



YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU

Kristina Servomaa, Anneli Tuomainen, Anne Ahokas  
Pekka Sojakka, Olli Breilin, Juhani Kangas

# Torjunta-aineiden ja ravinteiden kulkeutuminen kasvihuoneista maaperään ja pohjaveteen

EU-projekti SMT CT96-2048





Kristina Servomaa, Anneli Tuomainen, Anne Ahokas  
Pekka Sojakka, Olli Breilin, Juhani Kangas

Torjunta-aineiden ja ravinteiden  
kulkeutuminen kasvihuoneista  
maaperään ja pohjaveteen

EU-projekti SMT CT96-2048

KUOPIO 2001

ISBN 952-11-0998-X  
ISSN 1238-7312

Kannen kuva: Pirjo Punju  
Taitto: Tiina Lappalainen, Hilkka Koivisto  
Paino: Suomen Graafiset palvelut Oy Ltd  
Kuopio 2001

# Alkusanat

Kuopiossa aloitettiin vuonna 1997 kolmivuotinen tutkimus kasvihuonetuotannon ympäristövaikutuksista. Maalajitarkastelun perusteella Järvi-Suomessa on arveltu olevan ongelmia torjunta-aineiden huuhtoutumisen suhteen. Tärkeillä vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla tehdään riskitekijöiden kartoituksia ja hydrogeologisia tutkimuksia, jotka koskevat alueiden rajauksia, maaperän ja pohjaveden laatua. Muut pohjavesialueet tutkitaan ainakin sillä tarkkuudella, että voidaan todeta niiden käyttöarvo ja suojelutarve sekä tehdä päätös niiden pohjavesiluokituksen muuttamisesta tai poistamisesta kokonaan pohjavesialueluokituksista. Nämä tekijät ovat olleet kasvihuonetuotannon voimaperäisyyden ohella tutkimuksen käynnistämisen lähtökohtana.

Tämä tutkimus täydentää osaltaan laajaa EU-tutkimusta, jota tekee Kuopion aluetyöterveyslaitos (KATTL). Tutkimuksesta on ilmestynyt ensimmäinen suomenkielinen raportti, joka käsittelee kasvihuonetyöntekijän altistumista torjunta-aineille ja altistumisen mallintamista (Tuomainen ym. 2000). Tutkimus on tehty yhteistyössä Geologian tutkimuskeskuksen Väli-Suomen aluetoimiston (GTK) kanssa. Pohjois-Savon ympäristökeskus ja KATTL ovat tutkineet torjunta-aineiden kulkeutumista ja säilymistä kasvihuoneiden maaperässä ja pohjavedessä. GTK on kartoittanut kasvihuoneiden maaperä- ja pohjavesiolosuhteet ja Pohjois-Savon ympäristökeskus pohjaveden ravinnepitoisuudet ja veden laadun. Torjunta-aineiden adsorptiotutkimukset on tehty Almerian yliopistossa Espanjassa ja Newcastle'n yliopisto Englannissa on vastannut degradaatiotutkimuksista sekä yhteistyössä KATTL:n kanssa torjunta-aineiden kulkeutumisen mallintamisesta. Tässä raportissa esitetyssä tutkimuksessa on pyritty arvioimaan kasvihuoneiden vaikutusta maaperään ja pohjaveteen torjunta-ainepitoisuuksien ja ympäristön ominaisuuksien avulla.

Tekijät kiittävät tutkimukseen osallistuneita puutarhoja ja Maa- ja metsätalousministeriötä sekä Ympäristöministeriötä tutkimuksen rahoittamisesta. Samoin esitämme parhaimmat kiitoksemme mukana olleiden tutkimuslaitosten henkilöstölle.



# Sisällys

<b>Alkusanat</b> .....	<b>3</b>
<b>I Tutkimuksen tavoitteet ja tausta</b> .....	<b>7</b>
1.1 Tavoitteet .....	7
1.2 Tutkimuksen liittyminen EU-projektiin SMT CT96-2048 ‘The Assessment of Operator, Bystander and Environmental Exposure to Plant Protection Products’	7
1.3 Tausta .....	8
1.3.1 Viljelytekniikka .....	8
1.3.2 Maaperä- ja pohjavesiolosuhteet .....	8
1.3.3 Tutkittujen torjunta-aineiden tavoite- ja raja-arvot maaperässä ja pohjavedessä .....	10
<b>2 Tutkittujen torjunta-aineiden käyttö ja kemialliset ominaisuudet</b> .....	<b>11</b>
2.1 Iprodioni .....	12
2.2 Malationi .....	13
2.3 Tutkittujen torjunta-aineiden vertailu .....	13
<b>3 Ravinteet</b> .....	<b>15</b>
3.1 Ravinteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät .....	15
3.2 Typen ja fosforin havaitut pitoisuudet ja enimmäispitoisuudet .....	15
<b>4 Aineisto ja menetelmät</b> .....	<b>17</b>
4.1 Kasvihuoneiden viljelytekniikka ja ympäristöolosuhteiden mittaus .....	17
4.2 Pohjavesiputkien ja lysimetrien asennus sekä pohjavesipinnan tason mittaus .....	17
4.3 Maaperä- ja pohjavesinäytteenotto .....	20
4.4 Analyysimenetelmät .....	21
4.4.1 Maanäytteiden, alfaselluloosalappujen ja käytäväkatteiden torjunta-ainepitoisuuden määrittäminen .....	21
4.4.2 Vesinäytteiden torjunta-ainepitoisuuden määrittäminen .....	22
4.4.3 Kaasukromatografiset määritykset .....	22
4.4.4 Ravinnepitoisuuksien määritykset ja veden laatumittaukset .....	22
4.4.5 Maaperän kosteuden, mikrobibiomassan ja adsorptiokertoimen sekä puoliintumisajan määrittäminen .....	23
4.4.6 Tilastomenetelmät ja mallintaminen .....	23
<b>5 Tulokset</b> .....	<b>24</b>
5.1 Ympäristöolosuhteet kasvihuoneilla .....	24
5.1.1 Sisäilmasto .....	24
5.1.2 Pohjavesipinnan taso ja sääolosuhteet .....	24
5.1.3 Maaperän ominaisuudet .....	25
5.2 Torjunta-aineiden pitoisuudet .....	26
5.2.1 Iprodioni .....	26
5.2.1.1 Maanäytteet ja alfaselluloosalaput .....	26
5.2.1.2 Pohjavesinäytteet .....	33
5.2.2 Malationi .....	34
5.2.2.1 Maanäytteet, alfaselluloosalaput ja käytäväkatteet .....	34
5.2.2.2 Pohjavesinäytteet .....	34

5.3 Ravinteet ja pohjaveden laatu .....	35
5.4 Maaperän kosteus, mikrobibiomassa ja torjunta-aineiden adsorptio sekä puoliintumisaika .....	44
<b>6 Tulosten tarkastelu .....</b>	<b>46</b>
6.1 Torjunta-aineiden kulkeutuminen maaperään .....	46
6.2 Torjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen .....	47
6.3 Ravinteiden kulkeutuminen ja pohjaveden laatu .....	49
6.4 Maaperän kosteus, mikrobibiomassa ja torjunta-aineiden adsorptio sekä puoliintumisaika .....	52
<b>7 Keskeisimmät johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset .....</b>	<b>53</b>
<b>Kirjallisuus .....</b>	<b>55</b>
Liite 1. Kasvihuoneiden yleistietoja .....	60
Liite 2. Pohjavesien näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella A .....	61
Liite 3. Pohjavesien näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella D .....	62
Liite 4. Maanäytteiden näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella A .....	63
Liite 5. Maanäytteiden näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella D .....	64
Liite 6. Keskimääräinen iprodionipitoisuus (ng/g) maanäytteissä .....	65
Liite 7. Keskimääräinen malationipitoisuus (ng/g) maanäytteissä .....	66
Liite 8. Keskimääräinen malaoksonipitoisuus (ng/g) maanäytteissä .....	67
Liite 9. Keskimääräinen isomalationipitoisuus (ng/g) maanäytteissä .....	68
Liite 10. Ravinnepitoisuudet pohjavedessä kasvihuoneella A .....	69
Liite 11. Ravinnepitoisuudet pohjavedessä kasvihuoneella D .....	70
Liite 12. Fosforipitoisuuksien ero (%) suodatetuissa ja dekantoiduissa pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D .....	71
Liite 13. Vedenlaatutietoja kasvihuoneella A .....	72
Liite 14. Vedenlaatutietoja kasvihuoneella D .....	73
Liite 15. Pohjaveden lämpötila ja happipitoisuus kasvihuoneilla A ja D .....	74
<b>Tiivistelmä .....</b>	<b>75</b>
<b>Kuvailulehdet .....</b>	<b>77</b>



# Tutkimuksen tavoitteet ja tausta



## 1.1 Tavoitteet

Tämän tutkimuksen tavoitteena on selvittää maamme muusta Euroopasta poikkeavissa olosuhteissa tapahtuvaa torjunta-aineiden kulkeutumista kasvihuoneista ympäristöön. Tutkitut torjunta-aineet ovat iprodioni ja malationi. EU-tutkimuksen tärkeimpänä tavoitteena on luoda koko EU:n alueelle yhteinen malli sekä työntekijän altistumisen arvioimiselle että torjunta-aineiden kulkeutumiselle ympäristöön ja erityisesti pohjaveteen.

Tutkimuksessa on hankittu tietoja muun muassa maakerrosten ominaisuuksista (Breilin 2000). Näitä tietoja tarvitaan torjunta-aineiden kulkeutumisen mallintamiseen (Vereecken ym. 1996, Silvola 1999). Mallintaminen tehdään yhteistyössä Newcastle'n yliopiston (Iso-Britannia) kanssa. Tämä osa tutkimuksesta palvelee muun muassa EU:n torjunta-aineiden ennakkohyväksyntämenettelyn kehittämistä (Seppälä 1997).

Tavoitteena on selvittää erityisesti torjunta-aineiden ja niiden hajoamistuotteiden esiintymistä, säilymistä ja kulkeutumista eri maakerroksissa. Tutkimuksessa on pyritty määrittelemään aineiden kulkeutumisnopeus maaperässä ja pohjavedessä. Torjunta-aineiden kulkeutumista on seurattu määrittämällä iprodionin ja malationin ja vastaavasti niiden hajoamistuotteiden 3,5-dikloorianiliinin sekä malaoksonin ja isomalationin pitoisuudet pohjavesi- ja maavesinäytteistä sekä maanäytteistä. Lisäksi on tutkittu pohjaveden ravinnepitoisuuksia, pH:ta, maaperän fysikaalis-kemiallisia ominaisuuksia (Breilin 2000) ja määritetty maaperän mikrobibiomassa, torjunta-aineiden adsorptio- ( $K_d$ ) ja hajoamiskertoimet ( $k$ ) sekä puoliintumisaika ( $DT_{50}$ ). Pohjaveden ravinteikkuus ja pH vaikuttavat torjunta-aineiden hajoamiseen (Seppälä 1997). Ravinteet ovat jäljitettävissä olevia aineita, joiden avulla seurataan veden liikettä maaperässä. Tässä tutkimuksessa torjunta-aineiden sitoutumisesta maaperään käytetään adsorptio-termiä.

## 1.2 Tutkimuksen liittyminen EU-projektiin SMT CT96-2048 'The Assessment of Operator, Bystander and Environmental Exposure to Plant Protection Products'

Nykyiset EU-säännökset edellyttävät torjunta-aineiden hyväksymiskäytännössä sekä työntekijän, sivullisen että ympäristön altistumisen arviointia (Kasvinsuojelutuedirektiivi 1997). Tätä tarkoitusta varten on viranomaisten käytössä useita vaihtoehtoisia altistumisen arviointimalleja. Eri mallit antavat kuitenkin toisistaan hyvinkin paljon poikkeavia tuloksia eri olosuhteissa. EU-projektin tavoitteena onkin testata olemassa olevia malleja ja validoida niitä ja mikäli mahdollista tuottaa uusia tai paranneltuja malleja ympäristön altistumisen arviointiin torjunta-aineiden levityksen yhteydessä erilaisissa ilmastollisissa olosuhteissa (Etelä-Eurooppa, Pohjoismaat). Jotta malleja voisi validoida ja edelleen kehittää, tarvitaan lisää mittaustuloksia olemassa oleviin mittaustietokantoihin. EU-projektin tarkoituksena on tuottaa näitä mittaustuloksia eri puolilta Eurooppaa ja tutkia torjunta-aineiden kulkeutumista, säilymistä ja hajoamista maaperässä sekä huuhi-

toutumista pohjaveteen. Mittauksia tehdään sekä kasvihuoneissa että avomaalla. Kenttämittaustuloksia ja eri malleilla saatuja tuloksia verrataan toisiinsa. Tavoitteena on löytää mahdollisimman hyvä malli ympäristöaltistumisen arviointiin eri olosuhteissa.

Suomessa EU-tutkimukseen on osallistunut Kuopion aluetyöterveyslaitos. Tässä selostettava Suomen kasvihuoneissa tehty tutkimus on liittynyt edellä mainittuun EU-tutkimukseen. Kyseinen tutkimus on tehty yhteistyössä Pohjois-Savon ympäristökeskuksen, Kuopion aluetyöterveyslaitoksen ja Geologian tutkimuskeskuksen Väli-Suomen aluetoimiston kanssa. EU-tutkimuksen yhteistyökumppaneita ulkomailla ovat olleet:

- Central Science Laboratory (koordinaattori, Iso-Britannia)
- University of Newcastle upon Tyne, Department of Agricultural and Environmental Science (mallintaja, Iso-Britannia)
- University of Almeria, Department of Analytical Chemistry, Research Group of Analytical Chemistry and Contaminants (Almeria, Espanja)
- National Institute of Occupational Health (Sevilla, Espanja)
- Ministry of Agriculture, Department of Plant Protection Products (Oeiras, Portugali)
- Entomology Laboratory, Department of Floriculture and Glasshouse Crops (Heraklion, Kreikka)
- University of Cattolica Del Sacro Cuore (Piacenza, Italia)
- TNO Nutrition and Food Research Institute, Department of Occupational Toxicology (AJ Zeist, Hollanti)

## **1.3 Tausta**

### **1.3.1 Viljelytekniikka**

Veden ja lannoitteiden kulutukseen leikkoruusulla vaikuttavat muun muassa valitsevat sääolosuhteet, valotuksen tehokkuus ja kivivillan ikä (Väre 1997). Valotetun leikkoruusun lannoituksen lähtökohtana kivivillassa voidaan pitää 1 kg/m<sup>2</sup> lannoitteita vuodessa. Kasvihuoneiden lämpötilat ovat viljelyn aikana suuremmat kuin talvilepokaudella, mikä lisää kastelun tarvetta viljelyn aikana. Kun otetaan huomioon kasvihuoneiden optimoitu lannoitus-, kastelu- ja ruiskutustekniikka, ei pohjavesien pilaantumista Suomessa pitäisi esiintyä. Kuitenkin kasvihuoneiden välillä on eroja kasteluveden käytössä, viljelytekniikassa, salaojituksen kunnossa sekä erityisesti alueen hydrogeologisissa olosuhteissa kuten pohjavesipinnan tasossa ja maalajin rakeisuuskoostumuksessa (Meronen 1993, Breilin 2000). Nämä tekijät vaikuttavat suuressa määrin torjunta-aineiden ja ravinteiden kulkeutumiseen. Myös torjunta-aineiden ominaisuudet vaikuttavat kulkeutumiseen ja hajotusnopeuteen.

### **1.3.2 Maaperä- ja pohjavesiolosuhteet**

Pohjavesigeologisen jaon mukaan tutkimus sijoittuu Järvi-Suomeen, jossa harjumuodostumat ovat pääasiassa antiklinisiä eli vettä ympäristöön purkavia kaakko-luodesuuntaisia pitkittäisharjuja (Britschgi ym. 1991, Korkka-Niemi & Salonen 1996). Harjumuodostumat ovat läpäisykykynsä vuoksi tärkeitä vedenottoalueita, mutta samasta syystä herkkiä saastumiselle (Seppälä 1997). Maalajitarkastelun perusteella Pohjois-Savossa saattaa olla ongelmia torjunta-aineiden huuhtoutu-

misin suhteen. Pohjois-Savossa maaperä on karkearakeisempaa, huokoisempaa ja savipitoisuus on yleensä pienempi kuin Etelä-Suomessa. Vollnerin ja Klotzin (1996) pohjavesisimulaation mukaan bioaktiivisesti samanlaistenkin torjunta-aineiden huuhtoutumisessa ja hajoamisessa on ollut eroja. Erot ovat johtuneet maaperäpartikkelien hiukkaskoosta. Hiukkaskooltaan suuremmissa karkeassa hiekassa torjunta-aine on sitoutunut vähemmän maaperään kuin hiukkaskooltaan pienemässä hienossa hiekassa. Torjunta-aineita suuremman uhkan pohjavesille aiheuttavat Mälkin ym. (1988) mukaan kuitenkin lannoitteiden käytöstä johtuva typpi-yhdisteiden lisääntyminen pohjavesissä.

Tärkeillä vedenhankintaan soveltuvilla pohjavesialueilla tehdään riskitekijöiden kartoituksia ja hydrogeologisia tutkimuksia, jotka koskevat alueiden raja-uksia ja maaperän sekä pohjaveden laatua (Kaloinen 2000). Muut pohjavesialueet tutkitaan ainakin sillä tarkkuudella, että voidaan todeta niiden käyttöarvo ja suojelutarve sekä tehdä päätös niiden pohjavesiluokituksen muuttamisesta tai poistamisesta kokonaan pohjavesialueluokituksesta. Kasvihuonetuotannon vesien-suojelutoimenpiteissä noudatetaan peltoviljelyn vesien-suojelutoimia vastaavia periaatteita.

Kasvihuone A sijaitsee I. luokan pohjavesialueella (Britschgi & Gustafsson 1996), harjun järven päin viettävän rinteiden päällä (Breilin 2000). Kasvihuoneen kohdalla harjun kerrostumisen loppuvaiheessa jäätikön sulamisvesivirta on ollut heikko, jolloin kasvihuoneen alueelle on kerrostunut maaperän yläosaan hietaa, hienoa hietaa ja välikerroksina hiesua ja savea. Kasvihuoneen kohdalla harjun pintaosa on joutunut jääkauden jälkeen alttiiksi myös järven rantavoimille. Tällöin maaperän pintaosaan on syntynyt 0,5-1,0 metriä paksu rantakerrostuma, joka on koostumukseltaan hiekkaa ja hietaa. Myöhemmässä vaiheessa harjun pohjoisreunalle on kerrostunut liejua. Edellä mainittu I. luokan pohjavesialue määrittellään kolmiportaisessa pohjavesialueluokituksessa (Britschgi ym. 1991, Britschgi & Gustafsson 1996) seuraavasti:

1. Alueen vettä ottaa vesilaitos, johon on liittynyt tai 20-30 vuoden aikana liittyy vähintään 10 taloutta.
2. Alueen vettä ottaa edellä mainitun kokoinen muuta talousvettä toimittava laitos tai talousvettä toimittava laitos.
3. Aluetta tarvitaan varauduttaessa kriisiaikojen vedentarpeeseen.

Pohjaveden päävirtaussuunta on kasvihuoneelta A harjumuodostuman myötäisesti luoteeseen kohti tulevaa vedenottamo. Vedenottamo kuitenkin sijaitsee eri pohjaveden muodostumisalueella ja vedenottamon ja kasvihuoneen välissä on salmi. Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 3,8 km<sup>2</sup>, muodostuspinta-ala 2,6 km<sup>2</sup> ja antoisuus 2500 m<sup>3</sup>/vrk (Britschgi & Gustafsson 1996). Kasvihuoneella A pohjavesi esiintyy noin kymmenen metrin syvyydessä (Breilin 2000). Toisin sanoen alueen pohjavesi on syväpohjavettä. Raja matala- ja syväpohjaveden välillä on liukuva erityisesti peruskallioalueella, jossa pohjavesi on yleensä lähellä maan pintaa (Mälki 1999). Kasvihuone D sijaitsee harjun lieveosan päällä. Harju on tyypillinen kohomuotoinen jäätikköjokimuodostuma, jonka ydin koostuu karkeasta kivisestä sorasta ja lievealueet hienommista maalajeista (Breilin 2000). Harjun lieveosien päälle on kerrostunut vettä pidättäviä maalajeja kuten hiesua, hienoa hietaa ja jopa savea. Näiden kerrostuminen on tapahtunut syvään veteen heti mannerjäätikön peräytymisen jälkeen. Kasvihuone sijaitsee alueella, joka ei ole pohjavesialueena merkittävä sijaintinsa ja veden laadun vuoksi. Alue kuuluu luokkaan muu pohjavesialue (luokka III), koska raakavedenotto pohjavesialueelta lopetettiin noin kymmenen vuotta sitten suurten nitraatti- ja mangaanipitoisuuksien vuoksi. Tällaisen vedenhankintaan soveltumattomaksi todetun pohjavesialueen suojelun tarve rajoittuu mahdollisen yksityisen vedenhankintaintressin turvaamiseen (Britschgi ym. 1991, Britschgi & Gustafsson 1996). Pohjavesialueen kokonaispinta-ala on 1,0 km<sup>2</sup>, muodostuspinta-ala 0,6 km<sup>2</sup> ja antoisuus 500 m<sup>3</sup>/vrk (Britschgi & Gustafsson

1996). Pohjaveden päävirtaussuunnat kasvihuoneella D ovat kaakkoon ja luoteeseen (Breilin 2000). Pohjavesi esiintyy noin kahden metrin syvyydessä maan pinnasta. Lähellä maan pintaa esiintyviä (alle 5 m), usein orsiveden kaltaisia pohjavesiä kutsutaan matalapohjavesiksi (Mälkki 1999).

### 1.3.3 Tutkittujen torjunta-aineiden tavoite- ja raja-arvot maaperässä ja pohjavedessä

Maaperän pitoisuuksien ohjearvoina Assmuth (1997) ehdottaa määriteltävän tavoite- ja raja-arvot. Ohjearvojen perustana ovat tutkimustiedot ja yleisesti esitetyt asiantuntija-arviot haitallisten aineiden käyttäytymisestä ja vaikutuksista. Ohjearvojen tarkentamisessa kiinnitetään huomiota niiden perustana olevien tutkimustietojen kattavuuteen ja luotettavuuteen. Tavoitearvo voidaan määrittellä vielä kohtuullisen varmasti turvallisena pitoisuustasona. Tavoitearvo perustuu yleensä lähinnä ekotoksikologiseen tutkimustietoon. Tavoitearvoissa voidaan ottaa huomioon myös maaperän fysikaalisia ominaisuuksia ja pitoisuuksien taustatasoa. Raja-arvo on tavoitearvoa suurempi pitoisuus, jonka katsotaan pääsääntöisesti edellyttävän riskien lähempää arviointia ja usein myös vähentämistä. Kloorattujen orgaanisten typpiyhdisteiden ja B2-karsinogeenisten aineiden (EPA 1998a) ryhmään luokitellun iprodionin hajoamistuotteen, 3,5-dikloorianiliinin tavoite- ja raja-arvot on esitetty taulukossa 1. Hajoamistuote on luokiteltu potentiaalisesti myrkylliseksi pysyväksi aineeksi, jonka testaaminen on priorisoitu erittäin tärkeäksi (EPA 1999a). Iprodionia sisältävillä valmisteilla on käyttörajoitus peräkkäisinä vuosina samalla peltolohkolla hitaan hajoamisen vuoksi. Pohjaveden tavoite- tai raja-arvoja iprodionin ja malationin osalta ei ole Suomessa määritelty (Manninen & Willamo 1993).

Viime vuosina esimerkiksi Saksassa juomavedestä on löydetty yhä useammin torjunta-aineita ja niiden hajoamistuotteita (Vollner & Klotz 1996). Malationia on löydetty sadevedestä Hollannissa ja Yhdysvalloissa (Liikanen 1998). Malationin maksimipitoisuudet sadevedessä ovat olleet Hollannissa 30 ng/l ja Yhdysvalloissa 170 ng/l. Länsi-Saksassa myyntiin perustuva torjunta-aineiden kulutus vuosikymmenen vaihteessa on ollut 19 kertaa suurempi kuin Suomessa (Seppälä 1997). EU-maiden suurin hehtaarikohtainen myynnin perusteella arvioitu torjunta-aineiden käyttömäärä viljelykasveilla on ollut Hollannissa, 22 kg (Brouwer ym. 1994 Seppälän 1997 mukaan). EU-maiden pienin torjunta-aineiden hehtaarikohtainen käyttömäärä viljelykasveilla on ollut Suomessa, 0,8 kg (OECD 1989 Seppälän 1997 mukaan).

Taulukko 1. Iprodionin ja malationin tavoite- ja raja-arvot (Manninen & Willamo 1993, Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a,b, Assmuth 1997, Kasvinsuojelutuedirektiivi 1997).

Torjunta-aine	Iprodioni	Malationi
Hajoamistuote	3,5-dikloorianiliini	malaoksioni isomalationi
Tavoitearvo maaperässä ( $\mu\text{g/g}$ ka.)	1*	0,04
Raja-arvo maaperässä ( $\mu\text{g/g}$ ka.)	15*	4,0
Yksittäisen torjunta-aineen raja-arvo pohjavedessä ( $\mu\text{g/l}$ )	0,1	0,1
Useiden torjunta-aineiden raja-arvo pohjavedessä ( $\mu\text{g/l}$ )	0,5	0,5

\* = hajoamistuotteelle

ka. = kuiva-aine

# Tutkittujen torjunta-aineiden käyttö ja kemialliset ominaisuudet

# 2

Suomessa iprodionia käytetään kasvihuoneessa ja avomaalla muun muassa erilaisten home- ja laikkutautien torjuntaan sekä koristekasvien siementen, kukkasiipulien ja siemenperunan peittaukseen (KTTK 2000). Malationia käytetään hyönteisten torjuntaan sekä sisätiloissa että avomaalla (Liikanen 1998, KTTK 2000).

Taulukko 2. Iprodionin ja malationin käyttö ja kemialliset ominaisuudet (Worthing 1991, Tomlin 1994, Käyttöturvallisuustiedote 1997, Cornell 1998, EPA 1998a,b, KASTE 1998, EPA 1999a,b, KEMREK 1999, Ketola 1999, KTTK 1999, Merck index 1999, KTTK 2000, Pesticide database 2000).

Käyttö ja kemiallinen ominaisuus	Iprodioni	Malationi
Kauppavalmiste	Rovral	Malasiini/Malan
Myynti 1998 (t)	1,4	4,7
Myynti 1999 (t)	1,6	4,3
Henryn lain vakio, H (mPa m <sup>3</sup> /mol)	0,9	2,3
Höyryn paine (mPa/20 °C)	0,133	5,3
Molekyylipaino	330,17	330,38
Rakennekaava	C <sub>13</sub> H <sub>13</sub> Cl <sub>2</sub> N <sub>3</sub> O <sub>3</sub>	C <sub>10</sub> H <sub>19</sub> O <sub>6</sub> PS <sub>2</sub>
Vesiliukoisuus, S (mg/l/20 °C)	13	145
n-oktanoli/vesi-jakaantumiskerroin, K <sub>ow</sub>	1260	560
Kertyvyys eliöihin, P <sub>ow</sub> = log K <sub>ow</sub>	-	776
Adsorptiokerroin maaperässä, K <sub>d</sub>	< 0,2-43,1	0,981***
Pidättyminen org.ainekseen, K <sub>oc</sub> = (K <sub>d</sub> × 100)/org. C %	327	1800
Puoliintumisaika, DT <sub>50</sub> maaperässä (vrk)	14-30*	-
	7-14**	
Puoliintumisaika, t <sub>1/2</sub> maaperässä (vrk)	3-7	1,5
Puoliintumisaika, t <sub>1/2</sub> vedessä (vrk), (h)	20(pH 6) 4,7(pH 7) 0,5 h(pH 9)	4,2-51,1 <sup>a</sup> 8,4-103 <sup>b</sup>
Keskimääräinen hajoamisnopeus maaperässä (vrk)	14 (7-160)	1(20 °C) (0,2-25)
Torjunta-aineluokittelu	kasvitautien torjunta-aine	tuhoeläinten torjunta-aine
Yhdisteryhmä	kloorattu orgaaninen tyypiyhdiste	organofosfaatti
Torjunta-aineen haitallisuus	mahdollinen karsinogeeni (JARC III) Leydig-solujen testosteronisynteesin inhibiittori	ihmisen solujen koliiniesteraasi- inhibiittori
Hajoamistuotteet	3,5-dikloorianiliini	malaoksoni isomalationi
Hajoamistuotteen haitallisuus	potentiaalinen toksiini	-

a = pintavesi b = pohjavesi

\* = hapellinen

\*\* = hapeton

\*\*\* = maaperässä

Tutkittuja torjunta-aineita luokitellaan kemiallisten ominaisuuksien perusteella (taulukko 2). Torjunta-aineen kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat tekijät ovat pääosin samoja kuin ravinteiden kulkeutumiseen vaikuttavat tekijät (ks. s. 14). Kulkeutuvuutta kuvataan haihtuvuudella ilmasta (höyrynpaine) ja vedestä (Henryn lain vakio, H), vesiliukoisuudella (S), pidättymisellä maaperän orgaaniseen

ainekseen ja sedimenttiin ( $K_{oc}$ ,  $K_d$ ) sekä kertyvyydellä eliöihin ( $K_{ow}$ ,  $P_{ow}$ ). Uusimman ympäristölle vaarallisten kemikaalien luokittelun mukaan torjunta-aine kuuluu höyrynpaineensa perusteella heikosti haihtuviin yhdisteisiin, jos sen höyrynpaine on 0,0001-0,01 Pa/20-25 °C. Aine on veteen vähän liukeneva, jos S on 0,1-10 mg/l. Vesiliukoisuus kuvaa aineen poolisia ominaisuuksia ja antaa alustavan arviota aineen kulkeutumisesta. Kemikaali on niukkaliukoinen, jos S on alle 0,1 mg/l ja hyvin liukoinen, jos S on yli 1000 mg/l. Aine on veteen liukeneva, jos S on 10-1000 mg/l. Aine on kohtalaisen kulkeutuva, kun  $K_{oc}$  on 150-500. Aine on mahdollisesti eliöihin kertyvä, jos n-oktanoli/vesi-jakaantumiskerroin,  $K_{ow}$  on 1000.  $P_{ow}$  on logaritmi  $K_{ow}$ :stä (Nikunen 1999).

Hajoavuus maaperässä määritellään hajoamiskertoimen ( $k = \ln(2)/t_{1/2}$ ) ja puoliintumisajan ( $DT_{50} = t_{1/2} = \ln(2)/k$ ) avulla (Laitinen & Toivonen 1991). Maaperässä kohtalaisen nopeasti hajoavan torjunta-aineen puoliintumisaika on 1-4 viikkoa (Nikunen 1999). Nopeasti maaperässä hajoavan torjunta-aineen puoliintumisajan kestona pidetään alle viikkoa. Nopeasti hajoavien torjunta-aineiden huuhtoutuminen pohjavesiin on yleisesti ottaen vähäistä. Toisaalta huuhtoutuminen riippuu myös ilmastosta, kastelun runsaudesta ja maalajista sekä kasvin kyvystä sitoa vettä ja sen mukana tulevia aineita.

Vaikka torjunta-aineen ominaisuuksia selvitetään yleensä standardoiduilla laboratoriotesteillä, kokeellisesti määritetyt arvot eivät yksistään riitä ympäristövaikutusten ja riskien arviointiin tai kulkeutumisen mallintamiseen (Malm 1992, Paasivirta 1997). Muun muassa torjunta-aineen hajoamisnopeudesta löytyy useita erilaisia arvoja. Tämä johtuu koejärjestelyjen erilaisuudesta.

Torjunta-aineiden hajoamiseen vaikuttavat muun muassa seuraavat tekijät (Hickman & Novak 1989, Seppälä 1997, Nikunen 1999):

- pH
- Lämpötila
- Ravinteikkaus
- Kosteus
- Happipitoisuus
- Olosuhteisiin sopeutunut mikrobilajisto
- Torjunta-aineen ominaisuudet

Maaperässä biologisen hajoamispotentiaalin kuvaajana voidaan käyttää aktiivisen mikrobibiomassan määrää (Hickman & Novak 1989). Tässä tutkimuksessa hajoamispotentiaalia ei määritetty, mutta mikrobibiomassan määrä mitattiin. Huolimatta useista vaihtoehtoisista menetelmistä, mikrobibiomassan mittaaminen on vaikeaa erityisesti runsaasti orgaanista ainesta sisältävässä maaperässä. Seuraavassa esitellään tutkittujen torjunta-aineiden käyttäytymistä kuvaavia ominaisuuksia, joiden perusteella on alustavasti mahdollista arvioida aineen kulkeutumista ja haitallisuutta ympäristössä. Torjunta-aine häviää ympäristöstä huuhtoutumalla, sitoutumalla ja haihtumalla. Ympäristö rajataan tässä raportissa käsittämään erityisesti maakerroksia sekä maa- ja pohjavettä, joten torjunta-aineiden haihtumista ilmaan ei käsitellä.

## 2.1 Iprodioni

Iprodioni on sienten aiheuttamien kasvitautien torjunta-aineissa eli fungisideissä käytetty tehoaine. Iprodioni tunnetaan kemiallisella nimellä 3-(3,5-dikloorifenyyli)-N-(1-metyylietyyli)-2,4-diokso-1-imidatsolidinekarboksiamidi (Worthing 1991).

Useiden laboratorio- ja kenttäkokeiden perusteella iprodionin kulkeutumiseen maaperässä vaikuttavat maaperän orgaanisen aineksen määrä ja maalaji (EPA 1998a). Iprodioni kulkeutuu hiekkamaassa erittäin hyvin, hiesumaassa, hiekkaisessa

savimaassa ja savimaassa myös jonkin verran. Vaikka iprodioni kulkeutuu ja säilyy maaperässä hyvin, huuhtoutumista pohjavesiin saakka on pidetty lähes epätodennäköisenä. Huuhtoutumisen epätodennäköisyyttä on perusteltu nopealla hydrolyyttisellä hajoamisella ja kasvuston sekä erityisesti orgaanisen aineksen torjunta-ainetta sitovalla vaikutuksella. Vähäinen mikrobiaktiivisuus hidastaa torjunta-aineen hajoamista maaperässä, jolloin aine kertyy maaperään ja kulkeutuu nopeasti hyvin vettä läpäisevän maaperän läpi pohjaveteen. Jos maaperä on erittäin hapan ja sen läpäisevyys suuri sekä mikrobiaktiivisuus vähäistä, kertyminen maaperään ja/tai huuhtoutuminen pohjaveteen on mahdollista. Usein viljelymaan pH vaihtelee vähän kasvukauden aikana. pH vaikuttaa maaperän mikrobiologisiin olosuhteisiin ja siten myös torjunta-aineen hajoamiseen.

Seppälän (1997) mukaan torjunta-aineen aiheuttamien ympäristöhaittojen arvioimiseksi tieto torjunta-aineen häviämisestä ei riitä, sillä sen pääasiallisia hajoamistuotteita maaperässä saattaa olla useita. Näistä osa voi olla ympäristölle haitallisia. Iprodionin pääasiallinen hajoamistuote, 3,5-dikloorianiliini (Worthing 1991) on ympäristölle potentiaalisesti myrkyllinen aine (EPA 1999a). Hajoamistuote sitoutuu tiukasti humukseen ja mineralisoituu vain mikrobitoiminnan tuloksena (Seppälä 1997). Myös muita hajoamistuotteita on löydetty (EPA 1998a).

Iprodioni hajoaa fotokemiallisesti ultraviolettivalon vaikutuksesta, erityisesti veteen liuenneena (Cornell 1998). Puoliintumisaika on 5-10 minuuttia vesiliuoksessa ja 15-60 minuuttia heksaaniliuoksessa. Edellä mainittuja fotolyttisten tai hydrolyttisten kokeiden tuloksia voidaan Nikusen (1999) mukaan käyttää vertailuarvoina, koska kokeissa on tutkittu torjunta-aineen täydellistä hajoamista, eikä ainoastaan primaarihajoamista. Laboratoriossa iprodioni ei hajoa hydrolyttisesti merkittävästi pH:ssa 3 (Cornell 1998). Iprodionin hydrolyysinopeus kasvaa, kun pH nousee (EPA 1998a).

## 2.2 Malationi

Tuhoeläinten torjunta-aine malationi tunnetaan kemiallisella nimellä S-1,2-bis(etoksikarbonyyli)etyyli O-O-dimetyylifosforiditiaatti (Worthing 1991, KTTK 1999). Höyrynpainearvonsa perusteella malationi luokitellaan heikosti haihtuvaksi (Nikunen 1999). Veteen liukenevana yhdisteenä malationin voidaan olettaa kulkeutuvan niin maaperässä, vedessä kuin ilmassa, koska vesi toimii kuljettavana väliaineena kaikissa ympäristöissä (Malm 1992). Jos kastelu kasvihuoneessa on runsasta, yhdiste saattaa kulkeutua nopeasti pois biologisesti aktiivisesta vyöhykkeestä ja välttyä näin pintamaan mikrobien hajotukselta. Syvemmillä maakerroksissa mikrobien määrä vähenee (Hickman & Novak 1989). Hajoaminen on tehokkaampaa ei-steriilissä ympäristössä kuin steriileissä laboratorio-olosuhteissa (Shahamat 1980). Tämä johtuu *Pseudomonas*-bakteerien ja *Trichoderma*-sienten hajotustoiminnasta ei-steriileissä olosuhteissa. Näin ollen maaperän mikrobipopulaation koostumus ja maan kunto vaikuttavat oleellisesti torjunta-aineen biologiseen hajoavuuteen (Hickman & Novak 1989, Malm 1992).

## 2.3 Tutkittujen torjunta-aineiden vertailu

Iprodionin ja malationin laboratorio-olosuhteissa määritetyissä ominaisuuksissa kuten kertyvyydessä eliöihin ( $K_{ow}$ ) ja pidättymisessä orgaaniseen ainekseen ( $K_{oc}$ ) on eroja. Tämän perusteella olisi helppo olettaa, että myös torjunta-aineiden kulkeutumisessa pohjavesiin on eroja. On tärkeää selvittää, näkyvätkö erot riittävän selkeästi myös kasvihuoneista ja niiden ympäristöstä kootussa aineistossa.

