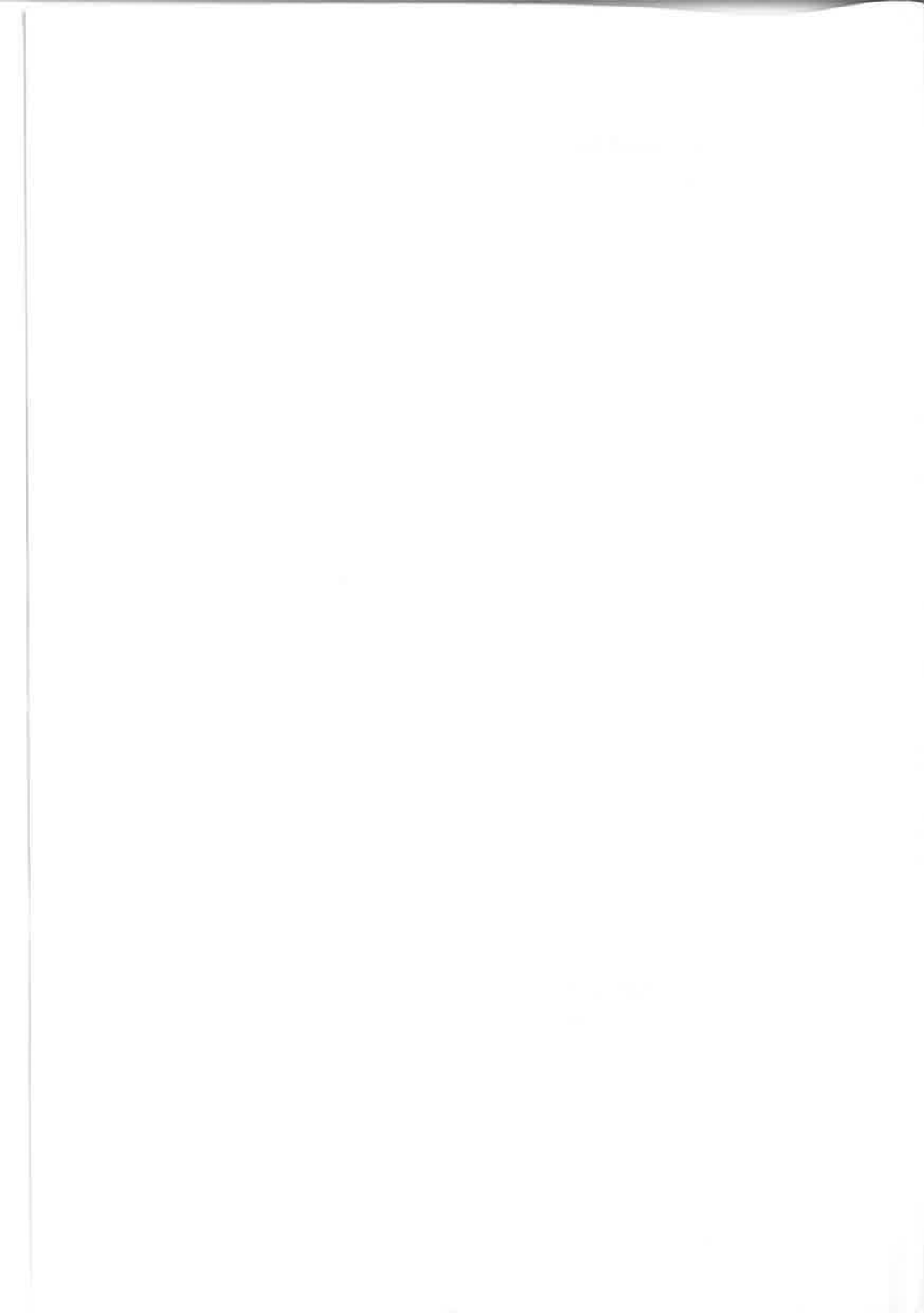


SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE

N:o 12

SALAOJITUSNÄKYMÄ MAAILMALTA

HELSINKI 1990



SALAOJITUSNÄKYMİÄ MAAILMALTA

Tämän julkaisun on rahoittanut Salaoituksen Tukisäätiö

* * *

Julkaisija: Salaoituksen tutkimusyhdistys ry.
Toimitus: DI Esko Laikari (vastaava)
VTK Heikki Aarrevaara
ISSN 0783 - 392 X

Sisällysluettelo

<i>Ohjeita pohjavedenkorkeuden säätelymiseksi Pohjois-Carolinassa</i> R.O. Evans ja R.W. Skaggs	5
<i>Maalajit ja niiden ominaisuudet kahdella kuivatuskokeilupalstalla Niilin Suistossa</i> A.A. Wahdan, A.A.M. El Gayar, M.K. Helml, M.H. El Khattib, M.E. Selem, M.B. El Ghany ja T.G. Sommerfeldt	21
<i>Uuden Seelannin muuttuvat salaojituskäytännöt</i> K.W. McAuliffe ja D.J. Horne	29

Ohjeita pohjavedenkorkeuden säätelemiseksi Pohjois-Carolinassa

R.O. Evans ja R.W. Skaggs

Biological and Agricultural Engineering, North Carolina State University

Johdanto

Yhdysvaltojen Pohjois-Carolinan osavaltiossa noin 40 % viljelykasveista kasvatetaan heikosti kuivuvilla mailla. Viljelysmaan kuivatus on ollut maan vesitalouden tärkein osa-alue itäisessä Pohjois-Carolinassa, jossa kuivatusprojektit on aloitettu jo 1600-luvun lopulla. Tavallisesti kuivatusjärjestelmät olivat noin 100 m suuruisin välein kaivettuja avo-ojia, joilla saatiin aikaan pääasiassa pintakuivatus-ta.

Avo-ojitusjärjestelmät ovat tehneet viljelykasvien viljelemisen mahdolliseksi monilla sellaisilla mailla, jotka muuten eivät olisi olleet tuottavia. Usein tavanomainen kuivatusjärjestelmä ei kuitenkaan poista liikavettä tarpeeksi nopeasti, niin että maan vesitaloudessa syntyisi viljelykasvituotannon kannalta edullisin tilanne.

Salaojitus on ollut Pohjois-Carolinassa suosittua kolmen vuosikymmenen ajan ennen vuotta 1980. Tänä aikana liittovaltio auttoi viljelijöitä rakentamaan tiili- tai muoviputkisalaojia lähes 500 000 hehtaarin suuruiselle alueelle.

Vaikka salaojitus onkin monin paikoin parantanut tuottavuutta, yli 50 % Pohjois-Carolinan heikosti läpäisevistä maista voitaisiin parantaa tehokkaammalla salaojituksella. Näin parannettaisiin tuottavuutta ja lisätäisiin kuivatuksen luotettavuutta.

Intensiivisen kuivatuksen seurauksena maatalouden aiheuttamat valunnat olleet osasyynä veden laadun heikkenemiseen. Monia

tärkeitä suolaisen veden kalanviljelyalueita on tuhoutunut, kun makeaa vettä on virrannut suolaiseen veteen (Gilliam ja Skaggs, 1985; Jones ja Sholar, 1981; Magette ja Weismiller, 1984).

Vuonna 1985 annettu asetus ruoan turvallisuudesta (Food Security Act) sekä maataloudessa vallitseva heikko taloudellinen tilanne ovat rajoittaneet maanparannusta. Ne ovat vähentäneet merkittävästi uselden peltonraivaukseen ja kuivatukseen liittyvien viljelytoimenpiteiden laajuutta. Sen sijaan viljelijät etsivät tehokkaampia menetelmiä, joilla saataisiin sadot suuremmiksi ja viljeltävien maiden tuottavuus paremmaksi.

Viime vuosien epätavallisen kuivien kasvu-kausien seurauksena sadot ovat pienentyneet, kun tavallisesti kosteita maita onkin vaivannut kuivuus. Aikaisemmat kuivatukset eivät säästäneet vettä. Tämän seurauksena tehokkaat kuivatusjärjestelmät, jotka kosteiden jaksojen aikana olivat välttämättömiä viljelymaan suojelemiseksi, ovat epätavallisen kalliina kausina helposti kuivattaneet monia alueita liikaa. Siten ne ovat lisänneet kuivuuden aiheuttamia vahinkoja. (Doty ym., 1982).

Edellä mainittujen ongelmien johdosta Pohjois-Carolinan tavanomaiset kuivatusjärjestelmät on nopeasti muutettu pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmiksi. Ne huolehtivat kuivatuksesta kosteiden jaksojen aikana, mutta estävät liiallisen kuivatuksen pohjavedenpinnan korkeutta säätelevien rakennelmien avulla, jotka sijaitsevat järjestelmän laskuaukoissa. Lisäksi niiden avulla voidaan

hoitaa kastelu kuivlen kausien aikana. Kun nämä järjestelmät suunnitellaan huolellisesti ja niitä huolletaan kunnolla, ne tarjoavat suunnattomia mahdollisuuksia kuivatusveden laadun parantamiseksi (Deal ym., 1986; Evans ym., 1987a; Gilliam ym., 1987, 1979; Skaggs ym., 1982).

On jo pitkään tiedetty (Schilfgaarde, 1965, 1970), että keinotekoiset kuivatusjärjestelmät on tehtävä räätälintyönä alueen maalajeihin, viljelykasveihin ja ilmasto-olosuhteisiin sopiviksi. Suurin osa kuivatusjärjestelmistä - olivat ne sitten avo- tai salaojia - on kuitenkin rakennettu paikallisia nyrkkisääntöjä noudattaen.

Pohjois-Carolinassa useimmissa avo-ojituksissa käytetty 100 m suuruinen ojaväli on valittu enemmän työkonoiden käytön helpouden ja suunnitelman yksinkertaisuuden kuin alueen kuivatusominaisuuksien perusteella. Salaojien ojaväli on määritetty tietyn maalaajin keskimääräisten ominaisuuksien perusteella. Monissa tapauksissa tulokset eivät ole olleet tyydyttäviä, koska tietyn alueen maaperän ominaisuudet harvoin noudattavat keskiarvoja. On tehty joko liian tehokkaita tai tehostomia ojastoja. (Skaggs ja Tabrizi, 1984).

Viimeksi kuluneiden runsaiden 15 vuoden ajan tutkijat ovat kehittäneet parempia menetelmiä heikosti kuivuvien maiden vesitalousjärjestelmän suunnittelemiseksi ja käyttämiseksi. Tietokonekäyttöinen simulaatiomalli DRAINMOD (Skaggs, 1978) tarjoaa käytännöllisen menetelmän, jolla vesitalousjärjestelmän suunnittelu voidaan suhteuttaa maaperän ominaisuuksiin ja ilmasto-olosuhteisiin. Salaojituksen ja padotuskastelun ojavälien arvioimiseksi on kehitetty yksinkertaisempia menetelmiä (Skaggs ja Tabrizi, 1986; Skaggs ym., 1987); on kehitetty käyttöstrategioita veden säästämiseksi (Doty ym., 1982) ja kuivatusveden laadun parantamiseksi

(Gilliam ja Skaggs, 1985).

Jotta pohjavedenpinnan korkeutta voitaisiin säädellä tehokkaammin, suunnittelua on kehitettävä. Se ei kuitenkaan vielä takaa, että uudet menetelmät hyväksyttäisiin yleisesti tai että ne otettaisiin käyttöön. Niiden mahdollisille käyttäjille on myös järjestettävä koulutusta ja opastusta.

Seuraavassa tehdään yhteenveto menetelmistä ja ohjeista, joita Pohjois-Carolinassa suositellaan sovellettaviksi pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmien arvioinnissa, suunnittelussa, rakentamisessa ja käytössä. "Agricultural Water Table Management: A Guide for Eastern North-Carolina" (Doty ym., 1986) tarjoaa vielä yksityiskohdaisempaa tietoa.

Toimivan ja tehokkaan pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän suunnittelu ja käyttö sisältää viisi päätehtävää:

1. Alustava arviointi ja toteutettavuus
2. Seikkaperäinen tutkimus peltoalueesta
3. Suunnittelu
4. Suunnitelmakartan laatiminen ja suunnitelman toteutus
5. Käyttö ja huolto

Ensimmäiset neljä tehtävää suorittaa insinööri tai järjestelmää suunnitteleva toimisto. Tässä käsitellään näitä neljää kohtaa. Insinööri ottaa käyttöä koskevat ohjeet huomioon yleissuunnitteluvaiheessa, mutta viime kädessä ne jäävät tilan hoitajan toteutettaviksi. Niitä käsitellään tässä otsikon "Ohjeita pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmien käyttöä varten" (Operational guidelines for water Table Management Systems) alla.

Alustava arviointi ja toteuttamiskelpoisuus

Kokenut insinööri pystyy usein päättämään pohjavedenpinnan säätelymahdollisuudet alueella suoritettavan seikkaperäisen kvalitatiivisen tutkimuksen perusteella. Alueella vallitseva tilanne seuraavien kuuden yleisen perustekijän suhteen osoittaa tavallisesti, onko pohjavedenpinnan korkeuden säätely kannattavaa.

1. Kulvatuksen parantaminen

Yleensä Pohjois-Carolinassa pohjavedenpinnan korkeuden säätely on kannattavaa vain sellaisilla alueilla, joilla tarvitaan tehokkaampaa kuivatusta. Jos olosuhteet eivät vaadi salaojitusta, ja ainoa pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmästä saatava hyöty olisi padotuskastelu, tavanomainen kastelujärjestelmä on taloudellisempi vaihtoehto. Maaperätutkimusraportti osoittaa tietyn maatalajin luonnollisen kuivatusilanteen. Maaperillä, jotka on luokiteltu "jotensakin heikosti kuivuviksi", "heikosti kuivuviksi" tai "erittäin heikosti kuivuviksi", kulvatukselta on yleensä hyötyä. Ne ovat myös mahdollisia pohjavedenpinnan korkeuden säätelyn kohteita.

2. Kaltevuus

Alueet, joilla pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän rakentaminen on hyödyllistä, ovat Pohjois-Carolinassa yleensä tasaisia. Heikosti kuivuvia maita esiintyy harvoin 2 % suurempien pinnankaltevuuksien yhteydessä. Tosiasiassa vain hyvin harvoin järjestelmä on rakennettu alueelle, jonka kaltevuus ylittää 0.5 %. Kun kaltevuus lähesyy yhtä prosenttia, rajoittavaksi tekijäksi tulee yleensä yhtenäisen pohjavedenpinnan korkeuden ylläpitämiseen tarvittavien säätelyrakennelmien lukumäärä ja niistä koituvat

kustannukset.

