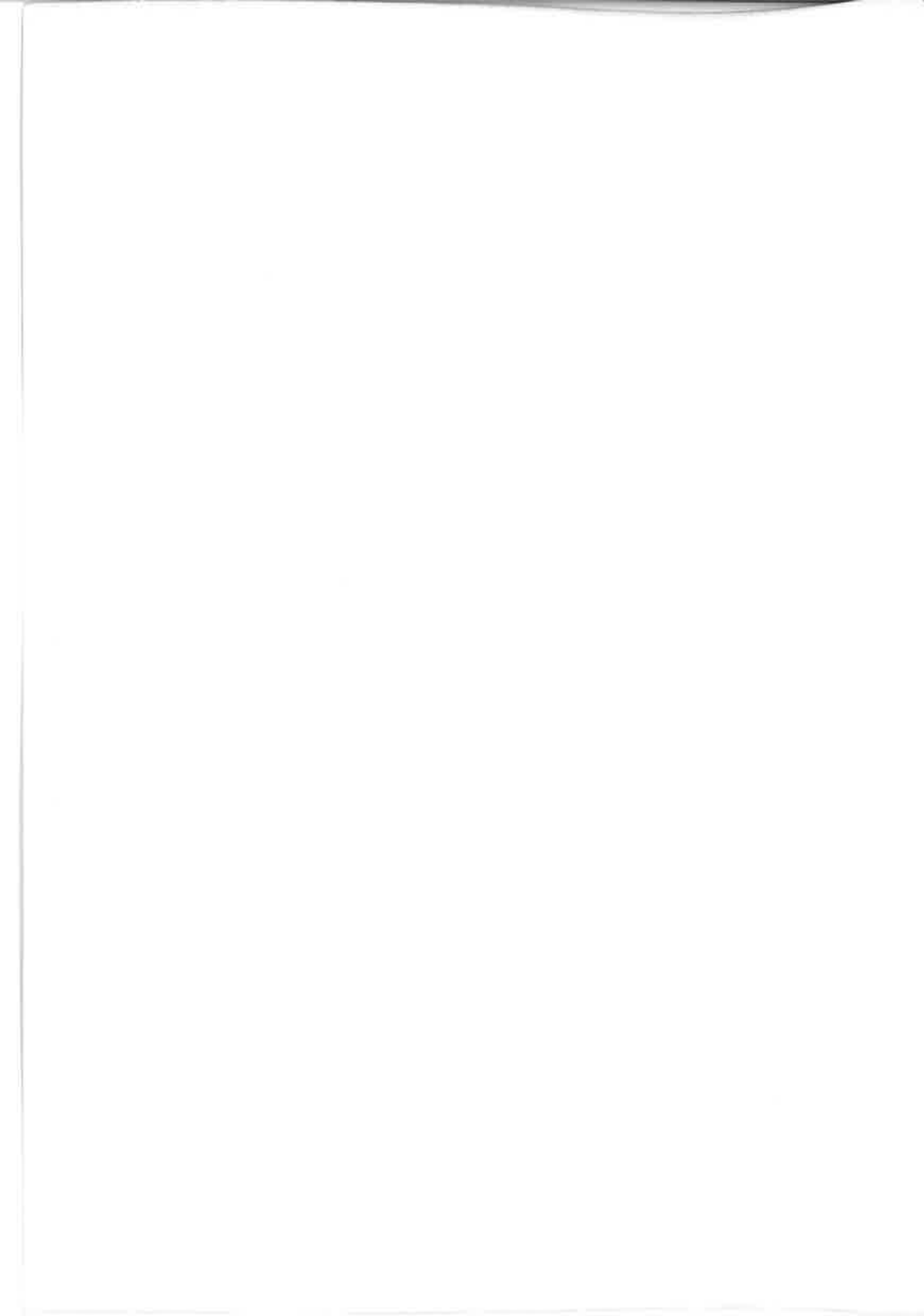


SALAOJITUKSEN TUTKIMUSYHDISTYS RY:N TIEDOTE
3/1987

**SALAOJITUSKOETOIMINNASTA
RUOTSISSA
JA
SALAOJAPÜTKEN YMPÄRYSAINEISTA**

HELSINKI 1987



SALAOJITUSKOETOIMINNASTA RUOTSISSA
JA
SALAOJAPUTKEN YMPÄRYSAINESTA

SISÄLLYSLUETTELO	sivu
ERÄITÄ TULOKSIA SALAOJITUSKOETOI- MINNASTA RUOTSISSA	1
SALAOJITUSKOKEIDEN TULOKSIA LÄNSI- RUOTSISTA	15
KIRJALLISUUSTUTKIMUS SALAOJAPUTKEN YMPÄRYSAINESTA tekn.yo. Ismo Tiainen	21

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

ERÄITÄ TULOKSIA SALAOJITUSKOETOIMINNASTA RUOTSISSA 1)

Salaojitusta koskevaa tutkimustoimintaa on suoritettu Ruotsissa tähän saakka (kirjoitus julkaistu vuonna 1952) varsin rajoitetusti. Sen vuoksi on pitkään toivottu laajempaa koetoimintaa, joka alkoi vuonna 1947.

Kuten tunnettua salaojituskoe-toiminnan tarkoituksena on tutkia, olisiko mahdollista suorittaa salaojitus pelloilla yksinkertaisemmin ja täten halvemmin kuin nykyisin ilman, että se aiheuttaa mainittavia häiriöitä sadon alentumisena, huonompaa kuivatuksena tai että se alentaa kantavuutta jne. Tietyt kokeet, joita on suoritettu tällä alalla - ehkä erityisesti ne, joita on tehty Lannan koetilalla agronomi O. Permanin toimesta, ovat antaneet viitteitä, että salaojitus olisi mahdollista suorittaa yksinkertaisemmin niillä maalajeilla, joita po. kokeet edustavat. Lannassa saadut tulokset ovat täten tietyssä määrin innostaneet laajempaan tutkimustyöhön tällä alalla.

Koska ennen kaikkea käytetty ojaetäisyys, mutta myös ojasyvyys aika suuressa määrin vaikuttavat salaojakustannuksiin, on koetoiminta ensisijassa suunnattu näiden kysymysten selvittelyyn. Kuitenkin tehdään myös kokeita mahdollisuudesta käyttää yksinkertaisempia salaojitusmenetelmiä.

Täysin toteutettuna suunniteltu koetoiminta tulisi käsittämään noin 120 koetta jaettuina koko maahan siten, että eri maalajit ja ilmasto-olosuhteet tulevat mukaan. Pääpaino asetetaan kuitenkin sisämaan maalajeille. Osa näistä kokeista (noin 20) tehdään laajempina ja etupäässä näillä pyritään selvittämään ojaetäisyyttä ja ojasyvyyttä. Loput sata koetta ovat yksinkertaisempia ja niissä tutkitaan säännöllisesti vain kahta ojaetäisyyttä.

1) Perustuu Aug. Håkanssonin artikkeliin Några resultat från täckdikningsförsöksverksamheten. Tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättringar. Nr 1. 1952. Årg. 5. Vapaasti käännetty MTTL:ssa syksyllä 1987.

Koska ilmasto-olosuhteet näyttelevät huomattavaa osaa, täytyisi kokeet suorittaa suhteellisen pitkän ajan kuluessa. Koeajaksi lasketaan 15-20 vuotta. Nykyisin on käynnissä vain muutamia harvoja kokeita ja sen tähden ei ole tähän vielä (1952) mahdollista saada tuloksia käytännön toimenpiteitä varten. Tässä on tarkoitus vain selvittää miten koetoimintaa harjoitetaan sekä muutamien esimerkein valaista, mitä kokeet ovat tähän saakka osoittaneet.

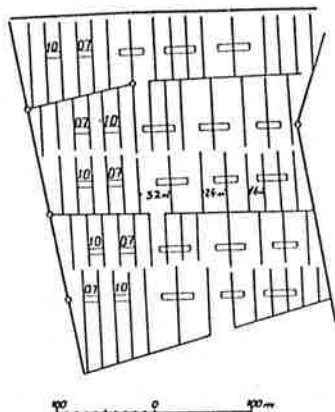
Kokeiden järjestely

Tässä esitetyn koetoiminnan kenttäkokeet on järjestetty kolmella eri tavalla. Kahden eri kokoisen ojaston ojaetaisyysksiin ja syvyysksiin perustuvan menetelmän lisäksi kuivatustehokkuuden vaihtelua on tarkasteltu myös ns. kaistakokein.

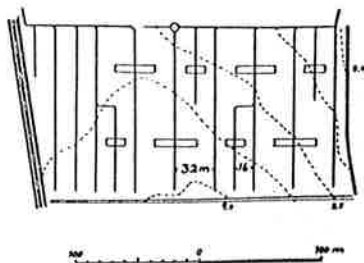
Tavallisista koekentistä suurimmat on ojitettu vähintään kolmea eri ojaetaisyyttä ja usein myös kahta ojasyvyyttä käyttäen. Ojaetaisyytenä kokeissa käytettiin kullakin maalajilla yleisesti käytettyä ojaetaisyyttä (a) sekä lisäksi se puolitoista- ja kaksinkertaisena (1.5a ja 2a) (kuvio 1). Ojien syvyydet vaihtelevat välillä 0.6-1.2 m. Koeruudut on rajattu eri ojitusalueille siten, että ojituksen kuivatustehokkuutta kuvastaa kunkin koealan keskimääräinen kuivuminen ja sato. Eri ojitusalueilla olevien koeruutujen väliin on jätetty leveät suojakaistat, jotta viereisten ojastojen vaikutus ei aiheuttaisi koevirheitä. Eräillä koepaikoilla on myös mukana noin 0.5 hehtaarin ojittamaton alue.

