

JUKKA PALKO

**HAPPAMIEN SULFAATTIMOIDEN KUIVATUS JA  
KALKITUS LIMINGAN KOEKENTÄLLÄ 1984-1987**

English summary: Drainage and liming of acid sulphate soils in the polder  
in Liminka, Finland 1984-1987

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

VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA koskevat tilaukset:  
Valtion painatuskeskus, PL 516, 00101 Helsinki  
puh. (90) 566 01/julkaisutilaukset

ISBN 951-47-1512-8  
ISSN 0783-327X

HELSINKI 1988

Julkaisija

Julkaisun päivämäärä

Vesi- ja ympäristöhallitus

1.3.1988

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

\* Palko, Jukka

Julkaisun nimi (myös ruotsinkielinen)

\* Happamien sulfaattimaiden kuivatus ja kalkitus Limingan koekentällä 1984 - 1987. (Dränering och kalkning av sura sulfatjordar på urlakningsfältet i Limingo kommun 1984 - 1987).

Julkaisun lajiToimeksiantajaToimielimen asettamispvmJulkaisun osatTiivistelmä

\* Aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattimaalle Limingan kunnan alueelle rakennettiin noin 2 ha:n suuruinen huuhtoutumiskoekenttä, jossa tutkittiin vuosina 1984 - 1987 normaalisyvyisen salaojituksen, matalan salaojituksen ja avo-ojituksen sekä peruskalkituksen (15 t/ha), kaksinkertaisen kalkituksen (30 t/ha) ja turvelisäyksen (1000 m<sup>3</sup>/ha) vaikutuksia maaperään, valumavesiin ja kauran satoisuuteen ja ravinnesaantiin. Tulokset osoittivat, että salaojitus ei suurentanut pellon pintakerroksen happamuutta eikä alkuaineiden liukoisuutta avo-ojitukseen verrattuna. Matala salaojitus suurensi kasveille toksisten metallien ennen kaikkea mangaanin liukoista pitoisuutta maaperässä. Salaojitus suurensi kauran jyväsatoa avo-ojitukseen verrattuna jopa 30 %. Normaalisyvyyteen tehty salaojitus happamilla sulfaattimailla onkin viljelyn kannalta joka suhteessa paras vaihtoehto. Salaojituksen aiheuttama happamuuskuormitus oli avo-ojituksen aiheuttamaan happamuuskuormitukseen verrattuna jopa kymmenkertainen, matala salaojitus pienensi happamuuskuormitusta korkeintaa 25 - 30 %. Tästä syystä matalan salaojituksen käyttö normaalin salaojituksen asemesta aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattimaalle on perusteetonta. Ensimmäiseksi ojitukseksi on avo-ojitus suositeltavin ojitusmuoto, vasta noin 10 vuotta avo-ojituksen jälkeen salaojitusta voidaan suositella. Aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattimaalle ojitusten yhteydessä peruskalkitus 10 - 15 t/ha oli riittävä viljelyn onnistumiselle, kalkituksen vaikutushuippu saavutetaan 4 - 6 vuotta kalkitusten jälkeen. Peruskalkituksen ylittävä kalkitus kuuluu pääasiallisesti valumavesien neutraloitumiseen pidemällä aikavälillä. Happamille sulfaattimaiden happamuus ja huono kuivatus lisäsivät erityisesti Co:n ja Ni:n konsentroitumista kauran jyvään ja olkeen.

Asiasanat (avainsanat)

\* Maan happamuus, valumavesien happamuus, kauran ravinnesaanti, salaojitus, avo-ojitus

Muut tiedotSarjan nimi ja numeroISBNISSN

951-47-1512-8

0783-327X

Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 19

KokonaissivumääräKieliHintaLuottamuksellisuus

\* 86

Suomi

Julkinen

JakajaKustantaja

Valtion painatuskeskus

Vesi- ja ympäristöhallitus

Published by

The National Board of Waters and Environment, Finland

Date of publicationAuthor(s)

Palko, Jukka

Title of publicationHappamien sulfaattimaiden kuivatus ja kalkitus Limingan koekentällä 1984 - 1987  
(Drainage and liming of acid sulphate soils in the polder in Liminka 1984 - 1987)Type of publicationCommissioned byParts of publicationAbstract

A 2-hectare polder in an acid sulphate soil area in Liminka was constructed in 1984. Immediately upon completion of construction a programme was started to monitor the hydrological and chemical quantities in the soil, water and plant as a function of normal subsurface drainage, low subsurface drainage and open drainage as well as of basic liming (15 t/hectare), double liming (30 t/hectare) and peat application (1 000 m<sup>3</sup>/hectare). The results showed that subsurface drainage did not have a greater effect on acidification of the soil surface and on mineral element solubility than open drainage. The low subsurface drainage did not diminish surface soil acidity more than the normal one, though it increased the solubility of some toxic metals such as Mn. Effective subsurface drainage increased crop yield even 30 % compared to open drainage. Normal subsurface drainage in acid sulphate soils was in every case the best alternative for cultivation. The acid load caused by subsurface drainage was even ten times greater than the acid load caused by open drainage, but low subsurface drainage diminished the acid load only 25 to 30 %. That is why the use of low as opposed to normal subsurface drainage is not advisable. To begin with open drainage is more advantageous for acid sulphate soils, but after ten years normal subsurface drainage becomes more advantageous. Basic liming 10 -15 t/hectare is adequate for cultivation of newly drained acid sulphate soils, it could be expected that the peak effect will be achieved by 4 to 6 years after liming. The lime exceeding the basic lime application is lost mainly in the neutralization of runoff waters. High acidity and bad drainage increased especially the Co and Ni content in oats in acid sulphate soils.

Keywords

Soil acidity, runoff acidity, plant nutrition, subsurface drainage, open drainage

Other information

| <u>Series (key title and no.)</u>                           | <u>ISBN</u>   | <u>ISSN</u>  |
|---|---|--------------|
| Publications of the Water and Environment Administration 19 | 951-47-1512-8   | 0783-327X    |
| <u>Pages</u>  | <u>Language</u>                                       | <u>Price</u> |
| 86  | Finnish   |              |
| <u>Distributed by</u>                                       | <u>Publisher</u>                                      |              |
| Government Printing Centre                                  | The National Board of Waters and Environment, Finland |              |

## ALKUSANAT

Vesihallinnon, Oulun yliopiston vesitekniikan laboratorion, Maatalouden tutkimuskeskuksen, Kemira Oy:n ja Salaojakeskus ry:n yhteistyönä aloitettiin vuonna 1984 yhteistutkimusprojekti, jonka tarkoituksena oli hankkia perustietoa happamista sulfaattimaista. Tavoitteena oli etsiä yksinkertaisia vaihtoehtoisia toimenpiteitä, joilla happamalla sulfaattimailla ilmenevät vesiensuojelun ja maatalouden ongelmat ratkaistaisiin. Maa- ja metsätalousministeriö rahoitti projektia maataloudellisesta yhteistutkimusmäärärahasta päätoimisen tutkijan palkalla. Edellämainittuja yhteisöjä edusti seurantaryhmä: tstopääll. Hannu Laikari (pj), ylitark. Urpo Myllymaa, prof. Jussi Hooli, DI Heikki Manninen, MMK Raimo Erviö, MMK Heikki Hakkola, MML Markku Yli-Halla, MMK Rauno Peltomaa ja dos. Erkki Alasaarela.

Projektisuunnitelma käsitti osaltaan huuhtoutumiskoekentän rakentamisen Limingan kunnan Tupoksen kylään. Koekentän suunnittelusta vastasi Oulun yliopisto, salaojitussuunnitelmat teki Salaojakeskus ry., Oulun vesipiiri rakensi koekentän, huolehti sen ylläpidosta ja otti valumavesinäytteet. Valumavesianalyysit tehtiin Oulun yliopiston vesilaboratoriossa. Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasema otti maanäytteet, viljeli koekenttää sekä teki satohavainnot ja maa-analyysit tehtiin Maatalouden tutkimuskeskuksen maantutkimusosastolla. Kasvianalyyseistä vastasi Kemira Oy:n Oulun tutkimuslaitos. Aineiston tilastollisen käsittelyn teki LuK Aini Bloigu Oulun yliopiston sovelletun matematiikan ja tilastotieteen laitokselta.

Koekenttäseurannan aikana tehtiin projektin seurantaryhmälle kaksi seurantaraporttia (Palko 1986a, Palko 1986b), jotka ovat tämän loppuraportin pohjana .

| S I S Ä L L Y S |   | Sivu |
|-----------------|---|------|
| ALKUSANAT       |   | 5    |
| 1               | JOHDANTO  | 8    |
| 2               | AINEISTO JA MENETELMÄT  | 9    |
| 2.1             | Koekentän ominaispiirteet                                       | 9    |
| 2.1.1           | Alueen kuvaus   | 9    |
| 2.1.2           | Tekniset rakenteet  | 11   |
| 2.1.3           | Kalkitus ja turpeen lisäys                                      | 13   |
| 2.2             | Havainnointi  | 13   |
| 2.2.1           | Hydrologinen seuranta   | 13   |
| 2.2.2           | Maaperäseuranta   | 15   |
| 2.2.3           | Valumavesiseuranta  | 15   |
| 2.2.4           | Koekentän viljely   | 15   |
| 2.3             | Näytteiden käsittely ja analysointi                             | 16   |
| 2.3.1           | Maanäytteet   | 16   |
| 2.3.2           | Vesinäytteet  | 16   |
| 2.3.3           | Viljanäytteet   | 17   |
| 2.4             | Tulosten käsittely  | 17   |
| 3               | TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU                                 | 18   |
| 3.1             | Koekentän toimivuus   | 18   |
| 3.1.1           | Ojitusten kuivatustehovaikutukset                               | 18   |
| 3.1.2           | Koeruutujen tasalaatuisuus                                      | 21   |
| 3.1.3           | Koeruutujen valumavesien tasalaatuisuus                         | 25   |
| 3.2             | Maaperän ominaisuudet   | 38   |
| 3.2.1           | Ojitusten vaikutukset   | 38   |
| 3.2.1.1         | Salaojitusten vaikutukset maaprofiilin<br>hapettumiseen         | 38   |
| 3.2.1.2         | Salaojitusten vaikutukset maan pintakerrosten<br>ominaisuuksiin | 40   |
| 3.2.1.3         | Salaojitus verrattuna avo-ojitukseen                            | 43   |
| 3.2.2           | Peltokalkitusten vaikutukset                                    | 43   |
| 3.2.2.1         | Kalkitusmäärän vaikutus maan pintakerrokseen                    | 43   |
| 3.2.2.2         | Kalkitusten pitkäaikaisvaikutukset                              | 47   |
| 3.2.3           | Turpeen lisäyksen vaikutukset                                   | 49   |

|         |  |    |
|---------|--|----|
| 3.3     | Valumavesien ominaisuudet                        | 49 |
| 3.3.1   | Salaojavaluman happamuusvaihtelut                | 49 |
| 3.3.2   | Ojitustavan vaikutus valumaveden laatuun         | 55 |
| 3.3.2.1 | Salaojitussyvyys                                 | 55 |
| 3.3.2.2 | Salaojitus verrattuna avo-ojitukseen             | 56 |
| 3.3.3   | Peltokalkituksen vaikutus valumaveden laatuun    | 58 |
| 3.3.3.1 | Salaojitusalue                                   | 59 |
| 3.3.3.2 | Avo-ojitusalue                                   | 61 |
| 3.3.4   | Turpeenlisäyksen vaikutus valumaveden laatuun    | 62 |
| 3.4     | Kauran satoisuus                                 | 64 |
| 3.5.    | Kauran ravinnesaanti                             | 67 |
| 3.5.1   | Ojituksen vaikutus kauran ravinnesaantiin        | 67 |
| 3.5.1.1 | Salaojasyvyys                                    | 67 |
| 3.5.1.2 | Salaojitus verrattuna avo-ojitukseen             | 69 |
| 3.5.2   | Kalkituksen vaikutus kauran ravinnesaantiin      | 71 |
| 3.5.3   | Turpeenlisäyksen vaikutus kauran ravinnesaantiin | 74 |
| 4       | JOHTOPÄÄTÖKSET                                   | 76 |
| 5       | KOEALUEEN JATKOSEURANTAOHJELMA                   | 80 |
| 6       | YHTEENVETO                                       | 81 |
| 7       | SUMMARY  | 82 |
|         | KIRJALLISUUS                                     | 84 |

## 1 JOHDANTO

Suomen rannikkoalueen alavat savikkoalueet ovat paikoin hyvin happamia. Tähän on syynä se, että kuivumisen yhteydessä runsaasti sulfidirikkiä sisältävät maakerrokset hapettuvat. Muodostuneen happamuuden määrä on suorassa suhteessa hapettuneen sulfidirikin ekvivalenttiseen määrään. Nämä happamat sulfaattimaat voivat esiintyä joko todellisina tai potentiaalisina. Potentiaaliset happamat sulfaattimaat ovat vielä neutraalisessa tilassa, jolloin ne eivät ole vielä happamia, mutta muuttuvat todellisiksi happamiksi sulfaattimaiksi, kun sulfidisedimentti joutuu ilman hapen kanssa tekemisiin. Happamat sulfaattimaat ovat tulevaisuudessa jatkuva maanviljelyksen ja ympäristönsuojelun ongelma Suomen rannikkoalueilla. Ajan myötä ongelmien painopistealueet muuttuvat, kun vanhemmat happamat sulfaattimaat menettävät happamuuspotentiaalisensa ja uudet maat paljastuvat merestä maankohoamisen myötä (Palko & Myllymaa 1987).

Suomessa on arvioitu olevan runsaat 100 000 ha viljeltyjä happamia sulfaattimaita (Palko & Räsänen 1987). Ne sijaitsevat Pohjanlahden rannikon alavilla mailla, joissa Litorinameren aikana muodostuneet runsaasti rikkiä sisältävät sedimentit ovat tehokkaassa hapettumisvaiheessa. Litorinameren raja kulkee 30 m mpy korkeustasolla Etelä-Suomessa ja 90 m mpy korkeustasolla Pohjois-Suomessa. Lisäksi näitä maita esiintyy useilla järvi- ja järvikuivioalueilla, joissa hapettava rikki on peräisin järven pohjaan kerrostuneesta orgaanisesta aineksestä (Palko et al. 1985).

Pohjanlahden rannikon alavilla mailla tarvitaan täydennys- ja peruskuivatuksia 20 - 30 vuoden välein, jotta vanhojen kuivatusojien liettyminen ja maankohoamisen aiheuttamat haitat voidaan poistaa. Happamien sulfaattimaiden peruskuivatus lisää happamuuskuormitusta purkuvesistöön koska perkausmassat hapettuvat ja kuivavara lisääntyy kuivatusojien välittömässä läheisyydessä silloin kun paikalliskuivatus (avo-ojitus ja salaojitus) tehostuvat (Palko & Merilä 1988). Paikalliskuivatus happamoittaa viljelysmaiden pintakerrosta, mistä seuraa usein satotappioita ja häiriöitä kasvin ravinteidenossa. Paikalliskuivatuksen aiheuttamia happamuusvaikutuksia voidaan pienentää peruskuivatushankkeen yhteydessä maankäyttäjille annettavilla erilaisilla ohjeilla, jotka liittyvät ojitukseen ja maankäsittelyyn.



Tämän työn tarkoituksena on raportoida Tupoksen koekentältä vuosina 1984 - 1987 havainnoidut välittömät tutkimustulokset siitä, miten erilaiset ojitukset ja kalkitukset vaikuttavat happaman sulfaattimaan pellon pintakerroksen happamoitumiseen, valumavesien happamuuskuormitukseen sekä kauran satosuuteen ja ravinnesaantiin. Tulosten pohjalta esitetään paikalliskuivatusta ja ojitusta koskevia suosituksia, joilla voidaan ehkäistä haittoja happamalla sulfaattimailla.

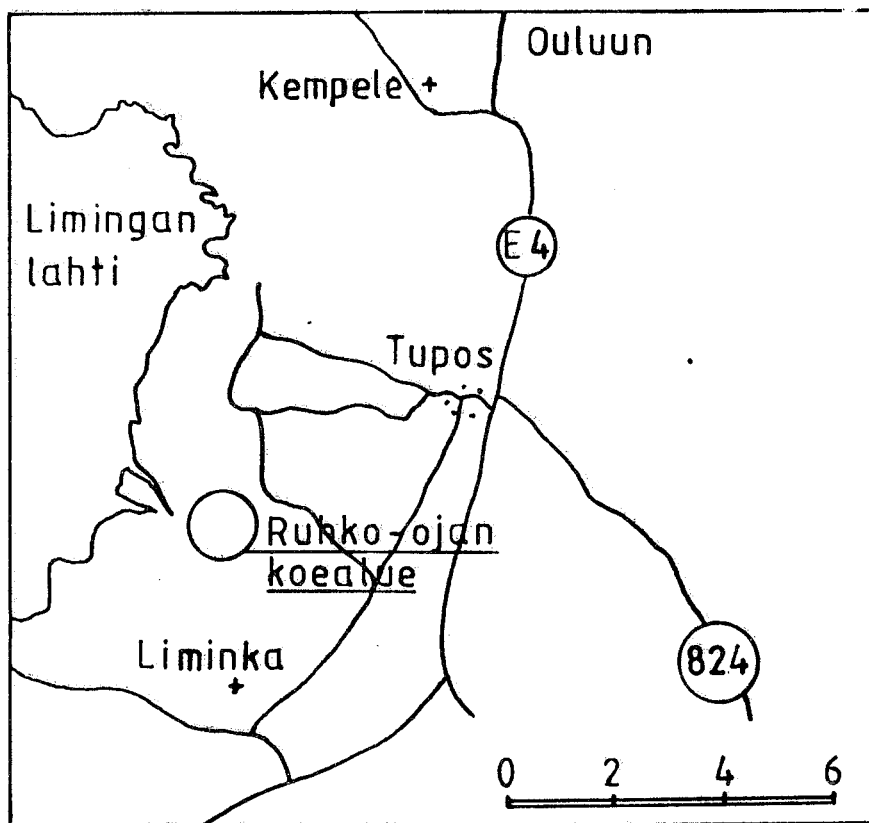
## 2 A I N E I S T O J A M E N E T E L M Ä T

### 2.1 KOEKENTÄN OMINAISPIIRTEET

#### 2.1.1 A l u e e n k u v a u s

Huhtoutumiskoekenttä päätettiin rakentaa Limingan kunnan Tupoksen kylän alueelle. Alueesta tiedettiin aikaisempien tutkimusten perusteella, että se käsitti runsaasti huonossa kuivatustilassa olevia happamia sulfaattimaita (Purokoski 1958, Erviö & Palko 1984). Alue oli peruskuivattu vuosina 1947 - 1948 siirtolaisasutukselle. Viimeisin täydennyskuivaus tehtiin tällä alueella vuosina 1983 ja 1984.

Aikaisempia aluekarttoituksia täydennettiin lisäkairauksin sopivan paikan löytämiseksi. Kairauksilla pyrittiin löytämään maa-ainekseltaan ja kuivatustilaltaan mahdollisimman tasalaatuinen ojittamaton hapan sulfaattimaa-alue. Sijoituspaikaksi valikoitui alava, noin 5 km Liminganlahdelta Temmesjokivartta ylöspäin sijaitseva alue, lat. 64 50'30", long. 25 24'30" (kuva 1). Alueen valintaan vaikuttivat maa-aineksen ja kuivatustilan tasaisuuden lisäksi päälaskuojan (Ruhko-oja,  $F=28 \text{ km}^2$ ) läheisyys ja alueen myöhempi mahdollinen laajennettavuus.



Kuva 1. Koealueen sijainti Limingan kunnan Tupoksen kylässä.

Valitun alueen maanpinnan korkeus vaihteli 0,96 - 1,15 m N-60 tasosta, joten alue on noussut merestä 100 - 150 vuotta sitten. Maaprofiilin pintakerros (0 - 20 cm) oli turvetta ja musta pelkistynyt sulfidikerros alkoi profiilissa 30 cm:n syvyydestä. Alue oli happamuuden suhteen lähes täysin potentiaalisessa tilassa, jolloin todellisille happamille sulfaattimaille tyypillistä pH-gradienttia ei ollut vielä muodostunut, kuten myöskään jarosiitin esiintymistä ei havaittu. Profiilin keskikerroksen (30 - 45 cm) savipitoisuus vaihteli 8 ja 10 %:n välillä, ja hienojakoisen aineksen (raakeisuus <0,01 mm) pitoisuus vaihteli 41 ja 50 %:n välillä. Keskikerroksen maalaji oli hiesu tai hiesuinen hieta (Palko 1986a). Keskikerroksen orgaaninen hiilipitoisuus oli 2 - 5% ja sulfidisedimentin rikkipitoisuus oli 0,20 %. Sulfidikerros ulottui yli 4 m:n syvyyteen.

## 2.1.2 Tekniset rakenteet

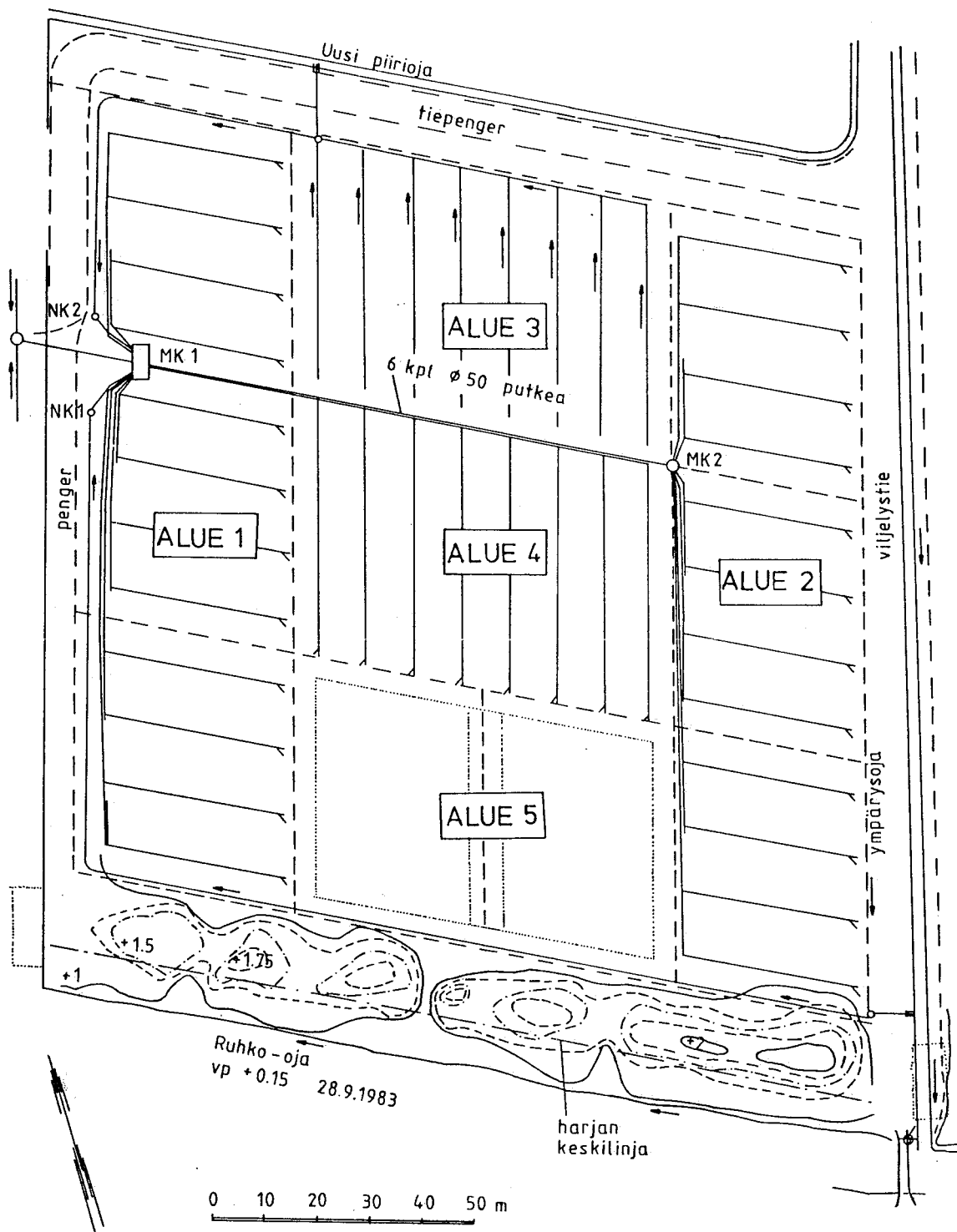
Koekentän rakentaminen aloitettiin kevättalvella 1984. Ruhko-ojan varresta erotettiin noin 2,5 hehtaarin suuruinen alue (140 x 180 m), jonka ympärille kaivettiin ympäröivät estämään ulkopuolisten pintavesien pääsy alueelle. Ympärysojat ympäröitiin 2,0 m korkeilla penkereillä, joiden tarkoitus oli estää meriveden pääsy alueelle tulva-aikoina. Ympärysojien vedet kerättiin kahteen niskakaivoon (NK 1 ja NK 2), joista ne johdettiin pumppaus- ja mittausasemalle (MK 1) (kuva 2).

Koekentän jaettiin ojituksen viiteen osa-alueeseen. Alueet 1, 2 ja 4 salaojitettiin muoviputkella, alue 5 salaojitettiin soralla ja alue 3 avo-ojitettiin. Alueiden 4 ja 5 väliin jäi kapea ojittamaton alue (kuva 2). Alueet 1 ja 2 jaettiin 12 koeruutuun (15 x 35 m) ja alueet 3 ja 4 kahdeksaan koeruutuun (9 x 50 m) sekä alue 5 seitsemään koeruutuun.

Salaojitusalueiden 1 ja 2 jokaiseen ruutuun vedettiin salaojat (ojaväli 12,5 m). Imuojien yläpäät kaivettiin korkeuteen +0,10 m (N-60), ojien kaltevuus oli 0,3 %. Alueen 1 ruutujen kokoojaputket johdettiin erikseen suoraan pumppaus- ja mittausasemalle (MK 1), jossa ne liitettiin jokainen omaan sulkuputkeensa. Sulkuputkien korkeudet säädettiin siten, että ruutujen salaojitussyvydeksi tuli 1,10 m. Alueen 2 ruutujen salaojaputket johdettiin omaan mittakaivoon (MK 2), jossa ne liitettiin sulkuputkiinsa. Sulkuputkien korkeudet säädettiin siten, että ruutujen salaojitussyvydeksi tuli 0,69 m. Mittakaivossa 2 ruutujen 15, 18, 19 ja 24 ja vastavasti ruutujen 13, 17, 21 ja 23 sekä ruutujen 14, 16, 20 ja 22 sulkuputkien ylimenoputket yhdistettiin kolmeen kokoojaan, jotka johdettiin pumppaus- ja mittausasemalle. Alueen 4 salaojaputket yhdistettiin yhteen kokoojaan, joka johdettiin suoraan pumppaus- ja mittausasemalle (kuva 2).

Sorasalaojitusalueella ojat yhdistettiin kukin omaan kaivoonsa, jotka johdettiin ympäröivaan ja edelleen pumppaus- ja mittausasemalle. Soraojien pohjat olivat kaivojen luona korkeustasolla +0,40 m.

Avo-ojat kaivettiin siten, että ojanpohjat saran yläpäässä kaivettiin korkeudelle +0,60 m ja alapäässä korkeudelle +0,55 m (ojaväli 9,25 m). Avo-ojat johdettiin ympäröivaan, ja sitä kautta niskakaivo 2:een ja edelleen pumppaus- ja mittausasemalle (Manninen 1984).



Kuva 2. Tupoksen koekentän ojitukset. NK = niskakaivo, MK = mittakaivo.

### 2.1.3 Kalkitus ja turpeen lisäys

Peruskalkitus 15 t/ha (Kalkkimaan kalkkikivijauhe 1), tehtiin tasaisesti koko kynnetyille alueelle syyskuun lopussa 1984. Kynnön jälkeen osalle alueiden 1, 2, 3 ja 4 ruuduista toistettiin kalkkikäsittely (15 t/ha) siten, että jokaiselle alueelle tuli neljä kaksinkertaisen kalkituksen rinnakkaisruutua. Neljälle koeruudulle alueilla 1 ja 2 lisättiin Pulkilan Kivinevan heikosti maatonutta (H3-4) tupasvilla-rahkaturvetta 1000 m<sup>3</sup>/ha (levitys noin 10 cm:n paksuudelta). Turpeen pH oli 3,6 ja sen kationinvaihtokapasiteetti oli 99,3 meq/100g. Käsittelyjen lopuksi kaikki koeruudut: peruskalkitusruudut (Ca 1), kaksinkertaisen kalkituksen saaneet ruudut (Ca 2) ja turveruudut (Tv) kynnettiin noin 20 cm:n syvyydeltä (kuva 3).

## 2.2 HAVAINNOINTI

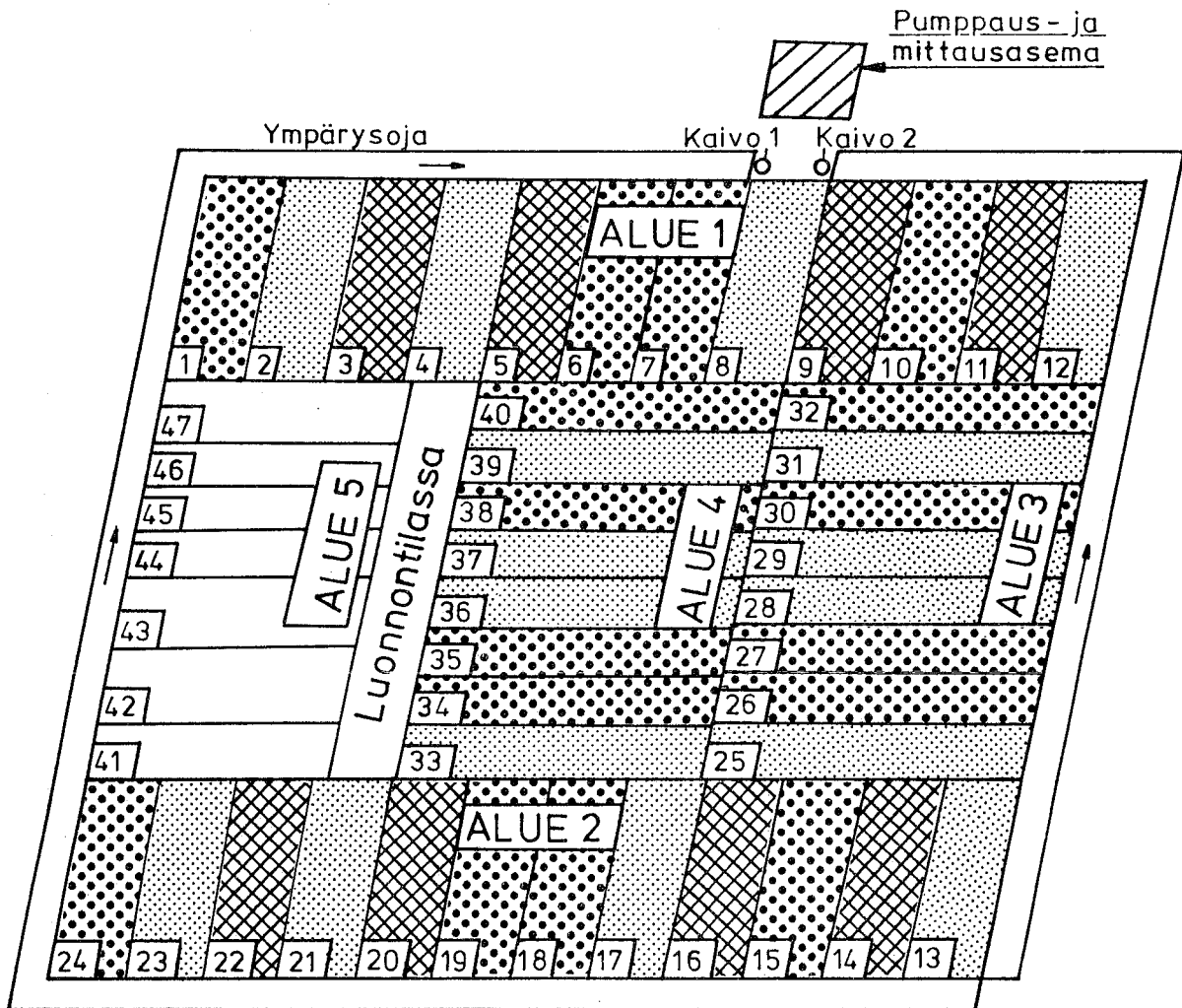
### 2.2.1 Hydrologinen seuranta

Salaojavaluman määrää seurattiin Tupoksen koekentän alueen 1 ruuduista näytteenoton yhteydessä. Mittaus tehtiin astiamittauksena suoraan sulkuputkien ylivuotoputkista. Alle 10 ml/min vitraamia ei mitattu.