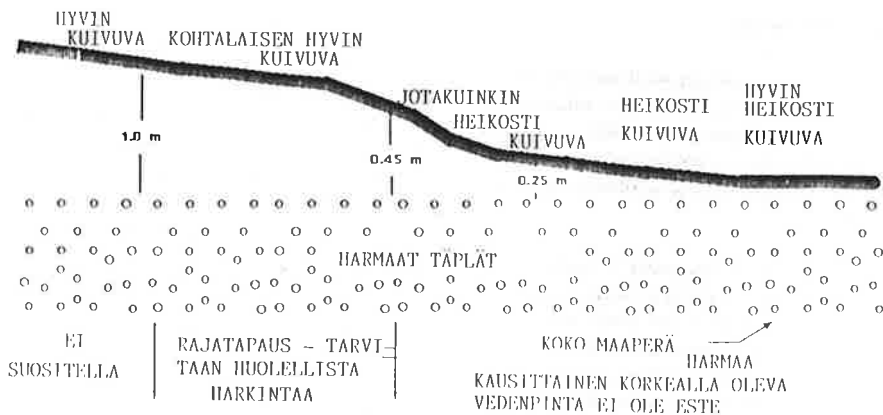
Suurin hyväksyttävä vietto on kuitenkin aluekohtainen. Siihen vaikuttaa mm. maan hydraulinen johtavuus. Kaltevuuden ollessa suurempi kuin 2 % yhtenäistä pohjavedenpinnan korkeutta on vaikeaa pitää yllä, jos maan hydraulinen johtavuus ylittää arvon 0.5 m/vrk. Sitä vastoin pienemmistä ojaväleistä koituvat kustannukset tulevat yleensä rajoittavaksi tekijäksi, jos hydraulisen johtavuuden arvo on pienempi kuin 0.5 m/vrk. Yleensä kaltevuuteen liittyvät rajoittavat tekijät ovat enemmän taloudellisia kuin teknisistä syistä johtuvia.

3. Hydraulinen johtavuus

Hydraulinen johtavuus on tärkein pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän toteuttamiskelpoisuuteen vaikuttava tekijä. Alustavaa suunnittelua varten hydraulinen johtavuus voidaan arvioida maaperätutkimusten sisältämien arvojen perusteella. Kuten kaltevuuteen, myös hydrauliseen johtavuuteen pätee se, että taloudelliset seikat rajoittavat järjestelmän suunnittelua ja käyttöä enemmän kuin tekniset. Alueen suunnittelua rajoittava hydraulisen johtavuuden arvon suuruus määräytyy potentiaalisen viljelykasvisadon suuruuden sekä viljelykasvin rahassa mitatun arvon mukaan. Tämän hetkellä maissa hinnalla, potentiaalisen sadon suuruuden ollessa 10.000 kg/ha, ei pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän rakentaminen ole taloudellisesti kannattavaa, jos hydraulisen johtavuuden arvo on pienempi kuin 0.5 m/vrk.

4. Heikosti läpäisevä kerros tai pohjavedenpinnan kausittainen korkeus

Tutkittavan alueen maaperässä on oltava kohtuullisella syvyydellä kerros, joka estää veden liiallisen tihkumisen alaspäin. Rajoittava kerros on yleensä 2-10 metrin syvyydes-



Kuvio 1. Harmaiden täplien sijainti ilmaisee alueen sopivuuden pohjavedenpinnan korkeuden säätelyyn.

sä. Tällaisen kerroksen olemassaolon ja sijainnin määrittäminen on vaikeaa tehdä käsi-kairalla, jos se sijaitsee kolmea metriä syvemmällä. Jos rajoittavan kerroksen sijaintia ei saada selville, kausittain lähelle maanpintaa nouseva pohjavesi on riittävä todiste siitä, että alueella voidaan pitää pohjavesi padotuskastelun kannalta sopivalla korkeudella. Lisäksi kausittain korkea pohjavesi on hyvä osoitus siitä, minkälainen alueen luonnollinen kuivatus on.

Ajoittain korkean pohjavedenpinnan sijainti voidaan määrittää maaperätutkimuksen tai pellolla suoritettavan tutkimuksen perusteella. Kuviossa 1 harmaat täplät osoittavat kausittaisen korkean pohjavedenpinnan sijainnin maaperässä luonnollisissa kuivatusolosuhteissa. Alueella, jossa harmaita täpliä esiintyy 0.45 cm etäisyydellä maanpinnasta, pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän rakentaminen on mahdollista. Kun harmaiden täplien sijaintisyvyys kasvaa yhteen metriin, on alueen sopivuus kyseenalaista. Liiallisesta tihkumisesta saattaa tuolloin muodostua ongelma. Tässä tapauksessa

pitäisi määrittää rajoittavan kerroksen todellinen sijaintisyvyys. Alueet, joilla harmaat täplät ovat enemmän kuin yhden metrin syvyydellä maanpinnasta, ovat luonnostaan hyvin kuivuvia. Ellei luonnolliseen kuivatukseen voida vaikuttaa, alueella tapahtuu liiallista tihkumista, jolloin se ei sovellu kovin hyvin pohjavedenpinnan korkeuden säätelyyn.

5. Salaojituksen laskuaukko

Arvioitaessa mahdollisuuksia pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän rakentamiseksi mille tahansa alueelle, salaojitus on tärkein huomioon otettava seikka. Maanpinnalla ja maakerroksissa oleva liika vesi on voitava poistaa 24 tunnissa. Käytössä saattaa olla painovoimavirtaukseen perustuva laskuaukko, joka laskee jokeen tai kanavaan. Se voidaan myös rakentaa pengertämällä kuivaettava alue ja pumppaamalla liika vesi pois. Painovoimavirtaukseen perustuvissa järjestelmissä laskuaukon on oltava vähintään 1.2 m syvemmällä kuin alueen keskimääräinen maanpinnan korkeus.

6. Vedensaanti

Jos aiotaan rakentaa padotuskastelujärjestelmä, käytettävissä on oltava riittävän suuri veden lähde. Suunnitteluvaiheessa huomioidaan otettavista tekijöistä ovat avainasemassa lähteen sijainti sekä siinä olevan veden laatu ja määrä.

Vesilähteen on sijoitettava mahdollisimman lähellä pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmää, jotta veden siirtämisestä aiheutuva hävikki ja kustannukset olisivat mahdollisimman pienet. Padotuskasteluun tarvittavan veden määrä vaihtelee riippuen säästä, kasteltavasta viljelykasvista sekä nopeudesta, jolla vesi poistuu pelloilta syväsuodattumisen tai poikittaisessa suunnassa tapahtuvan tihkumisen kautta. Yleissääntönä voidaan pitää sitä, että lähteen on kyettävä tuottamaan vettä 70 litraa minuutissa kasteltavaa hehtaaria kohti.

Tapauksissa, joissa syväsuodattumisen ja pintakerrosvalunnan kautta poistuvan veden määrä on nimellinen, riittävä määrä on 50 litraa hehtaaria kohti minuutissa. Padotuskastelun kannalta veden laatu aiheuttaa harvoin ongelmia Pohjois-Carolinassa.

Kun on määritetty alueen tekninen soveltuvuus pohjavedenpinnan korkeuden säätelyyn, on arvioitava järjestelmän kustannukset. Järjestelmän osatekijöiden kustannuksia koskevia tietoja saa Pohjois-Carolinassa paikallisten neuvontalaitosten, Soil Conservation Service ja Agricultural Extension Service Office, toimistoista. Suurimmat kustannukset aiheutuvat putkista ja vedensaannista. Ennen kuin voidaan määrittää putkista koituvat kustannukset, on arvioitava ojavälien suuruus. Tässä suunnitteluprosessin vaiheessa riittää, kun ojaväliä määritetään paikallisten nyrkisääntöjen avulla joko salaojituksen tai padotuskastelun osalta, riippuen siitä kumpi vaihtoehto valitaan.

Seikkaperäinen peltotutkimus

Suhteellisen laajojen, 100 hehtaaria tai enemmän käsittävien järjestelmien yhteydessä peltotutkimuksen suorittaminen vaatii useita miestyöpäiviä. Pohjois-Carolinassa pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmät on yleensä suunnitellut Soil Conservation Service'n henkilökunta. Koska tämän tyyppisten järjestelmien suunnittelemiseen on vain yksi näiden henkilöiden tarjoamista monista palveluista, heitä on kehoitettu ennen seikkaperäiseen peltotutkimukseen ryhtymistä hankkimaan maanomistajilta pitävä sitoumus, että he toteuttavat arvioiden tuloksiin perustuvan järjestelmän.

Maaperää koskevat tiedot

Useat maaperän ja alueen ominaisuudet vaikuttavat pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän suunnitteluun. Suunnittelun kannalta tärkeitä ominaisuuksia ovat: horisontaalinen hydraulinen johtavuus, helkosti läpäisevän kerroksen sijaintisyvyys, maan vedenpidätyskäyrä, ylöspäin suuntautuva virtaus ja kuivatettavissa oleva huokostilavuus vedenpinnan korkeuden suhteen, maakerrosten järjestys, infiltraatio, topografia ja potentiaalinen juurtumissyvyys.

Järjestelmän suunnittelu on eri tavoin herkkä eri ominaisuuksien suhteen; joitakin ominaisuuksia on pelloilla vaikeampi mitata kuin toisia; joidenkin ominaisuuksien alueen sisäinen vaihtelu on voimakkaampaa kuin toisten. Kun nämä tekijät otetaan huomioon, ei kaikilla alueilla ole käytännöllistä mitata kaikkia em. ominaisuuksia.

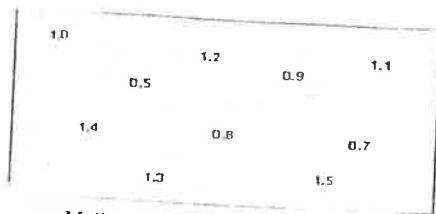
Horisontaalinen hydraulinen johtavuus eräs tärkeimmistä järjestelmän suunnitteluun vaikuttavista tekijöistä. Se on myös eräs eniten alueen sisäisesti vaihtelevista tekijöistä. Siksi kaikki mahdollisuudet määrittää jokaisella alueella edustava hydraulisen johtavuuden arvo on käytettävä hyväksi. Järjes-

telmän suunnitteluun vaikuttaa myös ylöspäin suuntautuva virtaus, johon taas vaikuttaa pohjavedenkorkeus. Tämä ominaisuus on hyvin vaikea määrittää kenttäolosuhteissa. Yleensä se arvioidaankin maan vedenpidätyskäyrän ja hydraulista johtavuutta koskevien tietojen välisen kokemuseräisen suhteen perusteella. Sama pätee myös kuivatettavissa olevan huokostilavuuden ja infiltraation määrittämiseen. Ominaisuudet, jotka on käytännöllisintä mitata pellolla, ovat seuraavat: hydraulinen johtavuus, maan vedenpidätyskäyrä, maakerrosten järjestys, heikosti läpäisevän kerroksen syvyys sekä potentiaalinen juurtumissyvyys.

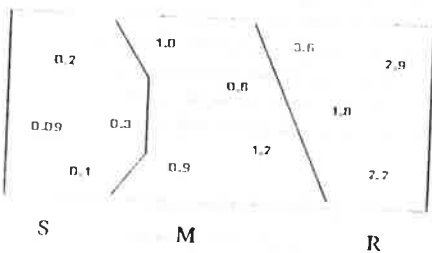
Hydraulinen johtavuus: Eräs tärkeimmistä seikoista peltotutkimuksen yhteydessä on hydraulisen johtavuuden (K) määrittäminen.

Useimmilla pelloilla hydraulisella johtavuudella on taipumusta vaihdella alueen sisällä (Tabrizi ja Skaggs, 1983). Siksi hydraulisen johtavuuden mittauspisteiden sijainnin ja lukumäärän määrittäminen ovat tärkeitä päätöksiä.

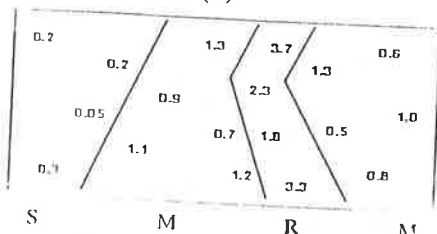
Hydraulisen johtavuuden määrittämiseksi in situ on kehitetty monia menetelmiä. Tavallisimmin käytetyt menetelmät ovat: kairanreikämenetelmä, putkimenetelmä, pietso-metrimenetelmä sekä menetelmä, jossa käytetään useita kaivoja. On myös käytetty menetelmiä, joissa K:n arvo määritetään salaojien välistä mitatun pohjavedenpinnan aleneman perusteella ja/tai salaojista tulevan mitatun virtauksen perusteella (Dieleman ja Trafford, 1976; Skaggs, 1976, 1979). Pohjavesialenemaan perustuvan menetelmän



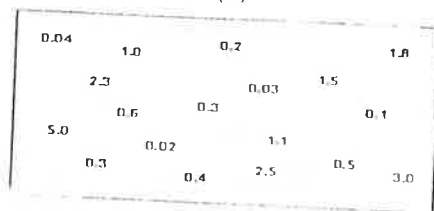
Melko yhtenäinen - käsitellään yhtenä alueena
(a)



(b)



Vain kohtalainen otetaan huomioon
(c)



Arvot ovat jakautuneet satunnaisesti - käsitellään yhtenä yksikkönä. Käytetään useimmin
(d)

Kuvio 2. Tyypillisten pelloilla mitattujen hydraulisten johtavuusarvojen alueen sisäinen vaihtelu. S (slow) = huonosti vettäläpäisevä alue; M (moderate) = kohtalaisesti vettäläpäisevä alue; R (rapid) = hyvin vettäläpäisevä alue.

etuna on se, että arvo saadaan suurelta alueelta, jolloin maaperän heterogeenisuus ja anisotropisuus tulevat huomioon otetuiksi. Näin saadaan aikaan luotettavampi K:n kenttäarvo. Haittana on se, että tässä menetelmässä vaaditaan enemmän aikaa ja välineitä kuin muissa edellä luetelluissa menetelmissä. Kairanreikämenetelmää pidetään yleensä yksinkertaisimpana ja helpoimpana Pohjois-Carolinassa käytetyistä menetelmistä.