Myöhemmin perustetuissa kokeissa on jouduttu ojatiheyden ja -syvyyden yhdistelmiä vähentämään, jotta kokeet olisi helpompi järjestää, eivätkä ne vaatisi niin laajoja yhteisiä peltolohkoja. Samalla yhden koeruudun pinta-alaa on pienennetty ja kerranteita lisätty. Näillä pienemmillä koekentillä on tavallisimmin käytetty vain kahta eri ojaetaisyyttä, maalajeilla yleisesti käytetty (a) ja se kaksinkertaisena (2a) (kuvio 2). Ojaston syvyyden vaikutukset jäävät kokonaan tarkastelun ulkopuolelle, sillä

kentät on ojitettu vain yhteen ojasyvyyteen. Tällaisia ojituksen keskimääräiseen kuivatustehokkuuteen perustuvia kokeita on usein käytännössä ongelmallista perustaa, eivätkä niiden antamat tuloksetkaan ole aina kovin luotettavia.



Kuvio 1. Pysyvä salaojituskoe Torstenan tilalla, Älvsborgin läänissä käsittäen ojaetäisyydet 16, 24 ja 32 m ja oja-syvyydet 0.7 ja 1.0 m. Maalaji on multarikas hiesusavi (mullrik styvare mellanlera på styv lera). Pinta-ala 10 ha.

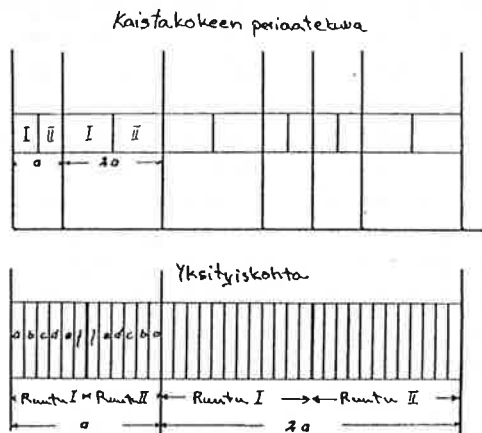


Kuvio 2. Paikallinen salaojituskoe Stommenissa, Skaraborgin läänissä. Ojaetäisyys 16 ja 32 m. Maalaji multarikas hiesusavi (mullhaltig mellanlera på styv lera). Pinta-ala 3 ha.

Koekerranteet vaativat runsaasti pelto-alaa, jotta eri koeruudut saadaan toisistaan riippumattomiksi. Samalla eri koeruutujen väliset maalajien erot saattavat olla suuret ja vaikuttaa haitallisesti koetuloksiin. Eri ojitusintensiteettien väliset keskimääräiset erot saattavat olla vähäiset ja epätarkat esim. taloudellisesti edullisimman ja suositeltavan ojaston tiheyden määrittämiseksi. Niinpä edellä kuvattujen koejärjestelyjen lisäksi maan kuivatustehokkuuden vaikutusta saatuun satoon on tutkittu ns. kaistakokeilla.

Kaistakokeissa hyödynnetään kuivumistehokkuuden vaihtelua, joka aiheutuu tarkasteltavan kohdan etäisyyden vaihtelusta ojalinjaan nähden. Kyseinen vaihtelu on varsin merkitsevä, sillä käytäntöön soveltuvalle ojaetäisyydellä maa kuivuu ojan kohdalla monin kerroin tehokkaammin kuin kahden ojan puolivälissä. Kaistakokeiden etuna on myös niiden vähäinen peltoalan tarve. Kerranteiden lukumäärää voidaan helposti lisätä suppeallakin alueella. Näin maaperän kasvutekijöiden vaihtelu ei heikennä tulosten luotettavuutta, kuten aiemmin mainituissa kokeissa.

Kaistakokeiden koeruudut on rajattu tässä kokeessa kapeiksi rinnakkaisiksi ojaston suuntaisiksi palstoiksi. Kaistajärjestelyistä on esitetty kaavio kuviossa (3). Koekentät on ojitettu kahdella eri ojaetäisyydellä, a ja 2a. Satotason vaihtelua on voitu tarkastella ojan ja koeruudun välisen etäisyyden funktiona. Samalla on nähty, kuinka ojaetäisyyden pienentäminen tai kasvattaminen todella vaikuttaa pellostä saatuun satoon. Taloudellisesti edullisin ja suositeltava ojaetäisyys on voitu määritellä melko tarkasti vertaamalla esim. ojituksen tihentämisestä aiheutuvia kustannuksia ja tuottoja.



Kuvio 3. Periaatepiirros kaistakokeesta (bandförsök).

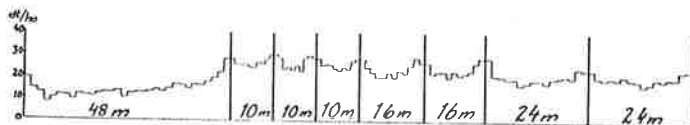
Etäisyyskokeiden tuloksia

Edellä lyhyesti esitettyä koemenetelmää on kokeiltu parin viime vuoden aikana samanaikaisesti aikaisemmin käytettyjen kokeiden kanssa. Etäisyyskokeiden tulokset ovat myös kaksinkertaistuneet. Koska kaistakokeet (bandförsök) antavat varmempaa ja yksityiskohtaisempaa tietoa salaojituksen vaikutuksesta satoon, soveltuvat ne paremmin yksittäisiin kokeisiin. Tutkimustulokset, joita saadaan aikaisemmin käytetyllä tutkimusmenetelmällä, liitetään useamman vuoden yhteenvetoina mukaan.

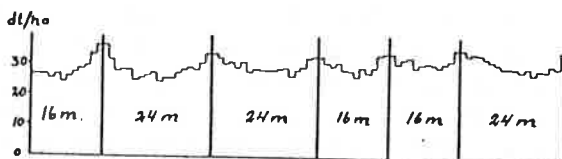
Kuviot 4-6 ovat esimerkkejä kokeista, jotka on valittu erityisesti ottaen huomioon olemassa olevat sadon alenemiset eri ojien kesken. Eroja odotetaan saatavan ensisijaisesti syysviljoilla. Tähän otetut esimerkit kuitenkin osoittavat, että myös kevätiljoilla ja nurmilla saadaan selviä eroja sadoissa eri ojaetäisyyksillä.

Kuvio 4 antaa kuvan yksittäisten koealojen sadoista syysvehnäkokeessa, missä ojaetäisyydet ovat 10, 16, 24 ja 48 metriä. Koe, joka on järjestetty Gammalstorpin säteritilalla Skaraborgin läänissä, sijaitsee savialueella (kåkindsleran). Maata ei ehkä voida pitää puhtaasti tyyppillisenä kåkinds-savena, sillä sen hiesupitoisuus on liian korkea, kun taas hiedan osuus on liian pieni. Ruokamultakerroksessa on hiesupitoisuus noin 50 % ja maa on hyvin routimisaltis, selvät erot sadoissa eri ojaetäisyyksillä ovat aiheutuneet routimisesta. Hyvin suuren ojaetäisyyden (48 m) vallitessa ojien keskipaikkeilla sato oli siten noin puolet siitä, mitä se oli käytettäessä lähes normaalia ojaetäisyyttä. Tämä tarkoittaa, että salaojitus tässä tapauksessa on korottanut sadon arvoa noin 500 kg/ha, mikä osoittaa tiheän salaojituksen olevan tietyssä tapauksessa kannattava toimenpide.

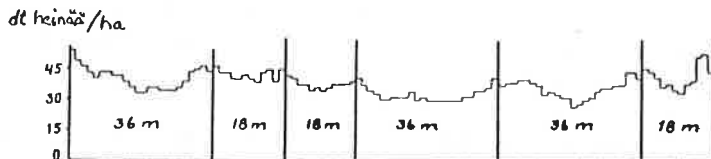
Ojaetäisyyden vaikutuksesta keväällä kylvettyihin kasveihin on tähän valittu esimerkiksi koe, jolta viime vuonna korjattiin kevätevehnää Tingvallin tilalla Bohusin läänissä (kuvio 5). Maalajina oli kohtuullisesti multapitoinen



Kuvio 4. Koealojen satoja esittävä kuvio salaojituskokeessa Gammelstörpin säteritilalla, Skaraborgin läänissä. Ojaetäisyydet 10, 16, 24 ja 48 m. Pystysuorat viivat kuvaavat salaojituksen tiilaa. Kasvina on syysvehnä. Sato on ilmaistu jyviä dt/ha. Kuva osoittaa miten sato laskee eri tavoin salaojitettaessa ja routimisvaurioiden vaihdellessa.



Kuvio 5. Koealojen satoja esittävä kuvio kevätvehnällä Tingvallin maatilalla, Göteborgin ja Bohusin läänissä. Maalaji on multava kevyt hiesusavi (mullhaltig lättare mellanlera på mellanlera). Ojaetäisyydet 16 ja 24 m. Kuvio osoittaa, että on saatu selviä sato- vaihteluita eri ojitusten kesken.



