärä samana talvena oli 22 260 kg eli 40%:a käytetystä asetaattimäärästä. Talvikautena 93/94 asetaattien käyttömäärä edelliseen talvikauteen

verrattuna oli yli kaksinkertainen. Kaliumasettaattia käytettiin 65 500 kg eli 55%:a käytetystä asetaattimäärästä ja natriumasettaattia 52 700 kg:a eli 45%:a liukkaudenpoistoon käytetystä kokonaisasettaattimäärästä.



Kuva 3. Asetaattien käyttömäärät Helsinki-Vantaan lentokentällä talvikausina 89/90-93/94.

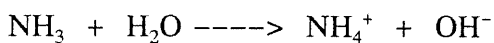
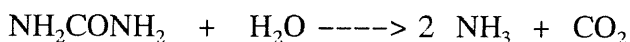
3 UREAN JA ASETAATTIEN KÄYTTÄYTYMINEN MAAPERÄSÄ JA POHJAVEDESSÄ

3.1 Urea

Urea eli virtsa-aine on kemikaali, jota käytetään yleensä maaperän lannoitteena. Urealla on myös jäätä ja lunta sulattava ominaisuus ja se pystyy estämään jäätyksen käytännössä vielä -4°C :ssa. Lentokentillä käytettävä urea on koostumukseltaan samaa kuin maatalousurea. Kaupallisena nimikkeenä sillä on tekninen urea.

Urea eli syntetinen hiilihappoamidi NH_2CONH_2 on kemialliselta luonteeltaan heikko emäs, joka muodostaa happojen kanssa suoloja, joista nitraatti on tärkein. Ureassa on noin 48 % puhdasta typpeä.

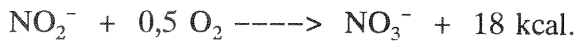
Urea hydrolysoituu vedessä välittömästi ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. Ammoniikki on yleensä luonnonvesissä ammoniummuodossa. (Öhrn 1988)



Nitrifikaatiossa ammoniummuodossa oleva ammoniakki hapettuu *Nitrosomonas* suvun bakteerien vaikutuksesta nitriitiksi. Nitriitti puolestaan hapettuu edelleen *Nitrobacter* suvun bakteerien vaikutuksesta nitraatiksi. Nämä reaktiot tapahtuvat ainoastaan aerobisissa eli hapellisissa olosuhteissa. Nitrifikaation nopeus riippuu

orgaanisen aineksen laadusta, maan lämpötilasta, käytettävissä olevan hiilen määrästä sekä maan kosteudesta. Nitrifikaatiossa pohjavedestä kuluu happea ja pH laskee eli sillä on happamoittava vaikutus. (mm. Åkerla et al. 1985)

Nitrifikaatiossa kuluu 0,14 mol alkaliteettia hapettunutta ammoniumtyppigrammaa kohti. Nitrifikaatiobakteereiden optimilämpötila on 30°–35° C ja niiden kasvunopeus on voimakkaasti riippuvainen lämpötilasta. (Valve 1991)



Edellä esitetyt reaktiot kuluttavat yhteensä 4,57 g O₂ g⁻¹ NH₄⁺ kohti eli noin 2,13 g O₂/g ureaa. (Esite) Bakterit, jotka osallistuvat hapetukseen käyttävät reaktioissa vapautuvaa energiaa aineenvaihduntaansa.

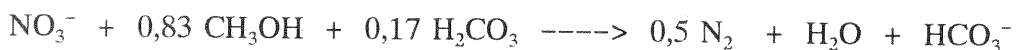
Urean aiheuttama sekundaarinen hapenkulutus on pitkäaikaisempaa ja laajalaisempaa kuin asetaatin, joten hapenkulutus ei hetkellisesti ole niin suurta kuin mahdollisesti asetaatin kohdalla.

Reaktiot ovat pH:sta riippuvaisia siten, että suotuisin pH nopealle nitrifikaatiolle on noin 8,0–8,5. (Waite 1984) Reaktio hidastuu voimakkaasti kun pH laskee alle kuuden. Bakteerien adaptaatiota alhaisemmille pH arvoille saattaa tapahtua, mutta nopeiden pH:n muutosten seurauksena reaktio saattaa hidastua. (Valve 1991)

Nitrosomonas- ja *Nitrobacters*-suvun bakteerit käyttävät epäorgaanista hiiltä hiililähteenään. Hiilen määrä säätelee niiden kasvua, kuitenkin liian suuri määrä epäorgaanista hiiltä voi rajoittaa bakteerikannan kasvua. (Waite 1984)

Denitrifikaatio on prosessi, jossa nitraatti pelkistyy nitriitiksi ja edelleen typenoksideiksi, jotka poistuvat ilmakehään. Denitrifikaatio tapahtuu anaerobisissa olosuhteissa. Denitrifikaation nopeus riippuu myös saatavissa olevan nitraatin määrästä, hiilen ja hapen määrästä sekä maaperän kosteudesta ja lämpötilasta. (Åkerla et al. 1985) Monet bakteerilajit osallistuvat tähän reaktioon. Bakteerit käyttävät yhdisteiden happea, kuten nitraattiin sitoutunutta happea. (Waite 1984)

Nitraatti ja nitriitti pelkistyvät ensisijaisesti typpikaasuksi seuraavan reaktioyhtälön mukaan. Tässä yhtälössä on hiililähteenä käytetty metanolia. (Valve 1991)



Tässä reaktiossa, jossa on hiililähteenä käytetty metanolia, havaitaan, että denitrifikaatiossa alkaliniteetti lisääntyy 0,07 mmol jokaista pelkistettyä nitraattityppigrammaa kohti. Denitrifikaatiossa saadaan takaisin puolet nitrifikaatiossa kuluneesta alkaliteetistä. (Valve 1991)

Denitrifikaation nopeus riippuu paljolti käytetyn hiililähteen molekyylikoosta ja reaktioiden nopeus on sitä suurempi mitä pienimolekyylisempää hiiliyhdistettä on käytettävissä. (Valve 1991)

Biologisen nitraatin pelkistykseen lisäksi pelkistävässä olosuhteissa voi tapahtua myös kemiallista nitraatin pelkistymistä, jossa rauta ja mangaani hapettuvat. (mm. Lind & Pedersen 1976)

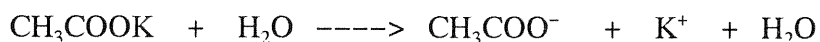
Kasvit pystyvät käyttämään ravinteenaan sekä ammoniumtyyppiä että nitraattityyppiä. Nitraatti joko tulee käytetyksi kasvien ravinteeksi tai se poistuu denitrifikaation kautta typpikaasuna ilmaan. (Waite 1984)

Ammoniumsuolojen myrkyllisyys on erittäin vähäistä ja niiden aiheuttamat terveydelliset riskit perustuvat lähinnä niiden mahdolliseen hapettumiseen nitriitiksi tai nitraatiksi sekä sen reagointiin desinfiointiaineena käytetyn kloorin kanssa. Nitraatin terveysriskit kohdistuvat lähinnä imeväisikäisiin lapsiin, joilla elimistössä nitraatista muodostuva nitriitti voi aiheuttaa häiriöitä veren punasolujen happiaineenvaihduntaan (methemoglobinemia). (Lääkintöhallitus 1985)

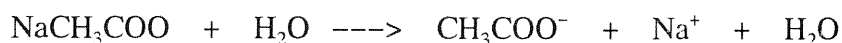
Pohjavesien nitraattipitoisuus Suomessa on yleensä alle 5 mg l⁻¹. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista on nitraatin enimmäispitoisuudeksi asetettu 25 mg l⁻¹. Yli 100 mg l⁻¹ sisältävää – pohjavettä ei voida pitää kelvollisena talousvedeksi. (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994)

3.2 Kalium- ja natriumasetaatti

Kaliumasetaatti, CH₃COOK, on orgaaninen etikkahapon suola, joka dissosioituu vedessä positiiviseksi kaliumioniksi ja negatiivisesti varautuneeksi asetaatti-ioniksi. Kaliumasetaatti sisältää kaliumionia 199 g/kg tuotetta ja 301 g/kg asetaatti-ionia. (Vesi-Hydro 1990)



Natriumasetaatti, kuten kaliumasetaattikin on orgaaninen etikkahapon suola, joka vedessä käyttäytyy kaliumasetaatin tavoin: yhdiste dissosioituu vedessä positiivisesti varautuneeksi natriumioniksi ja negatiivisesti varautuneeksi asetaatti-ioniksi.



Kalium- ja natriumasetaatin ympäristövaikutukset rajoittuvat hajoamisprosessin hapenkulutukseen, joka on kolmasosa urean hapenkulutuksesta painoyksikköä kohden. Natriumasetaatin hapenkulutus on suurempi kuin kaliumasetaatin. Natriumasetaatilla hapenkulutus on 0,78 g O₂ /g ainetta, vastaava luku kaliumasetaatille on 0,65 g (O₂) kaliumasetaatti grammaa kohti.

Asetaatin hajoaminen tapahtuu suurimmaksi osaksi vajovesivyöhykkeessä, jossa tapahtuu myös kaasujen vaihtoa maahuokosten ja ilmakehän välillä. Mikäli maa on roudassa ei kaasujen vaihtoa tapahdu. (Yli-Kuivila 1994)

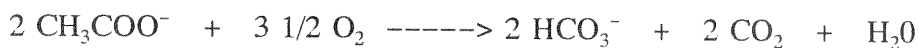
Yksi gramma asetaattia kuluttaa hapettuessaan teoriassa 0,47 grammaa happea. Biologinen hajoaminen vaatii aina sekä sopivan bakteerikannan että ravinteita (mm. tyyppiä, fosforia ja kaliumia). Asetaatti on monille mikro-organismeille suoraan hyödynnettävissä oleva hiililähde (McCarty 1971). Bakteerien määrä riippuu niille käyttökelpoisen orgaanisen aineen määrästä. Koska asetaatti on ravintoa monille

mikrobeille, asetaatin biologisen hajoamisen myötä veden bakteerimäärät kasvavat. Biologisen toiminnan nopeus vaihtelee olosuhteista riippuen ja on vaikeasti ennakoitavissa. (Tielaitos 1992)

Taulukko 1. Liukkaudenestokemikaalien hapenkulutus ja pH

valmiste	hapenkulutus g(O ₂)/g	pH
urea	2,13	7,2 (10%:nen vesiliuos)
kaliumasetaatit:		
Clearway 1 (50%)	0,295 – 0,325	10,8 – 11,2
Safeway KA (100%)	0,65	9,0 – 10,4
Safeway KA (50%)	n. 0,3	
natriumasetaatit:		
Clearway 2s	0,68	
Safeway SD	0,78	7,5 – 9,0

Asetaatti hajoaa luonnossa biologisesti seuraavan bruttokaavan mukaisesti.



Jos kaliumasetaatti hapettuu täydellisesti kaliumioniksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi on O₂ -kuorma 0,949 kg O₂/kg suolaa. Vastaava arvo etikkahapolla on 1,066 kg O₂/kg etikkahappoa. Mikäli vedestä loppuu happi, saattaa asetaatin hajoaminen lakata. Jos vesi sisältää nitraattia, mikrobit alkavat käyttää nitraatin sisältämää happea.

Asetaatti-ioni on vedessä kemiallisessa tasapainossa veteen muodostuvan etikkahapon kanssa. Veden pH määrää, mikä osuus veteen joutuneesta asetaatista on siinä ioneina ja mikä osuus etikkahappona.



Vesistöön joutuva asetaatti on voimakkaasti laimentuneena pääasiassa ionimuodossa. Vasta pH-arvossa 4,75 se on puoliksi etikkahappona ja puoliksi asetaattina. Tämä arvo pätee täysin tarkasti vain puhtaalle etikkahapolle. (Vesi-Hydro 1990, 1991) Asetaatin hajoaminen biologisesti aiheuttaa pH-arvon nousun. CMA:lla tehdyillä kokeilla pH-arvot nousivat kolmannen päivän jälkeen CMA:n imeyttämistä selvästi. (McFarland and O'Reilly 1992)

Sekä asetaatti että etikkahappo hajoavat vesistöissä biotoiminnan kautta hapettamalla ja ne aiheuttavat täten vesistöissä biokemiallisen hapenkulutuksen kuormitusta. (Vesi-Hydro 1990)

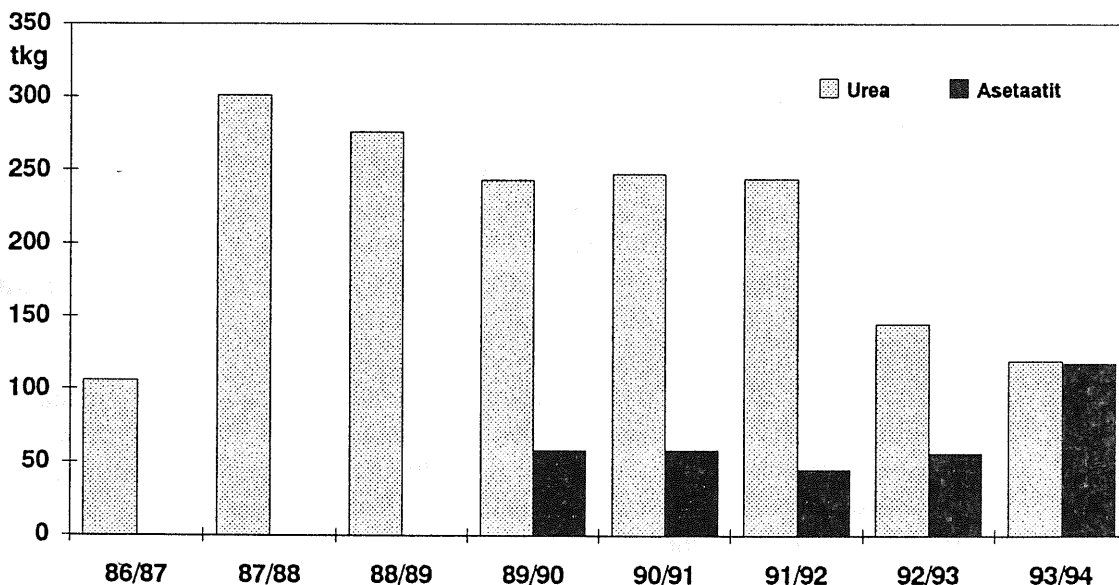
Asetaatin hajotessa syntyvän hiilidioksidin veteen liuenneella määrällä on käytännössä vaikutusta myös veden pH-arvoon ja samalla myös asetaatin hajoamiseen. Mikäli hiilidioksidi ei pääse poistumaan vedestä, veden pH laskee ja asetaatin kemiallinen hajoaminen hidastuu tai joissakin tapauksissa saattaa lakata kokonaan. (Yli-Kuivila 1994)

Asetaatti hajoaa 18 kertaa hitaammin olosuhteissa, joissa on vähän happea verrattuna aerobisiin olosuhteisiin. Suuret määrät asetaattia sisältävät yhdisteet saattavat kuluttaa maaperässä olevan hapen loppuun ja asetaattia saattaa huuhtoutua pohjaveteen. Asetaatin hajoaminen aerobisissa olosuhteissa oli 5 kertaa hitaampaa 6 °C kuin 22 °C lämpötilassa. (Amrhein et al. 1994) Nämä tiedot perustuvat CMA:lla (kalsiummagnesiumasetaatilla) tehtyihin kokeisiin. CMA ja kaliumasetaatti eivät juurikaan poikkea kemiallisilta ominaisuuksiltaan. (Tielaitos 1992)

Asetaatilla on myös lievä taipumus muodostaa raskasmetallien kanssa veteen liukoisia metallikelaatteja. (Tielaitos 1992) CMA:n ympäristövaikutusten tutkimisen yhteydessä on keskusteltu asetaattien mahdollisesta vaikutuksesta tiettyjen raskasmetallien liukoisuuteen, koska asetaatteja käytetään yleisesti reagensseina metallien erottamisessa maaperästä. (McFarland & O'Reilly 1992)

3.3 Urean ja asetaattien yhteiskäyttö

Talvikaudesta 1989/1990 alkaen on Helsinki-Vantaan lentoasemalla käytetty rinnakkain sekä ureaa että kaliumasetaatipohjaisia jäänpoistokemikaaleja; Clearway 1 ja Safeway KA sekä natriumasetaatipohjaisia rakeisia jäänpoistokemikaaleja Safeway SD ja Clearway 2s. Asetaatipohjaisiin jäänpoistokemikaaleihin on pyritty siirtymään urean aiheuttaman pohjaveden typpikuormituksen takia. Kalium- ja natriumasetaatin ympäristövaikutukset rajoittuvat sen aiheuttamaan hapenkulutukseen aineen biologisessa hajoamisessa.



Kuva 4. Asetaattien ja urean käyttömäärät Helsinki-Vantaan lentokentällä.

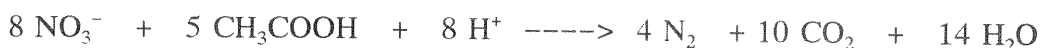
Asetaattien käyttö pysytteli talvikausina 89/90 – 91/92 alle 20%:ssa liukkaudenestoaineiden kokonaiskäytöstä. Talvikautena 92/93 käytettiin jo 28% asetaatteja ja talvikautena 93/94 asetaattien käyttömäärä kohosi yli urean käytön; liukkaudentorjunta-aineiden kokonaiskäytöstä asetaattien osuus oli 61%:a. Urean käyttö on ollut talvikautena 93/94 enää 40%:a talvikauden 87/88 huippukäyttömääristä.