Yleissääntönä Pohjois-Carolinassa suositellaan tehtäväksi vähintään yksi kairanreikämittaus neljää hehtaaria kohti, mutta maan ollessa vaihtelevaa saatetaan tarvita useampia mittauksia sen varmistamiseksi, että saadaan edustava arvo. Kun keskimääräinen mitattu K-arvo on pienempi kuin 0.5 m/vrk, suositellaan suoritettavaksi yksi testi kahta hehtaaria kohti.

Koko suunnittelun alaista peltoaluetta edustamaan on valittava yksi johtavuusarvo. Koska K-arvot ovat tavallisesti hyvin vaihtelevia, ei kaikkien mitattujen arvojen aritmeettisen

keskiarvon laskeminen riitä kaikkiin suunnittelutarkoituksiin. Tuloksena oleva suunniteltu ojaväli olisi liian pieni paikoissa, joissa K-arvo on keskimääräistä K-arvoa suurempi, ja liian suuri paikoissa, joissa paikallinen K-arvo on keskimääräistä K-arvoa pienempi. Käytännössä on osoittanut, että kenttäolosuhteissa kohdataan todennäköisesti jokin neljästä kuviossa 2 esitetystä tilanteesta. Se on myös osoittanut, että tulokseksi saadaan taloudellisempi järjestelmä, jos peltoalue voidaan jakaa suunnitteluyksiköiksi tai -alueiksi, joiden K-arvot ovat yhdenmukaisia. Yleisesti käytettyjen K-arvojen vaihteluväli on samansuuntainen kuin maaperätutkimusraporteissa tavattavien läpäisevyysarvojen (taulukko 1). Siten suunnittelualue on sellainen pellon osa, jota edustaa tietty vedenläpäisevyysluokka.

Kullekin suunnittelualueelle mitoituksessa käytettävä vedenläpäisevyys määritetään laskemalla tämän läpäisevyysluokan sisällä kaikkien mitattujen K-arvojen geometrisen keskiarvo. Geometrisen keskiarvon käyttämistä suositellaan, koska sen avulla saadaan

Taulukko 1. Vedenläpäisevyysluokitus mitattujen hydraulisten johtavuuksien perusteella

Luokka	Hydraulisten johtavuusarvojen vaihteluväli*	
	m/vrk	tuumaa/h
Erittäin huono	< .03	< .05
Huono	0.03 - 0.31	0.05 - 0.5
Kohtalainen	0.31 - 1.25	0.50 - 2.0
Hyvä	> 1.25	> 2.0

* Esitetyt arvot ovat tyypillisiä tutkimusraporteissa esiintyviä arvoja. Suunnittelija voi muuttaa näitä luokituksia, jotka perustuvat pelloilta tavattavien johtavuusarvojen vaihtelevuuteen, järjestykseen ja suuruuteen.

tulokseksi varmempi suunnitelma kuin käytämällä aritmeettista keskiarvoa. Erään meillä olevan tutkimuksen (Bentley ym., julkaisemattomia tietoja) alustavat tulokset osoittavat, että aritmeettinen keskiarvo saattaa antaa tulokseksi paremman arvion kun lasketaan koko alueen hydrologista johtavuutta.

Maan vedenpidätyskäyrä: Edustavat maan vedenpidätyskäyrät ovat järjestelmän suunnittelussa tärkeitä silloin, kun lasketaan ylöspäin suuntautuvan virtauksen ja kuivatettavissa olevan huokostilavuuden sekä pohjavedenpinnan korkeuden välisiä suhteita. Suunnittelu ei ole yhtä herkkä maan vedenpidätyskäyrän kuin hydraulisen johtavuuden suhteen, joten mittausvirheiden ei tarvitse olla yhtä suuri. Yksi mittaus kymmentä hehtaaria kohti jokaisesta selvästi erilaisesta maakerroksesta salaajasyvyyden yläpuolelta on yleensä riittävä.

Maan kerroksista otetuista häiriintymätömistä maanäynteistä voidaan määrittää maan vedenpidättyvyys painelevylaitteella (Hillel, 1980). Määrittäminen kestää yleensä useita viikkoja. Jos aikaa on niukasti, voidaan vedenpidättyvyyskäyrät arvioida samankaltaisista maaperistä määritettyjen käyrien avulla. Pohjois-Carolinassa, on määritetty vedenpidättyvyyskäyrät viidelletoista maalajille, jotka usein vastaavat pohjavedenpinnan korkeuden säätelyä alueella.

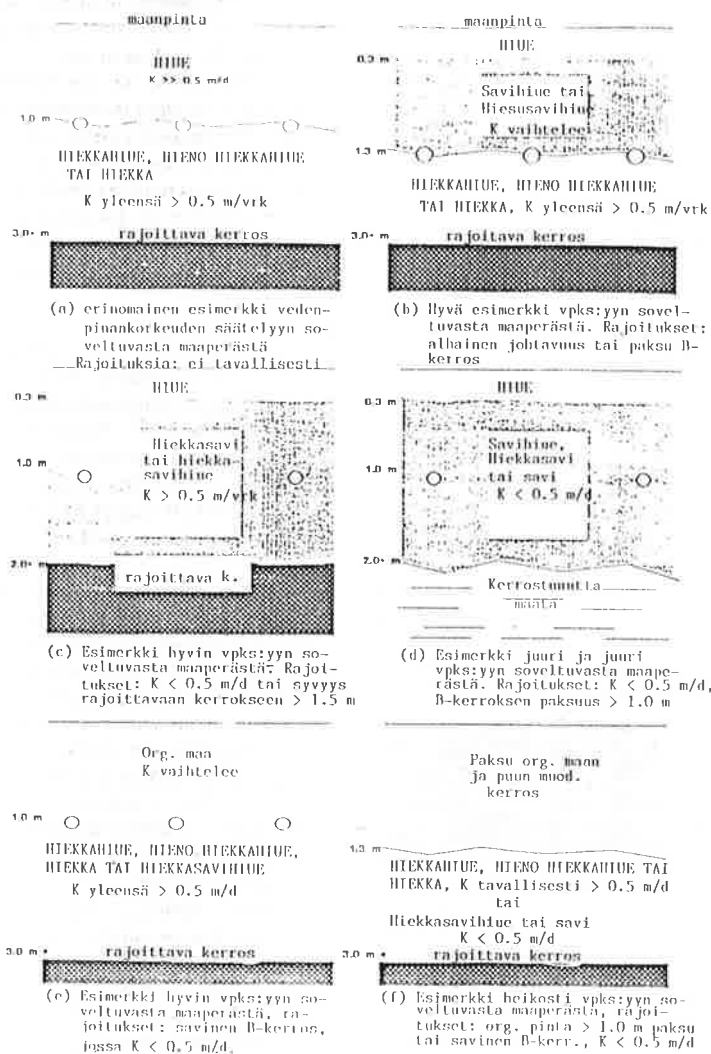
Kerrosjärjestys: Maaperän sisältämien kerrosten järjestys vaikuttaa putkien sijoittamiseen ja hydraulista johtavuutta koskevien tietojen tulkitsemiseen. Kuviossa 3a esitetystä tilanteesta salaajaputki on sijoitettava niinkin syväälle kuin savihuekerroksen pohjalle, jotta voitaisiin pienentää putkesta tal putkeen virtaavan veden hävikkiä. Lisäksi on tarpeen määrittää jokaisen yksittäisen kerroksen vedenjohtavuus. Kairanreikämenetelmällä

tehtyjen mittausten tulisi kattaa ainakin 10 % maaperästä. Maanäynteet hiukkaskokoanalyysiä varten tulisi ottaa myös salaojien sijoitusyvyvyydeltä, jos on epävarmuutta ympärysaineen käytön tarpeellisuudesta. Kuviossa 3 esitetään kuusi tyypillistä itäisen Pohjois-Carolinan maaperää, joiden yhteydessä usein harkitaan pohjavedenpinnan korkeuden säätelyä. Kuvissa esitetään myös suppea tulkinta siitä, miten kerroksien järjestys vaikuttaa pohjavedenpinnan korkeuden säätelyyn.

Läpäisemättömän kerros: Läpäisemättömän (rajoittavan) kerroksen syvyys määritetään tavallisesti kairauksella ja tutkimalla kerrosten välillä tekstuuriin tapahtuvia muutoksia. Tekstuurissa tapahtuvat muutokset määritetään tunnustelemalla maata. Läpäisemättömäksi arvioitu kerros määritetään arviomalla tekstuuriin perusteella.

Joissakin maaperissä tekstuurin muutos on äkillinen. Siksi syvyys läpäisemättömään kerrokseen on määritettävissä yksinkertaisesti. Rajoittavaa kerrosta voidaan pitää läpäisemättömänä suunnittelutarkoituksia silmällä pitäen, jos sen läpäisevyys on yksi kymmenesosa (0.1) sen yläpuolella olevan kerroksen läpäisevyydestä. Muissa maaperissä, joissa tekstuurin muuttuminen tapahtuu hyvin vähitellen, läpäisemättömän kerroksen tunnistaminen on hyvin vaikeaa. Näissä maaperissä syvyyttä, jolla kaikkein tiivein materiaali sijaitsee, on pidettävä läpäisemättömänä kerroksena.

Monissa tapauksissa Pohjois-Carolinassa ei läpäisemättömän kerroksen syvyyttä voida määrittää ilman kairausvälineitä. Valitettavasti kairauslaitteiston käyttäminen on monilla alueilla epäkäytännöllistä. Sen vuoksi reiät porataan 3 - 4 metrin syvyydelle käsikairalla. Jos rajoittavaa kerrosta ei löydetä, sen oletetaan olevan suurimmalla syvyydellä, jolle



Kuvio 3. Maakerrosten järjestyksen vaikutus alueen sopivuuteen vedenpinnan korkeuden säätelyyn, salaojaputken sijoittamiseen ja suunnittelurajoituksiin.

käskikairan avulla voidaan tunkeutua. Näin suunnitelmasta tulee varmempi.

Juurtumissyvyys: Pohjois-Carolinassa potentiaalista juurtumissyvyyttä usein rajoittaa joko hapan jankko tai muokkauksen seurauksena tiivistynyt kerros. Kuopat juurtumissyvyyden määrittämiseksi on kaivettava silloin, kun viljelykasvit ovat lähellä kypsyyttä tai kasvun kriittisessä vaiheessa. Suurin osa kasvien käyttämästä vedestä on peräisin juurivyohtykeen ylemmästä puolikkaasta. Sen tähden useimpien viljelykasvien tehoisana juurtumissyvyytenä käytetään puolta todellisesta juurtumissyvyydestä.

Aluekohtainen tutkimus

Monilla Pohjois-Carolinnan heikosti kuivuvilla mailla on jo valmiiksi olemassa keinotekoinen kuivatus. Jossain tapauksissa ojat tai salaojaputket saattavat olla riittäviä pohjavedenpinnan korkeuden säätelyä ajatellen. Useammissa tapauksissa niiden ojavälit ovat liian suuret ihanteellisen pohjavedenpinnan korkeuden säätelyn kannalta, mutta järjestelmän muuttamisesta aiheutuvia kustannuksia ei voida määrittellä lisääntyvän käytön perusteella. Järjestelmä saattaa esimerkiksi sisältää samansuuntaisia salaojia 30 m suuruisin välein. Taloudellisesti paras ojaväli alueella saattaa olla 20 m suuruinen, jolloin käytetään hyväksi joka toista vanhoista salaojaputkista ja rakennetaan kaksi uutta salaojaputkea 20 m välein jokaiseen 60 m levyiseen palstaan.

Tämänhetkisten kustannusten ollessa 2 \$ metriltä salaojaputkea ja koron ollessa 10 % sekä maissin hinnan ollessa 0.07 \$ kilogrammalta, lisäsalaojaputkien kuoletushinnaksi tulee 70.24 \$ hehtaarilta bruttotuoton ollessa 53,86 \$ hehtaaria kohti. Toinen vaihtoehto olisi rakentaa olemassa olevien salaojaputkien väliin lisäputket, jolloin ojaväliksi tulisi 15 m. Tämän vaihtoehdon kuoletuskustan-

nukset olisivat 68.48 \$ hehtaaria kohti bruttotuoton ollessa 60.16 \$ hehtaarilta. Kummankaan vaihtoehdon bruttotuotto ei korvaa lisäputkien rakentamisesta koituvia kustannuksia verrattuna 30 m suuruiseen ojaväliin; siten olisi taloudellisempaa yksinkertaisesti liittää maanalainen kastelu olemassa olevaan salaojitusjärjestelmään ilman lisäputkien rakentamista. Monissa tapauksissa pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmän suunnitteluun sisältyy vaihtoehtoisten vesitalousjärjestelmien kuten säädellyn kuivatuksen tai padotuskastelun soveltaminen valmiiseen salaojitusjärjestelmään.

Maanpinnan muodot: Joissakin tapauksissa yhdellä vedensääteilyrakenteella voidaan säädellä pohjavedenpintaa useiden tuhansien hehtaarien suuruisella maa-alueella. Näin tasaisella alueella intensiivinen vaaitus, johon kuuluvat yleensä 30 m välein sijoitettavat pisteet, ei ole käytännöllinen. Vaaituksen tavoitteena on paikantaa 150 mm tai 300 mm korkeuskäyrät (riippuen tarvittavasta pohjavedenpinnan korkeuden säätelyvälistä), säätelyrakenteiden sijainnin määrittelemiseksi sekä ojien tai putkien suuntaamiseksi viettoon nähden. Tavoite voidaan yleensä saavuttaa määrittämällä vain pellolla olevien selvien painanteiden ja harjanteiden korkeus.

