

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

TIEDOTE

6/92

RITVA MÄKELÄ-KURTTO, JOUKO SIPPOLA ja RAILI JOKINEN

**Teollisuuden jätevesilietteet
ja niiden hyötykäyttö maataloudessa**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE 6/92

RITVA MÄKELÄ-KURTTO, JOUKO SIPPOLA ja
RAILI JOKINEN

Teollisuuden jätevesilietteet ja niiden hyötykäyttö maataloudessa

Loppuraportti tutkimushankkeesta ”Teollisuuden jäte-
vesilietteet ja niiden mahdollinen hyötykäyttö maa-
taloudessa”

Maatalouden tutkimuskeskus
Ympäristöntutkimuslaitos
31600 JOKIOINEN
Puh. (916) 1881

Jokioinen 1992
ISSN 0359-7652

S I S Ä L L Y S

ESIPUHE	4
TIIVISTELMÄ	5
JOHDANTO	7
TUTKIMUSMATERIAALI JA MENETELMÄT	10
Jätevesilietteet	10
Kenttäkokeet	11
Maanäytteet	13
Kasvinäytteet	13
Astiakoe	14
Maa-analyysit	17
Kasvianalyysit	18
Lieteanalyysit	19
Yleiset ominaisuudet	19
Alkuaineiden kokonaispitoisuudet	19
Uuttuvien alkuaineiden pitoisuudet	19
Orgaanisen kloorin ja epäorgaanisen kloridin määrät	20
Orgaanisten klooriyhdisteiden määrät	20
Säöolosuhteet	22
TULOKSET	23
Lietteiden ominaisuudet	23
Yleiset ominaisuudet	23
Alkuaineiden kokonaispitoisuudet	23
Uuttuvien alkuaineiden pitoisuudet	24
Kloorin kokonaismäärä sekä orgaaniseen ainekseen sitoutuneen kloorin ja epäorgaanisen kloridin määrät	25
Orgaanisten klooriyhdisteiden määrät	25
Kenttäkokeet	30
Sadot ja niiden laatu	30
Lietteiden vaikutukset koemaiden ominaisuuksiin	31

Astiakoe	32
Sadot ja niiden laatu	32
Lietteiden vaikutukset koemaiden ominaisuuksiin	33
TULOSTEN TARKASTELU	34
Sääolosuhteiden merkitys lietekokeissa	34
Lietteiden soveltuvuus maatalouskäyttöön	34
Lietteiden ravinnearvo	34
Orgaanisen kloorin merkityksestä lietteessä	36
Orgaanisten klooriyhdisteiden merkityksestä lietteissä	37
Lietteiden käytön merkitys satojen ja niiden laadun kannalta	39
Lietteiden käytön merkitys maan ominaisuuksien kannalta	40
JOHTOPÄÄTÖKSET	46
LIETTEIDEN KÄYTTÖSUOSITUKSET	48
KIRJALLISUUS	49
LIITTEET	

ESIPUHE

Teollisuuden jäteveden puhdistamojen lietteiden käyttöä maataloudessa koskeva neljävuotinen tutkimus käynnistyi vuonna 1988 ympäristöministeriöltä saadun rahoituksen sekä tutkimushankkeeseen osallistuneiden yritysten ja tutkimuslaitosten oman panostuksen turvin.

Yrityksistä mukana olivat Serla Oy, Yhtyneet Paperitehtaat Oy sekä Genencor International (ent. Cultor Oy) ja Fermion, tutkimuslaitoksista Maatalouden tutkimuskeskus ja Jyväskylän yliopisto. Hanketta koordinoi Maa ja Vesi Oy. Työn valvojana toimi Uudenmaan lääninhallitus. Tutkimuksen seurantaryhmään kuuluivat toimistopäällikkö Seppo Vuolanto Uudenmaan lääninhallituksesta, osastopäällikkö Pentti Väänänen Maa ja Vesi Oy:stä, professori Jouko Sippola Maatalouden tutkimuskeskuksesta, ylitarkastaja Hannu Laaksonen ympäristöministeriöstä, tekn. lis. Olli Välttilä Keskuslaboratorio Oy:stä, kemisti Pentti Hurskainen Yhtyneet Paperitehtaat Oy:stä, tehtaanjohtaja Markku Loisa Genencor Internationalista, Raimo Kettunen Serla Oy:stä, apulaisprofessori Pekka Vilppunen Oulun yliopistosta ja professori Jaakko Paasivirta Jyväskylän yliopistosta.

Maj ja Tor Nesslingin säätiöltä saadulla apurahalla tehdyt tutkimukset lietteen orgaanisten klooriyhdisteiden pitoisuuksista on annettu yllä mainitun tutkimusprojektin käyttöön.

Tutkimus tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksessa Jokioisissa. Orgaaniset klooriyhdisteet analysoitiin Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksessa.

Tekijät lausuvat parhaat kiitöksensä kaikille niille, jotka myötävaikuttivat tutkimuksen onnistumiseen.

TIIVISTELMÄ

Tässä neljävuotisessa tutkimuksessa selvitettiin kolmen teollisuuslaitoksen jätevesilietteiden soveltuvuutta maatalouskäyttöön. Teollisuuslaitokset olivat Serla Oy:n sulfiittisellu- ja paperitehtaat Mäntässä, Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n paperitehtaat Kaipolassa sekä Genencor Internationalin ja Fermionin entsyymi- ja lääketehaat Hangossa. Lietteiden vaikutuksia ohran viljelyyn eri levitysmäärillä tutkittiin kahdella maalajilla, aitosavella ja hienolla hiekalla, kenttäkokeissa neljän kasvukauden (1988-1991) aikana ja astiakokeissa yhden kasvukauden (1989) aikana.

Entsyymi- ja lääketehaiden liete sisälsi runsaasti ravinteita, mutta metsäteollisuuden lietteet olivat melko vähäravinteisia. Kaikissa tutkituissa lietteissä oli vain vähäisiä määriä raskasmetalleja eivätkä ne rajoita minkään lietteen käyttöä maataloudessa. Sen sijaan sulfiittisellu- ja paperitehtaiden liete sisälsi arveluttavia määriä erilaisia klooriyhdisteitä ja jonkin verran myös kloorifenoleja.

Entsyymi- ja lääketehaiden lietteellä oli hyvä lannoitusvaikutus ensimmäisenä vuonna ja myös hyvä jälkilannoitusvaikutus. Tällä lietteellä pystyttiin tutkituilla käyttömäärillä kokonaan korvaamaan vuosittainen NPK-lannoitus useamman vuoden ajaksi ja jopa saamaan sadonlisäystä NPK-lannoitteisiin verrattuna. Sulfiittisellu- ja paperitehtaiden lietteellä oli jonkin verran lannoitusvaikutusta kahden ensimmäisen vuoden aikana, mutta kolmantena ja neljäntenä vuonna lietteen vaikutukset satoon olivat haitallisia. Paperitehtaiden jätevesiliete pienensi satoa ensimmäisenä vuonna, mutta seuraavina vuosina lannoitusvaikutus lisääntyi jossain määrin. Mitkään lietelisykset eivät aiheuttaneet oleellisia muutoksia satojen kemialliseen koostumukseen tutkittujen epäorgaanisten aineiden osalta.

Lietteillä oli sekä edullisia että epäedullisia vaikutuksia viljelymaan ominaisuuksiin. Entsyymi- ja lääketehaiden liete kohotti maan pH-arvoa ja ravinnepitoisuutta, paperitehtaiden liete taas erityisesti maan orgaanisen aineksen määrää.

Suurista levitysmääristä johtuen entsyymi- ja lääketehaiden liete nosti pintamaan fosforin ja nitraattityypen pitoisuudet arveluttavan korkeiksi paitsi kasvintuotannon niin myös ympäristön kannalta, erityisesti hienolla hiekalla. Jopa pohjamaiden nitraattityppipitoisuuksissa todettiin lisäystä. Selvää lisäystä tapahtui myös pintamaiden rikki-, natrium-, rauta- ja sinkkipitoisuuksissa. Paperitehtaiden liete kohotti maan booripitoisuutta.

Tutkimustulosten perusteella kolmesta tutkitusta lietteestä entsyymi- ja lääketehaiden jätevesilietettä voitiin suositella hyödynnettäväksi maataloudessa. Tällä lietteellä oli edullisia vaikutuksia satoon ja maan pH-arvoon. Lietteen haitalliset vaikutukset maaperään kasvintuotannon ja ympäristön kannalta vältetään, kun käyttömäärää vähennetään. Tätä lietettä suositellaan käytettäväksi stabiloituna 1.4.1991 voimaan astuneiden puhdistamolietteohjeiden mukaisesti. Lietteen suurin kerta-annos on neljä tn/ha kuiva-ainetta neljää vuotta kohti ja vuotuisannos yksi tn/ha kuiva-ainetta. Täydennyslannoitus tyyppien ja kaliumin osalta suositellaan tehtäväksi viljavuustutkimuksen ja viljeltävän kasvin ravinnevaatimusten mukaisesti.

Paperitehtaiden liete oli ravinneköyhää, mutta sillä pystyttiin lisäämään maan orgaanisen aineksen määrää. Tämän lietteen käyttöarvo peltoviljelyssä perustuisi pääasiassa lietteen maanparannus arvoon. Kuitenkin lietteen haitalliset vaikutukset satoon ensimmäisenä vuonna lietteen levityksen jälkeen osoittivat, että liete olisi jotenkin esikäsiteltävä, esimerkiksi kompostoitava, ennen peltoon levittämistä. Tutkimus osoitti, että paperitehtaiden liete ei ilman esikäsitelyä sovellu käytettäväksi maataloudessa.

Sulfiittisellu- ja paperitehtaiden liete aiheutti haitallisia jälkivaikutuksia satoon. Lisäksi liete sisälsi arveluttavia määriä erilaisia klooriyhdisteitä. Tätäkään lietettä ei tulosten perusteella voida suositella viljelyskäyttöön ilman jonkinlaista esikäsitelyä.

JOHDANTO

Teollisuuden jätevesien puhdistusvaatimukset kiristyivät 1980-luvulla voimakkaasti. Monet teollisuuslaitokset ovatkin rakentaneet korkeatehoisia biologisia jätevedenpuhdistamoita. Teollisuuden, erityisesti metsäteollisuuden, lietteiden koostumus on erilainen kuin yhdyskuntalietteillä. Tästä syystä teollisuuden jätevesilietteiden hyötykäyttökelpoisuus on selvitettävä ennen niiden suurimittaista käyttöä maataloudessa. Vastaavat selvitykset tehtiin 1970-luvun alussa yhdyskuntalietteillä.

Yhdyskuntajätevesien puhdistuksen tuloksena syntyvä bioliete sisältää huomattavia määriä kasvinravinteita ja biomassaa. Mikäli jätevesilietteitä hyödynnetään maataloudessa, voidaan teollisesti valmistettujen kivennäislannoitteiden käyttöä vähentää ja samalla pienentää jätemääriä.

Puhdistamolietteeseen kertyy ravinteiden ja orgaanisen aineksen lisäksi myös raskasmetalleja ja orgaanisia epäpuhtauksia. Sopimattomalla jätevesilietteiden maatalouskäytöllä voidaan liata paitsi viljelymaa myös siitä saatava sato sekä pinta- ja pohjavedet.

Useissa maissa huoli puhdistamolietteen aiheuttamista riskeistä on viime vuosina johtanut lietteen viljelykäytöstä annettujen ohjeiden tiukentamiseen. Tämän takia yhdyskuntien jätevesilietteiden käyttöohjeet uusittiin vuonna 1991 EY:n direktiivien mukaisiksi. Suomessa erityisesti maataloustuottajien edustajat ovat olleet huolissaan elintarvikkeiden puhtaudesta. Maa- ja metsätaloustuottajain Keskusliitto MTK r.y. on vuonna 1990 hyväksymässään ympäristönsuojeluohjelmassa esittänyt puhdistamolietteen viljelykäytön lopettamista. Ohjeiden kiristyminen ja MTK:n suositus todennäköisesti vähentävät lietteiden hyötykäyttöä maataloudessa. Yhdyskuntien jätevesilietteiden hyötykäyttö on ollut hyvin pitkällä. Vuonna 1987 noin puolet syntyvästä lietteestä käytettiin maanviljelyssä ja neljäsosa viherrakentamisessa.

Sellu- ja paperiteollisuuden jätevedenpuhdistamoilla syntyvät biolietemäärät ovat todella suuria. Kun kaikki aktiivilietelaitokset ovat käynnistyneet, syntyy Suomessa esimerkiksi metsäteollisuuden biolietettä 100 000 tn/v (taulukko 1). Noin puolet lietteestä syntyy sellutehtaiden ja puolet paperitehtaiden puhdistamoilla.

Taulukko 1. Metsäteollisuuden lietteiden määrän (tn/v ka) arvioitu kehitys v. 1990-2000 (JÄPPINEN, 1987. Ref. ALAVAKE-RI ja PUHAKKA, 1989).

	v. 1990	v. 2000
Primääriliete	290 000 (84 %)	325 000 (75 %)
Bioliete	50 000 (14 %)	100 000 (23 %)
Kemiallinen liete	8 000 (2 %)	10 000 (2 %)

Bioliete, jossa pääosa on biomassaa, voidaan kuivata nykyisillä teknis-taloudellisesti kyseeseen tulevilla menetelmillä hieman yli 20 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, kun taas metsäteollisuuden kuituliete voidaan kuivata 40-55 %:n kuiva-ainepitoisuuteen, jolloin sen polttaminen tuottaa energiaa.

Sellu- ja paperiteollisuuden lietteiden nykyiset käsittelytavat ovat Suomessa seuraavat:

- 1) poltto yhdessä puun kuoren kanssa (noin 40 % lietteistä)
- 2) sijoitus kaatopaikalle (noin 40 %)
- 3) uudelleenkäyttö (noin 10 %)
- 4) loput noin 10 % ajetaan läjitysaltaisiin tai käytetään täytemaana (täytemaaksi kelpaa vain primääriliete).

Aumakompostointi on vasta kokeiluasteella, mutta menetelmän merkitys kasvaa.

Tällä hetkellä ja lähitulevaisuudessa on suuri tarve löytää uusia lietteiden hyödyntämis- ja käsittelytapoja, koska

- 1) teollisuuden biolietteiden määrä kasvaa vuoden 1984 nolatilanteesta vuoteen 2000 noin 500 000 m³:iin vuodessa
- 2) biolietteen kasvava osuus primäärilietteeeseen verrattuna vähentää polton (yhdessä puun kuoren kanssa) taloudellisuutta,
- 3) polton savukaasuista on löydetty tosin hyvin pieniä määriä muun muassa dioksiinia ja orgaanisia klooriyhdisteitä (merkitys vähenee edelleen happivalkaisun ja muiden kloorivalkaisua korvaavien massan valkaisumenetelmien yleistyessä),
- 4) polttoa ovat eräissä tapauksissa haitanneet myös biolietteiden aiheuttamat korroosioongelmat kattilassa,
- 5) kaatopaikkatilaa on rajallisesti ja kaatopaikan rakentaminen ympäristövaatimukset täyttäväksi on yhä kalliimpaa. Suuri metsäteollisuuslaitos voi tuottaa vuodessa noin 80 000 m³ lietettä, josta biolietteen osuus on noin 30 000 m³.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää, soveltuvatko teollisuuden, erityisesti sellu- ja paperiteollisuuden sekä lisäksi myös entsyymi- ja lääketeollisuuden jätevesilietteet maatalouskäyttöön, mikä on niiden arvo lannoitus- ja maanparannusaineena, mitkä ovat näiden lietteiden maatalouskäyttöä haittaavat ja/tai rajoittavat tekijät sekä tutkimustulosten pohjalta antaa kyseisille lietteille käyttösuositukset.

TUTKIMUSMATERIAALI JA MENETELMÄT

Jätevesilietteet

Tässä tutkimuksessa oli vertailtavana kolmen eri teollisuuslaitoksen stabiloimatonta jätevesilietettä. Teollisuuslaitokset olivat Serla Oy:n sulfiittisellu- ja paperitehtaat Mäntässä, Yhtyneet Paperitehtaat Oy:n paperitehtaat Kaipolassa sekä Genencor Internationalin ja Fermionin entsyymi- ja lääketehaat Hangossa.

Näiden tehtaiden tuotanto, jätevesien laatu ja tutkimuksessa käytettyjen lietteiden synty tapa ja käsittely on kuvailtu liitteissä 1-3. Biolietteen osuus Mäntän lietteessä oli 25 % ja Kaipolan lietteessä 20 %. Muu osa lietteistä oli pääasiassa kuitu-, kuori- ja täyteainepohjaista. Hangon tehtaiden liete oli kokonaisuudessaan kemiallisesti saostettua biolietettä.

Lietenäytteet otettiin liete-erittäin samana päivänä, jolloin liete levitettiin maahan. Mäntän tehtaalta tuli tutkimuksiin kolme lieteerää. Näytteet otettiin 31.5.1988 Jokioisille kenttäkokeeseen tuodusta erästä, 6.6.1988 Pälkäneelle kenttäkokeeseen tuodusta erästä ja 8.6.1989 Jokioisille astiakokeeseen tuodusta erästä. Kaipolan tehtaalta tuli kaksi liete-erää ja näytteet otettiin 23.5.1989 Pälkäneelle kenttäkokeeseen tuodusta erästä ja 24.5.1989 Jokioisille kenttä- ja astiakokeisiin tuodusta erästä. Myös Hangon tehtailta tuli kaksi lietetoimitusta ja näytteidenotto tapahtui 29.5.1989 Jokioisille kenttä- ja astiakokeeseen tulleesta erästä ja 8.6.1989 Pälkäneelle kenttäkokeeseen tuodusta erästä.

Lietenäytteiden esikäsittely analyysyjä varten ja säilytys olivat samanlaiset kuin maanäytteille. Tutkittavista liete-eristä otettiin näytteitä myös pakastukseen (-20°C) orgaanisten klooriyhdisteiden analysointia varten.

Kenttäkokeet

Teollisuuden jätevesilietteitä tutkittiin kenttäkokeissa vuosina 1988-91 kahdella koepaikalla, MTTK:n Nummelan sivutilalla Jokioisilla ja MTTK:n Hämeen tutkimusasemalla Pälkäneellä. Koeruudun

koko oli 10 m x 3 m. Ruutujen väli pitkittäissuunnassa oli 3 m ja poikittaisuunnassa 8 m. Kenttäkoekaaviot käyvät ilmi kuvasta 1.

Kenttäkokeet aloitettiin vuonna 1988 Mäntän lietteellä ja vuonna 1989 Kaipolan ja Hangon lietteillä. Ruutujen käsittelyt olivat seuraavat: NPK-ruutu sai kivennäislannoituksen (taulukko 2) viljavuustutkimukseen perustuen; M 10-ruudulle lisättiin Mäntän lietettä noin 10 tn/ha ka ja M 30-ruudulle samaa lietettä noin 30 tn/ha ka. K 40-ruudulle levitettiin Kaipolan lietettä 40 tn/ha ka ja K 120-ruudulle 120 tn/ha ka, H 10-ruudulle Hangon lietettä 10 tn/ha ka ja H 30-ruudulle 30 tn/ha ka. Lieteruutujen ravinteisuutta täydennettiin kivennäislannoitteilla (taulukko 2). Pyrkimyksenä oli saavuttaa kullakin koekentällä sama ravinnetaso kaikissa muissa koeruuduissa paitsi 0-ruuduissa. Käsittelyt tutkittiin neljänä kerranteena. Lieteruuduille lietteet ja kivennäislannoitteet levitettiin kerta-annoksina aloitusvuonna, ja seuraavat vuodet olivat seurantaa. Sen sijaan NPK-ruudut lannoitettiin vuosittain. Lisäksi vuonna 1989 vertailuun tuli mukaan 0-ruutu, johon ei lisätty epäorgaanisia eikä orgaanisia lannoitteita lainkaan. 0-ruudut jätettiin lannoittamatta joka vuosi kokeen loppuun saakka.

Taulukko 2. Koeruuduille kivennäislannoitteissa lisätyt typi(N)-, fosfori(P)- ja kalium(K)-määrät (kg/ha) eri lietteille (M = Mänttä, K = Kaipola ja H = Hanko) ja levitysmäärille (tn/ha ka) kenttäkokeissa Jokioisilla ja Pälkäneellä (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu).

Kivennäislannoitteita (kg/ha)						
Ruutu	Jokioinen			Pälkäne		
	N	P	K	N	P	K
0	-	-	-	-	-	-
NPK	60	25	50	60	35	40
M 10	-	21	40	-	31	30
M 30	-	13	20	-	23	10
K 40	-	18	32	-	28	22
K 120	-	-	-	-	14	-
H 10	-	-	-	-	-	-
H 30	-	-	-	-	-	-

JOKIOINEN

1988	H 30	K 40	H 10	0	1989-1991
	H 10	K 120	H 30	K 120	
	K 120	0	K 40	K 40	
	K 40	H 10	K 120	H 30	
	0	H 30	0	H 10	
	M 30	M 10	NPK	M 30	
	M 10	NPK	M 30	M 10	
	NPK	M 30	M 10	NPK	

PÄLKÄNE

1988	M 30	M 10	NPK	M 30	1989-1991
	M 10	NPK	M 30	M 10	
	NPK	M 30	M 10	NPK	
	0	H 30	0	H 10	
	K 40	H 10	K 120	H 30	
	K 120	0	K 40	K 40	
	H 10	K 120	H 30	K 120	
	H 30	K 40	H 10	0	
I	II	III	IV		

Kuva 1. Koeruutujen järjestys eri kerranteissa (I-IV) sekä lietteet (M = Mänttä, K = Kaipola ja H = Hanko) ja lietemäärät (tn/ha ka) kenttäkokeissa Jokioisilla ja Pälkäneellä vuosina 1988-1991 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu).

Maanäytteet

Maanäytteet otettiin keväällä ennen kokeiden perustamista ja syksyllä joka vuosi sadonkorjuun jälkeen vähintään viitenä osanäytteenä pintamaasta eli muokkauskerroksesta (0-20 cm) ja samoin pohjamaasta (20-40 cm). Maanäytteet kuivattiin mahdollisimman nopeasti +35 °C:n lämpötilassa ilmavirrassa. Tämän jälkeen näytteet jauhettiin, seulottiin ja homogenisoitiin. Maanäytteet säilytettiin analyysjä varten huoneenlämmössä kuivassa paikassa.

Kasvinäytteet

Kenttäkokeissa koekasvina oli Arra-ohra (Horodeum vulgare L.), Jokioisten Siemenkeskuksen puoliaikainen lajike. Kokeisiin käytetty ohran siemen oli tarkastettua, Hg-peatattua valiosiemettä, jota kylvettiin noin 450 itävää siementä/m². Ohran kylvöajankohdat Jokioisilla ja Pälkäneellä tutkittujen neljän vuoden aikana käyvät ilmi taulukosta 3.

Taulukko 3. Ohran kylvö- ja puintiajankohdat sekä viherkasvinäytteiden keruuajat kenttäkokeissa Jokioisilla ja Pälkäneellä vuosina 1988-91.

	Kylvö	Viherkasvinäyt- teiden keruu	Puinti
<u>Jokioinen:</u>			
1988	03.06	29.07	09.09
1989	09.06	25.07	13.09
1990	08.05	06.07	29.08
1991	26.05	23.07	03.09
<u>Pälkäne:</u>			
1988	07.06	15.07	25.08
1989	07.06	20.07	31.08
1990	08.05	27.06	23.08
1991	14.05	11.07	29.08

Kasvinäytteet otettiin kasvukausien aikana kahdessa eri kehitysvaiheessa: viherkasvinäytteet tähkälletulovaiheessa sekä jyvä- ja olkinäytteet sadonkorjuun yhteydessä. Viherkasvinäytteet leikkattiin ruudulta 50 x 50 cm:n (= 0,25 m²) alalta. Keruujankohdat käyvät ilmi taulukosta 3. Puinti suoritettiin koko ruudun mitalta ja jyvät ja oljet otettiin talteen. Puintipäivät on merkitty taulukkoon 3. Kasvinäytteet punnittiin välittömästi keruun jälkeen. Kuiva-ainesadot ja kuiva-ainepitoisuudet määritettiin (105 °C:ssa 4 tuntia).

Säilytystä ja analyysyä varten näytteet kuivattiin (60 °C:ssa) ilmavirrassa ja jauhettiin.

Astiakoe

Teollisuuden jätevesilietteitä tutkittiin vuonna 1989 astiakokeessa kesällä normaalin kasvukauden aikana astiakoehallissa, jossa oli valoaläpäisevä lasikatto ja metalliset verkkoseinät lintujen pääsyn estämiseksi. Kasvatusolosuhteet vastasivat ulkoilmaolosuhteita muuten paitsi, että sade korvattiin kastelulla. Kokeet suoritettiin valkoisissa, seitsemän litran 2-vaippaisissa muovivastioissa (Kick-Braumann).

Kokeet tehtiin kahdella maalajilla, aitosavella (AS) ja hietaisella hienolla hiekalla (htHHk). Aitosavi oli otettu muokkauskerroksesta (0-20 cm) Jokioisilta Nummelan sivutilalta ja hietainen hieno hiekka Pälkäneeltä Hämeen tutkimusasemalta, samoilta suurilta peltolohkoilta, joissa oli vastaavat kenttäkokeet. Astiakoea varten maaerät ilmakeivattiin ja seulottiin.

Astiakokeessa tutkitut liete-erät olivat Kaipolan ja Hangon lietteen osalta samat kuin Jokioisten koekentällä. Sen sijaan Mäntän lietteestä toimitettiin vuonna 1989 erikseen uusi erä astiakoea varten. Lietteiden levitysmääriä oli kaksi. Kunkin lietteen pieni levitysmäärä oli sama kuin kenttäkokeen suuri levitysmäärä. Suuri levitysmäärä oli nelinkertainen saman kokeen pieneen levitysmäärään verrattuna. Liete lisättiin tuoreena. Astiakokeessa käytetyt maa- ja lietemäärät (ml ja g/astia) eri lannoitekäsittelyissä on

esitetty maalajikohtaisesti taulukossa 4. Lietemäärät eri käsittelyissä olivat niin suuria, että minkäänlaista täydennyslannoitusta ei katsottu aiheelliseksi alkuvaiheessa. NPK-lannoitetussa käsittelyssä kummallakin maalajilla ravinnelisiä astiaa (6 l maata) kohti olivat 1000 mg typpeä (Oulun salpietarina, 27,5 % N), 1000 mg kaliumia (kalisuolana, 49,8 % K) ja 400 mg fosforia (kaksoissuperfosfaattina, 20,1 % P). Täysin lannoittamattomia olivat 0-käsittelyt. Astiakokeessa tutkittiin myös pH-säädön vaikutusta lietekäsittelyn lannoitusvaikutukseen. Hietaista hieno hiekkaa (pH 6.4) happamoitiin $\frac{1}{2}$ M rikkihapolla ja taas aito-savea (pH 6.2) kalkittiin (taulukko 4). Kaikki käsittelyt tutkittiin neljänä kerranteena. Koe käsitti yhteensä 128 astiaa.

Koekasvina oli ohra, samoin kuin kenttäkokeessa. Kuhunkin astiaan kylvettiin 25 elohopealla peitattua Arra-ohran siementä noin 2 cm:n syvyydelle maapinnasta. Kylvö tapahtui aikavälillä 31.5.-5.6. Kasvien kehittymistä seurattiin päivittäin. Kastelu tehtiin deionisoidulla vedellä aina tarvittaessa osittain maan pinnalle ja osittain pohjan kautta kaatamalla vesi astian vaippojen väliin.

Kaikissa niissä koejäsenissä, joissa oli Kaipolan lietettä tutkittavana, ohran oraat olivat erityisen heikkoja ja väriltään keltaisia. Oireiden epäiltiin johtuvan typen puutteesta. Näille oraille annettiin 22.6. lisälannoituksena 1000 mg typpeä (ammoniumnitraattiliuoksena) astiaa kohti (taulukko 4).

Kaikille oraille tehtiin kirvaruiskutus (Decis, 3 ml/3 l vettä) ja härmäruiskutus (Corbel, 7,5 ml/3 l vettä) yhtenä ruiskutuksena 14.7.

Kun ohrat olivat tuleentuneet sato korjattiin (HHk: 21.8. ja AS: 22.8.) astioittain. Tähkät ja oljet otettiin erikseen. Pienellä tähkäpuimurilla eroteltiin jyvät. Vihneet ym. puintijätteet yhdistettiin olkiin. Kuiva-ainesadot määritettiin (105 °C:ssa 4 tuntia). Muilta osin näytteiden esikäsittely oli samanlainen kuin kenttäkokeissa. Kuivatettuja jyvänäytteitä ei kuitenkaan jauhettu, vaan analyysit tehtiin kokonaisista jyvistä. Sadonkorjuun jälkeen jokaisesta astiasta otettiin edustava maanäyte sen jälkeen, kun astiassa ollut maa-erä oli ensin sekoitettu hyvin. Maanäytteiden esikäsittely oli samanlainen kuin kenttäkokeissa.

