

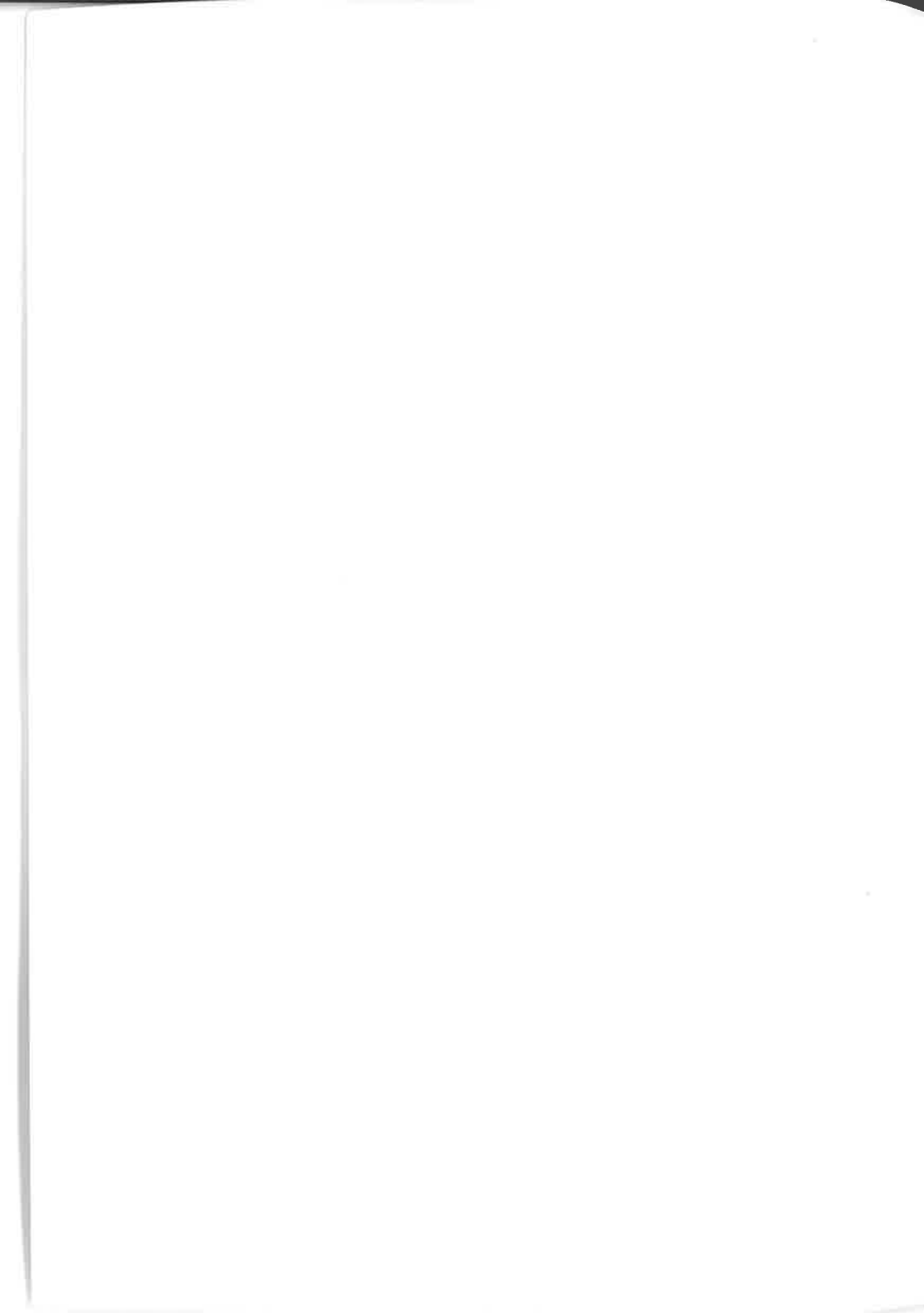
SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE

N:o 18



**SÄÄTÖSALAOJITUS,
TUTKIMUSTULOKSIA
VUOSILTA 1992-1993**

HELSINKI 1994



SÄÄTÖSALAOJITUS

- tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993

Tämän julkaisun on rahoittanut Salaoituksen Tukisäätiö

*** * ***

Julkaisija: Salaoituksen tutkimusyhdistys ry.

Toimitus: DI Esko Laikari

ISSN 0783 - 392 X

Sisällysluettelo

<i>Säätösalaajituksen vaikutus vehnän ja kauran kasvuun</i> Matti Teittinen, Jouko Kleemola ja Timo Hellman	5
<i>Sjökullan koekentän salaajien valunnat</i> Antti Taskinen ja Harri Koivusalo	15
<i>Pintavahunnan mittaustuloksia Sjökullan koekentältä</i> Harri Koivusalo	32
<i>Pohjaveden laadun ja syvyyden vaihtelu peltoalueilla</i> Maija Paasonen-Kivekäs, Petri Kylmälä, Noor Sepahi ja Antti Taskinen ..	52
<i>Säätösalaajituskokeisiin osallistuneiden viljelijöiden mielipiteitä</i> Noor Sepahi	83
<i>Korjaus</i>	85

SÄÄTÖSALAOJITUKSEN VAIKUTUS VEHNÄN JA KAURAN KASVUUN

MMK Matti Teittinen, MMK Jouko Kleemola ja mmyo Timo Hellman,
Helsingin Yliopisto, Kasvintuotantotieteen laitos

Johdanto

Maatalouden aiheuttamiin ympäristöongelmiin on viime vuosina kiinnitetty yhä enemmän huomiota. Maataloudesta on todettu pääsevän vesistöihin tyypeä ja fosforia enemmän kuin muista kuormittajista yhteensä. Peltolohkoilta veden mukana huuhtoutuvat ravinteet muodostavat yhden osa-alueen tästä ongelmasta. Tavanomainen salaojitus vähentää pintavalumia ja siten fosforin huuhtoutumista, mutta lisää liukaisen typen huuhtoutumista. Yhdysvalloissa, Pohjois-Karolinassa, tehtyjen tutkimusten perusteella säätösalaajitus vähentää merkittävästi salaojavalunnan ravinnepestöjä hyvin vettä läpäisevillä mailla (Evans ym. 1989). Säätösalaajitus on salaojajärjestelmä, jossa ojastosta purkautuvia vesimääriä säädelään kokoojaan rakennettavien padotuskaivojen (avo-ojituksessa patojen) avulla. Vuonna 1992 Salaojakeskus, Teknillinen korkeakoulu ja Helsingin yliopiston kasvintuotantotieteen laitos käynnistivät tutkimuksen säätösalaajituksen soveltuvuudesta suomalaisiin oloihin ja suomalaisille peltolohkoille (Karvonen 1992).

Myös kasvusto on tärkeä osatekijä vähennettäessä ravinnepestöjä pellolta. Hyvä ja voimakas kasvusto ottaa enemmän ravinteita kuin heikko kasvusto, jolloin maahan jää määrällisesti vähemmän huuhtoutumiselle alttiita ravinteita syksyn ja talven ajaksi. Kunnollinen kasvusto voi kehittyä, kun kasvualustan kosteusolot ovat optimaaliset; säätösalaajituksella voidaan säätää pellon kosteusoloja ja varastoida vettä kylvöjen jälkeistä kasvukautta varten.

Tutkimuksen tavoite

Kasvintuotantotieteen laitos seurasi kasvuston kehittymistä ja kasvua kesällä 1993 kahdella säätösalaajitetulla peltolohkolla (Sjökulla, Kirkkonummi ja Suoharju, Tuusula). Tutkimuksen tavoitteena oli saada vastaukset seuraavia kysymyksiin: 1) mitä ojastoista purkautuvien vesimäärien säätely savimaalla (Sjökulla, Kirkkonummi), ja toisaalta 2) mitä liian korkea pohjaveden pinta turvemaalla (Suoharju, Tuusula), vaikuttavat viljelykasvien kasvuun ja tyyppipitoisuuksiin sekä 3) vaikuttako pohjaveden säätely kasvien kehitysrytmiin, esimerkiksi tähkälle tulo- ja tuleentumisajankohtaan.

Aineisto ja menetelmät

Sjökullassa viljelykasvina oli kevätvehnä (lajike Satu), ja Suoharjussa kasvina oli kaura (lajike Salo). Sjökullassa lohkon maalaji oli savea ja Suoharjussa turvetta. Sjökullan lohko kylvettiin 4.5., ja lannoitteena käytettiin 600 kg/ha Typpirikas Y1:ä (26% N, 3% P, 3% K). Suoharju kylvettiin 11.5., ja lannoitteena käytettiin 300 kg/ha Typpirikas Y3:a (18% N, 5% P, 10% K). Sjökullassa lohko oli jaettu kahteen alueeseen joissa säädelty ja säätelemätön alue olivat vierekkäin. Suoharjussa koko lohko oli säädelty mutta pohjaveden korkeus vaihteli lohkon eri osissa.

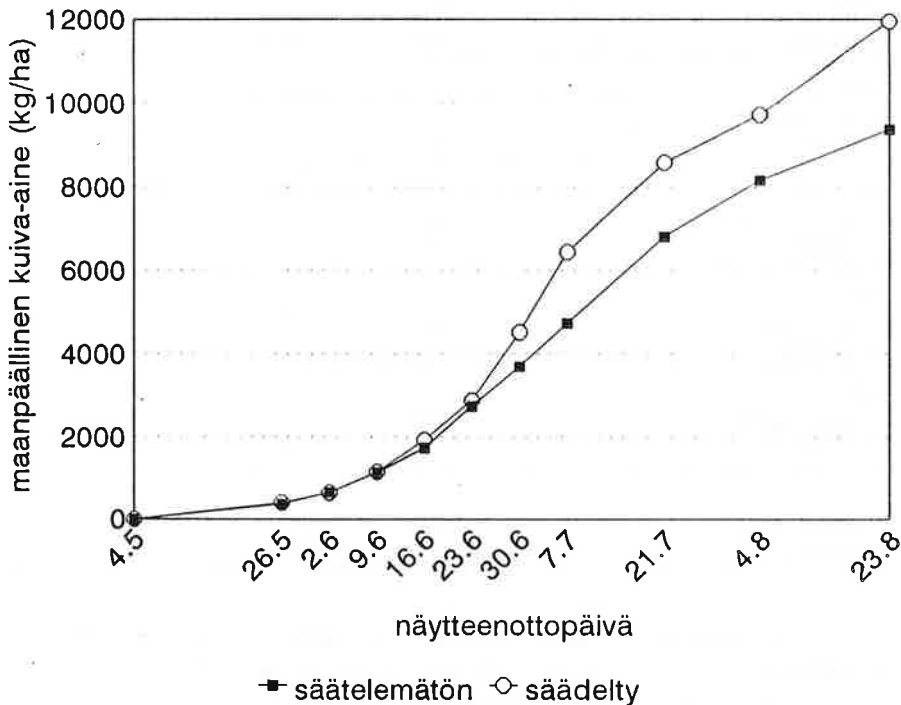
Kesän aikana kasvustonäytteitä otettiin koealueilta 1-2 viikon välein. Sjökullassa näytteet otettiin eri puolilta koealueita ja Suoharjussa neljän pohjaveden pinnan- korkeuden mittausputken lähetyviltä. Näytteiden otto satunnaistettiin seuraavalla menetelmällä: Kasvustoon heitettiin sattumanvaraiseen paikkaan kuokka, joka osoitti näytteenottoaikan; kyseisestä paikasta kerättiin 2 x 3-4 kasvia juurineen; edellä mainittu toiminto toistettiin 10 - 20 kertaa kullakin näytteenottoalueella. Kerätyistä kasveista arvottiin 2 x 10 kasvia, jotka analysoitiin laboratoriossa. Ensimmäisellä näytteenottokerralla kasvustoista määritettiin lisäksi kasvutiheys 10 kohdasta / näytteenottoalue laskemalla kasviyksilöiden määrä puolen metrin matkalta yhdeltä riviltä. Kunkin näytteenottoaikan kasvutiheyttä käytettiin muutettaessa kasvien yksilöarvoja pinta-alapohjaisiksi yksiköiksi taulukoiden ja kuvien laatimista varten.

Laboratoriossa kasveista tutkittiin aluksi kasvupisteen kehitysvaihe stereomikroskoopin avulla orastumisesta pölyttymiseen (~tähkälle tulo) saakka Åforsin ym. (1988) mukaan. Kehitysvaiheessa C kasvi siirtyy vegetatiivisesta kasvuvaiheesta generatiiviseen vaiheeseen ja samalla kasviin muodostuu tähkän (röyhyn) aihe. Y kuvaa kehitysvaihetta, jossa kukat pölytyvät ja jyvän muodostuminen voi alkaa (Peltonen-Sainio 1990). Seuraavaksi kasvien varret, lehdet (lehtilavat) ja mahdolliset tähkät eroteltiin ja vihreiden lehtien ala mitattiin LI-3100 Area Meter (Licor Inc., Lincoln, NB, USA) lehtialamittarilla. Kasvin osat kuivatettiin yön yli uunissa (105 °C) ja punnittiin. Jyvän täyttymisjaksolla tähkistä puitiin ja punnittiin jyvät. Punnitsemisen jälkeen yksittäiset näytteet yhdistettiin suuremmiksi koko kerranteen sisältäviksi näytteiksi. Tämän jälkeen näytteet jauhettiin ja jauhetuista näytteistä määritettiin hiili- ja typpipitoisuus Leco CHN-900 -hiilityppianalysaattorilla.

Tulokset

Sjökulla

Kevätvehnä kasvoi paremmin Sjökullassa säädellyillä alueilla kuin säätelemättömillä alueilla (kuva 1). Suurin ero kasvussa eri ojitustapojen välillä muodostui kesäkuun 23. päivän eli juhannuksen jälkeisellä muutaman viikon jaksolla. Myös aivan kasvukauden lopussa säädelyjen alueiden kasvien kasvunopeus näyttäisi olleen suurempi kuin säätelemättömien alueiden kasvien. Sadonkorjuuvaiheessa (23.8.) maanpäällinen kuiva-ainekertymä oli näytteiden mukaan 27 % suurempi säädellyillä alueilla verrattuna säätelemättömiin alueisiin. Myös jyväsato oli säädellyillä alueilla 22 % suurempi kuin säätelemättömillä alueilla (taulukko 1). Taulukossa olevat luvut ovat kahden koalueen keskiarvoja. Kuva 2 esittää säteilyenergian vastaanottamisessa tärkeän kasvien lehtialaindeksin (LAI, m^2/m^2) kehityksen kasvukauden aikana. Säädelyjen alueiden LAI näyttää kohonneen jyrkemmin kesäkuun alusta lähtien verrattuna säätelemättömien alueiden LAI:iin. Taulukossa 1 on kuiva-ainejakauman lisäksi kuvattu kasvin kasvupisteen



Kuva 1. Maanpäällisen kuiva-aineen (kg/ha) kertyminen säätelemättömillä ja säädelyillä alueilla Sjökullassa.

Taulukko 1. Kehitysvaihe ja kuiva-aineen kertyminen kasvinosiin, Sjöckulla 1993.

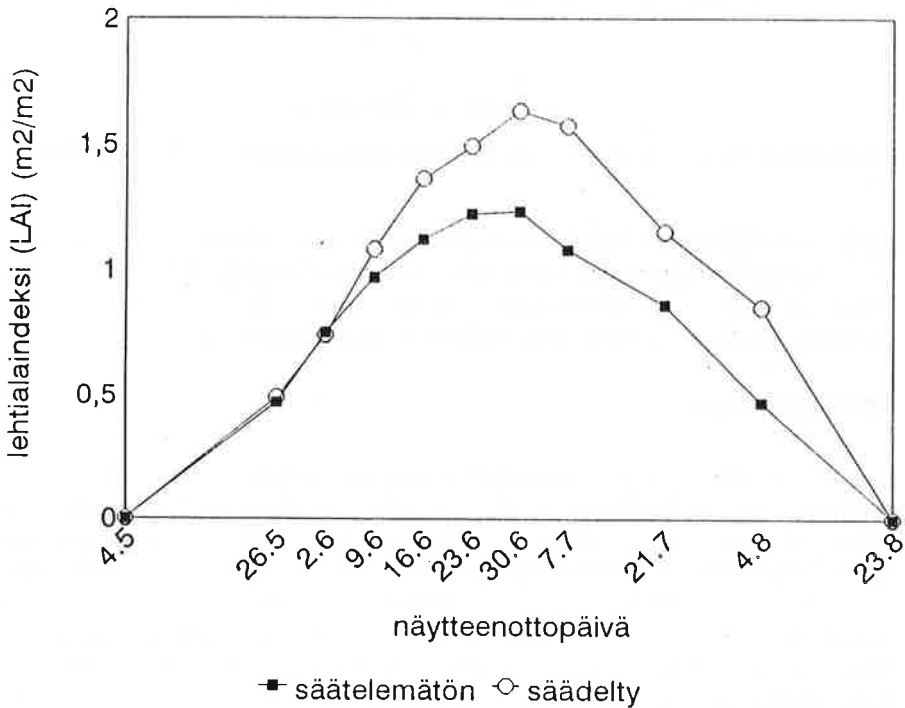
Päivämäärä	Kehitys-vaihe	Lehdet (kg/ha)	Varret (kg/ha)	Jyvät (kg/ha)
26.5.				
- säätelemätön	C	230	146	-
- säädelty	C-D	255	154	-
2.6.				
- säätelemätön	G	362	296	-
- säädelty	G	362	285	-
9.6.				
- säätelemätön	H-I	490	646	-
- säädelty	I	540	610	-
16.6.				
- säätelemätön	M-N	578	1117	-
- säädelty	N	665	1232	-
23.6.				
- säätelemätön	T	586	1826	-
- säädelty	S-T	655	1924	-
30.6.				
- säätelemätön	U-V	590	2372	-
- säädelty	V	798	2904	-
7.7.				
- säätelemätön	Y	553	3227	-
- säädelty	Y	848	4328	-
21.7.				
- säätelemätön	-	410	4005	1088
- säädelty	-	615	5093	1136
4.8.				
- säätelemätön	-	227	3741	2730
- säädelty	-	397	4571	3089
23.8.				
- säätelemätön	-	0	3174	4664
- säädelty	-	0	4250	5709

kehitysvaihe kasvukauden aikana. Kasvustojen kehitysnopeuksissa ei ollut eroa eri ojitustapojen välillä. Kasvinäytteiden typpianalyysit ovat osittain kesken, mutta sadonkorjuuvaiheessa kasvuston eri osien typpipitoisuuksissa ei ollut suuria eroja. Kuitenkin, jos otetaan huomioon erot kasvin osien kuiva-ainemäärissä, ovat erot suuria kasvin osien typpisadoissa eri ojitustapojen välillä (kuva 3).

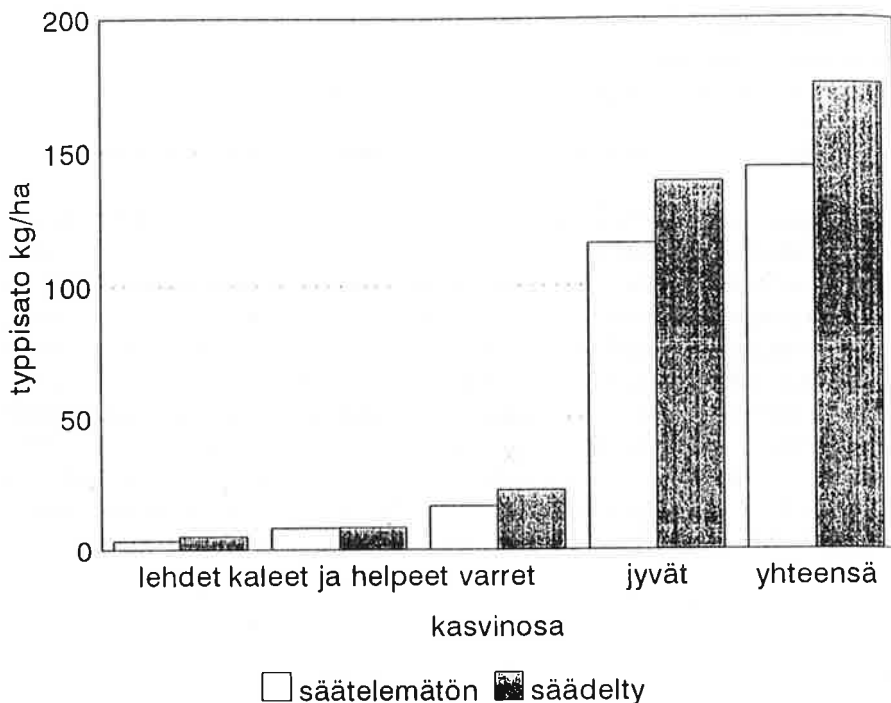
Säädellyillä alueella kasvaneet kasvit ottivat maasta typpeä noin 30 kg/ha enemmän kuin säätelemättömillä alueella kasvaneet. Tästä määrästä suurin osa (23 kg/ha) poistui pysyvästi peltoekosysteemistä sadon mukana.

Suoharju

Suoharjussa ei voitu vertailla eri ojitustapoja, mutta erilaiset kasvuolot lohkon eri osissa vaikuttivat selvästi kasvuston kasvuun. Pohjaveden pinnankorkeusmittausten perusteella koealue jaettiin kosteaan ja märkään alueeseen. Kostealla alueella pohjaveden pinnankorkeus oli koko kasvukauden ajan < -70 cm, mutta märällä alueella pinnankorkeus nousi välillä > -50 cm. Kostealla ja märällä koealueen kokonaiskuiva-ainemäärä kehittyi samankaltaisesti aina heinäkuun alkuun saakka, jolloin märän alueen kasvu hidastui koko loppukasvukauden ajaksi. Kasvu kostealla alueella jatkui sen sijaan lähes yhtä nopeana elokuun alkuun saakka (kuva 4). Siten kokeissa korjattu jyväsato (13.9.) oli kostealla alueella 30 % suurempi kuin märällä alueella (taulukko 2). Suoharjussa kauran lehtialaindeksissä oli havaittavissa samankaltaisia eroja kostean ja märän alueen



Kuva 2. Lehtialaindeksin (m^2/m^2) kehittyminen säätelemättömillä ja säädellyillä alueilla Sjököllässä.



Kuva 3. Kasvinosien typpisadot (kg/ha) sadonkorjuuajkaan (23.8.) Sjäokullassa.

välillä kuin Sjäokullassa säädelyjen ja säatelemättömien alueiden välillä (kuva 5). Tosin kauran lehtialaindeksit olivat yli kaksi kertaa suurempia kuin kevätvehnän. Myöskään kauralla kasvuston kehitysnopeuksissa ei ollut eroja eri kasvuoloissa (taulukko 2). Typpianalyysit ovat Suoharjun osalta vielä kesken.

Johtopäätökset

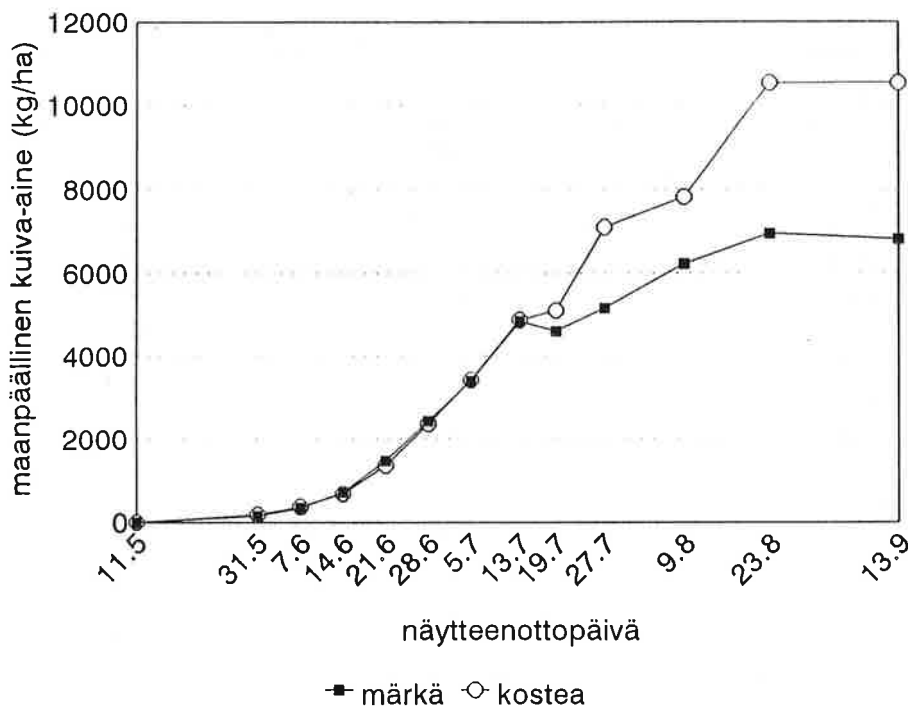
Kokeiden avulla saatiin vastauksia tutkimuskysymyksiin mutta, koska tilastolliset analyysit ovat vielä kasvustonäytteiden osalta kesken, on tuloksiin syytä suhtautua kriittisesti. Näyttäisi kuitenkin siltä, että säätösalaajituksella pystyttiin luomaan Sjäokullassa kesän 1993 kasvuoloissa optimaalisemmat maaperän kosteusolot kuin tavanomaisella salaajituksella. Erojen syntyminen käsittelyiden välille näyttäisi ajoittuvan samanaikaisesti sateiden esiintymisen kanssa. Näyttäisi siltä, että säätösalaajitus pidatti ja varastoi maahan enemmän vettä kasvien käytettäväksi kuin tavanomainen ojitus ja seurauksena oli parempi kasvusto säätösalaajitetuilla alueilla. Parempi kasvusto otti myös enemmän typpeä ja niinpä sadon mukana säätösalaajitetuilta alueilta poistui typpeä enemmän kuin perinteisesti ojitetuilta

Taulukko 2. Kehitysvaihe ja kuiva-aineen kertyminen kasvinosiin, Suoharju 1993.

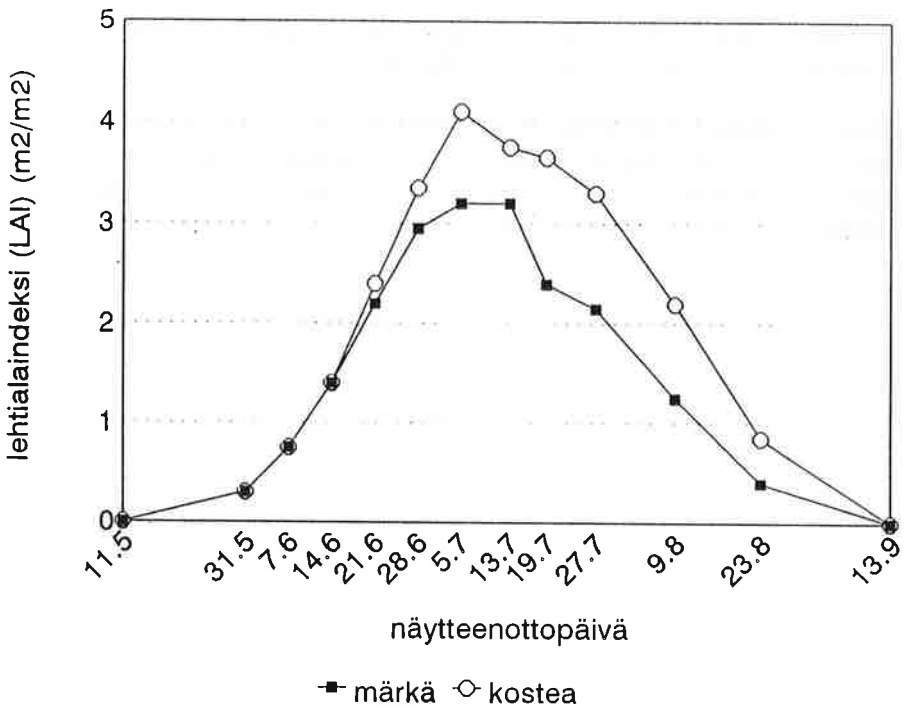
Päivämäärä	Kehitys-vaihe	Lehdet (kg/ha)	Varret (kg/ha)	Jyvät (kg/ha)
31.5.				
- kostea	B	124	58	-
- märkä	B	101	51	-
7.6.				
- kostea	F	244	129	-
- märkä	F	229	117	-
14.6.				
- kostea	H	428	258	-
- märkä	H	466	247	-
21.6.				
- kostea	M	749	608	-
- märkä	M	818	654	-
28.6.				
- kostea	O-P	1179	1178	-
- märkä	O-P	1172	1260	-
5.7.				
- kostea	Q-U	1446	1974	-
- märkä	T-U	1250	2141	-
13.7.				
- kostea	V-Y	1331	3371	170
- märkä	X-Y	1202	3426	210
19.7.				
- kostea	Y	1333	3313	452
- märkä	Y	916	3218	471
27.7.				
- kostea	-	1265	4521	1310
- märkä	-	838	3259	1053
9.8.				
- kostea	-	846	4567	2400
- märkä	-	479	3446	2302
23.8.				
- kostea	-	333	4906	5295
- märkä	-	162	2980	3809
13.9.				
- kostea	-	0	4784	5758
- märkä	-	0	2940	3876

alueilta. Toisaalta Suoharjun tulokset kertovat, että pohjaveden pinta ei saa olla liian lähellä maan pintaa, koska maa voi sateiden sattuessa kastua liian märäksi. Märässä maassa kasvit kasvavat kosteaa maata heikkommin, koska juurien kaasujenvaihtotasapainon järkkyy, hapen saanti heikkenee ja sekä ravinteiden että veden otto hidastuu. Kasvien kehitysnopeuteen kasvun alkuvaiheessa (kylvö - tähkälle tulo) ei pohjavedenkorkeuden säädöllä ollut vaikutusta.

Kokeissa nähtiin myös, kuinka suuri merkitys LAI:llä on kasvien kasvulle. Kasvuhan perustuu kasvien absorboimaan auringon säteilyenergiaan, ja edelleen absorboitun säteilyn määrä on taas riippuu lehtialaindeksistä. Sekä Sjököllässä säädelyillä alueilla että Suoharjussa kostealla alueella LAI kohosi nopeammin kuin säätelämättömillä alueilla ja märällä alueella. Siten LAI selittää osan säädelyjen alueiden ja kostean alueen suuremmasta kuiva-ainekertymästä. Suurempi kasvuston kuiva-ainekertymä taas selittää säädelyjen alueiden ja kostean alueen korkeamman LAI:n verrattuna sekä säätelämättömiin alueisiin että märkään alueeseen. On muistettava, että tämän artikkelin tulokset ovat sekä alustavia että luonteeltaan kuvaavia. Vaikka tutkimusalueet on perustettu siten,



Kuva 4. Maanpäällisen kuiva-aineen (kg/ha) kertyminen märällä ja kostealla alueella Suoharjussa.



Kuva 5. Lehtialaindeksin (m^2/m^2) kehittyminen märällä ja kostealla alueella Suoharjussa.

että vertailualueet (säädely/säätelymätön) olisivat tutkittavaa tekijää lukuunottamatta mahdollisimman samanlaisia (maalaji, ravinteet yms.), käytännössä on vaikeaa ottaa huomioon kaikkia tekijöitä. Tämän vuoksi tutkimusta jatketaan myös tässä artikkelissa esitettyjen tulosten osalta satoerojen syiden kartoittamiseksi.

Kirjallisuus

Evans, R.O., Gilliam, J.W., and Skaggs, R.W. (1989). Effect of agricultural water table management on drainage water quality. Raleigh, Water Resources Research Institute of the University of North Carolina, Report N:o 237, 87p.