Avo-ojavaluman määrää seurattiin mittaamalla avo-ojien näytteenoton yhteydessä niskakaivo 2:n virtaama, joka oletettiin avo-ojitusalueen kokonaisvirtaamaksi.

Pohjaveden korkeutta mitattiin kahdeksasta salaojaputkesta, joista kolme oli sijoitettu alueelle 1 (ruudut 2, 6 ja 10), kolme vastaavasti alueelle 2 (ruudut 15, 19 ja 23) sekä kaksi alueelle 3 (ruudut 26 ja 31). Pohjavesiputket tehtiin halkaisijaltaan 25 mm:n PVC-putkista, joissa suodatinmateriaalina käytettiin ilmastointiputkea (malli HPE-1H, valmistaja Nokia). Putket asetettiin 3 m:n syvyyteen painokairalla tehtyyn valmiiseen reikään. Kuivatusalueiden pohjavesiputkien keskimääräinen vesipinnan korkeus edusti alueen pohjaveden korkeutta.

Sade- ja keskilämpötilatiedot saatiin päivittäin noin kahdeksan kilometrin päässä koekentältä sijaitsevalta Oulunsalon lentokentän säähavaintoasemalta.



0 10 20 30 40 50 m

-  = Ca 1
-  = Ca 2
-  = TV

|                         |          |
|-------------------------|----------|
| ALUE 1 = salaojitus     | (1.13 m) |
| ALUE 2 = salaojitus     | (0.69 m) |
| ALUE 3 = avo-ojitus     | (0.75 m) |
| ALUE 4 = salaojitus     | (0.69 m) |
| ALUE 5 = sorasalaojitus |          |

Kuva 3. Tupoksen koekentän ruutujako ja ruutujen käsittelyt. Ca 1 = peruskalkitus 15 t/ha; Ca 2 = kaksinkertainen kalkitus (30 t/ha); TV = peruskalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1000 m<sup>3</sup>/ha.

### 2.2.2 Maaperäseuranta

Kuivatussyvyys alueilla 1 ja 2 määritettiin maaprofiilin hapestuneen ja pelkistyneen kerroksen rajasyvyytenä mittaamalla pH:n muuttumista ns. profiilikairausmenetelmällä. Menetelmän mukaan aluetta kuvaava näytepiste kairattiin syväraisella, halkaisijaltaan 2,5 cm:n läpivirtauskairalla. Kairalla otettiin maaperästä jatkuva profiilinäyte 0 - 1,0 metrin syvyysväliltä. Kairan uraan jäävästä maa-aineksesta mitattiin välittömästi pH kahden cm:n välein (mittari WTW malli pH91, elektrodi Ingold 406M6). Kuivatussyvyys todettiin profiilisyvyytenä, jossa pH saavutti arvon 5,0, kun se muuttui happamasta neutraaliin suuntaan (Palko et al. 1987).

Maanäytteet otettiin jokaiselta koeruudusta (47 kpl) joka syksy, vuonna 1984 ennen kalkitusta ja turvelisäyksiä sekä vuosina 1985 - 1987 sadonkorjuun yhteydessä. Maanäytteet otettiin ruutujen pintakerroksesta (0 - 20 cm) neljän osanäytteen kokoomanäytteenä.

### 2.2.3 Valumavesiseuranta

Salaojavalumanäytteet otettiin 250 ml:n muovipulloihin sulukuputkista tai näiden ylivuotoputkista silloin kun ruudun valuma oli suurempi kuin 10 ml/min. Alueen 1 salaojavalumanäytteitä otettiin koko tutkimuksen ajan (syksy 1985 - syksy 1987) ja alueen 2 salaojavaluntanäytteitä syksyn 1986 ja kevään 1987 aikana. Näytteet otettiin 2 - 5 kertaa viikossa silloin kun kaikista salaojaputkista tuli vettä.

Avo-ojanäytteet alueelta 3 otettiin 250 ml:n muovipulloihin sarkaojien alapäistä kevään 1987 ja syksyn 1987 aikana 2 - 5 kertaa viikossa silloin kun niskakaivo 2:sta tuli vettä (virtaama suurempi kuin 20 ml/min).

### 2.2.4 Koekentän viljely

Koeruuduilla viljeltiin vuosina 1985 - 1987 kauraa (lajike Pol). Ruudut kynnettiin aina edellisenä syksynä. Ruudut kylvettiin keväällä heti kun päästiin pellolle, vuonna 1985 17.6., vuonna 1986 11.6. ja vuonna 1987 22.6. Kylvön yhteydessä koeruudut saivat 500 kg/ha seleenitöntä Normaali Y-lannosta (16 % N, 7 % P, 13 % K). Vuonna 1987 käytettiin vastaava määrä seleenirikasta Y-lannosta. Jyv- ja olkisato korjattiin 30.9.1985, 1.10.1986 ja 22.10.1987.

## 2.3 NÄYTTEIDEN KÄSITTELY JA ANALYSOINTI

### 2.3.1 Maanäytteet

Maanäytteet kuljetettiin Maatalouden tutkimuskeskuksen maalaboratorioon, jossa ne kuivattiin ilmakeiviksi huoneenlämpötilassa. Tämän jälkeen näytteet jauhettiin ja seulottiin 2 mm:n seulalla. Seulotuista näytteistä määritettiin pH maavesi suspensiosta (1:2,5). Ca, K, Mg, P ja S uutettiin 0,5 N ammonium asetaatti-0,5 N etikkahappoliuoksella (pH 4,65) (AAAc), uuttosuhde oli 1:10 (V/V), uuttoaika 1 h ja ravistusnopeus 27 kierrosta minuutissa (Vuorinen & Mäkitie 1955). Mn, Al ja Fe uutettiin 0,5 N ammonium asetaatti-0,5 N etikkahappo-0,02 M Na<sub>2</sub>-EDTA liuoksella (pH 4,65)(AAAc-EDTA), uuttosuhde oli 1:10 (V/V), uuttoaika 1 h ja ravistusnopeus 27 kierrosta minuutissa (Lakanen & Erviö 1971). Ca ja K määritettiin liekkifotometrillä ja Mg, Mn ja Fe atomiabsorptiospektrofotometrillä (Perkin Elmer 5000) käyttäen ilma-asetyleeni-liekkiä ja Al käyttäen typpioksiduuli-asetyleeni-liekkiä. P määritettiin kolorimetrisesti käyttäen molybdeenisini -menetelmää, ja sulfaattirikki määritettiin mittamalla bariumsulfaattisaostuman aiheuttamaa turbiditeettia AKEA-analysaattorilla . Kaikkien alkuaineiden pitoisuudet ilmoitettiin mg/l kuivaa maata kohti.

### 2.3.2 Vesinäytteet

Vesinäytteistä määritettiin kentällä välittömästi näytteenoton jälkeen pH (mittari WTW malli pH91, elektrodi Ingold 406M6) ja sähkönjohtavuus (mittari WTW malli LF91). Tämän jälkeen näytteet kuljetettiin Oulun yliopiston vesilaboratorioon jatkoanalyysjä varten. Käsittelemättömistä vesinäytteistä määritettiin asiditetit (SFS-3005 1981). Tämän jälkeen näytteet tehtiin 1 %:ksi HNO<sub>3</sub>:n suhteen. Hapotetut näytteet suodatettiin GF/A suodattimen lävitse, ja suodoksesta analysoitiin Al atomiabsorptiospektrofotometrisesti (Perkin Elmer 2380) käyttäen typpioksiduuli-asetyleeni-liekkiä.



### 2.3.3 Viljanäytteet

Jyväsadot punnittiin Maatalouden tutkimuskeskuksen Pohjois-Pojanmaan tutkimusasemalla. Jyvä- ja olkinäytteet lähetettiin Kemira Oy:n Oulun tutkimuslaitokselle analysoitaviksi. Analysoinnissa käytettiin menetelmää, jonka ovat kuvanneet Saari & Paaso (1980). Kauran jyvän ja oljen pitoisuudet ilmoitettiin mg/kg kuiva-ainetta kohti.

### 2.4. TULOSTEN KÄSITTELY

Maanparannuskäsittelyjen aiheuttamia maaperän happamuuden muutoksia Tupoksen koekentällä tutkittiin koeruutujen pintakerroksen pH-muutosten avulla. Kasvin satoisuuteen ja ravinnesaantiin vaikuttavina maaperätekijöinä käsiteltiin koeruutujen AAAC:iin uuttuvia Ca-, Mg-, P-, K- ja S-pitoisuuksia sekä AAAC-EDTA:n uuttuvia Mn-, Al- ja Fe-pitoisuuksia. Kemiallisten ominaisuuksien eroja rinnakkaisruutujen välillä ei testattu vähäisten havaintojen määrän vuoksi. Maanparannuskäsittelyjen aiheuttamia eroja eri käsittelyruutujen välillä testattiin Studentin t-testillä, p-arvon merkitsevyysrajana käytettiin 0,01:tä.

Vedenlaatuparametrit valittiin aiempien Tupoksen koekentän seurantaraporttien tutkimustulosten perusteella (Palko 1986a, Palko 1986b) siten, että valumaveden kokonaishappamuutta arvioitiin asiditeetin pohjalta ja happamuusolosuhteita valumaveden pH:n perusteella. Koealueen valumavesien sähkönjohtavuuden on havaittu olevan suoraan verrannollinen valumaveden sulfaattipitoisuuteen (Palko 1986b). Tällä perusteella valuman sähkönjohtavuuden katsottiin kuvaavan sulfidisedimentin hapettumisvoimakkuutta koeruutujen maaprofiilissa. Rinnakkaisruutujen valumavesien asiditeetti- ja pH-eroja testattiin ei-parametrisellä Wilcoxonin testillä, jonka perusteella erittäin merkitsevästi poikkeavat koeruudut suljettiin pois käsittelystä. Maanparannuskäsittelyjen aiheuttamia eroja käsittelyruutujen valumavesien kemiallisiin ominaisuuksiin testattiin Studentin t-testillä.

Kauran satoisuustutkimuksissa käytettiin hehtaarisatohavain-toja. Maanparannusmenetelmien vaikutusta kauran ravinnesaantiin tutkittiin vertailemalla eri ruutujen kauranjyvän N-pitoisuuseroja sekä jyvän ja oljen P-, K-, Ca-, Mg-, Mn-, Co- ja Ni-pitoisuuseroja toisiinsa, erot testattiin tilastollisesti Studentin t-testillä.

### 3 T U L O K S E T J A T U L O S T E N T A R - K A S T E L U

#### 3.1 KOEKENTÄN TOIMIVUUS

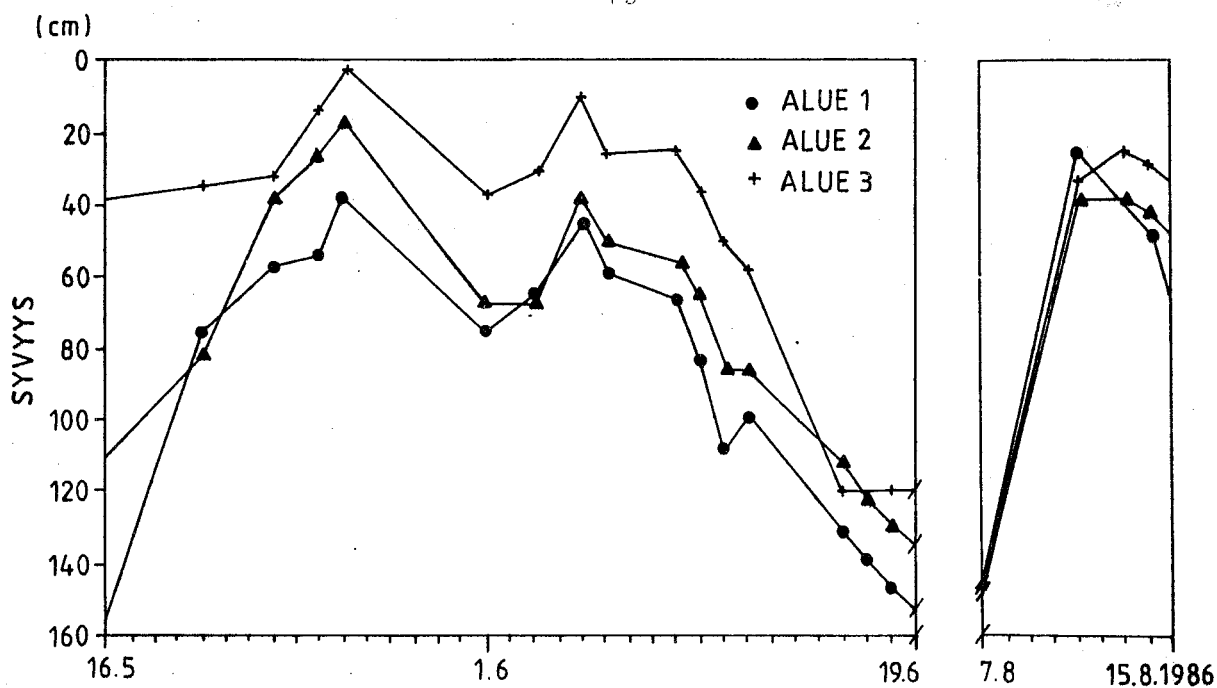
##### 3.1.1 O j i t u s t e n k u i v a t u s t e h o v a i - k u t u k s e t

Keväällä 1986 routa oli sulanut täydellisesti Tupoksen koekentällä 20.5., jonka jälkeen vapaan pohjavedenpinnan korkeutta voitiin mitata. Pohjavedenpinta laski kesääjaksi (19.6. - 7.8.) 160 cm:n syvyyden alapuolelle. Kevättulvan aikana (23.5. - 9.6.) keskimääräinen pohjavedenpinnan korkeus avo-ojitusalueella (alue 3) oli 24 cm, matalalle salaojitetulla alueella (alue 2) 50 cm ja normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella (alue 1) 60 cm (kuva 4a).

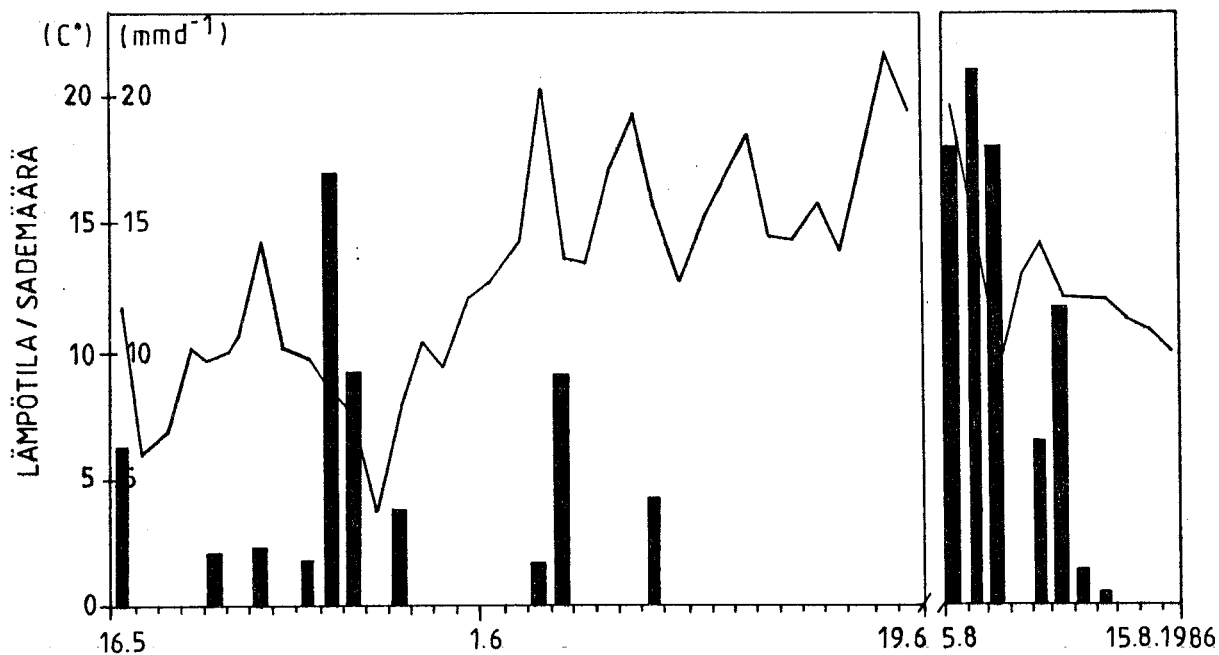
Syksyllä 1986 vapaa pohjavedenpinta nousi Tupoksen koekentällä havaittavaksi 7.8. runsaiden sateiden ja matalan ilman lämpötilan vuoksi. Pohjavesiputket jäättyivät koekentällä 6.11 (kuvat 4b ja 5b). Tulvajakson 3.9. - 6.11. aikana keskimääräinen pohjavedenpinnan korkeus avo-ojitusalueella oli 15 cm, matalalle salaojitetulla alueella 35 cm ja normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella 60 cm (kuva 5a).

Vuoden 1986 pohjavedenpinnan korkeushavainnot osoittivat, että normaalisyvyyteen salaojitetun alueen kuivatusteho oli osa-alueista suurin ja edelleen että matalalle salaojitetun alueen kuivatusteho oli avo-ojitetun alueen kuivatustehoa huomattavasti suurempi. Koska ojitusalueiden pohjavedenpinnan korkeuserojen keskinäiset suhteet koko tulvajaksojen aikana olivat lähes samansuuruiset, voidaan koalueen ojitus-ten katsoa onnistuneen odotetusti. Ojitus-ten kuivatustehoa voidaan kuvata karkeasti tulva-ajan keskimääräisenä pohjavedenpinnan korkeutena. Tältä pohjalta koekentän alueen 1 kuivatustehoa vuonna 1986 vastasi pohjavedenpinnan korkeusarvo 60 cm, alueen 2 kuivatustehoa korkeusarvo 40 cm ja alueen 3 kuivatustehoa korkeusarvo 20 cm.

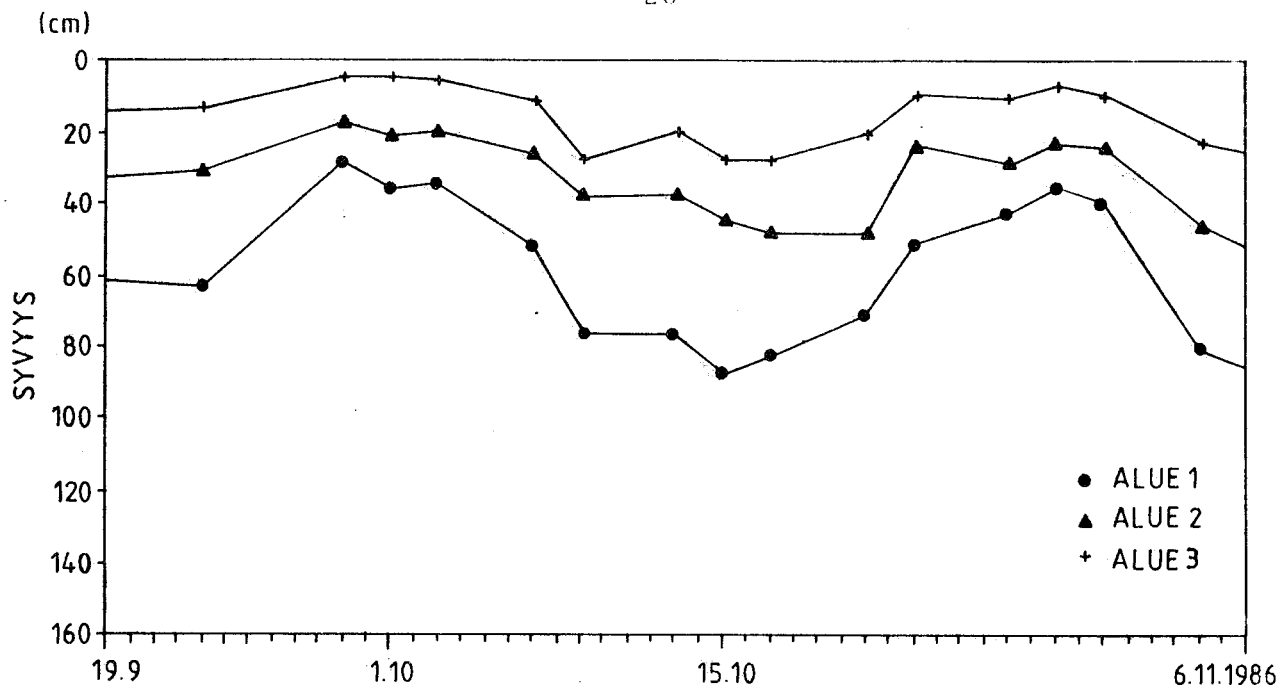
Salaojituksen kuivatusteho keväällä voi olla avo-ojitusta heikempi mikäli roudan hidas sulaminen on viivästyttänyt salaojaputkien aukeamista. Salaojituksen kuivatusteho oli syksyllä suurempi kuin keväällä, tulva-aika oli syksyllä huomattavasti pidempi kuin keväällä ja edelleen maaperän lämpötila edeltävän kesän vaikutuksesta oli syksyllä korkeampi kuin keväällä. Näiden seikkojen vuoksi on oletettavaa, että



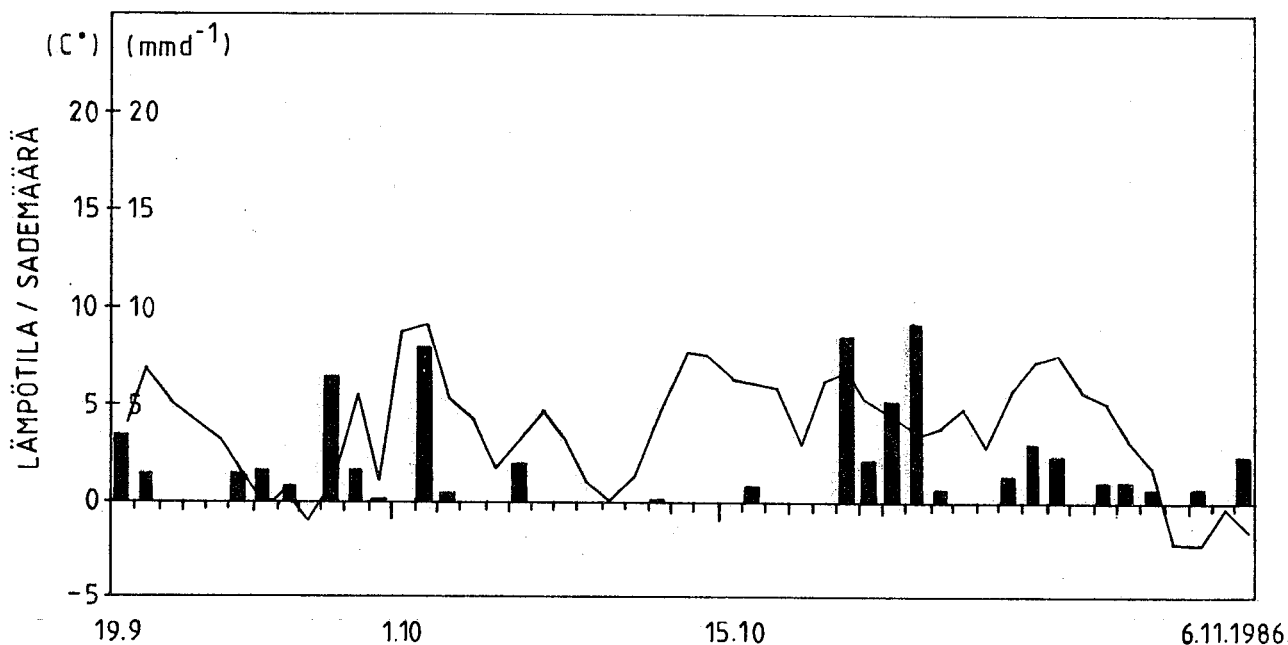
Kuva 4a. Vapaan pohjavedenpinnan korkeus tupoksen koekentän ojitusalueilla vuoden 1986 kevättulvajakson aikana. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m; Alue 2: salaojitussyvyys 0,69 m; Alue 3: avo-ojitussyvyys 0,67 m.



Kuva 4b. Oulunsalon lentokentän säähavaintoaseman vuorokausilämpötilat ja vuorokausisadannat (pylväät) vuoden 1986 kevättulvajakson aikana.



Kuva 5a. Vapaan pohjavedenpinnan korkeus tupoksen koekentän ojitusalueilla vuoden 1986 syystulvajakson aikana. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m; Alue 2: salaojitussyvyys 0,69 m; Alue 3: avo-ohitusyvyys 0,67 m.



Kuva 5b. Oulunsalon lentokentän säähavaintoaseman vuorokausilämpötilat ja vuorokausisadannat (pylväät) vuoden 1986 syystulvajakson aikana.

happamuutta vapautuu maaprofiilista ojitusten ansiosta syys-tulvajakson aikana enemmän kuin kevättulvajakson aikana.

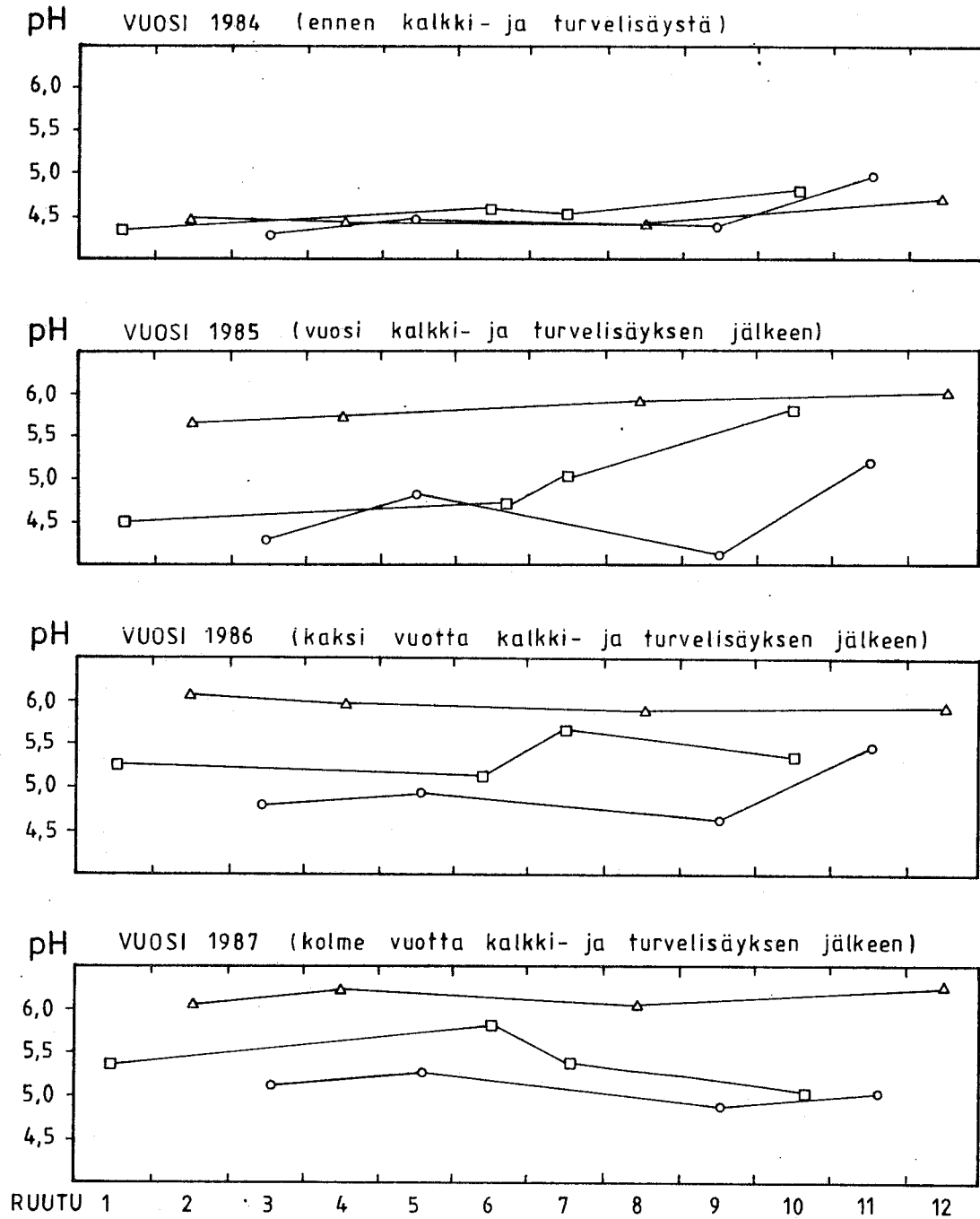
### 3.1.2 Koeruutujen tasalaatuisuus

Alueella 1, vuonna 1984, ennen kalkituksia- ja turvelisäyksiä, koeruutujen pintakerroksen pH vaihteli arvojen 4,30 ja 4,95 välillä. Matalimmat pH-arvot olivat lähimpänä laskuojaa olevissa ruuduissa (ruudut 1, 2 ja 3) ja korkeimmat arvot alueen pohjoisosan ruuduissa (ruudut 10, 11 ja 12). Vuonna 1985, vuosi käsittelyjen jälkeen, samanlaisen käsittelyn saaneiden ruutujen pH:t vaihtelivat alueen sisällä edellisen vuoden tavoin; Poikkeuksena tästä oli turvekäsittelyruutu 9, jonka pH oli rinnakkaisruutujen pH:ta huomattavasti alhaisempi. Vuosina 1986 ja 1987 systemaattista rinnakkaisruutujen pH-vaihtelua ei havaittu (kuva 6).

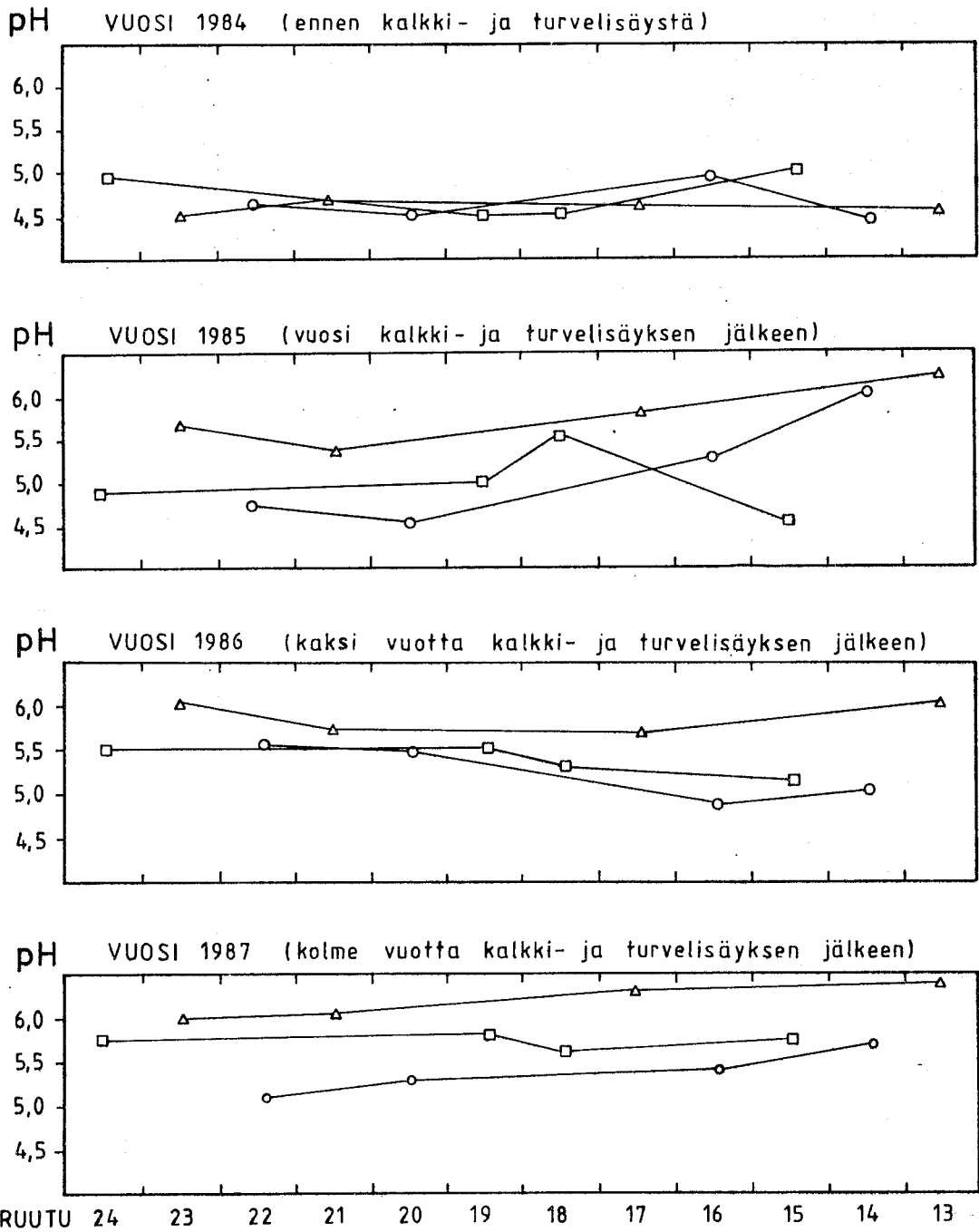
Alueella 2, vuonna 1984, koeruutujen pintakerroksen pH vaihteli arvojen 4,40 ja 4,95 välillä. Systemaattista pH-vaihtelua alueen sisällä ei todettu. Vuonna 1985 kalkitusten ja turvelisäysten jälkeen alueen pohjoisosan Ca<sup>2+</sup>- ja Tv-ruutujen (ruudut 14 ja 13) pH:t olivat eteläosien rinnakkaisruutujen pH-arvoja selvästi korkeammat, mutta alueen pohjoisimman Ca<sup>1</sup>-ruudun (ruutu 15) pH oli rinnakkaisruutuihin verrattuna alhaisin. Vuosina 1986 ja 1987 rinnakkaisruutujen pH-vaihtelu oli vähäistä (kuva 7).

