



MTTK

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS

Tiedote 17/86

EILA TURTOLO ja ANTTI JAAKKOLA
Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto

**Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen
vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin,
natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin
huuhtoutumiseen savimaasta**

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUS
TIEDOTE 17/86

EILA TURTOLA ja ANTTI JAAKKOLA

Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin huuhtoutumiseen savimaasta

Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto
31600 JOKIOINEN
916-844 11

ISSN 0359-7652

SISÄLLYSLUETTELO

	sivu
TIIVISTELMÄ	1
1. JOHDANTO	3
1.1. Huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät	3
1.2. Huuhtoutuvien ravinteiden alkuperä	6
1.3. Huuhtoutumistutkimukset Jokioisissa	8
2. AINEISTO JA MENETELMÄT	9
2.1. Huuhtoutumiskentän rakentaminen ja toiminta	9
2.2. Huuhtoutumiskentän maaperä	12
2.3. Vesi- ja kasvianalyysit	13
2.4. Koejärjestelyt vuosina 1976-1982 ja tulosten tilastollinen käsittely	14
3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	19
3.1. Kaliumin huuhtoutuminen	19
3.2. Kalsiumin huuhtoutuminen	26
3.3. Magnesiumin huuhtoutuminen	30
3.4. Natriumin huuhtoutuminen	34
3.5. Sulfaattirikin huuhtoutuminen	37
3.6. Kloridin huuhtoutuminen	40
4. KIRJALLISUUS	42

TIIVISTELMÄ

Maatalouden tutkimuskeskuksen vuonna 1975 Jokioisiin perustamalla huuhtoutumiskentällä on tutkittu viljelytoimien vaikutusta huuhtoutumiseen käytännön viljelyä vastaavissa oloissa. Savimaalla sijaitseva kenttä on salaojitettu siten, että muodostuu kuusitoista 11 aarin suuruisia ruutua, joilta salaojavedet kerätään erikseen. Pintavedet ohjataan avo-ojien ja vesivakojen avulla neljään pintavesikaivoon, kuhunkin neljän ruudun alalta. Kentän alapuolelle on rakennettu havaintorakennus salaojista ja pintavesikaivoista tulevien vesimäärien mittausta sekä näytteiden keräystä varten.

Vuosina 1976-1982 kentällä suoritettiin kaksi koetta. Koejärjestelyt oli suunniteltu lähinnä typen ja fosforin huuhtoutumisen tutkimiseksi. Tämän lisäksi kokeista saatiin tietoa muiden valumavesissä runsaina esiintyvien kasvinravinteiden huuhtoutumisesta. Vuodesta 1976 lähtien salaoja- ja pintavesistä määritettiin kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja natriumin pitoisuudet. Sulfaattirikki- ja kloridimääritykset aloitettiin vuonna 1980.

Vuosien 1976-1978 aikana kentällä tutkittiin typpilannoitteen levitysaikakohdan vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen. Viljelykasvina oli syysvehnä ja vuonna 1978 syysvehnän talvehtimisen epäonnistuttua ohra. Levitetty typpimäärä oli 100 kg/ha vuodessa, ja typpilannoitteena käytettiin oulunsalpietaria. Typpilannoite levitettiin joko syksyllä syysvehnän kylvön yhteydessä syyskuussa, routaantuneelle maalle marraskuussa tai keväällä toukokuussa. Neljälle ruudulle ei levitetty lainkaan typpilannoitetta. Kylvön yhteydessä syyskuussa levitettiin koko kentän alueelle ammonoitua PK-lannosta 500 kg/ha.

Toisessa vuodet 1980-1982 kestäneessä kokeessa tutkittiin huuhtoutumista viljeltäessä timotei-nurminata -nurmea ja ohraa. Muina koetekijöinä olivat lannoitustaso ja sadetus. Sadetettavat ruudut saivat 30 mm:n sadetuksen kesäkuussa. Lannoitukseen käytettiin Normaali Y-lannosta (16-7-13) ohralle 300 ja 600 kg/ha ja nurmelle 600 ja 1200 kg/ha vuodessa.

Kaliumia, kalsiumia, magnesiumia, natriumia, sulfaattirikkiä ja kloridia huuhtoutui seuraavasti (kg/ha vuodessa):

Viljelykasvi	Vuodet	K	Ca	Mg	Na	SO ₄ -S	Cl
Syysvehnä, ohra	1976-1982	9	32	20	10	16*	29*
Nurmi	1980-1982	15	22	14	7	16	24

* Määritykset aloitettu vuonna 1980

Kaliumin huuhtoutumiseen vaikutti selvimmin valunnan suuruus. Mitä enemmän valuntaa muodostui, sitä runsaammin kaliumia huuhtoutui. Kaliumia kulkeutui pintavesien mukana enemmän kuin salaojavesissä. Huuhtoutumista salaojavesien mukana vähentää kaliumin pidättyminen maa-ainekseen veden kulkiessa maakerrosten läpi. Nurmella lähes neljä viidesosaa huuhtoutuneesta kaliumista kulkeutui pintavesissä. Tähän oli ilmeisesti osittain syynä kaliumin liukeneminen pintavesiin suoraan nurmen pintaan levitetystä lannoitteesta.

Salaojavesissä kaliumia huuhtoutui ohramaasta enemmän kuin nurmesta samalla lannoitustasolla. Tähän oli syynä ohramaan suurempi salaojavesivalunta. Sadetus lisäsi nurmesta tapahtunutta salaojavesivaluntaa ja siten kaliumin huuhtoutumista salaojavesissä. Maan kaliumvaroihin nähden kaliumia huuhtoutui hyvin vähän. Savimaalla kaliumin huuhtoutuminen ei siten vaikuta kaliumlannoitustarpeeseen.

Kalsiumia, magnesiumia ja natriumia huuhtoutui suhteessa 3:2:1. Näitä katiooneja huuhtoutui salaojavesissä noin kaksinkertaisesti pintavesiin verrattuna. Ohramaasta kalsiumia, magnesiumia ja natriumia huuhtoutui salaojavesien mukana enemmän kuin nurmesta. Syynä oli ohramaan runsaampi salaojavesivalunta. Lisäksi ohraa viljeltäessä näiden kationien huuhtoutumista edisti nurmea suurempi nitraatin huuhtoutuminen. Nitraattianionin kyky edistää kalsiumin, magnesiumin ja natriumin huuhtoutumista ilmeni myös viljeltäessä syysvehnää kesannon jälkeen, jolloin nitraattia huuhtoutui hyvin runsaasti.

Kalsiumia ja magnesiumia huuhtoutui maan sisältämiin määriin nähden vähän. Savimaassa huuhtoutumisesta aiheutuva maan happamoituminen eteneekin hyvin hitaasti.

Myös sulfaattirikin ja etenkin kloridin huuhtoutumisen suuruuteen vaikutti selvimmin valunnan määrä. Sekä sulfaattirikkiä että kloridia huuhtoutui salaojavesien ja pintavesien mukana yhtä paljon. Sulfaattirikkiä ja etenkin kloridia huuhtoutui maasta enemmän kuin tyypeä. Kloridin huuhtoutuminen painottui huomattavasti nitraattia selvemmin syyskausiin.

Laskeumassa maahan tuleva rikki tasapainottaa maan rikkitaloutta. Kuitenkin myös savimaassa viljaa viljeltäessä rikkitase voi vähän rikkiä sisältäviä lannoitteita käytettäessä muodostua tappiolliseksi.

1. JOHDANTO

Huuhtoutuminen on maan kehitykseen eli maannostumiseen liittyvä ilmiö. Maassa alaspäin valuvan veden kuljettamina positiivisesti varautuneita kationeja ja negatiivisesti varautuneita anioneja kulkeutuu alempiin maakerrokseen, huuhtoutuu pois kasvien juurten ulottuvilta ja joutuu lopulta vesistöihin. Huuhtoutumiselle ovat lähinnä alttiina maanesteessä vapaana olevat sekä maa-aineksen pinnoille sähköisin voimin sitoutuneet kationit ja anionit. Huuhtoutuvat ionit ovat peräisin maan mineraalien rapautumisesta, orgaanisen aineksen hajoamisesta, ilmakehästä tulevasta laskeumasta sekä lannoitteista ja kalkitusaineista.

Huuhtoutuminen on peltomaista suurempaa kuin luonnontilaisista ja metsämaista. Tähän on syynä se, että peltomaassa on runsaammin huuhtoutumiselle alttiita kasvinravinteita. Ravinteita on peltomaassa enemmän lannoituksen, kalkituksen sekä muista viljelytoimista aiheutuvan nopeamman rapautumisen seurauksena (WIKLANDER 1970).

Kaliumin (K^+), kalsiumin (Ca^{2+}), magnesiumin (Mg^{2+}), natriumin (Na^+), sulfaattirikin (SO_4^{2-} -S) ja kloridin (Cl^-) huuhtoutumisen ei katsota aiheuttavan merkittäviä vesistöhaittoja (mm. ULÉN 1984). Sen sijaan maaperässä runsas kalsiumin ja magnesiumin huuhtoutuminen edistää maan happamoitumista ja lisää ylläpitokalkitustarvetta. Karkeilla mailla magnesiumin ja sulfaatin huuhtoutumisen seurauksena voi ilmetä magnesium- ja rikkilannoitustarvetta.

1.1. Huuhtoutumiseen vaikuttavat tekijät

Huuhtoutumiseen vaikuttavat sademäärä ja valunnan muodostuminen. Mitä enemmän valuntaa muodostuu, sitä runsaammin ravinteita voi huuhtoutua. Sademäärän ja valunnan kokonaismäärän lisäksi vaikuttaa niiden jakaantuminen eri vuodenaikojen kesken. Ratkaisevaa on myös se, kuinka suuri osa valunnasta on pinta-vesivaluntaa ja mikä osa muodostaa salaojavesi- ja pohjavesivaluntaa.

Ionien huuhtoutumisalttiuteen vaikuttaa niiden pidättyminen maa-ainekseen. Maan kyky pidättää kationeja ns. vaihtuvaan muotoon perustuu maa-aineksen negatiiviseen varaukseen. Mitä suurempi on kationin positiivinen varaus, sitä tiukemmin se voi pidättyä maahan sähköisin voimin. Yksittäisen ionin huuhtoutumisalttiuden määrää sen adsorptioenergian suhde muiden ionien adsorptioenergioihin. Mitä heikommin ioni on pidättynyt maahan muihin ioneihin verrattuna, sitä alttiimpi se on huuhtoutumaan.

HARTIKAISEN (1978a) mukaan kationien huuhtoutumisalttius noudattaa järjestystä: $\text{Na} > \text{Mg} \approx \text{Ca} > \text{K}$, ja WIKLANDERin (1974) mukaan järjestys on $\text{Na} \gg \text{K}$; $\text{Mg} > \text{Ca}$. WIKLANDERin (1974) mukaan savimaassa natriumin suhteellisen adsorptioenergian ollessa 1 on kaliumin vastaava arvo 17, magnesiumin 26 ja kalsiumin 36. UHLENin (1978a) mukaan kalium sitoutuu maahan 10-20 kertaa natriumia lujemmin, ja pohjamaahan kalium voi sitoutua jopa kalsiumia tiukemmin. Paitsi vaihtuvaan muotoon kaliumionit voivat pidättyä savimineraalirakenteisiin hyvin tiukasti ns. vaihtumattomaan muotoon, mikä vähentää kaliumin huuhtoutumisalttiutta suurempivarauksisiin kationeihin verrattuna.

Kationien keskinäisiin suhteisiin valumavesissä vaikuttavat sitoutumislujuuden ohella maanesteen konsentraatio, vaihtuvien kationien määräsuhteet ja käytetty lannoitus (UHLEN 1978a ja b). Valtaosa vaihtuvista kationeista on kalsiumia, ja siksi kalsiumin pitoisuus salaojavedessä on yleensä muita kationeja suurempi (WIKLANDER 1970).

Maahiukkasten negatiivisten varausten pidättäessä kationeja hiukkasten pinnoille syntyy ns. diffuusi kaksoiskerros. Diffuusissa kaksoiskerroksessa kationien määrä vähenee, kun etäisyys negatiivisesti varautuneesta pinnasta kasvaa. Toisaalta maahiukkasten negatiivinen varaus hylkii anioneja, joiden pitoisuus diffuusissa kaksoiskerroksessa on siten pienempi kuin muualla maanesteessä. Tämä maahiukkasten anioneihin kohdistama hylkimisvoima edistää ja nopeuttaa anionien huuhtoutumista (CAMERON ja WILD 1982).

Maassa voi esiintyä myös anioneja sähköisin voimin sitovia positiivisia varauksia. UHLENin (1978b) mukaan sulfaatin nitraattia ja kloridia hitaampi huuhtoutuminen johtuu sen sitoutumisesta em. anioneja enemmän maan positiivisesti varautuneisiin anioninvaihtopaikkoihin. Anioninvaihdon huuhtoutumista ehkäisevä vaikutus on kuitenkin pieni, koska anioneja sitovia positiivisia varauksia ei juuri esiinny pH 6:n yläpuolella (BOHN ym. 1979).

Eräät anionit voivat sitoutua maa-ainekseen spesifisesti muodostamalla lujia koordinaatiosidoksia. Spesifinen sitoutuminen vähentää etenkin fosfaatin, mutta osittain myös sulfaatin huuhtoutumisalttiutta (HARTIKAINEN 1978b).

Ionien huuhtoutumisalttiuteen vaikuttaa maahan pidättymisen lisäksi niiden osallistuminen maassa tapahtuviin biologisiin prosesseihin. Kasvien ja mikro-bien toiminnan tuloksena ioneja sitoutuu orgaaniseen ainekseen, mikä ehkäisee niiden huuhtoutumista. Biologisiin kiertoihin osallistuminen vähentää sulfaattirikin huuhtoutumista (HARTIKAINEN 1978b). Sen sijaan kloridin huuhtoutumiseen vaikuttavat lähinnä vain maan fysikaaliset ominaisuudet, vedenläpäisykyky ja valunnan muodostuminen (HARTIKAINEN 1978b).

Koska sulfaatti- ja etenkin kloridianionit pidättyvät maahan heikosti, niiden huuhtoutumisalttiuus on suuri. WIKLANDERin (1974) mukaan juuri sulfaattia ja kloridia esiintyy salaojavesissä muita anioneja runsaammin. Anionien suuri huuhtoutumisalttiuus on varaustasapainon säilymisen vuoksi omiaan lisäämään myös kationien huuhtoutumista (UHLEN 1978a ja b).

Saveslajite (hiukkasten ekvivalenttiläpimitta $< 0,002$ mm) on tärkein kationien pidättymiseen osallistuva maan komponentti. Saveksen määrän lisääntyessä maan kyky pidättää kationeja kasvaa ja huuhtoutumisalttiuus vähenee (HARTIKAINEN 1978b). Etenkin savimineraaleilla on suuren negatiivisen varauksen vuoksi suuri kationinvaihtokapasiteetti. Myös maan orgaaninen aines sekä raudan ja alumiinin muodostamat amorfiset oksidit ja hydroksidit voivat osallistua kationinvaihtoon. Niiden kationinvaihtokapasiteetti riippuu kuitenkin maan happamuudesta, ja pH 6:n alapuolella kyky pidättää kationeja on hyvin pieni (BOHN ym. 1979).

Savimaassa myös anionien huuhtoutuminen on yleensä karkeampia maita vähäisempää, koska osa anioneista voi olla suojassa huuhtoutumiselta maan pienemmissä huokosissa (HARTIKAINEN 1978b). Huuhtoutumista vähentää karkeampiin maihin nähden myös se, että savimailla pienempi osa sadevedestä pystyy tunkeutumaan maahan ja muodostamaan salaoja- ja pohjavesivaluntaa.

WIKLANDERin (1974) mukaan huuhtoutuminen on savimaassa hyvin monimutkainen prosessi, eivätkä ionit kulkeudu alaspäin selvänä rintamana kuten esim. karkeassa hietamaassa. Savimaassa tapahtuu ionien hidasta sähköisistä ja koncentraatioeroista aiheutuvaa diffuusiota ympäröivästä maasta veden kulkureittejä kohti. Diffuusion hitauden vuoksi maassa ei ehdi muodostua tasapainoa suhteellisen nopeasti valuvan veden ja maassa alunperin sekä vaihtuvina että

vapaina maanesteessä olleiden ionien välille. Vaikka kemiallista tasapainoa ei ehdikään muodostua, prosessi on kuitenkin suuntautunut tasapainotilaa kohti.

Viljelymaassa alaspäin valuvan veden ja maahiukkasten välisten ioninvaihtoreaktioiden vaikutuksesta valuvan veden konsentraatio kasvaa sadeveteen verrattuna moninkertaiseksi. Viime kädessä salaojaveden koostumukseen vaikuttavat ne reaktiot, jotka tapahtuvat salaojastoa ympäröivissä maakerroksissa (WIKLANDER 1974).

1.2. Huuhtoutuvien ravinteiden alkuperä

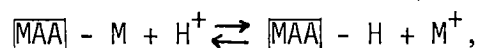
WIKLANDER (1974) kuvaa maatalousmaassa tapahtuvaa huuhtoutumista seuraavalla maasta valuvan veden (esim. salaojaveden) konsentraation, c_v , ja sadeveden konsentraation, c_s , välisellä yhtälöllä:

$$c_v = c_s + c_r + c_l + c_i ,$$

c_r = rapautumisesta ja orgaanisen aineksen hajoamisesta peräisin oleva konsentraatio

c_l = lannoituksesta ja kalkituksesta peräisin oleva konsentraatio

c_i = ioninvaihtoreaktioissa vapautuva konsentraatio:



missä M^+ on vaihtuva kationi. Vetyioni H^+ on peräisin happamasta laskeumasta, orgaanisen aineksen hajoamistuotteista, juuristosta, maassa tapahtuvasta nitrifikaatiosta ja rikin hapetuksesta. Ilman vastakkaisia prosesseja vetyionien ja kationien välinen vaihtoreaktio johtaa vähitellen maan happamoitumiseen. Toisaalta maan kyky vaihtaa vetyioneja kalsium- ja magnesiumioneihin merkitsee sitä, että maa pystyy ehkäisemään ja puskuroimaan maata happamoittavien tekijöiden vaikutuksia viljelykasveihin ja vesistöihin (WIKLANDER 1970).