Yhteiskäytön tuloksena maaperässä ja pohjavedessä on urean hajoamistuloksena syntyneitä typpenyhdisteitä, kuten ammoniumia, nitriittiä ja nitraattia sekä kalium- ja

natriumasetaatin hajoamisessa syntyneitä kaliumioneja, natriumyhdisteitä sekä asetaatti-ioneja. Asetaatti-ionit ovat tasapainossa syntyvän etikkahapon kanssa. Muodostuvan etikkahapon määrä riippuu veden pH:sta.

Nitraattia poistuu pohjavedestä denitrifikaatioissa. Tämä ns. denitrifikaatiobakteerien aikaansaama biokemiallisen reaktion edellytyksenä ovat vähähappiset, anaerobiset, olosuhteet, ja että saatavilla on hiiltä sisältäviä aineita bakteeritoiminnan tarpeisiin. Nitraatti hajoaa tällöin kaasumuotoiseksi typeksi, hiilidioksidiksi ja vedeksi. Typpikaasu liukenee ensin veteen, mutta poistuu myöhemmin ilmakehään. Koska kaliumasetaatin hajotessa vedessä syntyy etikkahappoa, joka sisältää hiiltä, on oletettu, että maaperässä tapahtuva denitrifikaatio nopeutuu prosessia säätelevän hiilimäärän kasvaessa. (Vesi-Hydro 1991)

Denitrifikaatio voidaan esittää seuraavalla kemiallisella kaavalla, kun hiililähteenä on etikkahappo.



Teoriassa yhden nitraattigramman hajottamiseen denitrifikaation avulla tarvitaan 0,60 grammaa etikkahappoa. Kaliumasetaattia tarvitaan teoreettisesti tämän etikkahappomäärän muodostamiseen 0,98 g:aa. Koska Clearway 1:tä käytetään 50-prosenttisena liuoksena, tarvitaan Clearway 1:tä 1,96 g, jotta 1 g nitraattia saataisiin hajotettua. Käytännössä määrä on suurempi, sillä kaikkea Clearwayn sisältämää asetaattia pystytään käyttämään denitrifikaatioon. Ongelmana on lisäksi alhainen lämpötila. Denitrifikaatio, kuten bakteeritoiminta yleensäkin, on hidasta alhaisissa (alle 10⁰ C) lämpötiloissa. (Vesi-Hydro 1991)

Vesi-Hydro Oy on kokeellisesti tutkinut mahdollisuuksia poistaa nitraattia pohjavedestä kaliumasetaattipohjaisten jäänpoistoaineiden avulla. Kokeessa imeytettiin kaliumasetaattia pohjaveteen imeytysaltaiden kautta. Imeytysaltaat sijaitsivat 8 ja 5 metrin etäisyydellä havintopisteestä PK, josta vedenlaatutietoja kerättiin tutkimuksen aikana. Tutkimus koostui kahdesta tutkimusjaksosta, molemmat noin kuukauden pituiset. Tutkimusjakso 1:n aikana imeytettiin 4,2 tkg Clearway 1:sta ja tutkimusjakso 2:n aikana imeytettiin 7,35 tkg kaliumasetaattipohjaista Runway:ta. Nitraatin poistuma ensimmäisellä tutkimusjaksolla oli 18% alkutilanteen arvosta 110 mg l⁻¹ 90 mg l⁻¹:aan. Toisella tutkimusjaksolla nitraattia poistui edelleen pohjavedestä. Tutkimuksen lopulla nitraattia oli havaintopisteen PK pohjavedessä 81 mg l⁻¹. Nitraatin kokonaispoistuma tutkimuksen aikana oli siis 26 %:a. Nitraatin poistuminen on jatkunut havaintopisteessä, siten että maaliskuussa 1994 pohjaveden nitraattipitoisuus oli vain 65 mg l⁻¹. (Vesi-Hydro 1991)

Talvikautena 1992/1993 käytettiin Helsinki-Vantaan lentokentällä ureaa yhteensä 145 000 kg, kaliumasetaattia 33 000 kg ja natriumasetaattia 22 000 kg. Kaliumasetaattimäärä on ilmoitettu käyttöliuosvahvuutena eli 50%:na vesiliuoksena. Urean hajoaminen nitraatiksi kuluttaa 2,13 g (O₂) urea grammaa kohti ja kaliumasetaatti kuluttaa noin 0,3 (O₂) grammaa kaliumasetaattiliuos (50%) grammaa kohti. Natriumasetaatti kuluttaa 0,78 g (O₂) valmiste grammaa kohti. Vuotuinen hapenkulutus urean kohdalla on yhteensä 308 850 kg (O₂) ja kaliumasetaatin hapenkulutus oli 9 900 kg (O₂) ja natriumasetaatti kulutti 17 160 kg (O₂). Yhteensä liukkaudentorjunta-aineiden aiheuttama hapenkulutus on ollut 335 910 kg (O₂), josta asetaattien aiheuttama hapenkulutus on 27 060 kg (O₂) eli 8%:a liukkaudentorjunta-aineiden aiheuttamasta hapenkulutuksesta.

Asetaatin aiheuttama primaarinen hapenkulutus on nopeampaa kuin urean hajoamisesta johtuva sekundaarinen hapenkulutus. (Vesi-Hydro 1990)

3.4 Natrium ja kalium

Kalium- ja natriumasetaatti dissosioituvat vedessä negatiiviseksi asetaatti-ioniksi ja positiivisesti varautuneiksi natrium- ja kaliumioneiksi.

Rakeisen natriumasetaatin käyttäytyminen maaperässä ja pohjavedessä on vastaavaa kuin kaliumasetaatin, paitsi että natrium on erittäin reaktiivinen. (Hem 1969) Kalium on korvattu natriumilla, jotta yhdiste on saatu kidemuotoon.

Natrium kuuluu alkalimetalleihin, jotka ovat kaikki erittäin reaktiivisiä, elektropositiivisia metalleja. (Laitinen & Toivonen) Natriumin liuettua veteen se pyrkii pysymään liukoisessa muodossa. Se ei sakkaudu kuten kalsium ja magnesium. (Hem 1969).

Maahan joutuessaan natrium syjäyttää maarakeisiin adsorboituneita kalsium-, kalium- ja magnesiumioneja ja aiheuttaa niiden huuhtoutumista maasta ja siten nostaa maan pH:ta. (Holmes 1961, Hutkinson ja Olson 1967; Prior ja Berthoeux 1967, Hofstra ja Smith 1984; sit Tielaitos 1991)

Natrium muodostaa yhdisteitä ainakin karbonaatin, kloridin, nitraatin ja sulfaatin kanssa. Vaikutus veden makuun riippuu siitä anionista, jonka yhteydessä natrium esiintyy. Natriumyhdisteillä on eri suuruisia makukynnysarvoja. Monet natriumyhdisteet vaikuttavat veden makuun vasta suurina pitoisuuksina.

Taulukko 2. Natriumyhdisteiden makukynnysarvoja vedessä. (Lääkintöhallitus 1985)

yhdiste	makukynnysarvo mg l ⁻¹
Natriumkarbonaatti	30–80
Natriumkloridi	320–350
Natriumnitraatti	700
Natriumsulfaatti	370–1 000
Natriumvetykarbonaatti	1 100

WHO:n ansiantuntijaryhmän mukaan natriumin ja kohonneen verenpaineen välisestä yhteydestä on vahva näyttö. (Lääkintöhallitus 1985) Lääkintöhallituksen ohjeen mukaan tulisi talousveden mukana saatavan natriumin määrän olla korkeintaan 100–200 mg l⁻¹, joka vastaa 3–5 %:a ruuan ja juoman mukana saatavasta natriumista.

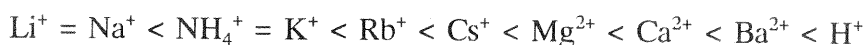
Kaliumioni pysyy vesiliuoksessa ionimuodossa eikä se muodosta saostuvia yhdisteitä ja kulkeutuu helposti veden mukana. Ionimuotoinen kalium reagoi helposti muiden rapautumistuotteiden kanssa ja kiinnittyy niihin. Luonnontilaisissa maapohjavesissä kaliumia on 0,5–1,5 mg l⁻¹. (Soveri 1985)

Vesi-Hydron raportin mukaan Helsinki-Vantaan lentoaseman pohjavesialueen luonnonmukainen pohjaveden kaliumpitoisuus on 2,5 mg l⁻¹ ja se pysyy kohtalaisen

vakiona. Kokeen aikana maahan imeytettiin ensimmäisellä koejaksoilla $1\ 160\ \text{g h}^{-1}$ kaliumia eli yhteensä n. 830 kg. Pois pumpatun veden mukana poistui vain noin 16%:a maahan imeytetystä kaliumista. Toisen koejakson aikana maahan imeytetyn kaliumin määrä oli 1 470 kg. Pois pumpatun veden mukana poistui vain 10%:a syötetystä kaliumista. (Vesi-Hydro 1991)

Osa syötetystä kaliumista sitoutui ioninvaihdon seurauksena maahiukkasten pinnalle vapauttaen maaperästä muita positiivisesti varautuneita ioneja mm. natriumia, magnesiumia ja kalsiumia. Mikäli ionitasapainot muuttuvat ajan kuluessa, vapautuu kaliumia vähitellen pitkän viiveen jälkeen. (mm. Vesi-Hydro 1991, Salonen 1985)

Ioninvaihtoreaktioihin vaikuttaa massatasapainolaki ja ioninvaihtokapasiteetti sekä ionien korvautumisvoima, joka voidaan esittää seuraavan sarjan kanssa. Suurivalenssi-
sempi ioni siis korvautuu helpoimmin. Vetyioni tekee tässä poikkeuksen. Kaliumin ionin vaihtokapasiteetti on ammoniumionin (NH_4^+) kanssa saman suuruinen. (mm. Salonen 1985)



Maalajien ioninvaihto-ominaisuudet riippuvat monista tekijöistä kuten maalajin raakoosta, mineraalikoostumuksesta sekä humuksen laadusta ja määrästä. Ioninvaihtokyky lisääntyy yleensä raekoon pienentyessä ja humuspitoisuuden kasvaessa. (Kauranne ym. 1979)

Sosiaali- ja terveysministeriö on 1994 antamassaan päätöksessä asettanut teknis-
esteettisiksi laatuvaatimuksiksi natriumin osalta $150\ \text{mg l}^{-1}$ ja kaliumin osalta $12\ \text{mg l}^{-1}$.

4 LIUKKAUDENTORJUNTA-AINEIDEN VAIKUTUS POHJAVE- TEEN HELSINKI-VANTAA LENTOASEMALLA

4.1 Lentoaseman pohjavesialueen geologiaa

Helsinki-Vantaan lentoasema sijaitsee Lentoaseman (01 914 04) tärkeän pohjavesialueen länsipuolella. Osa kiitoratojen reuna-alueista ulottuu tärkeän pohjavesialueen muodostumisaluetta ympäröivälle reunavyöhykkeelle. Alucella sijaitsee lentoaseman pohjavedenotto, jossa vedenotto on vuosina 1991-1992 ollut keskimäärin $812\ \text{m}^3/\text{d}$ eli $270\ 000\ \text{m}^3/\text{a}$.

Lentoaseman tärkeä pohjavesialue on osa laajempaa reunamuodostumasysteemiä, joka on syntynyt suureen kallioperän murrokseen. Esiintymä on tasoittunut ja osittain uudelleen kerrostunut.

Alue muodostaa kalliomäkien reunustaman laajan altaan, jota leikkaa lähes pohjois-eteläsuuntainen kallioperän murroslaakso. Parhaiten vettäjohtavia kerrostumia tavataan ruhjeen kohdalla, jossa sora- ja hiekkakerrostumien paksuus on 15-20 metriä pohjavedenpinnan alapuolella. Alavimmilla kohdin läpäisevä aines on savi- ja silttikerrosten peittämä. Kallioperän korkeuseroista ja maaperän vaihtelevuudesta

johtuen muodostumaa voidaan pitää kokonaisuudessaan epähomogeenisena. (Hevy 1981)

Lentokentän itäpuolinen alue on paljolti soranoton rikkomaa. Lähes kaikki karkeat maalajit pohjavedenpinnan yläpuolelta on poistettu. Lisäksi soraa on otettu monin paikoin myös pohjaveden pinnan alapuolelta ja näin syntyneiden lammikoiden syvyys vaihtelee 3–6 metriä.

Ottamolle virtaava pohjavesi muodostuu pääasiallisesti alueen pohjoisosassa ja Mätäkivenmäen kohdalla ja kulkeutuu ottamolle kummaltakin mainitulta suunnalta kallioperässä olevia ruhjeita pitkin. Myös sää- ja paloasema pääkiitotien pohjoispuolella käyttää tältä valuma-alueelta kallioporakaivosta otettavaa pohjavettä. (Vesi-Hydro 1990)

4.2 Havaintopisteiden sijainti

Pohjavesikaivo H eli ns. apukaivo tai vanha apukaivo sijaitsee tärkeän pohjavesialueen muodostumisaluetta ympäröivällä reunavyöhykkeellä, kiitoalueella noin 100 metrin etäisyydellä II-kiitotiestä.

Pääkiitotien ja II-kiitotien risteyskohdan välittömässä läheisyydessä, risteyskohdan eteläpuolella, sijaitsee vanha pääkaivo PK.

Lentoaseman pohjavedenottamo sijaitsee noin 700 metrin päässä kiitoradoista. Ottamo sijaitsee pohjois-eteläsuuntaisessa kallioperän murroksessa.

Kiitoteiden risteyskohdasta 200 metriä länteen, pääkiitotien pohjoispuolella, sijaitsee sää- ja paloaseman porakaivo.

Havaintoputki P1 sijaitsee II valuma-alueella pääkiitotien eteläpuolella, Veromiehenkylän purolaakson kohdassa, josta pohjavedet pääsevät ruhjeessa liikkumaan kallioiden lomitse etelään.

Pohjavesiputki P2 sijaitsee noin 1 km päässä kiitoradoista pohjavesialueella, muodostumisalueen reunalla, ottamon itäpuolella.

Kenttä alueen luoteispuolella Viinikanmäen purolaaksoon paikallistettuun ruhjeeseen asennettiin havaintoputki P3. Piste P3 kautta virtaavat kaikki VI-valuma-alueen pohjavedet luoteeseen kohti Vantaanjokea.

II-kiitotien kaakkoispään välittömässä läheisyydessä, ruhjeen kohdalla, sijaitsee havaintoputki P4. Valuma-alueelta V tulevat pohjavedet kulkevat tämän havaintopisteen kautta.

4.3 Analyysitulokset

4.3.1 Ottamo

Lentoaseman pohjavedenottamon pH on pysytellyt tasaisena, muutamaa analyysikertaa lukuunottamatta, koko aikavälillä. Ottamon pH:n keskiarvo on ollut 6,91, maksimi 8,31 ja minimi 6,16.

Ottamalla käytetään raudan ja mangaanin poistoon ns. pohjaveden jälleenimeytysmenetelmää, jossa kaivosta Kl pumpattava pohjavesi (raakavesi) ilmastetaan ja imeytetään (suodatetaan) takaisin maaperään. Ilmastuksen ja suodatuksen ansiosta rauta- ja mangaanipitoisuudet saadaan laskemaan.

Raakaveden rauta- ja mangaaniarvot ovat heilahdelleet jonkin verran. Rautapitoisuus ottamon raakavedessä on ollut keskimäärin $0,74 \text{ mg l}^{-1}$ ja mangaanipitoisuus on ollut keskimäärin $0,047 \text{ mg l}^{-1}$. Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksessä on raudalle määritetty teknis-esteettinen enimmäisraja, joka on $0,2 \text{ mg l}^{-1}$. Mangaanin kohdalla kyseinen raja on $0,05 \text{ mg l}^{-1}$. Raudan osalta ottamon raakavesi ei täytä sosiaali- ja terveysministeriön laatuvaatimuksia. Mangaani pitoisuus jää hieman laatuvaatimuksen alle.

Kaliumpermanganaatin kulutus, joka kuvaa kemiallista hapenkulutusta on pysynyt samalla tasolla koko ajanjakson. Aineistosta on vaikea hahmottaa mitään selvää mallia, miten kaliumpermanganaatin kulutus olisi esim. vuodenaikojen mukaan vaihdellut. Kaliumpermanganaattiluku on ottamalla pohjavedelle tyypillisen alhainen. Keskiarvo on $3,16 \text{ mg l}^{-1}$. Minimiarvo on ollut $1,30 \text{ mg l}^{-1}$ ja maksimiarvo $4,50 \text{ mg l}^{-1}$.

Ottamon kloridipitoisuudet ovat olleet lievässä nousussa vuodesta 1991. Pitoisuuksissa on suuria vaihteluita. Kloridipitoisuus on ollut keskimäärin $13,49 \text{ mg l}^{-1}$, minimi $9,60$ ja maksimiarvo $23,00$. Kloridipitoisuus on jonkin verran suurempi kuin pohjavesien kloridipitoisuus luonnontilaisilla alueilla yleensä. Sosiaali- ja terveysministeriön antamat enimmäispitoisuudet kloridille ovat 100 mg l^{-1} .