Alueella 3, vuonna 1984, koeruutujen pintakerroksen pH vaihteli arvojen 4,55 ja 4,95 välillä siten, että nurkkaruutujen pH:t olivat muita rinnakkaisruutuja alhaisemmat. Vuonna 1985 Ca<sup>1</sup> ruutujen pH:t suurenivat ruudulta 26 ruudulle 31. Vuosina 1986 ja 1987 rinnakkaisruutujen pH-vaihtelu oli vähäistä (kuva 8).

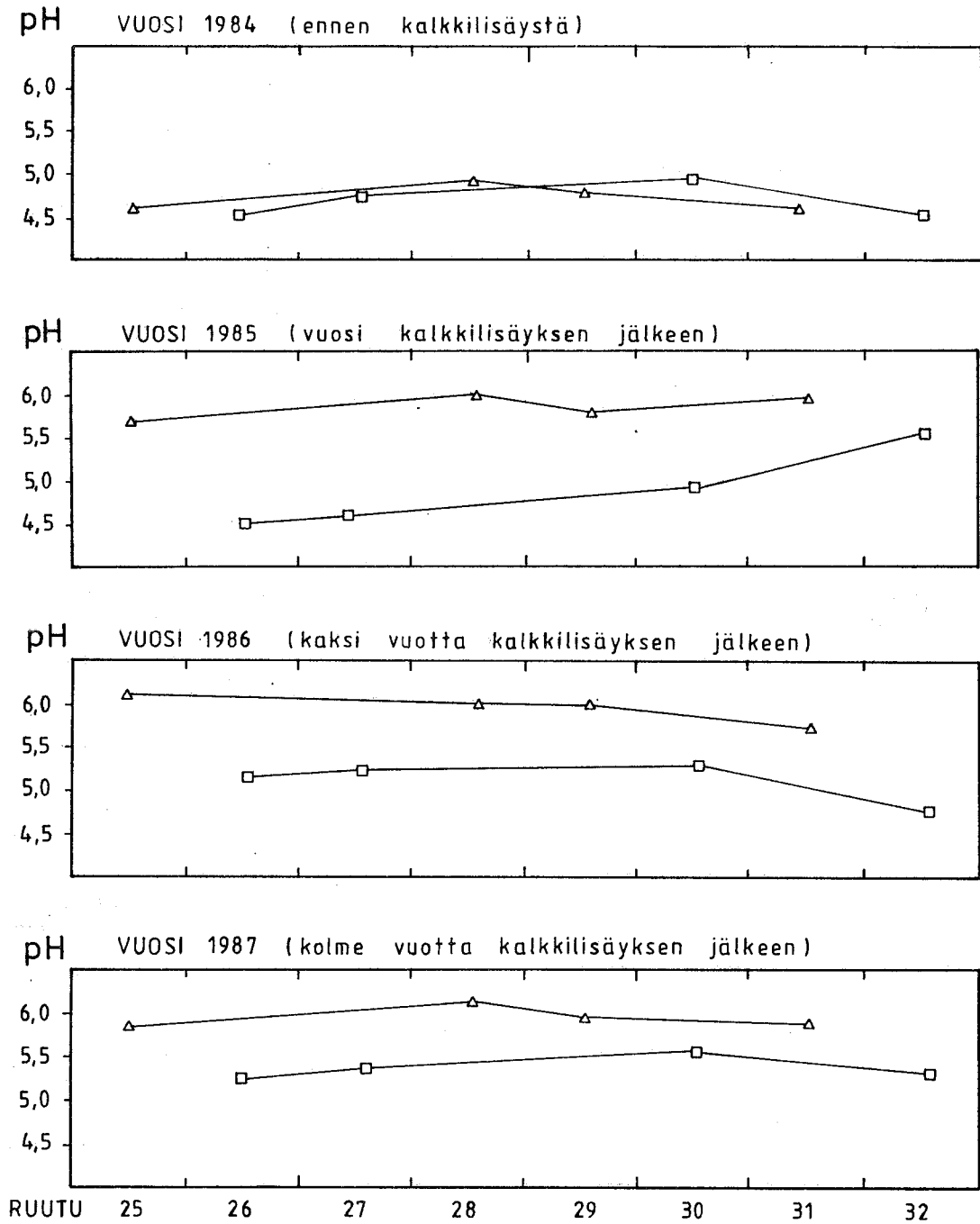
Kuivatusalueiden rinnakkaisruutujen tasalaatuisuutta tutkittiin pintakerroksen pH:n avulla, koska tämä parametri kuvaa parhaiten niin ojitusten kuin kalkitustenkin onnistumista alueilla. Alueiden luontaisen epätasaisuuden aiheuttama vaikutus tutkimustuloksiin saatiin suurimmaksi osaksi poistettua sijoittamalla eri käsittelyruudut toistensa lomiin. Rinnakkaisruutujen pintakerroksen poikkeavuudet eri kuivatusalueilla aiheutuivat kahtena ensimmäisenä koevuotena kentän rakentamisesta ja epätasaisesta kalkituksesta. Rakentamisesta aiheutuneet poikkeavuudet, erityisesti alueiden nurkkaruuduissa ja lähimpänä pumppaus- ja mittausasemaa sijaitsevassa ruudussa 9 tasaantuivat vuoteen 1986 mennessä. Epätasaisesta kalkituksesta alueilla 1 ja 2 seuraavat pH-poikkeamat tasaantuivat myöskin vuoteen 1986 mennessä.



Kuva 6. Tupoksen koekentän alueen 1 (ruudut 1 - 12, vrt. kuva 3) pintakerroksen pH-arvot vuosina 1984 - 1987; □ = Ca1 ruutu (kalkitus 15 t/ha); △ = Ca2 ruutu (kalkitus 30 tn/ha); ○ = Tv ruutu (kalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1000 m<sup>3</sup>/ha).



Kuva 7. Tupoksen koekentän alueen 2 (ruudut 24 - 13, vrt. kuva 3) pintakerroksen pH-arvot vuosina 1984 - 1987; □ = Ca1 ruutu (kalkitus 15 t/ha) ; △ = Ca 2 ruutu (kalkitus 30 t/ha) ; ○ = Tv ruutu (kalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1000 m<sup>3</sup>/ha).



Kuva 8. Tupoksen koekentän alueen 3 (ruudut 25 - 32, vrt. kuva 3) pintakerroksen pH-arvot vuosina 1984 - 1987; □ = Ca1 ruutu (kalkitus 15 t/ha); △ = Ca 2 ruutu (kalkitus 30 t/ha).



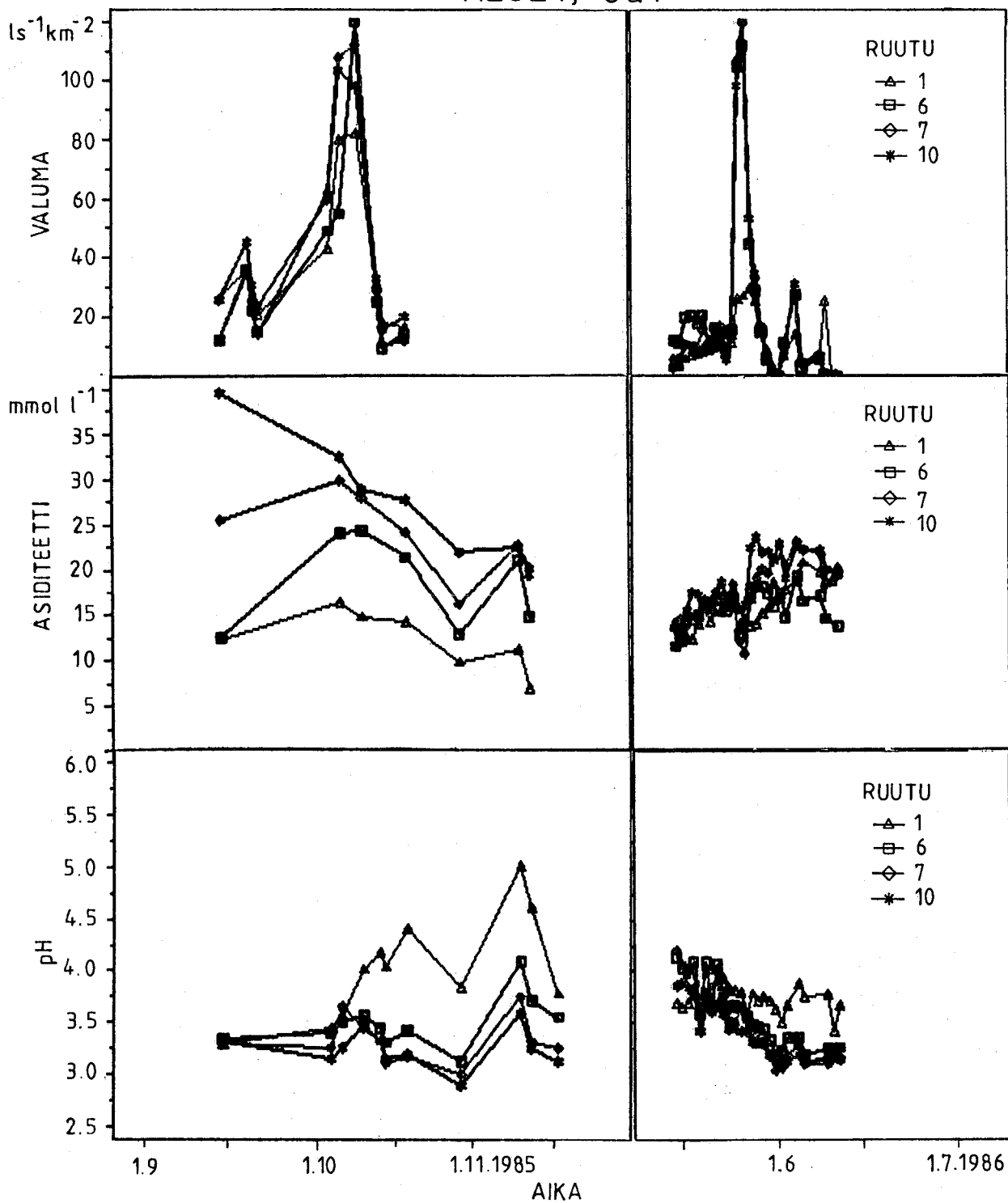
### 3.1.3 Koeruutujen valumavesien tasalaatuisuus

Alueen 1 peruskalkitusruudun 1 salaojavaluman pH oli koko seurannan ajan (syksy 1985 - syksy 1987) merkitsevästi rinnakkaisruutujen salaojavaluman pH:ta korkeampi (kuva 9a). Kaksinkertaisen kalkitusruudun 12 salaojavaluman asiditeetti oli merkitsevästi suurempi ja pH merkitsevästi alhaisempi kuin rinnakkaisruutujen vastaavat salaojavaluman asiditeetti- ja pH-arvot (kuva 10). Peruskalkitun ja turvelisäyksen saaneen ruudun 3 salaojavaluman pH oli merkitsevästi korkeampi kuin rinnakkaisruutujen vastaavat pH-arvot (kuva 11). Alueen 2 koeruutujen salaojavaluman asiditeettiarvot eivät poikenneet tilastollisesti merkitsevästi rinnakkaisruutujen asiditeettiarvoista syksyn 1986 ja kevään 1987 tulvaseurantojen aikana (kuva 12).

Alueen 3 koeruutujen avo-ojavaluman asiditeetti ja pH eivät poikenneet merkitsevästi rinnakkaisruutujen vastaavasta asiditeetistä kevään ja syksyn 1987 tulvaseurantojen aikana (kuva 13).

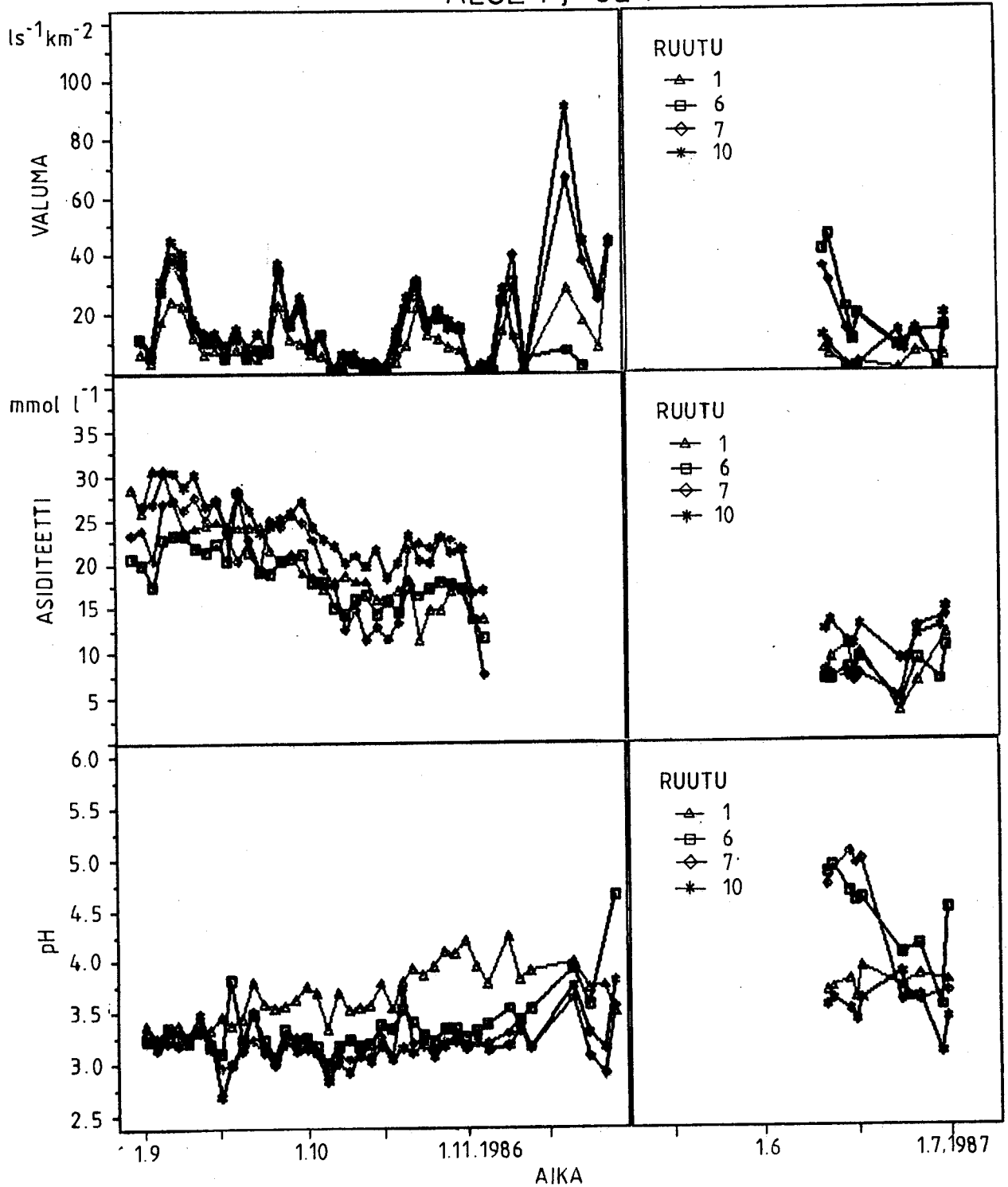
Alueen 1 nurkkaruutujen 1 ja 12 salaojavaluman happamuuspoikkeamat aiheutuivat mahdollisesti muita rinnakkaisruutuja tehokkaammasta ympärysojien kuivatusvaikutuksesta ja muita ruutuja tehokkaammasta happamuuden ohivirtauksesta. Turveruudun 3 salaojavesissä havaittiin pitkäaikainen kontaminaatio, johon mahdollisesti oli syynä epäonnistunut kalkitus tällä ruudulla. Edellämainitut kolme ruutua poistettiin salaojavaluman jatkotarkastelusta, joten käsittelyjen vaikutusta salaojavaluman laatuun alueella 1 tutkittiin ainoastaan kolmen rinnakkaisruudun keskiarvon avulla. Alueilla 2 ja 3 rinnakkaisruutujen salaojavaluman seurantaparametrit eivät poikenneet Wilcoxonin testin perusteella merkitsevästi toisistaan, joten näillä alueilla käsittelyjen vaikutusta salaojavaluman laatuun tutkittiin neljän rinnakkaisruudun keskiarvon avulla.

## ALUE1, Ca1

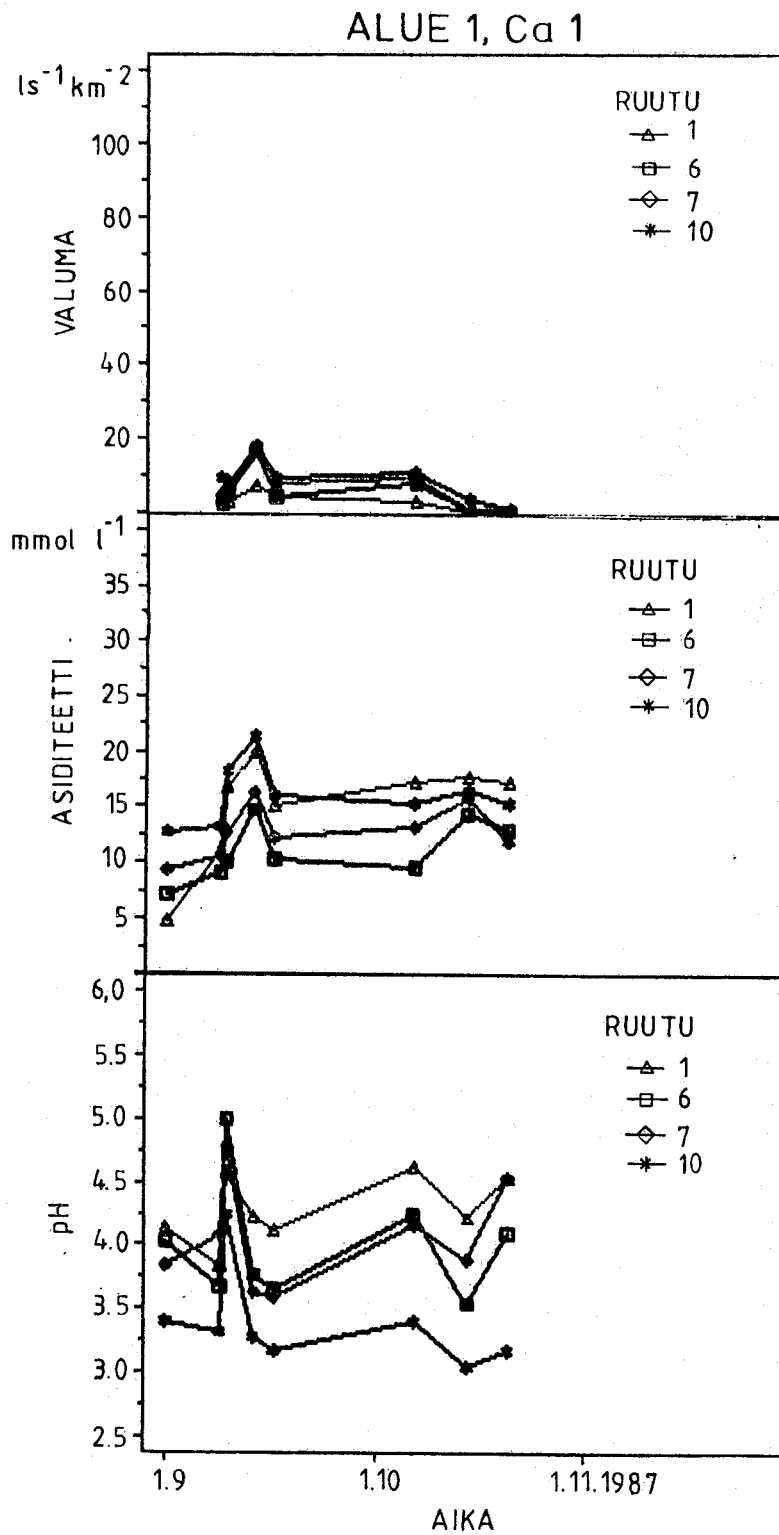


Kuva 9a. Tupoksen koekentän alueen 1 peruskalkitusruutujen (Ca 1) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1985 ja kevään 1986 tulvajaksojen aikana.

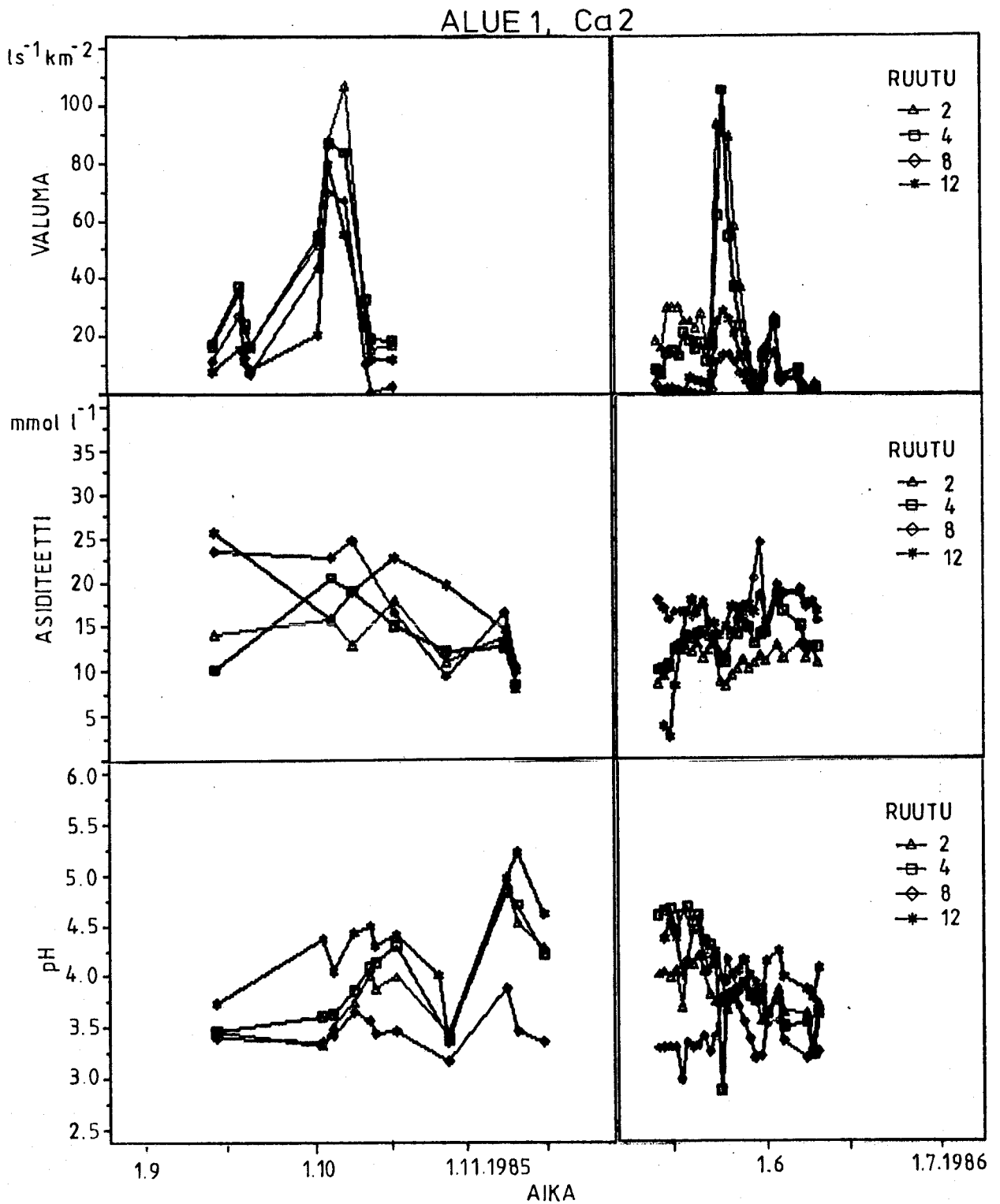
## ALUE 1, Ca 1



Kuva 9b. Tupoksen koekentän alueen 1 peruskalkitusruutujen (Ca 1) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1986 ja kevään 1987 tulvajaksojen aikana.

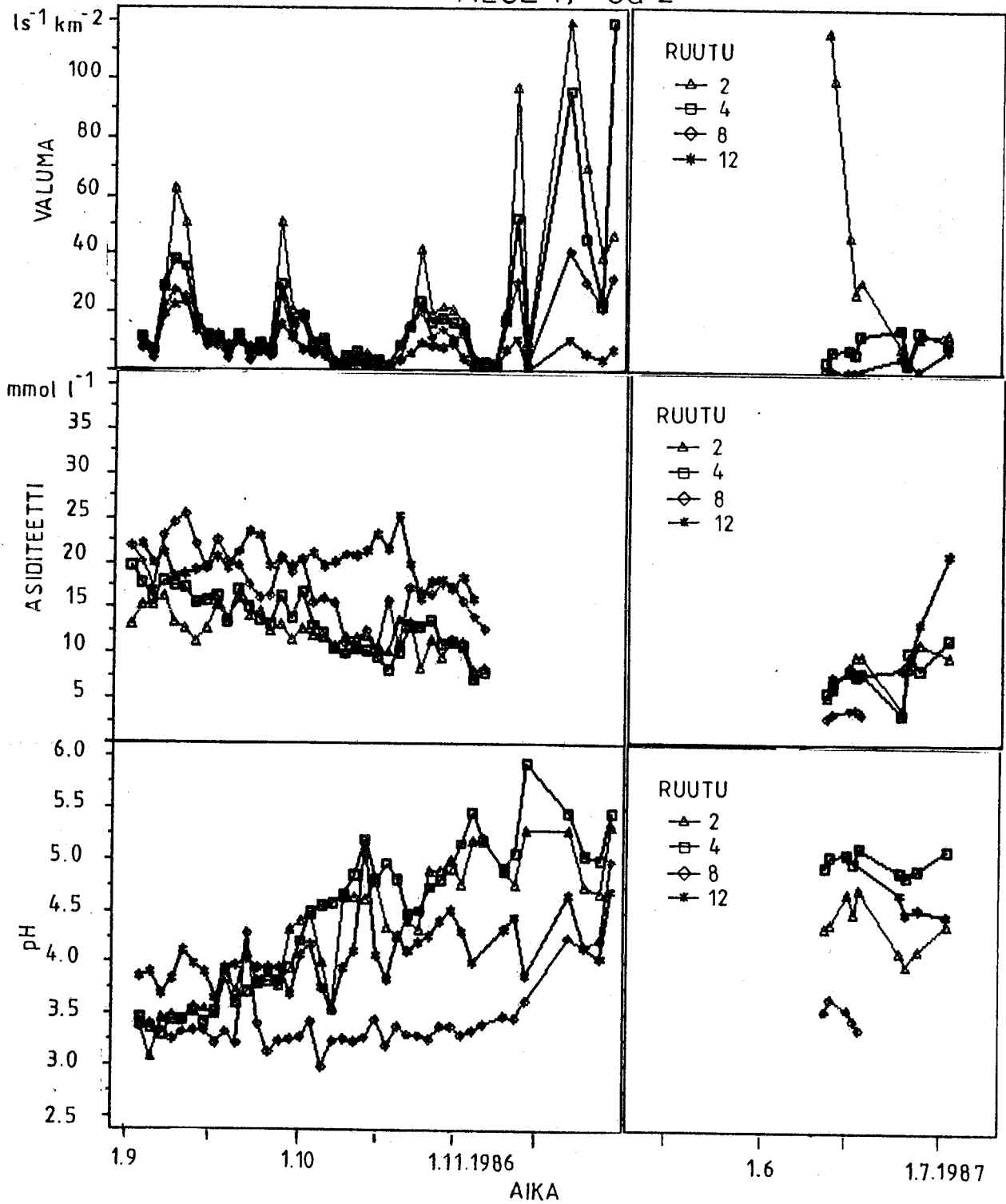


Kuva 9c. Tupoksen koekentän alueen 1 peruskalkitusruutujen (Ca 1) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1987 tulvajakson aikana.

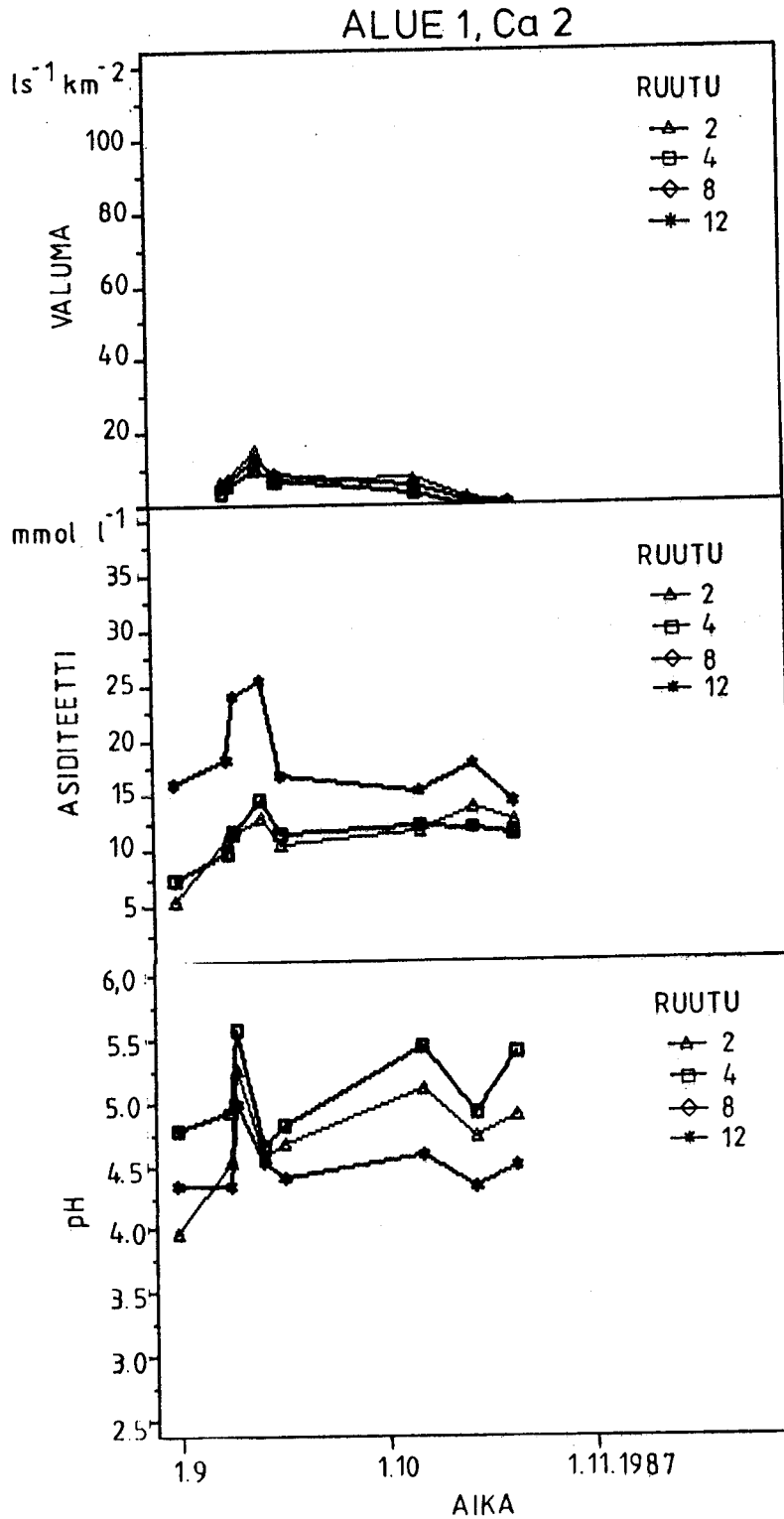


Kuva 10a. Tupoksen koekentän alueen 1 kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen (Ca 2) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1985 ja kevään 1986 tulvajaksojen aikana.