Kuvio 6. Koealojen satoja osoittava kuvio nurmikokeista Apertin tilalla Värmlandin läänissä. Maalaji on hiesu (mjällera). Ojaetäisyys 18 ja 36 m. Maan viettävyys noin 12:1000. Sadon aleneminen johtunut apilan talvituhosta ojien keskivälillä.

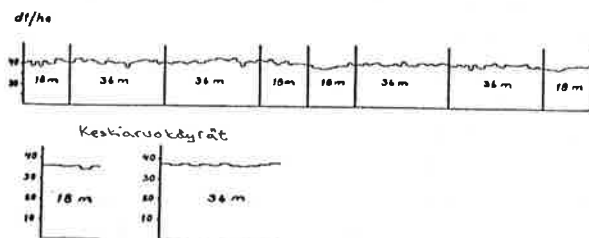
hiesusavi (mellanlera). Käytetyt ojaetäisyydet olivat 16 ja 24 m. Sääolosuhteista voidaan mainita, että huhtikuun alkupuoliskolla satoi poikkeuksellisen runsaasti. Sitä seuraavina kahtena kuukautena sademäärä oli vähäinen. Kun koelohkot kylvettiin 19. toukokuuta, kuivatussuhteissa eri ojaetäisyyksien välillä ei ollut havaittavissa mitään eroja. Selvät erot sadoissa selittynevät sillä, että kevätmuokkaus suoritettiin ajankohtana, jolloin maan kuivatustilassa oli eroja eri ojaetäisyyksillä. Niillä koelohkoilla, joilla kuivatus ei ollut ehtinyt riittävän pitkälle, kevätmuokkaus aiheutti maan mururakenteen huonontumista. Tämä ei ollut kuitenkaan silmin nähtävissä. Tämän vuoden tulosten perusteella pienempi ojaetäisyys näyttää olleen taloudellisesti edullisempi.

Kuvio 6 osoittaa erään kokeen tuloksia toisen vuoden nurmella Apertinin tilalla Värmlandissa. Maalaji on tässä tapauksessa hiesu (mjällera). Selvät sadon alennukset ovat aiheutuneet siitä, että apila on tuhoutunut lähes täysin ojien keskipaikkeilla, kun taas ojien läheisyydessä se on säilynyt selvästi paremmin. Myös tässä tapauksessa pienempi ojaetäisyys näyttää olleen edullisempi.

Edellä mainitut tulokset ovat selviä esimerkkejä tiheän ojituksen puolesta. Useissa tapauksissa on kuitenkin saatu vain pienehköjä ja usein ei mitään eroja sadoissa eri ojien kesken. Kuvio 7 osoittaa esimerkkiä, joka on otettu ohra-kokeesta Klosterin tilalta Kopparbergin läänissä. Maalaji on myös tässä hiesu (mjällera) ja kyseiset ojaetäisyydet ovat 18 ja 36 metriä. Kuten kuviosta ilmenee, on satokäyrä lähinnä vaakasuora linja. Suurempi ojaetäisyys näyttää kyseisenä vuonna antaneen riittävän hyvän kuivatuksen.

Koetoiminnan tarkoituksena on, kuten edellä on mainittu tutkia, olisiko mahdollista yksinkertaistaa salaojitusta. Sen tähden on mielenkiintoista lähemmin selvittää, mitä tähän saakka tulostetut kaistakokeet ovat vastanneet tähän kysymykseen. Tuloksiin on suhtauduttava varauksin,

koska kokeet eivät ole olleet käynnissä kahta vuotta kauempaa.

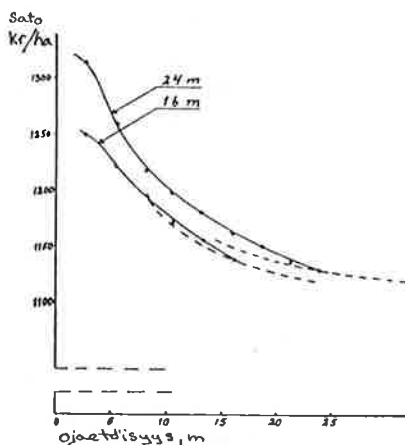


Kuvio 7. Koealojen satoja osoittava kuvio ohrakokeissa Klosterin tilalla Kopparbergin läänissä. Maalaji on multarikas hiesusavi (mullhaltig mjällera på mellanlera - styv lera). Ojaetäisyydet 18 ja 36 m. Maan viettävyyks noin 20:1000. Sadon alenemista ei ole saatu eri salaojien kesken tässä tapauksessa.

Satotappiota, joka mahdollisesti on seurausta harvasta ojituksesta, täytyy luonnollisesti punnita yhdessä niiden kustannussäästöjen kanssa, joita voidaan saavuttaa po. toimenpiteillä. Sen tähden täytyy vertailua varten tehdä laskelmia, jotka osoittavat, onko ojaetäisyyden lisääminen taloudellisesti puolustettavissa. Sellainen arviointi voidaan tehdä seuraavalla tavalla.

Arvioimalla kaistakokeista saatua tuottoa yksityiskohtaisesti, voidaan laskea ojaetäisyyden ja satotuotoksen välinen suhde. Jos ojaetäisyys asetetaan toiselle akselille koordinaatistossa ja tuotto toiselle akselille, saadaan niiden välistä suhdetta osoittava käyrä. Tämä käyrä ei näytä täysin oikeaa riippuvuutta, sillä siinä tapauksessa käyrän muodon tulisi olla riippumaton kokeessa käytetystä ojaetäisyydestä. Näin ei kuitenkaan ole asian laita. Jos piirretään samaan koordinaatistoon käyrä, joka osoittaa miten ojaetäisyys vaikuttaa salaojituksen vuosikustannukseen, voidaan päätellä, kattaako se sadon lisäys, joka mahdollisesti saadaan ojaetäisyyttä pienentämällä, lisääntyneet kustannukset. Menettelytapaa selvittää esimerkki. Kuviossa 8 käyrät osoittavat ojaetäi-

syyden ja sadon arvon välistä riippuvuutta kokeessa, jonka satokäyrät käyvät ilmi kuvioista 5. Kuten näkyy, ei tässä tapauksessa ole saatu eroa satokäyriissä tutkituilla ojaetäisyyksillä 16 ja 24 metriä. Ne ovat pääasiassa yhdensuuntaisia. Suuremman etäisyyden käyrä on jonkin verran korkeammalla tasolla, mikä tarkoittaa, että tämä ojaetäisyys on saanut jonkin verran edullisemman tuloksen kasvun kannalta. Kun tässä kiinnostaa vain käyrän muoto, ei tällä ole merkitystä. Ojaetäisyyden ja ojituksen vuotuiskustannuksen riippuvuus ilmaistaan pilkkuviivalla. Se ei osoita ojituksen absoluuttista kustannusta, vaan ainoastaan kustannusmuutosta ojaetäisyyteen nähden ja voidaan asettaa mille tasolle tahansa kuviossa. Käyrää laskettaessa on oletettu, että kokonaiskustannus imuoja-metriä kohti on 1.50 kruunua. Edelleen on laskettu poisto-ajaksi 30 vuotta ja korkokannaksi 4 prosenttia. Tietysti tässä voidaan valita muitakin arvoja.



Kuvio 8. Saden arvon ja ojituskustannusten muutosten vertailua ojaetäisyyteen nähden. Saden arvon ja ojaetäisyyden riippuvuus on esitetty yhtenäisillä viivoilla ja on laskettu kuvion 5 kokeen mukaan. Pisteviivat esittävät ojituksen vuosikustannusta ja sen muutosta ojaetäisyyden vaihdellessa.

Kuviota tulkitaan vertaamalla sato- ja kustannuskäyrien kulkua. Jos tarkastellaan esim. suuremman ojaetäisyyden

satokäyrää, voidaan todeta, että tuotto nousee nopeammin kuin ojituskustannus, jos siirrytään pienempään ojaetäisyyteen. Sen vuoksi on edullista ojaetäisyyden pienentäminen. Jos katsotaan pienemmän ojaetäisyyden tuottokäyrää, käy selville, että tämä nousee jonkin verran nopeammin kuin kustannuskäyrä, mutta ero on häviävän pieni. Sadon lisäys, joka saadaan ojaetäisyyttä pienentämällä, vastaa sen tähden pääasiassa ojituksen lisäkustannuksia. Lopputulokseksi saadaan, että pienempi ojaetäisyys näyttää olevan edullinen niissä olosuhteissa, jotka ovat vallinneet po. vuonna, mutta selvästi 16 metriä pienempi ojaetäisyys ei ole perusteltua. Koko ajan täytyy pitää mielessä, että kokeissa on myös tietty virhemahdollisuus.

