

SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE
5/1988

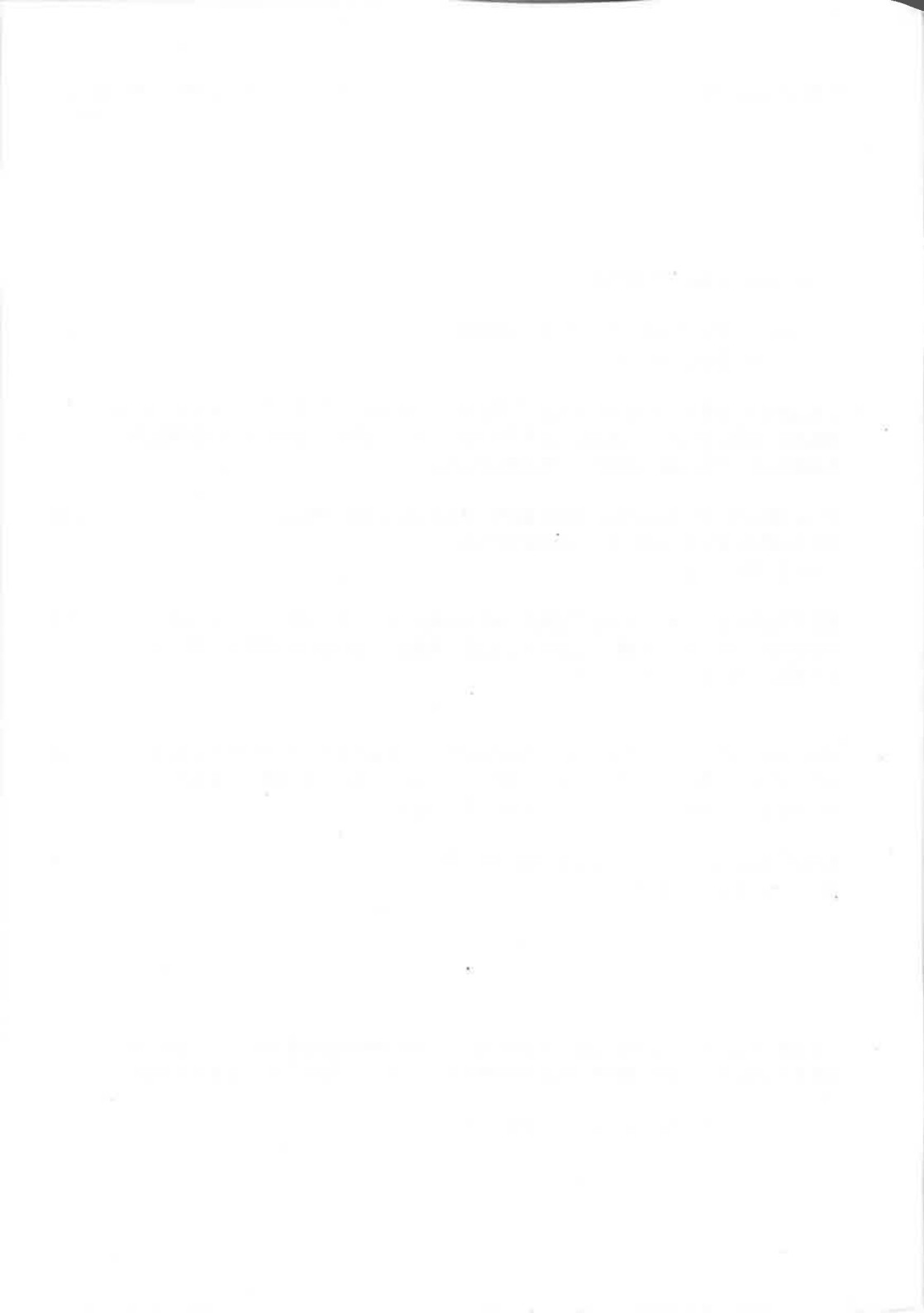
**KUIVATUSTA JA KASTELUA
KOSKEVIA TUTKIMUKSIA**

HELSINKI 1988



SISÄLLYSLUETTELO	sivu
SALAOJITUKSEN TUTKIMINEN Matias Torvela	1
SALAOJASYVYYDEN VAIKUTUS POHJAVEDEN KORKEUTEEN, MAAN KUIVUMISEEN, SATOON JA MAAN KANTAVUUTEEN August Håkansson (käännös)	5
TURPEEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS PELLON SALAOJITUKSEN TOIMINTAAN Suvi Niini	28
KUIVATUSOJAN LUISKASORTUMAN ARVIOINTI JA HUOMIOONOTTAMINEN HYDROLOGISESSA SUUNNITTELUSSA Ilkka Maksimainen	34
PORKKANAN JA PUNAJUURIKKAAN SADETUS TYPPILANNOITUS JA KALKITUS POUTIVALLA HIEKKAMAALLA Matti Vuorinen ja Mauri Takala	40
ARIDISTEN ALUEIDEN KASTELU Harri Toivonen	43

Toimitus: Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n hallitus, toimitussihteeri: DI Seija Virtanen.



SALAOJITUKSEN TUTKIMINEN

Salaojituksen tutkimusyhdistyksen tarkoituksena on salaojituksen ja muiden maatalouden perusparannusten, kuten peruskuivatuksen, kastelun ja vedenhankinnan edistäminen. Kun vuonna 1980 yhdistystä perustettiin korostettiin sitä, että yhdistys tutkii, suunnittelee ja kehittää alaansa kuuluvia järjestelmiä ja menetelmiä. Koska yhdistyksen rahavarat ja henkilöresurssit ovat niukat, yhdistys pyrkii saamaan toiset töihin. Tässä me olemmekin ovelia ja olemme jo näin lyhyessä ajassa jossain määrin onnistuneet. Tänä päivänä on käynnissä useita salaojituksista ja kuivatusta koskevia tutkimuksia ja selvityksiä. yleinen kiinnostus salaojatuksimukseen on lisääntynyt. Yhdistys pyrkii jatkuvasti kiinnittämään tutkimusta ja selvitystyötä edistävien rahoittajien, valtiovalta mukaan lukien, huomiota tähän toimintaan.

Yhdistyksen tarkoituksena on jatkuvasti edistää

maataloustuotannon rationalisointia. Siitäkin huolimatta, että meillä sattuu tällä hetkellä olemaan tietynasteinen maataloustuotteiden ylituotantovaihe, on maataloustuotantoa edelleen nykyaikaistettava. Tulevaisuuden yhä kiristyvässä kilpailutilanteessa selviävät vain ne tilat ja viljelijät, joilla on ollut uskallusta kehittää maataloustuotantoa ja tuotantomenetelmiä.

Suomessa salaojituksen ja kuivatuksen tutkiminen ja siihen liittyvä selvitystyö ovat vanhaa perua. Tässä yhteydessä tulee aina muistaa professori Lauri Keso, joka maanviljelystekniikan opetuksessaan maatalousalan opikeliijoille Helsingin yliopistossa suoranaisesti julisti kovalla äänellä kuivatuksen ja salaojituksen etuja ja merkitystä. Salaojituksen erinomaisuuden saattoi kuulla myös peräpenkille. Vuosien mittaan meillä on ollut toki muitakin alan asiantuntijoita nimiä kuitenkin luettelematta.

Eräässä toisessa yhteydessä olen esittänyt jo aikaisemmin Keson luennoillaan mainitsemat salaojituksen edut (vrt. MITL:n tied.ant. No. 81, 1981).

Kuivatuksen tarkoituksena ja ojien tehtävistä yleisesti Keso mainitsi luennoillaan (syksyllä 1950 ja keväällä 1952): Ojien tehtävänä on estää vahingollisia tulvia nousemasta viljelysalueelle ja poistaa sieltä kasvien kasvulle ja töiden suorituk-

selle haitallinen vesi. Valtaoja estää tulvien nousun ja mahdollistaa alueen kuivatuksen ojituksen edellyttämään syvyyteen Piiriojat estävät muualta tulevien vesien pääsyn alueelle. Sarkaoja tai salaoja poistaa alueelta haitalliset pinta- ja pohjavedet.

Keso antoi myös täsmälliset ohjeet milloin on suoritettava salaojitus:

I Salaojatekniset seikat

1. Kuivuessa kovettuvat maat ojitetaan märkinä
2. Laskeutuvat ja rakoilevat maat ojitetaan kuivina
3. Uudisraivattavien soiden ojat voidaan jättää puolisyyviksi talven ajaksi
4. Kynnösmaille valuu maa ojiin. Nurmilla vaikea ajaa ojamultia ojiin

II Taloudelliset seikat

1. Aikana, jolloin salaojitustyöt häiritsevät vähiten muita töitä
2. Salaojituksen jälkeen on viljeltävä kasveja, jotka kärsivät vähiten multakerroksen ohentamisesta ja happamasta pohjamaasta (kaura); ei monivuotisia kasveja

III Viljelystekniset seikat

1. Hävitettävällä heinänumella ojitus käy hyvin
2. Viljan leikkuun jälkeen

3. Kesannolla, syksyllä tai keväällä

4. Keväällä ennen kauraa, perunaa, ohraa tai vihantarehua

Keso oli paneutunut erikoisen huolellisesti salaojituksen virheelliseen suoritukseen. Tätä käsittelevän luennon

otsikkona oli: Salaojituksen virheet ja syyt salaojien huonoon toimintaan:

I Suunnitteluvirheet

1. Putous epätasainen, liete laskeutuu pohjaan, syntyy tukkeuma
2. Matala ojitus. Tällöin juuritukkeutumien vaara, putket voivat jäätyä ja siirtyillä

II Huolimaton työ

1. Pohja huonosti tasoitettu
2. Putkien kelvoton asettelu ja huono liitoskohtien laitto
3. Putkien päät likaantuneet
4. Vesi pääsee virtaamaan putkien vieressä
5. Työn keskeytyessä putkeen jäänyt tulppa

III Huonojen putkien käyttö. Putket huonosti poltettuja tai säröllä

IV Maaperästä aiheutuvat tukkeutumat

1. Liete, etenkin hieta-, hiesu- ja hiekkamailla. Kerroksellista lietettä, suolojen muodostumista keltapunahyytelöksi
2. Ruoste saostuu putkistoon. Sora ei saa olla liian hienoa
3. Juuritukkeutumat, niitä esiintyy puistoteiden lähellä sekä monivuotiset keittiökasvit ja syväjuuriset rikkaruohot
4. Hyytelötukkeutumat, AIV-rehusta tulleet vedet happamia, kaivon kupari- tai sinkkilevy

V Huono hoito

1. Valtaojat tukossa
2. Laskuaukko tukkeutunut

VI Viljelysmaan käytössä tapahtuneet muutokset

VII Pohjaveden aiheuttamat routatulvat

Salaojitusta koskeviin luentoihin liittyi myös osallistuminen salaojituksen suorittamiseen käytännössä. Huomattava osa mm. Malminkartanon pelloista ojitettiin näillä kursseilla. Kurssit kestivät noin viikompäivät tai yli ja ojitus piti tehdä todella huolella, millimetrin tarkkuudella.

Professorin Keson luennoista löytyy monia muitakin mielenkiintoisia kohtia. Ehkä toisessa yhteydessä palaan niihin. Edellä olevat otteet prof. Keson luennoista osoittavat, että hän oli alaansa täysin vihkiytynyt

ja ainakin osaksi on hänen ansiotaan, että meillä salaojitus on kunnollasuoritettu heti alusta alkaen.

Maataloustuotannon koneellistuesssa ja edistyessä asettaa se jatkuvasti lisävaatimuksia peltojen kuivatukselle. Kuivatuksen tulisi selviytyä myös epänormaaleissa ja vaikeissakin sääoloissa. Tällaiset poikkeukselliset vuodet ovat hyvin tunnettuja tänäpäivänä. Salaojitusta edelleen kehitettäessä ovat kaikki neuvot tarpeen; tarvitaan Keson antamia ohjeita ja tutkimuksem on tuotettava jatkuvasti lisätietoutta.

Helsinki 16.8.1988

Matias Torvela

**SALAOJASYVYYDEN VAIKUTUS POHJAVEDEN KORKEUTEEN, MAAN
KUIVUMISEEN, SATOON JA MAAN KANTAVUUTEEN**
August Häkansson *

Johdanto

Ojien syvyys ja tiheys vaikuttavat oleellisesti pellon kuivatustehokkuuteen ja pellon kosteusoloihin. Syventämällä ojia voidaan harventaa ojaetäisyyttä etenkin hyvin vettä läpäisevillä maalajeilla maan pinnan kuivumisen tästä hidastumatta. Niinpä ojien syvyyttä voidaan pitää tärkeimpänä pellon kuivumistehokkuuteen vaikuttavana tekijänä. Ojien suositeltava syvyys ja tiheys riippuvat paljon siitä kuinka syväälle pohjaveden pinta on mahdollista tai tarpeellista alentaa.

Salaojituksen vaikutuksista peltomaan kuivumiseen on kokemuksia runsaalta sadalta vuodelta. Näiden kokemusten mukaan käsitykset siitä, kuinka syvään pelto tulisi ojittaa, ovat vielä varsin

ristiriitaiset, koska kasvien vaatimasta kuivatuksesta ja liian märkyyden kasville aiheuttamista vaurioista ei ole ollut riittävästi tietoa. Niinpä on nähty tarpeelliseksi tarkastella aiempaa kriittisemmin eri kasvuolosuhteissa saatuja satomääriä kuivatussyvyyden vaihdellessa.

Ojasyvyyden vaikutuksia satoon voidaan tarkastella kolmesta eri näkökulmasta:

1. Ojasyvyyden vaikutus satoon, maan kuivumiseen ja kantavuuteen.
2. Ojasyvyyden vaikutus maan ja kasvin ominaisuuksiin, kuten esim, juuriston kasvuun, okran muodostumiseen ja tiivistymiseen.
3. Eri ojasyvyysien taloudellisten etujen ja haittojen vertailu.

*) Kirjoitus on lyhenelmä August Häkanssonin vuonna 1961 kirjoittamasta artikkelista: Studier av dikesdjupets inverkan på grundvattens-tånd, skördeavkastning, markens upptäckning och bärdkraft. Tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättringar. 4:173-292. Vapaasti käännetty M T T L :ssa syksyllä 1987.

Tämä tutkimus perustuu vuosina 1948-59 tehtyihin kenttäkokeisiin ja tarkastelussa keskitytään vain edellä kohdassa 1. esitettyihin näkökohtiin, eli ojasyvyyden vaikutuksiin satoon, maan kuivumiseen ja kantavuuteen.

1 Kuivatuksen vaikutus juuristoon

Ojituksella pyritään kuivatamaan pelto siten, että maaperän kasvuolot saadaan edullisiksi juuriston kasville ja ravinteiden otolle. Ojituksella johdetaan pintavesi pois pellolta, tyhjennetään maan suuret huokokset vedestä sekä samalla tuodaan huokosiin ilmaa. Maan ilmalla on ratkaiseva merkitys peltokasviemme juuriston kasville kuten myös mikro-organismien toiminnalle.

Eräät kasvit voivat toki kasvattaa juuristonsa myös maahan, jossa ei ole ilmaa. Ne ovat sopeuttaneet juuristonsa kasvamaan happiköyhissä tai jopa hapettomissa oloissa. Meidän viljelykasvit eivät siihen kuitenkaan pysty, vaan niiden juuristo vaatii kasvaakseen ehdotto-

masti myös happea. Tällöin kasvin juuristo ei kasva syvemmälle kuin maan happipitoisuus sallii. Paikallaan pysyvä pohjaveden pinta muodostaa näin tehokkaan esteen juuriston kasvulle.

Liian märässä maassa juuristo kasvaa hitaasti ja jää matalaksi, mikä heikentää kasvin ravinteiden ja veden ottoa. Kasvin aktiivinen ja passiivinen vedenotto kärsivät, jos maan kaikki huokokset ovat täynnä vettä. Ravinteista erityisesti kaliumin saanti on tällöin vaikeaa (Lawton 1948). Maan liiallinen vesi ja hapen puute hukuttavat kasvin juuriston. Kasvi alkaa kärsiä veden ja ravinteiden puutteesta ja etenkin juuriston elinvoima alkaa laskea nopeasti. Elinvoima laskee sitä nopeammin mitä kauemmin juuristo kärsii hapen puutteesta. Myöhemmin oireet ilmenevät myös kasvin ilmaversoissa. Lopulta kasvi lakastuu ja kuolee.