Karvonen, T. (1992). Säätosalaajitus ja padotuskastelu. Salaajituksen tutkimusyhdistyksen tiedote. N:o 16 (1992): 5-8.

Peltonen-Sainio, P. 1990. Viljojen kehitysvaiheet ja niiden seuranta. Helsingin Yliopiston Kasvinviljelytieteen laitos. Julkaisuja N:o 23, 58p.

Åfors, M., Ohlander, L. & Stendahl, F. 1988. Stråsådens utveckling I. En litteraturstudie och beskrivning av en skala för bestämning av stråsådens axrespektive vippanlag. Sveriges Lantbruksuniversitet. Institutionen för växodlingslära. 75 p. Uppsala.

SJÖKULLAN KOEKENTÄN SALAOJIEN VALUNNAT

DI Antti Taskinen ja DI Harri Koivusalo
Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorio

Johdanto

Sjökullan koekentän perustaminen kesällä 1992 aloitettiin salaojapatojen rakentamisella. Patoja tehtiin kesän ja syksyn aikana kaiken kaikkiaan kuusi kappaletta. Virtaamamittaukset käynnistettiin kesäkuussa ja ensimmäiset näytteet virtaamien ravinnepitoisuuksista otettiin syksyllä.

Tässä artikkelissa esitellään salaojien virtaamien mittaamisessa käytettyä laitteistoa ja rakenteita sekä alustavia tuloksia mittauksista. Salaojavirtaamien tutkiminen on yksi osa projektista, jonka päätavoitteena on selvittää säätösalaajituksen vaikutukset peltojen ravinnehuuhtoutumiin ja satoihin. Tutkimuksen eri osa-alueista ja tavoitteista on kerrottu tarkemmin Laikarin ja Karvosen (1992) esityksessä.

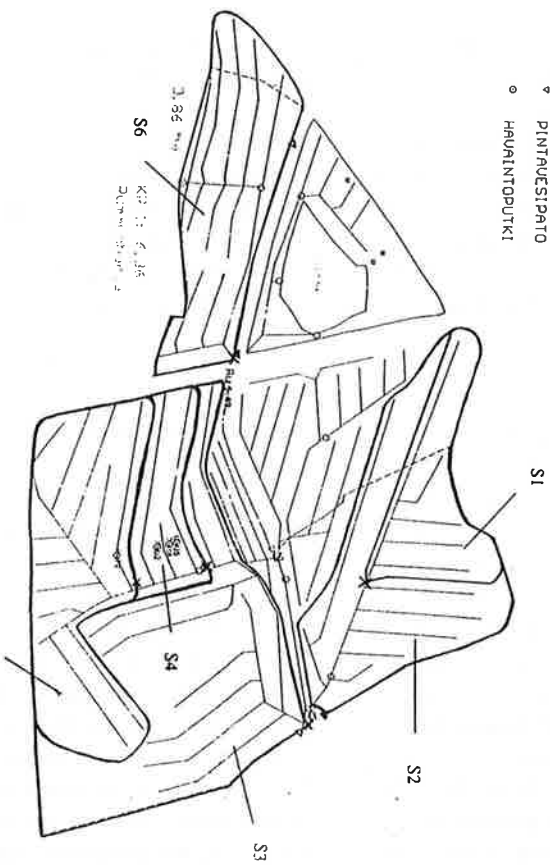
Tutkimuspaikka ja mittausten suorittaminen

Sjökullan koekenttä sijaitsee Teknillisen korkeakoulun kurssikeskuksen yhteydessä Kirkkonummella. Koekentän eri lohkot ja niillä olevat salaojaverkostot sekä mittapadot ja säätelykaivot esitetään kuvassa 1. Kurssikeskuksen pellot ovat normaalissa viljelykäytössä. Lohkot S1-S5 käsittävällä pellolla on viljelty kevätkuonon ja lohko S6, jossa ei harjoiteta säätösalaajitusta, on ollut kesannolla.

Säätösalaajituksella tarkoitetaan salaojaverkoston padottamista salaojakaivon kohdalla. Kaivon läpi menevään kokoojaputkeen liitetään L-putki, joka mahdollistaa pohjaveden pinnan korkeuden nousun yläpuolisella peltolohkolla liitoskappaleen korkeuden verran. Kaivon 1 (kuva 1) padotuskorkeus oli 66 cm ja kaivon 2 padotuskorkeus oli 75 cm. Vuoden 1993 säätö aloitettiin kummassakin kaivossa kevätkylvön jälkeen 17.5. ja lopetettiin noin viikko ennen sadonkorjuuta 18.8. Syys- ja talvivaluntojen pienentämiseksi säätö aloitettiin uudelleen syyskynnön jälkeen 7.10. Sjökullan koekentällä säätösalaajituksen vaikutuksen alaisena on lohko S4, kun säätelykaivoa 1 padotetaan. Tarkasteltaessa säädön vaikutuksia on vertailulohkona käytetty S5:ä. Vastaavat lohkot säätelykaivon 2 tapauksessa ovat S2 ja S1.


Salaojapadot rakennettiin kaivamalla pelto ensin auki salaojaverkoston kokoojaputken kohdalta. Putkea poistettiin noin 1,5 metriä ja tilalle laitettiin valurautainen, v-aukkoinen pato. V-aukkojen kulmat olivat 30 tai 75 astetta. Padon ylä-

- o RAOTUSKALVO
- x SALOJAPATO
- v PINTAESIPATO
- o HUURINTOPUTKI



Pinta-ala	
S1	0,57 ha
S2	1,50
S3	3,36
S4	1,66
S5	1,29
S6	0,96

SS


SALAJAKESKUS

Kunta: KIRKKONUMMI
 Tila: SUOKULLAN KENTTA
 Osoite:

Tekn: SUOKULLAN KESKUS
 Puh: 043-20531

1.2000

Kuva 1. Sjökullan koekentän salaojaverkoston, salaojapadot ja säätelykaivot.

puolelle jätettiin pieni allas, johon voidaan padota salaojasta tulevaa vettä virtaamamittauksen suorittamiseksi.

Virtaaman mittaamisessa on käytetty kahta menetelmää. Ensimmäisessä menetelmässä mitataan paineanturilla virtaavan veden aiheuttamaa painetta, joka voidaan muuntaa virtaamaksi. Ultraäänianturilla puolestaan mitataan v-aukon kohdalla virtaavan veden pinnan korkeutta ultraäänien heijastuessa veden pinnasta takaisin. Valunta Q [l/s/ha] lasketaan seuraavalla kaavalla:

$$Q = k H^{2.5} / A$$

$k = 992$, kun padon v-aukon kulma on 75 astetta ja 373.2 , kun aukko on 30 astetta

H = pinnankorkeus padotusaltaassa [m]

A = salaojaverkoston valuma-alue [ha]

Paineanturin mittaustarkkuus on 0.25 % ja se on jonkin verran luotettavampi kuin ultraäänianturi, mutta sitä ei voida käyttää pakkasella. Myös ultraäänianturia (mittaustarkkuus 0.3 % anturin etäisyydestä veden pintaan) käytettäessä pakkasen aiheuttaa ongelmia; suojuksessa oleva vesi jäätyy eikä veden pinta pääse vaihtelevaan oikealla tavalla. Samoin suojukseen pääsevät roskat aiheuttavat häiriöitä. Pakkasan lisäksi satunnaiset jännitevaihtelut ja kalibroinnin tarkkuus vaikuttavat kummankin mittarin toimintaan.

Sadantaa Sjäokullassa mitataan kahdella keräävällä mittarilla ja yhdellä vaakamittarilla. Keräävä mittari on pitkävirtaisen suppilon muotoinen ja sadannan mittaus perustuu siihen kerääntyvän veden aiheuttaman hydrostaattisen paineen lisäyksen mittaamiseen paineanturilla. Keräävä mittari ei kestä veden jäätymistä ja siksi sen tuloksia pyritään käyttämään vain kesäkuukausien (touko-elo) sadannan laskennassa. Vaakamittari puolestaan mittaa keräysastian sataneen veden tai lumen painoa ja sitä voidaan käyttää myös talvisaikana.

Näytteet salaojien virtaamista piti alkuperäisten suunnitelmien mukaan ottaa automaattisten näytteidenottimien avulla. Kun virtausta esiintyy, ne pumpaavat salaojasta tulevasta vedestä näytteen säädetyin aikavälein näytteenottoastioihin, jotka noudetaan analysoimista varten laboratorioon. Automaattisten näytteidenottimien etu on, että ne ottavat näytteitä kaikkina vuorokauden aikoina säännöllisesti koko virtaustapahtuman ajalta. Näin saadaan luotettava kokonaiskäsitys aineiden kulkeutumisesta. Toistaiseksi näytteenottimet eivät kuitenkaan ole toimineet toivotulla tavalla ja näytteitä on jouduttu ottamaan myös käsin.

Niin mittausten tekeminen kuin mittaustietojen siirtäminenkin on pyritty tekemään mahdollisimman pitkälle automaattisesti. Tämä perustuu dataloggereiden käyttämiseen. Dataloggereihin ohjelmoidaan mittaushjelmat, jotka säätelevät automaattisten mittauslaitteiden toimintaa. Lisäksi ne keräävät mittaustiedot, jotka siirretään radioyhteyden avulla tietokoneelle. Tietokone on kytketty modee-

miihteyden kautta puhelinverkkoon, joka mahdollistaa tietojen siirtämisen muihin modeemilla varustettuihin tietokoneisiin. Hyvönen (1992) on esittänyt yksityiskohtaisemman kuvauksen tästä automaattisesta mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmästä.

Salaojavalunnan ja sadannan laskentaperiaatteet

Liitteessä 1 esitettävien päivittäisten keskimääräisten arvojen laskeminen suoritettiin 15 minuutin välein mitattujen arvojen perusteella. Salaojien valunthavainnoista laskettiin aritmeettinen keskiarvo. Jos havaintoja oli alle 50 % päivän maksimihavaintomäärästä (96), ei arvoa laskettu. Jos veden pinnan korkeus nousi yli 50 cm, pidettiin havaintoa epäluotettavana eikä sitä otettu laskelmiin mukaan. Lohkojen S2, S3 ja S4 (kuva 1) valunnoista vähennettiin yläpuolisten lohkojen valunnat, jotta niiden oman valuma-alueen valunnat saatiin laskettua. Lohkojen S1 ja S2 tapauksessa vähennettävien valuntojen havaintohetkessä oli aikaero, jonka johdosta interpoloitiin S2:n valunnan arvo lineaarisesti vastamaan S1:n valuntaa. Vastaavalla periaatteella laskettiin seuraavan kohdan kuvien piirtämisessä käytetyt tunnitaiset valunnat.

Keräävän sademittarin kumulatiivisista arvoista laskettiin ensin yhdeksän havainnon liukuva keskiarvo. Näistä keskiarvoista laskettiin sadanta p_i seuraavalla kaavalla:

$$p_i = (\text{uusi arvo} - \text{vanha arvo}) / 17.2$$

Alkuperäisen mittausaineiston arvoista otettiin mukaan ne, joille p_i :n arvo oli suurempi kuin 2.2. Tämä vastaa sadanta-arvoa 0.13 mm / 15 min. Päivittäinen sadanta P [mm / vrk] saatiin laskemalla vuorokauden p_i :t yhteen eli kaavalla ilmaistuna:

$$P = \sum p_i$$

Vaakamittarin keräämistä arvoista laskettiin päivittäinen sadanta vastaavalla periaatteella. Poikkeuksena p_i :t laskettiin seuraavalla kaavalla:

$$p_i = (\text{uusi arvo} - \text{vanha arvo}) / pr^2$$

$$r = 24 \text{ cm (astian säde)}$$

Tässä tapauksessa p_i :n piti olla suurempi 0.07 kg, joka vastaa sadantaa 0.39 mm / 15 min.

Mittaustulokset ja niiden tarkastelu

Liitteessä 1 esitetään keskimääräiset päivittäiset valunnat. Tuloksia tarkasteltaessa on huomattava, että kesällä 1993 ei lohkon S1 mittausanturi ollut kytketty. Yleisesti ottaen tulokset lienevät varsin luotettavia joitain talviaikaisia tuloksia lukuunottamatta.

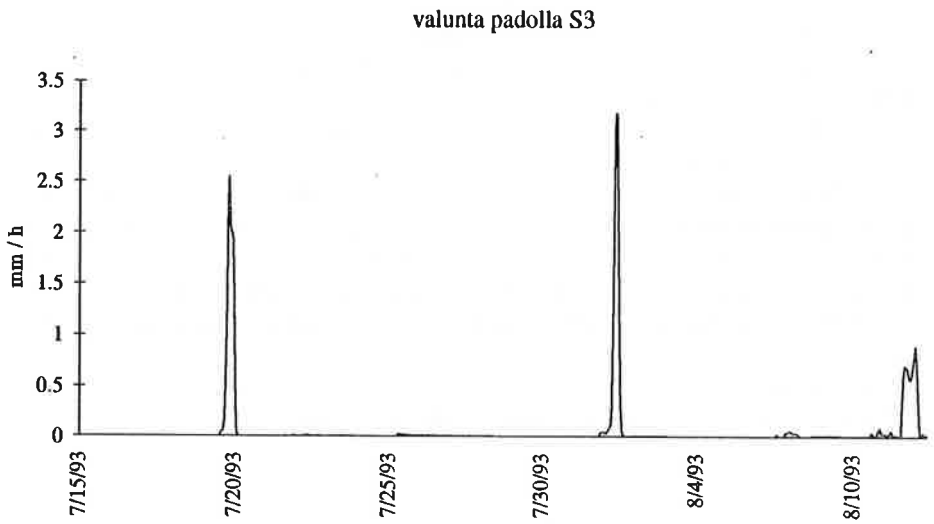
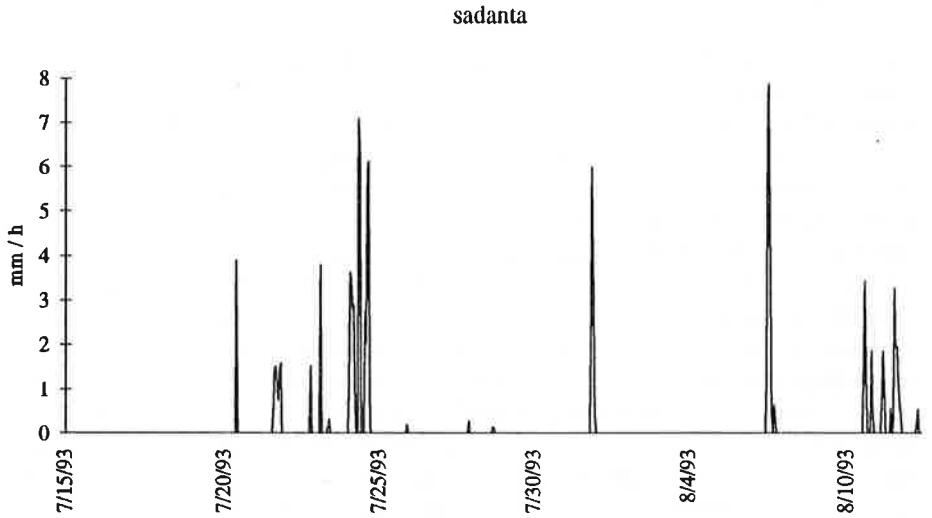
Kuvassa 2 a-d esitetään ajanjakson 15.7.- 12.8. 1993 keskimääräinen tunnittainen sadanta ja valunnat lohkoilla S3, S4 ja S5. Ajankohta sijoittui säättöjituksen loppuvaiheeseen, sillä padotus poistettiin 18.8. Kuvassa 3 a-d esitetään puolestaan vastaavat arvot lokakuussa 1993, jonka seitsemäntenä päivänä talvikauden padotus alkoi. Sadannat ja valunnat on laskettu samassa yksikössä (mm / h), jotta salaojavalunnan osuutta sadannasta voitaisiin tarkastella. Tarkastelussa on kuitenkin huomattava, että valuntojen skaalaukset ovat erilaisia. Vuoden 1993 sadannat esitetään kokonaisuudessaan tämän tiedotteen artikkelissa Pintavalunnan mittaustuloksia Sjöckullan koekentällä (Koivusalo 1994).

Kuvista huomataan, että heinä-elokuussa salaojien valunnat olivat lyhytkestoisempia kuin lokakuussa. Valuntapiikit seurasivat heinäkuun puolella sadantoja muutaman päivän viipeellä, etenkin mittapadoilla S4 ja S5, ja elokuun puolella nopeammin. Lokakuussa puolestaan valunta tapahtui sadannan jälkeen pitemmän ajan kuluessa. Lohkolla S3 valunta oli selvästi suurinta. Tämä johtui ilmeisesti siitä, että kyseisellä lohkolla pintavalunnan osuus oli pienempi, koska sen pinnan kaltevuus on vähäinen. Lisäksi yläpuolisilta lohkoilta tullut pintavalunta saattoi imeytyä maahan ja virrata ulos salaojien kautta. Lokakuussa S3:n valunta oli kuitenkin epäilyttävän suurta sadantaan verrattuna.

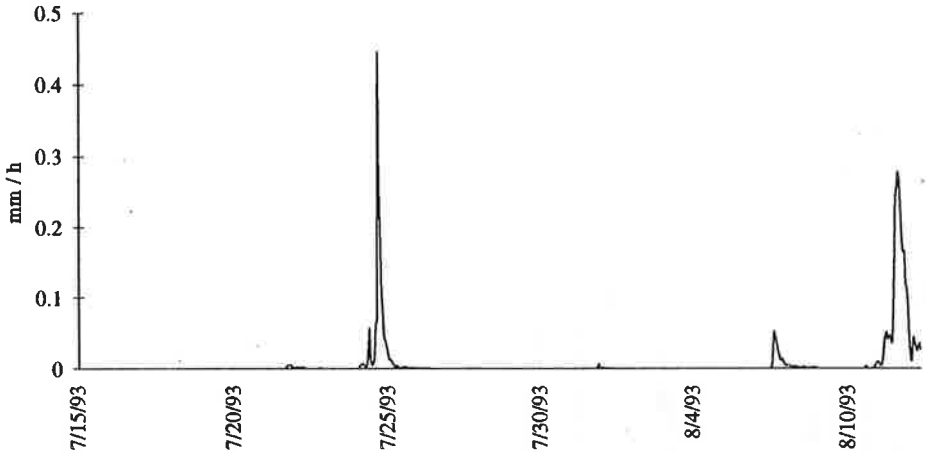
Padotuksen vaikutuksia arvioitaessa verrattiin lohkojen S4 ja S5 valuntoja. Heinä- ja elokuun aikana valunnat tapahtuivat samanaikaisesti ja säädetyn lohkon S4 valunnat olivat selvästi suurempia kuin vertailulohkon S5. Lokakuussa S5:n valunta tapahtui suurimmalta osalta viiden päivän aikana (11.-16.10), kun taas S4:n valunta jatkui tasaisempana kuukauden loppuun saakka. Molemmille ajankohdille on yhteistä se, että säädellyn lohkon S4 valunnat olivat moninkertaisesti suurempia kuin lohkon S5. Pohjaveden pinnan on täytynyt olla alueella S4 niin korkealla, että padotuksesta huolimatta valunta on ollut voimakasta. Lohko S5 on ylempänä kuin S4 eikä pohjaveden pinta vaikuta siellä niin selvästi salaojien valuntoihin. Näin ollen säättöjituksen tutkiminen saatta olla hankalaa kyseisiä lohkoja vertaamalla.

Lohkoilla S4 ja S5 säätelystä saatuja tuloksia ei voitu verrata lohkojen S1 ja S2 tuloksiin, koska S1:ltä ei ollut riittävästi mittaustuloksia.

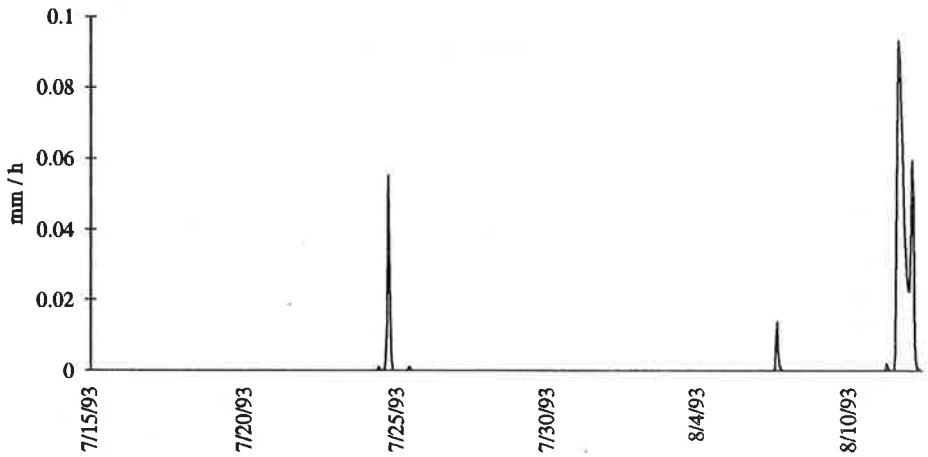
Kuva 2. Sadanta (a) ja salaojien valunnat lohkoilla S3 (b), S4 (c) ja S5 (d) heinä-elokuussa 1993.



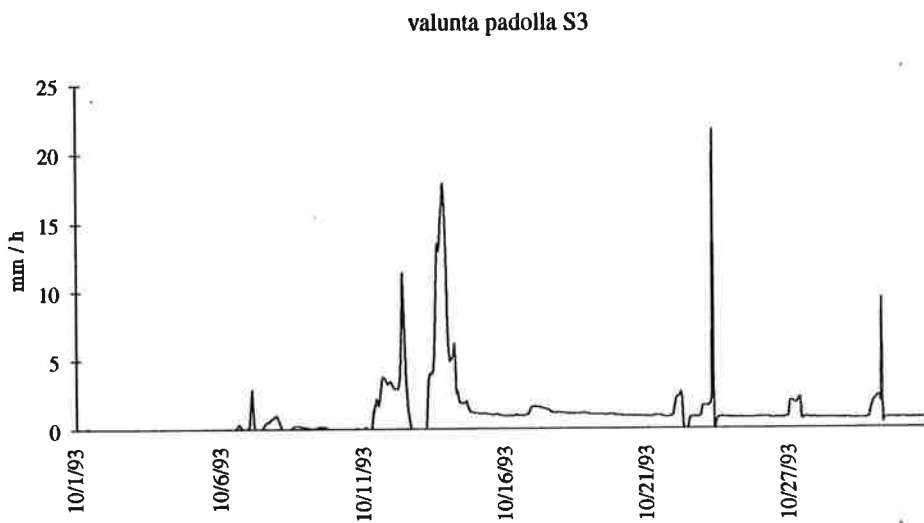
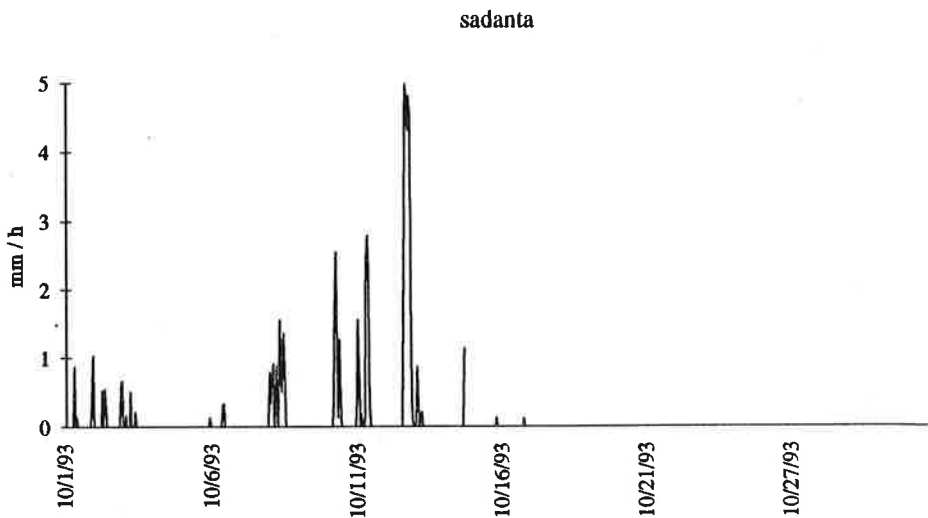
valunta padolla S4



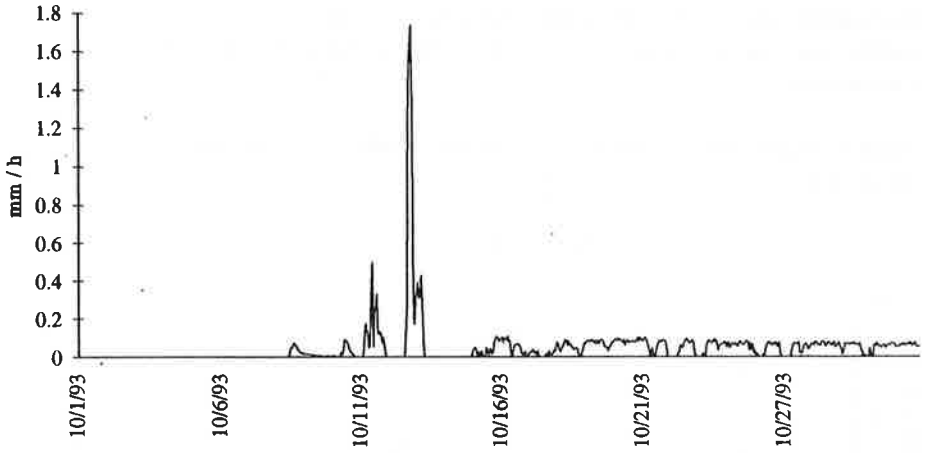
valunta padolla S5



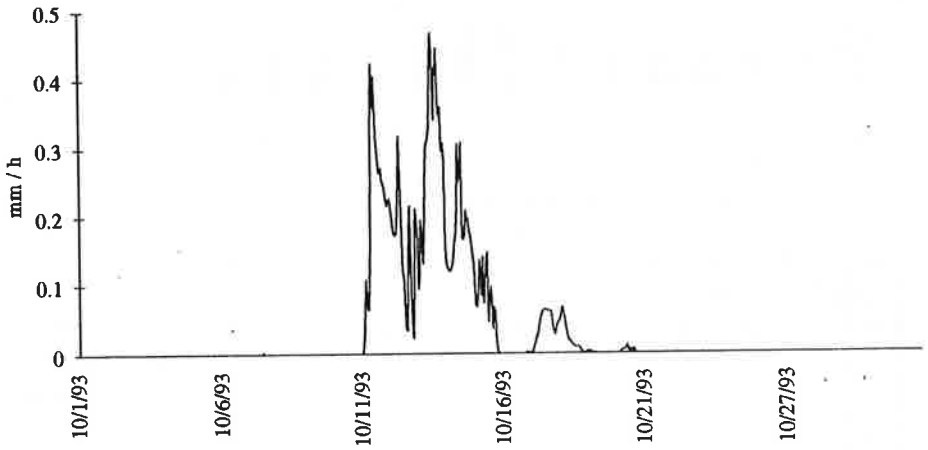
Kuva 3. Sadanta (a) ja salaojien valunnat lohkoilla S3 (b), S4 (c) ja S5 (d) lokakuussa 1993.



valunta padolla S4



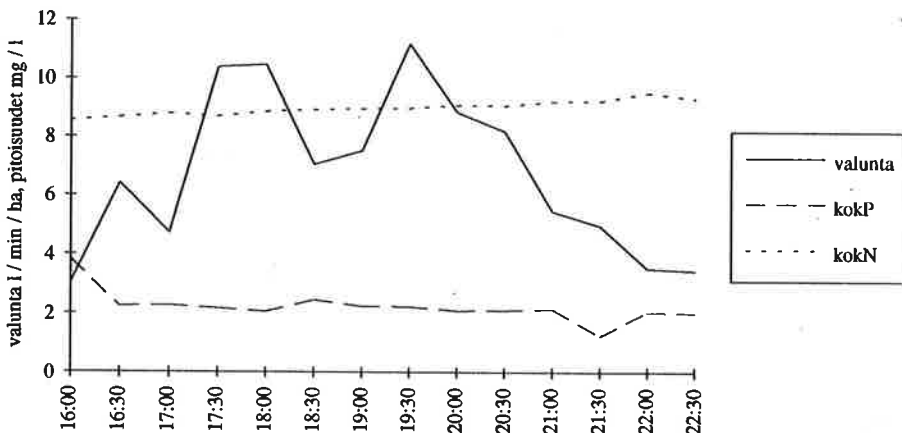
valunta padolla S5



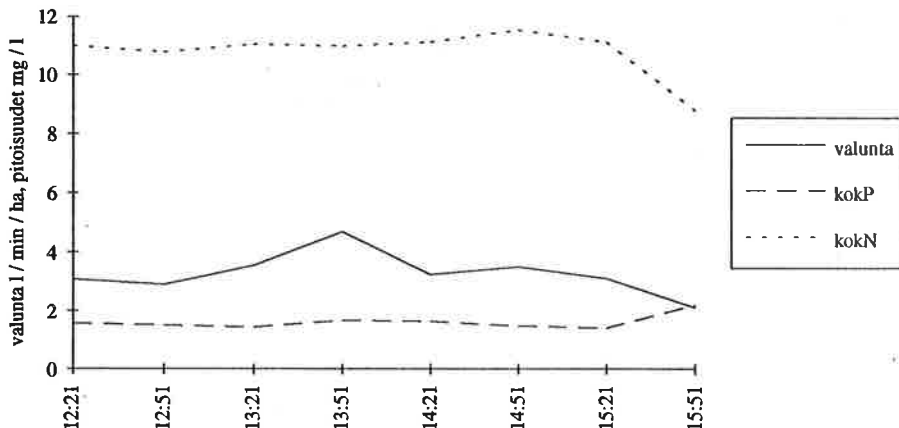
Kuvassa 4 a-c esitetään valuntoja sekä kokonaistypen ja -fosforin pitoisuuksia puolen tunnin välein mitattuna eräiden valuntajaksojen eri vaiheissa. Kuvista huomataan, että ravinteiden pitoisuudet pysyivät tasaisina tapahtumien aikana, vaikka valunta vaihtelikin. Näin ollen pitoisuuksien tiheä mittaaminen on tarpeetonta.

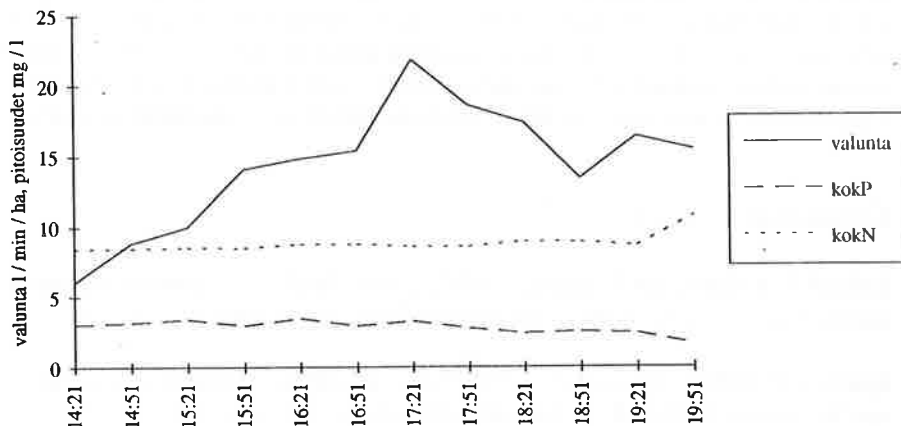
Kuva 4. Valunnan, kokonaisfosforin ja -typen mittaustuloksia lohkoilla S1 (a) ja S2 (b ja c).