Taulukko 1. Ojaetäisyyskokeen yhdistelmä kaistakokeissa

Kasvi	Normaali ojaetäisyys			Kaksinkert. ojaetäisyys	
	Kokeiden luku	Ojaetäisyyden pienent. näyttää toivotavalta; % koko lukum.	Ojaetäisyyden lisäys näyttää toivotavalta; % koko lukum.	Kokeiden luku	Ojaetäisyyden lisäys näyttää toivotavalta; % koko lukum.
Syyskylvöt	19	5	79	13	46
Kevätkylvöt	32	6	88	21	67
Nurmi	19	—	100	14	57
Yht./Keskim.	70	4	89	48	58

Taulukossa 1 on esitetty, millä osuudella kaistakokeista ojituksen tihentäminen tai harventaminen olisi taloudellisesti kannattavaa. Kokeissa on mukana myös se ojaetäisyys, jota normaalisti käytetään puheena olevilla mailla, taulukossa merkitty "tavallinen ojaetäisyys" (enkelt dikesavstånd). Taulukosta käy ilmi, että "tavallisella ojaetäisyydellä" (kokeiden lukumäärä on 70) on kaikilla kasveilla vain muutamissa tapauksissa saatu niin suuri sadon alennus eri salaojitusten kesken, että ojaetäisyyden pienentäminen olisi perusteltua. 80-90 prosentissa tapauk-

sista näyttää ojaetäisyyden lisäys mahdolliselta. Tarkasteltaessa "kaksinkertaisen ojaetäisyyden" koetuloksia (kokeiden lukumäärä on 48) huomataan, että ojaetäisyyden lisäys näyttäisi yhä olevan mahdollista 50-60 % tapauksissa.

Kahden viime vuoden aikana, jolta ajalta esitetty tutkimusmateriaali on peräisin, vain harvoissa kokeissa on saatu tuloksia, jotka puoltaisivat pienempää ojaetäisyyttä kuin mitä käytännön suunnittelutyössä käytetään. Useimmissa tapauksissa suurempi ojaetäisyys näyttää olevan taloudellisin. Tässä on otettu huomioon vain tuotto. Kysymystä tulisi tarkastella myös muilta näkökannoilta, kuten pellon kuivatuksen, kantavuuden jne. kannalta. Edelleen täytyisi tuloksia tarkastella muissa sääolosuhteissa kuin niissä, jotka ovat vallinneet kokeissa. Jos kuitenkin myöhempien kokeiden tulokset ovat samansuuntaisia, on vähitellen jatkossa ratkaistava, millä alueilla ja millä maalajeilla harvempi ojitus ensisijaisesti voisi tulla kysymykseen.

Ojasyvyyttä koskevat tulokset

Ojasyvyyttä koskevat kokeet on perustettu muiden suurempien kokeiden yhteyteen. Ne ovat lukumäärältään sen vuoksi vähäisempiä kuin ojaetäisyyttä koskevat kokeet. Viime aikoina on liittynyt kuitenkin uusia piirteitä ojasyvyyteen. Tähänastiset kokeet on sijoitettu eri tyyppisille savimaille. Siinä määrin kuin on mahdollista löytää sopivia koepaikkoja, täydennetään kokeita kevyemmillä mailla. Vaikeudet kasvavat kuitenkin sitä suuremmiksi mitä läpäisevämpi maa on.

Se tutkimusmateriaali, joka on ollut käytettävissä, ei ole riittävän laaja, jotta voitaisiin päätellä ojasyvyyden vaikutusta tuottoon. Tästä huolimatta voi olla mielenkiintoista ottaa esille osa tuloksista, joita tähän saakka on saatu. Taulukossa 2 on esitetty yhteenvedona tuloksia syvimmän ja matalimman ojasyvyyden vaikutuksista. Saadut tulokset ovat suhteellisen harvalukuisia ja useimmissa tapauksissa virherajojen sisällä. Tehtyjen kokeiden

mukaan tuotossa ei ole juuri eroa riippumatta siitä, ovatko ojat syviä vai matalia. Miten po. ojasyvyyksillä on näin epäselvä vaikutus tuottoon, kuten nämä luvut osoittavat, täytyy selvittää myöhemmissä kokeissa. Tässä esitettyjen koetulosten perusteella ei voida kuitenkaan tehdä täsmällisiä päätelmiä. Muistettakoon, että valuma lisääntyy ojasyvyyden lisääntyessä - joka tapauksessa enemmän läpäisevillä mailla. Syvempi salaojitus merkitsee sen tähden myös intensiivisempää kuivatusta. Mikä vaikutus tällä on tuoton suuruuteen, täytyy kuitenkin yhä jättää avoimeksi.

Taulukko 2. Salaojituskokeiden tuloksia eri ojasyvyyksillä

Koe	Kasvi	Satotulos dt/ha				
		Oja- syvyys 1.0-1.2	Suhde- luku	Oja- syvyys 0.6-0.75	Suhde- luku	Lisäys tai vä- hennys
Marsta 1950	Syysruis	37.7	100	34.9	93	-2.8
Marsta 1951	Seosvilja	26.2	"	26.6	102	+0.4
Gunnarstorp 1949	Syysvehnä	26.8	"	28.6	107	+1.8
Gunnarstorp 1951	Kevätrapsi	11.9	"	11.1	93	-0.8
Säbyholm 1950	Syysrapsi	17.0	"	15.7	92	-1.3
Säbyholm 1951	Sokerijuuri	445.0	"	452.0	102	+7.0
Övragård 1951	Kevätvehnä	12.1	"	10.4	86	-1.7
Vrå Nolg. 1949	Seosvilja	42.4	"	42.3	100	-0.1
Kloster 1951	Ohra	41.5	"	40.7	98	-0.8
Forstena 1950	Kevätrapsi	15.8	"	15.5	98	-0.3
Forstena 1951	Kaura	30.6	"	28.4	93	-2.2
Västerby 1949	Pellava	11.4	"	12.5	110	+1.1
Keskimäärin			100		98	

Havaintoja kuivatuksesta ja maan kantavuudesta

Tässä on kiinnitetty huomiota siihen, mitä vaikutusta salaojitusintensiteetillä on tuottoon. Peltojen kuivatus ja pellon kantavuus runsassateisinä aikoina vaativat myös huomiota osakseen. Myöhäinen ja epätasainen kuivatus

aiheuttavat merkittäviä haittoja. Koneellistuneessa maataloudessa voi pellon huono kantavuus esim. korjuuaikana olla syy suuriin tappioihin. Tarkkailemalla koekenttiä yritetään sen tähden selvittää, onko siellä havaittavissa tämäntapaisia haittoja.

Usein havaitaan kuivatuksessa aikaisin keväällä välittömästi lumen sulamisen ja roudan jälkeen selviä eroja tavanomaisesti ja kaksinkertaisella ojaetäisyydellä ojitet-
tujen alojen välillä. Tähän aikaan on myös monessa tapauksessa selviä eroja pellon kantavuudessa. Normaalien toukotöiden aikaan ja usein jo ennen sitä nämä erot ovat kuitenkin useassa tapauksessa tasaantuneet. Poikkeuksia on tietysti esiintynyt, mutta ne tapaukset, joissa kylvä on myöhästynyt siksi, että alueet on ojitettu kaksinkertaisesta ojaetäisyydestä käyttäen ja tämän vuoksi eivät ole olleet riittävästi kuivattuja, ovat suhteellisen harvoja. Sääolosuhteet keväällä, ei vähiten sateen suuruus ja jakaantuminen, vaikuttavat luonnollisesti suuresti peltojen kuivumiseen. Tämän lisäksi kuivumiseen vaikuttavat oleellisesti myös pellon sijainti ja korkeussuhteet. Tasanko-
alueilla, joilla tuuli vapaasti puhalttaa, tapahtuu kuivuminen joskus niin nopeasti, että tavallisen ja kaksi kertaa harvemman ojituksen väliset erot ovat joskus vain muutamia päiviä.

Kirjoituksessa on esitetty valokuvia 1) kokeesta, joissa kuivatus on tapahtunut hyvin nopeasti ja ilman näkyvää suuremmasta ojaetäisyydestä johtunutta viivettä. Kokeissa, jotka koskivat hyvin suurta ojaetäisyyttä tai missä mukaan on otettu ojittamattomia alueita, on sitävästoin tietyissä tapauksissa ollut havaittavissa selviä haittoja. Eräs sellainen esimerkki on kokeesta Varasläppenissä, missä oli mukana noin 0.5 ha täysin ojittamaton alue. Keväällä 1950, joka näillä alueilla oli aika sateinen, saatiin näissä kokeissa suuria eroja kuivatuksessa. Ojattomat

1) Tässä ei ole esitetty po. valokuvia.

pellot eivät ehtineet kuivaa normaaliin toukokaikaan mennessä ja sen vuoksi märkyys aiheutti haittaa kevättöissä pellolla. Esitetyt valokuvat antavat käsityksen kuivatukseen eroista, joita oli havaittavissa em. tapauksissa. Syvyyskokeissa erot kuivatuksessa näyttävät selvästi olevan vähäisiä. Vain yhdessä tapauksessa on ollut mahdollista, että aikaisin keväällä on ollut havaittavissa eroja matalan ja syvän kuivatuksen välillä syvemmän eduksi. Normaaliin toukokaikaan missään tapauksessa ei ole voitu havaita eroja.

Toinen kysymys, joka perustuu havaintoihin, on pellon kantavuus ja sen riippuvuus ojituksesta. Herkästi reagoivia maita tässä suhteessa ovat sellaiset, joissa on suuri ero ruokamultakerroksen ja jankon veden läpäisevyydessä. Jos ruokamultakerros on paremmin vettäläpäisevää kuin jankko, jää vesi seisomaan ruokamultakerrokseen ja heikentää sen kantavuutta. Kriittiset ajat osuvat sadonkorjuun ja syyskyntöjen aikaan. Tappioita esiintyy, jos suhteellisen suuria sateita esiintyy juuri kun nämä työt ovat käynnissä. Alueilla, joilla on käytetty suurta ojaetäisyyttä, ei ole aina voitu käyttää korjuukoneita lainkaan. Samoin joskus on ollut suuria vaikeuksia syyskynnöissä. Niissä tapauksissa, missä on esiintynyt haittoja, on ollut kyse eri ojaetäisyyttä koskevista kokeista.