Tutkittujen torjunta-aineiden vesiliukoisuusarvojen ja kasvihuoneilla käytetyn optimoidun kastelujärjestelmän sekä aiempien tutkimusten perusteella oletetaan, että torjunta-aineet ja niiden hajoamistuotteet pidättyvät maakerroksiin. Olosuhteista riippuu, missä määrin aineet pidättyvät maaperään. Muun muassa maaperän kosteuden oletetaan vaikuttavan hajoamisnopeuteen (Eijsackers 1994, Seppälä 1997).

Käytettyjen torjunta-aineiden yhtäläisyydet liittyvät ihmiselimestön biosynteesijä ja entsyymien toimintaa haittaaviin vaikutuksiin, molekyylipainoon, heikkoon haihtuvuuteen ja suhteellisen pieniin vesiliukoisuusarvoihin sekä optimaalisissa olosuhteissa nopeaan hajoamiseen. Torjunta-aineen taipumus adsorboitua voi vähentää huuhtoutumista, mutta toisaalta hidastaa biologista hajoamista (Seppälä 1997). Esimerkiksi iprodionin hajoamistuotteen, 3,5-dikloorianiliinin taipumus sitoutua maaperän humukseen ja maaperän vähäinen mikrobiaktiivisuus hidastavat biologista hajoamista. Tämän hajoamistuotteen ominaisuuksista kulkeutuminen ja pysyvyys maaperä- ja pohjavesiolosuhteissa ovat huonosti tunnettuja (EPA 1998a). Koska iprodioni hajoaa fotokemiallisesti ultraviolettivalon vaikutuksesta, erityisesti veteen liunneena (Cornell 1998), kuivuuden voidaan olettaa haittaavan iprodionin hajoamista. Iprodionin hydrolyysi reagoi herkästi pH:n muutokseen (EPA 1998a), joten maaperän ja pohjaveden happamuuden voidaan olettaa haittaavan iprodionin hajoamista. Malationi hajoaa paremmin hapekkaissa olosuhteissa (Howard ym. 1991). Siten sen voidaan olettaa hajoavan hitaammin, jos maaperä on tiivistynyttä tai pohjavesi hapetonta.



## Ravinteet

### 3.1 Ravinteiden huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät

Pohjavesien typpipitoisuuksia on tutkittu Suomessa varsin kattavasti (Vainio 1984, Korhonen ym. 1990, Korkka-Niemi ym. 1993, Korkka-Niemi 1994, Lehtikangas ym. 1995). Pohjavesialueilla monenlainen ihmistoiminta voi aiheuttaa veden nitraattipitoisuuden kohoamista (Lehtikangas ym. 1995). Esimerkiksi maatalous, turkistarhat, lentokentät, kaatopaikat ja jätevesien maaperään imeyttäminen voivat kuormittaa pohjavesiesiintymää. Pääsyy kohonneisiin nitraattipitoisuuksiin on maatalous. Luonnontilaisella alueella pohjaveden nitraattipitoisuus on 1-2 mg/l. Nitraattityppinä ilmoitettuna vastaava pitoisuus on 0,2-0,5 mg/l.

Typen huuhtoutuminen viljelymaasta vaihtelee suuresti eri vuosina ja eri maalajeissa (Rekolainen & Kauppi 1992). Huuhtoutumista lisäävät erityisesti voimakas sadetus ja typpilannoitus. Pääosa typen huuhtoutumisesta tapahtuu keväällä ja syksyllä. Yleensä pitkään syksyyn jatkuva viljely vähentää typen huuhtoutumista. Siirtyminen uuteen ruusun tehotuotantomenetelmään lyhentää viljelyn kestoa ja lisää istutustiheyttä (Maaseudun tulevaisuus 2000). Toistaiseksi yleisesti käytössä olevilla viljelymenetelmillä ruusuja tuotetaan noin 250 kpl/m<sup>2</sup>. Tehotuotantomenetelmällä ruusuja tuotetaan yli 750 kpl/m<sup>2</sup> enemmän kuin yleisesti käytetyllä tuotantomenetelmällä. Tehotuotantomenetelmän vaikutuksia typen huuhtoutumiseen ei ole tutkittu. Typen huuhtoutumiseen vaikuttavat pääasiassa seuraavat tekijät (Lehtikangas ym. 1995, Juntunen & Hammar 1996, Puustinen 1999):

- Viljelykasvi ja sen peittävyys
- Juuristo ja sen syvyys
- Kasvuston ikä ja kunto
- Kasvuajan pituus ja erityisesti viljelyn jatkuminen syksyllä
- Viljelytekniikka, salaojitus ja kuormituksen määrä
- Maaperän fysikaalis-kemialliset ja biologiset ominaisuudet
- Maaperän eroosio
- Ilmasto, erityisesti sademäärä
- Pohjaveden yläpuolisten maakerrosten paksuus ja kerrosjärjestys
- Käytetty valmiste

### 3.2 Typen ja fosforin havaitut pitoisuudet ja enimmäispitoisuudet

Kivennäismaassa, jota myös tutkittujen kasvihuoneiden maaperä edustaa, keskimäärin yli 90 % huuhtoutuneesta tyypestä on havaittu olevan nitraattityppeä ja alle yksi prosentti ammoniumtyppeä (Yläranta & Uusi-Kämppä 1992). Ammoniumtyppi pidättyy vaihtuvana kationina maahiukkasiin ja nitrifikoituu melko nopeasti (Puustinen 1999). Mineraalilannoitteiden tyyppi on ammonium- ja nitraattimuodossa. Epäorgaaninen tyyppi esiintyy maaperässä tavallisimmin nitraattina, joka on hyvin altis huuhtoutumaan. Nitraatti-ionin negatiivisen varauksen vuoksi se ei pidäty maahiukkasiin, vaan on maavedessä liukoisena. Kaiken kaikkiaan Suomes-

sa on Keski-Eurooppaa pienempi nitraattiongelma, koska lannoitteiden käyttö on optimoidumpaa (Lehtikangas ym. 1995). Kuopion alueella kymmenestä tutkitusta pohjavedenottamosta puolella nitraattipitoisuus on ollut 5-9 mg/l ja loppuilla yli 10-25 mg/l. Tässä Oulun yliopistossa tehdyssä tutkimuksessa nitraatin terveydelliset laatuvaatimukset ylittäviä pohjavedenottoja Suomessa on ollut vain 0,3 %. Vuonna 1980 pohjavedenottamoiden raakaveden keskimääräinen nitraattipitoisuus on ollut 3 mg/l (Yrjänä 1983) ja vuonna 1990 2,7 mg/l (Lehtikangas ym. 1995).

Taulukossa 3 on esitetty muun muassa Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (N:o 953/1994) mukaiset typen ja fosforin enimmäispitoisuudet talousvedelle (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a). Pohjaveden raakavesiluokitus ei ole enää voimassa Britschgin ym. (1991) julkaisun mukaisena. Siten ehdottomia pohjavesiesiintymästä otetun raakaveden raja-arvoja ei enää ole. Pohjaveden laatua on kuitenkin tutkittu viime vuosina, joten keskiarvoja eri alueiden pohjaveden laatua kuvaavista muuttujista on olemassa (Soveri ym. 1999).

Fosfaattifosforin pitoisuudet pohjavesissä ovat yleensä pieniä (Korkka-Niemi & Salonen 1996), mutta lannoitus voi lisätä pitoisuuksia. Happamassa maaperässä osa epäorgaanisesta fosforista on sitoutunut tiukasti raudan ja alumiinin oksideihin ja hydroksideihin (Puustinen 1999). Maaperässä yleensä vain pieni osa fosforista on liuenneena maavedessä. Savipitoisuus vaikuttaa maaperän kykyyn pidättää fosforia. Jos maaperä on kokonaan kyllästynyt fosforilla, ylimääräinen fosfori jää liukoiseen muotoon. Maaperään sitoutunut fosfori voi kulkeutua eroosioaineksessa pohjaveteen.

Peltojen salaojavedet voivat olla sameita, koska maaperän sisäisessä eroosiossa maaperään suotautuva vesi irrottaa ja kuljettaa maahiukkasia ja niihin sitoutuvia ravinteita mukanaan (Puustinen 1999). Salaojista ja pohjavesiputkista otetut vesinäytteet ovat usein sameita vähäsateisten ja keskimääräistä lämpimämpien sääjaksojen jälkeen. Tällöin salaojavesi on alkuperältään pintavettä ja sameus maan halkeamien kautta salaojiin tulleen, maan pinnalta peräisin olevan kiintoaineksen aiheuttamaa. Jos maavesi syövyttää käytäviä tiiviin maakerroksen päällä olevan löyhän maakerroksen sisälle, maahiukkasten ja niihin sitoutuvien ravinteiden huuhtoutuminen lisääntyy. Maalajin eroosion vastustuskyky riippuu muun muassa maahiukkasten koosta. Pienten maahiukkasten ominaispinta-ala on suuri. Siten ne muodostavat kestävästä mururakenteesta sitoutumalla toisiinsa. Toisaalta jos maahiukkaset ovat suuria, irtoaminen alkuperäiseltä paikalta vaikeutuu.

Taulukko 3. Typen ja fosforin enimmäispitoisuudet (mg/l) ja havaitut pitoisuudet vedessä (mg/l) (Korkka-Niemi ym. 1993, Manninen & Willamo 1993, Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a, Puustinen 1999).

Ravinne ja sen muoto	Talousveden enimmäispitoisuus* (mg/l)	Talousvesi-kelvoton pitoisuus (mg/l)	Pintaveden raakavesikelvoton pitoisuus (mg/l)	Luonnontilaisen pohjaveden pitoisuus (mg/l)	Pohjaveden haitallinen pitoisuus (mg/l)	Pohjaveden pitoisuus yleensä (mg/l)
Nitraattityppi (NO <sub>3</sub> -N)	6	11,3	> 6,8	0,2-0,5	> 11,3	0,1-3,4
Nitraatti (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	25	50	> 30	1-2	> 50	0,5-15
Nitriittityppi (NO <sub>2</sub> -N)	0,03		> 0,03			
Nitriitti (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> )	0,1		> 0,1			
Ammoniumtyppi (NH <sub>4</sub> -N)	0,4		> 1,6			
Ammonium (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	0,5		> 2			
Fosfaattifosfori (PO <sub>4</sub> -P)	0,1	> 0,1				
Fosfori (P)			> 0,1			

\*Sosiaali- ja terveysministeriön määrittelemät enimmäispitoisuudet

## Aineisto ja menetelmät

### 4.1 Kasvihuoneiden viljelytekniikka ja ympäristöolosuhteiden mittaus

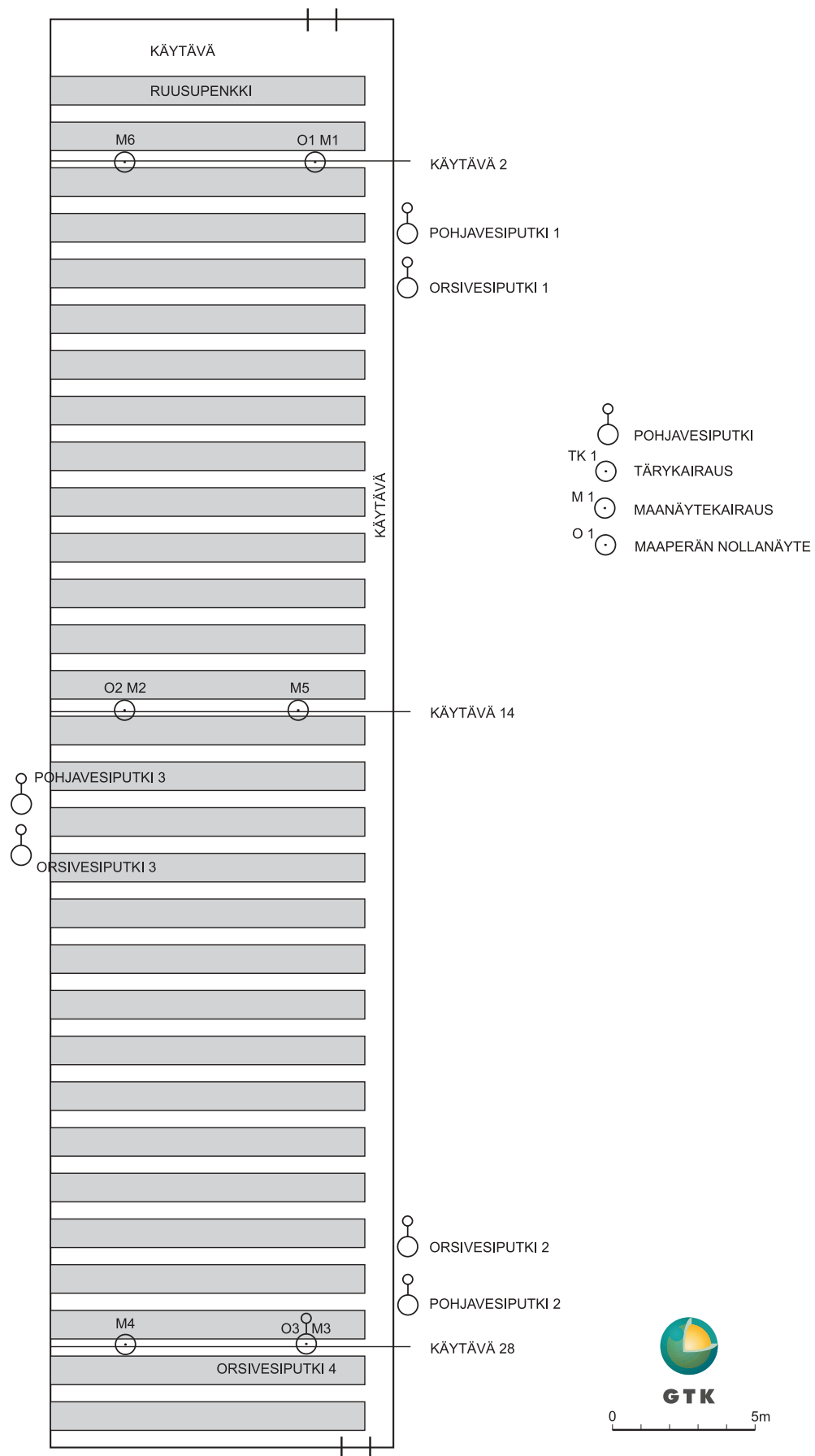
Tutkimuksen kohteena on kaksi kasvihuonetta (A ja D) (liite 1), jotka sijaitsevat Pohjois-Savossa. Molemmissa kohteissa viljellään ruusua. Kasvukausi tauotetaan talvilepokaudella, joka kestää marraskuulta helmikuun puoliväliin saakka. Molemmilta kasvihuoneilta on koottu tietoja ilman lämpötilasta (°C), suhteellisesta kosteudesta (%) ja valon määrästä (W/m<sup>2</sup>) ITU-computer-laitteella. Säätiedoista lämpötila (°C) ja sademäärä (mm) on saatu Rissalan lentoasemalta. Kasteluveden määrä (l/m<sup>2</sup>/vrk) mitattiin talvilepo- ja kasvukaudella.

Tutkimukseen valittiin torjunta-aineiksi iprodioni (Rovral®) ja malationi (Malasiiini®). Kasvihuoneiden viljelytekniikkaan ja ruiskutuksiin liittyvät tiedot on esitetty liitteessä 1. Ruiskutuksissa käytettiin paineruiskuja. Lannoitus (Superex R 219) on kasvihuoneella A Kekkilän suositusten mukainen (Väre 1997). Kasvihuoneella D käytettiin Kekkilän lannoitteita (Superex 10), mutta lannoitusuositusta ei oltu tehty.

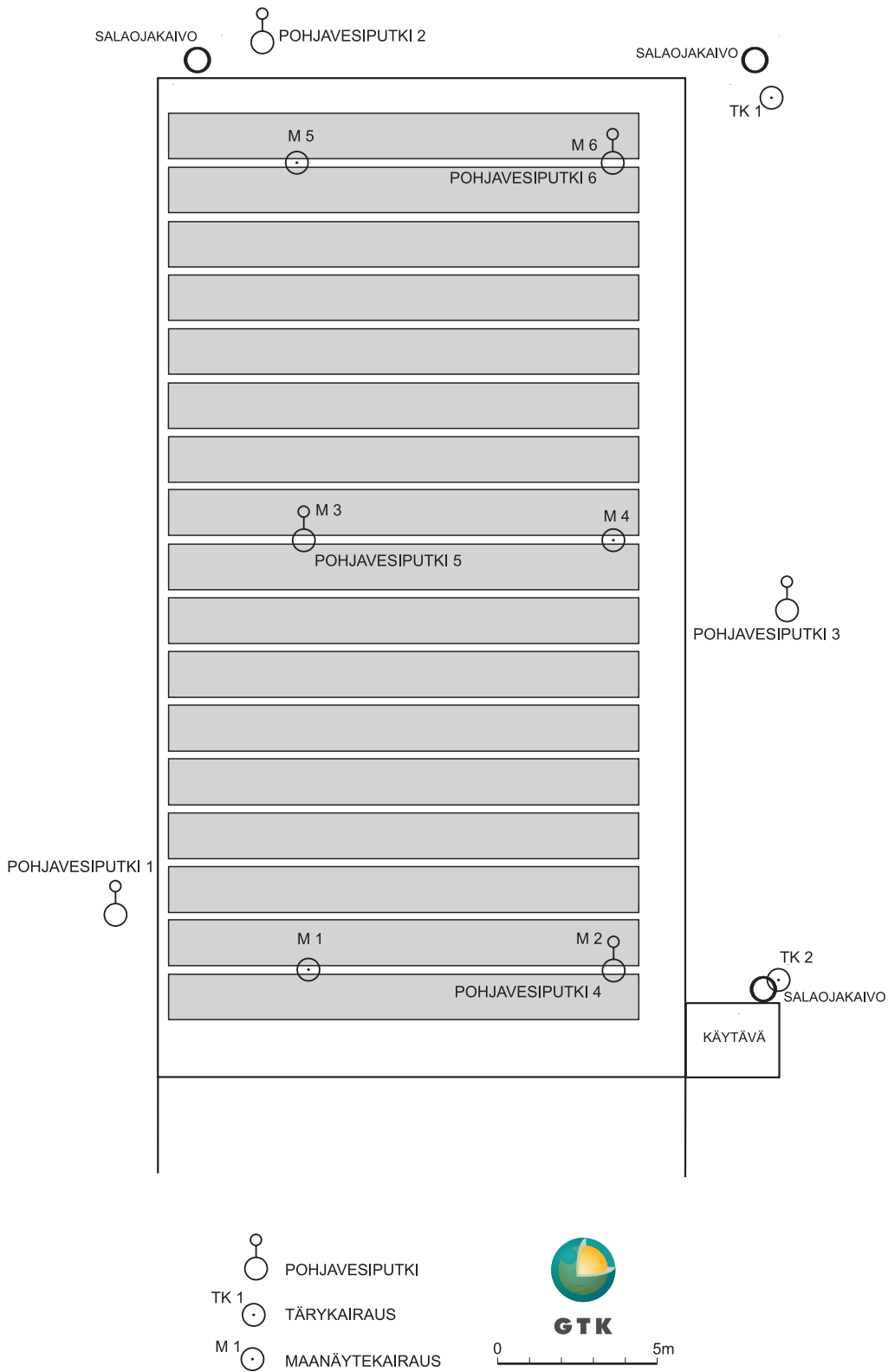
### 4.2 Pohjavesiputkien ja lysimetrien asennus sekä pohjavesipinnan tason mittaus

Pohjavesiputkien sijoituspaikat ja lukumäärä kasvihuoneella A päätettiin maatutkaluotausten (31.10.1997) tulosten perusteella (Breilin 2000). Pohjavesiputkien asennuksen yhteydessä tehtiin havainnot maalajeista ja maaperän kerrosjärjestyksestä. Lisäksi otettiin tarvittavat maanäytteet maalajien fysikaalis-kemiallisia määrittäjä varten (ks. 4.3 ja 5.1.3). Syksyllä 1997 kasvihuoneelle asennettiin neljä pohjavesiputkea GM-50 monitoimikairakoneella, joista kolme ulkoseinustalle ja neljäs putki noin 50 metrin etäisyydelle kasvihuoneesta pohjapiirroksen mukaisesti (kuva 1). Kasvihuoneella A asennettiin neljä orsivesiputkea pohjapiirroksen mukaisesti. Orsivesiputket asennettiin käsikäyttöisen putkikairan avulla. Kasvihuoneen sisälle ei pohjavesikerrokseen saakka ulottuvia pohjavesiputkia voitu asentaa ruusukasvuston ja tilan puutteen vuoksi.

Kasvihuoneella D maatutkaluotausta ei tehty ja kuusi pohjavesiputkea asennettiin 26.-29.10.1998. Kasvihuoneella D pohjavesipinnan taso mitattiin kuudesta putkesta, joista putket 1-3 sijaitsivat kasvihuoneen ulkopuolella ja putket 4-6 kasvihuoneen sisällä (kuva 2). Kasvihuoneen ulkopuolelle pohjavesiputket asennettiin GM-50 monitoimikairalla ja sisälle käsikäyttöisen putkikairan avulla. Molemmilla kasvihuoneilla pohjavesiputkista mitattiin pohjavesipinnan taso mittanauhaluotaimella näytteenottoaikataulun (liitteet 2 ja 3) mukaisesti. Kummallakin kasvihuoneella putkien materiaali oli HDPE-muovia (high density polyethylene). Sisä- ja ulkohalkaisijat olivat 51 mm ja 63 mm. Siiviläputki (pituus 1-3 m, halkaisija 0,03 mm) asennettiin pohjavesipinnasta alaspäin. Pohjavesiputkille tehtiin huuhtelupumppaus wattera-pumpulla. Osalle pohjavesiputkia asennettiin RST-metalliset suojarputket suojaustarpeen mukaisesti.



Kuva 1. Kasvihuoneen A pohjapiirros ja tutkimuspisteiden sijainti kasvihuoneessa.



Kuva 2. Kasvihuoneen D pohjapiirros ja tutkimuspisteiden sijainti kasvihuoneessa.

Kuusi lysimetriä asennettiin kasvihuoneelle A 3.12.1997 ja 4.11.1998 kasvihuoneelle D maavesinäytteenottoa varten. Lysimetrit sijaitsivat kasvihuoneissa sekä 30 että 60 cm:n syvyydessä. Lysimetrisysteemin osia olivat tasavirtapumppu (12 V, 8 A), letku (440-NF Nylo-Sell), vakuumisäiliö, pallohanat, T-liittimet, keräyspullo, letku (22-NH-1/8-NSF Natural Nylo-SE) ja lysimetriputki (nylonhylysy/posliinikuppi). Vesi imeytyi halkaisijaltaan 1,5 cm:n ja pituudeltaan 5,0 cm:n posliinikuppiin alipaineen vaikutuksesta.

### 4.3 Maaperä- ja pohjavesinäytteenotto

Maanäytteet fysikaalis-kemiallisia määrytyksiä varten sekä torjunta-aineiden taustapitoisuuden (0-näyte) määrittämistä varten otettiin kasvihuoneella A 10.11.1997-7.10.1998 ja kasvihuoneella D jaksolla 9.11.1998-8.11.1999 liitteiden 4 ja 5 mukaisesti. Kasvihuoneiden ulkopuolelta otettiin maalajinäytteet yli kahden metrin syvyydeltä pohjavesiputkien asennusten yhteydessä, koska monitoimikairalla ei tilanpuutteen vuoksi voitu toimia kasvihuoneiden sisällä. Maalajinäytteet otettiin kustakin selkeästi erottuvasta maalajikerroksesta. Maaperänäytteenottimet puhdistettiin näytteenoton yhteydessä vesijohtovedellä tai mekaanisesti ennen uutta näytteenottoa. Irrrottaessa näytettä kairasta puhdistettiin näytemateriaalin pintaosa sekundaarisesta maa-aineksesta.

Molempien kasvihuoneiden käytäviltä kairattiin maanäytteitä yhteensä kuudesta näytteenotto paikasta, kolmelta eri käytävältä. Jokaisella näytteenottokerralla näytteenotto paikalta siirryttiin käytävällä eteenpäin 10 cm:n matka uudelle näytteenottopisteelle. Maanäytteitä kairattiin seuraavilta syvyyksiltä EU-tutkimusprojektin suunnitelman mukaisesti:

- 1 = 0-10 cm,
- 2 = 10-20 cm,
- 3 = 20-30 cm,
- 4 = 30-50 cm,
- 5 = 50-100 cm,
- 6 = 100-200 cm.

Näyte ositettiin mittanauhan avulla ja lusikoitiin muovisella puhdistetulla putkilastalla pakastepusseihin. Torjunta-aineiden adsorption ja biologisen hajoamisen tutkimista varten osa näytteistä lähetettiin Espanjaan ja Iso-Britanniaan EU-tutkimuksen yhteistyökumppaneille. Maaperän kivisyyden vuoksi kasvihuoneella D näytteenottopisteitä jouduttiin siirtämään muutamalla senttimetrillä eteenpäin. Samasta syystä vaihdettiin Auger-maanäytteenotin putkikairoihin, joiden halkaisijat olivat 45 ja 65 mm. Maanäytteenottoa kasvihuoneella D haittasi käytävien kuivuus.

Torjunta-aineiden ja ravinteiden kulkeutumisen sekä pohjaveden laadun selvittämiseksi kasvihuoneella A vesinäytteet otettiin kolmesta pohjavesiputkesta kerran kuukaudessa (6.11.1997-17.11.1998) ja kasvihuoneella D (28.10.1998-1.11.1999) vastaavasti kuudesta pohjavesiputkesta kerran kuukaudessa. Vesinäytteet otettiin pilssi- ja Waterra-pumpulla sekä putkinoutimella. Ensisijainen näytteenotin kasvihuoneella A oli putkinoudin ja kasvihuoneella D Waterra-pumppu. Kasvihuoneella A pilssipumpusta siirryttiin putkinoutimeen pumpun tukkeutumisen vuoksi. Myös putkinoudinnäytteenoton ongelmana oli pohjaveden suuri kiintoainepitoisuus. Näytteenottimeksi kasvihuoneella D valittiin Waterra-pumppu veden suuren kiintoainepitoisuuden ja sameuden vuoksi. Ennen varsinaisen näytteenoton aloittamista kasvihuoneella A tehtiin puhdistuspumppaus, mutta osa pohjavesinäytteistä oli edelleen sameita kuten kasvihuoneella D. Pilssipum-

pulla näytteet otettiin suoraan näytepulloihin. Putkinoutimella näytteet otettiin mittakannuun, josta edelleen pulloihin. Waterra-pumpulla näytevesi pumpattiin ensin sankoon, josta edelleen mittakannulla pulloihin. Näytteenottimet huuhdeltiin havaintopaikkojen välillä tislatussa vedellä.

Kasvihuoneella A vesinäytteet otettiin käsin pumpaamalla. Kasvihuoneella D tehtiin hapen osalta vertailukoe (9.11.1998), jossa happi määritettiin sekä kenttä-happimittarilla että pumpatusta näytteestä laboratoriossa. Tämän vertailukokeen perusteella voitiin päätellä, että kasvihuoneen A näytteet olivat hapettuneet näytteenottolanteessa ja kasvihuoneen A happitulokset hylättiin. Happivertailukokeen jälkeen happi- ja lämpötilamittaukset tehtiin kasvihuoneella D kenttämittauksena happimittarilla Ysi/malli 57 (Prolab Oy). Maavesinäytteitä otettiin vesinäytteenottoaikataulun mukaisesti, mutta näytteitä ei saatu kaikilta näytteenotokerroilta veden vähyyden vuoksi. Kasvihuoneella A orsivesiputkista ei saatu lainkaan näytteitä veden vähyyden vuoksi. Kasvihuoneella D 5.7.1999 pohjavettä oli putkissa vähän, joten kaikkiin määrittelyksiin ei riittänyt vettä (esim. alkaliniteetti). Kuitenkin torjunta-ainemittaukset pyrittiin tekemään joka näytteenotokerta.

## **4.4 Analyysimenetelmät**

### **4.4.1 Maanäytteiden, alfaselluloosalappujen ja käytäväkatteiden torjunta-ainepitoisuuden määrittäminen**

Kaikki näytteet säilytettiin käsittelyyn asti pakastimessa -20 °C:ssa. Nollanäytteenä oli kasvihuoneen lähistöltä hiekkakuopasta otettua maata. Sulatettu maanäyte sekoitettiin muovipussissa tasalaatuisiksi. Jokaisesta näytteestä tehtiin rinnakkaisnäyte. Näytteiden analysointi lopetettiin kasvihuoneella A malationin ja sen hajoamistuotteiden osalta 6.5.1998, koska näiden määritysten jälkeen pitoisuudet olivat määritysrajan alapuolella. Kasvihuoneella D viimeinen malationipitoisuuden tuloksista (2.-8.11.1999) hylättiin, koska määritykseen vaikutti 4.11.1999 kasvihuoneella tapahtunut malationiruiskutus. Ruiskutuksen ajaksi molempiin kasvihuoneisiin sijoitettiin näytteenottoon varattujen kolmen käytävän molempiin päihin kaksi alfaselluloosalappua, joiden pitoisuudet määritettiin välittömästi. Myös käytäväkatteista määritettiin torjunta-ainepitoisuudet. Torjunta-ainepitoisuudet määritettiin mukaillen Luke ym. (1975, 1981) menetelmiä.

Maanäytteiden torjunta-ainepitoisuusmäärityksessä laskettiin menetelmän saanto, toistettavuus ja lineaarisuusalue. Lisäksi laskettiin menetelmän toteutus- ja määritysraajat. Kuvien piirtämisessä käytettiin SigmaPlot® 5.0 -ohjelmistopakettia. Tilastollisessa käsittelyssä käytettiin SigmaStat® 2.0- ja SPSS® Base 9.0 -ohjelmistopaketteja.

#### 4.4.2 Vesinäytteiden torjunta-ainepitoisuuden määrittäminen

Pohjavesiputkista otetuissa nollanäytteissä ei havaittu torjunta-aineita. Torjunta-ainepitoisuudet määritettiin mukaillen Luke ym. (1975, 1981) menetelmiä. Myös vesinäytteiden torjunta-ainepitoisuusmäärittämisissä laskettiin samat menetelmän validointiparametrit kuin kohdassa 4.4.1 on mainittu maanäytteiden osalta.

Osa kasvihuoneen D pohjavesinäytteistä sisälsi hiekkaa, joka poistettiin dekantoinnalla. Vesinäytteiden analysointi lopetettiin kasvihuoneella A 17.11.1998 ja kasvihuoneella D 7.6.1999, koska näytteistä ei enää löytynyt malationia tai iprodionia.

#### 4.4.3 Kaasukromatografiset määrittämiset

Iprodionianalytiikassa käytetty kaasukromatografi oli HP 5890 varustettuna EC-detektorilla. Laitteeseen oli yhdistetty automaattinen näytteensyöttäjä (HP 7673). Kokonaisajoaika iprodionille oli 30 minuuttia.

Malationianalytiikassa käytetty kaasukromatografi oli HP 5890 varustettuna FPD-detektorilla (P-moodi). Näytteensyöttäjänä oli HP 7673A. Kokonaisajoaika malationille oli 23,5 minuuttia.

#### 4.4.4 Ravinnepitoisuuksien määrittämiset ja veden laatumittaukset

Pohjavesinäytteistä määritettiin typen ja ammoniumtypen sekä nitriitti/nitraattityypen, fosforin ja fosfaattifosforin pitoisuuksia taulukossa 4 esitettyjen standardimenetelmien mukaisesti. Lisäksi näytteistä määritettiin pohjaveden lämpötila ja happipitoisuus kenttämittauksena sekä pH, sameus, sähkönjohtokyky, alkaliniteetti ja väri laboratoriossa. Kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden sameus määritettiin vain yhden kerran tutkimussuunnitelman mukaisesti. Hapen kyllästysaste laskettiin happipitoisuuden ja lämpötilan perusteella. Mittaukset ja määrittämiset tehtiin, kun hiekka oli dekantoitu näytteistä, jotka sisälsivät hiekkaa. Koska suurin osa tyyppistä oli nitraattityypinä käytetään nitriitti/nitraattityypipitoisuuden määrittämisestä tekstissä jatkossa termiä nitraattityypipitoisuus. Kokonaistyyppi- ja

Taulukko 4. Pohjaveden laatua kuvaavat ominaisuudet ja niiden standardimenetelmät.

Analyysi	Tunnus/ PARNCC-koodi	Yksikkö	Standardi
Fosfori	kok.P (PTOT_NS)	µg P-l-l	SFS 3026
Fosfaatti	PO4-P (PO4P_NS)	µg P-l-l	SFS 3025
Typpi	kok.N (NTOT_NA)	µg N-l-l	SFS 3031
Ammoniumtyppi	NH4-N (NH4N_NS)	µg N-l-l	SFS 3032
Nitriitti-nitraattityppi	NO2+NO3-N (NO23N_NA)	µg N-l-l	SFS-EN ISO 13395
Happi	O <sub>2</sub> -pit. (O <sub>2</sub> _DTP) ja (O <sub>2</sub> _STP)	mg O <sub>2</sub> l <sup>-1</sup> ja %	SFS-EN 25813
pH	pH (PH_L25)		SFS 3021
Alkaliniteetti	alk. (ALK_NP42)	mmol	vesitkm.tsto 1972
Sähkönjohtokyky	(CTY_L25)	mS/m	SFS 27888
Lämpötila	lt.	°C	kenttämittaus
Väri	(CNR_NC, CNR_CC)	Pt mg/l	SFS 3023
Sameus	(TBY_SNT)	FNU	SFS-EN 27027



kokonaisfosforipitoisuudesta käytetään jatkossa termejä typpi- ja fosforipitoisuus. Sameuden poistamiseksi osa kasvihuoneen D näytteistä esikäsiteltiin suodattamalla (Whatman GF/C, 1  $\mu\text{m}$ ). Suodatuksessa osa ravinteista poistui näytteestä. Suodatettujen näytteiden tulokset esitettiin erikseen, koska suodatus vaikutti ravinnananalytiikkaan, lukuunottamatta ammonium- ja nitraattitypen pitoisuuksia. Kuvien piirtämisessä käytettiin Excel -ohjelmaa.

#### **4.4.5 Maaperän kosteuden, mikrobibiomassan ja adsorptiokertoimen sekä puoliintumisajan määrittäminen**

Maaperän kosteuden (%) määrittämistä varten näytteitä pidettiin lämpökaapissa 105 °C:ssa vuorokauden ajan. Näytteet punnittiin ennen ja jälkeen lämpökaappikäsitelyä. Määrittäminen tehtiin välittömästi näytteenoton jälkeen.

Adsorptiokertoimen ( $K_d$ ) määrittämiseksi käytetty menetelmä on Urenan & Garrattin (1999) julkaisun mukainen. Mallintamiseen oleellisena osana kuuluvat hajoamiskerroin,  $k$  ( $\text{vrk}^{-1}$ ), puoliintumisaika,  $DT_{50}$  (vrk) ja mikrobibiomassa ( $\text{mg/g ka.}$ ) määritettiin Newcastle'n yliopistossa, Englannissa. Määrittäminen tehtiin kasvihuoneen A näytteistä aineiston häiriintymättömyyden vuoksi. Lisäksi kasvihuoneelta A kootun aineiston katsottiin riittävän mallintamiseen.

#### **4.4.6 Tilastomenetelmät ja mallintaminen**

Tilastolliset tarkastelut rajattiin koskemaan pääasiassa torjunta-aineiden kulkeutumista ja muuntumista maaperässä. Torjunta-aineiden kulkeutumisen ja hajoamisen ollessa hyvin erilaista maaperän eri syvyysvyöhykkeissä ei lineaarisesta mallisovitetusta voitu käyttää ennusteyhtälöiden laadinnassa. Parhaiten torjunta-aineen muuntumista kuvaava funktio  $y = y_0 + ae^{-bx}$  valittiin isosta malliperhejoukosta ja oli siten kokonaisuudessaan paras yhteistä muuntumista ja kulkeutumista kuvaava epälineaarinen regressio. Vastaavasti maaperästä mitattujen absoluuttisten pitoisuusarvojen lisäksi muodostettiin polynomisovite torjunta-aineiden suhteelliselle häviämiseksi (%-häviö) ajan suhteen. Aineiston selkeyttämiseksi alkuperäisestä maaperäaineistosta muodostettiin uusi havaintomatriisi yhdistäen kuuden mittaussyvyyden tulokset neljään syvyysvyöhykkeeseen (0-10 cm, 10-30 cm, 30-100 cm ja 100-200 cm). Torjunta-aineiden pitoisuuksien (pidättymisen) eroja kussakin syvyysvyöhykkeessä ja maaperänäytepisteissä tarkasteltiin Kruskal-Wallis-testillä yksisuuntaisella varianssianalyysillä. Tutkittavien ryhmien osoittaessa tilastollisesti merkittävää poikkeavuutta paikallistettiin ryhmän sisäiset erot havaintoaineiston epäsymmetrisyyden huomioonottavalla Dunn'in parivertailutestillä, jossa yksittäistä havaintoryhmää verrataan kaikkien ryhmien aritmeettiseen keskiarvoryhmään.

Lopullisten tulosten perusteella laaditaan malli torjunta-aineiden kulkeutumisesta pohjoisissa olosuhteissa. Suomen tulokset on toimitettu Newcastle'n yliopistoon ja mallintaminen on aloitettu. Mallintamistyö raportoidaan erikseen.

# 5

## Tulokset

### 5.1 Ympäristöolosuhteet kasvihuoneilla

#### 5.1.1 Sisäilmasto

Kasvihuoneella A ilman lämpötila ja valon määrä talvilepokaudella olivat pienempiä kuin viljelyn aikana (taulukko 5). Sisäilmastotiedot kasvihuoneen D osalta puuttuvat jaksolta 1.3.1999-1.11.1999 ITU-computer-laitteeseen (asennus 23.11.1998) tulleen vian vuoksi

Taulukko 5. Kasvihuoneiden sisäilmaston olosuhteet.