Vedensaanti: Ennen padotuskastelun lopullista valintaa tulisi määrittää vesilähde ja sen luotettavuus. Vesilähde tulisi järjestää mahdollisimman lähelle padotuskastelujärjestelmän vedensyöttöjohtoa, jotta vedensiirtokustannukset ja veden siirtämisestä aiheutuva hävikki olisivat mahdollisimman vähäisiä. Myös mahdolliset tiikumismenetykset tulisi määrittää. Heikosti kuivuvilla mailla on vertikaalisessa suunnassa tapahtuva hävikki normaalisti vähäistä. Toisaalta poikittaisessa suunnassa tapahtuva tiikuminen (pintakerrosvalunta) saattaa olla 25 % pumppauskapasiteetista. Mahdollisimman pieni pintaker-

rosvalunnan kautta tapahtuva hävikki voidaan saavuttaa hyvän suunnittelun ja hoidon avulla.

Jos mahdollista, vedensyöttökanavat sijoitetaan lähelle kasteltavien peltojen keskijänteitä, ei peltojen laidoille. Myös ympäröivät ja laskukanavat on varustettava säätelyrakennelmilla. Jos tihkumishävikkiä ei voida säädellä, on tarpeen määrittää tihkumispinnan pituus, pinnan kaltevuus sekä pinnan hydraulinen johtavuus. Skaggs (1980) on kuvailut menetelmiä tihkumishävikin arvioimiseksi tasapainotilanteessa.

Suunnitteluun liittyvät laskutoimitukset

Kun välttämättömät pelto-, viljelykasvi- ja alueparametrit on määritetty, voidaan määrittää lopullinen suunnitelman mukainen ojaväli, (sala)ojitusvyvyys, pohjavedenpinnan korkeuden säätelytaso ja vesitalousstrategia. Salaojitusvyvyden sanelee usein joko maaperän kerrosten järjestys tai salaojalle vaadittu minimikaltevuus ja syvyys yhdessä pellon pinnanmuodostuksen kanssa. Jos alueen ja maaperän ominaisuudet antavat mahdollisuuden joustaa salaojitusvyvydessä, 1 - 1.5 m syvyys on usein paras.

Ojavälän määrittäminen

Ojavälän määrittämistä varten on useita menetelmiä. Ojavälän suuruudesta saadaan kaikilla menetelmillä arvio, jos kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus ja syvyys läpäisemättömään kerrokseen on määritetty käyttämällä edellä kuvailtuja menetelmiä. Tulos on parempi kuin jos käytetään maaperätutkimuksen tai paikallisen salaojitusoppaan tarjoamia keskiarvoja.

Se, käytetäänkö järjestelmää kuivatukseen vai padotuskasteluun, valhtelee päivästä

päivään ja vuodesta vuoteen. Useimpen alueiden yhteydessä ei ole selvää, koskivatko suurimmat järjestelmälle asetettavat vaatimukset hyvää salaojitusta pohjavedenpinnan ollessa korkealla vai riittävää padotuskastelua kuivimpen jaksojen aikana. Siksi DRAINMOD on sopivin tällä hetkellä saatavilla olevista välineistä järjestelmän täydellistä analysointia ja suunnittelua varten. Lopullisen suunnitelman tulisi perustua useisiin DRAINMOD-mallin avulla suorituihin simulaatioihin; hyvä arvio ojavälillä voidaan kuitenkin saada käyttämällä joitakin vilme aikoina kehitettyjä likiarvomenetelmiä. Joskus DRAINMOD-simulaatioiden ajaminen saattaa olla epäkäytännöllistä, koska tarvittavia syöttötietoja ei ole saatavilla tai käytävissä on liian vähän aikaa. Tällaisessa tilanteessa ojavälän suunnittelu voidaan tehdä jollain lyhyemmistä menetelmistä.

Likiarvomenetelmät: Padotuskastelun ojavälän arvioimiseksi on kolme menetelmää:

1. Salaojitusoppaassa esitetty kiinteä ojaväliprosentti. Pohjois-Carolinassa käytetään tyypillisesti arvoa 65 % pellolla käytetystä ojavälillä.
2. Pelkän salaojituksen vaatima kiinteä ojaväliprosentti, joka saadaan käyttämällä Hooghoudtin tasapainotilanteen salaojitusyhtälöä (Mitoitusvaluntamenetelmä DDR - Design Drainage Rate Method).
3. Tasapainotilanteen evapotranspiraatioon (ET) perustuva ojaväl pelkkää padotuskastelua varten.

Skaggsin ym. (1986, 1987) ehdottaman DDR-menetelmän on osoitettu antavan tulokseksi suunnitellun ojavälän, joka kaikkien läheisimmän vastaa DRAINMOD-mallin avulla ennustettua ojavälää. Skaggs ehdottaa Hooghoudtin tasapainotilanteen salaojitusyhtälön käyttöä ennaltamääritetyn suunnitellun mitoitusvirtaaman kanssa. Ojaväli salaojitus-

jitusta varten voidaan määrittää seuraavasti:

$$S_d = \left[\frac{4K_e m (2d_e + m)}{DDR} \right]^{0.5} *$$

Skaggs ja Tabrizi osoittivat kahtatoista Pohjois-Carolinan kiintopistemaalaja käyttämällä, että paras DDR:ää koskeva arvio maissin viljelyssä hyvän pintakulvatuksen yhteydessä oli 11.2 mm/vrk ja 13.0 mm/vrk heikon pintakulvatuksen yhteydessä. Menetelmän avulla ennustettiin suunniteltu ojaväli. Sen avulla olisi saatu keskimääräisiä tuottoja, jotka 90 % ajasta olivat vähintään 90 % lhanteellisista tuotoista (verrattuna DRAINMOD-malliin). Tällöin "m:n" otaksuttiin olevan yhtäsuuri salaojasyyvyyden kanssa (so. tasapainotilanteen pohjavedenpinta sijaitsemaan maanpinnan tasolla eikä 0.3 m syvyydellä, jota tavallisesti suositellaan Kansallisessa SCS:n insinöörin käsikirjassa).

DDR-menetelmää käytettäessä padotuskasvatelun ojaväli määritetään kertomalla suunniteltu salaojituksen ojaväli luvulla 0.63, jos käytössä on hyvä pinta-ohjitus, tai luvulla 0.61, jos kyseessä on heikko pinta-ohjitus. Sekä edellä mainittu mitoitusvalunta että kiinteät prosenttiosuudet ovat ominaisia Pohjois-Carolinalle. Tällä hetkellä näitä arvoja ei ole määritetty muille seuduille tai viljelykasveille.

* missä

S_d = ojaväli [m]

K_e = ekvivalentti lateraali hydraulinen johtavuus [m/d]

d_e = ekvivalentti syvyys salaojasyyvyydestä läpäisemättömään kerrokseen [m]

m = pohjaveden pinnankorkeus salaojien välissä salaojasta mitattuna [m]

DDR = mitoitusvalunta [m/d]

Lopullinen suunnittelu DRAINMOD-mallin avulla: Nyt DRAINMOD-ohjelma voidaan ajaa IBM-yhteensopivalla mikrotietokoneella, jossa on 256K:n suuruinen sisääänrakennettu RAM-muisti ja rinnakkainen matematiikka-prosessori. Ohjeita DRAINMOD-mallin käyttöä varten on jo saatavissa SCS:ssa ja NCCI:ssa. Niistä voi ongelmien ilmetessä hakea apua. Seuraava menetelytapa tarjoaa opastusta käyttäjille, jotka ovat ensikertalaisia:

1. Laske ensimmäinen ojaväliarvio käyttämällä jotain likiarvomenetelmää.
2. Maaperää koskevat syöttötiedot
 - a. Jos vedenpidätyskäyrä on määritetty, laske ylöspäin suuntautuva virtaus pohjavedenpinnan korkeuden suhteen sekä huokostilavuus pohjavedenpinnan korkeuden suhteen käyttämällä DRAINMOD-pakettiin kuuluvia maaperä-valmisteluohjelmia ("Soil Preparation Programs").
 - b. Muussa tapauksessa valitse maaperä-ominaisuudet sopivasta kiintopistemaaperästä.
3. Valitse viljelykasvia koskevat tiedot (maisia ja soijapapua koskevat tiedot ovat saatavilla valmiina).
4. Valitse säätiedot alueen sijainnin mukaan.
5. Aja DRAINMOD-ohjelma tietokoneella.

- a. Aloita edellä kohdassa 1 mainitusta ojavälisarviosta.
 - b. Valitse kaksi ojaväliä, joista kaksi on likiarvoa (5a) suurempia, kaksi pienempiä. Näin simuloidaan viisi eri ojaväliä.
 - c. Piirrä kaavio sadon suuruudesta ojavälän suhteen ja määritä ojaväli, jonka kohdalla sato on suurin, ja valitse sen jälkeen toinen ojaväli siten, että se on suunnilleen 3 - 5 metriä leveämpi kuin ojaväli, jonka kohdalla sato oli suurin.
 - d. Aja tietokoneella ylimääräinen simulaatio kohdassa 5c valituille kahdelle ojavälille, ja vaihtelee tällä kertaa padon asentoa. Tavallisesti parhaita padon korkeuksia ovat 0.45, 0.52 ja 0.60 m.
6. Suorita kaikkia simulaatioita koskeva taloudellinen arvio.
 7. Valitse ojaväli ja padon korkeus, joilla suunnitelman nettotuotto oli korkein.
 8. Aja tietokoneella lopuksi 3 tai 4 ylimääräistä simulaatiota vaihtelemalla tällä kertaa padotuskastelun aloittamisajankohtaa. Aloita pumppaaminen suunnilleen toukokuun ensimmäisestä päivästä, ja muuttele tätä aloittamisajankohtaa seitsemästä kymmeneen vuorokaudella helnäkuun puoliväliin asti. Arvioi vedenkulutus ja pumppauskustannukset eri aloittamisajankohtia varten.

Taloudellinen arviointi

Viljelijälle voidaan suositella sitä suunnittelua ja hoitostrategia, jonka avulla saadaan paras nettotuotto. Järjestelmä saattaa olla teknisesti toteutettavissa, mutta lopullisen päätöksen on perustuttava sen kannattavuuteen. Tarkoitus on, että järjestelmä ei ainoastaan maksa itseään, vaan tuottaa viljelijän sijoitukselle myös voittoa. Tyypillisissä olosuhteissa

Pohjois-Carolinassa aikaisemmin parantamattomalle maalle suunnitellut järjestelmät ovat taloudellisesti hyvin lähellä ihanteellista suunnittelun tuoton vaihdellessa välillä 93 - 95 % maksimituotosta. Koska useimpiin on liitetty aikaisemmin tehtyjä salaojia, välillä 93 - 95 % vaihteleva tavoitteellinen sato ei usein ole taloudellisin mahdollinen vaihtoehto. Siksi on tärkeää, että lopullinen päätös näissä tilanteissa perustuu järjestelmän taloudelliseen arviointiin.

Kolme tärkeintä menoryhmää pohjavedenpinnan korkeuden sääätelyjärjestelmän rakentamisessa ja käytössä ovat vedensaannista, maanalaisista putkista ja välttämättömästä maan tasoittamisesta koituvat kustannukset. Myös säätelyrakenteista, rumpuputkista, vedensyöttöputkista, pellon rajoista sekä vuotuisesta käytöstä ja huollosta koituvat kustannukset ovat huomionarvoisia. Koska ne usein ovat aluekohtaisia, taloudellista analyysiä valmisteltaessa olisi valmistajilta ja urakoitsijolta hankittava tiedot jokaisen osatekijän hinnasta. Evans ym. (1987b) ovat laatineet jotakin kustannusarviolta. He ovat myös laatineet ohjeita pohjavedenpinnan korkeuden sääätelyjärjestelmän taloudellista arviointia varten.

Järjestelmän suunnitelmakartta

Kun järjestelmän osatekijät on valittu, suunnitteluprosessin viimeisenä vaiheena on suunnitelmakartan laatiminen. Ensimmäisessä vaiheessa pinnanmuodostusta koskevan tutkimuksen avulla määritellään säätelyrakenteiden lukumäärä ja sijainti, jotta vesi voidaan jakaa pelloille tasaisesti korkeuseroista huolimatta. Viljakasvit sietävät yleensä pohjavedenpinnan korkeuden vaihtelemisen tasolla 0.3 - 0.45 metriä. Lyhytjuurisat vihanneskasvit taas kestävät vain 0.15 - 0.2 m suuruisen pohjavedenpinnan vaihtelun osoittamatta merkkejä vedenpuut-

teesta kuivien jaksojen aikana. Säätelyrakennelmaa tarvitaan jokaisen maanpinnan korkeuden muutoksessa, jotta pohjavedenpinnan korkeuden vaihtelu saadaan sallittuihin rajoihin. Yhden rakennelman säätelämä vyöhyke on sama kuin säätelyvyöhyke. Jokaista vyöhykettä pystytään säätelämään riippumatta muista vyöhykkeistä, jos vesi tuodaan järjestelmään sen korkeimman kohdan kautta.

Useimmissa Pohjois-Carolinan pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmissä sala-ojituksen päälaskuaukkona ja vedensiirron päämekanismina käytetään avo-ojaa. Sala-ojaputket laskevat suoraan avo-ojaan, joten järjestelmää voidaan pitää avoimena systeeminä. Avoimen systeemin tärkeimpänä etuna on, että avo-ojien avulla vältytään suurien päälaskuaukkojen rakentamisesta aiheutuville kustannuksilla. Tällöin yhden sala-ojaputken rikkoutuminen tai tukkeutuminen ei vahingoita järjestelmän muita osia. Haittapuolena on se, että huollettavana on paljon enemmän laskuaukkoja, ja se, että laskuaukot saattavat vahingoittua kun avo-ojaa puhdistetaan tai niitetään.

Kun useampi salaoja laskee isoon salaojaan (kokoojasalaoja tai kokooja), järjestelmää pidetään suljettuna systeeminä. Sellaisia ei Pohjois-Carolinassa usein käytetä, koska laskuojat ovat jo valmiiksi kaivettuja; joskus niitä kuitenkin pidetään jyrkempien viettojen yhteydessä.

Kun tila on jaettu säätelyvyöhykkeisiin, lopullisen suunnitelma- ja laatimisen sisältöön järjestelmän sala-ojaputkien tai avo-ojien sijoittaminen. Se tehdään niin, että hyödytään luonnollisesta pinnanmuodostuksesta, kokoojaputkien tai kokoojaojien sijainnin ja koon määrittämisestä, säätelyrakenteiden koon määrittämisestä sekä kasteluvedensiirtojärjestelmän koon määrittämisestä. Standardiohjeet näiden tehtävien suorittamista

varten on esitetty selkeästi SCS:n insinöörin käsikirjassa (SCS-NEH), joten niitä ei käsitellä tässä.