Laskeuman, rapautumistuotteiden sekä lannoituksen ja kalkituksen osuus valuvan veden konsentraation muodostumisessa riippuu sadeveden koostumuksesta, maan laadusta ja viljelytoimista. Laskeuman mukana on tullut maahan Jokioissa kaliumia, kalsiumia, magnesiumia, natriumia, sulfaattirikkiä ja kloridia seuraavasti (kg/ha vuodessa):

	K	Ca	Mg	Na	SO ₄ -S	Cl
1975-1979 ¹⁾	1,5	3,8	0,6	1,6	9,1	5,0
1980-1983 ²⁾	1,8	3,4	0,8	2,9	12,7	5,5

1) KULMALA ym. (1982)

2) Ilmatieteen laitos, ilmanlaatuosasto, julkaisematon

Savimaat pystyvät pidättämään hyvin runsaasti vaihtuvia kationeja. KURJEN (1982) mukaan suomalaisissa hiesusavi- ja aitosavimaissa on muokkauskerroksessa vaihtuvaa kalsiumia hiesusavessa 5500 kg/ha ja aitosavessa 6900 kg/ha. Magnesiumia on vastaavasti 1400 ja 1900 kg/ha, ja kaliumia 700 kg/ha. Vaihtuvaa natriumia on peltomaissa keskimäärin vain 60 kg/ha. Savimaassa on niin runsaasti vaihtuvaa kalsiumia, magnesiumia ja kaliumia, ettei laskeumassa maahan tulevilla määrillä ole merkitystä huuhtoutumisen kannalta.

Maassa on vaihtuvista kationeista eniten kalsiumia, joka ei rapautumisessa vapauduttuaan juuri osallistu uusien mineraalien muodostumiseen. Viljelymaisissa kalsiumin huuhtoutuminen lisääntyy kalkituksen ja lannoituksen seurauksena. Vaikka kalsiumia huuhtoutuu maista runsaasti, tapahtuu tästä johtuva maan köyhtyminen ja happamoituminen hitaasti, koska maan kalsiumvarasto on hyvin suuri (WIKLANDER 1970, 1977).

Magnesiumia on maassa vaihtuvana vähemmän kuin kalsiumia. Huuhtoutumisen ja kasvien magnesiumin oton seurauksena voi karkeilla mailla esiintyä viljelykasveilla magnesiumin puutetta, ellei magnesiumtappioita korvata lannoituksella (WIKLANDER 1970).

Kaliumin tiukan sitoutumisen vuoksi kaliumia voi huuhtoutua suuria määriä vain hiekka- ja hietamaista runsaan kaliumlannoituksen jälkeen. Salaojavesien kaliumpitoisuus voi olla korkea myös voimakkaan rapautumisen seurauksena (WIKLANDER 1977).

Natrium sitoutuu maa-ainekseen huomattavasti kaliumia, kalsiumia ja magnesiumia heikommin. Tämän vuoksi rapautumisesta, laskeumasta ja lannoitteista peräisin oleva vaihtuvaksi sitoutunut natrium on muita kationeja välittömämmin alttiina huuhtoutumiselle. Tästä seuraa, että maahan tulleet ja sieltä sadon mukana sekä huuhtoutumalla poistuneet natriummäärät ovat likimain yhtä suuria (HOVMAND 1984).

RUSSELLin (1973) mukaan valtaosa maan rikistä on maaperän orgaanisessa aineksessa, jossa typen ja rikin suhde on 10:1,5-10:1. Tämän mukaan aitosavimaa voisi sisältää orgaaniseen ainekseen sitoutunutta rikkiä jopa 1000-1500 kg/ha. Maaperän rikille on typen tavoin tyypillistä monimutkainen kierto epäorgaanisten ja maan orgaaniseen ainekseen sitoutuneiden muotojen välillä.

Maan orgaaniseen ainekseen sitoutunutta rikkiä vapautuu epäorgaaniseen muotoon maan mikrobien aikaansaamassa mineralisaatiossa. Rikin epäorgaanisista muodoista on maassa tärkein sulfaattirikki. Mineralisaation lisäksi sulfaattirikkiä tulee maahan myös laskeumassa ja lannoitteiden mukana sekä sulfaattimaissa tapahtuvan sulfidirikin hapettumisen seurauksena. Huuhtoutumiselle alttiin sulfaatin määrää vähentävät puolestaan kasvien ja mikrobien rikin otto. Koska sulfaatti sitoutuu maahan heikosti, aiheutuu maan sulfaattipitoisuuden vaihtelusta suuria alueellisia ja ajallisia eroja rikin huuhtoutumisessa (WIKLANDER 1970).

Laskeuman mukana tuleva rikki on varsin merkittävä maan rikkitaseeseen sekä huuhtoutumiseen vaikuttava rikkilähde (HOVMAND 1984). Väkilannoitteissa tuleva rikkimäärä on vähentynyt, koska nykyisin käytettävät Y-lannoitteet sisältävät rikkiä vain 2-8 %. Karjanlantaa levitettäessä rikkiä tulee maahan enemmän, sillä KERÄSEN (1966) mukaan rikkiä on naudon kuivikelannassa 1 kg/t ja lietelannassa 0,4 kg/t.

Maaperän mineraalit eivät sisällä juuri lainkaan klooria. Huuhtoutuva kloridi on peräisin laskeumasta, lannoitteista ja maaperän mahdollisesti sisältämistä huuhtoutumattomista merisuoloista (LAHERMO 1970, WIKLANDER 1970). LAHERMON (1970) mukaan pohjaveden luonnontilaisesta kohonnut kloridipitoisuus kertoo pohjaveden laadunmuutosten olevan maatalousperäisiä.

1.3. Huuhtoutumistutkimukset Jokioisissa

Maatalouden tutkimuskeskuksen maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto perusti v. 1975 Jokioisiin (60° 49' N, 23° 30' E) Kotkanojan peltolohkolle huuhtoutumiskentän. Tällä kentällä on tutkittu viljelytoimien vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen käytännön viljelyä vastaavissa oloissa (JAAKKOLA 1978, 1979a ja b, 1981, 1983a, b ja c, 1984, TURTOLA ja JAAKKOLA 1985).

Vuosina 1976-1982 kentällä suoritettiin kaksi koetta. Vuosien 1976-1978 aikana tutkittiin typpilannoitteen levitysajankohdan vaikutusta huuhtoutumi-

seen. Toisessa vuodet 1980-1982 kestäneessä kokeessa selvitettiin viljelykasvin, lannoitustason ja sadetuksen vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen. Vaikka koejärjestelyt oli suunniteltu lähinnä typen ja fosforin huuhtoutumisen tutkimiseksi, saatiin samalla tietoa muiden valumavesissä runsaina esiintyvien kasvinravinteiden huuhtoutumisesta. Vuodesta 1976 lähtien salaoja- ja pintavesistä määritettiin kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja natriumin pitoisuudet. Sulfaattirikki- ja kloridimääritykset aloitettiin vuonna 1980.

2. AINEISTO JA MENETELMÄT

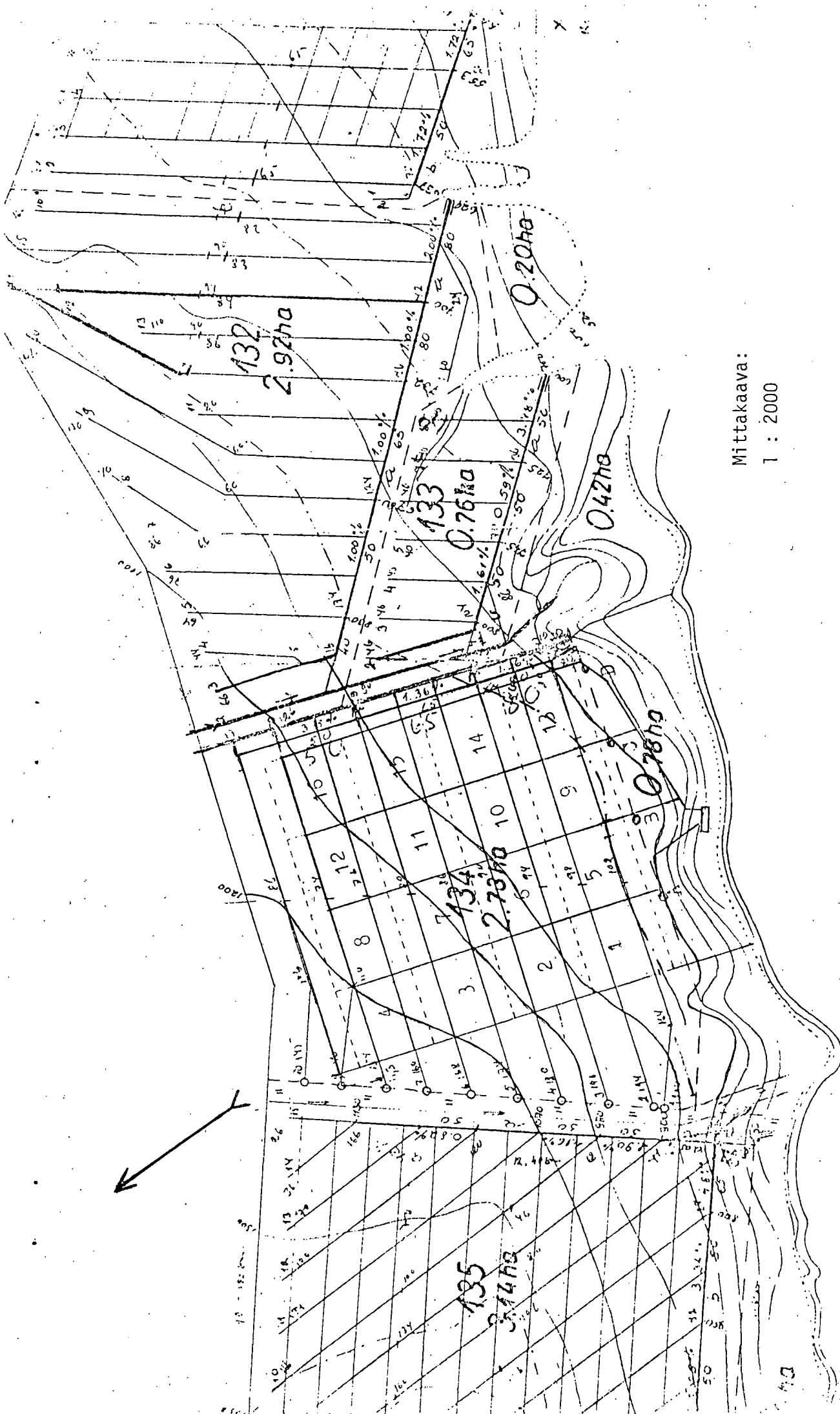
2.1. Huuhtoutumiskentän rakentaminen ja toiminta

Huuhtoutumiskenttä sijaitsee syvänteessä virtaavaan puroon loivasti viettävällä peltolohkolla (kuva 1). Lohko on salaojitettu v. 1962 40 mm:n tiili-putkilla. Imuojien etäisyys on 16,5 m. Syksyllä v. 1975 kahdeksan imuojan poikki kaivettiin salaojat 33 m:n välein. Näihin ojiin upotettiin muoviputket, joihin yhdistettiin aina kaksi 33 m:n pituista imuojaa omaksi ojastokseen. Tällöin muodostui 16 erillistä keskimäärin 10,9 a suuruista koeruutua. Näin muodostetuilta ruuduilta salaojavedet voidaan kerätä ja johtaa havaintorakennukseen erikseen (kuva 2).

Salaojat sijaitsevat keskimäärin 1 m:n syvyydessä. Suurin keskimääräinen syvyys yksittäisessä ruudussa on 1,17 m ja pienin 0,84 m. Ojien suurin kaltevuus on 1,1 % ja pienin 0,3 %.

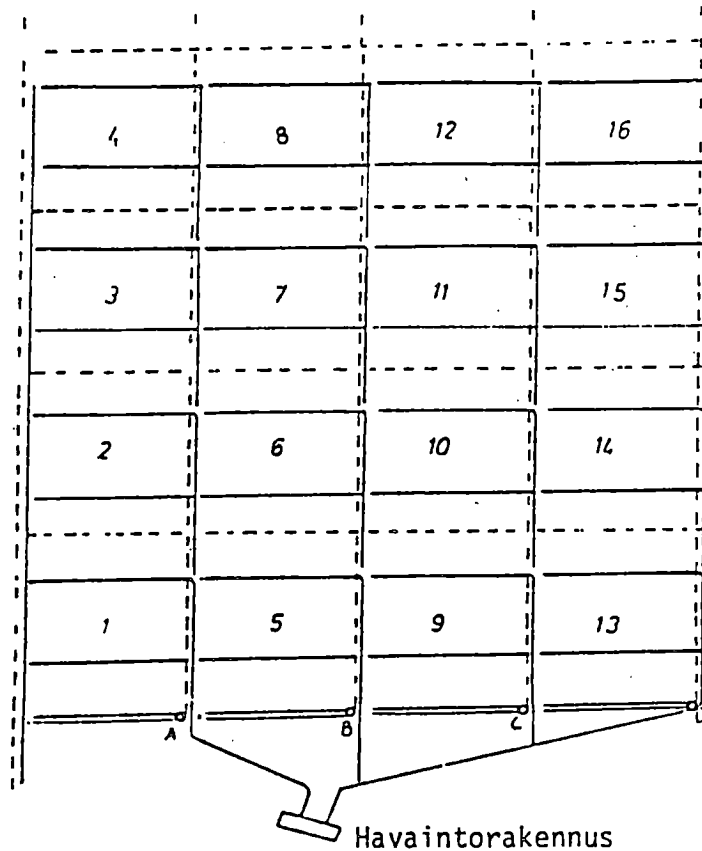
Pintavesien keräämistä varten on kaivettu 4 pintavesikaivoa, joihin kuhunkin pintavedet johdetaan vesivakojen ja avo-ojien avulla 4 ruudun alalta. Pintavesikaivot on rakennettu halkaisijaltaan 60 cm:n betonirenkaista. Kaivoon johtavaan ojaan on upotettu 6 m:n pituinen rei'itetty muoviputki noin 0,5 m:n syvyyteen ojan pohjasta. Putki on peitetty ja kaivo ympäröity soralla veden virtauksen edistämiseksi. Vedet johdetaan kaivoista havaintorakennukseen muoviputkia pitkin. Nämä putket ja pintavesikaivot on eristetty 5 cm:n vahuisella styrox-eristeellä jäätyksen ehkäisemiseksi.

Ruutu n:o 4 on keskimäärin 2,4 m korkeamalla kuin ruutu n:o 1, ja tämän sivun kaltevuus kentällä on keskimäärin 2,5 %. Vastakkaisen sivun kaltevuus on 1,7 %. Alimman sivun kaltevuus on vain 0,2 %. Koska joidenkin vierekkäisten ruutujen välillä on varsin suuria korkeuseroja, pintavesien johtaminen niille tarkoitettuihin kaivoihin ei ole aina onnistunut halutulla tavalla.



Mittakaava:
1 : 2000

Kuva 1. Huuhtoutumiskentän sijainti Kotkanojan peltolohkolla.



o Kaivo
 — Salaoja 1)
 == Avo-oja
 - - - Vesivako

Mittakaava

0 10 20 30 40 50 m

1) Vaakasuorat yhtenäiset viivat osoittavat vanhojen tiilisalaojaputkien sijaintia. Pystysuorat viivat osoittavat muoviputkia, joita myöten kunkin ruudun salaojavedet johdetaan havaintorakennukseen.

Kuva 2. Huuhtoutumiskentän toimintakaavio.

Havaintorakennuksessa kultakin ruudulta tulleet salaojavedet ja neljästä pintavesikaivosta tulleet pintavedet kerättiin ja vesimäärät mitattiin erikseen. Vesimäärän mittaus tapahtui kääntyvän kaksiosaisen mitta-astian avulla. Tilavuudeltaan 4,5 l:n astian kääntyminen täyttymisen jälkeen rekisteröityi elektromekaaniseen laskuriin. Mitta-astian tyhjentäessä noin 0,06 % vesimäärästä ohjautui pienen suppilon avulla 10 l:n näyteastiaan. Tällä tavoin kerätystä koko valunutta vesimäärää edustavasta vedestä otettiin vesinäytteet analyysensä varten. Vesinäytteet otettiin polyeteenipulloihin, ja niitä säilytettiin ennen analysointia pimeässä +4 °C:n lämpötilassa.

2.2. Huuhtoutumiskentän maaperä

Huuhtoutumiskentän maaperän laatua tutkittiin ottamalla kentältä maanäytteitä 0-80 cm syvyydeltä syksyllä 1979. Maaperän lajitekoostumuksen määrittämisessä käytettiin ELOSEN (1971) kehittämää menetelmää. Huuhtoutumiskentällä maaperän savespitoisuus oli korkein kentän alareunassa. Muokkauskerroksen savespitoisuus oli suurin ruudussa 14 (79 %) ja pienin ruudussa 8 (43 %) kentän ylälaidalla (taulukko 1, kuva 2). Yhdeksällä ruudulla 16:sta muokkauskerroksen savespitoisuus ylitti 60 % eli ne luokiteltiin aitosaviksi. Muokkauskerroksen alapuolella maa oli aitosavea koko kentän alueella.

Orgaanisen hiilen pitoisuus määritettiin märkäpolttomenetelmällä (GRAHAM 1948). Orgaanisen hiilen pitoisuus oli pienempi kuin mitä se SIPPOLAN ja TAREKSEN (1978) mukaan on Suomen peltomaissa keskimäärin (4 %). Ruutujen välinen vaihtelu oli varsin suuri (taulukko 1).

Maan pH mitattiin maa-vesi -suspensiosta 1:2,5 (v/v). Muokkauskerroksen pH oli varsin lähellä koko maan hiesusavi- ja aitosavimaiden keskiarvoa 6,0 (KURKI 1982). Syvemmissä maakerroksissa pH oli korkeampi, ja 60-80 cm:n syvyydessä maa oli neutraalia (taulukko 1).

Taulukko 1. Maan pH, orgaanisen hiilen pitoisuus ja savespitoisuus huuhtoutumiskentän koeruuduissa eri syvyyksissä (\bar{x} = keskiarvo, vv = vaihteluväli).

Syvyys cm	pH (H ₂ O)		Org. hiili, %		Saves, %	
	\bar{x}	vv	\bar{x}	vv	\bar{x}	vv
0-20	5,9	5,7-6,1	2,7	2,2-3,6	61	43-79
20-40	6,3	6,0-6,6	0,6	0,5-1,0	83	62-93
40-60	6,8	6,4-7,0	-	-	88	65-95
60-80	7,0	6,9-7,2	-	-	92	82-96

Maan ravinnetilan selvittämiseksi määritettiin happamaan ammoniumasetattiin (pH 4,65) uuttuvien fosforin, kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät. Menetelmä on sama kuin Viljavuuspalvelu Oy:n käyttämä menetelmä (VUORINEN ja MÄKITIE 1955). Viljavuuspalvelu Oy:n tuloksista on KURKI (1982) julkaissut yhteenvedon. Kotkanojan huuhtoutumiskentän muokkauskerroksessa vaihtuvan kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet olivat keskimääräistä tasoa.

Sen sijaan fosforin pitoisuudet olivat huomattavasti keskimääräistä pienempiä (taulukko 2). KURJEN (1982) mukaan hiesusavien keskimääräinen fosforiluku on 8,5. Syvemmissä maakerroksissa vaihtuvan kalsiumin ja etenkin magnesiumin määrät olivat korkeita.