Märän maan ja ilmakehän välinen kaasunvaihto on vähäistä. Märässä maassa maan ilman happipitoisuus alenee ja hiilidioksidi-

pitoisuus kohoaa juuren ympäristössä. Samalla juurelle myrkyllisten aineiden, kuten esimerkiksi metaanin ja etyleenin, pitoisuus juuren ympärillä kohoaa anaerobisten mikrobin toiminnan tuloksena. Nämä myrkylliset yhdisteet vaurioittavat juuriston solukkoa. Juuriston toiminnot estyvät, ja juuristo alkaa kuoleutua nopeammin kuin pelkällä veden ja ravinteidenoton häiriytymisellä voidaan selittää. Kramerin (1956) mukaan maan puutteellinen tuuletus ja ilman vähäisyys ovatkin tavallisimmat syyt juuristovaurioihin sekä veden- ja ravinteidenoton heikkenemiseen.

Liiallisen veden haitalliset vaikutukset juuristoon riippuvat myös vallitsevasta lämpötilasta sekä kasvin kehitysvaiheesta. Vaurioita syntyy herkimmin lämpiminä kesäpäivinä, jolloin kasvuston elintoiminnot ovat vilkkaimmillaan. Tällöin juuristolta edellytetään tehokasta veden ja ravinteiden ottoa. Juuristo tarvitsee tällöin myös enemmän hapetta hengitykseen kuin kylminä päivinä.

Kasvin voimakkaimman kasvun aikana juuriston toiminnalle asetetaan suurimmat vaatimukset. Samalla mahdolliset vauriot saattavat olla vakavimmat. Esimerkiksi kevätviljat vaurioituvat liiasta märkyydestä herkimmin nopeimman kasvun, korren kasvun ja kukinnan aikana. Tuleentumisaikana viljat eivät vaurioidu niin herkästi. Toisaalta voimakkaat ja pitkäaikaiset syyssateet pitävät maan liian märkinä jatkuvasti pitkiäkin aikoja. Vauriot saattavat näin muodostua käytännössä myös syksyllä suuriksi, vaikkei kasvusto olekaan enää vaurioille herkimmillään.

Maan ilmavuus vaikuttaa myös välillisesti kasvin ravinnehuoltoon. Heikosti kuivatussa maassa esim. kasvuston orgaanisen aineksen palautuessa takaisin maahan typen denitrifikaatio lisääntyy. Tällöin kasvin kasvua saattavat rajoittaa maan vähäiset typpivarat.

Esitettyjen näkökohtien perusteella voitaneen todeta, että maan riittävällä kuivatuksella on varsin keskeinen vaikutus juuriston

sekä näin myös koko kasvin kasvulle. Maan kuivatuksella tavoitellaan juuriston toiminnoille edullista juuristovyöhykkeen ilmapuutta ja riittävää kaasunvaihtoa, jotta juuristo voi kasvaa syvälle sekä ottaa kasvin tarvitsemia ravinteita tehokkaasti.

2 Ojasyvyyden ja pohjaveden korkeuden vaikutukset maan kosteusoloihin

Viljelysmaan kuivatuksella pyritään johtamaan juuriston kasvuvyöhykkeestä pois ns. vapaa vesi, joka on sitoutuneena maan suurimpiin huokosiin(=ilmahuokokset) ja halkeamiin. Vapaa vesi liikkuu maassa painovoiman ansiosta alaspäin. Kun tämä vapaa vesi johdetaan pois maasta, alenee maan pohjaveden pinta ja maahan tulee ilmaa. Pohjaveden pinnan yläpuolelle jää kasveille käyttökelpoista vettä, joka on sitoutunut kapillaarivoiman ansiosta maan ilmahuokosia pienempiin huokosiin, eli ns. vesihuokosiin. Maahan kapillaarisesti sitoutunut vesi on kasvien käytettävissä lakastumisrajaan asti, jolloin maa on

kuivunut niin kuivaksi ettei kasvi voi enää ottaa siitä vettä vaan alkaa lakastua. Vapaan veden poisjohtamisella, pohjaveden korkeudella ja kasvien käytettävissä olevalla vesimäärällä on varsin keskeinen vaikutus maan riittävästä kuivatuksesta saataviin hyötyihin.

Salaojasyvyys vaikuttaa oleellisesti maasta poisjohdettavan veden virtaamisnopeuteen ja määrään. Eräissä tutkimuksissa (mm. Gustafson 1946) on todettu, että ojien syventäminen 60 cm:stä 120 cm:iin on lisännyt veden virtaamisnopeutta maassa 60 % silloin, kun maa on läpäissyt vettä hyvin ja salaojaputki on ollut halkaisijaltaan 4". Mikäli maa on läpäissyt vettä huonosti, eivät virtaamisnopeuksien erot eri ojasyvyyksillä ole olleet niin selvät. Syvenettäessä salaojia on maasta saatu johdetuksi pois myös yhä suuremmat määrät vettä.

Pohjaveden pinta on suoraan verrannollinen maasta poisjohdettuun vesimäärään. Runsaiden sateiden tai lumen sulamisen seurauksena

kohonnut pohjaveden pinta laskee sitä nopeammin mitä syvemmälle ojat sijoitetaan silloin, kun maa läpäisee vettä hyvin. Nopeasta pohjaveden pinnan alenemisesta saavutetaan suuria käytännön etuja, sillä juuristovauriot jäävät sitä vähäisemmiksi mitä nopeammin pohjaveden pinta saadaan alenemaan. Etenkin alueilla, joilla on tulvia usein ja joilla kasvukauden sademäärät ovat suuret, pohjaveden pinta tulisi saada alenemaan mahdollisimman nopeasti.

Pohjaveden pinta on raja, joka erottaa maan pohjavesivyöhykkeen ja kapillaarivyöhykkeen toisistaan. Tämän rajan alapuolella nesteen paine on suurempi kuin ilmanpaine ja maan huokokset ovat täynnä vettä. Pohjaveden pinnan alapuolella on maassa on vain hyvin vähän ilmaa. Pohjaveden pinnan yläpuolella maan sopivan kokoisissa huokosissa maahiukkasten ja veden välisen kapillaarivoiman paine on suurempi kuin ilmanpaine. Näin maassa on pohjaveden pinnan yläpuolella sekä ilmaa että kasveille käyttökelpoista vettä.

Pohjaveden pinnan yläpuolella maan ilmatilavuus on yleensä suotuisa kasvien juurten kasvulle. Etenkin karkeilla maalajeilla, kuten esim. karkealla hiedalla, pohjaveden pinta on selvä ja ilmavuuserot pinnan eri puolilla ovat suuret. Voimakkaasti kapillaarisilla hiesumailla pohjaveden pintaa ei sensijaan voida selkeästi erottaa, vaan maan vesipitoisuus kasvaa ja ilmapitoisuus alenee vähitellen mentäessä maassa yhä syvemmälle. Voimakkaasti kapillaarisilla maalajeilla pohjaveden alentamisella ei näin välttämättä voida vaikuttaa maan kosteusoloihin niin selkeästi kuin heikosti kapillaarisilla maalajeilla. Savespitoisilla maalajeilla maan vesipitoisuuden aleneminen riippuu paljolti maan rakenteesta. Hyvärakenteisessa savimaassa huokosjakauma on edullinen ja suurimmat huokokset tyhjenevät nopeasti ojasyvyyttä vastaavasti. Tiivistyneissä ja huonorakenteisissa savimaissa vesi liikkuu hitaasti, eikä ojien syventäminen juuri vaikuta maan pintakerrosten kosteusoloihin.

3 Pohjaveden korkeuden ja ojasyvyyden vaikutukset satoon eri maalajeilla

Vesi liikkuu karkeimmissa kivennäismaissa nopeasti, ja pohjaveden pinta myötäilee melko tarkasti ojaston syvyyttä. Maa varastoi vettä niukasti, eikä vesi juuri kohoa kapillaarisesti pohjaveden pinnan yläpuolelle. Tällaisilla maalajeilla runsaat sateet eivät yleensä aiheuta ongelmia kasvien vesitalouteen, koska vapaa vesi voidaan helposti johtaa pois maasta tehokkaasti myös matalilla ojilla. Toisaalta liiallinen pohjaveden alentaminen saattaa olla haitallista, ja sato voi jäädä kuivina kasvu-kausina alhaiseksi liiallisen kuivatuksen vuoksi.

Voimakkaasti kapillaarisilla maalajeilla, kuten hienolla hiedalla ja hiesulla, sato on yleensä parantunut, kun pohjaveden pinta on saatu lasketuksi riittävän alas. Tällaisilla maalajeilla kasvit eivät kärsi herkästi kuivuudesta vaikka pohjavesi alenee, koska vesi nousee kapillaarivoiman ansiosta kasvien käyttöön pohjaveden

yläpuolelle. Niinpä sadon kannalta onkin oleellista se, että pohjavesi saadaan lasketuksi riittävän alhaalle. Pysyvästi korkealla oleva pohjavesi saattaa pitää juuristovyöhykkeen liian märkänä ja alentaa näin satoa huomattavasti. Sen sijaan sato ei välttämättä alene, vaikka pohjavesi alenisi tarpeettomankin syvälle. Hiesupitoiset maat eroavat hietamaista lisäksi siten, että ne voivat varastoida esim. sateista saatua vettä hietamaita enemmän, ja tarpeettoman syvälle aleneva pohjavesi ei vahingoita kasvien vesitaloutta normaalioloissa.

Savimaissa vesi liikkuu kapillaarisesti hyvin hitaasti, eikä kapillaarivoimilla ole merkittävää edullista vaikutusta savimaiden vesitalouteen. Savimaat voivat kuitenkin muista maista poiketen varastoida kasveille käyttökelpoista vettä suuret määrät pohjaveden yläpuolelle. Vähäisistä kapillaarivoiman aiheuttamista veden liikkeistä johtuen kasvien juuriston on savi- mailla kasvetettava siihen tilavuuteen, josta se tarvitsee vettä käyttöönsä.

Hyväarakenteisissa savimaassa kasvien juuriston kasvuolot ovat hyvät ja juuristo voi kasvaa syvemmälle kuin muissa maalajeissa. Ongelmia syntyy, jos savimaan mururakenne on rikkoutunut ja tiivistynyt liiallisen mekaanisen kuormituksen vuoksi. Tällöin juuriston kohtaama mekaaninen vastus saattaa kohota liian suureksi, eikä juuristo voi saada tarvitsemaansa vettä yhä syvemmältä. Näin savi- mailla voidaan olettaa olevan tietty suotuisin ojaston syvyys, jolla saadaan juuristolle edullisimmat kas- teusolot ja suurin sato. Veden hitaista kapillarisista liikkeistä johtuen liiallinen ojien syventäminen saattaa alentaa satoa, joskin liian matalasta ojastosta aiheutu- neet seuraukset ovat vakavam- mat. Ojasyvyyden vaikutus saatuun satoon korostui eten- kin sateisina kasvukausina. Riittävän syvä ojasto toimii tällöin tehokkaasti ja juuriston kasvuolot saadaan pidetyiksi suotuisina.

4 Koejärjestelyt ja koeolot pääpiirteittäin

Tämän tutkimuksen kenttäko- keet järjestettiin kolmella

eri tavalla vuosina 1948- 59. Vanhimmat vuosina 1948- 50 tehdyt kokeet perustettiin eri ojasyvyyksillä ja tiheyk- sillä ojitetuille lohkoille. Näin järjestetyt kokeet vaativat paljon tilaa. Eri kerranteiden väliset luontai- set kasvuolot saattoivat vaihdella suuresti, ja tulosten luotettavuus oli heikko.

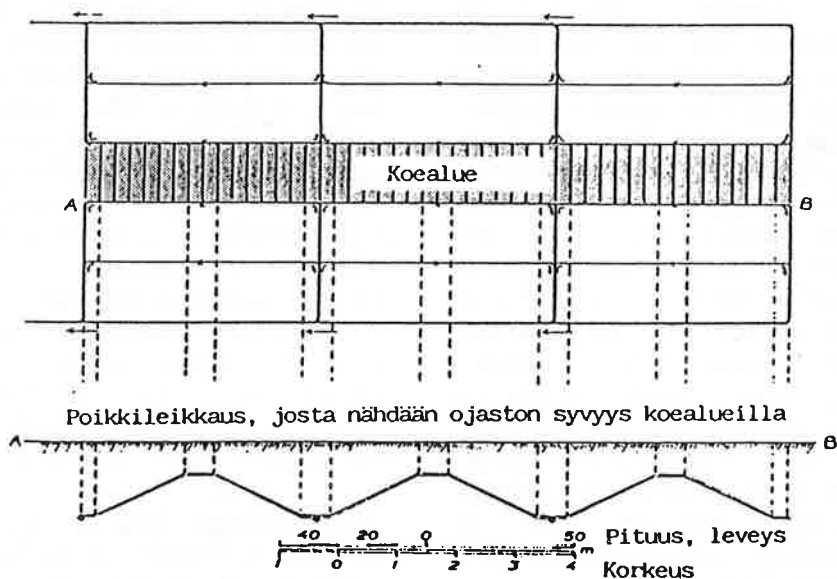
Myöhemmin perustetuissa kokeissa koekenttien vaatimaa pinta-alaa pyrittiin vähentä- mään siten, että kaikki kerranteet ojitettiin samalla ojaetäisyydellä. Tällöin vain ojaston syvyys vaihteli 0,65 metristä 1,10 metriin. Vielä tuolloinkin eri kerranteiden väliset satoerot olivat liian suuret luotetta- vien tulosten saamiseksi, sillä eri kerranteiden sadot saattoivat poiketa toisistaan jopa 170 ry/ha.

Lopulta kenttäkokeet järjes- tettiin kolmannella tavalla kuvan 1 mukaisesti. Tällöin yhden kerranteen vaatima pinta-ala saatiin pienemmään selvästi aiemmista kokeista. Eri kerranteet ja ojalinjaan nähden kohtisuoraan sijoite- tut koeruodut voitiin nyt

sijoittaa välittömästi toistensa läheisyyteen ja maan luontaisten kasvutekijöiden aiheuttamat koevirheet vähenivät oleellisesti aiemmista. Yhden kerranteen sisällä salaojan syvyys muuttui tällöin tasaisesti siirryttäessä koeruudusta toiseen. Tarkasteltavia

ojasyvyvyyksiä voitiin samalla lisätä aiemmista. Kerranteen pituus vaihteli 35 metrissä 50 metriin maan vedenläpäisevyyden perusteella. Huonosti vettä läpäisevillä maalajeilla kerranteet olivat lyhyemmät kuin hyvin vettä läpäisevillä maalajeilla.

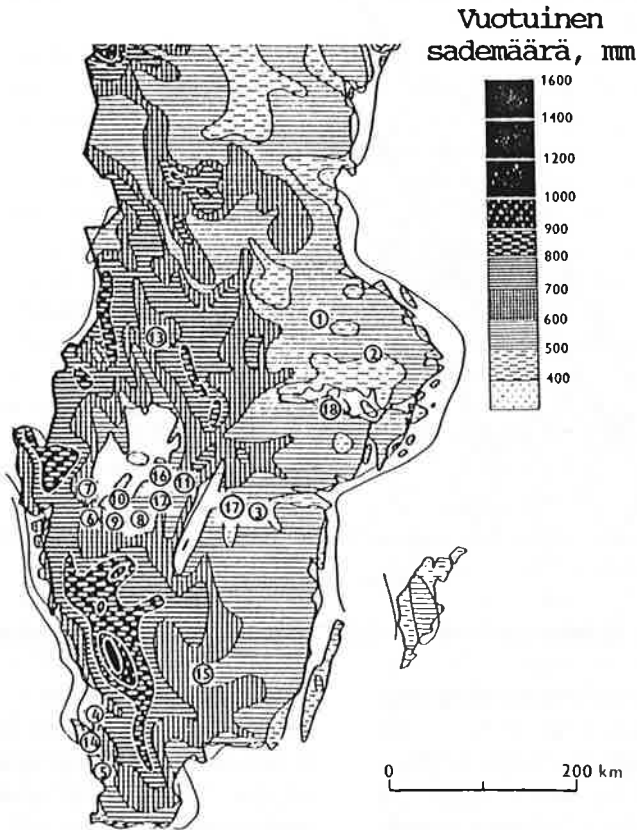
Kenttäkoe 3



Kuva 1. Myöhemmin perustettujen kenttäkokeiden koekartta. Koeruudut olivat tällöin kohtisuoraan ojalinjaan nähden ja ojaston syvyys muuttui jatkuvasti ja tasaisesti koeruudusta toiseen.