Yhteenveto

Maataloushyödykkeiden alhaiset hinnat ja haitallisten ympäristövaikutusten havaitseminen ovat suunnattomasti vähentäneet salaojituksia Pohjois-Carolinassa. Viljelijät etsivät sen sijaan tehokkaampia vesitalousmenetelmiä, kuten pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmiä, saadakseen viljelyksensä tuotavammaksi ja satonsa suuremmiksi. Pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmät ovat usein kalliita. Siksi niiden huolellinen suunnitteleminen on ratkaisevan tärkeää.

Maataloustuotannossa tapahtuneelta muutoksiin vastaamaan on kehitetty strategioita pohjavedenpinnan korkeuden säätelyjärjestelmien suunnittelua varten. Näissä menetelmissä otetaan huomioon maaperän ja alueen ominaispiirteet, viljelykasvien vaatimukset sekä sääolosuhteet järjestelmää suunniteltaessa. On olemassa ohjeita, jotka opastavat viljelijää maaperää ja aluetta koskevien ominaisuuksien arvioinnissa. Näitä arvioita käytetään hyväksi uusissa menetelmissä. Kaikkien vesitalousvaihtoehtojen taloudellisen arvioinnin tärkeyttä on korostettu osana suunnitteluprosessia.

Lähteet

1. Deal, S.C., J.W. Gilliam, R.W. Skaggs and K.D. Konyha. 1986. Prediction of nitrogen and phosphorus losses as related to agricultural drainage system design. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, (18):37-51.
2. Doty, C.W., J.E. Parsons, A.N. Tabrizi,

- R.W. Skaggs and W.W. Badr.** 1982. Deep ditch overdrainage affects water table depth and crop yield. In: Proceedings of the Specialty Conference "Environmentally Sound Water and Soil Management". ASCE. pp 113-121.
3. **Doty, C.W., R.O. Evans, H.J. Gibson, R.D. Hinson, and W.B. Williams.** 1986. Agricultural Water table Management: A guide for eastern North Carolina. N. C. Agricultural Extension Service and Agricultural Research Service and USDA Agricultural Research Service and Soil Conservation Service. Raleigh, NC. 205 pp.
 4. **Evans, R.O., J.W. Gilliam, R.W. Skaggs and W.D. Lemke.** 1987a. Effects of agricultural water table management on drainage water quality. In: Proceedings of the Fifth National Drainage Conference. ASAE. In Press.
 5. **Evans, R.O., R.W. Skaggs and R.E. Sneed.** 1987b. Economic evaluation of controlled drainage and subirrigation systems. North Carolina Extension Service. Raleigh, N.C. In Press.
 6. **Gambrell, R.P., J.W. Gilliam and S.B. Weed.** 1975. Nitrogen losses from soils of the North Carolina Coastal Plain. *Journal of Environmental Quality* 4(3):317-323.
 7. **Gilliam, J.W., R.W. Skaggs and S.B. Weed.** 1978. An evaluation of the potential for using drainage control to reduce nitrate loss from agricultural fields to surface waters. Tech. Report No. 128. Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. Raleigh, NC.
 8. **Gilliam, J.W., R.W. Skaggs and S.B. Weed.** 1979. Drainage control to reduce nitrate loss from agricultural fields. *Journal of Environmental Quality* 8():137-142.
 9. **Gilliam, J.W. and R.W. Skaggs.** 1985. Use of drainage control to minimize potential detrimental effects of improved drainage systems. In: Proceedings of the Specialty Conference "Development and Management Aspects of Irrigation and Drainage Systems". Ir Div., ASCE. pp. 352-362.
 10. **Hillel, D.** 1980. *Fundamentals of Soil Physics*. Academic Press, New York. New York. p. 161.
 11. **Jones, R.A. and T.M. Sholar.** 1981. The effects of freshwater discharge on estuarine nursery areas of Pamlico Sound. Completion report for Project CEIP 79-11. N.C. Department of Natural Resources and Division of Marine Fisheries.
 12. **Magette, W.L. and R.A. Welsmiller.** 1983. *Agriculture and the Bay*. Maryland Agricultural Experiment Station and Cooperative Extension Service. Fact Sheet. 4p.
 13. **Skaggs, R.W.** 1976. Determination of the hydraulic conductivity-drainable porosity ratio from water table measurements. *TRANSACTIONS of the ASAE*, 19(1):73-80.
 14. **Skaggs, R.W.** 1978. A water management model for shallow water table soils. Technical Report No. 134. Water Resources Research Institute, N.C. State University, Raleigh, 178 pp.

15. **Skaggs, R.W.** 1979. Factors affecting hydraulic conductivity determinations from drawdown measurements. ASAE Paper No. 79-2075, 22 pp.
16. **Skaggs, R.W., J.W. Gilliam, T.J. Sheets and J.S. Barnes.** 1980. Effect of agricultural land development on drainage waters in the North Carolina Tidewater Region. Report No. 159. Water Resources Research Institute of the University of North Carolina. Raleigh, NC.
17. **Skaggs, R.W., A. Nassehzadeh-Tabrizi and G.R. Foster.** 1982. Subsurface drainage effects on erosion. *Journal of Soil and Water Conservation* 37(3):167-172.
18. **Skaggs, R.W. and A.N. Tabrizi.** 1984. Can we afford to design field drainage systems. ASAE Paper No. 84-2568, 25 pp.
19. **Skaggs, R.W. and A.N. Tabrizi.** 1986. Design drainage rates for estimating drain spacings in North Carolina. *TRANSACTIONS of the ASAE.* 29(6):1631-1640.
20. **Skaggs, R.W., A.N. Tabrizi and R.O. Evans.** Simplified methods for determining subirrigation drain spacings. *TRANSACTIONS of the ASAE.* In Press.
21. **Tabrizi, A.N. and R.W. Skaggs.** 1983. Variation of Saturated Hydraulic Conductivity within a soil series. ASAE Paper No. 83-2044, 23 pp.
22. **Van Beers, W.F.J.** 1970. The auger hole method. Bull. No. 1, International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.
23. **Van Schilfhaarde, J.** 1965. Transient design of drainage systems. *J. of irrig. and Drain. Div. ASCE*, 91(IR3):9-22.
24. **Van Schilfhaarde, J.** 1970. Theory of flow to drains. *Advances in Hydro-science*, 6:43-106.

Maalajit ja niiden ominaisuudet kahdella kuivatuskokeilupalstalla Niilin suistossa

A.A. Wahdan, A.A.M. El Gayar, M.K. Helmi,
M.H. El Khattib ja M.E. Selem,

Soil Water Research Institute, Kairo, Egypti

M.B. El Ghany, Drainage Research Institute, Kairo, Egypti

T.G. Sommerfeldt, AGDEVCO, Regina, Kanada

Johdanto

Maalajien ominaisuuksia ja niiden vaihteluja tutkittiin kahdella kuivatuskokeilualueella, El Geninassa ja El Sirwissa. Tavoitteena oli saada tietoa salaoituksen suunnittelemiseksi ja rakentamiseksi alueelle. El Geninan maaperä on kehittyntä, kun taas hiljattain käyttöön otettu El Sirwin maaperä on kehittymätöntä.

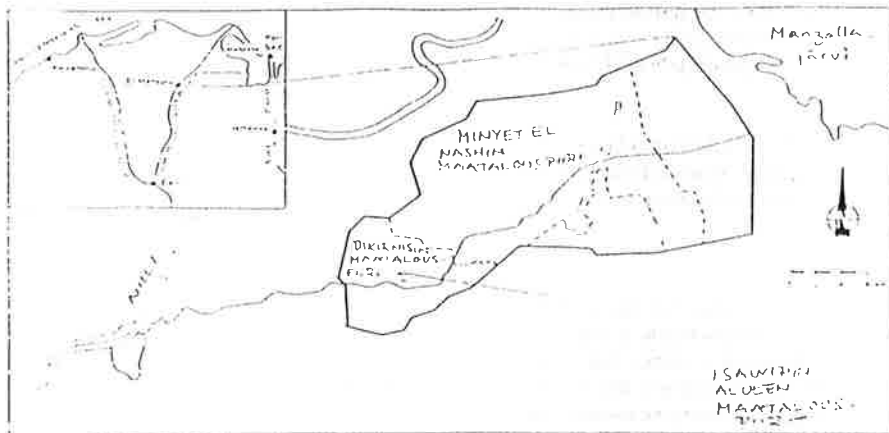
El Geneinassa maaperä on hedelmällisempää kuin El Sirwissa. Kummallakin kokeilualueella havaittiin huomattavia alueen sisäisiä eroja maan saliniteetissa, tekstuurissa sekä kylläisessä hydraulisessa johtavuudessa. Maaperäolosuhteiden perusteella voitiin päätellä El Geninassa kohdattavan enemmän vaikeuksia tehokkaan salaoituksen rakentamisessa. Vaikka El Geninan maaperän sähkönjohtavuus oli alhaisempi kuin El Sirwissa, sen vaihtokelpoisen natriumin määrä ja tilavuuspaino olivat suurempia sekä kylläinen hydraulinen johtavuus alhaisempi. El Geninan parempi viljelykasvikäyttäytymisen johtuu maan kehittyneisyydestä.

Egyptin suistoalue on ollut ympärivuotisessa kastelussa vuosisadan alkuvuosista lähtien, ja siellä on kasvatettu useita viljelykasveja. Se on aiheuttanut alueella vedenpinnan korkeuden nousua ja maan suolaisuuden pahenemista. Noin kolmannes suiston alueesta on suolan vaavaamaa (Arar ja Bishay, 1973;

El Gabaly, 1979). Ongelma on vaikeampi suistoalueen pohjoisosassa, jossa yli kaksi kolmasosaa maasta on suolan vaavaamaa. Vedenpinnan korkeuden alentamiseksi, suolan poistamiseksi ja maan hedelmällisyyden parantamiseksi tarvitaan riittävää kuivatusta.

Vuonna 1984 Egypti ja Kanadan kansainvälinen kehitystoimisto (Canadian International Development Agency, CIDA) käynnistivät ohjelman Daqahlian hallinnollisella alueella sijaitsevan noin 30 000 hehtaarin suuruisen alueen hedelmällisyyden parantamiseksi. Osana ohjelmaa oli kahden noin 80 ha:n suuruisen kuivatuskokeilualan rakentaminen, tavoitteena saada välttämätöntä tietoa koko alueen salaojitusten suunnittelemiseksi. Toinen palstoista, El Genina, sijaitsee lähellä Dikirnislä, parannettavan alueen eteläpäässä. Sitä on viljelty vuosikymmenien ajan ja sen maaperää pidetään hyvin kehittyneenä. (kuvio 1). El Sirw puolestaan sijaitsee parannettavan alueen pohjoispuolella, lähellä Välimereen laskevaa suoilaista Manzalan järveä. Sen maata ei ole viljelty niin pitkään kuin El Geninassa. Se on kehittyntä hiljattain, mutta ei vielä täydellisesti.

Kummankin alueen pinnanmuodostus on tasainen. Maa on tekstuuriltaan yleensä hienojakoista, mutta se El Geninassa on hienojakoisempaa. El Geninassa maa on myös hyvin kehittyntä ja viljavaa. Maanpinnan korkeus on siellä noin kolme metriä meren-



Kuvio 1 Kartta, joka osoittaa ISAWIP-projektissa parannettavat maapalstat ja kokellupalstojen sijainnin alueella.

pinnan yläpuolella. Ei Sirwisssa maa ei ole niin viljavaa ja täydellisesti kehittyntä kuin Ei Geninassa. Maanpinnan korkeus Ei Sirwisssa on vajaan metrin merenpinnan yläpuolella.

Maalajien vaihtelevuutta alueella ei tunneta. Kuivatusjärjestelmän asianmukaisen suunnittelun kannalta maalajiominaisuuksien tunteminen on välttämätöntä. Eräs kuivatuskokellupalstoille asetetuista tavoitteista oli tutkia erilaisia maalajiominaisuuksia ja niiden vaihtelevuutta. Tarkoituksena oli myös suhteuttaa nämä ominaisuudet ja niiden jakautuminen salaajituksen toimivuuteen ja maanparannukseen. Tietoa käytetään rakennettaessa salaajitusjärjestelmää koko 30 000 hehtaarin suuruisella projektialueella.

Materiaalit ja menetelmät

Kemiallisten ja fysikaalisten ominaisuuksien mittaamiseksi kerättiin kummankin palstan 200 m pituisen verkoston päällekkäisistä

maakerroksista häiriytymättömiä ja häiriytyneitä maanäytteitä. Maan pH-arvo, kyllästysliuokseen liuenneiden anionien ja kationien määrä sekä vaihtokelpoisten kationien määrä määritettiin Pagen (1982) kuvailemien menetelmien avulla. Hiukkaskokojakauma määritettiin tavanomaisella pipettimenetelmällä (Black, 1965). Maan kosteudenpidätvyysominaisuudet ja tilavuuspaino määritettiin häiriytymättömistä maanäytteistä (Black, 1965). Kylläinen hydraulinen johtavuus in situ määritettiin kairanreikämenetelmän (van Beers, 1979) avulla käyttämällä kahden metrin syvyisiä reikiä.

Verkoston jokaisen pisteen kohdalla tutkitut jokaista maalajiominaisuutta koskevat tiedot luokiteltiin kolmeen eri syvyysväliin: 0 - 30 cm, 30 - 90 cm ja 90 - 150 cm, joille jokaiselle laskettiin painotettu keskiarvo. Syvyys 0 - 30 cm edustaa aluetta, johon vaikuttavat eniten vesitalous ja evaporaatio. Syvyys 0 - 90 cm on juurivyöhyke, johon vaikuttavat enimmäkseen vesitalous- ja viljelytoimenpi-

teet. Syvyys 90 - 150 cm on vyöhyke, jossa salaojat tavallisesti sijaitsivat. Tällä vyöhykkeellä saattaa pohjaveden liikkuminen olla rajoitettua.

Tiedoista tehtiin yhteenveto ja ne analysointiin käyttämällä vaihtelun keskiarvoja, keski-
poikkeamia ja vaihtelukertoimia.