Taulukko 2. Happamaan ammoniumasetaattiin (pH 4,65) uuttuvien ravinteiden pitoisuus (mg/l maata) huuhtoutumiskentän koeruuduissa eri syvyyksissä (\bar{x} = keskiarvo, vv = vaihteluväli).

Syvyys cm	K		Ca		Mg		P	
	\bar{x}	vv	\bar{x}	vv	\bar{x}	vv	\bar{x}	vv
0-20	265	210-340	1900	1350-2200	550	320- 730	3,6	2,7-4,8
20-40	310	220-360	2770	2000-3100	1790	1220-2050	0,2	0,0-0,5
40-60	320	230-370	2900	2400-3100	1990	1700-2100	0,2	0,0-0,4
60-80	335	270-390	2880	2700-3300	2000	1800-2300	0,3	0,0-0,6

2.3. Vesi- ja kasvianalyysit

Vesinäytteistä määritettiin kaliumin, kalsiumin, magnesiumin ja natriumin pitoisuus atomiabsorptiospektrofotometrillä ilma-asetyleeniliekkiä käyttäen (VESIHALLITUS 1981). Määrittystä varten näyte suodatettiin kalvosuodattimen (huokoskoko 0,45 μm) läpi. Kalsiumin ja magnesiumin pitoisuutta määritettäessä mitattava liuos oli 0,25 % lantaanin suhteen. Kalium mitattiin aallonpituudella 766,5 nm, kalsium 422,7 nm, magnesium 285,2 nm ja natrium 588,5 nm.

Sulfaattirikin pitoisuus määritettiin suodatetusta (0,45 μm) ja suolahapolla happamaksi tehdystä vesinäytteestä saostamalla sulfaatti BaCl_2 :lla kuumasta liuksesta (70-80 $^{\circ}\text{C}$). BaSO_4 -sakan sentrifugoinnin ja pesun jälkeen sakka liuotettiin EDTA-liuksella. Tästä liuksesta määritettiin sulfaatti epäsuorasti mittaamalla bariumin pitoisuus atomiabsorptiospektrofotometrillä (ilma-asetyleeniliekki, aallonpituus 553,6 nm). Sulfaattirikin pitoisuuden määrittelykset aloitettiin kesäkuussa 1980.

Kloridin pitoisuus mitattiin suodattamattomista vesinäytteistä kloridispesifisen elektrodin avulla (Orion 94-17A, valmistaja Orion Research Co., USA). Kloridimääritykset aloitettiin huhtikuussa 1980.

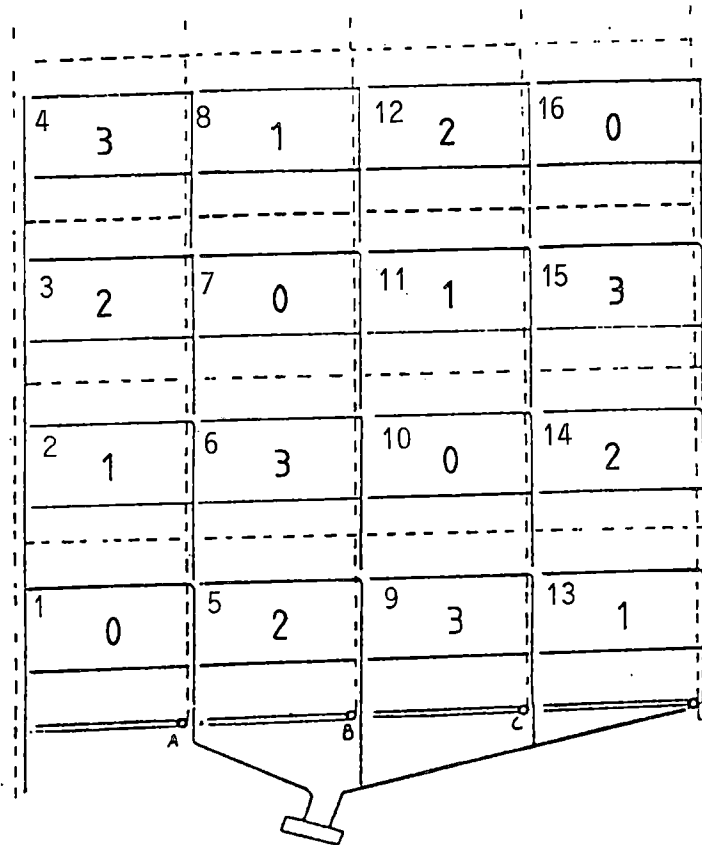
Kasvinäytteistä määritettiin jyvä- ja olkisadon sisältämän kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin määrät. Analyysiä varten valmistettiin 2 g:sta ilma-kuivaa kasvinäytettä tuhkauute. Näytettä poltettiin ensin 350 °C:en lämpötilassa ja savuttamisen jälkeen lämpötila nostettiin 520 °C:een, missä näytteet olivat seuraavaan aamuun. Tuhkan sisältämät oksidit muutettiin vesiliukoiseen muotoon klorideiksi lisäämällä näytteeseen suolahappoa. Tuhkauute suodatettiin ja suodoksesta mitattiin kaliumin, kalsiumin ja magnesiumin pitoisuudet atomiabsorptiospektrofotometrillä samalla tavoin kuin vesinäytteistä.

2.4. Koejärjestelyt vuosina 1976-1982 ja tulosten tilastollinen käsittely

Kesän 1976 huuhtoutumiskenttä oli kesantona. Syksyllä 1976 aloitettiin vuodet 1976-1978 kestänyt koe, jossa tutkittiin typpilannoitteen levitysjankohdan vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen viljeltäessä syysvehnää. Levitetty typpimäärä oli 100 kg/ha vuodessa, ja typpilannoitteena käytettiin oulunsalpietaria. Koe oli järjestetty latinalaisen neliön mukaan. Typpilannoitteen levitys tapahtui joko syksyllä syysvehnän kylvön yhteydessä syyskuussa, routaantuneelle maalle marraskuussa tai keväällä toukokuussa. Neljälle ruudulle ei levitetty lainkaan typpilannoitetta (kuva 3).

Kylvön yhteydessä syyskuussa levitettiin koko kentän alueelle ammonoitua PK-lannosta 500 kg/ha. Oulunsalpietarin ja PK-lannoksen mukana peltoon tulleet ravinnemäärät on esitetty taulukossa 3.

Vuonna 1976 syysvehnän kylvä, ensimmäinen typpilannoitteen levitys 4 ruudulle ja PK-lannoitteen levitys tapahtuivat 3.9. Seuraava routaantuneelle maalle tehty levitys tapahtui 26.11. Keväällä 1977 typpilannoite levitettiin 10.5. Syysvehnä puitiin 5.9.1977. Kenttä kynnettiin ja muokattiin syysvehnän kylvää varten. Kenttä kylvettiin ja ensimmäinen typpilannoitus- ja PK-lannoitusajankohta olivat 20.9. Routaantuneelle maalle typpilannoite levitettiin 29.11. Syysvehnän talvehtiminen ei kuitenkaan onnistunut, ja 8.5.1978 kentälle kylvettiin ohra. Koesuunnitelma toteutettiin muilta osin alkuperäisen ohjelman mukaan, ja keväällä tyypellä lannoitettavat ruudut saivat typpilannoituksen 8.5. Ohra puitiin 30.8. Syysvehnän ja ohran jyväsato punnittiin ja jyvä-olkisuhteen avulla laskettiin olkisadon suuruus. Jyvistä ja oljista otettiin näytteet sadon sisältämien ravinnemäärien analysointia varten.



Typpilannoitus ja sen ajankohta

- 0 = ei typpilannoitusta
- 1 = 500 kg/ha oulunsalpietaria (N 100 kg/ha)
syysvehnän kylvön yhteydessä syyskuussa
- 2 = 500 kg/ha oulunsalpietaria routaantuneelle
maalle marraskuussa
- 3 = 500 kg/ha oulunsalpietaria toukokuussa

Kuva 3. Koejärjestely huuhtoutumiskentällä vuosina 1976-1978.

Keväällä 1979 kentälle kylvettiin ohra 21.5. Samalla puolelle alasta perustettiin nurmi ohra suojaviljana. Kylvön yhteydessä kenttä lannoitettiin normaali Y-lannoksella (16-7-13), jota käytettiin 600 kg/ha (taulukko 3). Ohra puitiin 3.9., ja sadosta otettiin näytteet sadon suuruuden ja sen sisältämien ravinnemäärien selvittämiseksi. Ohraruodut kynnettiin marraskuun alussa.

Vesien ravinnepitoisuuksien ja huuhtoutuneiden ravinnemäärien tilastollista käsittelyä varten vuodet jaettiin havaintojaksoihin. Salaoja- ja pintavesien ravinnepitoisuudet sekä vesissä huuhtoutuneet ravinnemäärät laskettiin seuraavasti. Kahden näytteenottokerran välillä huuhtoutunut ravinnemäärä saatiin kertomalla ko. ajanjaksona valuneen veden konsentraatio valuneella vesimäärällä. Nämä ravinnemäärät laskettiin yhteen kunkin havaintojakson sisällä,

jolloin saatiin ko. havaintojakson kuluessa huuhtoutunut ravinnemäärä (kg/ha). Havaintojakson aikainen keskimääräinen ravinnepitoisuus (mg/l) laskettiin jakamalla jakson kuluessa huuhtoutunut ravinnemäärä vastaavana aikana muodostuneen valunnan määrällä.

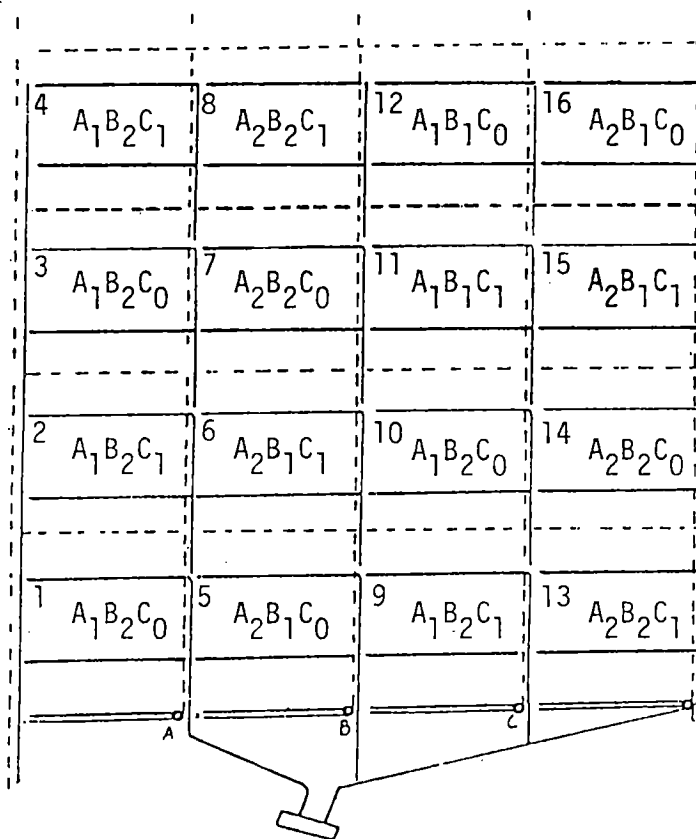
Havaintojaksot rajattiin typpilannoitteen levityksen sekä vuonna 1978 ja 1979 syksyllä ohran puinnin ajoittumisen perusteella. Näin saatiin 13 jaksoa:

Aika	Jakso
17.04.-03.09.1976	1
04.09.-26.11.1976	2
27.11.-31.12.1976	3
01.01.-10.05.1977	4
11.05.-20.09.1977	5
21.09.-29.11.1977	6
30.11.-31.12.1977	7
01.01.-08.05.1978	8
09.05.-30.08.1978	9
31.08.-31.12.1978	10
01.01.-21.05.1979	11
22.05.-03.09.1979	12
04.09.-31.12.1979	13

Tulosten tilastollisessa käsittelyssä käytettiin varianssianalyysiä.

Vuosina 1980-1982 huuhtoutumiskentällä tutkittiin ravinteiden huuhtoutumista viljeltäessä timotei-nurminata -nurmea ja ohraa. Muina koetekijöinä olivat lannoitustaso ja sadetus. Sadetettavat ruudut saivat 30 mm:n sadetuksen ke-säkuussa. Lannoitteena käytettiin normaali Y-lannosta (16-7-13) ohralle 300 ja 600 kg/ha ja nurmelle 600 ja 1200 kg/ha. Lannoitteessa peltoon tulleet ravinnemäärät on esitetty taulukossa 3. Kokeessa oli kaksi kerrannetta (kuva 4).

Ohran kylvö ja lannoitus tapahtuivat koevuosina toukokuun 7., 13. ja 10. päivänä. Ohra puitiin vastaavasti elokuun 18., syyskuun 9. ja elokuun 26. päivänä. Olki kynnettiin maahan syksyllä. Nurmi oli perustettu vuonna 1979



Koetekijät

A = kasvi

B = lannoitus

A_1 = nurmi

B_1 = 600 kg/ha Normaali Y-lannos (16-7-13)

B_2 = 1200 kg/ha Normaali Y-lannos

A_2 = ohra

B_1 = 300 kg/ha Normaali Y-lannos

B_2 = 600 kg/ha Normaali Y-lannos

C = sadetus

C_0 = ei sadetusta

C_1 = sadetettu

Kuva 4. Koejärjestely huuhtoutumiskentällä vuosina 1980-1982.

ohra suojaviljana. Puolet nurmelle käytetystä Y-lannosmäärästä levitettiin keväällä ohran kylvön aikaan. Nurmi niitettiin ensimmäisen kerran kesä-heinäkuun vaihteessa, ja niittoa seuraavana päivänä levitettiin loppuosa lannoitemäärästä. Nurmiruudut niitettiin toisen kerran syyskuun alussa. Ohran puinnin ja nurmen niittojen yhteydessä otettiin näytteet sadon suuruuden ja sen sisältämien ravinnemäärien selvittämiseksi.

Taulukko 3. Lannoitteissa maahan tulleet ravinnemäärät Kotkanojan huuhtoutumiskentällä (kg/ha vuodessa).

Vuosi	N	P	K	Ca	Mg	Na	S	Cl
Viljelykasvi								
1976-1978 ¹⁾	10	40	62	65	13	2,5	34	59
Syysvehnä, ohra	110			79	21			
1979	100	42	80	14	0,6	2,4	12	76
Ohra								
1980-1982 ²⁾	50	21	40	7	0,3	1,2	6	38
Ohra	100	42	80	14	0,6	2,4	12	76
1980-1982 ²⁾	100	42	80	14	0,6	2,4	12	76
Nurmi	200	84	160	29	1,2	4,8	24	152

1) Ylempi luku osoittaa typpilannoittamattomille ja alempi typpilannoitetuille ruuduille tullutta ravinnemäärää.

2) Ylempi luku osoittaa pienemmän ja alempi suuremman lannoitemäärän saaneille ruuduille tullutta ravinnemäärää.

Vesien ravinnepitoisuuksien ja huuhtoutuneiden ravinnemäärien tilastollista käsittelyä varten kukin koivuosi jaettiin kolmeen havaintojaksoon. Kevätkausi käsitti tammi-, helmi-, maaliskuu- ja huhtikuun, kesäkausi touko-, kesä-, heinä- ja elokuun ja syyskausi loppuvuoden. Havaintojaksot rajattiin pinta- ja sala-ajavesivalunnan jaksottumisen sekä kylvön ja korjuun ajoittumisen perusteella. Havaintojaksojen aikana huuhtoutuneet ravinnemäärät ja ravinteiden pitoisuudet laskettiin edellä selostetulla tavalla. Tilastollisessa käsittelyssä käytettiin varianssianalyysiä. Tukeyn keskiarvotestin (hsd, honestly signifi-

cant difference) avulla testattiin, minä vuonna lannoitusmäärä ja sadetus olivat vaikuttaneet 5 %:n riskitasolla tilastollisesti merkitsevästi huuhtoutumiseen.

3. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

3.1. Kaliumin huuhtoutuminen

Kaliumia huuhtoutui vuosina 1976-1982 noin 9 kg/ha vuodessa, kun viljelykasvina oli syysvehnä tai ohra. Nurmesta kaliumia huuhtoutui vuosina 1980-1982 15 kg/ha vuodessa (taulukko 4). Huuhtoutuminen oli samansuuruista kuin ruotsalaisista peltomaista, sillä BRINKin (1982) mukaan kaliumia huuhtoutuu keskimäärin 13 kg/ha, ja GUSTAFSONin (1982) mukaan huuhtoutuminen on savimaasta noin 9 kg/ha.

Taulukko 4. Kaliumin huuhtoutuminen (kg/ha vuodessa) vuosina 1976-1982.

Viljelykasvi	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	\bar{x}
Kesanto,								
syysvehnä	3,5							
Syysvehnä		13,9						
Ohra			3,8	7,2	9,4	16,4	10,2	9,4
Nurmi					10,8	17,4	16,7	15,0

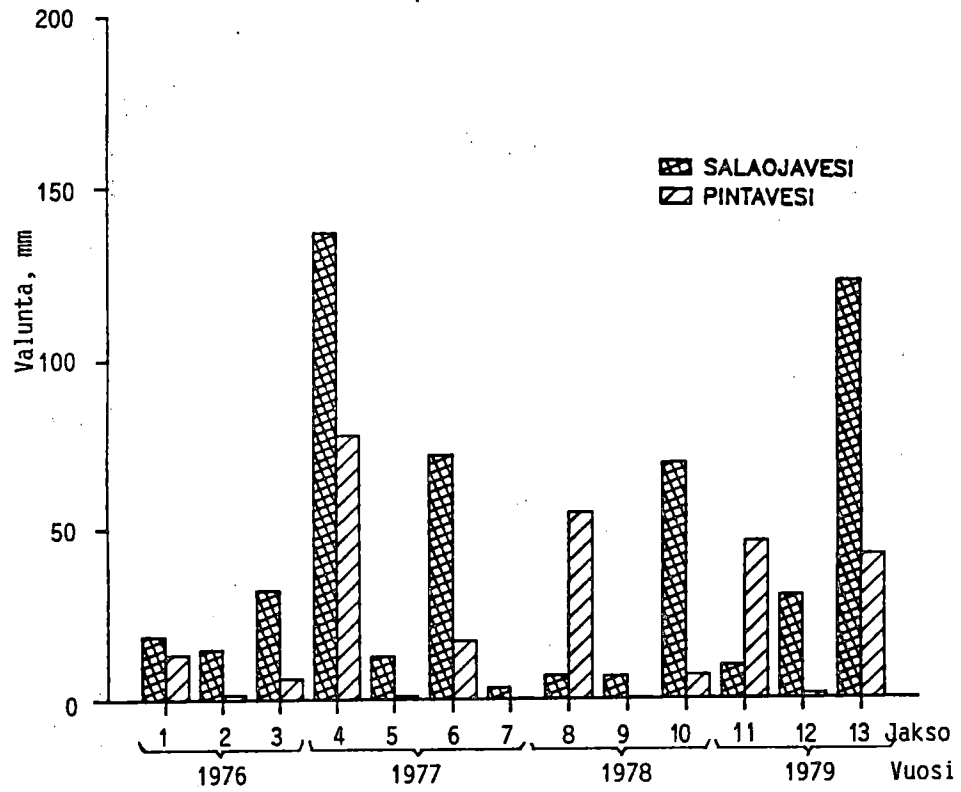
Kaliumin huuhtoutumiseen vaikutti selvimmin salaoja- ja pintavesivalunnan suuruus. Huuhtoutuminen oli runsainta vuosina 1977, 1981 ja 1982, jolloin muodostui eniten valuntaa (taulukko 5).