S1, 11.8.1993



S2, 12.8.1993





Johtopäätökset ja kokemuksia tutkimuksesta

On korostettava, että esitetyt tulokset ovat alustavia eikä mittausten luotettavuuden ole tarkemmin puututtu. Selvästi virheellisiä arvoja poistettiin vain niissä tapauksissa, kun alkuperäisen mittauksen arvo ylitti tai alitti tietyn raja-arvon (ks. salaojavalunnan ja sadannan laskentaperiaatteet).

Pitkälle meneviä johtopäätöksiä säätösalojituksen vaikutuksista valuntoihin ei kannata tehdä, etenkin kun lohkoilta S1 ja S2 ei ollut tuloksia. Näyttää kuitenkin siltä, Sjökullan tapaisilla rinnepelloilla vertailulohkojen löytäminen säädetyille lohkoille on vaikeaa, kun rinnakkaisia salaojaverkostoja ei ole olemassa. Rinteen suunnassa peräkkäin sijaitsevilla lohkoilla pohjavesi on niin eri tasolla, että säätelyn vaikutusten erottuminen on epäselvää. Lohkolla S4 pohjaveden pinta on luonnostaan niin korkea, että padotuskorkeutta tulisi nostaa nykyisestä etenkin syksyllä ja talvella, jotta padotus toimisi tehokkaammin.

Salaojavaluntoihin aiheutuu virheitä mittalaitteiden ja laskentamenetelmien lisäksi myös muista syistä. Yksi mahdollinen virhelähde on pellon salaojakartta. Kuvassa 1 oleva kartta on vuosikymmeniä vanha suunnitelma, johon ei välttämättä ole korjattu myöhemmin tehtyjä muutoksia. Putkistojen kunnosta ei ole muuta tietoa, kuin mitä patojen rakentamisen yhteydessä havaittiin. Silloin patojen kohdilla olevat salaojat näyttivät toimivan moitteettomasti. Verkostojen epävarmuuden myötä myös lohkoille piirretyt valuma-alueet ovat suurpiirteisiä. Salaojien valunnoista otettavien näytteiden keräämiseksi tulisi automaattiset näytteenottimet saada luotettavasti toimiviksi. Muutoin kattavan kuvan saaminen

valuntatapahtumasta ja siitä aiheutuvasta ravinnehuuhtoutumasta onnistuu vain satunnaisesti. Ravinteiden pitoisuuksien tiheä havainnointi ei kuitenkaan näyttänyt tarpeelliselta, koska pitoisuudet kokonaisravinteiden osalla vaihtelivat vähän valunnan eri vaiheissa. Ravinteissa kannattaa keskittyä ilmeisesti kokonaisravinteisiin, sillä jos näytteet seisovat näytteenottimissa kauan ennen niiden toimittamista laboratorioon, tapahtuu niissä liukosiin ravinteisiin vaikuttavia muutoksia.

Kirjallisuusviitteet

Laikari E. & Karvonen T. (toim.). (1992). Säättösalaojitus - Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 16. 64s.

Hyvönen P. (1992). Säättösalaojitus tutkimuksen mittausta- ja tiedonkeruujärjestelmä. Teoksessa: Laikari E. & Karvonen T. (toim.). Säättösalaojitus - Koekenttien perustaminen. Helsinki. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 16. ss. 18-21.

Koivusalo H. (1994). Pintavalunnan mittaustuloksia Sjököllan koekentällä. Tässä teoksessa.

Liite 1: Salaojien keskimääräiset päivittäiset valunnat [l/s/ha] Sjököllan koekentän eri lohkoilla. Jos yli 50 %:a 15 minuutin välein mitatuista havainnoista on puuttunut, on valunnan paikalle merkitty *.

Liite 1

Lohkon S1 valunnat

	VI/92	VII/92	VIII/92	IX/92	X/92	XI/92	XII/92	V/93	VI/93	VII/93	VIII/93	IX/93	X/93	XI/93	XII/93
1	*	*	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	*	*	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	*	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	*	0.00	0.00	0.11	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	*	0.00	0.00	0.03	0.00	0.28	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58
8	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
9	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.04
10	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.28	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00
12	*	0.00	0.00	0.00	7.42	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
13	*	0.00	0.00	0.00	7.36	0.00	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.76	0.00	0.00
14	*	0.00	0.00	0.00	3.60	0.00	0.55	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.52	0.00	0.00
15	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
16	*	0.00	0.00	0.01	0.04	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
17	*	0.00	0.00	0.04	0.08	0.27	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.56	0.00	7.28
18	*	0.00	0.00	0.10	0.60	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	8.47
19	*	0.00	0.00	0.08	0.06	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	5.39
20	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	3.22
21	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
22	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.67
23	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.58	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	5.47
24	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	*	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00
25	*	0.00	0.15	0.00	0.00	0.54	0.00	0.00	*	*	0.01	0.00	0.00	*	0.00
26	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
27	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.29	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	*	0.00	0.03	0.02	0.02	0.27	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	*	0.00	0.00	0.03	0.00	0.54	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	*	0.00	0.00	0.04	0.00	0.29	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	4.34
31	*	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	*	0.00	0.00	*	0.00	*	6.82
summa	0.00	0.00	0.21	0.58	19.18	3.34	1.09	0.00	0.00	0.00	0.27	0.00	7.85	0.00	44.27

Lohkon S2 valunnat

	VI/92	VII/92	VIII/92	IX/92	X/92	XI/92	XII/92	V/93	VI/93	VII/93	VIII/93	IX/93	X/93	XI/93	XII/93
1	*	*	0.00	0.22	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	*	*	0.00	0.23	0.00	0.00	3.40	*	0.00	*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
3	*	*	0.00	0.08	0.00	1.00	4.48	0.00	0.00	*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
4	*	*	0.00	0.72	0.00	0.49	3.38	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	*	*	0.00	1.46	0.00	0.80	4.21	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
6	*	*	0.00	7.02	0.00	0.24	2.10	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	*	*	0.00	0.10	0.00	1.31	1.57	*	0.00	0.00	0.01	0.06	0.00	0.00	0.01
8	*	*	0.00	0.03	0.00	0.14	0.77	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.02	0.00	0.02
9	*	*	0.00	0.02	0.00	0.03	0.18	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.03	0.00	0.00
10	*	*	0.00	0.01	0.00	0.01	0.41	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.20	0.00	0.00
11	*	*	0.00	0.00	0.01	0.56	1.32	0.00	0.00	0.00	0.24	0.00	0.52	0.00	0.00
12	*	*	0.00	0.00	0.00	0.55	1.14	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.30	0.00	0.00
13	*	*	0.00	0.00	0.00	0.85	0.51	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	2.11	0.00	0.00
14	*	*	0.00	0.00	1.03	0.97	0.52	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.11	0.00	0.00
15	*	0.00	0.00	0.01	3.11	0.22	0.84	0.00	0.16	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00
16	*	0.00	0.00	0.01	10.51	0.00	0.57	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.01	0.00	0.00
17	*	0.00	0.00	2.20	10.84	0.00	0.32	0.00	0.00	0.00	0.09	0.00	0.01	0.00	0.00
18	*	0.00	0.00	0.48	0.75	0.16	0.18	0.00	0.00	0.00	0.12	0.00	0.01	0.00	*
19	*	0.00	0.01	0.17	0.26	0.57	0.22	0.00	0.00	0.00	0.48	0.00	0.01	0.00	0.05
20	*	0.00	0.00	0.05	2.65	0.65	0.25	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00	0.17
21	*	0.00	0.00	0.01	0.15	0.17	0.05	0.00	0.00	0.00	0.14	0.00	0.00	0.00	0.01
22	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.01
23	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.56	0.00	0.00	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	0.00	0.00
24	*	0.00	0.09	0.01	0.01	0.67	0.00	0.00	*	0.01	2.19	0.00	0.00	0.00	0.00
25	*	0.00	0.13	0.00	1.62	0.17	0.00	0.00	*	0.31	0.51	0.00	0.00	*	0.00
26	*	0.00	0.00	0.00	4.50	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00
27	*	0.00	0.06	0.01	2.66	0.00	*	0.00	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
28	*	0.00	0.64	0.01	2.14	0.00	*	0.00	*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
29	*	0.00	0.17	0.00	0.00	0.86	0.00	0.00	*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00
30	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.70	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	*	0.00	0.00	*	0.00	*	0.17	0.00	*	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00
summa	0.00	0.00	1.10	12.89	40.25	11.67	26.60	0.03	0.16	0.33	4.74	0.14	3.35	0.00	0.35

Lohkon S3 valunnat

	VI/92	VII/92	VIII/92	IX/92	X/92	XI/92	XII/92	V/93	VI/93	VII/93	VIII/93	IX/93	X/93	XI/93	XII/93
1	*	*	0.00	0.11	0.01	0.00	0.00	*	0.00	*	0.04	0.00	0.03	1.18	0.00
2	*	*	0.00	0.10	0.00	0.00	0.96	*	0.00	*	0.97	0.00	0.00	1.18	0.00
3	*	*	0.00	0.08	0.00	0.00	0.50	0.00	0.00	*	0.01	0.26	0.00	1.17	0.00
4	*	*	0.00	0.81	0.00	0.00	0.47	*	0.00	*	0.01	0.00	0.00	1.18	0.00
5	*	*	0.00	0.19	0.00	0.82	0.24	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	1.18	0.00
6	*	*	0.00	0.37	0.00	0.25	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.10	1.15	0.00
7	*	*	0.00	0.08	0.00	0.00	0.00	*	0.02	0.00	0.02	0.27	0.65	1.15	0.00
8	*	*	0.00	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	2.33	0.56	0.55	0.00
9	*	*	0.00	0.03	0.01	0.00	0.24	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.22	0.00	0.00
10	*	*	0.00	0.02	0.01	0.00	0.48	0.00	0.00	0.00	0.03	0.00	0.02	0.00	0.00
11	*	*	0.00	0.01	0.00	0.25	0.78	0.00	0.00	0.00	0.31	0.00	0.73	0.00	0.00
12	*	*	0.00	0.01	0.85	0.25	0.72	0.00	0.00	0.00	0.38	0.00	6.67	0.00	0.00
13	*	*	0.00	0.01	4.77	0.26	0.48	0.00	0.00	0.00	0.82	0.00	1.90	0.00	0.00
14	*	*	0.00	0.00	2.60	0.75	0.74	0.00	0.00	0.00	1.34	0.00	14.60	0.00	0.00
15	*	0.00	0.22	0.00	1.03	0.24	0.26	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	2.24	0.00	0.00
16	*	0.00	0.02	0.01	1.55	0.00	0.26	0.00	0.01	0.00	0.00	*	1.62	0.00	0.00
17	*	0.00	0.00	0.78	1.50	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.03	0.00	1.99	0.00	0.00
18	*	0.00	0.00	0.34	0.55	0.24	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.02	2.01	0.00	*
19	*	0.00	0.14	0.06	0.09	0.00	0.00	0.00	0.02	0.13	0.05	0.01	1.77	0.00	0.00
20	*	0.00	0.08	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.94	0.16	0.00	1.63	0.00	0.00
21	*	0.00	0.01	0.02	0.00	0.25	0.00	0.00	0.01	0.00	0.62	0.00	1.48	0.00	0.00
22	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.01	0.92	0.00	1.68	0.00	0.00
23	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.75	0.00	0.00	0.28	0.01	0.00	0.00	1.67	0.00	0.00
24	*	0.00	0.18	0.01	0.04	0.98	0.00	0.00	*	0.00	0.05	1.14	2.29	0.00	0.00
25	*	0.00	0.32	0.00	0.00	0.24	0.00	0.00	*	0.01	0.58	0.01	1.28	*	0.00
26	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.02	0.86	0.00	1.28	0.00	0.00
27	*	0.00	0.04	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.01	0.06	0.00	1.99	0.00	0.00
28	*	0.00	0.15	0.01	0.00	0.00	*	0.00	*	0.01	0.01	0.01	1.21	0.00	0.00
29	*	0.00	0.09	0.01	0.00	1.25	0.00	0.00	*	0.01	0.00	0.01	1.22	0.00	0.00
30	*	0.00	0.01	0.00	0.00	1.04	*	0.00	0.00	0.01	0.00	0.02	2.71	0.00	0.00
31	*	0.00	0.01	*	0.00	*	0.00	0.00	*	0.00	0.00	*	1.18	*	0.00
summa	0.00	0.00	1.31	3.14	13.04	7.56	6.12	0.01	0.39	1.16	7.30	4.09	54.72	8.75	0.00

Lohkon S5 valunnat

	VI/92	VII/92	VIII/92	IX/92	X/92	XI/92	XII/92	V/93	VI/93	VII/93	VIII/93	IX/93	X/93	XI/93	XII/93
1	*	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
2	*	*	0.00	0.01	0.00	0.00	0.10	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
3	*	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.13	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
4	*	*	0.00	0.07	0.00	0.00	0.22	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
5	*	0.00	0.00	0.19	0.00	*	0.30	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
6	*	0.00	0.00	0.04	0.00	*	0.42	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
7	*	0.00	0.00	0.02	0.00	*	0.36	*	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00
8	*	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.14	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
9	*	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
10	*	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
11	*	0.00	0.00	0.00	0.02	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.25	0.00	0.00
12	*	0.00	0.00	0.00	0.49	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04	0.00	0.47	0.00	0.00
13	*	0.00	0.00	0.00	1.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.38	0.00	0.00
14	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.57	0.00	0.00
15	*	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.33	0.00	0.00
16	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.07	0.00	0.00
17	*	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.01	0.00	0.00
18	*	0.00	0.00	0.34	0.04	0.00	18.96	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.11	0.00	0.00
19	*	0.00	0.03	0.09	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.02	0.00	0.00
20	*	0.00	0.10	0.00	0.00	0.00	13.79	0.00	0.00	0.00	*	0.04	0.00	0.00	0.00
21	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.95	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.01	0.00	0.00
22	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	46.88	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00
23	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	47.58	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00
24	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	27.04	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00
25	*	0.00	0.05	0.00	0.00	0.00	4.78	0.00	*	0.01	0.03	0.00	0.00	*	0.00
26	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	11.47	0.00	*	0.00	0.02	0.00	0.00	0.00	0.00
27	*	0.00	0.41	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
28	*	0.00	0.17	0.00	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
29	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	49.86	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
30	*	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	45.32	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
31	*	0.00	0.00	*	0.00	*	45.15	0.00	*	0.00	0.00	*	0.00	*	0.00
summa	0.00	0.00	0.82	0.82	1.56	0.00	359.45	0.00	0.00	0.01	0.14	0.15	2.22	0.00	0.00

Lohkon S6 valunnat

	VI/92	VII/92	VIII/92	IX/92	X/92	XI/92	XII/92	V/93	VI/93	VII/93	VIII/93	IX/93	X/93	XI/93	XII/93
1	*	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	*	0.02	0.01	*	0.01	0.00
2	*	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	*	0.08	0.01	*	0.01	0.00
3	*	*	*	*	*	*	0.01	0.02	0.00	*	0.00	0.01	*	0.01	0.00
4	*	*	*	*	*	*	0.01	*	0.00	*	0.00	*	*	0.01	0.00
5	*	*	*	*	*	*	0.01	0.01	0.00	*	0.00	*	*	0.01	0.00
6	*	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.01	0.00
7	*	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	*	0.00	0.01	0.00
8	*	*	*	*	*	*	0.84	0.01	0.00	0.00	0.00	*	*	0.00	0.00
9	*	*	*	*	*	*	0.17	0.00	0.00	0.00	0.00	*	*	0.00	0.00
10	*	*	*	*	*	*	0.12	0.00	0.00	0.00	0.00	*	*	0.00	0.00
11	*	*	*	*	*	0.00	0.32	0.00	0.00	8.14	0.00	*	*	0.00	0.00
12	*	*	*	*	*	*	0.16	0.00	0.00	58.87	0.07	*	*	0.00	0.00
13	*	*	*	*	*	*	0.10	0.00	0.00	33.05	0.02	*	*	0.00	0.00
14	*	*	*	*	*	*	0.13	0.00	0.00	6.52	0.04	*	*	0.00	0.00
15	*	*	*	*	*	*	0.18	0.00	0.00	7.25	0.00	*	*	0.00	0.00
16	*	*	*	*	*	*	0.30	0.00	0.00	6.68	0.05	*	*	0.00	0.00
17	*	*	*	*	*	*	0.38	0.00	0.00	3.36	0.03	*	*	0.00	0.00
18	*	*	*	*	*	*	0.20	0.00	0.00	3.84	0.00	*	*	0.00	0.00
19	*	*	*	*	*	*	0.14	0.00	0.00	5.28	0.02	*	*	0.00	0.00
20	*	*	*	*	*	*	0.18	0.00	0.00	5.87	0.15	*	*	0.00	0.00
21	*	*	*	*	*	*	0.11	0.00	0.00	0.00	0.01	*	0.06	0.00	0.00
22	*	*	*	*	*	*	0.09	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.05	0.00	0.00
23	*	*	*	*	*	0.01	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	*	0.04	0.00	0.00
24	*	*	*	*	*	*	0.06	0.00	*	0.02	0.00	*	0.03	0.00	0.00
25	*	*	*	*	*	*	0.03	0.00	*	0.09	0.00	*	0.02	*	0.00
26	*	*	*	*	*	*	0.03	0.00	*	0.03	0.00	*	0.02	0.00	0.00
27	*	*	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	0.05	*	0.02	0.00	0.00
28	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	*	0.00	0.03	*	0.02	0.00	0.00
29	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	*	0.00	0.02	*	0.01	0.00	0.00
30	*	*	*	*	*	0.00	*	0.00	0.00	0.00	0.02	*	0.01	0.00	0.00
31	*	*	*	*	*	*	0.02	0.00	*	0.00	0.01	*	0.01	*	0.00
summa	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	3.65	0.04	0.00	139.01	0.62	0.03	0.29	0.08	0.00

PINTAVALUNNAN MITTAUSTULOKSIA SJÖKULLAN KOEKENTÄLTÄ

DI Harri Koivusalo, Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio

Johdanto

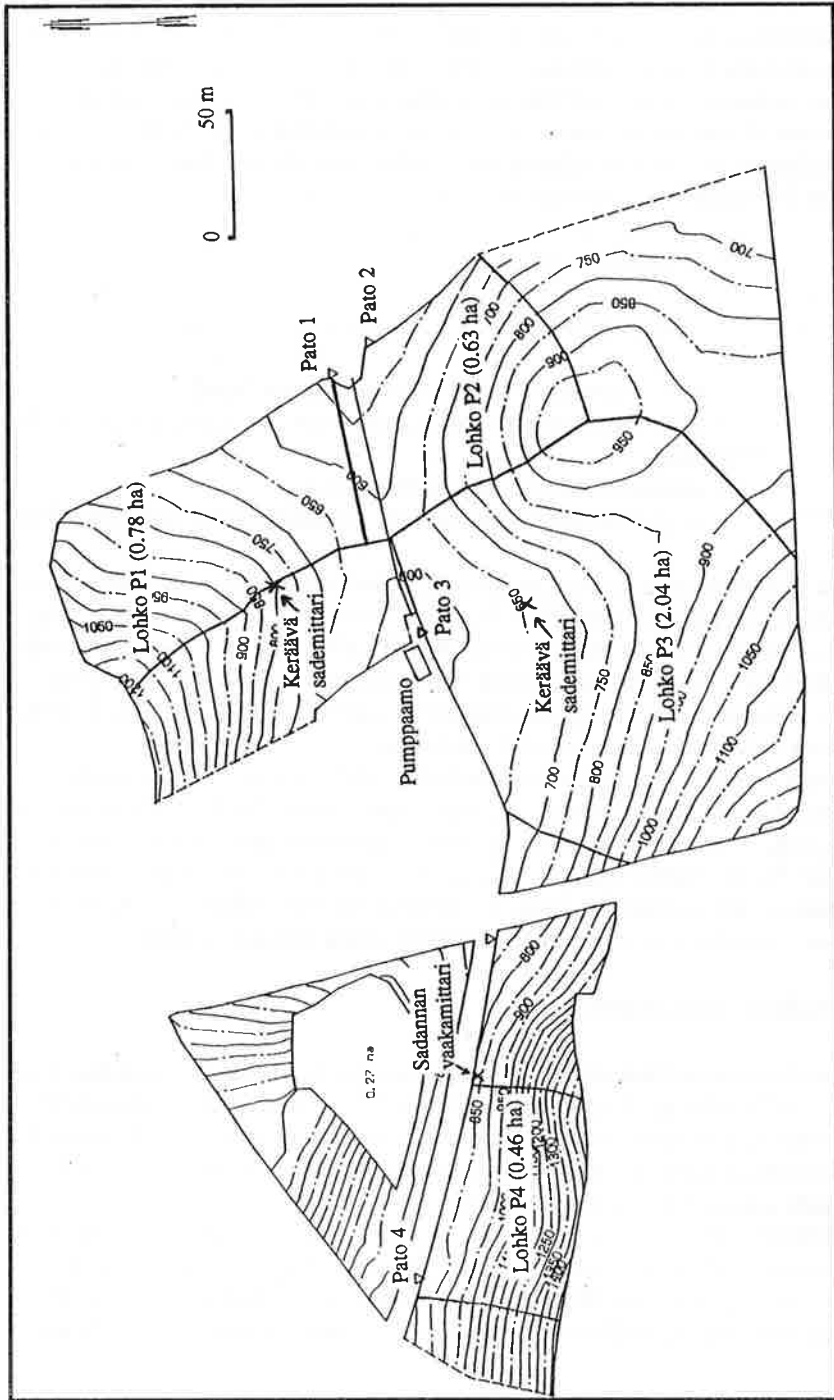
TKK:n vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorion koekentällä, Kirkkonummen Sjökillassa, on mitattu tiheästi rankkasateiden aiheuttamaa pintavaluntaa syksystä 1992. Lisäksi pintavaluntavesistä on otettu vesinäytteitä. Mittausten tavoitteena on selvittää viljapelloilta eri vuodenaikoina huuhtoutuvan valunnan määrä ja laatu. Koekentän mittausten perusteella etsitään sadannan ja pintavalunnan yhteyttä kuvaavia malleja. Vedenlaatutietojen perusteella voidaan kokeilla myös pintavalunnan mukana kulkeutuvan kiintoaineen ja ravinteiden mallintamista. Pintavalunta- ja eroosiotutkimukset liittyvät Sjökillan koekentän säättösalaajitusta koskeviin tutkimuksiin (Karvonen ja Laikari, 1992).

Pintavaluntamittausten kojärjestely

Pintavaluntaa mitataan koekentällä yhteensä neljällä loholla. Pintavedet kerätään lohkojen alavimpaan kohtaan, johon on rakennettu mittapato. Padot ovat v-aukkoisia teräslevyjä, jotka on upotettu maahan pellon reunaan siten, että peltolohkolta poisvaluvat pintavedet kulkevat padon v-aukon kautta. Vesien karkaaminen kunkin lohkon alaosan reunoilta on estetty pengertämällä reunat. Veden virtaama padolla saadaan mittaamalla ultraäänianturilla veden pinnankorkeutta padon edessä olevassa pienessä padotusaltaassa. Ultraäänianturin mittaus perustuu veden pintaa vasten kohtisuoraan lähetetyn ultraäänien heijastumiseen. Mittauksen tarkkuuteen vaikuttavat anturin oma mittaustarkkuus (noin 0,3 % anturin etäisyydestä vedenpintaan), kalibroinnin tarkkuus ja sähköisille mittauksille ominaiset pienet satunnaiset jännitevaihtelut. Lisäksi ultraäänimittausta häiritsevät vedenpinnan aaltoilu ja pintaroskat. Jos ultraääni heijastuu vedenpinnasta vinosti, anturi antaa mittaustuloksena ylivuotolukeman. Peltolohkolta valuvan veden virtaama mittapadolla saadaan pinnankorkeudesta kaavalla:

$$Q = 60 \cdot 992H^{2.5}/A \quad (1)$$

Q	= virtaama v-aukolla 75° [l/min/ha]
H	= pinnankorkeus padotusaltaassa [m]
A	= peltolohkon ala [ha]



Kuva 1. Peltolohkojen sijainti, korkeussuhteet ja mittapatojen ja sademittarien paikat Sjöskallan koekentällä.

Sadantaa mitataan keräävällä sademittarilla, joka mittaa pystysuoraan, yläpäästään kartionmuotoiseen putkeen sataneen veden aiheuttamaa hydrostaattisen paineen lisäystä. Lisäksi sadantaa mitataan vaakamittarilla, joka mittaa astiaan sataneen veden tai lumen painoa. Keräävän sademittarin mittaustarkkuus on noin 0.1 mm/15 min ja sadannan vaakamittarin noin 0.4 mm/15 min. Sähköiset jännitevaihtelut aiheuttavat virhettä myös sadantamittauksiin. Sadannat saadaan laskettua kumulatiivisista havaintoarvoista seuraavasti:

$$P_k = (x_i - x_{i-1}) / 17.2 \quad (2)$$

$$P_v = (y_i - y_{i-1}) / (\pi \cdot 0.24^2) \quad (3)$$

P_k	= sadanta keräävän sademittarin mukaan [mm]
x_i	= keräävän sademittarin kumulatiivinen sadantahavainto hetkellä i [mm]
P_v	= sadanta vaakamittarin mukaan [mm]
y_i	= vaakamittarin kumulatiivinen sadantahavainto hetkellä i [kg]

Kuvassa 1 on esitetty peltolohkojen sijainti ja korkeussuhteet, sekä mittapatojen ja sademittarien paikat. Peltolohkot P1, P2 ja P3 ovat normaalissa viljelykäytössä kirkkonummelaisella Åke Hellströmillä. Kesällä 1993 pellolla viljeltiin kevätvehnää. Peltolohko P4 oli kesantopeltona. Lohkoilla P1 ja P3 kokeillaan säätösala-ojitusta. Pintavalunnan mittapadot ovat olleet valmiina jo syksystä 1992. Talvella mittauksia kuitenkin häiritsi patojen jäätyminen.

Koekentän mittausjärjestelmän perusteena on ollut vaatimus reaaliaikaisuudesta ja automaattisesta toimivuudesta. Tämän mahdollistavat koekentälle asennetut dataloggerit, joiden käskyttäminä koekentän sähköiset mittaukset suoritetaan. Loggeriin liitetty radiomodeemi välittää mittaustulokset koekentän viereisen rakennuksen tietokoneeseen, jonka kovalevyille tulokset tallentuvat. Koekentän sähköiset mittaukset suoritetaan 15 minuutin välein (Hyvönen, 1992).

Pintavaluntatapahtumat

Sjökullan koekentän tähänastinen pintavalunta-aineisto käsittää mittauksia aina syksystä 1992 alkaen. Tässä on esitetty koko vuoden 1993 kuukausittaiset pintavalunnat. Talviajan, eli marras-huhtikuun mittaukset ovat kuitenkin suurilta osin virheellisiä. Luotettavan mittausaineiston käsittävät kesän ja syksyn rankasateiden aikana mitatut pintavalunnat.

Talvi 1992-93 oli leuto ja pintavaluntaa esiintyi tammi- ja helmikuussakin. Sulamiskausi ajoittui huhtikuulle, jonka jälkeen alkoi sateeton jakso. Rankasateita esiintyi vasta kesäkuussa, joista ensimmäiset eivät vielä aiheuttaneet pintavaluntaa, sillä satanut vesi imeytyi kuivaan, halkeilleeseen maahan koko-

naan. Elokuun alun jälkeen sateet jatkuivat syyskuulle lähes taukoamattomina, ja elokuusta muodostuikin sateinen kuukausi. Pohjavesi nousi paikoin maanpinnan tuntumaan, minkä seurauksena pienetkin sateet alkoivat aiheuttaa pintavaluntaa. Lokakuun alun syysmuokkauksen jälkeen lohkojen pintavaluntamäärät nousivat suuresti, koska pohjavedenpinta nousi samaan aikaan maanpintaan. Marraskuu oli kuiva kuukausi ja joulukuussa pakkaset alkoivat taas vaikeuttaa pintavaluntamittauksia.

Taulukoissa 1-4 on esitetty havaintoaineistosta lasketut keskimääräiset päivittäiset pintavalunnat eri peltolohkoilla vuonna 1993. Virheet talvi- ja kevätajan valunnoissa aiheutuivat patojen jääytymisestä pakkaskausina, jonka seurauksena pintavalunta virtasi mittapadoilla jäätä pitkin, eikä sen todellista määrää pystytty mittaamaan. Valuntojen sijasta merkityt tähdet osoittavat, että yli puolet vuorokauden havainnoista puuttuu, eli vuorokauden mittauksissa on ollut 12 tuntia pitempi tauko. Mittapatojen vedenpinnankorkeuden ylivuotomittaukset asetettiin nollaan huomioimalla mittaustuloksista vain havainnot välillä 0-500 mm.

Taulukko 1. Vuoden 1993 päivittäiset pintavalunnat peltolohkolla P1 [l/min/ha]. Tammi-huhtikuussa patojen jäätyminen on estänyt mittaamisen.

Pv	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0	*	0	*	0	*	0.30	0	0	0	0
2	0	0	0	0	*	0	*	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	*	0	0.04	0	0	0
4	0	0	0	0	*	0	*	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	19
6	0	0	*	0	*	0	0	0	0	0	0	27
7	0	0	0	0	*	0	0	0.68	0.85	0	0	17
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0.19	0	9.0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.02	0.09	0	0.70
10	0	0	0	0	0	0	0	0.76	0	0.99	0	60
11	0	0	0	0	0	0	0	2.5	0	6.9	0	2.5
12	0	0	0	0	0	0	0	0.80	0	1.0	0	12
13	0	0	0	0	0	0	0	1.1	0	130	0	0.54
14	*	0	0	0	0	0	0	0.40	0	0.17	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.04	0	0
16	*	0	*	*	0	0	0	0.35	*	0	0	0
17	0	*	0	*	0	0	0	1.5	0	0.17	0	0
18	0	0	0	*	0	0	0	2.2	0	0.04	0	*
19	0	0	0	*	0	0.13	0	3.9	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	1.9	0	0	0	74
21	*	0	0	0	0	0	0	1.7	0	0	0	7.0
22	0	0	0	0	0	*	0	1.1	0	0	0	0
23	0	*	0	0	0	0	0	6.3	0	0	0	4.1
24	0	*	0	0	0	*	0.10	26	0	0	0	0.61
25	0	*	0	0	0	*	0.02	2.5	0	0	*	30
26	0	*	0	0	0	*	0	0.03	0	0	0	45
27	0	*	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0.12
28	0	*	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0
29	0		0	0	0	*	0	0	0	0	0	0
30	0		0	*	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0		0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 2. Vuoden 1993 päivittäiset pintavalunnat peltolohkolla P2 [l/min/ha]. Osa tammikuun arvoista ja joulukuun arvot ovat selkeästi virheellisiä.