## ALUE 1, Ca 2

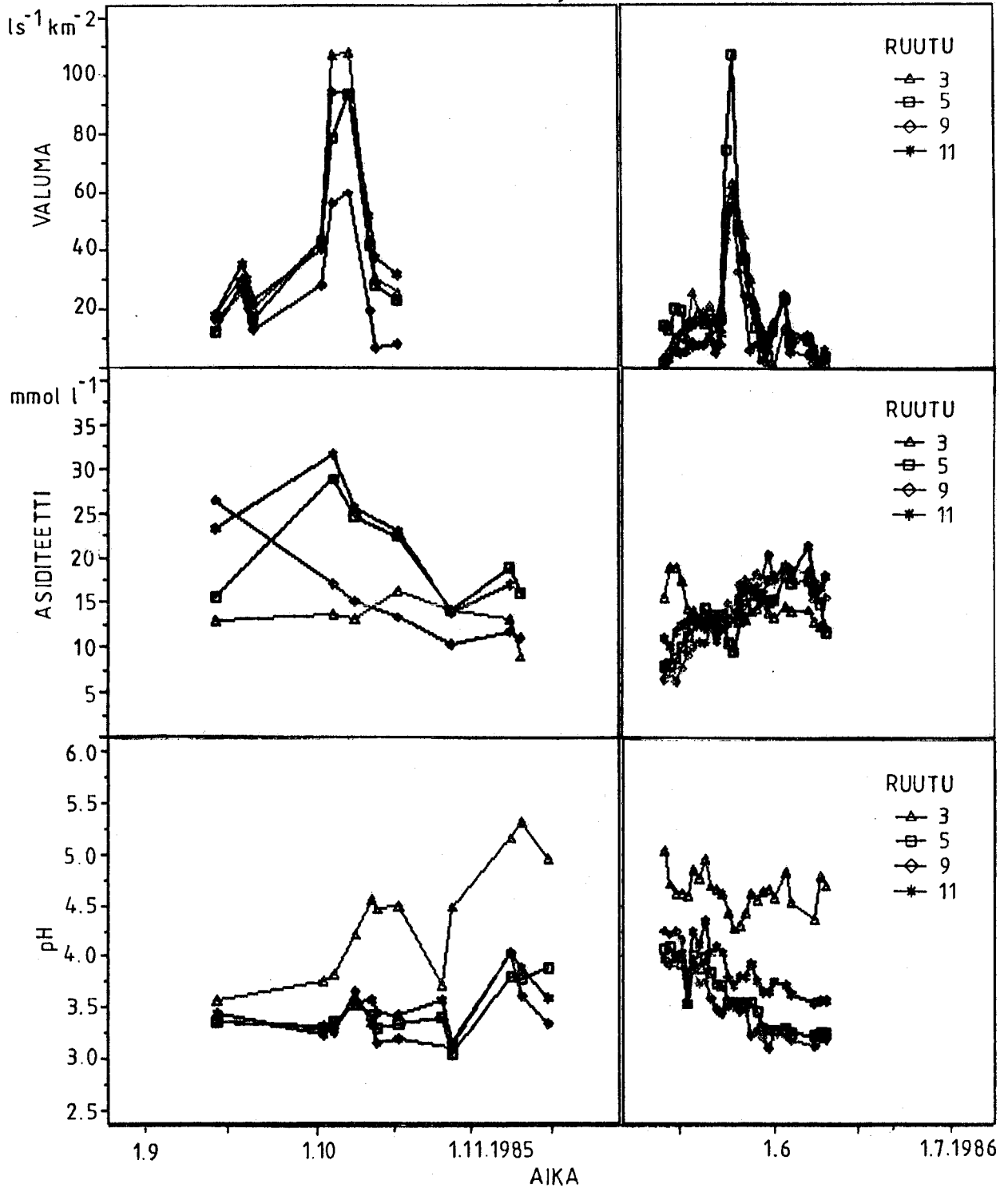


Kuva 10b. Tupoksen koekentän alueen 1 kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen (Ca 2) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1986 ja kevään 1987 tulvajaksojen aikana.



Kuva 10c. Tupoksen koekentän alueen 1 kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen (Ca 2) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1987 tulvajakson aikana.

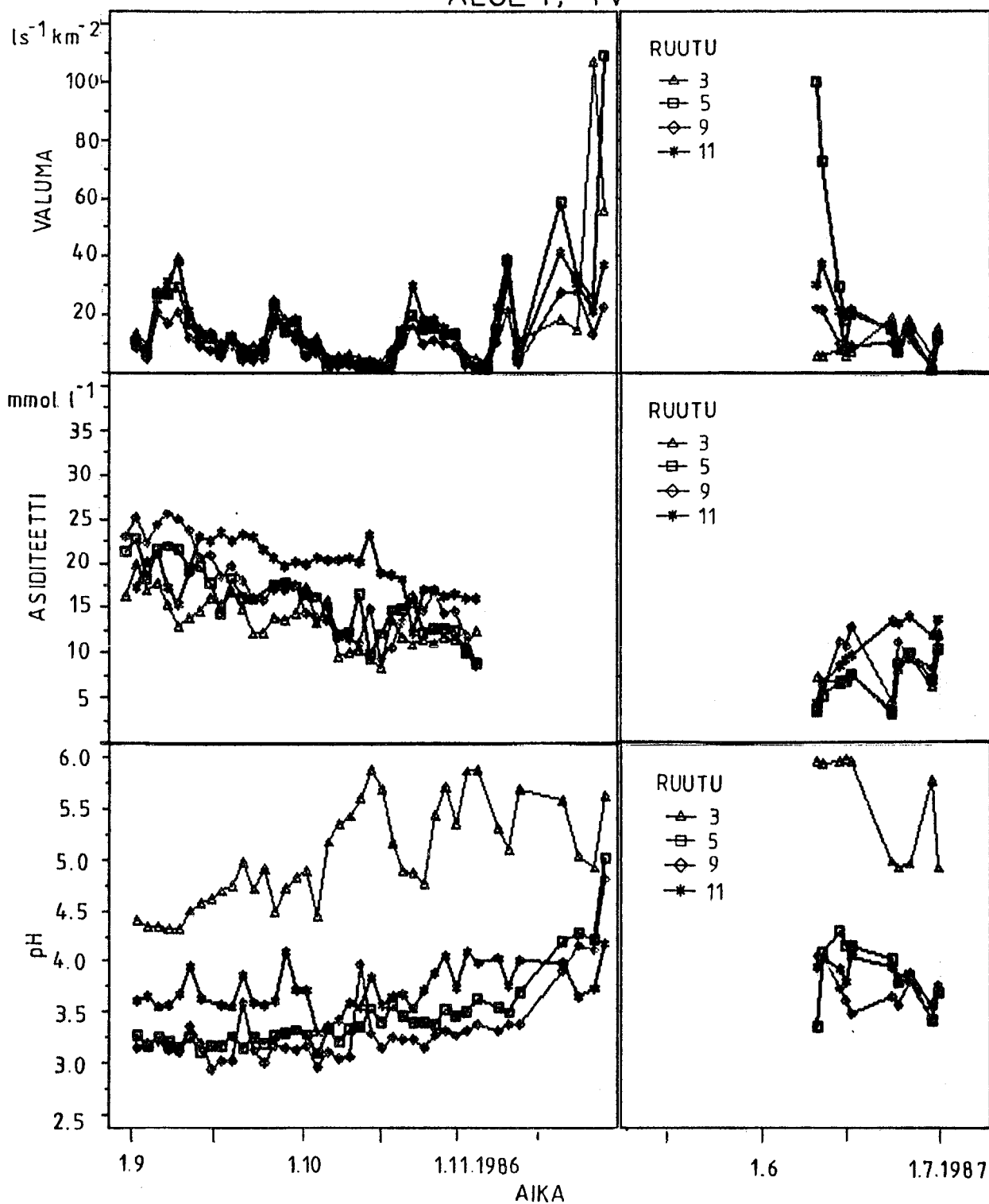
## ALUE 1, Tv



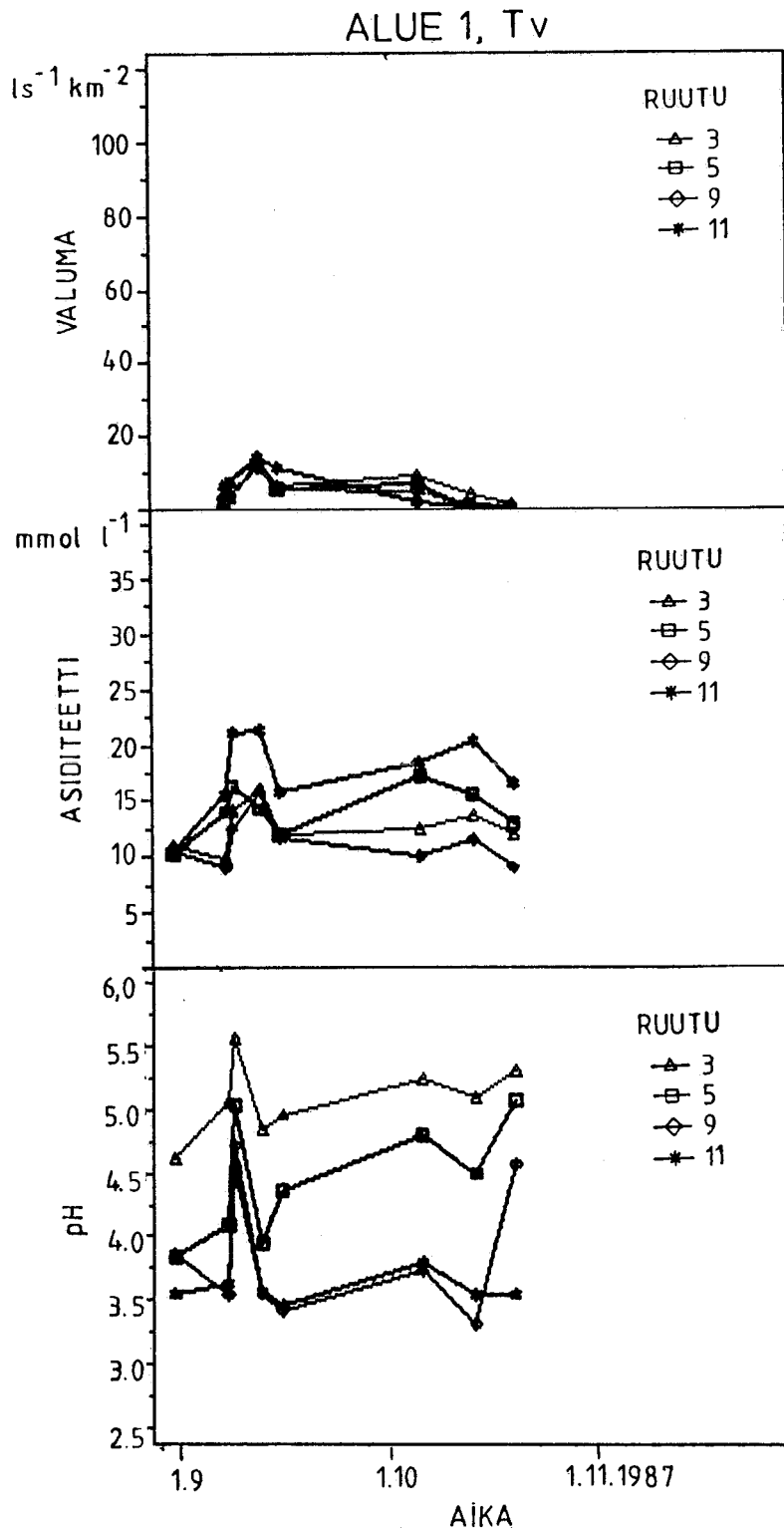
Kuva 11a. Tupoksen koekentän alueen 1 peruskalkituksen ja turvelisäyksen saaneiden ruutujen (Tv) salaojavaluman valu- ma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1985 ja kevään 1986 tulvajaksojen aikana.



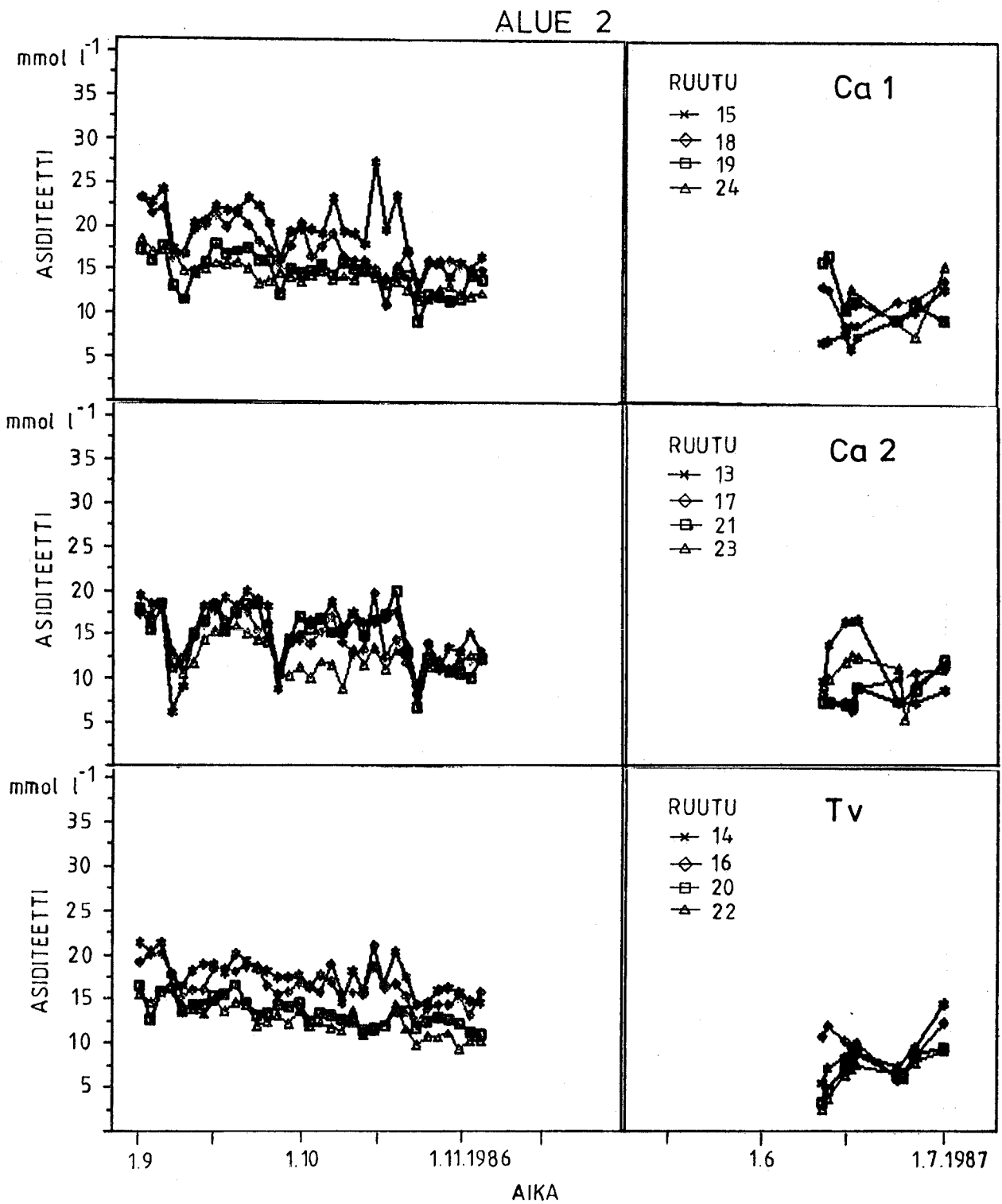
## ALUE 1, Tv



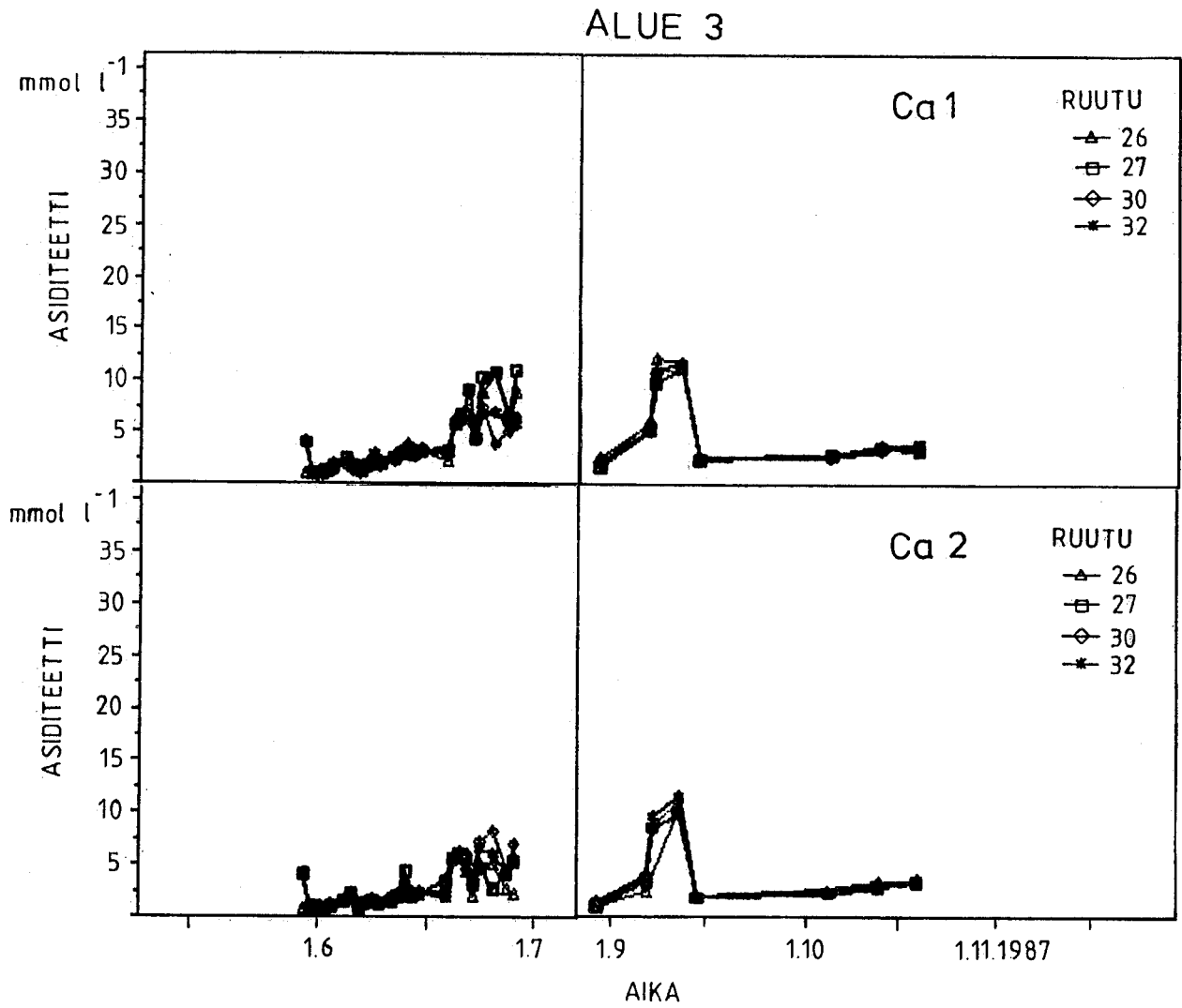
Kuva 11b. Tupoksen koekentän alueen 1 peruskalkituksen ja turvelisäyksen saaneiden ruutujen (Tv) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1986 ja kevään 1987 tulvajaksojen aikana.



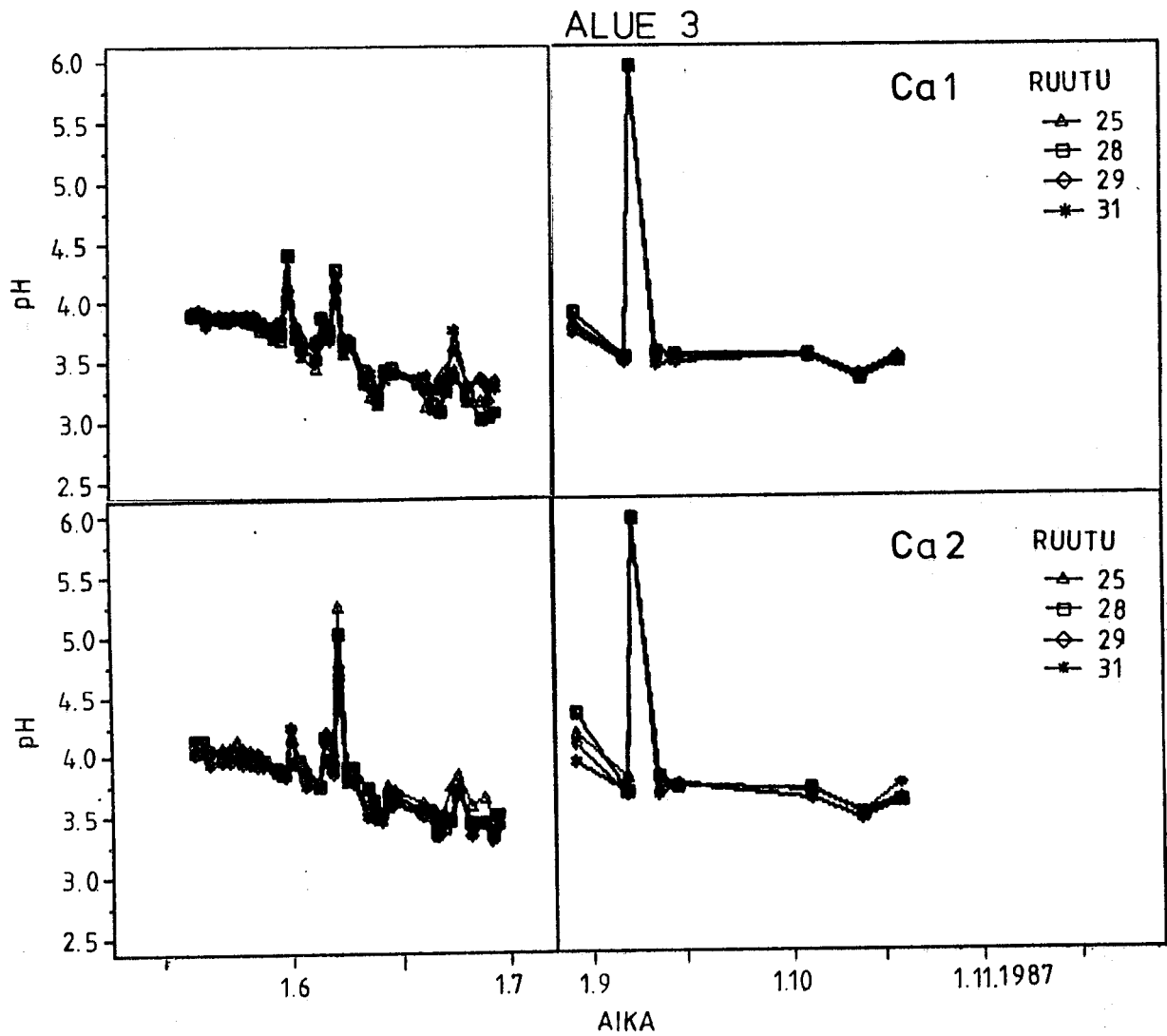
Kuva 11c. Tupoksen koekentän alueen 1 peruskalkituksen ja turvelisäyksen saaneiden ruutujen (Tv) salaojavaluman valuma-, asiditeetti- ja pH-arvot syksyn 1987 tulvajakson aikana.



Kuva 12. Tupoksen koekentän alueen 2 Ca 1- Ca 2- ja Tv-ruutujen salaojavaluman asiditeetti-arvot syksyn 1986 ja kevään 1987 tulvajaksojen aikana.



Kuva 13a. Tupoksen koekentän alueen 3 Ca 1- ja Ca 2-ruutujen salaojavaluman asiditeetti-arvot kevään 1987 ja syksyn 1987 tulvajaksojen aikana.



Kuva 13b. Tupoksen koekentän alueen 3 Ca 1- ja Ca 2-ruutujen salaojavaluman pH-arvot kevään 1987 ja syksyn 1987 tulvajaksojen aikana.

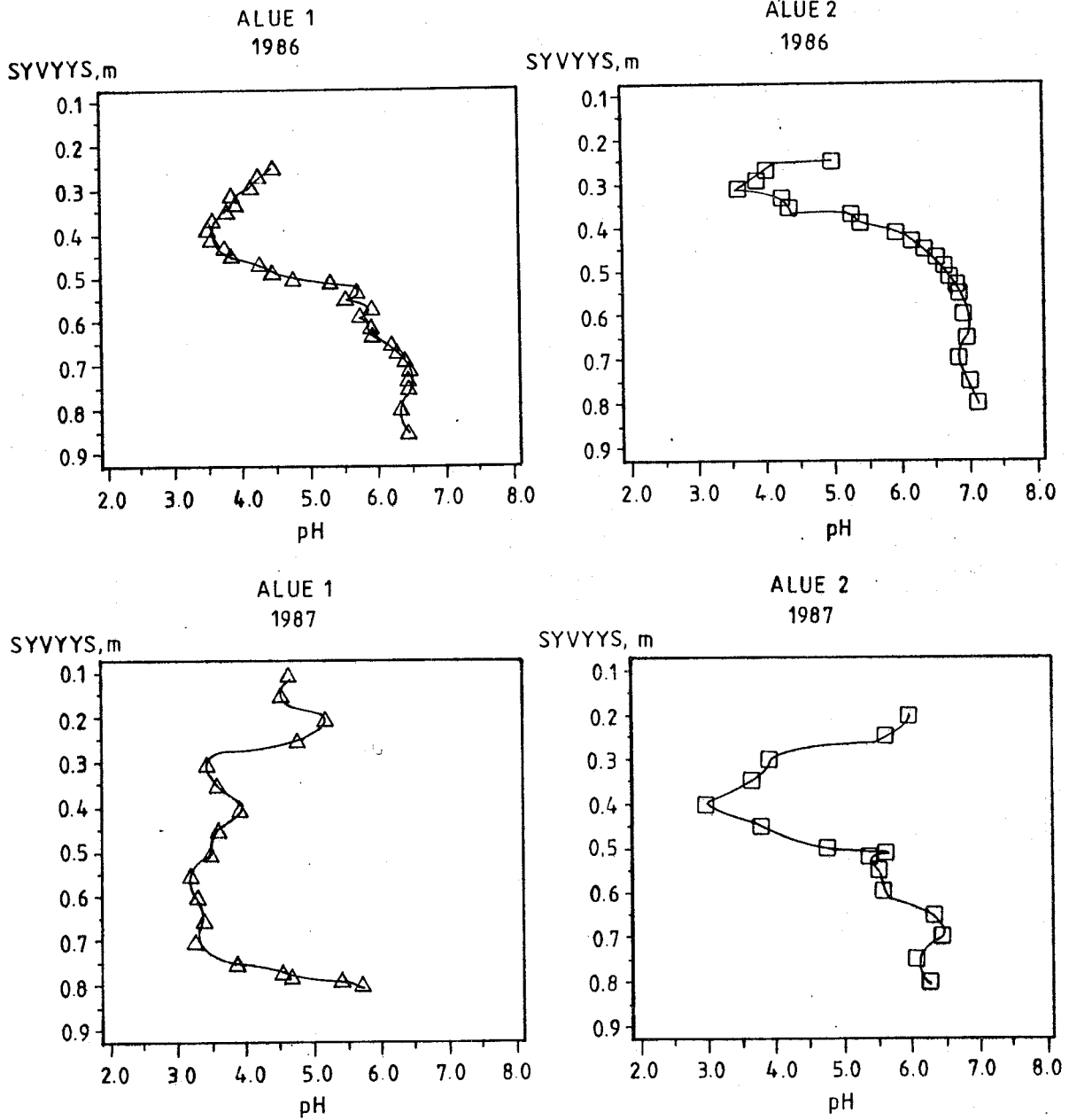
## 3.2. MAAPERÄN OMINAISUUDET

### 3.2.1 O j i t u s t e n v a i k u t u k s e t

#### 3.2.1.1 Salaojitusten vaikutukset maaprofiilin hapettumiseen

Tupoksen koealueen kuivatussyvyys ennen alueen ojittamista oli 0,30 m. Kaksi vuotta ojitusten jälkeen normaalisyvyyteen (1,10 m) salaojitetulla alueella (alue 1) kuivatussyvyys oli suurentunut 0,50 metriin ja kolmantena vuonna jo 0,79 metriin. Vastaavasti matalaan (0,69 m) salaojitetulla alueella (alue 2) kuivatussyvyys oli suurentunut kahden vuoden aikana 0,37 m:iin ja kolmantena vuonna 0,50 metriin (Kuva 14).

Salaojitus lisäsi maaprofiilin hapettumista kahden ensimmäisen vuoden aikana matalalla salaojitusalueella 7 cm ja normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella 20 cm. Profiilin hapettuminen eteni kolmannen vuoden aikana vastaavasti näillä ojitusalueilla 13 ja 29 cm. Todennäköisimpänä syynä profiilin hapettumisen voimakkaaseen nousuun kolmantena vuonna ojitusten jälkeen oli sulfideja hapettavien rikkibakteerien, lähinnä Thiobacillus ferro-oxidansin, aktivoituminen. Ilman T. ferro-oxidansin katalysoivaa vaikutusta rautasulfidit eivät hapetu loppuun sulfaateiksi ja ferriraudaksi, vaan jäävät alkuainerikiksi ja ferriraudaksi, jotka osaltaan estävät rautasulfidien hapettumista (Palko et al. 1985). Bakteerin aktivoitumista rajoittavat hapen alhainen osapaine, happamuus- ja kosteusolosuhteet sekä lämpötila (Palko et al. 1985). Profiilin kuivatustila aktivoi bakteeritoimintaa siten, että se mahdollistaa ilmakehän hapen pääsyn syvempiin maakerrokseen. T. ferro-oxidans suosii happamia olosuhteita, sen pH-optimalue on 2,0 - 3,5 (Breemen 1972). Koska ojituksen alussa koealueen maaprofiili ei ollut vielä happamoitunut, bakteeri ei ole voinut toimia. Ojituksen teho happamuuden vapauttajana ilmeni vasta kun ylemmät maakerrokset olivat aktivoineet bakteerin. Maan lämpötila on myös hyvin merkittävä tekijä T. ferro-oxidansin aktivoitumisessa ja samalla sulfidien hapettumisessa. Rasmussen (1961) totesi, että rautasulfidin hapettumisnopeudet 3 C:ssa ja 13 C:ssa olivat 20 % ja 60 % siitä mitä se oli 20 C:ssa. Suhteellisen lyhyt



Kuva 14. Kuivatussyvyys Tupoksen koalueen salaojitusalueilla kaksi vuotta (vuosi 1986) ja kolme vuotta (vuosi 1987) ojitusten jälkeen. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m; alue 2: salaojitussyvyys 0,69 m.

kesäaika ei ole pystynyt nostamaan maaprofiilin lämpötilaa riittävän korkealle, jotta bakteeri olisi aktivoitunut tehokkaasti. Ehkäpä juuri näiden syiden vuoksi koealueprofiilin hapettuminen tehostui vasta kolmantena vuonna ojitusten jälkeen. Maaprofiili oli hapettunut nopeasti, vaikka routa sulii koealueella aikaisempia vuosia myöhemmin ja vapaan pohjaveden pinta ei laskenut lähes koko kesäaikana salaojitus-syvyyden alapuolelle.