Kaliumia huuhtoutui pintavesien mukana enemmän kuin salaojavesissä. Ohraa viljeltäessä kaliumia huuhtoutui pintavesissä 5,3 kg/ha vuodessa ja salaojavesissä 4,1 kg/ha. Ohramaasta huuhtoutui pintavesien mukana salaojavesiä enemmän kaliumia yleensä keväisin, jolloin pintavesivalunta oli salaojavesivaluntaa suurempi (kuvat 5-8). Myös vuoden 1981 syksyllä runsas pintavesivalunta kuljetti kaliumia salaojavettä enemmän.

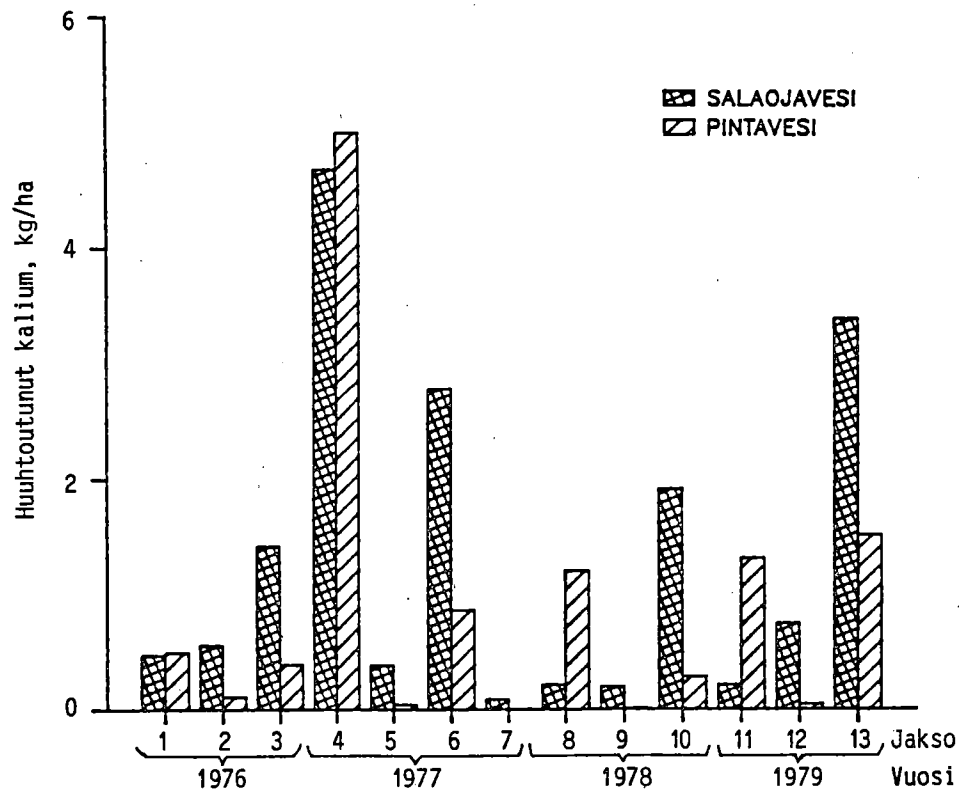
Taulukko 5. Sademäärä (mm) Jokioisissa ja pintavesi- sekä salaojavesivalunta (mm) Kotkanojan huuhtoutumiskentällä syysvehnä-, ohra- ja nurmi- maasta vuosina 1976-1982.

	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	\bar{x}
Sademäärä	373	630	484	657	645	709	644	592
KESANTO,								
SYYSVEHNÄ								
Pintavesivalunta	21							
Salaojavesivalunta	66							
Kokonaisvalunta	87							
SYYSVEHNÄ								
Pintavesivalunta		96						
Salaojavesivalunta		225						
Kokonaisvalunta		321						
OHRA								
Pintavesivalunta			62	89	109	301	183	149
Salaojavesivalunta			83	163	136	156	165	141
Kokonaisvalunta			145	252	245	457	348	290
NURMI								
Pintavesivalunta					139	250	225	205
Salaojavesivalunta					101	106	122	110
Kokonaisvalunta					240	356	347	315

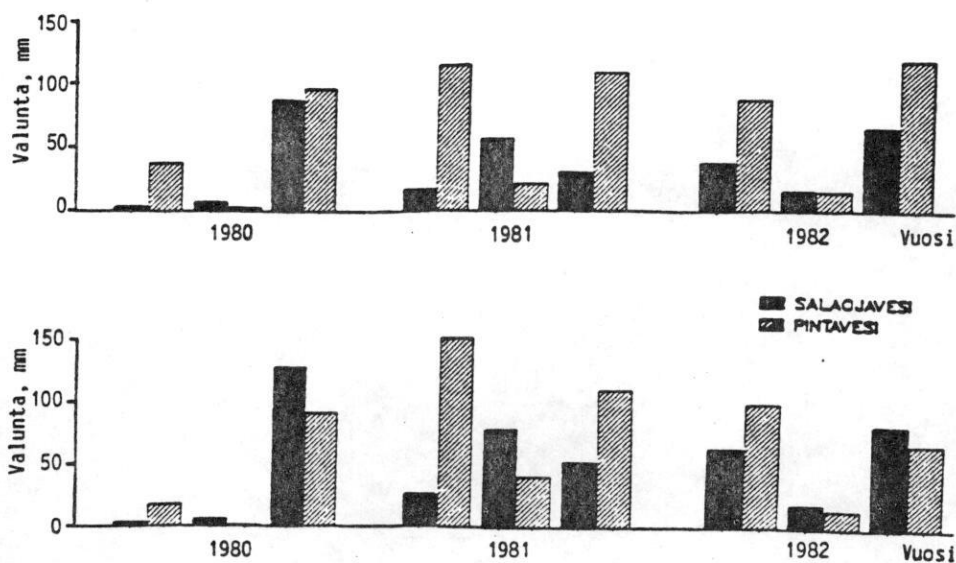
Nurmesta pintavesivalunta oli kesäkausia lukuunottamatta salaojavesivaluntaa suurempi, ja pintavesissä kaliumia huuhtoutuikin 11,8 kg/ha, kun salaojavesien mukana kulkeutui vain 3,2 kg/ha.



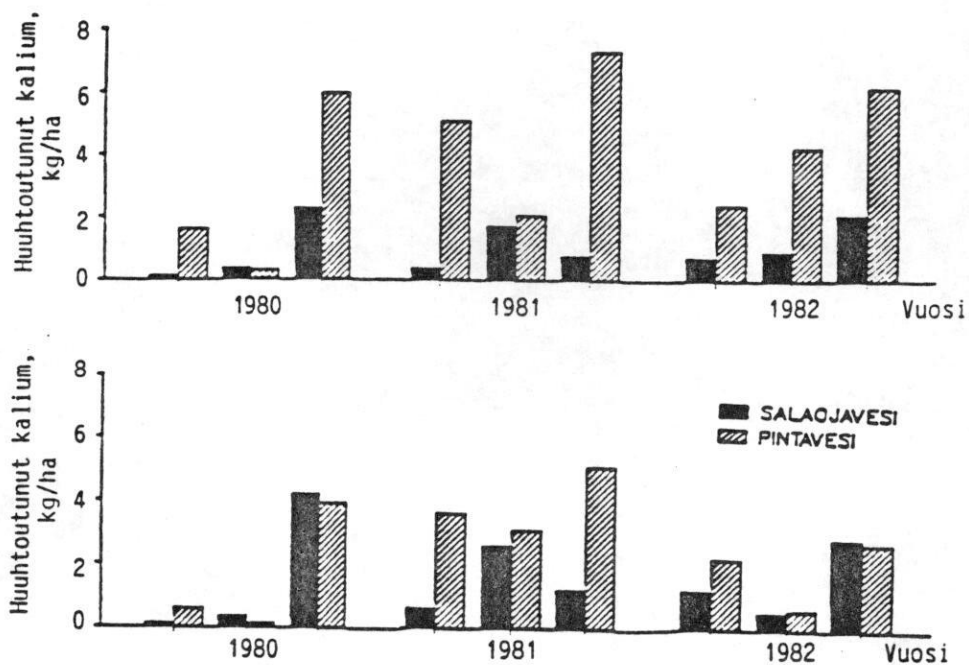
Kuva 5. Salaoja- ja pintavesivalunta vuosina 1976-1979.



Kuva 6. Kaliumin huuhtoutuminen salaoja- ja pintavesissä vuosina 1976-1979.



Kuva 7. Salaoja- ja pintavesivalunta nurmimaasta (ylhällä) ja ohramaasta (alhaalla) kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982.



Kuva 8. Kaliumin huuhtoutuminen nurmimaasta (ylhällä) ja ohramaasta (alhaalla) salaoja- ja pintavesissä kevät-, kesä- sekä syyskausina vuosina 1980-1982.

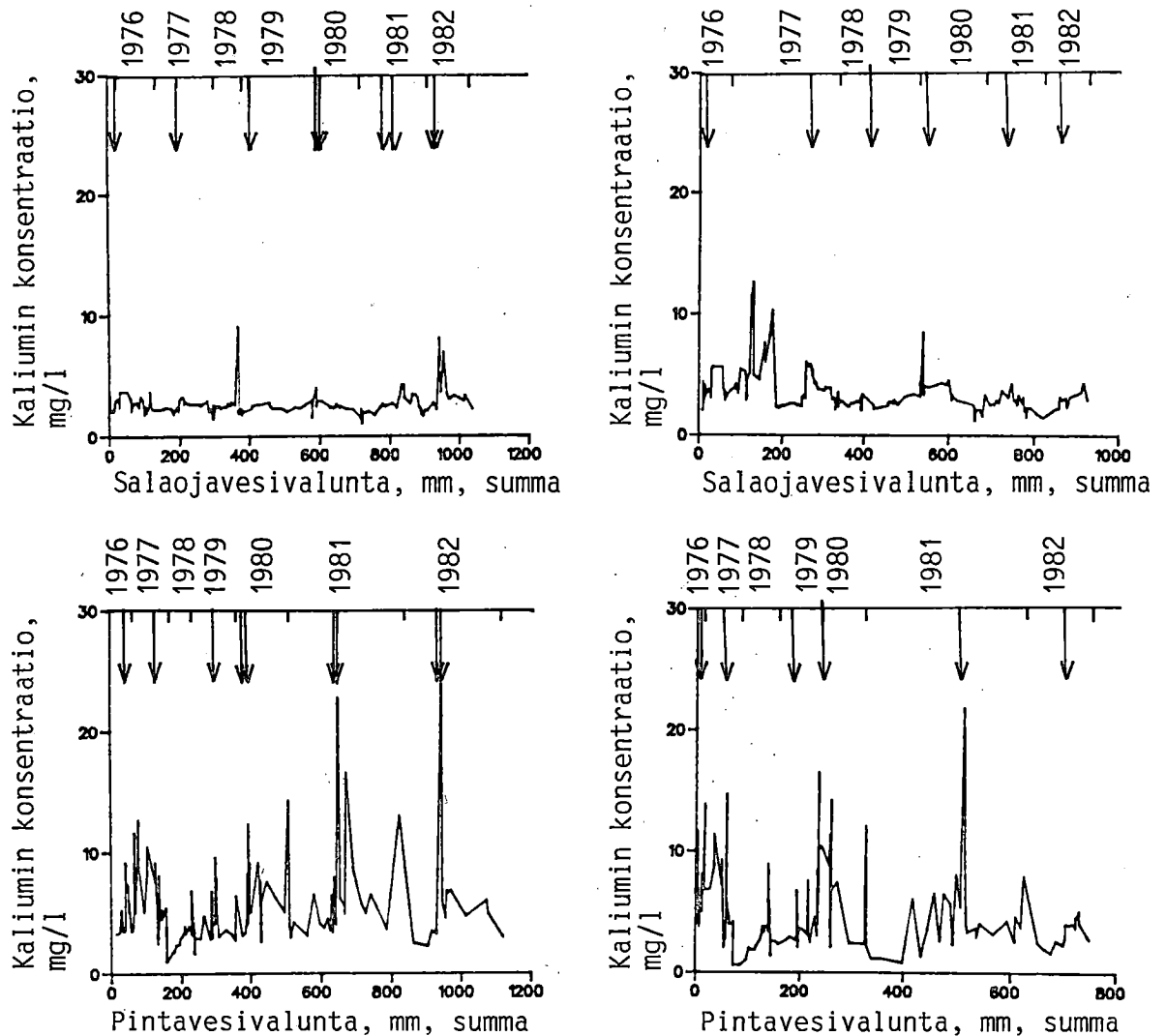
Kaliumin huuhtoutumista salaojavesissä vähentää sen pidättyminen maa-ainekseen veden kulkiessa maakerrosten läpi (UHLEN 1978a, SMITH ym. 1984). Tämä vaikutti huuhtoutumiseen myös Kotkanojan kentällä, sillä toisin kuin muiden kationien kohdalla kaliumin pitoisuus oli salaojavesissä hieman pienempi (alle 5 mg/l) kuin pintavesissä (noin 5 mg/l) (kuva 9). Salaojavesien kaliumpitoisuus oli samansuuruinen kuin Keski-Ruotsin jäykiltä savimailta tulleiden salaojavesien pitoisuudet (GUSTAFSON ja GUSTAVSSON 1982).

Nurmelle kaliumlannoite levitettiin maan pintaan, mikä lisäsi huuhtoutumista, koska lannoitteista liukeni kaliumia maan pinnalla virranneeseen veteen (kuva 9). Myös GUSTAFSONin ja TORSTENSSONin (1983) mukaan nurmelta tulevien pintavesien kaliumpitoisuus voi nousta kaliumlannoitteen veteen liukenemisen vuoksi. Lisäksi kasvisoluista voi vapautua kaliumia pintavesiin.

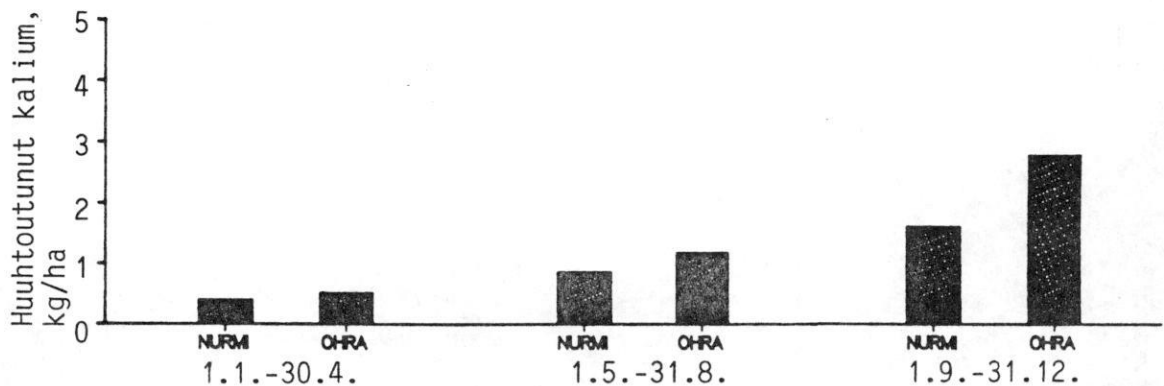
Koska pintavedet kerättiin neljän ruudun alalta, ei ole mahdollista suoraan verrata nurmesta ja ohramaasta tapahturutta kokonaisuuhuttoutumista samalla lannoitustasolla. Vertailuja voidaan tehdä vain salaojavesissä huuhtoutuneiden kaliummäärien välillä. Kun ohran ja nurmen lannoitus oli sama (normaali Y-lannosta 600 kg/ha, jossa kaliumia 80 kg/ha), kaliumia huuhtoutui salaojavesissä enemmän ohramaasta kuin nurmesta (kuva 10). Tähän oli syynä ohramaan suurempi salaojavesivalunta. Nurmisato otti maasta kaliumia enemmän kuin lannoitteissa oli annettu, kun taas ohrasato otti kaliumia noin 60 % lannoitteissa levitettyyn määrään nähden (taulukko 6).

Taulukko 6. Syysvehnän, ohran ja nurmen kuiva-ainesato sekä sadon sisältämä kalium vuosina 1976-1982.

Viljelykasvi	Vuodet	Kaliumlannoitus, kg/ha	Sato	
			kg/ha	K kg/ha
Syysvehnä	1977	62	3380	46
Ohra	1978-1979	70	2810	46
Ohra	1980-1982	40	2060	28
		80	3060	42
Nurmi	1980-1982	80	3850	87
		160	6060	172



Kuva 9. Kaliumin konsentraatio salaojavedessä (ylhäällä) ja pintavedessä (alhaalla) vuosina 1976-1982. Nuolet osoittavat kaliumlannoitusajankohtia. Viljelykasvi vuosina 1976-1977 syysvehnä, 1978-1979 ohra, 1980-1982 ylhäällä ja alhaalla vasemmalla nurmi sekä vastaa-vasti oikealla ohra.



Kuva 10. Kaliumin huuhtoutuminen salaojavesissä nurmi- ja ohramaasta kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982. Lannoitus: Normaali Y-lannos (16-7-13) 600 kg/ha vuodessa.

Kaliumlannoituksen lisääminen ei vaikuttanut kaliumin huuhtoutumiseen salaojavesien mukana. Tämä johtuu savimaan kyvystä sitoa kaliumia tehokkaasti vaihtuvaan ja osittain myös ns. vaihtumattomaan muotoon, mikä vähentää kaliumin huuhtoutumisalttiutta. Myös HARTIKAISEN (1978a) tutkimuksissa maahan lisätystä kaliumista huuhtoutui vain hyvin pieni osa.

Huuhtoutumiskentän maaperästä tehtyjen maa-analyysien pohjalta voidaan arvioida 1 m:n vahvuisen maakerroksen sisältävän vaihtuvaa kaliumia noin 3000 kg/ha. Tähän verrattuna lannoitteissa levitettävät kaliummäärät ovat hyvin pieniä. Savimaalla kaliumin huuhtoutuminen voisi lisääntyä kaliumlannoituksen seurauksena merkittävästi vain pintalannoitustekniikkaa käytettäessä. Nurmiruuduilla lannoitteet levitettiin pintaan, mutta lannoitemäärän nousun vaikutusta pintavesissä tapahtuvaan huuhtoutumiseen ei voitu selvittää, koska pintavedet kerättiin samaan kaivoon neljän ruudun alalta.