Vuosi	Kuukausi	Kasvihuone A (600 m <sup>2</sup> )			Kasvihuone D (500 m <sup>2</sup> )		
		Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Valomäärä (W/m <sup>2</sup> )	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Valomäärä (W/m <sup>2</sup> )
1997 <sup>a</sup>	Marraskuu	15,1	79,6	13,0			
1997 <sup>a</sup>	Joulukuu	10,9	79,0	4,5			
1998 <sup>a</sup>	Tammikuu	9,8	78,7	8,3			
1998 <sup>a</sup>	Helmikuu	17,1	67,5	49,7			
1998	Maaliskuu	19,3	73,5	158,5			
1998	Huhtikuu	19,5	64,2	284,8			
1998	Toukokuu	20,0	67,9	251,3			
1998	Kesäkuu	21,4	66,9	289,9			
1998	Heinäkuu	24,5	53,5	419,7			
1998	Elokuu	19,9	75,8	155,4			
1998	Syyskuu	20,7	75,7	156,3			
1998	Lokakuu	19,4	80,7	79,9			
1998 <sup>b</sup>	Marraskuu	16,7	77,1	33,4	11,7	53,2	0,2
1998 <sup>b</sup>	Joulukuu	9,9	85,0	2,0	9,5	57,2	0,1
1999 <sup>b</sup>	Tammikuu	14,4	64,5	12,8	7,7	58,3	0,2
1999 <sup>a,b</sup>	Helmikuu	18,3	51,0	65,0	7,4	57,7	0,5

a = talvilepokausi (1.11.1997-20.2.1998) kasvihuoneella A

b = talvilepokausi (1.11.1998-20.2.1999) kasvihuoneella D

\* = mittausta ei tehty laitevian vuoksi 1.3.1999-1.11.1999

#### 5.1.2 Pohjavesipinnan taso ja sääolosuhteet

Kasvihuoneen A pohjavesipinnan taso havaintojakson 6.11.1997-17.11.1998 aikana oli pohjavesiputkissa 1-4 keskimäärin 9,9 m (8,9-10,7) (taulukko 6). Pohjavesipinnan taso putkissa oli tammi-huhtikuun aikana keskimäärin 10,2 m ja kesä-elokuun aikana keskimäärin 9,8 m sekä touko-marraskuun aikana keskimäärin 9,7 m. Kasvihuoneella D pohjavesipinnan taso havaintojakson 28.10.1998-1.11.1999 aikana oli keskimäärin 1,9 m (1,0-2,9).

Rissalan lentoaseman sääaineiston perusteella kesä-elokuun 1998 sademäärä oli noin kaksinkertainen vastaavan vuoden 1999 jakson sademäärään verrattuna. Itä-Suomessa satoi vuonna 1998 110-120 % pitkän ajan vuotuisesta keskiarvosta (Hyvärinen 1998). Sateisimpia kuukausia olivat tammi-, helmi-, kesä-, heinä-, elokuu ja lokakuu. Vuoden 1998 aikana edellisenä vuonna muodostunut pohjavesivaje täyttyi. Alkuvuoden aikana pienissä ja keskisuurissa esiintymisissä pohjaveden pinta nousi 5-60 cm ajankohdan keskiarvon yläpuolelle. Maaperä oli hyvin märkä kesällä ja lokakuun lopussa.

Taulukko 6. Lentoeseman (Kuopio) keskimääräinen lämpötila (°C) ja sademäärä (mm) sekä kasvihuoneiden pohjavesipinnan taso (m) maan pinnalta mitattuna.

Vuosi	Rissalan lentoasema			Kasvihuone A	Kasvihuone D
	Kuukausi	Lämpötila (°C)	Sademäärä (mm)	Pohjavesipinta (m) (putket 1-4)	Pohjavesipinta (m) (putket 1-6)
1997	Marraskuu	-2,9	46,8	9,8	
1997	Joulukuu	-6,6	153	10,2	
1998	Tammikuu	-4,5	346	10,2	
1998	Helmikuu	-10,6	365	10,2	
1998	Maaliskuu	-3,5	171	10,2	
1998	Huhtikuu	3,9	132	10,3	
1998	Toukokuu	11,0	272	9,9	
1998	Kesäkuu	15,8	669	9,9	
1998	Heinäkuu	19,6	577	9,8	
1998	Elokuu	15,2	509	9,7	
1998	Syyskuu	12,8	162	9,7	
1998	Lokakuu	5,8	400	9,7	1,4
1998	Marraskuu	-3,7	89	9,5	1,8
1998	Joulukuu	-6,4	278		2,3
1999	Tammikuu	-11,0	183		-
1999	Helmikuu	-9,1	260		2,4
1999	Maaliskuu	-1,2	118		2,6
1999	Huhtikuu	7,5	72		1,9
1999	Toukokuu	10,0	181		1,5
1999	Kesäkuu	19,9	260		1,6
1999	Heinäkuu	20,5	345		1,6
1999	Elokuu	16,8	234		1,7
1999	Syyskuu	16,1	86		2,0
1999	Lokakuu	5,5	74,1		2,0
1999	Marraskuu	-0,7	42,5		2,1

'-' = mittausta ei tehty pohjavesiputkien veden vähyyden vuoksi

### 5.1.3 Maaperän ominaisuudet

Kasvihuoneella A pintamaassa ei ollut varsinaista humuskerrosta (Breilin 2000). Turvepaakuista karissutta turvetta oli kuitenkin kertynyt pintamaahan. Hiedasta koostuva täyttömaa muodosti noin metrin paksuisen pintakerroksen. Täyttömaan alla maakerrokset koostuivat pääasiassa hienosta hiedasta. Maakerroksissa esiintyi syvemmällä myös hiesua ja jopa savea ohuina välikerroksina. Syvemmällä lähellä pohjavesipintaa ja sen alapuolella maaperä koostui hiekasta.

Aivan maan pinnassa (0-10 cm) noin 65 % maahiukkasista oli halkaisijaltaan alle 0,2 mm. Pintamaan (0-30 cm) savipitoisuus vaihteli kasvihuoneella A 0-0,9 %. Lähes 90 % maaperästä 0-50 cm:n syvyydellä koostui halkaisijaltaan alle 0,2 mm:n maahiukkasista. Maalajin rakeisuuskoostumuksen määrittämisen perusteella syvempien maakerrosten hienohieta- ja hiesulajitteiden osuus oli keskimäärin 39,5 %. Savea maanäytteissä esiintyi keskimäärin 3,4 %. Maan tiheys oli keskimäärin 2709 kg/m<sup>3</sup>. Vedenjohtavuudet vaihtelivat hiedasta koostuvassa täyttömaassa välillä  $2,1 \times 10^{-6}$ - $7,5 \times 10^{-7}$  ja välittömästi sen alapuolella noin 1-2 metrin syvyydessä välillä  $1,2 \times 10^{-7}$ - $9,9 \times 10^{-8}$ . Täyttömaakerroksen alapuolella, jossa karkeammat ja hienommat kerrokset vaihtelivat oli vedenjohtavuus kerrosten suunnassa parempi ja kerrosten läpi alaspäin heikompi. Vajoveden liikkeisiin vaikuttivat myös kerroksellisen rakenteen kohti pohjoista viettävät maakerrokset.

Maanäytteiden vesipitoisuuden vaihteluväli oli suuri, 6,7-21,0 %. Kastelusta, sadannasta ja maalajin rakeisuuskoostumuksesta riippuva vesipitoisuus oli keskimäärin 14,0 %. Sekä hienoinen- että vesipitoisuus lisääntyivät maaperässä syvemmälle mentäessä. Potentiometrisen pH-määrittämisen mukaan maaperä oli lievästi hapanta. Vesiutolla keskimääräiseksi pH:ksi saatiin 6,0 ja 1 M KCl-utolla 4,8. Ero johtunee ammonium- tai vetyionin vaihtumisesta kaliumioniin. Orgaani-

sen hiilen pitoisuus pintamaassa vaihteli 0,1-2,0 % ja syvemmällä 0,1-0,3 %. Keskimäärin pitoisuus oli 0,7 %. Kationinvaihtokapasiteetti (meq/100 g) vaihteli maanäytteissä melko paljon. Keskimäärin se oli maakerroksissa 0-1,0 m noin 2,2 meq/100 g. Kationinvaihtokapasiteetti selitti uuttamalla saatua pH:ta.

Myöskään kasvihuoneella D pintamaassa ei ollut varsinaista humuskerrosta (Breilin 2000). Kasvihuoneen rakentamisen yhteydessä pintamaa vaihdettiin täyttömaahan noin 1,2 metrin syvyyteen ja täyttömaakerrokseen asennettiin salaojaputkisto. Täyttömaan koostumus oli soraista hiekkaa. Tämän alapuolella maaperä koostui lähelle kallionpintaa pääosin hienosta hiedasta ja hiesusta. Noin kahden metrin syvyydessä oli myös 20-30 cm:n lustosavikerros. Lähellä kallion pintaa oli ohuita vettä johtavia hiekkakerroksia ja moreenia.

Yli 90 % pintamaasta (0-20 cm) koostui halkaisijaltaan alle 0,2 mm:n maahiukkasista. Hieman syvemmällä, 20-40 cm:ssä 55-75 % maaperästä koostui alle 0,6 mm:n maahiukkasista. Maalajin rakeisuuskoostumuksen määrittämisen perusteella syvempien maakerrosten hienohieta- ja hiesulajitteiden osuus (halkaisija 0,002-0,06) oli pienempi kuin kasvihuoneella A, keskimäärin 14,8 %. Savea (halkaisija < 0,002 mm) maanäytteissä esiintyi hyvin vähän, keskimäärin 3,1 %.

Täyttömaakerroksen vedenjohtavuudet vaihtelivat välillä  $1,4 \times 10^{-6}$  -  $7,1 \times 10^{-6}$ . Täyttömaakerroksen alla hienoainepitoisemman maan vedenjohtavuudet vaihtelivat välillä  $1,2 \times 10^{-9}$  -  $4,8 \times 10^{-9}$ . Täyttömaakerros johti vettä syvemmällä otettuja näytteitä paremmin, koska syvemmällä maalajien hienoainepitoisuus oli selvästi korkeampi. Maan tiheys oli keskimäärin  $2656 \text{ kg/m}^3$ . Maanäytteiden vesipitoisuuden vaihteluväli oli 1,7-10,1 %. Vesipitoisuus oli keskimäärin 6,5 %. Potentiometrisen pH-määrittämisen tulos vesiuutolla oli keskimäärin 6,6 ja 1 M KCl-uutolla 5,2. Orgaanisen hiilen pitoisuus oli pienempi (0,4 %) kuin kasvihuoneella A. Pintamaassa pitoisuudet vaihtelivat 0,05-1,0 %. Kationinvaihtokapasiteetti (meq/100 g) vaihteli maanäytteissä hyvin vähän. Keskimäärin se oli maakerroksissa 0-1,0 m noin 2,3 meq/100 g. Vain kahdessa yhdistetyssä näytteessä kationinvaihtokapasiteetti kohosi yli 3,3 meq/100 g.

## **5.2 Torjunta-aineiden pitoisuudet**

Maaperästä ja pohjavedestä ennen torjunta-aineiden ruiskutusta otetut nollanäytteet olivat puhtaita tutkittavista torjunta-aineista kummallakin kasvihuoneella. Ruiskutuksen jälkeen maanäytteet, alfaselluloosalaput ja käytäväkatteet sisälsivät molemmilla kasvihuoneilla torjunta-aineita ja niiden hajoamistuotteita. Pohjavesi- ja maavesinäytteissä torjunta-aineita esiintyi vain kasvihuoneella D.

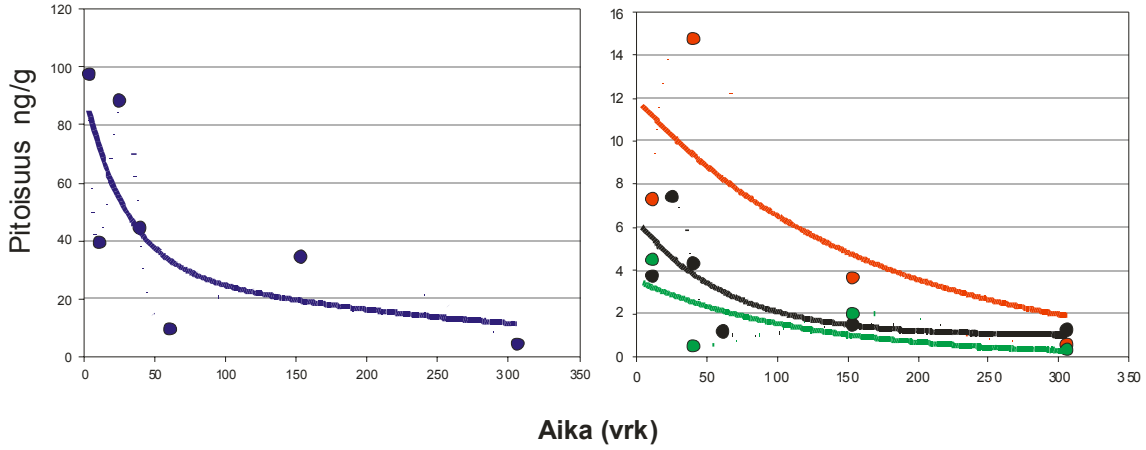
### **5.2.1 Iprodioni**

#### **5.2.1.1 Maanäytteet ja alfaselluloosalaput**

Kuvissa 3-6 on esitetty malationin ja iprodionin pitoisuudet maaperässä. Kasvihuoneella D pintamaasta otetussa näytteessä iprodionipitoisuus oli 13 vuorokauden kuluttua ruiskutuksesta keskimäärin suurempi kuin kolmen vuorokauden kuluttua otetussa näytteessä. Toisinaan samana päivänä otettujen maanäytteiden iprodionipitoisuuksien vaihteluväli oli suuri. Iprodionin hajoamistuotetta, 3,5-dikloorianiliinia ei havaittu näytteissä.

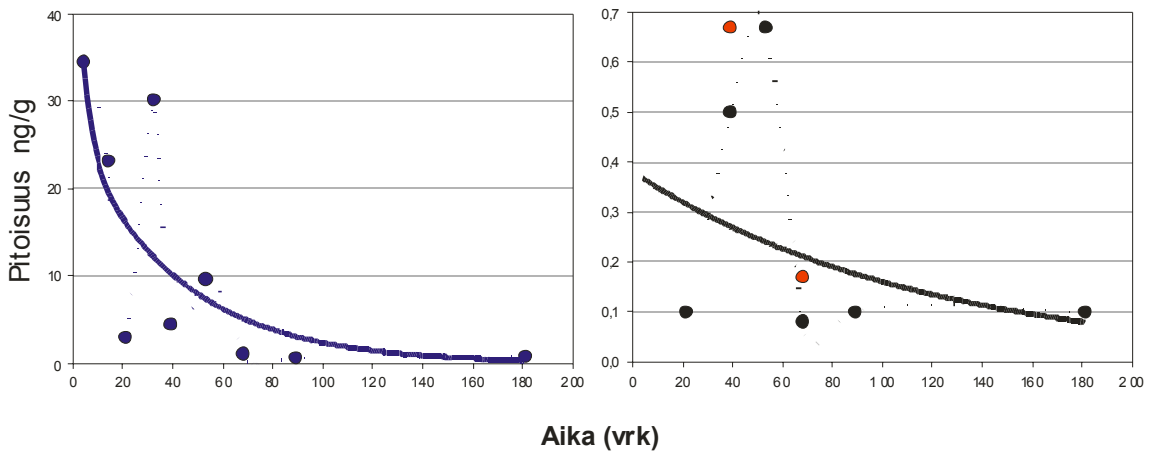
Iprodionin pitoisuus maaperässä, kasvihuone A

$$y = y_0 + ae^{-bx} \text{ (exponential decay)}$$



Malationin pitoisuus maaperässä, kasvihuone A

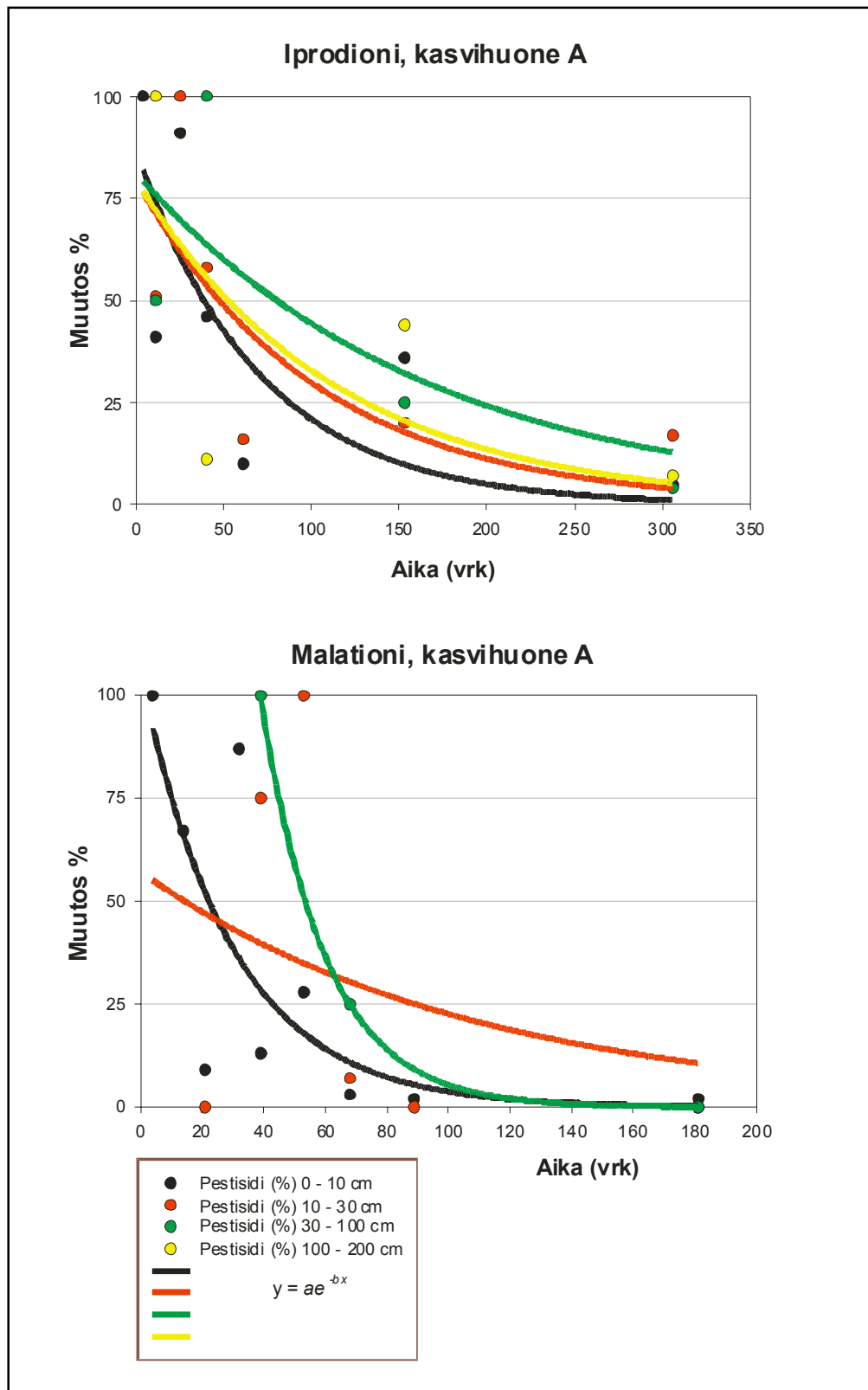
$$y = y_0 + ae^{-bx} \text{ (exponential decay)}$$



● Mittaussyvyys 0 - 10 cm

● Mittaussyvyys 10 - 30 cm  
 ● Mittaussyvyys 30 - 100 cm  
 ● Mittaussyvyys 100 - 200 cm

Kuva 3. Maaperän iprodionin ja malationin pitoisuuksien yhtälön  $y = y_0 + ae^{-bx}$  kuvaajat kasvihuoneella A syvyytasoittain.



Kuva 4.

Ylä: Iprodionipitoisuuden %-muutos maanäytteissä ajan (vrk) funktiona kasvihuoneella A.

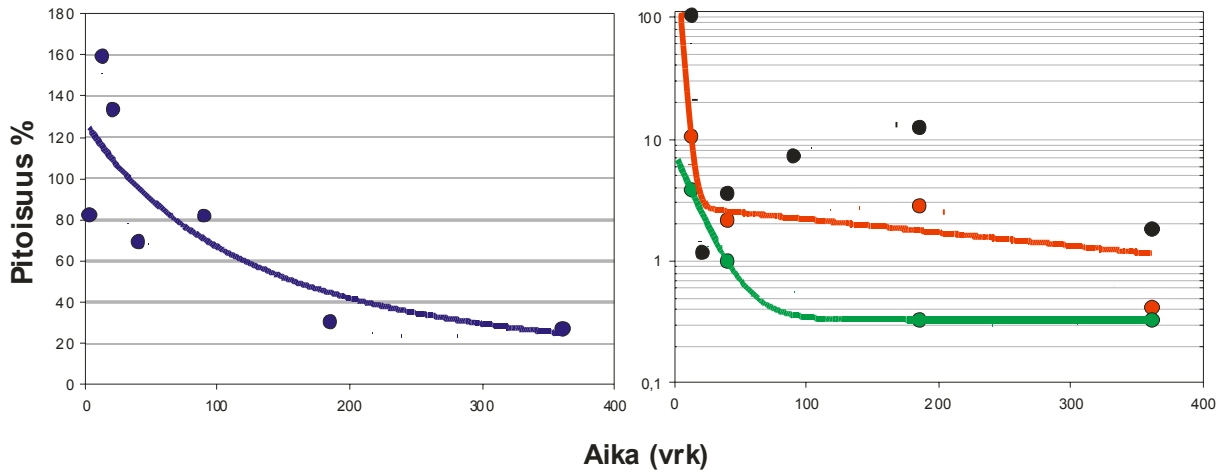
Yhtälömallin  $y = ae^{-bx}$  selitysasteet ( $r^2$ ) 0-10 cm = 53 %, 10-30 cm = 49 %, 30-100 cm = 59 % ja 100-200 cm = 40 %.

Ala: Malationipitoisuuden %-muutos maanäytteissä ajan (vrk) funktiona kasvihuoneella A.

Yhtälömallin  $y = ae^{-bx}$  selitysasteet ( $r^2$ ) 0-10 cm = 60 %, 10-30 cm = 12 %, 30-100 cm = 99 %.

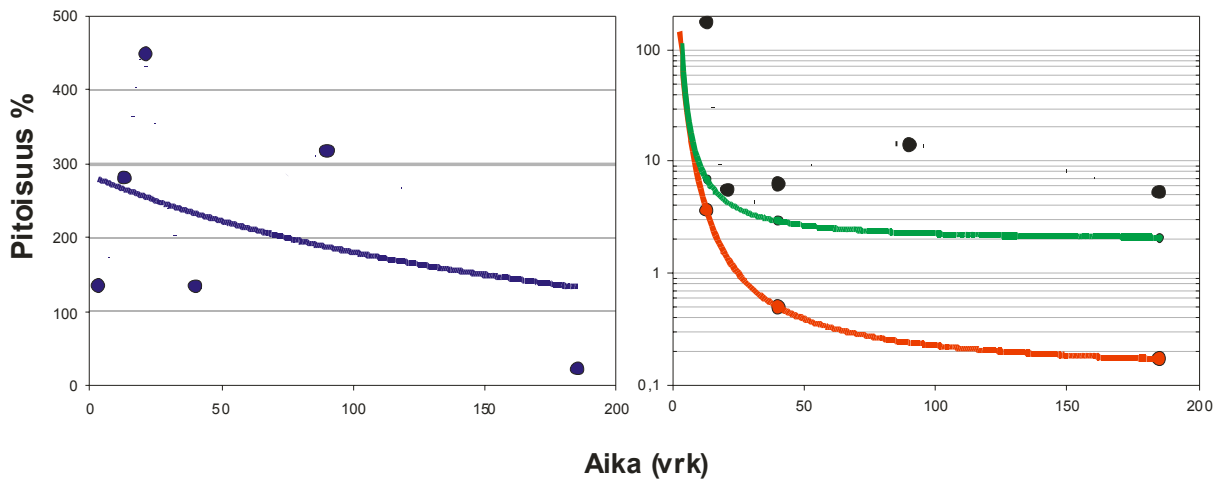
### Iprodionin pitoisuus maaperässä, kasvihuone D

$$y = y_0 + ae^{-bx} \text{ (exponential decay)}$$



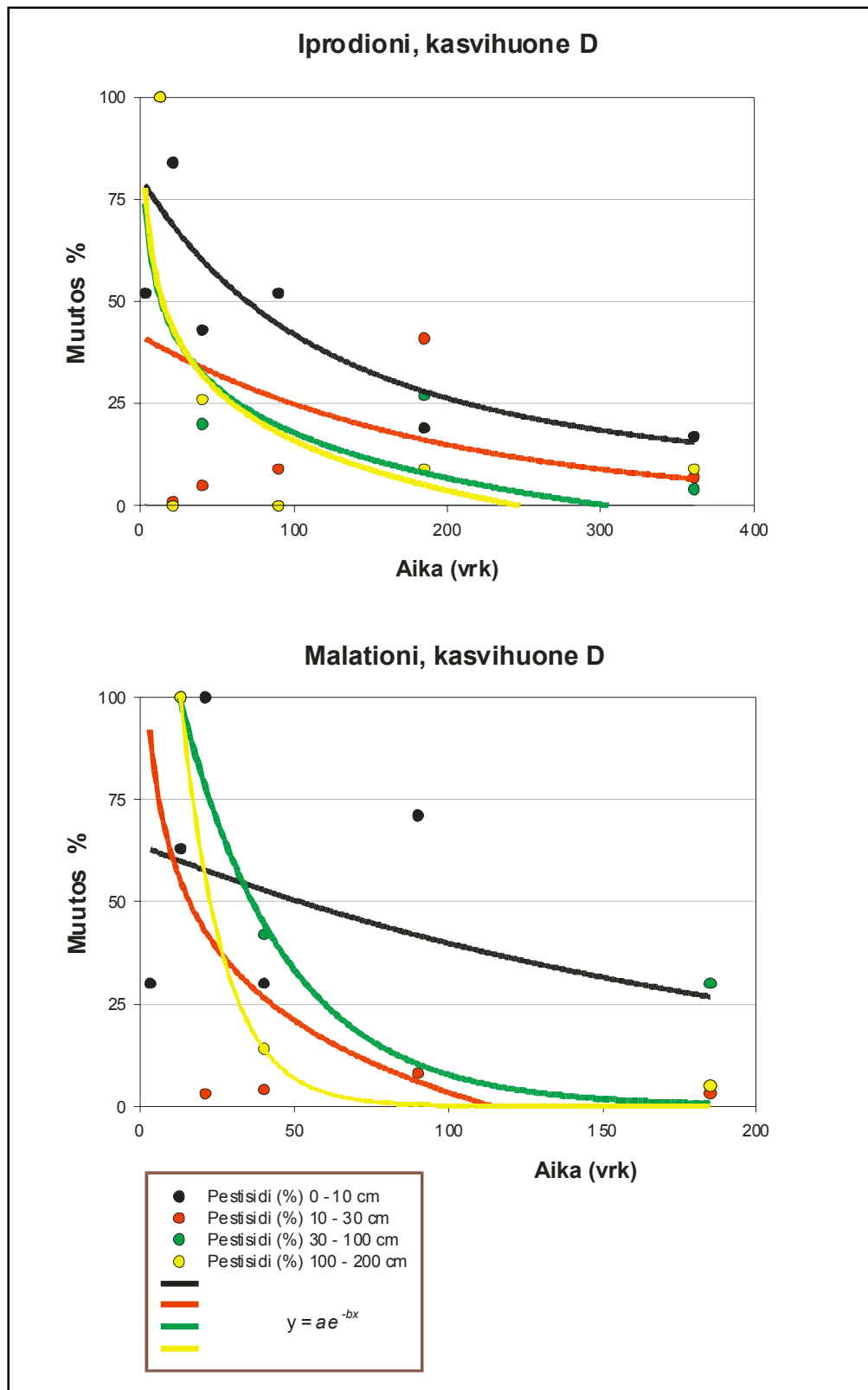
### Malationin pitoisuus maaperässä, kasvihuone D

$$y = y_0 + ae^{-bx} \text{ (exponential decay)}$$



- Mittausvyvyys 0 - 10 cm
- Mit taussyvyys 10 - 30 cm
- Mit taussyvyys 30 - 100 cm
- Mit taussyvyys 100 - 200 cm

Kuva 5. Maaperän iprodionin ja malationin pitoisuuksien yhtälön  $y = y_0 + ae^{-bx}$  kuvaajat kasvihuoneella D syvyytasoittain.



Kuva 6.

Ylä: Iprodionipitoisuuden %-muutos maanäytteissä ajan funktiona (vrk) kasvihuoneella D.

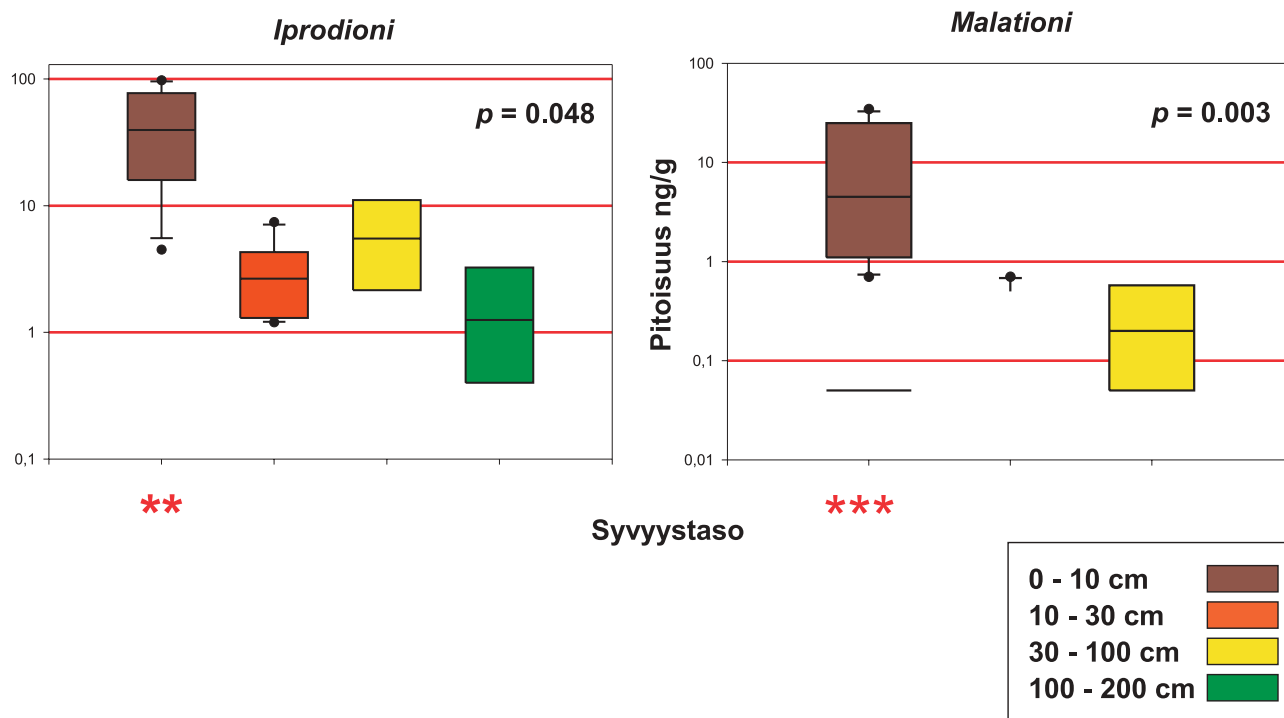
Yhtälömallin  $y = ae^{-bx}$  selityksasteet ( $r^2$ ) 0-10 cm = 63 %, 10-30 cm = 9 % ja 30-100 cm = 29 % ja 100-200 cm = 35 %.

Ala: Malationipitoisuuden %-muutos maanäytteissä ajan funktiona (vrk) kasvihuoneella D.

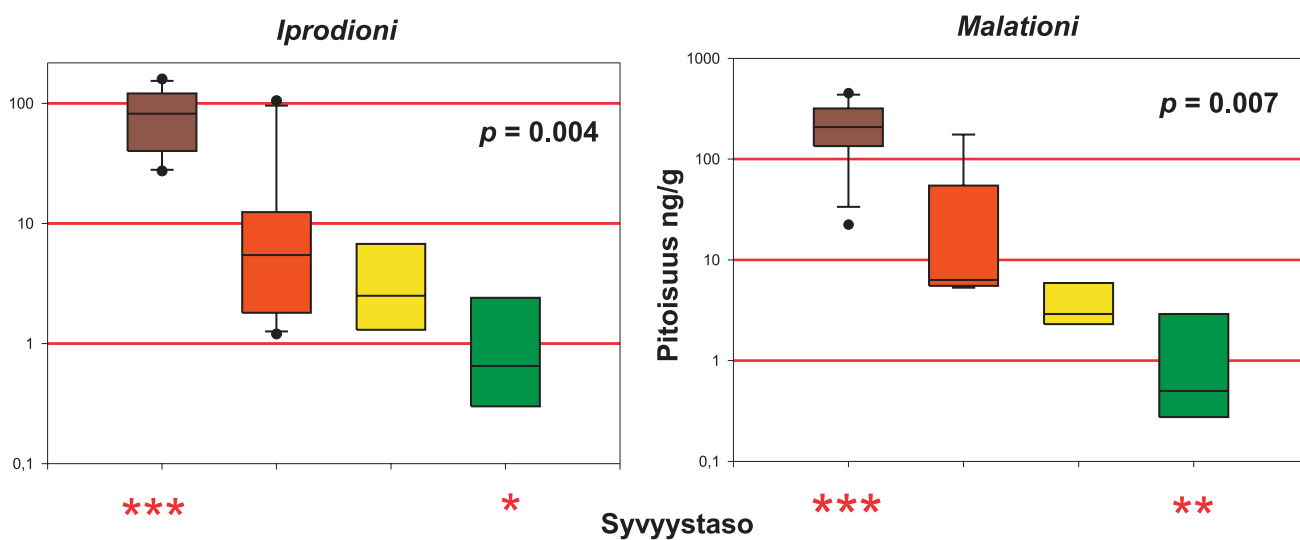
Yhtälömallin  $y = ae^{-bx}$  selityksasteet ( $r^2$ ) 0-10 cm = 20 %, 10-30 cm = 40 %, 30-100 cm = 69 % ja 100-200 cm = 99 %.



# Kasvihuone A

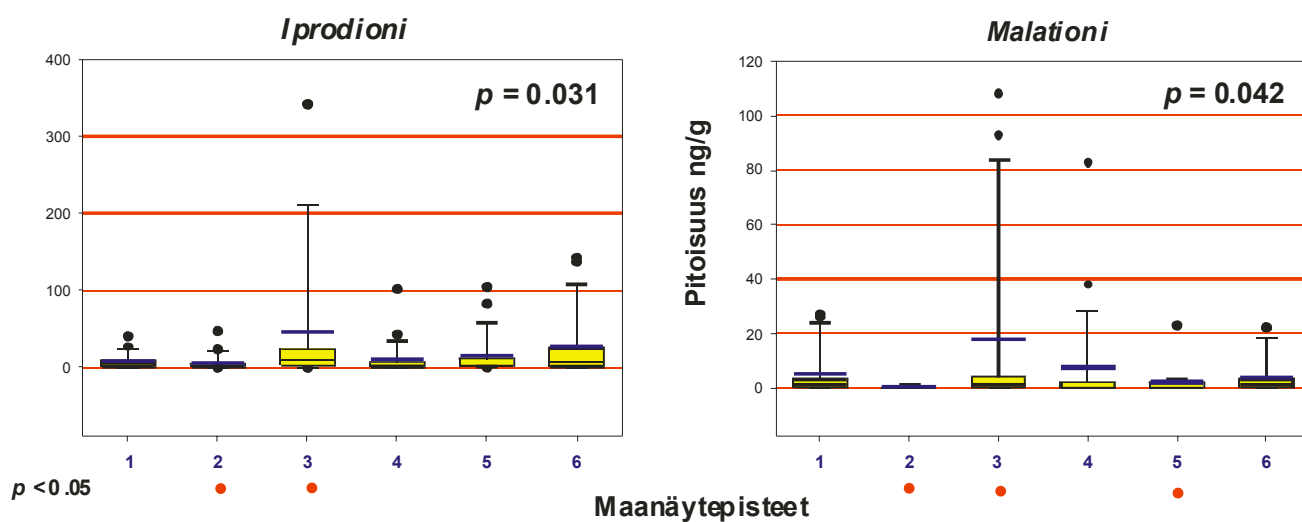


# Kasvihuone D

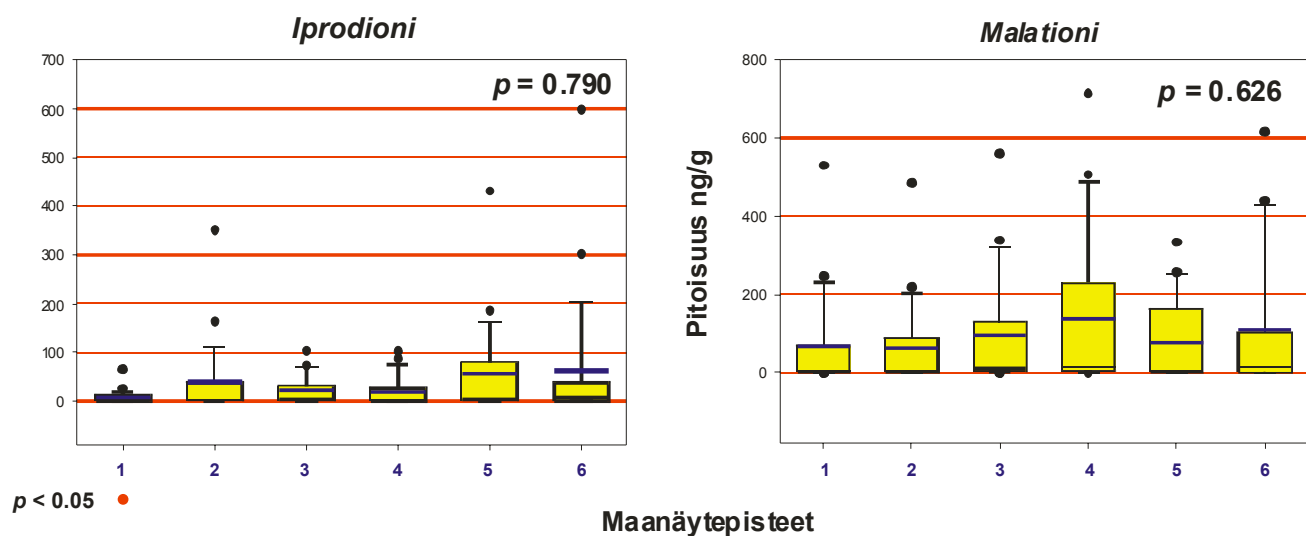


Kuva 7. Syvyytasoittaiset iprodionin ja malationin pitoisuudet kasvihuoneella A ja D (log-asteikko). Punaiset tähdet osoittavat ryhmän tilastollisen poikkeavuuden kaikkien ryhmien yleiskeskisarvoon.