Koekenttiä oli kaikkiaan 16 kappaletta. Ne sijaitsivat kaikki Keski- ja Etelä-Ruotsissa (kuva 2). Kuvassa on esitetty myös eri koealueiden keskimääräiset sademää-

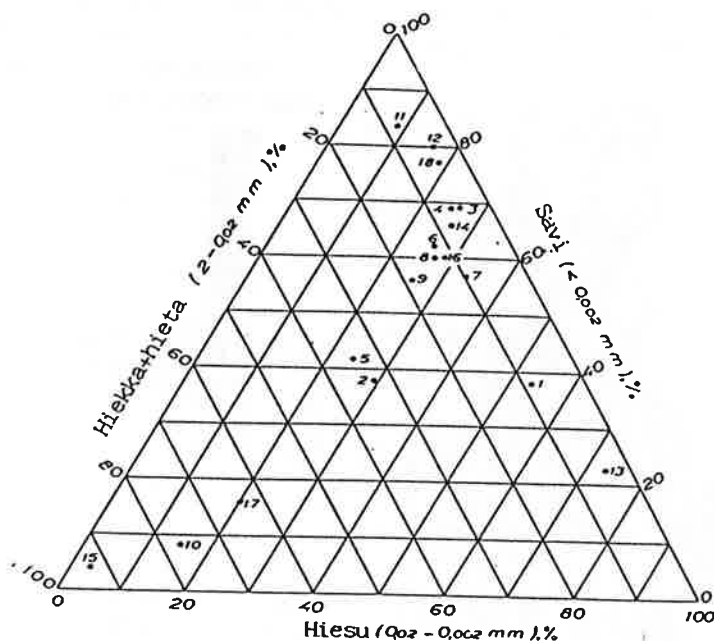
rät koevuosien aikana. Koetuloksia kerättiin koekentästä riippuen 9-10 vuodelta. Kaiken kaikkiaan kokeita tehtiin 105 kappaletta.



Kuva 2. Koekenttien (1-18) sijainti sekä eri koealueiden vuotuiset keskimääräiset sademäärät.

Eri koalueiden maalajit vaihtelivat paljon (kuva 3). Savimaiden osuus korostui kokeissa selvästi muihin maalajeihin verrattuna. Tosin myös runsaasti hiesua ja/tai hietaa sisältäviä

maalajeja saatiin kokeisiin mukaan muutamia. Jäykimmässä savimaassa oli savesta 84 %. Korkeimmat hiesu- ja hietapi-toisuudet kohosivat 73 ja 79 prosenttiin.



Kuva 3. Eri koekenttien (1-18) maalajit maalajikolmiossa.

Koekenttien vedenläpäisykyky vaihteli välillä 0,5 - 40 cm/vrk. Maan vedenläpäisykykyä mitattiin 60 - 120 cm syvyyksiltä. Suurimmat arvot saatiin hietamailla ja

pienimmät arvot saatiin vahvimmallä savimailla. Tosineräillä hyvä rakenteilla lihavilla savimailla vedenläpäisykyky oli kuitenkin 10 - 15 cm/vrk.

5 Koetulokset ja niiden tarkastelu

5.1 Pohjaveden korkeus

Pohjaveden korkeuteen vaikuttavat tekijät voidaan jakaa kahteen ryhmään seuraavasti:

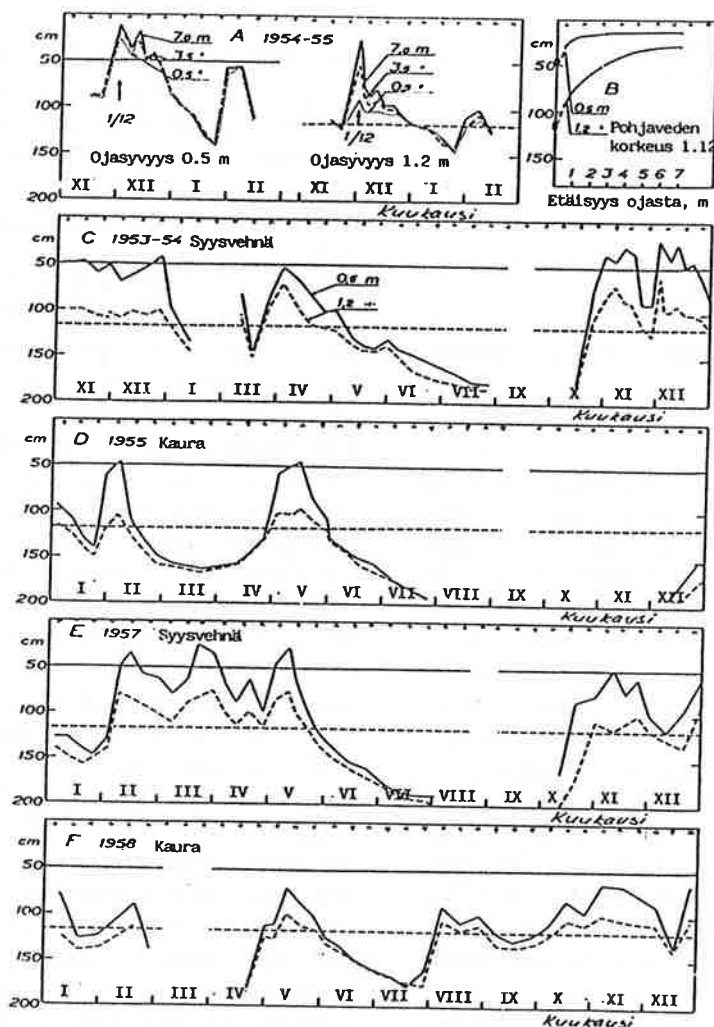
1. Maan rakenteesta riippuvat tekijät
2. Maan ulkoiset tekijät

Ensimmäiseen ryhmään luetaan maan vedenläpäisevyys, kapillaarisuus, veden varastointikapasiteetti ja kasvien juuriston kasvumahdollisuudet. Ulkoisiin tekijöihin luetaan maan pinnanmuoto, sademäärä, kasvien vedenkäyttö, haihdunta, pintavalunta, salaojien kautta virtaava vesi jne. Itse asiassa pohjaveden pinnan korkeusvaihtelut kuvaavat maan vesitasapainon vaihteluita. Salaojitus toimii tällöin maan vesitasapainon säätelijänä siten, että se johtaa ylimääräisen ja vapaan veden pois maasta riittävän tehokkaasti.

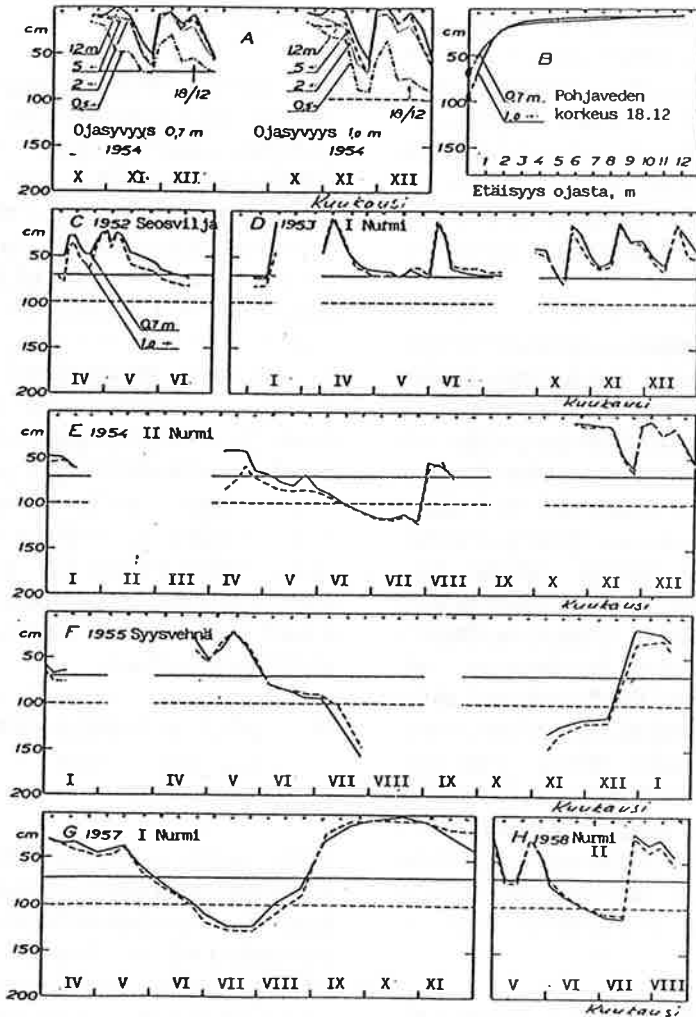
Salaojituksen tehokkuus maan vesitasapainon ja pohjaveden säätelijänä

riippui oleellisesti maan vedenläpäisykyvystä (kuvat 4 ja 5). Pohjaveden pinta myötäili salaojaston syvyyttä näiden kokeiden mukaan hyvin vettä läpäisevillä hietamailla selvästi paremmin kuin vettä huonosti läpäisevillä jäykällä savimailalla. Hyvin vettäläpäisevillä maalajeilla pohjaveden pinta aleni yleensä vähintään ojaston syvyyteen. Maan pintakerrokset kuivuivat tällaisilla maalajeilla myös etäällä ojasta selvästi paremmin kuin huonosti vettä läpäisevillä maalajeilla.

Eri ojasyvyyksien väliset pohjaveden korkeuserot pienenivät kuitenkin silloin, kun sateet olivat runsaat. Pohjaveden pinta kohosi tällöin eri syvyyksiin ojiteuilla mailla lähes yhtä nopeasti sekä salaojan välittömässä läheisyydessä että etäällä olevalla vyöhykkeellä. Kun maahan satoi vettä nopeammin kuin ojasto saattoi johtaa maasta pois, kohosi pohjaveden pinta ojaston syvyydestä riippumatta, eikä syväkään ojitus voinut pitää maan vesipitoisuutta tasapainossa. Maahan tuleva vesi voitiin johtaa



Kuva 4. Pohjaveden korkeus hietamaalla (kuvien 2 ja 3 kenttäkokeessa n:o 10) kahdella eri ojasyvyydellä ja ojaetäisyydellä (A), eri etäisyyksillä ojalinjasta (B) sekä keskimäärin eri viljelyskasveilla (C-H).



Kuva 5. Pohjaveden korkeus savimaalla (kuvien 2 ja 3 kenttäkokeessa n:o 11) kahdella eri ojasyvyydellä ja ojaetäisyydellä (A), eri etäisyyksillä ojalinjasta (B) sekä keskimäärin eri viljelyskasveilla (C-H).

pois vasta pienen viiveen jälkeen, mikä myös tasoitti eri ojasyvyyksien välisiä eroja pohjaveden kohoamisessa poikkeuksellisen märkinä ajanjaksoina. Pohjaveden pinnan alkaessa alentua edut kääntyivät jälleen selvästi syvimmän ojituksen hyväksi.

Maan vedenläpäisykyvyn lisäksi maan kapillaarisuus vaikutti varsin keskeisesti maan kuivumiseen ja pohjaveden pinnan korkeuteen. Voimakkaasti kapillaarisilla maalajeilla pohjaveden korkeus saattoi vaihdella paljon esim. sademäärien mukaisesti ojasyvyydestä riippumatta. Ojasyvyys ei myöskään vaikuttanut tälläisillä maalajeilla pohjaveden pinnan nousu- eikä laskunopeuteen. Heikosti kapillaarisilla ja hyvärakenteisilla savespitoisilla maalajeilla pohjaveden korkeus myötäili edellisiä selvemmin ojasyvyyttä.

Saatujen tulosten perusteella voidaan esittää ojasyvyyden vaikutukset pohjaveden korkeuteen seuraavasti:

A. Kapillaarisesti heikot maalajit:

1. Hyvä vedenläpäisykyky (esim. karkeat kivennäismaat ja hyvärakenteiset savimaat). Pohjaveden pinta myötäilee tavallisesti ojasyvyyttä ja ojasyvyydellä voidaan vaikuttaa oleellisesti pohjaveden korkeuteen

2. Heikko vedenläpäisykyky (esim. tiivistyneet jäykät savet): Ojasyvyydellä ei voida vaikuttaa pohjaveden korkeuteen niin selvästi kuin edellä. Tälläisillä maalajeilla voi olla joissain tapauksissa edullista jopa madaltaa ojia syvimmästä vaihtoehdosta.

B. Kapillaarisesti voimakkaat maalajit (esim. hieno hieta, hiesu):

Vedenläpäisevyyden lisääntyessä mahdollisuudet vaikuttaa pohjaveden korkeuteen ojaston syvyydellä paranevat. Näin ojaston syvyys vaikuttaa pohjaveden korkeuteen hienolla hiedalla enemmän kuin hiesulla. Maan kapillaariset ominaisuudet vaikuttavat kuitenkin pohjaveden korkeuteen sitä enemmän

mitä vähemmän maassa on vapaata vettä. Kapillaarisuus saattaa vaikuttaa tällaisilla mailla pohjaveden korkeuteen jopa enemmän kuin ojasyvyys. Niinpä ojasyvyydellä ei voida vaikuttaa pohjaveden korkeuteen niin selkeästi kuin kapillaarisesti heikoilla maalajeilla.

Pohjaveden korkeuden vaihteluihin vaikuttivat salaojituksen toimivuuden lisäksi paljon myös maan muut ulkoiset tekijät kuten pellon pinnamuoto, sademäärä ja sateiden jakautuminen eri ajanjaksoille, kasvuston vedenkäyttö sekä maanpinnan haihduttama vesimäärä. Nämä tekijät vaikuttivat pohjaveden korkeuteen eri tavoin eri vuodenaikoina.

Keväällä ja erityisesti lumen ja roudan sulamisen jälkeen pohjavesi oli korkealla mutta alkoi tämän jälkeen alentua. Myöhemmin keväällä ja kesällä pohjaveden pinta riippui yhä enemmän kasvuston käyttämästä ja maan haihduttamasta vesimäärästä. Niinpä kesän aikana pohjaveden pinta aleni yleensä alhaisimmilleen ja usein myös selvästi alle

ojitusyvyvyyden. Näissä kokeissa pohjavesi aleni tuolloin jopa syvimmän mahdollisen mittaussyvyyden (1,8 m) alapuolelle. Kuivimpina kesinä maa kuivui niin kuivaksi, ettei pohjavesi kohonnut ojien korkeudelle enää syksyn aikana.

Kesän aikana alentunut pohjavesi alkoi syyssateiden seurauksena nousta. Maa ei ollut tällöin enää yleensä kasvuston peittämä, ja veden haihdunta maan pinnasta oli vähäistä. Syksyn aikana pohjaveden pinta pysyi pisimmän ajan poikkeuksellisen korkealla. Pohjaveden pinta alkoi jälleen alentua, kun maa alkoi jäätyä. Maan jäätyessä vettä virtasi pois maasta ja nousi syvemmistä kerroksista maan pinnan jäätymiskeskuksiin. Tällöin pohjaveden pinta aleni toiseen minimiinsä vuoden kuluessa.

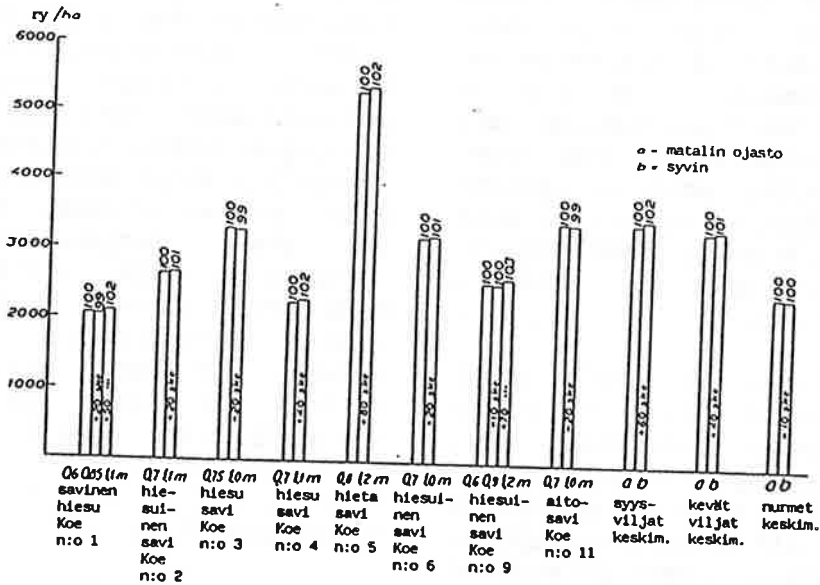
5.2 Satotulokset

Kuten jo aiemmin esitettiin, tämän tutkimuksen kenttäkokeet oli järjestetty kolmella eri tavalla. Näistä kaksi ensimmäistä koetyyppiä poikkesivat oleellisesti

kolmannesta. Niinpä satotulosten tarkastelu jaettiin kahteen osaan siten, että luotettavimman kolmannen koetyypin tulokset tarkasteltiin muista erillisinä.