Hapettumiskerros etenee ojitetulla alueella vähitellen yhä syvemmälle määräten samalla kuivatussyvyyden, joka määritettiin maaprofiilin hapettuneen ja pelkistyneen kerroksen rajasyvyytenä profiilin pH-mittauksen avulla. Kuivatussyvyyden muutos kuvaa ojituksesta aiheutunutta maa-profiilin hapettumistehokkuutta happamalla sulfaattimaalla. Samalla muutos antaa viitteitä siitä, miten happamuuden vapautuminen on edennyt maaprofiilissa. Normaalin viljelyksessä olevan pelon kuivatussyvyys on yleensä 1,40 - 1,80 m (Palko et al. 1987). Tällaiseen kuivatustilanteeseen koealueen kaltaiselta aiemmin ojittamattomalta alueelta kuluu salaojitettuna aikaisempien maaperäkartoituskokemusten perusteella vähintään 10 vuotta. Salaojavesien patoaminen ja siitä aiheutunut keskimäärin 20 cm:n suuruinen ero tulva-ajan pohjavedenpinnan korkeuksissa (40 vs. 60 cm) hidasti kuivatussyvyyden etenemistä kuivatuksen alussa parilla vuodella. Oletettavasti ero pienenee vähitellen, kun kuivatussyvyys saavuttaa normaali-tason. Tällöin matalan salaojituksen vaatimat sulkuputkiratkaisut voidaan poistaa, jolloin salaojitukselle saadaan parempi teho ilman suuria hetkellisiä happamuuskuormitusriskejä.

### 3.2.1.2 Salaojitusten vaikutukset maan pintakerrosten ominaisuuksiin

Syksyllä 1984, yhden kuiva-ajan jälkeen ojituksista, maan pintakerroksen Mn-pitoisuus oli merkittävästi suurempi matalalla salaojitusalueella (alue 2) kuin normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella (alue 1).

Syksyllä 1985 alueen 2 pintakerroksen Mn- ja K-pitoisuudet olivat erittäin merkittävästi suuremmat ja rautapitoisuus oli merkittävästi suurempi kuin alueella 1, vastaavat pitoisuuserot olivat 77, 24 ja 32 %.

Syksyllä 1986 alueen 2 Mn- ja S-pitoisuudet olivat merkittävästi suuremmat kuin alueella 1, vastaavat pitoisuuserot olivat 42 ja 23 % (taulukko 1).



Maaprofiilin hapettumisen yhteydessä tai sen seurauksena maanesteeseen vapautuneet alkuaineet ovat kulkeutuneet kapillaariveden mukana maaprofiilin hapettumiskerroksesta pintakerrokseen. Kulkeutumistehokkuus on riippuvainen maaprofiilin hapettumisen voimakkuudesta, kesä- ja tulva-aikojen hydrologisista olosuhteista sekä maan huokosrakenteesta. Salaojituksen tehokkuus kohdistuu hapettumistehokkuuden muutoksen kautta myös ionien kulkeutumistehokkuuteen. Vuonna 1985, kahden kuiva-ajan jälkeen ojituksista, ionien pyrkimys konsentroitua matalalle salaojitettun alueen pintakerrokseen oli selvimmän havaittavissa. Tähän oli osaksi syynä kesän 1985 pitkä kuiva-aika, joka tehosti salaojituksen vaikutusta ja osaksi vähäsateinen syksy, jolloin alkuaineiden huuhtoutuminen pintakerroksista oli tehotonta.

Vaikka matalan salaojitusalueen rinnakkaisruutujen pH-keskiarvot olivat systemaattisesti korkeammat ja vastaavasti Ca- ja Mg-pitoisuudet olivat 20-40 % suuremmat kuin syvällä salaojitusalueella, erot eivät missään tapauksessa muodostuneet merkitseviksi. Tämä johtui näytteiden suuresta hajonnasta ja suhteellisen pienestä näytemäärästä. Sitä vastoin merkitsevät erot ennen kaikkea maaperän happamoitumisen yhteydessä vapautuneiden Mn-ionien pitoisuuksissa osoittivat, että kuivatusolosuhteet vaikuttavat ratkaisevasti liukoiseen Mn-pitoisuuteen happaman sulfaattimaaprofiilin ylemmissä kerroksissa. Happamuuden lisääntyessä ja pelkistyneiden olosuhteiden vallitessa (kun redokspotentiaali alenee) Mn:n liukoisuus lisääntyy kun  $Mn^{4+}$  ja  $Mn^{3+}$  pelkistyvät  $Mn^{2+}$ :ksi. Oletettavasti tämän vuoksi liukoisen Mn:n konsentroituminen on ollut selvästi suurempaa matalalla salaojitusalueella kuin normaalisyvyisellä salaojitusalueella.

Ojituksesta aiheutuneen rautasulfidien hapettumisen seurauksena maan hapettumiskerrokseen vapautuu runsaasti ferro- (Fe(II)) ja ferrirautaa (Fe(III)). Maaprofiilin redox-olosuhteet vaikuttavat myös rauta-ionien kulkeutumiseen siten, että mitä korkeammalle maaprofiilissa pelkistyneet olosuhteet ulottuvat, sitä tehokkaammin rauta-ionit pääsevät kulkeutumaan kapillaarivirtauksen mukana pellon pintakerrokseen. Rauta-ioneilla on mangaani-ioneihin verrattuna kuitenkin herkempi taipumus saostua redokspotentiaalinnousteissa. Tällöin rautaionit eivät nouse maan pintakerrokseen, vaan saostuvat erilaisina rautaoksideina ja mineralisoituvat vähitellen niukkaliukoisiksi yhdisteiksi maaprofiilissa.

Taulukko 1. Tupoksen koealueruutujen pintakerroksen pH:n ja tutkittujen alkuainepitoisuuksien keskiarvot vuosina 1984 - 1987 eri salaojitusalueilla. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m, Alue 2: salaojitussyvyys 0,69 m. Rinnakkaisten havaintojen lukumäärä on 12. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä, \*\* merkitsevä, \*\*\* erittäin merkitsevä.

| Vuosi 1984 | Alue 1 | Alue 2 | Erotus %     |
|------------|--------|--------|--------------|
| pH         | 4,58   | 4,65   |              |
| Ca mg/l    | 204    | 275    | +35*         |
| Mg mg/l    | 210    | 267    | +27*         |
| P mg/l     | 2,42   | 2,16   | -11          |
| K mg/l     | 65,4   | 74,2   | +13          |
| S mg/l     | 421    | 536    | +27          |
| Mn mg/l    | 21,1   | 29,6   | +40**        |
| Al mg/l    | 528    | 568    | +08          |
| Fe mg/l    | 577    | 562    | -03          |
| Vuosi 1985 | Alue 1 | Alue 2 | Erotus %     |
| pH         | 5,16   | 5,35   |              |
| Ca mg/l    | 483    | 693    | +43 (P=0,07) |
| Mg mg/l    | 285    | 398    | +40 (P=0,06) |
| P mg/l     | 1,80   | 2,08   | +16          |
| K mg/l     | 58,8   | 72,9   | +24***       |
| S mg/l     | 398    | 473    | +19          |
| Mn mg/l    | 15,8   | 28,0   | +77***       |
| Al mg/l    | 380    | 498    | +31*         |
| Fe mg/l    | 662    | 876    | +32**        |
| Vuosi 1986 | Alue 1 | Alue 2 | Erotus %     |
| pH         | 5,42   | 5,54   |              |
| Ca mg/l    | 565    | 712    | +26*         |
| Mg mg/l    | 293    | 343    | +17          |
| P mg/l     | 2,03   | 1,93   | -05          |
| K mg/l     | 66,0   | 71,3   | +08          |
| S mg/l     | 334    | 411    | +23**        |
| Mn mg/l    | 18,1   | 25,7   | +42**        |
| Al mg/l    | 374    | 381    | +02          |
| Fe mg/l    | 768    | 841    | +10          |
| Vuosi 1987 | Alue 1 | Alue 2 | Erotus %     |
| pH         | 5,56   | 5,81   |              |
| Ca mg/l    | 633    | 796    | +26*         |
| Mg mg/l    | 288    | 369    | +28*         |
| P mg/l     | 2,19   | 1,98   | -10          |
| K mg/l     | 71,1   | 80,2   | +13          |

### 3.2.1.3 Salaojitus verrattuna avo-ojitukseen

Maan pintakerrosten happamuus ja tutkitut alkuainepitoisuudet eivät eronneet merkitsevästi toisistaan Tupoksen koekentän salaojitusalueen (alue 1) ja avo-ojitusalueen (alue 3) välillä koko seurantajakson, vuosien 1984-1987, aikana (taulukko 2).

Maaprofiilin hapettuminen ja samalla happamien yhdisteiden vapautuminen on tehokkaampaa salaojitetulla alueella kuin avo-ojitetulla alueella. Happamat yhdisteet huuhtoutuvat pääasiassa suoraan maaprofiilista salaojavaluman kautta vesistöön. Sen sijaan pääosin avo-ojitusalueen happamista yhdisteistä kulkeutuvat ennen huuhtoutumistaan kapillaariveden mukana maan pintakerrokseen. Tulokset osoittavat, että ionien kulkeutuminen hapettumiskerroksesta maan pintakerrokseen ja niiden huuhtoutuminen maan pintakerroksista vesistöön on kokonaisvaikutukseltaan lähes samansuuruinen salaojitetulla ja avo-ojitetulla happamalla sulfaattimaalla. Tämän perusteella voidaan päätellä, että happamien sulfaattimaiden salaojitus ei huononna maan käyttöarvoa lisäämällä sen kalkitustarvetta viljelyn kannalta. Sen sijaan on ilmeistä, että salaojituksen avo-ojitusta suurempi ojitusteho tulee ottaa huomioon salaojitusalueen valumavesien suurempana neutralointitarpeena.

### 3.2.2 P e l t o k a l k i t u s t e n v a i k u - t u k s e t

#### 3.2.2.1 Kalkitusmäärän vaikutus maan pintakerrosten ominaisuuksiin

Vuonna 1984, ennen kalkituskäsittelyjä, pellon pintakerroksen pH sekä tutkitut alkuainepitoisuudet eivät eronneet merkitsevästi eri kalkituskoeruuduissa.

Taulukko 2. Tupoksen koealueruutujen pintakerroksen pH:n sekä tutkittujen alkuainepitoisuuksien keskiarvot vuosina 1984 - 1987 salaojitetulla ja avo-ojitetulla kuivatusalueella. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m. Alue 3: avo-ojitussyvyys 0,67 m. Rinnakkaisten havaintojen määrä on 8. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä.

| Vuosi 1984 | Alue 1 | Alue 3 | Erotus % |
|------------|--------|--------|----------|
| pH         | 4,58   | 4,72   |          |
| Ca mg/l    | 197    | 184    | -07      |
| Mg mg/l    | 212    | 265    | +25*     |
| P mg/l     | 2,51   | 2,28   | -09      |
| K mg/l     | 65,0   | 67,5   | +04      |
| S mg/l     | 373    | 510    | +37      |
| Mn mg/l    | 20,6   | 24,2   | +17      |
| Al mg/l    | 551    | 581    | +05      |
| Fe mg/l    | 513    | 447    | -13      |
| Vuosi 1985 | Alue 1 | Alue 3 | Erotus % |
| pH         | 5,45   | 5,39   |          |
| Ca mg/l    | 543    | 578    | +06      |
| Mg mg/l    | 316    | 352    | +11      |
| P mg/l     | 1,64   | 2,20   | +34      |
| K mg/l     | 58,1   | 63,8   | +10      |
| S mg/l     | 376    | 488    | +30*     |
| Mn mg/l    | 15,5   | 19,2   | +24*     |
| Al mg/l    | 374    | 406    | +09      |
| Fe mg/l    | 573    | 628    | +10      |
| Vuosi 1986 | Alue 1 | Alue 3 | Erotus % |
| pH         | 5,66   | 5,56   |          |
| Ca mg/l    | 624    | 672    | +08      |
| Mg mg/l    | 328    | 370    | +13      |
| P mg/l     | 2,08   | 1,68   | -19      |
| K mg/l     | 64,4   | 67,1   | +04      |
| S mg/l     | 340    | 413    | +21*     |
| Mn mg/l    | 19,2   | 22,2   | +06      |
| Al mg/l    | 363    | 330    | -09      |
| Fe mg/l    | 715    | 588    | -18*     |
| Vuosi 1987 | Alue 1 | Alue 3 | Erotus % |
| pH         | 5,78   | 5,66   |          |
| Ca mg/l    | 694    | 723    | +04      |
| Mg mg/l    | 318    | 391    | +23*     |
| P mg/l     | 2,04   | 2,34   | +15      |
| K mg/l     | 72,5   | 72,1   | -01      |

Vuonna 1985, vuosi kalkitusten jälkeen, pintakerroksen pH sekä Ca ja Mg pitoisuudet olivat erittäin merkitsevästi suuremmat kaksinkertaisen kalkituksen saaneissa ruuduissa (Ca<sup>2</sup>) kuin peruskalkituksen saaneissa ruuduissa (Ca<sup>1</sup>) (pH-keskiarvot olivat 5,81 vs. 5,01 sekä Ca- ja Mg-pitoisuuserot vastaavasti 99 % ja 75 %).

Vuonna 1986, kaksi vuotta kalkituksen jälkeen, edellämaintujen maaperäominaisuuksien erot olivat kuitenkin pienentyneet edellisestä vuodesta (pH-keskiarvot olivat 5,95 vs. 5,34 sekä Ca- ja Mg pitoisuuserot vastaavasti 55 % ja 45 %).

Vuonna 1987, kolme vuotta kalkituksen jälkeen, Ca<sup>2</sup> ja Ca<sup>1</sup> ruutujen väliset pintakerroksen pH-, Ca- ja Mg-erot olivat lähes samansuuruiset kuin edellisenä vuonna (pH-keskiarvot 6,18 vs. 5,54 ja Ca- ja Mg-pitoisuuserot olivat vastaavasti 53 % ja 51 %)(taulukko 3).

Kaksinkertaisen kalkituksen aiheuttama pH:n sekä Ca- ja Mg-pitoisuuksien suureneminen ovat luonnollisia muutoksia pellon pintakerroksessa. Vuosi kalkitusten jälkeen kaksinkertaisen kalkituksen saaneissa ruuduissa myös Ca-pitoisuus oli kaksinkertainen peruskalkitusruutujen Ca-pitoisuuteen verrattuna. Seuraavina vuosina eron suuruus laski puoleen tästä. Pienentynyt Ca-pitoisuusero vuodesta 1985 vuoteen 1986 aiheutui kalkin liukoisuuden huomattavasta suurenemisesta ja pitoisuuksien kohoamisesta maaperässä. Osa kalkin neutralointitehosta kului pintakerroksen ja välittömästi sen alapuolella olevien maaprofiilikerrosten sisältämien happamuustekijöiden neutraloitumiseen.

Huomionarvoista on lisäksi se, että maan pintakerrosten alumiinin ja raudan pitoisuudet eivät merkitsevästi pienentyneet kaksinkertaisen kalkituksen vaikutuksesta, vaikka yleisesti ottaen näiden alkuaineiden liukoisuus pienenee maaperässä pH:n noustessa. Syy tähän näyttäisi olevan siinä, että maaautoksissa käytetty AAAC-EDTA uuttoliuos uutti alkuainetarastoa, joka sisälsi alumiinin ja raudan eri hydrolyysivaiheissa olevat yhdisteet. Maaperän vaihtuvaa alkuainetarastoa mittaavan uuttomenetelmän käyttö olisi mahdollisesti tässä tapauksessa ollut nykyistä parempi uuttomenetelmä kalkitusten vaikutusten arvioinnissa.

Taulukko 3. Tupoksen koealueen pintakerroksen pH:n sekä tutkittujen alkuainepitoisuuksien keskiarvot vuosina 1984 - 1987 eri kalkitusruuduissa. Ca1: kalkitus 15 t/ha. Ca2: kalkitus 30 t/ha. Rinnakkaisten havaintojen lukumäärä on 16. Erotuksen merkitsevyys: \*\*\* erittäin merkitsevä.

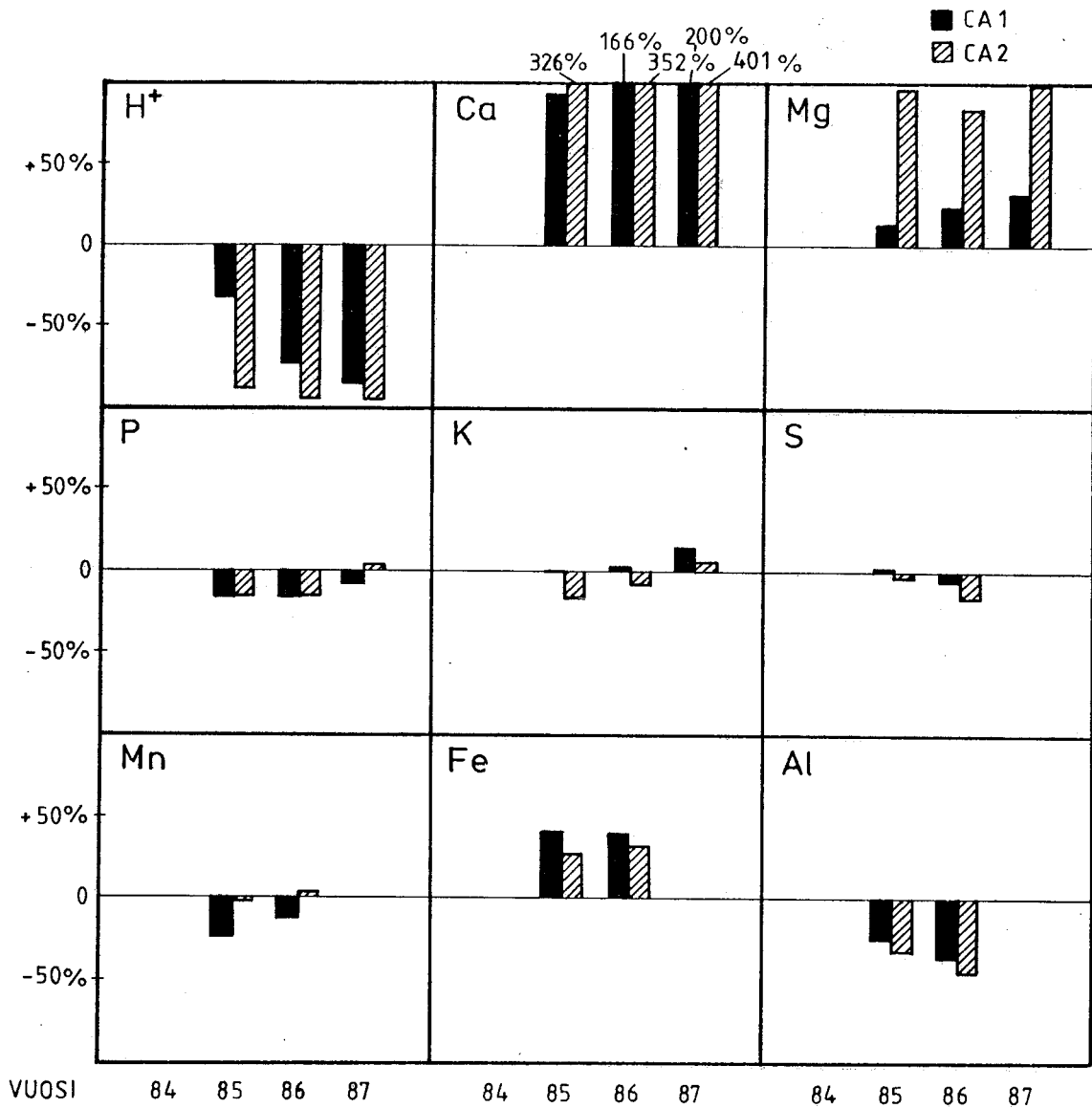
| Vuosi 1984 | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
|------------|------|------|----------|
| pH         | 4,71 | 4,66 |          |
| Ca mg/l    | 203  | 186  | -08      |
| Mg mg/l    | 226  | 223  | -01      |
| P mg/l     | 2,21 | 2,11 | -05      |
| K mg/l     | 65,3 | 71,3 | +09      |
| S mg/l     | 384  | 449  | +17      |
| Mn mg/l    | 23,2 | 22,7 | -02      |
| Al mg/l    | 563  | 603  | +07      |
| Fe mg/l    | 488  | 493  | +01      |
| Vuosi 1985 | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH         | 5,01 | 5,81 | ***      |
| Ca mg/l    | 398  | 792  | +99***   |
| Mg mg/l    | 252  | 441  | +75***   |
| P mg/l     | 1,82 | 1,73 | -05      |
| K mg/l     | 65,6 | 60,0 | -09      |
| S mg/l     | 389  | 435  | +12      |
| Mn mg/l    | 18,0 | 22,6 | +26      |
| Al mg/l    | 429  | 403  | -06      |
| Fe mg/l    | 686  | 633  | -08      |
| Vuosi 1986 | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH         | 5,34 | 5,95 | ***      |
| Ca mg/l    | 541  | 840  | +55***   |
| Mg mg/l    | 281  | 408  | +45***   |
| P mg/l     | 1,83 | 1,75 | -04      |
| K mg/l     | 67,3 | 66,4 | -01      |
| S mg/l     | 360  | 369  | +03      |
| Mn mg/l    | 19,6 | 23,9 | +22      |
| Al mg/l    | 370  | 334  | -10      |
| Fe mg/l    | 681  | 662  | -03      |
| Vuosi 1987 | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH         | 5,54 | 6,18 | ***      |
| Ca mg/l    | 610  | 931  | +53***   |
| Mg mg/l    | 295  | 445  | +51***   |
| P mg/l     | 2,02 | 2,13 | +05      |
| K mg/l     | 74,6 | 76,7 | +03      |

### 3.2.2.2 Kalkitusten pitkäaikaisvaikutukset

Tupoksen koekentän kalkitus lisäsi pintakerroksen Ca-, Mg- ja Fe-pitoisuuksia sekä vähensi H<sup>+</sup>-, P-, S-, Mn- ja Al-pitoisuuksia. Näistä H<sup>+</sup>-, Ca- ja Al-pitoisuuksien muutokset olivat erittäin merkitseviä (kuva 15).

Kalkitustehon vaikutus maaperään oli havaittavissa H<sup>+</sup>-pitoisuuden pienenemisenä: 15 t/ha:n peruskalkitus pienensi maan pintakerroksen H<sup>+</sup>-pitoisuutta ensimmäisen vuoden aikana noin 30 %, toisen vuoden aikana noin 40 % ja kolmannen vuoden aikana enään vain noin 10 %. Kaksinkertaisen kalkituksen H<sup>+</sup>-pitoisuutta pienentävä vaikutus ensimmäisen vuoden aikana oli 80 % ja tätä seuraavina vuosina vain muutaman prosentin. Ca-pitoisuuden suureneminen maan pintakerroksessa ilmentää myöskin kalkituksen vaikutusta: ensimmäisen vuoden jälkeen Ca-pitoisuus suureni peruskalkitusruuduissa lähes 100 % ja kaksinkertaisen kalkituksen ruuduissa yli 300 %, vastaavat nousut seuraavana vuonna olivat 36 ja 6 % ja edelleen vuonna 1987 11 ja 10 %. AAAC:n uuttuvan Ca:n pitoisuus ei suoranaisesti kuvaa kalkin neutralointitehoa, mutta se kuitenkin kuvastaa kalkin liukenemistä pellon pintakerroksessa. Ehkä realistisimmin kalkituksen tehoa kuvasi pintakerroksen Al-pitoisuuden pieneneminen havaintojaksojen aikana. Peruskalkitusruuduissa ensimmäisenä vuonna liukoinen Al-pitoisuus laski 24 % ja kaksinkertaisen kalkituksen ruuduissa 33 %, edelleen vuonna 1986 Al-pitoisuuden lasku vastaavissa koeruuduissa oli 14 ja 17 %.

Kalkitusvaikutuksen lisäksi pintakerroksen H<sup>+</sup>- sekä liukoiisiin Ca- ja Al-pitoisuuksiin vaikuttavat olennaisesti profiilin hapettumisen kautta vapautunut lisä ja huuhtoutumisen aiheuttama vähennys. Ionien pitoisuuskehitys osoittaa kuitenkin, että kalkituksen teho on suurentunut merkittävästi vielä kolme vuotta kalkituksen jälkeen kummallakin kalkitustasolla. Vasta kokeen jatkoseuranta antaa paremman kuvan peltokalkituksen pitkäaikaisvaikutuksista.



Kuva 15. Peltokalkituksen vaikutus Tupoksen koealueen pinta-kerroksen kemiallisiin ominaisuuksiin vuosina 1985 - 1987. Vuoden 1984 pitoisuuksia on pidetty vertailuarvoina. Ca1: kalkitus 15 t/ha; Ca2: 30 t/ha.



### 3.2.3 Turpeen lisäyksen vaikutukset maaperän ominaisuuksiin

Pintaturpeen lisäys ei muuttanut merkitsevästi maaperän kemiallisia ominaisuuksia koeruuduissa. Kuitenkin Tv-ruutujen fosforipitoisuus oli vuonna 1987 merkitsevästi suurempi kuin Ca1 ruutujen fosforipitoisuus, pitoisuusero oli 38 % (taulukko 4).

Turvelisäyksen aiheuttama lievä maan pH-arvoa alentava vaikutus aiheutui mahdollisesti turpeen suuresta kyvystä sitoa vetyioneja ja happamuutta kantavia hydrolysoituvia kationeja itseensä. Voidaan olettaa, että turvelisäyksen merkitys happaman huuhtouman pienenemiseen on siinä, että kalkin vaikutus saadaan pitempiaikaisesti kohdistumaan turpeeseen sitoutuneisiin happamuustekijöihin, jolloin ne neutraloituvat tehokkaammin jo maaperässä eivätkä huuhtoudu vesistöön. Ojitetusta happamasta sulfaattimaaprofiilista vapautuu sulfidisedimentin hapettumisen ja mineraalirakenteen kemiallisen rapautumisen seurauksena kuitenkin niin paljon ioneja, että turpeenlisäyksen vaikutukset maaperän kemiallisiin ominaisuuksiin eivät olleet merkitseviä.

## 3.3 VALUMAVESIEN OMINAISUUDET

### 3.3.1 Salaojavaluman happamuusvaihtelut

Keväällä 1986 Tupoksen koekentällä salaojavaluma kesti kuu-  
kauden (15.5 - 15.6.). Tänä aikana valuman asiditeetti nousi  
vähitellen 10:stä 18 meq l<sup>-1</sup>:aan (ka 14,8 meq l<sup>-1</sup>). Happamuuskuormitus vaihteli tänä aikana 20:stä 1150 meq km<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>  
:ssa (ka 256 meq km<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>)(kuva 16). Seurantajakson kokonais-  
happamuuskuormitus oli 0,63 milj.eq km<sup>-2</sup>.

Taulukko 4. Tupoksen koekentän pintakerroksen pH:n ja tutkittujen alkuainepitoisuuksien keskiarvot vuosina 1984 - 1987 Cal- ja Tv-ruuduissa. Cal: kalkitus 15 t/ha. Tv: kalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1 000 m<sup>3</sup>. Rinnakkaisten havaintojen lukumäärä 8. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä, \*\* merkitsevä.

| Vuosi 1984 | Cal  | Tv   | Erotus % |
|------------|------|------|----------|
| pH         | 4,68 | 4,60 |          |
| Ca mg/l    | 238  | 281  | +18      |
| Mg mg/l    | 243  | 249  | +02      |
| P mg/l     | 2,22 | 2,30 | +04      |
| K mg/l     | 65,6 | 69,4 | +06      |
| S mg/l     | 415  | 548  | +32      |
| Mn mg/l    | 26,7 | 26,2 | -02      |
| Al mg/l    | 523  | 515  | -02      |
| Fe mg/l    | 529  | 612  | +16      |
| Vuosi 1985 | Cal  | Tv   | Erotus % |
| pH         | 5,03 | 4,89 |          |
| Ca mg/l    | 438  | 481  | +10      |
| Mg mg/l    | 262  | 281  | +07      |
| P mg/l     | 1,71 | 2,20 | +29*     |
| K mg/l     | 70,0 | 65,0 | -07      |
| S mg/l     | 413  | 415  | +00      |
| Mn mg/l    | 20,4 | 20,9 | +02      |
| Al mg/l    | 452  | 462  | +02      |
| Fe mg/l    | 749  | 883  | +18      |
| Vuosi 1986 | Cal  | Tv   | Erotus % |
| pH         | 5,39 | 5,09 | *        |
| Ca mg/l    | 557  | 525  | -06      |
| Mg mg/l    | 261  | 283  | +08      |
| P mg/l     | 1,99 | 1,95 | -02      |
| K mg/l     | 70,5 | 67,4 | -04      |
| S mg/l     | 365  | 377  | +03      |
| Mn mg/l    | 21,5 | 18,9 | -12      |
| Al mg/l    | 388  | 396  | +02      |
| Fe mg/l    | 757  | 896  | +18      |
| Vuosi 1987 | Cal  | Tv   | Erotus % |
| pH         | 5,60 | 5,26 | *        |
| Ca mg/l    | 627  | 583  | -07      |
| Mg mg/l    | 290  | 258  | -11      |
| P mg/l     | 1,88 | 2,59 | +38**    |
| K mg/l     | 75,1 | 73,2 | -03      |

Keväällä 1987 salaojavalunta kesti noin 3 viikkoa (10.6.-2.7.). Tänä aikana valuman asiditeetti nousi vähitellen 8:sta 13 meq l<sup>-1</sup>:aan (ka 9,15 meq l<sup>-1</sup>), keskimääräinen happamuuskuormitus oli 139 meq km<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (kuva 16).

Syksyllä 1985 salaojavaluma alkoi 16.9. ja loppui 10.11., asiditeetin huippuarvo 23 meq l<sup>-1</sup> havaittiin noin kolme viikkoa valuman alkamisesta (10.10.), minkä jälkeen asiditeetti laski vähitellen tulvajakson loppua kohden arvoon 15 meq l<sup>-1</sup> (kuva 17).

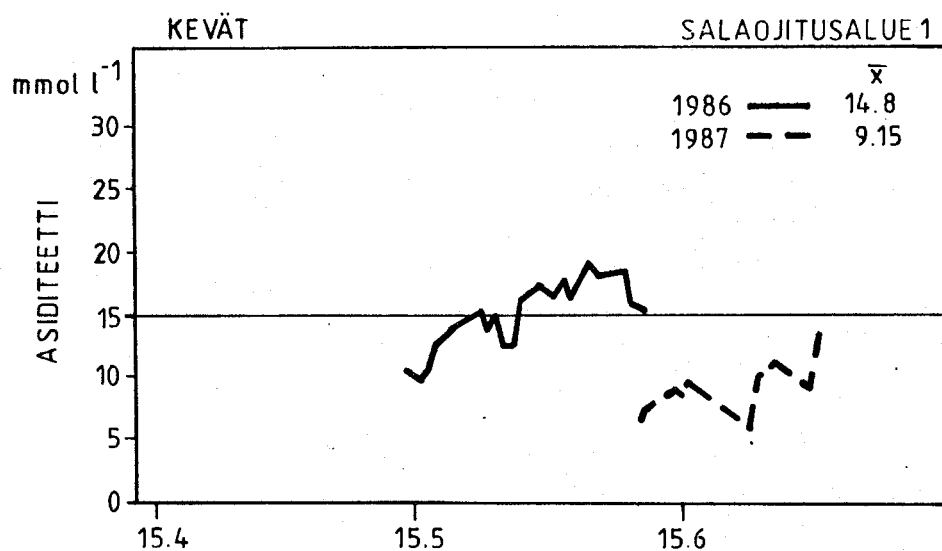
Syksyllä 1986 salaojavaluma alkoi 2.9. ja havainnointi lopetettiin 8.11. Jakson huippuarvo 22 meq l<sup>-1</sup> havaittiin tulvan alussa, minkä jälkeen asiditeetti laski vähitellen seurantajakson loppua kohden arvoon 11 meq l<sup>-1</sup>. Seurantajakson happamuuskuormitus vaihteli 50:stä 750 meq km<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>:ssa (ka 235 meq km<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup>) (kuva 17). Kokonaishappamuuskuormitus havaintojakson 3.9 - 3.11.1986 aikana oli 1,53 milj.eq km<sup>-2</sup>.