Taulukko 4. Maan ja tuoreen lietteen astiakohtaiset tilavuudet (ml) ja painot (g) astiakoikeessa vuonna 1989 eri lietteillä (Mänttä, Kaipola ja Hanko) ja eri levitysmäärillä (tn/ha ka). Lisäksi astiakoemaahan lisätyt kalsiumkarbonaatti(CaCO₃)-määrät (g) ja rikkihappo(H₂SO₄)-tilavuudet (ml) eri pH-käsittelyissä. Typpi(N)-, fosfori(P)- ja kalium(K)-lisäykset NPK-lannoitetuissa koejäsenissä. 0 = lannoittamaton koejäsen.

Käsittely	pH-säätö	Maata ml	Maata g	Lietettä ml	Lietettä g	CaCO ₃ g	½ M H ₂ SO ₄ ml	N mg	P mg	K mg
AS:										
0	Ei	6000	5840	-	-	-	-	-	-	-
0	Kalkitus	-"-	-"-	-	-	7,0	-	-	-	-
NPK	Ei	-"-	-"-	-	-	-	-	1000	400	1000
NPK	Kalkitus	-"-	-"-	-	-	7,0	-	-"-	-"-	-"-
Mänttä 30	Ei	-"-	-"-	450	392,5	-	-	-	-	-
-"-	Kalkitus	-"-	-"-	-"-	-"-	7,0	-	-	-	-
Mänttä 120	Ei	3500	3407	1050	877,2	-	-	-	-	-
-"-	Kalkitus	-"-	-"-	-"-	-"-	4,0	-	-	-	-
Kaipola 120	Ei	6000	5840	2000	875,0	-	-	1000 ¹⁾	-	-
-"-	Kalkitus	-"-	-"-	-"-	-"-	7,0	-	-"- ¹⁾	-	-
Kaipola 480	Ei	3500	3407	4500	1968,8	-	-	1000 ¹⁾	-	-
-"-	Kalkitus	-"-	-"-	-"-	-"-	4,0	-	-"- ¹⁾	-	-
Hanko 30	Ei	6000	5840	720	770,6	-	-	-	-	-
-"-	Kalkitus	-"-	-"-	-"-	-"-	7,0	-	-	-	-
Hanko 120	Ei	3500	3407	1570	1680,0	-	-	-	-	-
-"-	Kalkitus	-"-	-"-	-"-	-"-	4,0	-	-	-	-
HK:										
0	Ei	6000	6440	-	-	-	-	-	-	-
0	Hapetus	-"-	-"-	-	-	-	30	-	-	-
NPK	Ei	-"-	-"-	-	-	-	-	1000	400	1000
NPK	Hapetus	-"-	-"-	-	-	-	30	-"-	-"-	-"-
Mänttä 30	Ei	-"-	-"-	450	392,5	-	-	-	-	-
-"-	Hapetus	-"-	-"-	-"-	-"-	-	30	-	-	-
Mänttä 120	Ei	3500	3757	1050	877,2	-	-	-	-	-
-"-	Hapetus	-"-	-"-	-"-	-"-	-	17	-	-	-
Kaipola 120	Ei	6000	6440	2000	875,0	-	-	1000 ¹⁾	-	-
-"-	Hapetus	-"-	-"-	-"-	-"-	-	30	-"- ¹⁾	-	-
Kaipola 480	Ei	3500	3757	4500	1968,8	-	-	1000 ¹⁾	-	-
-"-	Hapetus	-"-	-"-	-"-	-"-	-	17	-"- ¹⁾	-	-
Hanko 30	Ei	6000	6440	720	770,6	-	-	-	-	-
-"-	Hapetus	-"-	-"-	-"-	-"-	-	30	-	-	-
Hanko 120	Ei	3500	3757	1570	1680,0	-	-	-	-	-
-"-	Hapetus	-"-	-"-	-"-	-"-	-	17	-	-	-

1) Lisälannoitus 22.06.

Maa-analyysit

Maalajin selvittämiseksi määritettiin maanäytteen hiukkaskokojakauma ELOSEN (1971) kehittämällä pipettimenetelmällä. Maalajiluokitus tehtiin AALTOSEN ym. (1949) mukaan. Hiukkaskokojakaumien perusteella Jokioisten koekenttä oli aitosavea (AS) ja Pälkäneen koekenttä hietaista hienoa hiekkaa (htHHk) (liite 4). Astiako-keessa Jokioisilta tuotu koemaa oli aitosavea (AS) ja Pälkäneeltä tuotu maa hietaista hienoa hiekkaa (htHHk) (liite 4).

Maanäytteiden sähkönjohtokyky (10^{-4} Scm^{-1}) mitattiin maa-vesi-suspensiosta (1:2,5), jonka oli annettu selkeytyä yön yli. Samasta suspensiosta määritettiin $\text{pH}(\text{H}_2\text{O})$ sekoittamisen jälkeen pH-mittarilla.

Orgaaninen hiili määritettiin automatisoidulla kuivapolttomenetelmällä (ANON. 1979), jossa näytteiden annettiin palaa happiilmavirrassa ja muodostunut hiilidioksidikaasu mitattiin infrapuna-detektorilla. Kun orgaanisen hiilen määrä kerrotaan arvolla 1,73 saadaan tulokseksi humuksen määrä prosentteina.

Nitraattitypen ($\text{NO}_3\text{-N}$) ja ammoniumtypen ($\text{NH}_4\text{-N}$) määrittämiseksi 40 ml maata punnittiin ja uutettiin 100 ml:ssa 2 M kaliumkloridia yli yön (16 tuntia). Tämän jälkeen suspensio suodatettiin. $\text{NH}_4\text{-N}$ mitattiin suodoksesta autoanalysaattorilla käyttäen indofenoli-menetelmää (SELMER-OLSEN 1971). $\text{NO}_3\text{-N}$ mitattiin nitriittinä (NO_2) sulfaniiliamidinaftyleenidiamiini-menetelmällä kadmium-pelkistykseen jälkeen (HENRIKSEN ja SELMER-OLSEN 1970).

Fosfori, kalium, kalsium, magnesium ja rikki uutettiin maanäytteistä käyttämällä hapanta ($\text{pH } 4,65$) ammoniumasetaatia, joka oli 0,5 N sekä ammoniumasetatin että etikkahapon suhteen (AAAc-uttoneste) (VUORINEN ja MÄKITIE 1955). Maanäytteen ja uuttonesteen tilavuussuhde oli 1:10 ja uuttoaika yksi tunti. Utto-

nesteestä mitattiin fosfori kolorimetrisesti molybdeenisini-menetelmällä sekä kalium, kalsium, magnesium ja rikki plasma-emissiospektrometrillä (ICP).

Alumiini, kadmium, kupari, rauta, mangaani, molybdeeni, natrium, nikkeli, lyijy ja sinkki mitattiin AAAC-EDTA-uutosta (LAKANEN ja ERVIÖ 1971). Siinä käytettävä uuttoneste oli hapanta ammoniumasettaattia (AAAc), joka oli 0,02 N natriumetyleenidiamiinitetraetikkahapon suhteen. Uttosuhte ja -aika oli sama kuin edellä Uttamisen jälkeen nesteestä määritettiin molybdeenipitoisuus liekittömällä atomiabsorptiospektrometrillä (AAS) käyttäen hiiliuunia ja taas kadmium- ja lyijypitoisuus atomiabsorptiospektrometrillä ilma-asetyleeni-liekillä. Muut edellä mainitut aineet määritettiin ICP:llä.

Boori uutettiin maasta kiehuvalle vedelle (1:2) ja mitattiin ICP:llä.

Kasvianalyysit

Kasvien kalsium-, kalium-, magnesium-, fosfori-, kadmium-, kupari-, rauta-, mangaani-, molybdeeni-, natrium-, lyijy- ja sinkkipitoisuuksien määrittämiseksi näytteet (5,0 g) kuivapoltettiin (450 °C) (ANON. 1986a). Tuhka liuotettiin 10 ml:aan 3 N suolahappoa. Liuos suodatettiin. Suodatinpaperi sakkoineen poltettiin 600 °C:ssa ja jäännös käsiteltiin fluorivetyhapolla ja 6 N suolahapolla. Jäännös liuotettiin veteen. Tämä vesiliuos yhdistettiin suodokseen. Mittapullo täytettiin vedellä merkkiin saakka. Alkuainemittaukset tehtiin kadmiumin, lyijyn ja molybdeenin osalta liekittömällä atomiabsorptiospektrometrillä (AAS) ja taas muiden alkuaineiden osalta plasmaemissiospektrometrillä (ICP).

Kasvinäytteiden (5,0 g) boori- ja rikkipitoisuudet määritettiin märkäpoltosta (HUANG ja SCHULTE 1985). Näytettä poltettiin 10 ml:ssa väkevää typpihappoa yli yön 60°/120 °C:ssa. Tämän jälkeen lisättiin 50 ml vettä. Suspensio suodatettiin ja alkuainemittaukset tehtiin tästä suodoksesta ICP:llä.

Lieteanalyysit

Yleiset ominaisuudet

Tuoreista lietenäytteistä määritettiin 40 ml:n tilavuuspaino, kuivaainepitoisuus (105 °C:ssa) ja hehkutushäviö (600 °C:ssa), sekä lisäksi sähkönjohtokyky eli johtoluku, pH(H₂O), NH₄- ja NO₃-typpipitoisuudet, jotka mitattiin lietteistä samoin kuin maanäytteistä.

Alkuaineiden kokonaispitoisuudet

Esikäsitellyistä lietenäytteistä määritettiin orgaanisen hiilen kokonaismäärä samalla tavoin kuin maanäytteistä sekä typen kokonaismäärä Kjeldahl-menetelmällä (ANON. 1986a).

Kalsiumin, kaliumin, magnesiumin, fosforin ja alumiinin kokonaispitoisuudet lietteissä määritettiin siten, että näytteet (5.0 g) kuivapoltettiin samoin kuin kasvinäytteet. Myös alkuainemittaukset lietteistä tehtiin samoin kuin kasvinäytteistä.

Rikin, kadmiumin, kuparin, raudan, elohopean, mangaanin, natriumin, lyijyn ja sinkin kokonaispitoisuudet selvitettiin tähän tarkoitukseen standardoidulla analyysimenetelmällä, SFS-3044 (ANON. 1980), jossa näytettä (< 1,0 g) kuumennettiin (120 °C) väkevässä typpihapossa paineen alaisena. Alkuainemittaukset tehtiin kuten kasvinäytteistä. Elohopea mitattiin kylmähöyrytekniikkaa hyväksikäyttäen atomiabsorptiospektrometrillä, jossa oli FIAS-200 amalgaamiyksikkö ja sähköisesti kuumennettava kvartsikyvetti.

Uuttuvien alkuaineiden pitoisuudet

Uuttuvat kivennäisaineet (Ca, K, Mg, P ja S) lietteistä analysoitiin AAAC- uutosta ja uuttuvat hivenaineet (Al, Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb ja Zn) AAAC-EDTA- uutosta samoin kuin maanäytteistä. Lietteen boori analysoitiin kuuma vesi -uutolla.

Orgaanisen kloorin ja epäorgaanisen kloridin määrät

Mäntän biolietteestä määritettiin paitsi kloorin kokonaismäärä myös orgaanisen kloorin (total organic chlorine = TOCl) ja epäorgaanisen kloridin määrät vuonna 1988 Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksessa. Näyte oli toimitettu analysoitavaksi suoraan tehtaalta keväällä 1988.

Kloorin kokonaismäärän selvittämiseksi näytteen pH säädettiin emäksiseksi natriumhydroksidilla ja kuivattiin 55-60 °C:ssa. Tämän jälkeen näyte hajotettiin Schöninger-poltolla (happipoltto) ja muodostunut kloridipitoisuus mitattiin kloridiselektiivisellä elektrodilla.

Orgaanisen kloorin määrittämiseksi lietenäytteeseen lisättiin 50 ml 0,1 M nitraatti-liuosta, minkä jälkeen näytettä pidettiin ultraäänihautteessa 10 minuuttia bakteerikalvojen rikkomiseksi. Lietenäyte suodatettiin 0,45 µm:n suotimen läpi ja näytettä pestiin useita kertoja deionisoidulla vedellä. Näyte kuivattiin ja orgaanisen kloorin mittaus tehtiin samoin kuin mitattaessa kloorin kokonaismäärää.

Kun lietteen epäorgaaninen kloridi analysoitiin, näytteeseen lisättiin nitraattiliuosta ja natriumhydroksidia ja näytettä pidettiin ultraäänilaitteessa 10 minuuttia. Kloridipitoisuus mitattiin samoin kuin edellä.

Orgaanisten klooriyhdisteiden määrät

Puunjalostusteollisuuden lietteistä määritettiin myös monia orgaanisia klooriyhdisteitä. Määritykset tehtiin Jyväskylän yliopiston ympäristöntutkimuskeskuksessa. Tutkitut, pakasteessa (-20 °C:ssa) säilytetyt näytteet oli otettu Mäntän tehtaalta vuonna 1988 ja Kaipolan tehtaalta vuonna 1989 kokeisiin toimitetuista lieteeristä.

Mäntän lietteestä analysoitiin orgaaniset klooriyhdisteet vuonna 1989. Näytteeseen lisättiin sisäiset standardit ennen näytteiden jatkokäsittelyä (2,3,6-trikloorifenoli kloorifenoleille, 2,4,6-triklooribifenyyli kloorihiilivedyille ja C-13 leimatut 2,3,7,8-TeCDD, 1,2,3,7,8-PeCDD, 1,2,3,4,7,8-HxCDD, 2,3,7,8-TeCDF ja 1,2,3,7,8-PeCDF PCDD:lle ja PCDF:lle).

Kloorifenolien analysoimiseksi liete uutettiin 0,1 M kaliumkarbonaatilla, asetyloitiin etikkahappoanhydridillä ja uutettiin heksaanilla. Kloorihiilivedyt analysoitiin lietteen heksaanuuutosta ja näyte puhdistettiin väkevällä rikkihapolla ennen kaasukromatografista kvantitointia.

PCDD- ja PCDF-yhdisteet analysoitiin seuraavan kaavion mukaisesti.

PCDD:n ja PCDF:n analyysikaavio Mäntän biolietteelle:

Uutettu liuos

Fraktiointi emäksisellä alumiinioksidipylvällä

2% CH₂Cl₂
heksaanissa

50% CH₂Cl₂
heksaanissa

Fr 1

Fr 2

PCB:t, PCDE:t jne.

PCDD:t ja PCDF:t

Haihdotus 1 ml:ksi
Puhdistus hiilipylvällä

50% CH₂Cl₂
heksaanissa

Käänteinen eluointi
tolueenilla

Fr 1

Fr 2

epäpuhtauksia

PCDD ja PCDF

Kloorihiilivedyt ja -fenolit kvantitoitiin kaksoiskolonnikaasukromatografialla käyttäen sisäisen standardin menetelmää ja PCDD:t ja PCDF:t massaselektiivisellä detektorilla.

Kaipolan lietteen orgaaniset klooriyhdisteet tutkittiin vuonna 1991. Lietenäyte kylmäkuivattiin. Siihen lisättiin ennen uuttoa sisäisiksi standardeiksi 2,4,6-triklooribifenyyli kloorihiilivedyille ja C-13 leimatut 2,3,7,8-TeCDD, 1,2,3,7,8-PeCDD, 1,2,3,4,7,8-HxCDD, OCDD, 2,3,7,8-TeCDF ja 1,2,3,7,8-PeCDF PCDD:lle ja PCDF:lle. Näytettä uutettiin kuusi tuntia liuotinaineseoksella Soxhlet-laitteistossa ja se puhdistettiin väkevällä rikkihapolla ja PCDD:n ja PCDF:n määrittämiseksi vielä alumiinioksidilla ja aktiivihielellä.

Kloorifenolien analysoimiseksi näytteeseen lisättiin sisäisiksi standardeiksi 2,3,6-trikloorifenolia. Näyte tehtiin 0,1 molaariseksi kaliumkarbonaatin suhteen ja asetuloitiin etikahappoanhydridillä kloorifenolien määrittämiseksi.

Kloorihiilivedyt ja kloorifenolit kvantitoitiin kaasukromatografisesti käyttäen kahta EC-detektoria ja kahta erilaista kapillaarikolonnia (faasit: SE-54 ja OV-1701). Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit ja -furaanit kvantitoitiin massaselektiivisellä detektorilla.

Sääolosuhteet

Vuosilta 1988-1990 tehtiin säähavaintoja Ilmatieteen laitoksen Jokioisten observatoriolla ja Maatalouden tutkimuskeskuksen Pälkäneen tutkimusasemalla. Kolmen ensimmäisen koevuoden sääolosuhteissa ei ollut tutkimuksen tulosten kannalta merkittäviä eroja koepaikkojen eikä koevuosien välillä (liitteet 5-8). Säähavaintoihin pohjautuva kasvukausi alkoi molemmilla koepaikkakunnilla vuosittain aina samaan aikaan: 30.4.1988, 19.4.1989 ja 15.4.1990. Sademäärät olivat kasvukausien eri vaiheissa normaalit eikä kuivuus haitannut kasvua.

TULOKSET

Lietteiden ominaisuudet

Yleiset ominaisuudet

Tutkittavina olleet lietteet poikkesivat toisistaan yleisiltä ominaisuuksiltaan (liite 9). Mäntän lietteen kuiva-ainepitoisuus oli keskimäärin 20 % ja ominaistiheys noin 1 kg/dm^3 . Liete oli happanta, pH noin 6, ja happamuudessa oli melko suuria eroja lieteerien välillä. Ulkoisilta ominaisuuksiltaan tämä liete oli epähomogeenistä, tumman ja vaalean harmaan kirjavaa, erittäin sitkeäkokkareista ja lisäksi erittäin pahalta haisevaa.

Kaipolan lietteessä oli kuiva-ainetta noin 40 % ja ominaistiheys oli $0,45 \text{ kg/dm}^3$. Lietteiden pH-arvo oli noin 7 eli lähellä neutraaliarvoa. Tämä tumman harmaa ja kuitupitoinen liete muistutti ulkoisilta ominaisuuksiltaan suuresti kasvuturvetta. Hajukaan ei ollut erityisen epämiellyttävä.

Hangon liete oli vesipitoista, kuiva-ainepitoisuuden ollessa noin 18 %. Erityisen kosteata oli Jokioisille tuotu liete-erä. Sen kuljettamiseen tarvittiin säiliöauto. Kaikki muut lietteet ja lieteerät toimitettiin tutkimuksiin kuorma-autolla. Hangon liete oli emäksistä pH:n ollessa 8,4 ja lietteiden ominaistiheys oli $1,2 \text{ kg/dm}^3$. Hangon liete oli ulkonäöltään vihertävän ruskeaa ja vaikutti tasalaatuiselta. Haju oli epämiellyttävä.

Alkuaineiden kokonaispitoisuudet

Samalta puhdistamolta toimitetut liete-erät eivät yleensä poikenneet toisistaan kivennäis- ja hivenainekoostumukseltaan. Kuitenkin Mäntästä 1989 tuotu liete-erä sisälsi useita aineita enemmän kuin edellisenä vuonna tuodut kaksi muuta liete-erää.

Sen sijaan eri puhdistamoilta tuotujen lietteiden välillä kemiallisessa koostumuksessa oli selviä eroja. Hangon liete oli ravinnerikkainta. Typen kokonaismäärä Hangon lietteessä oli vajaa 3 %, kun se Mäntän lietteessä oli runsaat 2 % ja Kaipolan

lietteessä 1 % (liite 9). Erityisen runsaasti Hangon lietteessä oli fosforia ja kalsiumia (liite 10). Näiden aineiden pitoisuudet olivat keskimäärin noin 10-kertaiset Mäntän ja Kaipolan lietteen vastaaviin pitoisuuksiin verrattuna. Kaipolan lietteessä runsaimpana esiintynyt pääravinne oli magnesium, kaliumpitoisuus oli pieni. Mäntän lietteessä oli kaikkia tutkittuja pääravinteita melko vähäisiä määriä. Poikkeuksen teki vuonna 1989 tuotu liete-erä, joka sisälsi kalsiumia noin viisinkertaisesti edellisiin liete-eriin verrattuna. Sen sijaan metsäteollisuuden lietteissä oli orgaanista hiiltä suunnilleen kaksinkertainen määrä entsyymi- ja lääketehaiden lietteeseen verrattuna (liite 9).

Myös hivenainekoostumukseltaan lietteet erosivat toisistaan (liite 10). Hangon lietteessä oli elohopeata, rautaa, mangaania, natriumia, lyijyä ja sinkkiä enemmän kuin kahdessa muussa tutkitussa lietteessä. Peräti noin 10 % Hangon lietteen kuiva-ainepainosta oli rautaa sen tähden, että jäteveden puhdistaminen fosforista oli tehty rautasaostuksella. Alumiinipitoisuudet kaikissa lietteissä olivat alhaiset. Ympäristömyrkkyyinä pidettyjen raskasmetallien, kadmiumin, lyijyn ja elohopean, pitoisuudet tutkituissa lietteissä olivat myös erittäin pieniä.

Uuttuvien alkuaineiden pitoisuudet

Vertailtaessa uuttuvassa muodossa olevien alkuaineiden pitoisuuksia liete-erien ja lietteiden välillä erot olivat yleensä samansuuntaisia kuin erot vastaavien aineiden kokonaismäärissä (liite 11). Osa tyypestä esiintyi lietteessä NH_4 - ja NO_3 -tyyppinä (liite 9). NH_4 -tyyppiä saattoi olla monikymmenkertaisesti NO_3 -tyyppiin verrattuna. Eniten NH_4 - ja NO_3 -tyyppiä oli Mäntän lietteessä, seuraavaksi eniten Hangon lietteessä ja vähiten Kaipolan lietteessä. Hangon lietteessä oli uuttuvaa nikkeliä huomattavasti enemmän kuin muissa lietteissä. Sen sijaan Hangon lietteestä ei voitu todeta mitattavia määriä uuttuvaa kadmiumia eikä lyijyä. Kaipolan liete sisälsi melko paljon kuumaan veteen liukenevaa booria.

Kloorin kokonaismäärä sekä orgaaniseen ainekseen sitoutuneen kloorin ja epäorgaanisen kloridin määrät

Kloorin kokonaismäärä Mäntän lietteessä oli 3300 mg/kg ka. Orgaaniseen ainekseen sitoutunutta klooria (TOCl) oli 2000 mg ja epäorgaanista kloridia 1300 mg/kg ka.

Orgaanisten klooriyhdisteiden määrät

Määrittämissä kloorihiilivedyille ja kloorifenoleille oli 1.0 µg/kg paitsi diklooribentseeneille 10 µg/kg. Polykloorattujen dibentsofuraanien ja -p-dioksiinien määrittämissä oli 0,010-0,100 µg/kg.

Mäntän lietteen kloorihiilivetyjen, polykloorattujen dibentsofuraanien ja polykloorattujen dibentso-p-dioksiinien pitoisuudet olivat alle määrittämissä. Taulukosta 5 käy ilmi todetut kloorifenolipitoisuudet.

Kaipolan lietteestä todetut kloorihiilivety- ja kloorifenolipitoisuudet on esitetty taulukossa 5. Muiden orgaanisten klooriyhdisteiden osalta pitoisuudet jäivät alle määrittämissä.

Taulukko 5. Mäntän ja Kaipolan lietteistä tutkitut ja todetut orgaaniset klooriyhdisteet.

Tutkittu yhdiste (Lyhenne)	Todettu pitoisuus (mg/kg ka)	
	Mänttä	Kaipola
<u>Kloorihiilivedyt:</u>		
2,3,6-trikloorisymeeni ²⁾		0,001
1,3-diklooribentseeni ¹⁾ (1,3-DCBz)		
1,4-diklooribentseeni ¹⁾ (1,4-DCBz)		
1,2-diklooribentseeni ¹⁾ (1,2-DCBz)		
1,3,5-triklooribentseeni ¹⁾ (1,3,5-TCBz)		
1,2,3-triklooribentseeni ¹⁾ (1,2,3-TCBz)		
1,2,4-triklooribentseeni ¹⁾ (1,2,4-TCBz)		
1,2,3,4-tetraklooribentseeni ¹⁾ (1,2,3,4-TeCBz)		
1,2,4,5-tetraklooribentseeni ¹⁾ (1,2,4,5-TeCBz)		
1,2,3,5-tetraklooribentseeni ¹⁾ (1,2,3,5-TeCBz)		
pentaklooribentseeni ¹⁾ (PeCBz)		
heksaklooribentseeni (HxCBz)		0,001
alfa-heksakloorisykloheksaani (α -HxCH)		0,001
lindaani (LIND)		0,001
oksi-klordaani (OKSI)		
gamma-klordaani (GAMMA)		

Taulukko 5. Jatk.

Tutkittu yhdiste (Lyhenne)	Todettu pitoisuus (mg/kg ka)	
	Mänttä	Kaipola
alfa-klordaani (ALFA)		
trans-nonakloori (TRANS)		
heptakloori (HEPTA)		
DDE		0,001
DDD		
DDT		
PCB		
<u>Kloorifenolit (CP), -katekolit (CC) ja -guajakolit (CG):</u>		
2,3-dikloorifenoli ¹⁾ (2,3-DCP)		
2,4-dikloorifenoli (2,4-DCP)	}	0,021
2,5-dikloorifenoli ¹⁾ (2,5-DCP)		
2,6-dikloorifenoli (2,6-DCP)		
3,4-dikloorifenoli ¹⁾ (3,4-DCP)		
3,5-dikloorifenoli ¹⁾ (3,5-DCP)		
2,3,4-trikloorifenoli ¹⁾ (2,3,4-TCP)		
2,3,5-trikloorifenoli ¹⁾ (2,3,5-TCP)		
2,4,6-trikloorifenoli (2,4,6-TCP)	0,074	0,001
3,4,5-trikloorifenoli (3,4,5-TCP)		

Taulukko 5. Jatk.

Tutkittu yhdiste (Lyhenne)	Todettu pitoisuus (mg/kg ka)	
	Mänttä	Kaipola
2,4,5-trikloorifenoli ¹⁾ (2,4,5-TCP)		
2,3,4,5-tetrakloorifenoli ¹⁾ (2,3,4,5-TeCP)		
2,3,4,6-tetrakloorifenoli (2,3,4,6-TeCP)	0,106	0,002
2,3,5,6-tetrakloorifenoli ¹⁾ (2,3,5,6-TeCP)		
pentakloorifenoli (PeCP)	0,037	0,001
4,5-diklooriguajakoli (4,5-DCG)	0,335	
3,4,5-triklooriguajakoli (3,4,5-TCG)	0,878	0,002
4,5,6-triklooriguajakoli (4,5,6-TCG)	0,532	
tetraklooriguajakoli (TeCG)	0,277	
3,4-dikloorikatekoli (3,4-DCC)		
3,4,5-trikloorikatekoli (3,4,5-TCC)	0,473	
tetrakloorikatekoli (TeCC)	0,300	
3,4,5-trikloori-2,6-dimetoksifenoli (2,6-DMP)	0,021	
Polykloorifenolit yht.	3,160	0,006
<u>Polyklooratut dibentsofuraanit (PCDF):</u>		
2,3,7,8-tetraCDF (2,3,7,8-TeCDF)		
1,2,3,7,8-pentaCDF (1,2,3,7,8-PeCDF)		

Taulukko 5. Jatk.

Tutkittu yhdiste (Lyhenne)	Todettu pitoisuus (mg/kg ka)	
	Mänttä	Kaipola
2,3,4,7,8-pentaCDF (2,3,4,7,8-PeCDF)		
2,3,4,6,7,8-heksaCDF (2,3,4,6,7,8-HxCDF)		
1,2,3,6,7,8-heksaCDF (1,2,3,6,7,8-HxCDF)		
1,2,3,4,7,8-heksaCDF (1,2,3,4,7,8-HxCDF)		
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDF (1,2,3,4,6,7,8-HeCDF)		
1,2,3,4,7,8,9-heptaCDF (1,2,3,4,7,8,9-HeCDF)		
okta-CDF		
<u>Polyklooratut dibentso-p-dioksiinit (PCDD):</u>		
2,3,7,8-tetraCDD (2,3,7,8-TeCDD)		
1,2,3,7,8-pentaCDD (1,2,3,7,8-PeCDD)		
1,2,3,4,7,8-heksaCDD (1,2,3,4,7,8-HxCDD)		
1,2,3,6,7,8-heksaCDD (1,2,3,6,7,8-HxCDD)		
1,2,3,7,8,9-heksaCDD (1,2,3,7,8,9-HxCDD)		
1,2,3,4,6,7,8-heptaCDD (1,2,3,4,6,7,8-HeCDD)		
okta-CDD		

- 1) vain Mäntän lietteestä
- 2) vain Kaipolan lietteestä

Kenttäkokeet

Sadot ja niiden laatu

Kenttäkokeet osoittivat, että kaikkien lietteiden vaikutukset ohrasatoon olivat selvästi parempia aitosavella kuin hienolla hiekalla (liite 12). Suuremmilla lietemäärillä päästiin yleensä myös suurempiin satoihin. Lietteiden vaikutukset viherkasvi-, jyvä- ja olkisatoihin olivat yhdensuuntaisia (liite 12).