Sähkönjohtavuus on selvästi nousussa. Sähkönjohtavuus on verrannollinen ionisoituneiden aineiden kokonaispitoisuuteen vedessä. Sähkönjohtokyky riippuu myös lämpötilasta, vedessä olevien ionien laadusta, niiden valenssista ja kuljetusluvusta. Johtokyky ei anna tietoa liuenneiden aineiden kokonaismäärästä, vaan ainoastaan veteen dissosioituneiden aineiden pitoisuudesta. Johtokyvyn muuttuminen on myös monien biologisten tapahtumien seuraus. 1980-luvun alussa ottamon pohjaveden sähkönjohtavuus oli noin $20\text{--}23 \text{ mS m}^{-1}$. Vuonna 1994 sähkönjohtavuus oli kesäkuun näytteessä $33,4 \text{ mS m}^{-1}$. Kuten liitteestä 2/3 näkyy on sähkönjohtokyky selvästi noussut koko ajan, jolta analyysituloksia on käsitelty. Analyysitulosten keskiarvo sähkönjohtavuudelle on $29,10 \text{ mS m}^{-1}$, minimi $20,80 \text{ mS m}^{-1}$ ja maksimi $33,40 \text{ mS m}^{-1}$.

Ottamon pohjaveden kokonaiskovuus on 14 vuodessa hieman noussut. Aineiston keskiarvo on $1,44 \text{ mmol l}^{-1}$, minimi $0,93 \text{ mmol l}^{-1}$ ja maksimi $1,5 \text{ mmol l}^{-1}$. Pohjaveden alkaliteettiä on mitattu säännöllisesti vuodesta 1992 lähtien. Alkaliteetti on pysynyt noin $2,0 \text{ mmol l}^{-1}$ paikkeilla.

Soranoton vaikutus pohjaveteen-projektin yhteydessä tutkittiin Lentokentän tärkeän pohjavesialueen pohjaveden laatua ja pohjavesilammikoiden vaikutuksia ottamon veden laatuun. Pohjaveden laatua seurattiin kaikkina vuodenaikoina vuosina 1985–1989. näytteitä otettiin neljä kertaa vuodessa. Tutkimusaikana todettiin hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelevan 30 – 39,6 mg l⁻¹ ja bikarbonaattipitoisuudet olivat 91,5 mg l⁻¹ – 101,3 mg l⁻¹. Sulfaattipitoisuudet vaihtelivat tutkimusaikana 31 mg l⁻¹ ja 70 mg l⁻¹ välillä. Magnesiumia todettiin olevan normaalia enemmän, noin 10 mg l⁻¹. Emäskationien vaihtelut olivat erittäin pieniä tutkimuksen aikana. Pohjaveden happipitoisuus oli pienekkö, mutta pysyivät kautta vuoden vakioina. Happipitoisuus oli tutkimusaikana keskimäärin 5,05 mg l⁻¹ ja kyllästysprosentti keskimäärin oli 42,03 %:a. Vähäinen happipitoisuus johtuu todennäköisesti pintakerroksen hienorakeisesta täyttemaasta. (Hyypä ym. 1993)

Taulukko 3. Ottamon pohjaveden laatu

parametri	yksikkö	min	max	med
pH		6,16	8,31	6,87
NO ₂ ⁻	mg l ⁻¹	0	0,20	0,01
NO ₃ ⁻	mg l ⁻¹	0	0,06	0
NH ₄ ⁺	mg l ⁻¹	0	0,02	0,01
Sähkönjohtavuus	mS m ⁻¹	20,80	33,40	29,10
KMNO ₄	mg l ⁻¹	1,30	4,50	3,16
Kokonaiskovuus	mmol l ⁻¹	0,93	1,5	1,44
Cl ⁻	mg l ⁻¹	9,60	23,00	13,49

4.3.2 Havaintopiste PK eli vanha pääkaivo

Luonnonvesissä pH:n suuruus määräytyy usein hiilihappotasapainosta siis hiilidioksidin, bikarbonaatin ja karbonaatin välisestä suhteesta. Myös humushapot ja niiden suolat vaikuttavat veden happamuusasteeseen. Vanhan pääkaivon pH on alhainen. Korkeimmillaan pH on ollut toukokuussa 1990 ja siitä lähtien ollut laskussa. Joulukuussa 1993 pH on rajusti noussut ja sen jälkeen taas laskenut samalle tasolle, josta nousu lähti. Aineiston keskiarvo on 6,09, minimi 5,88 ja maksimi 6,34.

Typpiyhdisteistä nitraattia on esiintynyt runsaasti. Keskiarvo on 87,22 mg l⁻¹, minimi 65,00 mg l⁻¹ ja maksimi 110,0 mg l⁻¹. Nitraattipitoisuus on ollut korkeimmillaan 1990, jonka jälkeen pitoisuus on vähitellen laskenut ollen 65 mg l⁻¹ maaliskuussa 1994. Sosiaali- ja terveysministeriön antama terveydellinen laatuvaatimus nitraattipitoisuudelle on 25 mg l⁻¹. Havaintopisteen arvot ovat siis olleet maksimissaan yli nelinkertaiset raja-arvoon nähden. Muiden typpiyhdisteiden määrät ovat olleet vähäisiä. Ammoniumia on esiintynyt maksimissaan 0,21 mg l⁻¹ marraskuussa -90. Sosiaali- ja terveysministeriön antama teknis-esteettinen laatuvaatimus ammoniumille on 0,5 mg l⁻¹.

Sähkönjohtavuus on pysytellyt tasaisena. Tarkasteluajan keskiarvo on 31,48 mS m⁻¹, minimi 27,30 mS m⁻¹ ja maksimi 38,0 mS m⁻¹. Vuoden 1990 arvoista on tapahtunut selvää laskua koko ajan. Sähkönjohtavuus on silti korkeampi kuin alueen luonnontilaisissa pohjavesissä.

Kaliumpermanganaatti luku on pohjavedelle tyypillisen alhainen. Aineiston keskiarvo on 3,55 mg l⁻¹, minimi 2,20 ja maksimi 4,40 mg l⁻¹.

Neljän havaintokerran perusteella pohjaveden kokonaiskovuus havaintopisteessä PK on pysytellyt 1,2 mmol l⁻¹ ja 2,6 mmol l⁻¹ välillä.

Taulukko 4. Havaintopisteen PK pohjavedenlaatu

parametri	yksikkö	min	max	med
pH		5,88	6,34	6,09
NO ₂ ⁻	mg l ⁻¹	0,01	0,01	0,01
NO ₃ ⁻	mg l ⁻¹	65	110	87,22
NH ₄ ⁺	mg l ⁻¹	0	0,21	0,08
Sähkönjohtavuus	mS m ⁻¹	27,30	38,00	31,48
KMNO ₄	mg l ⁻¹	2,20	4,40	3,55
kokonaiskovuus	mmol l ⁻¹	1,20	2,60	1,60
Cl ⁻	mg l ⁻¹	6,10	7,50	6,94

4.3.3 Havaintopiste H

Havaintopisteessä pH on koko ajan noussut. Vuonna 1981 pH oli 6,2 ja maaliskuussa 1994 pH oli 7.6. Ajanjakson keskiarvo on 7,54, minimi 6,20 ja maksimi 8,18. Rautapitoisuus on vaihdellut 0,05 mg l⁻¹ ja 0,74 mg l⁻¹ välillä.

Typpiyhdisteitä on esiintynyt havaintopisteen pohjavedestä. Vuoden 1982 jälkeen on nitraattipitoisuus laskenut hieman, jopa 42 mg l⁻¹:aan. Vuodesta 1989 lähtien on nitraattipitoisuus kasvanut tasaisesti. Analyysitulosten keskiarvo on 103,21 mg l⁻¹, minimi 42,0 mg l⁻¹ ja maksimi 148,0 mg l⁻¹. Maaliskuussa 1994 nitraattia oli pohjavedessä 122 mg l⁻¹, joka on melkein viisinertainen määrä sosiaali- ja terveysministeriön antamaan enimmäispitoisuuteen verrattuna. Nitriittiä on esiintynyt maksimissaan 0,31 mg l⁻¹, joka ylittää sosiaali- ja terveysministeriön asettamat terveydeelliset laatuvaatimukset. Ammoniumipitoisuus on pysynyt alhaisena havaintopisteen H pohjavedessä.

Taulukko 5. Havaintopisteen H pohjaveden laatu

parametri	yksikkö	min	max	med
pH		6,20	8,18	7,54
NO ₂ ⁻	mg l ⁻¹	0	0,31	0,06
NO ₃ ⁻	mg l ⁻¹	42	148	103,21
NH ₄ ⁺	mg l ⁻¹	0	0,03	0
Sähkönjohtavuus	mS m ⁻¹	36,5	59,0	48,48
KMNO ₄	mg l ⁻¹	1,90	6,30	4,26
Kokonaiskovuus	mmol l ⁻¹	1,53	1,93	1,72

Havaintopisteen pohjaveden kokonaiskovuus on ollut keskimäärin 1,72 mmol l⁻¹. Minimiksi 1,53 mmol l⁻¹ ja maksimiksi 1,93 mmol l⁻¹.

4.3.4 Muut havaintopisteet

Havaintopisteistä P1, P2, P3, P4 ja P5 ei oluut saatavilla kuin yhdet analyysitulokset, joten vedenlaadun muuttumisesta alueilla ei voi tehdä päätelmiä.

Nitraattia on havaittu pisteessä P2 19 mg l⁻¹ ja pisteessä P3 1 mg l⁻¹. Muista tyyppiyhdisteistä nitriittiä esiintyi havaintopisteissä P2 0,01 mg l⁻¹, P3 0,02 mg l⁻¹ ja P4 0,15 mg l⁻¹. Rautaa ja mangaania esiintyy pisteissä P1, P4 ja P5 jonkin verran. Sähkönjohtavuus oli kaikissa pisteissä hieman koholla. Kemiallinen hapenkulutus vaihteli pisteissä 0,75 ja 3,75 välillä.

Taulukko 6. Havaintopisteiden P1, P2 ja P3 pohjaveden laatu

parametri	yksikkö	P1	P2	P3
pH		6,4	6,9	6,5
NO ₂ ⁻	mg l ⁻¹	0	0,01	0,02
NO ₃ ⁻	mg l ⁻¹	0	19	1
NH ₄ ⁺	mg l ⁻¹	0	0	0
Sähkönjoht.	mS m ⁻¹	11,7	22,3	22
KMNO ₄	mg l ⁻¹	4	3	8
Kemiallinen hapenk.	mg l ⁻¹	1	0,75	2

Taulukko 7. Havaintopisteiden P4, P5 ja porakaivon pohjaveden laatu

parametri	yksikkö	P4	P5	PK
pH		6,6	7,4	6,18
NO ₂ ⁻	mg l ⁻¹	0,15	0	0
NO ₃ ⁻	mg l ⁻¹	0	0	3,1
NH ₄ ⁺	mg l ⁻¹	0	0	0
Sähkönjohtokyky	mS m ⁻¹	33,7	11,9	8,55
KMNO ₄	mg l ⁻¹	15	5	5,1
Kemiallinen hapenk.	mg l ⁻¹	3,75	1,25	

5 ESIMERKKITAPAUKSIA HAITTOJEN ESTÄMISEKSI

Monissa tapauksissa voidaan pohjaveden typpikuormitusta vähentää siirtymällä asetaattipohjaisiin liukkaudentorjunta-aineisiin lentokentillä. Varsinkin Suomen oloissa on kokeilun yhteydessä esiintynyt tilanteita, joissa asetaattipohjaiset liukkaudentorjunta-aineet eivät ole olleet tarpeeksi tehokkaita ja ureaa on ollut välttämätöntä käyttää kaliumasetaatin rinnalla. Jotta kuitenkin välttyttäisiin pohjaveden pilaantumiselta tulee lentokentän valumavesien keräämiseen, johtamiseen ja käsittelyyn sekä lentokentän kiitoteiden reuna-alueiden tiivistämiseen kiinnittää erityistä huomiota. Tällöin välttyään haitallisten aineiden imeytymiseltä maaperään ja pohjaveteen.

Suomessa Helsinki–Vantaan lentoaseman tärkeän pohjavesialueen lisäksi on havaittu liukkaudentorjuntaaineiden käytöstä johtuvaa tyyppiyhdisteiden pitoisuuksien nousua pohjavedessä mm. Turun, Halli–Kuoreveden, Kuusamon ja Rovaniemen lentoasemien läheisissä pohjaveden ottamoissa tai havaintoputkissa.

5.1 Valumavesien kerääminen

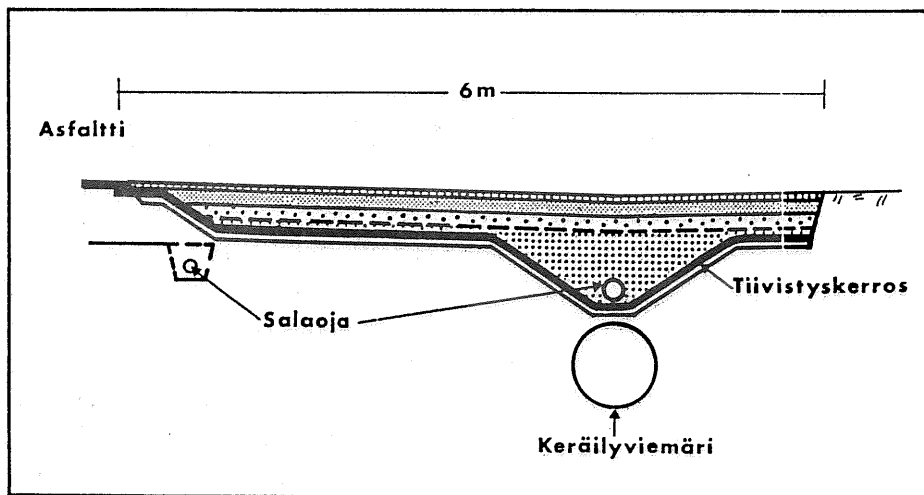
Turun lentokentällä on liukkaudentorjuntakemikaalien suotautumista pohjaveteen pyritty estämään tiivistämällä ja viemäroimällä kiitoalueen reunat. Turun lentoasemalla lentokenttäalueen itäpuolelta johdetaan pintavesiä salaojia pitkin purkuputken ja avo-ojien kautta lentokenttäalueen itäpuolella virtaavaan Piipanojaan. Lentokenttäalueen länsipuolen pintavesiä johdetaan salaojistoa sekä avo-ojia pitkin länsipuolella sijaitsevaan Kuninkojaan. (Maa ja Vesi 1986)

Joensuun lentokentällä muodostuvat hulevedet pyritään johtamaan betonisia sadevesiviemäreitä pitkin lentoaseman länsipuolella sijaitseviin imeytysaltaisiin.

Malmö–Sturupin kentällä käytetään valumavesien keräämiseen sekä tavallisia sadevesiviemäreitä että salaojitusta. Lentokenttä sijaitsee ympäristöön nähden kukkulalla. Saven päällä on hyvin läpäisevää materiaalia, johon on kaivettu salaojia, joita pitkin lentokentältä tulevat vedet voidaan kerätä tarkasti talteen ennen niiden imeytymistä maaperään.

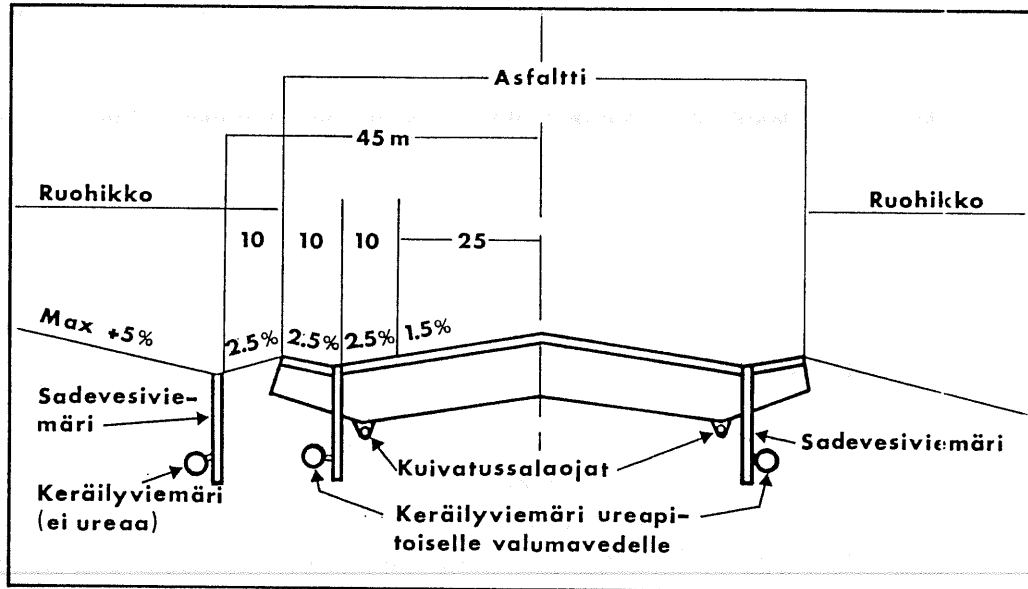
Göteborg–Landvetterin kentän alla on kaksi entistä järveä, jotka on täytetty murskeella. Nämä vanhat järviaaltaat toimivat valumavesien kerääjinä ja lentokentältä tulevat vedet voidaan hallitusti johtaa edelleen.