Syksyllä 1987 salaojavalumaseuranta aloitettiin 2.9. ja valuma loppui 20.10. Valuman asiditeetti oli lähes koko seurantajakson ajan pienempi kuin 15 meq l<sup>-1</sup>, jakson keskimääräinen happamuuskuormitus oli 90.6 meq km<sup>-2</sup>s<sup>-1</sup> (kuva 17).

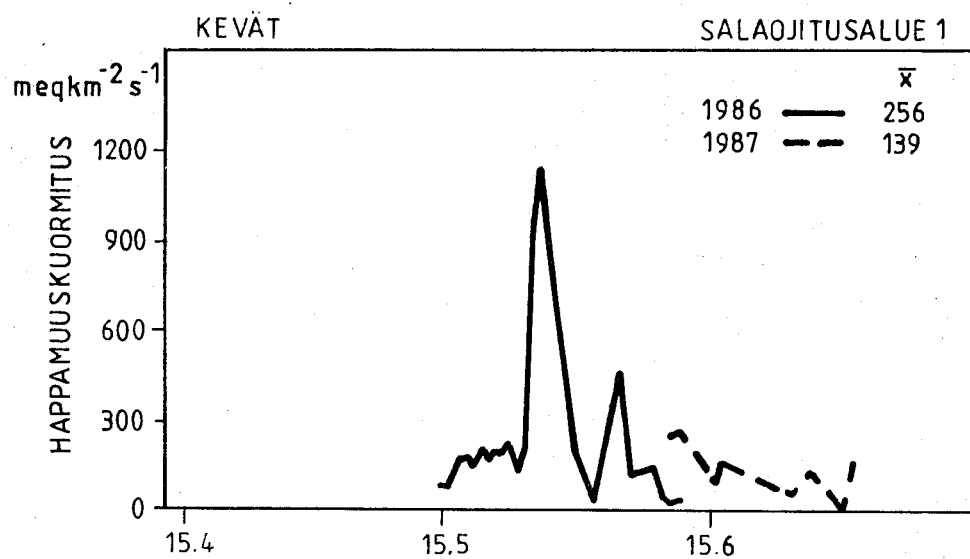
Tupoksen koekentän salaojitusalueen (F= 0,5 ha) valumavesien happamuus suureni keväällä ja pieneni syksyllä 30 - 50 % tulvan alusta vähitellen loppua kohden. Keväällä tulvahuippu laimensi hetkellisesti salaojavesien happamuutta, kun taas syksyllä salaojavaluman happamuus suureni valumahuipun aikana merkittävästi. Tupoksen täydennyskuivatusalueen (F= 26 km<sup>2</sup>) valumavesissä havaittiin vuoden 1986 seurantajakson aikana vastaavanlaiset tulvan vaiheistumiseen liittyvät happamuusvaihtelut kuin koekentällä. Kuivatusalueella valuman määrän vaihtelujen todettiin vaikuttavan kuitenkin valuman pH:n voimakkaammin kuin mitä tulvan vaiheistumisen aiheuttama happamuuden muutos vaikutti (Palko & Myllymaa 1987).

Kesän 1987 aikana maaperään vapautuneen happamuuden määrä oli muita vuosia huomattavasti pienempi, koska suotuisaa aikaa sulfidisedimentin hapettumiselle oli ollut tällöin vähän pitkälle kesään jatkuneen routajakson ja aikaisin alkaneen tulvajakson vaikutuksesta. Tästä syystä syksyn 1987 salaojavaluman happamuus oli muita vuosia alhaisempi. Syystulvan alussa samoin kuin tulvan lopussa vuosina 1985 ja 1986 salaojavaluman asiditeetti oli lähes samansuuruinen. Tämä

A

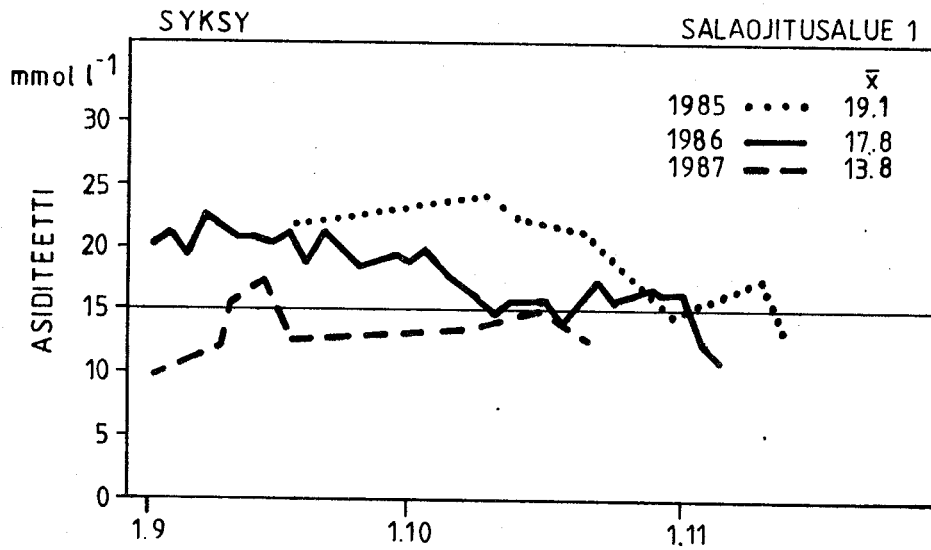


B

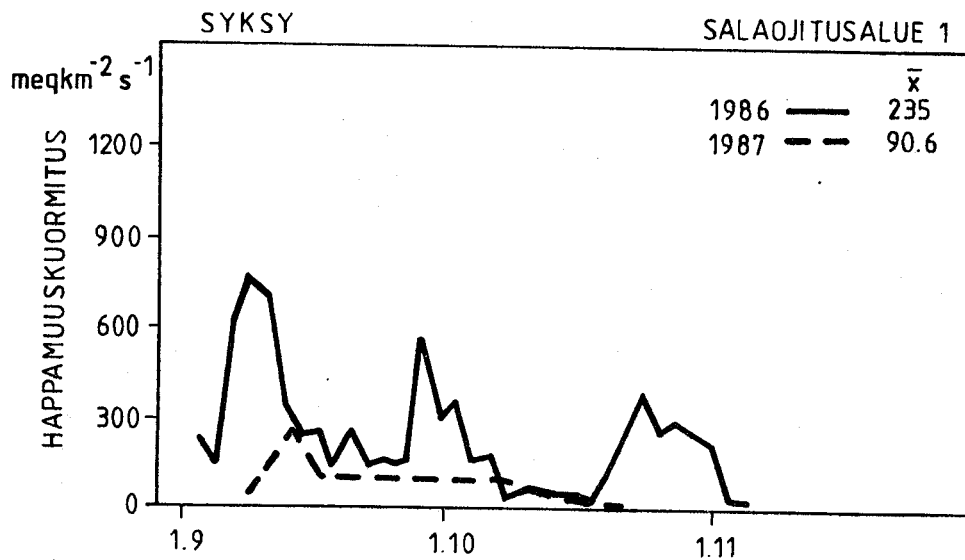


Kuva 16. Salaojavaluman asiditeetin (A) ja happamuuskuormituksen (B) vaihtelut kevään 1986 ja 1987 seurantajaksojen aikana Tupoksen huuhtoutumiskoekentällä.

A



B



Kuva 17. Salaojavaluman asiditeetin (A) ja happamuuskuormituksen (B) vaihtelut syksyn 1985, 1986 ja 1987 seurantajaksojen aikana Tupoksen huuhtoutumiskoekentällä.

osoittaa, että näiden tulvajaksojen alussa huuhtoutuvissa olevan happamuuden määrä on ollut kutakuinkin samansuuruinen ja että kesäaikana maaperään vapautuneen happamuuden määrä suhteessa tulva-aikana huuhtoutuneen happamuuden määrään on ollut tulvan lopussa lähes samansuuruinen.

Vuosi 1986 edusti kokonaisuutena hyvin normaalin kevään ja syksyn hydrologista tilannetta. Poikkeuksena syksyn normaalisuuteen olivat kuitenkin pitkään joulukuulle jatkuneet runsaat sateet, jolloin salaojavalumaseurannan päättyessä ainoastaan noin puolet syksyn kokonaisvalumasta oli huuhtoutunut. Tästä huolimatta kevään 1986 salaojavaluman kokonais-happamuuskuormitus oli vain noin kolmasosa syksyn seuranta-jakson kokonaishappamuuskuormituksesta.

Palko & Myllymaa (1988) tutkivat Tupoksen kylän täydennys-kuivatusalueella, miten happamien sulfaattimaiden suhteellinen osuus vaikuttaa tulva-ajan keskimääräiseen valumaveden asiditeettiin ja happamuuskuormitukseen kolmena kuivatusten jälkeisenä vuotena. Tutkimus tehtiin kolmella osa-alueella, joiden happamien sulfaattimaiden suhteelliset osuudet olivat 13, 63 ja 75 %. Osa-alueilla ei ollut salaojitettuja alueita. Tulokset osoittivat, että valuman happamuus suurenee lineaarisesti, kun happamien sulfaattimaiden suhteellinen osuus kasvaa ja että lineaarisen yhtälön kulmakerroin muuttuu kevättulvan ja syystulvan, samoin kuin eri vuosien hydrologisten olosuhteiden vaikutuksesta. Suhdeyhtälön mukaan 100 % happamia sulfaattimaita käsittävän salaojittamattoman kuivatusalueen asiditeetti keväällä 1986 olisi ollut keskimäärin  $4,0 \text{ meq l}^{-1}$ , mikä oli ainoastaan neljäsosa Tupoksen koekentän salaojavaluman keskimääräisestä asiditeetista. Syksyllä 1986 kuivatusalueen vastaava asiditeetti olisi ollut  $12 \text{ meq l}^{-1}$ , mikä oli noin puolet Tupoksen koekentän salaojavaluman keskimääräisestä asiditeetista. Vertailun perusteella voidaan päätellä, että yksittäisen happaman sulfaattimaa-alueen salaojitus tehostaa happamuuden vapautumista erikoisesti routatilanteeltaan suotuisan kevään aikana. Syksyllä, jolloin happamien sulfaattimaiden pintakerroksissa on runsaasti huuhtoutuvaa happamuusreserviä, salaojituksen vaikutus valumaveden happamuteen ei ole suhteessa niin merkittävä kuin keväällä.

### 3.3.2 O j i t u s t a v a n v a i k u t u s v a l u - m a v e d e n l a a t u u n

#### 3.3.2.1 Salaojitussyvyys

Keväällä 1986 matalan salaojitusalueen (alue 2) salaojavalunnan asiditeetti oli keskimäärin 42 % pienempi kuin normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella (alue 1). Salaojavaluman pH alueella 2 oli erittäin merkitsevästi korkeampi (4,13 vs. 3,72) ja sähkönjohtavuusarvo (EC) erittäin merkitsevästi alhaisempi (26 %) kuin alueella 1.

Syksyllä 1986 salaojavaluman asiditeetti alueella 2 oli keskimäärin 14 % pienempi kuin alueella 1. Vastaavasti salaojavaluman pH oli alueella 2 erittäin merkitsevästi korkeampi (4,00 vs 3,68), EC erittäin merkitsevästi alhaisempi (13 %) ja edelleen alumiinipitoisuus erittäin merkitsevästi alhaisempi (45 %) kuin alueella 1.

Keväällä 1987 salaojavesien ominaisuudet eivät eronneet merkitsevästi salaojitusalueilla toisistaan (taulukko 5).

Kevään 1986 salaojavaluman alkamisajankohta testattiin alueen 1 perusteella (Palko 1986b). Erilaisesta valuman vaiheistumisesta huolimatta kevään 1986 seurantatulokset osoittavat, että routatilanteeltaan normaalina keväänä matala salaojitus pienentää salaojavaluman happamuuskuormitusta lähes puolella normaalisyvyyteen salaojitukseen verrattuna. Sitä vastoin mitä pidemmälle keväeseen roudansulamien ajoittuu, sitä pienempi merkitys salaojitussyvyydellä on happamuuden vapautumiselle maaprofiilista.

Kesäajan jälkeen maaprofiili sisältää niin runsaasti huuhtoutuvaa happamuutta, että syksyn salaojavaluman suhteellinen happamuusero matalalla ja normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella ei ole niin suuri kuin keväällä. Matalan salaojituksen vaikutus happamuuden kokonaiskuormituksen pieneen normaalisyvyyteen salaojitukseen verrattuna vuoden 1986 syystulvan ja kevättulvan aikana oli lähes samansuuruisen, noin 0,25 milj.eq km<sup>-2</sup>, mikä vastasi noin 250 kg:n teoreettista kalkkilisäystä hehtaarille kummankin tulvajakson osalta.

Taulukko 5. Salaojitussyvyyden vaikutus valumaveden kemiallisiin ominaisuuksiin Tupoksen huuhtoutumiskoekentällä. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m; Alue 2: salaojitussyvyys 0,69 m, n = havaintokertojen lukumäärä. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

| Kevät 1986   | n  | Alue 1 | Alue 2 | Erotus % |
|--------------|----|--------|--------|----------|
| pH           | 25 | 3,72   | 4,13   | ***      |
| asid. mmol/l | 25 | 14,8   | 8,62   | -42***   |
| EC mS/m      | 26 | 681    | 501    | -26***   |

| Syksy 1986   | n  | Alue 1 | Alue 2 | Erotus % |
|--------------|----|--------|--------|----------|
| pH           | 40 | 3,68   | 4,00   | ***      |
| asid. mmol/l | 33 | 17,8   | 15,3   | -14***   |
| EC mS/m      | 40 | 734    | 636    | -13***   |
| Al mg/l      | 33 | 84,5   | 46,2   | -45***   |

| Kevät 1987   | n | Alue 1 | Alue 2 | Erotus % |
|--------------|---|--------|--------|----------|
| pH           | 9 | 4,21   | 4,24   |          |
| asid. mmol/l | 9 | 9,15   | 9,37   | +02      |
| EC mS/m      | 9 | 381    | 347    | -09*     |
| Al mg/l      | 6 | 20,9   | 16,9   | -19*     |

### 3.3.2.2 Salaojitus verrattuna avo-ojitukseen

Keväällä 1987 avo-ojitusalueen valumavesien asiditeetti oli keskimäärin 54 % alhaisempi ja sähkönjohtavuus (EC) keskimäärin 52 % alhaisempi kuin salaojavaluman asiditeetti, avo-ojavalunnan pH oli kuitenkin merkitsevästi salaojavaluman pH:ta alhaisempi (3,49 vs. 4,41).

Syksyllä 1987 avo-ojavaluman ja salaojavaluman asiditeetin ja sähkönjohtavuuden erot olivat edellisen kevään eroja suuremmat (vastaavat erot olivat 64 ja 59 %), mutta valumaveden pH oli näillä kuivatusalueilla lähes samansuuruinen. Avo-ojavaluman alumiinipitoisuus oli syystulvan aikana kuitenkin keskimäärin 48 % salaojavaluman alumiinipitoisuutta alhaisempi (taulukko 6).



Valumaveden pH ei ole luotettava mittaussuure salaojavaluman ja pintavesivaluman happamuuden verailussa. Tähän on osaksi syynä se, että pH ilmaisee ainoastaan vetyionien taseapainotilaa, mikä on riippuvainen näytteen suhteellisesta ionikoostumuksesta ja ionipitoisuudesta sekä osaksi siitä että happamien sulfaattimaiden valumavesien pH-mittaustulokseen vaikuttavat näytteenkäsittelyssä ja mittauksen suorittamisessa helposti syntyvät virheet (Palko & Myllymaa 1987). Happamien sulfaattimaiden salaojavedet sisältävät runsaasti happamuutta sitovaa ferrorauttaa. Valumaveden titraus emäksellä (asiditeettimääritys) on luotettava menetelmä kokonai-happamuuden määrittämiseen, koska tässä yhteydessä myös liukoisen ferroraudan sisältämä happamuus tulee huomioonotetuksi. PH-mittausarvon perusteella avo-ojavaluma suhteessa salaojavalumaan oli merkitsevästi happamampaa, mutta asiditeettimäärityksen perusteella avo-ojavesi sisälsi kuitenkin keskimäärin 54 % vähemmän happamuutta kuin salaojavesi. Pintavaluman ja salaojavaluman vertailussa alumiinipitoisuudella vaikutti olevan samansuuntainen indikaatiomerkitys kuin asiditeetillä.

Kevään 1987 salaojavaluman happamuuskuormitus oli keskimäärin 46 kertaa suurempi, ja syksyllä 1987 keskimäärin 100 kertaa suurempi kuin vastaavana aikana mitattu avo-ojavalman happamuuskuormitus. Hydrologiset olosuhteet vuonna 1987 olivat normaalivuodesta kuitenkin niin poikkeavat, että esitetyt suhdeluvut ovat liian korostuneita kuvaamaan salaojituksen ja avo-ojituksen välistä happamuuskuormitusta ojitetulla happamalla sulfaattimaalla. Edellistä paremmin näiden suhdetta kuvaa Palkon (1986b) havainto, että keväällä 1986 Tupoksen koekentällä alueen 1 pintavaluman happamuuskuormitus oli noin kymmenesosa vastaavan alueen salaojavaluman happamuuskuormituksesta. Edellämämainitun perusteella voidaan päätellä, että voimakasta happamuuden vapautumista voidaan pienentää huomattavasti, kun valitaan avo-ojitus salaojituksen sijasta aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattima-alueelle. Ojittamattoman happaman sulfaattimaan maaprofiilin happamuusreservit ovat niin suuret, että kun halutaan estää voimakkaat happamuusvaikutukset, salaojitus olisi syytä tehdä vasta vähintään 10 vuotta avo-ojituksen jälkeen. Tarkempi arvio edellämämainitusta aikavälistä saadaan kuitenkin vasta valumavesien ja maaperän pitkäaikaisseurannan toteuduttua Tupoksen koekentällä.

Taulukko 6. Tupoksen koekentän salaojitusalueen ja avo-ojitusalueen valumavesien kemialliset ominaisuudet keväällä 1987 ja syksyllä 1987. Alue 1: salaojitussyvyys 1,10 m; Alue 3: avo-ojitussyvyys 0,67 m, n = havaintokertojen lukumäärä. Erotuksen merkitsevyys: \*\* merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

| Kevät 1987   | n | Alue 1 | Alue 3 | Erotus % |
|--------------|---|--------|--------|----------|
| pH           | 9 | 4,41   | 3,49   | **       |
| asid. mmol/l | 9 | 9,26   | 4,25   | -54**    |
| EC mS/m      | 9 | 391    | 188    | -52**    |
| Syksy 1987   | n | Alue 1 | Alue 3 | Erotus % |
| pH           | 8 | 4,29   | 4,08   |          |
| asid. mmol/l | 8 | 13,8   | 4,93   | -64**    |
| EC mS/m      | 7 | 614    | 250    | -59**    |
| Al mg/l      | 8 | 26,2   | 13,7   | -48***   |

### 3.3.3 Peltokalkituksen vaikutus valumaveden laatuun

#### 3.3.3.1 Salaojitusalue

Syksyllä 1985 kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen (Ca<sub>2</sub>) salaojavaluman asiditeetti oli keskimäärin 35 % pienempi ja alumiinipitoisuus keskimäärin 38 % pienempi sekä pH erittäin merkitsevästi korkeampi (4,10 vs. 3,36) kuin peruskalkituksen saaneiden ruutujen (Ca<sub>1</sub>) vastaavat ominaisuudet. Keväällä 1986 Ca<sub>2</sub> ruutujen salaojavaluman asiditeetti oli keskimäärin 23 % pienempi ja pH erittäin merkitsevästi suurempi (3,99 vs. 3,52) kuin Ca<sub>1</sub> ruutujen vastaavat ominaisuudet.

Syksyllä 1985 Ca<sub>2</sub> ruutujen salaojavaluman asiditeetti oli keskimäärin 28 % pienempi, alumiinipitoisuus keskimäärin 43 % pienempi ja pH erittäin merkitsevästi suurempi (4,28 vs. 3,24) kuin Ca<sub>1</sub> ruuduilla.

Keväällä ja syksyllä 1987 Ca<sub>2</sub> ruutujen salaojavaluman keskimääräinen asiditeetti ei eronnut merkitsevästi Ca<sub>1</sub> ruutujen salaojavaluman asiditeetistä, mutta salaojavaluman alumiinipitoisuus Ca<sub>2</sub> ruuduissa oli keskimäärin 48 % alhaisempi ja

pH merkitsevästi korkeampi kuin  $Ca_1$  ruuduissa.  $Ca_2$  ja  $Ca_1$  ruutujen salaojavaluman sähkönjohtavuusarvot erosivat merkitsevästi toisistaan ainoastaan syksyllä 1986, jolloin seurantajakson havaintojen määrä oli huomattavan suuri. Kaksinkertaisen kalkituksen aiheuttama salaojavesien sähkönjohtavuusarvoa pienentävä vaikutus oli tällöin kuitenkin ainoastaan 5 % (taulukko 7).

Peltokalkituksen vaikutus kohdistuu ensisijaisesti maan pintakerrokseen ja siinä tapahtuviin kemiallisiin muutoksiin. Muutoksista tärkein on pintakerroksen pH:n nousu, joka hidastaa kemiallista rapautumista ja edistää aktiivisen alumiinin saostumista inaktiiviseen muotoon maan pintakerroksessa. Tämän seurauksena kalkitus pienentää suotovesien alumiinipitoisuutta ja asiditeettia. PH-nousu maaprofiilissa inaktivoi T. ferro-oxidans bakteeria, mistä on seurauksena sulfidisedimentin hapettumisen ja tätä kautta myös happamuuden vapautumisen hidastumisen maaprofiilissa. Mitä suurempi pintakalkitus on, sitä syvemmälle kalkin neutralointiteho ulottuu maaprofiilissa ja sitä suurempi vaikutus tällä on salaojavesien happamuuden pienentymiseen.

Kalkituseron näennäinen nopea pieneneminen vuodesta 1986 vuoteen 1987 on pääosin hydrologisten tekijöiden vaihtelun aiheuttamaa. Muuttuvissa hydrologisissa olosuhteissa salaojavaluman suhteellinen alumiinipitoisuus- ja pH-ero eri kalkitustasoruutujen kesken on pysynyt lähes samansuuruisena koko seurannan ajan, mikä viittaa siihen, että kalkituksen vaikutus suotovesien neutraloitumiseen on ollut suhteessa lähes samansuuruinen koko seurannan ajan. Maan pintakerroksen pH on noussut vähitellen kalkituksen ansiosta (taulukko 3), mikä viittaa siihen että kalkituksen teho kummallakin kalkitustasolla on riittänyt happamien hydrolysoituvien yhdisteiden neutraloimiseen, jolloin kalkin liukoisuuden asettamissa rajoissa sen teho on näkynyt myös valumavesien neutraloitumisena. Kaksinkertaisen kalkituksen välitön salaojavaluman happamuutta pienentävä vaikutus happamalla sulfaattimaalla oli noin 30 % peruskalkitukseen (15 t/ha) verrattuna. Vuoden 1986 aikana kaksinkertaisen kalkituksen teoreettinen vaikutus happamuuden kokonaiskuormituksen pienenemiseen peruskalkitukseen verrattuna, vastasi noin 1 000 kg:n hehtaarikalkitusta. Jos ajatellaan, että kaksinkertaisen kalkituksen vaikutus kestäisi neljä vuotta, sen teho olisi 25 - 30% sen teoreettisesta neutralointitehosta. Tarkempi peltokalkituksen pitkäaikaisvaikutuksen arvio edellyttää kuitenkin pidempiaikaista seurantaa kuin mihin tässä tutkimuksessa on ollut mahdollista.

Taulukko 7. Salaojavaluman kemialliset ominaisuudet Tupoksen koekentän alueen 1 kalkitusruuduissa. Ca1 ruudut: kalkitus 15 t/ha, Ca2 ruudut: kalkitus 30 t/ha. n = havaintokertojen lukumäärä. Erotuksen merkitsevyys: \*\* merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

| Syksy 1985   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
|--------------|----|------|------|----------|
| pH           | 11 | 3,36 | 4,10 | **       |
| asid. mmol/l | 7  | 23,2 | 15,2 | -35**    |
| EC mS/m      | 11 | 808  | 811  | +00      |
| Al mg/l      | 8  | 125  | 78   | -38**    |
| Kevät 1986   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH           | 25 | 3,52 | 3,99 | ***      |
| asid. mmol/l | 25 | 17,2 | 13,2 | -23***   |
| EC mS/m      | 25 | 695  | 703  | +01      |
| Syksy 1986   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH           | 40 | 3,24 | 4,28 | ***      |
| asid. mmol/l | 33 | 21,0 | 15,1 | -28***   |
| EC mS/m      | 40 | 759  | 718  | -05***   |
| Al mg/l      | 33 | 106  | 61   | -43***   |
| Kevät 1987   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH           | 9  | 4,12 | 4,70 | **       |
| asid. mmol/l | 9  | 9,48 | 8,94 | -06      |
| EC mS/m      | 9  | 415  | 426  | +03      |
| Al mg/l      | 6  | 24,3 | 12,6 | -48**    |
| Syksy 1987   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH           | 8  | 3,81 | 4,77 | **       |
| asid. mmol/l | 8  | 13,3 | 13,7 | +03      |
| EC mS/m      | 8  | 628  | 599  | -05      |
| Al mg/l      | 8  | 34,5 | 17,8 | -48***   |

## 3.3.3.2 Avo-ojitusalue

Keväällä 1987 kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen (Ca2) avo-ojavaluman keskimääräinen asiditeetti oli 26 % pienempi ja pH merkitsevästi suurempi (3,38 vs. 3,58) kuin peruskalkituksen saaneiden ruutujen (Ca1) vastaavat ominaisuudet.

Syksyllä 1987 Ca2 ruutujen avo-ojavaluman asiditeetti oli keskimäärin 18 % pienempi ja pH merkitsevästi suurempi kuin Ca1 ruutujen vastaavat ominaisuudet. Lisäksi syystulvajakson aikana avo-ojavaluman alumiinipitoisuus Ca 2 ruuduissa oli keskimäärin 24 % pienempi kuin Ca1 ruuduissa (taulukko 8).

Vaikka kaksinkertainen kalkitus vuonna 1987 ei havaittavasti pienentänyt salaojavaluman asiditeettia suhteessa peruskalkittujen ruutujen salaojavaluman asiditeettiin (taulukko 7), kaksinkertaisen kalkituksen avo-ojavaluman asiditeettia pienentävä vaikutus oli kuitenkin merkitsevä kahtena muuna vuonna. Sen sijaan Al-pitoisuus oli alempi kaikkina vuosina. Kappaleessa 2.2. todettiin, että kaksinkertainen kalkilisäys pienensi merkitsevästi liukoisen alumiinin pitoisuutta maan pintakerroksessa. Koska alumiini-ionit kantavat happamuuden maan pintakerroksista vesistöön (Palko & Myllymaa 1987), lisäkalkituksen aiheuttama hydrolysoituvien kationien saostava vaikutus on luonnollisesti selvemmin havaittavissa avo-ojavesien kuin salaojavesien happamuuden pienenemisenä.

Taulukko 8. Avo-ojavaluman kemialliset ominaisuudet Tupoksen koekentän alueen 3 kalkitusruuduissa. Ca1 ruudut: kalkitus 15 t/ha, Ca2 ruudut: kalkitus 30 t/ha. n = havaintokertojen lukumäärä. Erotuksen merkitsevyys: \*\* merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

| Kevät 1987   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
|--------------|----|------|------|----------|
| pH           | 16 | 3,36 | 3,58 | ***      |
| asid. mmol/l | 16 | 4,82 | 3,55 | -26***   |
| EC mS/m      | 16 | 178  | 159  | -11***   |
| Syksy 1987   | n  | Ca1  | Ca2  | Erotus % |
| pH           | 8  | 3,95 | 4,22 | **       |
| asid. mmol/l | 8  | 5,39 | 4,43 | -18**    |
| EC mS/m      | 7  | 255  | 245  | -04      |
| Al mg/l      | 8  | 15,6 | 11,8 | -24**    |

### 3.3.4 Turpeen lisäyksen vaikutus valumaveden laatuun

Syksyllä 1985 turveruutujen (Tv) keskimääräinen salaojavaluman asiditeetti oli 19 % ja alumiinipitoisuus 22 % pienempi kuin peruskalkituksen saaneiden ruutujen (Ca1) vastaavat ominaisuudet.

Keväällä 1986 Tv ruutujen salaojavaluman asiditeetti oli edellisen syksyn tavoin 19 % pienempi ja pH erittäin merkitsevästi korkeampi (3,52 vs. 3,67) kuin Ca1 ruutujen vastaavat ominaisuudet.

Syksyllä 1986 Tv ruutujen keskimääräinen salaojavaluman asiditeetti oli 18 % pienempi, alumiinipitoisuus 17 % pienempi ja pH erittäin merkitsevästi korkeampi (3,24 vs. 3,49) kuin Ca1 ruutujen salaojavaluman ominaisuudet. Syksyllä 1986, jolloin havaintojen määrä oli muihin seurantajaksoihin nähden poikkeuksellisen suuri, Tv ruutujen salaojavaluman sähkönjohtavuusarvo oli erittäin merkitsevästi Ca1 ruutujen sähkönjohtavuusarvoa pienempi, vaikkakin näiden ero oli keskimäärin vain 5 %.

Keväällä ja syksyllä 1987 Tv ruutujen salaojavaluman keskimääräinen asiditeetti samoin kuin alumiinipitoisuus eivät eronneet merkitsevästi Ca1 ruutujen vastaavista ominaisuuksista. Tästä huolimatta kevään 1987 Tv ruutujen salaojavaluman sähkönjohtavuus oli 11 % Ca1 ruutujen sähkönjohtavuusarvoa pienempi (taulukko 9).

Pintaturvekäsittely parantaa maan kuohkeutumista lisäämällä huokostilan osuutta maassa, mikä edistää kasvin juuriston tunkeutumista maahan etenkin ennestään vähän humusta sisältävillä mailla. Ojitusten yhteydessä syntyvien massojen kasvuunsaattamisessa on turpeenlisäyksellä tässä suhteessa erittäin merkittävä osuus. Koekentällä käytetyn pintaturpeen kationinvaihtokapasiteetti (CEC) oli korkea, 99,3 meq/100g, mistä syystä se pystyi sitomaan ojituksen seurauksena maan pintakerrokseen vapautuneita ioneja. Alumiini-ioneilla ( $Al^{3+}$ ) on yleensä suurempi adsorptiokyky maan ioninvaihtokohtiin kuin  $Ca^{2+}$  ja  $Mg^{2+}$  ioneilla (Frink 1972). Yksittäisen ionin adsorboitumisvoimakkuus ioninvaihtokohtiin määräytyy maanesteen ionipitoisuudesta siten, että pitoisuuden kasvaessa myös adsorptio kasvaa. Siis jos  $Al^{3+}$  ioneja on runsaasti maanesteessä, turvelisäys tehostaa niiden pidättäytymistä. Tupoksen koekentällä peruskalkituksen yhteydessä lisätyn turpeen välitön vaikutus salaojavaluman sähkönjohtavuuden pienemiseen oli noin 5 % ja alumiinipitoisuuden sekä happamuuden pienentymiseen noin 20 %.