Tulokset

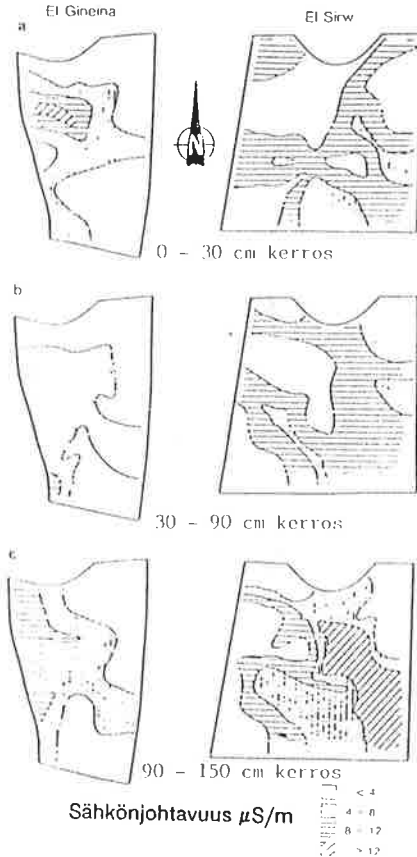
Kemialliset ominaisuudet. Sekä El Geninan että El Sirwin maa voitaisiin luokkella ei-suolaiseksi alkallmaaksi USDA Salinity Laboratory Staffin (1954 mukaan. Maan pH:n keskiarvo El Geninassa oli 7.50 (keski-
poikkeama = 0.27, vaihteluväli = 7.14 - 7.95) ja El Sirwissa 7.54 (keski-
poikkeama = 0.27, vaihteluväli = 7.23 - 8.14) kalkille pisteille syvyydellä 0 - 30 cm. Tämän syvyyden alapuolella kummankin kokeilupalstan pH-arvo vaihteli välillä 7.08 - 8.31 paitsi eräässä kohdassa El Sirwin alueella syvyydellä 90 - 150 cm, jossa se oli 8.99. Tilanne oli kuitenkin hyvin paikal-

linen, koska pH-arvo Juuri tämän pisteen yläpuolella oli 7.50 ja alapuolella 7.52. Kummankin kokeilupalstan koko alueella oli maassa kalsiumkarbonaattia kaikilla syvyyksillä pitoisuuden vaihdeltaessa välillä 0.2 - 4.7 %. Yleensä kummassakin maaperässä oli vyöhykke, johon CaCO₃:a oli kerääntynyt enemmän kuin maaperän muihin osiin.

Suurimmassa osassa El Geninan aluetta oli kyllästysnesteen sähkönjohtavuus syvyydellä 0 - 30 cm pienempi kuin 8 μ S/m (kuvio 2). Keskiarvo oli 4.1 μ S/m (taulukko 1). Sähkönjohtavuuden arvo syvyydellä 30 - 90 cm oli 4.3 μ S/m ja syvyydellä 90 - 150 cm 4.8 μ S/m (taulukko 1), mikä osoitti saliniteetin kasvavan vain vähän mentäessä alaspäin. Keski-
poikkeamat syvyyksillä 30 - 90 cm ja 90 - 150 cm ovat pienempiä kuin syvyydellä 0 - 30 cm. Tiedot osoittavat, että suolaisuus ei El Geninan alueella ollut vakava ongelma lukuunottamatta 10 prosentilla alueesta sen pohjoispäässä. Viljelykasvien elinvoima tukee tätä väitettä.

Taulukko 1. El Geninan ja El Sirwin maiden kemiallisten ominaisuuksien keskiarvot, keski-
poikkeamat ja vaihteluväli.

Ominaisuus	Syvyys cm	El Genina			El Sirw		
		Ka.	Kp.	Vv.	Ka.	Kp.	Vv.
Sähkönjohtavuus μ S/m	0 - 30	4.1	3.4	0.9-13.5	4.9	3.2	1.2-11.3
	30 - 90	4.3	2.8	1.3-10.7	5.1	2.9	1.1-11.5
	90 - 150	4.8	2.7	1.3- 9.4	8.6	6.3	1.1-22.0
SAR	0 - 30	8.4	6.5	1.0-21.2	9.1	6.2	2.8-24.1
	30 - 90	15.3	18.3	5.7-77.7	13.3	7.5	2.6-23.3
	90 - 150	13.6	4.9	6.4-23.2	22.0	11.7	2.7-43.5
ESP	0 - 30	38.3	7.2	28.7-47.3	14.2	8.3	6.1-35.5
	30 - 90	41.5	4.0	27.9-49.4	22.8	7.5	9.8-36.5
	90 - 150	45.6	6.6	30.0-52.8	30.9	8.3	13.7-42-2



Kuvio 2. Suolaisuuden jakautuminen kokeilupalstojen alueella ilmoitettuna sähköjohtavuuksina syvyyksillä 0 - 30 cm, 30 - 90 cm ja 90 - 150 cm.

El Sirwissa kyllästysnesteen sähköjohtavuus syvyydellä 0 - 30 cm suurimmassa osassa aluetta oli enimmäkseen arvon $8 \mu\text{S}/\text{m}$ alapuolella (kuvio 2). Vain sen etelän ja idän puoleisilla laidoilla oli pieniä alueita, joilla sähköjohtavuus ylitti arvon $8 \mu\text{S}/\text{m}$. Säh-

könjohtavuuden keskiarvo $4.93 \mu\text{S}/\text{m}$ (taulukko 1) oli korkeampi kuin El Geninassa alueella. Syvyydellä 30 - 90 cm oli sähköjohtavuuden arvo yli puolella alueesta suurempi kuin $8 \mu\text{S}/\text{m}$ ja yli viidesosalla se oli tällä syvyydellä suurempi kuin $12 \mu\text{S}/\text{m}$. Sähköjohtavuuden keskiarvo syvyydellä 90 - 150 cm oli $8.65 \mu\text{S}/\text{m}$. Saliniteetin lisääntyminen mentäessä alaspäin oli ilmeistä. Nämä tiedot ja viljelykasvien elinvoimaisuus osottavat kumpikin, että maan suolaisuus oli suurempi ongelma El Sirwissa kuin El Geninassa.

Sähköjohtavuuden vaihtelu syvyyksillä 0 - 30 cm ja 30 - 90 cm oli samanlaista kummallakin kokeilupalstalla (taulukko 1). Syvyydellä 90 - 150 cm El Sirwissa oli kuitenkin enemmän vaihtelua kuin El Geninassa.

Kyllästysnesteen sisältämät liukoiset kationit olivat pääasiassa natriumia ja liukoiset anionit olivat pääasiallisesti kloridi- ja sulfaattioneja. Natriumin ja kalsiumin + magnesiumin välinen suhde, ilmoitettuna natriumadsorptiosuhteen (SAR) muodossa, kasvoi syvemmälle mentäessä kummallakin kokeilupalstalla. El Geninan arvo 13.6 (taulukko 1) syvyydellä 90 - 150 cm oli kuitenkin huomattavasti El Sirwin arvoa 22.0 alhaisempi. Myös vaihtelu oli El Geninassa vähäisempää kuin El Sirwissa.

Maassa olevan vaihtokelpoisen natriumin prosentuaalinen osuus (ESP) oli korkea kaikilla syvyyksillä sekä El Geninassa että El Sirwissa (taulukko 1). Kuitenkin El Geninassa, jossa sähköjohtavuus oli alhaisempi, vaihtokelpoisen natriumin prosentuaalinen osuus kaikilla syvyyksillä oli suurempi kuin El Sirwissa. ESP:n ja SAR:n välillä ei vallinnut minkäänlaista korrelaatiota. Alhainen ESP syvyydellä 0 - 30 cm El Sirwissa johtuu maalle levitetystä kipsistä.

Taulukko 2. Maan fysikaalisten ominaisuuksien keskiarvot, keskiarvot ja vaihteluvälit El Geninassa ja El Sirwissa.

Ominaisuus	Syvyys cm	El Genina			El Sirw		
		Ka.	Kp.	Vv.	Ka.	Kp.	Vv.
Karkea hiekkä %	0 - 30	1.6	0.3	0.3-1.4	0.9	0.6	0.1 - 2.6
	30 - 90	0.8	0.6	0.1-1.9	0.4	0.4	0.1 - 1.6
	90 - 150	0.7	0.9	0.2-2.9	0.6	0.4	0.1 - 1.3
Hieno hiekkä %	0 - 30	24.1	4.9	13.1-32.1	26.7	7.1	10.6 -40.6
	30 - 90	22.3	8.0	11.8-39.3	23.4	6.3	9.2 -35.0
	90 - 150	19.0	6.8	7.2-28.5	23.4	5.5	12.3 -34.2
Hiesu %	0 - 30	30.0	7.2	16.8-45.8	33.0	6.2	17.2 -50.5
	30 - 90	22.3	8.0	13.7-47.6	35.8	7.6	22.7 -49.6
	90 - 150	32.6	8.1	19.0-47.9	32.4	7.5	19.1 -45.3
Savi %	0 - 30	44.3	4.6	38.0-52.8	39.4	6.1	26.2 -51.0
	30 - 90	43.4	2.1	39.8-45.5	40.2	6.2	30.8 -56.4
	90 - 150	32.6	8.1	19.0-47.9	32.4	7.5	19.1 -45.3
FAW ^a Vol %	0 - 30	24.7	3.1	20.0-31.0	21.2	2.1	17.0 -23.0
	30 - 90	25.1	3.2	19.5-31.5	22.0	2.4	20.0 -26.5
	90 - 150	25.6	4.0	18.0-29.0	21.9	2.6	19.0 -26.5
db ^b Mg/m	0 - 30	1.20	0.07	1.12-1.40	1.05	0.02	1.02- 1.18
	30 - 90	1.26	0.07	1.12-1.34	1.15	0.04	1.12- 1.22
	90 - 150	1.32	0.07	1.21-1.44	1.23	0.03	1.18- 1.26
DPV ^c %	0 - 30	16.6	2.5	11 - 21	16.5	3.3	12 - 21
	30 - 90	15.1	2.2	13 - 20	14.3	4.2	9 - 20
	90 - 150	15.1	3.4	11 - 22	14.7	3.9	11 - 18
Ks ^d m/vrk	0 - 30	0.12	0.08	0.02-0.026	0.46	0.32	0.02- 0.94

a - Kasvien käytettävissä oleva vesi (imupaine 30 - 1500 kPa)

b - Maan tilavuuspaino

c - Kuivatettavissa oleva luokostilavuus

d - Kylläinen hydraulinen johtavuus

Fysikaaliset ominaisuudet. Sekä El Geninan että El Sirwin maaperä oli kaikilla syvyyksillä hienojakoista (savihieue, hiesusavihieue, hiesusavi ja savi), ja pintamaan rakenne oli hyvä. Maan ollessa kuivaa siihen kehittyi leveitä, syviä halkeamia, jotka muodostivat maapylväitä. Niiden läpimitta oli jopa 30 cm. Pylväät muodostuivat kokkaremaisista puo-

lisärmikkäistä aggregaateista. Aggregaatit säilyttivät muotonsa märkinä. Myös halkeamien tasopinnot säilyivät jopa silloin, kun maa oli ollut pitkiä aikoja veden peitossa riisinviljelyn yhteydessä. Bouma (1986) selosti, että hollantilaistenkaan savimaiden halkeamat eivät täysin sulkeutuneet maan turpoamisen aikana. Kuivina aggregaateista

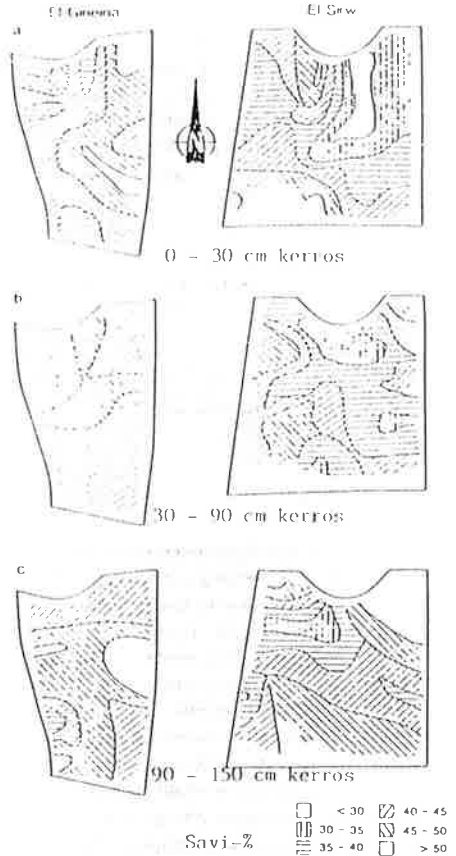
tuli hyvin kovia, jolloin niitä oli vaikea rikkoa.

El Geninassa suurimmassa osassa aluetta maan savipitoisuus ylitti 40 % kaikilla syvyyksillä (kuvio 3). Keskiarvot olivat 44.3 % savea syvyydellä 0 - 30 cm, 43.4 % syvyydellä 40 - 90 ja 45.2 % syvyydellä 90 - 150 (taulukko 2). El Sirwissä savipitoisuudet olivat 39.4 % syvyydellä 0 - 30 cm, 40.2 % syvyydellä 30 - 90 cm ja 43.9 % syvyydellä 90 - 150 cm. Savipitoisuuden vaihtelu oli vähäisempää El Geninassa kuin El Sirwissa. El Geninassa myös hiesupitoisuuden vaihtelu oli voimakainta, kun taas El Sirwissa kaikkien maalajien pitoisuuksien vaihtelu oli samanlaista (taulukko 2).

Kummankaan koalueen maaperässä ei ilmennyt minkäänlaista tilastollista yhteyttä savipitoisuuden ja kasvien käytettävissä olevan vesimäärän (PAW), so. 30 - 1.500 kPa suuruinen imupaine, välillä. Kuitenkin El Geninassa, jossa maa oli hienojakoisempaa ja tiheämpää, PAW oli kaikilla syvyyksillä yli kolme prosenttiyksikköä El Sirwin vastaavia arvoja suurempi (taulukko 2).