## Kasvihuone A



## Kasvihuone D



Kuva 8. Kasvihuoneen A ja D iprodionin ja malationin pitoisuudet eri maanäytepisteissä. Punainen pallo maanäytepisteen alapuolella osoittaa tilastollisesti merkittävän eron ( $p < 0.05$ ) ko. näytepisteen ja kaikkien näytepisteiden keskiarvon välillä.

Iprodionia esiintyi molemmilla kasvihuoneilla enimmäkseen pinta-maassa. Kokonaisuudessaan iprodionipitoisuuksille eri syvyytstasojen välillä voitiin osoittaa tilastollinen eroavaisuus. Ero kasvihuoneella A oli tilastollisesti melkein merkitsevää (\*,  $p = 0.048$ ,  $n = 32$ ) ja kasvihuoneella D tilastollisesti merkitsevää (\*\*,  $p = 0.004$ ,  $n = 28$ ). Pidättyminen pintamaahan (0-10 cm) oli erityisen voimakasta ja pintamaan iprodionipitoisuudet poikkesivatkin muista tutkituista syvyytstasoista kasvihuoneella A tilastollisesti merkitsevästi \*\*,  $p = 0.009$  ja kasvihuoneella D tilastollisesti erittäin merkitsevästi ( $p = 0.000$ ) (kuva 7, liite 6). Kaikki mittaussajankohdat ja syvyytstasot mukaan lukien eri maanäytepisteet iprodionin osalta erosivat toisistaan kasvihuoneella A tilastollisesti melkein merkittävästi (\*,  $p = 0.031$ ,  $n = 168$ ). Maanäytepisteiden 3 pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin kaikkien maanäytepisteiden keskimääräiset pitoisuudet (kuva 8). Kasvihuoneella D eri maanäytepisteiden iprodionipitoisuudet eivät poikenneet keskenään ( $p = 0.790$ ,  $n = 164$ ), joskin erot oletettavasti peittyivät huomattavaan ajalliseen ja paikalliseen (syvyytstasot) vaihteluun.

Kaikille syvyytstasoille muodostettiin yhteinen malliyhtälö (kuvat 3-6). Selitysaste ( $r^2$ ) kertoo kuinka suuren osan malliyhtälöllä voidaan selittää systemaattisesta vaihtelusta eli kuinka hyvin yhtälömalli  $y = y_0 + ae^{-bx}$  sopii esitettyyn havaintoaineistoon kunkin torjunta-aineen kohdalla. Jäännösosuus puolestaan kertoo selittämättömän (epäennustettavan) vaihtelun. Esimerkiksi pintamaassa (0-10 cm) kasvihuoneella D malli sopi kohtuullisesti iprodioniaineistoon, koska keskimääräinen selitysaste oli 68 %. Sitä vastoin kerrosta alempana (10-30 cm) selitysaste jää vain 9 %:iin. Iprodioni oli jakautunut maaperään hyvin epätasaisesti ja eri maakerrosten mallin selitysasteet vaihtelevat siten melkoisesti.

### 5.2.1.2 Pohjavesinäytteet

Kasvihuoneella A iprodionia ei havaittu pohjavesinäytteissä. Kasvihuoneella D iprodionia havaittiin pohjavesinäytteissä (taulukko 7). Kasvihuoneen D sisällä olevissa pohjavesiputkissa 4-6 torjunta-ainetta esiintyi pitempään kuin kasvihuoneen ulkopuolella olevissa pohjavesiputkissa. Puolen vuoden kuluttua ruiskutuksesta iprodionia ei enää havaittu.

Taulukko 7. Iprodionipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) pohjavesi- ja maavesinäytteissä kasvihuoneella D.

Ruiskutus: 6.11.1998 Aika ruiskutuksesta	Iprodionipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) pohjavesinäytteissä					Iprodionipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) maavesinäytteissä				
	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min
13 vrk (19.11.1998)	6	0,26	0,25	0,64	0,00	0	-	-	-	-
40 vrk (16.12.1998)	6	0,57	0,52	1,36	0,04	2	0,00	0,00	0,00	0,00
68 vrk (13.1.1999)	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-
90 vrk (4.2.1999)	6	0,63	1,09	2,68	0,00	3	0,05	0,06	0,12	0,00
118 vrk (4.3.1999)	1	0,00	-	0,00	0,00	1	0,00	-	0,00	0,00
152 vrk (7.4.1999)	6	0,39	0,58	1,48	0,00	2	0,00	0,00	0,00	0,00
185 vrk (11.5.1999)	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-	-	-	-
213 vrk (7.6.1999)	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-	-	-	-

<sup>1</sup> = näytettä pohjavesiputkista ei saatu veden vähyden vuoksi

ka. = keskiarvo    sd. = keskihajonta

n = havaintojen lukumäärä

## 5.2.2 Malationi

### 5.2.2.1 Maanäytteet, alfaselluloosalaput ja käytäväkatteet

Neljän vuorokauden kuluttua ruiskutuksesta malationia oli kasvihuoneen A pintamaassa (0-10 cm) keskimäärin 35 ng/g ja neljäntoista vuorokauden kuluttua 23 ng/g sekä 89-181 vuorokauden kuluttua ruiskutuksesta keskimäärin alle 1 ng/g. Syvemmällä (30-200 cm) malationia ei juurikaan esiintynyt. Malaoksonin pitoisuudet olivat molemmilla kasvihuoneilla hyvin pieniä (liite 8). Isomalationia havaittiin pieniä määriä kasvihuoneen D maanäytteissä (liite 9).

Samoin kuin iprodionin kohdalla havaittiin malationipitoisuuksien olevan selvästi suurimmat pinta-maassa ja eri syvyystasojen välillä havaitut erot ovat tilastollisesti merkitseviä kasvihuoneella A (\*\*,  $p = 0.003$ ,  $n = 25$ ) ja kasvihuoneella D (\*\*,  $p = 0.007$ ,  $n = 28$ ). Malationia ei havaittu kasvihuoneella A enää syvyystasossa 100-200 cm. Pintamaan (0-10 cm) selvästi korkeampi malationipitoisuus poikkesi muiden syvyystasojen keskiarvosta tilastollisesti erittäin merkitsevästi molemmilla kasvihuoneilla (\*\*\*,  $p = 0.000$ ) (kuva 7, liite 7). Vastaavasti kasvihuoneen D syvyystason 100-200 cm pitoisuus oli juuri ja juuri mitattavissa ja poikkesi tilastollisesti merkittävästi keskiarvotasosta (\*\*,  $p = 0.008$ ). Kaikki mittausajankohdat ja syvyystasot mukaanlukien eri maanäytepisteet malationin osalta erosivat toisistaan kasvihuoneella A tilastollisesti melkein merkittävästi (\*,  $p = 0.042$ ,  $n = 108$ ). Aivan kuten iprodioninkin kohdalla maanäytepisteen 3 malationin pitoisuudet olivat selvästi korkeammat kuin kaikkien maanäytepisteiden keskimääräiset pitoisuudet (kuva 8). Kasvihuoneella D suuri ajallinen ja paikallinen (syvyystasot) pitoisuuksien vaihtelu ei kuitenkaan ilmennyt tilastollisesti merkittävänä eroina eri maanäytepisteiden välillä koko aineistoa tarkasteltaessa ( $p = 0.626$ ,  $n = 144$ ).

Yhtälö  $y = y_0 + ae^{-bx}$  sopii hyvin vaihtelevasti kuvaamaan syvyystasokohdasta pitoisuusennustetta. Esimerkiksi pintamaassa (0-10 cm) kasvihuoneella D malli (kts. 5.2.1.1) sopi malationiaineistoon melko huonosti, koska selitysaste oli vain 20 %. Syvemmällä maaperässä (100-200 cm) malli sopi todella hyvin, koska selitysaste oli lähes 100 % (kuvat 3-6). Ongelmana mallin laadinassa on varsinkin syvyystasojen 50-100 cm ja 100-200 cm aineiston pienuus sekä aineiston normaali-jakaumasta poikkeava muoto. Aineistojen jakaumat muistuttavatkin pitkälti negatiivista binomijakaumaa, jossa on mukana muutamia epäloogisen suuria "ääriarvoja".

### 5.2.2.2 Pohjavesinäytteet

Kasvihuoneella A malationia ei havaittu pohjavesinäytteissä. Kasvihuoneella D malationia havaittiin pohjavesinäytteissä (taulukko 8). Kasvihuoneen D sisällä olevissa pohjavesiputkissa 4-6 malationia esiintyi pitempään kuin kasvihuoneen ulkopuolella. Noin puolen vuoden kuluttua ruiskutuksesta ainetta ei enää havaittu.

Taulukko 8. Malationipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) pohjavesi- ja maavesinäytteissä kasvihuoneella D.

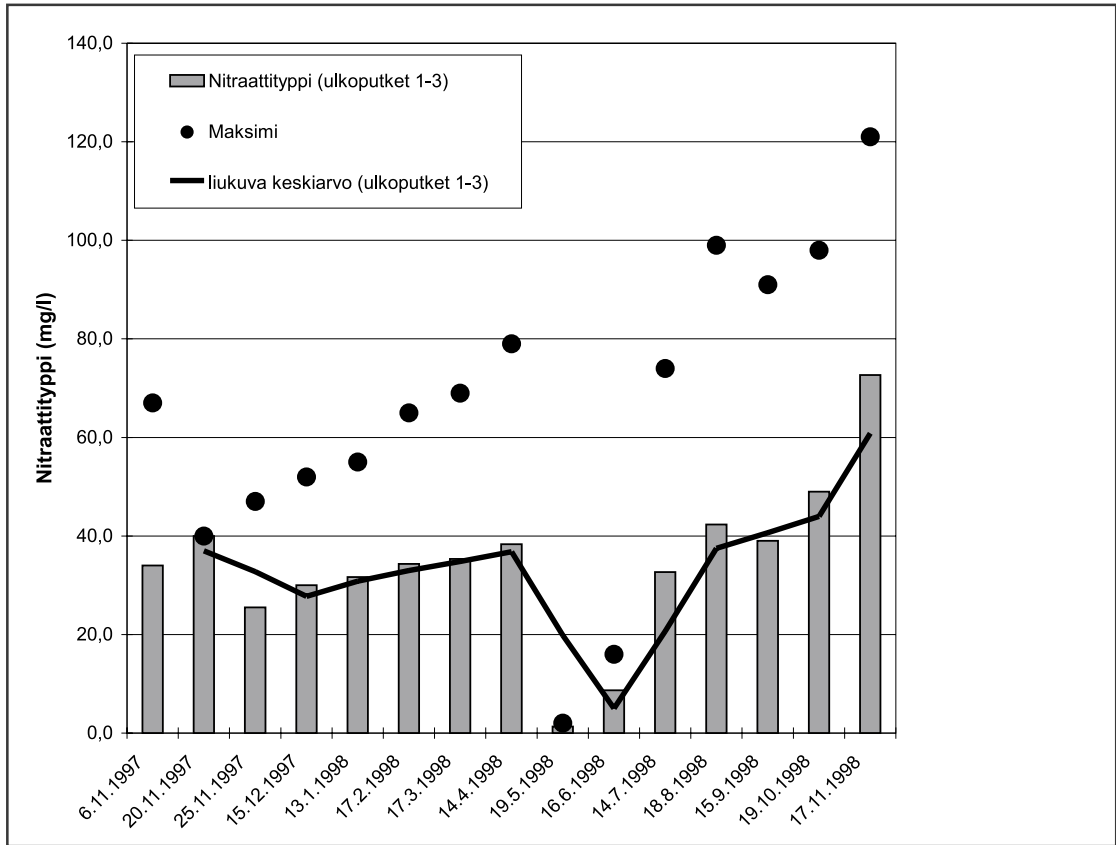
Ruiskutus: 5.11.1998 Aika ruiskutuksesta	Malationipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) pohjavesinäytteissä					Malationipitoisuus ( $\mu\text{g/l}$ ) maavesinäytteissä				
	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min
14 vrk (19.11.1998)	6	0,56	0,53	1,45	0,11	0	-	-	-	-
41 vrk (16.12.1998)	6	0,81	1,05	2,88	0,08	2	0,04	0,06	0,08	0,00
69 vrk (13.1.1999)	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-
91 vrk (4.2.1999)	6	0,69	1,19	2,88	0,00	3	0,03	0,02	0,04	0,00
119 vrk (4.3.1999)	1	0,04	-	0,04	0,04	1	0,00	-	0,00	0,00
153 vrk (7.4.1999)	6	0,06	0,11	0,28	0,00	2	0,06	0,08	0,12	0,00
186 vrk (11.5.1999)	6	0,03	0,07	0,16	0,00	0	-	-	-	-
214 vrk (7.6.1999)	6	0,00	0,00	0,00	0,00	0	-	-	-	-

$\bar{x}$  = näytettä pohjavesiputkista ei saatu      ka. = keskiarvo      sd. = keskihajonta      n = havaintojen lukumäärä  
 veden vähyyden vuoksi

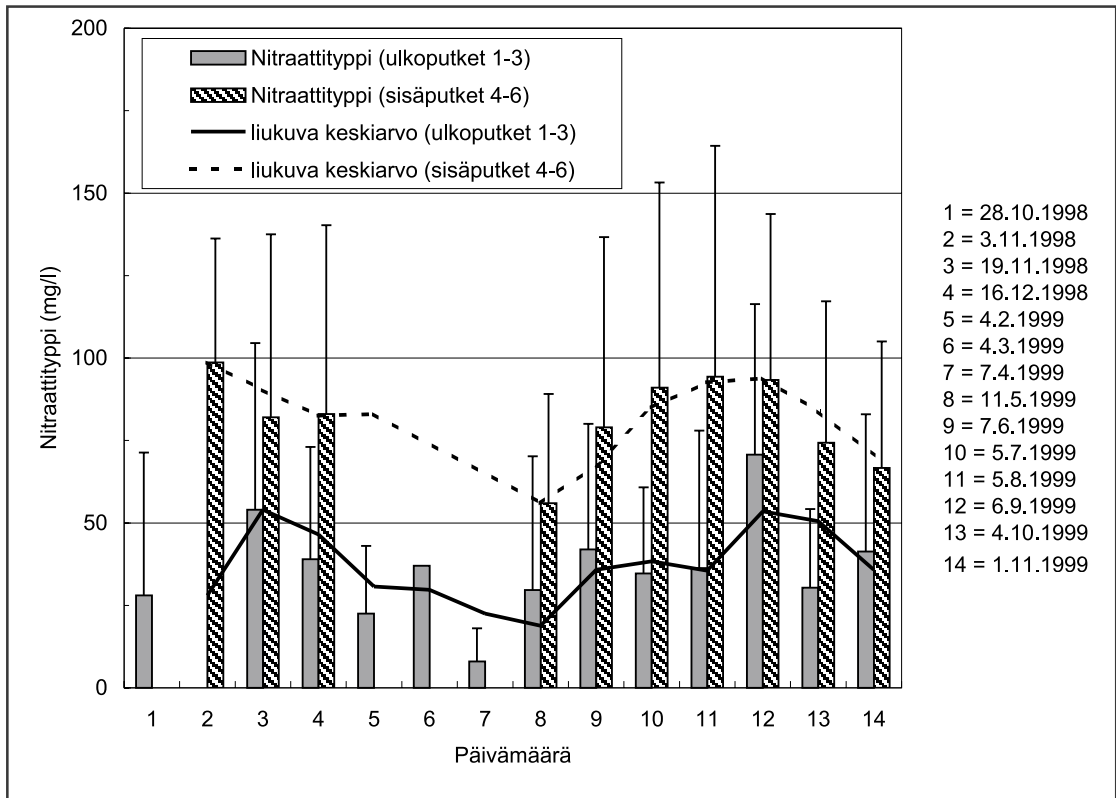
### 5.3 Ravinteet ja pohjaveden laatu

Liitteissä 10 ja 11 esitetyt typpipitoisuudet, lukuun ottamatta ammoniumtyypeä, olivat suuria. Kasvihuoneella A ja D pohjavesinäytteiden typpipitoisuudet olivat keskimäärin 37,3 mg/l (2,0-139,0) ja 54,2 mg/l (1,0-184,0). Tyyppistä suurin osa oli nitraattityppeä. Nitraattityppipitoisuudet olivat kasvihuoneilla vastaavasti keskimäärin 34,5 mg/l (1,0-121,0) (kuva 9) ja 50,3 mg/l (1,0-175,0) (kuva 10) ja ammoniumtyypin pitoisuudet keskimäärin 19,9  $\mu\text{g/l}$  (2,0-142,0) ja 32,9  $\mu\text{g/l}$  (2,0-143,0). Toukokuussa kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden nitraattityppipitoisuudet olivat hyvin pieniä. Nitraattityppipitoisuudet olivat kasvihuoneen D sisällä olevissa pohjavesiputkissa suurempia kuin ulkoputkissa.

Fosforipitoisuus pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A oli keskimäärin 0,1 mg/l (0,004-2,1). Fosforipitoisuus suodatetuissa pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D oli keskimäärin 0,6 mg/l (0,006-3,9) ja dekantoiduissa sekä esikäsittelemättömissä pohjavesinäytteissä 0,6 mg/l (0,013-4,6). Fosfaattifosforipitoisuus kasvihuoneella A oli keskimäärin 0,02 mg/l (0,002-0,2) (kuva 11). Maaliskuussa kasvihuoneella A pohjavesinäytteessä havaittiin keskiarvoa merkittävästi suurempi arvo, 0,2 mg/l. Kasvihuoneella D fosfaattifosforipitoisuus suodatetuissa pohjavesinäytteissä oli keskimäärin 0,5 mg/l (0,004-3,9) ja dekantoiduissa sekä esikäsittelemättömissä pohjavesinäytteissä 0,5 mg/l (0,006-4,5) (kuva 12). Kasvihuoneella D fosforipitoisuus dekantoiduissa pohjavesinäytteissä oli 11-231 % suurempi kuin suodatetuissa näytteissä (liite 12). Fosfaattifosforin pitoisuus dekantoiduissa pohjavesinäytteissä oli 6-201 % suurempi kuin suodatetuissa näytteissä.

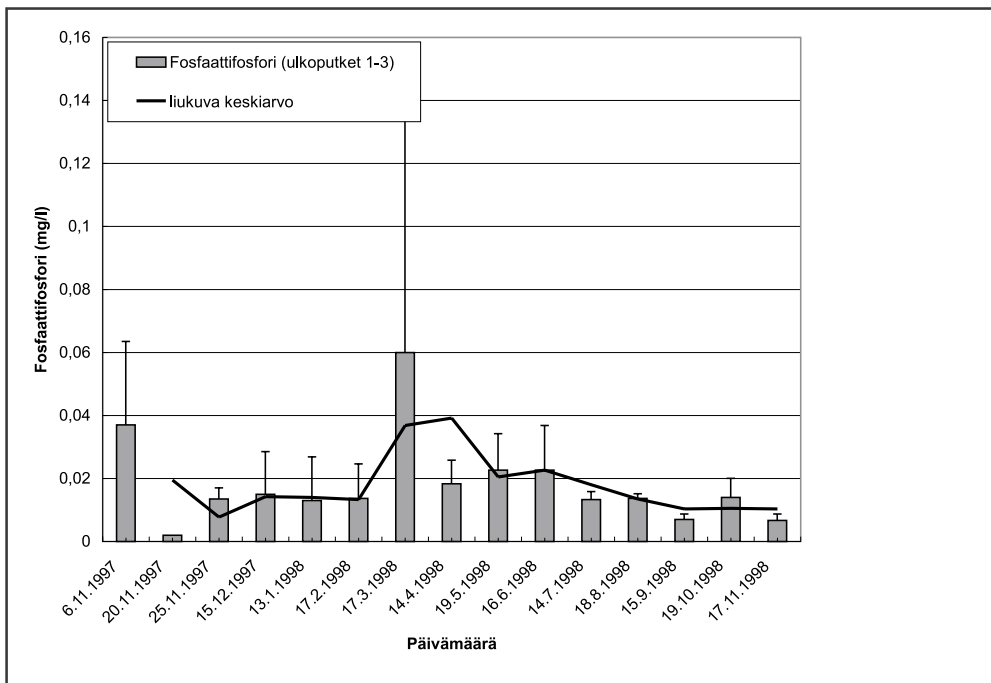


Kuva 9. Nitraattityypipitoisuus (mg/l) pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.

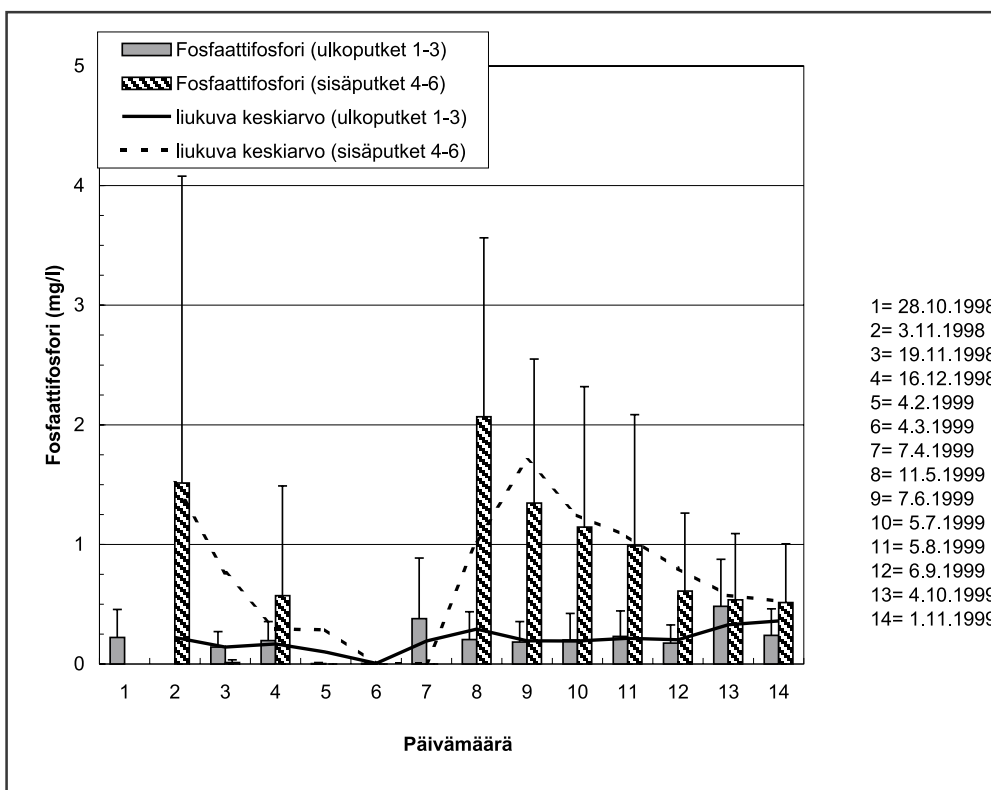


Kuva 10. Nitraattityypipitoisuus (mg/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.

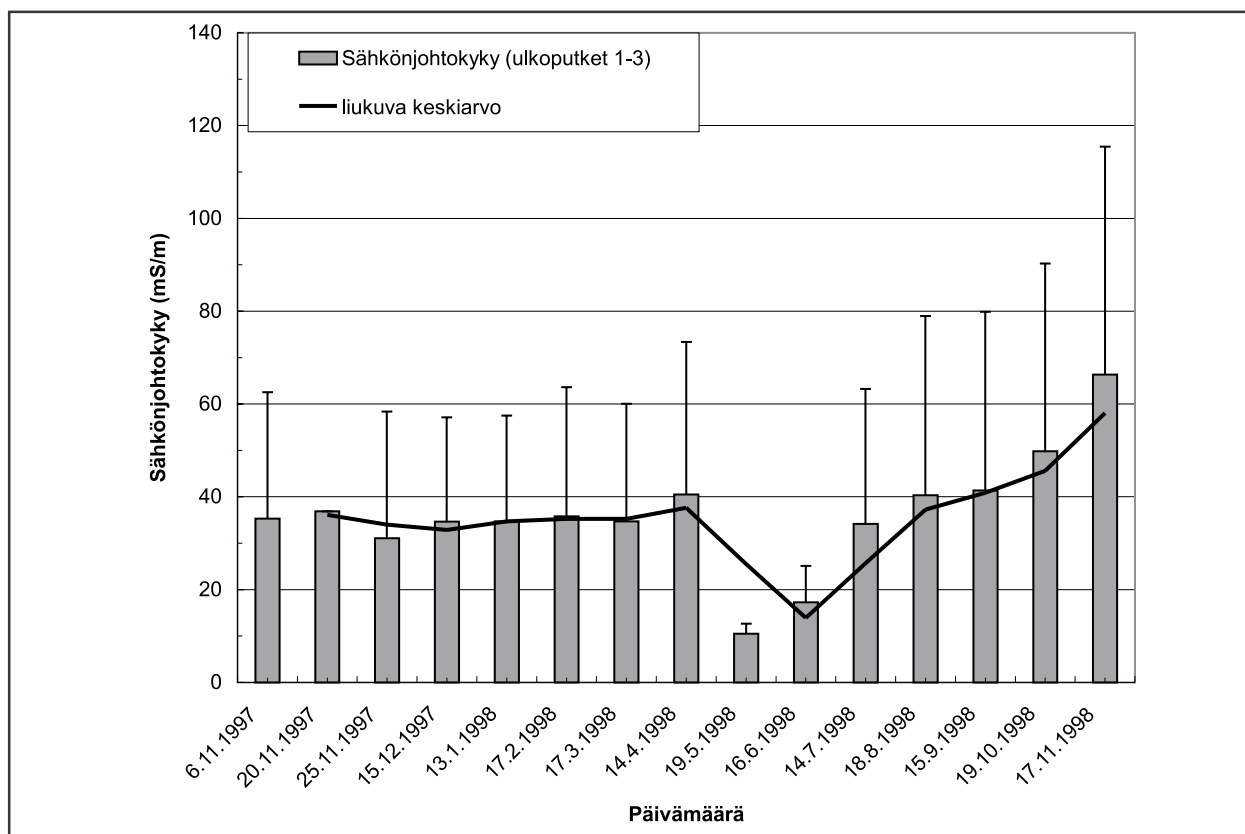
Kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden sähkönjohtokyky oli keskimäärin 36,5 mS/m (8,4-109,2) (kuva 13, liite 13). Alkaliniteetti pohjavesinäytteissä oli keskimäärin 0,3 mmol/l (0,0-0,6) (kuva 14). Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden sähkönjohtokyky oli keskimäärin 61,0 mS/m (6,4-168,0) (kuva 15) ja alkaliniteetti 0,9 mmol/l (0,1-5,1) (kuva 16, liite 14).



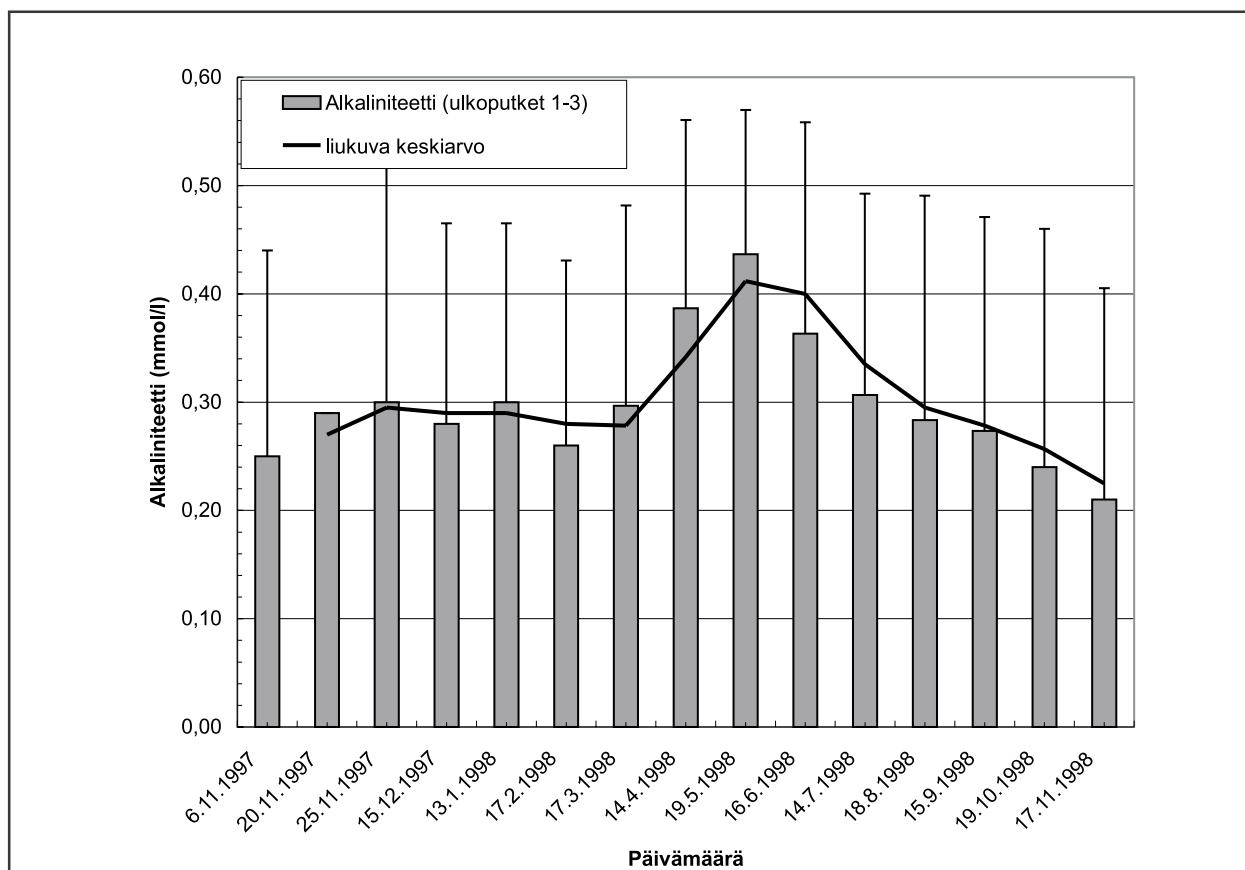
Kuva 11. Fosfaattifosforin pitoisuus (mg/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.



Kuva 12. Fosfaattifosforin pitoisuus (mg/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.

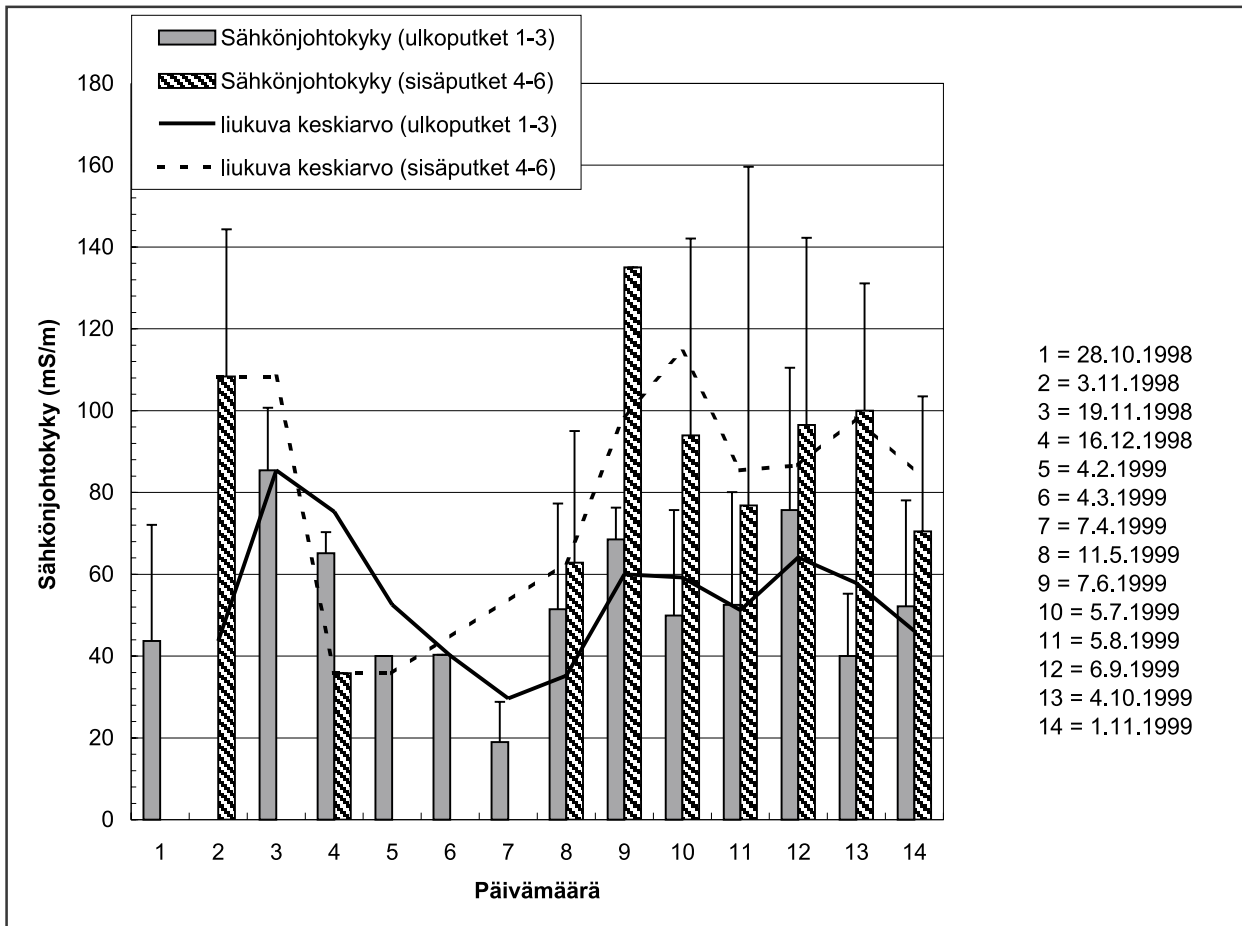


Kuva 13. Sähkönjohtokyky (mS/m), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.

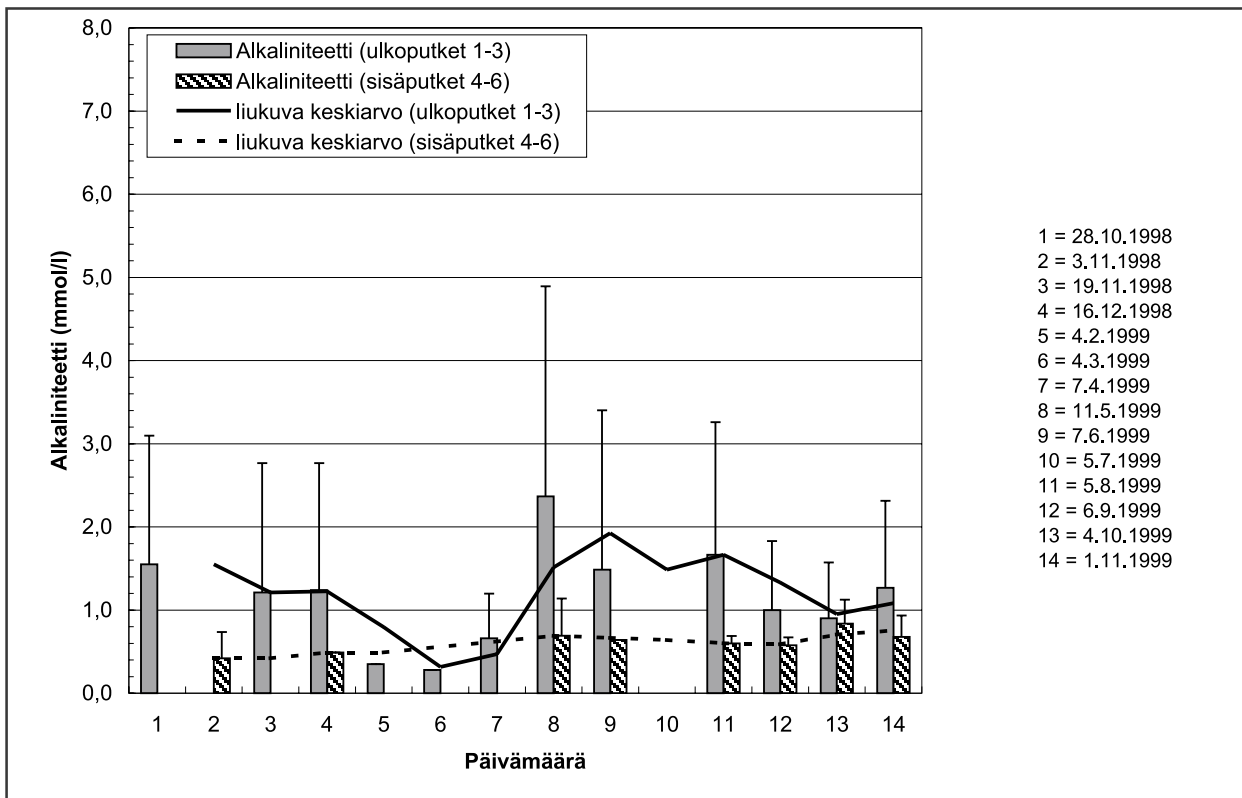


Kuva 14. Alkaliniteetti (mmol/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.