Ensimmäisenä koevuonna Mäntän liete yhdessä huomattavan täydennyslannoituksen kanssa antoi lietemäärästä riippuen lähes samansuuruisen sadon kuin NPK-lannoitus (liite 13). Vielä toisenaakin koevuonna Mäntän lietteellä saatiin melkein yhtä suuria satoja kuin normaalilla kivennäislannoituksella. Kuitenkin kolmantena ja neljäntenä vuonna Mäntän lietteellä saadut sadot olivat huomattavasti pienempiä kuin sadot täysin lannoittamattomilta koeruuduilta.

Kaipolan lietteellä saadut ohrasadot olivat ensimmäisenä vuonna täydennyslannoituksesta ja lietteen suurista levitysmääristä huolimatta huomattavasti pienemmät kuin aivan lannoittamattomien koeruutujen sadot (liite 14). Toisena ja kolmantena vuonna sadot olivat jo selvästi suurempia lannoittamattomaan verrattuna, mutta kuitenkin alhaisempia kuin NPK-lannoituksella saadut sadot.

Hangon lietteellä oli voimakkaasti ohrasatoa lisäävä vaikutus aitosavella (liite 15). Molemmilla tutkituilla lietemäärillä päästiin kolmen vuoden aikana ilman minkäänlaista täydennyslannoitusta vähintäänkin samaan satotasoon kuin vuosittaisella NPK-lannoituksella ja useimmiten tämä taso vielä ylittyi. Hienolla hiekalla kuitenkin vain suurella levitysmäärällä saatiin suurempia jyväsatoja kuin NPK-lannoituksella. Kummallakin maalajilla Hangon lietteen vaikutukset satoon olivat parhaimmillaan vasta toisena vuonna lietteen levityksen jälkeen.

Satojen laatuun lietekäsittelyillä ei ollut merkittävää vaikutusta kenttäkokeissa. Kaipolan liete kohotti molemmilla maalajeilla jossain määrin oraiden booripitoisuutta ja Hangon liete natriumpitoisuutta (liitteet 16 ja 17). Hangon liete lisäsi oraiden rautapitoisuutta aitosavella. Kaipolan liete vaikutti aitosavella jyvien booripitoisuutta lisäävästi ja Hangon liete natriumpitoisuutta lisäävästi kummallakin maalajilla (liitteet 18 ja 19). Olkien alkuainepitoisuuksissa (liitteet 20 ja 21) ei ollut selviä eroja eri käsittelyiden välillä.

Lietteiden vaikutukset koemaiden ominaisuuksiin

Voimakkaimmin pintamaan viljavuutta paransi Hangon liete (liitteet 22 ja 23). Se nosti pintamaan pH-arvoa, aiheutti huomattavan lisäyksen maan johtolukuun ja kohotti suurella levitysmäärällä maan nitraattityypimäärän noin 20-kertaiseksi. Hangon lietteellä oli kalsium-, kalium-, fosfori- ja rikkipitoisuutta selvästi kohottava vaikutus. Myös maan hivenainepitoisuuksiin eniten vaikuttivat Hangon lietteen lisäykset (liitteet 24 ja 25). Kenttäkokeissa pintamaiden rauta-, natrium- ja sinkkipitoisuudet nousivat sitä enemmän, mitä suurempia kyseisen lietteen lisäykset olivat.

Kaipolan liete kohotti maan booripitoisuutta. Mäntän lietteellä ei ollut merkittävää vaikutusta mihinkään tutkittuihin hivenaineisiin. Mikään tutkituista kolmesta lietteestä ei lisännyt haitallisten raskasmetallien liukoisia määriä pintamaassa.

Lietekäsittelyiden vaikutukset pintamaan ominaisuuksiin tulivat kenttäkokeissa herkemmin esille hienolla hiekalla kuin aitosavella. Lisäksi vaikutukset olivat voimakkaimmillaan ensimmäisenä vuonna lietteen levityksen jälkeen.

Lietekäsittelyiden vaikutukset pohjamaan ominaisuuksiin kenttäkokeissa kohdistuivat pääasiassa johtolukuun ja NO_3 -typpipitoisuuteen (liitteet 26 ja 27). Muutoksia näissä ominaisuuksissa sai aikaan vain Hangon lietteen suuri levitysmäärä, 30 tn/ha ka. Pohjamaan NO_3 -typpipitoisuus saattoi tällä levitysmäärällä moninkertaistua kummallakin maalajilla. Tämän lisäksi

näyttää siltä, että Hangon lietteen suurin käyttömäärä aiheutti lisäystä myös pohjamaan S-pitoisuudessa sekä mahdollisesti rauta- ja natriumpitoisuuksissa (liitteet 28 ja 29).

Astiakoe

Sadot ja niiden laatu

Parhaimpiin satotuloksiin päästiin astiakokeessa Hangon lietteellä molemmilla maalajeilla (liite 30). Kun lietteen käyttömäärä vastasi 30 tn/ha ka, saatu sato ylitti huomattavasti normaalilla NPK-lannoituksella saadun sadon. Kun Hangon lietteen käyttömäärä nelinkertaistettiin, sato pieneni oleellisesti. Hangon lietteen levitysmäärällä 120 tn ka/ha ohrasato aitosavella oli alhaisempi kuin NPK-lannoituksella saatu sato, hienolla hiekalla sato jäi jopa pienemmäksi kuin täysin lannoittamattomassa koejäsenessä.

Mäntän lietteen vaikutukset satoon riippuivat selvästi maalajista (liitteet 31 ja 32). Aitosavella Mäntän lietteen molemmilla levitysmäärillä päästiin lähes yhtä hyviin satotuloksiin kuin NPK-lannoituksella. Sen sijaan hienolla hiekalla sadot olivat lannoittamattoman koejäsenen satotasoa tai jopa vielä sitäkin alhaisempia. Huonoimmat sadot saatiin Kaipolan lietteellä. Aitosavella satomäärät olivat kuitenkin selvästi suurempia kuin ilman lannoitusta. Sen sijaan hienolla hiekalla jyväsatoa ei saatu lainkaan.

Maalajilla näytti olevan ratkaisevin vaikutus lietteellä saatavan sadon määrään. Aitosavella päästiin vähintäänkin kohtuullisiin tuloksiin kaikissa muissa tapauksissa paitsi Kaipolan lietteen suurella käyttömäärällä. Sen sijaan hienolla hiekalla vain Hangon lietteen pienellä levitysmäärällä saatiin lannoittamattomaan verrattuna selvästi parempi satotaso.

pH-käsittelyiden vaikutus satomäärään oli erilainen eri lietteillä (liitteet 31 ja 32). Molemmat metsäteollisuuden lietteet antoivat hieman parempia satoja alhaisemmassa pH:ssa. Sen sijaan Hangon lietteen tapauksessa aitosavella kalkitus lisäsi satoa ja taas hienolla hiekalla sadonlisäystä saatiin maata happamoimalla.

Lietekäsittelyillä ei ollut huomattavaa vaikutusta satojen kemialliseen koostumukseen astiakokeessa (liitteet 33-36). Kaipolan lietteellä oli jossain määrin sekä ohran jyvien että olkien booripitoisuutta lisäävä vaikutus ja Hangon lietteellä natriumpitoisuutta lisäävä vaikutus. Myös Mäntän liete näytti nostavan olkien natriumpitoisuutta.

Lietteiden vaikutukset koemaiden ominaisuuksiin

Astiakokeessa oli kaikilla lietteillä enemmän tai vähemmän maan pH:ta kohottava vaikutus (liitteet 37 ja 38). Kuitenkin selvimmin tämä tuli esille Hangon lietteen kohdalla.

Myös maan orgaanisen aineksen määrään lietteillä oli yleensä edullinen vaikutus. Erityisesti Kaipolan liete lisäsi orgaanista ainesta maaperään.

Maan johtolukuun lietteillä, etenkin suurimmilla käyttömäärillä, oli huomattava vaikutus. Eniten johtolukua nosti Hangon lietteen suuri levitysmäärä, joka noin kymmenkertaisti johtoluvun NPK-lannoitukseen verrattuna. Myös Mäntän lietteen suuri levitysmäärä kohotti maan johtolukua, varsinkin hienolla hiekalla.

Suurimmat muutokset maan viljavuuteen astiakokeissa aiheutti Hangon liete, joka kohotti useimpien pääravinteiden pitoisuuksia maassa. Lisäykset olivat sitä selvempiä, mitä suurempia levitysmäärät olivat. Hangon liete lisäsi aivan erityisen runsaasti maan NO_3^- ja NH_4^- -typpimääriä sekä Ca-, P- ja S-pitoisuuksia.

Hangon liete sai aikaan eniten muutoksia myös maan hivenaineiden määrissä (liitteet 39 ja 40). Lisäystä tapahtui Fe-, Na- ja Zn-pitoisuuksissa. Myös Mäntän lietteellä oli maan Na- ja Zn-pitoisuuksia lisäävä vaikutus. Kaipolan liete kohotti maan Zn-pitoisuutta, mutta tämän lisäksi vielä muista lietteistä poiketen erityisesti maan booripitoisuutta. Lannoitus Kaipolan lietteellä verrattuna NPK-lannoitukseen lähes kolminkertaisti maan booripitoisuuden.

Muiden hivenaineiden määriin lietelannoituksella ei ollut vaikutuksia. Haitallisten raskasmetallien, kadmiumin ja lyijyn määrissä ei voitu todeta lisäystä lietteiden käytön seurauksena.

TULOSTEN TARKASTELU

Sääolosuhteiden merkitys lietekokeissa

Koska sääolosuhteet eivät oleellisesti poikenneet koepaikkojen välillä, todetut erot lietekäsittelyiden vaikutuksissa eri koepaikoilla johtuivat maalajieroista. Tätä todistavat myös astiako-keesta saadut tutkimustulokset. Jätevesilietteiden lannoitusvaikutusten tiedetään riippuvan sääoloista, erityisesti sademäärästä. EKEBERG (1991) totesi, että hyvissä kosteusolosuhteissa lietelannoituksella päästään parhaimpiin satotuloksiin.

Lietteiden soveltuvuus maatalouskäyttöön

Lietteiden ravinnearvo

Mäntän ja Kaipolan lietteet olivat sekä pää- että hivenravinteiden suhteen vähäravinteisia. Lietteet sisälsivät ravinteita vähemmän kuin yhdyskuntien puhdistamolietteet yleensä (VALVE ja PUOLANNE 1990). Metsäteollisuuden lietteissä oli typpeä noin kolmasosa ja fosforia ja kalsiumia noin kymmenesosa yhdyskuntien jätevesilietteiden vastaavista pitoisuuksista. Lietteiden uuttuvien ravinteiden pitoisuus vastasi tavallisen viljelymaan ravinteisuutta eikä niiltä siksi voi odottaa erityistä lannoitusvaikutusta. Vasta orgaanisen aineksen hajotessa ravinteita vapautuu hitaasti. Näiden lietteiden käyttöarvo peltoviljelyssä perustuisi paljolti siihen, että lietteiden mukana saataisiin maahan huomattavia määriä orgaanista ainesta.

Hangon liete sisälsi useimpia ravinteita huomattavasti enemmän kuin yhdyskuntien puhdistamoliete keskimäärin. Tämän lietteen, kuten yleensä myös yhdyskuntien jätevesilietteiden, typpi/fosforisuhde ei ole kuitenkaan kasvintuotannon kannalta oikea. Typpeä on aivan liian vähän lietteen fosforipitoisuuteen verrattuna.

Suhdetta vääristää vielä se, että lietteen tyypestä on kasveille käyttökelpoista ensimmäisenä vuonna vain noin 20 % (LEVINEN 1990), ja fosforista noin 50 % (JOKINEN 1990b). Jos tämän lietteen käyttömäärä viljelyssä perustuu lietteen fosforipitoisuuteen, niin tällöin on ilmeisesti tehtävä huomattava täydennyslannoitus typen ja myös kaliumin osalta.

Hangon liete sisälsi fosforia niin runsaasti, että tämä ravinne saattaa asettaa rajan kyseisen lietteen suurimmalle käyttömäärälle. Peltoviljelyssä fosforilannoitusta pyritään yleisesti vähentämään noin 20 kiloon hehtaaria ja vuotta kohti. Jos Hangon lietettä levitetään hehtaarille suurin sallittu neljä vuoden kerta-annos, neljä tonnia kuiva-ainetta, tulee tästä lietemäärästä peltoon fosforia yhteensä yli 150 kg. Jos lietteen fosforista on kasveille käyttökelpoista noin puolet (JOKINEN 1990b), vastaa tämä määrä uusien lannoitussuositusten mukaan juuri noin neljän vuoden fosforitarvetta (4 x 20 kg).

Toisaalta taas puhdistamolietteohjeiden (ANON. 1991b) mukaan lietteistä peltoon tulevan fosforin kokonaiskuormitus ei saisi ylittää 20 kiloa hehtaaria ja vuotta kohti. Sama tavoite on asetettu myös karjanlannan käyttöohjeisiin (ANON. 1990b). Näin laskien Hangon lietteen suurimmaksi sallitukseksi kerta-annokseksi tulisi vain noin kaksi tonnia lietteen kuiva-ainetta hehtaaria ja neljää vuotta kohti.

Hangon lietteen vuotuisannos (1 tn/ha ka) tyydyttää ilmeisesti paitsi kasvien fosforin tarpeen niin pitkälti myös niiden kalsiumin tarpeen. Sen sijaan typen ja kaliumin osalta on tehtävä täydennyslannoitus peltomaan viljavuustutkimuksen ja viljeltävän kasvin ravinnetarpeiden mukaisesti.

Teollisuuden jätevesilietteet sisälsivät yleensä vähemmän hivenaineita ja aivan erityisen selvästi vähemmän haitallisia raskasmetalleja kuin yhdyskuntien puhdistamolietteet keskimäärin (taulukko 6). Raskasmetallien osalta alittuivat lietteille asetetut raskasmetallirajat niin että raskasmetallipitoisuudet eivät rajoita näiden lietteiden maatalouskäyttöä tällä hetkellä eikä 1.1.1995, jolloin raskasmetallirajoja tiukennetaan.

Hangan lietteen mahdollisia lääkkeitä tai niiden mahdollisia jäämiä ei tämän tutkimuksen yhteydessä voitu selvittää. Toisaalta puhdistamolietteohjeiden (ANON. 1991b) mukaan niitä ei myöskään edellytetä määritettäväksi lietteistä ennen niiden maatalouskäyttöä.

Taulukko 6. Maanviljelyssä käytettävän puhdistamolietteen ja lieteosoksen suurimmat hyväksyttävät raskasmetallipitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) (ANON. 1991b).

	1.6.1991	1.1.1995
Kadmium	3,0	1,5
Kromi	300	300
Kupari	600	600
Elohopea	2,0	1,0
Nikkeli	100	100
Lyijy	150	100
Sinkki	1500	1500

Orgaanisen kloorin merkityksestä lietteessä

Jätevesissä saattaa esiintyä vaihtelevia määriä erilaisia orgaanisia klooriyhdisteitä. Vesi- ja ympäristöhallituksen vuonna 1989 tekemän selvityksen (CEDERLÖF ja KARHU 1991) mukaan orgaanisia klooriyhdisteitä muodostuu erityisen runsaasti sellun valkaisuissa. Sellutehtaiden jätevesissä saattaa esiintyä useita satoja erilaisia orgaanisia klooriyhdisteitä, joista on vain vähän tietoa. Nämä aineet voivat olla hyvin erilaisia sekä molekyylikooltaan että myrkyllisyydeltään. Puhdistettaessa jätevesiä aktiivilietelaitoksissa 40-50 % näistä yhdisteistä jää lietteeseen. Orgaaniseen ainekseen sitoutuneen kloorin mittana voidaan käyttää useita erilaisia summaparametrejä, esimerkiksi TOCl (= Total Organic Chlorine), AOX (= Adsorbable Organic Halogen) tai EOX (= Extractable Organic Halogen). Nämä summaparametrit siis ilmaisevat lukuisten aineiden yhteenlaskettua halogeenimäärää, selluteollisuuden tapauksessa kloorimäärää.

Kansainvälisestä kirjallisuudesta (BARKOWSKI ym. 1988) löytyy luokitusarvoja maaperän saastuneisuusasteen selvittämiseksi myös orgaanisen kloorin kokonaismäärälle. Analyysitulokset osoittivat, että yhdestä tonnista Mäntän lietteen kuiva-ainetta tulee maaperään hehtaarille kaksi kiloa orgaaniseen ainekseen sitoutunutta klooria. Tämän seurauksena TOCl-määrä maassa kasvaa yhdellä milligrammalla kiloa kohti. Kenttäkokeessa käytetty alin annos, 10 tonnia lietteen kuiva-ainetta hehtaarille, nostaa maaperän TOCl-määrää 10 milligrammalla kiloa kohti. Orgaanisen kloorin B-arvo (luontaisesta tausta pitoisuudesta selvästi kohonnut pitoisuus/jatkotutkimuksia edellyttävä pitoisuus) maassa on kahdeksan milligrammaa kilossa. Näin ollen TOCl näyttää olevan Mäntän lietteen käyttöä rajoittava tekijä. Nykyisten lieteohjeiden (ANON. 1991b) mukaisesti suurimmasta sallitusta kertaannoksesta, neljä tonnia lietteen kuiva-ainetta hehtaarille neljää vuotta kohti, ei todennäköisesti tule orgaanista klooria peltoon niin paljon, että pitoisuus maassa saavuttaisi B-arvoa. Sen sijaan neljän vuoden välein toistuvien lietekäsittelyiden vaikutukset peltomaan laatuun riippuvat siitä, kuinka nopeasti TOCl hajoaa maaperässä.

Mäntän lietteen epäedulliset vaikutukset satoon sekä kenttä- että astiakokeissa suurilla lietemäärillä, 30 ja 120 tn/ha ka, saattavat osittain johtua suuresta TOCl-kuormituksesta. Mainituilla levitysmäärillä ylittyivät TOCl:lle asetettu B-arvo lähes nelinkertaisesti ja 15-kertaisesti, vastaavasti. Suurimmalla levitysmäärällä ylittyi 80 mg/kg, joka on TOCl:lle asetettu C-arvo (voimakasta saastumista osoittava pitoisuus/kunnostustoimia edellyttävä pitoisuus).

Paperin tuotannossa ei käytetä klooripitoisia kemikaaleja. Sen sijaan paperiteollisuudessa kloori- ja bromipitoisten homeen- ja limantorjunta-aineiden käyttö on lisääntynyt viime vuosina (CEDERLÖF ja KARHU 1991).

Orgaanisten klooriyhdisteiden merkityksestä lietteissä

Mäntän sellu- ja paperitehtaan lietteestä todetut kloorifenolipitoisuudet joko yksittäin tai yhdessä olivat alhaisia verrattuna yhdyskuntien jätevesilietteiden vastaaviin pitoisuuksiin Ruotsissa (ANON. 1990a). Kyseiset orgaaniset yhdisteet eivät ilmeisesti rajoita Mäntän lietteen viljelykäyttöä. Mäntän lietteen suurin lieteletisyys (120 tn/ha ka) astiakokeessa kohotti pentakloorifenolin osalta pitoisuutta 0,002 milligrammalla kilossa ja kloorifenolien osalta yhteensä 0,190 milligrammalla kilossa. Vastaavat B-arvot maalle ovat 0,5 ja 1,0 mg/kg (BARKOWSKI ym. 1988).

Kloorifenolit ovat kuitenkin syöpävaarallisia aineita (VARTIAINEN ja KOIVUSALO 1991). Eläinkokeissa kloorifenolien on todettu aiheuttaneen maksa- ja munuaisvaurioita. Suomessakin on saatu viitteitä (LAMPI ym. 1991) syövän ja kloorifenolien välisestä yhteydestä Kärkölässä, jossa oli pitkäköön ajan käytetty juomavetenä kloorifenolilla saastunutta pohjavettä. Ihmisellä pääasiallinen kloorifenolien saanti tulee ravinnosta ja juomavedestä (HEMMINKI 1991).

Kaipolan paperitehtaan lietteen kloorifenoli- ja kloorihiilivety-pitoisuudet olivat hyvin alhaisia ja vastasivat lähinnä yleisiä taustaarvoja.

Puhdistamolieteohjeet Suomessa eivät edellytä orgaanisten klooriyhdisteiden analysointia lietteistä eivätkä aseta näille yhdisteille raja-arvoja (ANON. 1991b). Ruotsin lieteohjeiden mukaan (ANON. 1990c) kunnallisesta jätevesilietteestä tulee määrittää nonylfenoli, seitsemän erilaista PCB-yhdistettä, kuusi erilaista PAH-yhdistettä sekä tolueeni riippumatta lietteen lopullisesta käyttötavasta. Analysoitavat PCB-yhdisteet ovat 2,4,4'-triklooribifenyylä, 2,2',5,5'-tetraklooribifenyylä, 2,2',4,5,5'-pentaklooribifenyylä, 2,3',4,4',5'-pentaklooribifenyylä, 2,2',3,4,4',5'-heksaklooribifenyylä, 2,2',4,4',5,5'-heksaklooribifenyylä ja 2,2',3,4,4',5,5'-heptaklooribifenyylä, mutta varsinaisia raja-arvoja näille yhdisteille ei ole asetettu (ANON. 1990a).

Valtioneuvoston vuonna 1988 tekemä periaatepäätös vesiensuojelun tavoiteohjelmasta vuoteen 1995 edellyttää, että orgaanisten klooriyhdisteiden päästöjä metsäteollisuudessa vähennetään. Muodostuvien orgaanisten klooriyhdisteiden määrää voidaan vähentää useammalla eri tavalla. Sulfaattisellun valkaisussa näiden aineiden määrää voidaan pienentää muun muassa vähentämällä valkaisussa käytettävän aktiivikloorin määrää. Hapen käyttö sellun valkaisussa on yleistymässä (NEVALAINEN ym. 1990). Tulevaisuudessa selluteollisuuden jätevesilietteet sisältävät orgaanisia klooriyhdisteitä ilmeisesti vähemmän kuin tätä tutkimusta tehtäessä.

Haitallisista orgaanisista yhdisteistä on mahdollista päästä eroon kompostoimalla. Suomen maaperä- ja ilmasto-olosuhteissa maahan joutunut kloorifenoli ei kuitenkaan hajoa luonnostaan maassa. Kloorifenolien hajottamiseen pystyviä bakteereita joko ei ole maassa tai olosuhteet niiden toiminnalle ovat epäsuotuisat (VALO 1989). Kompostoinnissa voidaan olosuhteet tehdä hajoamista suosiviksi ja kun mukaan lisätään riittävä määrä kasvatettuja tunnetun hajotuskyvyn omaavia bakteereita (esim. Rhodococcus chlorophenolicus) saadaan hajotus käynnistymään. Mono- ja dikloorifenolit ovat ympäristössä yleensä lyhytikäisempiä kuin polyklooratut fenolit ja ne hajoavat eri mekanismilla. Viime vuosina on eristetty useita bakteereita, jotka pystyvät hajottamaan esimerkiksi pentakloorifenolin täydellisesti epäorgaaniseksi lopputuotteiksi, hiilidioksidiksi ja epäorgaaniseksi kloridiksi. Kompostointiaikaan vaikuttavat lähtöpitoisuus, hajottajamikrobien määrä sekä kompostin hoidon tehokkuus. Esimerkiksi, jos maaperän kloorifenolipitoisuus on luokkaa 200-300 mg/kg, maan puhdistuminen vie aikaa kahdesta kolmeen vuotta (VALO 1989). Luonnontilaisessa maassa kloorifenoleja on yhteensä noin 0,01 mg/kg (BARKOWSKI ym. 1988).

Lietteiden käytön merkitys satojen ja niiden laadun kannalta

Tutkituista lietteistä parhaan lannoitusvaikutuksen sekä kenttäettä astiakokeissa antoi Hangon liete. Tällä lietteellä tutkituilla käyttömäärillä pystyttiin kokonaan korvaamaan vuosittainen NPK-lannoitus useamman vuoden aikana ja jopa saamaan sadonlisäystä NPK-lannoitukseen verrattuna. Hangon lietteellä kasvatettujen

satojen laadussa todetut muutokset eivät olleet ravitsemuksellisesti merkittäviä. Näin ollen Hangon liete näyttää soveltuvan mainiosti viljelykäyttöön.

Vaikka Mäntän liete omasi alkuvuosina lietteen levityksen jälkeen jonkinmoista lannoitusvaikutusta, olivat lietteen haitalliset jälkivaikutukset satoon kuitenkin osoitus siitä, että lietteessä oli jotakin, joka häiritsi kasvintuotantoa. Näitä häiritseviä tekijöitä saattoivat mahdollisesti olla erilaiset klooriyhdisteet, joita lietteessä todettiin olevan runsaasti. Näihin seikkoihin perustuen lietettä ei voida suositella viljelykäyttöön. Tässä tutkimuksessa ei myöskään voitu selvittää erilaisten klooriyhdisteiden mahdollista joutumista kasveihin ja merkitystä ihmisten terveydelle.

Kaipolan lietteellä saadut huonot satotulokset ensimmäisenä vuonna johtuivat ilmeisesti typen puutteesta. Tämä paperitehtaiden kuivutettiin liete sisälsi vain vähän typpeä. Lisäksi tämäntyyppisissä lietteissä typpi on suurelta osin orgaaniseen ainekseen sitoutuneena (HARMAA ym. 1987). Tällaiset lietteet hajoavat hitaasti, typpeä sitoutuu hajottajamikrobistoon eikä typpeä vapaudu juuri lainkaan kasvien käyttöön. Esimerkiksi hiekkaperäisessä maassa kestää 1-3 vuotta ennen kuin selluloosan hajotus maaperässä on tehokkaimmillaan (HARMAA ym. 1987).

Portugalissa (CABRAL ym. 1991) paperitehtaan jätevesilietteellä suoritettut kokeet osoittavat, että sillä oli vehnäsatoa alentava vaikutus, jos tuoreen lietteen levitysmäärä ylitti 50 tonnia hehtaarille. Tämä vastaa noin 20 tonnia lietteen kuiva-ainetta hehtaarille. Kaipolan lietteen pienin käyttömäärä oli 40 tn/ha ka. Kaipolan lietteen satoa alentava vaikutus mahdollisesti poistuisi, jos liete kompostoitaisiin ennen viljelykäyttöä.

Lietteiden käytön merkitys maan ominaisuuksien kannalta

Kenttäkokeissa ja astiakokeissa lietteitä tutkittiin samoilla maa-lajeilla. Kenttä- ja astiakokeista saadut tutkimustulokset olivat samansuuntaisia ja näin varmistivat toisiaan. Kenttäkokeissa tehtiin lietelannoituksen lisäksi täydennyslannoitus, mikä selittää

sen, että maan viljavuusarvot eivät voineet laskea ainakaan lietteen levitysvuonna. Koska astiakokeessa lietteiden levitysmäärät olivat suurempia, lietteiden vaikutukset maan laatuun tulivat selvemmin esille kuin kenttäkokeissa. Sekä kenttä- että astiakokeissa lisäystä todettiin juuri niiden kivennäis- ja hivenaineiden määrissä, joita lietteissä esiintyi runsaasti.

Kenttäkokeissa mikään tutkituista pääravinteista ei lietteiden käytön vaikutuksesta lisääntynyt kuitenkaan siinä määrin, että se viljavuuden kannalta katsottaisiin haitalliseksi pitoisuudeksi (ANON. 1991a). Astiakokeessa sen sijaan fosforipitoisuus molemmilla maalajeilla saavutti arveluttavan rajan (70 mg/l) Hangon lietteellä. Jopa kalsiumpitoisuus nousi arveluttavan korkeaksi Hangon lietteen suurimmalla levitysmäärällä sekä aitosavella että hienolla hiekalla.