Kesäkuussa annettu 30 mm:n sadetus lisäsi salaojavesivaluntaa ja edisti siten kaliumin kulkeutumista alaspäin maassa. Sadetetuilta nurmiruuduilta huuhtoutui salaojavesien mukana tilastollisesti merkitsevästi enemmän kaliumia sadettamattomiin verrattuna kesällä 1981 ja 1982, sekä syksyisin jokaisena koevuonna (1980-1982). Sadetus lisäsi tilastollisesti merkitsevästi myös ohramaasta kesäkausina tulleiden salaojavesien kaliumpitoisuutta.

Vuosina 1976-1978 huuhtoutumiskentällä tutkittiin typpilannoitusajankohdan vaikutusta typen huuhtoutumiseen. Typpilannoitusajankohdan vaihtelu ei vaikuttanut kaliumin huuhtoutumiseen salaojavesissä. Huuhtoutumisen vaihtelu

eri koejäsenten välillä johtui salaojavesivalunnan vaihteluista.

Maan kaliumvaroihin nähden kaliumia huuhtoutui hyvin vähän. Viljaa viljeltäessä maahan kertyi kaliumia. Nurmea viljeltäessä maasta poistui kaliumia sadossa ja huuhtoutumassa enemmän kuin maahan tuli kaliumia lannoitteissa ja laskeuman mukana. Erotus oli noin 25 kg/ha vuodessa. Savimaassa vaihtuvan kaliumin vähenemistä kompensoi se, että savimineraaleista vapautuu vaikeasti vaihtuvaan muotoon sitoutunutta kaliumia kasveille käyttökelpoiseen vaihtuvaan muotoon (mm. WIKLANDER ja HALLGREN 1971). Savimaalla kaliumin huuhtoutuminen ei aiheuta maan köyhtymistä kaliumin suhteen, eikä kaliumin huuhtoutuminen vaikuta kaliumlannoitustarpeeseen.

3.2. Kalsiumin huuhtoutuminen

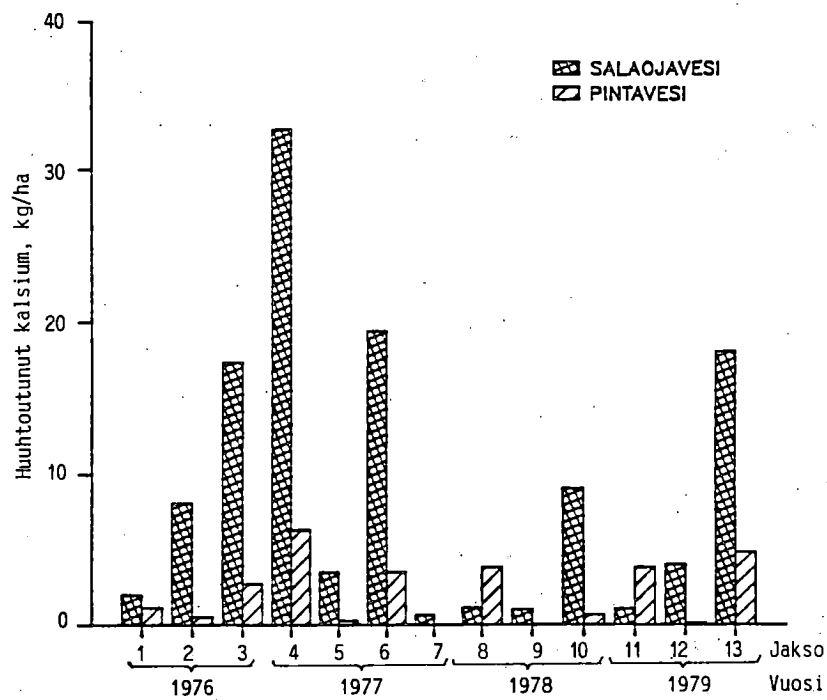
Kalsiumia huuhtoutui vuosina 1976-1982 viljaa viljeltäessä noin 30 kg/ha ja nurmesta vuosina 1980-1982 noin 20 kg/ha vuodessa (taulukko 7). BRINKin (1982) mukaan Ruotsin keskiosissa kalsiumia huuhtoutuu peltomaasta huomattavasti enemmän, noin 110 kg/ha. Kalsiumia huuhtoutui Kotkanojan huuhtoutumiskentällä enemmän kuin muita tutkittuja kationeja. Myös HARTIKAISEN (1978a) tutkimuksessa kalsiumia huuhtoutui huomattavasti enemmän kuin magnesiumia, kaliumia ja natriumia.

Taulukko 7. Kalsiumin huuhtoutuminen (kg/ha vuodessa) vuosina 1976-1982.

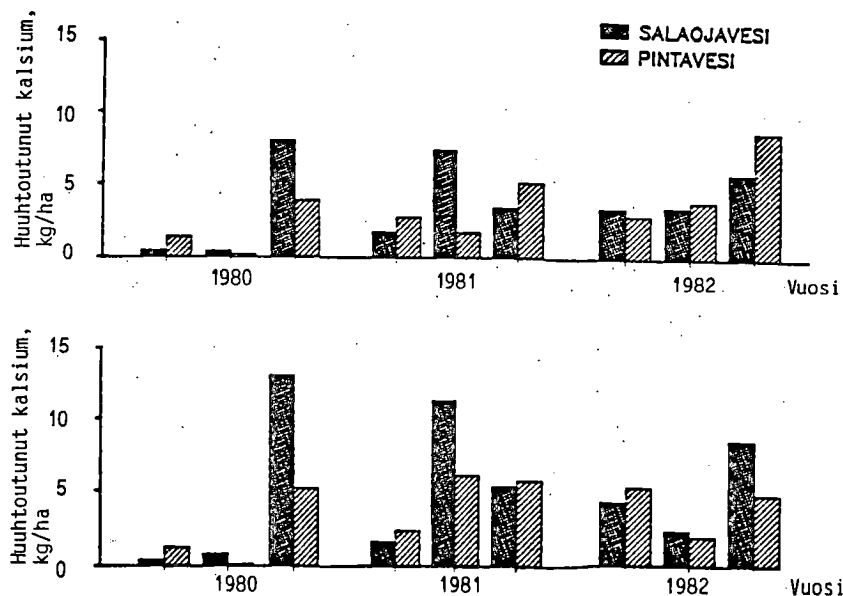
Viljelykasvi	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	\bar{x}
Kesanto,								
syysvehnä	32							
Syysvehnä		66						
Ohra			16	32	21	33	27	26
Nurmi					14	23	29	22

Kalsiumia huuhtoutui salaojavesissä noin kaksinkertaisesti pintavesiin verrattuna (kuvat 11 ja 12). Eryityisesti vuonna 1977 runsas salaojavesivalunnan muodostuminen näytti lisänneen kalsiumin huuhtoutumista. Myös salaojavesien kalsiumpitoisuus oli pintavesiin verrattuna noin kaksinkertainen (kuva 13).

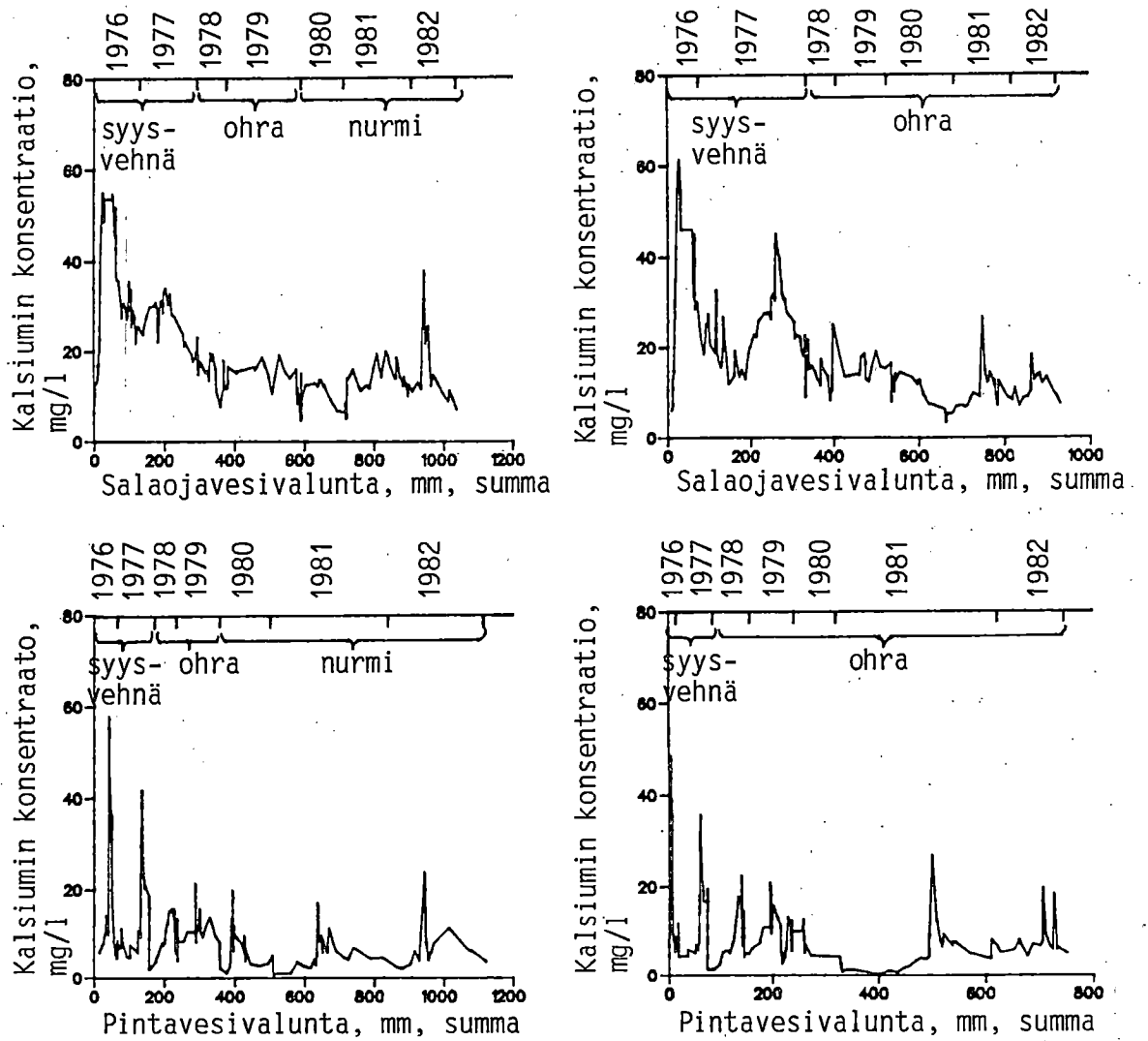
Salaojavesien kalsiumpitoisuus oli syysvehnää viljeltäessä vuosina 1976-1977



Kuva 11. Kalsiumin huuhtoutuminen salaoja- ja pintavesissä vuosina 1976-1979.



Kuva 12. Kalsiumin huuhtoutuminen nurmimaasta (ylhäällä) ja ohramaasta (alhaalla) salaoja- ja pintavesissä kevät-, kesä- sekä syyskautena vuosina 1980-1982.

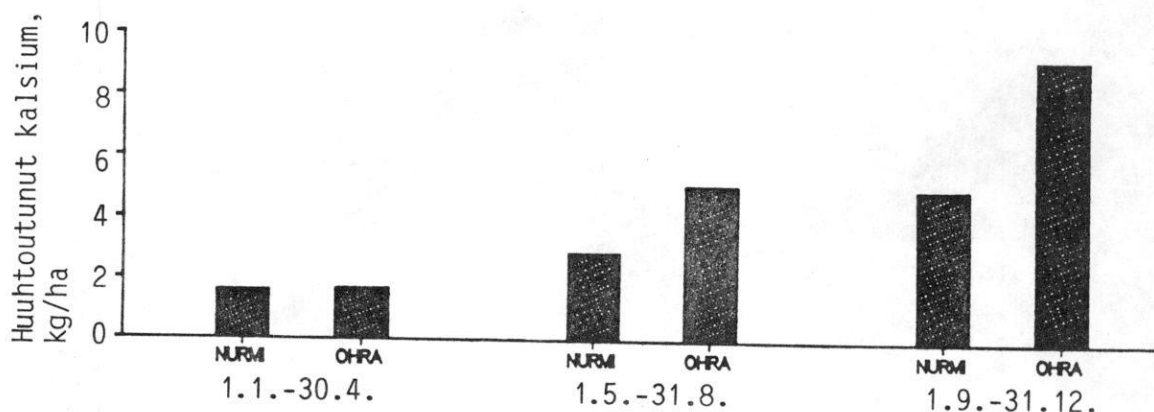


Kuva 13. Kalsiumin konsentraatio salaojavedessä (ylhällä) ja pintavedessä (alhaalla) vuosina 1976-1982.

suurempi kuin myöhemmin (kuva 13). Tähän oli ilmeisesti syynä edeltävästä kesannosta johtuva voimakas nitraattitypen huuhtoutuminen. Maassa alaspäin liikkunut negatiivisesti varautunut nitraatti lisäsi vaihtuvaan muotoon sitoutuneen kalsiumin huuhtoutumista. Myös UHLENin (1978a) tutkimuksissa kesantomaasta huuhtoutui paljon nitraattityppeä ja samalla kationeja huuhtoutui runsaasti. STEELEn ym. (1984) mukaan nitraatin huuhtoutuminen lisää kationeista eniten juuri kalsiumin huuhtoutumista.

Nitraatin kyky edistää kalsiumin huuhtoutumista ilmeni vuoden 1976 syksyllä jakson 3, vuonna 1977 jaksojen 4-7 ja vuonna 1978 keväällä jakson 8 aikana, jolloin esiintyi tilastollisesti merkitseviä eroja typpilannoituksen saaneilta ja muilta koeruuduilta tulleiden salaojavesien kalsiumpitoisuuksien välillä. Myös kesäkausina vuonna 1981 ja 1982 nurmesta tulleiden salaojavesien kalsiumpitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi korkeammalla typpilannoitustasolla. Näiltä ruuduilta tyyppä huuhtoutui enemmän kuin alemmalla lannoitustasolla (TURTOLA ja JAAKKOLA 1985).

Kun ohralle ja nurmelle levitettiin sama määrä Normaali Y-lannosta, huuhtoutui kalsiumia salaojavesien mukana ohramaasta enemmän kuin nurmesta (kuva 14). Tähän oli syynä se, että ohraa viljeltäessä salaojavesivalunta sekä kalsiumin huuhtoutumista edistävän nitraatin huuhtoutuminen olivat suurempia.



Kuva 14. Kalsiumin huuhtoutuminen salaojavesissä nurmi- ja ohramaasta kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982. Lannoitus: Normaali Y-lannos 600 kg/ha vuodessa.

Lannoitteissa ja laskeumassa maahan tuli kalsiumia vähemmän, kuin sitä poistui korjatun sadon ja huuhtoutuman mukana. Erotus oli noin 15 kg/ha vuodessa.

Tämä määrä on mitätön verrattuna 1 m:n vahvuisen maakerroksen sisältämän vaihtuvan kalsiumin kokonaismäärään (noin 27 000 kg/ha, taulukko 2). Savimaa sisältää niin runsaasti vaihtuvaa kalsiumia, että huuhtoutuminen köyhdyttää ja happamoittaa maaperää vain hyvin hitaasti. Kalsiumin kulkeutuminen alaspäin maassa vaikuttaa kuitenkin eniten maan muokkauskerroksen kalsiumtilanteeseen ja kalkitustarpeeseen.

3.3. Magnesiumin huuhtoutuminen

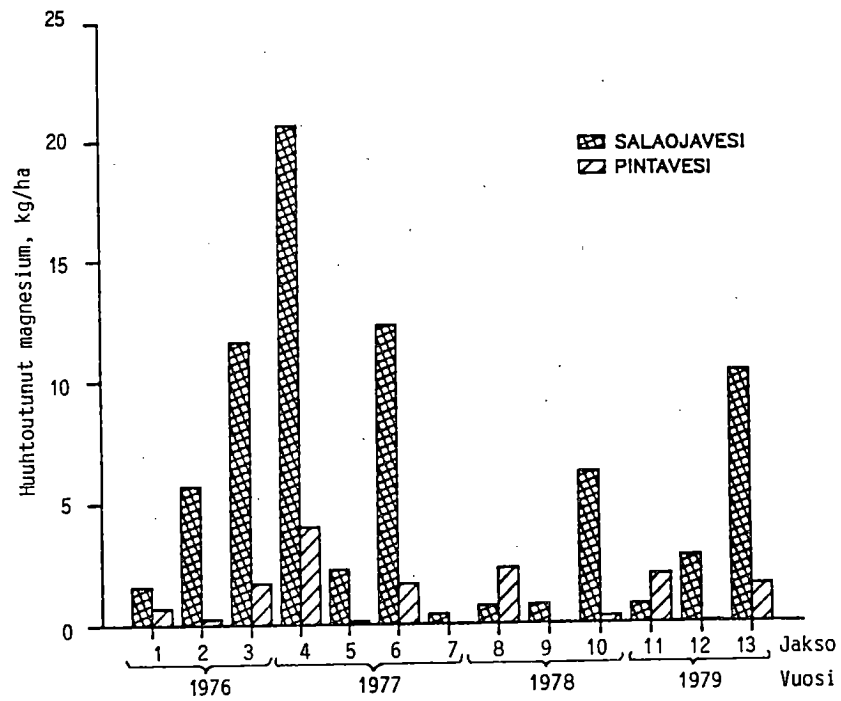
Magnesiumia huuhtoutui vuosina 1976-1982 viljaa viljeltäessä noin 20 kg/ha ja nurmesta vuosina 1980-1982 noin 14 kg/ha vuodessa (taulukko 8). BRINKin (1982) mukaan Ruotsin keskiosissa magnesiumia huuhtoutuu peltomaista keskimäärin 26 kg/ha.

Taulukko 8. Magnesiumin huuhtoutuminen (kg/ha vuodessa) vuosina 1976-1982.