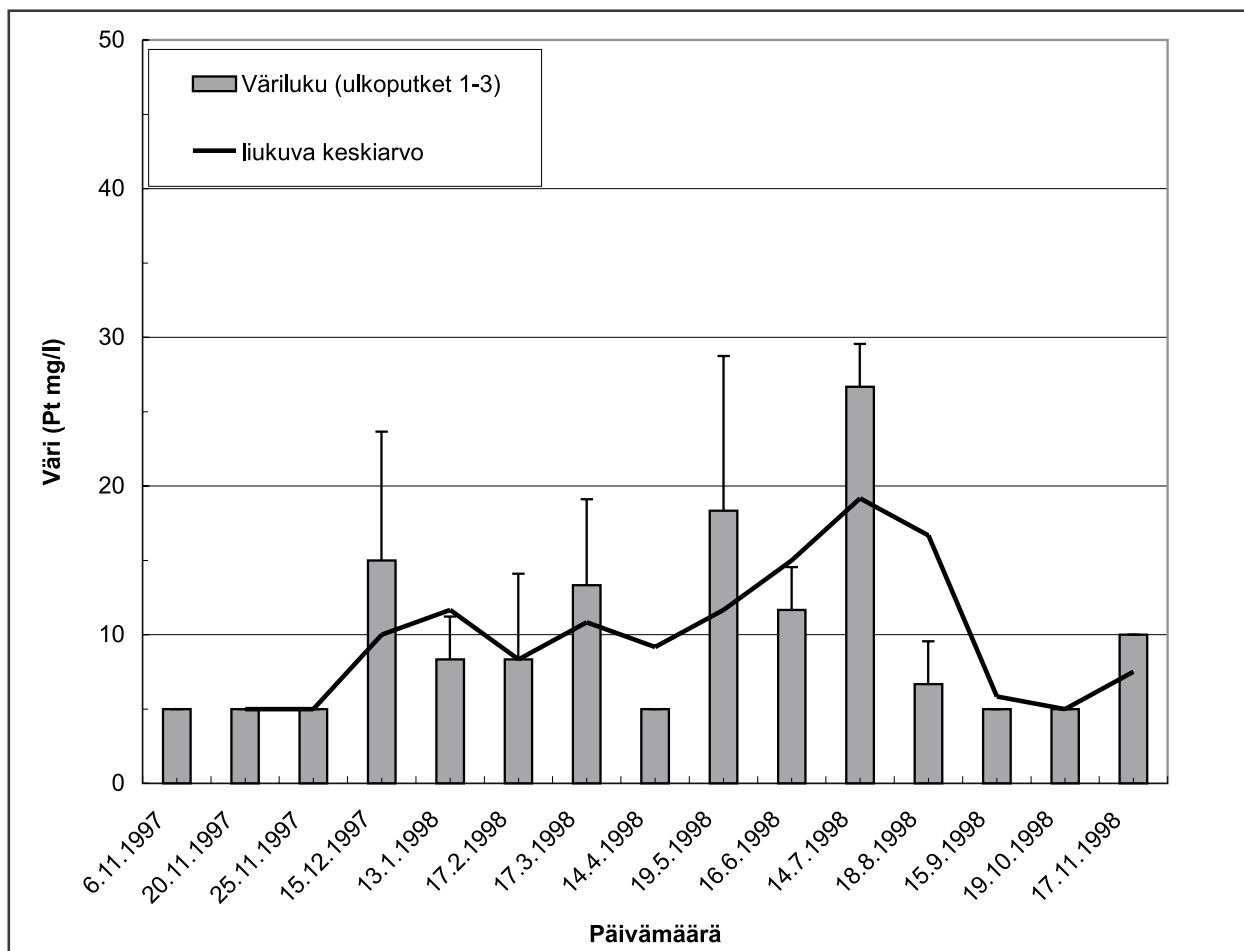


Kuva 15. Sähkönjohtokyky (mS/m), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.

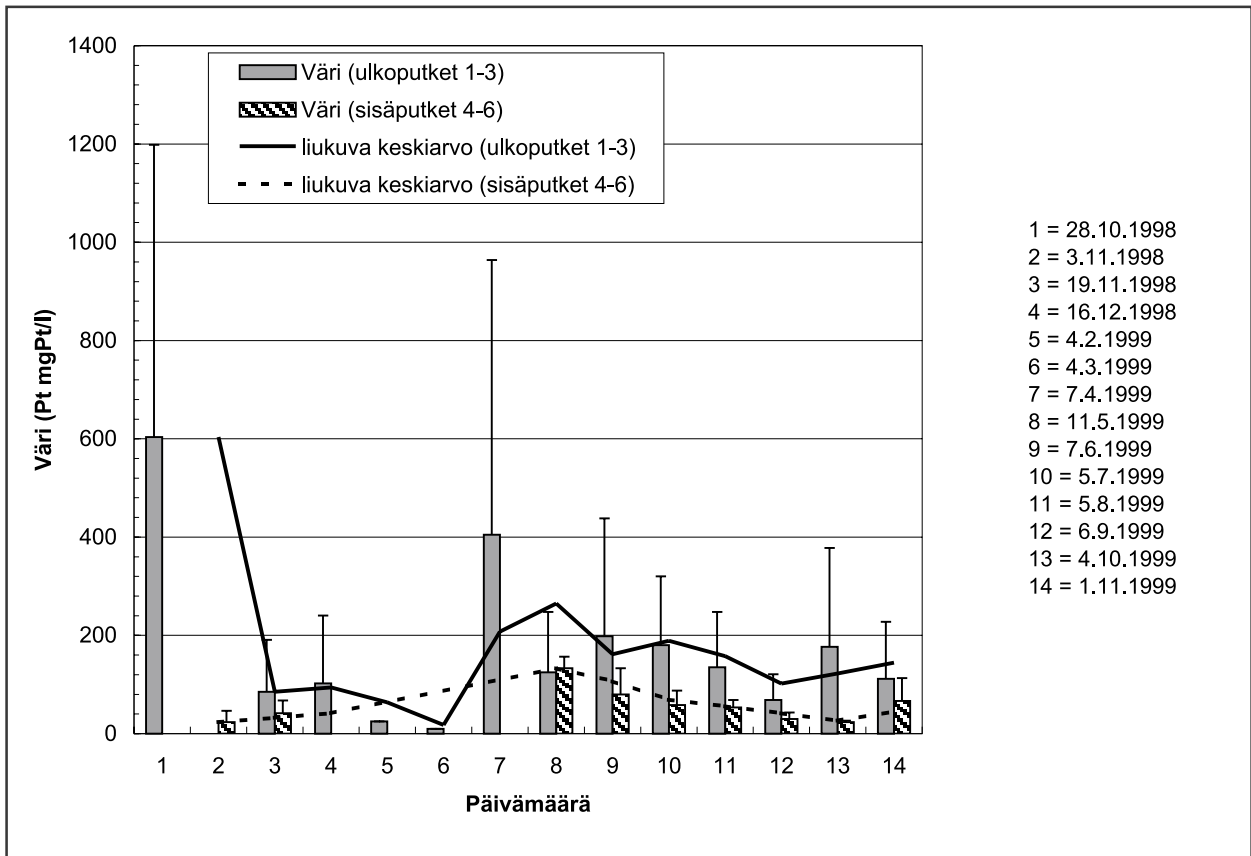


Kuva 16. Alkaliniteetti (mmol/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.

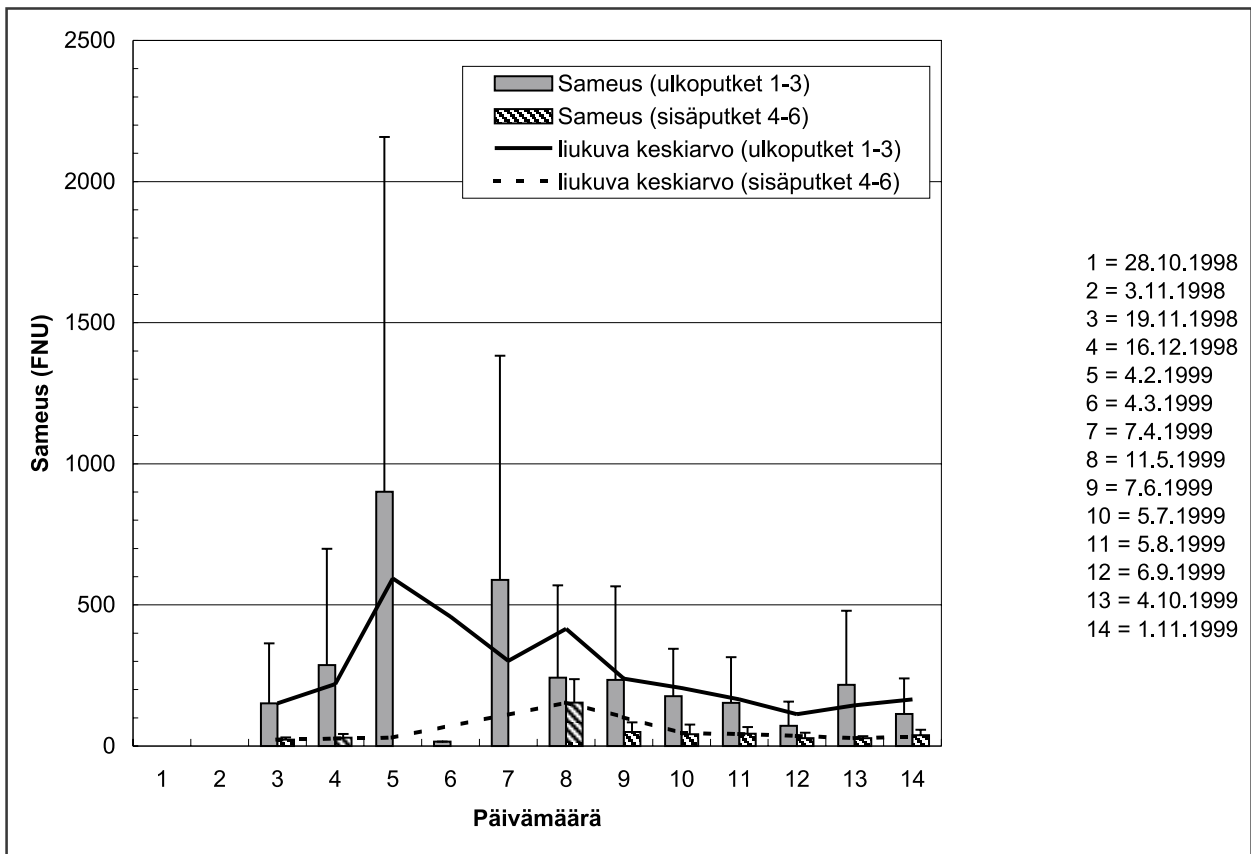
Kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden väriluku oli keskimäärin 10,6 Pt mg/l (5,0-30,0) (kuva 17) ja kasvihuoneella D 147,0 Pt mg/l (5,0-1200,0) (kuva 18). Pohjavesinäytteiden väri vaihteli kasvihuoneilla talousveden suositusten mukaisesta vaatimustason ylittäviin näytteisiin. Talousveden teknis-esteettisiin laatuvaatimuksiin sisältyvät vaatimustasot sameudelle alle 4 ja väriluvulle alle 15 Pt mg/l ja tavoitetasot alle 0,4 ja alle 5 Pt mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994b). Lisäksi talousveden sameudelle ja väriluvulle on määritelty suositustasot alle 5 ja alle 20 Pt mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a). Kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden sameusluku oli keskimäärin 10,7 FNU (7,5-15,1). Kasvihuoneella A sameuden määrittäminen tehtiin vain yhtenä päivänä. Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden sameusluku oli keskimäärin 212,3 FNU (8,7-1790,0) (kuva 17). Väri- ja sameusluvut olivat kasvihuoneen D ulkopuolella olevissa pohjavesiputkissa suurempia kuin sisäputkissa.



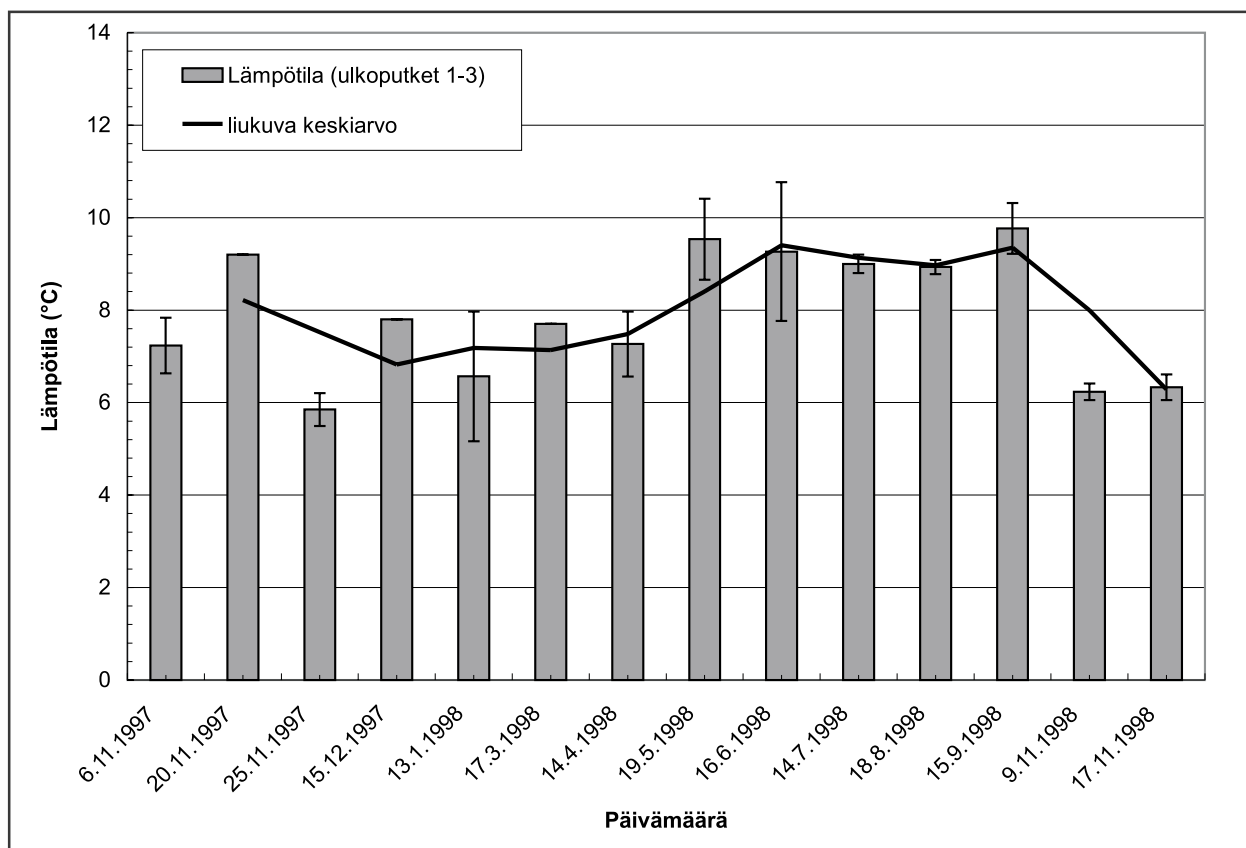
Kuva 17. Väriluku (Pt mg/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.



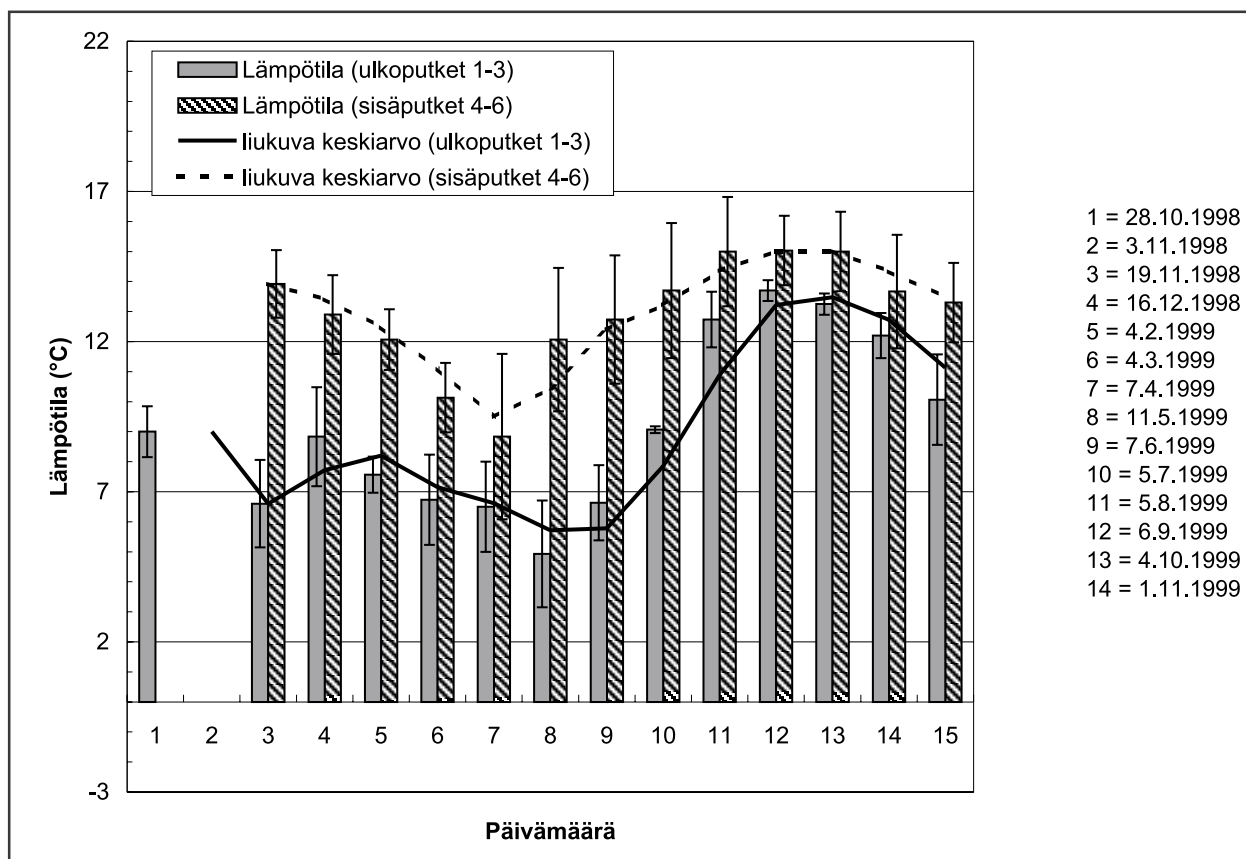
Kuva 18. Väriluku (Pt mg/l), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.



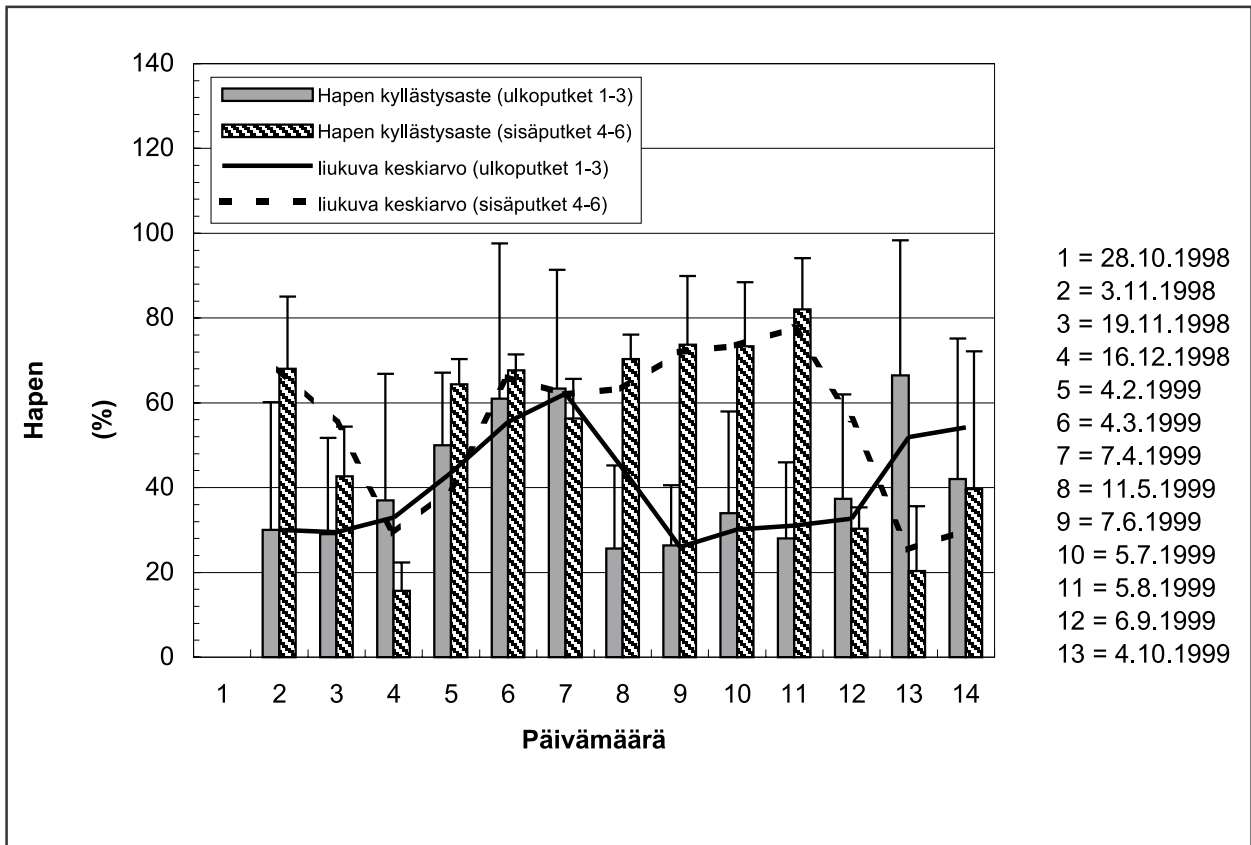
Kuva 19. Sameus (FNU), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.



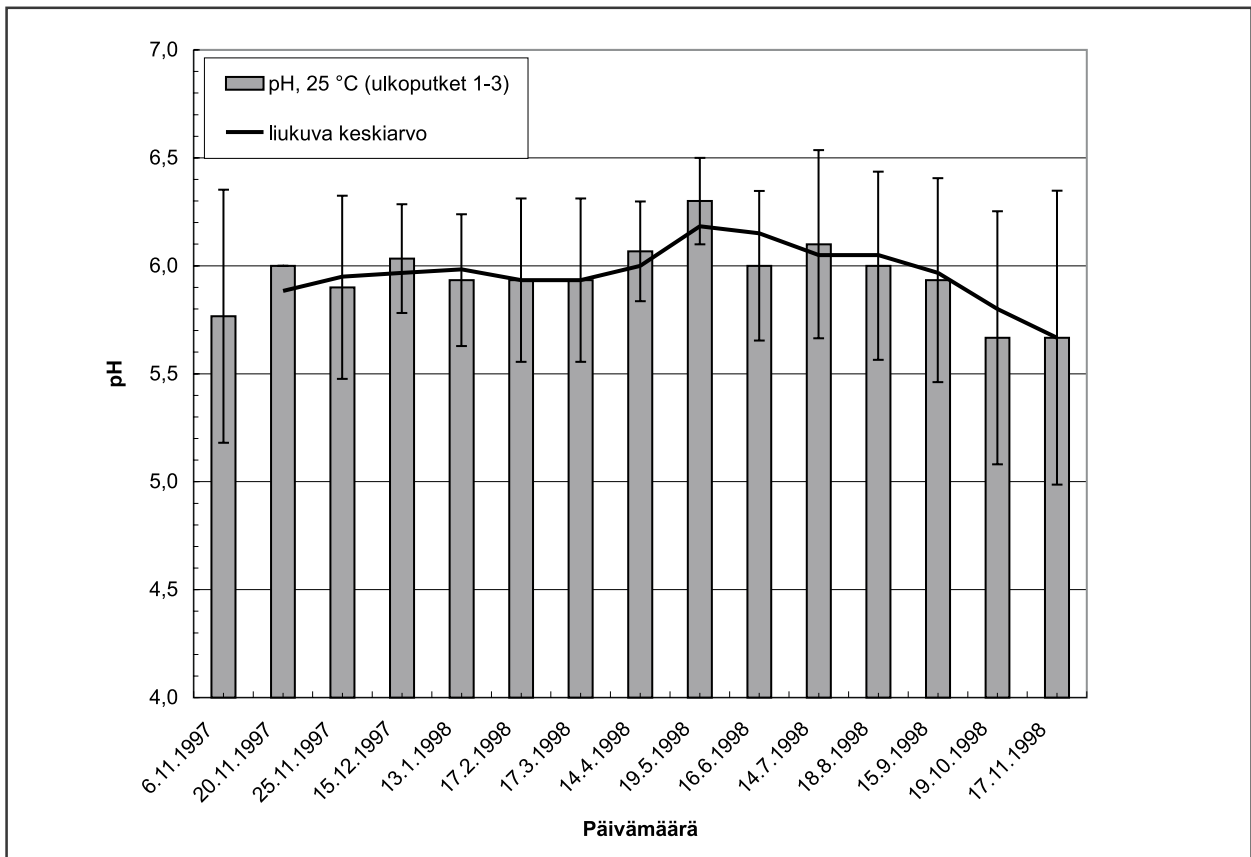
Kuva 20. Lämpötila (°C), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.



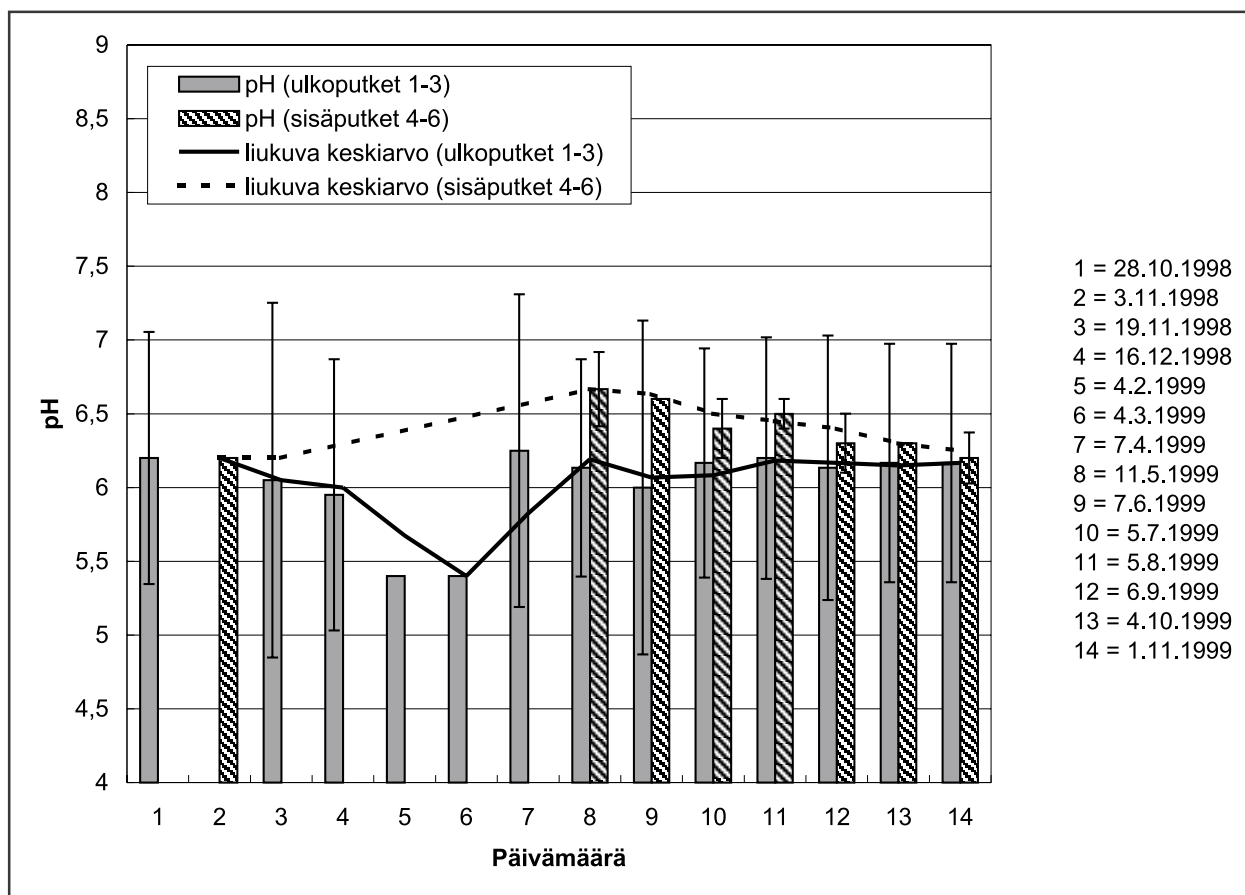
Kuva 21. Lämpötila (°C), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.



Kuva 22. Hapen kyllästysaste (%), keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.



Kuva 23. pH, keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A.



Kuva 24. pH, keskiarvot ja keskihajonnat, pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D.

Pohjavesinäytteiden lämpötilat olivat kasvihuoneilla A ja D keskimäärin 8,1 °C (5,2-10,8) (kuva 20) ja 10,9 °C (3,0-16,1) (kuva 21, liite 17). Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden happipitoisuus oli keskimäärin 5,2 mg/l (0,3-11,0) ja hapen kyllästysaste 47 % (3,0-90,0) (kuva 22). Kasvihuoneen A happitulokset hylättiin kuten edellä on todettu. Kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden pH oli keskimäärin 6,0 (4,9-6,5) (kuva 23). Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden pH oli keskimäärin 6,1 (5,1-7,0) (kuva 24).

### 5.4 Maaperän kosteus, mikrobibiomassa ja torjunta-aineiden adsorptio sekä puoliintumisaika

Kasvihuoneiden pintamaassa, 0-30 cm:n syvyydessä kosteus oli jopa alle 5 %. Maaperän kosteus kohosi syvemmälle mentäessä. Kasvihuoneen A käytävien pintamaan kosteus jakson 13.1.-6.10.1998 aikana oli keskimäärin 10 % (vaihteluväli 2-20). Pintamaan kosteus oli keskimäärin suurempi ja vaihteli enemmän kuin kasvihuoneella D. Intensiivisen viljelyn jakso (kevät-kesäkuukaudet) ajoittui edellä mainittuun maaperän kosteuden näytteenottojaksoon. Kasvihuoneella D pintamaa oli kosteampi viljelyn aikana kuin talvilepojaksen aikana. Käytävien välillä oli kuitenkin vaihtelua. Jakson 9.11.1998-4.2.1999 aikana pintamaa oli keskimäärin hyvin kuiva. Pintamaan kosteus oli keskimäärin 5 % (vaihteluväli 1-15). Talvilepojako ajoittui edellä mainittuun maaperän kosteuden näytteenottojaksoon.

Taulukko 9. Iprodionin ja malationin adsorptio- ( $K_d$ ) ja korrelaatiokertoimet ( $r$ ) kasvihuoneella A.

Näyte	Syvyys (m)	Iprodioni		Malationi	
		$K_d$	$r$	$K_d$	$r$
M4	0,0-0,6	1,9	0,933	0,3	0,924
M4	0,6-2,0	4,5	0,989	0,9	0,984
M5	0,0-1,0	1,4	0,939	1,1	0,951
M5	1,0-2,0	1,7	0,980	0,7	0,953
M6	0,0-1,0	1,8	0,957	-	0,912
M6	1,0-2,0	1,8	0,994	0,9	0,988
PV2	2,0-3,8	1,8	0,997	0,9	0,962
PV2	7,0-7,8	1,5	0,986	3,0	0,987
PV3	8,2-9,8	1,8	0,944	1,4	0,975
PV3	10,2-10,8	1,7	0,973	1,7	0,991

M4-M6 = maanäytteenottoaikat käytävillä

PV2-PV3 = pohjavesiputket käytävillä -`-` = ääriarvo (> 4 x keskiarvo)

Taulukossa 9 esitetyt iprodionin ja malationin adsorptiokertoimet ( $K_d$ ), ja vastaavat sorptio-isotermit määritettiin Almerian yliopistossa, Espanjassa, joka on yksi EU-tutkimuksen yhteistyökumppaneista. Kasvihuoneella A iprodionin adsorptiokertoimet vaihtelivat 1,4-4,5 ja malationin 0,3-12,2. Kasvihuoneella A malationin puoliintumisaika pintamaassa oli keskimäärin 7,2 vuorokautta ja hajoamiskerroin ( $k$ )  $0,04 \text{ vrk}^{-1}$  (taulukko 10). Kasvihuoneella A orgaanisen hiilen (%) ja mikrobibiomassan (mg/g ka.) määrät olivat pienet. Puoliintumisaika ja mikrobibiomassa määritettiin EU-tutkimuksen yhteistyökumppanin toimesta, Newcastleen yliopistossa.

Kasvihuoneella D adsorptiokertoimia ( $K_d$ ), isotermejä, hajoamiskertoimia ( $k$ ), puoliintumisaikaa ( $DT_{50}$ ) ja mikrobibiomassaa ei määritetty, koska kasvihuoneen A tulosten katsottiin riittävän mallintamiseen. Lisäksi kasvihuoneella D maaperään joutuneen malationin määrä oli 260 % suurempi kuin kasvihuoneella A ja torjunta-aineiden jakautuminen kasvihuoneen eri osiin oli epätasaista.

Taulukko 10. Iprodionin ja malationin hajoamiskerroin,  $k$  ( $\text{vrk}^{-1}$ ), selitysaste ( $r^2$ ), puoliintumisaika (vrk) ja orgaaninen hiili (%) sekä mikrobibiomassa (mg/g:ssa kuivaa maata) maanäytteissä kasvihuoneella A.

Syvyys	Iprodioni			Malationi			Maaperän ominaisuudet		
	$k$ ( $\text{vrk}^{-1}$ )	$r^2$	Puoliintumisaika (vrk)	$k$ ( $\text{vrk}^{-1}$ )	$r^2$	Puoliintumisaika (vrk)	Syvyys (cm)	Orgaaninen hiili (%)	Mikrobibiomassa (mg/g:ssa kuivaa maata)
Pintakerros	-	-	-	0,04	0,86	7,2	0-10 cm	0,6	55,3
Keskikerros	-	-	-	0,06	0,87	5,2	10-20 cm	0,5	-
Pohjakerros	-	-	-	0,07	0,75	4,9	20-30 cm	0,5	134,8

Keskiarvo

-`-` = määrittystä ei tehty

# 6

## Tulosten tarkastelu

### 6.1 Torjunta-aineiden kulkeutuminen maaperään

Torjunta-aineiden kulkeutumiseen ja hajoamiseen vaikuttavat monet laboratoriaoissa ja mallinnusten kautta osoitetut kemialliset ja biologiset tekijät (mm. Jarvis ym. 2000, Rekolainen ym. 2000). Tässä tutkimuksessa maaperän rakeisuuskoostumus ja kosteus vaikuttivat torjunta-aineiden kertymiseen kasvihuoneiden maaperään. Biologista hajoamista molemmilla kasvihuoneilla haittasivat kivivillassa ja pintamaassa tapahtuneet kosteusvaihtelut, orgaanisen hiilen pieni määrä ja kasvihuoneella A mikrobibiomassan pieni määrä ja erityisesti iprodionin malationia suurempi adsorptiokerroin ( $K_d$ ). Mikrobeihin sitoutuneen hiilen määrän on havaittu olevan noin 2-4 % maaperän orgaanisen hiilen määrästä (Insam 1990). Parhaiten mikrobeihin sitoutuneen hiilen ja maaperän orgaanisen hiilen määrän korrelaatio pätee maaperässä, jossa on noin 3 % orgaanista hiiltä (Anderson & Domsch 1989). Pintamaassa humuksen määrä oli molemmilla kasvihuoneilla pieni (Breilin 2000). Orgaanisen aineksen pieni määrä vähentää mikrobien hajotustoimintaa, mutta toisaalta myös torjunta-aineiden sitoutumista maaperään (Matinvesi ym. 1994). Vollnerin ja Klotzin (1996) tulokset ovat olleet malationin osalta samansuuntaisia tämän tutkimuksen kanssa. Malationia havaittiin eniten pintamaassa. Tähän vaikuttivat malationin taipumus sitoutua maahiukkasiin ja kulkeutua maaperässä huonommin kuin iprodioni (Pesticide database 2000). Toisaalta maahiukkasiin sitoutumiseen vaikuttaa suurena määrin maahiukkasten koko (Vollner & Klotz 1996). Syvemmällä maaperässä malationipitoisuudet olivat pieniä. Malaoksonin ja isomalationin pienet pitoisuudet maanäytteissä johtuivat ilmeisesti siitä, että malationin hajoaminen käynnistyi hitaasti talvilepojaksen aikana. Torjunta-aineiden hajoamiskokeissa lämpötilan laskulla on havaittu olevan hajoamisen käynnistymistä ja biologista hajoamista hidastava vaikutus (mm. Insam 1990). Kun lämpötila nousee kymmenen astetta, hajoamisnopeus on noin 2,5-3 kertaa suurempi (Braunschweiler 1992). Johtopäätöstä tukee myös se, että samanaikaisesti malationin pitoisuudet olivat suurempia.

Hajoamiseen edullisesti vaikutti ainoastaan lievästi hapan maaperä. Vesiuutona määritetty pH oli molemmilla kasvihuoneilla (6,0-6,6) hyvin lähellä tavoitearvoa (5,5-6,5) eikä hajoamisen kannalta kriittisiä alle kolmen pH-arvoja esiintynyt. Toisaalta KCl-uuton tulos (4,8-5,2) oli molemmilla kasvihuoneilla pienempi kuin vesiuuton tulos. Maaperässä, jonka pH on ollut 4,3-5,0 iprodionin puoliintumisaika on ollut yli 140 vuorokautta, pH:ssa 5,7 60 vuorokautta ja pH:ssa 6,0 30 vuorokautta (Braunschweiler 1992). Esimerkiksi pintamaan (0-10 cm) iprodionipitoisuudet kasvihuoneella A puoliintuivat noin 11 vuorokauden kuluttua ruiskutuksesta ja kasvoivat jälleen noin 25 vuorokauden kuluttua. Aaltoliike jatkui, kunnes noin 40 vuorokautta ruiskutuksesta oli kulunut ja pitoisuus oli lopullisesti puoliintunut.

Kasvihuoneella A talvilepokauden lämpötila (13,7 °C) oli suurempi kuin kasvihuoneella D (9,1 °C). Lämpötila ilmeisesti osaltaan vaikutti torjunta-aineiden puoliintumisaikoihin, kertymiseen maaperään ja huuhtoutumiseen pohjaveteen. Valmistajan teettämässä laboratoriotutkimuksissa on havaittu iprodionin pitoisuus-



den puolittuvan multavassa hiesumaassa 25 °C:ssa huomattavasti lyhyemmässä ajassa kuin 15 °C:ssa (Braunschweiler 1992). Kasvihuoneella A, jossa mittauslaitteisto toimi moitteettomasti, sisäilmaston lämpötila oli näytteenoton aikana keskimäärin alle 25 °C.