Kun Hangon lietteen levitysmäärä kenttäkokeessa vastasi 30 tn/ha ka, raudan ja natriumin pitoisuudet hienolla hiekalla ylittivät viljavuustutkimuksen tulkinnan mukaan arveluttavan korkeina pidetyt rajat, jotka ovat raudalle 1500 ja natriumille 50 mg/l (ANON. 1991a). Natriumpitoisuus ylitti kyseisen raja-arvon myös savella.

Astiakokeessa Hangon lietteellä saavutettiin tai jopa ylitettiin myös pääravinteiden osalta maan viljavuuden kannalta arveluttavan korkeina pidetyt pitoisuudet (P 70 mg, Ca 5600 mg ja S 150 mg litrassa maata) aitosavella fosforin, kalsiumin ja melkein myös rikin osalta. Hienolla hiekalla tapahtui ylitystä samojen pääravinteiden kohdalla, vaikka tällä maalajilla kalsiumin raja-arvo on 4000 mg/l. Lisäksi arveluttavat rajat (K 400 mg ja S 150 mg/l) saavutettiin myös kaliumin ja rikin osalta. Astiakokeessa Hangon liete sai aikaan sen, että Na-pitoisuus ylittyi noin kuusinkertaisesti ja Fe-pitoisuus 2-3-kertaisesti molemmilla maalajeilla. Myös Mäntän lietteen suurin levitysmäärä nosti molempien tutkittujen koemaiden Na-pitoisuudet 2-3-kertaisiksi verrattuna arveluttavan korkeana pidettyyn arvoon.

Kun verrataan lietteiden uuttuvien ravinteiden pitoisuuksia viljelymaan vastaaviin keskimääräisiin pitoisuuksiin (ERVIÖ ym. 1990) todetaan, että Hangon lietteessä oli kaikkia tutkittuja pääravinteita uuttuvassa muodossa moninkertaisesti verrattuna maan vastaaviin pitoisuuksiin. Tämän perusteella Hangon lietelisykset kohottavat maan ravinteisuutta.

Metsäteollisuuden lietteet olivat Hangon lietteeseen verrattuna uuttuvien ravinteiden osalta selvästi köyhempiä. Mäntän lietteessä pääravinteiden uuttuvat pitoisuudet olivat kuitenkin keskimäärin hiukan korkeammat kuin maassa. Kaipolan lietteen uuttuvien ravinteiden määrät olivat jopa alhaisempia kuin viljelymaiden keskimääräiset ravinnepitoisuudet. Ainoastaan lietteen fosforipitoisuus selvästi ylitti maan vastaavan pitoisuuden. Rikin pitoisuus kaikissa lietteissä oli vähintään samaa luokkaa kuin maassa tai useimmiten ylitti sen.

Kaikkien tutkittujen lietteiden sinkkipitoisuudet olivat suurempia kuin peltomaiden. Erityisen paljon sinkkiä oli Hangon lietteessä, 25-kertaisesti maan sinkkipitoisuuteen verrattuna. Hangon lietteen rautapitoisuus oli 10-kertainen ja nikkelpitoisuus 5-kertainen viljelymaiden vastaaviin pitoisuuksiin verrattuna. Mäntän ja Kaipolan lietteet sisälsivät uuttuvia hivenaineita yleisesti vähemmän kuin viljelymaat. Kuitenkin Kaipolan lietteen booripitoisuus oli viisinkertainen maan booripitoisuuteen verrattuna.

Tonnista lietteen kuiva-ainetta tulevat kivennäis- ja hivenaineliykset tutkituilla lietteillä sekä vastaavien aineiden vuotuiset poistumat maasta satoon ja vesiin hehtaarin alalta käyvät ilmi taulukosta 7. Lietemäärät vaihtelivat välillä 10-480 tn/ha ka. Myös eri aineiden kokonaislyykset lietteissä peltoon vaihtelivat huomattavasti.

Taulukko 7. Tutkituista lietteistä (Mänttä, Kaipola ja Hanko) yhdestä tonnista kuiva-ainetta peltohehtaarille tulevat kivennäis- ja hivenainelisäykset. Samojen aineiden vuotuiset poistumat maasta satoon (heinää 10 tn ka) ja vesiin hehtaarin alalta (ANON. 1987).

	Mänttä	Kaipola	Hanko	Poistuma
N, kg	22,7	10,8	29,1	150
Ca, kg	12,5	7,3	73,2	270
K, kg	2,6	0,9	7,0	80
Mg, kg	2,8	11,6	2,4	25
P, kg	3,9	2,4	38,1	18
S, kg	5,1	1,8	3,5	70
Al, kg	13,8	16,6	3,8	
Fe, kg	3,0	3,0	107,6	1
Na, kg	13	3	49	45
B, g				80
Cd, g	0,2	0,3	0,3	
Cu, g	41,3	21,4	22,6	60
Hg, g	0,04	0,04	0,73	
Mn, g	61,1	205,5	504,1	470
Pb, g	5,3	3,3	38,4	
Zn, g	158,1	66,1	347,9	400

Jos tutkittujen lietteiden vuotuiset levitysmäärät olisivat nykyisten suositusten mukaiset eli yksi tonni lietteen kuiva-ainetta hehtaarille vuosittain, metsäteollisuuden lietteet eivät kottouttaisi maan kivennäis- ja hivenainepitoisuuksia pitkälläkään aikavälillä, koska lietteistä maahan tulevat kuormitukset ovat pienempiä kuin aineiden kokonaispoistumat maasta satoon ja vesiin. Vasta noin 10 tn/ha ka vuosittain säilyttäisi ravinnetasapainon.

Sen sijaan yhdestä tonnista Hangon lietteen kuiva-ainetta tulee fosforia, rautaa, natriumia, mangaania ja rikkiä jo niin paljon, että näiden aineiden lisäykset lietteissä ylittävät vastavien aineiden vuotuiset poistumat maasta.

Lietelisäysten aiheuttamia muutoksia maaperässä on arvioitava sekä kasvintuotannon että ympäristön kannalta. Lietteiden aiheuttamat lisäykset maan pH-arvossa, orgaanisen aineksen määrässä ja Ca-pitoisuudessa ovat edullisia viljelyn ja myös ympäristön kannalta. Suomessa viljellään Pohjoismaiden happamimpia maita pH-arvon ollessa keskimäärin 5,8 (ERVIÖ ym. 1990). Peltojen pH-arvon nostaminen useimmiten lisää ravinteiden saatavuutta viljelykasveilla ja vähentää haitallisten aineiden, kuten lyijyn, kadmiumin ja alumiinin, liukoisuutta maassa. Hangon lietteen aiheuttama pH-arvon nousu johtui lietteen suuresta kalsiumpitoisuudesta. Hangon liettettä oli osittain stabiloitu kalkilla. Myös JOKINEN (1990c) on todennut, että erityisesti kalkkistabiloidut tai kalkkisaostetut lietteet kohottavat maan pH-arvoa.

Myös lietteiden maan orgaanista ainesta lisäävä vaikutus on edullista sekä viljelyn että ympäristön kannalta, koska orgaaninen aines parantaa maan rakennetta ja vesitaloutta, vapauttaa ravinteita ympäristöönsä hajoamisen seurauksena sekä sitoo itseensä tehokkaasti monia haitallisia aineita. Lietteessä kerran lisätty eloperäinen aines vaikuttaa maassa useita vuosia. Norjalaisissa kenttäkokeissa saadut tulokset (EKEBERG 1991) osoittavat, että kunnallisen jätevesipuhdistamon lietteessä maahan lisätystä orgaanisesta aineksesta oli hajonnut kolmen vuoden kuluttua 30 %, viiden vuoden kuluttua 40 % ja yhdeksän vuoden kuluttua 60 %.

Johtoluvun nousu maassa osoitti, että lietelisäysten seurauksena kivennäis- ja hivenaineiden määrä maaperässä oli yleisesti kasvanut. Lietelisäysten on muualla todettu kohottaneen jopa pohjavesien sähkönjohtokykyä (HARMAA ym. 1987).

Hangon lietteen kokeessa käytettyjen suurten levitysmäärien aiheuttama huomattava $\text{NO}_3\text{-N}$ -pitoisuuden nousu maassa ei ole ympäristön kannalta suositeltavaa. Onhan nitraatti Suomessa pahin pohjavesien likaaja. Jopa pienimmällä levitysmäärällä, 10 tn/ha ka, Hangon liete kohotti kenttäkokeessa pintamaan nitraattityypipitoisuuden noin kolminkertaiseksi NPK-lannoitukseen verrattuna.

Lietteiden sisältämästä liukoisesta typestä yleensä suurin osa on ammonium-typpinä, joka kuitenkin nitrifioituu maassa melko nopeasti nitraattitypeksi. Näin on tapahtunut todennäköisesti myös Hangon lietteen tapauksessa. Nitraattityypen huuhtoutumiselle maasta veden mukana ei ole esteitä, koska maassa ei ole positiivisia varauksia negatiivisen nitraatin sitomiseen. FURRER ja STAUFFER (1986) ovat osoittaneet, että lietteissä lisätyt suuret typpimäärät edistävät typen huuhtoutumista maasta vesiin sitä enemmän mitä lyhytikäisempi kasvi on viljelyksessä. Koska myös pohjamaiden nitraattityppipitoisuudet nousivat Hangon lietekäsittelyiden seurauksena, on mahdollista, että nitraattityppi alkoi huuhtoutua pintamaasta kohti pohjavesiä. Kerta-annoksen pienentäminen 3-4 tonniin kuiva-ainetta hehtaarille todennäköisesti poistaa huuhtoutumisongelman.

Fosfori on kasvinviljelyn kannalta tärkeä ravinne. Sitä pidetään kuitenkin myös sisävesien pahimpana rehevöittäjänä. Kenttäkokeessa todettu maan fosforipitoisuuden nousu moninkertaiseksi Hangon lietteen suurella levitysmäärällä, 30 tn/ha ka, on uhka pintavesien puhtaudelle. Fosfori ei ilmeisesti kovin helpolla kulje pohjavesiin edes jätevesilietelannoituksen seurauksena (KOFOED ja KLAUSEN 1986). Sen sijaan maahiukkasiin sitoutuneena se saattaa eroosion mukana pintavaluntana siirtyä vesistöihin, jotka tämän seurauksena alkavat rehevöityä. Koska Hangon lietteen pieninkin levitysmäärä (10 tn/ha ka) noin kaksinkertaisti maan P-pitoisuuden, se on selvä osoitus siitä, että tämäkin levitysmäärä oli liian suuri ja aiheutti liian suuren fosforikuormituksen maaperään ja mahdollisesti liian suuren fosforikuormituksen pintavesiin. Levitysmäärä olisi tämän perusteella pienennettävä vähintään puoleen eli noin 5 tn/ha ka.

Puunjalostusteollisuuden lietteen levityksen seurauksena saattaa myös pohjaveden sulfaattipitoisuus kohota (HARMAA ym. 1987). KOFOEDin ja KLAUSENin (1986) mukaan kaliumia ja natriumia huuhtoutuu jossain määrin jätevesilietelannoituksen jälkeen. Huuhtoutuminen on voimakkaampaa hiekkaisella maalla. Sen sijaan raskasmetallien huuhtoutuminen on vähäistä.

Taulukko 8. Puhdistamolietteellä käsiteltävän viljelymaan suurimmat hyväksyttävät raskasmetallipitoisuudet (mg/kg kuiva-ainetta) kuningasvesiuutolla määritettynä (ANON. 1991b).

	mg/kg kuiva-ainetta
Kadmium	0,5
Kromi	200
Kupari	100
Elohopea	0,2
Nikkeli	60
Lyijy	60
Sinkki	150

Puhdistamolietteohjeet (ANON. 1991b) edellyttävät, että viljelymaiden laatu analysoidaan ennen lietteiden levitystä. Viljelymaan pH:lle ja raskasmetallipitoisuuksille on asetettu raja-arvot (kokonaispitoisuudet), jotka käyvät ilmi taulukosta 8, ja jotka ovat kansainvälisesti erittäin tiukat (ANON. 1986b, ANON. 1987, ANON. 1988, ANON. 1989). Puhdistamolietettä voidaan levittää vain sellaisille viljelymaille, joiden pH-arvo on yli 5,8. Kalkkistabiloitua lietettä voidaan kuitenkin levittää viljelymaille, joiden pH-arvo on yli 5,5. Lietettä toistuvasti käytettäessä viljelymaa tulee tutkia uudelleen aina 10 vuoden välein eikä pH- ja raskasmetallirajoja saa missään vaiheessa rikkoa. Näin estetään paitsi haitallisten, myös hyödyllisten raskasmetallien, kuten kuparin ja sinkin, liiallinen kertyminen viljelymaahan.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Metsäteollisuuden lietteet osoittautuivat melko vähäravinteisiksi. Sen sijaan entsyymi- ja lääketieteellisuuden jätevesiliete oli runsasravinteista. Kaikkien tutkittujen lietteiden raskasmetallipitoisuudet olivat erittäin alhaiset eivätkä ne siten rajoita lietteiden maatalouskäyttöä. Sulfiittisellu- ja paperitehtaiden liete sisälsi haitallisessa määrin klooria erilaisina yhdisteinä, muun muassa kloorifenoleina, jotka voivat aiheuttaa syöpää.

Kenttä- ja astiakokeissa saadut tutkimustulokset olivat samansuuntaisia ja näin vahvistivat tulosten luotettavuutta. Lietteiden vaikutukset viherkasvi-, jyvä- ja olkisatoihin olivat myös yhdensuuntaisia. Hangon lietteellä oli hyvä lannoitusvaikutus ensimmäisenä vuonna ja myös hyvä jälkilannoitusvaikutus. Tällä lietteellä tutkituilla käyttömäärillä pystyttiin kokonaan korvaamaan vuosittainen NPK-lannoitus useamman vuoden ajaksi ja jopa saamaan sadonlisäystä NPK-lannoitukseen verrattuna. Mäntän lietteellä oli jonkinlaista lannoitusvaikutusta kahden ensimmäisen vuoden aikana, mutta jälkivaikutukset satoon olivat kolmantena ja neljäntenä vuonna erittäin haitallisia. Kaipolan liete pienensi ohrasatoa ensimmäisenä vuonna, mutta seuraavina vuosina lannoitusvaikutus lisääntyi.

Kaikkien tutkittujen lietteiden vaikutukset satoon olivat selvästi parempia aitosavella kuin hienolla hiekalla. Metsäteollisuuden lietteiden lannoitusvaikutus parani, kun maan pH-arvoa alennettiin. Suuremmilla lietemäärillä päästiin yleensä myös suurempiin satoihin. Mitkään lietelisykset eivät aiheuttaneet oleellisia muutoksia satojen kemialliseen koostumukseen tutkittujen epäorgaanisten aineiden osalta.

Lietteillä oli sekä edullisia että epäedullisia vaikutuksia viljelymaan laatuun. Entsyymi- ja lääketehaiden liete kohotti maan pH-arvoa ja ravinnepitoisuutta ja paperitehtaiden liete erityisesti maan orgaanisen aineksen määrää. Suurista levitysmääristä johtuen entsyymija lääketehaiden liete nosti pintamaan fosforin ja nitraattityypen pitoisuudet arveluttavan korkeiksi paitsi kasvintuotannon niin myös ympäristön kannalta, erityisesti hienolla hiekalla. Jopa pohjamaiden nitraattityypipitoisuuksissa todettiin lisäystä. Selvää lisäystä tapahtui myös pintamaiden rikki-, natrium-, rauta- ja sinkkipitoisuuksissa. Paperitehtaiden liete kohotti maan booripitoisuutta. Tämä tutkimus osoitti, että lietteiden maatalouskäyttö oli paitsi kasvintuotannon niin myös ympäristön kannalta edullisempaa savimailla kuin hienolla hiekalla.

LIETTEIDEN KÄYTTÖSUOSITUKSET

Tutkimustulosten perusteella kolmesta tutkitusta lietteestä entsyymi- ja lääketehaiden jätevesilietettä voidaan suositella hyödynnettäväksi maataloudessa. Tällä lietteellä oli edullisia vaikutuksia satoon ja maan pH-arvoon. Lietteiden haitalliset vaikutukset, lähinnä suuret fosfori- ja nitraattityppikuormitukset, maaperään kasvintuotannon ja ympäristön kannalta vältetään, kun käyttö määrää vähennetään kokeissa käytetyistä. Stabiloidun lietteen suurimmaksi kerta-annokseksi suositellaan neljää tonnia kuiva-ainetta hehtaarille neljää vuotta kohti ja vuotuisannokseksi yhtä tonnia kuiva-ainetta hehtaarille. Täydennyslannoitus typen ja kaliumin osalta suositellaan tehtäväksi viljavuustutkimuksen ja viljeltävän kasvin ravinnevaatimusten mukaisesti.

Paperitehtaiden liete oli vähäravinteista, mutta sillä pystyttiin lisäämään maan orgaanisen aineksen määrää. Tämän lietteen käyttöarvo peltoviljelyssä perustuisi pääasiassa lietteen maanparannusarvoon. Liete ei sisältänyt haitallisessa määrin orgaanisia klooriyhdisteitä. Kuitenkin lietteiden haitalliset vaikutukset satoon ensimmäisenä vuonna lietteiden levityksen jälkeen osoittivat, että ennen peltoon levittämistä liete olisi jotenkin esikäsiteltävä, esimerkiksi kompostoitava, orgaanisen aineksen hajottamiseksi. Tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että kyseinen liete ei ilman esikäsitelyä sovellu maataloudessa käytettäväksi.

Sulfiittisellu- ja paperitehtaiden liete sisälsi haitallisessa määrin erilaisia klooriyhdisteitä ja aiheutti haitallisia jälki-vaikutuksia satoon kokeissa käytetyillä levitysmäärillä. Näin ollen tätäkään lietettä ei voida suositella viljelyskäyttöön. Liete vaatii erikoiskäsittelyä ennen peltolevitystä, esimerkiksi erikoiskompostointia TOCl-pitoisuuden laskemiseksi.

KIRJALLISUUS

- AALTONEN, V.T., AARNIO, B., HYYPPÄ, I.E., KAITERA, P. KESO, L., KIVINEN, E., KOKKONEN, P., KOTILAINEN, M.J., SAURAMO, M., TUORILA, P., VUORINEN, J. 1949. Summary: A critical review of soil terminology and soil classification in Finland in the year 1949. *J. Sci. Agric. Soc. Finl.* 21: 37-66.
- ALAVAKERI, M. & PUHAKKA, J. 1989. Sellutehtaan lietteiden anaerobikäsittely. *Kemia-Kemi* 16: 16-19.
- ANON. 1979. Leco Carbon Determination, CR-12, Carbon System 781-600. Instruction Manual 200-195. Leco Corporation, USA.
- ANON. 1980. Veden, lietteen ja sedimentin metallipitoisuudet. Määrittäminen atomiabsorptio-spektrometrisesti liekkimene-
telmällä. Yleisiä periaatteita ja ohjeita. Suomen standardisointiliiton standardi, SFS-3044. Vesihallituksen vahvistama 29.9.1980. 8 p.
- ANON. 1986a. Methods of Soil and Plant Analysis. Agricultural Research Centre. Department of Soil Science, Jokioinen, Finland. ISBN 951-729-285-6. 45 p.
- ANON. 1986b. Council directive of 12 June 1986 on the protection of the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture (86/27/EEC). *Official Journal of the European Communities.* 4.7.86, No L 181/6. 7 p.
- ANON. 1987. Användning av slam på åkermark. Naturvårdsverket. Rapport 3391. ISBN 91-620-3391-3, ISSN 0282-7298. Amo-Tryck Ab, Solna. 76 p.
- ANON. 1988. Proposal for a Council Directive amending in respect of chromium Directive 86/278/EEC on the protection on the environment, and in particular of the soil, when sewage sludge is used in agriculture. *Official Journal of the European Communities.* 2.12.88, No C 307/9. 1 p.
- ANON. 1989. Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbruksformål. Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 736 af 26. oktober 1989. *Miljømin. j. nr.* D89-23001-29. 11 p.
- ANON. 1990a. Anslutning av industrier och andra verksamheter till kommunala avloppsreningsverk. Naturvårdsverket. Rapport 3752. Solna. 50 p.
- ANON. 1990b. Karjasuojien vesiensuojelua koskeva valvontaohje nro 61. Vesi- ja ympäristöhallitus 12.11.1990.
- ANON. 1990c. Slam från kommunala avloppsreningsverk. Sveriges Naturvårdsverkets allmänna råd 13. ISSN 0282-7271, ISBN 91-620 0052-7. Stockholm. 49 p.
- ANON. 1991a. Viljavuustutkimuksen tulkinta peltoviljelyssä. Viljavuuspalvelu Oy. ISBN 951-99861-7-0. 70 p.
- ANON. 1991b. Puhdistamolietteen käyttö maanviljelyssä. Ympäristöministeriön ympäristönsuojeluosaston ohje 4. ISSN 0788-592X, ISBN 951-47-3562-5. Helsinki. 43 p.
- BARKOWSKI, D., GÜNTHER, P., POLLER, T. & RÖCHERT, R. 1988. Zusammenstellung von Orientierungswerten für die Medien Feststoffe, Gas und Wasser. Franzius, V., Stegmann, R. & Wolf, K. *Handbuch der Altlastensanierung. (Bewertungskriterien).* R. v. Decker's Verlag. P. 1-42.
- CABRAL, F., VASCONCELOS, E. & QUELHAS dos SANTOS, J. 1991. The fertilizing value of the sludge from a paper processing industry. *Humus et Planta Proceedings. Prague.* P. 76.

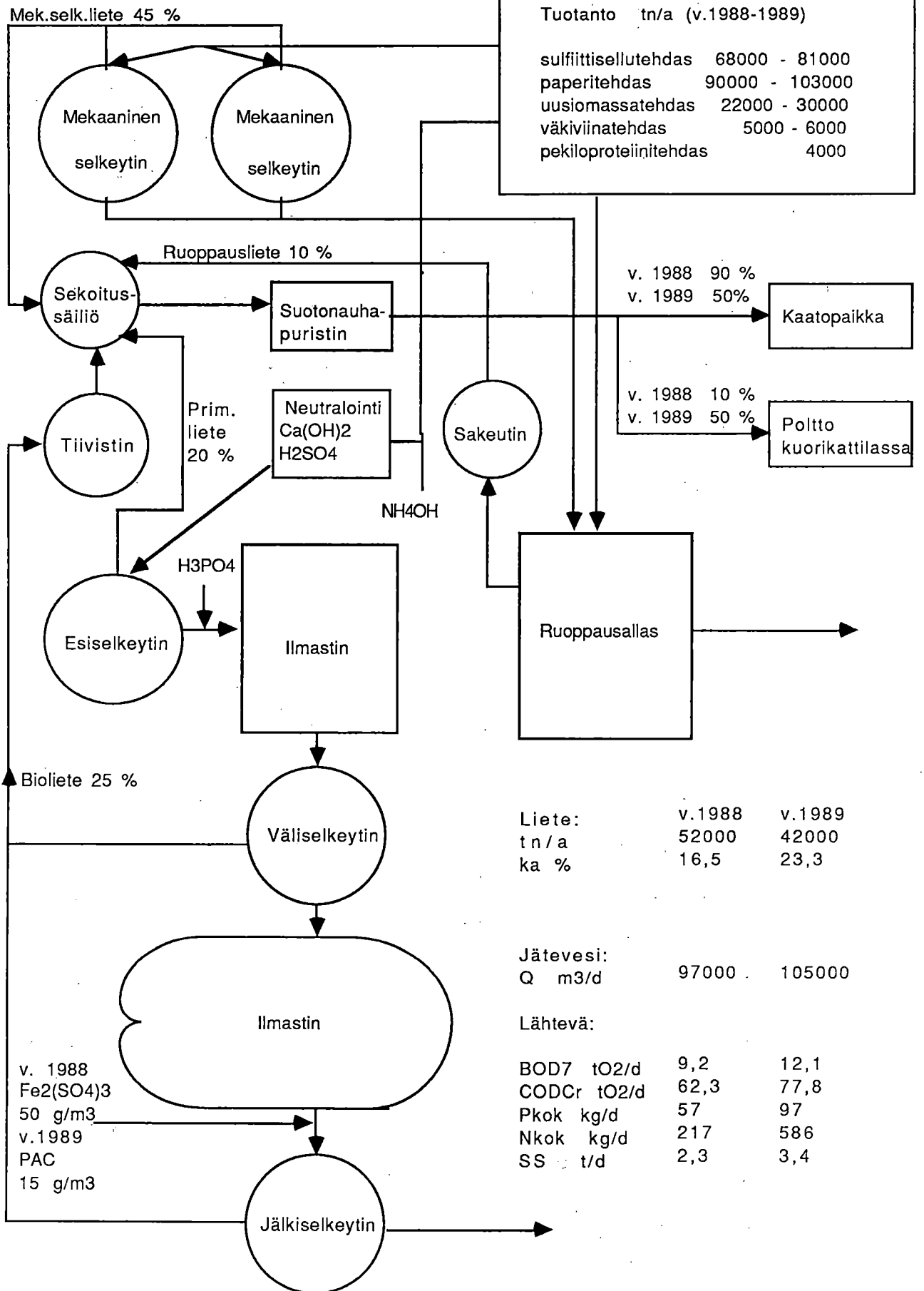
- CEDERLÖF, M. & KARHU, E. 1991. Orgaanisten klooriyhdisteiden aiheuttamat vesiensuojeluongelmat. Esitelmä Vesioikeuspäivillä 26.3. Vaasassa. Vesi- ja ympäristöhallitus. 11 p.
- EKEBERG, E. 1991. Aspects of sewage sludge (Research in periode 1977-1990). Norsk landbruksforskning, Suppl. 12: 1-120.
- ELONEN, P. 1971. Particle size analysis of soil. Acta Agr. Fenn. 122: 1-122.
- ERVIÖ, R., MÄKELÄ-KURTTO, R. & SIPPOLA, J. 1990 Chemical characteristics of Finnish agricultural soils in 1974 and in 1987. Acidification in Finland. Toim. Kauppi P., Anttila, P. & Kenttämies, K. P. 217-234.
- FURRER, O. J. & STAUFFER, W. 1986. Influence of sewage sludge and slurry application on nutrient leaching losses. Efficient Land Use of Sludge and Manure. Toim. Kofoed, A. D., Williams, J. H. & L'Hermite, P., CEC. Elsevier Applied Science Publishers. P. 108-115.
- HARMAA, K., TASKINEN, E., VÄÄNÄNEN, P. & VILPPUNEN, P. 1987. Metsäteollisuuden kuitu-, kuori- ja biolietteiden anaerobin energiantuotantoyksikkö. Esiselvitys. Oulun yliopiston teknillisen tiedekunnan energialaboratorion raportteja 5. Oulu. 84 p.
- HEMMINKI, K. 1991. Ympäristösaasteet syövän aiheuttajana. Ympäristö ja terveys 22: 383-387.
- HENRIKSEN, A. & SELMER-OLSEN, A. 1970. Automatic methods for determining nitrate and nitrite in water and soil extracts. Analyst 95: 514-518.
- HUANG, C-Y., SCHULTE, E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. Commun. in Soil Sci. Plant Anal. 10 (9):943-958.
- JOKINEN, R. 1990a. Effect of phosphorus precipitation chemicals on characteristic and agricultural value of municipal sewage sludges 1. Characteristics of Ca, Al and Fe precipitated sewage sludges. Acta Agric. Scand. 40, 2: 123-129.
- JOKINEN, R. 1990b. Effect of phosphorus precipitation chemicals on characteristics and agricultural value of municipal sewage sludges 2. Effect of sewage sludges on yield, element content and uptake by spring barley (*Hordeum vulgare*, L). Acta Agric. Scand. 40, 2: 131-140.
- JOKINEN, R. Effect of phosphorus precipitation chemicals on characteristics and agricultural value of municipal sewage sludges 3. Analytical results of sludge treated soils. Acta Agric. Scand. 40, 2: 141-147.
- JÄPPINEN, H. 1987. Metsäteollisuuden lietteiden määrä, laatu ja käsittelytavat. INSKO 5-87. I. Tampere. Ref. ALAVAKERI & PUHAKKA 1989.
- KOFOED, A. D. & KLAUSEN, S. 1986. Leaching of nutrients from sewage sludge and animal manure. Efficient Land Use of Sludge and Manure. Toim. Kofoed, A. D., Williams, J. H. & L'Hermite, P. CEC. Elsevier Applied Science Publishers. P. 116-127.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fenn. 123: 223-232.
- LAMPI, P., HAKULINEN, T., LUOSTARINEN, T., PUKKALA, E. & TEPPU, L. 1991. Kloorifenolialtistukseen liittyvä syöpävaara eteläsuomalaisessa kunnassa. Duodecim 107: 702-710.
- LEVINEN, R. 1990. Puhdistamolietteen viljelykäytön edellytykset. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 52. ISBN 951-47-3691-5, ISSN 0786-9592. 165 p.