Vanhimpia koealueita (kokeet 1 ja 2) oli kaikkiaan kahdeksan kappaletta, joista kertyi kokeita yhteensä 67

kappaletta. Näiden kokeiden keskimääräiset satotulokset on esitetty koepaikkakunnittain kuvassa 6. Useimmissa tapauksissa syvin ojasto antoi suurimman sadon, joskaan satoerot eri syvyyksiin ojitettujen lohkojen välillä eivät olleet suuret. Kuvan 6 kolmen oikeanpuoleisista pylväspareista nähdään,



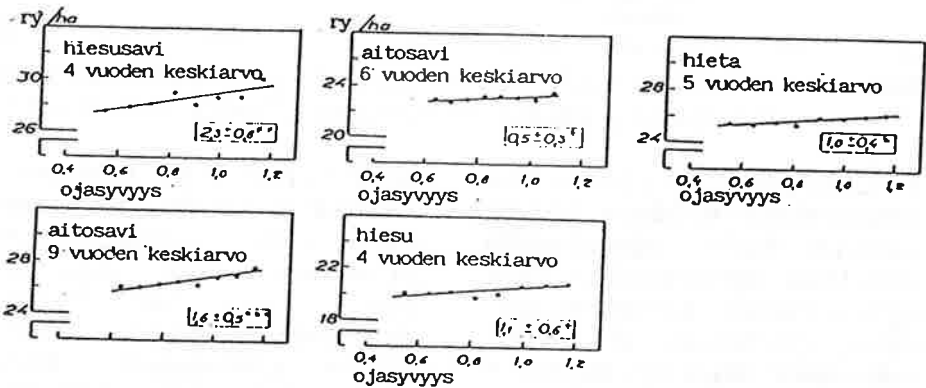
Kuva 6. Keskimääräiset hehtaarisadot (ry/ha) eri ojaston syvyyksillä koepaikkakunnittain ja viljelykasveittain vanhimmissa kenttäkoejärjestelyissä.

kuinka ojaston syvyyden vaihtelut vaikuttivat eri kasveista saatuihin satoihin. Satoerot olivat suurimmat syysviljoilla. Syvimpään ojitettu palsta antoi 14 koivuonna keskimäärin 60 ry/ha enemmän satoa kuin matalimpaan ojitettu palsta. Laidunnurmilla vastaavat erot olivat päinvastaiset ja keskimäärin vain 10 ry/ha. Kevätviljasadot olivat suurimmat syvimpään ojitetuilla palstoilla (eroa 40 ry/ha).

Kaiken kaikkiaan syvimpään ojitetut lohkot tuottivat keskimäärin 30 ry/ha enemmän satoa kuin matalimpaan ojitetut lohkot. Vaikka

satomäärien erot olivat näissä tuloksissa vähäiset, ei voida kuitenkaan todeta, että lohkojen kuivatustarve olisi ollut vähäinen. Tulokset vain kuvastavat sitä satovariaatiota, joka aiheutuu ainoastaan salaojasyvyyden vaihdellessa kokeessa käytetyissä syvyyksissä.

Kehittyneimpien kenttäreiden neljän koivuoden keskimääräiset satotulokset on esitetty maalajeittain kuvassa 7 ja viljelykasveittain kuvassa 8. Näissä kuten aiemmissakin kokeissa sadot kohosivat keskimääräisesti, kun ojastoa syvennettiin. Sadot kasvoivat 60-200 ry/ha, kun ojasto syveni

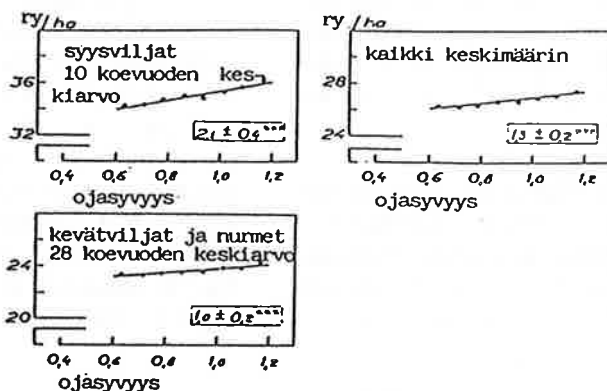


Kuva 7. Keskimääräiset sadot (ry/ha) maalajeittain eri ojasyvyyksillä koejärjestelyissä 3 (vrt. kuva 1).

0,6 metristä 1,2 metriin. Eri ojasyvyyksien väliset satoerot olivat alhaisimmat vahvimilla savimailla ja suurimmat hiesusavimailla. Mitään tarkempia tietoja eri maalajien välisistä eroista ei saatu, koska ilmasto-olot ja viljelymenetelmät

vaihtelivat maalajeittain.

Tulosten luotettavuutta heikensi myös verraten lyhyt tarkasteluajanjakso. Kyseisellä menetelmällä perustetuista kokeista saatiin tuloksiin yhteensä vain 30 koetta.



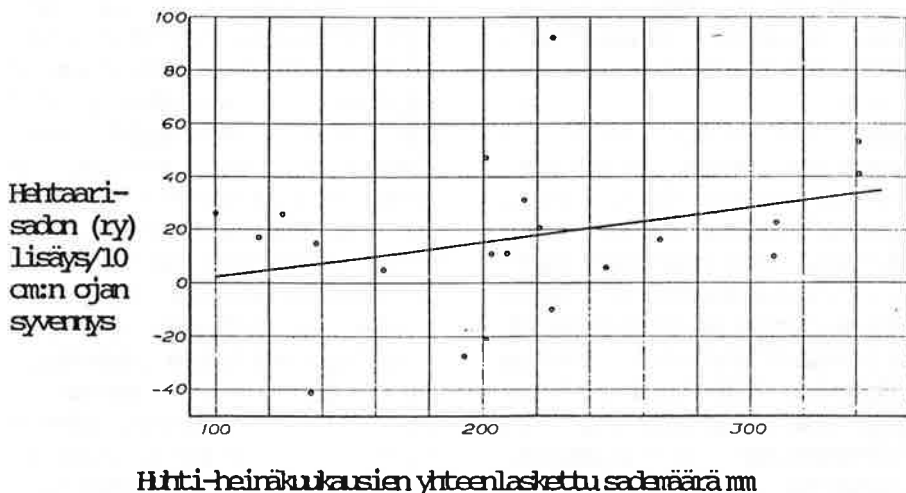
Kuva 8. Keskimääräiset sadot (ry/ha) viljelykasveittain eri ojasyvyyksillä koejärjestelyissä 3 (vrt.kuval).

Viljelykasveittaisista satoeroista voidaan todeta samoin kuin aiempienkin kokeiden perusteella, että syysviljojen satoerot eri ojasyvyyksien välillä olivat suurimmat (kuva 8). Syysviljojen sato parani jopa 200 ry/ha, kun ojat syvenivät 0,6 metristä 1,2 metriin.

Kevätviljoilla vastaavat satoerot olivat saman suuntaiset, joskin puolta pienemmät kuin syysviljoilla eli 100 ry/ha. Nurmilla satoerot olivat vielä pienemmät. Nämä satoerot olivat kaikki tilastollisesti merkitseviä.

Myös näihin kokeisiin vaikuttivat oleellisesti muut ulkoiset tekijät kuten esimerkiksi sademäärä.

Koetulosten mukaan satoerot kasvoivat syvempien ojitusten eduksi, kun sademäärä kasvoi (kuva 9).



Kuva 9. Sademäärän ja ojen syventämisestä saadun sadonlisan välinen riippuvuus kevätiljoilla koejärjestelyissä 3 (vrt. kuva 1).

5.3 Maan kuivuminen ja kantavuus

Maan kuivattaminen vaikuttaa monin eri tavoin maan viljelyominaisuuksiin ja maan käyttäytymiseen erityisesti silloin, kun pellolla

joudutaan liikkumaan joko muokkaus-, kylvö- tai sadonkorjuutoissa. Koneiden kehittyessä ja akselipainojen kasvaessa joudutaan maan kantavuudelle ja kuivumiselle asettamaan yhä suuremmat vaatimukset. Riittävästi kuivunut maa kestää suuret

mekaaniset rasitukset märkää maata paremmin. Maan kuivumisnopeudella on suuri merkitys erityisesti kevätöiden sujumiseen, ja maan kantavuudella on vastaavasti suuri merkitys syystöiden sujumiseen ja maan kestävyysteen suuria mekaanisia vastuksia kohtaan.

Maan kuivuminen vaikutti suurelta osin pellosta saatuun satoon. Erityisesti syysviljoilla sadot kohosivat selvästi, kun maa kuivatettiin tehokkaasti. Maan kuivuminen ja sen vaikutukset pellosta saatuun satoon liittyvät läheisesti maan pohjaveden korkeuteen, jota käsiteltiin jo aiemmin. Toisaalta maan kuivuminen vaikuttaa edullisesti kosteusolojen lisäksi myös maan lämpötalouteen. Riittävän tehokkaasti kuivatetut maat lämpenevät keväällä nopeasti ja kylvötoille päästään aikaisin. Samalla kasvien alkukehitys nopeutuu, mistä saadaan merkittävää etua etenkin keskimääräistä lyhyempien kasvukausien aikana.

Koepaikoilla, joilla eri syvyyskerroksiin ojitetut lohkot

ovat kuivuneet keväisin eritavoin, syvään ojitetut lohkot ovat kuivuneet matalaan ojitettuja palstoja nopeammin. Etenkin runsaiden sateiden jälkeen syvimpään ojitetut lohkot kuivuivat nopeimmin. Yleensä eri syvyyskerroksiin ojitetujen lohkojen väliset kuivumiserot olivat sitä suuremmat, mitä aikaisemmin keväällä eroja tarkasteltiin. Kevään ja kesän kuluessa erot kapenivat. Käytännössä kuivumiserot olivat merkitseviä aikaisin keväällä 15 prosentissa ja myöhään keväällä enää 3 prosentissa tapauksissa. Aikaisin keväällä havaitut kuivumiserot riittivät kuitenkin aiheuttamaan merkittäviä satoeroja.

Tässä tutkimuksessa ei ryhdytty maan kantavuuden tarkastelua varten mihinkään erityistoimenpiteisiin vaan tyydyttiin pelkästään karkeaan kantavuuden tarkasteluun. Maan kantavuutta on selvitetty tarkemmin eräissä muissa ruotsalaisissa tutkimuksissa.

Näiden kokeiden mukaan maa kantoi lähes yhtä heikosti ojaston syvyydestä riippumat-

ta silloin, kun maassa oli runsaasti ylimääräistä vapaata vettä, koska syväkään ojasto ei voinut pitää maata riittävän kuivana. Maan alkaessa kuivua syvimpään ojitettu pelto kuivui nopeimmin ja maiden kantavuuserot kasvoivat syvimpään ojitetun pellon hyväksi 5 prosentissa tapauksista. Maan kantavuus riippui useissa tapauksissa kuitenkin enemmän muista tekijöistä kuin ojaston syvyydestä. Eri syvyyksiin ojitettujen lohkojen väliset kantavuuserot vaihtelivat näissä kokeissa suuresti.

6 Tiivistelmä

Tässä tutkimuksessa käsiteltiin aluksi maan kuivatuksen vaikutuksia kasvien juuriston kasvuympäristöön ja kasvuun. Tämän jälkeen tarkasteltiin salaojien syvyyteen ja maan kuivatukseen liittyvää hydrologiaa. Näin pyrittiin selvittämään ojaston syventämisen vaikutuksia maan kosteusoloihin ja pohjaveden korkeuteen erilaisilla maalajeilla. Tutkimuksen tulokset pyrittiin kuvaamaan kirjallisuudessa esitetyt taustat ja aiempi tietous

huomioon ottaen.

Tämän tutkimuksen tulokset perustuvat 18 eri paikkakunnalla Etelä-Ruotsissa vuosina 1948-59 tehtyihin kenttäkokeisiin, joiden sijainti ja maalajit on esitetty kuvissa 1 ja 3. Yksittäiseltä koekentältä saatiin pisimmillään 10 vuoden koetulokset. Kaiken kaikkiaan kokeita kertyi 105 kappaletta.

Pohjaveden korkeutta mitattiin koekentillä säännöllisesti. Näin voitiin määrittää ojasyvyyden vaikutukset pohjaveden korkeuteen eri tavoin käyttäytyvillä maalajeilla erilaisissa olosuhteissa kun niillä viljeltiin eri viljelyskasveja.

Pohjavesimittausten antamista tuloksista todettiin muun muassa seuraavaa:

1. Kuinka pohjaveden pinta myötäili ojastoa eri tilanteissa eri maalajeilla, esitetty kuvissa 4 ja 5.
2. Heikosti vettä läpäisevillä maalajeilla maa kuivui ojan välittömässä läheisyydessä selvästi nopeammin kuin etäällä ojasta.

3. Pohjaveden pinnan korkeuserot eri syvyyksiin ojitetujen lohkojen välillä olivat vähäiset silloin, kun ojaston tehokkuus ei riittänyt kuljettamaan maahan tulevaa vettä pois maasta riittävän nopeasti. Erot olivat tällöin sitä pienemmät mitä heikommin maa läpäisi vettä ja mitä suuremmat sademäärät olivat.

4. Huonosti vettä läpäisevillä maalajeilla voitiin pohjaveden pinta saada keskimäärin alemmaksi ojaväliä pienentämällä kuin ojan syvyyttä kasvattamalla.

5. Voimakkaasti kapillaarisilla maalajeilla pohjaveden korkeuden vaihtelut saattoivat olla suuret ojasyvyydestä riippumatta. Tällaisilla maalajeilla pohjaveden pinta oli yksiselitteisesti myös vaikeaa määrittää, sillä maan kosteus lisääntyi vähitellen ja tasaisesti mentäessä yhä syvemmälle.

6. Tutkimusajanjaksolla vallinneissa oloissa pohjaveden pinta aleni kesän kuivimpien jaksojen kuluessa selvästi ojasyvyyden alapuolelle. Näissä kokeissa

pohjaveden pinta saattoi alentua jopa alle syvimmän mahdollisen mittaussyvyyden, joka oli 1,8 metriä.

7. Pohjaveden pinta pysyi jatkuvasti ojien yläpuolella vain kaikkein sateisimpina kasvukausina.

Satotulokset olivat aikaisimmista kenttäkokeista pääpiirtein seuraavat (vrt. kuva 6):

1. Syvimpään ojitetut palstat antoivat satoa kaikissa kokeissa matalimpaan ojitetuista palstoista enemmän. Keskimääräiset sadonlisäykset olivat tällöin 30 ry/ha.

2. Eri viljelykasveista syysviljat hyötyivät syvästä ojituksesta kaikkein eniten. Saddonlisäykset olivat syysviljoilla keskimäärin 60 ry/ha. Vastaavat saddonlisäykset olivat nurmilla -10 ja kevätilviljoilla 40 ry/ha.

Myöhemmin perustettujen kokeiden perusteella (vrt. kuva 1) satoerot olivat suuremmat ja tuloksia voitiin pitää koejärjestelyiltään aiempia luotettavimpina. Tällöin tulokset olivat

pääpiirtein seuraavat (vrt. kuvat 7-9).

3. Ojaston syventäminen 0,6 metristä 1,2 metriin lisäsi sadon 60:stä 200 ry/ha ja lisäys oli keskimäärin 130 ry/ha. Sato lisääntyi tällöin syysviljoilla eniten eli noin 200 ry/ha sekä kevätiljoilla ja nurmilla noin 100 ry/ha.

4. Koejäsenten väliset satovaihtelut kasvoivat sademäärien kasvaessa syvimpien ojitusten eduksi.

Maan kuivumisesta ja kantavuudesta todettiin seuraavaa:

1. Niissä tapauksissa joissa

eri syvyyksiin ojitettujen lohkojen välillä havaittiin merkitseviä eroja, syvimpään ojitetut lohkot kuivuivat nopeimmin ja kantoivat parhaimmin. Merkitseviä eroja oli aikaisin keväällä 15 %:ssa tapauksista ja myöhemmin keväällä 3 %:ssa tapauksista. Erot olivat yleensä sitä selvemmiä mitä aikaisemmin keväällä niitä tarkasteltiin. Kevään ja kesän kuluessa erot kapenivat.

2. Maa kantoi sekä keväteittä syystöiden aikaan syvimpään ojitetuilla lohkoilla selvästi parhaimmin 5 %:ssa tapauksista. Muulloin palstojen välillä ei havaittu käytännössä kantavuuseroja.