Maaperään joutuneen malationin määrä oli kasvihuoneella D 260 % suurempi kuin kasvihuoneella A. Myös malationipitoisuudet maanäytteissä kasvihuoneella D olivat suuremmat kuin kasvihuoneella A. Koska alfaselluloosalappujen ja käytäväkatteiden malationipitoisuudet kasvihuoneiden eri osissa vaihtelivat erittäin paljon, ei ruiskutusliuoksen pitoisuudella näyttänyt olevan suurta vaikutusta maaperään joutuneen torjunta-aineen määrään. Siten malationin todettiin jakautuneen kasvihuoneiden maaperään hyvin epätasaisesti. Tämä johtui ilmeisesti vain pieneltä osin kasvuston peittävyuden vaihtelusta, koska maanäytteet otettiin käytäviltä. Myös rypsimasta otettujen näytteiden iprodionipitoisuuksien on havaittu heilahtelevan huomattavasti, kun ruiskutus oli tehty kasvustoon (Braunschweiler 1992). Ruiskutuksen jälkeen kasvusto sitoo ja usein sen toivotaankin efektiivisesti sitovan runsaasti torjunta-ainetta. Kasteluveden mukana kasvustoon sitoutunut torjunta-aine ja/tai niiden metaboliitit kulkeutuvat vähitellen maaperään mikä hankaloittaa myös mallinnusta (mm. Jarvis ym. 2000, Rekolainen ym. 2000). Kasvuston runsaudesta ja kastelun määrästä riippuva epätasainen torjunta-aineiden maaperään kulkeutuminen aiheutuu Lavosen (1992) mukaan pääasiassa ruiskutusteknisistä syistä. Huono levitystasaisuus pakottaa käyttämään biologista tarvetta suurempia annoksia. Hyönteisten ja sienitautien torjunta-aineita käytettäessä torjuntakohde on koko kasvin pinta (Lavonen 1992). Viljakasveilla maaperään joutuva osuus torjunta-aineesta on pienentynyt kasvuston lehtialan kasvaessa (Bryant & Courshee 1985). Tiheän vehnäkasvuston läpi (lehtialaindeksi 6,5) sienitautien torjunta-ainetta on kulkeutunut maaperään 4-10 %. Kasvihuoneella A kasvuston lehtialaindeksiksi arvioitiin 3, koska kasvusto peitti tasaisesti penkin. Kasvihuoneella D ruusukasvuston lehtialaindeksiksi laskettiin keskimäärin 2 (1-5) neljän valokuvan perusteella. Kasvuston lisäksi myös käytäväkatteet sitoivat torjunta-aineita.

Maaperän tavoite- ( $1 \mu\text{g/g}$  ka. (kuiva-ainetta)) tai raja-arvoa ( $15 \mu\text{g/g}$  ka.) (Assmuth 1997) ei ylitetty iprodionin tai sen pääasiallisen hajoamistuotteen osalta kummallakaan kasvihuoneella. Iprodionin osalta peltoviljelyssä on voimassa peräkkäisten vuosien käyttörajoitus. Iprodionin humukseen tiukasti sitoutuvaa hajoamistuotetta, 3,5-dikloorianiliinia (Seppälä 1997) ei havaittu näytteissä. Tämä johtui ilmeisesti humuksen pienestä määrästä. Tämä saattaa viitata myös siihen, että maaperässä oli muitakin iprodionin hajoamistuotteita, joita tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu.

Malationin osalta maaperälle asetettua raja-arvoa ( $4 \mu\text{g/g}$  ka.) ei ylitetty, mutta tavoitearvo ( $0,04 \mu\text{g/g}$  ka.) ylitettiin molemmilla kasvihuoneilla. Tavoitearvoon verrattiin Assmuthin (1997) ohjeiden mukaisesti pintamaan (0-10 cm) pitoisuuksia. Kasvihuoneella A vain pieni osa maanäytteistä ylitti tavoitearvon ( $n = 4/54$ ,  $Md = 54 \%$ , 15-63 %). Kasvihuoneella D suurin osa maanäytteistä ylitti tavoitearvon ( $n = 25/36$ ). Tavoitearvoon verrattuna maanäytteiden pitoisuudet olivat lähes kaksinkertaisia ( $Md = 82 \%$ , 17-94 %). Toisaalta tavoitearvoa pidetään erittäin ohjeellisena (Assmuth 1997).

## 6.2 Torjunta-aineiden kulkeutuminen pohjaveteen

Yleisesti Järvi-Suomen rakeisuudeltaan karkeammilla alueilla torjunta-aineiden huuhtoutumisen on epäilty olevan suurempi ongelma kuin Länsi- ja Lounais-Suomen savivaltaisilla mailla (Seppälä 1997). Molemmat kasvihuoneet sijaitsevat harjun päällä tai sen lieveosalla. Lisäksi kummassakin kasvihuoneessa on rakeisuudeltaan erilainen täyttömaakerros. Kasvihuoneella D molemmat bioaktiivisesti

erilaiset torjunta-aineet kulkeutuivat matalapohjaveteen ja noin puolen vuoden kuluttua ruiskutuksesta aineita ei enää havaittu pohjavesinäytteissä. Todennäköisesti tärkein kulkeutumiseen vaikuttaneista tekijöistä oli pohjavesipinnan taso. Varsinkin kasvihuoneella D soraisesta hiekasta koostuvaan täyttömaakerrokseen ajoittain ulottunut pohjavesi edesauttoi kulkeutumista. Kulkeutumista tapahtui kasvihuoneella D myös salaojaputkiston kautta. Täyttömaakerros katkoi myös vaakasuoria heikosti vettä läpäiseviä kerroksia ja edesauttoi veden kulkeutumista hyvin vettä johtaviin välikerroksiin. Kasvihuoneella A pohjavesipinta on syvällä, joten heikosti vettä johtavasta pääosin hienosta hiedasta koostuvassa maaperässä vajoveden mukana kulkeutuvat torjunta-aineet ehtivät hajota ja/tai sitoutua maahiukkasiin ennen pohjaveteen joutumista.

Talousveden enimmäispitoisuus (0,1 µg/l) on Sosiaali- ja terveysministeriön päätöksen (N:o 74/1994) mukaan sama sekä iprodionille että malationille, koska se on määritelty yksittäiselle torjunta-aineelle (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994b). Kasvihuoneella D lähes puolet pohjavesinäytteistä (iprodioni: n = 12/37, malationi: n = 15/37) ylitti enimmäispitoisuuden. Iprodioni- (Md = 460 %, 60-1380) ja malationipitoisuudet (Md = 380 %, 10-2780) pohjavesinäytteissä olivat moninkertaisia enimmäispitoisuuteen verrattuna. Käytännössä yksittäisille torjunta-aineille pohjavedessä ei ole tällä hetkellä muita raja-arvoja ja jokaista torjunta-aineilla ympäristöä kuormittavaa laitosta käsitellään tapauskohtaisesti. Seppälän (1997) mukaan torjunta-aineen aiheuttamien ympäristöhaittojen arvioimiseksi tieto torjunta-aineen poistumisesta ympäristöstä ei riitä, sillä aineen pääasiallisia hajoamistuotteita saattaa olla useita. Tämä otettiin huomioon malationin osalta määrittämällä malaoksonin ja isomalationin pitoisuuksia.

Vaikka iprodioni kulkeutuu ja säilyy maaperässä hyvin, huuhtoutumista pohjavesiin saakka on pidetty lähes epätodennäköisenä (EPA 1998a). Arvio perustuu muun muassa siihen, että iprodionin kulkeutuminen vähenisi orgaanisen aineksen määrän kasvaessa. Orgaanisen aineksen vaikutus riippuu myös hiilen lähteen laadusta (Seppälä 1997). Huonosti hajoava humus lisää luontaisesti mikrobiologista aktiivisuutta vähemmän kuin helposti hajoava aines. Aineiston perusteella iprodioni kuitenkin kulkeutui pohjavesiin kasvihuoneella D. Tämä johtui ilmeisesti hitaasta biologisesta hajoamisesta, maaperän ominaisuuksista ja pohjavesipinnan tasosta. Biologisen hajoamisen hidastumista aiheuttavat muun muassa suuri adsorptio maaperään ja orgaanisen aineksen sekä mikrobibiomassan pienet määrät (Seppälä 1997). Kasvihuoneella D orgaanisen hiilen pitoisuus maaperässä oli keskimäärin pienempi (0,4 %) kuin kasvihuoneella A (0,7 %). Harjujen lajittuneelle maa-ainekselle tällaiset orgaanisen hiilen pitoisuudet ovat tavallisia (Breilin 2000). Myös vähäinen maaperän mikrobiaktiivisuus tai mikrobilajistolliset muutokset voivat selittää torjunta-aineiden huuhtoutumista pohjaveteen kasvihuoneella D. Mikrobien lajinmäärittystä ei tehty tässä tutkimuksessa.

Breilin (2000) mukaan kasvihuoneella D on maaperän kerroksellisesta rakenteesta johtuvia eristäviä hiedan, hienon hiedan, hiesun ja saven muodostamia kerroksia hyvin vettä johtavan täyttömaakerroksen alapuolella. Pohjavesipinta kasvihuoneella D esiintyi välittömästi noin 1,2 metriä paksun täyttömaakerroksen alapuolella ja ajoittain myös sen alaosassa. Kasvihuoneella A täyttömaakerroksen alla oli pohjavedenpinnan yläpuolella paksu eristävä kerros, jonka veden läpäisevyys oli huono. Kasvihuoneella A vajoveden mukana liikkuneet torjunta-aineet ilmeisesti pidätyivät syvemmällä maaperässä maahiukkasiin.

Torjunta-aineiden huuhtoutumisreittiin voivat vaikuttaa torjunta-aineiden kemialliset ominaisuudet (Malm 1992). Maaperään tiukasti sitoutuvat (suuri  $K_{oc}$ ) torjunta-aineet kuten malationi huuhtoutuvat enemmän pintavalunnan mukana ja helppoliukoiset (pieni  $K_{oc}$ ) salaojavesien mukana, josta ne voivat kulkeutua myös pohjaveteen. Nikusen (1999) mukaan malationi luokitellaan orgaaniseen ainekseen pidätyttymisen perusteella hieman kulkeutuviin torjunta-aineisiin ( $K_{oc}$  = 500-2000) ja iprodioni kohtalaisen kulkeutuviin ( $K_{oc}$  = 150-500) torjunta-aineisiin. Kos-

ka iprodioni kulkeutuu vähän humusta ja orgaanista ainesta sisältävässä maaperässä paremmin kuin malationi, myös sen pitoisuus syvemmillä maaperässä tulisi olla suurempi kuin malationin (Worthing 1991, Nikunen 1999, Pesticide database 2000). Tässä tutkimuksessa iprodionia havaittiin pintamaassa kasvihuoneella A vähemmän kuin malationia, koska se kulkeutui nopeammin syvemmälle maaperään. Iprodioni ja sen hajoamistuote säilyvät maaperässä pitempään kuin malationi (Worthing 1991, Seppälä 1997, Pesticide database 2000). Tämän tutkimuksen tulokset olivat samansuuntaisia. Kasvihuoneella A iprodionin maanäytteiden adsorptiokerrointuloksissa oli vähemmän vaihtelua kuin malationilla. Iprodionin adsorptiokerroin oli keskimäärin suurempi kuin malationin. Kasvihuoneella D iprodionin kulkeutumiseen pohjaveteen vaikuttivat monet tekijät kuten kohtalainen kulkeutuvuus maaperässä, maaperän rakenne ja pohjavesipinnan taso (EPA 1998a).

### **6.3 Ravinteiden kulkeutuminen ja pohjaveden laatu**

Molemmilla kasvihuoneilla maalajeista hiesu, hieta ja hiekka vuorottelivat ja muodostivat savilustojen kanssa kerroksellisen rakenteen (Breilin 2000). Kasvihuoneilla A ja D maa oli vaihdettu noin 1-1,2 metriin saakka. Kasvihuoneella A (9,9 m) täyttömaa koostui hienommasta aineksesta ja pohjaveden yläpuolella oleva maakerros oli 421 % paksumpi kuin kasvihuoneella D (1,9 m). Maanäytteiden suuri keskimääräinen vesipitoisuus kasvihuoneella A johtui ilmeisesti sekä kastelusta että maaperän vettä pidättävistä ominaisuuksista. Lisäksi vuosi 1998 oli erittäin sateinen. Muun muassa nämä tekijät vuodenaikoihin liittyvien hydrometeorologisten muutosten ja maan sisäisen eroosion ohella vaikuttivat ravinteiden huuhtoutumiseen. Pohjaveden likaantumisen indikaattoreita tässä tutkimuksessa olivat sameus, väri, happipitoisuus ja ravinteista typpiyhdisteet sekä fosfaattifosfori. Pohjaveden raakavesiluokitus ei ole enää voimassa Britschgin ym. (1991) julkaisun mukaisena. Siten ehdottomia pohjaveden raja-arvoja ei enää ole.

Kasvihuoneella A syvempien maakerrosten hienoainespitoisuus oli pienempi kuin kasvihuoneella D. Maahiukkasiin tavallisesti sitoutuvat ravinteet voivat kulkeutua veden mukana, jos maaperän sitomiskyky on heikko kuten karkeahiekkaisessa täyttömaakerroksessa kasvihuoneella D. Ilmeisesti hienoainespitoisuuden ja pienen maaperän sisäisen eroosion vuoksi kasvihuoneella A ravinnepitoisuudet pohjavedessä olivat pienemmät kuin kasvihuoneella D, vaikka kasteluv veden määrä kasvihuoneella A oli kasvukaudella 400 % suurempi kuin kasvihuoneella D. Pitkä matka maan pinnalta pohjaveteen esti ravinteiden kulkeutumista pohjaveteen kasvihuoneella A ja ravinteet sitoutuivat hienoon maa-ainekseen. Vaikka kasvihuoneella D ei määritetty adsorptiokertoimia, kasvihuoneeseen A verrattuna täyttömaan karkearakeisuus ja pieni orgaanisen hiilen pitoisuus viittaavat maaperän heikkoon sitomiskykyyn. Kasvihuoneella D ravinteiden huuhtoutumista pohjaveteen todennäköisesti nopeutti vain noin kahden metrin matka maan pinnalta pohjaveteen. Kasvuston peittävyys ja juuriston syvyys voivat vaikuttaa ravinteiden huuhtoutumiseen (Lehtikangas ym. 1995). Tautivapaan ruusukasvuston peittävyys ja juuriston syvyyden vaikuttaa yleensä kasvuston ikä (EPA 1998a). Kasvihuoneella A kasvusto oli korkeampi ja lehtialaindeksi yhden yksikön suurempi kuin kasvihuoneella D. Kasvihuoneella D kasvusto oli istutettu yli kolme vuotta myöhemmin kuin kasvihuoneella A. Nämä tekijät saattoivat vaikuttaa erityisesti typen huuhtoutumiseen.

Suomessa yleisimpiä terveydellisiä talousveden laatuvirheitä ovat olleet suuret nitraattipitoisuudet (Korkka-Niemi ym. 1993). Mineraalilannoitteiden tyyppi on nitraatti- ja ammoniummuodossa (Puustinen 1999). Orgaanisen typen mineralisaation ja ammoniumin nitrifikaation vuoksi tyyppi on kokonaisuudessaan altis huuhtoutumiselle. Erityisen altis huuhtoutumiselle on nitraatti-ioni, joka ei sitoudu maahiukkasten pinnalle. Jos pohjavesinäytteiden nitraattityppipitoisuus ylit-

tää toistuvasti haitallisen pitoisuuden rajan 11,3 mg/l, vesi luokitellaan talousvesi-kelvottomaksi (Lääkintöhallitus 1980, Lehtikangas ym. 1995). Kivennäismaassa, jota myös tutkittujen kasvihuoneiden maaperä edustaa, keskimäärin yli 90 % pohjaveteen huuhtoutuneesta tyypestä on havaittu olevan nitraattityyppiä ja alle yksi prosentti ammoniumtyyppiä (Ylärinta & Uusi-Kämpä 1992). Tämän tutkimuksen tulokset olivat samansuuntaisia. Tutkittujen pohjavesinäytteiden nitraattityypipitoisuudet (1,0-175,0 mg/l) olivat suurempia kuin ammoniumtyypipitoisuudet (0,002-0,1 mg/l) ja luonnontilaisen pohjaveden pitoisuudet. Suomessa luonnontilaisen pohjaveden nitraattityypipitoisuus vaihtelee välillä 0,2-0,5 mg/l (Korkka-Niemi 1994, Lehtikangas ym. 1995). Yleensä pohjaveden nitraattityypipitoisuus vaihtelee välillä 0,1-3,4 mg/l. Myös talousvedelle määritelty nitraattityypin enimmäispitoisuus, 6 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a) ylittyi molempien kasvihuoneiden pohjavesinäytteissä. Pohjavesinäytteiden ammoniumtyypin pitoisuudet eivät ylittäneet talousvedelle määriteltyä enimmäispitoisuutta, 0,4 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a). Kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden nitraattityypipitoisuus oli toukokuussa hyvin pieni. Tämä johtui ilmeisesti roudan sulamisesta ja vuodenaikaan liittyvistä hydrologisista tekijöistä.

Maaperässä fosfori esiintyy ioneina ja yhdisteinä maavedessä, pidättyneenä maahiukkasten pinnoille, saostuneena ja orgaaniseen ainekseen sitoutuneena (Väätäinen 1997). Maavedessä fosforia on yleensä hyvin vähän (Väätäinen 1997, Puustinen 1999). Fosforin kulkeutumiseen maaperästä pohjaveteen vaikuttaa muun muassa fosforin rikastuminen maa-ainekseen, jolloin maaperän fosforin pidätyskyky vähenee (Väätäinen 1997). Jos maaperä on kyllästynyt fosforilla, ylimääräinen fosfori jää liukoiseen muotoon ja huuhtoutuu pohjaveteen (Puustinen 1999). Fosforin huuhtoutumisriski on suuri hyvin läpäisevillä ja fosforia huonosti pidätävillä mailla kuten hiekalla ja turpeella (Väätäinen 1997). Turvemaalta fosforia huuhtoutuu liukoisessa muodossa huomattavasti enemmän kuin kivennäismaalta. Fosforipitoinen vesi voi kulkeutua halkeamia ja käytäviä pitkin salaojiin, jolloin huuhtoutuminen on runsasta. Maaperän sisäisessä eroosioprosessissa maahiukkaset ja niihin sitoutuneet ravinteet voivat suotautua maaperästä pohjaveteen maaveden vaikutuksesta (Puustinen 1999). Fosfaattifosforin pitoisuudet pohjavesissä ovat yleensä pieniä (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Tässä tutkimuksessa pohjavesinäytteistä analysoitiin sekä kokonaisfosforia että fosfaattifosforia, jolla on taipumus sitoutua maaperän hiukkasten hydratoituneisiin rauta- ja alumiinioksideihin. Mitä hienojakoisempaa, savipitoisempaa maa-ainesta on sitä enemmän pidättyispinta-alaa sillä on. Koska kasvihuoneella A pohjavesinäytteiden havaitut fosfaattifosforipitoisuudet olivat pieniä (0,002-0,2 mg/l), lannoitteiden sisältämä fosfori ilmeisesti pidättyi maahiukkasten pinnoille ja/tai kasvien fosforinotto oli tehokasta. Maaliskuussa havaittuun yksittäisen näytteen suureen fosfaattifosforipitoisuuteen vaikutti pohjavesinäytteen sameus. Maaperän savipitoisuus kasvihuoneella A oli keskimäärin 3 %. Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden fosforista suurin osa oli fosfaattifosforimuodossa. Talousveden sallittu enimmäisfosfaattifosforipitoisuus, 0,1 mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a) ylittyi molempien kasvihuoneiden pohjavesinäytteissä. Erityisesti kasvihuoneella D havaittiin hyvin suuria fosfaattifosforin pitoisuuksia (0,004-4,5 mg/l) sekä suodatetuissa että dekantoiduissa pohjavesinäytteissä, vaikka maaperän keskimääräinen savipitoisuus oli lähes sama kuin kasvihuoneella A. Suodatus vähensi sekä fosforin että fosfaattifosforin pitoisuuksia pohjavesinäytteissä. Fosforin huuhtoutumiseen vaikuttivat ilmeisesti samat tekijät kuin tyyppien huuhtoutumiseen.

Kasvihuoneella A pohjavesinäytteet olivat keskimäärin melko elektrolyyttiköyhiä, 36,5 mS/m (8,4-109,2) kuten Suomen vedet yleensä, 10-50 mS/m (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden keskimääräinen sähkönjohtokyky, 61,0 mS/m (6,4-168,0) ylitti Suomen pohjavesille tyyppillisen

sähkönjohtokyvyn. Tiilikanjoen Kangaslahdella lähes luonnontilaisen pohjaveden sähkönjohtokyky on ollut vuosina 1994-1999 keskimäärin 2,7 mS/m (2,5-2,9) (Tiilikka 1994-1999).

Kasvihuoneiden pohjavesinäytteet olivat puskurikyvyiltään heikkoja kuten Suomen pohjavedet yleensä (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Pohjaveden keskimääräinen alkaliniteetti, 1,0 mmol/l kuitenkin ylittyi kasvihuoneella D (6,4-5,1).

Tulokset olivat samansuuntaisia kuin valtakunnallisessa kaivovesitutkimuksessa. Teknis-esteettisten laatuvaatimusten ja tavoitteiden toteutumisen esteenä ovat olleet värin ja sameuden tavoitearvojen saavuttamattomuus. Pohjavesinäytteiden sameus voi johtua sekä maahiukkasten pääsystä pohjaveeseen että orgaanisesta aineksestä (Korkka-Niemi & Salonen 1996, Puustinen 1999). Kesän 1999 kuivuus todennäköisimmin lisäsi veden sameutta, koska veden määrä pohjavesiputkissa oli vähäinen. Talousveden teknis-esteettisiin laatuvaatimuksiin sisältyvät vaatimustasot sameudelle (FTU) alle 4 ja väriluvulle (FNU) alle 15 Pt mg/l ja tavoitetasot alle 0,4 ja alle 5 Pt mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994b). Lisäksi talousveden sameudelle ja väriluvulle on määritetty suositustasot alle 5 ja alle 20 Pt mg/l (Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a). Veden väri saattaa viitata myös suuriin rautapitoisuuksiin, joka on tyypillinen ongelma Pohjois-Savossa (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Tässä tutkimuksessa ei määritetty veden rautapitoisuutta, koska hyvin vettä johtavassa hiekassa rautapitoisuus on yleensä pieni, alle 0,1 mg/l (Korkka-Niemi & Salonen 1996). Hapettomissa olosuhteissa tiiviiden maakerrosten alla rautapitoisuudet voivat olla useita milligrammoja litraa kohti. Rautapitoisuuteen vaikuttavat muun muassa maa- ja kallioperän mineraalikoostumus sekä happiolosuhteet ja mikrobiologinen toiminta.

Kasvihuoneiden pohjavesinäytteiden lämpötilaan vaikutti ennen kaikkea ilmaston lämpötila. Ilmaston lämpötila vaikuttaa maankuoren lämpötilaan alle 300 m:n syvyydellä (Mälkki 1999). Suomessa pohjaveden lämpötila on yleensä 4-6 °C. Maankuoren lämpötila kasvaa syvyyden myötä keskimäärin 3 °C/ 100 m. Jos vesien kierto ulottuu riittävän syvälle, pohjavesi lämpenee kierron aikana.

Happi on pohjaveden laadun avainparametri (Mälkki 1999). Hälyttävänä pohjavedessä voitaneen pitää tilannetta, jossa happi kuluisi loppuun esimerkiksi bakteerien toiminnan vuoksi. Näin ei kuitenkaan tapahtunut. Teoriassa hapen kuluminen loppuun syvemmillä pohjavesiputkissa on mahdollista, koska vesi ei vähäsateisten sääjaksojen aikana juurikaan liiku pohjavesiputkissa ja niissä voi esiintyä bakteereja (Korhonen ym. 1990, Mälkki 1999). Kun happipitoisuus on yli 6 mg/l, pohjavesi on yleensä hyvälaatuista (Mälkki 1999). Jos happipitoisuus on alle 3 mg/l muun muassa rauta- ja mangaanipitoisuudet alkavat nopeasti kasvaa. Toisaalta tiedetään, että vuosikausia on otettu pohjavettä, jonka happipitoisuus on ollut vain noin 1 mg/l. Kuitenkin hapettomissa pohjavesiolosuhteissa torjunta-aineiden hajoaminen voi hidastua (Howard ym. 1991). Vuoksen vesistöön kuuluvan Tiilikanjoen vesistöalueen hyvälaatuisen ja lähes luonnontilaisen Kangaslahden pohjaveden happipitoisuus on ollut keskimäärin 10,4 mg/l (9,6-11,1) ja kyllästysaste 80 % (75-86) (Tiilikka 1994-1999).

Tyypillinen ongelma Pohjois-Savossa on pohjaveden lievä happamuus (pH 6,0-6,9) (Ympäristön tila 1993, Korkka-Niemi & Salonen 1996, Särkioja 1996). Tutkittujen pohjavesinäytteiden pH (4,9-7,0) oli odotetusti samansuuntainen edellä esitettyjen vertailuarvojen kanssa (Ympäristön tila 1993, Särkioja 1996).

## **6.4 Maaperän kosteus, mikrobibiomassa ja torjunta-aineiden adsorptio sekä puoliintumisaika**

Vuosi 1998 oli sateinen (Hyvärinen 1998). Samana vuonna runsaat sateet nostivat pohjaveden pintaa. Erityisesti kasvihuoneella D pintamaa oli hyvin kuivaa. Pintamaan kosteusvaihtelut ilmeisesti vaikuttivat torjunta-aineiden kertymiseen maaperään. Toisaalta torjunta-aineita esiintyi molempien kasvihuoneiden pintamaassa, vaikka keskimääräinen maaperän kosteus kasvihuoneilla oli hyvin erilainen. Pintamaan kosteus kuitenkin vaihteli molemmilla kasvihuoneilla näytteenottojaksojen aikana.

Kasvihuoneella D pintamaan keskimääräinen kosteus oli pienempi kuin kasvihuoneella A. Tämä johtuu sekä eri vuosina otetuista maanäytteistä että intensiivisen viljelyjakson (kevät-kesäkuukaudet) ajoittumisesta kasvihuoneen A näytteenottojaksoon. Intensiivisen viljelyjakson aikana kastellaan enemmän kuin talvilepojaksen aikana. Näin ollen kastelumäärät selittävät maaperän kosteuden eroja. Pintamaan kosteuteen vaikuttivat todennäköisesti myös kasvihuoneiden ilmasto-olosuhteet. Tätä ei kuitenkaan voitu todentaa puutteellisten sisäilmastotietojen vuoksi.

Maaperällä on tietty pidätyskapasiteetti eli aineiden kulkeutumista vastustava puskuritekijä, joka ylittyy muun muassa pitkään jatkuneessa kuormituksessa (Nikunen 1999). Tällöin torjunta-aineen hajoaminen estyy ja maaperän sitomiskyky ei uusiudu. Kemiallisten aineiden sitoutumisen kannalta saviaineksella ja humuksella sekä raudan ja alumiinin hydraateilla on keskeinen merkitys (Tanskanen 1994). Kasvihuoneella A maaperän hienoainespitoisuus lisääntyi syvemmälle mentäessä. Tämä on lisännyt maaperän veden pidätyskykyä ja siten ilmeisesti vähentänyt torjunta-aineiden kulkeutumista. Kasvihuoneella D täyttömaan alapuolella olevien syvempien maakerrosten hienoainespitoisuus oli suurempi kuin kasvihuoneella A. Seppälän (1997) mukaan maaperän suuri pidätyskapasiteetti voi lisätä torjunta-aineiden pitoisuuksia ja siten hidastaa biologista hajoamista. Kasvihuoneella A etäisyys maan pinnalta pohjaveteen oli keskimäärin 421 % suurempi kuin kasvihuoneella D. Tämä todennäköisesti vaikutti siihen, että pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A ei havaittu torjunta-aineita. Huuhtoutumiseen vaikuttava biologinen hajoaminen kasvihuoneella A saattoi olla hidasta, koska mikrobibiomassan määrä oli pieni. Tämä selittäisi pintamaan suuret torjunta-ainepitoisuudet. Toisaalta torjunta-aineita sitova humuskerros puuttui molemmilta kasvihuoneilta (Breilin 2000). Täyttömaan karkearakeisuuden, hiekkaisuuden ja pienen orgaanisen hiilen pitoisuuden vuoksi maaperän adsorptiokapasiteetti oli huono kasvihuoneella D. Seppälän (1997) mukaan karkearakeisuus nopeuttaa veden liikettä maakerroksissa, mikä voi lisätä torjunta-aineiden huuhtoutumista pohjaveteen. Nämä maaperän ominaisuudet lisäävät harjuilla sijaitsevien pohjavesialueiden suojelutarvetta. Vollnerin ja Klotzin (1996) tulokset ovat olleet samansuuntaisia tämän tutkimuksen tulosten kanssa. Saman torjunta-aineen huuhtoutuminen ja hajoaminen on vaihdellut hiukkaskooltaan erilaisessa hiekassa. Lisäksi malationin adsorptio (%) on ollut hiukkaskooltaan suuremmassa hiekassa (0,7-4,7 mm) heikompaa ja pienemmässä voimakkaampaa (0,2-0,3 mm).

## Keskeisimmät johtopäätökset ja toimenpide-ehdotukset

Molemmilla kasvihuoneilla torjunta-aineet olivat jakautuneet maaperään hyvin epätasaisesti. Toisin sanoen pitoisuudet olivat toisinaan suurempia kuin mitä edellisten määritettyjen pitoisuuksien ja ensimmäisen asteen reaktiokinetiikkaa noudattavan torjunta-aineen hajoamisnopeuden perusteella odotettiin. Maaperä muodostui laikuista, joissa pitoisuudet vaihtelivat paljon pienelläkin (400 cm<sup>2</sup>) alueella ja eri syvyyksillä. Tämä johtui ilmeisesti sekä näytteenottoteknisistä syistä että torjunta-ainesumun epätasaisesta leviämisestä kasvihuoneen eri osiin. Myös vajoveden dispersoituminen ja maaperän rakeisuuskoostumus sekä kerroksellisuus ilmeisesti vaikuttivat pitoisuusvaihteluihin. Torjunta-aineen epätasainen jakautuminen kasvihuoneiden maaperään johtui ilmeisesti vain pieneltä osin kasvuston peittävytyden vaihtelusta. Lavosen (1992) mukaan pääasiassa ruiskutusteknisistä syistä johtuva huono levitystasaisuus pakottaa käyttämään biologista tarvetta suurempia annoksia. Maanäyteotosten edustavuutta voidaan parantaa siksak-linjaa noudattavalla systemaattisella otannalla, jonka lähtöpiste arvotaan (Braunschweiler 1992). Tässä tutkimuksessa maanäytteet otettiin EU-tutkimusprotokollan mukaisesti kummallakin kasvihuoneella.

Biologisesti aktiiviseen pintamaahan kertyvät torjunta-aineet voivat säilyessään siellä pitkään estää mikrobien hajotustoimintaa (Seppälä 1997, Kukkonen 1998). Tämä puolestaan saattaa hidastaa torjunta-aineen hajoamista ja siten edistää kyseisen torjunta-aineen tai sen hajoamistuotteiden kulkeutumista pohjavesiin. Toisaalta torjunta-aineiden kertyminen pintamaahan voi edistää näitä torjunta-aineita ravintonaan hyödyntävän mikrobikannan kehittymistä (Seppälä 1997). Biologiselle hajoamiselle Suomen sääolosuhteissa jää vähemmän aikaa kuin alueilla, joissa kasvukausi on jopa kaksi kuukautta pitempi. Tämän vuoksi tutkimuksia siitä, kuinka hitaasti hajoavia aineita pohjoisissa olosuhteissa voidaan käyttää tulisi tehdä nykyistä enemmän. Myös muiden enemmän käytettyjen torjunta-aineiden kulkeutumista kasvihuoneympäristöstä maaperään ja pohjavesiin tulisi selvittää erityisesti valumahuippujen aikana.

Torjunta-aineen hajoamisen optimoiminen on niin avomaalla kuin kasvihuoneessakin hankala toteuttaa. Tehokkaimmin hajoamisnopeuteen voitaneen vaikuttaa pH-, lämpötila- ja valmistemuutoksilla (Eijsackers 1994). Mikrobilajiston muutokset liittyvät maaperän kasvukunnon parantamiseen, joka on kivivillan osalta mahdollista vain kemiallisilla valmisteilla. Tosin kivivillan ja maaperän kuivuminen esimerkiksi talvilepokauden aikana ja/tai epäsäännöllinen kastelu voivat hidastaa hajoamista. Kasvihuoneilla tapahtuvan seurannan jatkamista hitaasti maaperässä kulkeutuvan iprodionin osalta kannattanee harkita, koska se säilyi maaperässä pitempään kuin malationi.

Useat tekijät vaikuttivat torjunta-aineiden ja ravinteiden hajoamiseen, muuntumiseen sekä pohjaveteen kulkeutumiseen. Tässä tutkimuksessa tärkeimpiä kulkeutumiseen vaikuttaneista tekijöistä olivat:

- Pohjavesipinnan taso
- Maaperän sisäinen eroosio ja veden liike maakerroksissa
- Maalajin rakeisuuskoostumus eri syvyyksillä
- Torjunta-aineiden ja ravinteiden adsorptio maaperään ( $K_d$ )

Todennäköisesti tärkein kulkeutumiseen vaikuttaneista tekijöistä oli pohjavesipinnan taso. Tämän tutkimuksen perusteella kasvihuoneita ei tulisi perustaa matalapohjavesialueelle, koska pohjaveden pilaantumiskahva tällaisella alueella on suuri. Matalapohjaveden pilaantumista voidaan ehkäistä erilaisilla rakennus- ja viljelytekniisillä ratkaisuilla. Kasvihuonekohtaiset erot kasteluveden käytössä olivat suuria. Osa kasvihuoneissa käytetyistä lannoitteista kulkeutui kasteluveden mukana pohjaveteen. Kasteluveden määrä talvilepokauden aikana kasvihuoneella A oli 1150 % suurempi kuin kasvihuoneella D ja kasvukauden aikana keskimäärin 400 % suurempi. Vaikka kasteluveden määrä kasvihuoneella A oli suurempi kuin kasvihuoneella D, torjunta-aineita ei havaittu pohjavesinäytteissä kasvihuoneella A. Siten maaperän vedenläpäisevyys ominaisuuksilla ja pohjaveden yläpuolisen maakerroksen paksuudella sekä maaperään joutuneen torjunta-aineen kokonaismäärällä oli suurempi vaikutus torjunta-aineiden kulkeutumiseen kuin kasteluveden määrällä.

Pohjavesiolosuhteissa mikrobiaktiivisuus on yleensä vähäistä (Korhonen ym. 1990, Ympäristön tila 1993). Tosin matala- ja syväpohjavesiolosuhteissa voi olla eroja. Jos torjunta-aine huuhtoutuu syvempiin maakerroksiin ja pohjaveteen, hajoaminen yleensä hidastuu (Hickman & Novak 1989). Howardin ym. (1991) mukaan muun muassa malationi hajoaa paremmin hapekkaissa olosuhteissa pintavedessä kuin pohjavedessä. Hajoamiseen ja siten torjunta-ainepitoisuuksiin pohjavedessä vaikuttavat erityisesti käytetyn torjunta-aineen ominaisuudet ja määrä. Vaikka torjunta-aineiden kulkeutumiselle on laadittu jo useita käyttökelpoisia mallisovelluksia (mm. Gottesbürgen ym. 2000) ei kattavia alueellisia selvityksiä pohjavesiolosuhteiden vaikutuksesta torjunta-aineiden hajoamiseen ole. Erityisesti pohjaveden ravinnepitoisuudet, happipitoisuus, lämpötila ja pH sekä näihin olosuhteisiin sopeutunut mikrobilajisto ovat tekijöitä, jotka vaikuttavat torjunta-aineiden hajoamiseen. Hajoamiseen vaikuttavista prioriteettitekijöistä on useita tulkintoja, sillä eri mallinnustekniikoilla toteutetussa parametrisoinnissa ja kalibraatiossa on huomattaviakin eroja (Gottesbürgen 2000). EU-lähtöisesti onkin syytä kiinnittää huomioita entistä enemmän eri mallitulkintojen keskinäiseen vertailukelpoisuuteen. Eri mallinnustekniikoiden soveltamista kohti yleiseurooppalaisia mallinnusta on jo testattu ja alustavia esityksiä mallien käytöstä on myös esitetty (Boesten ym. 1999)

Suomalainen viljelytekniikka on keskimäärin uudenaikaista, torjunta-aineiden käyttö vähäistä (Seppälä 1997) ja pohjavedet suhteellisen puhtaita ravinteista (Lehtikangas ym. 1995). Kasvihuonetuotannon ympäristövaikutukset Suomessa ovat kokonaismäärältään pieniä (Meronen 1993). Esimerkiksi 1990-luvun alussa kasvinsuojeluaineita käytettiin kasvihuoneviljelyssä tehoaineiksi laskettuna 10 t eli 0,5 % käytetystä kokonaismäärästä. Tästä huolimatta torjunta-aineiden käytön vähentämiseksi tulisi torjunta-ainetarve aina laskea tai arvioida ennen torjunnan aloittamista (Maa- ja metsätalousministeriö 1993). Tasapainoiseen kasvinsuojeluun kuuluu kemiallisten aineiden käyttö perustellusti vain, jos käytöllä voidaan selkeästi parantaa viljelyn taloudellisuutta sekä sadon laatua tai säilyvyyttä.

Lannoitteita käytettiin 1990-luvun alussa vuosittain noin 2400 t, josta typpeä 400 t ja fosforia 100 t. Kasvihuonetuotannon osuus käytetyistä lannoitteista oli 0,2 %. Tuotannon keskittyessä alueellisesti voivat kasvihuoneet kuitenkin olla merkittäviä ympäristön pistekuormittajia. Kasvihuoneen D lähiympäristössä maatalouden harjoittaminen on ollut kymmeniä vuosia varsin voimaperäistä ja monipuolista. Säätsalaojituksella voidaan vähentää ravinteiden huuhtoutumista pohjaveteen, mutta menetelmän käyttö rajoittuu avomaalle (Vakkilainen & Paasonen-Kivekäs 1992). Kasvihuoneissa ravinteiden huuhtoutumista voidaan ehkäistä muun muassa eristävän bitumipeitteen sijoittamisella maaperään.