Taulukko 9. Salaojavaluman kemialliset ominaisuudet Tupoksen koekentän osa-alueen 1 Cal ja Tv ruuduissa. Cal ruudut: kalkitus 15 t/ha, Tv ruudut: kalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1 000 m<sup>3</sup>/ha. n = havaintokertojen lukumäärä. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä; \*\* merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

| Syksy 1985   | n  | Cal  | Tv   | Erotus % |
|--------------|----|------|------|----------|
| pH           | 11 | 3,36 | 3,46 | *        |
| acid. mmol/l | 7  | 23,2 | 18,8 | -19**    |
| EC mS/m      | 11 | 808  | 837  | +04*     |
| Al mg/l      | 8  | 125  | 98   | -22**    |

| Kevät 1986   | n  | Cal  | Tv   | Erotus % |
|--------------|----|------|------|----------|
| pH           | 25 | 3,52 | 3,67 | ***      |
| acid. mmol/l | 25 | 17,2 | 14,0 | -19***   |
| EC mS/m      | 25 | 695  | 645  | -07***   |

| Syksy 1986   | n  | Cal  | Tv   | Erotus % |
|--------------|----|------|------|----------|
| pH           | 40 | 3,24 | 3,49 | ***      |
| acid. mmol/l | 33 | 21,0 | 17,3 | -18***   |
| EC mS/m      | 40 | 759  | 725  | -05***   |
| Al mg/l      | 33 | 106  | 88   | -17***   |

| Kevät 1987   | n | Cal  | Tv   | Erotus % |
|--------------|---|------|------|----------|
| pH           | 9 | 4,12 | 3,86 | *        |
| acid. mmol/l | 9 | 9,48 | 8,91 | -03      |
| EC mS/m      | 9 | 415  | 369  | -11**    |
| Al mg/l      | 6 | 24,3 | 24,5 | +01      |

| Syksy 1987   | n | Cal  | Tv   | Erotus % |
|--------------|---|------|------|----------|
| pH           | 8 | 3,81 | 4,00 | **       |
| acid. mmol/l | 8 | 13,3 | 14,3 | +08*     |
| EC mS/m      | 8 | 628  | 622  | -01      |
| Al mg/l      | 8 | 34,5 | 31,9 | -08      |

### 3.4 KAURAN SATOISUUS

Vuonna 1985 kauran keskimääräinen sato Tupoksen koealueella oli 2600 kg/ha. Normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella (alue 1) keskisato oli ojitusalueista kaikkein suurin (3020 kg/ha), matalalle salaojitetulla alueella (alue 2) keskisato oli tätä 16 % pienempi ja avo-ojitetulla alueella (alue 3) vastaavasti 30 % pienempi kuin alueella 1 (kuva 18).

Peruskalkituksen 15 t/ha saaneilla ruuduilla (Ca 1) vuonna 1985 keskisato oli 2600 kg/ha, kaksinkertaisen kalkituksen saaneilla ruuduilla (Ca 2) keskisato oli 15 % suurempi ja peruskalkituilla turvelisäyksen saaneilla ruuduilla (Tv) 8 % suurempi kuin Ca 1 ruuduilla (kuva 18).

Vuonna 1986 kauran keskimääräinen sato Tupoksen koealueruuduilla oli 1800 kg/ha. Alueen 1 keskisato oli ojitusalueista suurin (1870 kg/ha), alueella 2 keskisato oli 3 % pienempi ja alueella 3 vastaavasti 5 % pienempi kuin alueella 1. Peruskalkittujen ja kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen keskisadot olivat vuonna 1986 yhtä suuret (1920 kg/ha), kun Tv-ruutujen keskisato oli 22 % näiden ruutujen keskisatoa pienempi (kuva 18).

Kauran satoisuus Tupoksen koealueella vaihteli tutkimusvuosien välillä huomattavasti kasvuajan pituuden ja kosteusolojen mukaan. Vuosi 1985 oli Tupoksen kylän alueella yleisesti hyvä satovuosi, jolloin myös koealueelta saatiin kohtuullisen hyvä kaurasato. Vuonna 1986 koealueen keskisato oli noin 30 % edellisen vuoden satoa pienempi ja vuonna 1987 myöhäisen kevään ja sateisen kesän vuoksi kauran jyvä ei ehtinyt kehittyä, mistä syystä vilja jäi tuolloin korjaamatta.

Satotulokset osoittivat, että ojitustehon vaikutukset näkyvät sadon määrässä hyvinä satovuosina, jolloin tehokas kuivatus edisti orastusajan lyhenemistä. Wäre (1947) totesi Maasojan kenttäkokeiden perusteella, että kuivina vuosina kaura tulee röyhylle normaalia aikaisemmin ja että korkean pohjaveden aiheuttama röyhylletulon myöhästymisen on tällöin keskimääräistä suurempi. Pohjaveden patoaminen kesäkuun ajaksi 20 cm:n syvyydelle myöhästyi turve- ja savimailloja kauran röyhylletuloa keskimäärin kolme päivää, sama aikaero oli todettavissa vielä kauran valmistumisessa (Wäre 1947). Mahdollisesti aikainen roudan sulaminen keväällä 1985 suurensi salaojituksen kuivatustehoa avo-ojitukseen verrattuna, mikä oli havaittavissa vuoden 1985 satotuloksissa. Jos ajatellaan, että kylvön myöhästymisen pienentää kevätiljojen satoja 100 - 200 kg/pv (Larpes 1979), niin salaojituksen



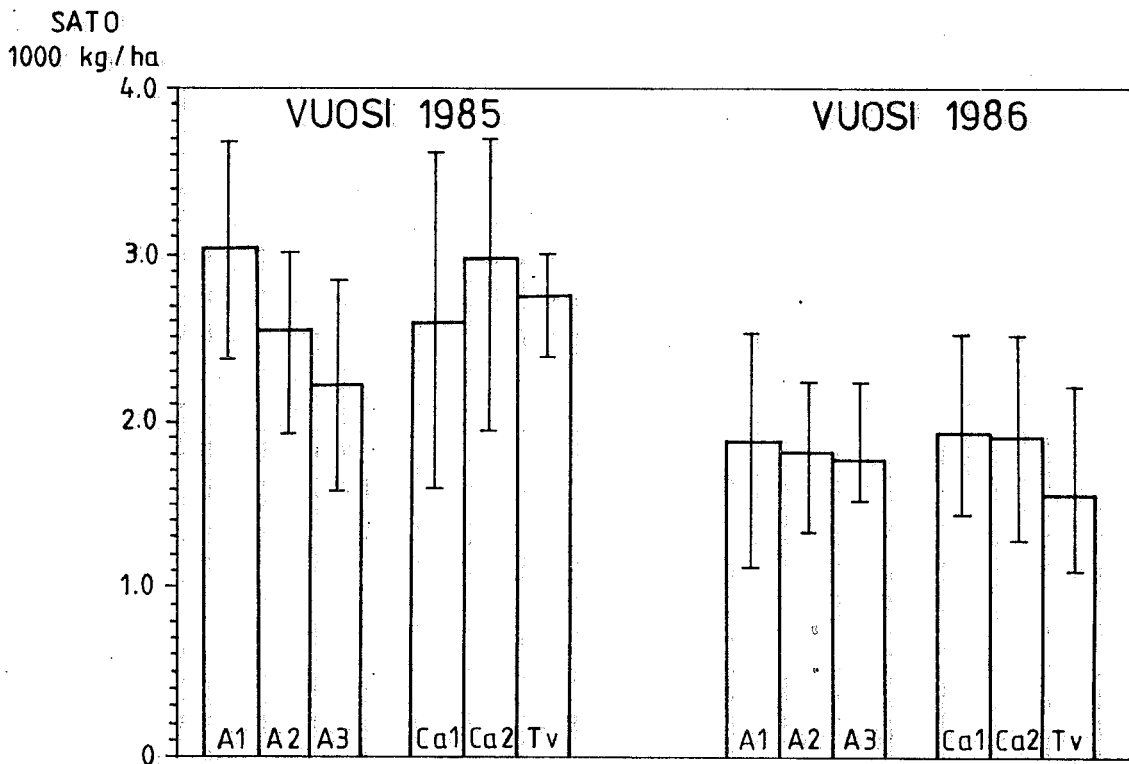
orastumisaikaa lyhentävä vaikutus avo-ojitukseen verrattuna Tupoksen koealueella olisi ollut vuonna 1985 4 - 8 päivää.

Maasojan koetulokset osoittavat, että kauran jyväsadon 25 %:n arvo turvemaalla saavutettiin, kun kuivavara oli keskimäärin 12 cm, 50 %:n arvo, kun kuivavara oli 29 cm, 75 %:n arvo, kun kuivavara oli 39 cm ja täysi sato saatiin, kun kuivavara oli 60 cm. Savimaalla korkea pohjavesi aiheutti kuitenkin kaurasadolle pienemmän vahingon kuin vastaavalla korkeudella ollut pohjavesi turvemaalla (Wäre 1947). Jos ajatellaan, että Tupoksen koekenttäalueen 1 kuivavara 60 cm tuotti vuonna 1985 täyden sadon, niin alueen 2 kuivavara 40 cm tuotti 85 %:n sadon ja alueen 3 kuivavara 20 cm vastaa- vasti 70 %:n sadon.

Vuonna 1985 peruskalkitusruutujen pintakerroksen pH oli 5,01 ja kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen pH oli 5,81. Tämä happamuusero asettui pH-alueelle, jolla kauran jyväsadon määräerotus oli 15 %. Vuonna 1986 kalkitusruutujen pH oli kalkituksen ansiosta kohonnut edellisestä vuodesta (5,31 vs. 5,95), jolloin happamuusero ei vaikuttanut enää jyväsadon määräerotukseen.

Useissa ulkomaisissa ja kotimaisissa kalkituskokeissa on todettu, että peltokalkituksen vaikutus on havaittavissa maaperässä 10 - 15 vuotta maalajin ja ilmasto-olosuhteiden mukaan ja että kalkitus lisää satoa jopa 30 vuotta kalkituksen jälkeenkin (Honkavaara 1951). Kalkituksen satoa lisäävä vaikutus aiheutuu pääasiassa pellon pintakerroksen pH-olosuhteiden muuttumisesta, mistä syystä kalkituksen määrä ei ole riittävä syy vaikutuksen kuvaamiseen. Kalkituksen vaikutusta kuvaa parhaiten se miten kalkitus muuttaa pintakerroksen pH-olosuhteita. Purokosken (1959) tekemissä happamien sulfaattimaiden kalkituskokeissa 32 t/ha kalkitus lisäsi kaurasatoa noin 10 % 16 t/ha kalkitukseen verrattuna. Tämä Purokosken saama tulos viittaisi siihen, että näissä kokeissa kalkituksen vaikutus maaperän ominaisuuksiin on ollut samankaltainen kuin vuonna 1985 Tupoksen koekenttäkokeissa. Kaura kestää suhteellisen hyvin happamuutta, pH-kestokynnys tämän tutkimuksen mukaan oli arvon 5,31 alapuolella. Happamalla sulfaattimaalla kalkituksen pH-arvoa korkeana ylläpitävä vaikutus on lyhytaikaisempi kuin yleensä tavallisilla viljelys-

mailla, koska maaprofiilin hapettumisen seurauksena syntyvä happamuus syö nopeasti kalkin tehoa. On oletettavaa, että peruskalkittujen ruutujen pintakerroksen pH laskee arvon 5,0 lähelle kaksinkertaisen kalkituksen saaneita ruutuja nopeammin. Tällöin näiden kalkitusruutujen satoisuuksissa voidaan jälleen havaita eroavuuksia.



Kuva 18. Kauran satoisuus vuosina 1985 ja 1986 Tupoksen koealueen maanparannusruuduilla. Alue 1 (A1): salaojitussyvyys 1,10 m; Alue 2 (A2): salaojirussyvyys 0,69 m; Alue 3 (A3): avo-ojitussyvyys 0,67 m; Ca 1: kalkitus 15 t/ha; Ca 2: kalkitus 30 t/ha; Tv: kalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1000 m<sup>3</sup>/ha.

### 3.5 KAURAN RAVINNESAAANTI

#### 3.5.1 O j i t u k s e n v a i k u t u s k a u r a n r a v i n n e s a a n t i i n

##### 3.5.1.1 Salaojitussyvyys

Vuonna 1985 salaojitussyvyydellä ei havaittu olevan vaikutusta kauran jyvän ja oljen ravinnepitoisuuksiin.

Vuonna 1986 kauran oljen P- ja K-pitoisuudet olivat merkittävästi pienemmät (26 ja 27 %) matalaan salaojitetulla alueella (alue 2) kuin normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella (alue 1). Lisäksi kauran jyvän ja oljen Co-pitoisuudet alueella 2 olivat 89 % ja 61 % suuremmat kuin alueella 1.

Vuonna 1987 kauran oljen ravinnepitoisuudet eivät eronneet eri salaojitusalueilla tilastollisesti merkittävästi toisistaan (taulukko 10).

Salaojitussyvyyden vaikutus kauran ravinnetasoon ilmeni satoaikautena 1986, jolloin sadon määrä kummallakin salaojitusalueella oli samansuuruinen. Selvimmin salaojitussyvyyden vaikutus oli näkyvissä jyvän ja oljen Co-pitoisuuksissa, jotka olivat merkittävästi korkeammat matalalle salaojitetulla alueella kuin normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella. Tupoksen kylän peltojen Co- ja Ni-pitoisuuksia on tutkittu vuoden 1984 aluekartoitusten yhteydessä. Tällöin todettiin kylän peltojen sisältävän yli kaksi kertaa suuremmat pitoisuudet AAAC-EDTA:han uuttuvaa Co:a ja Ni:ä kuin suomalaiset pellot yleensä (Erviö & Palko 1984). Kun kylän viljelijä happamia sulfaattimaita tutkittiin erikseen, todettiin niiden sisältävän Co:a ja Ni:ä noin viisi kertaa enemmän kuin suomalaiset pellot keskimäärin (Palko & Yli-Halla 1988). Edellisen vuoksi Tupoksen kylän happamilla sulfaattimaille kasvaneen kauran jyvän Co- ja Ni-pitoisuudet saattoivat olla jopa kymmenkertaiset Suomessa viljellyn kauran keskimääräisiin Co- ja Ni-pitoisuuksiin verrattuna (Yli-Halla & Palko 1987). Palko & Yli-Halla (1988) arvelivat, että Co:n ja Ni:n konsentroituuminen kauraan on aiheutunut sekä maaperän happamuudesta että huonosta kuivatustilanteesta. Nämä Tupoksen koekenttätulokset vahvistavat näitä käsityksiä Co:n kannalta kuivatustehon osalta.

Taulukko 10. Kauran jyvän ja oljen ravinnepitoisuudet Tupoksen huuhtoutumiskoekentän salaojitusalueilla. Alue 1: salaojitusvyvyys 1,10 m; alue 2: salaojitusvyvyys 0,69 m. Pitoisuudet: g/kg kuiva-ainetta; Co ja Ni: ug/kg kuiva-ainetta. Havaintojen lukumäärä 12. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä; \*\* merkitsevä.

Vuosi 1985

|    | <u>Jyvä</u>   |               |                | <u>Olki</u>   |               |                |
|----|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
|    | <u>Alue 1</u> | <u>Alue 2</u> | <u>Erotus%</u> | <u>Alue 1</u> | <u>Alue 2</u> | <u>Erotus%</u> |
| N  | 22,9          | 22,7          | -08            |               |               |                |
| P  | 2,9           | 2,9           | +00            | 1,8           | 1,8           | +00            |
| K  | 4,7           | 4,8           | +02*           | 14,8          | 15,0          | +01            |
| Ca | 0,49          | 0,48          | -02            | 1,7           | 1,1           | -35            |
| Mg | 1,4           | 1,5           | +07*           | 1,8           | 1,9           | +06            |
| Mn | 0,14          | 0,15          | +07*           | 0,55          | 0,54          | -02            |
| Co | 208           | 229           | +10            | 1122          | 1170          | +04            |
| Ni | 6150          | 6483          | +05            | 1040          | 938           | -10            |

Vuosi 1986

|    | <u>Jyvä</u>   |               |                | <u>Olki</u>   |               |                |
|----|---------------|---------------|----------------|---------------|---------------|----------------|
|    | <u>Alue 1</u> | <u>Alue 2</u> | <u>Erotus%</u> | <u>Alue 1</u> | <u>Alue 2</u> | <u>Erotus%</u> |
| N  | 19,0          | 18,9          | -01            |               |               |                |
| P  | 3,8           | 3,8           | +00            | 0,72          | 0,53          | -26**          |
| K  | 5,0           | 4,8           | -04            | 13,7          | 10,0          | -27**          |
| Ca | 0,64          | 0,71          | +11            | 1,2           | 1,2           | +00            |
| Mg | 1,7           | 1,8           | +06            | 1,5           | 1,6           | +07            |
| Mn | 0,18          | 0,17          | -06            | 0,30          | 0,28          | -07            |
| Co | 307           | 580           | +89**          | 1376          | 2215          | +61**          |
| Ni | 4383          | 5125          | +17*           | 1307          | 1402          | +07            |

Vuosi 1987

|    | <u>Olki</u>   |               |                |
|----|---------------|---------------|----------------|
|    | <u>Alue 1</u> | <u>Alue 2</u> | <u>Erotus%</u> |
| P  | 1,7           | 1,7           | +00            |
| K  | 12,4          | 11,3          | -09            |
| Ca | 1,3           | 1,4           | +08            |
| Mg | 1,7           | 1,8           | +06            |
| Mn | 0,32          | 0,34          | +06            |
| Ni | 1883          | 1733          | -08            |

### 3.5.1.2 Salaojitus verrattuna avo-ojitukseen

Vuonna 1985 kauran jyvän N-pitoisuus ja oljen Mg-pitoisuus olivat erittäin merkitsevästi suurempia ja oljen Mn-pitoisuus erittäin merkitsevästi pienempi avo-ojitusalueella (alue 3) kuin salaojitusalueella (alue 1), erot olivat vastaavasti 13, 22 ja 59 %. Jyvän ja oljen Co ja Ni pitoisuudet olivat erittäin merkitsevästi suuremmat alueella 3 kuin alueella 1, erot olivat jyvälle 76 ja 41 % sekä oljelle 27 ja 25 % (taulukko 11).

Vuonna 1986 kauran jyvän N-pitoisuus oli erittäin merkitsevästi suurempi ja K-pitoisuus merkitsevästi pienempi avo-ojitusalueella kuin salaojitusalueella, erot olivat vastaavasti 18 ja 16 %. Oljen Ca-pitoisuus alueella 2 oli 55 % suurempi kuin alueella 1. Jyvän ja oljen Mg-pitoisuudet olivat merkitsevästi suuremmat ja jyvän Mn-pitoisuus merkitsevästi pienempi alueella 3 kuin alueella 1, erot olivat vastaavasti 6, 40 ja 22 %. Jyvän ja oljen Co- ja Ni-pitoisuudet olivat merkitsevästi suuremmat alueella 3 kuin alueella 1, erot olivat jyvän osalta 257 % ja 110 % sekä oljen osalta 80 % ja 50 %

Vuonna 1987 oljen Ca- ja Ni-pitoisuudet olivat avo-ojitusalueella merkitsevästi suuremmat kuin salaojitusalueella, erot olivat vastaavasti 25 ja 78 % (taulukko 11).

Kauran ravinnepitoisuuserot salaojitetulla ja avo-ojitetulla alueella olivat suurimpia vuoden 1986 sadossa, jolloin sato määrät olivat näillä kuivatusalueilla samansuuruiset. Co:n ohella myös kauran jyvän ja oljen Ni-pitoisuudet olivat avo-ojitetulla alueella huomattavasti suurempia kuin salaojitetulla alueella. Tämä vahvistaa käsitystä siitä, että happaman sulfaattimaan kuivatusolosuhteilla on ratkaiseva merkitys myös Ni:n kulkeutumisessa viljakasviin. Kauran Mn-pitoisuus sen sijaan kahtena ensimmäisenä koevuotena oli avo-ojitusalueella pienempi kuin salaojitusalueella ja kolmantena vuotena taas suurempi kuin salaojitusalueella. Tämä tulos ei tue aikaisempia käsityksiä siitä, että huono kuivatus edistää helppoliukoisen Mn-pitoisuuden suurenemista maaperässä (Guillet & Souchier 1982), kuten ei myöskään käsitystä, että huono kuivatus suurentaa maaperän liukoista mangaanivarastoa liuottamalla maaperän mangaanioksideja (Palko & Yli-Halla 1988). Tulosten perusteella vaikuttaa siltä, että pellon happamuustila vaikuttaa kuivatusoloja enemmän kasvin mangaaninottoon.

Taulukko 11. Kauran jyvän ja oljen ravinnepitoisuudet Tupoksen huuhtoutumiskoekentän salaojitus- ja avo-ojitusalueilla. Alue 1: salaojitusyvyys 1,10 m; alue 3: avo-ojitusyvyys 0,67 m. Pitoisuudet: g/kg kuiva-ainetta; Co ja Ni: ug/kg kuiva-ainetta. Havaintojen lukumäärä 8. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä; \*\* merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

Vuosi 1985

|    | <u>Jyvä</u> |        |         | <u>Olki</u> |        |         |
|----|-------------|--------|---------|-------------|--------|---------|
|    | Alue 1      | Alue 3 | Erotus% | Alue 1      | Alue 3 | Erotus% |
| N  | 21,7        | 24,5   | +13***  |             |        |         |
| P  | 2,9         | 2,7    | -07*    | 1,7         | 2,0    | +18*    |
| K  | 4,8         | 4,6    | -04*    | 14,9        | 15,0   | +07     |
| Ca | 0,51        | 0,48   | -06     | 2,1         | 1,1    | -48     |
| Mg | 1,5         | 1,6    | +07     | 1,8         | 2,2    | +22**   |
| Mn | 0,14        | 0,14   | +00     | 0,71        | 0,29   | -59**   |
| Co | 195         | 344    | +76***  | 1099        | 1395   | +27**   |
| Ni | 5900        | 8337   | +41***  | 971         | 1209   | +25**   |

Vuosi 1986

|    | <u>Jyvä</u> |        |         | <u>Olki</u> |        |         |
|----|-------------|--------|---------|-------------|--------|---------|
|    | Alue 1      | Alue 3 | Erotus% | Alue 1      | Alue 3 | Erotus% |
| N  | 18,7        | 22,0   | +18***  |             |        |         |
| P  | 3,8         | 3,7    | -03**   | 0,68        | 0,70   | +03     |
| K  | 5,0         | 4,2    | -16***  | 13,4        | 12,7   | -05     |
| Ca | 0,64        | 0,70   | +09     | 1,1         | 1,7    | +55***  |
| Mg | 1,7         | 1,8    | +06**   | 1,5         | 2,1    | +40***  |
| Mn | 0,18        | 0,14   | -22***  | 0,31        | 0,27   | -13*    |
| Co | 275         | 981    | +257*** | 1259        | 2262   | +80**   |
| Ni | 3887        | 8162   | +110*** | 1147        | 1721   | +50**   |

Vuosi 1987

|    | <u>Olki</u> |        |         |
|----|-------------|--------|---------|
|    | Alue 1      | Alue 3 | Erotus% |
| P  | 1,6         | 1,6    | +00     |
| K  | 11,5        | 10,7   | -07     |
| Ca | 1,2         | 1,5    | +25***  |
| Mg | 1,6         | 1,8    | +13*    |
| Mn | 0,29        | 0,33   | +14     |
| Ni | 1588        | 2825   | +78**   |

Kauran jyvän merkitsevästi suurempi typpipitoisuus avo-ojitusalueella kuin salaojitusalueella aiheutuu oletettavasti ammoniumtyypen tehokkaammasta hapettumisesta salaojitusa-alueella nitraattitypeksi. Nitraattimuodossa typpi on helposti kasvin saatavilla, mutta vastaavasti sillä on taipumus helposti huuhtoutua vesistöön tehokkaan ojituksen myötä. Lisäksi joutuessaan voimakkaasti vaihtelevien kosteusolojen vaikutuksesta pelkistyneeseen tilaan, typpi poistuu denitrifikaation seurauksena systeemistä (Patrick & Reddy 1977).

### 3.5.2 Kalkituksen vaikutus kauran ravinnesaantiin

Vuonna 1985 kauran jyvän ja oljen Ca-pitoisuudet kaksinkertaisen kalkituksen saaneissa ruuduissa (Ca 2) olivat merkitsevästi suuremmat kuin peruskalkituksen saaneissa ruuduissa (Ca 1), erot olivat vastaavasti 13 ja 74 %. Oljen Mg-pitoisuus Ca 2 ruuduissa oli 11 % suurempi kuin Ca 1 ruuduissa. Kauran jyvän ja oljen Mn-pitoisuudet olivat merkitsevästi suuremmat ja Co-pitoisuudet merkitsevästi pienemmät Ca 2 ruuduissa kuin Ca 1 ruuduissa, erot Mn:n osalta olivat 64 ja 138 % ja Co:n osalta vastaavasti 26 ja 17 %.

Vuonna 1986 kauran jyvän ja oljen Co- ja Ni-pitoisuudet Ca 2 ruuduissa olivat merkitsevästi pienemmät kuin Ca 1 ruuduissa, Co:n osalta erot olivat 26 ja 17 % ja Ni:n osalta vastaavasti 35 ja 43 %.

Vuonna 1987 kauran oljen Mn- ja Ni-pitoisuudet olivat Ca 2 ruuduissa merkitsevästi pienemmät kuin Ca 1 ruuduissa, erot olivat vastaavasti 29 ja 35 % (taulukko 12).

Maatalouskalkin lisääminen suurentaa kasvin saatavilla olevaa Ca:n ja Mg:n määrää maaperässä. Pääosa näistä alkuaineista kulkeutuu kasviin massavirtauksen mukana, jolloin ravinteenottoon vaikuttavat suoraan näiden alkuaineiden pitoisuudet maanesteessä. Vuonna 1985 peruskalkittujen- ja kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen Ca- ja Mg-pitoisuuserot olivat suuret, jolloin tällä erolla oli huomattava vaikutus näiden alkuaineiden konsentroitumisessa kasviin.

Seuraavina koevuosina peruskalkittujen ja kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen Ca- ja Mg-pitoisuudet suurentivat, mutta pitoisuuserot pienenevät (taulukko 3), jolloin vastaavasti kauran Ca- ja Mg-pitoisuudet vakiintuivat tietylle pitoisuustasolle. Tämän perusteella voidaan ajatella, että pellon AAAC-uuttuvalle Ca:lle kauran Ca-oton kyllästysraja on pitoisuusvälillä 400 - 500 mg/kg ja pellon AAAC-uuttuvalle Mg:lle kauran Mg-oton kyllästysraja on pitoisuusvälillä 250 - 280 mg/kg (taulukot 3 ja 12).

Ca- ja Mg-pitoisuuksien nousun ohella peltokalkitus nostaa maan pH arvoa ja muuttaa eräiden hydrolysoituvien alkuaineiden liukoisuutta. Tässä tutkimuksessa tällaisia alkuaineita olivat Mn, Co ja Ni. Vuonna 1985 kaksinkertainen kalkitus edisti Mn:n konsentroitumista kasviin nostamalla maan pintakerroksen pH:ta (5,01 vs. 5,81), vuonna 1986 peruskalkitusruutujen pH:lla 5,34 ja kaksinkertaisen kalkituksen pH:lla 5,95 ei ollut vaikutusta kasvin Mn-pitoisuuteen kun taas vuonna 1987 peruskalkitusruutujen pH:ta 5,54 vastaava Mn-pitoisuus oli merkitsevästi suurempi kuin kaksinkertaisen kalkituksen saaneiden ruutujen pH:ta 6,18 vastaava Mn-pitoisuus. Tupoksen kylän happamien sulfaattimaiden kartoitusten yhteydessä todettiin, että KCl-liuokseen uuttuva Mn-pitoisuus pieneni erittäin merkitsevästi, kun pH kohosi, mutta kauran jyvän Mn-pitoisuuteen pH ei vaikuttanut tilastollisesti merkitsevästi (Yli-Halla & Palko 1987; Palko & Yli-Halla (1988)).

Kauran jyvän ja oljen Co:n ja Ni:n pitoisuudet pienenevät systemaattisesti, kun kalkituksen vaikutus suureni (pH:n noustessa) vuodesta 1985 vuoteen 1987. Tämä vahvistaa aiemmin Palkon (1986c), Yli-Hallan & Palkon (1987) ja Palkon & Yli-Hallan (1988) esittämiä käsityksiä siitä, että Co:n ja Ni:n suuret pitoisuudet happamilla sulfaattimailta viljelyissä kasveissa (timotei ja kaura) aiheutuvat huonon kuivaustilan ohella myös pellon poikkeuksellisen suuresta happamuudesta.



Taulukko 12. Kauran jyvän ja oljen ravinnepitoisuudet Tupoksen huuhtoutumiskoekentän kalkitusalueilla. Ca 1: kalkitus 15 tn/ha; Ca 2: kalkitus 30 tn/ha. Pitoisuudet: g/kg kuiva-ainetta; Co ja Ni: ug/kg kuiva-ainetta. Havaintojen lukumäärä 8. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä; \*\* merkitsevä; \*\*\* erittäin merkitsevä.

Vuosi 1985

|    | <u>Jyvä</u> |             |                | <u>Olki</u> |             |                |
|----|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
|    | <u>Ca 1</u> | <u>Ca 2</u> | <u>Erotus%</u> | <u>Ca 1</u> | <u>Ca 2</u> | <u>Erotus%</u> |
| N  | 22,0        | 22,1        | +00            |             |             |                |
| P  | 2,8         | 2,9         | +04            | 1,8         | 1,9         | +06            |
| K  | 4,7         | 4,7         | +00            | 15,1        | 14,4        | -03            |
| Ca | 0,46        | 0,52        | +13***         | 0,94        | 1,64        | +74**          |
| Mg | 1,5         | 1,5         | +00            | 1,8         | 2,0         | +11**          |
| Mn | 0,14        | 0,23        | +64**          | 0,29        | 0,69        | +138**         |
| Co | 283         | 211         | -26**          | 1258        | 1042        | -17**          |
| Ni | 7025        | 6131        | -13            | 1029        | 884         | -14            |

Vuosi 1986

|    | <u>Jyvä</u> |             |                | <u>Olki</u> |             |                |
|----|-------------|-------------|----------------|-------------|-------------|----------------|
|    | <u>Ca 1</u> | <u>Ca 2</u> | <u>Erotus%</u> | <u>Ca 1</u> | <u>Ca 2</u> | <u>Erotus%</u> |
| N  | 19,6        | 19,2        | -02            |             |             |                |
| P  | 3,8         | 3,7         | +03            | 0,67        | 0,67        | +00            |
| K  | 4,7         | 4,6         | -02            | 11,9        | 11,9        | +00            |
| Ca | 0,67        | 0,73        | +09*           | 1,3         | 1,3         | +00            |
| Mg | 1,7         | 1,7         | +00            | 1,7         | 1,7         | +00            |
| Mn | 0,17        | 0,17        | +00            | 0,29        | 0,27        | +07            |
| Co | 761         | 418         | -45**          | 2472        | 1163        | -53***         |
| Ni | 6594        | 4262        | -35**          | 1773        | 1007        | -43***         |

Vuosi 1987

|    | <u>Olki</u> |             |                |
|----|-------------|-------------|----------------|
|    | <u>Ca 1</u> | <u>Ca 2</u> | <u>Erotus%</u> |
| P  | 1,6         | 1,6         | +00            |
| K  | 11,6        | 11,1        | -04            |
| Ca | 1,3         | 1,3         | +00            |
| Mg | 1,7         | 1,7         | +00            |
| Mn | 0,35        | 0,25        | -29***         |
| Ni | 2381        | 1544        | -35***         |

### 3.5.3 Turpeenlisäyksen vaikutus kauran ravinnesaantiin

Vuonna 1985 kauran jyvän typpipitoisuus oli erittäin merkittävästi suurempi peruskalkituilla turvelisäyksen saaneilla ruuduilla (Tv) kuin pelkän peruskalkituksen saaneilla ruuduilla (Ca 1), pitoisuusero oli tällöin 15 %.

Vuonna 1986 turvelisäyksellä ei havaittu olevan vaikutusta kauran jyvän ja oljen ravinnepitoisuuksiin.

Vuonna 1987 kauran oljen Ca- ja Mg-pitoisuudet Tv ruuduilla olivat merkittävästi suuremmat kuin Ca 1 ruuduilla, pitoisuuserot olivat vastaavasti 8 ja 18 % (taulukko 13).