Loppusanat

Tähän mennessä (vuosi 1952) saaduista salaojitusta koskevista kokeista käy ilmi, että vain harvoissa tapauksissa nykyistä intensiivisempi salaojitus näyttäisi olevan kannattavaa. Monien kokeiden tuloksien perusteella näyttää siltä, että salaojitusta olisi mahdollista yksinkertaistaa ja tällöin ensi sijassa keveillä maalajeilla ja niillä alueilla, jotka ovat vähemmän sateisia. Niissä kokeissa, joissa on käytetty hyvin suurta ojaetäisyyttä tai ei oja lainkaan, ovat satotappiot olleet huomattavia ja kuivatus on myöhästynyt merkittävästi. Kuivatustarve vaihtelee vuodesta toiseen riippuen ilmasto-olosuhteista. Sen vuoksi kokeita on tarpeellista jatkaa suhteellisen pitkän ajan, että saataisiin varmempi käsitys tutkittavista kysymyksistä.

SALAOJITUSKOKEIDEN TULOKSIA LÄNSI-RUOTSISTA 1)

Tarkasteltaessa Ruotsissa tehtyjä salaojakokeita voidaan todeta, että ongelmia salaojituksessa esiintyy useammin Länsi-Ruotsissa kuin muualla maassa. Länsi-Ruotsiksi katsotaan tällöin etupäässä Skaraborgin, Älvsborgin, Göteborgin sekä Bohusin ja Värmlandin läänit. Syynä siihen, että näillä alueilla esiintyy enemmän satotapioita, kuivatusvaikeuksia ja kantavuusongelmia suurennettaessa salaojien ojaväliä, pidetään etupäässä ilmastollisia seikkoja.



1. Sigtuna
2. Kilagården
3. Grästorp
4. Trollhättan

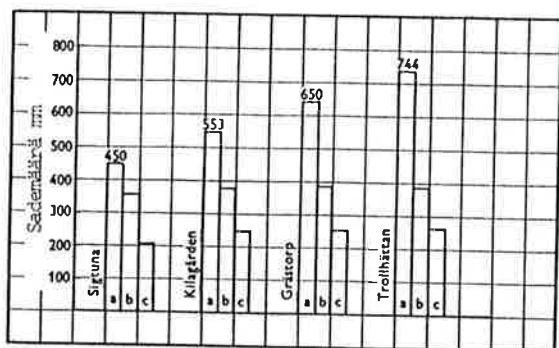
- | | |
|-----|-----------------------------|
| I | Göteborgin ja Bohusin lääni |
| II | Älvsborgin lääni |
| III | Skaraborgin lääni |
| IV | Värmlandin lääni |

Kuva 1. Koepaikkakunnat.

Sademäärä vaihtelee tärkeimmillä viljelysalueilla Etelä- ja Keski-Ruotsissa 450 ja 800 mm välillä. Tämän vaihtelun merkitys nähdään paremmin kuvasta 2. Kuvaan on otettu mukaan joitakin sademäärän mittausasemia, joilta on ilmoitettu (a) vuotuisen sademäärän keskiarvo, (c) sademäärä

1) Kirjoitus on lyhennelmä Aug. Håkanssonin kirjoituksesta Några resultat av täckdikningsförsök i västra Sverige. Grundförbättring tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättringar. Kungl. Lantbrukshögskolans institution för agronomisk hydroteknik. Arg. 7, Nr 4, 1954. Vapaasti käännetty MTTL:ssa syksyllä 1987.

kasvukauden intensiivisimpänä kautena toukokuusta elokuuhun ja (b) haihtuminen. Asemat on valittu siten, että vuotuisen sademäärän kasvu on noin 100 mm. Sigtuna edustaa suhteellisen kuivaa maatalousaluetta Itä-Ruotsissa, Kilgården edustaa vähäsateista aluetta ja Grästorp ja Trollhättan ovat melko runsaiden sateiden paikkakuntia.



Kuva 2. Sademäärän ja haihtumisen vaihtelu eri puolilla Etelä-Ruotsia. Paikkakunnat on merkitty kuvaan 1.

Kuvasta 2 voidaan panna merkeille kaksi tärkeää seikkaa. Ensinnäkin vesimäärä, jonka tulee joko valua tai haihtua pois, on 3-4 kertaa niin suuri 750 mm sademäärällä kuin 450 mm sademäärällä. Lisäksi voidaan todeta, että suurimmat erot sademäärissä ovat talvella, jolloin kasvit eivät ole käyttämässä vettä. Näinollen Länsi-Ruotsin suurempaa salaojitustarvetta on katsottava suhteessa talvehtiviin kasveihin ja maan kantavuuteen.

Salaojatiheyden vaikutus satotasoon, kuivumiseen ja kantavuuteen

1. Kokeet pelkkiin kokoojaojiin perustuvalla menetelmällä

Näiden kokeiden tarkoituksena oli saada tietoja salaojitusongelman ratkaisemisesta suhteellisen harvalla, pelkkiin kokoojaojiin perustuvalla salaojitusmenetelmällä. Koe-palstat olivat 0,5 ha suuruisia ojittamattomia, mutta

salaojin rajattuja alueita. Pintavedet johdettiin pois vesivakojen avulla. Kokeet tehtiin savimaalla, ja vertailuryhmänä käytettiin 16, 24 ja 32 metrin ojaväleihin salaojitettujen palstojen satokeskiarvoja. Koejärjestelmä on esitetty kuvassa 3.

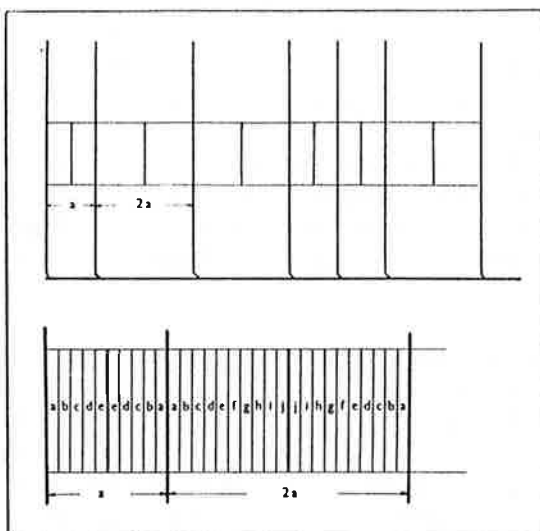


Kuva 3. Koejärjestelmä pelkkiin kokoojaojiin perustuvaa salaojitusmenetelmää varten.

Peltojen kuivuminen oli pelkin kokoojaojin salaojitetuilla alueilla muita huonompaa ja sadot olivat 43-82 % vertailuryhmän sadoista. Koska kylvöt tehtiin silloin, kun vertailuryhmän pellot olivat kuivuneet kylvökuntoon, tulivat kokoojaojin ojitetut alueet kylvetyiksi liian aikaisin. Ilmeisesti tällä seikalla on osuutensa satotappioihin. Myös kantavuus kokoojaoja-alueilla oli heikompi. Satotappiot syysviljoilla olivat merkittäviä ja pääasiallisena syynä niihin olivat talvehtimisvauriot.

2. Kokeet normaalilla ja kaksinkertaisella ojavälillä

Lähtökohtana kokeissa oli ko. olosuhteissa normaalisti käytettävä salaojaväli sekä tämä kaksinkertaisena. Koe-palstojen maalajit vaihtelivat karkeasta hiedasta aito-saveen. Karkealla hiedalla käytettiin ojavälinä 18-36 metriä ja aitosavella 12-24 metriä. Kokeet tehtiin ojien kanssa yhdensuuntaisilla palstoilla, jolloin saatiin rivikohtaisesti kartoitettua satokäyriä ojien välistä. Palstoilta laskettiin satokeskiarvot kutakin ojaväliä kohti. Koeasetelma on esitetty kuvassa 4.



Kuva 4. Koeasetelma normaalilla ja kaksinkertaisella ojavälillä.

Kahden ojan välissä olevilta palstoilta laskettiin sato-keskiarvot kutakin riviväliä kohti. Jättämällä pois kaksi palstaa, jotka sijaitsevat keskilinjaa molemmin puolin (esim. palsta e, ojavälillä a) ja laskemalla keskiarvot jäljellä olevista, saadaan sadon suuruus vastaavasti pienemmällä etäisyydellä. Siten voidaan askel askeleelta laskea sato aina pienemmälle ojavälille. Näin saadaan

sadon ja ojaetäisyyden välinen riippuvuus selville. Sato, joka saadaan ensimmäisenä jättämällä keskilinjaa lähinnä olevat palstat laskuista pois, on likimain oikea. Jos kokeissa, kahden eri ojavälin sijasta, otetaan mukaan kokonainen sarja sopivasti valittuja ojavälejä, saadaan piirrettyä tarkempi käyrä. Käytännöllisesti katsoen kahden eri ojavälin käytöllä saadaan kuitenkin täysin riittävä tulos ojavälin vaikutuksesta satoon.