Pv	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0.62	*	8.0	*	0	*	0	0	0	0	0
2	0	0.39	0	21	*	0	*	0	0	0	0	0
3	0	0.85	0	18	0	0	*	0	0	0	0	0
4	0	5.8	0	6.7	*	0	*	0	0	0	0	0
5	0	6.6	0	0.24	0	0	*	0	0	0	0	16
6	0	6.1	*	4.2	*	0	0	0	0	0	0	46
7	0	5.0	0	1.1	*	0	0	0.08	0	0	0	25
8	0	6.8	0	0.82	0	0	0	0	0	0.01	0	25
9	0	6.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.72
10	0.11	0	0	0	0	0	0	0.07	0	1.9	0	54
11	12	0	0	0	0	0	0	0.16	0	24	0	64
12	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	4.9	0	34
13	0	0	0	0	0	0	0	0.03	0	140	0	26
14	*	0	0	0	0	0	0	0	0	1.2	0	25
15	15	0	0	0	0	0	0	0	0	0.23	0	36
16	*	0	*	*	0	0	0	0	*	0	0	49
17	100	*	0	*	0	0	0	0.01	0	1.5	0	80
18	180	0	0	*	0	0	0	0.03	0	0.69	0	*
19	0.06	0	0	*	0	0	0	0.08	0	0	0	78
20	0	0	0.37	0	0	0	0	0	0	0	0	120
21	*	0	2.3	0	0	0	0	0	0	0	0	120
22	107	0	13	0	0	*	0	0	0	0	0	120
23	12	*	2.7	0	0	0	0	0.39	0	0	0	110
24	0	*	5.6	0	0	*	0.48	6.4	0	0	0	120
25	0	*	16	0	0	*	1.0	0.05	0	0	*	120
26	0	*	0.60	0	0	*	0	0	0	0	0	120
27	0	*	0	0	0	*	0	0	0	0	0	96
28	0	*	0	0	0	*	0	0	0	0	0	54
29	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	0	120
30	0	0	0.01	*	0	0	0	0	0	0	0	120
31	0	0	3.1	0	0	0	0	0	0	0	0	120

Taulukko 3. Vuoden 1993 päivittäiset pintavalunnat peltolohkolla P3 [l/min/ha]. Tässä esiintyvät kevään, samoin kuin joulukuun suuret valunnat ovat virheellisiä johtuen mittapatojen jääytymisestä.

Pv	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0	0	1060	*	0	*	0	0	0	0	0
2	0	0.03	0	1280	*	0	*	0	0	0	0	0
3	0	0	0	1650	0	0	*	0	0	0	0	0
4	0	0.18	0	1500	*	0	*	0	0	0	0	0
5	0	0.13	0	1190	0	0	*	0	0	0	0	2.7
6	0	0	0	1110	*	0	0	0	0	0	0	1.2
7	0	19	0	980	*	0	0	0	0.26	23	0	4.6
8	0	0.76	0	1030	0	0	0	0	0.04	0	0	16
9	0	0.34	0	520	0	0	0	0	0	0	0	0.39
10	0	0	0	710	0	0	0	0	0	0	0	21
11	0	0	0	710	0	0	0	0	0	5.1	0	10

12	0	0	0	720	0	0	0	0	0	1.3	0	13
13	0	0	0	690	0	0	0	*	0	140	0	13
14	*	0	0	1750	0	0	0	*	0	0.99	0	2.2
15	0	0	0	2770	0	0	0	*	0	0	0	2.2
16	*	0	*	210	0	0	0	*	0	0	0	8.1
17	0	*	0	0	0	0	0	*	0	0.30	0	16
18	0	0	0	7.5	0	0	0	*	0	0.06	0	16
19	0	0	0	7.4	0	0	0	*	0	0	0	12
20	0	0	0	0.88	0	0	0	*	0	0	0	19
21	*	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0.96
22	0	0	0	1.4	0	*	0	*	0	0	0	0
23	0	*	990	3.0	0	0	0	*	0	0	0	0.71
24	0	*	1100	2.7	0	*	0	*	0	0	0	2.1
25	0	*	480	0.83	0	*	0.11	0	0.01	0	*	11
26	0	*	580	0.05	0	*	0	0	0	0	0	12
27	0	*	800	0	0	*	0	0	0	0	0	8.7
28	0	*	1000	0	0	*	0	0	0	0	0	0
29	0		150	0	0	*	0	0	0	0	0	0
30	1.6		92	*	0	0	0	0	0	0	0	0
31	46		1320		0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 4. Vuoden 1993 päivittäiset pintavalunnat peltolohkolla P4 [l/min/ha]. Huhti- ja joulukuun arvot ovat virheellisiä.

Pv	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0	0	0	*	0	*	0	0	*	0	0
2	0	0	0	0	*	0	*	0	0	*	0	0
3	0	0	0	0	2.2	0	*	0	0	*	0	0
4	0	0	0	0	*	0	*	0	*	*	0	0
5	0	0	0	0	0.01	0	*	0	*	*	0	1.6
6	0	0	0	0	*	0	0	0	*	0	0	12
7	0	0	0	0	*	0.04	0	3.4	*	0	0	14
8	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	0	15
9	0	0	0	0	0	0.34	0	0	*	*	0	8.6
10	0	0	0	0	0	0	0	0	*	*	0	16
11	0	0	0	0	0	0	0	1.9	*	*	0	99
12	0	0	0	0	0	0	0	3.2	*	*	0	96
13	0	0	0	0	0	0	0	0.02	*	*	0	94
14	*	0	0	4.5	0	0	0	4.7	*	*	0	14
15	0	0	0	1.0	0	0	0	18	*	*	0	1.2
16	*	0	*	14	0	0	0	0	*	*	0	0
17	0	*	0	63	0	0	0	0	*	*	0	0
18	0	0	0	150	0	0	0	0	*	*	0	0
19	0	0	0	110	0	0	0	0	*	*	0	57
20	0	0	0	17	0	0	0	5.2	*	*	0	12
21	0	0	0	0.66	0	0	0	49	*	0	0	0
22	0	0	0	92	0	*	0	29	0	0	0	0
23	0	*	0	58	0	0	0	13	*	0	0	0
24	0	*	0	75	0	*	0.16	160	*	0	0	0
25	0	*	0	*	0	*	14	24	*	0	*	0
26	0	*	0	14	0	*	0	21	*	0	0	0
27	0	*	0	39	0	*	0	7.1	*	0	0	0
28	0	*	0	190	0.04	*	0	4.5	*	0	0	0
29	0		0	53	0.02	*	0	9.6	*	0	0	0
30	0		0	*	0	0	0	0.37	*	0	0	0
31	0		0		0	0	0	0.49		0	0	0

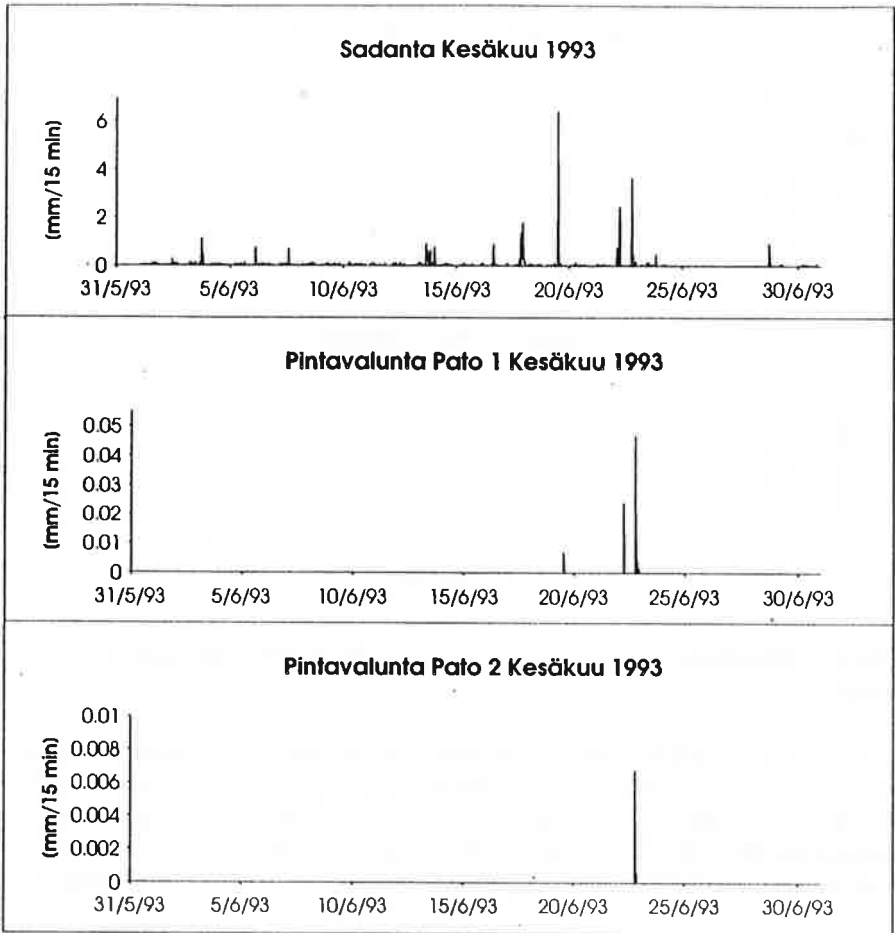
Taulukossa 5 on esitetty sademittarien perusteella laskettu kumulatiivinen sademäärä vuoden 1993 eri vuorokausina. Jännitevaihteluista aiheutuvan virheen ehkäisemiseksi kumulatiivinen sadanta on laskettu käyttäen yksittäisen sademittarihavainnon sijasta yhdeksästä havainnosta laskettua liukuvaa keskiarvoa. Lisäksi keskiarvojen perusteella laskettujen 15 minuutin sadantojen on edellytetty olevan suurempia kuin 0.13 mm/15 min keräävän sademittarin ja 0.39 mm/15 min sadannan vaakamittarin osalta. Taulukossa 6 on esitetty kuukausittaiset sadanta- ja pintavaluntamäärät. Kuukauden pintavalunta on laskettu keskimääräisten vuorokausivaluntojen mukaan.

Taulukko 5. Vuoden 1993 kumulatiiviset vuorokausisadannat [mm/vrk]. 1.5.-31.8. välisen ajan sadannat perustuvat keräävän sademittarin tuloksiin, muut vaakamittarin. Tähti merkitsee koko vuorokauden havaintojen puuttumista, jolloin sadanta kumuloituu seuraavaan vuorokauteen.

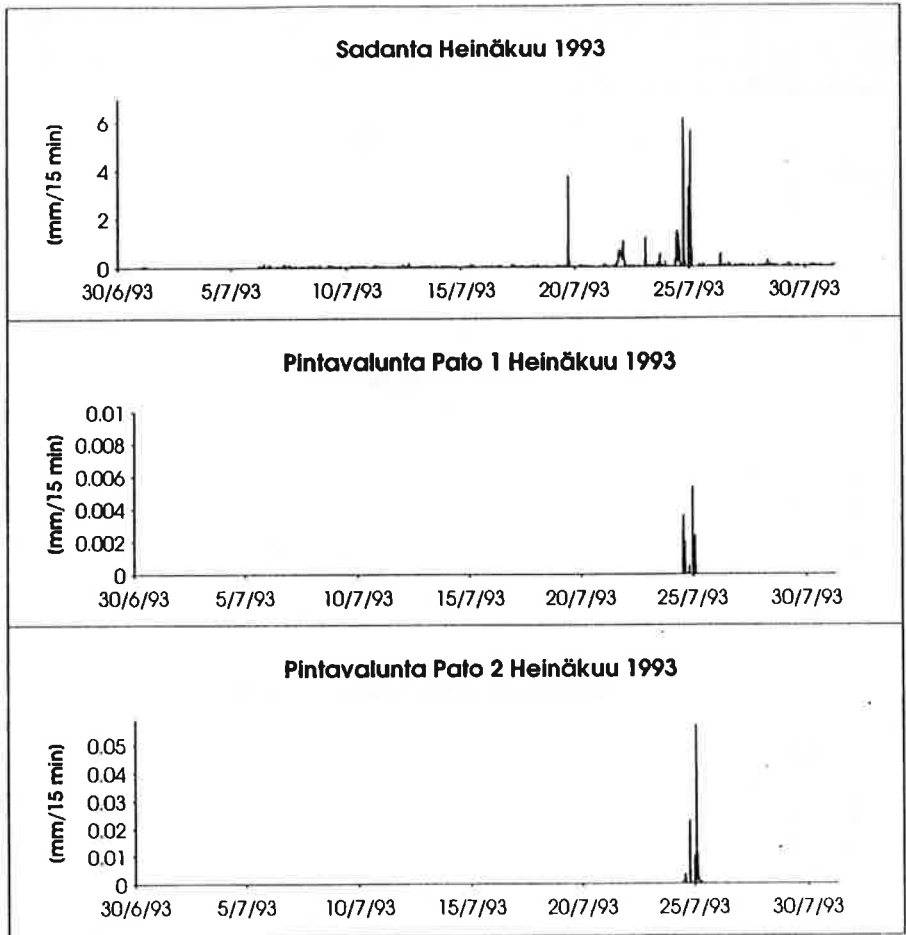
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1	0	0	0	0	*	0	0	13	0	0	0	0
2	0	0	0	0	*	0	*	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	3.1	*	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	*	0	0	0	0	4.8
5	0	0	0	0	2.9	0	0	0	0	0	0	5.0
6	0	0	0	0	0	1.9	0	0	1.7	0	0	0
7	0	0	0	0	0	1.0	0	20	3.0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	9.0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	8.7	0	2.8	0	0
11	8.0	0	8.5	0	0	0	0	13	0	22	0	0
12	5.4	0	1.3	0	0	0	0	0	0	*	0	0
13	5.0	0	0	0	0	9.8	0.95	6.7	0	17	0	0
14	1.8	0	0	0	0	2.0	0	0	0	*	0	0
15	2.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	9.8	0	0.5	0	0	2.2	0	3.8	0	0	0	0
17	0	*	0	0	0	9.3	0	5.3	0	*	0	0
18	0	0	0	0	0	0.46	0	4.9	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	14	6.6	4.8	0	0	0	2.7
20	0	0	0	0	0	0	0	3.9	0	0	0	0
21	7.5	0	0	0	0	0	5.5	1.3	0	0	0	0
22	6.7	0	0	3.4	0	21	11	0	0	0	0	0
23	0	*	10	0	0	0	5.8	14	2.5	0	0	0
24	0	*	0	0	0	1.5	28	20	1.4	0	0	0
25	0	*	0	0	0	*	14	3.1	0	0	*	0
26	0	*	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0
27	0	*	0	0	0	*	0	0	0	0	0	0
28	0	*	0	0	0	1.7	0	0	0	0	0	0
29	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Taulukko 6. Kumulatiivisen sadannan ja keskimääräisten valuntojen perusteella lasketun pintavalunnan kokonaismäärät eri kuukausina [mm/kk]. Talviajan valuntamäärät ovat virheellisiä.

	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
Sadanta	47	0	21	3.4	2.9	68	72	120	8.6	52	0	12
P1	0	0	0	0	0	0.02	0.02	7.8	0.16	20	0	45
P2	61	5.5	6.2	8.7	0	0	0.22	1.1	0	24	0	270
P3	6.9	2.9	940	2580	0	0	0.02	0	0.05	25	0	28
P4	0	0	0	130	0.32	0.06	2.1	5.1	0	0	0	63

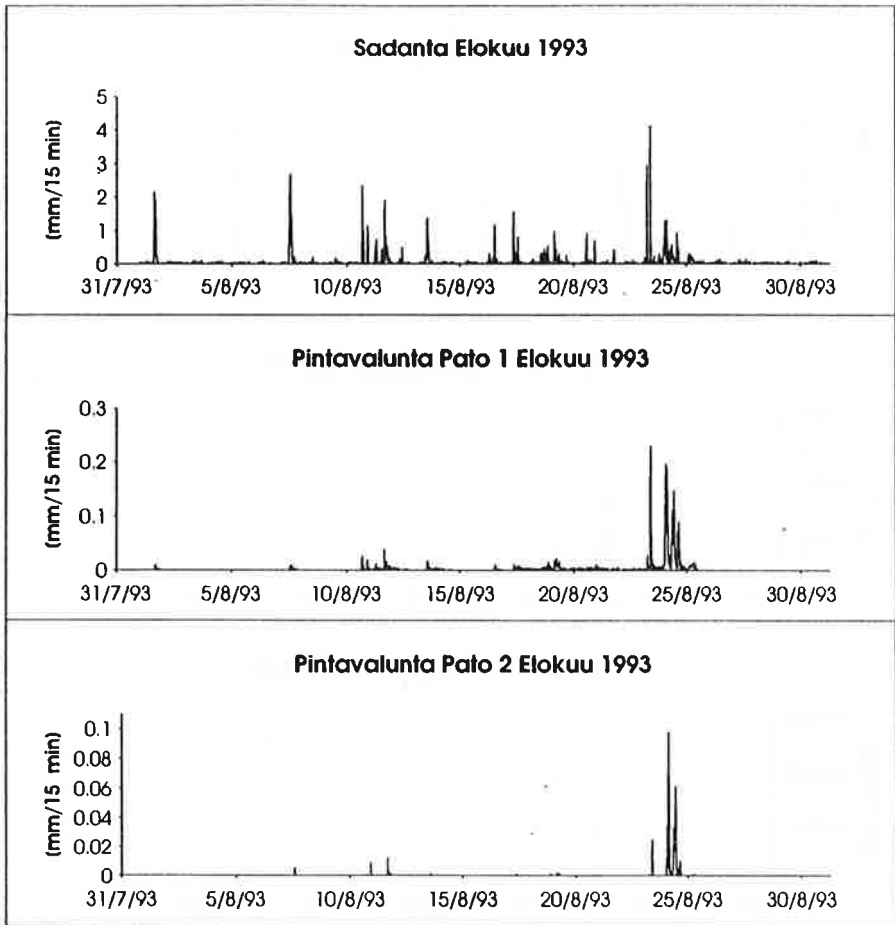


Kuva 2. Kesäkuun sadanta ja peltolohkojen P1 ja P2 pintavalunnat [mm/15 min]. Kuvan pienet sadannat aiheutuvat sähköisistä jännitevaihteluista. Lohko P1 on säätösalaajitettu ja lohko P2 normaalisti salaajitettu.



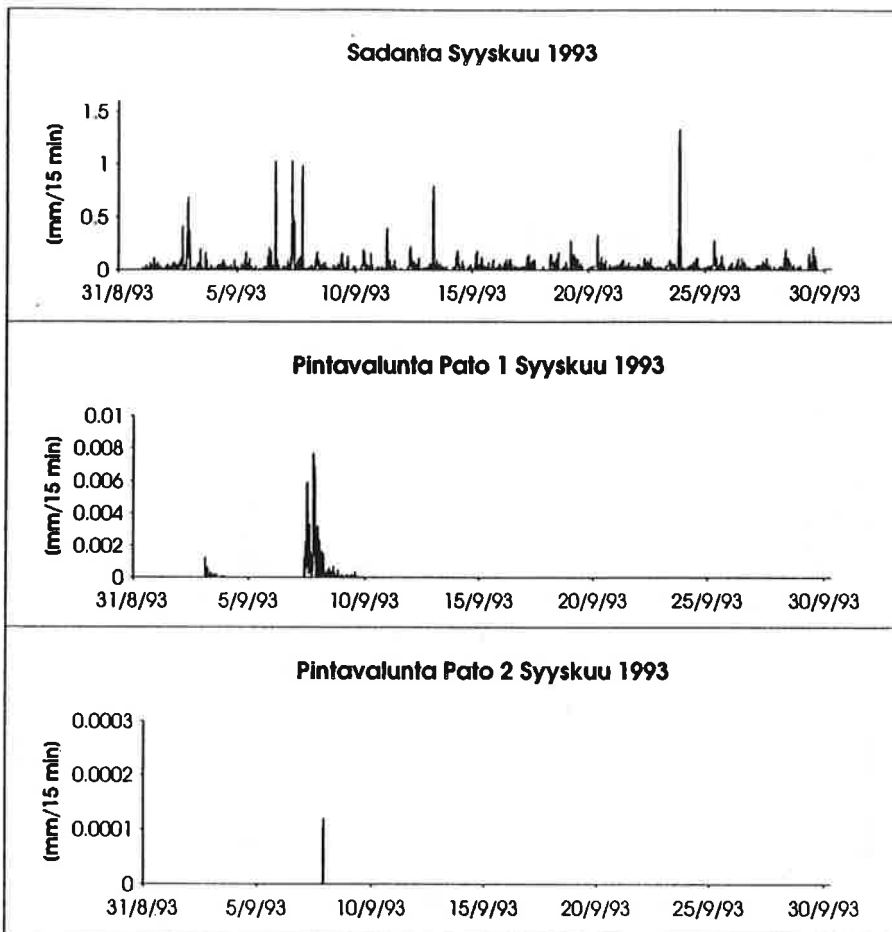
Kuva 3. Heinäkuun sadanta ja peltolohkojen P1 ja P2 pintavalunnat [mm/15 min].

Kuvissa 2-6 on esitetty keräävän sademittarin mittaamat 15 minuutin raakasaannat ja niistä aiheutuneet pintavalunnat peltolohkoilla P1 ja P2 vuoden 1993 kesäkuusta lokakuun puoliväliin. Lohkolla P1 säätosalojitus oli padottamassa pohjavettä 15.5.-18.8., jonka jälkeen sääto lopetettiin puinti- ja syystöiden ajaksi. Syksyllä sääto laitettiin uudelleen päälle 7.10. Lohko P2 ei ole säätosalojitettu.

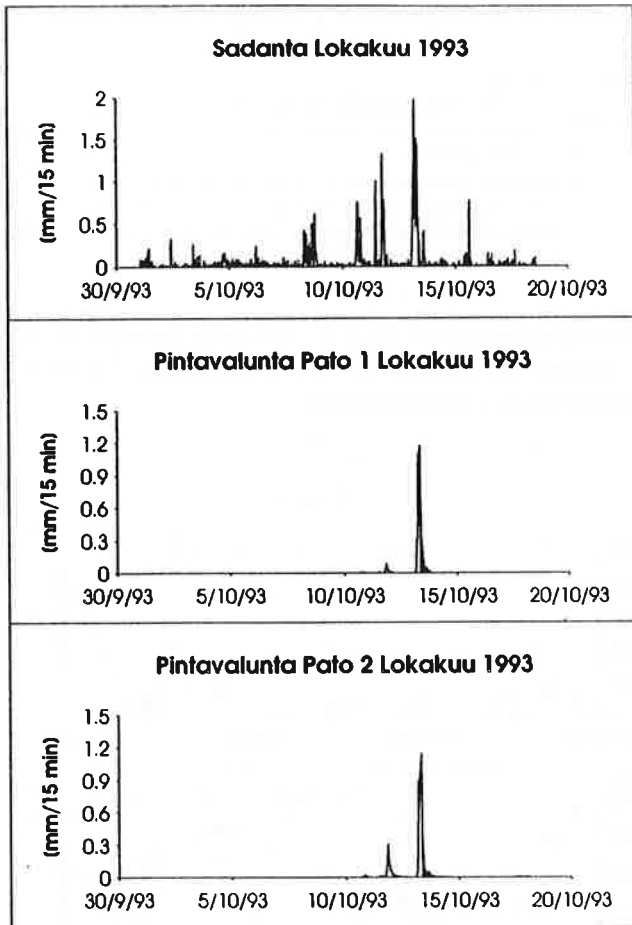


Kuva 4. Elokuun sadanta ja peltolohkojen P1 ja P2 pintavalunnat [mm/15 min]. Säättösalaajitus lohkolla P1 on otettu pois päältä 18.8.

Kuvissa 2-6 esitetyt sadantahavainnot on interpoloitu pintavalunnan mittaushetkiä vastaaviksi. Mittausten sähköistä jännitevaihtelua ei ole yritetty poistaa sadantasarjoista, minkä johdosta kuvissa näkyy sateettomien jaksojen kohdalla jännitevaihtelusta aiheutuvaa kohinaa. Lisäksi syksyn sadantahavainnoissa yöpakkaset aiheuttivat virhettä, joka näkyy sadannan säännöllisenä vaihteluna.



Kuva 5. Syyskuun sadanta ja peltolohkojen P1 ja P2 pintavalunnat [mm/15 min].



Kuva 6. Lokakuun alkupuoliskon sadanta ja peltolohkojen P1 ja P2 pintavalunnat [mm/15 min]. Säätösalaajitus loholla P1 on laitettu uudelleen päälle 7.10.

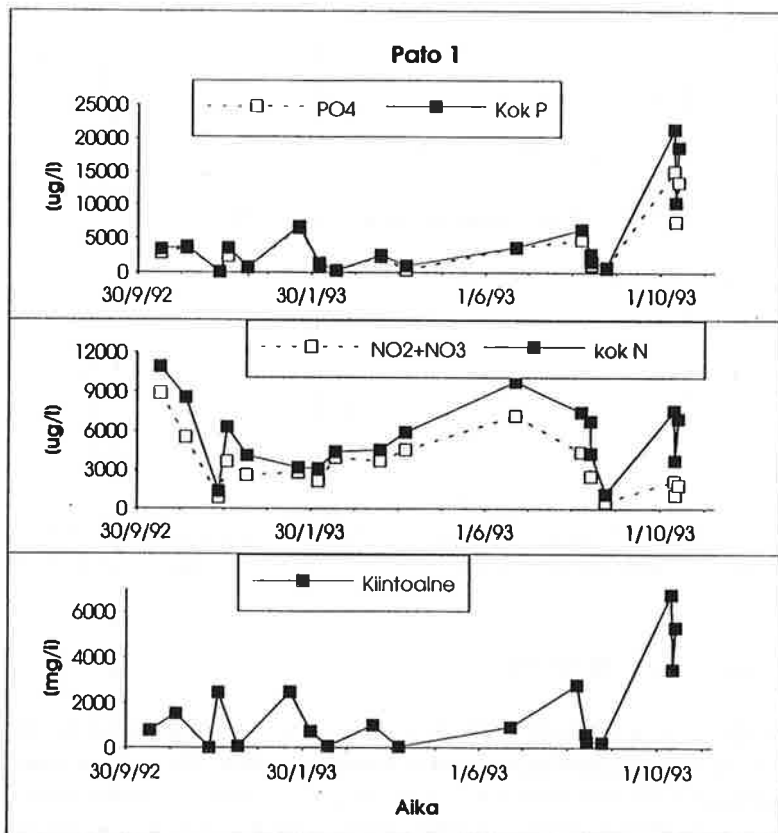
Pintavaluntavesien laatu

Koekentällä otettiin syksystä 1992 alkaen vesinäytteitä satunnaisesti 1-2 kertaa kuukaudessa, kun pintavaluntaa esiintyi. Kesällä vesinäytteitä oli tarkoitus ottaa automaattisten näytteenottimien avulla, mutta niiden huonon toimivuuden vuoksi suurin osa kesänkin näytteistä otettiin käsin. Alkukesän valuntatapahtumista saatiin vain vähän näytteitä, sillä kesällä rankkasateesta aiheutunut valunta kesti vain lyhyen ajan ja lisäksi osa valuntatapahtumista sattui viikonloppuna tai öiseen

Taulukko 7. Vesinäytteistä analysoitavat suuret ja analyysimenetelmät.

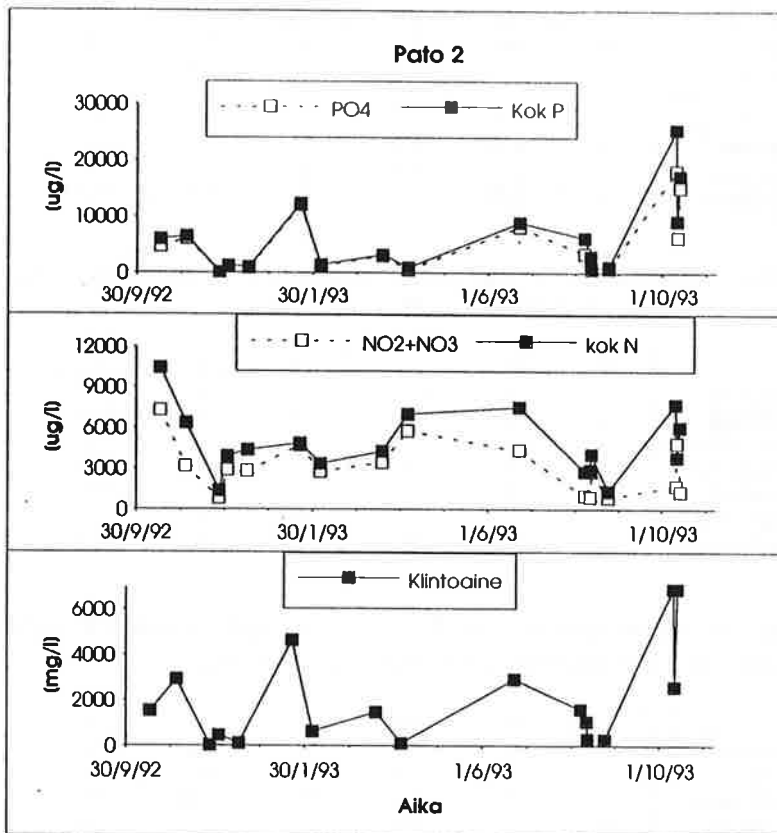
Analysoitava suure	Menetelmä
Kiintoaine	SFS 3037, 1976, Suodatinp. huokoskoko n. 1 µm
PO ₄	Tinakloridimenetelmä, suodattamattomasta näytteestä
Kok P	SFS 3026, 1986
NO ₂	Tecatorin ohjeen mukaan, suodattamattomasta näytteestä
NO ₂ +NO ₃	Sulfaniiliamidimenetelmä, suodattamattomasta näytteestä
NH ₄	Kadmiumpelkistys ja sulfaniiliamidimenetelmä, suodattamattomasta näytteestä
Kok N	Standardiehdotus INSTA-VH 27, 1975

aikaan. Vesinäytteet analysoitiin TKK:n Vesitalouden laboratoriossa. Analysoitavat suuret ja analyysimenetelmät on esitetty taulukossa 7. Liukoiset ravinteet analysoitiin suodattamattomista näytteistä.



Kuva 7. Lohkon P1 mittapadolta otettujen vesinäytteiden analysointituloksia.

Kuvissa 7 ja 8 on esitetty lohkojen P1 ja P2 mittapadoilta otettujen vesinäytteiden analysointituloksia liukoisten ravinteiden ja kokonaisravinteiden, sekä kiintoaineen osalta. Vesinäytteitä otettiin joidenkin rankkasadetauhattumien aikana useita peräkkäin. Kuvissa 7 ja 8 samana päivänä otettujen vesinäytteiden pitoisuuksista on esitetty pelkkä keskiarvo.



Kuva 8. Lohkon P2 mittapadolta otettujen vesinäytteiden analysointituloksia.

Taulukoissa 8-11 on esitetty arviot eri kuukausina peltolohkoilta huuhtoutuneista ravinne- ja kiintoainemääristä. Laskelmat perustuvat kuukausittaisiin keskipitoisuuksiin, jotka on laskettu painottamalla kuukauden jokaista pitoisuushavaintoa näytteenottohetken interpoloidulla virtaamalla, kun luotettava virtaamahavainto on ollut saatavilla vähintään 6 tunnin päässä näytteenottohetkestä. Jos kuukauden näytteenottohetkien virtaamia ei pystytty arvioimaan, käytettiin kuukauden keskipitoisuutena aritmeettista keskiarvoa. Pintavaluntanäytteet painottuvat

Taulukko 8. Virtaamalla painotettuihin kuukausittaisiin keskipitoisuuksiin ja keskimääräisiin vuorokausivaluntoihin perustuvat ravinteiden ja kiintoaineen valumat peltolohkolla P1. Lokakuun vesinäytteiden suuret kiintoainepitoisuudet häiritsivät liukoisten ravinteiden analysointia, jonka seurauksena esim. NO₂-valuma on saatu liian suureksi.