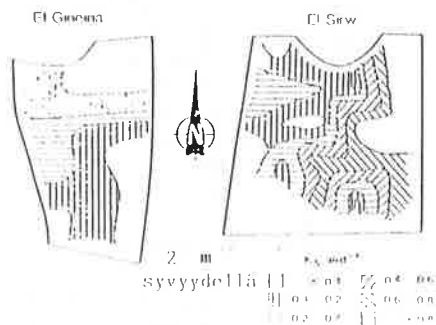
Maan tilavuuspaino (db) lisääntyi syvyyden myötä sekä El Geninassa että El Sirwissa. El Geninassa kuitenkin db oli 0.09 - 0.15 Mg/m³ korkeampi. Korkeampi db-arvo aiheutti 3 - 5 % pienemmän huokostilavuuden El Geninan maaperässä verrattuna El Sirwin maaperään. Kummallakin koepalstalla huokoisuus ylitti kaikilla syvyyksillä normaalien mineraalimaalajien tavallisen arvon 50 %. (Baver ym., 1972).

Kylläinen hydraulinen johtavuus (Ks), joka osoittaa veden liikkumisnopeuden maassa, oli El Geninassa pienempi ja vaihtelevampi kuin El Sirwissa (taulukko 2). El Geninan itälaidalla ja luoteiskulmassa oli alueita, joi-
sa Ks oli pienempi kuin 0.1 m/vrk. Suurimmassa osassa aluetta Ks-arvot olivat pienem-



Kuvio 3. Koepalstojen savipitoisuus syvyyksillä 0 - 30 cm, 30 - 90 cm ja 90 - 150 cm.

piä kuin 0.2 m/vrk (kuvio 4). El Sirwin pals-talla oli pieniä alueita, joiden Ks-arvot olivat alle 0.1 m/vrk, kun taas suurimmassa osassa aluetta ne olivat suurempia kuin 0.2 m/vrk.



Kuvio 4. Kylläisen hydraulisen johtavuuden vaihtelu koepalstoilla määritettynä 2 m syvyyden kairanreikien avulla.

Pohdiskelua

Tutkittujen maaperäominaisuuksien vaihtelu oli yleistä kummallakin koalueella. Salaoituksen tehokkuus riippuu maaperän kyvystä kuljettaa vapaata vettä. Tämä kyky riippuu taas huokoskokojakaumasta, kylläisestä hydraulisesta johtavuudesta sekä maa-aggregaattien kestävydestä (stabiileista). Ominaisuudet riippuvat maan hienojakoisuudesta ja rakenteesta sekä maan sisältämistä suoloista. Emäksiset maalajit dispersoituvat tavallisesti käyttöönoton aikana, mikäli sitä ei estetä maanparannusaineiden avulla.

Viljelykasvien esiintulon perusteella El Geninassa oli vähemmän rajoituksia viljelykasvituotannolle kuin El Sirwissa. Tiedot osoittavat kuitenkin, että tehokkaan salaoitusjärjestelmän laatimisessa ja maan käyttöön ottamisessa El Geninassa saattaa ilmetä enemmän ongelmia. Siellä maa on emäksisempää, se on hienojakoisempaa, sen tilavuuspaino on suurempi ja sen kylläinen hydraulinen johtavuus on pienempi. Ei ole todisteita siitä, että El Geninan maaperässä suolapitoisuus lisääntyisi alaspäin mentäessä,

mutta El Sirwissa on havaittu selviä osoituksia suolan liikkumisesta maaperässä alaspäin.

Kipsin käyttöä suositellaan kummallakin alueella natriumin poistamiseksi maasta. Näin ehkäistäisiin dispersoituminen maan käyttöönoton aikana. El Sirwissa, jossa natriumin polstuminen syvemmälle maaperään on ilmeistä, maalle levitettiin hiljattain kipsiä. Nadler ja Margaritz (1986) ovat esittäneet selostuksia samanlaisesta natriumin poistumisesta Israelin mailla. Salaoitus on välttämätöntä suolan ja natriumin maaperään kerääntymisen estämiseksi, koska se rajoittaisi myöhemmin maan tuottavuutta.

USDA Sallinity Laboratory Staffin (1954) mukaan vaihtokelpoisen natriumin pitoisuus on kummassakin maaperässä riittävän suuri aiheuttamaan maaperäfyysikaalisia ongelmia käyttöönoton aikana. Silti maan aggregaattirakenne säilyi hyvänä maan ollessa märkää. Wahdanin ym. (1985) maan turpoamis- ja kuivumisprosessi kostumis- ja kuivumiskierrojen aikana aiheuttaa aggregaattien muodostumisen, mikä vaikuttaa suotuisasti maan rakenteeseen, huokoskokojakaumaan sekä ilman ja veden läpäisevyyteen. Olisi pidettävä huolta siitä, että näiden maalajien hyvä aggregotiuminen pysyisi ennallaan kun maa otetaan käyttöön. Eräs syy dispersoitumisen estymiseen näillä mailla voi olla maan alhainen alkaliniteetti. Se aiheuttaa alhaisemman pintapotentiaalilin kuin voitaisiin korkean pH-arvon perusteella otaksua, jolloin taipumus dispersioon pienenee. Sommerfeldt (1984) on esittänyt savimaalajien pintapotentiaalilin riippuvan pH-arvosta. Toinen syy saattaa olla yhteydessä muodostuneiden aggregaattien kestävyteen, joka lisää systeemin sisältämien makrohuokosten lukumäärää. Kastelun aikana veden virtaaminen suotuisimmalla tavalla tapahtuu makrohuokosten läpi (Bouma 1981). Kemiallisten ja fyysikaalisten pro-

sessien johdosta virtaus on selvästi stabiloitunut tapahtumaan näitä suotuisia virtausreittejä pitkin, joten kastelun aikana ei disper-soitumista tapahdu.

Maaperäolosuhteiden perusteella tehtyjen johtopäätöskien mukaan El Sirwissa on hel-pompaa saada aikaan tehokas salaojitus kuin El Geninassa. Silti viljelykasvikäyttäytymisen, sijainnin ja hedelmällisyyden perus-teella El Sirwissa hyödytään eniten kuivatuk-sesta. El Geninan maa sisältää enemmän savea, sen tilavuuspaino on suurempi ja kylläinen hydraulinen johtavuus alhaisempi kuin El Sirwissa. El Sirwin alue on lähes merenpinnan korkeudella, lähellä suolaisen veden pintaa, mikä estää luonnollisen kuiva-tuksen. Aluetta kuivatettaessa on kuitenkin varottava suolaisen meriveden tunkeutumista maaperään lähelle maanpintaa, mikä lisäisi maan suolapitoisuutta ennestään.

Lähteet

- Arar, A. and Bishay, B.G.** 1975. Extent of soil salinity and waterlogging and effect of drainage system on agricultural production. Expert Report on Drainage Practices in Egypt. FAO Access No. 29747
- Baver, L.D., Gardner, W.H. and Gardner, W.R.** 1972. Soil physics. John Wiley and Sons, New York.
- Black, C.A.** 1965. Methods of soil analysis. Part 1. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.
- Bouma, J.** 1981. Soil morphology and pre-fential flow along macropores. Agricultural Water Management 3: 235-250
- Bouma, J.** 1986. Characterization of flow processes during drainage in some Dutch heavy clays. Pages 3-11 in A.L.M. van Wijk and J. Wessling eds., Proc. Symp. Agric. Mgnt., Anihem, Netherlands. June 18-21. A.A. Balkema, Rotterdam.
- Page, A.L.** 1982. Methods of soil analysis. Part 2. Agronomy No. 9. Amer. Soc. Agron., Madison, Wisc.
- Sommerfeldt, T.G.** 1983. Soil and solution pH and sodium:calcium ratio: Effects on cation exchange properties of a sodium-saturated Chernozemic soil. Can. J. Soil Sci. 64: 139-146.
- USDA Salinity Laboratory Staff. 1954. Diag-nosis and improvement of saline and alkali soils. USDA Handb. 60. U.S. Govt. Printing Office. Washington, D.C.
- van Beers, W.J.F.** 1979. The auger hole method. Internat. Inst. for Land Reclam. ILRI Bull. 1.
- Wahdan, A.A. El-Shall, M.M. and Mostafa, A.T.** 1985. Soil physical properties changes associated with tile drainage application in upper Egypt. Egypt J. Soil Sci. 25: 11-20.

Uuden Seelannin muuttuvat salaojitusnäkömät

K.W. McAuliffe ja D.J. Horne,
Department of Soil Science, Massey University, Uusi Seelanti

Maatalouden uusi suuntaus

Laiduntilat ovat olleet Uuden Seelannin talouden perusta kautta aikojen. Nykyisin, kun maan asukasluku on noin 3 miljoonaa, laiduntilojen merkitys on edelleen suuri. Lämpöä Uudessa Seelannissa on 70-80 miljoonaa. Viimeksi kuluneiden viiden vuoden aikana on tavanomaisten lammastilojen ja maidon tuotantoon keskittyneiden tilojen kannattavuus kuitenkin laskenut voimakkaasti, mikä taas on vauhdittanut vaihtoehtoisten maankäyttötapojen kehittymistä. Erityisen merkittävää on ollut juureksien, kivihedelmien ja marjojen kasvatusta harjoittavien hedelmätarhojen lisääntyminen.

Maatalouden viimeaikainen laskusuuntaus ja maankäytön muuttuminen ovat asettaneet uusia haasteita salaojitukselle. Nykyiset menetelmät kaipaavat parantamista ja uusia on kehitettävä. Erityisen merkityksellisiä ovat:

- Suunnittelun ja rakentamisen parantaminen
- Uuden Seelannin salaojituksen koordinoiminen
- Uusien puutarhakasvien kuivatus- ja ilmastusvaatimusten määrittäminen
- Selviytyminen peitteiden tuki- ja muista rakenteista salaojitettaessa puutarhoja
- Suojaavien puiden juuristojen aiheuttamien putkukoksien vähentäminen

Massey'n yliopistoa pidetään uuden Seelannin salaojitus tutkimuksen ja -rakentamisen keskuksena. Tässä kirjoituksessa tehdään yhteenveto yliopistossa viime aikoina menneeseen ohjelmista edellä mainittujen aiheiden tutkimiseksi.

Parempia suunnittelu- ja rakennusmenetelmiä

Huokean ja silti tehokkaan salaojituksen onnistuminen Uuden Seelannin laitumilla ja viljelyjärjestelmissä on suurelta osin myrääjituksen käytön ansiota. Sopivan pinnanmuodostuksen sekä sopivan maalaajien ja ilmaston muodostaman yhdistelmän ansiosta on mahdollista saada alkaen kestäviä myrääjia.

Maatalouden viimeaikaisen laskusuhtanteen johdosta on välttämätöntä, että maanparannukseen kuten salaojitukseen kohdistettava pääoma pysyisi mahdollisimman pienenä. Sen tähden myrääjitus todennäköisesti pysyy tärkeänä menetelmänä. Massey'n yliopistossa on parhaana käynnissä tutkimus myrääjituksen tehokkuuden lisäämiseksi entisestään. Projekteissa on kohdistettu erityistä huomiota seuraavien asioiden tutkimiseen:

- suurella nopeudella suoritettava myrääuraus
- kaltevuudensäädöllä varustetun myrääuran kehittäminen
- mahdollisuudet parantaa myrääjan kaltevuuden tasaisuutta
- käytettävän täytemateriaalin määrän (ja kustannusten) pienentäminen tekemällä kapeampia kaivantoja

Näitä projekteja ovat Baker ym. (1986) kuvailleet jonkin verran seikkaperäisemmin.

Parannus, joka todennäköisesti tehostaa salaojituksen suunnittelua, on SWIG-ohjel-

man (soil water investigation group = maavesitutkimusryhmä) käyttöön ottaminen Uuden Seelannin maaperävirastossa (Cook, 1986). Ohjelman tarkoituksena on luoda koko Uuden Seelannin kattava tiedosto maaperän hydraulisista ominaisuuksista. SWIGin keräämät tiedot, erityisesti suhteelliset hydrauliset johtavuudet koko maaperässä, tulevat olemaan suureksi avuksi salaojitussuunnittelijoille.

Uuden Seelannin salaojituksen koordinoiminen

Viimeisten kuuden vuoden aikana on tapahtunut merkittävää kehitystä Uuden Seelannin salaojituksen hallinnossa.

Vuonna 1982 järjestetty ensimmäinen valtakunnallinen salaojitusseminaari saattoi ensimmäistä kertaa yhteen kaikki salaojituksen kanssa tekemisissä olevat osapuolet. Seminaari ei vain luonut yleiskatsausta salaojituksen tilanteeseen Uudessa Seelannissa, vaan esitti myös ohjeita tulevaisuutta varten.

Tämän jälkeen on pidetty kaksi valtakunnallista salaojitusseminaaria (vuosina 1984 ja 1986), joista kummastakin on koottu yksityiskohtaiset julkaisut. Kolmannen seminaarin aikana perustettiin virallisesti Uuden Seelannin Salaojitusyhdistys. Yhdistyksen tehtävinä ovat teollisuuden toiminnan koordinoiminen, konferenssien ja muiden tapahtumien järjestäminen sekä tiedon jakaminen. Yhdistys julkaisee satunnaisesti ilmestyvää uutislehteä "The Drain Age", joka antaa jäsenille tietoa teollisuuden kehittämistä uutuuksista.

Uusien salaojitusmenetelmien kehittäminen

Valitettavasti yhä suurempi osa uusista puu-

tarhoista perustetaan maille, jotka eivät ole tarkoituksen kannalta ihanteellisia. Tähän on paljolti ollut syynä ensiluokkaisen ja huonompien maiden jatkuvasti kasvava hintaero. Siksi jo perustettujen puutarhojen lisäsalaojituksen ohella on tarvetta kehittää luovia ja edistykseellisiä menetelmiä heikosti läpäisevien maiden kuivatuksen parantamiseksi. Tavanomaiset menetelmät ovat näillä maillosoiottautuneet epäonnistuneiksi. Eräs suosittu menetelmä on maaperän uudelleenmuodostaminen (Wilson, 1986). Menetelmä on käyttökelpoinen penkeissä viljeltävien kasvien yhteydessä, esimerkiksi puutarhoissa. Vaikka suunnittelun yksityiskohdat ovatkin aluekohtaisia, pääperiaatteena kaikissa tapauksissa on muodostaa uusi juurivyöhyke käyttämällä maakerrosta, jonka kuivatusominaisuudet ovat sopivat.