- NEVALAINEN, J., RANTALA, P.-R., JUNNA, J. & LAMMI, R. 1990. Kloorivalkaistun ja happivalkaistun sulfaattisellujäteveden aktiivilietekäsittely - laboratoriokoe. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja 269. ISBN 951-47-3053-4. ISSN 0783-3288. Helsinki. 29 p.
- SELMER-OLSEN, A. 1971. Determination of ammonium in soil extracts by an automatic indophenol method. Analyst 96: 565-568.
- VALO, R. 1989. Kloorifenolilla saastuneen maaperän ja pohjaveden puhdistaminen. Esitelmä Kuopion yliopiston koulutus- ja kehittämiskeskuksen täydennyskoulutusosaston ja Maa- ja vesitekniikan tuki ry:n kurssilla "Biotekniikka ympäristönsuojelussa: saastuneen maaperän puhdistaminen". Kuopio. Mi-meogr. 5 p.
- VALVE, M. & PUOLANNE, J. 1990. Puhdistamolietteiden laatu v. 1977-1986. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja, käsikirjoitus. Ref. LEVINEN, R. 1990.
- VARTIAINEN, T. & KOIVUSALO, M. 1991. Talousveden terveysvaikutuksia. Ympäristö ja terveys 22: 407-414.
- VUORINEN, J., MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Publ. 63: 1-44.

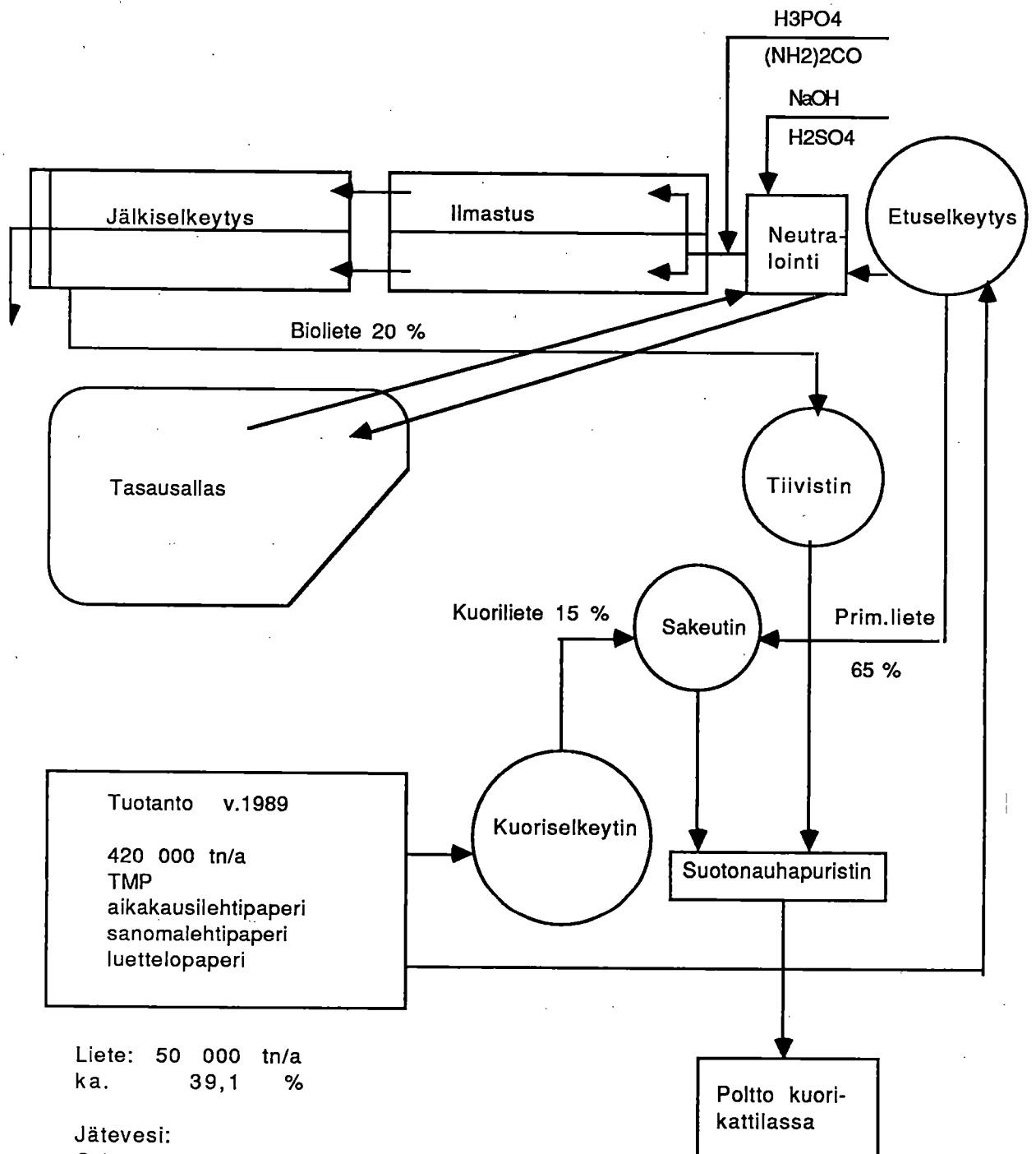
LIITTEET

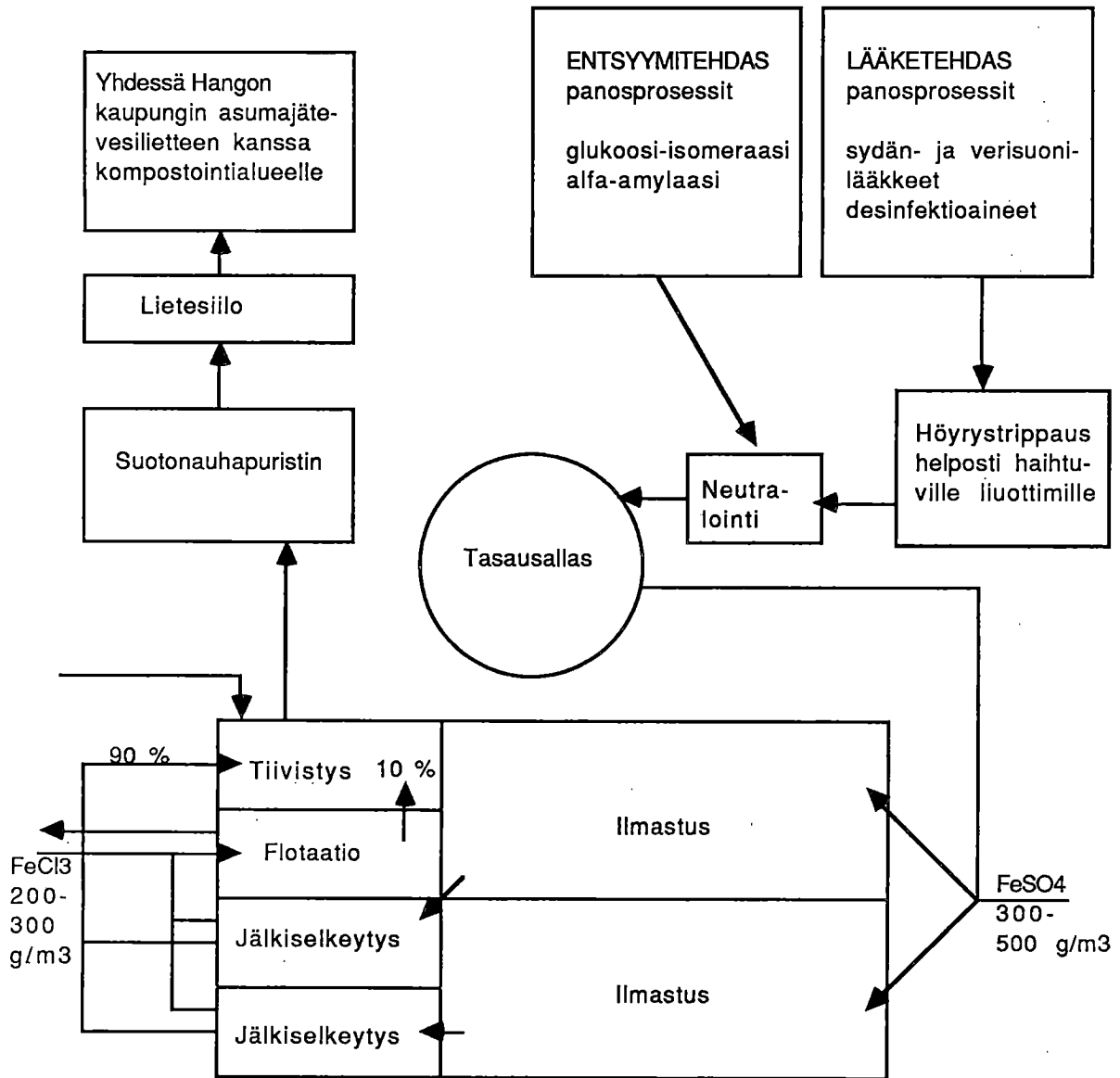
SERLA OY, MÄNTTÄ
(v.1988 ja 1989 toukokuun tilanne)

LIITE 1



YHTYNEET PAPERITEHTAAT OY
KAIPOLA
(v.1989 toukokuun tilanne)





Liete:
 tn/a 1500
 ka. % 21

Jätevesi:
 Q m³/d 550

		Tuleva vesi:	Lähtevä vesi:
BOD7	kgO ₂ /d	990	15
CODCr	kgO ₂ /d	1930	420
Pkok	kg/d	23	2,9
Nkok	kg/d	140	81
SS	kg/d	290	67

Taulukko 9. Keskimääräinen lajitekoostumus Jokioisten ja Pälkäneen koekentän pinta- ja pohjamaissa (arvot 8 näytteen keskiarvoja) sekä Jokioisilta ja Pälkäneeltä otettujen astiakoemaiden keskimääräinen lajitekoostumus (arvot 4 näytteen keskiarvoja).

Fraktiot prosentteina

Lajite	Savi	Hiesu	Hieta	Hiekka	Sora	Maalaji
Hiukkaskoko, mm	<0,002	0,002-0,006-0,02	0,02-0,06-0,2	0,2-0,6-2	2-6-20	

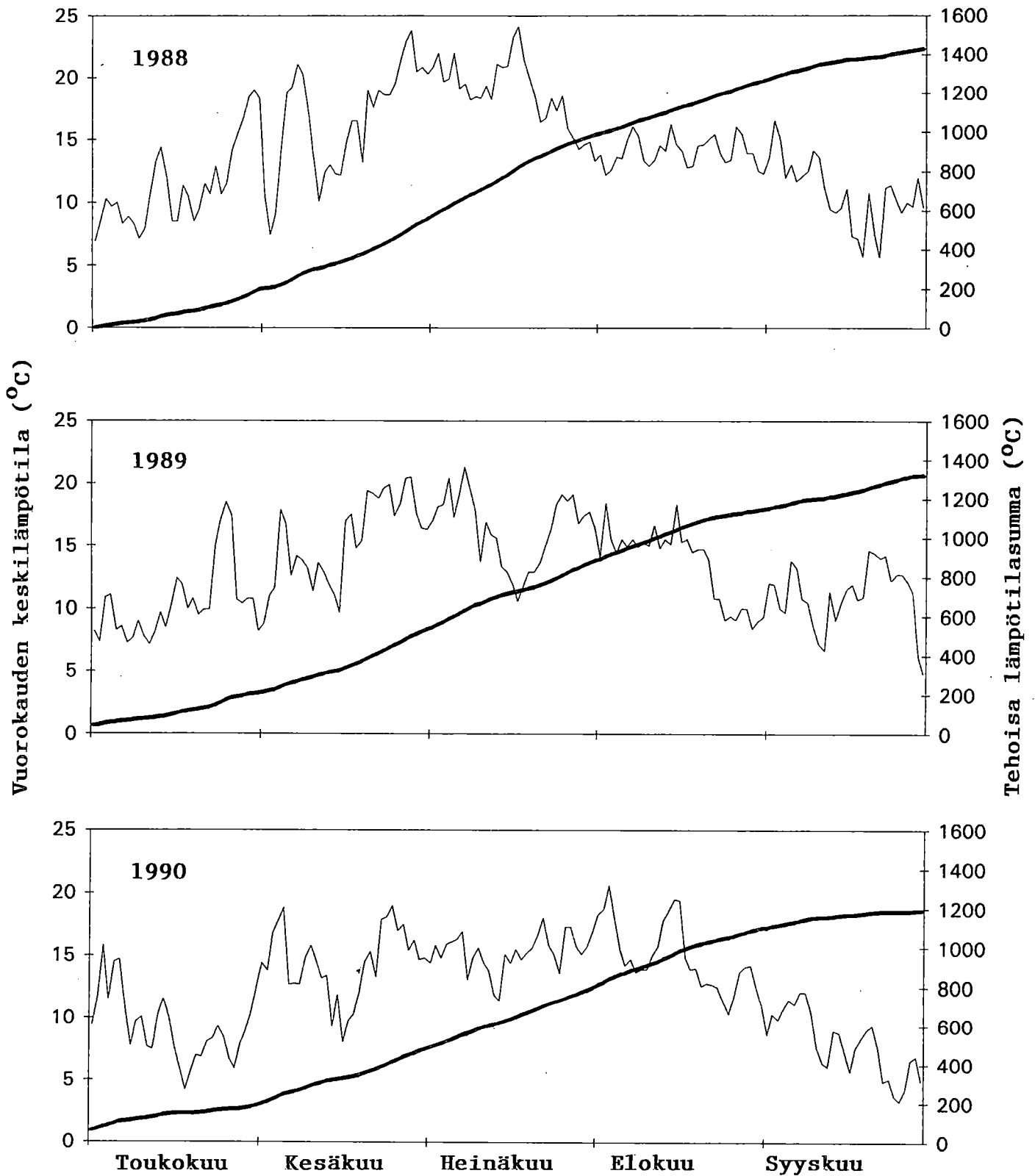
hieno karkea hieno karkea hieno karkea hieno karkea hieno karkea

Kenttäkoemaat:

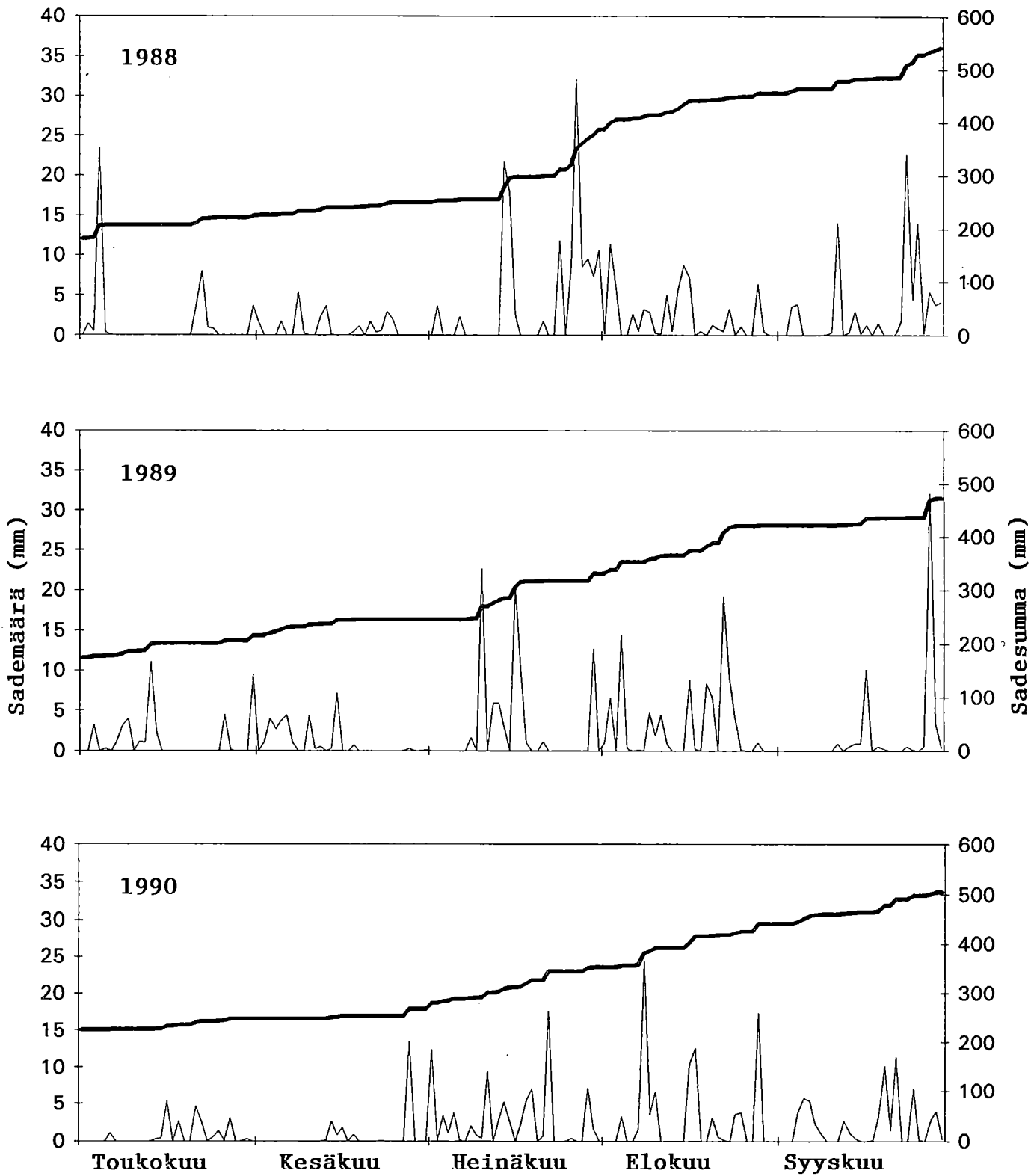
Jokioinen:										
- pintamaa	69,8	9,0	7,5	7,4	3,5	2,8	0,0	0,0	0,0	Aitosavi
- pohjamaa	76,9	6,8	4,1	6,4	4,6	1,2	0,0	0,0	0,0	Aitosavi
Pälkäne:										
- pintamaa	8,3	5,5	4,6	9,0	25,0	43,2	4,4	0,0	0,0	Hietainen hieno hiekka
- pohjamaa	9,9	8,2	5,4	12,0	26,8	34,8	2,9	0,0	0,0	Hietainen hieno hiekka

Astiakoemaat:

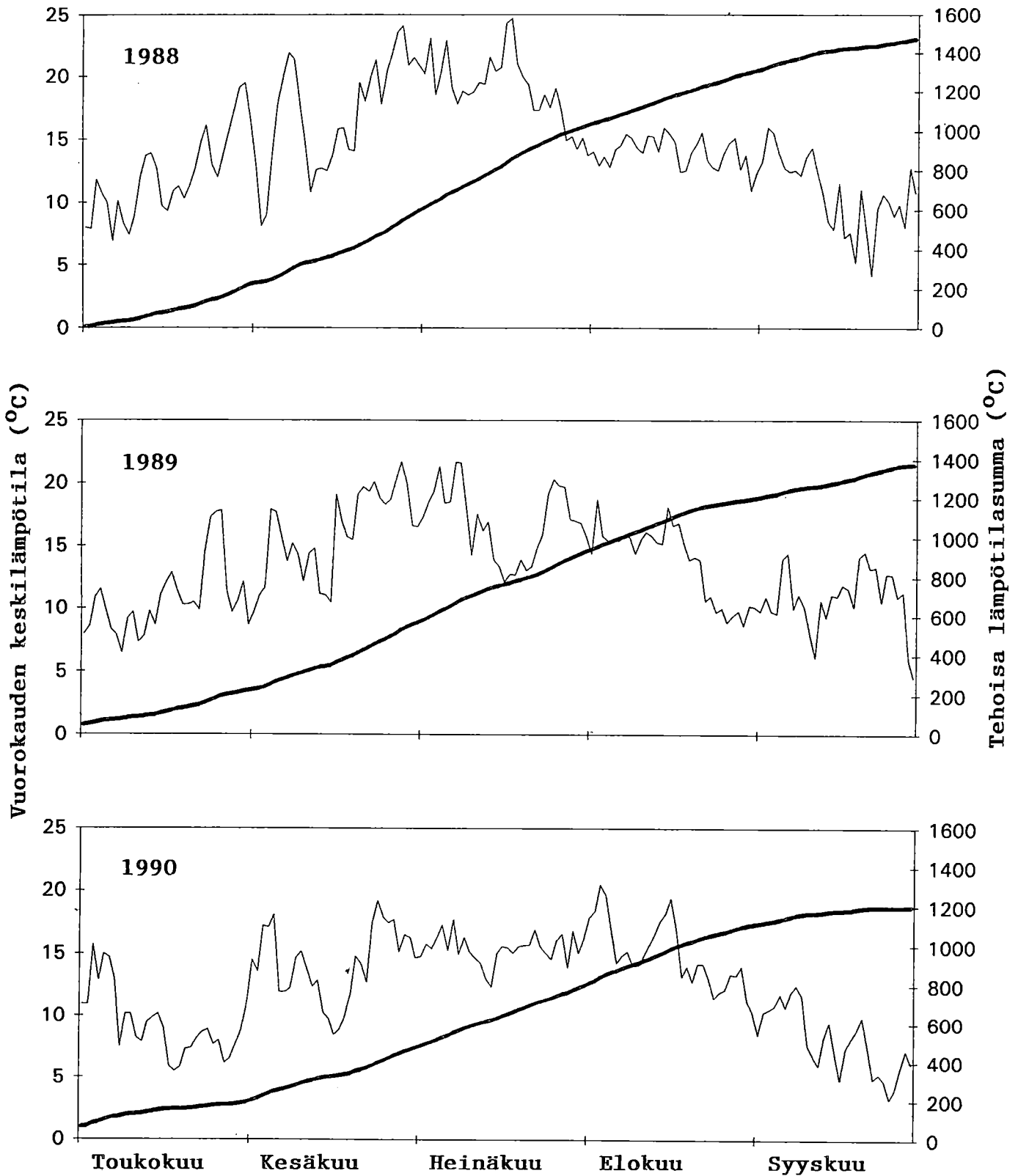
Jokioinen	66,0	10,7	8,1	8,0	4,0	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0	Aitosavi
Pälkäne	6,5	4,0	3,9	8,4	24,9	48,5	3,8	0,0	0,0	0,0	Hietainen hieno hiekka



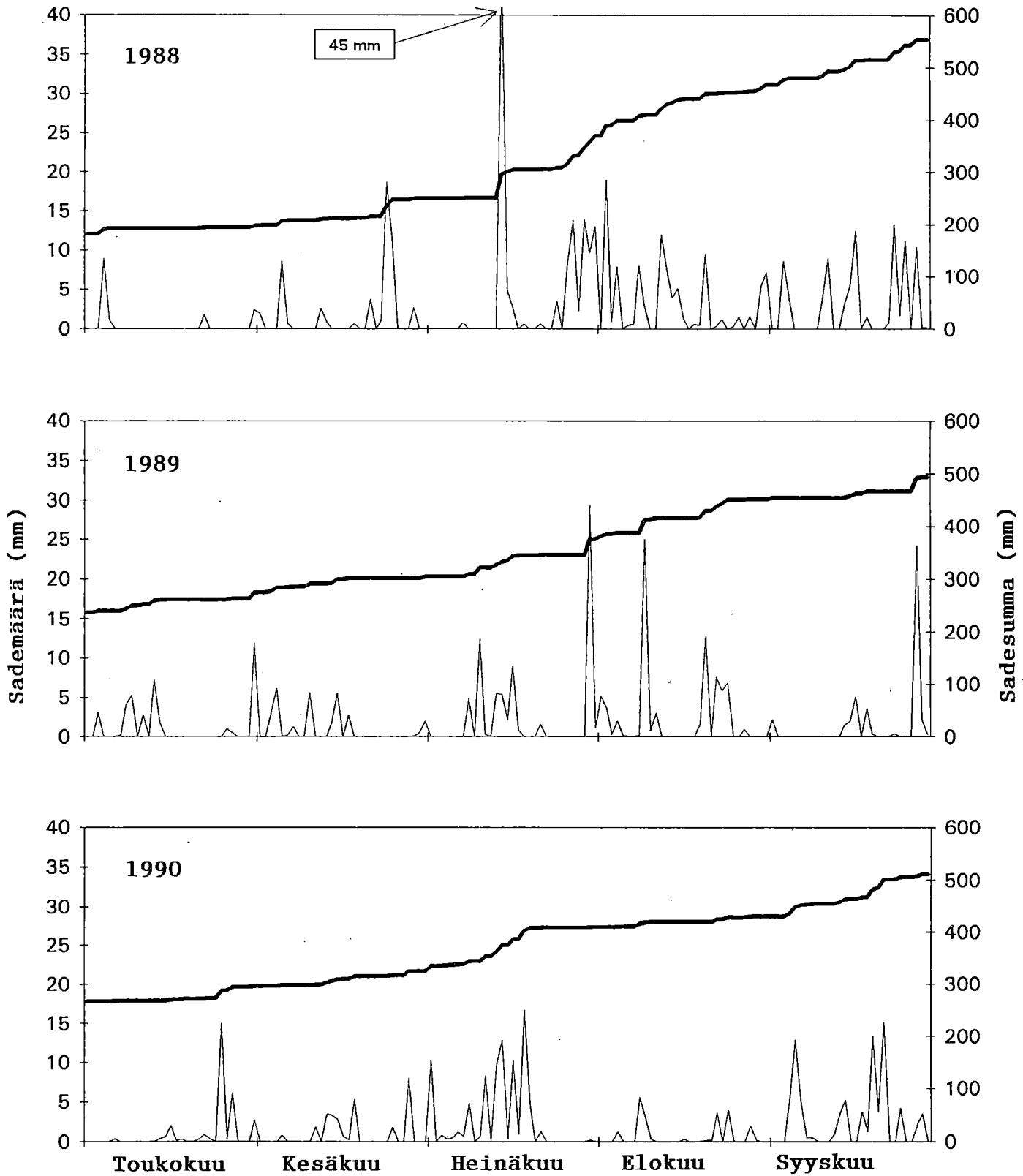
Kuva 2. Kasvukaudenaikaiset lämpötilaolosuhteet, vuorokauden keskilämpötila (°C) ja tehoisa lämpötilasumma (°C), Jokioisilla vuosina 1988-1990.



Kuva 3. Kasvukaudenaikaiset kosteusolosuhteet, sademäärä (mm) ja sadesumma (mm), Jokioisilla vuosina 1988-1990.



Kuva 4. Kasvukaudenaikaiset lämpötilaolosuhteet, vuorokauden keskilämpötila ($^{\circ}\text{C}$) ja tehoisa lämpötilasumma ($^{\circ}\text{C}$), Pälkäneellä vuosina 1988-1990.



Kuva 5. Kasvukaudenaikaiset kosteusolosuhteet, sademäärä (mm) ja sadesumma (mm), Pälkäneellä vuosina 1988-1990.

Taulukko 10. Jätevesilietteiden ominaisuuksia lietteittäin (Mänttä, Kaipola ja Hanko) ja liete-erittäin (koepaikka ja koevuosi) (K = kenttäkokeessa; A = astiakokeessa). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Liete/ liete-erä	Kuiva- ainetta %	40 ml:n tilav.p. g	Hekutus- häviö, %	pH(H ₂ O)	Johkoluku 10 ⁻⁴ S/cm	Org. C %	Kok. N % ka	NH ₄ -N mg/l tp ¹⁾	NO ₃ -N mg/l ³ tp ¹⁾
Mänttä:									
- Jokioinen -88 (K)	23,4	38,1	70,9	6,1	12,9	38,1	1,89	239,0	33,8
- Pälkäne -88 (K)	16,9	-	91,9	4,9	-	39,8	2,54	-	-
- Jokioinen -89 (A)	19,4	39,9	80,8	6,7	13,7	36,4	2,37	631,9	28,4
Keskimäärin	19,9	39,0	81,2	5,9	13,3	38,1	2,27	435,5	31,1
Kaipola:									
- Jokioinen -89 (K, A)	40,5	18,2	38,0	6,8	6,2	30,8	0,97	19,7	0,3
- Pälkäne -89 (K)	40,2	17,7	31,5	7,0	4,5	34,3	1,20	29,2	0,4
Keskimäärin	40,4	18,0	34,8	6,9	5,4	32,6	1,08	24,5	0,4
Hanko:									
- Jokioinen -89 (K, A)	15,9	46,0	41,0	8,4	16,8	16,3	2,82	297,9	2,5
- Pälkäne -89 (K)	20,4	46,2	37,8	8,4	23,1	14,8	3,00	89,2	2,4
Keskimäärin	18,2	46,1	39,4	8,4	20,0	15,6	2,91	193,6	2,5

1) tp = tuorepaino

Taulukko 11. Alkuaineiden kokonaispitoisuudet jätevesilietteiden kuiva-aineessa sekä lietteittäin (Mänttä, Kaipola ja Hanko) että liete-erittäin (koepaikka ja koevuosi) (K = kenttäkokeessa; A = astiakokeessa). Arvot 4 näytteen keskiarvoja. Lisäksi vastaavat pitoisuudet yhdyskuntien jätevesilietteissä vuosina 1984-85 (\bar{x} = keskiarvo; md = mediaani).