Visbyn lentokentällä on kiitoteiden reunat tiivistetty vettäläpäisemättömällä kelmulla. Tiivistetyn alueen leveys kokonaisuudessaan kiitotien reunalla on 6 metriä. Asfaltin ja reunan välissä on salaoja, johon kerääntyy kiitotieltä valuvia vesiä. Tiivistetyn alueen reunalla kerätään salaojalla mahdolliset valuma- ja sulamisvedet talteen. Talvella osa lumista linkoutuu tämän tiivistetyn alueen ulkopuolelle, mutta suurin osa sulamisvesistä saadaan kerättyä talteen salaojituksella (kuva 5.).



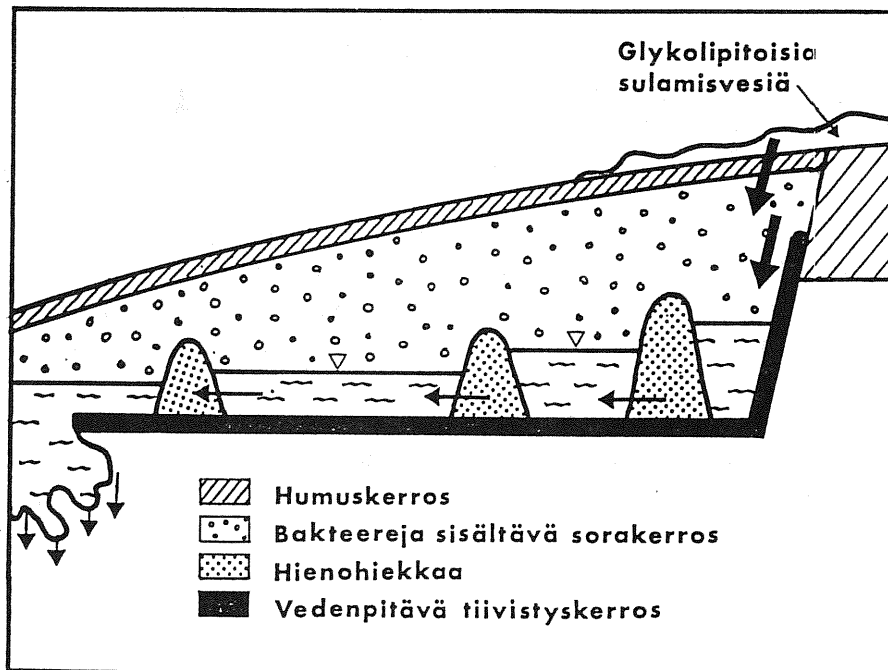
Kuva 5. Kaavakuva Visbyn lentokentän reunojen tiivistämisestä ja ureapitoisten valumavesien keräämisestä salaojilla.

Mellerudstorpin lentokentän suunnittelussa on otettu huomioon valumavesin kerääminen. Kiitotien reunoille on suunniteltu 22,5 metriä leveä asfalttireunus, jonka alla olisi vielä tiivistyskerros. Rinteeltä pintavaluntana tulevat valumavedet tullaan keräämään erillisillä pintavesikaivoilla. Kiitorata-alueelta tulevat mahdollisesti liukkaudentorjunta-aineita sisältävät valumavedet tullaan keräämään erillisillä kaivoilla ja johtamaan asianmukaisesti edelleen. Kiitoradan kokonaisleveydeksi tulisi tällöin 90 metriä (kuva 6).



Kuva 6. Kaavakuva Mellerudstorpin lentokentän valumavesien keräämiseksi.

Münchenin uusi lentokenttä on rakennettu ojittamalla kuivatetulle suolle. Ongelmana oli kuitenkin kohtalaisen korkealla oleva pohjavesi. Lentoturvallisuuden takaamiseksi oli saatava routimaton pohja lentokentälle alentamalla pohjaveden pintaa ja toisaalta pohjavedenpinnan laskusta aiheutuvien haittojen tuli olla mahdollisimman pienet.



Kuva 7. Kaavakuva Münchenin lentokentän kiitoteiltä tulevien glykolipitoisten valumavesien puhdistusmentelmästä.

Pohjaveden virtaussuunta alueella on etelästä pohjoiseen. Lentokentän eteläpuolelle on kaivettu avo-oja, johon etelästä virtaava pohjavesi purkautuu. Ojaa pitkin purkautunut pohjavesi johdetaan lentokentän ohi kentän pohjoispuolelle, jossa sijaitsee 132 kaivoa, joista pohjavesi imeytetään uudelleen maahan. Näin saadaan lentokenttäalueen pohjavedenpintaa alennettua noin kaksi metriä, kun taas ympäristölle aiheutuvat haitat pohjaveden alentamisesta ovat mahdollisimman pienet.

Kiitoteiden reunat ovat tiivistetyt ohuella, vettäläpäisemättömällä "metallikankaalla", joka on metrin syvyydellä maanpinnasta. Tiivistekerros on 20 metrin levyinen. Tämä tiivistyskerros on päällystetty soralla, joka sisältää jäänpoistoainetta, glykolia, hajottavia bakteereja. Sorakerroksen sisään on rakennettu hienosta hiekasta pystyseinämiä. Nämä seinämät hidastavat suotautuneen veden liikkumista, jotta veden viipymä sorassa olisi tarpeeksi pitkä. Puhdistunut vesi suotautuu tiivistyskerroksen päästä alla olevaan soraan (kuva 7.).

5.2 Puhdistusmenetelmiä

Visbyn lentoasemalla on käytössä biologinen puhdistuslaitos, joka poistaa sekä happeakuluttavia aineita että typpeä. Prosessit toimivat hyvin matalissakin lämpötiloissa ja typenpoistotaso voidaan pitää yli 90%:ssa laitokseen tulevan veden typpipitoisuudesta. Biologisen puhdistuslaitoksen ylläpitäminen lentokentällä on vaikeaa, koska laitokseen tuleva vesimäärä ja typpikuormitus ovat kausittaisia. Laitoksella on usein pulaa hajotettavasta orgaanisesta aineesta eli hiililähteestä ja suuri ylimäärä typpeä, josta on seurauksena, että prosessiin pitää lisätä suuria määriä orgaanista materiaalia. Viime talvikaudella laitoksen prosessia "ruokittiin" raakasiirapilla, johon oli lisätty hiiltä.

Kemiallisista ja fysikaalisista menetelmistä ammoniakkistrippaus ja ioninvaihto sekä otsonointi voivat tulla kysymykseen typenpoistossa. Ammoniakkistrippaus soveltuu ammoniummuotoisen typen poistoon. Strippaukseen liittyy ongelmia talvella, koska on mahdollista, että strippaustorni jäätyy. Ammoniakin joutuminen strippauksen jälkeen ilmakehään ja sieltä edelleen vesistöön on haitallista. Ammoniakkikaasu voidaan ottaa talteen käyttämällä suljettua systeemiä. Kustannukset ovat tällaisessa laitoksessa melkoiset. Ioninvaihto soveltuu ammonium-, nitriitti- ja nitraattitypenpoistoon. Ioninvaihdon vaikeutena on regenerointi ja regeneraatin käsittely. Ioninvaihto soveltuu vain kirkkaille vesille tukkeutumisongelmien vuoksi. Otsonointi soveltuu ammonium- ja nitriittitypen poistoon. (Valve, 1991) Edellä mainittujen menetelmien lisäksi voidaan käyttää elektrodialyysiä ja käänteisosmoosia nitraatin poistoon vedestä.

Kaikki typenpoistomenetelmät ovat kalliita. Tämän takia tulisi kiinnittää enemmän huomiota ongelman ennaltaehkäisyyn. Lentokenttiä ajatellen tulisi siirtyä asetaattipohjaisiin liukkaudenpoistoaineisiin ja kiinnittää huomiota valuvesien keräämiseen, johtamiseen ja puhdistamiseen.

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kalium- ja natriumasetaatin käyttökokeilusta on ollut positiivisia tuloksia. Kuitenkin joissakin sääolosuhteissa on ollut tarpeellista käyttää myös ureaa. Nestemäisen kaliumasetaatin ja rakeisen natriumasetaatin käyttö yhdessä on osoittautunut yhtä tehokkaaksi jäänpoistossa kuin urea. Asetaattipohjaisiin liukkaudenestoaineisiin siirtymistä ovat hidastaneet epäilykset kemikaalien korroosio-ominaisuuksista sekä moninkertainen hinta verrattuna ureaan. Myös asetaattipohjaisten liukkaudentorjunta-aineiden saatavuuden säännöllisyys keski-eurooppalaisilta valmistajilta on vaikuttanut aineiden käyttöön siirtymistä.

Asetaattipohjaiset jäänpoistokemikaalit ovat biologisesti hajoavia ja niiden ympäristövaikutukset rajoittuvat asetaatin hajoamisen aiheuttamaan hapenkulutukseen, joka on 50 %:lle kaliumasetaatti-vesiliuokselle laskettuna 0,47 grammaa happea kaliumasetaatti grammaa kohti. Vastaava luku natriumasetaatille on 0,78 grammaa happea natriumasetaatti grammaa kohti. Urean ympäristövaikutuksia ovat pohjaveteen asti kulkeutuvat typenoksidit, mutta sen lisäksi urean hajoaminen nitrifikaatiossa ammoniumista nitriitin kautta nitraatiksi kuluttaa sekundaarisesti happea 2,13 grammaa happea urea grammaa kohti, joten hapen kulutus urealla on yli nelinkertainen verrattuna kaliumasetaatin hapenkulutukseen ja lähes kolminkertainen natriumasetaatin hapenkulutukseen verrattuna. Happipitoisuuden muutos pohjavedessä on aina merkki mahdollisesta tulevasta veden laadun muutoksesta mm. rauta- ja mangaanipitoisuuksien muutoksesta.

Pohjaveden laadun analysoiminen lentokentällä tapahtuu ottamalla keskimäärin kolme, neljä kertaa vuodessa ja muilla havaintopisteillä noin kerran vuodessa. Analyysien määrää tulisi lisätä, jotta saataisiin parempi kuva urean ja kaliumasetaatin mahdollisista ympäristövaikutuksista eri vuodenaikoina, ja varsinkin keväällä lumien sulattua valuvesien mukana kulkeutuu suuria määriä sekä asetaattia että ureaa kentältä maaperään ja pohjaveteen.

Kemiallisen hapenkulutuksen mittaamiseen on käytetty ns. kaliumpermanganaattilukua. Kaliumpermanganaatti hapettaa vain osan orgaanisista aineista ja monet biologisesti aktiiviset aineet jäävät hapettumatta. Kaliumdikromaatti-menetelmällä saadaan huomattavasti täydellisempiä tuloksia ja samalla oikeampi kuva veden sisältämistä orgaanisista aineista kuin permanganaattimenetelmällä. On siis suositeltavaa siirtyä hapenkulutuksen mittauksessa kaliumdikromaatti-menetelmään.

Kaliumasetaatin hajoamistuloksena maaperään ja pohjaveteen kulkeutuu kaliumioneja. Kalium kuuluu kasvien ns. kolmeen pääravinteen joukkoon. Kasvien kasvun aiheuttaman poistuman lisäksi kaliumia sitoutuu maapartikkelien pinnalle ioninvaihdossa. Natriumasetaatin hajoitustuloksena maaperään ja pohjaveteen joutuu natriumioneja, jotka ovat reaktiivisempia kuin kaliumionit ja muodostavat mahdollisesti myös yhdisteitä negatiivisesti varautuneiden anionien kanssa. Natriumionit sitoutuvat ioninvaihdon seurauksena. Kaliumin ja natriumin sitoutuessa maahiukkasiin vapautuu vastaavasti kalsium- ja magnesiumioneja. Näiden reaktioiden tapahtumisesta voidaan tehdä päätelmiä mm. sähkönjohtokyvylle. Sähkönjohtokyky ei kuitenkaan anna tietoa liuenneiden aineiden kokonaismäärästä, vaan vedessä olevien dissosioituneiden aineiden pitoisuudesta. Sähkönjohtokyky riippuu paitsi ionisoituneiden aineiden määrästä ja lämpötilasta, myös vedessä olevien ionien laadusta, niiden valenssista ja kuljetusluvusta. Johtokyvyn muuttuminen on myös monien biologisten tapahtumien seuraus.

Sähkönjohtavuus on ollut selvässä nousussa ottamalla ja havaintopisteessä H. Sähkönjohtavuuden nousuun saattaa mahdollisesti olla syynä kalium- ja natriumionit sekä niiden ioninvaihtoon perustuvan maahiukkasiin sitoutumisen aiheuttama H^+ -, Ca^{2+} - ja Mg^{2+} -ionien vapautuminen.

Typpiyhdisteitä esiintyy havaintopisteissä H ja PK. Havaintopisteessä H on esiintynyt nitraattia korkeimmillaan 148 mg l^{-1} vuonna 1981 kesäkuussa. Tämän jälkeen on nitraattipitoisuus laskenut, kunnes vuodesta 1985 on nitraattipitoisuus kohonnut. Tällä hetkellä nitraattia on havaintopisteessä 122 mg l^{-1} . Muista typenyhdisteistä nitriittiä on esiintynyt vuonna 1990 $0,31 \text{ mg l}^{-1}$. Tämän jälkeen ei ole nitriittiä analysoitu näytteistä. Havaintopisteessä PK on nitraattipitoisuus viime vuosina laskenut hieman. Muista typpiyhdisteistä ammoniumia on esiintynyt maksimissaan $0,21 \text{ mg l}^{-1}$.

Ottamon pH on pysytellyt kohtalaisen tasaisena, kun taas havaintopisteen H pH-arvossa on tapahtunut nousua ja havaintopisteen PK pohjavedessä pH-arvo on pääsääntöisesti laskenut. Havaintopisteessä PK on lievästi nähtävissä nitraatin esiintymiseen liittyvä pH:n lasku tietyllä viiveellä. Nitraattipitoisuuden ollessa korkealla pH laskee. Nitraattipitoisuuden alkaessa laskea pH-arvo on noussut lievästi. Havaintopisteessä H alkutilanne vuonna 1981 on ns. normaali eli pH-arvo on alhainen ja nitraattipitoisuus korkea. Nitraattipitoisuuden raju lasku sai aikaan myös pH:n nousun, mutta nitraattipitoisuuden uudelleen kasvaessa pH ei enää laskenut.

Asetaattien hajoamisesta syntyvä hiilidioksidi sekä urean sisältämän typen hajoamisen seurauksena denitrifikaatiossa syntyvä typpikaasu poistuvat kaasuna ilmaan maaperästä. Mikäli hiilidioksidi ei pääse poistumaan maaperästä on seurauksena mahdollisesti pH:n laskeminen ja asetaatin hajoaminen hidastuu tai saattaa lakata kokonaan. Nitrifikaation nopeus on myös riippuvainen pH:sta; Reaktio hidastuu voimakkaasti mikäli pH laskee alle kuuden. Natriumi ioninvaihtoreaktiossa syrjäyttää maarakeisiin adsorboituneita ioneja, jotka huuhtoutuvat pohjaveteen ja siten nostavat maan pH:ta.

Lentokenttien liukkaudentorjunta-aineiden ympäristövaikutuksia voidaan vähentää tai poistaa siirtymällä urean käytöstä kalium- ja natriumasetaattipohjaisiin liukkaudentestoaineisiin sekä kiitoteiden reunojen tiivistämisellä ja salaojittamisella. Kerätyt valuedet tulisi johtaa pohjavesialueen ulkopuolelle tai käsittelylaitokselle.

7 YHTEENVETO

Lentokentillä käytetään yleisesti ureaa liukkaudentorjuntaan talviolosuhteissa. Helsinki-Vantaan lentokentällä käyttömäärät ovat olleet $100\text{--}312 \text{ t/vuosi}$. Urean käytön haittana on pohjavesiin suotautuvat typenoksidit, pääasiallisesti nitraatti. Lentokentillä on alettu käyttää ureaa korvaavana kemikaalina kalium- ja natriumasetaattipohjaisia liukkaudentestoaineita, joita on käytetty Helsinki-Vantaan lentoasemalla urean rinnalla $45\text{--}58 \text{ t/vuosi}$.

Urea hydrolysoituu vedessä ammoniakiksi ja hiilidioksidiksi. Nitrifikaatiossa ammoniummuodossa oleva ammoniakki hapettuu bakteerien katalysoimana nitriitiksi ja edelleen nitraatiksi. Näissä reaktioissa kuluu happea $2,13 \text{ g O}_2/\text{g}$ ureaa. Kaliumasetaatin hajotessa biologisesti kuluu vastaavasti noin $0,65 \text{ g O}_2/\text{g}$ kaliumasetaattia (100%) ja natriumasetaatin hajotessa $0,78 \text{ g O}_2$ natriumasetaatti grammaa kohti.