TURPEEN OMINAISUUKSIEN VAIKUTUS PELLON SALAOJITTUKSEN TOIMINTAAN

Suvi Niini, TKK vesitalouden laboratorio

Johdanto

Salaojitustoiminnan painopiste on viime vuosina siirtynyt Keski- ja Pohjois-Suomeen, missä paikoin jopa puolet pelloista on turvepeltoja. Salaojitetuissa turvepelloissa on kuitenkin silloin tällöin esiintynyt vajaatoimintaa, jonka syyt eivät ole ilmenneet vikatarkastuksissa, vaan sen on päätelty johtuvan turpeen ominaisuuksista.

Tämän työn tarkoituksena oli selvittää turpeen ominaisuuksia peltoviljelyyn liittyvän salaojituksen kannalta. Päätavoitteena oli salaojituksen toimimattomuuden syiden selvitys. Taustatavoitteita olivat 1) sellaisen yleisen määrittämenetelmän kehittäminen, jolla turvepellosta voi ennakoita, onnistuuko kuivatus tavanomaisella salaojituksella sekä 2) toimivan ojituksen kehittäminen myös

ongelmapelloille. Erityisesti tutkittiin vuonna 1979 salaojitettua, märkyydestä kärsivää Soinin tilan turvepeltoa Jalasjärvellä Etelä-Pohjanmaalla.

Työ jakaantui kirjalliseen ja kokeelliseen osaan. Kirjallisessa osassa esitettiin turpeen fysikaaliset, kemialliset ja mikrobiologiset ominaisuudet aiemmin tehtyjen tutkimusten perusteella. Lisäksi siinä käsiteltiin salaojien ruostetta sekä viljelytoimenpiteiden vaikutusta turpeen ominaisuuksiin. Kokeellisessa osassa selvitettiin esimerkkiturvepellon salaojituksen vajaatoiminnan syyt. Sitä varten tehtiin pellolla maastomittauksia ja havaintoja sekä tutkittiin laboratoriossa peltoa tuotuja turve- ja salaojasakkanäytteitä.

Turpeen ominaisuudet

Peltojen kuivatuksen kannalta tärkeimmät turpeen ominaisuudet liittyvät sen vesitalouteen ja rakenteeseen.

Turve on eloperäinen maalaji, jota syntyy, kun märkyys, happamuus ja/tai kylmyys rajoittavat hajotusta: tällöin orgaanista ainesta akkumuloituu paksujakin kerroksia. Syntyvästään johtuen turvemaat ovat usein alavia ja niillä on korkea pohjaveden taso. Turvemaidella vallitsee luonnontilassa suokasvillisuus, ja viljelyyn otto edellyttää aina tehokasta kuivatusta.

Ojitettu turve joutuu normaalin hajotuksen kohteeksi, jolloin maatumisen nopeutuu jyrkästi. Kasviraikenteen hajotessa yhä pienemmiksi hiukkasiksi turve tiivistyy. Tällöin häviävät ensiksi nimenomaan vettä hyvin johtavat makrohuokokset. Vaikka raaka turve johtaa hyvin vettä, vedenjohtokyky huononee suuresti viljelyn jatkuessa. Kun lisäksi turvetta hupenee hajotuksen kaasumaisina lopputuotteina ilmaan,

turvekerros ohenee ja ojat mataloituvat. Tämä heikentää salaojituksen toimintaedellytyksiä, sillä suuren vedenpidätyskykynsä takia turpeella tarvitaan suhteellisen suuri kuivatussyvyys.

Viljelytoimet, kuten muokaus, lannoitus ja kalkitus edistävät nekin maatumista ja siitä johtuvia epäedullisia rakennemuutoksia turpeessa. Alavan sijaintinsa vuoksi turvemaat ovat lisäksi alttiita paineelliselle pohjavedelle sekä, pohjaveden ollessa rautapitoista, salaojien ruostesaostumille.

Soinin turvepellon vajaatoiminta

Kirjallisuuden perusteella salaojien toimintahäiriöiden syynä olevia vikoja on Suomessa keskimäärin viisi toimimatonta ojustoa kohti. Tässäkin Soinin turvepeltoa koskevassa tutkimuksessa löytyi kokonainen joukko vikoja, puutteita tai haittatekijöitä, jotka yhdessä aiheuttivat salaojituksen epäonnistumisen.

Pellon vedenjohtavuus oli juuristokerrosta lukuunotta-

matta alhainen, noin 0,35 cm/h, mikä on tyypillistä kohtalaisen maatuneelle turpeelle. Näillä lukemilla olisi ojavälin oltava Hooghoudtin ja Ernstin ojitysyhtälöillä laskettuna luokkaa 6 - 7 metriä. Soinin pellolla ojaväli oli vuoden 1979 salaojituksessa 20 metriä. Suurin syy pellon ojituksen toimimattomuuteen onkin ilmeisesti ollut liian harva ojaväli.

Huono vedenjohtavuus on seurausta pitkään jatkuneesta maatumisesta; pelto otettiin viljelykseen jo vuosisadan vaihteen tienoilla. Lisäksi pelto on turvelajiltaan rahkaturvetta, jonka rakenne muuttuu saraturvetta nopeammin maatumisen edetessä. Viljelyn jatkuessa on todennäköistä, että pellon vedenjohtavuus alenee edelleen, samalla kun ojat mataloituvat turvekerroksen ohetessa. Huonon vedenjohtavuuden perimmäisenä syynä on siten turpeen maatuessa syntyvien humusaineiden kolloidinen ja vettäläpäisemätön rakenne.

Koska salaojakaivannon täytemaan vedenjohtavuus

oli huomattavasti ympäristöään korkeampi, keskimäärin 1,7 cm/h, olisi edullista, jos pintavesi pääsisi virtaamaan oja kohti. Pellon pinnanmuotoilu oli kuitenkin tässä mielessä keho. Painanteet sijaitsivat pellon keskiosissa.

Pellon pintakerroksen suuri tiheys, jopa 230 g/dm³, ja korkea maatumisaste kertovat määrällä maalla ajamisen aiheuttamasta tiivistymisestä sekä viljelytoimien kiihdyttämästä maatumisesta. Kuormituksen aiheuttama tiivistyminen havainnollistui selvästi pellolle jääneissä traktorinjaljissa, joissa sadevesi viipyi viikkokausia.

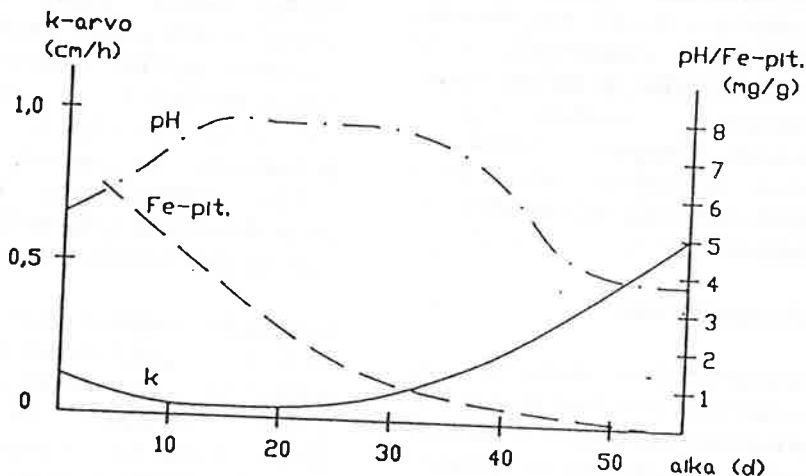
Ojituksen mataluus on myös kuivatusta heikentävä tekijä. 80 - 100 cm:n ojitusyvyydellä pellon pintakerros saavuttaa 70 - 75 %:n kosteuden, mikä pellon kantavuuden kannalta on vielä liikaa. Pohjaveden pinta on pellon märimmissä osissa ollut parhaimmillaan vain 30 - 40 cm:n syvyydessä.

Pohjaveden pinta kallistui salaojia kohti. Sen perus-

teellä ojat näyttivät toimivan, mutta maan huonon vedenjohtavuuden takia pohjaveden pinnan aleneminen oli hidasta. Tilannetta pahentaa runsasvetisinä aikoina esiintyvä paineellinen pohjavesi.

Alueen pohjaveden havaittiin olevan rautapitoista (5 - 8 mg/l) ja hapanta (pH 3-4,5). Salaojitusta seuraavana vuonna pelto kalkittiin. Kalkitus on omiaan alentamaan

rautapitoisen maan vedenjohtavuutta, sillä pH:n nousu edistää raudan hapettumista huokoset tukkivaksi sakaksi. Epäiltyä kalkituksen yhdessä rautayhdisteiden kanssa muodostamaa vettäläpäisemättöä kerrosta ei tutkimuksessa kuitenkaan havaittu. Kalkituksen merkittävin vaikutus lieenee pH:n nousun johdosta tehostunut hajotus ja sitä seuraava pellon pintakerroksen mutautuminen.



Kuva 1. Soinin pelloista otettujen turvenäytteiden vedenjohtavuuden (k) sekä uutteen pH:n ja rautapitoisuuden yleinen kulku kokeen aikana.

Salaojaputkien kunto tarkastettiin kaivamalla imuputki esiin kahdesta kohdasta. Putkissa havaittiin noin 1 cm paksu harmaanruskea, limainen sakkakerros. Lisäksi putken seinämiä ympäriinsä peitti lähes yhtenäinen, ohut limainen kalvo. Sakka koostui etupäässä Sphaerotilus-suvun tupellisista, nauhamaisista bakteereista. Pohjaveden rautapitoisuus ja orgaanisen aineen runsaus turvemaassa muodostavatkin Sphaerotilus-bakteerien kannalta edullisen yhdistelmän. Toistaiseksi ruostesakkaa ei kuitenkaan ollut niin runsaasti, että se olisi pääsyy kuivatusongelmiin. Raudan alloktonisen alkuperän vuoksi on tosin odotettavissa, että ruosteongelma ajan mittaan pahenee.

Johtopäätelmät

Turvepeltojen salaojitusta suunniteltaessa olisi tärkeää tunnistaa ne turpeen ominaisuudet, jotka voivat aiheuttaa salaojituksen toimintahäiriöitä. Avainasemassa on tällöin pellon vedenjohtavuus. Vedenjohtavuudeltaan huonon turpeen kuivatus

vaatii tiheän salaojituksen; muuten pelto ei sateiden välillä ehdi kuivua työskentelykuntoon.

Vedenjohtavuuden mittaaminen onnistuu nykyisillä menetelmillä suhteellisen nopeasti ja vaivattomasti myös maastossa. Toisaalta vedenjohtavuuden sijasta voidaan tarkastella maatumisastetta, joka on helppo määrittää maastossa. Turpeen vedenläpäisy- ja vedenpidätysominaisuudet riippuvat voimakkaasti maatumisasteesta, joten maatumisaste sopii hyvin salaojituksen soveltuvuutta turvepellolle kuvaavaksi ominaisuudeksi. Lisäksi pitkälle maatunut turve kulkeutuu helpommin salaojiin, joten korkea maatumisaste kuvaa myös salaojien liettymisriskiä.

Kirjallisuudessa on esitetty, että turvepellon salaojitus kannattaa, jos vedenjohtavuus ylittää arvon 0,25 cm/h. Suomalaisella aineistolla tutkitun turpeen maatumisasteen ja vedenjohtavuuden välisen riippuvuuden perusteella salaojitusta voi suositella rahkaturpeille,

joiden maatumisaste on korkeintaan H6 von Postin asteikolla. Saraturpeilla vastaava arvo on H8. Tällöinkin turpeella tarvittanee totuttua tiheämpää ojaväliä.

Ruosteongelma voidaan ennakoida pohjaveden rautapitoisuuden perusteella. Lisäksi on syytä selvittää pohjaveden pH, sillä mitä happamampaa vesi on, sitä suurempi on ruostesaostumavaara. Suomen olosuhteissa ruosteuhka on suuri, mikäli pohjaveden rautapitoisuus ylittää arvon 15 mg/l. Ruosteuhkaa voi myös arvioida silmämääräisesti alueen

avo-ojien ja luonnonvesien ulkonäön perusteella: veden pinnalla oleva kiiltävä kalvo, veden punaruskea väri tai sameus sekä pohjalla oleva ruostesakka ovat merkkejä ruostevaarasta.

Toimivan salaojituksen suunnittelu turvepelloille vaatineen tavanomaisesta poikkeavia ratkaisuja, joiden selvittämiseksi jatkotutkimukset ovat tarpeen. Huonosti vettäläpäisevällä turpeella käyttökelpoisia vaihtoehtoja saattaisivat olla kaivannon täyttäminen läpäisevällä materiaalilla yhdessä pintavirtausten ohjailun kanssa tai tiheä myyräojitus.

Niini, S. 1988. Turpeen ominaisuuksien vaikutus pellon salaojituksen toimintaan. TKK, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Diplomityö. 114 s.

KUIVATUSOJAN LUISKASORTUMAN ARVIOINTI JA HUOMIOONOTTAMINEN HYDROLOGISESSA SUUNNITTELUSSA

Ilkka Maksimainen, TKK vesitalouden laboratorio

Työssä on tutkittu vesi- ja ympäristöhallinnon kuivatushankkeissa esiintyviä ongelmia erityisesti Mikkelin vesi- ja ympäristöpiirin näkökulmasta. Tutkimuksella oli neljä tavoitetta:

1) Selvittää menetelmät ja käytännön mahdollisuudet nykyistä tarkempaan kuivatusojan luiskasortuman arviointiin.

2) Esitellä erilaisia vahvistusmenetelmiä.

3) Analysoida hankkeiden kokonaistaloudellisuutta (erityisesti toteutettujen hankkeiden rakentamiskustannuksia).

4) Tehdä ehdotuksia suunnittelukäytännön parantamiseksi.

Luiskasortuman arviointi- ja vahvistusmenetelmiä on tutkittu kirjallisuusselvitysten ja työmaakäyntien avulla. Toteutettujen hankkeiden rakentamiskustannuksia

analysoitaessa aineistona on käytetty Mikkelin vesi- ja ympäristöpiirissä 1980-luvun alkupuoliskolla toteutettuja kuivatushankkeita.

Käytäntö on osoittanut, että vaaitus ja uoman pituuden mittaaminen ei riitä kunnollisen suunnitelman laatimiseen. Suunnittelun tarkentamisvaatimus johtuu siitä, että suunnitelmien ja toteutuksen välistä kuilua on ryhdyttävä kaventamaan. Suunnitelman maastotöihin tulee kiinnittää nykyistä käytäntöä suurempaa huomiota. Suunnittelussa oletetaan ilman tarpeellisia taustatietoja, että geoteknisiä ongelmia ei esiinny. Tutkimusten lisääminen aiheuttaa luonnollisesti jonkin verran lisäkustannuksia, mutta ne on tarkoitus saada takaisin halvempina rakennuskustannuksina. Uoman hydrologisessa mitoituksessa joudutaan yleensä tyytymään nomogrammi- tai vertailuvesistötarkastelui-

hin, koska työalueelta ei ole virtaamahavaintoja. Pie-nillä järveltömillä valuma-alueilla lieenee parasta käyttä Seunan (1983) nomogramme-ja. Järviä sisältävillä valuma-alueilla Kaiteran (1949) nomogrammi on edelleen käyttökelpoinen. Kesäaikaisen mitoitusvirtaaman määrittämisessä yksikkövaluntakäyrämenetelmä on käyttökelpoinen, jos alueelta on mahdollista saada sade- ja virtaamahavaintoja yksikkövaluntakäyrän määrittämiseksi.

Liukupintamenetelmiä käytetään luiskan varmuuskertoimen määrittämiseen ja niitä voidaan käyttää myös analysoitaessa yhden tai useamman parametrin vaihtelun vaikutusta luiskan vakavuuteen. Liukupintateoriaan perustuvia menetelmiä on kehitetty lukuisa joukko, mutta menetelmäkohtaisista erityispiirteistä huolimatta seuraavat periaatteet ovat yhteisiä kaikille liukupintamenetelmille:

1. Edellytetään, että sortuma noudattaa tiettyä pintaa tai mekanismia. Yksinkertaisimmassa tapauksessa idealisoidun luiskan olete-

taan sortuvan tasomaista tai pyörähdysliukupintaa pitkin. Jos luiska on epähomogeeninen, voidaan käyttää monimutkaisempia liukupintoja.

2. Leikkausjännitys, joka vaaditaan tasapainottamaan sortuva massa lasketaan statiikan menetelmillä. Murtotilan oletetaan vallitsevan vain oletetulla liukupinnalla ja sortuva massa säilyttää muotonsa.

3. Laskettua leikkausjännitystä verrataan luiskassa olemassa olevaan leikkauslujuuteen. Vertailu tehdään varmuuskertoimen avulla. Varmuuskerroin on leikkauslujuus jaettuna leikkausjännityksellä.