	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
NH ₄ [g/ha/kk]	0	0.06	0.06	10	0.20	13	0
NO ₂ [g/ha/kk]	0	0.22	0.21	50	1.0	1290	0
NO ₂ +NO ₃ [g/ha/kk]	0	1.3	1.3	110	2.2	710	0
Kok N [g/ha/kk]	0	1.8	1.8	190	3.9	1390	0
PO ₄ [g/ha/kk]	0	0.70	0.68	87	1.8	2730	0
Kok P [g/ha/kk]	0	0.67	0.65	120	2.3	3790	0
Kiintoa [kg/ha/kk]	0	0.18	0.18	39	0.79	1080	0

Taulukko 9. Ravinteiden ja kiintoaineen valumat peltolohkolla P2. Lokakuun liukoisten ravinteiden ainevalumiin sisältyy epävarmuutta.

	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
NH ₄ [g/ha/kk]	0	0	0.36	0.88	0	19	0
NO ₂ [g/ha/kk]	0	0	3.2	6.8	0	1840	0
NO ₂ +NO ₃ [g/ha/kk]	0	0	4.5	8.9	0	354	0
Kok N [g/ha/kk]	0	0	15	17	0	1480	0
PO ₄ [g/ha/kk]	0	0	32	12	0	3700	0
Kok P [g/ha/kk]	0	0	37	20	0	4220	0
Kiintoa [kg/ha/kk]	0	0	12	5.2	0	1680	0

Taulukko 10. Ravinteiden ja kiintoaineen valumat peltolohkolla P3. Lokakuun liukoisten ravinteiden ainevalumiin sisältyy epävarmuutta.

	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
NH ₄ [g/ha/kk]	0	0	0.04	0	0.07	15	0
NO ₂ [g/ha/kk]	0	0	0.24	0	0.51	1580	0
NO ₂ +NO ₃ [g/ha/kk]	0	0	0.56	0	0.58	560	0
Kok N [g/ha/kk]	0	0	1.2	0	1.3	1550	0
PO ₄ [g/ha/kk]	0	0	1.1	0	0.84	3190	0
Kok P [g/ha/kk]	0	0	1.1	0	0.99	3860	0
Kiintoa [kg/ha/kk]	0	0	0.37	0	0.35	1290	0

Taulukko 11. Ravinteiden ja kiintoaineen valumat kesantolohkolla P4.

	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
NH ₄ [g/ha/kk]	0.61	0.10	4.0	33	0	0	0
NO ₂ [g/ha/kk]	4.9	0.84	32	540	0	0	0
NO ₂ +NO ₃ [g/ha/kk]	29	5.0	190	2020	0	0	0
Kok N [g/ha/kk]	39	6.7	260	2630	0	0	0
PO ₄ [g/ha/kk]	18	3.0	110	1350	0	0	0
Kok P [g/ha/kk]	18	3.1	120	1600	0	0	0
Kiintoa [kg/ha/kk]	6.4	1.1	42	600	0	0	0

RAEKOON JAKAUMA

Näyte 2.12.92 pinta

Päiväys 8.12.92

Tilavuus 2.65 g/cm³ Neste

Tihveys 0.9951 g/cm³ Viskositeetti 0.7679 cp

vesi

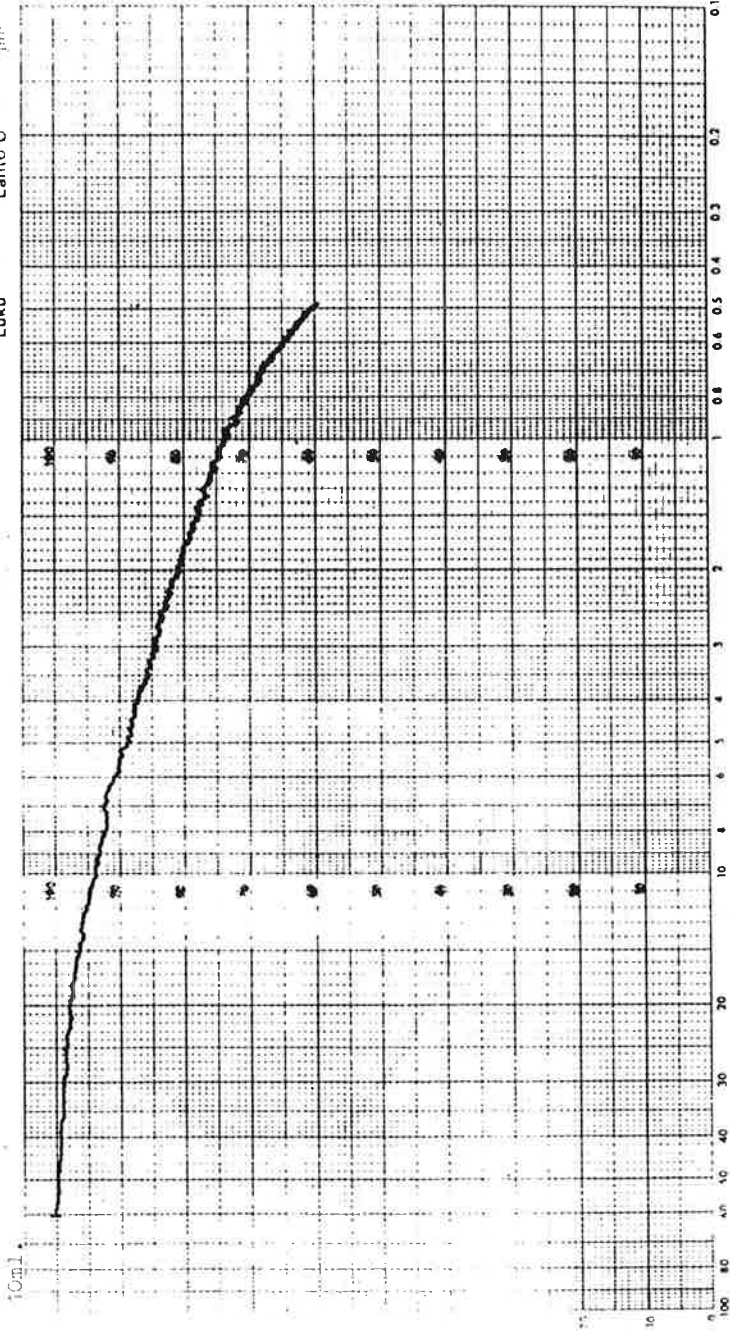
An. TTK

Yksiköt

Lämpötila 32 °C

raudutettu näyte 487 ml - 15 millilitraan, josta kyvettiin mahtuu

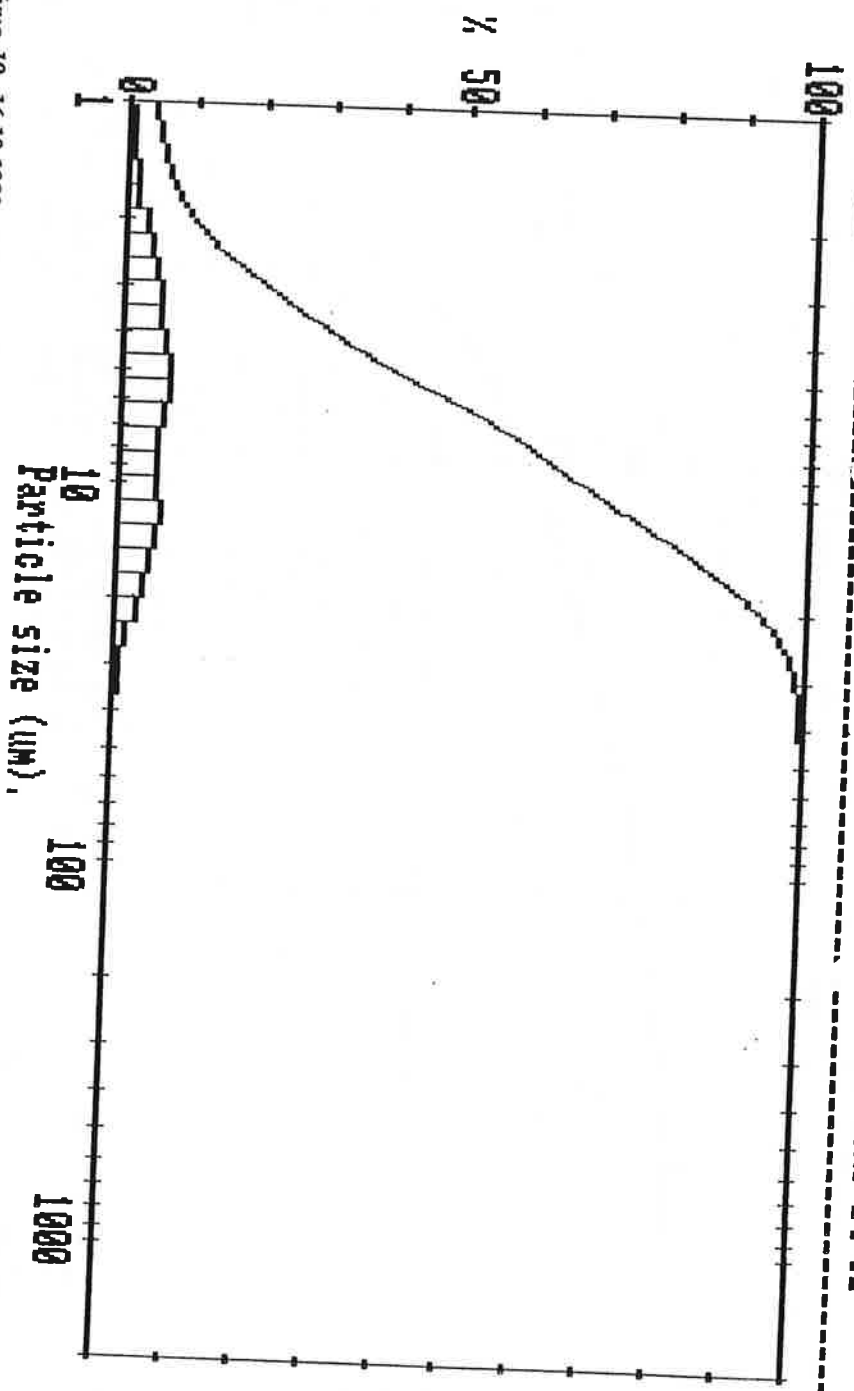
Luku 789 Lahto O 60 µm



Raako µm

Kuva 9. 16.10.1992 otetusta pintavaluuntäyteestä VTT:n Poltto- ja Lämpötekniikan laboratorion laser-menetelmällä määritetty kiintoaineen partikkelikokojakauma.

Malvern Instruments MASTER Particle Sizer M3.0 Date 03-12-92 Time 14-52



Kuva 10. 16.10.1992 otetusta pintavaluonaukseyteestä VTT:n Geologian Tutkimuskeskuksen sedigrafilia määritetty partikkeliko-kojakautana.

suurelta osin muutamaaan yksittäiseen näytteenottohetkeen, minkä johdosta ainevalumatuloksien oikeellisuuteen tulee suhtautua varauksin. Koska liukoiset ravinteet analysoitiin suodattamattomista näytteistä, suuret kiintoainepitoisuudet häiritsivät niiden analysointia. Tämän seurauksena osa lokakuun liukoisten ravinteiden valumista vaikuttaa virheellisiltä. Talviajan pintavaluntamittauksien virheellisyyden vuoksi joulukuuhuhtikuun ainevalumia ei laskettu ollenkaan. Syksyn 1992 yhdestä vesinäytteestä annettiin määritettäväksi kiintoaineen partikkelikokojakauma kahdella eri menetelmällä. Kuvassa 9 on esitetty VTT:n Poltto- ja Lämpötekniikan laboratorion laser-menetelmällä määrittämä kiintoaineen partikkelikokojakauma 16.10.1992 otetusta valuntanäytteestä. Kuvassa 10 on esitetty VTT:n Geologian Tutkimuskeskuksen sedigrafilla määrittämä partikkelikokojakauma samasta näytteestä.

Pintavalunnan mittaamisessa ja vesinäytteiden analysoinnissa esiintyneitä ongelmia

Koekentän tiedonsiirrossa oli ajoittain ongelmia, mistä aiheutui pahimmillaan usean päivän katkoksia mittauksiin. Tiedonsiirron katkokset aiheutuivat datalogereiden ja keskustietokoneen välisen radiomodeemyhteyden häiriöistä, ja virheistä keskustietokoneen tiedonkeruuhjelmassa, jota päivitettiin useaan otteeseen lisättäessä uusia mittalaitteita ja mittausasemia.

Talven ja kevään sulantajaksojen aikaisen pintavalunnan mittaaminen osoittautui vaikeaksi, sillä mittapadot jäätivät öiseen aikaan. Päivällä sulantavedet virtasivat padon yli jäätä myöten. Lisäksi ultraäänianturit kestivät huonosti pakkasta. Kaksi anturia kahdeksasta rikkoontui talven aikana.

Pintavaluntavesien kerääminen ei onnistunut jyrkällä peltolohkolla P4, missä kiintoaine kasaantui valunnan mukana lohkon alaosaan puhkaisten aika-ajoin tiensä reunapenkereiden läpi. Samoin pieniä vesimääriä pääsi karkaamaan mittapadoilla, sillä vesi pääsi ajoittain tunkeutumaan tiivistettyjen reunojen läpi.

Vesinäytteenoton suurin ongelma oli automaattisten näytteenottimien epäluotettava toimivuus. Näytteiden ottaminen käsin vaati sulannan ja sateiden esiintymisen jatkuvaa tarkkailemista ja valmiutta lähteä näytteenottoon työajan ulkopuolella.

Saviset vesinäytteet aiheuttivat ongelmia varsinkin liukoisten ravinteiden laboratorioanalyyseissä. Liukoiset ravinteet analysoitiin suodattamattomista vesinäytteistä, koska vesinäytteiden suodatus oli erittäin hidasta suodatinpaperien tukkeutumisen vuoksi. Näytteiden suuri määrä sateisina aikoina asetti laboratorion resurssit muutenkin koville.

Johtopäätökset

Alkukesällä 1993 vain hyvin pieni osa rankkasateista muodostui pintavalunnaksi. Tästä johtuen lasketut ravinne- ja kiintoainekulkeumat jäivät vähäisiksi. Elokuulla valuntamäärät kasvoivat jatkuvien sateiden aiheuttaman maankostumisen myötä. Samalla myös ainevalumat suurenivat. Syksyllä pintavalunnan osuus nousi suurimmillaan noin puoleen sadannan määrästä. Maanmuokkausta seurasi veden ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien kohoaminen. Yhteisvaikutuksena ainevalumat kasvoivat lokakuulla suuresti. Myös kevään sulanta-aikana esiintyi silmämääräisesti paljon pintavaluntaa, mutta kuten todettiin, sitä ei pystytty mittaamaan luotettavasti. Jyrkällä kesantolohkolla pintavalunnan määrä oli kesällä suhteellisesti suurempi kuin vähemmän kaltevilla lohkoilla. Syksyn pintavalunnasta kesantolohkolla havaittiin vain pieni osa tiedonsiirron katkosten johdosta. Säätosalaajituksella ei näyttänyt olevan selkeää vaikutusta pintavalunnan määrään mittapadoilla. Kesä- ja heinäkuulla pintavalunta oli niin vähäisiä, ettei lohkojen vertailu ole aiheellista. Elokuun alkupuolella säädellyllä lohkoilla esiintyi enemmän pintavaluntaa. Lokakuun suuret pintavaluntamäärät ovat kuitenkin vierekkäin sijaitsevilla säädellyllä ja säätelemättömällä lohkoilla suunnilleen samansuuruiset.

Tutkimustavoitteita

Sjökullan koekentän pintavalunnan mittausten tavoitteena on kattavan havainto-aineiston kerääminen eri vuodenaikojen pintavaluntavesien määrästä ja laadusta. Aineiston perusteella tehtävissä tutkimuksissa on tarkoituksena kokeilla sadannan ja pintavalunnan yhteyttä kuvaavia malleja. Vedenlaatuaineisto antaa mahdollisuuden myös hajakuormitusmallien kokeilemiseen.

Sjökullan koekentän ensimmäiset tutkimustulokset koskevat kesän rankkasateiden aiheuttamaa pintavaluntaa ja eroosiota. Rankkasateiden ja pintavalunnan yhteyttä yritettiin ennustaa empiiristen siirtofunktiomallien ja veden liikettä kuvaavan fysikaalisen differentiaaliyhtälön avulla. Kulkeutuneen kiintoaineen määrää ennustettiin valuntaveden määrän ja kiintoainekonsentraation välille estimoidun riippuvuuden perusteella (Koivusalo, 1993).

Pintavalunnan osalta tutkimuksissa keskitytään seuraavaksi syyskynnön jälkeisten sateiden aiheuttamaan pintavaluntaan ja kiintoainekulkeumiin. Keväällä 1994 tarkoituksena on kokeilla patojen sähköistä lämmittämistä siten, että sulantavesien määrä pystyttäisiin mittaamaan luotettavasti.

Kirjallisuutta

Hyvönen, P. 1992. Säättosalaojitustutkimuksen mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmä. Julkaisussa: Karvonen, T. & Laikari, E. 1992. Säättosalaojitus, koekenttien perustaminen. Salaojituksen Tutkimusyhdistys ry:n Tiedote N:o 16. S.18-21.

Karvonen, T. & Laikari, E. 1992. Säättosalaojitus, koekenttien perustaminen. Salaojituksen Tutkimusyhdistys ry:n Tiedote N:o 16. S.22-40.

Koivusalo, H. 1993. Peltoalueen pintavalunta ja eroosio. Diplomityö, Teknillinen Korkeakoulu, Rakennus- ja Maanmittaustekniikan osasto. 84 s.

POHJAVEDEN LAADUN JA SYVYYDEN VAIHTELU PELTOALUEILLA

Tekn. lis. Maija Paasonen-Kivekäs, DI Petri Kylmä, mmyo Noor Sepahi ja
DI Antti Taskinen, Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio

Johdanto

Säätösalaajitusprojektin keskeisenä tavoitteena on tutkia, miten pohjaveden pinnan padottaminen vaikuttaa peltoalueilta tuleviin ravinnehuuhtoumiin. Tämän vuoksi asennettiin kesällä 1993 koekentille havaintoputkia pohjaveden laadun ja syvyyden tarkkailua varten. Lisäksi veden määrää ja laatua seurattiin säätö-kaivoissa sekä salaoja- ja pintavaluntapadoilla, joiden tuloksia käsitellään muualla tässä julkaisussa. Artikkelissa tarkastellaan neljän koalueen pohjavesihavaintoja huhti/kesäkuusta lokakuulle 1993. Erityisesti on keskitetty typpipitoisuuksiin, koska aikaisempien tutkimusten mukaan nitraattitypen määrä vähenee pohjaveden ollessa korkealla (ref. Karvonen & Taskinen 1992, Kalita et al 1993, Madramotoo et al 1993).

Kosteassa maaperässä muodostuu otolliset olosuhteet denitrifikaatiolle, jossa nitraatti pelkistyy välivaiheiden kautta kaasumaiseksi typeksi. Prosessiin vaikuttaa myös maan happamuus, lämpötila ja orgaanisen hiilen määrä. Reaktioon oletetaan tapahtuvan lähinnä juuristokerroksessa, jossa on riittävästi orgaanista ainesta mikrobien käytettävissä. Syvemmällä maaperässä voi tapahtua myös nitraatin kemiallista pelkistymistä varsinkin kaksiarvoisen raudan läsnäollessa (Lind 1979, Anon. 1991). Maan kosteus vaikuttaa myös muihin typen prosesseihin ja kasvien typenottoon. Typpi huuhtoutuu juuristokerroksesta pääasiassa nitraattina (NO_3^-), joka liukenee helposti veteen eikä pidäty maa-ainekseen kuten ammoniumtyppi (NH_4^+). Normaalissa peltoviljelyssä itse väkilannoiteista huuhtoutuu suoranaisesti vain 1-10 % ja valtaosa (70-80 %) huuhtoutuvasta tyypestä on peräisin maan orgaanisesta aineksestä. Useissa tutkimuksissa typen huuhtoutumisen on todettu lisääntyvän salaajituksen yhteydessä avo-ojitukseen verrattuna (Schwab et al 1985, Seuna & Kauppi 1981, Turtola & Jaakkola 1987, Jfrgens-Geschwind 1989). Yhdysvalloissa tehdyissä säätöajituskokeissa typpi-huuhtoumat vähenivät selvästi säätösalaajitetuilla alueilla, mikä johtui ennen kaikkea valumien pienenemisestä (Karvonen & Taskinen 1992).

Peltoviljelyn aiheuttaman ravinteiden huuhtoutumisen haitallisin seuraus on vesistöjen rehevöityminen. Useimmiten fosfori on perustuotantoa rajoittava tekijä, mutta tietyissä järvissä ja erityisesti rannikkovesissä myös typpikuormituksen vähentäminen on perusteltua (Rekolainen et al 1992). Korkeat typpipitoisuudet juomavedessä voivat aiheuttaa terveydellisiä riskejä, mm. vaikeuksia

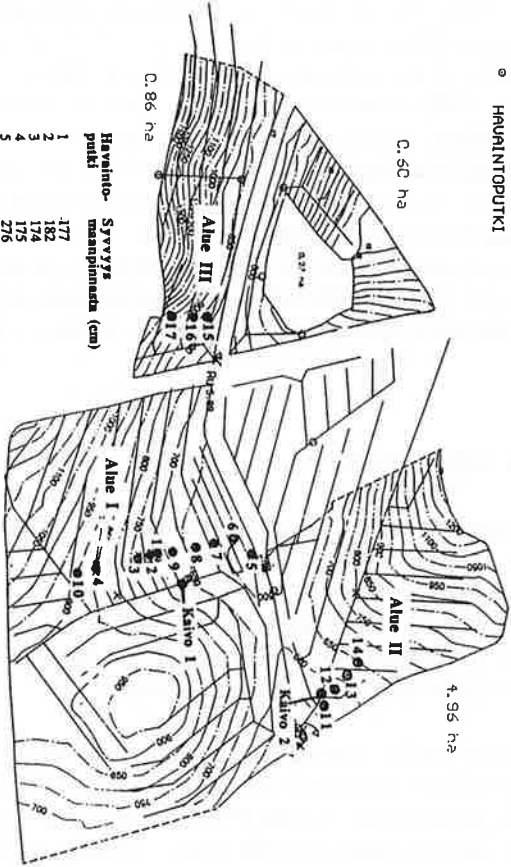
hapensaannissa imeväisikäisillä lapsilla ja syöpään altistumista. Typen eri esiintymismuotojen sallitut maksimipitoisuudet juomavedessä ovat seuraavat: nitraatti 11.5 N mg/l (50 NO₃ mg/l), nitriitti 0.3 N mg/l (1.0 NO₂ mg/l) ja ammonium 0.78 N mg/l (1.5 NH₄ mg/l) (Lääkintöhallitus 1985). Suomessa raja-arvot ylittäviä pitoisuuksia on todettu lähinnä yksittäisissä kaivoissa haja-asutusalueilla (Vainio 1984, Rönkä 1988, Lahermo & Kutvonen 1990, Korkka-Niemi et al 1993). Valtakunnallisen selvityksen mukaan haja-asutusalueilla noin 12 prosentissa 1421 tutkitusta kaivosta oli liian korkea nitraattipitoisuus, jota esiintyi erityisesti karjatalouden ja peltoviljelyn läheisissä kaivoissa (Korkka-Niemi et al 1993). Luonnontilaisissa pohjavesissä typpipitoisuudet ovat yleensä hyvin alhaisia, vaikka pitoisuus onkin noussut viime vuosikymmenien aikana. Vesi- ja ympäristöhallituksen selvityksessä nitraattitypen keskimääräinen pitoisuus oli 0.09 N mg/l ja ammoniumtypen 0.055 N mg/l (Rönkä et al 1987). Suomessa maatalouden typpipäästöistä johtuva pohjaveden laaja-alainen likaantuminen ei voi muodostua samanlaiseksi ongelmaksi kuin useissa Keski-Euroopan maissa (Rönkä 1988). Meillä esiintymät ovat pienialaisia sora- ja hiekkaharjuja, jotka eivät ole maatalouskäytössä, vaan pellot sijaitsevat harjujen reuna-alueilla.

Koekentät ja näytteenotto


Pohjaveden laatua seurattiin säännöllisesti noin 1-3 viikon välein Sjäkullan (Kirkkonummi), Tuusulan, Lapuan ja Luumäen koalueilla. Rei'itetyt havaintoputket (PVC-muovi) asennettiin 1-3 metrin syvyyteen kullakin alueella. Putkien ympärillä on huokoista eristemateriaalia. Osassa putkia mitataan pohjaveden pinnan korkeutta 15 minuutin välein painantureilla (Hyvönen 1992). Seuraavaa on esitetty koejärjestely kunkin koekentän osalta.

Sjäkullassa havaintoputkia asennettiin kolmelle osa-alueelle, joista kahdessa toteutettiin pohjaveden pinnan padotus säätökaivojen avulla. Alueet ovat kaltevia ja niillä viljeltiin kevätvehnää vuonna 1993. Kolmas alue on jyrkkä rinnepelto, joka on ollut kesannolla vuodesta 1992 lähtien. Maalaji kaikilla koalueilla on lähinnä hietasavea. Sjäkullaan asennettiin jo kesällä 1992 neljä pohjavesiputkea (alue I/ putket 1-4), joissa on automaattinen vedenpinnan mittausta. Huhtikuussa 1993 aloitettiin pohjaveden laadun seuranta näistä putkista. Toukokuussa 1993 asennettiin 13 havaintoputkea lisää. Koalueet sekä pohjavesiputkien sijainti ja syvyys on esitetty kuvassa 1. Pohjavesiputket 1, 2, 3 ja 9 edustavat aluetta, joka on padotuksen piirissä. Niiden yläpuolella ovat putket 4 ja 10, jotka kuvaavat säätöjoittamatonta tilannetta. Putket 6-8 sijaitsevat pellon alavassa osassa, jossa pohjavesi on luonnostaan korkealla. Putki 5 on valtaojan reunassa pintavaluntapadon välittömässä läheisyydessä.

- PADOUSKAIUO
- × SALAJAPATO
- ▽ PINTAESIPATO
- HAALINTOPUKKI



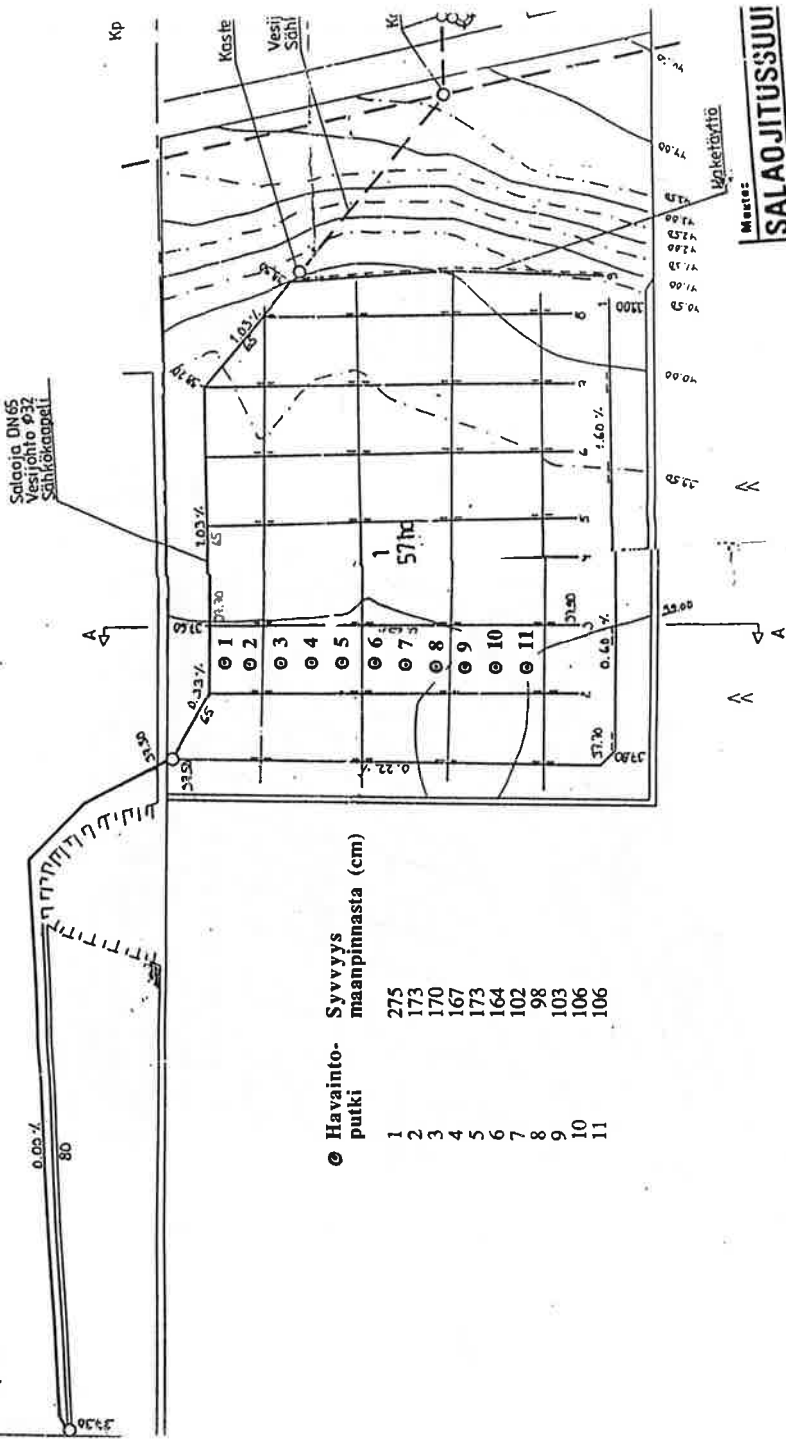
Havainto- pöytä	Syyryys maapinnasta (cm)
1	177
2	182
3	174
4	175
5	276
6	97
7	26
8	198
9	279
10	277
11	254
12	189
13	196
14	280
15	277
16	277
17	161

 SALAJAKESKUS Kunta: KIRKKONUMMI Tila: SUOKULAN K. 110 Osoite:	Tied. J1920531 Tekn. I. OSKINEN Päivä: 2.5.1993 1:2000
---	---

Kuva 1. (a) Stökullan koeduet. Pohjavesiputkien sijainti ja syyrydet (b) alue I, (c) alue II ja (d) alue III.

Maanpinta 38.50
 Vesipinta 37.54 (11.7.89)

RN02:37.