Viljelijät ovat alkaneet ymmärtää myös biologisesti muodostneiden suurten huokosten hyödyllisyyden. Biologisen - erityisesti matojen - toiminnan edistäminen maaperässä on sen tähden tärkeä tavoite välttävästi läpäisevyyden vähimmäisvaatimukset täyttävillä mailloilla. Hoitomenetelmät, kuten olkien tai olkilannan levittäminen ja kasvituholaisia tappavien myrkkujen käytön vähentäminen auttavat maaperän biologisen toiminnan lisäämisessä.

Urheilukäytössä olevat nurmialueet ovat eräs kohde, jossa on tapahtunut kuivatusmenetelmien kehittymistä. Kapeampien kaivuuvälitien ja halkaisijaltaan pienemmän putken käyttöönotto on helpottanut urheilukenttien, golf-viheriöiden jne. kuivattamista vähäisemmän pintavaurioiden. Uusi "stripdrain"-putkimateriaali on osoittautunut erityisen sopivaksi urheilukäytössä oleville nurmialueille.

Uusien puutarhakasvien kuivatustarpeet

Huolimatta puutarhojen lisääntymisestä Uudessa Seelannissa, näistä kasveista monen kuivatus- ja ilmastusvaatimuksista tiedetään vain vähän. Esimerkiksi kiwihedelmän luultiin aluksi vaativan vähintään yhden metrin syvyyden kuohkean, vapaasti kuivuvan kerroksen. Kuitenkin hyvin kasvavien kasvien tapaaminen sellaisilla mailla, jotka eivät tätä kriteeriä täyttäneet, osoitti, että tämä viljelykasvi on paljon sietokykyisempi kuin ensin luultiin.

Massey yliopiston maaperätieteiden osasto on viime aikoina tarkkaillut erästä kuivatusongelmien vaivaamaa kiwihedelmätarhaa. Tähän mennessä tehdyt tutkimukset osoittavat, että viljelykasvin herkkyyden maaveden liian suurelle määrälle vaihtelee kausittain. Taudit tai "märkälakastuminen" olivat yleisempiä, kun köynnökset alistettiin suurelle maankosteudelle aktiivisen kasvun (ja voimakkaamman mikrobihengityksen) aikana, mikä epäilemättä kuvaa maan sisältämän hapen nopeaa kulumista tällaisen jakson aikana (taulukko 1).

Myös useat salaojitus suunnittelijat ovat raportoineet yrityksistä määritellä kiwihedelmän kuivatusvaatimuksia (Eden, 1986; Kyle,

1986; Tilsley, 1986).

Ympäri maata tehdyt havainnot osoittavat, että huono kastelu saattaa korostaa luonnollista kosteudesta aiheutuvia ongelmia. Koska vedensaanti Uudessa Seelannissa on käytännöllisesti katsoen ilmaista, monet viljelijät kastelevat kasveja liian runsaasti niiden vedentarpeeseen nähden. Osa viljelijöille annettavasta kuivatusneuvonnasta tulisi tässä tapauksessa suunnata kastelun suunnittelun perusasioiden opettamiseen.

Rakenteiden aiheuttamat hankaluudet

Valitettavasti kaikki viljelijät eivät ymmärrä maan kuivatustilanteen määrittämisen tärkeyttä perustaessaan hedelmätarhaa. On liian monta tapausta, jossa viljelijät ovat tulleet tietoisiksi kelnotekoisien kuivatuksen tarpeellisuudesta vasta viljelykasvien kärsittyä kostean vuoden aiheuttamista kehitysvaurioista.

Salaojien rakentaminen jo perustettuun tarhaan ei ole helppo tehtävä. Monia hedelmäkasveja tuetaan ristikkorakentein ja tukilangoilla, usein penkkien alla kulkee samansuuntaisia kasteluputkia. Ojankaivuuseen käytävät suuret koneet eivät pääse tällaisille

Taulukko 1. Havainnot kuolleista köynnöksistä kolme vuotta vanhassa kiwi-hedelmätarhassa kostean kevät-varhaiskesä-jakson aikana (lokakuu 1986 - tammikuu 1987)

Pvm.	Kuolleiden köynnösten lukumäärä
- 07-10	26
07-10 - 07-11	4
07-11 - 14-11	11
14-11 - 05-01	35
Kuolleita köynnöksiä yhteensä	98 306:sta tarkkaillusta köynnöksestä

alueille. Siksi tarvitaan alhaalta kannateltavia, ripustettavia, kapelta ojankaivuuvälineitä.

Masseyn yliopistolla on viime aikoina kehitetty vintturilla vedettävää myyräauraa ja jankkuria. Tällä koneella on kyky kulkea tukirakenteiden ja tukilankojen tason alapuolella, jolloin toissijaiset salaojityöt voidaan tehdä puurivistöihin nähden kohtisuorassa suunnassa.

Koska ennalta ehkäiseminen on aina parempi keino kuin tapahtuneen vahingon korjaaminen, salaojasuunnittelijoiden olisi suuntauttava tulevaisuudessa viljelijöiden neuvomiseen, jotta nämä tietäisivät täsmällisen maaperätutkimuksen tarpeellisuudesta ennen tarhan perustamista.

Juuristojen aiheuttamien salaojaputkitukosten ehkäiseminen

Eräs lisävaikeus, joka suunnittelijan on voitettava tarhan salaojituksen yhteydessä, johtuu laajalle levinneestä luonnonkasvien käytöstä tuulensuojana. Kolme lajia, nimittäin paju, poppeli ja eucalyptuspuu kasvavat nopeasti muodostaen tehokkaita suojavyöhykkeitä. Samalla niillä kuitenkin on elinvoimaiset juuristot, jotka pystyvät etenemään salaojaputkeen ja tukkimaan sen.

Taas kerran on suunnittelijalla käytettävään vain vähän ajankohtaista, tutkimuksen avulla saatua tietoa menetelmistä ja turvallisesta välimatkasta, kun rakennetaan salaojaputkia suojavyöhykkeen läheisyyteen. Usein esitetty nyrkkisääntö on käyttää lujaa rei'ittämätöntä putkea, kun putki aiotaan rakentaa viiden metrin säteelle suojavyöhykkeestä, ja karsia juuret vuosittain 50 cm syvyydeltä kaikkien salaojaputkien ja suojavyöhykkeiden välistä. Silti hiljattain Masseyn yliopistolla suoritettu tutkimus osoittaa, että 4 vuotta

vanhojen pajujen ja poppeleiden juuret ulottuvat yli viiden metrin etäisyydelle ja reilusti 50 cm syvyyden alapuolelle.

Masseyn yliopistolla on aloitettu kokeilu, jonka tarkoituksena on hankkia tietoa, jotta voitaisiin laatia täsmällisemmät ohjeet suojaavien puiden läheisyydessä käytettävien putkien suunnittelua varten. Tässä kokeilussa käytetään seitsemää eri täyte- ja putkiainemateriaalia sekä tarkkaillaan juuriperiskoopin avulla juurien kehittymistä putkissa ja niiden ympärillä. Tavoitteena on tehdä myös alueiden välinen tutkimus, jossa selvitetään suojaustalon juuriston aiheuttamista tukkeutumista syntyneiden ongelmien laajuus.

Yhteenveto

Vilmeiksi kulunelden 5 - 10 vuoden aikana on Uuden Seelannin salaojitukselle syntynyt huomattava määrä uusia haasteita. Näistä suurin lienee tarhaviljelyn lisääntyminen. Hedelmäkasviemme maankuivatus- ja maanilmastusvaatimusten täsmälliseksi määrittämiseksi tarvitaan tutkimusta. Kasvitarha- ja juuri kelpaavan maan tehokkaaksi parantamiseksi tarvitaan uusia koneita ja uudistettuja menetelmiä. Eritysongelmia, kuten putkitukoksia joita suojana käytettävien puiden juuristot aiheuttavat, on tutkittava.

Myös muut maankäyttäjät ovat alkaneet korostaa kuivatuksen merkitystä. Erityisen huomion kohteena mainitaan urheiluaarenoiden nurmikentät pelaajien vaatiessa nyt pelialustalta enemmän kuin aikaisemmin, sekä maaperäkemikaaliteollisuus maaperään suuntautuvien kemiallisten nesteiden käytön kasvaessa. Nähtäväksi jää, kuinka hyvin salaojituslaitteollisuutemme selviää näistä muutoksista.

Uuden Seelannin Salaojitusyhdistyksen perustaminen on epäilemättä askel oikeaan

suuntaan salaojitusemme edistämiseksi.

Ehkäpä voimme kääntyä myös muiden maiden salaojituksia suunnittelevien tahojen puoleen eri puolilla maailmaa etsessämme neuvoja tilanteeseen.

Lähteet

Baker, C.J., Choudary, M.A., Kernohan, C.D., McAuliffe, K.W., Horne, D.J., and Woodgyer, W.R. 1986. 'Mole plough development and gravel backfill research'. Proc. of the 3rd National Land Drainage Semlnar, Hamilton, N.Z.: 169-180.

Cook, F.J. 1986. Understanding and using 'SWAMP'. Proc. of the 3rd National Land Drainage Seminar, Hamilton, N.Z.: pp 50-64.

Eden, M. 1986. Drainage and disease in Auckland orchard soils. Proc. of the 3rd National Land Drainage Seminar, Hamilton, N.Z.:pp 70-71.

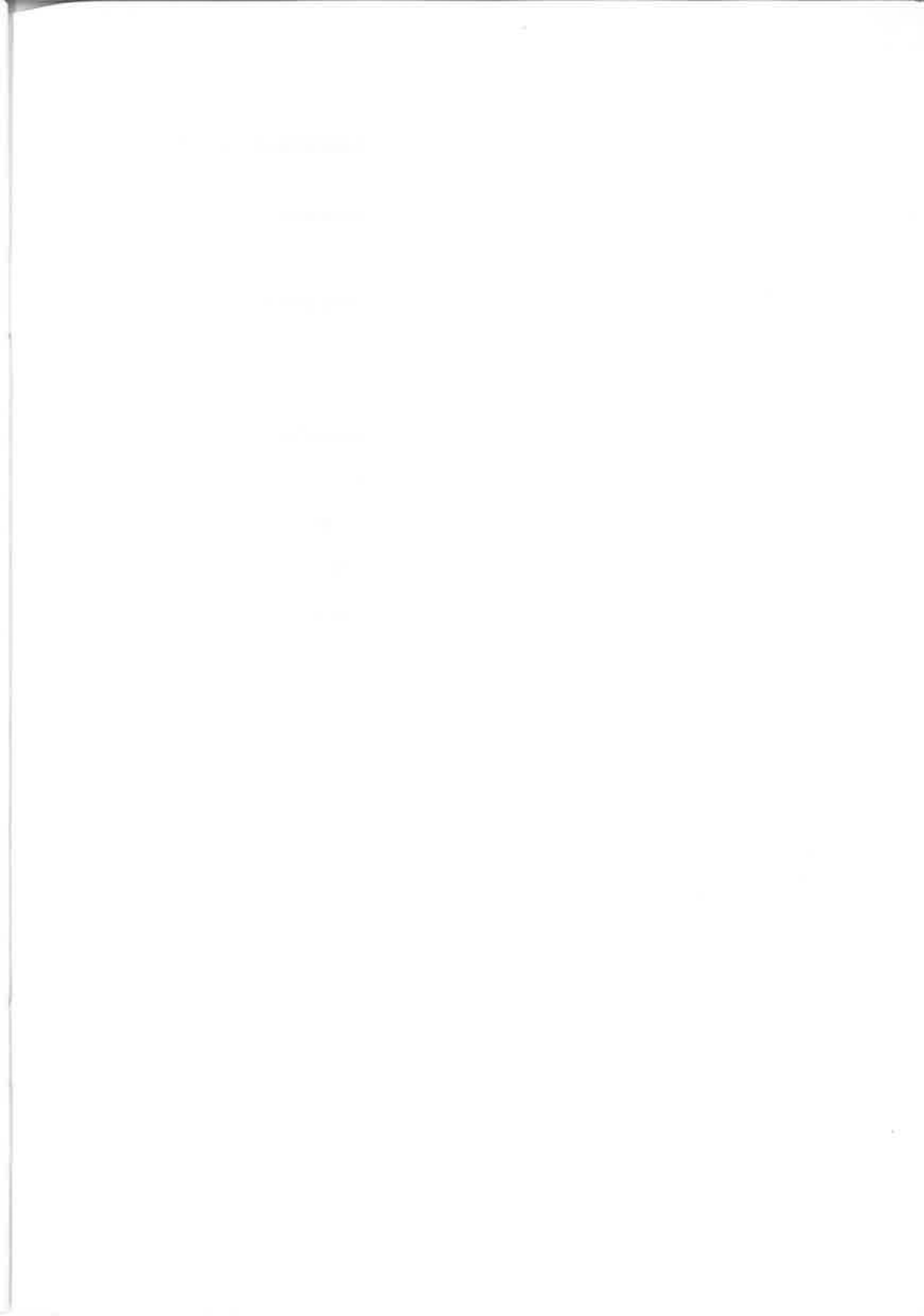
Kyle, R. 1986. Modelling horticultural drainage requirements. Proc. of the 3rd National Land Drainage Seminar, Hamilton, N.Z.: pp 96-105.

Tilsley, R. 1986. Problems in horticultural drainage In South Auckland - Field trial on drainage characteristics of volcanic clay loam and lower Waikato peats. Proc. of the 3rd National Land Drainage Seminar, Hamilton, N.Z.: pp 72-80.

Wilson, E.W.S. 1986. Horticultural drainage techniques in Hawkes Bay. Proc. of the 3rd National Land Drainage Seminar, Hamilton, N.Z.: pp 81-85.

Aikaisemmin ilmestyneet Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet:

- 1/1987 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta
- 2/1987 Salaojatutkimusta koskevia aiheita
- 3/1987 Salaojituskoetoiminnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista
- 4/1988 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987...1988
- 5/1988 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia
- 6/1989 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa
- 7/1989 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 27.9.1988
- 8/1989 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka
- 9/1989 Sievin salaojituspäivät 20.-21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista
- 10/1990 Maaseudun ympäristöpäivä Laukaalla 20.3. ja Jokioisissa 26.3.1990
- 11/1990 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä rautasaostuman muodostumisesta





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