4. Mekanismi tai liukupinta, jolla on pienin varmuuskerroin, etsitään iteroimalla. Pinta jolla on pienin varmuuskerroin on kriittinen liukupinta. Jos liukupinnan sijainti on edellämäärätty (esim. löyhä savikerros, koheesiomaan ja kallion rajapinta jne.) on muiden liukupintojen tutkiminen usein tarpeetonta.

Riskejä ei voida arvioida määrällisesti, kun varmuuskertoimia käytetään intuitiivisesti. Itseasiassa oletetaan, että sortumatodennäköisyys on nolla, kun varmuuskerroin ylittää tietyt normitetut tai kokemuseräiset arvot. Todellisuudessa asia ei ole näin, sillä leikkauslujuutta ja -jännitystä kuvaavat normaalijakauman frekvenssi-käyrät yleensä leikkaavat toisiansa käyville varmuuskertoimen arvoilla.

Jos maaperätutkimuksiin perustuvien laskelmien avulla todetaan, että vesiväylässä tulee tapahtumaan sortumia suunnitellun perkauksen johdosta, joudutaan selvittämään voidaanko perkaussuunnitelmaa muuttaa tai työn suoritus järjestää siten, että sortumat saadaan estetyksi ilman vahvistusrakenteita. Vesiväyliä voidaan ehkäistä käyttäen neljää periaatetta: erityyppistä menetelytapaa, joita voidaan käyttää myös samanaikaisesti.

1. Uoman linjaukselle tutkitaan useampia vaihtoehtoja, joista valitaan paras.

2. Uoman poikkileikkauksen muoto suunnitellaan siten, että maan tasapainotila muuttuu perkauksen johdosta mahdollisimman vähän. Jos uomassa esiintyvät maalajit ovat herkästi syöpyviä, suunnitellaan kaltevuus mahdollisimman pieneksi ja vältetään tarpeettomia taitteita tasausviivassa.

3. Perkaustyö suoritetaan siten, että uoman syventämisen johdosta tapahtuvaa vakavuuden heikkenemistä kompensoidaan käyttäen hyväksi pohjaveden pinnan laskeutumista, maan lujitumista ja maanpinnan painumista (esim. naverointi).

4. Uomaa vahvistetaan kyseessä olevaan tapaukseen soveltuvilla rakenteilla.

Hiekanerotusallas ei ole eroosiosuojaus tai edes eroosiosuojausta korvaava rakenne pitkäaikaisessa käytössä, koska se ei vähennä itse eroosiota vaan ainoastaan peittelee seurauksia. Eroosio-ongelmaa ei voida pitää tyydyttävästi ratkaistuna, jos hiekanerotusallasta täytyy toistuvasti tyhjentää vielä vuosia kaivuutyön

jälkeen. Pitemmällä tähtäimellä ainoa toimiva ratkaisu on veden virtausnopeuden pienentäminen esimerkiksi putousportaiden avulla tai uoman pintamateriaalin vahvistaminen kestävämpiä virtausnopeuksia. Uomaeroosio kuluttaa luiskat liian jyrkiksi ja heikentää luiskien vakavuutta liukusortumaa vastaan. Suodatinkankaiden käyttö vahvistustöissä on lisääntynyt nopeasti. Nykyisin ei enää juurikaan tehdä luiskan verhouksia ilman suodatinkangasta, koska suodatinkangas on verrattain halpa tapa pienentää epäonnistumisriskiä. Vesiuomaan asennettavan suodatinkankaan olisi mieluiten oltava sellaista, joka uppoaa painottamatta ja kestää auringon ultraviolettisäteilyä (polyesteri). Tämä on tärkeää myös siksi, että kankaan ominaisuudet säilyvät myös silloin, kun kangas mahdollisesti paljastuu verhouksen alta.

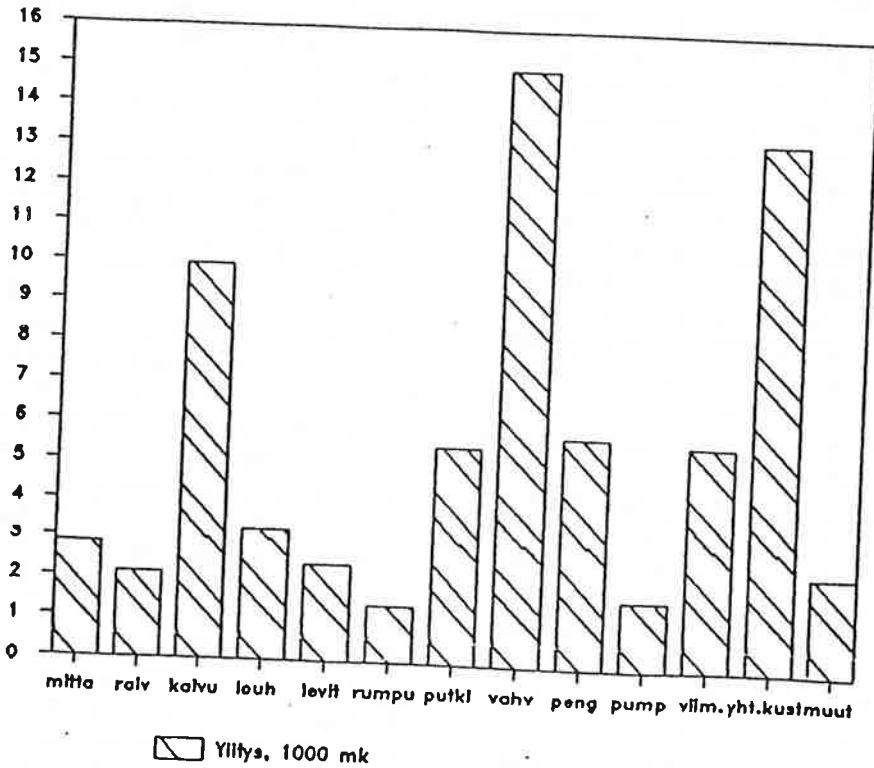
Maatalouden koneellistuminen on asettanut uusia vaatimuksia peruskuivatuksen tekniikalle tasolle. Salaojitus on nykyisin paikalliskuivatuksen perusmenetelmä ja

yhä useammin viljelijät pitävät myös valtaojataseiseen uoman putkitusta hyödyllisenä. Jos vaihtoehtona on avouoman vahvistaminen tai putkioja, tuntuu putkioja entistäkin houkuttelevammalta, koska hintaero avo-ojaan vähenee. Ojanluiskien sallittuja kaltevuuksia on syytä tarkastella kriittisesti, koska sortumat ovat kovin yleisiä. Jos maalajiin ylipäättään voidaan kaivaa stabiili oja ilman vahvistuksia, on periaatteessa kaksi sallittuihin luiskakaltevuuksiin pohjautuvaa syytä, joista seuraa sortuma. Tosin molemmissa tapauksissa kaivetaan liian jyrkkäluisainen oja, mutta syynä voi olla joko sallittujen kaltevuuksien liian optimistinen soveltaminen tai yksinkertaisesti sallittujen kaltevuuksien liika jyrkkyys.

Mikkelin vesi- ja ympäristöpiirin rakennushankkeissa kustannusarvion ylitykset ovat yleensä johtuneet suuritemäärien kasvusta. Keskimääräinen kustannusarvion ylitystämän tutkimuksen aineistossa on noin 50 %. Suurimmat kustannusnousut

ovat tapahtuneet nimikkeissä vahvistus 21%, yhteiskustannukset 19% ja kaivu 14% kustannusten kokonaisylityksestä (kuva 1). Suunnitelmien ta-loudellisuuden parantami-

nen lienee tehokkainta kohdistamalla tehostetut suunnitteluponnistukset ensisijassa edellämainittuihin nimikkeisiin.



Kuva 1. Keskimääräiset kustannusrvion ylitykset eräissä Mikkelin vesi- ja ympäristöpiirin kuivatushankkeissa.

Tutkimusten hyötyä on tutkittu suhteuttamalla kustannuksia ja varmuuskerrointa toisiinsa. Esimerkkitapauksessa on määritetty laajimman odotettavissa olevan sortuman korjauskustannukset, josta saadaan kertomalla kuhunkin varmuuskertoimeen liittyvällä sortumariskiprosentilla asianomaisella varmuusker-toimella toteutettavassa hankkeessa todennäköiset sortumien korjauskustannukset. Työkustannukset jaetaan

niinikään käytetylle varmuuskerroinvälille. Tässä on työn toteutuskustannus jaettu lineaarisesti kul-loinkin käytetylle varmuuskerroinvälille. Menettely ei ole teoreettisesti perusteltu, mutta se on helppo toteuttaa. Esimerkkitapaus tukee varovaisesti ajatusta: tarkempien tutkimusten jälkeen on mahdollista rakentaa halvemmallakin suuremman epävarmuuden vallitessa.

Maksimainen, I., 1988. Kuivatusojan luiskasortuman arviointi ja huomioinnottaminen hydrologisessa suunnittelussa. TKK, rakennus- ja maamittaustekniikan osasto. Diplomityö. 96 s.

PORKKANAN JA PUNAJUURIKKAAN SADETUS, TYPPILANNOITUS JA KALKITUS POUTIVALLA HIEKKAMAALLA

Matti Vuorinen ja Mauri Takala, MTTK, Hämeen tutkimusasema

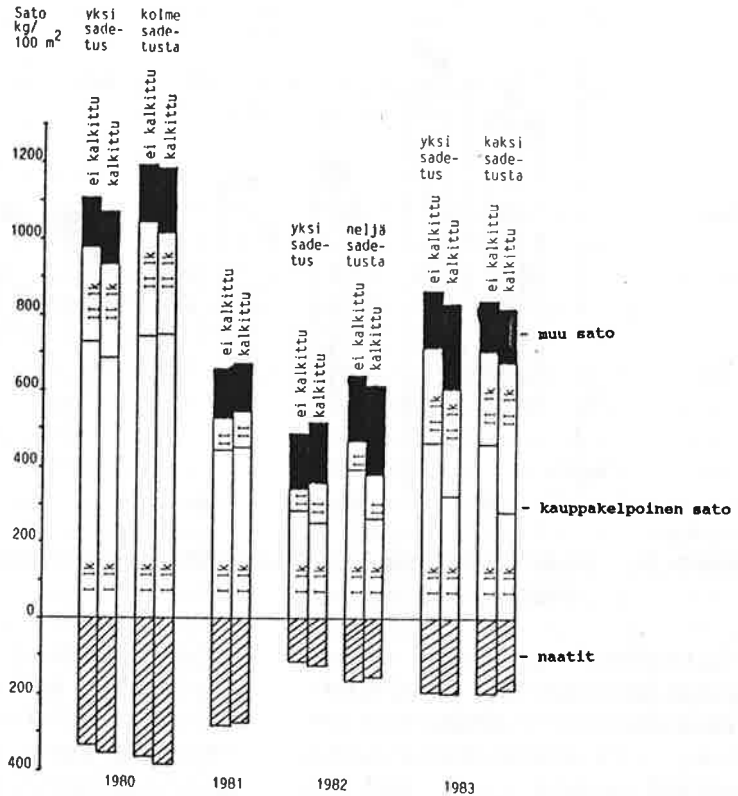
Hämeen tutkimusaseman hienolla hiekkamaalla järjestettiin vuosina 1980-83 koe, jossa tutkittiin porkkanan ja punajuuriikkaan sadetustarvetta sekä typpilannoituksen ja 3-5 vuotta ennen kokeen alkua annetun kalsiittikalkin vaikutusta porkkanan ja punajuuriikkaan satoon.

Kokeessa kalkitus tehtiin kalkkikivijauheella koealueen ollessa nurmella koetta edeltävinä vuosina 1975-77, ja kalkkia levitettiin keväisin 3 tn/ha eli yhteensä 9 th/ha. Kalkitus nosti maan pH-lukua runsaan 0,5 pH-yksikköä. Kokeen kuluessa maan kalsiumluvut laskivat myös kalkitsemattomilla ruuduilla. Samoin maan kaliumluvut alenivat. Liukoista fosforia oli kokeen alussa ollut kalkituilla ruuduilla selvästi enemmän kuin kalkitsemattomilla. Kokeen lopussa ero oli pienentynyt.

Koejakson kesistä pisimmät poutajaksot sattuivat vuosille 1980 ja 1982. Vuonna 1981 sadetustarvetta ei ollut lainkaan. Vuonna 1983 poutajaksot olivat lyhyitä, mutta sadetus suoritettiin kuitenkin kaksi kertaa.

Porkkanalla riitti taimettumissadetus lähes normaaliseisena kasvukautena 1983, märkänä kesänä 1981 sadetusta ei tarvittu lainkaan. Muina vuosina tarpeen mukainen sadetus antoi parhaan tuloksen. Typpilannoitus 60 kg N/ha oli riittävä useimpina koevuosina.

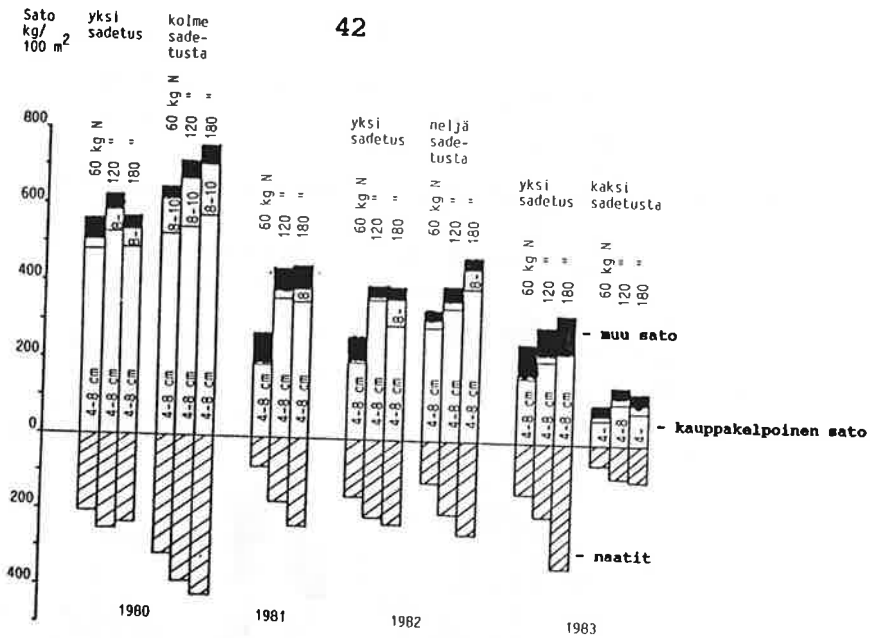
Porkkanalla tarvitaan sadetusta joskus hätätoimenpiteenä tasaisen taimettumisen aikaansaamiseksi ja pitkinä poutajaksoina. Typpilannoitus saa olla niukka. Kalkituksesta ei tässä kokeessa ollut hyötyä.



Kuva 1. Sadetuksen ja kalkituksen vaikutus porkkanan satoon.

Myös punajuurikkaalla riitti 1983 taimettumissadetus. Kyseisenä vuonna kuitenkin taimipolte heikensi merkittävästi koetulosten luotettavuutta. Kauppakelpoinen punajuurikassato ei lisääntynyt minään vuonna sadetet-

taessa merkittävästi. Lisätyppi nosti sekä kokonais- että kauppakelpoista satoa aina 120 kg N/ha asti. Kalkituksella ei ollut koemaalla (pH 5,8 ja Ca 1100) vaikutusta kokonais- satoon.



Kuva 2. Sadetuksen ja typpilannoituksen vaikutus punajuurikkaan satoon.

Tulosten mukaan tulee punajuurikasta sadettaa vain erittäin kuivinajaksoina. Typpilannoitteita annettaessa on oltava varovainen. Typen määrän tulisi olla alle 100 kg/ha, jotta nitraattitypen arvot pysyisivät kohtuullisella tasolla. Kalkitus vähensi kaupakelpoisten juurik-

kaiden määrää lisäämällä rupisuutta erittäin paljon. Kaikilla mailla ei rupisuusongelmaa välttämättä esiinny tässä laajuudessa kuin Hämeen tutkimusaseman mailla. Kalkitus vähensi myös punajuurikaiden mangaanin määrää selvästi, joten tässäkin suhteessa toimenpiteen vaikutus oli negatiivinen.

Vuorinen, M. ja Takala, M., 1987. Porkkanan ja punajuurikkaan sadetus, typpilannoitus ja kalkitus poutivalla hiekkamaalla. Maatalouden tutkimuskeskus, Tiedote 10/87. 30 s.