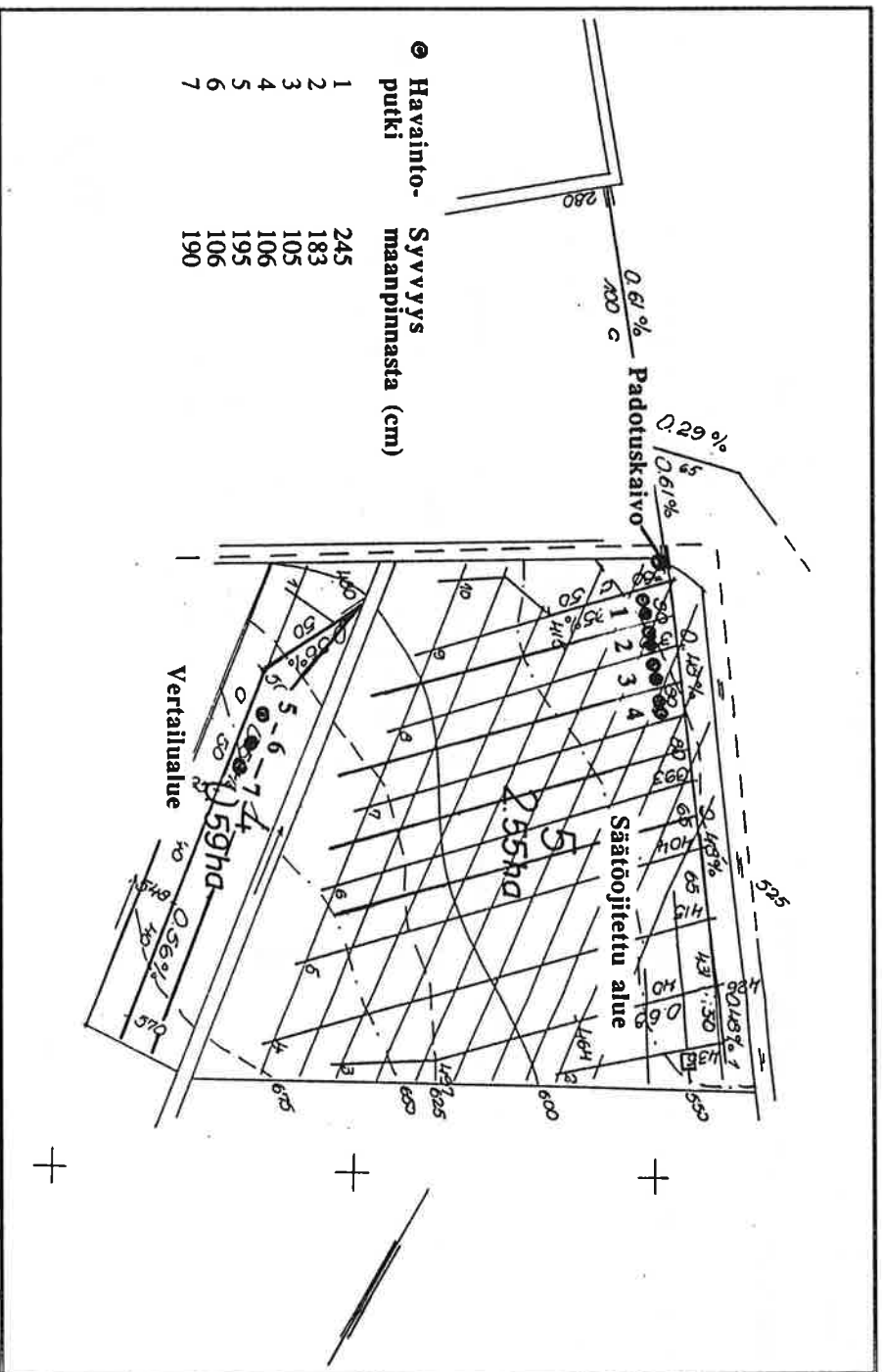


● Havainto-putki
 ● Syvyys maanpinnasta (cm)

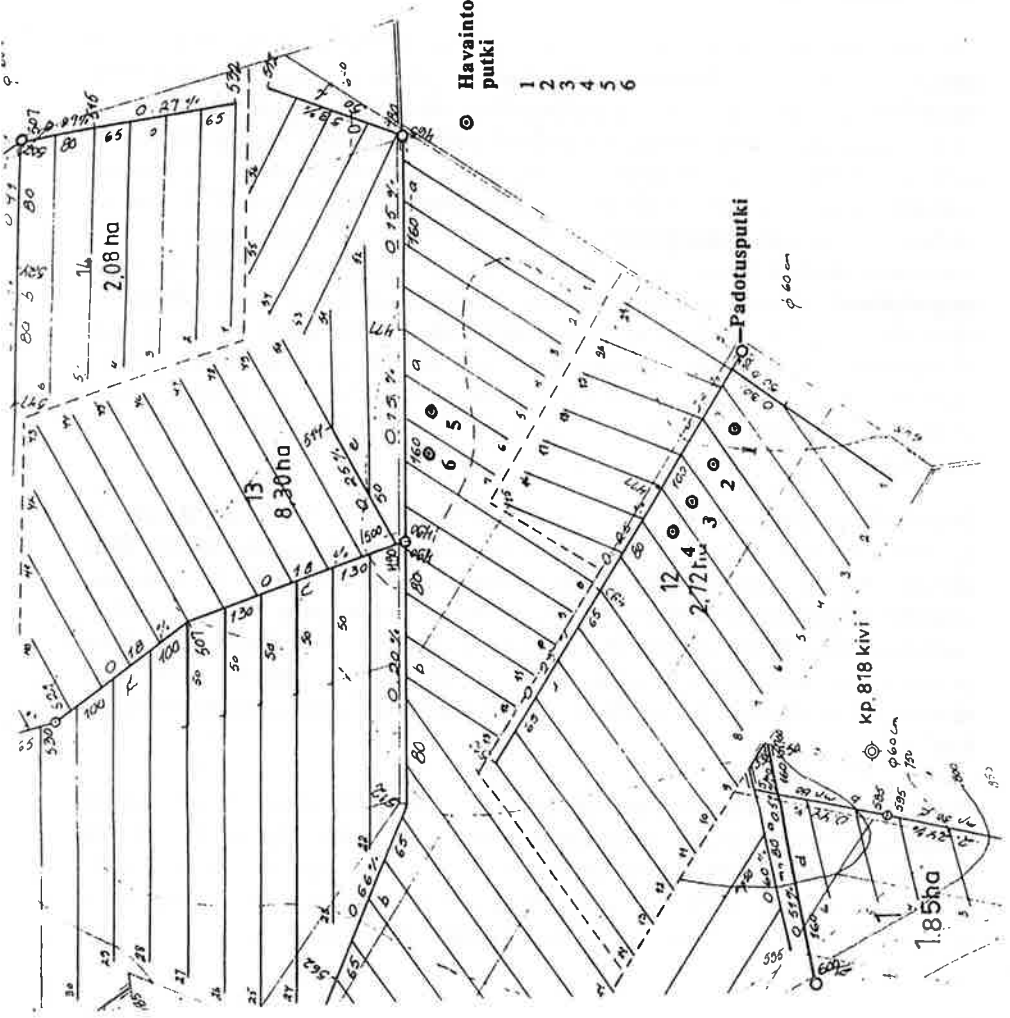
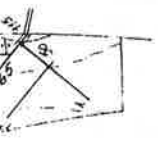
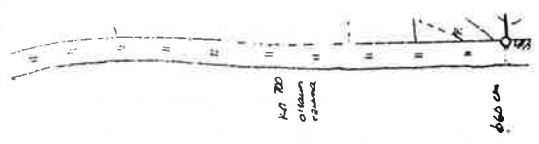
Havainto-putki	Syvyys maanpinnasta (cm)
1	275
2	173
3	170
4	167
5	173
6	164
7	102
8	98
9	103
10	106
11	106

Maasto: SALAOJITUSSUUI
 TILA SUOHARJU
 KIINTA TUUSULA

Kuva 2. Tuusulan koealue, pohjavesiputkien sijainti ja syvyydet.



Kuva 3. Lajpuan koealueet, pohjavesiputkien sijainnit ja syvyydet.



Syvyys
maanpinnasta (cm)

- 100
- 198
- 197
- 229
- 254
- 200

Havainto-
putki

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5
- 6

Padotusputki

Kuva 4. Luumäen koealueiden pohjavesiputkien sijainti ja syvyydet.

Alueella II putket 12, 13 ja 14 sijaitsevat säätökaivon yläpuolella ja putki 11 sen alapuolella. Kesantopellolla on kolme putkea rinteen suunnassa. Padotus laitettiin päälle 17. toukokuuta, avattiin 18. elokuuta elonkorjuuta varten ja laitettiin jälleen päälle 7. lokakuuta. Padotuskorkeus säätökaivossa 1 oli 66 cm ja säätökaivossa 2 75 cm.

Tuusulan koalueella ei ole säätöojitusta, mutta pohjaveden pinta vaihtelee luonnostaan huomattavasti. Pelto on turvetta ja siellä viljeltiin kesällä 1993 kauraa. Pohjavesiputkia on kaikkiaan 11, joista kuudessa on paineanturi. Putkien 1-6 syvyys on 185-275 cm ja putkien 7-11 syvyys on noin 100 cm. Putket ovat linjassa noin 5 metrin välein salaojituksen suuntaisesti siten, että syvimät putket ovat valtaoajan lähellä (kuva 2). Ensimmäiset vesinäytteet otettiin toukokuun lopulla 1993.

Lapuan koekenttä koostuu kahdesta erillisestä lohokosta, joista toisessa on säätökaivo (kuva 3). Säätöojitetulla alueella on kahdeksan havaintoputkea pareittain (putket 1-4) siten, että pohjaveden korkeuden automaattista mittausta ja vesinäytteiden ottoa varten on erilliset putket. Vertailualueella on kolme putkea (putket 5-7), joista pinnan korkeus mitataan näytteenoton yhteydessä. Putkien 1-4 syvyys vaihtelee 105-245 cm ja putkien 5-7 103-190 cm. Pintamaa on karkeaa hietaa, jota esiintyy noin 50-70 cm syvyyteen asti. Pohjalla on hienojakoisempaa ainesta, jossa on runsaasti rautaa. Kerroksellisuus pohjavesiputkien ympäristössä on hyvin samanlainen noin 2 metriin asti, jonka alapuolella säätöojitetulla alueella on selvästi pelkistyneet olosuhteet (sininen maa-aines). Vertailualueella vastaavaa muutosta ei havaittu 200-240 cm kerroksessa, joka oli syvin maanäyte. Pelloilla viljeltiin tärkkelysperunaa vuonna 1993. Säätö laitettiin päälle 17. toukokuuta 1993 ja avattiin 20. elokuuta. Padotus alkoi uudelleen 5. lokakuuta.

Luumäellä pohjavesiputkia asennettiin kahdelle peltoalueelle (kuva 4). Alueen I pohjaveden pintaa voidaan padottaa laskuaukossa olevan putken avulla. Tällä alueella on neljä putkea 100-200 cm syvyydessä ja alueella II kaksi putkea 220-250 cm syvyydessä. Pellot ovat rakkaturvetta. Koalueella I viljeltiin monivuotista nurmea ja koalueella II rairuohoa vuonna 1993. Koalueiden lannoitus ja myös maanmuokkaus erosivat selvästi toisistaan. Padotus oli päällä vain muutaman päivän heinäkuun alussa, jolloin saatiin myös ensimmäiset vesinäytteet.

Pohjavesinäytteet otettiin muoviputkella (Ø 10 mm), jolla mitattiin myös vesipatsaan korkeus putkessa. Ennen näytteenottoa putket tyhjennettiin, minkä jälkeen odotettiin 2-24 tuntia putkien uudelleen täyttymistä. Keväällä 1993 Sjäokullaan koalueen neljästä putkesta (1-4) näytteitä otettiin sekä ennen putkien tyhjennystä että sen jälkeen. Sjäokullassa ja Tuusulassa näytteenotto suoritettiin

Taulukko 1. Pohjavesinäytteiden analyysimenetelmät.

Analysoitava suure	Analyysimenetelmä
Ammoniumtyppi	Tecatorin ohje AN 50/84 ja ASN 50-01/84
Nitriittityppi	Tecatorin ohje AN 51/84 ja ASN 51-01/84
Nitraatti- ja nitriittityppi	Tecatorin ohje AN 62/83 ja ASN 62-02/83
Kokonaistyyppi	Standardiehdotus INSTA-VH 27 (1975)
Liukoinen fosfori	SFS 3025 -standardi
Kokonaisfosfori	SFS 3026 -standardi
pH	SFS-3021 -standardi

TKK:n vesitalouden laboratorion toimesta. Lapualla ja Luumäellä viljelijät huolehtivat näyteenotosta ja lähettivät näytteet Otaniemeen analysoitaviksi. Näytteistä analysointiin nitriitti- ja nitraattitypen summa, nitriitti-, ammonium- ja kokonaistyyppi sekä fosfaatti- ja kokonaisfosfori. Lisäksi mitattiin pH ja kaivovesistä myös kiintoaine. Taulukossa 1 on esitetty käytetyt analysointimenetelmät.

Pohjaveden ravinnepitoisuuksien ja pH-arvojen vaihtelu

Koekenttien välinen vaihtelu

Pohjaveden ravinnepitoisuudet vaihtelivat huomattavasti eri koekenttien ja myös havaintoputkien välillä. Taulukossa 2 on esitetty keskimääräisiä arvoja kunkin koalueen osalta. Vaihtelukerroin, $cv = sd/x$, kuvaa sekä eri havaintopisteistä että -ajankohdista johtuvaa vaihtelua. Suurimmat kokonaistyyppipitoisuudet mitattiin Lapuan näytteistä ja pienimmät Tuusulan turvepellon näytteistä. Kokonaistyyppipitoisuus vaihteli eniten Sjäkullassa ja vähiten Luumäellä. Sjäkullassa nitriitti- ja nitraattitypen summa (NO_2NO_3-N) muodosti selvästi suurimman osan, keskimäärin 80 %, kokonaistypestä. Nitriitin (NO_2-N) osuus oli noin 6 % ja ammoniumin (NH_4-N) noin 1 % kokonaistypestä. Lapualla ammoniumtyyppiä oli lähes puolet kokonaistypen pitoisuudesta säätöojitetulla alueella, mutta vertailualueella nitraattitypen (NO_3-N) osuus oli vallitseva. Tuusulassa ja Luumäellä ammoniumtypen osuus kokonaistypestä oli myös huomattava, 48 ja 70 %. NO_2NO_3 -typen osuus oli vain 4 % ja 2 %.

Taulukko 2. Pohjaveden laatu tutkimusalueittain kevät-syky 1993. x = keskiarvo, sd = keskihajonta, cv = vaihtelukerroin.

Sjökulla		06.04. - 18.10.1993					
		x	sd	cv %	min	max	n
NH ₄ -N	µg/l	85	146	172	0	2175	323
NO ₂ -N	µg/l	419	671	160	2	4572	321
NO ₂ NO ₃ -N	µg/l	5221	5448	104	3	31340	321
kokN	µg/l	6568	5840	89	133	33060	318
PO ₄ -P	µg/l	521	666	128	10	4395	257
kokP	µg/l	775	960	124	15	6251	257
pH		6.79	0.37	5	5.91	7.70	268

Tuusula		26.05. - 21.10.1993					
		x	sd	cv %	min	max	n
NH ₄ -N	µg/l	1058	589	56	91	2886	223
NO ₂ -N	µg/l	22	50	227	0	573	223
NO ₂ NO ₃ -N	µg/l	80	190	238	0	1569	223
kokN	µg/l	2193	997	45	686	7560	234
PO ₄ -P	µg/l	30	41	137	0	261	223
kokP	µg/l	99	130	131	6	818	233
pH		6.27	0.21	3	5.91	7.06	190

Lapua		01.06. - 24.10.1993					
		x	sd	cv %	min	max	n
NH ₄ -N	µg/l	2108	1644	78	9	4557	52
NO ₂ -N	µg/l	42	66	157	0	343	52
NO ₂ NO ₃ -N	µg/l	4838	4835	100	71	15020	52
kokN	µg/l	7994	4273	53	3289	28820	57
PO ₄ -P	µg/l	70	80	114	0	378	44
kokP	µg/l	245	318	130	13	1680	44
pH		3.90	0.65	17	3.15	5.28	52

Luumäki		05.07. - 31.10.1993					
		x	sd	cv %	min	max	n
NH ₄ -N	µg/l	2891	1062	37	866	5096	54
NO ₂ -N	µg/l	110	237	215	1	1203	54
NO ₂ NO ₃ -N	µg/l	88	208	236	0	1016	54
kokN	µg/l	4159	864	21	2384	6879	54
PO ₄ -P	µg/l	945	994	105	17	4110	54
kokP	µg/l	1434	1085	76	163	4522	54
pH		4.79	0.39	8	4.07	5.50	54

Sekä Sjäokullassa että Lapualla pohjaveden suurimmat havaitut nitraattipitoisuudet ylittivät juomaveden pitoisuusrajan. Lapualla keskimääräinen $\text{NH}_4\text{-N}$ -pitoisuus säätöojitetulla alueella oli selvästi yli sallitun arvon. Poikkeukselliset pitoisuudet johtuvat osittain maaprofiilin ominaisuuksista ja pohjaveden pinnan padotuksesta. Mutta myös näytteenotto ja näytteiden säilytys vaikuttavat veden laatuun, mitä käsitellään myöhemmin tässä artikkelissa. Ammoniumtypen suuri osuus turvepelloilla voi johtua epätäydellisestä nitrifikaatiosta ja/ tai denitrifikaatiosta. Orgaanisen typen mineralisaatio näytteissä voi myös lisätä ammoniumtypen määrää.

Sjäokullassa kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvo oli 0.78 P mg/l, kun Tuusulan ja Lapuan näytteissä vastaava arvo oli vain 0.10 P mg/l ja 0.25 P mg/l. Luumäellä keskimääräinen fosforipitoisuus oli lähes 1.5 P mg/l. Fosfaattifosforin osuus eri koekentillä vaihteli 30-67 %. Pienimmät arvot olivat Tuusulan ja Lapuan näytteissä. Fosforipitoisuudet olivat toisinaan poikkeuksellisen korkeita, mikä johtui hienon maa-aineksen liettymisestä pohjavesiputken pohjalle ja kulkeutumisesta näytteeseen. Lisäksi on otettava huomioon, että fosfaattifosfori määritettiin suodattamattomista näytteistä. Selvästi poikkeukselliset havainnot poistettiin ko. tilastollisesta tarkastelusta, mutta siitä huolimatta esitetyt tulokset saattavat sisältää virheellisiä mittauksia. Kokonaisfosforin vaihtelukertoimet eri alueilla olivat selvästi suurempia kuin kokonaistypen.

Pohjaveden happamuus vaihteli selvästi koealueittain. Korkeimmat pH-arvot olivat Tuusulassa ja Sjäokullassa (6.3 ja 6.8), jossa maksimi-arvo oli jopa 7.7. Lapuan näytteet olivat selvästi happamia säätöojitetulla alueella (pH 3.5) ja vertailualueellakin keskimääräinen pH oli alle 5.0. Alhaiset pH-arvot johtuvat todennäköisesti jo aikaisemmin ammoniumtypen yhteydessä mainituista tekijöistä. Luumäen turvepelloilla pH vaihteli 4.1-5.5.

Pohjaveden laadun vaihtelu johtuu kocalucidien erilaisista maalajeista, mutta myös viljelykasvista, lannoituksesta, maanmuokkauksesta ja kuivatustoimenpiteistä. Typen (nitraatin) huuhtoutumiseen vaikuttaa lisäksi sademäärä, routa ja orgaanisen aineksen hajoaminen. Esimerkiksi Lapualla perunan matala juuristo ja hyvin vettä läpäisevä pintamaa edistävät typen huuhtoutumista. Luumäellä taas monivuotinen nurmipeite alueella I pienentää tehokkaasti typen kulkeutumista syvemmälle maaperään, mutta alueen II kyntö edistää mineralisaatiota ja lisäksi siten huuhtoutuvan typen määrää. Koska pohjaveden laatua tarkkailtiin normaaleissa viljelyksessä olevilla pelloilla, ei eri tekijöiden vaikutusta pystytä saamaan esille tästä havaintoaincistosta.

Taulukko 3. Pohjaveden laatu Sjöskullassa havaintopunktin kesä-syky 1993. x = keskiarvo, sd = keskihajonta, cv = vaihtelevuus.

Alue/ puitte	Puitteen svv. cm	Hav. lkm (1), 2), 3)	x	KokN sd	µg/l min/max	x	KokP sd	µg/l min/max	x	pH sd	min/max	
Alue I	1	177	29, 24, 10	7236	2334	5412-16720	1388	1175	248-4761	6.89	0.53	5.91-7.55
	2	182	33, 29, 13	11629	2837	9405-20530	375	327	77-1220	6.66	0.44	6.02-7.48
	3	174	14, 12, 7	10978	2069	8257-16140	1408	1107	264-4076	6.69	0.29	6.37-7.29
	4	175	14, 11, 8	10413	5461	6197-25000	2431	1966	233-6251	6.63	0.34	6.17-7.38
	5	276	13, 9, 16	1298	907	324-3911	1401	1114	515-3410	7.21	0.27	6.61-7.61
	6	97	10, 6, 10	3387	1285	2445-6846	2535	1121	1285-3958	6.48	0.31	5.96-6.88
	7	201	17, 14, 17	1587	1569	350-5015	432	387	99-1280	6.75	0.21	6.28-7.12
	8	198	17, 14, 17	1931	1907	160-7143	1004	1174	93-4399	6.76	0.24	6.36-7.27
	9	279	17, 14, 17	7786	5198	4067-25560	103	63	27-224	7.03	0.15	6.60-7.20
	10	277	8, 8, 8	18687	6589	10340-27820	728	429	245-1313	6.73	0.15	6.46-6.96
Kaivo 1		19, 19, 19	5644	5284	2068-21110	985	1232	109-5712	6.62	0.28	6.25-7.39	
Alue II	11	254	15, 10, 15	10455	10249	2168-33060	556	331	183-1217	6.84	0.54	6.11-7.73
	12	189	11, 9, 11	3500	2273	1281-9197	467	201	210-796	6.74	0.16	6.48-6.99
	13	196	11, 10, 11	5418	6227	1811-23220	690	431	239-1340	6.78	0.26	6.43-7.18
	14	280	16, 14, 16	5173	7023	350-24580	410	489	15-1662	6.75	0.34	6.15-7.28
Kaivo 2		19, 19, 19	5873	2824	1962-11050	911	1064	282-4665	6.56	0.38	6.02-7.33	
Alue III	15	277	16, 14, 16	989	1882	184-7980	80	26	33-115	7.13	0.20	6.62-7.42
	16	277	16, 14, 16	4741	5553	147-20980	134	126	31-491	6.91	0.20	6.30-7.20
	17	161	14, 14, 14	9493	4273	5856-19320	776	309	316-1224	6.39	0.27	6.06-6.91

- 1) kokN havainnojen lukumääri
 2) kokP havainnojen lukumääri
 3) pH havainnojen lukumääri

Taulukko 4. Pohjaveden laatu Tuusulassa havaintoputkittain kevät-syky 1993. x = keskiarvo, sd = keskihajonta, cv = vaihtelukerroin.

Putki	Putken syv. cm	Hav. lkm 1), 2), 3)	kokN		µg/l		kokP		µg/l		pH	
			x	sd	min/max	x	sd	min/max	x	sd	x	sd
1	172	20, 20, 16	1707	1229	1199 - 6763	69	104	6-457	6.39	0.11	6.24-6.59	
2	173	20, 19, 16	2123	1208	931 - 6384	100	92	17-302	6.41	0.23	6.06-6.81	
3	170	20, 20, 16	1361	253	751 - 1669	81	175	14-818	6.37	0.12	6.11-6.56	
4	167	20, 20, 16	1343	261	686 - 1685	64	121	6-572	6.38	0.14	6.08-6.63	
5	173	20, 20, 16	1859	573	1038 - 3941	99	145	18-662	6.25	0.13	5.99-6.55	
6	164	20, 20, 16	1545	322	1004 - 2365	59	56	7-263	6.42	0.15	6.18-6.71	
7	102	19, 19, 15	2378	377	1546 - 3161	127	152	38-606	6.12	0.10	5.98-6.24	
8	98	18, 18, 15	2374	953	1243 - 5923	60	43	12-175	6.45	0.30	6.03-7.06	
9	103	20, 20, 16	2974	612	2403 - 4897	121	181	30-671	6.07	0.13	5.91-6.43	
10	106	20, 20, 16	3411	583	2731 - 4890	138	191	42-744	6.06	0.80	5.96-6.25	
11	106	20, 20, 16	3229	1093	2417 - 7560	138	113	62-475	6.06	0.07	5.94-6.19	
Kaivo		17, 17, 16	2006	296	1507-2592	134	29	85-191	6.28	0.13	6.10-6.50	

1) kokN havaintojen lukumäärä

2) kokP havaintojen lukumäärä

3) pH havaintojen lukumäärä

**Tautiltkko 5. Pohjaveden laatu Lapualla havaintoputkittain kesä-syky 1993. x = keskiarvo, sd = keskihajonta, cv = vaihteluker-
roin.**

Putki	Putken syv. cm	Hav.lkm 1), 2), 3)	kokN		μg/l		kokP		μg/l		pH	
			x	sd	min/max	x	sd	min/max	x	sd	min/max	
1	245	13, 9, 12	6466	1623	4783 - 10240	193	122	45 - 384	3,44	0,21	3,20-3,82	
2	183	13, 9, 12	5094	928	4036 - 7432	468	490	84 - 1680	3,39	0,24	3,15-3,84	
3	105	1, 1, 1	8838			395			3,34			
4	106	3, 3, 3	9885	1951	8217 - 12030	413	193	206 - 589	3,78	0,12	3,65-3,87	
5	195	6, 5, 5	10687	2862	5074 - 12730	162	121	57 - 355	4,94	0,21	4,72-5,28	
6	106	1, 1, 1	13100			562			5,04			
7	190	8, 5, 7	14771	5757	10910 - 28820	289	602	21-1156	4,89	0,14	4,67-5,06	
Kaivo		12, 12, 11	5958	2375	3289-11200	33	13	13-60	3,83	0,25	3,62-4,49	

- 1) kokN havaintojen lukumäärä
- 2) kokP havaintojen lukumäärä
- 3) pH havaintojen lukumäärä

Taulukko 6. Pohjaveden laatu Luumäellä havaintoputkittain kesä-syky 1993. \bar{x} = keskiarvo, sd = keskihajonta, cv = vaihtelukerroin.

Putki	Putken syv. cm	Hav.lkm 1), 2), 3)	kokN		µg/l		kokP		µg/l		pH	
			\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd	\bar{x}	sd
1	100	9, 9, 9	3855	930	2384 - 5424	3329	655	2692 - 4522	4.50	0.36	4.14 - 5.18	
2	198	9, 9, 9	3715	392	3121 - 4317	1127	569	450 - 2126	4.57	0.35	4.07 - 5.10	
3	197	9, 9, 9	3728	603	2614 - 4532	1286	412	732 - 1902	4.66	0.39	4.15 - 5.19	
4	229	9, 9, 9	3813	217	3453 - 4114	1166	317	694 - 1860	4.75	0.25	4.44 - 5.14	
5	254	10, 10, 10	4560	859	3167 - 5909	338	183	163 - 774	5.03	0.23	4.69 - 5.35	
6	200	8, 8, 8	5369	637	4966 - 6879	1482	1063	231 - 3536	5.24	0.21	4.98 - 5.50	

1) kokN havaintojen lukumäärä

2) kokP havaintojen lukumäärä

3) pH havaintojen lukumäärä

Idealisessa tapauksessa salaojista purkautuva vesi on (matalaa) pohjavettä. Todellisuudessa salaojiin virtaa vettä usein myös salaojakaivannon kautta suoraan muokkauskerroksesta. Sjököllän koealueelta on käytettävissä mittauksia myös salaojaputkista purkautuvan veden laadusta. Keskimääräinen kokonaistypipitoisuus pohjavesiputkissa ja salaojapadoilla (padot S1-S5) oli lähes sama, 6.57 ja 6.67 N mg/l. Maksimipitoisuudet eri padoilla vaihtelivat 11-26 N mg/l. Näytteiden vastaavuutta yksittäisissä havaintopisteissä on vaikea arvioida pienestä havaintomäärästä johtuen.

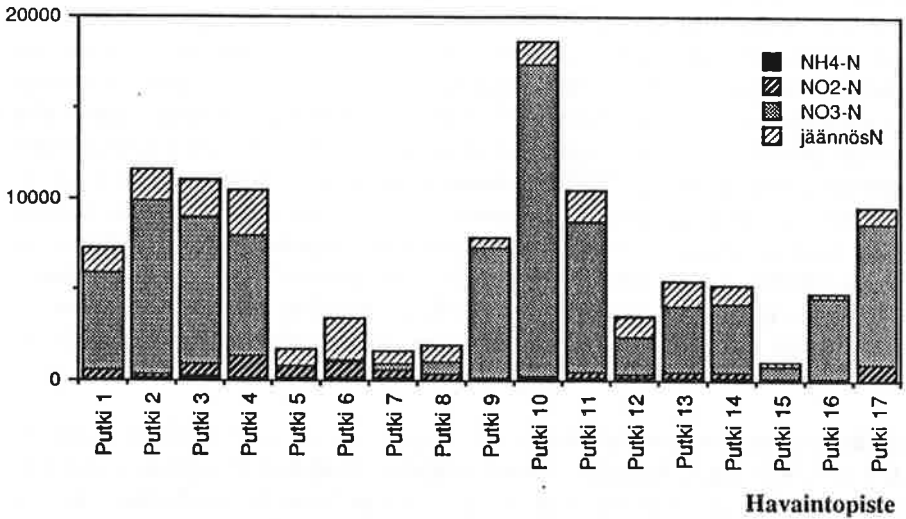
Suomessa on tehty useita tutkimuksia viljelymailta tapahtuvista ravinnehuuhtoumistista sekä peltoalueilla että lysimetreissä (esim. Pekkarinen 1979, Seuna & Kauppi 1981, Turtola & Jaakkola 1985, Turtola & Jaakkola 1987, Turtola 1992, Ylärinta et al 1992, Paasonen-Kivekäs 1993, Rekolainen 1993). Tässä tutkimuksessa havaitut pitoisuudet ovat samaa suuruusluokkaa kuin aikaisemmissa tutkimuksissa, jotka edustavat salaojista tai lysimetreistä purkautuvan veden laatua. Kivennäismailla yli 90 % salaojaveden tyypestä on todettu olevan nitraattia, mutta lannoittamattomassa turvemaassa liukoisen orgaanisen tyyden osuus saattaa olla yli puolet kokonaistyypeistä (Turtola 1992, Ylärinta & et al 1992). Näihin tuloksiin nähden Tuusulan ja Luumäen lannoitetuilla turvepelloilla ammoniumtyppipitoisuudet ovat poikkeuksellisen korkeat.

Etelä-Suomessa sijaitsevalla Hovin koealueella salaojista purkautuvan veden vuosikeskiarvot vaihtelivat 4.9-20 N mg/l ja kokonaisfosforin 0.09-0.66 P mg/l välittömästi salaojituksen jälkeisinä vuosina (Seuna & Kauppi 1981). Jokioisissa tehdyissä kokeissa salaojavesien nitraattityppipitoisuudet (savimaa) ylittivät varsin yleisesti juomaveden pitoisuusrajan maksimipitoisuuden ollessa 20 NO₃-N mg/l. Kokonaisfosforipitoisuus oli yleensä alle 0.5 P mg/l. Maksimipitoisuus 2 mg P/l havaittiin nurmimaasta tulleista salaojavesistä (Turtola & Jaakkola 1985). Vesi- ja ympäristöhallituksen toimesta on tutkittu peltolannoituksen vaikutusta pohjaveden laatuun Rengon alueella harjumaisessa muodostumassa. Normaalisti ja intensiivisesti lannoitetuilla alueilla keskimääräiset nitraattipitoisuudet (1986-1987) olivat 3.93 N mg/l ja 4.57 N mg/l ja ammoniumpitoisuudet 0.06-0.20 N mg/l. Fosfaatti-fosforipitoisuus vaihteli 0.02-0.03 P mg/l. Lysimetrikokeissa (normaalisti lannoitettu ohra) salaojavesien nitraattipitoisuudet vaihtelivat 1.4-9.0 mg N mg/l. Koeruutujen läheisyydessä olevissa pohjavesiputkissa keskimääräinen pitoisuus oli 5 NO₃-N mg/l ja maksimiarvo 18 NO₃-N mg/l (Rönkä 1988).