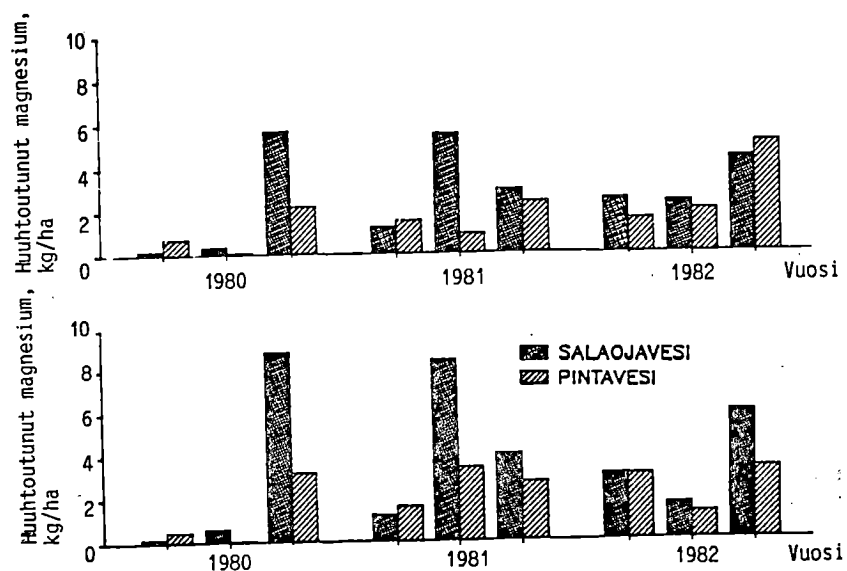
Viljelykasvi	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	\bar{x}
Kesanto, syysvehnä	22							
Syysvehnä		41						
Ohra			10	18	13	21	18	16
Nurmi					9	15	18	14

Kuten kalsiumia myös magnesiumia huuhtoutui salaojavesissä noin kaksinkertaisesti pintavesiin verrattuna (kuvat 15 ja 16). Erityisesti vuonna 1977 runsas salaojavesivalunnan muodostuminen näytti lisänneen magnesiumin huuhtoutumista. Salaojavesien magnesiuminpitoisuus oli pintavesiin verrattuna noin kaksinkertainen (kuva 17).

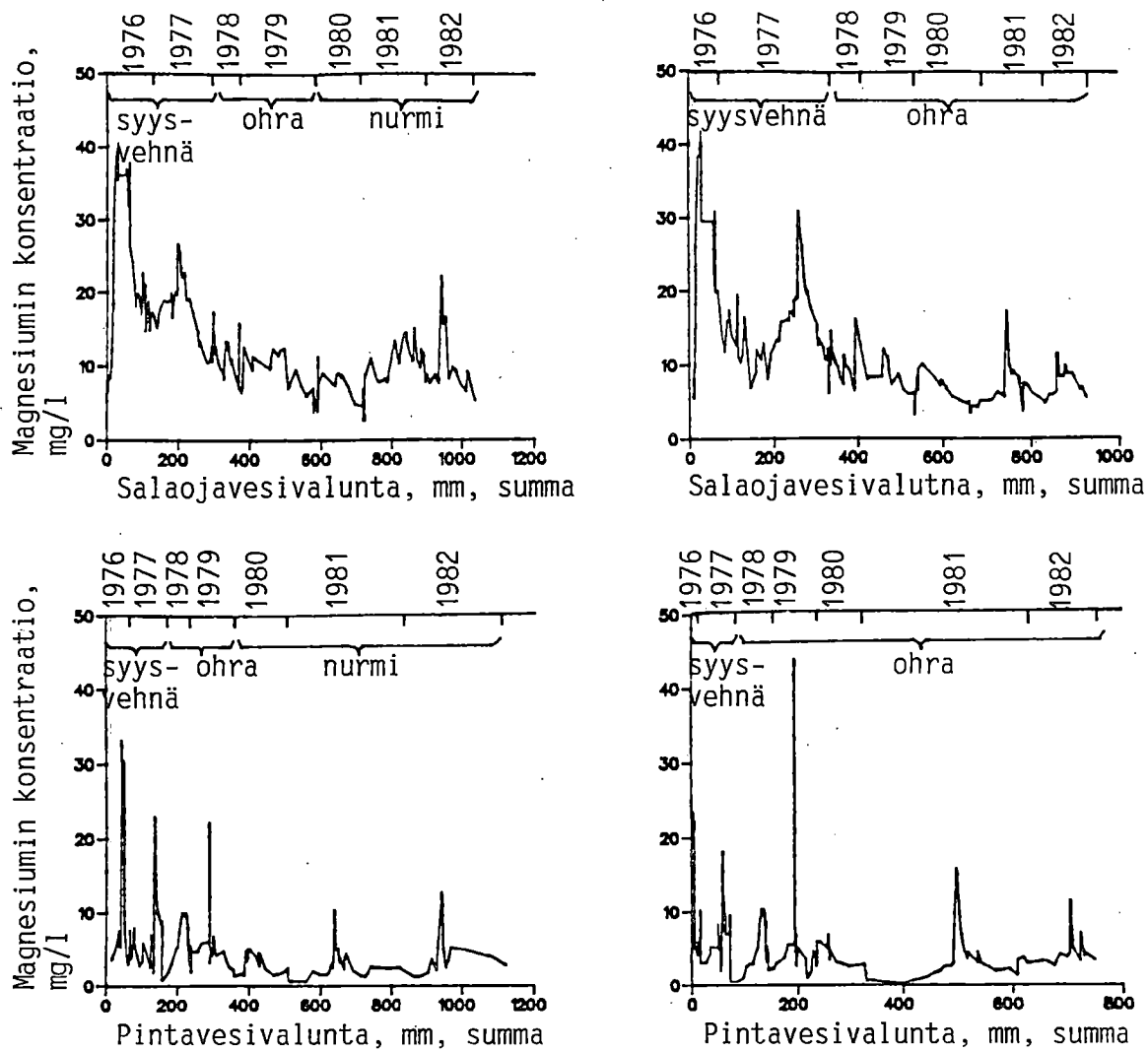
Salaojavesien magnesiumipitoisuus oli syysvehnää viljeltäessä vuosina 1976 ja 1977 suurempi kuin myöhemmin (kuva 17). Kuten kalsiuminkin kohdalla tähän oli ilmeisesti ainakin osittain syynä tällöin tapahtunut runsas nitraattityypen huuhtoutuminen. Nitraatin kyky edistää magnesiumin huuhtoutumista ilmeni vuoden 1976 syksyllä jaksojen 2 ja 3 sekä vuonna 1977 jaksojen 4, 5 ja 6 aikana, jolloin esiintyi tilastollisesti merkitseviä eroja typpilanoituksen saaneilta ja muilta ruuduilta tulleiden salaojavesien magnesiumipitoisuuksien välillä. Myös kesäkausina vuonna 1981 ja 1982 nurmesta



Kuva 15. Magnesiumin huuhtoutuminen salaoja- ja pintavesissä vuosina 1976-1979.



Kuva 16. Magnesiumin huuhtoutuminen nurmimaasta (ylhällä) ja ohramaasta (alhaalla) salaoja- ja pintavesissä kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982.

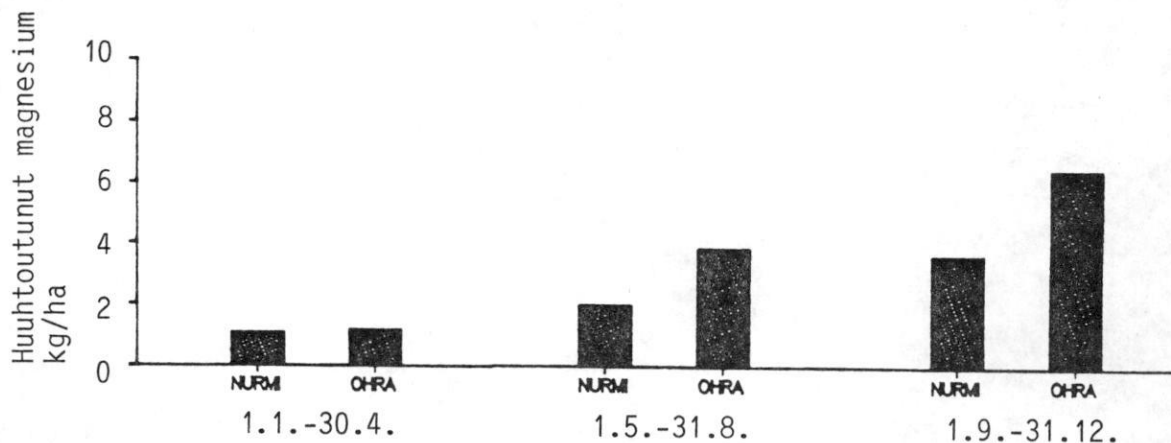


Kuva 17. Magnesiumin konsentraatio salaojavedessä (ylhäällä) ja pintavedessä (alhaalla) vuosina 1976-1982.

tulleiden salaojavesien magnesiumipitoisuus oli tilastollisesti merkitsevästi suurempi korkeammalla typpilannoitustasolla. Tällöin myös typpeä huuhtoutui enemmän (TURTOLO ja JAAKKOLA 1985).

Kesäkuussa annettu 30 mm:n sadetus lisäsi salaojavesivaluntaa, ja magnesiumia huuhtoutui sadetetuilta nurmiruuduilta kesäkausina 1980-1982 tilastollisesti merkitsevästi enemmän kuin sadettamattomilta. Vaikutus oli suurin sateisena kesänä 1981 korkeammalla typpilannoitustasolla.

Kun ohramaa ja nurmi saivat saman määrän Normaali Y-lannosta, magnesiumia huuhtoutui salaojavesien mukana ohramaasta enemmän kuin nurmesta (kuva 18). Samoin kuin kalsiumin kohdalla tähän oli syynä se, että ohraruuduista sekä salaojavesivalunta että nitraatin huuhtoutuminen olivat suurempia.



Kuva 18. Magnesiumin huuhtoutuminen salaojavesissä nurmi- ja ohramaasta kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982. Lannoitus: Normaali Y-lannos 600 kg/ha vuodessa.

Laskeumassa ja lannoitteissa maahan tuli magnesiumia vähemmän kuin sitä poistui korjatun sadon ja huuhtoutuman mukana. Tästä aiheutunut magnesiumitappio oli noin 20 kg/ha vuotta kohden. Huuhtoutumiskentän maaperä (0-100 cm) sisältää vaihtuvaa magnesiumia maa-analyysien (taulukko 2) perusteella arvioiden noin 17 000 kg/ha. Savimaassa magnesiumin huuhtoutumisesta ei aiheudu magnesiumlannoitustarvetta maan luontaisten magnesiumvarojen runsauden vuoksi.

Magnesiumin ja kalsiumin huuhtoutuminen olivat vuosina 1976-1982 hyvin kiinteässä yhteydessä toisiinsa. Magnesiumia huuhtoutui salaojavesissä havain-

tojaksojen aikana säännöllisesti noin kaksi kolmasosaa huuhtoutuneesta kalsiummäärästä (kg/ha). Myös huuhtoutumiskentän maaperässä oli vaihtuvan magnesiumin ja kalsiumin suhde muokkauskerroksen alapuolella noin 2:3 (taulukko 2). Tämä osoittaa, ettei magnesiumin ja kalsiumin huuhtoutumisalttudessa ollut suurta eroa. Myös HARTIKAISEN (1978a) mukaan magnesiumin huuhtoutumisalttius on yhtä suuri kuin kalsiumin.

3.4. Natriumin huuhtoutuminen

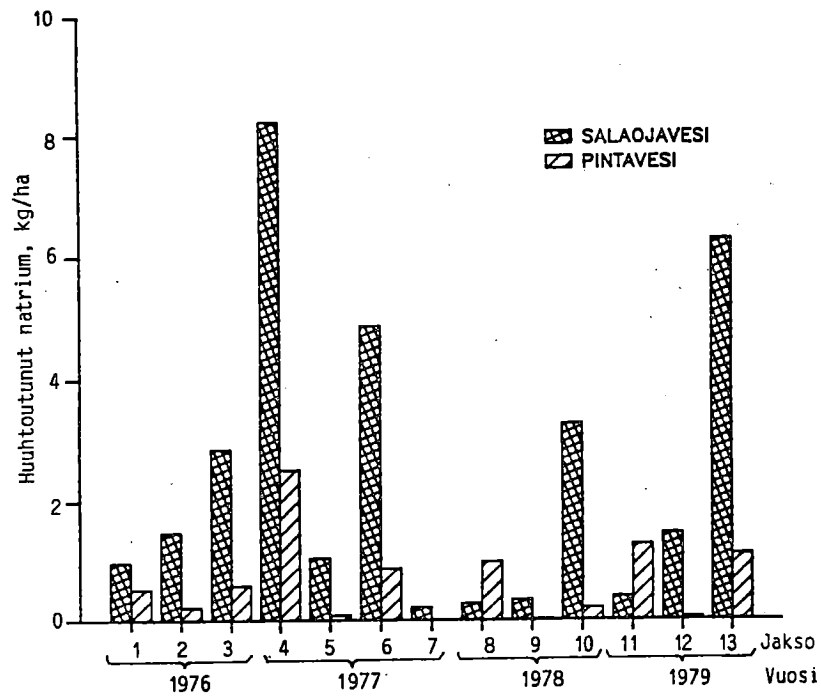
Natriumia huuhtoutui viljaa viljeltäessä vuosina 1976-1982 noin 10 kg/ha vuodessa. Nurmimaasta natriumia huuhtoutui vuosina 1980-1982 noin 7 kg/ha vuosittain (taulukko 9). BRINKin (1982) mukaan Ruotsin keskiosissa natriumia huuhtoutuu peltomaista enemmän, keskimäärin 23 kg/ha.

Taulukko 9. Natriumin huuhtoutuminen (kg/ha vuodessa) vuosina 1976-1982.

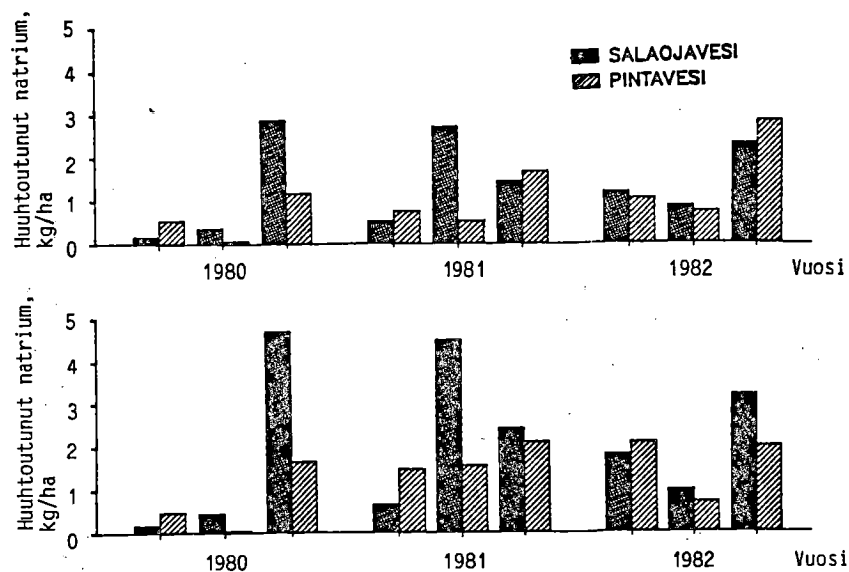
Viljelykasvi	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	\bar{x}
Kesanto, syysvehnä	6,7							
Syysvehnä		18						
Ohra			5,1	11	7,5	13	11	9,3
Nurmi					5,3	7,7	9,0	7,3

Myös natriumin huuhtoutumiseen vaikutti selvimmin valunnan määrä. Kuten kalsiumia ja magnesiumia natriumiakin huuhtoutui salaojavesissä noin kaksinkertaisesti pintavesiin verrattuna (kuvat 19 ja 20). Salaojavesien natriumpitoisuus oli vuosina 1976-1977 syysvehnää viljeltäessä hieman suurempi kuin myöhemmin (kuva 21). Kalsiumin ja magnesiumin tavoin tähänkin oli ilmeisesti syynä runsas nitraattityypen huuhtoutuminen. Salaojavesien natriumpitoisuus oli syksyllä 1976 jaksojen 2 ja 3 aikana tilastollisesti merkitsevästi suurempi typpilannoituksen saaneilta ruuduilta tulleissa salaojavesissä.

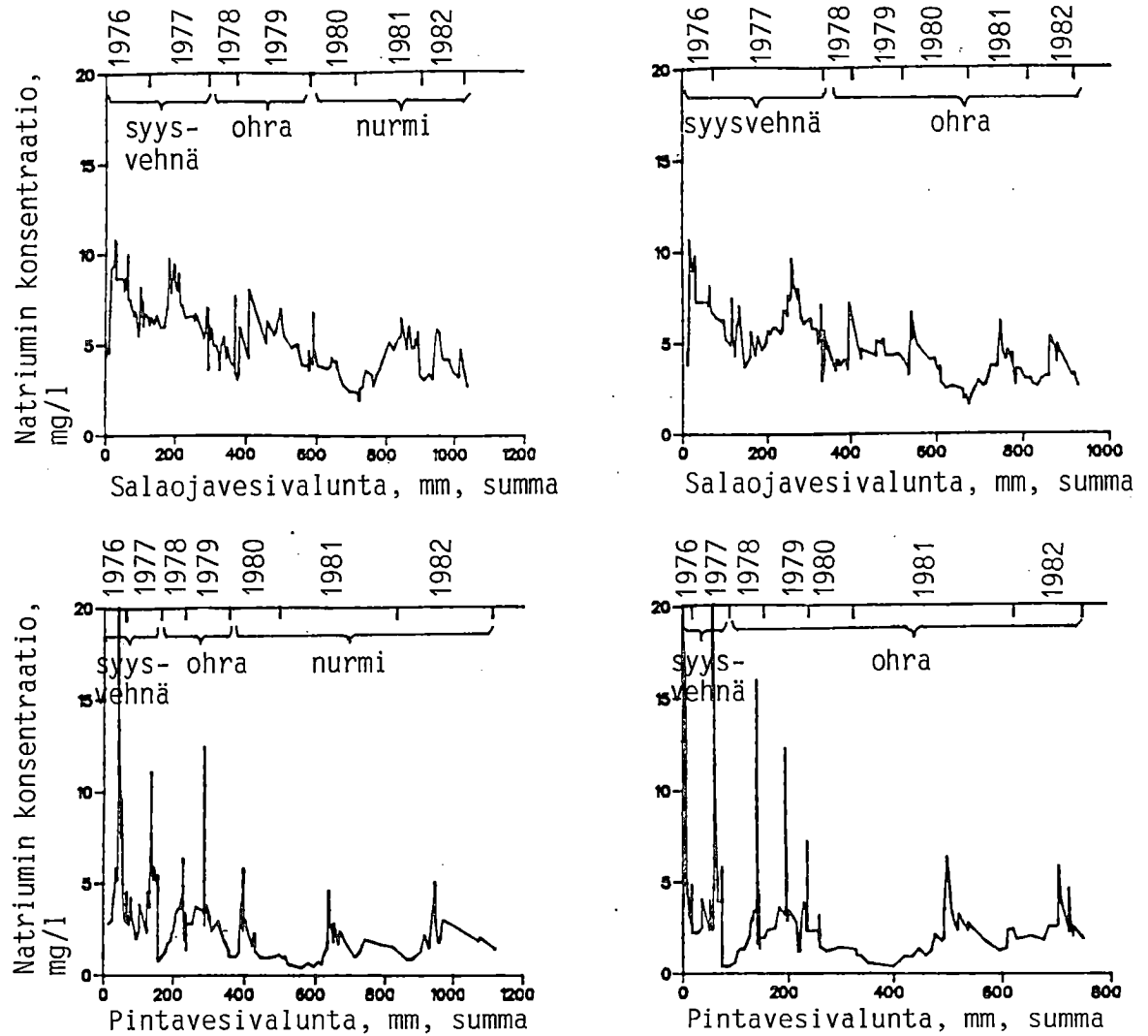
Kun ohralle ja nurmelle levitettiin sama määrä Normaali Y-lannosta, huuhtoutui ohramaasta natriumia salaojavesissä enemmän kuin nurmesta (kuva 22). Kuten edellä on esitetty kalsiumin ja magnesiumin yhteydessä oli natriuminkin kohdalla syynä ohramaasta tapahtunut runsaampi salaojavesivalunta ja



Kuva 19. Natriumin huuhtoutuminen salaoja- ja pintavesissä vuosina 1976-1979.