Helsinki–Vantaan lentoaseman tärkeän pohjavesialueen havaintoputkissa PK, H ja P2 on havaittavissa urean käytön vaikutukset, jotka näkyvät selvästi nitraattipitoisuuksien nousuna. Pisteissä PK ja P on nitraattipitoisuus ylittänyt Lääkintöhallituksen antamat teknis-esteettisen raja-arvon, joka on 25 mg l^{-1} .

Suomessa Helsinki–Vantaan lentoaseman tärkeän pohjavesialueen lisäksi on havaittu liukkauden estoaineiden käytöstä johtuvaa typpiyhdisteiden määrän kasvua pohjavedessä mm. Turun, Halli–Kuoreveden, Kuusamon ja Rovaniemen lentoasemien läheisissä pohjaveden ottamoissa tai havaintoputkissa.

Monissa tapauksissa voidaan pohjaveden typpikuormitusta vähentää siirtymällä urean käytöstä asetaattipohjaisiin liukkaudentorjunta-aineisiin lentokentillä. Tämän hetkiset kalium- ja natriumasetaatit ovat yhtä tehokkaita liukkaudenestossa kuin urea. Asetaattien hajoaminen biologisesti kuluttaa happea, mistä saattaa olla seurauksena pohjaveden happipitoisuuden laseminen ja laadun heikkeneminen. Jotta kuitenkin välttäisiin pohjaveden pilaantumiselta tulee lentokentän valumavesien keräämiseen, johtamiseen ja käsittelyyn sekä lentokentän kiitoteiden reuna-alueiden tiivistämiseen kiinnittää erityistä huomiota. Tällöin vältetään haitallisten aineiden imeytymiseltä maaperään ja pohjaveteen.

Asetaattien käyttöön siirtymistä on hidastanut niiden moninkertainen hinta verrattuna ureaan ja epävarmuus asetaattien mahdollisesta korroosivaikutuksista pitkäaikaiskäytössä sekä valmisteiden saatavuuden säännöllisyydessä ilmenneiden vaikeuksien vuoksi.

KIRJALLISUUS

- Amrhein, C. et al., 1994. Heavy Metals in the Enviroment. Heavy Metal Solubility in Soils and Waters Receiving Deicing Salts. Journal of Enviromental Quality, vol 23, no 2, p. 219-227.
- Bohn, H., McNeal, B. and O'Connor, G. A., 1985. Soil Chemistry 2nd Edition. John Wiley & son 340 s. ISBN 0-471-82217-5
- Britschgi, R., 1993. Lentokenttien urean ja glykolin käytönvaikutus pohjaveteen. Helsinki,- Vesi- ja ympäristöhallitus. 46 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 502. ISBN 951-47-7368-3
- Englund, J.O., 1987. Nitrogen species in groundwater Some examples from southern Norway. Jul Låg (edit.) Geomedical Concequences of Chemical Composition of Freshwater. Norweigian University Press s. 61-81. The Norweigian Academy of Science and Letters. ISBN 82-00-07232-0
- Follet, R.F. (edit.), 1989. Nitrogen management and ground water protection. Elsevier 395 p. Developement in agricultural and managed-forest ecology 21. ISBN 0-444-87393-7
- Hahlin M. och Ericson J., 1984 Kalium och kaliumgödsling. Aktuellt från lantbruksuniversitetet 333. Uppsala 1984 ISBN 91-576-1924-7 ISSN 0347-9293
- Hakunti, K., 1990. Hallin lentoaseman liukkaudentorjunta. Ilmailulaitos. Selvitys Tampereen vesi- ja ympäristöpiirille liukkaudentorjuntamahdollisuuksista PLM:n Hallin vedenottamon nitraattipitoisuuden selvitystyön yhteydessä. Julkaisematon 6s.
- Hem, J.D., 1959. Study and interpretation of the chemical characteristics of natural water. Geological survey water-supply paper 1473. United States Department of the Interior. 269 s.
- Hofstetter, H., 1992. Flughafen Munchen GmbH, Conference on runway deicing and water pollution, Tuusula, Finland 01.-02.09.1992. Konferenssiesitelmä, Julkaisematon
- Hyyppä, J., Penttinen, H., 1993. Soranoton vaikutus pohjaveteen, Tutkimusraportti II, Alueelliset pohjavesitutkimukset, Osa A. Tutkimustulokset. Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja Nro 329. Vesi- ja ympäristöhallitus 1993. ISBN 951-47-4692-5 231 s.
- Höglund, K., 1992. Raportti Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäristö- ja terveysvaikutuksista. Vantaan kaupunki C:21:1992, Ympäristöasiainkeskus 8:1992.ISSN 0786-7840, 54s.
- Laitinen, R ja Toivonen, J. 1982. Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Otakustantamo 477. Espoo. 304 s.
- Lääkintöhallitus 1985. Talousveden terveydelliset riskitekijät. Lääkintöhallituksen julkaisuja nro 68. Helsinki 1985. ISBN 951-46-8800-7
- Maasilta, M., 1980. Tietoja ureasta ja glykolista ja niiden käytöstä lentoasemilla. Ilmailuhallitus. Ilmailuhallituksen tiedoite lentoasemien päälliköille ja vastaaville rakennusmestareille. Julkaisematon.

- McCarty, P. L., 1971. "Energetics and Bacterial Growth." Proc. Fifth Rodolf Researcd Conference, Marcel Dekker, Inc.
- McFarland, B. L. and O'Reilly K. T., 1992. Enviromental impact and toxicologocal characteristics of calcium magnesium acetate. D'Itri Frank M. (edit.) Chemical deicers and the enviroment. Lewis publishers. s. 193-223. ISBN 0-87371-705-8.
- Nordisk banavisnings- och vattenvårdskonferens, 1992. Tusby, Finland 1.-2.9.1992. Mötesraport Ilmailulaitos, Julkaisematon
- Oy Vesi-Hydro Ab 1990. Selvitys pohjavesiolosuhteista Helsinki-Vantaan lentoaseman ympäris-- tössä. Ilmailuhallitus, Helsinki-Vantaan lentoasema. 13376 tut. Julkaisematon 37 s., 46 liitettä.
- Oy Vesi-Hydro Ab 1991. Pohjaveden nitraatin poistokokeet Helsinki-Vantaan lentoasemalla. Ilmailulaitos, Helsinki-Vantaan lentoasema. 13408. Julkaisematon 18 s., 6 liitettä.
- Oy Vesi-Hydro Ab 1990. Clearway 1:n vesistövaikutukset. Ilmailulaitos 13221. Julkaisematon 15 s., 6 liitettä.
- Soveri, J., 1985. Influence of meltwater on the amount and composition of groundwater in quaternary deposits in Finland. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Finland, 63. 92s.
-
- Salonen, V-P., 1985. Maaperän geokemian perusteet. Turun yliopisto, maaperägeologia luentomoniste 72 s. Julkaisematon
- Tielaitos, 1992. CMA:n ympäristövaikutuksia ja käyttökokemuksia, kirjallisuustutkimus. Talvi- ja tieliikenneprojekti. Tielaitoksen selvityksiä 38/1992. Helsinki. 38 s., 2 liitettä. ISBN 951-47-6076-X
- Waite, T.D., 1984. Principles of Water Quality. Academic Press Inc. 223 p. Water Resources and Water Quality management - An International Series of Books. ISBN 0-12-730860-1
- Valve, M., 1991. Typen poisto jätevedestä. Tuulikki Suokko (toim.) Ympäristönsuojelu sekä uudet juoma- ja jäteveden käsittelymenetelmät - seminaari. Otaniemi 7. -9.5.1991. Vesi- ja ympäristöhaalituksen monistesarja nro 299 s. 37-49. ISBN 951-47-4120-X.
- Vesianalyysitoimikunnan mietintö, 1968. Komiteamietinto 1968: B 19, Helsinki.
- Yli-Kuivila, J., 1994. CMA:n suotautumisen lysimetrikokeet talvikaudella 1993-1994. Tielaitoksen sisäisiä julkaisuja 34/1994. Helsinki 1994. 32 s. TIEL 4000078

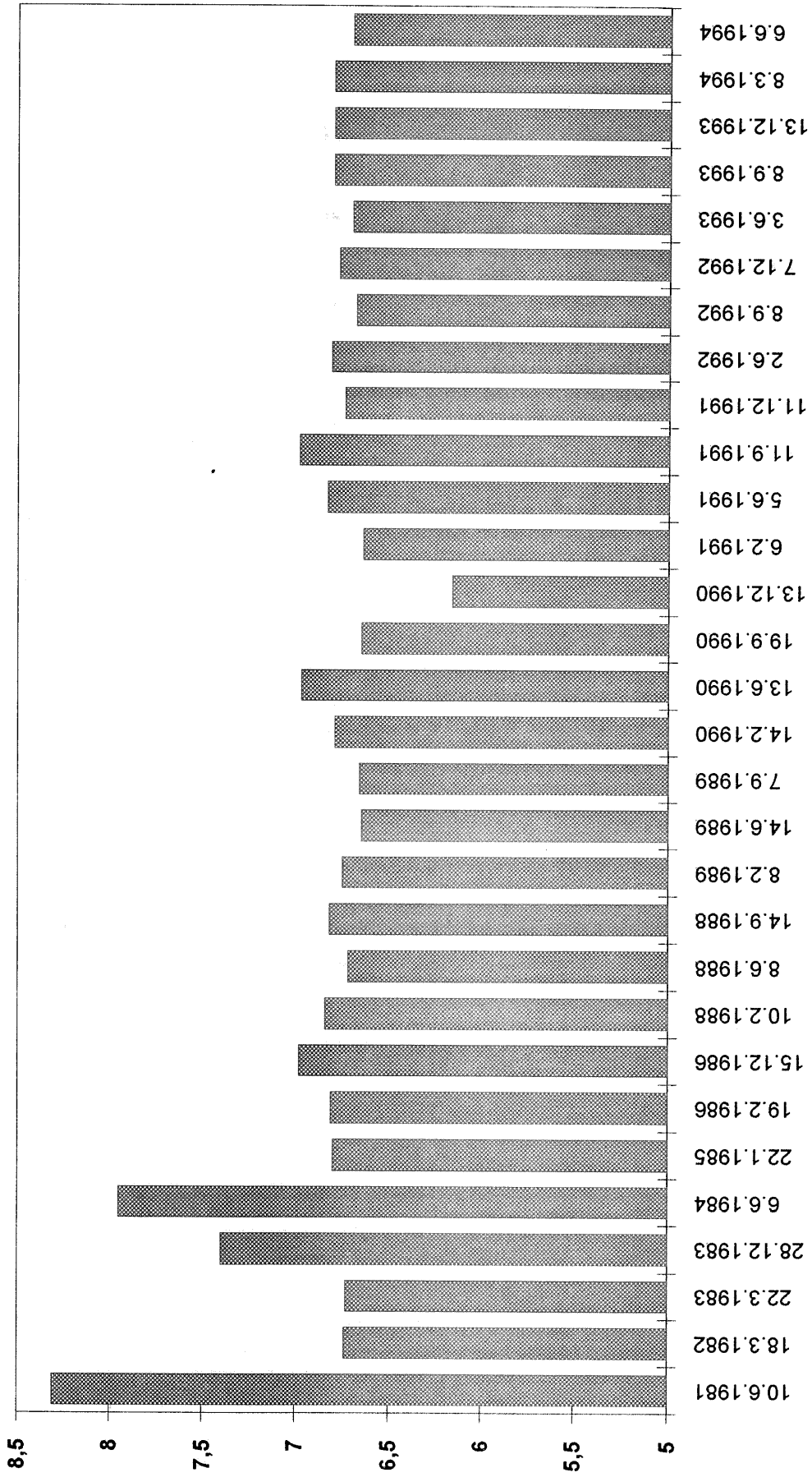
LIITE 1. HELSINKI-VANTAAN LENTOKENTÄN JÄÄNESTOAINEIDEN KULUTUS VUOSINA 1985-1994

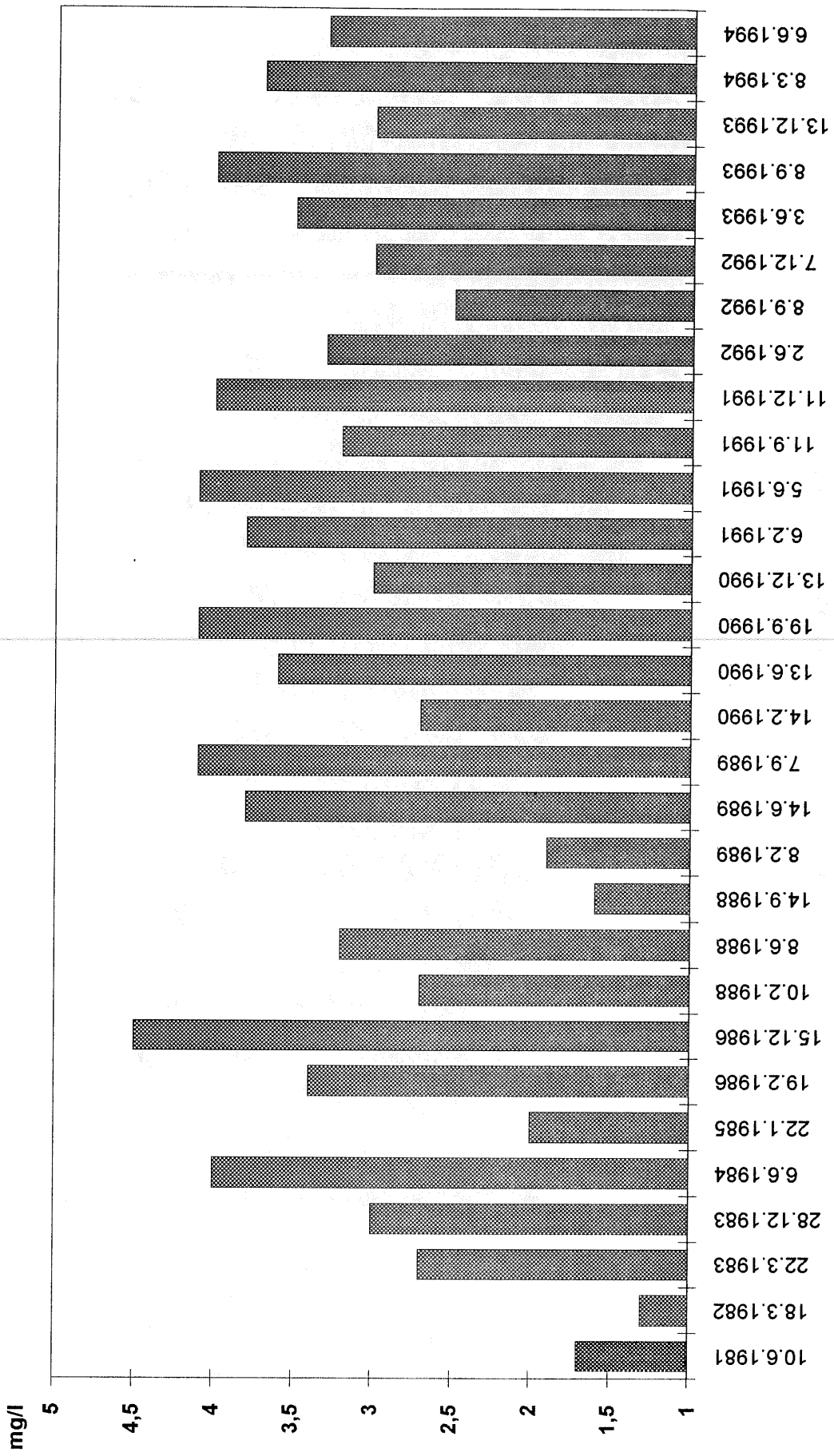
		UREA (kg)	ASETAATIT(kg)	GLYKOLI (l)		
				Finnair	Nurminen	yht.
1985	LOKA			9119		
	MARRAS			80890		
	JOULU			100093		
1986	TAMMI			163364		
	HELMI			46487		
	MAALIS			38533		
85/86	yht.			438486		
1986	SYYS			6808	2470	9278
	LOKA			8466	2850	11316
	MARRAS	22700		28533	7873	36406
	JOULU	12900		86384	9870	96254
1987	TAMMI	12000		57539	6170	63709
	HELMI	42000		108352	9342	117694
	MAALIS	14500		72068	10406	82474
	HUHTI	2000		15577	2882	18459
	TOUKO			353	197	550
86/87	yht.	106100		384080	52060	436140
	LOKA			3532		3532
	MARRAS	71500		134660	18367	153027
	JOULU	100000		107885	20740	128625
1988	TAMMI	34600		99461	19129	118590
	HELMI	30350		158705	26764	185469
	MAALIS	48500		186634	29487	216121
	HUHTI	16000		40517	5488	46005
87/88	yht.	300950		731394	119975	851369
	SYYS			2750		2750
	LOKA	15000		23188	271	23459
	MARRAS	18000		75874	9836	85710
	JOULU	91300		192493	24705	217198
1989	TAMMI	97300		95938	9559	105497
	HELMI	42300		83668	11337	95005
	MAALIS	12000		69623	4981	74604
	HUHTI			9113	1234	10347
88/89	yht.	275900		552647	61923	614570
	LOKA	3000		9960	257	10217
	MARRAS	17500		89112	18188	107300
	JOULU	75600		166101	35658	201759
1990	TAMMI	65000		219437	30196	250196
	HELMI	56000		123219	15220	138439
	MAALIS	25800		86003	8733	94736
	HUHTI			26561	383	26944
	TOUKO				215	215
89/90	yht.	242900	58000	720393	108850	829806