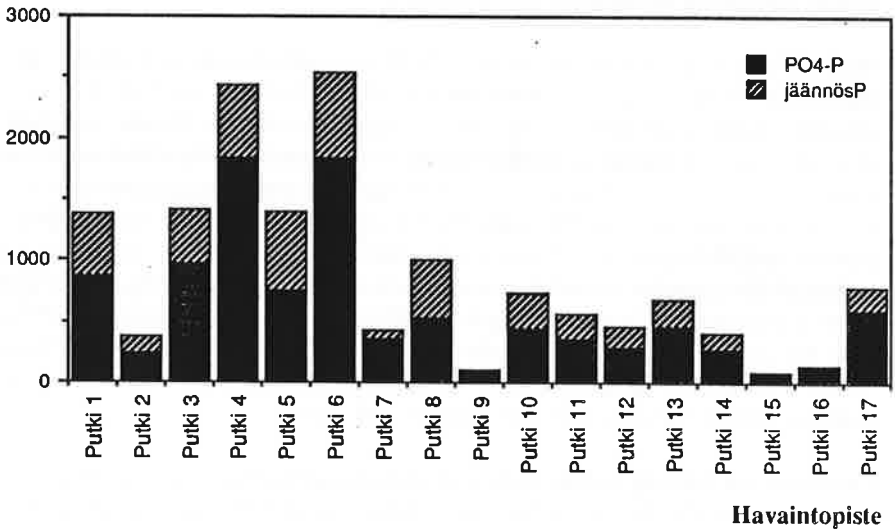
Koealueiden sisäinen vaihtelu

Tässä yhteydessä käsitellään pohjaveden laadun vaihtelua havaintoputkittain kullakin koealueella (taulukot 3-6). Sjököllässä pohjaveden keskimääräiset

Typpipitoisuus (µg/l)



Fosforipitoisuus (µg/l)



Kuva 5. Sjökullan pohjavesiputkien näytteiden ravinnefraktiot. (a) typpi ja (b) fosfori. Keskiarvot kevät-syysy 1993.

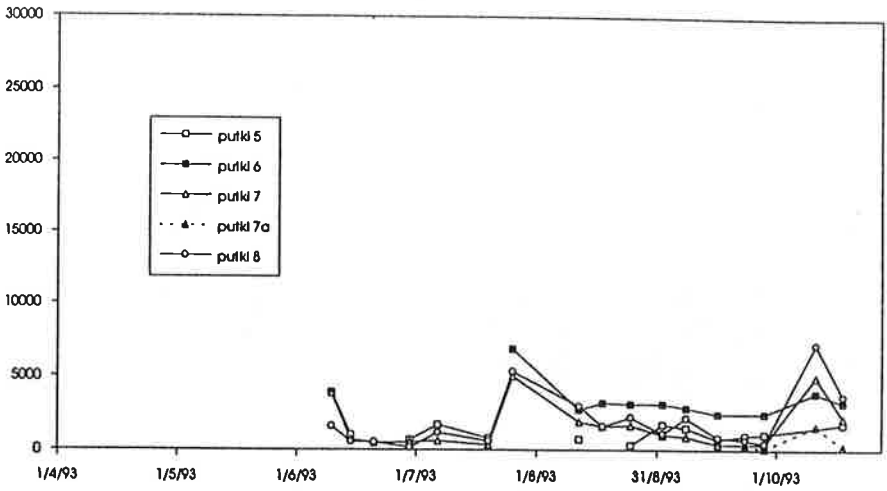
kokonaistyyppi- pitoisuudet olivat osa-alueella I 1.3-18.7 N mg/l, alueella II 3.5-10.5 N mg/l ja kesantopellolla (alue III) 1.9-5.6 N mg/l. Osa-alueen I suurimmat typpipitoisuudet havaittiin rinteän yläosassa (putki 10) ja pienimmät rinteän alaosassa (putket 5-8). Typpipitoisuus muuttui selvästi pellon kaltevuuden suunnassa myös osa-alueella III, mutta osa-alueella II ei voitu havaita yhtä selvää yhteyttä. Vastaavantyyppinen riippuvuus on havaittu myös muissa tutkimuksissa (ref. Hallberg 1989). Pitoisuus- erojen on arvioitu johtuvan denitrifikaatiosta ja/tai dispersiosta ja laimenemisestä. Nitraattityppi muodosti suurimman osan kokonaistypestä kaikissa muissa havaintopisteissä paitsi putkissa 5-8, joissa nitriitin osuus vaihteli 17-47 % ja ammoniumin 3-11 % väheten rinteän suunnassa (kuva 5a). Syynä poikkeuksellisiin arvoihin voi olla denitrifikaatio, jossa syntyy nitriittiä ja ammoniumia, ja/tai nitrifikaation estyminen liiallisesta maan kosteudesta johtuen.

Sjökullassa kokonaisfosforipitoisuudet olivat myös selvästi korkeimmat alueella I, 0.10-2.54 P mg/l. Alueella II arvot vaihtelivat 0.20-0.49 P mg/l ja alueella III 0.03-0.31 P mg/l. Alueilla I ja II vaihtelun ei havaittu noudattavan mitään systematiikkaa paikan suhteen. Ainoastaan kesantopellolla pitoisuudet pienenevät jyrkästi rinteän alaosaan päin. Fosfaattifosforin osuus kokonaisfosforista oli keskimäärin 60-100 % (kuva 5b). Fosforia koskeviin tuloksiin on suhtauduttava varauksella edellä mainituista syistä johtuen.

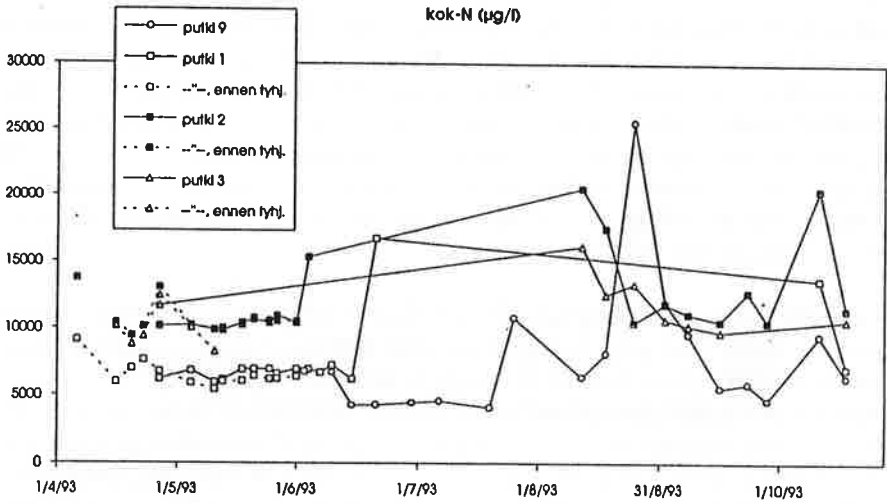
Mineraalityypen, erityisesti nitraatin, määrä juuristokerroksessa vaihtelee huomattavasti eri vuodenaikoina ollen suurimmillaan heti lannoituksen jälkeen ja syksyllä sadonkorjuun jälkeen orgaanisen aineksen hajotessa. Tämän vuoksi erot näytteenottoajankohdissa eri putkien välillä on otettava huomioon keskimääräisiä arvoja tarkasteltaessa. Myös näytteenottosyvyys vaikuttaa typpipitoisuuksiin (ref. Karvonen & Taskinen 1992). Alueella I putket 2, 3 ja 4 ovat ko. tekijöiden suhteen vertailukelpoisia, samoin putket 7 ja 8 keskenään. Näiden putkien osalta keskimääräiset typpipitoisuudet ovatkin lähes samansuuruisia, mutta vaihteluväli eroaa jonkin verran. Havaintotiheydet poikkesivat toisistaan erityisesti putkissa 9 ja 10, jotka edustavat selvimmän säätöoijitettua ja -oijittamatonta aluetta. Putkesta 10 pellon yläreunassa saatiin näytteitä ensimmäisen kerran vasta 12. elokuuta, kun putkesta 9 näytteitä otettiin läpi kesän.

Kuvassa 6 on esitetty pohjaveden kokonaistyyppipitoisuudet ajan suhteen Sjökullan osa-alueella I. Pellon ala- ja keskiosassa vaihtelu on samantyyppistä, mutta rinteän yläosassa pisteet 4 ja 10 käyttäytyvät täysin poikkeavasti. Pitoisuuspiikkejä esiintyy erityisesti putkissa 9, 4 ja 10 elokuussa, jolloin sadanta oli poikkeuksellisen suuri. Kuvassa on esitetty myös pitoisuusarvot putkista 1-4 ennen ja jälkeen tyhjennyksen keväällä 1993. Tämän perusteella mittausten vastaavuus on erittäin hyvä.

kok-N ($\mu\text{g/l}$)

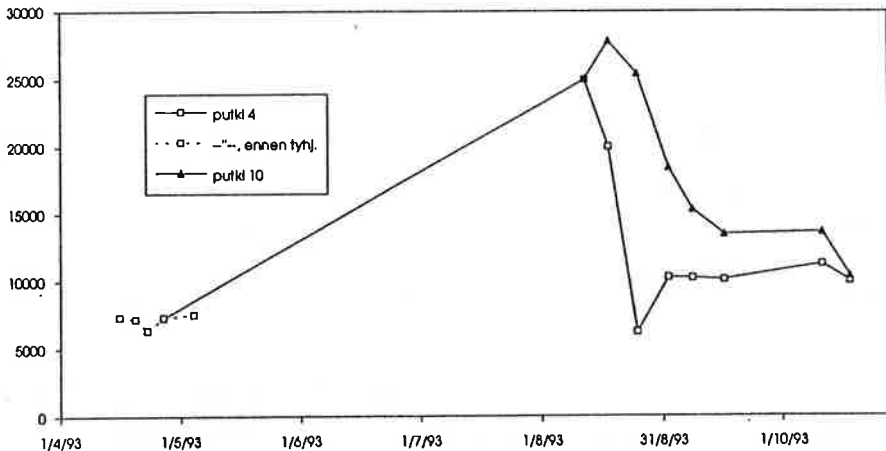


kok-N ($\mu\text{g/l}$)



Kuva 6. Kokonaistyyppipitoisuuden vaihtelu ajan suhteen Sjökillan osa-alueen I havaintoputkissa. (a) putket 5-7 (b) putket 1, 2,3 ja 9 (c) putket 4 ja 10.

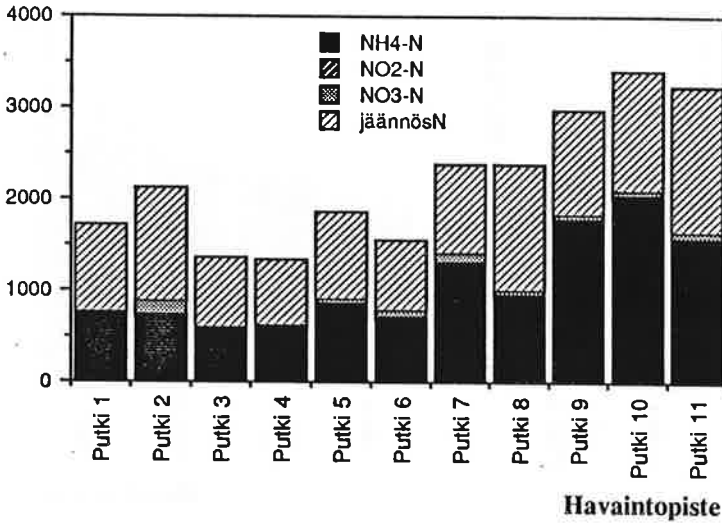
kok-N ($\mu\text{g/l}$)



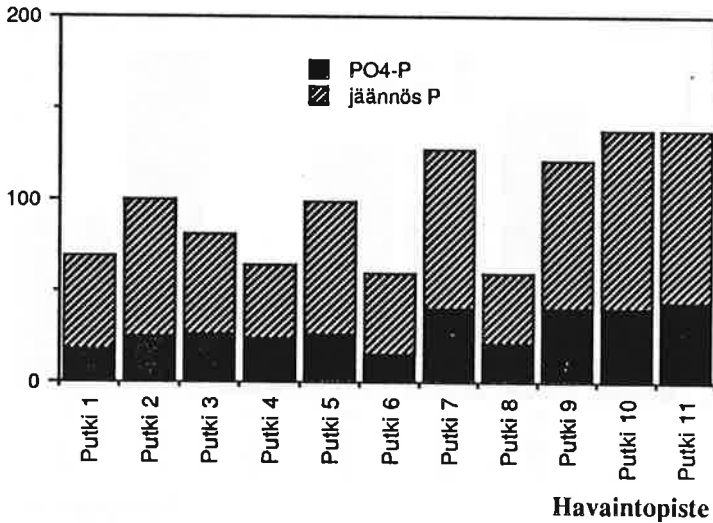
Tuusulassa pohjaveden kokonaistyyppipitoisuudet olivat keskimäärin 1.34-3.23 N mg/l kasvaen pellolle päin (taulukko 4). Ammoniumtypen osuus putkissa 1-6 oli keskimäärin 42 % ja putkissa 7-11 52 % kokonaistyyppistä. Fosfaattifosforin osuus oli noin 1/3 kokonaistyyppistä. Näytteiden keskimääräiset pH-arvot pienenevät arvosta 6.4 arvoon 6.1 siirryttäessä valtaojasta pellolle päin ja siis näytteenotossyvyyden pienentyessä. Erot johtuvat todennäköisesti putkien syvyydestä, koska keskimääräisissä pitoisuuksissa putkien 2-6 (syvyys n. 170 cm) ja putkien 7-11 (syvyys n. 100 cm) välillä on selvä ero. Syvemmällä maaperässä saattaa olla pelkistävät olosuhteet, jolloin nitraattia poistuu kaasumaisena ilmakehään. Lisäksi erot lannoitetyypin kulkeutumisessa ja kasvien tyyppien typpienotossa vaikuttavat veden tyyppipitoisuuksiin maaprofilissa.

Lapulla pohjaveden laatu vaihteli selvästi sekä eri osa-alueiden että havaintoputkien välillä (taulukko 5). Keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet säätöojitetulla alueella olivat 5.09-9.89 N mg/l ja vertailualueella 10.69-14.77 N mg/l. Ammoniumtypen osuus säätöojitetulla alueella oli korkeimmillaan putkissa 1 (58 %). Vertailualueella (putket 5-7) noin 95 % tyyppistä oli nitraattityyppiä (kuva 8). Pienimmät kokonaistyyppipitoisuudet olivat putkissa 2 ja suurimmat putkissa 7. Putkien syvyydet olivat lähes samat, mutta näytemäärä putkesta 2 oli jonkin verran suurempi. Molemmissa putkissa pitoisuudet säilyivät suhteellisen vakioina ajan suhteen putken 7 yksittäistä pitoisuuspiikkiä lukuunottamatta heinäkuun alussa (kuva 9). Havaintopisteen 1 ja säätökaivon näytteiden kokonaistyyppipitoisuus käyttäytyi hyvin samalla tavalla, mutta nitraatin osuus oli kaivovedessä suurempi ja samoin pH-arvo. Säätöojitetun alueen havaintoputkissa pH vaihteli 3.2-3.9 ja vertailualueen putkissa 4.7-5.3.

Typipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)

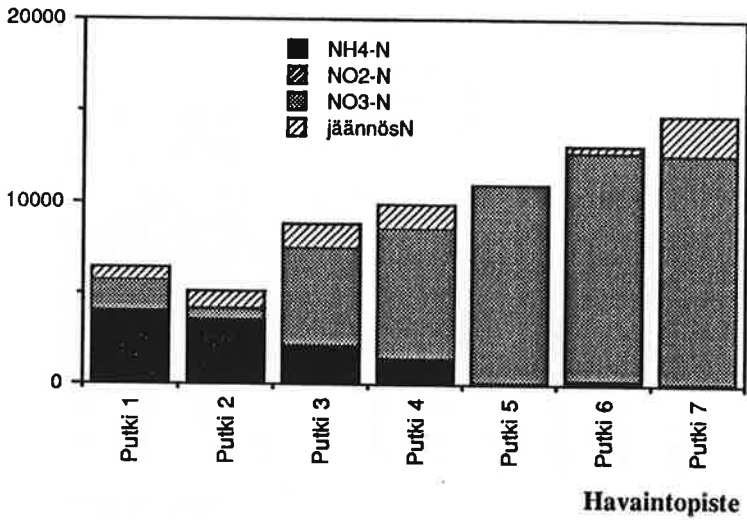


Fosforipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)

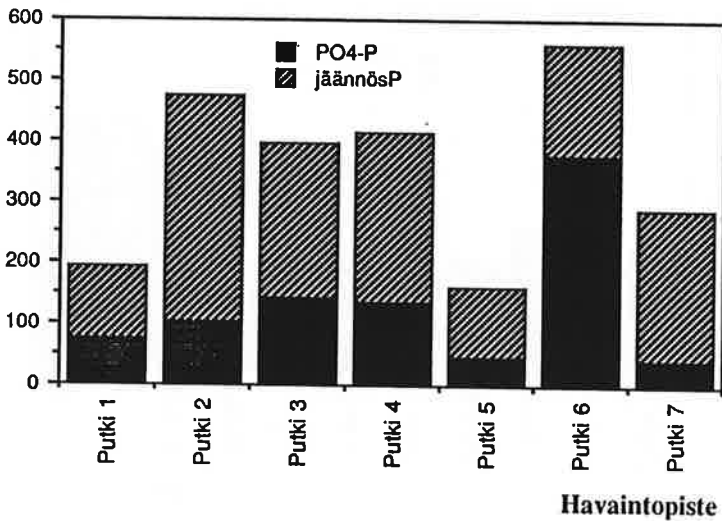


Kuva 7. Tuusulan havaintoputkien ravinnefraktiot. (a) typpi ja (b) fosfori. Keskiarvot kesä-syysy 1993.

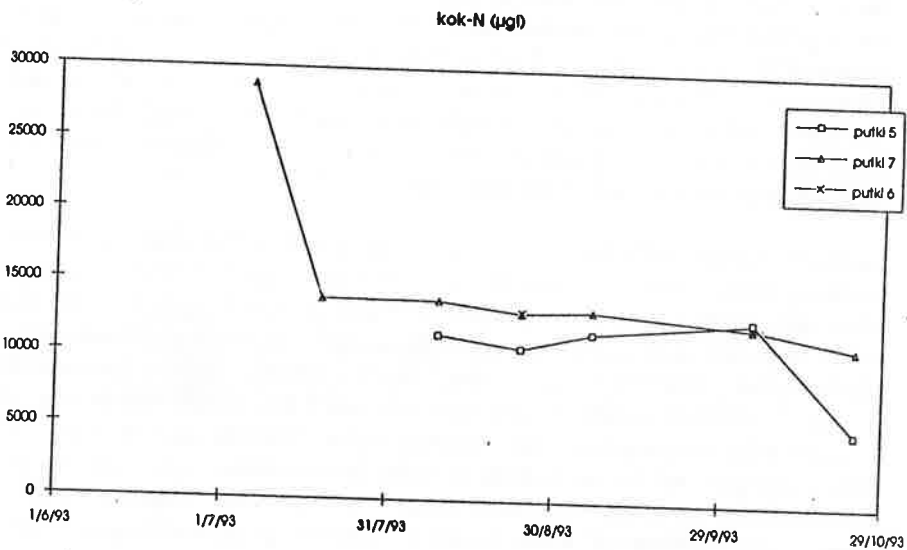
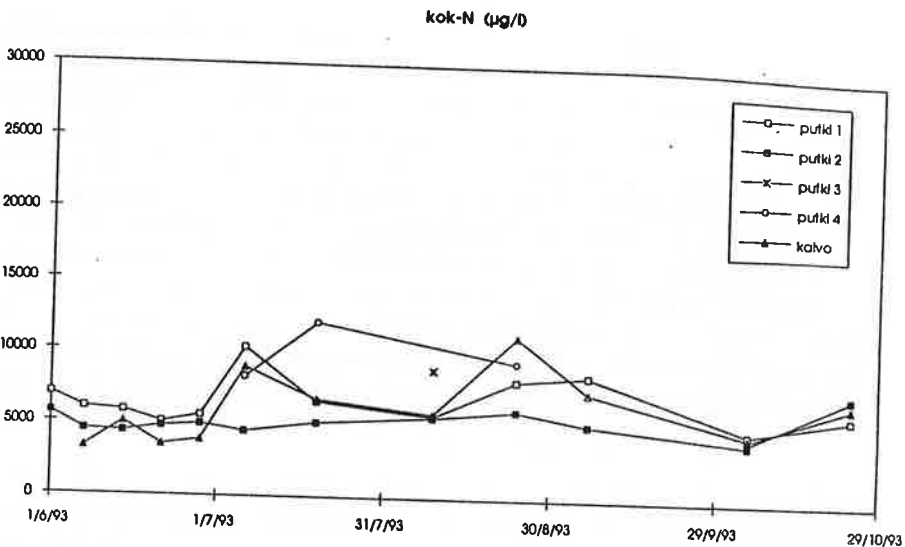
Typpipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)



Fosforipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)



Kuva 8. Ravinnefraktiot Lapuan havaintoputkissa. (a) typpi ja (b) fosfori. Keskiarvot kesä-syysy 1993.



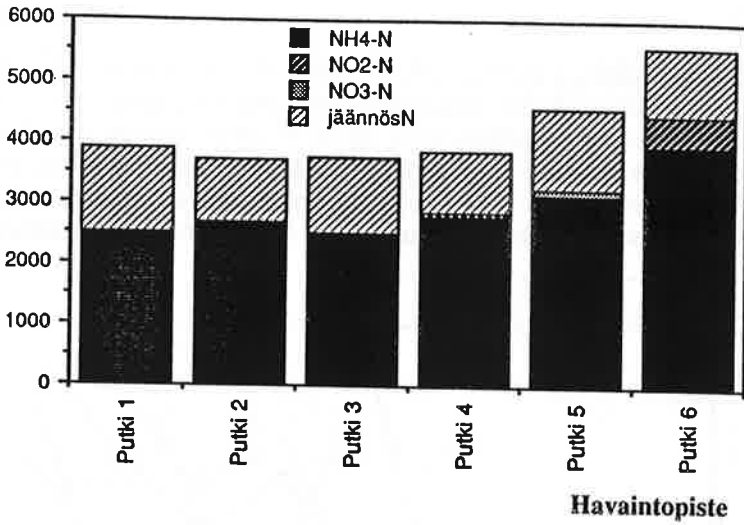
Kuva 9. Kokonaistyyppipitoisuuden vaihtelu ajan suhteen Lapualla. (a) putket 1-4 (säätöojitettu alue) ja (b) putket 5-7 (vertailualaue).

Erot pohjaveden laadussa Lapualla, säätöojitetun ja vertailualueen välillä, johtunevat sekä pohjamaasta että maankosteudesta (happipitoisuudesta), jotka vaikuttavat erityisesti ko. alueella tapahtuviin kemiallisiin ja mikrobiologisiin reaktioihin. Pelkistyneen pohjamaan pH_{1120} on lähellä 6, mutta sen yläpuolella olevan harmaan (rautapitoisen) maan selvästi alhaisempi, noin 4.5. Kun pelkistynyt maa-/vesinäyte joutuu ilman kanssa kosketuksiin, niin erityisesti rikin ja raudan reaktioiden seurauksena pH laskee jyrkästi. Hapetus/pelkistys-olosuhteet vaikuttavat myös typen esiintymismuotoihin. On ilmeistä, että osa nitraattitypestä pelkistyy typpikaasuksi ferroraudan hapettuessa. Suuri ammoniumtypen pitoisuus johtunee osittain epätäydellisestä denitrifikaatiosta tai nitrifikaation estymisestä. Alhainen pH hidastaa sekä mikrobiologista denitrifikaatiota että nitrifikaatiota. Lisäksi runsas ammoniumin muodostuminen saattaa itsessään hidastaa reaktiota.

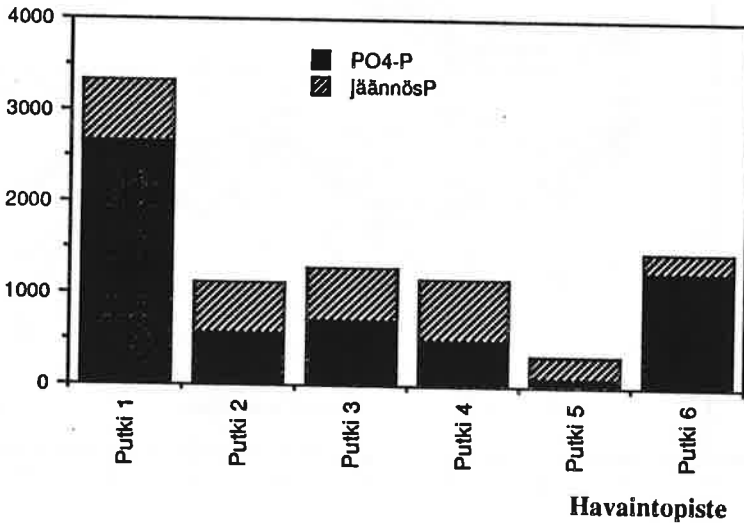
Osa Lapuan näytteistä muuttui keltaiseksi kuljetuksen aikana, mikä viittaa raudan saostumiseen. Vertailututkimusten perusteella raudan saostumista ja pH-arvon pienenemistä tapahtui erityisesti putkien 1 ja 2 näytteissä, kun taas näytteet putkista 5-7 säilyivät värittöminä. Pohjaveden pinnan padottamisesta johtuen säätöojitetulla alueella syntyy ilmeisesti vähähappinen kerros, mitä kuvastaa myös pohjaveden laatu pisteessä 1 lähinnä säätökaivoa ja sen muuttuminen kauempana olevissa pisteissä (3-4). Vertailualueella suurin osa tyyppistä on nitraattina, mikä indikoi selvästi hapellisia olosuhteita. Myös maaperänäytteet lokakuussa 1993 osoittivat vastaavan tyyppisen jakauman nitraatin ja ammoniumin välillä. Säätöojitetulla alueella ammoniumtypen osuus (2 M KCl-uutto) kasvoi välittömästi, kun maa oli vedellä kyllästynyt. Vertailualueella nitraattia oli huomattavasti enemmän kuin ammoniumia.

Luumäen turvepelloilla kokonaistyyppipitoisuus putkissa 1-4 (alue I) oli hyvin tasainen, keskimäärin 3.72-3.86 N mg/l. Putkissa 5 ja 6 (alue II) vastaavat pitoisuudet olivat hiukan korkeammat 4.56 N mg/l ja 5.37 N mg/l. Erot alueiden välillä johtuvat ennen kaikkea erilaisesta lannoituksesta, maanmuokkauksesta ja viljelykasvista. Alueella I kasvoi monivuotista nurmea ja sitä lannoitettiin pelkästään väkilannoitteilla vuonna 1993. Alueella II kasvoi raiheinää ja sinne oli levitetty sekä karjanlantaa että väkilannoitteita. Syksyllä alue II kynnettiin voimaperäisesti, minkä on todettu lisäävän huuhtoutuvan typen pitoisuuksia monivuotiseen nurmeen verrattuna (esim. Turtola 1992). Typen fraktioiden jakauma eri putkissa oli hyvin tasainen. Nitriitti- ja nitraattityppeä esiintyi käytännössä vain alueella II (kuva 10).

Typpipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)



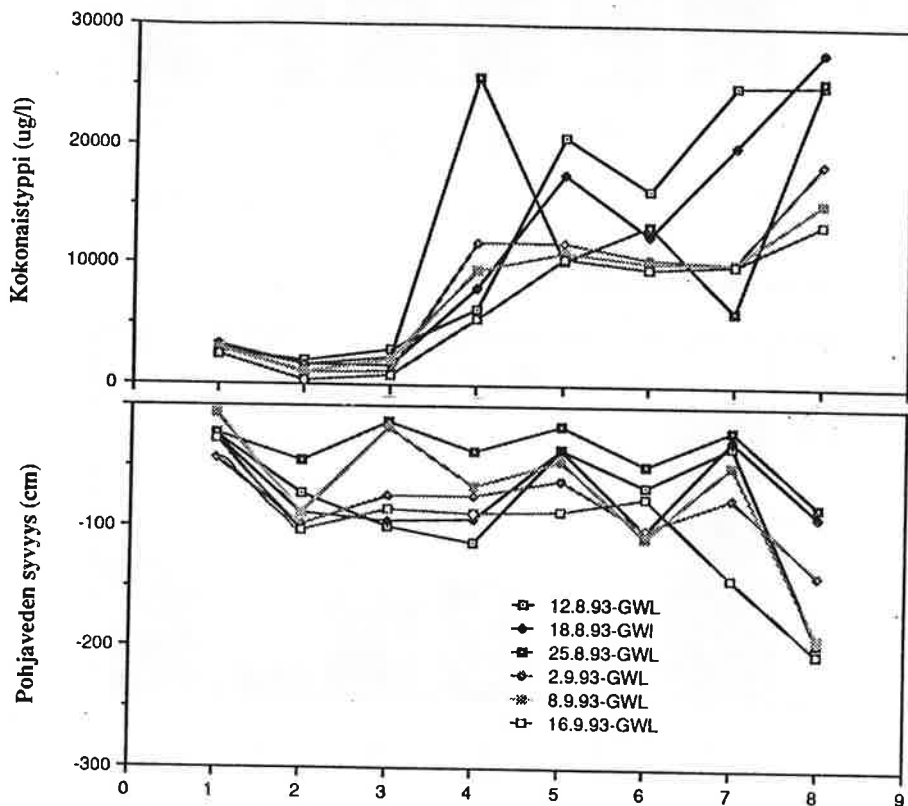
Fosforipitoisuus ($\mu\text{g/l}$)



Kuva 10. Ravinnefraktiot Luumäen havaintoputkissa. (a) typpi ja (b) fosfori. Keskiarvot kesä-syysy 1993.