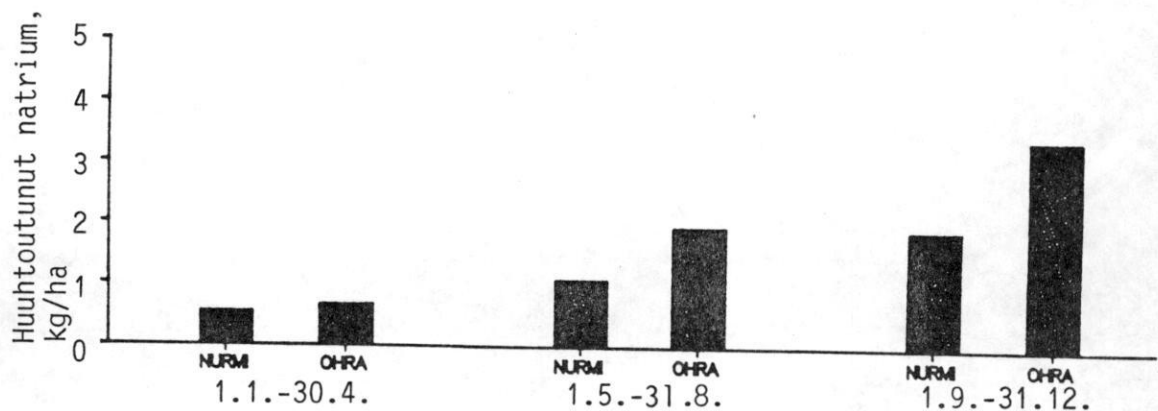
Kuva 20. Natriumin huuhtoutuminen nurmimaasta (ylhäällä) ja ohramaasta (alhaalla) salaoja- ja pintavesissä kevät-, kesä- sekä syyskausina vuosina 1980-1982.



Kuva 21. Natriumin konsentraatio salaojavedessä (ylhäällä) ja pintavedessä (alhaalla) vuosina 1976-1982.

nitraatin huuhtoutuminen.

Kesäkuussa annettu 30 mm:n sadetus lisäsi salaojavesivaluntaa, ja natriumia huuhtoutui salaojavesissä sekä sadetetuilta nurmi- että ohraruuduilta tilastollisesti merkitsevästi enemmän kuin sadettamattomilta.



Kuva 22. Natriumin huuhtoutuminen salaojavesissä nurmi- ja ohramaasta kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982. Lannoitus: Normaali Y-lannos 600 kg/ha vuodessa.

Natriumia huuhtoutui Kotkanojan huuhtoutumiskentällä lähes yhtä paljon kuin kaliumia, vaikka maan sisältämät natriumvarat ja maahan lannoitteissa tulleet natriummäärät olivat huomattavasti kaliumia pienempiä. Salaojavesissä huuhtoutuneiden natrium-, magnesium- ja kalsiummäärien suhde oli noin 1:2:3. Natrium pidättyy maahan muita tutkittuja kationeja heikommin, ja tästä syystä lannoite- ja laskeumaperäisellä natriumilla on suuri välitön vaikutus huuhtoutumiseen.

3.5. Sulfaattirikin huuhtoutuminen

Sulfaattirikkiä huuhtoutui vuosina 1980-1982 noin 16 kg/ha vuodessa (taulukko 10). BRINKin (1982) mukaan Ruotsin keskiosissa huuhtoutuu sulfaattirikkiä 26 kg/ha.

Sulfaattirikkiä huuhtoutui salaojavesien ja pintavesien mukana likimain yhtä paljon (kuva 23). Sulfaattirikin pitoisuus vesissä oli noin 5 mg/l. Huomattavasti yleistä tasoa korkeampi pitoisuus oli marraskuussa vuonna 1980 nurmialueelta tulleissa pintavesissä. Suurten pitoisuuksien syynä saattoi

olla nurmen pintaan levitetyn lannoitteen sisältämän sulfaatin liukeneminen maan pinnalla virranneeseen veteen.

Taulukko 10. Sulfaattirikin huuhtoutuminen (kg/ha vuodessa) vuosina 1980-1982.

Viljelykasvi	1980 ¹⁾	1981	1982	\bar{x}
Ohra	13	17	18	16
Nurmi	22	12	16	16

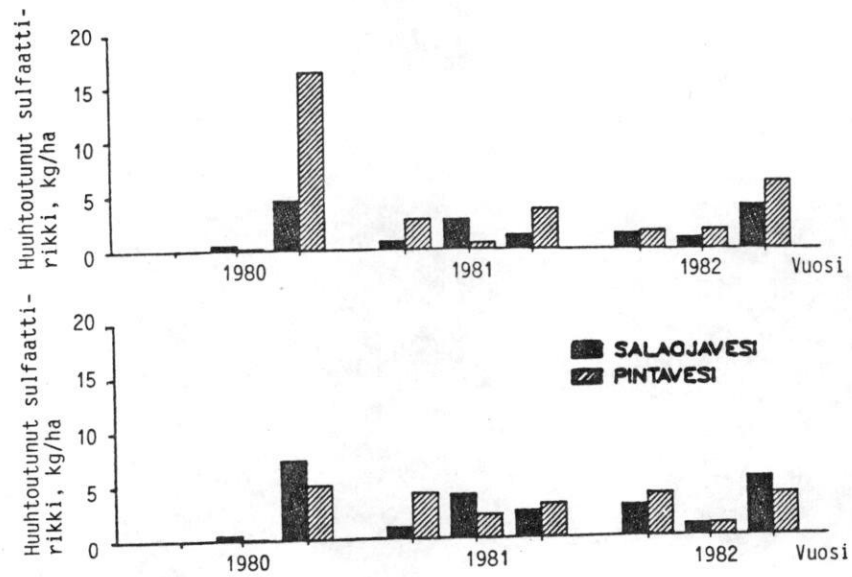
¹⁾Sulfaattimääritykset aloitettiin kesäkuussa 1980.

Samalla lannoitustasolla sulfaattirikkiä huuhtoutui salaojavesissä ohramaasta enemmän kuin nurmesta (kuva 24). Tähän oli syynä ohramaasta tapahtunut runsaampi salaojavesivalunta.

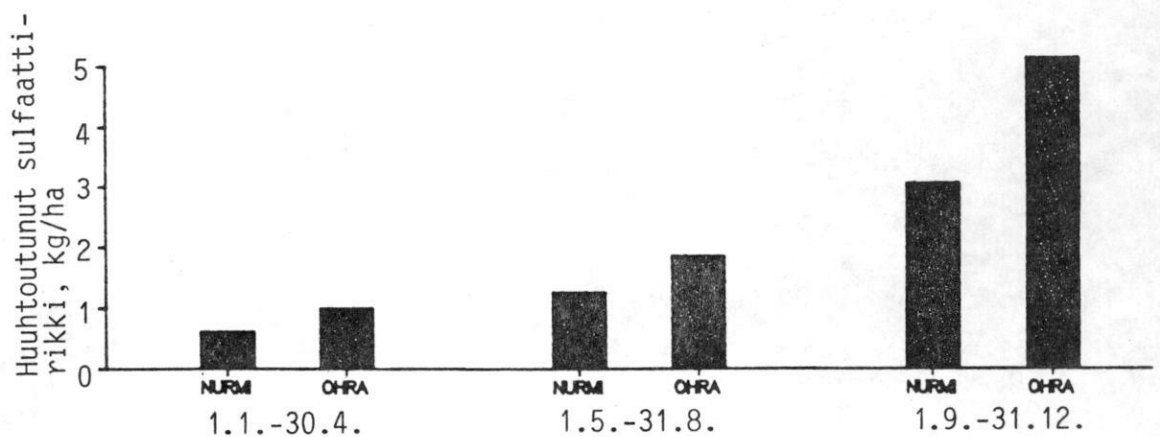
Sulfaattirikkiä huuhtoutui maasta enemmän kuin typpeä. Nurmesta sulfaattirikkiä huuhtoutui noin kaksinkertaisesti typpeen verrattuna. Ohramaasta huuhtoutuminen oli vastaavasti 30 % suurempaa (TURTOLA ja JAAKKOLA 1985). Huuhtoutunut sulfaattirikki jakautui pintavesien ja salaojavesien kesken nitraatin tavoin. Sulfaattia huuhtoutui kuitenkin syksyisin suhteellisesti enemmän kuin nitraattia.

Maahan tuli rikkiä laskeumassa vuosina 1980-1982 noin 13 kg/ha vuodessa. Nurmiruuduille tuli siten laskeuman ja lannoitteiden mukana rikkiä yhteensä 25-37 kg/ha vuodessa. Kasvuston rikin otoksi voidaan arvioida noin 13 kg/ha. Yhteensä sadon ja huuhtoutuman mukana maasta poistui rikkiä noin 30 kg/ha vuodessa. Nurmea viljeltäessä siis rikkitalouden tulo- ja meno-puoli olivat tasapainossa.

Ohraruuduille tuli rikkiä lannoitteiden ja laskeuman mukana yhteensä 19-25 kg/ha. Ohrakasvuston rikin oton suuruudeksi voidaan arvioida 10 kg/ha. Sadossa ja huuhtoutumassa maasta poistui rikkiä yhteensä noin 26 kg/ha. Viljaa viljeltäessä maaperän rikkitaseseen vaikuttaakin olennaisesti lannoitteen rikkipitoisuus. Vähän rikkiä sisältäviä lannoitteita käytettäessä taase muodostuu helposti tappiolliseksi.



Kuva 23. Sulfaattirikin huuhtoutuminen nurmimaasta (ylhäällä) ja ohramaasta (alhaalla) salaoja- ja pintavesissä kevät-, kesä- sekä syyskausina vuosina 1980-1982.



Kuva 24. Sulfaattirikin huuhtoutuminen salaojavesissä nurmi- ja ohramaasta kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982. Lannoitus: Normaali Y-lannos 600 kg/ha vuodessa.

3.6. Kloridin huuhtoutuminen

Kloridia huuhtoutui vuosina 1980-1982 noin 27 kg/ha vuodessa (taulukko 11). Huuhtoutuminen oli samansuuruista kuin Ruotsin keskiosissa, missä kloridia huuhtoutuu peltomaista BRINKin (1982) mukaan 31 kg/ha.

Taulukko 11. Kloridin huuhtoutuminen (kg/ha vuodessa) vuosina 1980-1982.

Viljelykasvi	1980 ¹⁾	1981	1982	\bar{x}
Ohra	7	39	41	29
Nurmi	4	29	40	24

¹⁾ Kloridimääritykset aloitettiin huhtikuussa 1980.

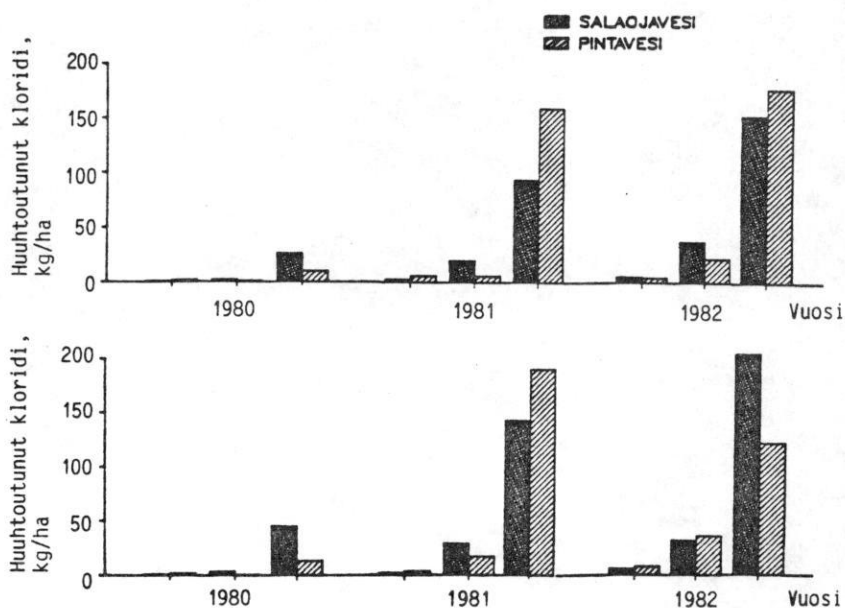
Kloridin huuhtoutumiseen vaikutti voimakkaasti valunnan määrä. Vuonna 1980 valunta ja kloridin huuhtoutuminen olivat selvästi kahta seuraavaa vuotta pienempiä (kuva 25). Runsaasti kloridia huuhtoutui syksyllä 1981 ja 1982, jolloin etenkin salaojavesien kloridipitoisuudet olivat suuria, jopa 60 mg/l. Kloridia huuhtoutui salaojavesien ja pintavesien mukana likimain yhtä paljon (kuva 25).

Kotkanojan huuhtoutumiskentällä on tullut maahan kloridia lannoitteissa vuosina 1976-1982 keskimäärin yli 70 kg/ha vuodessa (taulukko 3). Vuosina 1980-1982 lannoiteperäisen kloridin vaikutus huuhtoutumiseen näkyi v. 1981 keväällä ja syksyllä sekä v. 1982 keväällä ja kesällä, jolloin salaojavesien kloridipitoisuudet olivat korkeammalla lannoitustasolla tilastollisesti merkitsevästi suurempia kuin alemmalla.

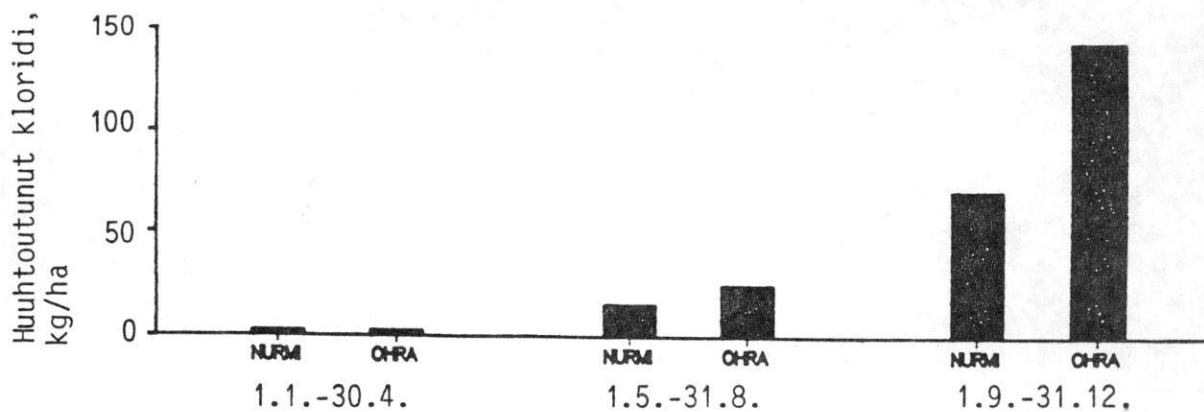
Kun lannoitustaso oli sama, kloridia huuhtoutui ohramaasta enemmän kuin nurmesta (kuva 26). Tähän oli syynä ohraruutujen suurempi salaojavesivalunta ja salaojavesien kloridipitoisuus.

Kloridin huuhtoutuminen muistuttaa nitraattitypen huuhtoutumista, koska molemmat sitoutuvat hyvin heikosti maa-ainekseen. Kotkanojan huuhtoutumiskentällä ohramaasta huuhtoutui kloridia nitraattityypeen verrattuna kolminkertaisesti ja nurmesta viisinkertaisesti. Lisäksi kloridin huuhtoutuminen painottui selvästi syyskausiin. Huuhtoutumisen ajoittumisessa havaittuun eroon on ilmeisesti syynä se, että kloridi osallistuu vain vähän maassa

tapahtuviin biologisiin reaktioihin. Tästä seuraa, että maahan tullut kloridi on huuhtoutumiselle alttiina jatkuvasti. Keväällä ja kesällä lannoitteissa levitetty kloridi voi siten huuhtoutua suureksi osaksi jo seuraavana syksynä.



Kuva 25. Kloridin huuhtoutuminen nurmimaasta (ylhäällä) ja ohramaasta (alhaalla) salaoja- ja pintavesissä kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982.



Kuva 26. Kloridin huuhtoutuminen salaojavesissä nurmi- ja ohramaasta kevät-, kesä- ja syyskausina vuosina 1980-1982. Lannoitus: Normaali Y-lannos 600 kg/ha vuodessa.

4. KIRJALLISUUS

- BOHN, H., McNEAL, B. & O'CONNOR, G. 1979. Soil chemistry. 329 p. New York.
- BRINK, N. 1982. Measurement of mass transport from arable land in Sweden. *Ekohydrologi* 12: 29-36.
- CAMERON, K. C. & WILD, A. 1982. Comparative rates of leaching of chloride, nitrate and tritiated water under field conditions. *J. Soil Sci.* 33: 649-657.
- ELONEN, P. 1971. Particle-size analysis of soil. *Acta Agr. Fenn.* 122: 1-122.
- GRAHAM, E. R. 1948. Determination of soil organic matter by means of a photoelectric colorimeter. *Soil Sci.* 65: 181-183.
- GUSTAFSON, A. 1982. Växtnäringsförluster från åkermark i Sverige. *Ekohydrologi* 11: 19-27.
- & GUSTAVSSON, A. S. 1982. Växtnäringsförluster i Västergötland och Östergötland. *Ekohydrologi* 10: 3-26.
 - & TORSTENSSON, G. 1983. Växtnäringsförluster vid Röbbäcksdalen. *Ekohydrologi* 13: 35-48.
 - & TORSTENSSON, G. 1984. Växtnäringsförluster från åker i Nybroåns avrinningsområde. *Ekohydrologi* 15: 21-26.
- HARTIKAINEN, H. 1978a. Leaching of plant nutrients from cultivated soils. I. Leaching of cations. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 50: 263-269.
- 1978b. Leaching of plant nutrients from cultivated soils. II. Leaching of anions. *J. Scient. Agric. Soc. Finl.* 50: 270-275.
- HOVMAND, M. 1984. Udvaskningstab fra agerjord som følge af syredeposition. *Nordforsk. Miljøvårdssekreteriatet. Publ. 1 (1984):* 89-98.
- JAAKKOLA, A. 1978. Viekö vesi voiman? *Pellervo* 79, 17: 10-11, 16.
- 1979a. Ravinteiden huuhtoutumistutkimus käynnistynyt. *Koetoim. ja Käyt.* 24.4.1979.
 - 1979b. Maanviljelys ja vesistöjen ravinnekuormitus. *Vesipäivä* 19.11.1979: 76-82. *Vesiyhdistys r.y.*
 - 1981. Huuhtoutuminen ja lannoitustarve. *Koetoim. ja Käyt.* 24.11.1981.
 - 1983a. Typpilannoituksen optimointi. *Koetoim. ja Käyt.* 19.4.1983.
 - 1983b. Leaching losses in Finnish agriculture. The Second National Symposium on Biological Nitrogen Fixation, Helsinki 8-10th June 1982. *Report 1:* 307-313.
 - 1983c. Salaojitus vähentää fosforin ja kaliumin huuhtoutumista. *Salaojittaja* 1: 15.
 - 1984. Leaching losses of nitrogen from a clay soil under grass and cereal crops in Finland. *Plant and Soil* 79: 59-66.