		UREA (kg)	ASETAATIT(kg)		GLYKOLI (l)		
					Finnar	Nurminen	yht.
	SYYS				2489	387	2876
	LOKA				22831	1464	24295
	MARRAS	43100			115311	12499	127810
	JOULU	80200			201907	26858	228765
1991	TAMMI	72200			246487	39698	286185
	HELMİ	13500			114670	17193	131863
	MAALIS	38000			102965	14622	117587
	HUHTI				14739	5159	19898
	TOUKO					12	12
90/91	yht.	247000		58000	821399	117892	939291
pääkiitotie sivukiitotie							
	SYYS					182	182
	LOKA				12443	1032	13475
	MARRAS	39000	13500		95855	15249	111104
	JOULU	35500	31000		147536	18603	166139
1992	TAMMI	22500	4500		121399	22757	144156
	HELMİ	34500	30000		204384	35777	240161
	MAALIS	10500	6000		144019	23634	167653
	HUHTI	14500			93006	15043	108049
	TOUKO				530		530
91/92	yht.	156500	87500	45000	819172	132277	951449
	LOKA				105940	15956	121896
	MARRAS	30000			172305	30096	202401
	JOULU	30000			92096	19129	111225
1993	TAMMI	30000			150991	18264	169255
	HELMİ	20000			92395	14758	107153
	MAALIS	25000			88475	9406	97881
	HUHTI				24049	1734	25783
92/93	yht.	145000		56000	726251	109343	835594
	SYYS				8695	827	9522
	LOKA	37000			21842	1921	23763
	MARRAS				68706	7877	76583
	JOULU	59000			200027	15886	215913
1994	TAMMI	24000			271336	25120	296456
	HELMİ				67120	7495	74615
	MAALIS				150696	10840	161536
	HUHTI				21242	1482	22724
93/94	yht.	120 000		118200	809664	71448	881112

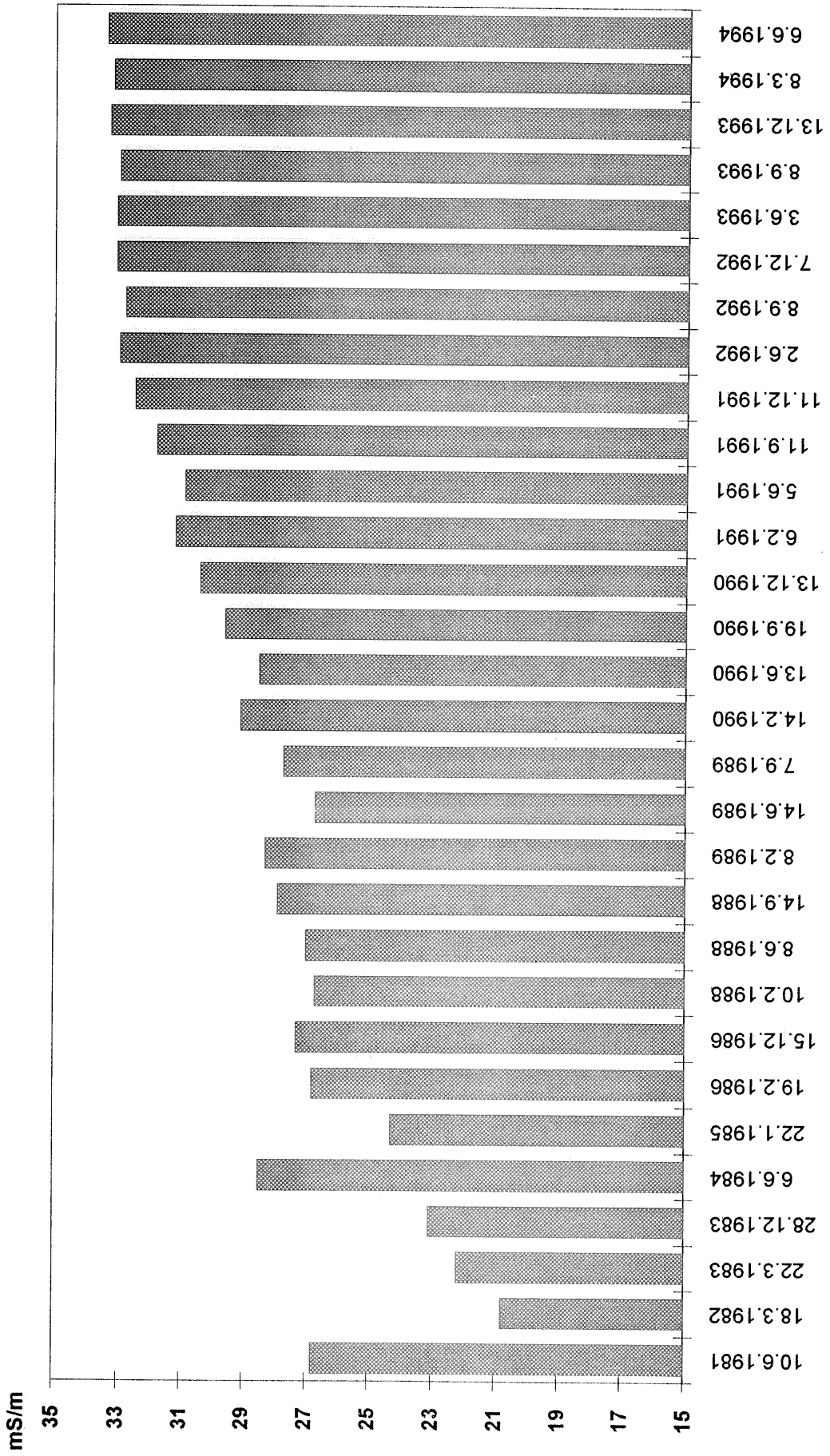
LIITE 2. LENTOASEMAN OTTAMON POHJAVEDEN LAATU

Pohjaveden pH lentoaseman ottamolla vuosina 1981-1994

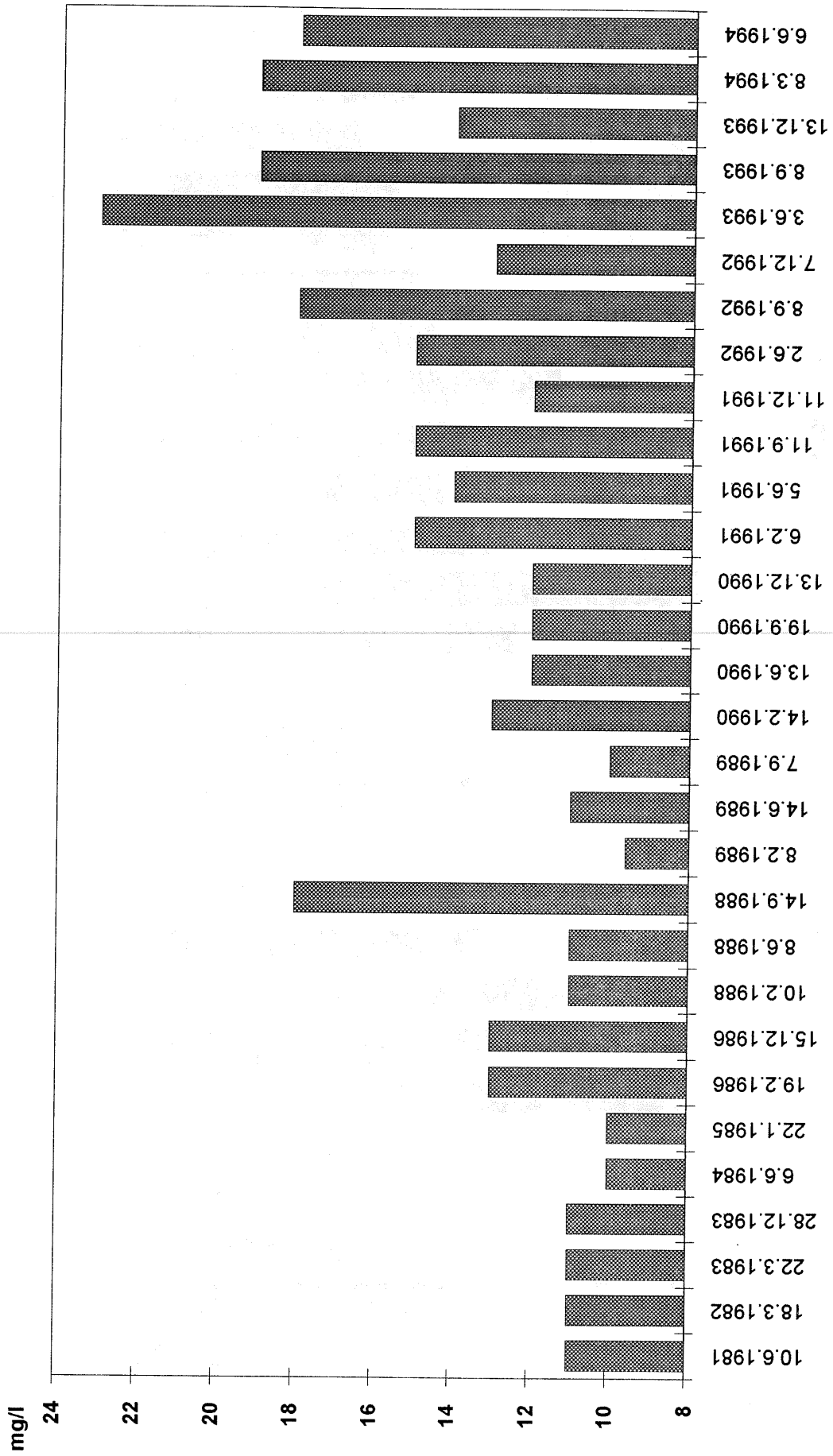


Pohjaveden KMnO₄-kulutus lentoaseman ottamolla vuosina 1981-1994

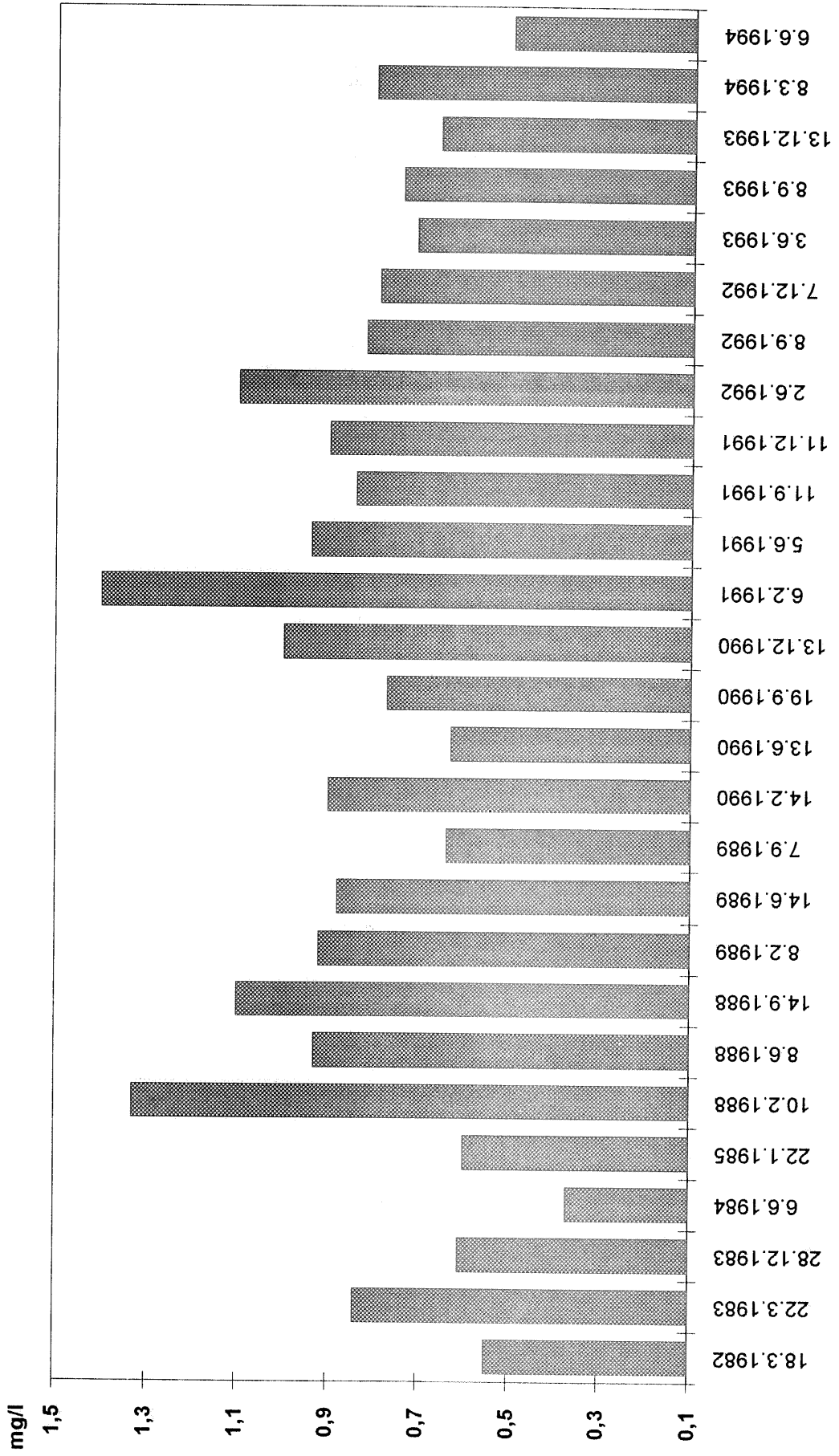
Pohjaveden sähköjohtavuus lentoaseman ottamolla vuosina 1981-1994



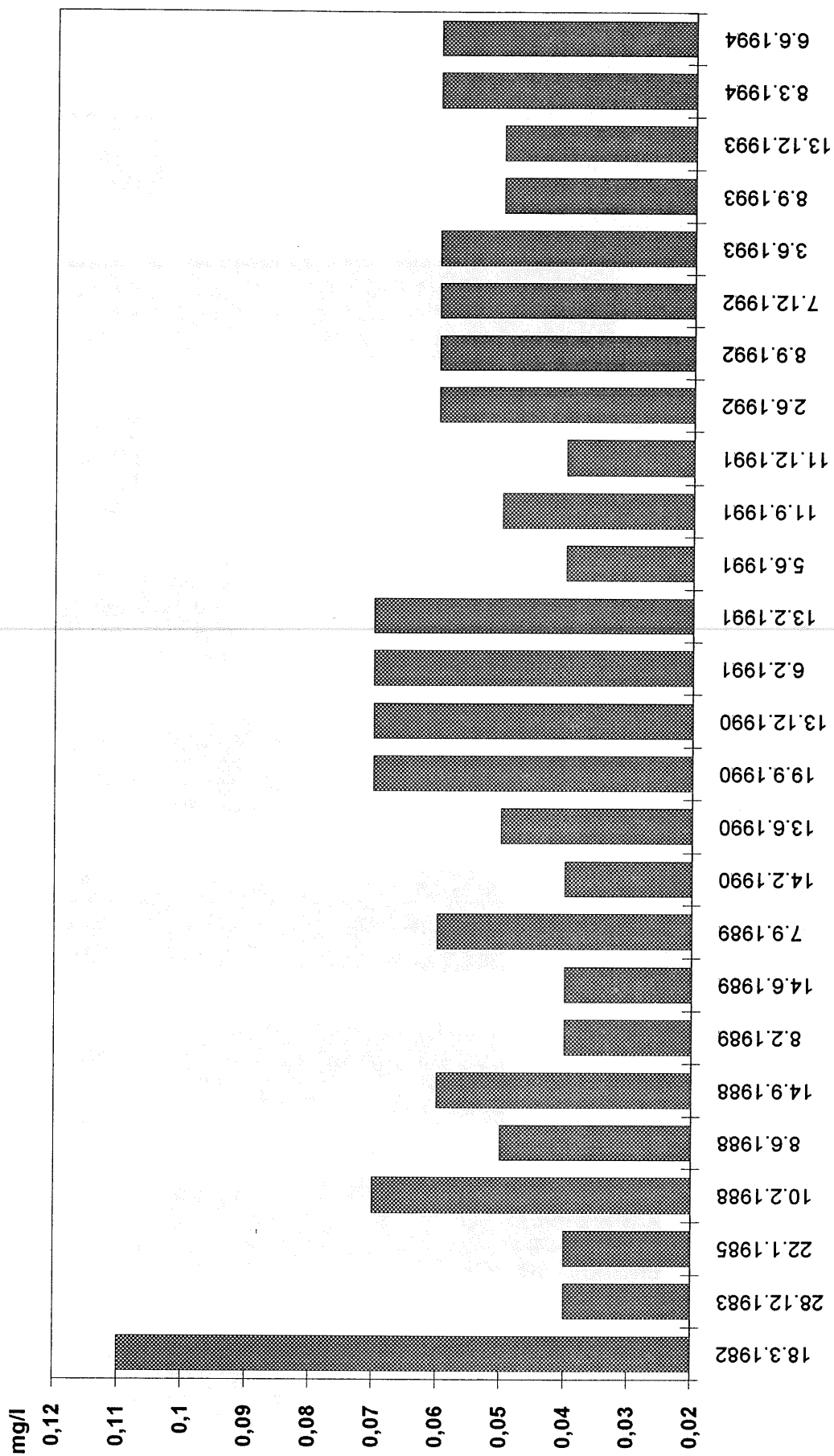
Pohjaveden Cl-pitoisuus lentoaseman ottamolla vuosina 1981-1994