Analyysimenetelmä

Kuivapoltto

SFS-3044

Liete/ Liete-erä	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	Al g/kg	S g/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe g/kg	Hg μg/kg	Mn mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	
<u>Mänttä:</u>															
- Jokioinen -88 (K)	5,0	3,7	2,1	3,2	11,2	3,8	0,167	37,9	3,7	32,8	52,6	0,61	4,4	63,7	
- Pälkäne -88 (K)	4,9	2,0	2,6	3,8	7,3	4,9	0,196	35,6	2,9	34,6	38,2	0,77	4,4	100,9	
- Jokioinen -89 (A)	27,7	2,1	3,6	4,9	23,1	7,0	0,382	53,5	2,2	65,4	102,9	3,00	7,8	360,4	
Keskimäärin	12,5	2,6	2,8	3,9	13,8	5,1	0,236	41,3	3,0	42,3	61,1	1,31	5,3	158,1	
<u>Kaipola:</u>															
- Jokioinen -89 (K, A)	7,4	0,9	12,5	2,2	17,8	1,7	0,332	29,2	3,5	43,1	206,3	0,25	3,4	69,0	
- Pälkäne -89 (K)	7,1	0,9	10,8	2,6	15,4	1,9	0,342	13,7	2,5	41,7	204,7	0,25	3,3	63,3	
Keskimäärin	7,3	0,9	11,6	2,4	16,6	1,8	0,337	21,4	3,0	42,4	205,5	0,25	3,3	66,1	
<u>Hanko:</u>															
- Jokioinen -89 (K, A)	72,6	7,9	2,4	39,0	3,1	3,6	0,273	24,2	110,8	766,5	503,4	5,7	9,2	354,8	
- Pälkäne -89 (K)	73,8	6,1	2,4	37,2	4,6	3,5	0,321	21,0	104,8	703,1	504,9	4,1	67,6	341,1	
Keskimäärin	73,2	7,0	2,4	38,1	3,8	3,5	0,297	22,6	107,6	734,8	504,1	4,9	38,4	347,9	
Yhdyskuntien puhdistamoliete keskimäärin 1984-85	\bar{x} 41,7 24,0	2,0 1,5	3,9 3,0	28,3 25,0	49,3 29,0		4,300 2,700	312 220	92,7 73,5	2300 1000	404 393		119,0 56,3	923 460	

Liite 10

Taulukko 12. Alkuaineiden uuttuvat pitoisuudet kuivatuissa (+ 35 °C:ssa) jätevesilietteissä sekä lietteittäin (Mänttä, Kaipola ja Hanko) että liete-erittäin (koepaikka ja koevuosi) (K = kenttäkokeessa; A = astiakokeessa). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Analyysimenetelmä	AAAC-uutto										Kuuma H ₂ O-uutto				AAAC-EDTA -uutto			
	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l	B mg/l	Al mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l				
Mänttä:																		
- Jokioinen -88 (K)	581	214	92	88	80	0,05	25	0,025	3,09	195	5,7	0,003	0,388	8,7				
- Pälkäne -88 (K)	677	273	114	90	77	0,04	22	0,023	3,41	260	5,7	0,040	0,450	14,0				
- Jokioinen -89 (A)	12347	300	359	960	278	0,27	129	0,065	5,50	513	35,4	0,683	1,688	98,7				
Keskimäärin	4535	262	188	379	145	0,12	59	0,038	4,00	322	15,6	0,242	0,842	40,5				
Kaipola:																		
- Jokioinen -89 (K, A)	908	54	164	78	19	1,60	349	0,040	1,70	194	27,9	0,458	0,250	7,5				
- Pälkäne -89 (K)	706	61	118	66	23	1,62	277	0,040	1,38	125	27,0	0,580	0,063	6,7				
Keskimäärin	807	58	141	72	21	1,61	313	0,040	1,54	159	27,5	0,519	0,156	7,1				
Hanko:																		
- Jokioinen -89 (K, A)	34031	3735	820	113	583	0,37	8	0,000	1,71	9019	84,8	4,430	0,000	98,1				
- Pälkäne -89 (K)	38477	3015	546	156	473	0,38	8	0,000	0,85	8703	84,9	4,220	0,000	88,5				
Keskimäärin	36254	3375	683	134	528	0,37	8	0,000	1,28	8861	84,8	4,325	0,000	93,3				
Viljelymaissa keskimäärin	1278	109	178	10,3	19,0	0,59	508	0,080	3,68	717	57	0,90	1,66	3,70				

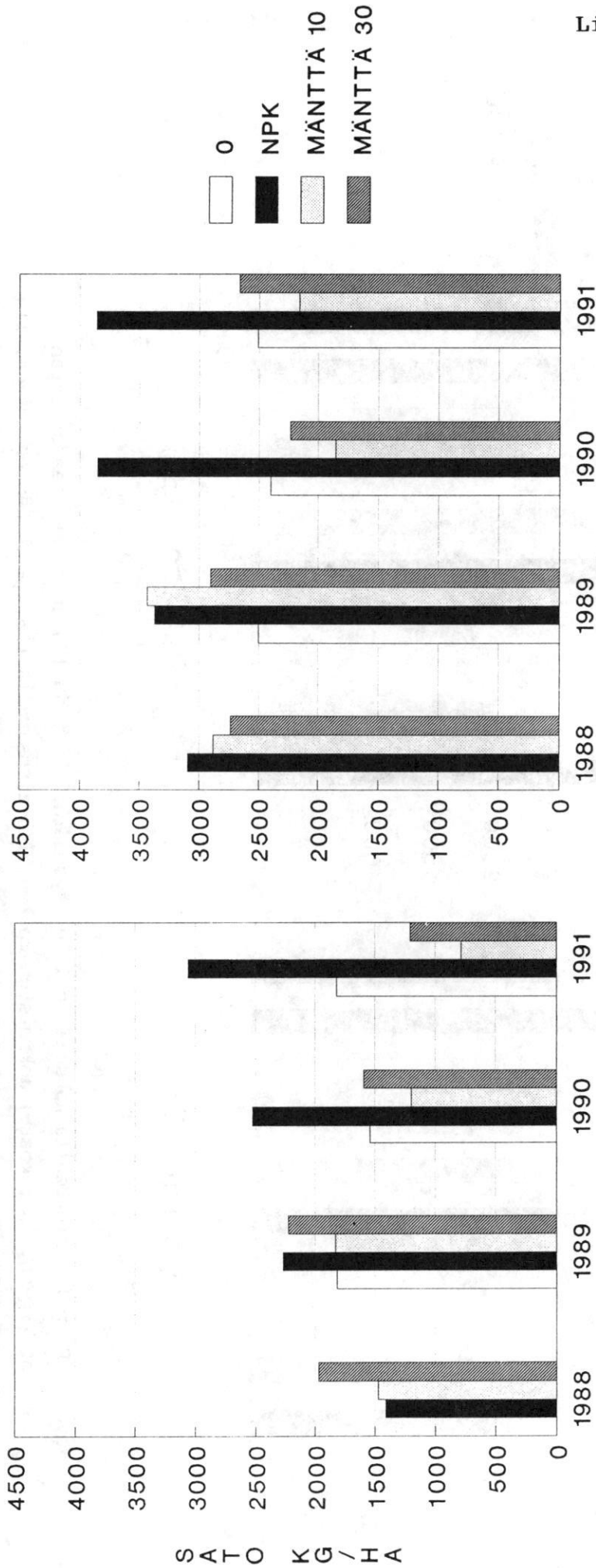
1) ERVIÖ ym. 1990

Taulukko 13. Viherkasvisadot (g/0,25 m² ka) sekä jyvä- (kg/ha, 15 % kost.) ja olkisadot (kg/ha ka) ohralla kenttäkokeissa aitosavella Jokioisilla ja hienolla hiekalla Pälkäneellä vuosina 1988-1991 eri lietteillä (Mänttä, Kaipola ja Hanko) ja eri lietenäärillä (tn/ha ka) (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 koeruudun keskiarvoja standardipoikkeamineen.

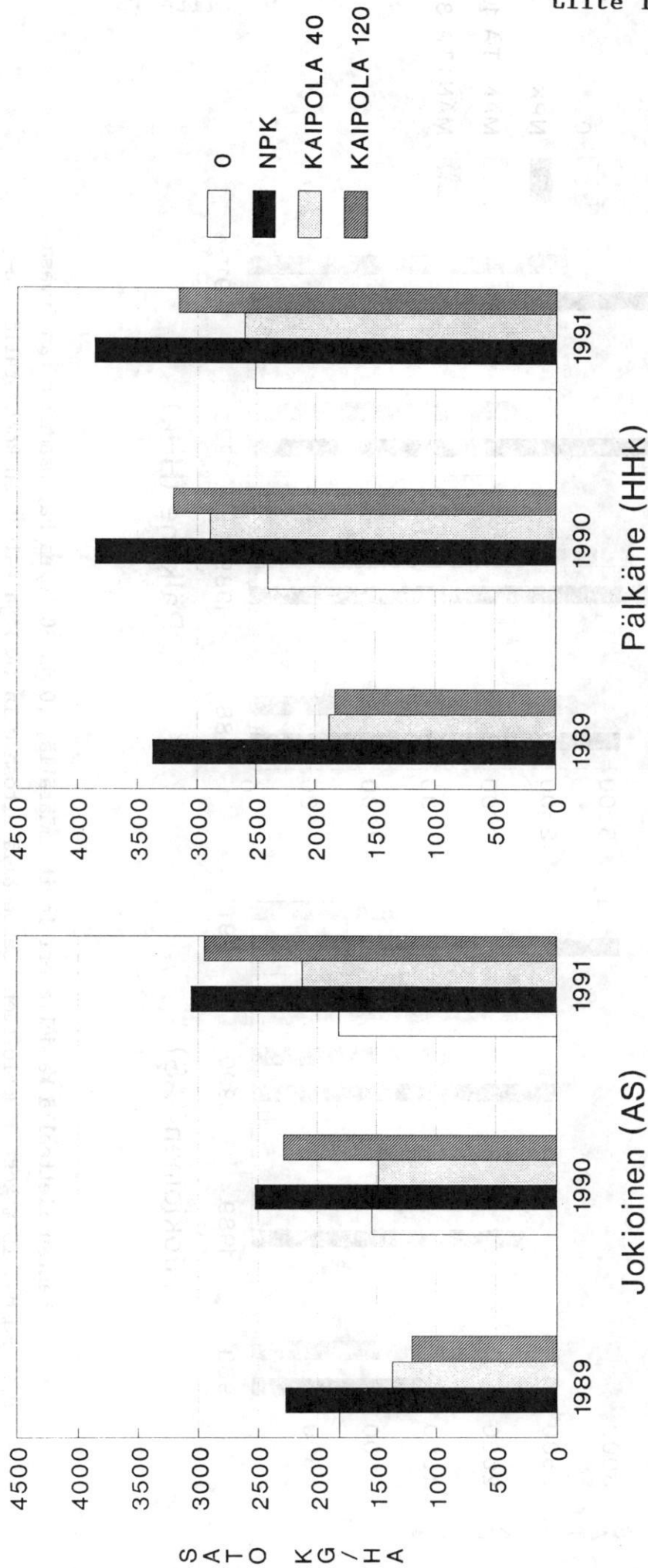
	Jokioinen			Pälkäne		
	Viherkasvit	Jyvät	Oljet	Viherkasvit	Jyvät	Oljet
<u>Vuosi 1988:</u>						
NPK	40,34 ± 30,03	1412 ± 916	558 ± 307 ¹⁾	82,13 ± 7,10	3097 ± 260	4585 ± 634
Mänttä 10	33,41 ± 17,37	1474 ± 577,2)	566 ± 236 ¹⁾	56,66 ± 6,09	2882 ± 400	3892 ± 777
Mänttä 30	41,45 ± 6,63	1972 ± 938,2)	763 ± 347 ¹⁾²⁾	60,36 ± 9,31	2735 ± 495	3453 ± 533
<u>Vuosi 1989:</u>						
0	36,07 ± 6,49	1818 ± 232	-	52,36 ± 15,22	2502 ± 194	-
NPK	38,65 ± 11,08	2272 ± 232	-	84,53 ± 27,73	3377 ± 396	-
Mänttä 10	34,32 ± 9,29	1830 ± 168	-	62,78 ± 6,47	3437 ± 634	-
Mänttä 30	37,79 ± 5,72	2227 ± 120	-	64,77 ± 22,95	2905 ± 777	-
Kaipola 40	23,59 ± 10,86	1369 ± 360	-	39,48 ± 3,28	1883 ± 332	-
Kaipola 120	32,91 ± 22,41	1202 ± 537	-	26,34 ± 3,72	1832 ± 656	-
Hanko 10	54,46 ± 10,84	2582 ± 347	-	67,63 ± 19,02	3135 ± 636	-
Hanko 30	65,27 ± 18,09	2561 ± 157	-	75,45 ± 13,84	3475 ± 160	-
<u>Vuosi 1990:</u>						
0	46,13 ± 17,63	1541 ± 248	-	38,80 ± 5,48	2399 ± 217	-
NPK	42,37 ± 23,94	2526 ± 786	-	76,62 ± 10,11	3855 ± 345	-
Mänttä 10	20,19 ± 8,37	1198 ± 314	-	36,77 ± 9,17	1855 ± 193	-
Mänttä 30	30,22 ± 13,38	1592 ± 247	-	48,32 ± 10,34	2236 ± 380	-
Kaipola 40	39,16 ± 14,20	1485 ± 409	-	45,52 ± 8,85	2891 ± 307	-
Kaipola 120	62,32 ± 33,03	2284 ± 805	-	66,69 ± 8,27	3203 ± 331	-
Hanko 10	67,29 ± 23,07	2935 ± 655	-	58,89 ± 9,31	3859 ± 964	-
Hanko 30	81,13 ± 16,79	4245 ± 552	-	87,03 ± 3,03	4405 ± 412	-
<u>Vuosi 1991:</u>						
0	67,58 ± 29,30	1821 ± 789	-	90,20 ± 41,17	2509 ± 819	-
NPK	108,09 ± 24,15	3058 ± 516	-	135,87 ± 31,40	3861 ± 125	-
Mänttä 10	36,22 ± 4,13	785 ± 115	-	54,18 ± 7,32	2160 ± 274	-
Mänttä 30	49,54 ± 8,82	1207 ± 337	-	79,95 ± 23,30	2664 ± 480	-
Kaipola 40	68,87 ± 21,48	2125 ± 886	-	105,22 ± 19,01	2600 ± 264	-
Kaipola 120	107,25 ± 48,01	2948 ± 1430	-	112,67 ± 14,98	3159 ± 430	-
Hanko 10	109,18 ± 32,50	3001 ± 1093	-	99,83 ± 19,31	2793 ± 113	-
Hanko 30	148,50 ± 56,12	4091 ± 891	-	148,28 ± 28,74	3836 ± 477	-

1) Lisäksi runsaasti vihreitä jälkiversoja

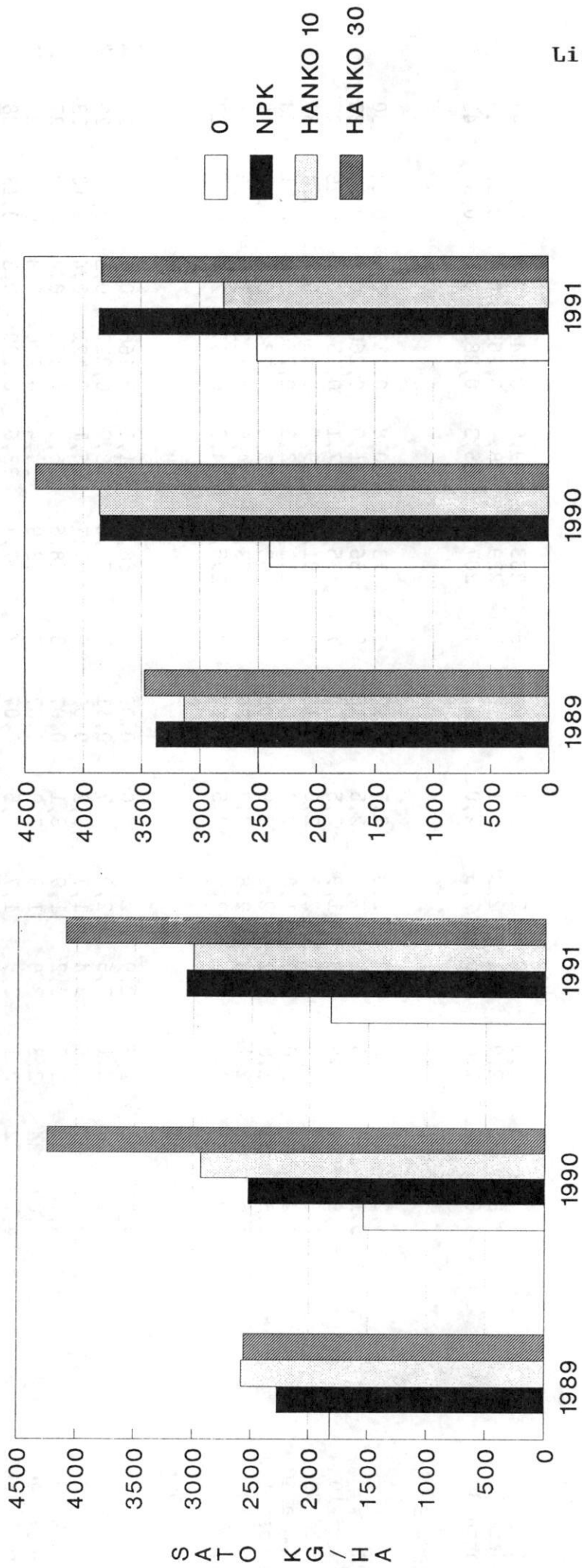
2) Tulokset 3 koeruudulta



Kuva 6. Mäntän lietteellä kahdella eri levitysmäärällä, 10 ja 30 tn/ha ka, saadut ohran jyväsädot (kg/ha, 15 % kost.) Jokioisten koekentällä aitosavella (AS) ja Pälkäneen koekentällä hienolla hiekalla (HHk) vuosina 1988–1991. (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Pylväät edustavat 4 koeruudun keskiarvoja.



Kuva 7. Kaipolan lietteellä kahdella eri levitysmäärällä, 40 ja 120 tn/ha ka, saadut ohran jyväsadot (kg/ha, 15 % kost.) Jokioisten koekentällä aitosavella (AS) ja Pälkäneen koekentällä hienolla hiekalla (HHK) vuosina 1989–1991. (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Pylväät edustavat 4 koeruudun keskiarvoja.



Kuva 8. Hangon lietteellä kahdella eri levitysmäärällä, 10 ja 30 tn/ha ka, saadut ohran jyväsädot (kg/ha, 15 % kost.) Jokiainen koekentällä aitosavella (AS) ja Pälkäneen koekentällä hienolla hiekalla (HHk) vuosina 1989-1991. (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Pylväät edustavat 4 koeruudun keskiarvoja.

Taulukko 14. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) ohran oraiden kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen kenttäkokeessa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Kesä 1988:														
NPK	4,2	25	2,0	4,0	2,7	2,1	0,23	5	233,4	39,5	0,344	0,4	0,31	45
Mänttä 10	3,8	21	2,0	4,1	2,3	2,1	0,12	5	229,6	38,9	0,365	0,4	0,27	44
Mänttä 30	3,8	22	1,8	4,0	2,5	2,0	0,12	7	207,9	35,3	0,283	0,5	0,31	43
Kesä 1989:														
0	4,2	26	1,8	3,2	2,3	2,7	0,13	7	73,6	30,8	0,117	0,4	0,24	30
NPK	5,1	33	2,0	3,2	2,5	2,5	0,18	8	86,2	31,9	0,260	0,5	0,24	32
Mänttä 10	3,9	24	1,8	2,8	1,9	2,5	0,08	7	75,1	27,1	0,154	0,4	0,25	27
Mänttä 30	4,0	26	1,8	3,1	2,2	2,6	0,10	8	81,9	29,5	0,130	0,4	0,24	30
Kaipola 40	4,4	23	2,0	2,9	1,8	2,9	0,06	7	111,1	32,3	0,250	0,4	0,21	28
Kaipola 120	4,8	23	1,8	3,2	2,2	3,9	0,09	7	93,0	32,5	0,234	0,5	0,21	26
Hanko 10	6,6	33	2,1	3,8	2,8	2,7	0,20	7	153,4	34,8	0,522	1,0	0,33	38
Hanko 30	6,9	33	2,0	4,2	2,9	2,5	0,17	7	295,0	34,9	0,787	2,0	0,30	39
Kesä 1990:														
0	4,7	23	2,2	2,9	2,0	3,0	0,09	7	68,5	31,1	0,166	0,3	0,13	27
NPK	4,8	28	2,1	2,6	2,0	2,7	0,11	7	77,8	28,2	0,213	0,5	0,13	26
Mänttä 10	5,1	27	2,4	3,4	1,7	3,2	0,06	9	97,7	36,1	0,121	0,4	0,10	28
Mänttä 30	4,7	25	2,2	3,2	1,9	3,1	0,07	8	68,6	36,0	0,162	0,4	0,10	27
Kaipola 40	5,0	24	2,3	3,0	1,9	3,9	0,07	7	93,9	34,4	0,136	0,3	0,14	27
Kaipola 120	4,7	22	2,1	2,9	1,7	3,5	0,07	7	67,7	33,6	0,199	0,3	0,13	28
Hanko 10	4,8	27	2,1	2,6	2,1	3,3	0,10	7	120,7	25,1	0,205	0,7	0,15	29
Hanko 30	5,8	32	2,4	3,0	2,6	2,5	0,10	8	96,3	23,9	0,394	2,0	0,16	36

Taulukko 15. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) ohran oraiden kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen kenttäkokeissa Pälkäneellä hienolla hiekalla vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	
Kesä 1988:															
NPK	4,6	21	2,1	3,0	2,1	3,1	0,21	5	64,7	28,2	0,487	0,7	0,17	18	
Mänttä 10	3,8	28	1,7	4,1	2,9	2,7	0,11	7	56,6	16,5	0,818	0,5	0,19	25	
Mänttä 30	4,8	28	2,1	4,4	3,2	3,2	0,14	8	64,6	23,6	0,632	1,3	0,23	29	
Kesä 1989:															
0	4,4	22	2,1	2,9	2,1	3,0	0,12	6	252,7	31,1	0,504	0,2	0,30	29	
NPK	4,4	21	2,1	2,8	2,1	1,7	0,18	5	202,6	27,3	0,362	0,3	0,28	25	
Mänttä 10	4,1	24	1,9	3,4	2,5	2,0	0,12	6	292,9	21,1	0,469	0,3	0,30	26	
Mänttä 30	5,2	23	2,1	2,9	2,7	2,1	0,16	6	167,5	33,9	0,432	0,4	0,25	33	
Kaipola 40	3,6	23	1,7	3,6	2,2	3,2	0,08	6	333,8	23,3	0,506	0,2	0,42	28	
Kaipola 120	4,1	25	1,8	4,6	2,7	3,4	0,08	7	252,5	18,6	0,736	0,2	0,33	33	
Hanko 10	4,2	30	1,9	3,1	2,7	1,7	0,18	7	173,4	33,9	0,637	1,8	0,31	37	
Hanko 30	5,0	37	1,6	4,1	3,3	1,7	0,30	8	261,9	40,0	0,937	3,3	0,38	43	
Kesä 1990:															
0	5,0	32	2,0	3,3	2,4	3,8	0,08	6	204,6	21,6	0,696	0,2	0,14	29	
NPK	5,4	31	2,1	3,0	1,9	3,1	0,17	5	86,0	22,5	0,776	0,3	0,11	21	
Mänttä 10	4,8	29	2,0	3,7	2,6	4,4	0,06	5	219,4	11,6	0,998	0,2	0,10	28	
Mänttä 30	4,9	27	2,0	3,3	2,0	3,4	0,08	5	188,0	17,1	0,707	0,3	0,11	25	
Kaipola 40	5,2	33	2,1	3,4	2,0	4,6	0,09	5	179,3	19,5	0,779	0,3	0,13	27	
Kaipola 120	5,3	34	2,0	3,4	1,7	6,1	0,10	5	71,6	18,8	1,267	0,3	0,14	26	
Hanko 10	6,2	38	2,0	3,4	2,9	3,6	0,11	5	82,5	17,5	0,673	1,8	0,15	26	
Hanko 30	7,0	48	1,8	3,9	3,7	2,6	0,15	5	104,6	22,1	0,725	2,4	0,12	32	

Taulukko 16. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) ohran jyvien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen kenttäkokeessa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Syksy 1988:														
NPK	0,6	7	1,5	5,3	2,1	0,6	0,07	3	119,8	17,5	0,233	<0,1	0,13	44
Mänttä 10	0,6 ₁)	7 ₁)	1,6 ₁)	5,4 ₁)	1,9 ₁)	0,6 ₁)	0,05 ₁)	1 ₁)	138,9 ₁)	17,7 ₁)	0,241 ₁)	0,1 ₁)	0,13 ₁)	54 ₁)
Mänttä 30	0,7 ₁)	7 ₁)	1,6 ₁)	5,6 ₁)	2,1 ₁)	0,7 ₁)	0,06 ₁)	1 ₁)	112,5 ₁)	17,5 ₁)	0,261 ₁)	0,1 ₁)	0,12 ₁)	48 ₁)
Syksy 1989:														
0	0,6	8	1,5	4,8	1,6	0,3	0,04	8	64,5	15,7	0,062	0,1	0,12	43
NPK	0,7	9	1,4	4,6	1,7	0,5	0,05	9	66,6	16,9	0,104	0,1	0,12	41
Mänttä 10	0,5	8	1,5	4,8	1,5	0,3	0,03	9	62,1	15,7	0,068	0,1	0,13	40
Mänttä 30	0,6	8	1,5	4,8	1,6	0,4	0,04	9	60,1	17,2	0,093	0,1	0,12	42
Kaipola 40	0,6	8	1,5	5,1	1,6	0,4	0,04	7	80,1	16,3	0,106	0,1	0,13	52
Kaipola 120	0,6	8	1,5	5,2	1,7	0,4	0,04	9	82,8	15,8	0,077	0,1	0,18	49
Hanko 10	0,8	10	1,5	4,7	2,0	0,5	0,06	9	67,4	18,0	0,207	0,3	0,16	48
Hanko 30	0,8	10	1,5	4,9	2,0	0,4	0,06	7	73,2	20,1	0,211	0,5	0,13	50
Syksy 1990:														
0	0,5	5	1,6	4,7	1,4	0,8	0,05	8	128,6	16,0	0,127	<0,1	0,08	50
NPK	0,5	6	1,5	4,8	1,5	0,9	0,09	8	83,1	17,2	0,176	<0,1	0,06	47
Mänttä 10	0,6	6	1,6	5,0	1,5	0,8	0,06	9	94,5	16,8	0,181	<0,1	0,07	50
Mänttä 30	0,5	5	1,6	4,8	1,5	0,5	0,05	8	75,5	16,2	0,152	<0,1	0,07	48
Kaipola 40	0,6	5	1,7	4,8	1,4	0,6	0,05	9	309,4	19,4	0,207	<0,1	0,16	53
Kaipola 120	0,5	5	1,5	4,8	1,4	0,8	0,05	8	86,5	16,1	0,148	<0,1	0,08	50
Hanko 10	0,5	5	1,6	4,8	1,5	0,8	0,06	8	84,4	15,6	0,175	0,1	0,08	51
Hanko 30	0,5	5	1,5	4,5	1,6	0,4	0,08	8	176,6	18,3	0,235	0,1	0,10	55