ARIDISTEN ALUEIDEN KASTELU

Harri Toivonen, TKK vesitalouden laboratorio

Tämä tutkimus on tehty Salaojituksen Tukisäätiön rahoittamana Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriossa vs. professori Juhani Kettusen valvonnassa. Tässä tutkimuksessa tarkastellaan kuivuudesta kärsivien kehitysmaiden mahdollisuuksia kastelun avulla lisätä elintarviketuotantoaan väestönkasvun vaatimusten mukaisesti, sekä etsittiin maaperän suolaantumisesta aiheutuvien ongelmien ratkaisuja.

Afrikan pinta-alasta vain 0.3 % ja peltoalasta 5 % on nykyisin kastelukäytössä. Vaikka sademäärät jäävätkin monin paikoin pieniksi, voidaan vedensiirron avulla ottaa uusia peltoalueita viljelykseen sekä tuottaa useampia satoja vuodessa. Elintarviketuotantoa on viime vuosikymmeninä Aasiassa pystytty lisäämään kastelun avulla merkittävästi. Asian kokemukset voivatkin toimia

esimerkkinä elintarvikepuolan ratkaisemiseksi.

Käytännössä alue määritellään aridiksi, jos sitä ei voida viljellä ilman kastelua. Semiaridilla alueella voidaan määrättyjä kasveja viljellä sateenvaraisesti esim. kahdeksana vuotena kymmenestä. Kun kasveja viljellään talvella tai muuten viileässä riittää 250 mm sademäärä. Kesäsateiden alueella tarvitaan jopa 400 mm sademäärä. Afrikan pinta-alasta on aridista kaikkiaan 58%. Semiaridin alueen osuus on 18,5%. Vuorokauden keskimääräinen kokonaishaidunta (ET_0) vaihtelee trooppisilla ja substrooppisilla alueilla välillä 2-11 mm. Tähän vaikuttavat merkittävimmin lämpötila ja kosteusolot.

Unescon kuivuusluokitus perustuu sadannan ja potentiaalisen kokonaishaidunnan suhteeseen (P/PET) eli kuivuusindeksiin. Se antaa

saman arvon niille ilmas-
toille, joilla sademäärän
suhteellinen vajeus on
yhtä suuri. Tämä kuvaa
kuivuutta paremmin kuin
sadannan ja potentiaalisen
kokonaishaihdunnan erotus
(P-PET). Kuivuusindeksissä
hyperaridi on alle 0.03,
aridi 0.03-0.20, semiaridi
0.20-0.50 ja subhumidi
0.50-0.75.

Kuivuuden syistä tärkeimpiä
ovat päiväntasaajan pysyvä
matalapainevyöhyke, alueiden
sijainti meriin nähden sekä
merivirrat. Vaikka vuosisa-
danta jääkin vähäiseksi,
voivat hetkelliset sadekuurot
olla erittäin voimakkaita,
koska sateet tulevat ukkos-
kuuron tavoin. Vähäiseen
sademäärään liittyy myöskin
vuosisadannan suuri vaihtelu.
Tämä vaikeuttaa kasvinvilje-
lyä alueella.

Kuivien alueiden luonnon-
tilaiset kasvit ovat yleensä
paremmin sopeutuneet kas-
vuympäristöönsä kuin viljel-
lyt kasvit. Kuivakausien
välttäminen on niillä
yksinkertainen tapa välttää
kuivuutta. Toisena keinona
on sisäisen vesitalouden
tasapainottaminen vedenhukkaa

vähentämällä. Kolmanneksi
kasvi voi sopeutua pitkiin
kuivakausiin vedenottokykyä
lisäämällä sekä osittaista
kuivumista sietämällä.

Sadevesien kerääminen on
auttanut perinteisiä vil-
jelymenetelmiä käyttäviä
viljelijöitä kestämään
ympäröivän kuivuuden.
Menetelmän periaatteena on
kerätä sadevettä laajoilta
alueilta pintavalunnan
avulla. Kosteus johdetaan
esimerkiksi pellolle,
yksittäisen puun juurelle
tai rinnemaan nauhamaiselle
kasvualueelle. Kalsium
lisää saviagregaattien
määrää maaperässä. Syntyvät
huokoset ja aggregaatit
voidaan poistaa esim.
natriumin avulla. Pintavalun-
ta lisääntyä, kun imeytyminen
estyy.

Maanpinnalta tapahtuva
evaporaatio voidaan estää
asettamalla maanpinnalle
vettä läpäisemätöntä mate-
riaalia. Näitä ovat esim.
paperi, muovi, asfaltti,
lateksi ja öljy. Huokoisista
aineista sopivat esim.
oljet, sahanpuru, kaarna,
sora tai hiekka.

Transpiraatiota eli kasvien

haihduttamaa vesimäärää voidaan vähentää, koska vain 1% kasvin käyttämästä vedestä jää kasvisoluihin. Voidaan kasvattaa vähemmän haihduttavia lajikkeita tai vettä tehokkaammin käyttäviä kasveja. Lisäksi voidaan käyttää haihtumista estäviä rakenteita tai ilmarakojia sulkevia kemikaaleja.

Kastelun järjestäminen

Peltoalueen vedentarve voidaan ilmaista kasvin ja maan yhteenlaskettuna kokonaishaihsuntana eli evapotranspiraationa ET . Tällöin vettä ei suotaudu juurivyöhykkeen alapuolelle. Potentiaalinen evapotranspiraatio PET kuvaa kasvin ja maan potentiaalista haihduntaa eli ilmastollista haihduntakykyä. Lähes vastaava termi on ET_c , joka tarkoittaa laajan 8-15 cm:n korkuisen ruohikkoalueen kokonaishaihduntaa, kun kasvava ruoho peittää koko alueen, ja kun vettä on käytettävissä riittävästi.

Kokeellisesti määriteltäviä kasvikertoimia (k_c) sekä ET :ta voidaan käyttää hyväksi määriteltäessä alueelle eri

kasvilajeille ominaista suurinta kokonaishaihduntaa (ET_m). Kasvikertoimen arvo vaihtelee kasvin, kasvin kehitysvaiheen, tuulen, kosteuden sekä alueen sijainnin vaikutuksesta. Kokonaishaidunnan yläraja voidaan arvioida seuraavasti:

$$ET_m = k_c * ET_c$$

k_c :n arvot koko kasvukaudelle vaihtelevat yleensä välillä 0,85 - 0,9. Kasvikertoimen määrittämiseksi täytyy tietää kylvöpäivämäärä, koko kasvukauden pituus, taimivaiheen pituus, kasvukauden pituus sekä kypsyysajan pituus.

Vuorokauden ET vaihtelee trooppisilla subtrooppisilla alueilla lämpötilasta ja kosteudesta riippuen välillä 2-11 mm/d. Todellinen kokonaishaihdunta eli evapotranspiraatio $ET_a = ET_m$, kun kasveilla on riittävästi vettä käytettävissä.

Kasvu hidastuu ja satotaso pienenee, kun kasvi ei voi ottaa kaikkea tarvitsemaansa vettä. Veden vähyyden vaikutus voidaan arvioida seuraavasti:

$$1 - Y_a/Y_m = k_y \cdot (1 - ET_a/ET_m)$$

tässä: Y_a = todellinen sato
 Y_m = maksimaalinen sato
 ET_a = tod. kok.haihdunta
 ET_m = maks.kok.haihdunta

Vedenkäytön tehokkuus vedenpuutteen suuretessa paranee esim. durralla, mutta huononee maissilla. Vaikka sato molemmilla kasveilla pienenee, on sadon vähennys suhteellisesti suurempi maissilla.

Kun kastelun avulla halutaan saavuttaa korkea tuotto, tulee käyttää hyvätuottoisia, vedensaannista voimakkaasti riippuvia lajikkeita. Sadon riippuvuutta vedensaannista kuvataan satokertoimella k_y , joka tarkoittaa suhteellisen sadonvähennämisen $(1 - Y_a/Y_m)^Y$ suhdetta suhteelliseen evapotranspiraation vajaukseen $(1 - E_a/ET_m)$.

Kun vedestä on pulaa tasaisesti koko kasvukauden ajan, on maissin sadonvähennämä ($k_y=1,25$) suurempi kuin durrin ($k_y=0,9$). Maissin koko vedentarve tulee siis tyydyttää ensin, kun halutaan maksimoida vesiyksikköä

kohden laskettu tuotos. Maissialueella on veden saanti ensin turvattava rajoitetulla alueella, jos vettä ei ole riittävästi saatavilla. Durran kokonaistuotto taas lisääntyy vajavaisesti kasteltua aluetta laajentamalla.

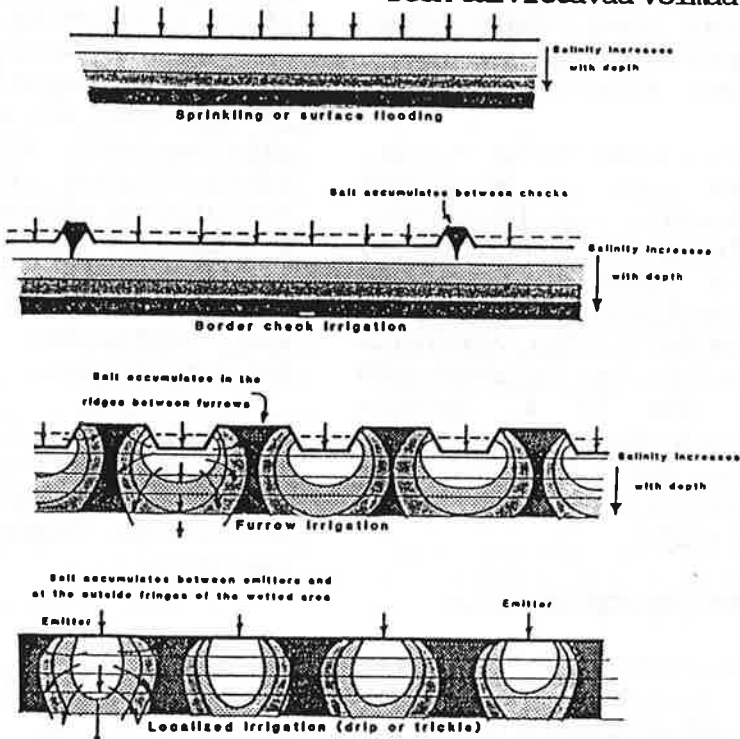
Kastelun ajoitus on yhtä tärkeää kuin koko kasvukaudella käytetty vesimäärä. Kriittisempien kasvuvaiheiden aikana tulisi kasvin veden saanti tyydyttää kokonaan. Kastelumenetelmän valinta perustuu tekniseen sopivuuteen ja taloudelliseen kannattavuuteen. Pintakastelu on yleensä taloudellisin, jos olosuhteet ovat suotuisat. Aridisilla alueilla on sadetus ja erityisesti tiputuskastelu edullisempaa ja tehokkaampaa.

Suolaongelma

Suolaongelma liittyy suolapitoisen kasteluveden käyttöön tai suolapitoisen maaperän viljelyyn. Maaperän suolaantumisen johtuu usein korkealla olevasta pohjavedestä. Tällöin suola kulkeutuu haihtuvan veden mukana maan

pintakerrokseen. Jos kuivatus on riittävää, tulee suolapitoisuuden kontrolloimisesta hyvä keino valvoa myös kasvin vedensaannin riippuvuutta sekä käytettävän huuhteluveden määrää.

Kasteluveden sähkönjohtavuuden (EC_w) ollessa alle 0,7 dS/m, ei suolaantumisesta yleensä ole vaaraa. Kun $EC_w > 3$ dS/m ovat haittavaikutukset yleensä vakavia. Suolapitoisuus lisää veden absorboimiseen tarvittavaa voimaa. Seu-



Kuva 1. Suolan kerrostumistavat sadetus- ja pintakastelussa, allaskastelussa, vakokastelussa ja tiputuskastelussa.

rauksena on veden saatavuuden vaikeutuminen. Suolan vaikutus on ilmiönä samantyyppinen

kuin kuivuuden. Molemmissa on seurauksena vedenpuute ja kasvun väheneminen.

Kasvin vedensaaanti muuttuu jatkuvasti eri juurivyöhykkeissä. Maan vesipitoisuus ja maaveden suolapitoisuus muuttuvat jatkuvasti kasvin ottaessa vettä kastelukertojen välillä. Heti kastelun

jälkeen maan vesipitoisuus on korkeimmillaan ja suolapitoisuus alimmillaan.

Kasvi ottaa vettä sieltä, missä sitä on helpoimmin saatavilla. Jos pintakerrosta kastellaan riittävän usein, tulee alempien kerrosten suolapitoisuudesta vähemmän tärkeitä. Tällöin vedenotto ylimmästä juurineljänneksestä on jopa 60 %. Kasvien vedenottokyvyssä on suuria eroja. Siksi suolansietokyvyssä voi olla 10-kertaisia eroja.

Veden imeytymisnopeus

Maaperän rakenne, tiiviysaste ja kemiallinen koostumus vaikuttavat veden imeytymisnopeuteen. Veden laatutekijöistä vaikuttavat merkittävimmin kokonaissuolapitoisuuden suhde kalsium- ja magnesiumpitoisuuteen. Vedenlaadusta aiheutuva imeytymisongelma esiintyy useimmiten

maan pintakerroksessa. Siksi on kuvaavampaa käyttää termiä veden imeytyminen kuin vedenjohtavuus.

Korkea suolapitoisuus tai korkea natrium/kalsium-suhde pienentää hidastumisnopeutta. Pitkä kasteluaika hidastaa kasvua, koska happipitoisuus maassa jää pieneksi. Taudit ja tuholaiset voivat myöskin olla ongelmina. Korkea natriumpitoisuus hajottaa maahiukkaset pienemmiksi partikkeleiksi. Tällöin maaperän ilmahuokokset täyttyvät. Saman ongelman voi myöskin aiheuttaa pintamaahan alhainen kalsiumpitoisuus.

Natriumin alhainen adsorptiosuhde on edelleen eniten käytetty imeytymisongelman mittaustapa. Se määritellään seuraavasti:

$$\text{SAR} = \frac{\text{Na}}{(1/2(\text{Ca} + \text{Mg}))^{1/2}}$$

Erittäin vähäsuolainen kasteluvesi ($\text{EC}_e < 0,2 \text{ dS/m}$) synnyttää lähes aina imeytymisongelman SAR:n arvosta riippumatta.

Maaperäongelmien ratkaiseminen

Suolapitoisuuden rajoittamisen tarkoituksena on säilyttää riittävä satotaso. Suolat voidaan huuhtoa juurivyöhykkeen alapuolelle jo ennenkuin pitoisuudet nousevat haitallisiksi. Maata voidaan kuitenkin huuhdella vain silloin, kun kuivatus ja suotautuminen on riittävää. Tällöin korkeasta pohjavedestä ei tule uutta suolaisuuden lähdeä.

Toisaalta voidaan pyrkiä pitämään maaveden määrä riittävän suurena. Tällöin veteen liuenneen suolan pitoisuudet jäävät pienemmiksi. Riittävä kuivatus on edellisten kanssa yhtä merkittävä. Ilman kuivatusta ei suolapitoisuuden säätely ole pitkällä aikavälillä mahdollistakaan.

Kun kuivatus on järjestetty, riippuu huuhteluun tarvittavan veden määrä vain kasvin suolansietokyvystä ja kasteluveden suolapitoisuudesta. Hyvin suolapitoista kasteluvettä käytettäessä voi tulla välttämättömäksi

vaihtaa suolansietokykyisempään kasviin, jos tarvittavan kasteluveden määrä muuten nousisi epätaloudellisen suureksi.

Jos kasteluvesi ei ole suolaongelman syy, on kuivatus ja ehkä myös viljelymenetelmien muutos välttämätöntä. Tällöin pohjaveden pinnan tulee pysyä alle 2 m:n tasolla. Kasteluveden virtaus maapinnalta alaspäin riittää tällöin pitämään juurivyöhykkeen suolapitoisuuden riittävän alhaisena. Tämä edellyttää avo-ojitusta, salaojitusta tai kuivatuskaivoja.

Kastelukertojen lisääminen on yksinkertainen ja thokas tapa lisätä imeytymistä, jos imeytymistä vaikeuttaa alhainen suolapitoisuus tai korkea SAR.

Suolan kerääntymistapa riippuu olennaisesti kastelumenetelmästä. Vesi kuljettaa mukanaan liuenneita suoloja. Jos veden virtaussuunta on alaspäin, kerääntyy juurivyöhykkeen suurin suolapitoisuus alimmalle tasolle. Tiputuskastelussa suola

kerrostuu ympyrän muotoises-ti. Pitoisuus kasvaa emitte-rin etäisyyden funktiona. Jos maanpinnalle on tehty penkereitä, kerääntyy myöskin maanpinnalle haihtuvan veden mukana tulleita suoloja.