Sademäärällä on tärkeä merkitys salaojakokeissa vertailtavuuden säilyttämiseksi. Sademäärä Skaraborgin läänissä oli 550-650 mm ja Värmlandin, Älvsborgin sekä Göteborgin ja Bohusin läänissä 650-750 mm. Koska kasvusto kuluttaa noin 300 mm vuotuisesta sademäärästä, voidaan tehdä päätelmiä eri aikoina maaperään varastoituneesta vesimäärästä. Tällaisilla seikoilla on merkitystä mm. maan kantavuuteen. Vuodet 1950 ja 1952 olivat huomattavan märkiä vuosia. Ruotsin länsiosissa myös syksy 1949 oli sateinen syksy. Muina vuosina sademäärät ovat olleet lähes keskimääräisiä. Kuitenkin kaikkina keväinä, vuotta 1947 lukuunottamatta, on sademäärä ollut kaksinkertainen keskimääräiseen verrattuna. Tämä on syytä ottaa huomioon tuloksia tarkasteltaessa.

Suurimmat satotappiot ojaväliä levennettäessä kohdistuivat syysviljoihin ja nurmiin. Syynä tähän oli etupäässä liiallinen märkyys. Rousteen esiintyminen on varsin yleistä, koska sateet ja pakkaset vaihtelevat Länsi-Ruotsissa. Myöskin maalajit (etenkin hieta ja hiesu) edesauttavat rousteen muodostumista. Satotappiot olivat kuitenkin niin pieniä, että normaalia kapeampi ojaväli oli taloudellisesti kannattava vaihtoehto vain rousteen aroilla alueilla.

Voidaanko salaojituksessa sitten käyttää normaalia leveämpää ojaväliä? Tarkasteltaessa asiaa pelkästään sadon perusteella näyttäisi se useimpien kokeiden mukaan olevan mahdollista. Monissa kokeissa kaksinkertaisella ojavälillä ilmeni satotappioita, mutta ne olivat pienempiä kuin salaojituksen pienentyneet vuotuiset kustannukset. Jos

tarkasteltaisiin vain satotaso, olisi kaksinkertainen ojaväli suositeltava.

Huomioon on otettava kuitenkin tekijöitä, jotka eivät tule esiin satotuloksissa. Tällaisia seikkoja ovat kuivuminen keväällä sekä kantavuus sadonkorjuun ja syyskyntöjen yhteydessä. Kuivuminen oli säännönmukaisesti hitaampaa kaksinkertaisella ojavälillä kuin normaalilla ojavälillä. Erityisen merkittävää oli huonompi kuivuminen varhais-keväällä. Varsinaiseen kylvöaikaan kosteustilanne oli heikko erityisesti sateisimmilla Bohusin ja Värmlandin alueilla kaksinkertaisella ojavälillä salaojitetuilla palstoilla.

Vaatimukset maaperän hyvästä kantavuudesta ovat lisääntyneet sitä mukaa kuin maatalous on koneellistunut. Leikkuupuimureiden sekä yhä myöhäisempien ja satoisampien lajikkeiden käyttöönotto on siirtänyt viljankorjuuta syksymmäksi. Siten kesän aikana kuivunut maaperä on ehtinyt täydentää vesivarastonsa ja kantavuus varsinaisen sadonkorjuun aikaan on heikentynyt.

Kantavuus perustuu pitkälti maalajioloihin, osittain maan rakenteeseen, osittain eri maalajien vedenläpäisykykyyn. Paras kantavuus on savespitoisilla maalajeilla, josta se heikkenee hiesun ja hiedan osuuden lisääntyessä. Samat maalajit, jotka ovat arkoja rousteelle, ovat myös kantavuudeltaan heikkoja.

Koetulosten ja kokemusten perusteella voidaan sanoa, että sateisimmilla alueilla, Göteborgin ja Bohusin läänissä, Älvsborgin ja vieläpä Värmlandin läänissä, on syytä olla varovainen levennettäessä ojaväliä normaalista. Erityisesti tämä koskee rousteenarkoja ja huonosti kantavia maita. Mahdollisuudet suuremman ojavälin käyttöön tuntuivat olevan Skaraborgin läänissä, vähemmän sateisilla alueilla, joilla kevyt maalaji läpäisee vettä hyvin. Riskejä voidaan tällöin tarkastella suhteessa kustannusten säästöön.

SALAOJAPUTKEN YMPÄRYSINEISTA
Kirjallisuustutkimus
tekn. yo. Ismo Tiainen

Sisällysluettelo	s.
1. Johdanto	22
2. Hydraulinen gradientti ja maapartikkelien kulkeutuminen putkeen	23
2.1 Maapartikkeleiden kulkeutuminen putkeen	23
2.2 Hydraulinen gradientti symmetrisen radiaalivirtauksen tapauksessa	24
2.3 Hydraulinen gradientti ympärysaineella ympäröidyn putken tapauksessa	30
3. Maahiukkasten pidättyminen ympärysaineeseen	34
3.1 Pidättyismekanismi	34
3.2 Suodatusteho	35
4. Ympärysainemateriaalit	36
4.1 Ympärysaineiden luokittelu	36
4.2 Rakeiset materiaalit	37
4.2.1 Sora	37
4.2.2 Muut rakeiset materiaalit	40
4.3 Orgaaniset materiaalit	40
4.4 Synteettiset materiaalit	43
5. Ympärysainetutkimus Suomessa	45
6. Johtopäätökset	46
7. Yhteenveto	47
Lähdeluettelo	48
Aiheesta enemmän	51

1. JOHDANTO

Salaojaputken ympärille asennetaan lähes aina ympärysaine, jonka tehtävänä on vähentää veden virtausvastusta putken ympärillä ja estää tukkeuttavien maahiukkasten pääsy putkirakoihin ja -reikiin sekä putkeen. Sillä voidaan myös suojata putkea mekaaniselta rasitukselta ja varmistaa putkien paikallaanpysyminen ojitustyön aikana. Lisäksi orgaanisilla ympärysaineilla on merkitystä rautasaostumien synnyn ehkäisijinä.

Tarjolla on useita erilaisia ympärysaineita, mutta maassamme putket on ympäröity miltei yksinomaan soralla. Soravarojemme runsaus ja soran hyvät ominaisuudet ympärysaineena ovat vaikuttaneet siihen, että muiden aineiden käyttö on jäänyt varsin vähäiseksi. Euroopassa käytetään eniten massiivisia (paksuus $>7\text{mm}$) ympärysaineita, kun taas USA:ssa ja Kanadassa käytetyimpiä ovat ohuet, synteettiset kankaat (Ericson 1981). Erot johtuvat siitä, että USA:ssa ja Kanadassa käytetään suurempia putkikokoja kuin Euroopassa. Veden sisäänvirtausvastus pienenee putkikokoa suurennettaessa (Dierickx 1983), joten ympärysaineen ainoaksi tehtäväksi suurta putkea käytettäessä jää suodatus. Ohuiden materiaalien käyttöä Euroopassa onkin vähentänyt niiden nopea, vaikeasti ennustettava tukkeutuminen.

Ruotsissa yleisin materiaali on ollut sora, mutta myöskin sahajauhoa käytetään jonkin verran (Jonsson 1986). Norjassa selvästi yleisin ja suositelluin ympärysaine on sahajauho (Hove 1982). Tanskassa tavallisin ympärysaine on kookoskuitu, mutta ruosteongelmaisilla alueilla suositellaan käytettäväksi sahajauhoa (Grant 1986). Muissa Pohjoismaissa on Suomeen verrattuna huomattavasti yleisempää tehdä salaojitus kokonaan ilman ympärysainetta.

Tämän kirjallisuustutkimuksen tarkoituksena on ollut koota teoriaa, joka selittää veden ja maapartikkeleiden kulkeutumista salaojaputkeen. Lisäksi on kuvattu yleisimpien ympärysainemateriaalien ominaispiirteitä.

2. HYDRAULINEN GRADIENTTI JA MAAPARTIKKELEIDEN KULKEUTUMINEN PUTKEEN

Seuraavassa tarkastellaan maapartikkelien kulkeutumista ja siihen vaikuttavia tekijöitä noudattaen Dierickxin (1978, 1980, 1982, 1983 ja 1986) käyttämää jaottelua. Pääpiirteissään samoin ovat asiaa käsitelleet myös Beken (1968) ja Nieuwenhuis & Wesseling (1979).

2.1 Maapartikkeleiden kulkeutuminen putkeen

Maapartikkeleiden liike ja maan eroosio ovat riippuvaisia maan leikkauslujuudesta, joka vastustaa maapartikkeleiden keskinäistä liikettä. Leikkauslujuuden suuruutta kuvaa Coulombin kaava :

$$\tau_f = c + \sigma \tan \phi \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \tau_f &= \text{leikkauslujuus} \\ c &= \text{koheesio} \\ \sigma &= \text{maan sisäinen kitkakulma} \\ \phi &= \text{leikkauspinnassa vaikuttava normaalijännitys} \end{aligned}$$

Sisäinen kitka aiheutuu maarakeiden välisestä hankauksesta. Se muodostuu normaalin kitkan tapaan kitkapinnassa vaikuttavan normaalijännityksen (σ) ja kitkakertoimen tulona. Kitkakerroin ilmaistaan kitkakulman tangentinä. Maan sisäisen kitkakulman suuruuteen vaikuttavat maan raekoostumus, rakeiden muoto ja pyöristyneisyys sekä maan tiiviys. Maarakeiden välisten voimien suuruus riippuu maamassojen kuormituksesta ja maassa olevan veden paineesta. Virratessaan maapartikkeleiden välisessä huokostilassa vesi aiheuttaa maapartikkeleihin virtauksen suuntaisen voiman, jota kutsutaan virtauspaineeksi (*flow pressure*). Jos virtauspaine ylittää maan leikkauslujuuden, katoaa maan rakenteellinen lujuus ja eroosio alkaa. Koska virtauspaine on verrannollinen vallitsevaan hydrauliseen gradienttiin, alkaa eroosio

hydraulisen gradientin i saavuttaessa kriittisen arvon i_c .