Taulukko 17. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) ohran jyvien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen kenttäkokeessa Pälkäneellä hienolla hiekalla vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton, NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Syksy 1988:														
0	0,4	6	1,4	5,1	1,9	0,9	0,06	7	53,9	14,4	0,401	<0,1	0,08	35
NPK	0,1	6	1,4	5,1	1,9	0,9	0,05	7	52,3	14,2	0,386	0,1	0,07	35
Mänttä 10	0,5	6	1,5	5,4	2,0	1,1	0,05	8	54,4	15,6	0,408	0,1	0,08	41
Mänttä 30														
Syksy 1989:														
0	0,4	5	1,4	4,7	1,7	0,3	0,06	7	54,8	14,3	0,172	<0,1	0,09	40
NPK	0,4	5	1,5	4,8	1,9	0,2	0,10	7	71,5	15,6	0,238	<0,1	0,09	39
Mänttä 10	0,4	5	1,4	4,5	1,7	0,1	0,05	6	47,6	11,8	0,191	<0,1	0,09	34
Mänttä 30	0,5	6	1,5	4,8	1,8	0,3	0,06	7	73,0	16,3	0,199	<0,1	0,09	44
Caipola 40	0,4	5	1,4	5,0	1,6	0,3	0,06	8	56,1	12,8	0,201	<0,1	0,10	43
Caipola 120	0,4	6	1,5	5,2	1,7	0,4	0,05	9	56,7	12,5	0,238	<0,1	0,10	49
Hanko 10	0,5	6	1,4	4,8	2,0	0,2	0,07	7	60,3	17,4	0,269	0,2	0,08	46
Hanko 30	0,5	6	1,3	4,7	2,0	0,2	0,08	7	162,3	21,5	0,382	0,3	0,11	47
Syksy 1990:														
0	0,4	6	1,4	3,9	1,3	1,0	0,03	5	42,3	11,8	0,198	<0,1	0,05	32
NPK	0,4	6	1,4	3,7	1,3	0,9	0,05	5	55,4	13,6	0,292	<0,1	0,04	28
Mänttä 10	0,4	6	1,3	4,0	1,4	1,1	0,03	5	36,3	7,8	0,200	<0,1	0,05	28
Mänttä 30	0,4	6	1,4	4,0	1,3	1,4	0,02	5	41,5	11,3	0,257	<0,1	0,05	31
Caipola 40	0,4	6	1,4	4,0	1,3	1,0	0,03	5	49,2	12,7	0,283	<0,1	0,04	32
Caipola 120	0,4	6	1,4	4,4	1,3	1,0	0,04	5	43,1	13,4	0,693	0,1	0,04	36
Hanko 10	0,5	6	1,4	3,8	1,4	1,0	0,03	4	132,6	15,7	0,248	0,1	0,08	32
Hanko 30	0,5	5	1,4	4,0	1,7	0,8	0,04	4	81,5	14,5	0,295	0,2	0,05	35

Taulukko 18. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) ohran olkien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen kenttäkokeissa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg	
Syksy 1988:															
NPK	6,1	22	1,1	1,5	2,0	3,8	0,33	6	502,7	46,9	0,364	0,6	0,60	27	
Mänttä 10	5,5 ¹⁾	19 ¹⁾	1,1 ¹⁾	1,7 ¹⁾	2,0 ¹⁾	4,8 ¹⁾	0,24 ¹⁾	7 ¹⁾	625,3 ¹⁾	51,2 ¹⁾	0,390 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,80 ¹⁾	34 ¹⁾	
Mänttä 30	6,8 ¹⁾	21 ¹⁾	1,2 ¹⁾	1,9 ¹⁾	2,2 ¹⁾	3,7 ¹⁾	0,28 ¹⁾	7 ¹⁾	637,2 ¹⁾	45,9 ¹⁾	0,520 ¹⁾	0,7 ¹⁾	0,78 ¹⁾	34 ¹⁾	
Syksy 1989:															
0	4,6	23	1,2	2,2	1,9	1,7	0,10	6	89,5	24,7	0,169	0,6	0,31	25	
NPK	4,8	28	1,1	1,9	1,8	1,4	0,13	5	47,5	29,1	0,211	0,6	0,33	23	
Mänttä 10	4,3	24	1,2	1,9	2,0	1,6	0,10	6	73,7	26,5	0,155	0,7	0,41	24	
Mänttä 30	4,6	25	1,1	2,0	1,9	1,4	0,12	6	140,4	28,4	0,205	0,7	0,44	32	
Kaipola 40	5,1	24	1,4	2,5	1,9	1,8	0,09	7	191,6	35,2	0,341	0,8	0,34	35	
Kaipola 120	5,1	24	1,1	2,7	2,4	2,6	0,10	7	269,7	31,6	0,292	0,8	0,33	31	
Hanko 10	5,4	35	1,0	1,8	1,9	1,1	0,17	6	54,3	25,1	0,440	1,9	0,46	32	
Hanko 30	5,7	36	1,0	1,8	1,9	1,3	0,18	6	52,1	30,2	0,585	3,6	0,43	35	
Syksy 1990:															
0	6,9	10	2,0	2,1	1,1	4,0	0,14	5	329,2	51,7	0,231	0,3	0,36	28	
NPK	7,1	18	1,5	2,4	1,6	3,1	0,19	6	153,0	37,9	0,326	0,5	0,28	21	
Mänttä 10	7,6	16	2,0	3,5	2,1	3,7	0,16	7	371,3	54,8	0,355	0,5	0,24	26	
Mänttä 30	7,0	13	1,8	2,7	1,5	3,2	0,15	6	188,1	58,0	0,333	0,4	0,25	24	
Kaipola 40	7,2	12	2,0	2,6	1,4	4,2	0,16	6	590,7	35,5	0,276	0,3	0,37	30	
Kaipola 120	7,0	11	1,7	2,2	1,3	4,1	0,14	5	256,7	33,6	0,260	0,3	0,33	27	
Hanko 10	6,8	12	1,5	1,6	1,2	3,3	0,16	5	303,3	26,8	0,279	0,5	0,41	25	
Hanko 30	8,2	16	1,4	1,7	1,5	2,8	0,21	5	221,4	27,4	0,531	1,1	0,40	28	

Taulukko 19. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) ohran olkien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen kenttäkokeessa Pälkäneellä hienolla hiekalla vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
Syksy 1988:														
NPK	5,0	13	0,9	1,0	1,3	2,7	0,23	3	94,7	29,0	0,436	0,4	0,64	9
Mänttä 10	3,7	16	0,6	1,7	1,5	2,5	0,14	4	86,2	15,7	0,606	0,3	0,50	13
Mänttä 30	5,6	19	0,8	1,9	2,1	2,6	0,20	5	109,3	23,5	0,661	1,1	0,53	18
Syksy 1989:														
0	3,6	15	0,8	1,1	1,3	2,2	0,10	4	92,8	17,6	0,413	0,2	0,28	14
NPK	4,4	13	1,0	1,0	1,3	2,1	0,20	3	86,5	17,1	0,483	0,3	0,30	10
Mänttä 10	3,7	11	0,8	1,0	1,2	2,0	0,30	3	105,8	8,9	0,393	0,2	0,34	10
Mänttä 30	4,4	14	0,9	1,2	1,4	1,7	0,12	4	95,1	18,7	0,399	0,3	0,36	18
Kaipola 40	3,8	19	0,8	1,8	1,6	2,2	0,07	5	153,3	11,7	0,654	0,3	0,26	17
Kaipola 120	4,2	19	0,8	2,6	2,0	3,0	0,07	6	147,6	13,6	1,023	0,4	0,27	25
Hanko 10	4,1	27	0,7	1,4	1,8	0,7	0,16	4	70,3	22,1	0,992	3,0	0,26	21
Hanko 30	4,3	33	0,6	1,3	2,0	0,7	0,24	4	152,9	36,5	1,121	5,9	0,36	22
Syksy 1990:														
0	4,3	9	0,9	0,9	0,8	3,5	0,07	3	93,6	13,8	0,300	0,1	0,30	12
NPK	4,5	7	0,9	0,5	0,8	3,0	0,09	2	52,1	11,6	0,191	0,1	0,28	6
Mänttä 10	4,0	9	0,8	1,1	0,9	3,1	0,04	3	105,0	6,3	0,371	0,1	0,31	9
Mänttä 30	4,5	9	0,9	1,0	0,9	3,4	0,06	3	76,4	9,9	0,300	0,1	0,31	12
Kaipola 40	4,6	9	1,1	1,0	0,8	3,9	0,09	3	68,7	14,0	0,445	0,1	0,29	12
Kaipola 120	4,4	10	0,9	1,0	0,7	4,2	0,08	3	79,6	15,1	0,985	0,2	0,33	13
Hanko 10	5,0	8	0,8	0,7	0,9	2,6	0,10	2	93,3	10,2	0,339	0,6	0,33	9
Hanko 30	7,6	12	0,8	1,0	1,3	1,9	0,19	3	364,2	15,3	0,511	1,2	0,47	10

Taulukko 20. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pintamaan yleisiin ominaisuuksiin sekä pääravinnepitoisuuksiin kenttäkokeessa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988-1990 (0 = lannoitamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH(H ₂ O)	Org. C %	Humus %	10 ⁻⁴ JL S/cm	NO ₃ -N mg/l tp	NH ₄ -N mg/l tp	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	6,0			0,8			3172	332	573	5,7	16,7
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK											
Mänttä 10	6,2			0,9			3437	334	571	5,8	23,9
Mänttä 30	6,3			1,0			3039	335	571	5,3	23,2
Mänttä 40	6,1			1,1			3023	324	534	6,0	25,3
<u>Syksy 1989:</u>											
0	6,0	3,2	5,5	0,7	5,0	6,5	2534	252	549	5,6	22,6
NPK	6,2	3,7	6,3	0,8	3,8	6,7	3247	321	666	5,6	23,9
Mänttä 10	6,1	3,5	6,0	0,8	4,8	6,4	3068	324	686	5,5	24,4
Mänttä 30	6,0	3,7	6,4	0,8	5,8	6,5	2937	313	611	6,1	22,1
Kaipola 40	6,0	3,3	5,7	0,8	5,7	6,3	2528	270	538	6,6	22,1
Kaipola 120	6,0	3,7	6,3	0,9	9,6	6,3	2504	251	466	8,6	21,6
Hanko 10	6,2	3,5	6,1	1,7	26,5	6,6	3083	278	491	11,2	27,9
Hanko 30	6,2	3,4	5,9	4,0	91,3	7,3	3348	293	490	15,5	40,0
<u>Syksy 1990:</u>											
0	5,9			0,6	4,1	6,0	2588	243	484	5,5	18,4
NPK	6,1			0,8	4,1	6,5	3381	313	630	5,7	18,8
Mänttä 10	6,1			0,6	3,5	5,9	3142	311	630	5,2	20,4
Mänttä 30	6,0			0,6	4,0	5,8	3027	300	591	5,6	19,3
Kaipola 40	5,9			0,7	4,4	5,4	2555	259	520	6,1	19,7
Kaipola 120	6,0			0,6	5,2	5,5	2606	257	453	7,9	18,5
Hanko 10	6,1			0,8	6,0	5,3	2841	256	460	8,4	19,3
Hanko 30	6,3			1,2	14,8	5,8	3219	270	453	13,9	23,8

Taulukko 21. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) pintamaan yleisiin ominaisuuksiin sekä pääravimepitoisuuksiin kenttäkokeessa Pälkäneellä hienolla hiekalla vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH(H ₂ O)	Org. C %	Humus %	10 ⁻⁴ JL S/cm	NO ₃ -N mg/l tp	NH ₄ -N mg/l tp	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	6,4			0,6			1258	65	129	7,1	9,7
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK	6,4			0,8			1324	56	138	6,1	16,0
Mänttä 10	6,3			1,3			1295	71	121	7,8	57,0
Mänttä 30	6,3			1,2			1346	64	132	7,0	21,9
<u>Syksy 1989:</u>											
0	6,0	2,6	4,5	0,6	5,9	3,7	1102	67	114	8,0	10,4
NPK-lann,	6,3	2,6	4,5	0,8	4,9	3,3	1205	60	128	7,9	13,0
Mänttä 10	6,3	2,2	3,8	0,7	6,0	3,5	1134	71	111	7,8	12,4
Mänttä 30	6,3	2,5	4,3	0,7	6,1	3,4	1183	65	120	8,1	11,8
Caipola 40	6,1	3,1	5,4	0,8	7,1	3,6	1168	72	129	10,0	11,5
Caipola 120	6,2	3,4	5,8	0,7	7,2	3,6	1183	73	125	12,7	10,9
Hanko 10	6,5	2,7	4,7	1,5	20,1	3,6	1667	83	129	19,5	18,6
Hanko 30	6,8	3,4	5,8	5,3	101,1	5,3	3397	159	165	54,6	49,4
<u>Syksy 1990:</u>											
0	6,1	1,9	3,2	0,6	6,6	3,2	1153	74	114	6,4	9,8
NPK	6,2	2,5	4,3	0,7	5,5	2,9	1270	82	128	8,2	9,9
Mänttä 10	6,3	2,4	4,2	0,6	5,6	2,9	1221	77	118	7,0	9,9
Mänttä 30	6,2	2,6	4,5	0,6	5,9	2,7	1249	71	123	7,1	10,2
Caipola 40	6,3	3,2	5,6	0,6	8,3	2,9	1238	78	131	8,1	10,4
Caipola 120	6,2	3,1	5,4	0,7	9,2	3,1	1272	81	138	11,8	9,3
Hanko 10	6,4	2,8	4,9	1,0	10,9	2,9	1912	89	125	22,4	14,3
Hanko 30	6,7	3,2	5,5	1,9	23,5	3,8	2753	133	122	44,1	22,8

Taulukko 22. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pintamaan hivenainepitoisuuksiin kenttäkokeessa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988–1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Al mg/l	B mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Na mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l
Kevät 1988:											
0	350	0,6	0,09	7,5	746	21	0,02	42	1,8	3,1	1,1
Syky 1988:											
NPK	352	0,6	0,11	8,1	809	23	0,02	52	1,5	3,4	1,2
Mänttä 10	361	0,6	0,10	7,7	820	25	0,02	43	1,4	3,3	1,1
Mänttä 30	376	0,6	0,10	7,8	770	21	0,03	49	1,7	3,3	1,5
Syky 1989:											
0	346	0,5	0,07	6,1	669	31	0,02	39	1,3	2,7	1,9
NPK	350	0,5	0,08	8,3	779	20	0,02	37	1,5	3,6	1,1
Mänttä 10	344	0,5	0,08	8,0	804	26	0,02	41	1,5	3,5	1,1
Mänttä 30	378	0,5	0,08	7,7	770	20	0,02	35	1,7	3,6	1,2
Kaipola 40	344	0,6	0,07	6,0	697	32	0,04	39	1,3	2,7	1,4
Kaipola 120	349	0,8	0,08	6,4	689	31	0,02	34	1,5	2,6	1,9
Hanko 10	344	0,5	0,08	6,3	1067	24	0,03	60	1,4	2,9	3,1
Hanko 30	336	0,5	0,08	6,4	1415	29	0,04	95	1,5	2,8	4,5
Syky 1990:											
0	440	0,4	0,08	6,4	734	24	0,03	35	1,6	2,7	1,6
NPK	431	0,5	0,10	8,7	859	22	0,03	38	1,8	3,8	1,2
Mänttä 10	433	0,5	0,10	8,3	887	24	0,03	43	1,8	3,6	1,2
Mänttä 30	457	0,5	0,09	8,0	836	21	0,02	36	1,8	3,6	1,4
Kaipola 40	420	0,5	0,08	6,3	764	35	0,03	35	1,6	2,7	1,5
Kaipola 120	428	0,7	0,09	7,9	777	30	0,03	35	1,8	2,7	1,9
Hanko 10	427	0,5	0,08	6,7	916	25	0,03	44	1,6	2,9	2,3
Hanko 30	398	0,4	0,08	6,6	1256	29	0,04	61	1,8	2,8	3,8

Taulukko 23. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pintamaan hivenainepitoisuuksiin kenttäkokeessa Pälkäneellä hienolla hiekalla vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Al mg/l	B g/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Na mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	231	0,3	0,11	1,3	500	27	0,05	13	0,8	0,7	0,7
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK	241	0,3	0,13	1,5	561	23	0,04	18	0,7	0,8	0,8
Mänttä 10	232	0,2	0,13	1,4	548	27	0,05	18	0,6	0,6	0,8
Mänttä 30	237	0,3	0,12	1,5	491	24	0,05	24	0,6	0,6	1,2
<u>Syksy 1989:</u>											
0	234	0,2	0,09	1,4	391	22	0,04	8	0,7	1,0	1,3
NPK	218	0,2	0,10	1,5	470	20	0,04	14	0,7	0,9	0,6
Mänttä 10	209	0,2	0,09	1,3	398	22	0,04	11	0,7	0,8	0,6
Mänttä 30	229	0,2	0,10	1,4	412	19	0,04	13	0,6	0,8	0,8
Kaipola 40	275	0,4	0,09	2,0	474	21	0,03	12	0,8	1,3	1,5
Kaipola 120	234	0,6	0,08	1,7	363	23	0,03	16	0,7	0,9	1,8
Hanko 10	231	0,2	0,09	1,4	848	24	0,04	32	0,8	0,8	2,6
Hanko 30	254	0,2	0,09	1,6	2381	38	0,06	100	1,1	0,8	8,6
<u>Syksy 1990:</u>											
0	260	0,2	0,11	1,6	412	19	0,03	18	0,8	1,0	1,6
NPK	233	0,2	0,11	1,6	463	17	0,03	18	0,7	0,9	0,7
Mänttä 10	228	0,2	0,10	1,4	422	20	0,04	14	0,7	0,8	0,6
Mänttä 30	247	0,2	0,11	1,4	426	17	0,03	16	0,7	0,8	0,8
Kaipola 40	277	0,3	0,11	1,6	432	16	0,03	21	0,8	0,8	1,4
Kaipola 120	248	0,5	0,10	1,5	359	24	0,03	20	0,9	0,8	1,9
Hanko 10	253	0,2	0,11	1,6	1272	25	0,04	31	1,0	0,7	4,2
Hanko 30	252	0,2	0,09	1,9	2045	32	0,05	46	1,2	0,4	7,3

Taulukko 24. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pohjamaan yleisiin ominaisuuksiin sekä pääravinnepitoisuuksiin kenttäkokeessa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988-1990 (0 = lan-noittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH(H ₂ O)	Org. C %	Humus %	10 ⁻⁴ JL S/cm	NO ₃ -N mg/l tp	NH ₄ -N mg/l tp	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	6,0			0,8			2622	291	1474	0,5	48,0
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK											
Mänttä 10	6,0			0,8			2841	316	1084	1,2	43,7
Mänttä 30	6,1			0,7			3001	310	963	2,0	35,3
	6,1			0,8			2918	331	654	4,2	22,1
<u>Syksy 1989:</u>											
Mänttä 30	6,2	0,9	1,5	0,8	1,6	6,8	2663	302	1481	0,7	49,2
Kaipola 120	6,1	0,6	1,1	0,7	2,6	6,1	2385	253	1171	0,4	42,1
Hanko 30	5,8	0,9	1,6	2,0	40,4	7,1	2658	282	1278	0,4	53,1
<u>Syksy 1990:</u>											
0	5,9	1,5	2,7	0,7	2,2	5,7	2500	255	934	2,0	37,2
NPK	6,1	3,3	5,8	0,7	1,9	6,3	3317	315	759	5,2	24,7
Mänttä 10	6,0	2,1	3,6	0,7	1,1	6,7	3056	313	1015	2,4	38,3
Mänttä 30	5,9	3,3	5,8	0,6	1,8	6,3	2920	303	702	4,5	22,9
Kaipola 30	5,9	2,5	4,4	0,7	3,4	5,6	2580	277	733	3,8	25,9
Kaipola 120	5,9	2,1	3,6	0,6	2,3	6,1	2528	242	752	4,4	31,5
Hanko 10	5,8	2,3	4,0	0,7	4,0	5,9	2687	283	808	3,5	32,6
Hanko 30	5,9	2,8	4,8	1,2	16,6	5,4	2839	274	645	4,5	31,6

Taulukko 25. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pohjamaan yleisiin ominaisuuksiin sekä pääravinnepitoisuuksiin kenttäkokeessa Pälkäneellä hienolla hiekalla vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH(H ₂ O)	Org. C %	Humus %	JL 10 ⁻⁴ S/cm	NO ₃ -N mg/l tp	NH ₄ -N mg/l tp	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	6,3			0,3			796	73	105	1,3	7,2
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK	6,4			0,3			576	64	103	0,3	11,7
Mänttä 10	6,6			0,4			461	84	59	0,3	10,8
Mänttä 30	6,3			0,3			608	88	114	0,4	9,8
<u>Syksy 1989:</u>											
Mänttä 30	6,2	0,4	0,7	0,4	2,1	1,4	551	76	89	1,3	8,4
Caipola 120	6,1	0,7	1,3	0,3	2,0	2,0	601	84	106	0,9	9,7
Hanko 30	5,8	0,3	0,6	0,7	11,1	1,7	328	64	46	1,3	7,6
<u>Syksy 1990:</u>											
0	6,1	1,4	2,4	0,5	6,0	1,8	772	77	88	3,6	9,1
NPK	6,2	1,1	2,0	0,5	5,3	1,3	886	64	103	2,9	10,3
Mänttä 10	6,2	1,1	1,9	0,5	5,7	1,5	751	90	72	4,2	9,7
Mänttä 30	6,0	1,1	1,9	0,4	3,8	1,7	847	65	96	2,2	9,4
Caipola 30	6,0	1,4	2,5	0,4	3,9	2,1	754	83	95	3,0	8,9
Caipola 120	6,0	1,4	2,4	0,4	4,6	2,1	807	78	94	4,1	8,7
Hanko 10	6,1	1,6	2,7	0,6	5,8	2,1	1141	84	180	4,3	13,9
Hanko 30	5,9	1,8	3,2	1,1	15,3	2,2	870	67	84	4,7	16,4

Taulukko 26. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pohjamaan hivenainepitoisuuksiin kenttäkokeissa Jokioisilla aitosavella vuosina 1988-1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	Al mg/l	B g/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Na mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	252	0,1	0,01	7,5	366	73	0,03	83	1,7	2,3	1,3
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK	283	0,3	0,05	7,2	530	22	0,03	70	0,9	2,9	1,1
Mänttä 10	267	0,3	0,06	7,4	594	41	0,02	59	1,1	2,9	1,1
Mänttä 30	361	0,5	0,08	7,4	733	21	0,02	49	1,4	3,1	1,2
<u>Syksy 1989:</u>											
Mänttä 30	272	0,2	0,01	7,2	424	80	0,03	63	1,8	2,9	1,6
Caipola 120	219	0,1	<0,01	5,9	348	92	0,04	49	1,2	2,3	1,0
Hanko 30	276	0,2	<0,01	7,2	472	89	0,03	66	1,6	2,9	1,3
<u>Syksy 1990:</u>											
0	332	0,3	0,04	6,3	528	70	0,03	47	1,2	2,3	1,3
NPK	445	0,4	0,08	8,6	866	25	0,02	46	1,5	3,7	1,2
Mänttä 10	374	0,3	0,04	8,1	695	44	0,03	52	1,4	3,3	1,2
Mänttä 30	438	0,4	0,07	7,9	827	23	0,03	45	1,6	3,4	1,2
Caipola 40	397	0,4	0,06	6,4	720	54	0,03	40	1,7	2,7	1,4
Caipola 120	334	0,4	0,05	6,6	652	36	0,03	43	1,3	2,8	1,3
Hanko 10	398	0,3	0,05	6,5	645	41	0,03	50	1,5	3,4	1,3
Hanko 30	397	0,4	0,06	6,4	702	39	0,03	56	1,5	3,0	1,3

Taulukko 27. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri levitysmäärillä (tn/ha ka) pohjamaan hivenainepitoisuuksiin kenttäkokeessa pälkänneellä hienolla hiekalla vuosina 1988–1990 (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näyttteen keskiarvoja.

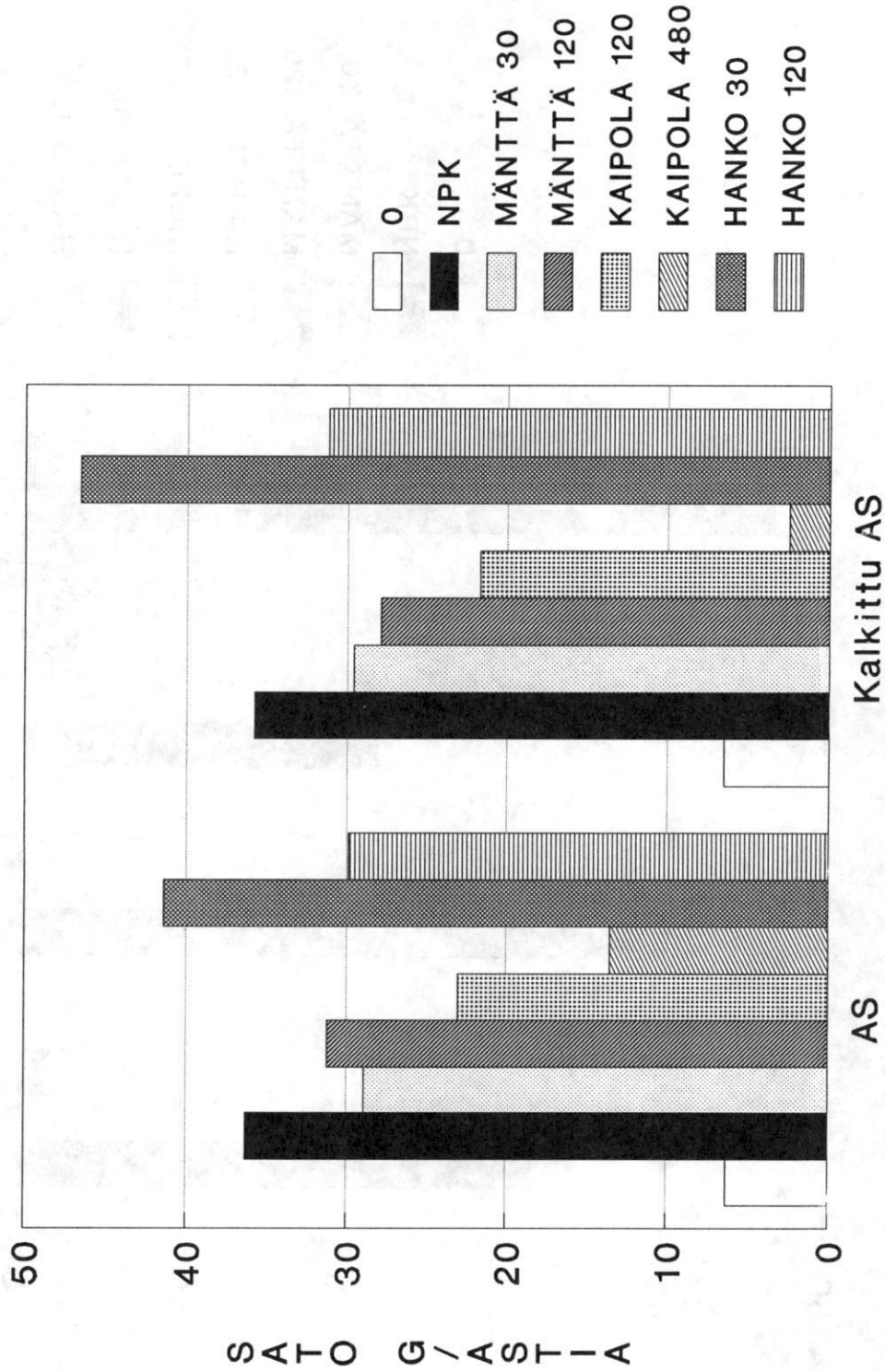
Lannoitus	Al mg/l	B mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Na mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l
<u>Kevät 1988:</u>											
0	106	0,1	0,03	0,7	311	10	0,03	26	0,4	0,3	0,1
<u>Syksy 1988:</u>											
NPK	69	0,2	0,03	0,4	245	3	0,04	24	0,2	0,2	0,1
Mänttä 10	71	0,3	0,04	0,3	288	8	0,03	27	0,1	0,1	0,1
Mänttä 30	103	0,3	0,03	0,4	250	6	0,03	28	0,1	0,2	0,1
<u>Syksy 1989:</u>											
Mänttä 30	118	<0,1	0,01	0,5	274	4	0,02	9	0,2	0,1	<0,1
Kaipola 120	325	<0,1	0,08	0,7	323	3	0,02	14	0,3	0,2	0,1
Hanko 30	142	<0,1	0,01	0,4	124	1	0,01	20	0,1	0,2	<0,1
<u>Syksy 1990:</u>											
0	207	0,1	0,05	0,9	277	8	0,02	19	0,5	0,4	0,5
NPK	126	0,1	0,05	0,9	313	9	0,03	21	0,4	0,5	0,2
Mänttä 10	143	0,1	0,05	0,8	272	11	0,03	17	0,3	0,3	0,2
Mänttä 30	174	0,1	0,05	1,0	384	11	0,03	20	0,4	0,4	0,2
Kaipola 30	261	0,1	0,05	0,9	301	6	0,02	18	0,5	0,4	0,3
Kaipola 120	236	0,1	0,06	1,0	318	8	0,02	21	0,4	0,4	0,5
Hanko 10	242	0,1	0,06	1,4	382	49	0,03	30	0,5	0,5	0,5
Hanko 30	409	0,1	0,07	1,2	445	8	0,02	46	0,6	0,5	0,6