Pohjaveden Fe-pitoisuus lentoaseman ottamolla vuosina 1982-1994

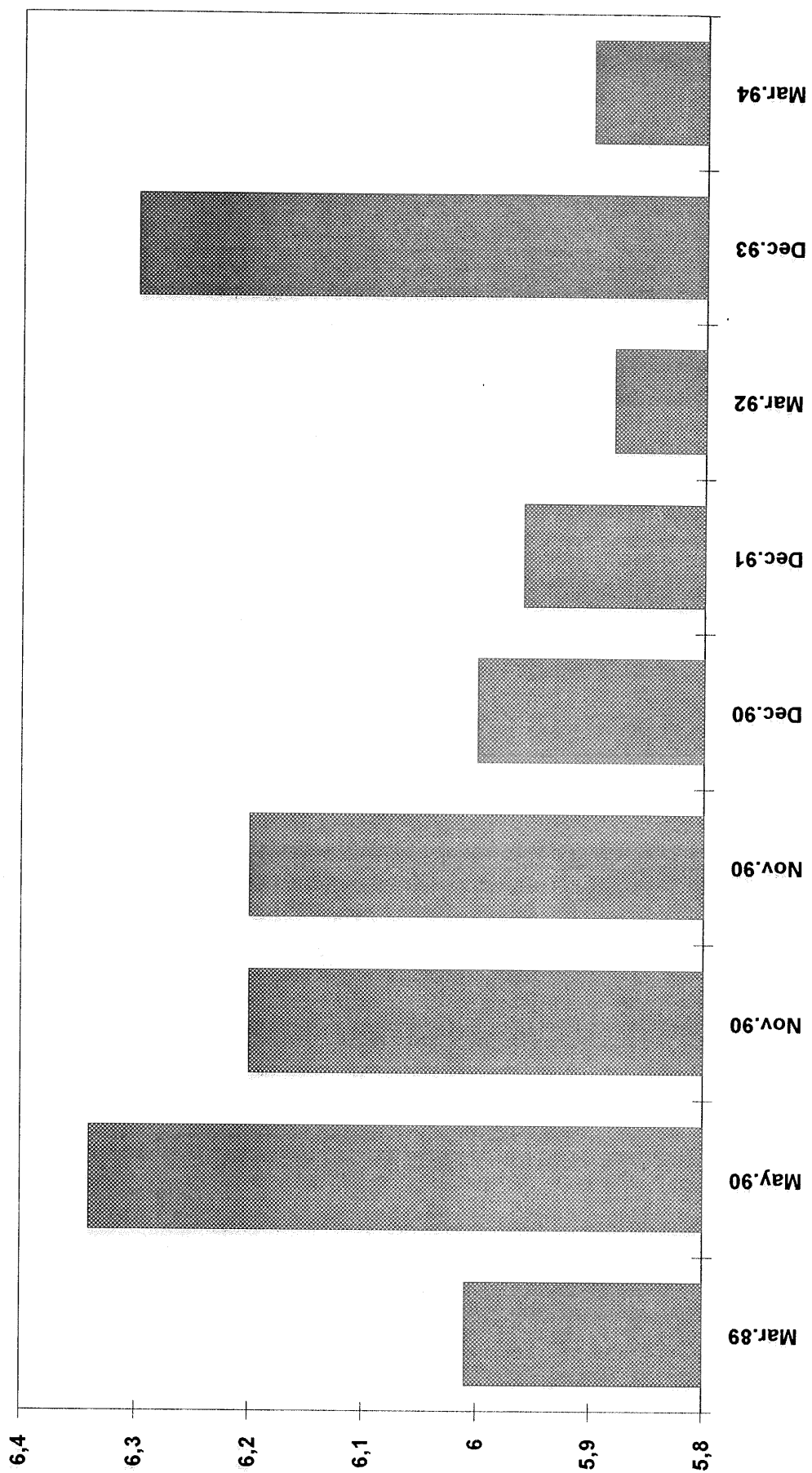


Pohjaveden Mn-pitoisuus lentoaseman ottamalla vuosina 1982-1994

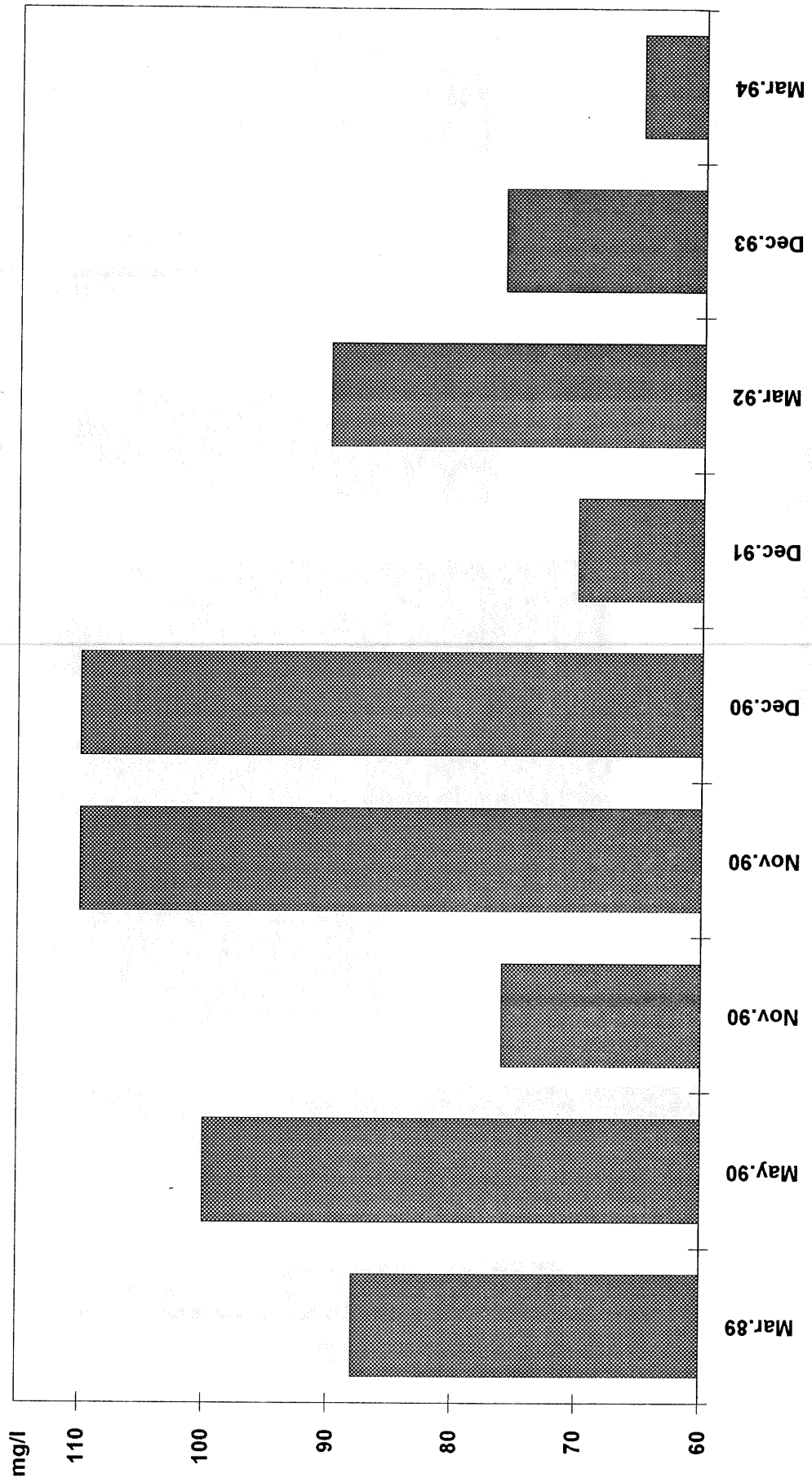


LIITE 3. POHJAVEDEN LAATU HAVAINTOPISTEISSÄ PK

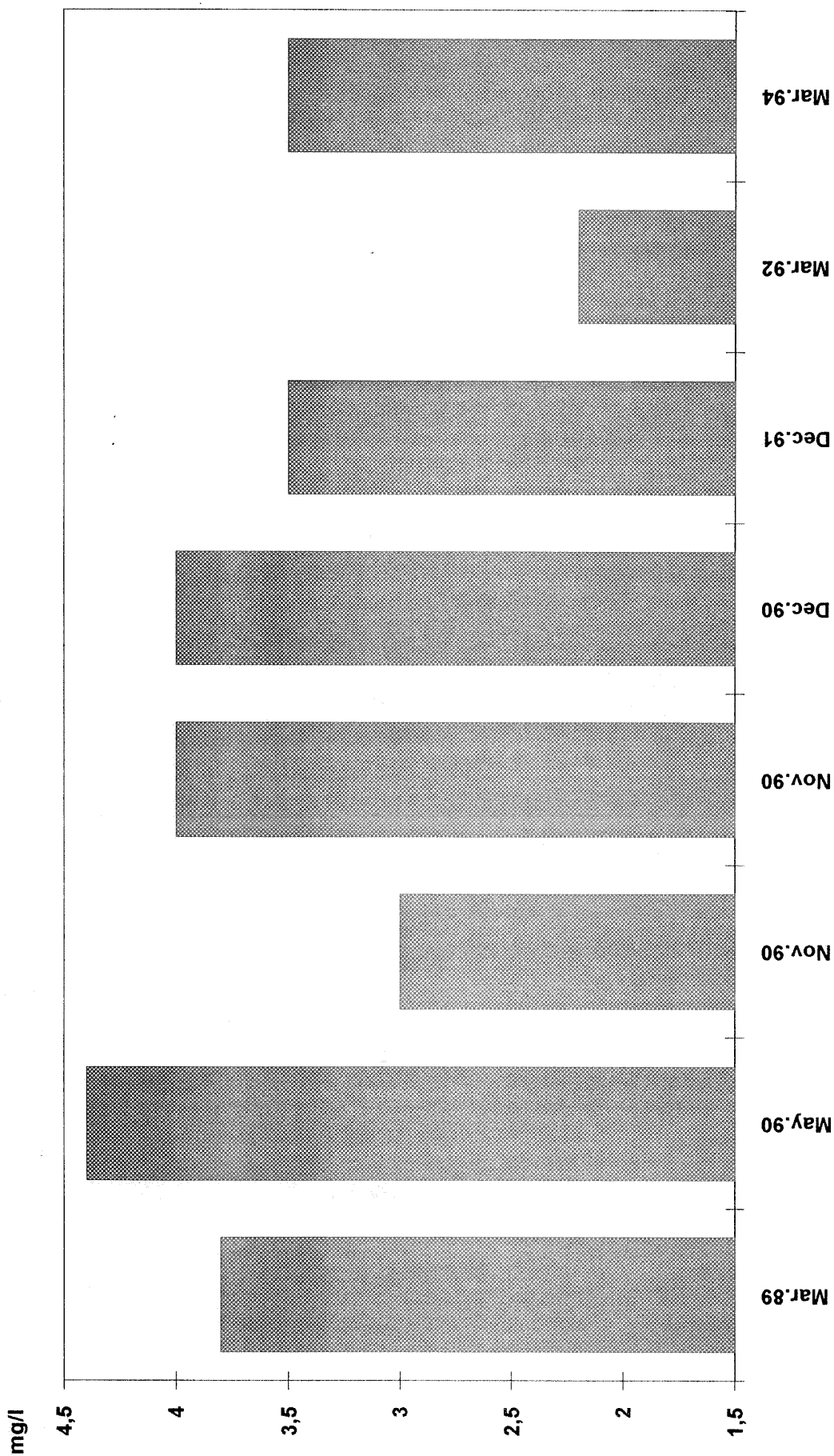
Pohjaveden pH havaintopisteissä PK



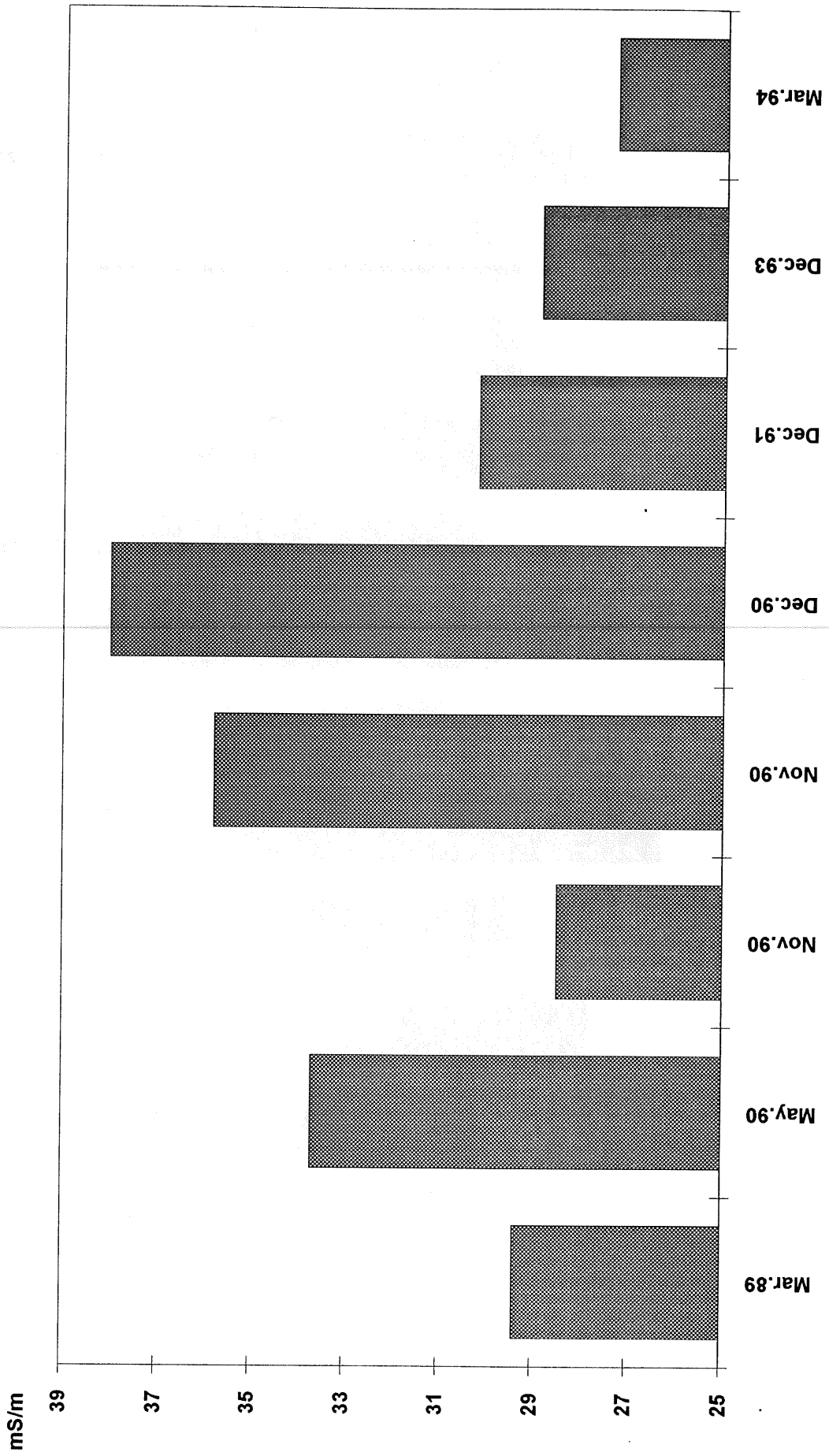
Pohjaveden nitraattipitoisuus havaintopisteessä PK