Kasvihuonetuotannon vesien suojelua kehitetään EU:n osarahoitteisen maatalouden ympäristötukijärjestelmään sisältyvien kasvihuoneyksiköitä ja puutarhatiloja koskevien ehtojen puitteissa (Kaloinen 2000). Valtioneuvoston päätöksellä (219/1998) ja sen muutoksella (907/1999) ohjataan maatalouden nitraattipäästöjen vähentämiseen (Valtioneuvosto 1998, 1999). Pohjavesinäytteiden nitraattityppipitoisuuksien perusteella nitraattitypen kulkeutumisen hallinta on jatkossa tärkeää kummallakin kasvihuoneella.



# Kirjallisuus

- Anderson, T.-H. & Domsch, K. H. 1989: Ratio of soil microbial biomass carbon to total organic carbon in arable soils. *Soil Biol. Biochem.* 21:471-479.
- APHA, AWWA (American Water Works Association) & WEF (Water Environment Federation) 1995: Standard methods for the examination of water and wastewater, 19<sup>th</sup> edition. United Book Press, Inc., Baltimore, Maryland.
- Assmuth, T. 1997: Selvitys ja ehdotuksia ympäristövaarallisten aineiden pitoisuuksien ohjearvoista maaperässä. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja N:o 92. 56 s. Helsinki
- Boesten, J.J.TI., Jones, R.L., Businelli, M., Delmas, A.-B., Gottesbüren, B., Hanze, K., Jarvis, T., Klein, M., Linden, A.M.A van der, Maier, W.-M., Rekolainen, S., Ressler, H., Styczen, M., Travis, K., Vanclooster, M. 1999: The development of focus scenarios for assessing pesticide leaching to groundwater in EU registration. Human and environmental exposure to xenobiotics. XI Symposium Pesticide Chemistry, Septemeber 11-15, 1999, Cremona - Italia, p. 795-808.
- Braunschweiler, H. 1992: Eräiden torjunta-aineiden käyttäytyminen suomalaisissa viljelymaissa. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 389. 67 s. Helsinki.
- Breilin, O. 2000: Kasvihuoneen maaperä- ja pohjavesiolosuhteet. Geologian tutkimuskeskuksen Väli-Suomen aluetoimisto. 13 s. Kuopio.
- Britschgi, R. & Gustafsson, J. 1996: Suomen luokitellut pohjavesialueet. Suomen ympäristö N:o 55. 384 s. Helsinki.
- Britschgi, R., Hatva, T. & Suomela, T. 1991: Pohjavesialueiden kartoitus- ja luokitusohjeet. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisusarja B N:o 7. 60 s. Helsinki.
- Brouwer, F.M., Terluin, I.J. & Godeschalk, F.E. 1994: Pesticides in the EEC. Agricultural Economics research Institute (LEI-DLO). 159 p. The Hague.
- Bryant, J. E. & Courshee, R. J. 1985: The effect of volume of application from hydraulic nozzles on the partitioning of a pesticide spray in a cereal canopy. Symposium on Application and Biology. British Crop Protection Council. Monograph 28: 201-210.
- Cornell 1998: Iprodione (PMEP home page). Cornell University. p. 2.
- Eijsackers, H. 1994: Seeking the way in a Pitch-Dark Labyrinth. Teoksessa: Donker, M. H., Eijsackers, H. & Heimbach, F. (eds.). Ecotoxicology of soil organisms. p. 470. Lewis Publishers. Boca Raton, Florida.
- EPA 1998a: Reregistration eligibility decision (RED) iprodione. United States Environmental Protection Agency (EPA 738-R-98-019). p. 94-118.
- EPA 1998b: Target organs and critical effects for compounds with reference dose values. Human Health Risk Assessment Protocol. Appendix A-2. United States Environmental Protection Agency. p. 5.
- EPA 1999a: Inert ingredients in pesticide products, policy statement revision and modification of lists. United States Environmental Protection Agency (EPA 54 FR. 48314).

- EPA 1999b: Screening level ecological risk assessment protocol for hazardous waste combustion facilities. Volume 2. Appendix A. United States Environmental Protection Agency (EPA 530-D-99-001B).
- Gleams, 1993: Groundwater loading effects of agricultural management systems. Version 2.1. Knisel, W. G. (ed.). p. 81. University of Georgia. Usa.
- Gottesbürgen, B., Aden, K., Bärlund, I., Brown, C., Dust, M., Görlitz, G., Jarvis, N., Rekolainen, S. and Schäfer, H. 2000: Comparison of pesticide leaching models: results using the Weiherbach data set. *Agric. Water Mgmt.* 44: 153-181.
- Hickman, G. T & Novak, J. T. 1989: Relationship between subsurface biodegradation rates and microbial density. *Environ. Sci. Technol.*, Vol. 23, 5: 525-532.
- Howard, P. H. 1989: Handbook of environmental fate and exposure data for organic chemicals, volume I: Large production and priority pollutants. p. 574. Lewis Publishers Inc., Chelsea, Usa.
- Howard, P.H., Boethling, R.S., Jarvis, W.F., Meylan, W.M. & Michalenko, E.M. 1991: Handbook of Environmental Degradation Rates. p. 725. Lewis Publicers, Inc., Chelsea, Michigan, Usa.
- Hyvärinen, V. 1998: Hydrologinen kuukausitiedote. Suomen ympäristökeskus. 4 s.
- Insam, H. 1990: Are the soil microbial biomass and basal respiration governed by the climatic regime? *Soil Biol. Biochem.* Vol. 22, 4:525-532.
- Jarvis, N., Brown, C. and Granitzza, E. 2000: Sources of error in model predictions of pesticide leaching: a case study using the MACRO model. *Agric. Water Mgmt.* 44: 247-262.
- Juntunen, M-L. & Hammar, T. 1996: Metsäpuuiden taimituotannon ympäristökuormitukseen vaikuttavista tekijöistä. Julkaisussa: Smolander, H. & Salonen, T. (toim.). Metsätaimienharjoituspäivät 13.-14.2.1996. Metsäntutkimuslaitoksen tiedonantoja N:o 601. s. 36-48.
- Kaloinen, J. 2000: Vesien suojelun toimenpideohjelma vuoteen 2005. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja N:o 402. 98 s. Helsinki.
- KASTE 1998: KASTE/Torjunta-aineiden myynti (1.1.-31.8.1998, julkaisematon tilasto, MTT).
- Kasvinsuojelutuotedirektiivi 1997: EU:n kasvinsuojelutuotedirektiivi (91/414 EEC), liite 6 (97/284).
- KEMREK 1999: Finnish environment institute. Data bank of environmental properties of chemicals (23.11.1999 ja 7.2.2000).
- Ketola, J. 1999: Suullinen tiedonanto. Maatalouden tutkimuskeskus.
- Korhonen, L., Hedlund, M., Heinonen-Tanski, H., Martikainen, P., Salonen, L. & Taipainen, I. 1990: I-osa: Pohjaveden laatu. 46 s. II-osa: Pohjaveden käsittely. 64 s. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 251. Helsinki.
- Korkka-Niemi, K. 1994: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus vuosina 1990-1991 -talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät Suomen haja-asutusalueella. *Vesitalous* 3: 28-36.
- Korkka-Niemi, K. & Salonen, V-P. 1996: Maanalaiset vedet. Turun yliopiston täydennyskoulutuskeskus A:50. 181 s. Vammala.
- Korkka-Niemi, K., Sipilä, A., Hatva, T., Hiisivirta, L., Lahti, K. & Alfthan, G. 1993: Valtakunnallinen kaivovesitutkimus -talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisusarja A 146. 228 s. Helsinki.

- KTTK 1999: Torjunta-aineet. Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK). 109 s. Helsinki.
- KTTK 2000: Torjunta-aineet. Kasvintuotannon tarkastuskeskus (KTTK). 115 s. Helsinki.
- Kukkonen, S. 1998: Perusselvitys mansikan satotason alenemisen syistä ja peltojen tuotantokyvyn palauttaminen. Maatalouden tutkimuskeskuksen loppuraportti. 25 s. Vihtavuori.
- Käyttöturvallisuustiedote 1997: Rovral-neste, Berner Oy.
- Laitinen, R. & Toivonen, J. 1991: Yleinen ja epäorgaaninen kemia. Otatiето. 339 s. Hämeenlinna.
- Lavonen, A. 1992: Kasvinsuojeluaineiden käytöstä aiheutuvien ympäristöriskien vähentäminen. Teoksessa: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous- ja vesien kuormitus yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit, Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 359. 183-192. Helsinki.
- Lehtikangas, S., Sandqvist, H. & Lakso, E. 1995: Nitraatin esiintyminen pohjavesissä ja sen poistomahdollisuudet. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 622. 84 s. Helsinki.
- Li, W., Merrill, D. E. & Haith, A. 1990: Loading functions for pesticide runoff. Research Journal WPCF, 62 (1): 16-26.
- Liikanen, A. 1998: Torjunta-aineiden käyttäytyminen ilmakehässä. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja N:o 196. 72 s. Helsinki.
- Luke, M. A., Froberg, J. E. & Matsumoto, H. T. 1975: Extraction and cleanup of organochlorine, organophosphate, organonitrogen and hydrocarbon pesticides in produce for determination by gas-liquid chromatography. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 58 (5): 1020-1026.
- Luke, M. A., Froberg, J. E., Doose, G. M. & Matsumoto, H. T. 1981: Improved multiresidual gas chromatographic determination of organophosphorus, organonitrogen and organohalogen pesticides in produce, using flame photometric and electrolytic conductivity detectors. J. Assoc. Off. Anal. Chem. 64 (5): 1187-1195.
- Lääkintöhallitus 1980: Lääkintöhallituksen yleiskirje (N:o 1701/1980).
- Maa- ja metsätalousministeriö 1993: Hyvät viljelymenetelmät. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 1993(7).
- Maaseudun tulevaisuus 2000: Ruusun tuotantoon kehitetty tehomenetelmä. Maaseudun tulevaisuus (30.3.2000).
- Malm, J. 1992: Kemikaalien ympäristövaikutusten arviointi. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 471. 70 s. Helsinki.
- Manninen, S. & Willamo, R. 1993: Ympäristön laadun ohjearvot Suomessa. Environmentalica Fennica 17: 131 s. Yliopistopaino. Helsinki.
- Matinvesi, J., Lehtomäki, M. & Hammar, T. 1994: Maataloudessa käytettävien torjunta-aineiden huuhtoutuminen pohjavesiin. Ympäristö- ja terveys 3:13.
- Merck index 1999: Reagents, chemicals, diagnostics. Merck index. Darmstadt. Germany.
- Meronen, M. 1993: Kasvihuoneviljely ja sen ympäristövaikutukset. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 413. 27 s. Helsinki.
- Mälkki, E. 1999: Pohjavesi ja pohjaveden ympäristö. Kirjayhtymä Oy. 304 s. Tampere.

- Mälkki, E., Sihvonen K. & Suokko, T. 1988: Ihmisen toiminnan vaikutus pohjaveteen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 50. 37 s. Helsinki.
- Nikunen, E. 1999: Ympäristölle vaaralliset kemikaalit. Chemas Oy. 118 s. Helsinki.
- OECD 1989: Torjunta-aineiden myynti ja käyttömäärä EU-maissa. OECD:n tilasto.
- Paasivirta, J. 1997: Environmental fate modelling for chemical risk estimation. Teoksessa: Högmander, H. & Oikari, A. (toim.). Ecotoxicology and environmental health, technology and policy. Proceedings third Finnish Conference of Environmental Sciences. Jyväskylä, May 9-10, 1997.
- Paasivirta, J. & Rytsä E. 1987: Torjunta-ainekemia 445. Kyriiri Oy. 284 s. Helsinki.
- Pesticide database 2000: SCS/ARS/CES Pesticide Properties Database, University of Massachusetts (28.2.2000).
- Puustinen, M. 1999: Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja N:o 285. 116 s. Helsinki.
- Rekolainen, S. & Kauppi, L. 1992: Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit N:o 359. 206 s. Helsinki.
- Rekolainen, S., Gouy, V., Francaviglia, R., Eklo, O-M and Bärlund, I. 2000: Simulation of soil water, bromide and pesticide behaviour in soil with the GLEAMS model. Agric. Water Mgmt. 44: 201-224.
- Seppälä, T. 1997: Torjunta-aineiden käyttäytyminen Suomen ympäristöoloissa. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja N:o 140. 78 s. Helsinki.
- Shahamat, U. K. 1980: Pesticides in the soil environment. Elsevier Scientific publishing company. p. 240. Netherlands.
- Silvola, M. 1999: Saastuneiden maa-alueiden priorisointimallien arviointi. Suomen ympäristökeskuksen monistesarja N:o 310. 107 s. Tampere.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 1994a: Sosiaali- ja terveysministeriön päätös (N:o 953/1994) pienten yksiköiden talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista.
- Sosiaali- ja terveysministeriö 1994b: Sosiaali- ja terveysministeriön päätös (N:o 74/1994) talousveden laatuvaatimuksista ja valvontatutkimuksista.
- Soveri, J., Mäkinen R. & Peltonen, K. 1999: Pohjaveden korkeuden ja laadun vaihteluista 1975-1999. Suomen ympäristö N:o julkaisematon. Helsinki.
- Särkioja, A. 1996: Pohjois-Savon pohjavedet. Teoksessa: Britschgi, R. & Gustafsson, J. (toim.). Suomen luokitellut pohjavesialueet. Suomen ympäristö N:o 55. 384 s. Helsinki.
- Tanskanen, A-L. 1994: Torjunta-aineiden käytön vaikutusten arviointi ja ohjauskeinot. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 596. 41 s. Helsinki.
- Tiilikka 1994-1999: Tiilikanjoen vesistöalueen Kangaslahden vesianalyysit. Pohjois-Savon ympäristökeskus.
- Tomlin, C.D.S. (ed.) 1994: The pesticide manual, Tenth Edition. The British Crop Protection Council and the Royal Society of Chemistry. Bath. 1341 p.

- Tuomainen, A., Kangas, J. & Mäkinen, M. 2000: Kasvihuonetyöntekijän ja ympäristön altistuminen torjunta-aineille (The Assessment of Operator, Bystander and Environmental Exposure to Plant Protection Products, EU-project SMT CT96-2048). Raportti Työsuojelurahastolle ja Sosiaali- ja terveysministeriön työsuojeluosastolle. Kuopion aluetyöterveyslaitos (KATTL).
- Urena, L. & Garratt, J. 1999: Laboratory guidelines associated with field-scale and greenhouse leaching studies (2.2.1999). p. 11. Newcastle.
- Vainio, E. 1984: Typpiyhdisteet maatalousalueiden kaivovesissä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 240. 62 s. Helsinki.
- Vakkilainen, P. & Paasonen-Kivekäs, M. 1992: Lannoituksen ja kuivatustoimenpiteiden vaikutus maa- ja pohjaveden laatuun. Teoksessa: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous- ja vesien kuormitus yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit, Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 359. 197-206. Helsinki.
- Valtioneuvosto 1998: Maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta annettu valtioneuvoston päätös (N:o 219/1998).
- Valtioneuvosto 1999: Maataloudesta peräisin olevien nitraattien vesiin pääsyn rajoittamisesta annetun valtioneuvoston päätöksen muuttamisesta (N:o 907/1999).
- Vereecken, U.J., Jaekel, U., Mouvet, C., Moreau, C., Burauel, P., Dust, M., Kim, D.J., Jacques, D., Feyen, J., Georgeshu, A., Suci N., & Marinoschi, G. 1996: Critical parameters governing the mobility and fate of pesticides in soil and aquifer systems. Teoksessa: Del Re, A.A.M., Capri, E., Evans, S.P. & Trevisan M. (eds.). The environmental fate of xenobiotics. Proceedings of the X symposium Pesticide Chemistry. September 30 - October 2, 1996. Castelnuovo Fogliani, Piacenza, Italia.
- Vollner, L. & Klotz, D. 1996: Leaching and degradation of pesticides in groundwater layers. Teoksessa: Del Re, A.A.M., Capri, E., Evans, S.P. & Trevisan M. (toim.). The environmental fate of xenobiotics. Proceedings of the X symposium Pesticide Chemistry. September 30 - October 2, 1996. Castelnuovo Fogliani, Piacenza, Italia.
- Väre, I. 1997: Lannoitussuositus. Kekkilä Oy.
- Väätäinen, P. 1997: Ongelmallinen fosforilannoitus. Elinympäristö 20-22.
- Worthing, C. R. 1991: The Pesticide manual. Nineth Edition. The British Crop Protection Council. p. 501, 524-525. Old Woking, Surrey.
- Ylärinta, T., Uusi-Kämpä, J. & Jaakkola, A. 1992: Typen huuhtoutuminen ja hyväksikäyttö lysimetrikokeessa. Teoksessa: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.). Maatalous- ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 359. 17-25. Helsinki.
- Ympäristön tila 1993: Pohjois-Savon ympäristön tila 1990-luvun alussa. Vesi- ja ympäristöhallitus. 104 s. Helsinki.
- Yrjänä, E-R. 1983: Esiselvitys korkeiden nitraattipitoisuuksien esiintymisestä pohjavesissä. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja N:o 156. 69 s. Helsinki.

## Liite I. Kasvihuoneiden yleistietoja

Mitattu muuttuja	Kasvihuone A (600 m <sup>2</sup> )		Kasvihuone D (500 m <sup>2</sup> )	
	1993-1995	1993-1995	kevät 1998	kevät 1998
ISTUTUSVUOSI	1993-1995	1993-1995	kevät 1998	kevät 1998
*RUUSUJEN KORKEUS (cm)	110-130	110-130	50-120	50-120
<sup>1</sup> )KÄYTÄVÄKATE	Polyesterikangas (viira)		Mybeg-suodatinkangas	
RUUSURIVIEN VÄLI (cm)	60-70	60-70	80	80
KASTELUVEDEN KÄYTTÖ (talvi) (l/m <sup>2</sup> /vrk)	5	5	0,4	0,4
<sup>2</sup> )KASTELUVEDEN KÄYTTÖ (kesä) (l/m <sup>2</sup> /vrk)	15	15	3	3
LANNOITE: SUPEREX R 219 N/P/K (g/kg)	83/53/267	83/53/267		
LANNOITE: SUPEREX 10 N/P/K (g/kg)			72/50/260	72/50/260
TYPPI (kg/ha) kesä/talvi	2280/1450	2280/1450	580/116	580/116
FOSFORI (kg/ha) kesä/talvi	570/280	570/280	113/23	113/23
KASVIHUONEEN LÄMPÖTILA (°C)	15,9*	15,9*	14,6*	12,8*
	13,7**	13,7**	9,1**	9,1**
KASVIHUONEEN ILMAN SUHTEELLINEN KOSTEUS (%)	92*	92*	68*	97*
	77,8**	77,8**	56,6**	56,6**
VALON MÄÄRÄ (W/m <sup>2</sup> )	27,4**	27,4**	0,25**	0,25**
RUISKUTUSPÄIVÄMÄÄRÄ	4.12.1997	6.11.1997	6.11.1998	5.11.1998
TORJUNTA-AINE	Iprodioni	Malationi	Iprodioni	Malationi
PAINERUISKU	Wanjet HP 110E		Hardi	
TORJUNTA-AINEEN LEVITYSNOPEUS (g tehoainetta/ha)	833	1710	1700	6156
RUISKUTUSNOPEUS (l/min)	2,6	2,6	2,5	3,2
RUISKUTUKSEN KESTO (min)	55	42	43	63
RUISKUTUSLIUOKSEN TORJUNTA-AINE-PITOISUUS (mg/l)	455	933	500	1540

\* = mitattu ruiskutuksen aikana

1) = osalta käytävistä kate poistettiin tutkimuksen ajaksi

\*\* = keskiarvo talvilepojaksen aikana

2) = sumukastelu 2-3 kertaa päivässä

## Liite 2. Pohjavesien näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella A

Pvm	Näytteenotin	Näytteenottopaikka		
		P1	P2	P3
6.11.1997	Pilssipumppu	X	X	X
20.11.1997	Pilssipumppu	X	-	-
25.11.1997	Putkinoudin	-	X	X
15.12.1997	Putkinoudin	X	X	X
13.1.1998	Putkinoudin	X	X	X
17.2.1998	Putkinoudin	X	X	X
17.3.1998	Putkinoudin	X	X	X
14.4.1998	Putkinoudin	X	X	X
19.5.1998	Putkinoudin	X	X	X
16.6.1998	Putkinoudin	X	X	X
14.7.1998	Putkinoudin	X	X	X
18.8.1998	Putkinoudin	X	X	X
15.9.1998	Putkinoudin	X	X	X
19.10.1998	Waterra-pumppu	X	X	X
9.11.1998	Waterra-pumppu	*	*	*
17.11.1998	Waterra-pumppu	X	X	X

-' = näytettä ei otettu/näytteenotto siirretty seuraavalle kerralle

\* = vain lämpötila mitattu

### Liite 3. Pohjavesien näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella D

Pvm	Näytteenotin	Näytteenottoaika						Happimittaus
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	
28.10.1998*	Waterra-pumppu	X	X	X				PI-P6
3.11.1998*	Waterra-pumppu	-	-	-	X	X	X	-
9.11.1998**	Happikoe							PI-P6
19.11.1998	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
16.12.1998	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
4.2.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
4.3.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
7.4.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
11.5.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
7.6.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
5.7.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
5.8.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
6.9.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
4.10.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6
1.11.1999	Waterra-pumppu	X	X	X	X	X	X	PI-P6

\* = mittaukset hylätty näytteiden hapettumisen vuoksi

\*\* = mittaukset kenttähappimittarilla (Malli ysi/57, Prolab Oy) 9.11.1998 alkaen

-! = näytettä ei otettu/näytteenotto siirretty seuraavalle kerralle



## Liite 4. Maanäytteiden näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella A

Pvm	Näytteenotin	Näytteenottoaika ja ositus					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
10.11.1997	Putkikaira (d = 45 mm)	1	1	1	1	1	1
20.11.1997	Putkikaira (d = 45 mm)	1	1	1	1	1	1
27.11.1997	Putkikaira (d = 45 mm)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
8.12.1997	Putkikaira (d = 45 mm)	1	1	1	1	1	1
15.12.1997	Putkikaira (d = 45 mm)	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6
29.12.1997	Putkikaira (d = 45 mm)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
13.1.1998	Putkikaira (d = 45 mm)	1-5	1-5	1-6	1-5	1-5	1-5
3.2.1998	Putkikaira (d = 45 mm)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
6.5.1998	Putkikaira (d = 45 mm)	1-5	1-5	1-5	1-5	1-5	1-6
6.-7.10.1998	Auger (d = 35 mm)	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6

- 1 = 0-10 cm  
 2 = 10-20 cm  
 3 = 20-30 cm  
 4 = 30-50 cm  
 5 = 50-100 cm  
 6 = 100-200 cm

## Liite 5. Maanäytteiden näytteenotto-ohjelma kasvihuoneella D

Pvm	Näytteenotin	Näytteenottopaikka ja ositus					
		M1	M2	M3	M4	M5	M6
9.11.1998	Auger (d = 35 mm)	1	1	1	1	1	1
19-20.11.1998	Auger (d = 35 mm) ja Putkikaira (d = 65 mm)	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6
27.11.1998	Putkikaira (d = 50 mm)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
16.12.1998	Putkikaira (d = 65 mm)	1-6	1-6	1-6	-	-	-
17.12.1998	Putkikaira (d = 65 mm)	-	-	-	1-6	1-6	1-6
4.2.1999	Putkikaira (d = 50 mm)	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3	1-3
10.5.1999	Putkikaira (d = 65 mm)	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6	1-6
2.11.1999	Putkikaira (d = 65 mm)	1-6	1-6	-	-	-	-
8.11.1999	Putkikaira (d = 65 mm)	-	-	1-6	1-6	1-6	1-6

1 = 0-10 cm

2 = 10-20 cm

3 = 20-30 cm

4 = 30-50 cm

5 = 50-100 cm

6 = 100-200 cm

-' = näytettä ei otettu/näytteenotto siirretty seuraavalle kerralle

## Liite 6. Keskimääräinen iprodionipitoisuus (ng/g) maanäytteissä

Ruiskutus: 4.12.1997	Kasvihuone A					Ruiskutus: 6.11.1998	Kasvihuone D				
Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks	min	Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks	min
<b>8.12.1997 (4 vrk)</b>						<b>9.11.1998 (3 vrk)</b>					
0-10 cm	98	128	6	342	8	0-10 cm	82	61	6	164	21
<b>15.12.1997 (11 vrk)</b>						<b>19.11.1998 (13 vrk)</b>					
0-10 cm	40	34	6	80	8	0-10 cm	159	218	6	598	33
10-20 cm	3	2	6	7	1	10-20 cm	114	163	6	441	3
20-30 cm	5	5	6	14	1	20-30 cm	96	160	6	421	7
30-50 cm	12	13	6	36	3	30-50 cm	15	15	6	35	2
50-100 cm	3	1	6	5	1	50-100 cm	6	5	6	12	1
100-200 cm	5	3	6	9	2	100-200 cm	4	5	6	14	1
<b>29.12.1997 (25 vrk)</b>						<b>27.11.1998 (21 vrk)</b>					
0-10 cm	88	126	6	342	19	0-10 cm	134	121	6	352	12
10-20 cm	10	16	6	41	1	10-20 cm	1	1	6	2	0
20-30 cm	5	3	6	9	1	20-30 cm	1	1	6	2	0
<b>13.1.1998 (40 vrk)</b>						<b>16.12.1998 (40 vrk)</b>					
0-10 cm	45	49	6	143	12	0-10 cm	69	115	6	302	3
10-20 cm	5	3	6	8	1	10-20 cm	6	10	6	26	0
20-30 cm	4	3	6	8	1	20-30 cm	1	1	6	3	0
30-50 cm	17	38	6	94	1	30-50 cm	1	1	6	3	0
50-100 cm	12	19	6	46	1	50-100 cm	4	4	6	10	1
100-200 cm	-	-	1	1	1	100-200 cm	1	1	6	3	0
<b>3.2.1998 (61 vrk)</b>						<b>4.2.1999 (90 vrk)</b>					
0-10 cm	10	8	6	24	2	0-10 cm	82	42	6	139	14
10-20 cm	2	1	6	4	1	10-20 cm	10	7	6	17	3
20-30 cm	1	1	6	2	0	20-30 cm	5	5	6	12	0
<b>6.5.1998 (153 vrk)</b>						<b>10.5.1999 (185 vrk)</b>					
0-10 cm	35	52	6	137	2	0-10 cm	31	24	6	74	2
10-20 cm	3	4	6	8	0	10-20 cm	23	40	6	103	3
20-30 cm	1	1	6	2	0	20-30 cm	2	4	6	9	0
30-50 cm	4	9	6	23	0	30-50 cm	3	3	6	8	0
50-100 cm	4	8	6	20	0	50-100 cm	3	4	6	12	0
100-200 cm	-	-	1	2	2	100-200 cm	0	1	6	2	0
<b>6.10.1998 (306 vrk)</b>						<b>2.11.1999 (361 vrk)</b>					
0-10 cm	5	4	6	9	1	0-10 cm	27	18	6	60	5
10-20 cm	2	2	6	5	0	10-20 cm	3	3	6	8	0
20-30 cm	0	0	6	1	0	20-30 cm	0	1	6	1	0
30-50 cm	1	1	6	2	0	30-50 cm	1	1	6	2	0
50-100 cm	0	1	6	2	0	50-100 cm	0	0	6	1	0
100-200 cm	0	1	6	2	0	100-200 cm	0	1	6	2	0

-1 = näytteitä otettu yksi  
n = havaintojen lukumäärä

ka. = keskiarvo  
sd. = keskihajonta

maks = suurin havainto  
min = pienin havainto

Keskimääräinen iprodionipitoisuus

Tunnusluku	Kasvihuone A (4.12.1997)		Kasvihuone D (6.11.1998)	
	Alfaselluloosalapuissa ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	( $\mu\text{g}/\text{h}$ )	Alfaselluloosalapuissa ( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	( $\mu\text{g}/\text{h}$ )
n	6	6	6	6
ka.	1,0	102,7	1,2	722,0
sd.	1,0	116,4	0,3	191,0
maks	3,0	333,0	1,6	951,0
min	0,3	31,0	0,9	519,0

n = havaintojen lukumäärä

sd. = keskihajonta

ka. = keskiarvo

## Liite 7. Keskimääräinen malationipitoisuus (ng/g) maanäytteissä

Ruiskutus: 6.11.1997	Kasvihuone A					Ruiskutus: 5.11.1998	Kasvihuone D					
	Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks		min	Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks
<b>10.11.1997 (4 vrk)</b>							<b>9.11.1998 (4 vrk)</b>					
0-10 cm	35	42	6	93	1		0-10 cm	135	50	6	193	61
<b>20.11.1997 (14 vrk)</b>							<b>19.11.1998 (14 vrk)</b>					
0-10 cm	23	24	6	62	0		0-10 cm	281	156	6	506	119
<b>27.11.1997 (21 vrk)</b>							10-20 cm	252	128	6	400	97
0-10 cm	3	3	6	7	0		20-30 cm	99	77	6	234	20
10-20 cm	0	0	6	0	0		30-50 cm	11	11	6	26	2
20-30 cm	0	0	6	0	0		50-100 cm	3	3	6	8	0
<b>8.12.1997 (32 vrk)</b>							100-200 cm	4	3	6	8	0
0-10 cm	30	40	6	108	1		<b>27.11.1998 (22 vrk)</b>					
<b>15.12.1997 (39 vrk)</b>							0-10 cm	450	238	6	712	95
0-10 cm	5	7	6	19	0		10-20 cm	7	7	6	20	2
0-20 cm	1	1	6	3	0		20-30 cm	4	3	6	8	1
20-30 cm	0	1	6	1	0		<b>16.12.1998 (41 vrk)</b>					
30-50 cm	1	1	6	3	0		0-10 cm	134	151	6	398	14
50-100 cm	0	0	6	0	0		10-20 cm	11	12	6	31	0
100-150 cm	0	0	6	0	0		20-30 cm	2	2	6	4	0
<b>29.12.1997 (53 vrk)</b>							30-50 cm	1	1	6	2	0
0-10 cm	10	18	6	47	1		50-100 cm	5	10	6	24	0
10-20 cm	1	3	6	7	0		100-200 cm	1	1	6	2	0
20-30 cm	0	0	6	1	0		<b>4.2.1999 (91 vrk)</b>					
<b>13.1.1998 (68 vrk)</b>							0-10 cm	318	158	6	529	73
0-10 cm	1	1	6	2	0		10-20 cm	21	10	6	32	6
10-20 cm	0	0	6	0	0		20-30 cm	8	7	6	18	0
20-30 cm	0	0	6	1	0		<b>10.5.1999 (186 vrk)</b>					
30-50 cm	0	0	6	1	0		0-10 cm	22	21	6	50	0
50-100 cm	0	0	6	0	0		10-20 cm	9	9	6	18	0
100-200 cm	-	-	1	0	0		20-30 cm	2	5	6	12	0
<b>3.2.1998 (89 vrk)</b>							30-50 cm	2	3	6	8	0
0-10 cm	1	1	6	2	0		50-100 cm	2	5	6	12	0
10-20 cm	0	0	6	0	0		100-200 cm	0	0	6	1	0
20-30 cm	0	0	6	0	0		<b>*2.11.1999 (362 vrk)</b>					
<b>6.5.1998 (181 vrk)</b>							0-10 cm	*	*	*	*	*
0-10 cm	1	1	6	3	0		10-20 cm	*	*	*	*	*
10-20 cm	0	0	6	0	0		20-30 cm	*	*	*	*	*
20-30 cm	0	0	6	0	0		30-50 cm	*	*	*	*	*
30-50 cm	0	0	6	0	0		50-100 cm	*	*	*	*	*
50-100 cm	0	0	6	0	0		100-200 cm	*	*	*	*	*
100-200 cm	-	-	1	0	0							

-1= näytteitä otettu yksi

ka. = keskiarvo

maks = suurin havainto

n = havaintojen lukumäärä

sd. = keskihajonta

min = pienin havainto

\* = tulos hylätty uuden malationiruiskutuksen vuoksi

### Keskimääräinen malationipitoisuus

Tunnusluku	Kasvihuone A (6.11.1997)				Kasvihuone D (5.11.1998)	
	Alfaselluloosalapuissa		Käytäväkatteessa		Alfaselluloosalapuissa	
	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	( $\mu\text{g}/\text{h}$ )	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	( $\mu\text{g}/\text{h}$ )	( $\mu\text{g}/\text{cm}^2$ )	( $\mu\text{g}/\text{h}$ )
n	6	6	3	3	6	6
ka.	4,3	461,7	2,5	155,0	2,9	1601,0
sd.	3,3	360,3	1,2	127,8	0,4	223,8
maks	9,1	985,0	3,9	300,0	3,7	2048,0
min	1,8	196,0	1,8	58,7	2,6	1439,0

n = havaintojen lukumäärä

sd. = keskihajonta

ka. = keskiarvo

## Liite 8. Keskimääräinen malaaksonipitoisuus (ng/g) maanäytteissä

Ruiskutus: 6.11.1997	Kasvihuone A					Ruiskutus: 5.11.1998	Kasvihuone D				
Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks	min	Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks	min
<b>10.11.1997 (4 vrk)</b> 0-10 cm	0	0	6	0	0	<b>9.11.1998 (4 vrk)</b> 0-10 cm	4	0	6	4	4
<b>20.11.1997 (14 vrk)</b> 0-10 cm	0	0	6	0	0	<b>19.11.1998 (14 vrk)</b> 0-10 cm	2	2	6	5	0
<b>27.11.1997 (21 vrk)</b> 0-10 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	2	2	6	4	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	1	1	6	2	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	30-50 cm	1	1	6	3	0
<b>8.12.1997 (32 vrk)</b> 0-10 cm	5	8	6	20	0	50-100 cm	1	2	6	4	0
<b>15.12.1997 (39 vrk)</b> 0-10 cm	1	1	6	3	0	100-200 cm	0	0	6	1	0
0-20 cm	0	0	6	0	0	<b>27.11.1998 (22 vrk)</b> 0-10 cm	6	4	6	13	1
20-30 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	0	0
30-50 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
50-100 cm	0	0	6	0	0	<b>16.12.1998 (41 vrk)</b> 0-10 cm	2	3	6	7	0
100-150 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	1	0
<b>29.12.1997 (53 vrk)</b> 0-10 cm	8	20	6	48	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	30-50 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	50-100 cm	0	0	6	0	0
<b>13.1.1998 (68 vrk)</b> 0-10 cm	0	0	6	0	0	100-200 cm	0	0	6	0	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	<b>4.2.1999 (91 vrk)</b> 0-10 cm	9	6	6	15	1
20-30 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	1	0
30-50 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
50-100 cm	0	0	6	0	0	<b>10.5.1999 (186 vrk)</b> 0-10 cm	3	5	6	11	0
100-200 cm	-	-	1	0	0	10-20 cm	1	2	6	4	0
<b>3.2.1998 (89 vrk)</b> 0-10 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	1	2	6	4	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	30-50 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	50-100 cm	0	0	6	0	0
<b>6.5.1998 (181 vrk)</b> 0-10 cm	0	0	6	0	0	100-200 cm	0	0	6	0	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	<b>*2.11.1999 (362 vrk)</b> 0-10 cm	*	*	*	*	*
20-30 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	*	*	*	*	*
30-50 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	*	*	*	*	*
50-100 cm	0	0	6	0	0	30-50 cm	*	*	*	*	*
100-200 cm	-	-	1	0	0	50-100 cm	*	*	*	*	*
						100-200 cm	*	*	*	*	*