Vedellä kyllästetyn, koheesiottoman maan kriittinen hydraulinen gradientti i_c saadaan yhtälöstä (2) :

$$i_c = (\rho_s - \rho_w) / \rho_w \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \rho_s &= \text{kyllästetyn maan tilavuuspaino, kg/m}^3 \\ \rho_w &= \text{veden tilavuuspaino, kg/m}^3 \end{aligned}$$

Vastaavasti kyllästetyssä koheesiomaassa maapartikkeleiden keskinäinen liike alkaa, kun leikkauslujuus menee nollaan. Tämä edellyttää korkeampaa hydraulista gradienttia kuin koheesiottoman maan tapauksessa.

2.2 Hydraulinen gradientti symmetrisen radiaalivirtauksen tapauksessa

Symmetrisellä radiaalivirtauksella tarkoitetaan sitä, että virtausviivat ovat säteittäisesti ja symmetrisesti putken ympärillä. Putkea, johon vesi pääsee kaikkialta ilman sisäänvirtaushäviöitä, kutsutaan ideaaliputkeksi. Mikäli virtaus on symmetristä ja radiaalista, voidaan maapartikkeleiden kulkeutumisherkkyttä täytenä virtaavaan ideaaliputkeen kuvata hydraulisen gradientin avulla.

Ympärysaineella vuoratun todellisen putken hydraulinen gradientti voidaan johtaa siten, että korvataan todellinen putki virtaushäviöiltään vastaavalla ideaaliputkella. Tällaisen todellisen putken korvaavan ideaaliputken sädetä kutsutaan teholliseksi säteeksi.

Kaikissa seuraavissa tarkasteluissa oletetaan, että salaojaputki virtaa täytenä ja sitä ympäröi homogeeninen maa, jonka vedenjohtavuus on vakio.

Ideaaliputken painehäviö saadaan yhtälöstä (3) :

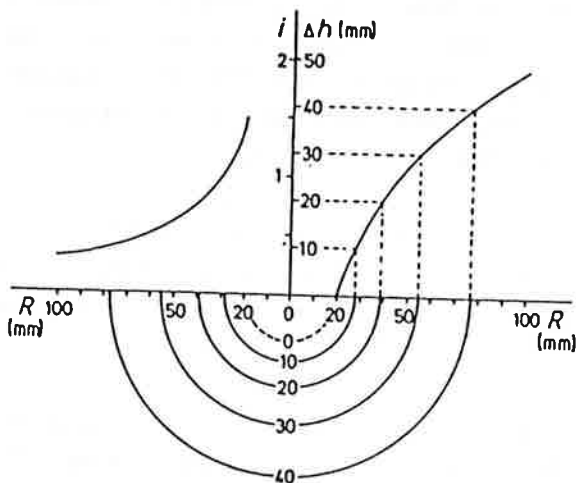
$$\Delta h_r = (q / 2\pi k) * \ln (R / R_0) \quad (3)$$

Yhtälöstä (3) saadaan ratkaistua hydraulinen gradientti :

$$i = dh/dR = q / 2\pi k R \quad (4)$$

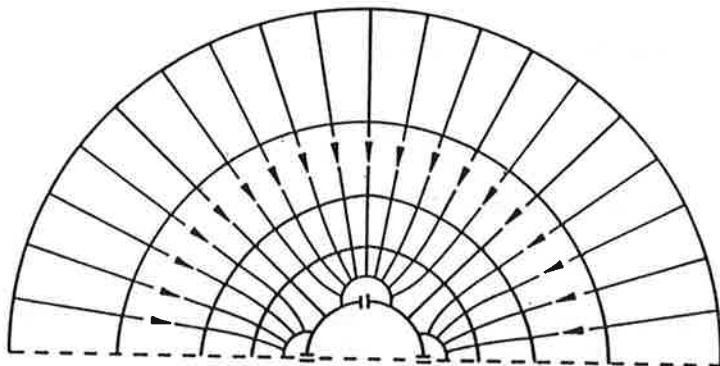
Δh_r = radiaalisen virtauksen painehäviö, m
 q = virtaama putken pituusyksikköä kohden, m^2/d
 k = maan hydraulinen johtavuus, m/d
 R = ekvipotentiaalin säde, m
 R_0 = ideaaliputken säde, m

Yhtälöstä (4) nähdään, että gradientti on suurimmillaan putken kehällä. Kuvassa 1. on esitetty hydraulinen gradientti ja painehäviö ideaaliputken kehältä lasketun etäisyyden funktiona



KUVA 1. Painehäviö Δh ja hydraulinen gradientti radiaalisessa virtauksessa ideaaliputkeen, kun $R_0 = 20\text{mm}$ ja $q/k = 0.188\text{ m}$. (Dierickx 1983)

Käytännössä salaojaputket eivät toimi ideaaliputken tavoin vaan vesi pääsee putkiin ainoastaan tiiliputkien välisistä raoista tai muoviputkien rei'istä. Virtausviivojen läytyy siis taipua voimakkaasti reikiin suuntaan (kuva 2.).



KUVA 2. Virtaus- ja potentiaaliviivat muoviputkeen, jossa reiät ovat 4:ssä rivissä.
(Saavalainen 1983)

Todellisen putken tapauksessa radiaalisen virtauksen painehäviöt voidaan esittää seuraavasti :

$$\Delta h_t = \Delta h_r + \Delta h_e \quad (5)$$

Δh_t = radiaalisen virtauksen kokonaispainehäviö todellisen putken tapauksessa, m

Δh_e = sisäänvirtauksen painehäviö, m

Δh_r = radiaalisen virtauksen painehäviö, m

Kokonaispainehäviö voidaan kirjoittaa myös muotoon :

$$\Delta h_t = qW_t = q (W_r + W_e) \quad (6)$$

tai

$$\Delta h_t = (q/k) * \alpha_t = (q/k) (\alpha_r + \alpha_e) \quad (7)$$

W_t = kokonaisvirtausvastus radiaalisessa virtauksessa
 kohti todellista putkea, d/m
 W_r = radiaalinen vastus, d/m
 W_e = sisääntulovastus, d/m
 α_t , α_r ja α_e ovat dimensiottomia virtausvastuksia

Yhtälön (3) perusteella saadaan :

$$\alpha_r = (1/2\pi) * \ln (R/R_0) \quad (8)$$

Näin voidaan kirjoittaa :

$$\alpha_t = (1/2\pi) * \ln (R/R_0) + \alpha_e \quad (9)$$

Tehollista sädettä käyttäen voidaan dimensioton kokonaisvirtausvastus esittää seuraavasti :

$$\alpha_t = (1/2\pi) * \ln (R/R_{ef}) \quad (10)$$

R_{ef} = tehollinen säde

Näin saadaan teholliselle säteelle lauseke :

$$R_{ef} = R \exp (-2\pi \alpha_t) \quad (11)$$

tai vastaavasti

$$R_{ef} = R_0 \exp (-2\pi \alpha_e) \quad (12)$$

Yhtälöstä (12) huomataan, että todellinen putki, jonka säde on R_0 , voidaan korvata kuvitteellisella pienempisäteisellä ideaaliputkella. Ideaaliputken säde pienenee α_e arvon kasvaessa. $R_{ef} = R_0$, kun α_e saa arvon 0.

Sisääntulovastus salaojaputkelle, jonka raot ovat pitkittäissuuntaisia ja jatkuvia ja jonka rajapinta ympäröivään maahan on tasainen, voidaan laskea Engelundin painehäviö-kaavasta johdetun kaavan (Dierickx 1983) avulla :

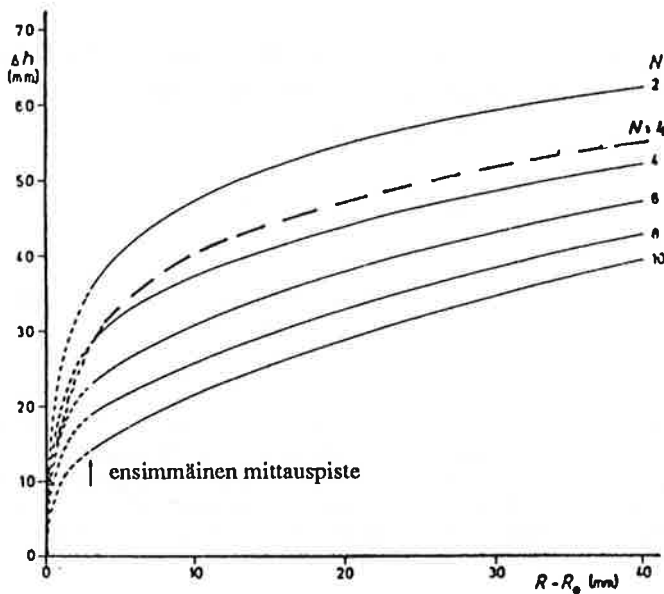
$$\alpha_e = (1/\pi N) \ln (4R_0/N\beta_p) \quad (13)$$

N = pitkittäisten jatkuvien rakojen lukumäärä
 β_p = rakojen leveys

Esimerkki 1. Putken säde on 20mm ja siinä on 4 pitkittäistä rakoa joiden leveys on 1mm. Sisääntuloresistanssin (α_e) arvoksi saadaan 0.238 ja tehollisen säteen (R_{ef}) arvoksi 4.5mm. Kun $q/k=0.188$, saavuttaa hydraulinen gradientti arvon 6.6 ja eroosioriski on suuri. Putken halkaisian kasvattaminen ei aiheuta suurta hydraulisen gradientin pienenemää. Esim. säteen arvolla $R_0 = 50\text{mm}$ hydraulinen gradientti saa arvon 4.2, jos muut olosuhteet ovat samat kuin edellä.