Pohjaveden KMnO4-kulutus havaintopisteessä PK

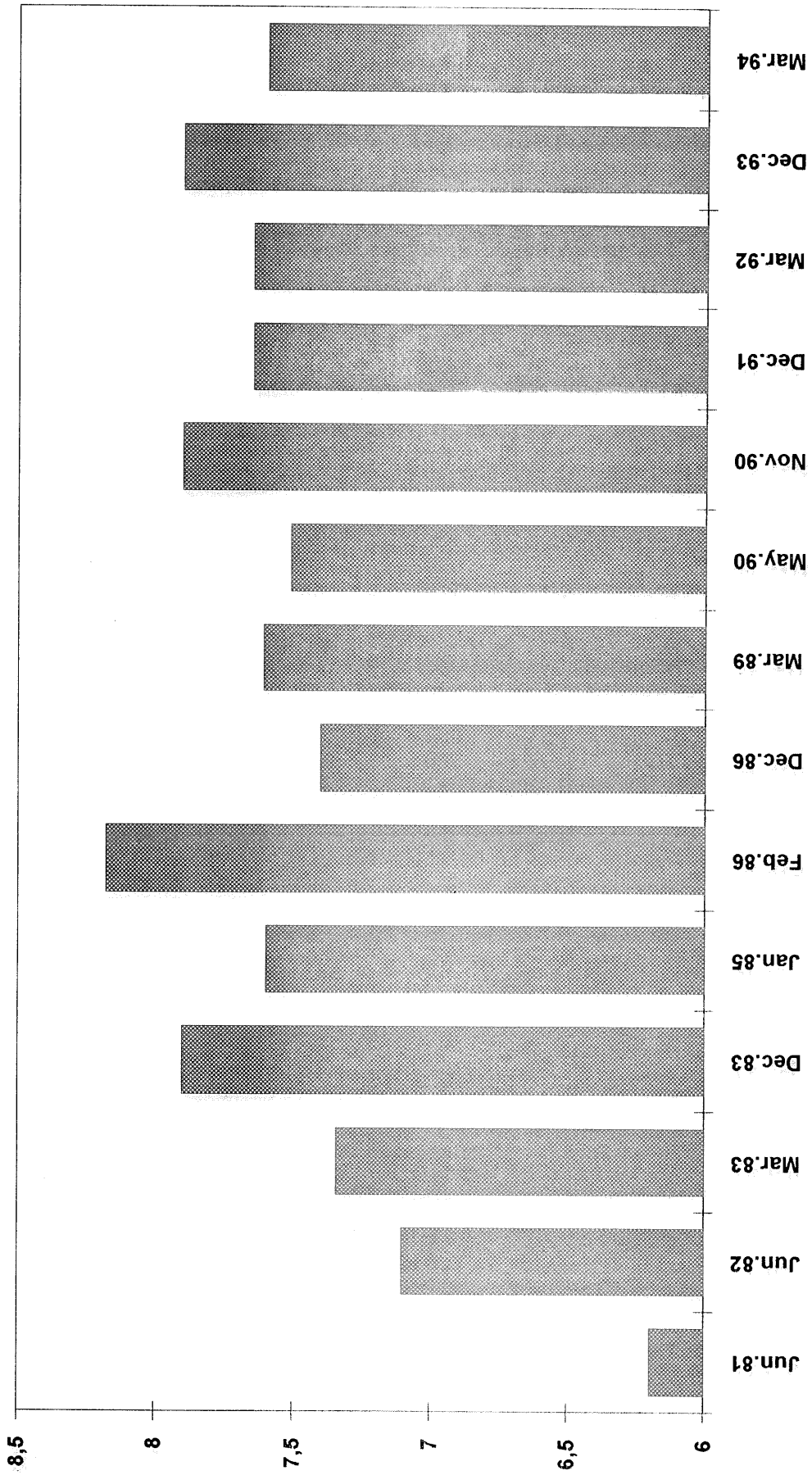


Pohjaveden sähkönjohtavuus havaintopisteessä PK

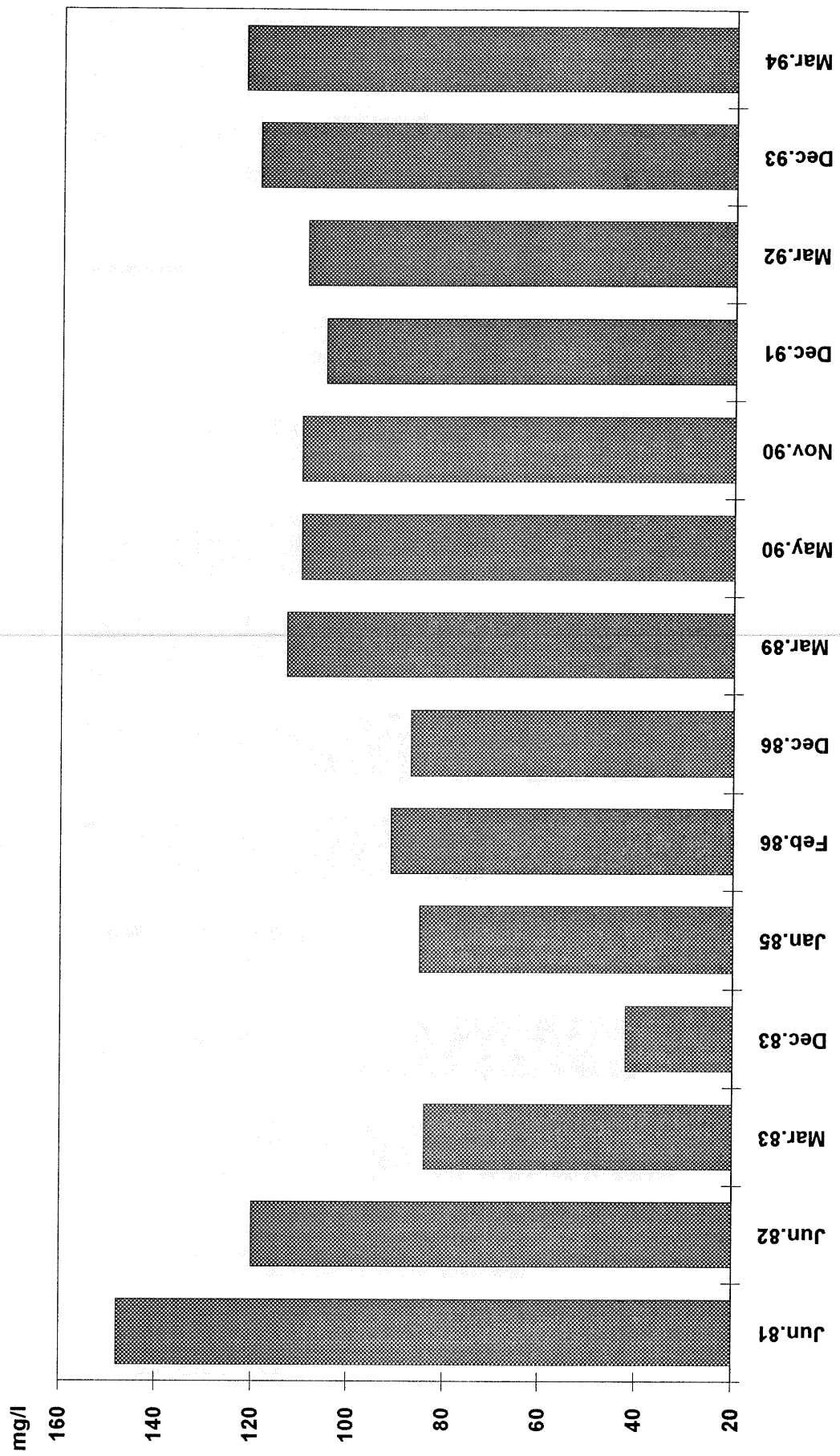


LIITE 4. POHJAVEDEN LAATU HAVAINTOPISTEISSÄ H

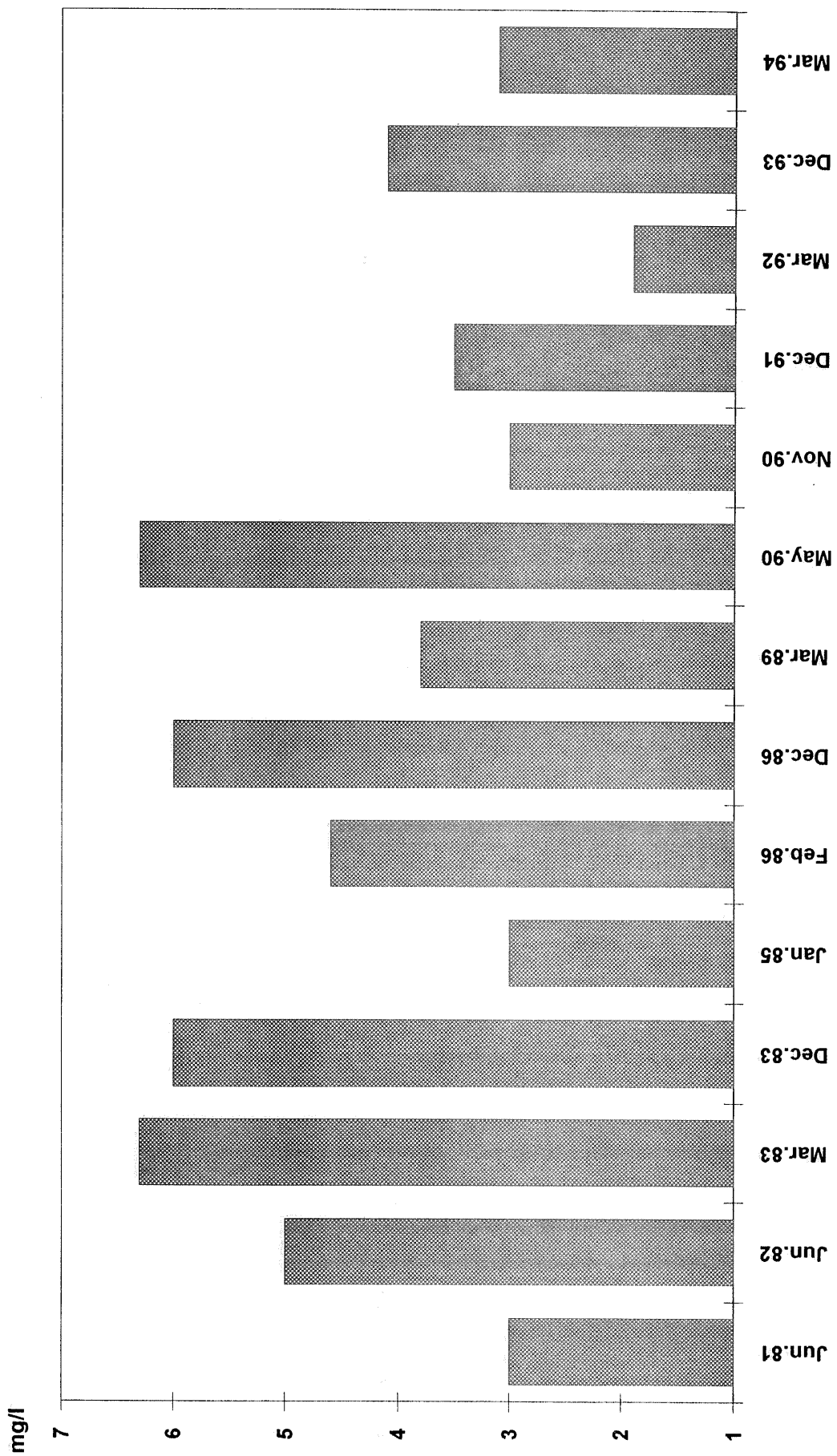
Pohjaveden pH havaintopisteessä H



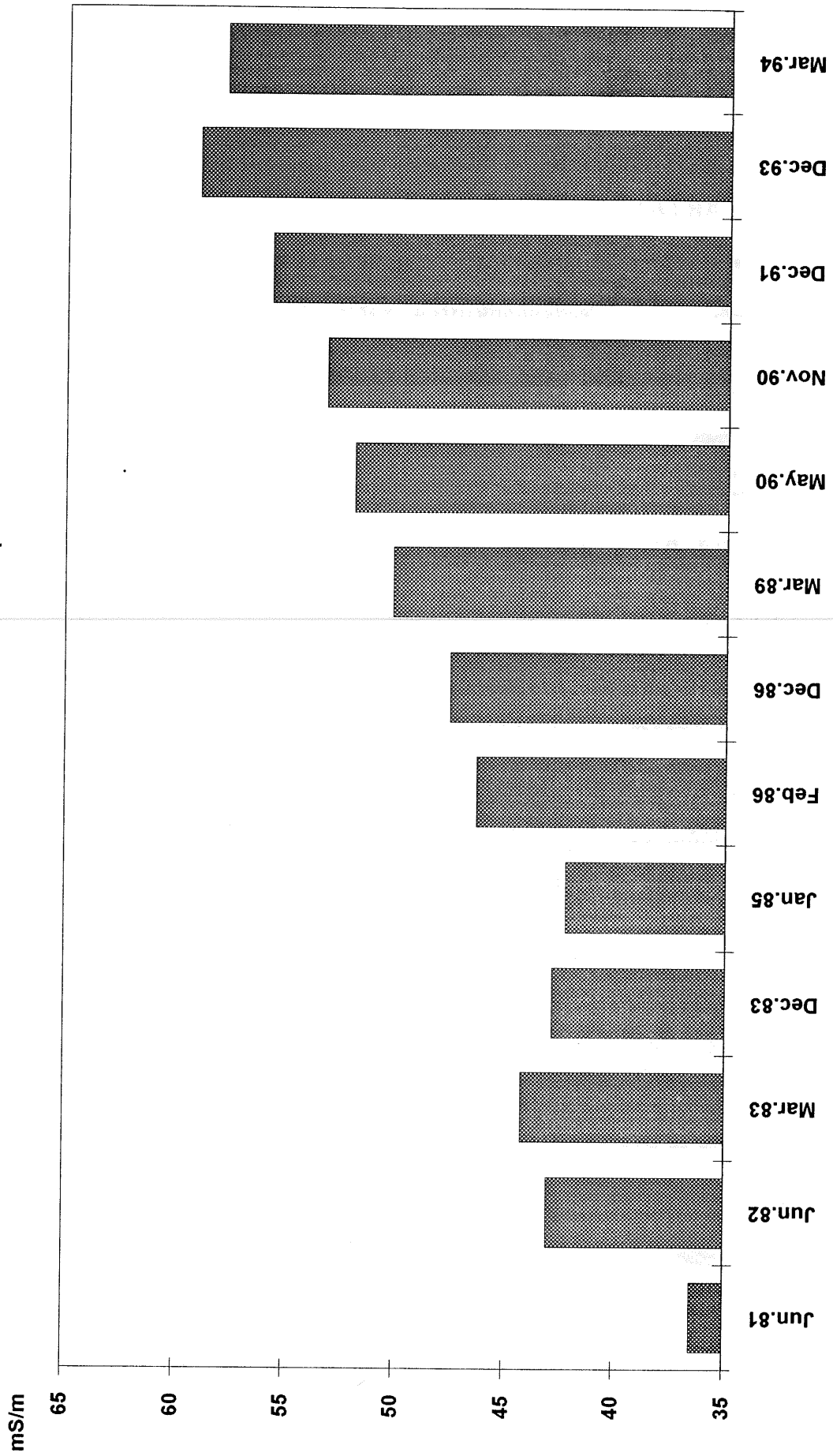
Pohjaveden nitraattipitoisuus havaintopisteessä H



Pohjaveden KMnO4-kulutus havaintopisteessä H



Pohjaveden sähköjohtavuus havaintopisteessä H



LIITE 5. POHJAVESIALUEEN KARTTAMERKIT

ALUEKARTAT

I

Vedenhankintaa varten tärkeät pohjavesialueet

II

Vedenhankintaan soveltuvat pohjavesialueet

III

Muu pohjavesialue

01 224 01

Pohjavesialueen numero



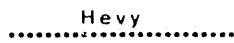
Pohjavesialueen raja



Pohjavesialueen varsinaisen muodotumisalueen raja



Pohjavesialueiden välinen raja

Pohjavesialueen osa-alueiden välinen raja
ja osa-alueen tunnusVesioikeuden määräämä pohjavedenottamon
suoja-alueen rajaVesiviranomaisen hyväksymä pohjavedenottamon
suoja-alueen rajaTiiviin maa-aineksen peittämiä, vettä hyvin
johtavia maakerroksia (havaittuja tai arvioituja)Pohjaveden virtaukseen vaikuttava kallio
(havaittu tai arvioitu)

Kallioperän ruhjevyöhyke tai kalliolaakso



Vettä läpäisevä rantaviiva



Pohjaveden huomattava virtaussuunta



Pohjaveden paikallinen virtaussuunta



Purkautuvan pohjaveden virtausuoma

	7 ●	Pohjavedenottamo (≥ 10 asuinhuoneistoa liittynyt) Tiiviin, hyvin suojaavan maapeitteen alueella oleva vedenottamo
	4 ●	Kallio- tai porakaivo (≥ 10 asuinhuoneistoa liittynyt)
	6 ○	Tutkittu pohjavedenottamon paikka
	12 ○	Alustavasti tutkittu pohjavedenottamon paikka
	3 ⊖	Mahdollinen vedenottoalue
	6 ⊗	Pohjavesiputki
	9 ○ ⁷	Pohjavesikaivo
300m³/d/10/87/M		Kalliopohjavesikaivo
Pp+55.04		Lähde
		Lähteen virtaama / havaintokuukausi / vuosi / 0=arvio ja 1=mitattu
Kk+57.10		Pohjavesiputken pään korkeus
w +35.47		Kaivonkannen korkeus
• +32.17		Pohjavedenpinnan korkeus
4		Avovedessä oleva havaintopiste ja vedenpinnan korkeus
	4	Pohjavesiputken, lähteen jne. tunnus
	W	Pieni pohjavesilammikko
	W	Pohjavesilammikko
	▽	Virtaamahavaintopaikka
	■	Pohjaveden puhtaudelle vaaraa aiheuttava laitos, varasto, huoltamo tms.
		Pohjaveden puhtaudelle vaaraa aiheuttava teollisuusalue
	□	Suojarakenteinen öljy- tai muu säiliö
	●	Suojarakenteeton öljy- tai muu säiliö
	△	Pohjavesialueeseen liittyvä erityiskohde
		Maa-ainestenottoaikka