<sup>1</sup>= näytteitä otettu yksi

n = havaintojen lukumäärä

\* = tulos hylätty uuden malationiruiskutuksen vuoksi

ka. = keskiarvo

sd. = keskihajonta

maks = suurin havainto

min = pienin havainto

## Liite 9. Keskimääräinen isomalationipitoisuus (ng/g) maanäytteissä

Ruiskutus: 6.11.1997						Ruiskutus: 5.11.1998					
Kasvihuone A						Kasvihuone D					
Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks	min	Näytteenottopvm.	ka.(ng/g)	sd.	n	maks	min
<b>10.11.1997 (4 vrk)</b>						<b>9.11.1998 (4 vrk)</b>					
0-10 cm	0	0	6	0	0	0-10 cm	0	0	6	0	0
<b>20.11.1997 (14 vrk)</b>						<b>19.11.1998 (14 vrk)</b>					
0-10 cm	0	0	6	0	0	0-10 cm	4	6	6	16	0
<b>27.11.1997 (21 vrk)</b>						10-20 cm	4	7	6	16	0
0-10 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	1	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	30-50 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	50-100 cm	0	0	6	0	0
<b>8.12.1997 (32 vrk)</b>						100-200 cm	0	0	6	0	0
0-10 cm	0	0	6	0	0	<b>27.11.1998 (22 vrk)</b>					
<b>15.12.1997 (39 vrk)</b>						0-10 cm	17	17	6	45	0
0-10 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	0	0
0-20 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	<b>16.12.1998 (41 vrk)</b>					
30-50 cm	0	0	6	0	0	0-10 cm	4	7	6	16	0
50-100 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	0	0
100-150 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
<b>29.12.1997 (53 vrk)</b>						30-50 cm	0	0	6	0	0
0-10 cm	0	0	6	0	0	50-100 cm	0	0	6	0	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	100-200 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	<b>4.2.1999 (91 vrk)</b>					
<b>13.1.1998 (68 vrk)</b>						0-10 cm	9	5	6	16	0
0-10 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	0	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	<b>10.5.1999 (186 vrk)</b>					
30-50 cm	0	0	6	0	0	0-10 cm	0	0	6	0	0
50-100 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	0	0	6	0	0
100-200 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	0	0	6	0	0
<b>3.2.1998 (89 vrk)</b>						30-50 cm	0	0	6	0	0
0-10 cm	0	0	6	0	0	50-100 cm	0	0	6	0	0
10-20 cm	0	0	6	0	0	100-200 cm	0	0	6	0	0
20-30 cm	0	0	6	0	0	<b>*2.11.1999 (362 vrk)</b>					
<b>6.5.1998 (181 vrk)</b>						0-10 cm	*	*	*	*	*
0-10 cm	0	0	6	0	0	10-20 cm	*	*	*	*	*
10-20 cm	0	0	6	0	0	20-30 cm	*	*	*	*	*
20-30 cm	0	0	6	0	0	30-50 cm	*	*	*	*	*
30-50 cm	0	0	6	0	0	50-100 cm	*	*	*	*	*
50-100 cm	0	0	6	0	0	100-200 cm	*	*	*	*	*
100-200 cm	0	0	6	0	0						

n = havaintojen lukumäärä

ka. = sd. = keskihajonta

maks = suurin havainto

\* = tulos hylätty uuden malationiruiskutuksen vuoksi

min = pienin havainto

# Ravinnepitoisuudet pohjavedessä kasvihuoneella A

Pvm	Typpi (mg/l)			Nitraattityppi (mg/l)			Ammoniumtyppi (µg/l)			Fosfori (µg/l)			Fosfaattifosfori (µg/l)												
	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min										
6.11.1997	3	35,0	34,0	70,0	2,0	3	34,0	32,5	67,0	2,0	3	5,0	3,6	9,0	2,0	3	87,7	56,9	130,0	23,0	3	37,0	26,5	63,0	10,0
20.11.1997	1	44,0	-	44,0	40,0	1	40,0	-	40,0	7,0	1	7,0	-	7,0	7,0	1	48,0	-	48,0	48,0	1	2,0	-	2,0	2,0
25.11.1997	2	26,5	30,4	48,0	5,0	2	25,5	30,4	47,0	4,0	2	4,5	3,5	7,0	2,0	2	1650,0	636,4	2100,0	1200,0	2	13,5	3,5	16,0	11,0
15.12.1997	3	35,0	29,5	61,0	3,0	3	30,0	25,5	52,0	2,0	3	13,3	14,0	29,0	2,0	3	78,3	65,3	130,0	5,0	3	15,0	13,5	29,0	2,0
13.1.1998	3	31,7	27,1	55,0	2,0	3	31,7	27,1	55,0	2,0	3	8,3	11,0	21,0	2,0	3	18,0	19,3	40,0	4,0	3	13,0	13,9	29,0	4,0
17.2.1998	3	38,0	36,0	74,0	2,0	3	34,3	31,5	65,0	2,0	3	8,0	3,6	11,0	4,0	3	57,0	59,0	124,0	13,0	3	13,7	11,0	26,0	5,0
17.3.1998	3	37,7	35,5	73,0	2,0	3	35,3	33,5	69,0	2,0	3	9,3	6,7	15,0	2,0	3	128,0	125,7	270,0	31,0	3	60,0	78,0	150,0	11,0
14.4.1998	3	43,3	43,7	89,0	2,0	3	38,3	38,7	79,0	2,0	3	7,0	5,6	13,0	2,0	3	32,7	5,5	39,0	29,0	3	18,3	7,5	26,0	11,0
19.5.1998	3	2,0	0,0	2,0	2,0	3	1,3	0,6	2,0	1,0	3	7,0	2,6	9,0	4,0	3	68,0	28,6	100,0	45,0	3	22,7	11,6	35,0	12,0
16.6.1998	3	10,0	8,5	19,0	2,0	3	8,7	7,0	16,0	2,0	3	35,3	34,7	74,0	7,0	3	48,7	13,6	64,0	38,0	3	22,7	14,2	38,0	10,0
14.7.1998	3	33,0	37,0	74,0	2,0	3	32,7	37,2	74,0	2,0	3	70,7	63,1	142,0	22,0	3	35,7	3,1	39,0	33,0	3	13,3	2,5	16,0	11,0
18.8.1998	3	46,7	55,4	109,0	3,0	3	42,3	50,5	99,0	2,0	3	25,3	17,5	43,0	8,0	3	38,0	5,2	41,0	32,0	3	13,7	1,5	15,0	12,0
15.9.1998	3	40,7	46,0	92,0	3,0	3	39,0	46,4	91,0	2,0	3	60,7	45,8	113,0	28,0	3	25,0	9,6	36,0	18,0	3	7,0	1,7	9,0	6,0
19.10.1998	3	52,3	50,5	104,0	3,0	3	49,0	47,6	98,0	3,0	3	5,0	5,2	11,0	2,0	3	33,7	16,8	53,0	23,0	3	14,0	6,1	18,0	7,0
17.11.1998	3	82,0	68,5	139,0	6,0	3	72,7	59,7	121,0	6,0	3	3,0	1,7	5,0	2,0	3	19,3	7,1	27,0	13,0	3	6,7	2,1	9,0	5,0

## Ravinnepitoisuudet pohjavedessä kasvihuoneella D

Pvm	Esikäsitteily			Typpi (mg/l)			Nitraattityppi (mg/l)			Ammoniumityppi (µg/l)			Fosfori (µg/l)			Fosfaattifosfori (µg/l)									
	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min					
28.10.1998	3	30,0	45,1	82,0	2,0	3	28,0	43,3	78,0	1,0	3	3,0	1,7	5,0	2,0	3	479,3	462,0	938,0	14,0	3	222,7	232,7	470,0	8,0
3.-9.11.1998	3	104,7	41,2	152,0	77,0	3	98,7	37,6	142,0	75,0	3	14,0	20,8	38,0	2,0	3	1562,7	2605,3	4571,0	55,0	3	1512,7	2565,5	4475,0	21,0
19.11.1998	6	71,7	52,2	154,0	5,0	6	68,0	49,9	144,0	4,0	6	7,5	13,5	35,0	2,0	4	188,8	157,3	330,0	19,0	4	115,5	118,1	270,0	9,0
16.12.1998	6	63,3	48,9	144,0	5,0	6	61,0	48,5	143,0	4,0	6	26,8	34,3	80,0	2,0	6	483,5	620,0	1650,0	24,0	6	383,7	623,4	1630,0	10,0
4.2.1999	2	23,5	21,9	39,0	8,0	2	22,5	20,5	37,0	8,0	2	72,5	99,7	143,0	2,0	1	42,0	-	42,0	42,0	1	13,0	-	13,0	13,0
4.3.1999	1	37,0	-	37,0	37,0	1	37,0	-	37,0	37,0	1	29,0	-	29,0	29,0	1	31,0	-	31,0	31,0	1	14,0	-	14,0	14,0
7.4.1999	3	9,0	12,2	23,0	1,0	3	8,0	11,3	21,0	1,0	3	12,0	4,6	17,0	8,0	3	243,0	260,6	529,0	19,0	3	189,3	261,2	489,0	10,0
7.4.1999	3	9,0	12,2	23,0	1,0	3	8,0	11,3	21,0	1,0	3	30,0	39,9	76,0	5,0	3	803,0	907,2	1800,0	26,0	3	570,7	679,8	1329,0	16,0
11.5.1999	6	55,3	37,6	103,0	3,0	6	42,8	39,7	96,0	2,0	6	15,0	13,3	38,0	5,0	6	1107,5	1458,4	3855,0	7,0	6	1066,2	1471,4	3860,0	5,0
11.5.1999	6	55,5	37,9	104,0	3,0	6	42,8	39,7	96,0	2,0	6	36,0	25,0	79,0	15,0	6	1288,7	1453,6	4000,0	21,0	6	1205,5	1482,1	3980,0	9,0
7.6.1999	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	6	775,0	1073,7	2900,0	6,0	6	736,7	1071,7	2860,0	4,0
7.6.1999	6	64,7	52,0	153,0	6,0	6	60,5	48,2	141,0	5,0	6	80,5	24,0	110,0	45,0	6	890,7	1064,9	2987,0	27,0	6	792,2	1067,1	2900,0	10,0
5.7.1999	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	6	694,5	1027,6	2762,0	11,0	6	642,2	965,3	2580,0	7,0
5.7.1999	6	68,5	57,6	173,0	15,0	6	62,8	52,7	158,0	14,0	6	36,5	26,1	88,0	18,0	6	773,5	1025,0	2828,0	18,0	6	702,8	1015,2	2740,0	8,0
5.8.1999	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	6	639,7	943,6	2536,0	12,0	6	589,7	899,7	2400,0	8,0
5.8.1999	6	69,3	63,2	184,0	8,0	6	65,3	60,5	175,0	7,0	6	34,7	25,1	70,0	13,0	6	734,5	926,8	2580,0	37,0	6	627,3	885,1	2400,0	14,0
6.9.1999	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	6	403,5	547,5	1500,0	11,0	6	376,0	513,0	1400,0	6,0
6.9.1999	6	88,7	48,1	150,0	20,0	6	82,0	44,8	140,0	18,0	5	16,8	6,7	26,0	9,0	6	452,2	574,4	1600,0	13,0	6	409,3	545,0	1500,0	6,0
4.10.1999	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	6	492,3	478,3	1300,0	14,0	6	453,3	444,0	1200,0	10,0
4.10.1999	6	57,7	45,6	140,0	15,0	6	52,3	39,3	120,0	11,0	3	27,5	6,4	32,0	23,0	6	628,5	533,7	1300,0	31,0	6	565,7	507,8	1300,0	14,0
1.11.1999	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	0	-	-	-	-	5	371,6	432,6	1100,0	8,0	5	342,8	393,4	1000,0	4,0
1.11.1999	6	56,0	38,2	110,0	14,0	6	54,0	38,4	110,0	12,0	4	24,3	16,0	48,0	13,0	6	433,5	398,5	1100,0	41,0	6	382,0	398,8	1100,0	12,0

S = suodatettu näyte D = dekantoitu näyte - = näyrettä ei suodatettu



**Liite 12. Fosforipitoisuuksien ero (%) suodatetuissa ja dekantoiduissa pohjavesinäytteissä kasvihuoneella D**

<b>Pvm</b>	<b>Fosfori (%)</b>	<b>Fosfaattifosfori (%)</b>
28.10.1998	-	-
3.-9.11.1998	-	-
19.11.1998	-	-
16.12.1998	-	-
4.2.1999	-	-
4.3.1999	-	-
7.4.1999	230,5	201,4
11.5.1999	16,4	13,1
7.6.1999	14,9	7,5
5.7.1999	11,4	9,4
5.8.1999	14,8	6,4
6.9.1999	12,1	8,9
4.10.1999	27,7	24,8
1.11.1999	16,7	11,4

-' = näytteitä ei suodatettu

## Vedenlaatu-tietoja kasvihuoneella A

Pvm	Väri-luku (Pt mg/l)			Sameus (FNU)			Sähköjohtokyky, 25 °C (mS/m)			Alkaliniteetti, pH 4,2 (mmol/l)			pH, 25 °C								
	n	ka.	sd.	n	ka.	sd.	n	ka.	sd.	n	ka.	sd.	n	ka.	sd.						
6.11.1997	3	5,0	0,0	0	-	-	3	35,3	27,2	63,5	9,2	3	0,3	0,2	0,4	0,0	3	5,8	0,6	6,2	5,1
20.11.1997	1	5,0	-	0	-	-	1	36,9	-	36,9	36,9	1	0,3	-	0,3	0,3	1	6,0	-	6,0	6,0
25.11.1997	2	5,0	0,0	0	-	-	2	31,1	27,3	50,4	11,8	2	0,3	0,2	0,5	0,1	2	5,9	0,4	6,2	5,6
15.12.1997	3	15,0	8,7	0	-	-	3	34,7	22,5	54,6	10,3	3	0,3	0,2	0,5	0,1	3	6,0	0,3	6,3	5,8
13.1.1998	3	8,3	2,9	0	-	-	3	34,7	22,8	54,7	9,9	3	0,3	0,2	0,5	0,1	3	5,9	0,3	6,2	5,6
17.2.1998	3	8,3	5,8	0	-	-	3	35,8	27,8	64,9	9,4	3	0,3	0,2	0,4	0,1	3	5,9	0,4	6,2	5,5
17.3.1998	3	13,3	5,8	0	-	-	3	34,7	25,4	60,1	9,4	3	0,3	0,2	0,5	0,1	3	5,9	0,4	6,2	5,5
14.4.1998	3	5,0	0,0	0	-	-	3	40,5	32,9	75,5	10,2	3	0,4	0,2	0,5	0,2	3	6,1	0,2	6,2	5,8
19.5.1998	3	18,3	10,4	0	-	-	3	10,5	2,2	12,7	8,4	3	0,4	0,1	0,6	0,3	3	6,3	0,2	6,5	6,1
16.6.1998	3	11,7	2,9	0	-	-	3	17,3	7,8	25,5	9,9	3	0,4	0,2	0,5	0,1	3	6,0	0,3	6,2	5,6
14.7.1998	3	26,7	2,9	0	-	-	3	34,2	29,1	66,6	10,4	3	0,3	0,2	0,5	0,1	3	6,1	0,4	6,4	5,6
18.8.1998	3	6,7	2,9	0	-	-	3	40,3	38,6	83,8	9,9	3	0,3	0,2	0,5	0,1	3	6,0	0,4	6,3	5,5
15.9.1998	3	5,0	0,0	0	-	-	3	41,4	38,5	84,6	10,7	3	0,3	0,2	0,5	0,1	3	5,9	0,5	6,3	5,4
19.10.1998	3	5,0	0,0	0	-	-	3	49,8	40,5	91,3	10,4	3	0,2	0,2	0,5	0,0	3	5,7	0,6	6,1	5,0
17.11.1998	3	10,0	0,0	3	10,7	3,9	3	66,4	49,1	109,2	12,8	3	0,2	0,2	0,4	0,0	3	5,7	0,7	6,2	4,9

-1 = sameusmäärityksiä ei tehty

## Vedenlaatu-tietoja kasvihuoneella D

Pvm	Esikäsitteily	Väri-luku (Pt mg/l)			Sameus (FNU)			Sähkönjohtokyky, 25 °C (mS/m)			Alkaliniteetti, pH 4,2 (mmol/l)			pH, 25 °C												
		n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min										
28.10.1998		3	603,3	595,0	1200,0	10,0	0	-	-	-	3	43,7	28,4	75,5	21,0	3	1,6	1,5	3,2	0,1	3	6,2	0,9	7,0	5,3	
3.-9.11.1998		3	23,3	23,1	50,0	10,0	0	-	-	-	3	108,3	36,0	149,4	82,5	3	0,4	0,3	0,7	0,1	3	6,2	0,2	6,4	6,0	
19.11.1998		5	59,0	60,9	160,0	10,0	6	87,3	151,9	396,0	9,2	2	85,4	15,3	96,2	74,6	2	1,2	1,6	2,3	0,1	2	6,1	1,2	6,9	5,2
16.12.1998		2	102,5	137,9	200,0	5,0	6	158,3	296,2	760,0	9,8	3	55,4	17,3	68,8	35,8	3	1,0	1,2	2,3	0,2	3	6,0	0,7	6,6	5,3
4.2.1999		1	25,0	-	25,0	25,0	2	901,1	1257,1	1790,0	12,2	1	40,0	-	40,0	40,0	1	0,4	-	0,4	0,4	1	5,4	-	5,4	5,4
4.3.1999		1	10,0	-	10,0	10,0	1	15,7	-	15,7	15,7	1	40,3	-	40,3	40,3	1	0,3	-	0,3	0,3	1	5,4	-	5,4	5,4
7.4.1999	D	2	405,0	558,6	800,0	10,0	2	588,5	794,1	1150,0	27,0	2	19,0	9,8	25,9	12,0	2	0,7	0,5	1,0	0,3	2	6,3	1,1	7,0	5,5
11.5.1999	D	6	129,2	79,0	250,0	5,0	6	198,3	218,6	616,0	10,0	6	57,1	26,8	99,0	25,4	6	1,5	1,9	5,1	0,1	6	6,4	0,6	6,9	5,3
7.6.1999	D	6	139,2	168,4	470,0	15,0	6	142,2	233,7	615,0	10,1	3	90,7	38,8	135,0	63,0	3	1,2	1,4	2,8	0,1	3	6,2	0,9	6,8	5,2
5.7.1999	D	6	119,2	112,4	280,0	20,0	6	109,1	131,3	346,0	9,8	6	71,9	42,1	146,0	21,1	0	-	-	-	-	6	6,3	0,5	6,8	5,3
5.8.1999	D	6	94,2	84,6	200,0	5,0	6	98,6	119,5	328,0	8,7	6	64,7	56,8	168,0	6,4	6	1,1	1,2	3,3	0,1	6	6,4	0,5	6,9	5,3
6.9.1999	D	6	49,2	40,2	120,0	15,0	6	49,6	60,5	170,0	13,8	6	86,1	38,1	138,0	35,6	6	0,8	0,6	1,7	0,1	6	6,2	0,6	6,7	5,1
4.10.1999	D	6	100,0	152,4	400,0	10,0	6	122,5	195,6	512,0	10,1	5	64,0	37,9	122,0	28,2	5	0,9	0,5	1,5	0,2	5	6,2	0,6	6,9	5,3
1.11.1999	D	6	89,2	82,6	240,0	15,0	6	75,9	90,5	254,0	11,2	6	61,3	28,4	107,0	35,8	6	1,0	0,8	2,2	0,1	6	6,2	0,5	6,9	5,3

D = dekantoitu näyte -1 = käytetty pohjavesiputkista ei saatu veden vähyyden vuoksi - = sameusmäärittäystä ei tehty

## Pohjaveden lämpötila ja happipitoisuus kasvihuoneilla A ja D

Kasvihuone A*		Lämpötila (°C)				Kasvihuone D		Lämpötila (°C)				Happi (mg/l)				Happi (%)							
Pvm	n	ka.	sd.	maks	min	Pvm	Esikäsitelly	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min	n	ka.	sd.	maks	min	
6.11.1997	3	7,2	0,6	7,8	6,6	*28.10.1998		2	9,0	0,8	9,6	8,4	2	-	-	-	-	2	-	-	-	-	-
20.11.1997	1	9,2	-	9,2	9,2	**3.-9.11.1998		12	9,7	4,0	15,0	4,2	6	5,3	3,1	8,3	0,5	6	49,0	30,2	82,0	4,0	4,0
25.11.1997	2	5,9	0,4	6,1	5,6	19.11.1998		6	10,9	2,6	14,1	7,2	6	4,0	2,0	5,9	0,3	6	35,8	17,8	56,0	3,0	3,0
15.12.1997	1	7,8	-	7,8	7,8	16.12.1998		6	9,8	2,6	13,0	7,0	6	3,1	2,8	7,1	0,4	6	26,3	22,6	59,0	3,0	3,0
13.1.1998	3	6,6	1,4	8,0	5,2	04.02.1999		6	8,4	2,2	10,8	5,2	6	6,7	1,6	8,0	3,8	6	57,2	13,9	70,0	32,0	32,0
17.3.1998	1	7,7	-	7,7	7,7	04.03.1999		6	7,7	2,4	11,5	5,0	6	7,8	3,0	11,0	2,3	6	64,3	23,6	86,0	19,0	19,0
14.4.1998	3	7,3	0,7	8,0	6,6	07.04.1999	D	6	8,5	4,3	14,8	3,0	6	7,1	2,7	10,6	3,8	6	59,8	19,1	80,0	31,0	31,0
19.5.1998	3	9,5	0,9	10,5	8,8	11.05.1999	D	6	9,7	3,7	14,3	5,2	6	5,3	2,8	8,0	0,6	6	48,0	27,7	77,0	5,0	5,0
16.6.1998	3	9,3	1,5	10,8	7,8	07.06.1999	D	6	11,4	2,9	15,0	9,0	6	5,3	2,9	8,6	1,1	6	50,0	29,3	85,0	10,0	10,0
14.7.1998	3	9,0	0,2	9,2	8,8	05.07.1999	D	6	13,9	1,8	16,1	11,7	6	5,4	2,7	8,3	1,1	6	53,7	28,0	84,0	10,0	10,0
18.8.1998	3	8,9	0,2	9,1	8,8	05.08.1999	D	6	14,4	1,1	15,7	13,5	6	5,6	3,2	8,9	1,0	6	55,0	32,6	90,0	10,0	10,0
15.9.1998	3	9,8	0,6	10,4	9,4	06.09.1999	D	6	14,3	1,4	16,0	13,0	6	3,5	1,8	6,1	1,0	6	33,8	16,4	58,0	10,0	10,0
9.11.1998	9	6,2	0,2	6,4	6,0	04.10.1999	D	6	12,9	1,5	15,0	11,5	5	4,1	3,4	9,6	0,8	5	38,8	31,8	89,0	7,0	7,0
17.11.1998	9	6,3	0,3	6,7	6,1	01.11.1999	D	6	11,7	2,2	14,3	8,5	6	4,5	3,3	8,1	0,5	6	40,8	29,4	75,0	5,0	5,0

D = dekantoitu näyte \* = happitulokset hylätty näytteiden hapettumisen vuoksi

\*\* = happi mitattu suoraan pohjavesiputkesta kenttähappimitarilla (Malli ysi/57, ProLab Oy) 9.11.1998 alkaen

# Tiivistelmä

Kuopiossa aloitettiin vuonna 1997 kolmivuotinen tutkimus kasvihuonetuotannon ympäristövaikutuksista kahdella ruusun viljelyyn erikoistuneella kasvihuoneella. Tämä tutkimus täydentää osaltaan laajaa EU-tutkimusta, jossa tutkitaan ympäristön ja ihmisten altistumista torjunta-aineille. Tutkimus on tehty yhteistyössä Kuopion aluetyöterveyslaitoksen, Pohjois-Savon ympäristökeskuksen ja Geologian tutkimuskeskuksen Väli-Suomen aluetoimiston kanssa. Tämän ympäristövaikutuksiin liittyvän tutkimuksen tavoitteena on ollut selvittää maamme muusta Euroopasta poikkeavissa ympäristöolosuhteissa tapahtuvaa torjunta-aineiden ja niiden hajoamistuotteiden kulkeutumista kasvihuoneista maaperään ja pohjaveteen. Samalla on koottu aineistoa ravinteiden kulkeutumisesta ja pohjaveden laadusta.

Kasvihuoneella A malationia esiintyi eniten pintamaassa. Biologinen hajoaminen kasvihuoneella A oli hidastunut, koska maaperän orgaanisen hiilen ja mikrobibiomassan määrät olivat pienet. Tämä selittäisi pintamaanäytteiden suuret torjunta-ainepitoisuudet. Hajoaminen ilmeisesti käynnistyi hitaasti talvilepokauden alussa lämpötilan laskun vuoksi, koska malationipitoisuudet pintamaassa olivat suuremmat kuin hajoamistuotteiden pitoisuudet. Malaoksonin pitoisuudet sekä pintamaassa että syvemmillä olivat jo neljän vuorokauden kuluttua  $< 1$  ng/g. Kasvihuoneella A iprodionin adsorptiokerroin ( $K_d$ ) vaihteli 1,4-4,5 ja malationin vastaavasti 0,3-12,2. Malationin puoliintumisaika ( $DT_{50}$ ) pintamaassa oli 7,2 vuorokautta.

Kasvihuoneella A iprodioni säilyi maaperässä malationia kauemmin hitaan hajoamisen vuoksi. Iprodionin hajoamistuotetta, 3,5-dikloorianiliinia ei havaittu. Molemmilla kasvihuoneilla torjunta-aineet olivat jakautuneet maaperään hyvin epätasaisesti. Tähän vaikuttivat ilmeisesti kasvuston peittävyys, käytävän kate, ruiskutustekniset ja inhimilliset tekijät. Kasvihuoneen D maanäytteiden iprodionipitoisuuksissa esiintynyt suuri vaihtelu johtui ilmeisesti näytteiden epätasaisesta laadusta ja malationin osalta maaperään joutuneen torjunta-aineen suuresta määrästä. Kasvihuoneella D maaperään joutuneen malationin määrä oli peräti 260 % suurempi kuin kasvihuoneella A. Kasvihuoneella A tulokset olivat häiriintymättömämmät kuin kasvihuoneella D, joten mallintamisessa tullaan käyttämään A:n tuloksia.

Kasvihuoneella A torjunta-aineita ei havaittu pohjavesinäytteissä. Tähän vaikuttivat ilmeisesti sekä maaperän hienoainespitoisuus että keskimäärin kymmenen metrin matka maan pinnalta pohjaveteen. Maaperän hienoainespitoisuus lisääntyi syvemmälle mentäessä. Tämä ilmeisesti lisäsi maaperän veden pidätyskykyä ja siten vähensi torjunta-aineiden kulkeutumista. Siten maaperän sisäinen eroosio oli vähäistä. Kasvihuoneella D sitä vastoin iprodionia ja malationia esiintyi pohjavesinäytteissä. Tällä kasvihuoneella pohjavesi oli lähempänä maan pintaa (1,9 m) kuin kasvihuoneella A (9,9). Puolen vuoden kuluttua ruiskutuksesta pohjavesinäytteissä ei enää havaittu torjunta-aineita.

Useat tekijät vaikuttivat torjunta-aineiden ja ravinteiden kulkeutumiseen pohjaveteen. Tässä tutkimuksessa tärkeimpiä kulkeutumiseen vaikuttaneista tekijöistä olivat:

- Pohjavesipinnan taso
- Maaperän sisäinen eroosio ja veden liike maakerroksissa
- Maalajin rakeisuuskoostumus eri syvyyksillä
- Torjunta-aineiden ja ravinteiden adsorptio maaperään ( $K_d$ )

Pohjavesinäytteiden nitraattityypipitoisuudet olivat erittäin suuria luonnontilaiseen pohjaveteen verrattuna. Ilmeisesti kasvihuoneella D nitraattityppi kulkeutui pohjaveteen osittain salaojaputkiston kautta. Nitraattityypipitoisuus oli kasvihuoneella A keskimäärin 34,5 mg/l ja kasvihuoneella D 50,3 mg/l. Pohjavesinäytteiden fosforipitoisuus oli kasvihuoneella A keskimäärin 0,1 mg/l ja kasvihuoneella D 0,6 mg/l. Pohjavesinäytteiden fosfaattifosforipitoisuus kasvihuoneella A oli keskimäärin 0,02 mg/l ja kasvihuoneella D 0,5 mg/l. Kasvihuoneella D pohjavesinäytteiden fosforista suurin osa oli fosfaattimuodossa.

# Kuvailulehti

Julkaisija	Pohjois-Savon ympäristökeskus	Julkaisu-aika marraskuu 2001
Tekijä(t)	Kristina Servomaa, Anneli Tuomainen, Anne Ahokas, Pekka Sojakka, Olli Breilin, Juhani Kangas	
Julkaisun nimi	Torjunta-aineiden ja ravinteiden kulkeutuminen kasvihuoneista maaperään ja pohjaveteen - EU-projekti SMT CT96-2048	
Julkaisun osat/ muut saman projektin tuottamat julkaisut		
Tiivistelmä	<p>Tässä raportissa esitetyssä tutkimuksessa on pyritty arvioimaan kasvihuoneiden toiminnan vaikutusta maaperään ja pohjaveteen kahdella ruusunviljelyyn erikoistuneella tarhalla tehtyjen torjunta-aine- ja pohjavesimittausten sekä ympäristötekijöiden avulla. Torjunta-aineiden kulkeutumisen tarkastelua vaikeutti aineiden epätasainen jakautuminen maaperään ruiskutuksissa sekä tehokas sitoutuminen lehvästöön, jolloin torjunta-aineita vapautui uudelleen maaperään kastelu- ja huuhteluveden mukana. Lisäksi maaperän rakenteelliset erot sekä vertikaali- että horisontaalitasossa aiheuttivat suurta vaihtelua mitattuihin torjunta-ainepitoisuuksiin. Biologinen hajoaminen ja hajotusaktiivisuus toisella kasvihuoneella oli selvästi hidastunut maaperän vähäisen orgaanisen hiilen ja mikrobibiomassan vuoksi.</p> <p>Kahdesta tutkitusta torjunta-aineesta malationi pidättyi iprodionia paremmin maaperän pintaosaan iprodionin kulkeutuessa syvemmälle. Samalla iprodionin hajoamisaika malationiin nähden maaperässä kasvoi. Vain toisella tutkituista kasvihuoneista torjunta-aineita tavattiin pohjavedestä. Maakerroksen paksuudella pohjavesikerroksen ja pintamaan välillä, veden liikkeellä ja pohjavesipinnan tasolla näytti olevan oleellisen suuri merkitys ravinteiden ja torjunta-aineiden pidättymiseen ja kulkeutumiseen. Puolen vuoden kuluttua ruiskutuksesta torjunta-aineet olivat hävinneet pohjavedestä.</p> <p>Tutkimuksessa kävi lisäksi ilmi lannoitevesien selvästi havaittavat paikallisvaikutukset pohjaveden ravinnepitoisuuksiin erityisesti nitraattitypen osalta. Kasvihuonetuotannon vesiensuojelun kehittyessä tulee ravinteiden ja haitallisten aineiden kulkeutumisen hallintaan kiinnittää nykyistä enemmän huomiota.</p>	
Asiasanat	torjunta-aineet, ympäristötekijät, maaperä, pohjavesi, ravinteet, vesiensuojelu	
Julkaisusarjan nimi ja numero	Suomen ympäristö 516	
Julkaisun teema	Ympäristönsuojelu	
Projektihankkeen nimi ja projektinumero	The Assessment of Operator, Bystander and Environmental Exposure to Plant Protection Products - EU-project SMT CT96-2048	
Rahoittaja/ toimeksiantaja		
Projektiryhmään kuuluvat organisaatiot	Pohjois-Savon ympäristökeskus, Kuopion aluetyöterveyslaitos, Geologian tutkimuskeskus (Kuopio)	
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0998-X
	Sivuja 79	Kieli suomi
	Luottamuksellisuus julkinen	Hinta 14 •
Julkaisun myynti/ jakaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus puh. (017) 788 4763 telefax (017) 788 4764	Edita Oyj, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Editä puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380, sähköpostiosoite: asiakaspalvelu@edita.fi www-palvelin: http://www.edita.fi/netmarket
Julkaisun kustantaja	Pohjois-Savon ympäristökeskus	
Painopaikka ja -aika	Suomen Graafiset Palvelut Oy Ltd. Kuopio 2001	

# Presentationsblad

Utgivare	Norra Savolax miljöcentral	Datum november 2001						
Författare	Kristina Servomaa, Anneli Tuomainen, Anne Ahokas, Pekka Sojakka, Olli Breilin, Juhani Kangas							
Publikationens titel	Urlakning av bekämpningsmedel och näringsämnen från växthus i jorden och i grundvattnet							
Publikationens delar/ andra publikationer inom samma projekt								
Sammandrag	<p>I den undersökning, som presenteras i denna rapport, har man strävat till att bedöma inflytandet av växthusens verksamhet på jorden och på grundvattnet på två i rosenodling specialiserade gårdar med tillhjälp av utförda bekämpningsmedels- och grundvattenmätningar samt miljöfaktorer. Iakttagningen av bekämpningsmedlens urlakning försvårades av bekämpningsmedlens ojämna fördelning i jorden vid besprutningar samt en effektiv förbindelse vid lövverket, då bekämpningsmedel befriades ånyo i jorden med bevattnings- och sköljvattnet. Därtill förorsakade jordens strukturella skillnader i såväl vertikal- som i horisontalplanet en stor variation i de mätta bekämpningsmedelshalterna. Den biologiska upplösningen och nedbrytningsaktiviteten på det ena av växthusen hade blivit tydligt långsammare för det ringa organiska kolets och mikrob biomassans skull.</p> <p>Av de två undersökta bekämpningsmedlen absorberades malation bättre än iprodion i jordens ytskikt medan iprodion urlakade djupare. Samtidigt förlängdes upplösningstiden i jorden av iprodionet i förhållande till malationet. Endast på det ena av de undersökta växthusen påträffades bekämpningsmedel i grundvattnet. Jordskiktets tjocklek mellan grundvattenlagret och ytmarken, vattnets rörelse och grundvattnets ytnivå tycktes vara av väsentligt stor betydelse för absorptionen och urlakningen av näringsämnen och bekämpningsmedel. Efter förloppet av ett halvt års tid från besprutningen hade bekämpningsmedlen försvunnit ur grundvattnet. I undersökningen framgick ytterligare gödslingsvattnens tydligt observerbara lokalinverknningar på grundvattnets näringsämnehalter i synnerhet för nitratkvävet del. Vid utvecklingen av växthusproduktionens vattenvård bör mera uppmärksamhet fästas än nuförtiden är fallet vid bemästrandet av urlakningen av näringsämnen och skadliga ämnen.</p>							
Nyckelord	bekämpningsmedel, miljöfaktorer, jord, grundvatten, näringsämne, vattenvård							
Publikationsserie och nummer	Miljön i Finland 516							
Publikationens tema	Miljövard							
Projektets namn och nummer	The Assessment of Operator, Bystander and Environmental Exposure to Plant Protection Products - EU-project SMT CT96-2048							
Finansiär/ uppdragsgivare								
Organisationer i projektgruppen	<p>Norra Savolax miljöcentral, Kuopio regioninstitut för arbetshygien, Geologiska forskningscentralen (Kuopio)</p> <table border="1"> <tr> <td>ISSN 1238-7312</td> <td>ISBN 952-11-0998-X</td> </tr> <tr> <td>Sidantal 79</td> <td>Språk finska</td> </tr> <tr> <td>Offentlighet offentlig</td> <td>Pris 14 •</td> </tr> </table>		ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0998-X	Sidantal 79	Språk finska	Offentlighet offentlig	Pris 14 •
ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0998-X							
Sidantal 79	Språk finska							
Offentlighet offentlig	Pris 14 •							
Beställningar/ distribution	Norra Savolax miljöcentral tel. +358 17 788 4763 telefax + 358 17 4764	Edita Abp, Kundenservice, PB 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 450 05, telefax +358 20 450 2380, e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi www-server: http://www.edita.fi/netmarket						
Förläggare	Norra Savolax miljöcentral							
Tryckeri/ tryckningsort och -år	Suomen Graafiset Palvelut Oy Ltd. Kuopio 2001							



# Documentation page

Publisher	North Savo Regional Environment Centre	Date	November 2001
Author(s)	Kristina Servomaa, Anneli Tuomainen, Anne Ahokas, Pekka Sojakka, Olli Breilin, Juhani Kangas		
Title of publication	Leaching of pesticides and nutrients from greenhouses to the soil and the ground water		
Parts of publication/ other project publications			
Abstract	<p>In the study presented in this report it has been endeavoured to evaluate the influence of greenhouse operation on the soil and the ground water by means of measuring the pesticides and nutrients as well as environmental factors on two garden farms specialized on rose cultivation. Observing the leaching of the pesticides was impeded by the uneven dispersion of the pesticides in the soil after the sprayings, as well as the efficient binding into the foliage, causing the pesticides to be freed back into the soil along the irrigation and flushing water. Additionally, the structural differences in the soil both on the vertical and on the horizontal level caused great variation in the measured pesticide contents. The biological degradation and the decomposition activity was clearly slowed down on the other greenhouse due to a low organic carbon content and microbial biomass.</p> <p>Out of the two pesticides investigated, malathion was absorbed better than iprodione into the surface layer of the soil, whereas iprodione leached deeper. At the same time the degradation time of iprodione grew in regard of malathion. Only in the other of the surveyed greenhouses pesticides were found in the ground water. The thickness of the soil layer between the ground water layer and the surface earth, the movement of the water and the level of the ground water surface seemed to have an essentially great importance on absorption and leaching of the pesticides and the nutrients. In half a year from the spraying the pesticides had disappeared from the ground water. In the survey appeared also the clearly discernible local influence of the fertilizer waters on the nutrient contents particularly in regard of the nitrate nitrogen. As the protection of waters in greenhouse production is developing, more attention than presently must be paid to the management of leaching of nutrients and harmful substances.</p>		
Keywords	pesticides, environmental factors, soil, ground water, nutrients, protection of waters		
Publication series and number	The Finnish Environment 516		
Theme of publication	Environmental protection		
Project name and number, if any	The Assessment of Operator, Bystander and Environmental Exposure to Plant Protection Products - EU-project SMT CT96-2048		
Financier/ commissioner			
Project organization	North Savo Regional Environment Centre, Kuopio Regional Institute of Occupational Health, Geological Survey of Finland (Kuopio)		
	ISSN 1238-7312	ISBN 952-11-0998-X	
	No. of pages 79	Language Finnish	
	Restrictions public	Price 14 •	
For sale at/ distributor	North Savo Regional Environment Centre tel. 358 17 788 4763 telefax +358 17 788 4764	Edita Plc, P.O. Box 800, FIN-00043 Edita, Finland tel. +358 20 450 005, telefax +358 20 450 2380, e-mail: asiakaspalvelu@edita.fi www-server: http://www.edita.fi/netmarket	
Financier of publication	North Savo Regional Environment Centre		
Printing place and year	Suomen Graafiset Palvelut Oy Ltd. Kuopio 2001		



**YMPÄRISTÖN-  
SUOJELU**

## Torjunta-aineiden ja ravinteiden kulkeutuminen kasvihuoneista maaperään ja pohjaveteen

Kuopiossa aloitettiin vuonna 1997 kolmivuotinen tutkimus kasvihuonetuotannon ympäristövaikutuksista kahdella ruusun viljelyyn erikoistuneella kauppapuutarhalla. Tutkimus täydentää osaltaan laajaa EU-tutkimusta, jonka tarkoituksena on tutkia torjunta-aineiden kulkeutumista, säilymistä ja hajoamista maaperässä sekä huuhtoutumista pohjaveteen kasvihuoneilla eri Euroopan maissa.

Suomessa tehtävän tutkimuksen taustalla on pyrkimys selvittää maamme muista tutkituista Euroopan maista poikkeavien ympäristöolosuhteiden vaikutus tutkimustuloksiin. Tulokset täydentävät osaltaan torjunta-aineiden ympäristöaltistumisen arviointiin tähtäävää yhteis-eurooppalaista mallinnusta. Samalla on koottu aineistoa ravinteiden kulkeutumisesta ja pohjaveden laadusta. Tutkimus on toteutettu yhteistyössä Kuopion aluetyöterveyslaitoksen ja Geologian Tutkimuskeskuksen Väli-Suomen aluetoimiston kanssa.

ISBN 952-11-0998-X

ISSN 1238-7312

Myynti:

Pohjois-Savon ympäristökeskus  
puh. (017) 788 4763  
telefax (017) 788 4764

Edita Oyj, Asiakaspalvelu, PL 800, 00043 Editä  
puh. 020 450 05, telefax 020 450 2380,  
sähköpostiosoite: asiakaspalvelu@edita.fi  
www-palvelin: <http://www.edita.fi/netmarket>