Kastelu Afrikassa

Afrikan maa-alue on 2 884 Mha. Aukkaita on 514 miljoonaa. Keskimääräinen väestötiheys on 17 as/km². Keskimääräinen vuosittainen väestönkasvu on 3 %. Kastelu-alueen laajuus on 9 Mha eli 0,3 % pinta-alasta ja 5 % peltoalasta. Potentiaalisesti kasteluun sopivaa maata arvioidaan olevan 30-150 Mha. Tämä on 3-16 kertainen nykyiseen kastelualueeseen verrattuna.

Afrikan kastelualueesta kuuluu Egyptille 31% ja Sudanille 19 %. Sudanin ja Sahelin vyöhykkeellä sijaitsee 25 % mantereen kastelu-alueesta.

Viljakasvien osuus kastelu-alueesta on 53 % ja rehukasvien osuus 13 %. Kastelualueilta tuotettiin 77 % sokeriruosta, 58 % riisistä ja 14 % viljakasveista. Kastelluil-

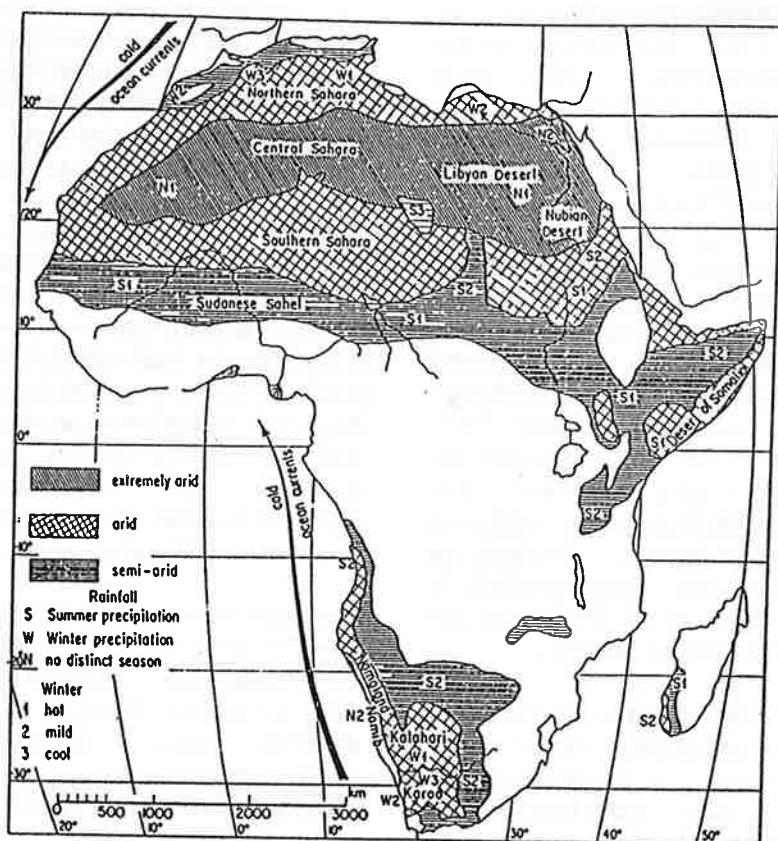
ta pelloilta tuotetun hehtaarisadon arvo oli kolminkertainen kastelemattomaan verrattuna.

Saharan eteläpuolisessa Afrikassa on kastelulla perinteisesti ollut vähäinen merkitys. Viljelyn tehokkuus on vain 110 %, mutta Egyptissä se on 190 %. Kastelun avulla voitaisiin tehokkuutta lisätä merkittävästi. Kastelun avulla voitaisiin myöskin lisätä viljelypinta-alaa, koska kasteluun sopiva maa sijaitsee usein vähäsatteisilla alueilla. Viime vuosina on toteutettu kuitenkin laajoja kasteluhankkeita. Näillä pelloilla viljellään pääasiassa sokeriruokoa, puuvillaa ja riisiä.

Afrikan elintarviketuotantopotentiaali riittäisi sattevaraisen viljelyn avulla tuottamaan riittävästi ravintoa tulevaisuudessakin koko kasvavalle väestölle, jos kaikki viljelykelpoinen maa otettaisiin käyttöön. Tällöin ei kuitenkaan ole huomioitu taloudellisia, poliittisia tai infrastruktuurin asettamia rajoituksia. Tämä ajattelutapa on siis täysin teoreettinen.

Saharan eteläpuolella Senegal, Burkina Faso, Niger, Mauritania, Mali, Somalia, Botswana ja Kenia eivät pysty lyhyellä ja keskipitkällä aikavälillä tuottamaan riittävästi elintarvikkeita. Koska alueen muissa maissa on mahdollista

lisätä sateenvaraista viljelyä, ei kastelun lisääminen niissä ole ensisijainen valtioiden strategisessa suunnittelussa. Kuitenkin kastelun avulla voidaan sieläkin paikallisesti saada myönteisiä tuloksia, jos kasvukausi jää liian lyhyeksi tai riski liian suureksi.



Kuva 2. Afrikan aridiset alueet Meigsin mukaan.

Aridisilla alueilla pystytään tuotantoa kastelun avulla lisäämään olennaisesti. Afrikan pohjoisosissa on kastelualueet otettu jo melko tarkkaan käyttöön. Kastelun hyötyä voidaan lisätä kastelun tehokkuutta parantamalla esim. tiputus-kastelun avulla. Vaikka elin-tarvikeomavaraisuutta ei kaikilla alueilla voida toteuttaakaan, tulee myös kastelua lisätä siellä missä kastelun käyttö on mahdollista.

Laajamittainen kastelu vaatii toimivan taloudellisen, maataloudellisen ja yhteiskunnallisen infrast-rukstuurin. Koska hajanaiset kastelualueet sijaitsevat usein kaukana ja levittäyty-vät laajoille alueille, muodostuvat kuljetuskustan-nukset usein suuriksi. Jos tulvasuojelussa tapahtuvat varastoaltaat joudutaan rakentamaan epäsuotuisille paikoille, tulee haihdunnas-ta merkittävä haitta.

Alhaisen väestötiheyden vuoksi saattavat väestösiir-rot olla välttämättömiä. Paikallisen teollisuuden ja koulutetun työvoiman puute myöhastyttävät hankkeita ja

vaikeuttavat kunnossapitoa.

Kastelun ohessa voi levitä monia veden mukana leviäviä tauteja. Malaria aiheuttaa nykyään yli miljoonan ihmisen kuoleman vuosittain. Kastelun ohessa voidaan tosin myös tarjota hyvää ja terveellistä juomavettä, mikä vähentää terveydellisiä riskejä. Kastelun onnistuminen perustuu kannustaviin tuottajahintoihin. Kastelusta on myös oltava hyötyä sekä hyvinä että huonoina vuosina.

Afrikan pohjois- ja koillisos-sissa voi maataloustuotannon lisäys tapahtua lähinnä vain jo käytössä olevien alueiden ja infrastruktuurin puitteissa. Pohjaveden käytön lisääminen, vedenkäytön tehostaminen vettä säästävällä tekniikalla sekä kuivatus voivat lisätä tuotannon intensiteettiä.

Maataloustuotannon lisäämisen ohella on tärkeää vähentää vuosittaisia vaihteluita. Jos alueella kuolee suuria määriä ihmisiä vuosittain ravinnonpuutteen vuoksi, on ahtaalla taloudellisellaisella tarkastelulla vähän merkitys-tä. Kastelun hyödyntäminen

sopii parhaiten niille alueille, joilla sateenvaraisen viljelyn lisäämismahdollisuudet ovat vähäisiä, koska kastelun kustannukset saattavat nousta korkeiksi. Kuitenkin kriisialueilla on kaikki keinot käytettävä kustannuksien suuruudesta riippumatta.

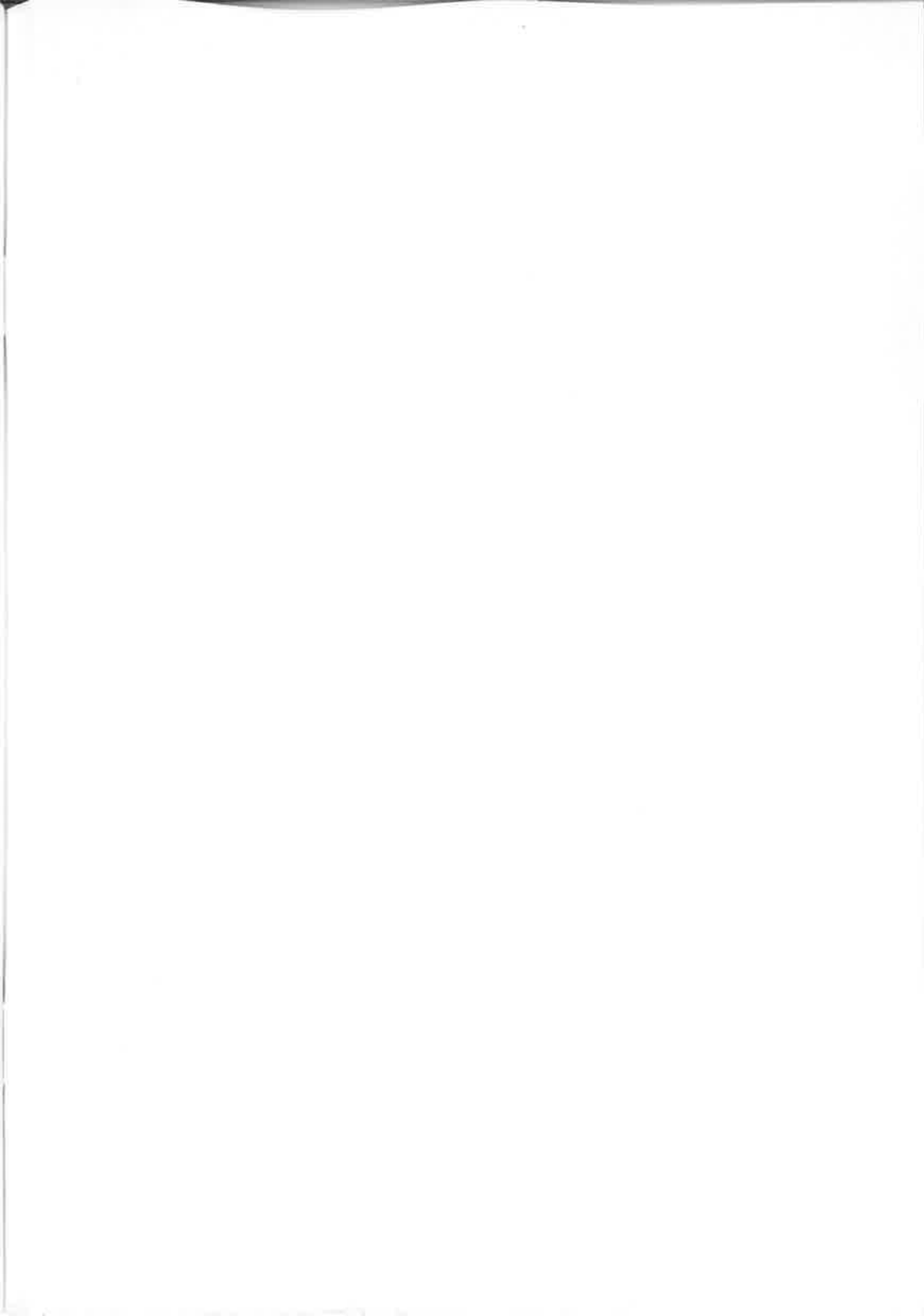
Kastelualueita tulee kehittää osana laajempaa kokonaisuutta, koska tällöin voidaan ottaa huomioon alueen vesihuolto, kehitysohjelmat, eroosio sekä aavikoitumisen riskit.

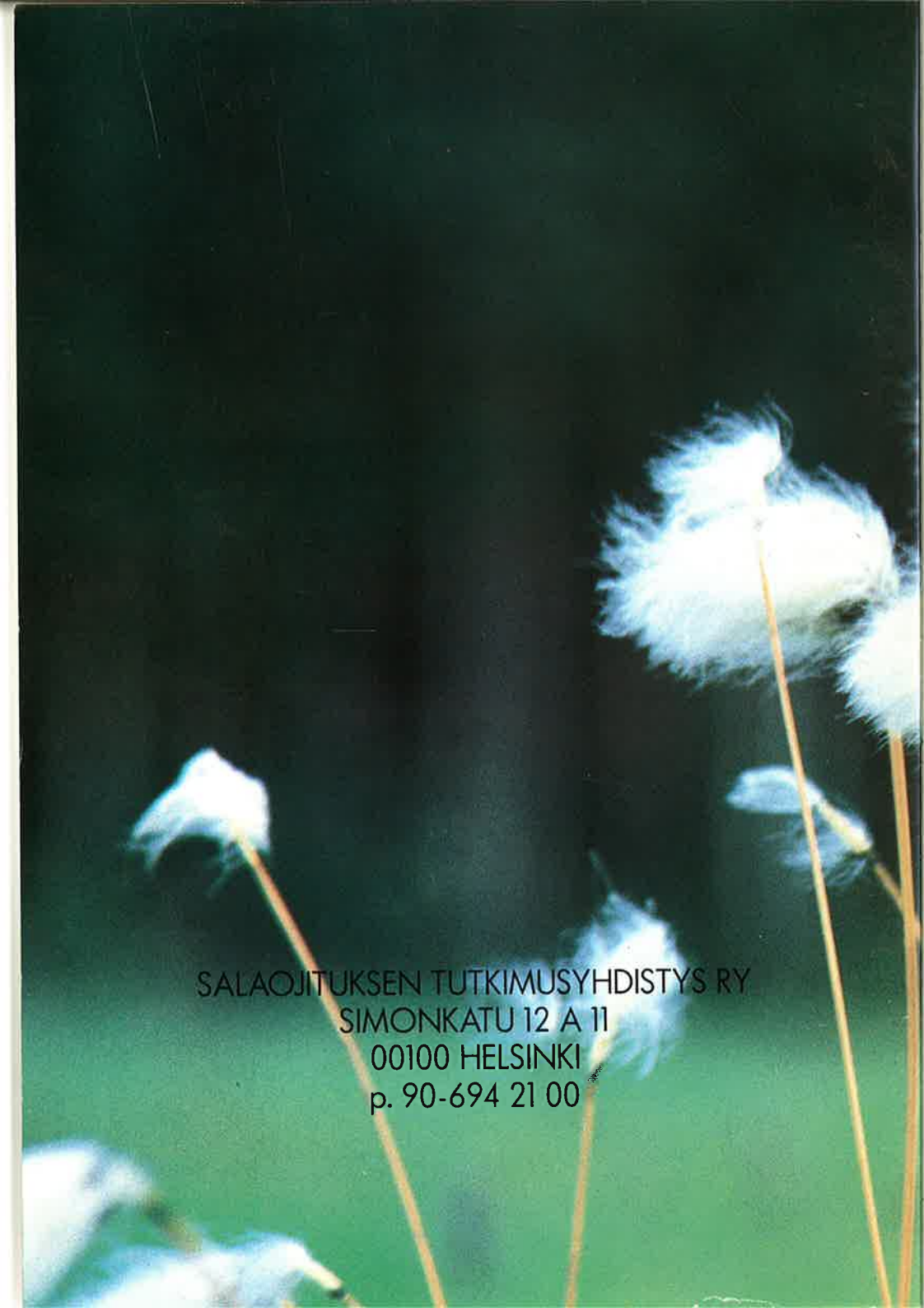
Kastelu voi muodostaa merkittävän osan yhteiskunnan kehitysstrategiassa tuonnin vähentäjänä tai viennin lisääjänä. Tällöin tarvitaan vesivarojen hyödyntämiseksi

suuria infrastruktuurihankkeita. Aasiassa on kastelun avulla pystytty poistamaan elintarvikepula muutaman vuosikymmenen aikana. Näistä kokemuksista voidaan Afrikasakin ottaa oppia, vaikka vain harvoilla mailla on mahdollista tehdä maataloudesta ja siihen liittyvästä teollisuudesta taloutensa veturia.

Kastelun kehittäminen on pitkällä tähtäimellä välttämätöntä, koska elintarviketuotanto henkeä kohden on vähentynyt useilla alueilla. Puolet Afrikan väestöstä saattaa jäädä elintarvikeavusta tai elintarviketuonnista riippuvaiseksi, jos väestö kaksinkertaistuu 25 vuodessa, kuten on ennustettu.

Toivonen, H., 1988. Aridisten alueiden kastelu. TKK, rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Diplomityö. 131 s.





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