- KERÄNEN, T. 1966. Karjanlannan kasvinravinteet. Maatal. ja Koetoim. 20: 7-13.
- KULMALA, A., ESTLANDER, A., LEINONEN, L., RUOHO-AIROLA, T. & SÄYNÄTKARI, T. 1982. Ilman laatu Suomen tausta-asezilla 1970-luvulla. Ilmatiet. lait. Tiedonantoja 36.
- KURKI, M. 1982. Suomen peltojen viljavuudestas. III. 181 p. Helsinki.
- LAHERMO, P. 1970. Chemical geology of ground and surface waters in Finnish Lapland. 106 p. Helsinki.
- RUSSELL, E. W. 1973. Soil conditions and plant growth. 849 p. London.
- SIPPOLA, J. & TARES, T. 1978. The soluble content of mineral elements in cultivated Finnish soils. Acta Agric. Scand. Suppl. 20: 11-25.
- SMITH, C. M., GREGG, P. E. H. & TILLMAN, R. W. 1984. Drainage losses of potassium from a yellow-grey earth soil. N. Z. J. Agric. Res. 27: 389-397.
- STEELE, K. W., JUDD, M. J. & SHANNON, P. W. 1984. Leaching of nitrate and other nutrients from a grazed pasture. N. Z. J. Agric. Res. 27: 5-11.
- TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. 1985. Viljelykasvin, lannoitustason ja sadetuksen vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6/85. 43 p.
- UHLEN, G. 1978a. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. I. Runoff measurements, water composition and nutrient balances. Meld. Norges Landbrukshøgskole 57 (27).
- 1978b. Nutrient leaching and surface runoff in field lysimeters on a cultivated soil. III. Seasonal variation in chemical composition of the drainage water. Meld. Norges Landbrukshøgskole 57 (29).
- ULÉN, B. 1984. Påverkan på yt-, dränerings- och grundvatten vid Ekenäs. Ekohydrologi 18: 3-38.
- VESIHALLITUS 1981. Vesihallinnon analyysimenetelmät. Tiedotus 213.
- VUORINEN, J. & MÄKITIE, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Agrogeol. Publ. 63: 1-14.
- WIKLANDER, L. 1970. Utlakning av näringsämnen. I. Halten i dräneringsvatten. Grundförbättr. 23: 117-141.
- 1974. Leaching of plant nutrients in soils. I. General principles. Acta Agr. Scand. 24: 347-356.
- 1977. Leaching of plant nutrients in soils. IV. Contents of drainage water and ground water. Acta Agr. Scand. 27: 175-189.
- 1978. Utlakning av näringsämnen. Nord. Jordbr.forskn. 60 (1): 116-117.
- & HALLGREN, G. 1971. Utlakning av näringsämnen. III. Grundförbättr. 24: 95-111.

MAATALOUDEN TUTKIMUSKESKUKSEN TIEDOTTEET

1983

1. Maatalouden tutkimuskeskuksen yksiköiden tiedotteet 1975-1982. 48 p.
2. KONTTURI, M. Mallasohra - kirjallisuuskatsaus. 42 p.
3. NORDLUND, A. & ESALA, M. Maatalouden sääpalvelut ulkomailla. Kirjallisuustutkimus. 66 p.
4. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1975-1982. 186 p. + 4 liitettä.
5. SUONURMI-RASI, R. & HUOKUNA, E. Kaliumin lannoitustason ja -tavan vaikutus tuorerehunurmien satoihin ja maiden K-pitoisuuksiin. 13 p. + 8 liitettä.
6. KEMPPAINEN, E. & HEIMO, M. Förbättring av stallqödselns utnyttjande. Litteraturöversikt. 81 p.
7. MULTAMÄKI, K. & KASEVA, A. Kotimaiset lajikkeet. 10 p.
8. LÖFSTRÖM, I. Kasvien sisältämät aineet tuholaistorjunnassa. 26 p.
9. HEIKINHEIMO, O. Kirvojen preparointi ja määrittäminen. 67 p. + 12 liitettä.
10. SAARELA, I. Soklin fosforimalmi fosforilannoitteena. p. 1-13. Humuspitoiset lannoitteet. p. 14-20.
11. YLÄRANTA, T. Jordanalysetoder i de nordiska länderna. 13 p.
12. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Avomaan vihanneskasvien lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1979-82. 21 p.
13. KIVISAARI, S. & LARPES, G. Kylvöajankohdan vaikutus kevätvehnän, ohran ja kauran satoon 10-vuotiskautena 1970-1979 Tikkurilassa. 54 p.
14. ERVIÖ, R. Maaperäkarttaselitys. ESPOO - INKOO. 26 p.
15. BREMER, K. Ydinkasvien tuottaminen kasvisolukkoviljelyn avulla. 63 p.

1984

1. Tiivistelmät eräistä MTK:n julkaisuista 1983. 74 p.
2. ESALA, M. & LARPES, G. Kevätviljojen sijoituslannoitus savimailla. 35 p.
3. ETTALA, E. Ayrshire-, friisiläis- ja suomenkarjalehmien vertailu kotoisilla rehuilla. 7 p. + 18 liitettä.

4. LUOMA, S. & HAKKOLA, H. Keräkaalin lajikekokeiden tuloksia vuosilta 1975-83. 22 p.
 5. KURKI, L. Tomaattilajikkeet ja hiilidioksidin lisäys. Kasvihuonetomaatin viljelylämpötiloista. Kasvihuonekurkun tuentamenetelmien vertailua. Sijoituslannoitus ja kasvualueen ilmasto kasvihuonekurkulla ja tomaattilla. 21 p.
 6. VIJORINEN, M. Italianraiheinä ja viljat tuorerehunä. 17 p.
 7. ANISZEWSKI, T. Lupiini viherlannoituskasvina. Arviointeja esikokeiden ja kirjallisuuden pohjalta. 11 p.
 8. HUOKUNA, E. & HAKKOLA, H. Koiranheinän ja timotein kasvu ja rehuarvon muutokset säilörehuasteella. 54 p.
 9. VALMARI, A. Roudan kehittymisen tilastollinen malli. 33 p.
 10. HAKKOLA, H. Kuonakalkituskoekokeiden tuloksia 1978-83. 42 p.
 11. SIPPOLA, J. & SAARELA, I. Eräät maa-analyysimenetelmät fosforilannoitustarpeen ilmaisijoina. 20 p.
 12. RAVANTTI, S. Terhi-punanata. 37 p.
 13. URVAS, L. & HYVÄRINEN, S. Kolme ravinnesuhdetta Suomen maalajeissa. 10 p.
 14. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., KERSALO, J. & NORDLUND, A. Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1983. 101 p.
 15. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1976-1983. 202 p. + 4 liitettä.
 16. JUNNILA, S. Ympäristötekijöiden vaikutus herbisidien käyttäytymiseen maassa. Kirjallisuustutkimus. 15 p. + 4 liitettä.
 17. PESSALA, R., HAKKOLA, H. & VALMARI, A. Kylvöajan merkitys porkkanan viljelyssä. 22 p.
 18. NISULA, H. Uusimpia tuloksia Ruukin lihanautakokeista. 39 p.
 19. SAARELA, I. Kevätöljykasvien boorilannoitus. 122 p. + 2 liitettä.
 20. URVAS, L. Maaperäkarttaselitys. PORI - HARJAVALTA. 28 p. + 14 liitettä.
 21. LEHTINEN, S. Avomaavihannesten lannoitus- ja kastelukokeet 1978-1983. 62 p. + 17 liitettä.
 22. ANISZEWSKI, T. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima eräillä MTTK:n kiertokoealueilla. Kirjallisuustutkimus ja MTTK:n kolmen tutkimusaseman näytteiden analyysi. p. 1-38.
- PALDANIUS, E. & SIMOJOKI, P. Rikkakasvien siementen määrä ja elinvoima Satakunnan ja Etelä-Pohjanmaan tutkimusasemien maanäytteissä. p. 39-56.

23. RINNE, S-L. & SIPPOLA, J. Maatalouden jätteiden kompostointi. 52 p.
I Typpi -ja fosforilisä oljen kompostoinnissa
II Maatalouden jätteet kompostin raaka-aineina
III Kompostin arvo lannoitteena

1985

1. Tiivistelmiä MTK:n tutkimuksista ja julkaisuista 1984. 67 p.
2. ANSALEHTO, A., ELOMAA, E., ESALA, M., NORLUND, A. & PILLI-SIHVOLA, Y.
Maatalouden sääpalvelukokeilu kesällä 1984. 127 p.
3. ETTALA, E. Säilörehu Maatalouden tutkimuskeskuksen lypsykarjakokeissa
1970 - luvulla. 270 p.
4. ETTALA, E. Laidun lypsykarjaruokinnassa. 220 p.
5. TUORI, M. & NISÜLA, H. Ruokintarutiinien merkitys naudoilla. Kirjallisuus-
tutkimus. 38 p.
6. TURTOLA, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus
typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
7. AURA, E. Avomaan vihannesten veden ja typen tarve.
Nitrogen and water requirements for carrot, beetroot, onion and cabbage. 61 p.
8. Puutarhaosaston tutkimustuloksia. Taimitarha ja dendrologia. 94 p.
9. KEMPPAINEN, E. Kuivikkeen vaikutus lannan arvoon.
Kuivikkeiden ammoniakkin sitomiskyky. 25 p.
10. JAAKKOLA, A., HAKKOLA, H., HIIVOLA, S-L., JÄRVI, A., KÖYLIJÄRVI, J. &
VUORINEN, M. Terästeollisuuden kuonat kalkitusaineina. 44 p.
11. JAAKKOLA, A., ETTALA, E., HAKKOLA, H., HEIKKILÄ, R. & VUORINEN, M.
Siilinjärven kalkki kalkitusaineena. 53 p.
12. TAKALA, M. Asumajätevesien imeyttäminen maahan ja energiapajun viljely
imeytyskentällä. 36 p.
13. JOKINEN, R. & HYVÄRINEN, S. Eri maalajien magnesiumpitoisuus ja sen
vaikutus ravinnesuhteisiin Ca/Mg ja Mg/K. 15 p.
14. JUNNILA, S. Rikkakasvien siementen itämislepo. Kirjallisuuskatsaus. 29 p.
15. MÄKELÄ, K. Talven aikana kuolleiden ryhmäruusujen versoissa esiintyvä
sienilajisto vuosina 1976-1982. 13 p. + 8 liitettä.
16. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden
tuloksia 1977-1984. 168 p. + 4 liitettä.

17. SÄKÖ, J. Maatalouden tutkimuskeskuksen puutarhaosastolla Piikkiössä kokeillut ja kokeiltavana olevat omenalajikkeet.
Perusrungon merkitys omenapuiden talvehtimisessä 1983-84.
SÄKÖ, J. & LAURINEN, E. Omenapuiden harjuistutus.
HIIRSALMI, H. & SÄKÖ, J. Mansikan jalostus johtanut tulokseen.
18. ETTALA, E., SUVITIE, M., VIRTANEN, E., PITKÄNEN, T., ZITTING, M., NÄSI, M., TUOMIKOSKI, T. & NISKANEN, M. Metsä- ja maatalouden sivutuotteet lihamullien rehuna. 51 p.
19. MANNER, R. & AALTONEN, T. Pitko-syysvehnä. 6 p. + 27 liitettä.
20. MANNER, R. & AALTONEN, T. Kartano-syysruis. 5 p. + 13 liitettä.
21. ANISZEWSKI, T. Lupiini viljelykasvina. 134 p.
22. HUOKUNA, E., JÄRVI, A., RINNE, K. & TALVITIE, H. Nurmipalkokasvit puhtaan kasvustona ja heinäseoksena. p. 1-12.
HUOKUNA, E. Apilan pahkahomeen esiintymisestä. p. 13-20.
HUOKUNA, E. & HÄKKINEN, S. Englanninraiheinä säilörehunurmissa. p. 21-26.
23. VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., LARPES, E., MICORDIA, A. & LAMPILA, M.
Eri säilötäaineet esikuivatun ja tuoreen säilörehun valmistuksessa sekä kiinteä ja nouseva väkirehun annostus mullien kasvatuksessa. p. 1-32.
VIRKKUNEN, H., KOMMERI, M., SORMUNEN-CRISTIAN, R. & LAMPILA, M.
Eri säilöntäaineet nurmirehun säilönnässä. p. 33-45.
24. RISSANEN, H., ETTALA, E., MELA, T. & MUSTONEN, L. Laitumen sadetuksen ja väkirehujen käytön vaikutus lehmien tuotoksiin. p. 1-21.
RISSANEN, H., KOSSILA, V. & VASARA, A. Urean, Urea-Fosforihappo-Viherjauhoyhdisteen (UPV) ja soijan vertailu raakavalkuaislähteinä maidontuotantokokeissa lehmillä. p. 22-30.
KOSSILA, V., KOMMERI, M. & RISSANEN, H. Monokalsiumfosfaatti ja ureafosfaatti sekä käsittelemätön olki ja ammoniakilla käsitelty olki mullien ruokinnassa. p. 31-40.
25. KORTET, S. Puna-apilan paikalliskantojen ekologia. 66 p.
26. MEHTO, U. Viljojen rikkakasvien torjunta ilman herbisidejä.
Kirjallisuustutkimus. 77 p.
27. HUHTA, H. & HEIKKILÄ, R. Rehuviljan viljely Pohjois-Karjalassa.
24 p. + 2 liitettä.

2. KEMPPAINEN, E. Karjanlannan hoito ja käyttö Suomessa. 102 p. + 6 liitettä.
3. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Lietelanta nurmen peruslannoitteena. 25 p.
4. NIEMELÄINEN, O. Nurmmikkoheinien ominaisuudet. Kirjallisuustutkimus.
Tuloksia punanatojen ja niittynurmikan virallisista nurmikon lajikekokeista vuosilta 1977-84. 48 p.
5. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekokeiden tuloksia 1978-1985. 128 p.+ 4 liitettä.
6. NIEMELÄINEN, O. & PULLI, S. Puna-apilalajikkeiden siemenmuodostus.
Tuloksia apilan virallisista siemenviljelyn lajikekokeista vuosilta 1978-84. 42 p.
7. NIEMELÄINEN, O. Syksyn, talven ja kevään lämpö- ja valo-olojen vaikutus koiranheinän, niittynurmikan ja punanadan röyhymuodostukseen.
Kirjallisuustutkimus. 51 p.
8. ERVIÖ, L-R. & ERKAMO, M. Pakettipellon viljelyn uudelleen aloittaminen herbisidien avulla.
ERVIÖ, L-R. Korren vahvistaminen timotein siemenviljelyksillä.
HIIVOLA, S-L. Klormekvatin käyttö timotein siemennurmilla.
ERVIÖ, L-R. & HIIVOLA, S-L. Herbisidien käytön vähentäminen viljakasvustossa.
9. KEMPPAINEN, E. & HAKKOLA, H. Säilörehun puristeneste ja virtsa lannoitteina. 43 p.
10. MATIKAINEN, A. & HUHTA, H. Nurmikasvilajikkeet Karjalan tutkimusasemalla. 24 p.
11. SOVERO, M. Nopsa-kevätrypsi. 15 p. + 2 liitettä.
12. NIEMELÄ, P. Kuiviketurpeen soveltuvuus turkistarhoilla kertyvän sonnan ja virtsan käsittelyyn. 15 p + 4 liitettä.
13. PULLI, S., Vestman, E., TOIVONEN, V. & AALTONEN, M.
Yksivuotisten tuorerehukasvien sopeutuminen Suomen kasvuoloihin. 51 p.
14. SIMOJOKI, P., RINNE, S-L., SIPPOLA, J., RINNE, K., HIIVOLA, S-L. & TALVITIE, H. Hernekaurasta saatava typpilannoitusohyöty. 27p. + 22 liitettä.

15. SÄKÖ, J. & YLI-PIETILÄ, M. Hedelmäpuiden ja marjakasvien talvehtiminen talvella 1984-85. 28 p.
16. MANNER, R. & KORTET, S. Niina-ohra. 31 p + 1 liite.
17. TURTOLO, E. & JAAKKOLA, A. Viljelykasvin, lannoituksen ja sadetuksen vaikutus kaliumin, kalsiumin, magnesiumin, natriumin, sulfaattirikin sekä kloridin huuhtoutumiseen savimaasta. 43 p.
18. TOIVONEN, V. & LAMPILA, M. Juurikasvisäilörehujen valmistus, laatu, rehuarvo ja mahdollinen käyttö etanolin valmistuksessa. 106 p. + 23 liitettä.

21. RAVANTTI, S. Iki-timotei. 33 p. + 1 liite.
22. URVAS, L. & VIRRI, K. Maaperäkarttaselitys. Turku-Rymättylä. 34 p. + 7 liitettä.
23. VUORINEN, M. Kalkituskoekoiden tuloksia saraturvemaalta 1977-83. 22 p.

1987

3. LEIVISKÄ, P. & NISSILÄ, R. Säämittauksen tuloksia Pohjois-Pohjanmaan tutkimusasemalla Ruukissa. 31 p.

5. NIEMELÄ, T. & NIEMELÄINEN, O. Kasvualustan tiivistyminen ja nurmikon kuluminen nurmikon stressitekijöinä. Kirjallisuuskatsaus. p. 1-30.
NIEMELÄ, T. Siirtonurmikon kasvatusta ja käyttö. Kirjallisuuskatsaus. p. 31-42.
6. LUOMA, S., RAHKO, I. & HAKKOLA, H. Kiinankaalin viljelykoekoiden tuloksia 1981-85. 25 p.
7. MUSTONEN, L., PULLI, S., RANTANEN, O. & MATTILA, L. Virallisten lajikekoekoiden tuloksia 1979-1986. 165 p. + 9 liitettä.

9. YLI-PIETILÄ, M., SÄKÖ, J. & KINNANEN, H. Puuvartisten koristekasvien talvehtiminen talvella 1984-85. 38 p.