Turvelisäys 1000 m<sup>3</sup>/ha suurentaa ammoniakin määrää maassa kun turpeen orgaaninen aines hajoaa maaperässä mikrobien vaikutuksesta. Mahdollisesti juuri tämän takia vuonna 1985, vuosi turpeenlisäyksen jälkeen, kauran jyvän typpipitoisuus oli turvelisäysruuduilla jopa 15 % suurempi kuin vertailuruuduilla. Turpeen ominaisuudella sitoa tehokkaasti maaperän ravinteita ei havaittu olevan vaikutusta kasvin ravinnonottoon. Turvelisäyksellä oli kuitenkin havaittavia vaikutuksia kauran satoisuuteen, mikä viittaa siihen että turpeen maataloudellinen merkitys happamien sulfaattimaiden viljelyssä perustuu maan pintakerroksen rakenteen kuohkeuttamiseen mailla, joilla luontainen turvékerros puuttuu.

Taulukko 13. Kauran jyvän ja oljen ravinnepitoisuudet Tupoksen huuhtoutumiskoekentän peruskalkitus- ja turvelisäysalueilla. Ca 1: kalkitus 15 t/ha; Tv: kalkitus 15 t/ha ja turvelisäys 1 000 m<sup>3</sup>/ha. Pitoisuudet: g/kg kuiva-ainetta; Co ja Ni: ug/kg kuiva-ainetta. Havaintojen lukumäärä 8. Erotuksen merkitsevyys: \* melkein merkitsevä; \*\* merkitsevä.

Vuosi 1985

|    | <u>Jyvä</u> |      |         | <u>Olki</u> |      |         |
|----|-------------|------|---------|-------------|------|---------|
|    | Ca 1        | Tv   | Erotus% | Ca 1        | Tv   | Erotus% |
| N  | 21,4        | 24,7 | +15***  |             |      |         |
| P  | 2,9         | 2,8  | -03*    | 1,7         | 1,8  | +06     |
| K  | 4,9         | 4,7  | -04     | 15,3        | 15,4 | +01     |
| Ca | 0,47        | 0,46 | -02     | 0,98        | 1,03 | +05     |
| Mg | 1,5         | 1,4  | -07*    | 1,8         | 1,8  | +00     |
| Mn | 0,15        | 0,13 | -01     | 0,29        | 0,27 | -07     |
| Co | 243         | 231  | -05     | 1181        | 1134 | -04     |
| Ni | 6412        | 6525 | +02     | 990         | 1060 | +07     |

Vuosi 1986

|    | <u>Jyvä</u> |      |         | <u>Olki</u> |      |         |
|----|-------------|------|---------|-------------|------|---------|
|    | Ca 1        | Tv   | Erotus% | Ca 1        | Tv   | Erotus% |
| N  | 18,8        | 19,2 | +02     |             |      |         |
| P  | 3,8         | 3,7  | -03     | 0,61        | 0,68 | +11     |
| K  | 4,9         | 4,9  | +00     | 11,7        | 12,8 | +09     |
| Ca | 0,64        | 0,65 | +02     | 1,2         | 1,1  | -08     |
| Mg | 1,7         | 1,7  | +00     | 1,5         | 1,5  | +00     |
| Mn | 0,18        | 0,18 | +00     | 0,30        | 0,30 | +00     |
| Co | 579         | 366  | -37*    | 2232        | 2017 | -10     |
| Ni | 5500        | 5025 | -09     | 1509        | 1650 | +09     |

Vuosi 1987

|    | <u>Olki</u> |      |         |
|----|-------------|------|---------|
|    | Ca 1        | Tv   | Erotus% |
| P  | 1,6         | 1,8  | +13*    |
| K  | 11,9        | 13,5 | +13     |
| Ca | 1,3         | 1,4  | +08**   |
| Mg | 1,7         | 2,0  | +18**   |
| Mn | 0,35        | 0,41 | +17     |
| Ni | 1900        | 2225 | +17     |

#### 4 JOHTOPÄÄTÖKSET

##### Koekentän toimivuus

Poikkeamat koekentän rinnakkaisruutujen tasalaatuisuudessa välittömästi rakentamisen jälkeisinä vuosina aiheutuivat ensisijaisesti pumppaus- ja mittausaseman asentamisen vaatimista kaivuutöistä ja sen kuljettamisen vaatimasta tien jäädyttämisestä koeruutujen poikki. Koealueet ojitettiin ja kalkki levitettiin normaalia maanviljelyksen kalustoa ja ojitusmenetelmiä käyttäen. Tästä aiheutui suhteellisen suuria poikkeamia rinnakkaisruutujen tasalaatuisuuteen. Koekentällä tutkittavat maanparannustoimenpiteet olivat kuitenkin niin vaikuttavia, että rinnakkaisruutujen poikkeavuudet eivät olleet merkityksellisiä kokeiden lopputulosten kannalta.

##### Hydrologiset vaikutukset

Ruutujen käsittelystä aiheutunutta epätasaisuutta suuremman ongelman valuman happamuuden arvioinnissa muodostivat vaihtelevat hydrologiset tilanteet eri seurantajaksojen aikana. Kevätseurantajakson valumavedet olivat yleisesti vähemmän happamia kuin syysseurantajakson valumavedet. Keväällä lumentamisvedet toimivat tehokkaina roudansulamisvesien laimentajina. Tulvan lopussa näiden laimentava vaikutus väheni, jolloin vastaavasti valumaveden happamuus kohosi. Kesäaikana vapautuneen happamuuden määrä oli riippuvainen kesän kuivaajan pituudesta. Välittömästi syystulvajakson alussa valumavesien happamuus Tupoksen koekentällä oli suurimmillaan, ja se laski vähitellen tulvan loppua kohden.

##### Kuivatuksen vaikutukset

Koekentällä tutkitut eri ojitusmenetelmien aiheuttamat kuivatustehon ja samalla vapautuvan happamuuden määrän vaikutukset heijastuivat erisuuruuksina pohjavedenpinnan korkeuksina tulvajaksojen aikana. Tällöin ilmakehän hapen rikkiyhdisteitä hapettava vaikutus kohdistui maaprofiiliin erisuuruuksina eri kuivatusalueella. Pohjavedenpinnan korkeusero syystulvajakson aikana eri ojitusalueilla oli erityisen merkityksellinen rikkiyhdisteiden hapettumisen ja happamuuden vapautumisen kannalta, koska juuri tällöin suotuisat kemialliset ja mikrobiologiset edellytykset hapettumiselle olivat olemassa. Ojitustehon vaikutukset maaprofiilissa kohdistuvat ensisijaisesti maaprofiilin syvemmissä kerroksissa tapahtu-

viin happamuusolosuhteiden muutoksiin. Aiemmin ojittamattomalla happamalla sulfaattimaalla maaprofiilin hapettuminen ja happamuuden vapautuminen salaojituksen vaikutuksesta on nopeaa, jolloin viljelysmaille tyypillinen kuivatussyvyyden 1,40 - 1,80 m saavuttamiseen kuluu aikaisempien maaperäkar-toitusten perusteella vähintään 10 vuotta. Avo-ojitetulla alueella vastaavan kuivatussyvyyden saavuttamiseen kuluu kuitenkin huomattavasti pidempi aika.

Heikosti ojitetulla alueella maan pintakerroksen happamuus on suuri ja ionipitoisuus on korkea, vaikka happamuuden vapautuminen maaprofiilista kuivatuksen vaikutuksesta ei ole tehokasta. Tällöin vapautuneiden toksisten alkuaineiden pitoisuus maassa on korkea, mistä voi seurata viljakasvin kasvun häiriintyminen ja sadonmenetyt. Vaikka avo-ojitetulla alueella happamuuden vapautuminen maaprofiilista on tehottomampaa kuin salaojitetulla alueella, pintakerroksen happamuusolosuhteet voivat avo-ojitetulla alueella olla viljelyn kannalta jopa epäedullisemmät kuin salaojitetulla alueella. Lisäksi salaojitettun pellon nopea kuivuminen jouduttaa kevätkylvöjä avo-ojitettuun alueeseen verrattuna, mistä voi aiheutua tuntuva sadonlisäys. Edellämäinittujen seikkojen perusteella tehokas salaojitus happamalla sulfaattimailla on viljelyn kannalta joka suhteessa paras vaihtoehto. Mikäli tehokkaan ojituksen aiheuttamat valumavesihaitat voidaan minimoida riittävästi, normaalisyvyyteen tehty salaojitus happamalla sulfaattimailla on suositeltavin ojitusvaihtoehto.

Koealueen valumavesien seurantatulokset osoittavat, että salaojituksen tulva-ajan happamuuskuormitus on jopa kymmenkertainen avo-ojituksen aiheuttamaan happamuuskuormitukseen verrattuna. Sen sijaan matala salaojitus pienentää happamuuskuormitusta vain 25 - 30 %. Koska matalan salaojituksen käyttöönotto vaatii suuria lisäkustannuksia ja sen suunnitteluun ja toimivuuteen liittyy monia käytännön ongelmia (mm. salaojien tukkeutuminen), sen käyttöönotto happamuus-ongelman ratkaisemiseksi on perusteetonta. Edellämäinittujen tulosten perusteella uusille ojitusalueille ensimmäiseksi ojituksiksi suositellaan avo-ojitusta. Vasta noin 10 vuotta avo-ojituksessa olleelle happamalle sulfaattimaalle voidaan suositella salaojitusta.

### Kalkituksen vaikutukset

Liukoisten happamien kationien pitoisuus maaperässä pienee, kun maan pH kohoaa kalkituksen vaikutuksesta. Maatalouskalkki luovuttaa neutralointitehonsa vähitellen happamien kationien hydrolysoitumiseen maaperässä. Jos happamia kationeita on maaperässä runsaasti, kalkituksen teho siirtyy lähes kokonaisuudessaan happamuustekijöiden neutraloitumiseen maaperässä ja tätä kautta vaikutukset näkyvät myös valumavesissä. Kalkitusteho on alussa suuri, jolloin maaperän puskurisysteemit käyttävät hyväkseen lähes koko neutralointitehonsa. Vähitellen happamien ionien saostumisen myötä myös maan pH alkaa nousta. Tupoksen koekentän peruskalkitusruuduissa (kalkitus 15 t/ha) pH:n nousu oli ensimmäisen vuoden aikana niin hidasta, että useammat viljalajikkeet eivät olisi näissä happamuusolosuhteissa menestyneet. Kalkitustehoon vaikutukset näkyivät pintakerroksen pH:n nousuna vielä kolmantena vuotena kalkitusten jälkeen, mikä osoittaa että kalkitustehoa on täytynyt olla tuolloin vielä runsaasti jäljellä.

Aiemmin ojittamattoman happaman sulfaattimaan ojituksen yhteydessä 10 - 15 t/ha peruskalkitus on riittävä viljelyn onnistumiselle. Tämän ylittävä kalkkilisäys menee pääasiassa valumavesien neutraloitumiseen. Happaman sulfaattimaan profiilista vapautuu runsaasti happamuutta, joten on oletettavaa, että Tupoksen koekentällä peruskalkituksen vaikutus huippu ilmenee 4 - 6 vuotta kalkituksen jälkeen. Tässä tapauksessa uusintakalkitus on tehtävä viimeistään 10 vuotta edellisestä kalkituksesta viljelyn onnistumiseksi. On kuitenkin huomattava, että tehokkaasti salaojitetulla alueella kalkituksen neutralointivaikutus ensimmäisinä vuosina ojitusten jälkeen kuluu nopeammin loppuun kuin avo-ojitetulla alueella.

Kaksinkertaisen peltokalkituksen välitön vaikutus Tupoksen koekentän salaojavesien neutraloitumiseen vastasi vuonna 1986 noin 1000 kg:n suuruista hehtaarikalkitusta. Vaikka peltokalkituksen neutralointiteho valumavesissä olisikin verrattain suuri, sen haittavaikutuksena on kuitenkin se, että kalkin neutralointitehoon vaikutusta ei voida kohdentaa ajallisesti riittävän tarkasti tulvajakson kriittisimpiin tilanteisiin. Lisäksi peltokalkitus edellyttää aina tarkkaa maaperäkartoitusta. Valumavesien suora neutralointi kuivatuksen yhteyteen suunnitellun kalkkisiilon avulla on tässä suhteessa peltokalkitusta tehokkaampi neutralointitoimenpide. Kevättulvan aikana kalkinsyöttö on kohdennettava tulvan

loppujakson valumavesiin ja vastaavasti syystulvan aikana ensimmäisen tulvahuipun kohdalle. Valumavesien suora neutralointi edellyttää kuitenkin kalkin liukoisuusongelmien ratkaisemista sopivan kalkkimateriaalin sekä kalkinsyöttötekniikan valinnalla.

#### Turpeenlisäyksen vaikutukset

Pintaturpeen lisääminen pellolle 10 cm:n kerrokseksi ei vaikuttanut merkittävästi pellon pintakerroksen happamuusolosuhteisiin, vaikka turvelisäys pienensi salaojavesien happamuutta noin 20 % tulvajaksojen aikana. Pellon ylimääräkalkitus on edellämämainitusta syystä ja lisäksi kustannussyistä pintaturpeenlisäystä suositeltavampi maanparannusvaihtoehto. Pintaturpeen lisäämistä voidaan suositella ainoastaan sellaisille alueille, joilla ei ole luonnollista humuskerrosta. Tällaisia tyyppillisiä alueita ovat mm. happamien sulfaattimaiden peruskuivatusten yhteydessä syntyneet läjitysalueet, joiden kasvuunsaattaminen ei yleensä onnistu ilman turvelisäystä.

#### Vaikutukset viljakasvin ravinnesaantiin

Happamille sulfaattimaille tyyppilliset ominaisuudet, pellon happamuus ja huono kuivatus, edistivät erityisesti Co:n ja Ni:n konsentroitumista kasviin. Tutkimustulokset osoittivat kiistattomasti, että kalkitus ja varsinkin tehokas kuivatus pienentävät satotuotteiden Co- ja Ni-pitoisuutta, vaikkakin se edelleen oli yleisesti korkea, verrattuna Suomessa yleensä tavattaviin vastaaviin pitoisuuksiin. Rehun suurentuneet Co- ja Ni-pitoisuudet näillä alueilla voivat vaikuttaa karjan fysiologiseen tilaan ja tätä kautta eräiden näillä alueilla runsaana esiintyvien tautien puhkeamiseen.

## 5 K O E A L U E E N J A T K O S E U R A N T A

Koealue seuranta vuosina 1984 - 1987 käsitti alueen tasalaa-tuisuuden testauksen sekä ojitus- ja kalkituskäsittelyjen välittömien vaikutusten tutkimisen. Ojitus- ja kalkituskäsittelyjen pitkäaikaisvaikutusten arviointi edellyttää seurannan jatkamista vielä useita vuosia eteenpäin. Oulun vesi- ja ympäristöpiiri ylläpitää koekenttää vielä ainakin seuraavat kaksi vuotta (vuodet 1988 ja 1989). Ylläpito edellyttää pumppujen, ojien ja sulkuputkien toimintakunnossa pitämisen siten, että koekentän jatkoseuranta on kaikin puolin mahdollista.

Koeruutuseuranta kalkitusten pitkäaikaisvaikutusten tutkimiseksi tulisi jatkaa ainakin siihen saakka, kunnes vaikutushuippu olisi saavutettu (toisin sanoen vielä 2 - 4 vuotta). Ojitusten pitkäaikaisvaikutusten tutkiminen edellyttää 5 - 7 vuoden koeruutuseuranta. Koeruutuseuranta edellyttää näytteenottoa alueiden 1, 2 ja 3 ruutujen pintakerroksesta kerran vuodessa (näytteitä yhteensä 32 kpl). Näytteistä määritetään pH sekä Ca- ja Al-pitoisuudet. Arvioitu vuotuinen kustannus on noin 5 000 mk.

Valumavesiseuranta kalkitusten pitkäaikaisvaikutusten tutkimisen osalta edellyttää vielä 2 - 4 vuoden seuranta, minä aikana saadaan selvitettyä kalkituksen vaikutusaika sekä kaksinkertaisen kalkituksen neutralointitehovaikutus valumavesiin. Kalkitusvaikutusten valumavesiseuranta edellyttää näytteenottoa alueen 1 ruuduilta kaksi kertaa viikossa tulva-aikoina. Näytteenottokertoja tulee vuodessa 32 ja näytteitä yhteensä noin 400 kpl. Välttämättömimmät analyysit ovat valuma, pH ja asiditeetti. Vuotuinen kustannus on noin 20 000 mk.

Valumavesiseuranta ojitusten pitkäaikaisvaikutusten tutkimisen osalta edellyttää vielä 5 - 7 vuoden seuranta, minä aikana saadaan selvitettyä salaojitusten ja avo-ojituksen valumavesiä happamoittava pitkäaikaisvaikutus. Näytteet on otettava alueiden 1, 2 ja 3 valumavesistä kaksi kertaa viikossa tulva-aikoina. Näytteenottokertoja on vuodessa yhteensä 32 ja näytteitä yhteensä noin 1 000. Välttämättömät analyysit ovat valuma, pH ja asiditeetti. Vuotuinen kustannus noin 25 000 mk.



## 6 Y H T E E N V E T O

Aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattimaalle Limingan kunnan alueelle rakennettiin vuonna 1984 noin 2 ha:n suuruisen huuhtoutumiskoekenttä. Koekenttä käsittää viisi osaluuetta, joista kolmea, normaalisyvyyteen salaojitettua aluetta, matalaa salaojitusaluetta sekä avo-ojitusaluetta käytettiin tässä tutkimuksessa. Salaojitusalueet käsittivät 12 koeruutua, neljä rinnakkaisruutua peruskalkitukselle (15 t/ha), kaksinkertaiselle kalkitukselle (30 t/ha) ja turvelisäykselle (15 t/ha kalkkia ja 1000 m<sup>3</sup> pintaturvetta hehtaarille). Avo-ojitusalue käsitti 8 ruutua, neljä rinnakkaisruutua kummallekin edellämainituista kalkituksista.

Koekentällä tutkittiin vuosina 1984 - 1987 ojitusten ja kalkitusten sekä turvelisäysten välittömiä vaikutuksia koeruutujen pintakerroksen ja valumavesien happamoitumiseen, valumavesien happamussuormitukseen sekä viljakasvin satoisuuteen ja ravinnesaantiin.

Koekentän rakentamisesta ja maanparannustöistä aiheutuneet rinnakkaisruutujen epätasaisuudet tasaantuivat vuoteen 1986 mennessä. Normaalisyvyyteen salaojitetulla alueella jouduttiin poistamaan kolme ruutua valumavesikäsitteystä kontaminaatioiden vuoksi, jolloin käsitteelyjen rinnakkaisruutujen lukumäärä tällä alueella pieneni kolmeen.

Salaojituksella ei todettu olevan suurempaa vaikutusta pellon pintakerroksen happamuuteen ja alkuaineiden liukoisuuteen kuin avo-ojituksella, vaikka salaojitus vapautti huomattavasti voimakkaammin happamuutta maaprofiilista kuin avo-ojitus. Vastaavasti matala salaojitus normaalisyvyyteen salaojitukseen verrattuna ei pienentänyt pellon pintakerroksen happamuutta, mutta suurensi toksisten metallien ennen kaikkea mangaanin liukoisuutta. Tehokas salaojitus suurensi kauran jyväsatoa avo-ojitukseen verrattuna, vuonna 1985 jopa 30 %. Normaalisyvyyteen tehty salaojitus happamilla sulfaattimailla onkin viljelyn kannalta joka suhteessa paras vaihtoehto. Salaojituksen aiheuttama happamuuskuormitus on avo-ojituksen aiheuttamaan happamuuskuormitukseen verrattuna jopa kymmenenkertainen. Matala salaojitus pienentää happamuuskuormitusta korkeintaan 25 - 30 %. Tästä syystä matalan salaojituksen käyttö normaalin salaojituksen asemesta aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattimaalle on perusteetonta. Ensimmäiseksi ojitukseksi on avo-ojitus suositeltavin ojitusmuoto. Vasta noin 10 vuotta avo-ojituksen jälkeen salaojitusta voidaan suositella, koska tällä tavoin voidaan

hidastaa maan nopeaa hapettumista ja leikata happamuuskuorimitusta vesistössä.

Aiemmin ojittamattomalle happamalle sulfaattimaalle ojituksen yhteydessä 10 - 15 t/ha peruskalkitus on riittävä viljelyn onnistumiselle. Kalkitusten pellon pintakerroksen pH:ta suurentava vaikutus ei saavuttanut vaikutushuippua vielä kolmantena vuotena kalkitusten jälkeen, oletettavasti vaikutushuippu saavutetaan 4 - 6 vuotta kalkitusten jälkeen. Peruskalkituksen ylittävä kalkitus kuluu pääasiallisesti valamavesien neutraloitumiseen. Tästäkin huolimatta kuivatusvesien suora neutralointi on oletettavasti peltokalkitusta tehokkaampi neutralointitoimenpide, koska tällöin kalkituksen teho saadaan kohdennettua pellon ylimääräkalkitusta tehokkaammin sekä ajallisesti että paikallisesti.

Happamille sulfaattimaille tyypillinen pellon happamuus ja huono kuivatus lisäävät erityisesti Co:n ja Ni:n konsentroitumista viljakasviin, jolloin rehun suurentuneet pitoisuudet voivat vaikuttaa jopa karjan fysiologiseen tilaan näillä alueilla.

## 7. S U M M A R Y

A 2-hectare polder in an acid sulphate soil area in Liminka commun was constructed in 1984. The polder consists of five subareas, three of which were used in this study: a normal subsurface drainage area (drainage depth 1,10 m), a low subsurface drainage area (drainage depth 0,69 m), and an open drainage area. The subsurface drainage areas consisted of 12 subareas, four parallel subareas for basic liming (15 t/hectare), for double liming (30 t/hectare) and for peat application (liming 15 t/hectare and peat application 1 000 m<sup>3</sup>/hectare). The open drainage area consisted of eight subareas, four parallel subareas for both lime applications. Immediately upon completion of construction a programme was started to monitor the hydrological and chemical quantities in the soil, water and plant as a function of time and different soil managements.

The irregular functioning of parallel subareas, resulting from the construction of the areas and from the lime applications, diminished up to 1986. In the area with normal subsurface drainage, three subareas were excluded from the data

handling because of contamination.

Subsurface drainage did not have a greater effect on acidification of the soil surface and on mineral element solubility than open drainage, though subsurface drainage released considerably more acidity from the soil profile than open drainage. The low subsurface drainage did not diminish surface soil acidity more than the normal one, though it increased the solubility of some toxic metals such as Mn. Effective subsurface drainage increased crop yield 30 % in 1985 compared to open drainage. Normal subsurface drainage in acid sulphate soils was in every case the best alternative for cultivation. The acid load caused by subsurface drainage was even ten times greater than the acid load caused by open drainage. Low subsurface drainage diminished the acid load only 25 to 30 %. That is why the use of low as opposed to normal subsurface drainage is not advisable. To begin with open drainage is more advantageous for acid sulphate soils, but after ten years normal subsurface drainage becomes more advantageous.

Basic liming 10 - 15 t/hectare is adequate for cultivation of newly drained acid sulphate soils. The soil pH did not achieve its peak value three years after liming, but it could be expected that the peak effect will be achieved by 4 to 6 years after liming. The lime exceeding the basic lime application is lost mainly in the neutralization of runoff waters. However, the direct neutralization of drainage waters constitutes more effective neutralization management, because the effect of liming of runoff waters can be directed better by time and location.

Soil acidity and bad drainage, which are typical for acid sulphate soils, increase especially the Co and Ni content in fodder, and it could be thought that these high concentrations could even affect the physiological condition of cattle in these areas.

## K I R J A L L I S U U S

- Breemen, N. van. 1973. Soil forming processes in acid sulphate soils. Julk: Breemen, N. van. (ed.) Proc. 1st Int. Symp. Acid Sulphate Soils. Wageningen. The Netherlands. ILRI Publ., vol. 18, no. 1, p. 66 - 130.
- Erviö, R. & Palko, J. 1984. Macronutrient and micronutrient status of cultivated acid sulphate soils at Tupos, Finland. Ann. Agric. Fenn., vol. 32, no. 2, p. 121-133.
- Frink, C.R. 1972. Aluminium chemistry in acid sulphate soils. Julk: Breemen, N. van. (ed.) Proc. 1st Int. Symp. Acid Sulphate Soils. Wageningen. The Netherlands. ILRI Publ., vol. 18, no. 1, p. 131 - 168.
- Guillet, B. & Souchier, B. 1982. Amorphous and crystalline oxyhydroxides and oxides in soils. Julk: Bonneau, m. & Souchier, B (eds.). Constituents and properties of soils. Academic Press. London. p. 21 - 42.
- Honkavaara, T. 1951. Tuloksia huomattavimmasta kalkituskokeestamme. Koetoim. ja Käyt., vol. 3, s. 1 - 7.
- Lakanen, E. & Erviö, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. Acta Agr. Fenn., vol. 128, p. 223 - 232.
- Larpes, G. 1979. Aikainen kylvö kevätiljasadon varmentajana. Koetoim. ja Käyt., vol. 4, s. 8 - 15.
- Manninen, H. 1984. Ruhko-ojan koealueen rakentaminen. Oulun vesipiirin vesitoimisto. Tnro 98 Ouv 2. 15 s.
- Palko, J. 1986a. Revision of drainage principles for reducing acidity problems in acid sulphate soils. First interim report from the Ruhko-oja polder investigations. Oulun yliopiston Rakentamistekniikan osasto. Vesitekniikan laboratorio. 40 p.

- Palko, J. 1986b. Revision of drainage principles for reducing acidity problems in acid sulphate soils. Second interim report from the Ruhko-oja polder investigations, spring flood 1986. Oulun yliopiston Rakentamistekniikan osasto. Vesitekniikan laboratorio. 50 p.
- Palko, J. 1986c. Mineral element content of timothy (Phleum pratense L.) in an acid sulphate soil area of Tupos village, Northern Finland. Acta Agric Scand, vol. 36, p. 399 - 409.
- Palko, J. & Merilä, E. 1988. Maankuivatusohjeiden tarkentaminen happamalla sulfaattimailla. Rakennustekniikka, vol. 1 (painossa).
- Palko, J. & Myllymaa, U. 1987. Happamien sulfaattimaiden vesistövaikutuksista, esimerkkinä Limingan Tupoksen täydennyskuivatusalue. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja, vol. 11, p. 23 - 59.
- Palko, J. & Myllymaa, U. 1988. The influence of drainage managements on runoff acidity in acid sulphate soil areas. (käsikirjoitus)
- Palko, J. & Räsänen, M. 1987. Identification and classification of agricultural acid sulphate soils in the drainage basin of the river Sirppujoki, SW Finland. Proc. 3rd Int. Symp. Acid Sulphate Soils. Dakar, Senegal 6.-11.1.1986. (painossa).
- Palko, J., Räsänen, M. & Alasaarela, E. 1985. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen ja vaikutus veden laatuun Sirppujoen vesistöalueella. Vesihallitus. Tiedotus no. 260. 95 s.
- Palko, J., Räsänen, M. & Alasaarela, E. 1987. Luodon-Öjänjärven valuma-alueen maaperän ja vesistön happamuuskartoitus. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 11, 61-101.
- Palko, J. & Yli-Halla, M. 1988. Solubility of Co, Ni and Mn in some extractants in Finnish acid sulphate soils. Acta Agric. Scand., vol. 38, no. 2, p. 100 - 106.

- Patrick, W.H. & Reddy, K.R. 1977. Fertilizer nitrogen reactions in flooded soils. Proc. Intern. Seminar on Soil Environment and Fertility Management in Intensive Agriculture, Tokio, p. 275 - 281.
- Purokoski, P. 1958. Die schwefelhaltigen Tonsedimente in dem Flachlandgebiet von Liminka in Lichte chemischer Forschung. Agrogeol. Publ., vol. 70, p. 1 - 88.
- Purokoski, P. 1959. Rannikkoseudun rikkipitoisista maista. Agrogeol. Julk., vol. 74, s. 1 - 44.
- Rasmussen, K. 1961. Uorganske svovlforbindelsers omsetninger i jordbonden. Thesis, veterinaer og Landbohøskole. Kobenhavn. 45 p.
- Saari, E. & Paaso, A. 1980. Mineral element composition of Finnish foods. Analytical methods. Acta Agric. Scand., Suppl., vol. 22, p. 15 - 25.
- SFS 3005. 1981. Veden alkaliteetin ja asiditeetin määrittäminen. Potentiometrinen titraus. Suomen Standardoimisliitto. 4 s.
- Vuorinen, J. & Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Publ., vol. 63, p. 1 - 44.
- Wäre, M. 1947. Maan vesisuhteista ja viljakasvien sadoista Maasojan vesitaloudellisella koekentällä vuosina 1939 - 1944. Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia, vol. 5, 240 s.
- Yli-Halla, M. & Palko, J. 1987. Mineral element content of oats (*Avena sativa* L.) in an acid sulphate soil area of Tupos village, northern Finland. J. Agric. Sci. Finl., vol. 59, p. 73-78.

## VESI- JA YMPÄRISTÖHALLINNON JULKAISUJA

1. Julkaiseminen vesi- ja ympäristöhallinnossa. Helsinki 1987.
2. Heikkilä, Raimo: Kyrönjoen deltan sedimenttitutkimus 1983-1985. Helsinki 1986.
3. Nyman, Kurt; Anttila, Marja-Eliisa; Lax, Hans-Göran; Sarvala, Jouko: Koskien pohjaeläimistö jokien laatuluokittelun perustana.  
Nyman, Kurt; Anttila, Marja-Eliisa; Lax, Hans-Göran: Pohjaeläinnäytteenotto käsihaavilla virtaavasta vedestä. Helsinki 1986.
4. Vesistöhankeiden vaikutusten arviointi. Helsinki 1986.
5. Talsi, Tuija: Porvoon edustan merialueen tila ja sen kehitys vuosina 1965-1984. Helsinki 1987.
6. Lax, Hans-Göran: Vattenkvalitet och longitudinell zonerings hos makrozoobentos i forsavsnitt i Malax å (västra Finland). Helsinki 1987.
7. Korhonen, Markku; Oikari, Aimo: Järvisimpukka (Anodonta piscinalis) kloorifenolien ilmentäjänä Etelä-Saimaalla. Helsinki 1987.
8. Pitkänen, Heikki; Kangas, Pentti; Miettinen, Veijo; Ekholm, Petri: The state of the Finnish coastal waters in 1979-1983. Helsinki 1987.
9. Forsius, Martin: Suomen järvien alueellinen happamuustilanne. Helsinki 1987.
10. Laikari, Hannu: Aktiivilietepuhdistamon pystyselkeyttimen lietepatjan simulointimalli. Helsinki 1987.
11. Palko, Jukka; Saari, Markus: Lapväärtin-Isojoen vesistöalueella sijaitsevan Storsjön järvi-kuivion happamat sulfaattimaat.  
Palko, Jukka; Myllymaa, Urpo: Happamien sulfaattimaiden vesistövaikutuksista, esimerkkinä Limingan Tupoksen täydennyskuivatusalue.  
Palko, Jukka; Räsänen, Matti; Alasaarela, Erkki: Luodon-Öjanjärven valuma-alueen maaperän ja vesistön happamoitumiskartoitus. Helsinki 1987.
12. Eloranta, Pertti: Hapro-projektin perifytonleviä koskevat tutkimukset vv. 1984-85.  
Huttunen, Pertti; Hovi, Arto; Hämäläinen, Heikki: Virtaavien vesien pohjaeläimet ja happamoituminen.  
Kortelainen, Pirkko; Orgaanisen aineen vaikutus pintavesien happamuuteen - kirjallisuus selvitys. Helsinki 1987.

13. Nenonen, Marjaleena (toim.): Kemijärven tila ja kalatalous. Helsinki 1987.
14. Manninen, Pertti: Gonyostomum semen (Ehrenb.) Dies. Raphidophyceae kannan tiheys ja elinolosuhteet humuspitoisissa lammissa. Helsinki 1987.
15. Vesihuoltolaitokset 31.12.1986. Helsinki 1987.
16. Nybom, Carita: Vesikasvien poiston koetoiminta vuosina 1972-1986. Helsinki 1988.
17. Lax, Hans-Göran; Vainio, Taru: Återhämtning hos makrozoobentos i littoralen och på mjukbotten efter Eira olyckan.  
Lax, Hans-Göran; Vainio, Taru: Akvarietest av responsen på olja och dispergeringsmedel hos Lymnaea peregra (mollusca).  
Lax, Hans-Göran; Vainio, Taru: Raakaöljyn vaikutus Lymnaea peregran käyttäytymiseen akvaariokokeen perusteella, Helsinki 1988.
18. Heikkinen, Kaisa; Alasaarela, Erkki: Happamoituneiden vesistöjen neutralointi - kirjallisuuskatsaus. Helsinki 1988.