Taulukko 28. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) ohran jyvää- ja olkisatoon (g/astia ka) astiakokeessa kalkitulla ja kalkitsemmattomalla aitosavella (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

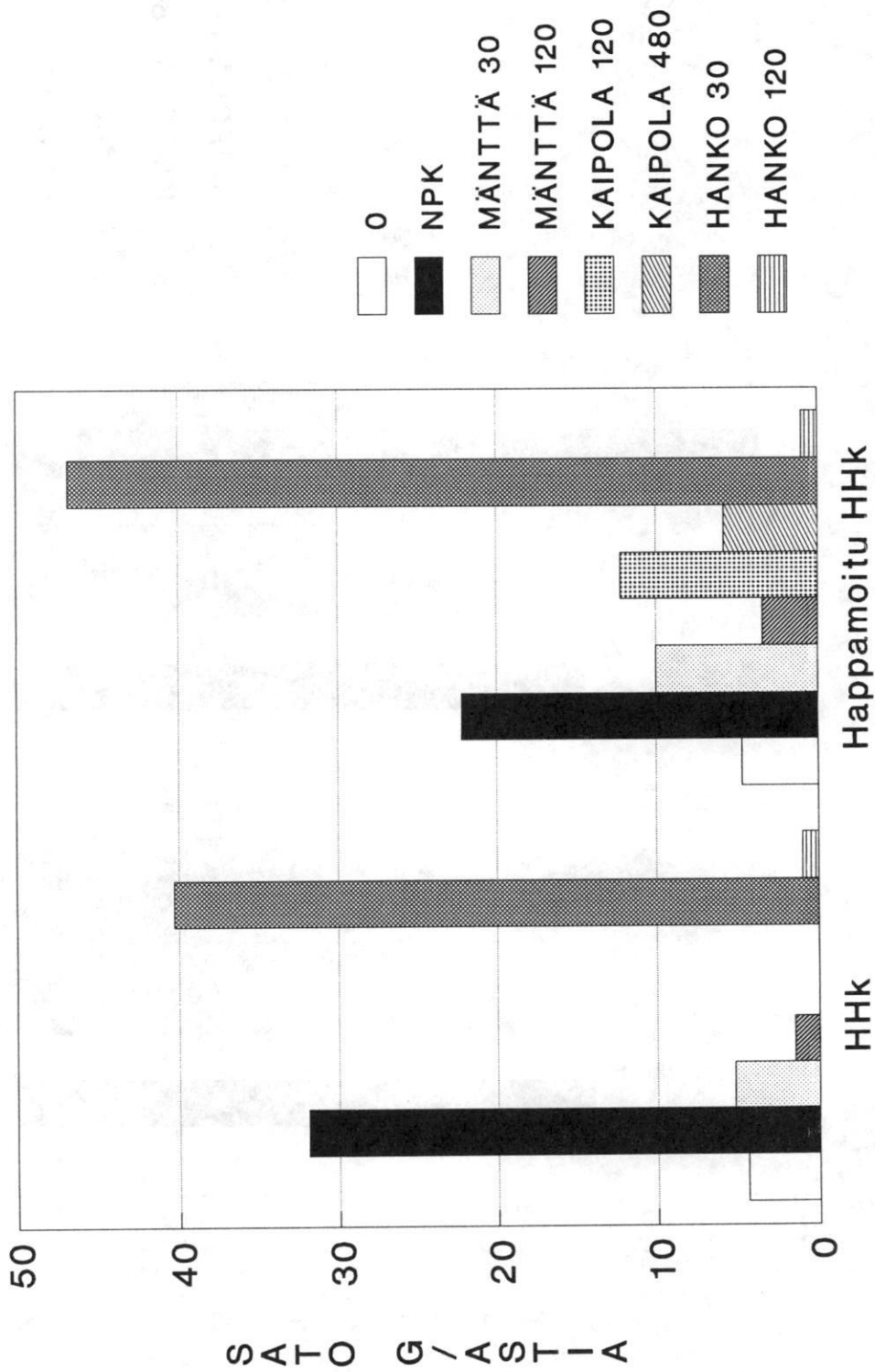
Lannoitus	pH-säätö	Jyväsat	Olkisato	Yht.
0	Ei säätöä	6,3	7,6	13,9
"	Kalkitus	6,5	7,5	14,0
NPK	Ei säätöä	36,3	26,4	62,7
"	Kalkitus	35,8	26,4	62,2
Mänttä 30	Ei säätöä	28,9	19,9	48,8
"	Kalkitus	29,6	20,4	50,0
Mänttä 120	Ei säätöä	31,2	19,8	51,0
"	Kalkitus	27,9	17,4	45,3
Kaipola 120	Ei säätöä	23,0	17,1	40,1
"	Kalkitus	21,7	16,2	37,9
Kaipola 480	Ei säätöä	13,5	11,2	24,7
"	Kalkitus	2,5	8,2	10,7
Hanko 30	Ei säätöä	41,4	30,7	72,1
"	Kalkitus	46,6	34,5	81,1
Hanko 120	Ei säätöä	29,9	22,1	52,1
"	Kalkitus	31,2	20,3	51,5

Taulukko 29. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) ohran jyvää- ja olkisatoon (g/astia ka) astiakokeessa happamoidulla ja happamoimattomalla hienolla hiekalla (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Jyväsat	Olkisato	Yht.
0	Ei säätöä	4,4	5,5	9,9
"	Hapotus	4,7	6,7	11,4
NPK	Ei säätöä	31,9	27,4	59,3
"	Hapotus	22,2	20,3	42,5
Mänttä 30	Ei säätöä	5,2	8,1	13,3
"	Hapotus	10,0	12,1	22,1
Mänttä 120	Ei säätöä	1,5	5,1	6,6
"	Hapotus	3,4	5,9	9,3
Kaipola 120	Ei säätöä	0,0	3,1	3,1
"	Hapotus	12,2	10,0	22,2
Kaipola 480	Ei säätöä	0,0	0,6	0,6
"	Hapotus	5,8	5,2	11,0
Hanko 30	Ei säätöä	40,3	31,1	71,4
"	Hapotus	46,8	35,9	82,7
Hanko 120	Ei säätöä	1,0	5,7	6,7
"	Hapotus	1,0	6,5	7,5



Kuva 9. Teollisuuden jätevesilietteillä (Mänttä, Kaipola ja Hanko) eri lietemäärillä (tn/ha ka) saadut ohran jyväsadot (g ka/astia) astiakokeessa kalkitsemattomalla (pH 6.2) ja kalkitulla (pH 6.5) aitosavella (AS). (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Pylväät edustavat 4 astian keskiarvoja.



Kuva 10. Teollisuuden jätevesilietteillä (Mänttä, Kaipola ja Hanko) eri lietemäärillä (tn/ha ka) saadut ohran jyväsadot (g ka/astia) astiakokeessa happamoimattomalla (pH 6.4) ja happamoitdulla (pH 6.0) hienolla hiekalla (HHk). (0 = lannoittamaon; NPK = NPK-lannoitettu). Pylväät edustavat 4 astian keskiarvoja.

Taulukko 30. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) ohran jyvien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen astiakoikeessa kalkitulla ja kalkitsemattomalla aitosavella (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
0	Ei säätöä	0,3	6	1,4	4,4	- ⁰⁾	- ⁰⁾	0,02	6	57,3	12,3	0,078	- ⁰⁾	0,11	28
"	Kalkitus	0,3	6	1,4	4,4	1,3	0,2	0,03	6	57,0	10,2	0,067	0,1	0,13	30
NPK	Ei säätöä	0,3	5	1,3	3,7	1,5	0,2	0,08	5	52,1	18,6	0,272	0,1	0,06	27
"	Kalkitus	0,4	5	1,3	3,8	1,5	0,2	0,09	5	51,0	17,3	0,393	0,1	0,08	24
Mänttä 30	Ei säätöä	0,3	6	1,4	4,8	1,4	0,3	0,03	7	44,8	14,7	0,130	0,1	0,08	35
"	Kalkitus	0,3	6	1,5	5,0	1,5	0,0	0,04	7	48,8	15,0	0,164	0,2	0,07	37
Mänttä 120	Ei säätöä	0,3	6	1,5	4,7	1,9	0,2	0,04	8	52,0	18,9	0,468	0,4	0,08	39
"	Kalkitus	0,4	5	1,5	4,0	2,0	0,0	0,04	8	53,5	19,9	0,579	0,4	0,08	33
Kaipola 120	Ei säätöä	0,3	7	1,6	4,9	1,2	0,6	0,04	7	47,0	13,6	0,641	0,1	0,10	36
"	Kalkitus	0,3	6	1,5	5,2	1,2	0,2	0,04	7	52,1	13,4	0,730	0,1	0,07	34
Kaipola 480	Ei säätöä	0,3	8	1,6	5,5	1,2	0,5 ¹⁾	0,03	7	46,5	14,9	1,104	0,2 ¹⁾	0,09	42
"	Kalkitus	0,6	9	1,8	5,8	1,4	0,8 ¹⁾	0,08	7	42,4	16,4	1,722	0,3 ¹⁾	0,11	61
Hanko 30	Ei säätöä	0,4	6	1,5	5,2	1,8	0,3	0,05	8	59,6	18,3	0,412	0,3	0,07	43
"	Kalkitus	0,4	6	1,5	5,2	1,8	0,1	0,04	7	56,2	17,9	0,296	0,3	0,06	34
Hanko 120	Ei säätöä	0,5	6	1,5	4,7	2,1	0,2	0,04	7	61,9	21,5	0,748	0,6	0,10	35
"	Kalkitus	0,5	6	1,5	4,7	2,1	0,1	0,03	7	62,7	22,4	0,778	0,7	0,09	33

0) 0 näytettä

1) 1 näyte

Taulukko 31. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) ohran jyvien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen astiakokeissa happamoidulla ja happamoittamattomalla hienolla hiekalla (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
0	Ei säätöä	0,2	5	1,2	3,5	1,3 ¹⁾	0,5 ¹⁾	0,03	3	66,8	11,9	0,412	0,1 ¹⁾	0,08	23
"	Hapetus	0,2	6	1,3	3,4	1,5 ²⁾	0,5 ²⁾	0,05	4	85,8	14,4	0,078	0,1 ²⁾	0,10	28
NPK	Ei säätöä	0,3	5	1,3	3,5	1,2 ¹⁾	0,1	0,10	2	92,9	19,8	0,946	0,1	0,10	54
"	Hapetus	0,3	5	1,1	2,3	1,6	0,2	0,06	2	70,9	17,2	0,293	0,1	0,07	24
Mänttä 30	Ei säätöä	0,5 ³⁾	6 ³⁾	1,0 ³⁾	2,8 ³⁾	1,5 ²⁾	0,2 ²⁾	0,04 ³⁾	1 ³⁾	94,3 ³⁾	22,8 ³⁾	0,880 ³⁾	0,3 ³⁾	0,11 ³⁾	16 ³⁾
"	Hapetus	0,5	6	1,0	2,4	1,7	0,2 ²⁾	0,02	1	91,6	19,5	0,379	0,3	0,11	20
Mänttä 120	Ei säätöä	0,3	5	1,2	2,7	0 ⁰⁾	0,0 ¹⁾	0,10	2	54,9	18,9	2,080	0 ⁰⁾	0,20	93
"	Hapetus	0,5	6	1,2	3,0	1,7 ²⁾	0,1 ²⁾	0,07	2	74,0	24,3	0,789	0,8 ²⁾	0,14	16
Kaipola 120	Ei säätöä	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾
"	Hapetus	0,3	5	1,2	3,2	1,9	1,0	0,04	3	61,3	15,8	0,239	0,2	0,09	32
Kaipola 480	Ei säätöä	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾
"	Hapetus	0,3	6	1,3	4,3	1,4	0,6	0,04	3	50,1	16,0	0,563	0,4	0,09	53
Hanko 30	Ei säätöä	0,4	6	1,3	4,1	1,8	0,3	0,03	3	55,0	17,3	0,970	0,5	0,08	30
"	Hapetus	0,4	6	1,5	5,2	1,8	0,6	0,06	4	54,3	20,4	0,563	0,4	0,09	38
Hanko 120	Ei säätöä	0,5 ³⁾	9 ³⁾	1,3 ³⁾	2,8 ³⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0,04 ³⁾	3 ³⁾	53,4 ³⁾	20,8 ³⁾	1,322 ³⁾	0 ⁰⁾	0,17 ³⁾	26 ³⁾
"	Hapetus	0,5 ³⁾	8	1,4 ³⁾	3,7 ³⁾	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0,08 ³⁾	3 ³⁾	68,4 ³⁾	20,5 ³⁾	1,239 ³⁾	0 ⁰⁾	0,21 ³⁾	46 ³⁾

Liite 34

0) 0 näytettä
1) 1 näyte

2) 2 näytettä
3) 3 näytettä

Taulukko 32. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) ohran oljen kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen astiakokeissa kalkitulla ja kalkitsemmattomalla aitosavella (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
0	Ei säätöä	5,2	15	2,5	0,9	2,1	12,5	0,65	3	0,6	0,4	0,004	0,5	0,02	23
"	Kalkitus	6,1	16	2,5	1,1	2,3	12,5	0,28	3	0,5	0,2	0,006	0,5	0,06	27
NPK	Ei säätöä	8,5	37	2,3	0,4	1,3	10,7	0,38	3	0,5	0,8	0,003	0,6	0,03	17
"	Kalkitus	9,6	39	2,4	0,5	1,5	11,1	0,28	3	0,6	0,4	0,006	0,6	0,05	16
Mänttä 30	Ei säätöä	7,9	22	2,6	0,8	2,6	9,2	0,43	4	0,5	0,3	0,006	1,0	0,02	18
"	Kalkitus	9,4	24	2,8	0,9	2,9	9,6	0,50	4	0,7	0,3	0,006	1,2	0,04	33
Mänttä 120	Ei säätöä	11,7	24	2,6	0,8	3,3	9,1	0,45	6	0,4	0,8	0,005	4,6	0,04	20
"	Kalkitus	12,6	25	2,5	0,5	3,5	9,0	0,40	5	0,6	0,8	0,005	6,1	0,07	15
Kaipola 120	Ei säätöä	7,9	24	1,9	2,1	0,5	11,2	0,43	5	0,6	0,5	0,003	0,7	0,05	26
"	Kalkitus	8,6	24	1,9	1,9	0,9	11,7	0,35	5	0,5	0,4	0,004	0,8	0,07	15
Kaipola 480	Ei säätöä	9,1	26	2,0	4,7	1,0	18,2	0,58	7	0,3	0,7	0,004	1,3	0,02	33
"	Kalkitus	7,2	27	2,4	7,3	1,2	10,3	0,18	11	0,7	0,5	0,003	1,0	0,06	63
Hanko 30	Ei säätöä	10,5	31	2,6	1,5	3,1	11,5	0,48	4	0,3	0,3	0,004	4,2	0,05	21
"	Kalkitus	11,0	29	2,5	1,3	3,0	9,9	0,38	4	0,6	0,2	0,004	4,1	0,05	25
Hanko 120	Ei säätöä	12,6	32	1,7	0,9	2,9	9,7	0,58	4	0,4	0,5	0,005	9,7	0,03	19
"	Kalkitus	12,8	33	1,7	0,8	3,0	12,4	0,38	5	0,4	0,6	0,005	10,9	0,04	16

Taulukko 33. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) ohran olkien kuiva-aineen kemialliseen koostumukseen astiakokeissa happamoidulla ja happamoittomalla hienolla hiekalla (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Ca g/kg	K g/kg	Mg g/kg	P g/kg	S g/kg	B mg/kg	Cd mg/kg	Cu mg/kg	Fe mg/kg	Mn mg/kg	Mo mg/kg	Na g/kg	Pb mg/kg	Zn mg/kg
0	Ei säätöä	4,6	17	2,1	0,5	1,7	19,3	0,38	2	0,5	0,1	0,007	0,6	0,07	17
"	Hapotus	6,0	19	2,6	0,5	6,4	15,2	0,58	2	0,4	0,7	0,004	0,4	0,03	35
NPK	Ei säätöä	7,9	33	2,1	0,5	0,7	18,9	0,50	3	0,5	0,8	0,004	0,5	0,02	18
"	Hapotus	6,0	25	2,0	0,3	2,3	13,0	0,30	2	0,5	0,7	0,005	0,4	0,04	15
Mänttä 30	Ei säätöä	7,9	15	1,9	0,5	1,4	6,0	0,15	2	0,3	0,6	0,003	2,9	0,06	17
"	Hapotus	8,1	16	1,9	0,4	3,5	6,8	0,33	2	0,3	0,5	0,004	3,0	0,08	39
Mänttä 120	Ei säätöä	7,5	12	2,4	0,7	1,7 ²⁾	2,3 ²⁾	0,38	2	0,6	0,7	0,003	10,3 ²⁾	0,06	9
"	Hapotus	8,3	13	2,1	0,6	1,9 ³⁾	3,0 ³⁾	0,40	2	0,5	0,7	0,004	8,6 ³⁾	0,04	8
Kaipola 120	Ei säätöä	7,1	14	2,2	2,2	0,6 ¹⁾	23,5 ¹⁾	0,53	3	0,5	0,4	0,005	0,6 ¹⁾	0,07	19
"	Hapotus	9,6	17	2,1	0,6	3,9	31,3	0,50	2	0,5	0,7	0,006	1,3	0,06	17
Kaipola 480	Ei säätöä	16,3 ¹⁾	14 ¹⁾	5,2 ¹⁾	5,2	0 ⁰⁾	0 ⁰⁾	0,50 ¹⁾	6 ¹⁾	0,2 ¹⁾	1,4 ¹⁾	0,003 ¹⁾	0 ⁰⁾	0,02 ¹⁾	49 ¹⁾
"	Hapotus	9,0	13	2,1	1,2	2,5 ³⁾	35,0 ³⁾	0,38	2	0,5	0,6	0,002	3,4 ³⁾	0,04	16
Hanko 30	Ei säätöä	10,2	27	2,0	0,8	2,2	13,3	0,45	2	0,4	0,3	0,005	6,3	0,05	16
"	Hapotus	10,8	29	2,4	1,4	3,9	24,6	0,60	3	0,7	0,6	0,004	5,0	0,05	19
Hanko 120	Ei säätöä	5,2	23	1,9	1,3	2,7 ²⁾	3,9 ²⁾	0,60	3	0,3	0,5	0,007	11,5 ²⁾	0,07	21
"	Hapotus	5,5	25	1,8	1,4	3,0 ³⁾	4,4 ³⁾	0,58	2	0,5	0,5	0,004	11,4 ³⁾	0,05	18

0) 0 näytettä

1) 1 näyte

2) 2 näytettä

3) 3 näytettä

Taulukko 34. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) maan yleisiin ominaisuuksiin ja pööräpitoisuuksiin kalkitulla ja kalkitsemattomalla aitosavella astiakokeen päätyessä (0 = lannoit-tamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	pH(H ₂ O)	Org. C %	Humus %	JL 10xms/cm	NO ₃ -N mg/l tp.	NH ₄ -N mg/l tp.	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l
0	Ei säätöä	6,2	3,3	5,7	0,6	3,3	7,0	2906	270	542	6,7	18,5
"	Kalkitus	6,5	3,3	5,8	0,6	3,1	6,3	3352	267	535	6,2	18,0
NPK	Ei säätöä	6,2	3,4	5,9	0,9	1,9	6,9	2939	273	542	7,3	13,3
"	Kalkitus	6,4	3,4	5,9	0,9	1,0	6,7	3349	262	532	7,3	13,6
Mänttä 30	Ei säätöä	6,2	3,5	6,1	0,8	4,9	6,5	3097	231	524	6,2	19,0
"	Kalkitus	6,5	3,6	6,3	1,0	4,7	7,5	3512	223	504	6,4	21,1
Mänttä 120	Ei säätöä	6,4	4,3	7,5	1,9	24,3	22,6	3622	215	483	7,9	28,0
"	Kalkitus	6,7	4,4	7,6	2,9	60,6	28,2	4045	214	458	10,0	37,5
Kaipola 120	Ei säätöä	6,2	5,3	9,1	0,6	6,5	10,9	2847	223	502	6,7	13,1
"	Kalkitus	6,4	5,1	8,8	0,8	11,2	11,1	3221	221	485	7,2	14,2
Kaipola 480	Ei säätöä	6,2	6,7	11,5	1,0	4,7	15,2	2800	193	433	9,8	18,8
"	Kalkitus	6,5	7,6	13,2	1,1	11,4	13,9	2975	195	404	11,1	16,6
Hanko 30	Ei säätöä	6,8	3,5	6,1	1,1	4,6	9,1	3921	240	500	15,0	25,6
"	Kalkitus	7,0	3,6	6,3	1,2	3,8	9,0	4262	234	481	16,0	26,0
Hanko 120	Ei säätöä	7,2	4,1	7,1	7,6	143,6	30,9	6201	430	463	66,0	102,8
"	Kalkitus	7,3	4,2	7,3	8,4	190,5	35,9	6517	432	467	70,5	101,6

Taulukko 35. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) maan yleisiin ominaisuuksiin ja pääravinnepitoisuuksiin happamoitdulla ja happamoittomalla hienolla hiekalla astiakokeen päätyessä (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	pH(H ₂ O)	Org. C. %	Humus %	JL 10xms/cm	NO ₃ -N mg/l tp	NH ₄ -N mg/l tp	Ca mg/l	K mg/l	Mg mg/l	P mg/l	S mg/l
0	Ei säätöä	6,4	2,4	4,2	0,6	3,8	4,3	1255	75	135	7,6	10,6
"	Hapetus	6,0	2,4	4,2	1,4	3,3	5,1	1233	71	131	7,9	69,6
NPK	Ei säätöä	6,3	2,6	4,5	0,8	2,6	4,3	1254	91	129	11,2	9,2
"	Hapetus	6,1	2,6	4,4	1,3	4,4	4,2	1248	68	132	7,3	52,5
Mänttä 30	Ei säätöä	6,5	2,9	5,0	1,5	33,4	6,4	1489	75	125	9,3	19,0
"	Hapetus	6,2	2,9	5,1	2,9	43,1	5,5	1499	72	126	9,7	94,8
Mänttä 120	Ei säätöä	6,5	3,9	6,7	10,7	312,8	63,4	2489	112	155	27,0	87,5
"	Hapetus	6,6	4,2	7,2	8,2	215,0	33,7	2454	103	146	21,7	119,8
Kaipola 120	Ei säätöä	6,6	3,9	6,6	0,6	4,0	5,2	1390	78	135	11,9	9,9
"	Hapetus	6,3	3,5	6,1	1,3	1,6	5,2	1427	76	141	10,1	60,5
Kaipola 480	Ei säätöä	6,7	4,7	8,0	0,8	1,1	8,0	1559	83	129	19,4	12,2
"	Hapetus	6,7	4,5	7,7	1,0	2,3	9,0	1634	82	137	18,7	19,6
Hanko 30	Ei säätöä	7,2	2,7	4,7	1,7	21,7	9,1	2390	87	121	39,6	22,5
"	Hapetus	7,1	2,9	5,0	2,4	9,4	7,1	2444	85	124	32,4	92,4
Hanko 120	Ei säätöä	7,4	3,2	5,6	12,9	290,8	38,0	5052	410	209	105,5	113,9
"	Hapetus	7,4	3,3	5,7	12,8	306,5	26,3	5086	396	206	104,3	154,3

Taulukko 36. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) maan hivenainepitoisuuksiin kalkitulla ja kalkitsemattomalla aitosavella astiakokeen päätyessä (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Al mg/l	B mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Na mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l
0	Ei säätöä	305	0,6	0,07	6,4	707	24	0,02	39	1,5	2,8	1,1
"	Kalkitus	294	0,5	0,06	6,6	664	25	0,03	44	1,3	2,7	0,9
NPK	Ei säätöä	303	0,6	0,07	6,3	718	28	0,02	43	1,5	2,9	1,1
"	Kalkitus	294	0,6	0,06	6,5	702	29	0,03	40	1,3	2,7	0,8
Mänttä 30	Ei säätöä	295	0,5	0,06	6,7	686	25	0,03	62	1,4	2,7	2,3
"	Kalkitus	286	0,5	0,07	6,7	638	25	0,03	60	1,1	2,7	2,6
Mänttä 120	Ei säätöä	268	0,5	0,06	7,5	778	42	0,03	121	1,3	2,9	6,3
"	Kalkitus	262	0,5	0,06	7,7	729	44	0,05	115	1,1	2,9	7,9
Kaipola 120	Ei säätöä	319	1,0	0,07	6,4	691	33	0,03	40	1,6	2,7	2,0
"	Kalkitus	321	0,9	0,08	6,7	685	37	0,03	38	1,4	2,7	1,8
Kaipola 480	Ei säätöä	328	1,7	0,08	6,3	717	56	0,03	55	1,8	2,3	3,3
"	Kalkitus	345	1,7	0,06	6,4	692	49	0,03	55	1,4	2,3	3,4
Hanko 30	Ei säätöä	282	0,5	0,06	6,4	1300	28	0,05	117	1,3	2,5	3,4
"	Kalkitus	287	0,5	0,05	6,7	1400	32	0,05	119	1,2	2,5	3,3
Hanko 120	Ei säätöä	235	0,6	0,05	7,1	3008	55	0,05	337	1,5	2,5	11,9
"	Kalkitus	244	0,7	0,04	7,4	3091	55	0,05	337	1,5	2,8	11,6

Taulukko 37. Teollisuuden jätevesilietteiden (Mänttä, Kaipola ja Hanko) vaikutukset eri käyttömäärillä (tn/ha ka) maan hivenainepitoisuuksiin happamoidulla ja happamoittamattomalla hienolla hiekalla astiakokeen päätyessä (0 = lannoittamaton; NPK = NPK-lannoitettu). Koekasvina ohra. Arvot 4 näytteen keskiarvoja.

Lannoitus	pH-säätö	Al mg/l	B mg/l	Cd mg/l	Cu mg/l	Fe mg/l	Mn mg/l	Mo mg/l	Na mg/l	Ni mg/l	Pb mg/l	Zn mg/l
0	Ei säätöä	230	0,4	0,10	1,5	441	28	0,04	15	0,6	0,8	0,8
"	Hapotus	241	0,3	0,09	1,5	490	35	0,05	27	0,7	0,9	1,1
NPK	Ei säätöä	247	0,4	0,11	1,7	588	37	0,07	19	0,7	0,8	0,8
"	Hapotus	242	0,4	0,10	1,6	560	38	0,06	22	0,7	0,9	0,8
Mänttä 30	Ei säätöä	236	0,3	0,10	2,2	783	46	0,10	35	0,7	1,1	3,2
"	Hapotus	237	0,3	0,10	2,2	728	45	0,11	37	0,6	1,0	4,4
Mänttä 120	Ei säätöä	218	0,4	0,10	2,7	676	50	0,13	142	0,6	1,2	11,5
"	Hapotus	220	0,4	0,10	2,6	740	51	0,12	133	0,6	1,1	12,1
Kaipola 120	Ei säätöä	239	0,8	0,09	1,9	479	35	0,08	23	1,0	0,8	1,7
"	Hapotus	251	0,8	0,11	3,2	547	39	0,09	22	1,0	0,9	1,8
Kaipola 480	Ei säätöä	246	1,2	0,08	2,1	425	50	0,09	40	1,2	0,7	3,5
"	Hapotus	271	1,1	0,09	2,2	441	50	0,10	39	1,4	0,7	3,5
Hanko 30	Ei säätöä	201	0,4	0,09	1,8	1639	38	0,08	71	0,9	0,7	5,3
"	Hapotus	202	0,4	0,09	1,7	1486	33	0,06	81	0,9	0,5	5,3
Hanko 120	Ei säätöä	223	0,8	0,06	2,4	5235	63	0,10	302	1,4	1,1	19,5
"	Hapotus	223	0,8	0,08	2,4	5326	64	0,08	297	1,4	1,0	19,5

JAKELU: MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
Kirjasto
31600 JOKIOINEN
puh. (916) 1881, telefax (916) 188 339

HINTA: 50 mk