Kokonaistyyppipitoisuuden ja pohjaveden pinnan korkeuden vaihtelu

Säätöojitustutkimuksessa pyritään selvittämään, vaikuttaako pohjaveden pinnan padotus ravinnepitoisuuksiin. Seuraavassa on tarkasteltu pohjaveden pinnan korkeuden ja kokonaistyyppipitoisuuden välisiä yhteyksiä lähinnä Sjökullassa ja Tuusulassa. Näillä koalueilla havaintoputket sijaitsevat samanlaisissa olosuhteissa (maalaji, viljelytoimenpiteet ja -kasvi) ja havaintoja on suhteellisen runsaasti. Lapualla kokonaistyyppipitoisuuksissa oli selvä ero säätöojitetun ja vertailualueen

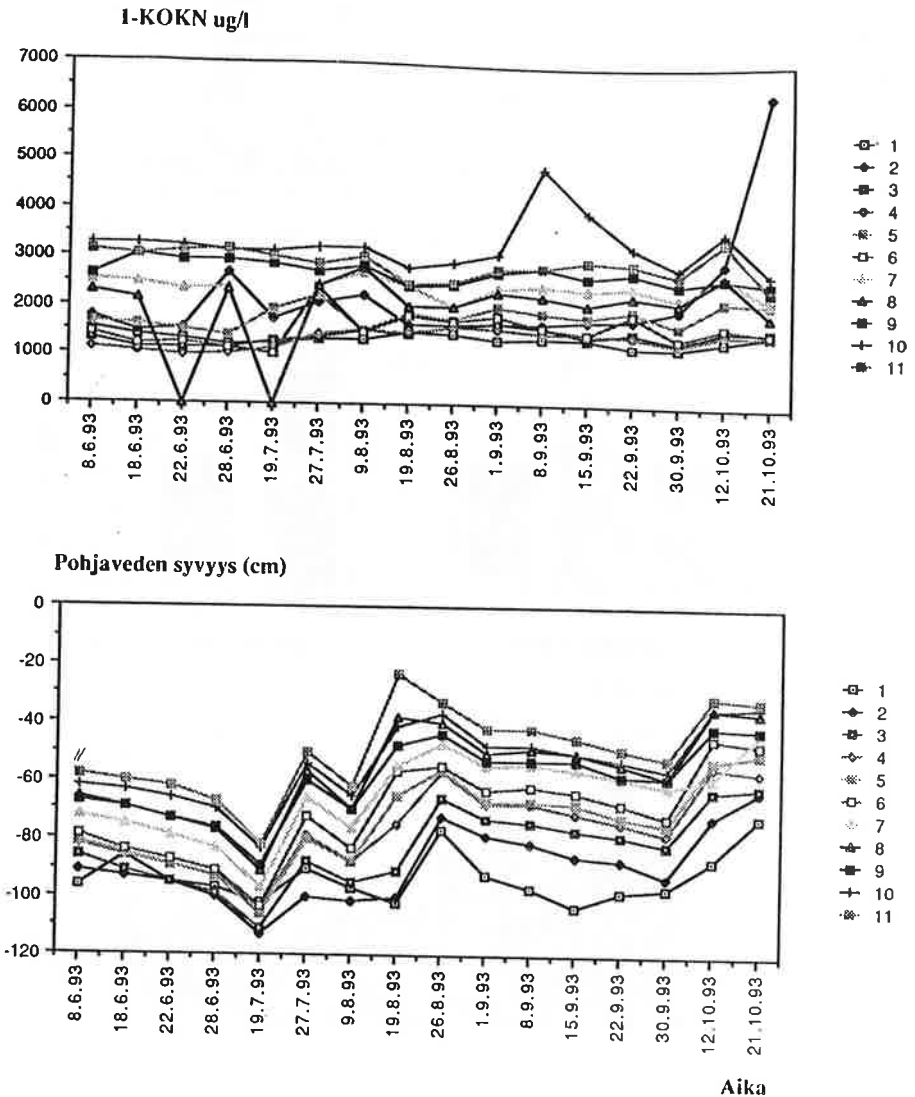


Havaintoputki 6, 7, 8, 9, 2, 3, 4 ja 10

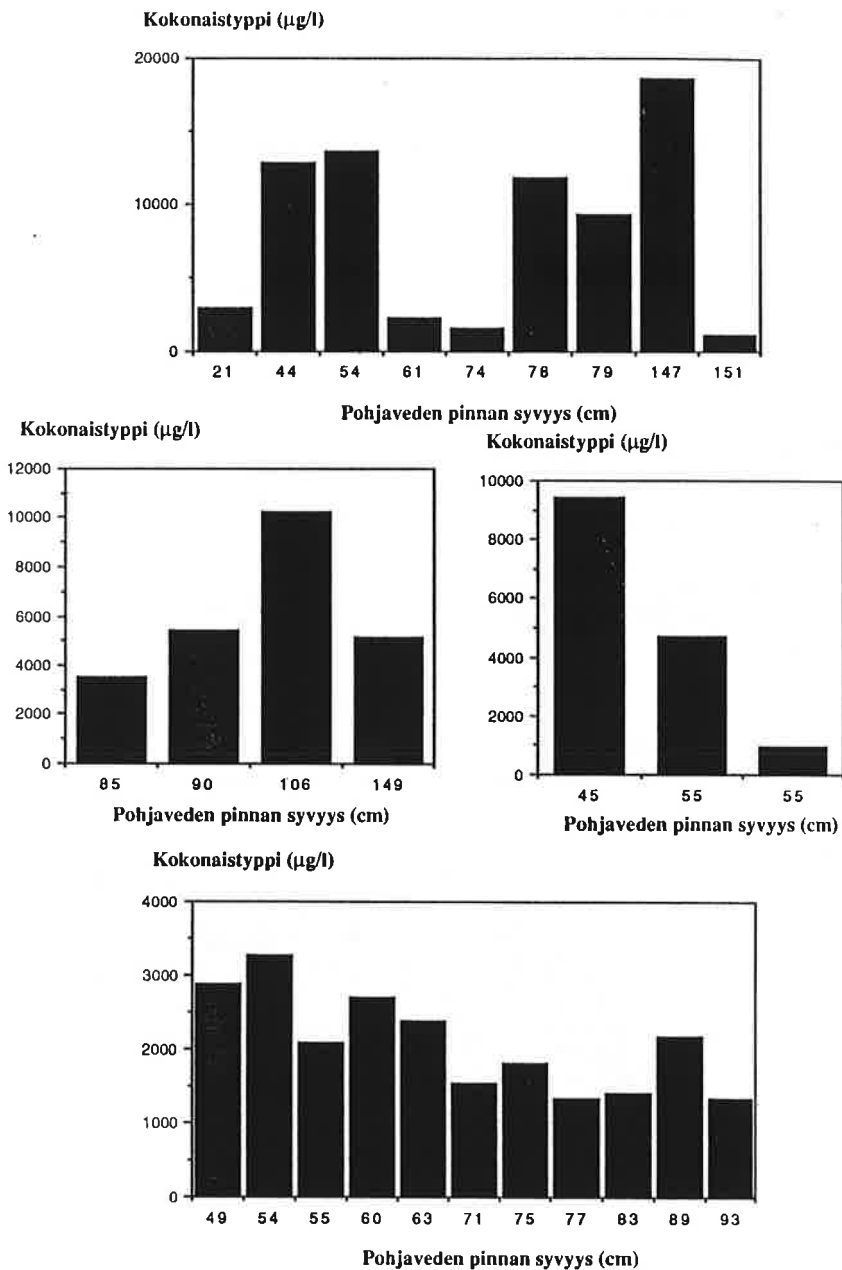
Kuva 11. Pohjaveden (a) kokN-pitoisuuden ja (b) pinnan vaihtelu Sjökullassa koalueen I eri havaintoputkissa ja -ajankohtina.

välillä. Pohjaveden pinnan vaikutusta pitoisuuksiin on vaikea arvioida, koska vertailualueelta ei ollut käytettävissä pinnan korkeuden mittauksia.

Kuvassa 11 on esitetty kokonaistyyppipitoisuuden ja pinnan korkeuden vaihtelu Sjöckullan alueella I elo-syyskuussa 1993. Pohjaveden pinnan syvyys rinteen



Kuva 12. Pohjaveden (a) kokN-pitoisuuden ja (b) syvyyden vaihtelu Tuusulassa.



Kuva 13. Keskimääräinen pohjaveden syvyys ja kokonaistyyppipitoisuus (a) Sjö-kullan alue I (b) alue II ja (c) alue III, ja (d) Tuusula.

suunnassa vaihteli 0.20-2 metriin maanpinnasta. Virtausolosuhteet putkiin saattavat vaihdella hyvinkin paljon, mitä osoittavat suuret erot jopa vierekkäisissä putkissa. Havaintopisteiden 8 ja 9 välillä on selvä muutos typpipitoisuuksissa, mutta niiden pohjaveden pinta vaihtelee suhteellisen vähän. Rinteen yläosassa putkien 4 ja 10 välillä on selvä ero sekä typpipitoisuuksissa että pohjaveden syvyydessä. Kuitenkin pohjaveden pinta putkessa 4 nousee poikkeuksellisen korkealle pisteeseen 10 nähden, mikä johtunee pinavaluntavesien kulkeutumisesta putkeen. Kesän ja syksyn 1993 padotuksen vaikutusta pohjaveden typpipitoisuuksiin on lähes mahdotonta arvioida, koska Sjökullassa pellon kaltevuudella näyttää olevan ratkaiseva merkitys. Lisäksi maaperätekiöiden osuus typen esiintymiseen (denitrifikaatio ja mineralisaatio) on selvitettävä tarkemmin. Kasvien typen otto säätöojitetulla alueella oli selvästi korkeampi kuin vertailualueella, mikä vähentää huuhtoutuvan typen määrää. Toisaalta typpipitoisemmat kasvinjäänteet maassa lisäävät huuhtoutumisaltista tyyppiä, joten kokonaisvaikutus pitoisuuksiin jää vielä epäselväksi.

Tuusulan koalueella sekä typpipitoisuus että pohjaveden pinnan korkeus muuttui hyvin tasaisesti paikan ja ajan suhteen (kuva 12). Tulosten tulkintaa vaikeuttaa se, että myös näytteenottosyvyys muuttui systemaattisesti kuten edellä mainittiin. Kasvien typenotto oli suurempi alueella (putket 1-7), jossa pohjaveden pinta oli syvällä. Tuusulassa noin puolet kokonaistypistä oli ammoniumtyppiä ja vain murto-osa nitraattityppiä, mikä vaikuttaa siihen ettei pinnan korkeuden ja pitoisuuden välillä selvää riippuvuutta pystytä ehkä havaitsemaankaan. Toisaalta tietyssä kosteudessa nitraattitypen muodostuminen saattaa selvästi lisääntyä.

Yhteenvetona typpipitoisuuksista ja pohjavesien syvyyksistä on esitetty niiden keskimääräiset arvot kuvassa 13. Tarkastelujakso on valittu siten, että havaintoja on lähes yhtä paljon kaikista pisteistä tietyllä osa-alueella. Sjökullassa typpipitoisuuteen vaikuttaa sekä pohjaveden pinnan syvyys että havaintopisteen sijainti. Esimerkiksi rinteen ääripäissä (alue I ja alue III pitoisuusero oli noin moninkertainen, vaikka pohjavesi oli lähes samalla syvyydellä maanpinnasta.

Yhteenvedo ja johtopäätökset

Artikkelissa on esitetty alustavia mittaustuloksia pohjaveden laadusta ja pinnan korkeudesta, jotka on saatu eri peltoalueilla sijaitsevista havaintoputkista huhti/kesäkuusta lokakuulle 1993. Koekentät edustavat kivennäis- ja turvemaita. Tarkastelujaksolla myös niiden kasvusto ja viljelytoimenpiteet poikkesivat toisistaan. Tulosten perusteella pohjaveden laatu vaihteli huomattavasti samalakin peltoalueella eri pisteissä ja ajankohtina. Erityisesti Sjökullan koalueella tuli esille pellon kaltevuuden vaikutus typpipitoisuuksiin. Pitoisuudet kasvoivat

rinteen suunnassa. Lapualla oli selvä ero veden typpipitoisuuksissa, typen fraktioissa ja happamuudessa säätöojitetun ja vertailualueen välillä. Maaperän ominaisuuksilla (happamat ja pelkistyneet sulfaattimaat) sekä näytteenotolla ja säilytyksellä on todennäköisesti huomattava merkitys veden laadun vaihteluun. Tuusulassa typpipitoisuus ja pohjaveden pinta vaihtelivat lähes systemaattisesti havaintolinjaa pitkin, mikä johtunee näytteenottosyvyyden samantyyppisestä vaihtelusta. Luumäen kaksi havaintoaluetta poikkesivat viljelytoimenpiteiltään niin paljon toisistaan, että saadut tulokset kuvastavat lähinnä tasausvaihtelua tulevia kokeita varten.

Koekentistä ja -järjestelyistä johtuen ei pohjaveden pinnan korkeuden ja ravinnepitoisuuksien välistä riippuvuutta voitu yksikäsitteisesti osoittaa käytettävissä olevan aineiston perusteella. Typen esiintyminen maaperässä ja pohjavedessä on usean eri tekijän yhteisvaikutuksen tulos, minkä vuoksi yksittäisen tekijän vaikutusta on vaikea selvittää ilman systemaattista koejärjestelyä esimerkiksi koeruuduissa tai lysimetreissä. Myös uusien havaintoputkien asentaminen nykyisille koalueille ja uusien vertailualueiden perustaminen lisää mittausten luotettavuutta. Näytteenottotekniikan ja näytteiden kuljetuksen (säilytys) on todettu aiheuttavan epätarkuutta tuloksiin varsinkin Lapuan osalta. Tämän vuoksi kentällä suoritettavat mittaukset mm. happipitoisuudesta ja redox-potentiaalista antavat tietoa siitä, mitkä prosessit ovat vallitsevia (mahdollisia) tietyssä maaprofilissa tai ajankohtana.

Denitrifikaatiolla on arvioitu olevan erittäin suuri merkitys typen häviöihin normaalissakin peltoviljelyssä. Jotta pohjaveden padotuksesta denitrifikaatioon saataisiin käsitys, olisi mittauksia tehtävä pellolla ajankohtina, jolloin kosteudessa säätöojitetun ja vertailualueen välillä on selvä ero. Huuhtoutumien vähentämisen kannalta tärkein ajankohta on sadonkorjuun jälkeinen tilanne, jolloin mineralisaatio ja valumat ovat suurimmillaan.

Kirjallisuus

Anon. 1991. Nitrogen and Phosphorus in Groundwater. NPo-forskning fra Miljøstyrelsen. B-abstracts. Project Abstracts of the Danish NPo Research Programme. Miljøstyrelsen.

Hallberg, G.R. 1989. Nitrate in Ground Water in the United States. Teoksessa: Follett, R.F. (toim.): Nitrogen Management and Ground Water Protection. Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology 21. Elsevier. 35-74.

Hyvönen, P. 1992. Säättosalaojitustutkimuksen mittaus- ja tiedonkeruujärjestelmä. Julkaisussa: Laikari, E. & Karvonen, T. (toim.): Säättosalaojitus - Koekenttien perustaminen. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 16. Helsinki. 18-21.

Jürgens-Geschwind, S. 1989. Ground Water Nitrates in Other Developed Countries (Europe) - Relationships to Land Use Patterns. Teoksessa: Follett, R.F. (toim.): Nitrogen Management and Ground Water Protection. Developments in Agricultural and Managed-Forest Ecology 21. Elsevier. 75-138.

Kalita, P.K., McCool, D.K. & Kanwar, R.S. 1993. Groundwater Management for Environmental Benefits. Proceedings of the International Conference on Environmentally Sound Water Resources Utilization. Bangkok, Thailand, 8-11 November 1993. I-174-181.

Karvonen, T. & Taskinen, A. 1992. Salaojitus, säättöojitus ja ravinteiden huuhtoutuminen - kirjallisuuskatsaus. Julkaisussa: Laikari, E. & Karvonen, T. (toim.): Säättosalaojitus - Koekenttien perustaminen. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote N:o 16. Helsinki. 22-40.

Korkka-Niemi, A. et al 1993. Valtakunnallinen kaivovesitutkimus. Talousveden laatu ja siihen vaikuttavat tekijät. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja - sarja A, 2/93. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki.

Lahermo, P. & Kutvonen, H. 1990. Nitraatit pohjavedessä. Ympäristö ja terveys, 7: 476-482. Lind, A-M. 1979. Nitrogen in Soil Water. Nordic Hydrology, 10: 65-78.

Madramotoo, C.A., Dodds, G.T. & Papadopoulos, A. 1993. Agronomic and Environmental Benefits of Water-Table Management. J. of Irrigation and Drainage,, Vol. 119, No. 6: 1052-1065.

Paasonen-Kivekäs, M. 1993. A study on leaching and storage of nitrogen in the soil-plant system. Lisensiaatintyö. Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. Espoo.

Pekkarinen, M. 1979. Ravinteiden huuhtoutuminen Siuntionjoen vesistöalueella. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorio. Espoo.

Rekolainen, S., Kauppi, L. & Turtola, E. 1992. Maatalous ja vesien kuormitus - MAVERON loppuraportti. Rekolainen, S. 1993. Assessment and mitigation of agricultural water pollution. Publications of the Water and Environment Research Institute 12. National Board of Waters and the Environment. Helsinki.

Rönkä, E., Soveri, J. & Hyypä, J. 1987. Pohjavesien typpipitoisuuksista. Kuopion vesitutkimuspäivät 14-15.10.1987. "Typen pitoisuus ja merkitys vesissä". Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja nr. 45. 13-36.

Rönkä, E. 1988. Valvontatehtävät käynnistivät pohjaveden nitraattipitoisuutta selvittelevän tutkimusprojektin. *Geologi*, 40, Nro 4-5: 92-96.

Schwab, G.O, Fausey, N.R., Desmond, E.D. & Holman, J.R. 1985. Tile and Surface Drainage of Clay Soils. Research Bulletin 1166. The Ohio State University, Ohio Agricultural Research and Development Center. Wooster, Ohio,

Seuna, P. & Kauppi, L. 1981. Influence of sub-drainage on water quantity and quality in a cultivated area in Finland. *Vesientutkimuslaitoksen julkaisuja* 43. Vesihallitus. Helsinki. 32-47.

Turtola, E. & Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 6/85. Jokioinen.

Turtola, E. & Jaakkola, A. 1987. Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 22/87. Jokioinen.

Turtola, E. 1992. Kesannointimenetelmän vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.): Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristö-hallituksen monistesarja Nro 359. Helsinki. 135-145.

Vainlo, E. 1984. Typpiyhdisteet maatalousalueiden kaivovesissä. Vesihaölliituksen monistesarja 1984:240. Helsinki.

Ylärinta, T., Uusi-Kämppi, J. & Jaakkola, A. 1992. Typen huuhtoutuminen ja hyväksikäyttö lysimetrikeissa. Julkaisussa: Rekolainen, S. & Kauppi, L. (toim.): Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristö-hallituksen monistesarja Nro 359. Helsinki. 17-25.

SÄÄTÖSALAOJITUSKOKEISIIN OSALLISTUNEIDEN VIJELIJÖIDEN MIELIPITEITÄ

mmyo Noor Sepahi,
Teknillinen korkeakoulu, vesitalouden laboratorio

Tutkittaessa sääätosalaoituksen soveltuvuutta Suomeen on tärkeää saada tietää millaisia kokemuksia menetelmästä on saatu käytännön viljelyssä. Kokeeseen osallistuviin viljelijöihin on pidetty säännöllisesti yhteyttä. Maaliskuussa -94 tehtiin kauimmin mukana olleille kysely, jonka palautteena saatiin käytännön kokemusten lisäksi joitakin parannusehdotuksia. Seuraavassa yhteenvedo kyse-
lyn tuloksista.

Tuusula

Koalueella, jonka koko on noin 1,5 hehtaaria, on viljelty kauraa. Sen maalaji on turve. Koalueella on vain yksi sääätosalaoituskaivo ja pohjavesiputkia on yksitoista.

Viljelijä Lauri Heikkilän mukaan sääätosalaoituksella ei turvemaissa ollut merkittävää vaikutusta satotasoon padotuskastelua ajatellen, mutta savimaissa sillä on suuri vaikutus. Heikkilä ei tässä vaiheessa halua kommentoida sääätosalaoituksen vaikutusta ympäristön kuormitukseen, vaan haluaa odottaa tutkimuksen lopputulosta. Heikkilä on sitä mieltä, että sääätosalaoituksen toteuttaminen on suhteellinen helppoa ja halpaa. Hänen mukaansa pitäisi kuitenkin pyrkiä siihen, ettei pohjaveden pinta häiritsisi keväällä ja kesällä kylvö-, ruiskutus-, tai korjuu-
töitä.

Kirkkonummi

Maalajiltaan savea olevalla, noin seitsemän hehtaarin laajuisella koalueella on kaksi sääätosalaoituskaivoa ja 17 pohjavesiputkea. Koeaikana sillä on viljelty rypsiä, vehnää ja kauraa.

Viljelijä Åke Hellström on sitä mieltä, että sääätosalaoitus ilmeisesti vaikuttaa positiivisesti ympäristöön, ja että sen toteuttaminen on helppoa ja erittäin edullista. Se ei aiheuta merkittäviä ongelmia viljelytöissä. Hellströmin mukaan sääätosalaoitus on hyvin mielenkiintoinen idea. Hän odottaa tutkimustuloksia ja uskoo, että nykyistä sääätökaivoa voidaan vielä kehittää paremmaksi.

Luumäki

Alue on noin 13 hehtaaria rahkasuopeltoa, jolla viljelty heinä. Viljelijä Harri Heikkilän mukaan säätosalaajituksen seurauksena sadon lisäys kesällä -92 oli ollut erittäin hyvä, mutta kesällä -93 tulos ei ollut niin selvä.

Heikkilän mielestä säätosalaajitus vaikuttaa ympäristöön niin, että ravinteiden huuhtoutuminen ympäristöön vähenee. Se ei vaikeuta viljelytöitä eikä aiheuta merkittäviä ongelmia, ja sen toteuttaminen on hyvin helppoa, sanoo Heikkilä. Hänen mielestään säätosalaajitus on hyvin halpa ja hyvä kastelujärjestelmä, varsinkin niillä alueilla, joilla pohjaveden pinta on korkealla.

Viljelijä Heikkilä korostaa, että laskukaivoja ja laskuaukkoja pitää kehittää. Hän ehdottaa laitettavaksi kolme päällekkäistä laskuaukkoa, jolloin padotus säädettäisiin sulkemalla laskuaukko esimerkiksi korkilla. Heikkilän mukaan menetelmällä olisi mm. se etu, että talvella ei tapahtuisi jäätymistä.

Lapua

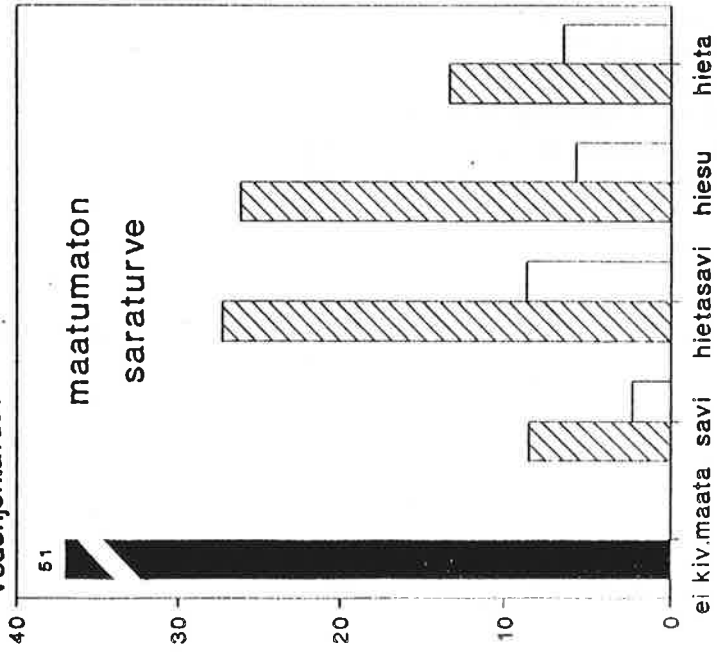
Koealueella, joka on 2,5 hehtaaria hietapeltoa, on yksi padotuskaivo. Pohjaveden pinnankorkeutta sekä pohjaveden laatua tarkkaillaan alueelle asennetuilla seitsemällä pohjavesiputkella.

Maanviljelijä ja salaajateknikko Kalevi Pelanteri on sitä mieltä, että vaikka hänen kokemuksensa ovat vasta yhdeltä kasvukaudelta, säätosalaajitus näyttää vaikuttavan edullisesti sekä lannoitteiden että sadon määrään. "Perustelen käsitykseni sillä, että mikäli pellon kosteusolosuhteet voidaan säätää patojen avulla kasville tasaisesti koko kasvukauden ajaksi, niin maassa olevat ravinnevarat tulevat tehokkaasti kasvien käyttöön, kun kasvusto ei kärsi kuivuutta.", kertoo Pelanteri.

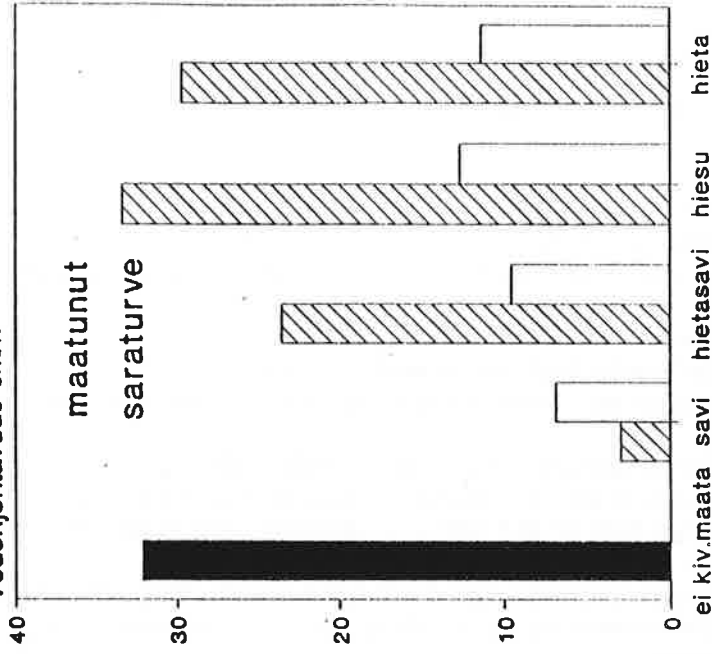
Hänen mukaansa typpihuuhtoutumat padotetulta alueelta ovat selvästi pienemmät kuin perinteisesti salaajitetulta alueelta. Pelanterin mielestä Pohjanmaan tasaisilla peltoalueilla säätosalaajituksen rakentaminen on helppoa ja kohtuuhintaista, eikä se ole aiheuttanut mitään viljelytekniisiä ongelmia. Padotuskastelun toteuttamista kannattaisi kokeilla ja tutkia sellaisella peltoalueella, jolla on saatavana ulkopuolista, hyvää kasteluvettä, hän suosittelee.

"Olen henkilökohtaisesti kiinnostanut säätosalaajituksesta, koska toimin salaajittajana ja viljelijänä. Mielestäni säätosalaajituksella on mahdollista tehostaa pellon vesi- ja ravinnetaloutta eli saada satotasoa nousemaan ja ravinnepanoksia pienemmäksi", Pelanteri sanoo. Hänen mielestään salaajasuunnitteluun tulisi kehittää yksinkertaista ja halpaa säätosalaajakaivon mallia ja rakennetta.

Vedenjohtavuus cm/h



Vedenjohtavuus cm/h



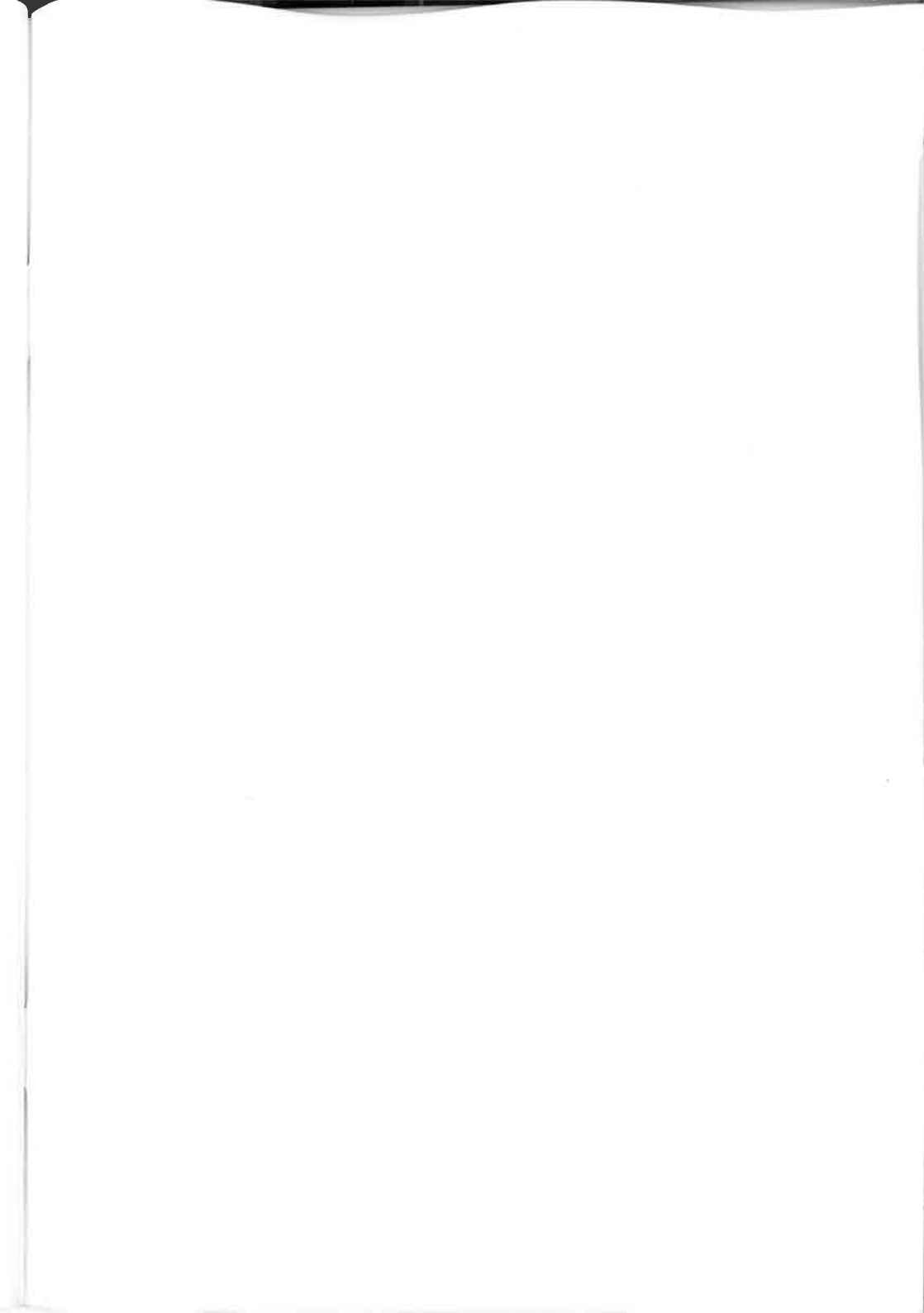
Kivennäismaata seoksessa (til-%):



KORJAUS: Viime tiedotteessa oli Merja Myllyksen artikkelista jäänyt pois kuva, jonka julkaisemme nyt ohessa. Pahoittelemme virhettä.

Aikaisemmin ilmestyneet Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet:

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojatutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoetoinnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista (1987)
- 4 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987...1988 (1988)
- 5 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
- 6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa (1989)
- 7 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 27.9.1988 (1989)
- 8 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka (1989)
- 9 Sievin salaojituspäivät 20.-21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista (1989)
- 10 Maaseudun ympäristöpäivä Laukaalla 20.3. ja Jokioisissa 26.3.1990 (1990)
- 11 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä rautasaostuman muodostumisesta (1990)
- 12 Salaojitusnäkymiä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
- 14 Myyräojituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo - koekentän tuloksia (1992)
- 16 Säättösalojitus - koekenttien perustaminen (1992)
- 17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta
- 18 Säättösalojitus - tutkimustuloksia vuosilta 1992-1993





SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY
SIMONKATU 12 A 11
00100 HELSINKI
p. 90-694 21 00