Teoreettisesti lasketut hydraulisen gradientin arvot ovat todellisia arvoja pienempiä. Tämä johtuu siitä, että teorian on laadittu ideaaliputkelle oletuksella, että virtaus on täysin radiaalista. Kuten jo edellä mainittiin, joutuvat virtausviivat todellisuudessa taipumaan kohti putkien rei'itystä tai putkirakoja (kuva 2.).

Kuvassa 3. on esitetty painehäviöt putken kehältä mitatun etäisyyden funktiona eri rakomäärillä. Putkikokoina ovat 20mm ja 50mm. Pienemmälle neljärakoiselle putkelle saadaan lineaarisella ekstrapoloinnilla hydraulisen gradientin arvoksi 10.2. Samankokoisen kymmenenrakosen putken gradientti on 5.2. Putken säteen suurentaminen ei aiheuta merkittävää muutosta hydrauliseen gradienttiin : kun R_0 on 50mm ja putken rakomäärä neljä, saadaan hydrauliseksi gradientiksi 7.4.



KUVA 3. Painehäviö putken kehältä lasketun etäisyyden funktiona. Putken säde $R_0 = 20\text{mm}$ (jatkuva viiva) ja $R_0 = 50\text{mm}$ (katkoviiva). N tarkoittaa pitkittäisten putkirakojen lukumäärää. (Dierickx 1983)

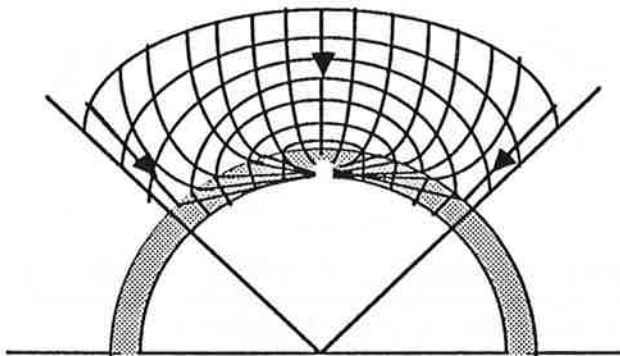
Teoreettisesti ja kokeellisesti saadut hydraulisen gradientin arvot on esitetty yhteenvetona sisääntulovastuksen ja todellisen putken tehollisen säteen funktiona taulukossa 1.

TAULUKKO 1. Hydrauliset gradientit eri putkikoilla putken ympärillä, kun putkena on sileä muoviputki, jonka aukot ovat 1mm levyisiä, jatkuvia pitkittäissuuntaisia rakoja. (Dierickx 1983)

putken säde mm	rakojen lkm.	sisääntulo vastus	tehollinen säde mm	hydraulinen gradientti teoreettinen	gradientti mitattu
20	4	0.238	4.5	6.6	10.2
50	4	0.311	7.1	4.2	7.4
20	10	0.066	13.2	2.3	5.2

2.3 Hydraulinen gradientti ympäröivällä ympäröidyn putken tapauksessa

Salaojaputkea ympäröivän maan hydraulinen gradientti riippuu putken sisäänvirtausvastuksesta. Putken säteestä riippumatta voidaan virtausvastusta vähentää johtavan ympäröiväaineen avulla. Vähentämistä tapahtuu aina 10mm ympäröiväainepaksuuteen saakka. Tämän jälkeen vastus vakiintuu minimiarvonsa eikä pienene, vaikka paksuutta vielä lisättäisiin. Kuvassa 4. on esitetty ympäröiväaineen vaikutus virtausviivoihin.



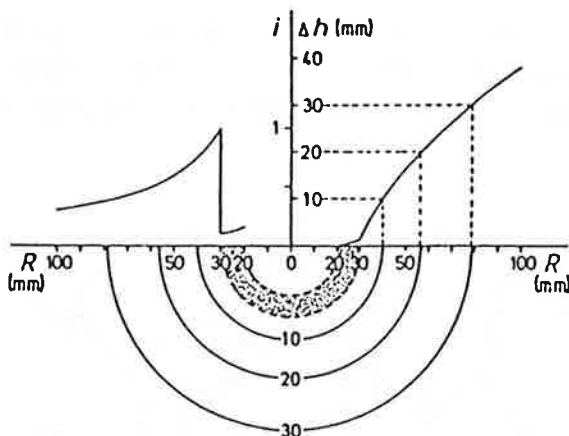
KUVA 4. Ympäryäaineen vaikutus virtausviivoihin. (Saavalainen 1983)

Ideaaliputki

Kaavan (4) avulla voidaan laskea hydraulisen gradientin arvo maan ja ympäröiväaineen rajapinnassa :

$$i = q / 2\pi kR \quad (4)$$

Esimerkki 2. Ideaaliputki, jonka säde on 20mm, on ympäröity 10mm paksuisella ympärysaineella, jonka suhteellinen johtavuus ympäröivään maahan nähden on 10. Jos q/k on 0.188, saadaan maan ja ympärysaineen rajapinnassa gradientiksi 1.



KUVA 5. Ympärysaineen vaikutus painehäviöön Δh ja hydrauliseen gradienttiin, kun putkena on ideaaliputki, jonka säde $R_0 = 20\text{mm}$ ja $q/k = 0.188\text{ m}$. Ympärysaineen paksuus $d_e = 10\text{mm}$. (Dierickx 1983)

Todellinen putki

Johtavalla ympärysaineella vuoratulle putkelle voidaan sisäänvirtausvastus arvioida seuraavan kaavan avulla:

$$\alpha'_e = \alpha_e / \kappa_e \quad (14)$$

κ_e = ympärysainecja ympäröivän maan vedenjohtavuuk-
sien suhde. Suositeltavat ohjeelliset arvot vaihtelevat
eri lähteissä 10 - 20.

Dimensioton kokonaisvirtausvastus, joka muodostuu maan ja ympäräysaineen virtausvastusten ja sisäänvirtausvastuksen summasta, voidaan esittää seuraavasti :

$$\alpha_1 = (1/2\pi) * \ln (R/R_e) + (1/2\pi \kappa_e) \ln (R_e/R_0) + \alpha'_e \quad (15)$$

R_e = maan ja ympäräysaineen rajapintaan ulottuva säde, m

Yhtälöiden (10) ja (15) perusteella voidaan kirjoittaa :

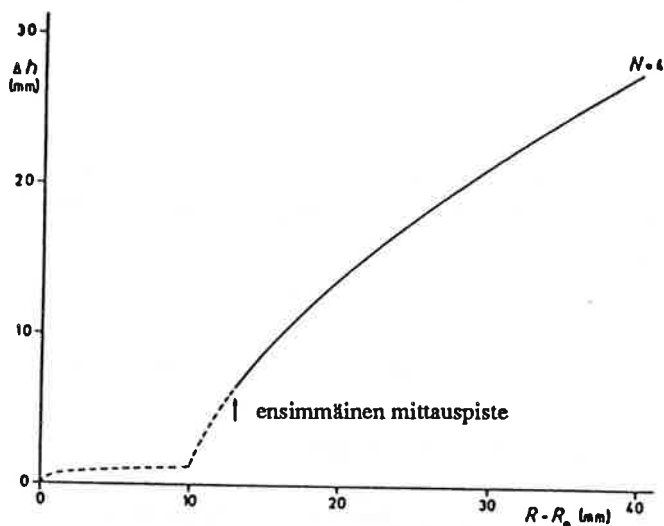
$$R_{ef} = R_0^{1/\kappa_e} * R_e^{(1-1/\kappa_e)} \exp (-2\pi \alpha'_e) \quad (16)$$

Tehollisen säteen käsitettä käyttäen pystytään laskemaan hydraulinen gradientti maan ja ympäräysaineen rajapinnassa. Laskentaa havainnollistaa seuraava esimerkki:

Esimerkki 3. Olkoot laskennan lähtötiedot seuraavat:

$$\begin{aligned} \text{putkessa 4 yhtenäistä, pitkästä rakoa} \\ R_0 &= 20\text{mm} \\ d_e &= 10\text{mm (ympäräysaineen paksuus)} \\ R_e &= 30\text{mm } (= R_0 + d_e) \\ \kappa_e &= 10 \end{aligned}$$

Tällöin saadaan teholliseksi säteeksi 25mm ja hydrauliseksi gradientiksi maan ja ympäräysaineen rajapinnassa 1.2.Taulukossa 2. on laskettu hydraulinen gradientti eri R_0 :n arvoilla olosuhteiden pysyessä muuten samana. (kuva 6.).



KUVA 6. Painehäviö putken kehältä lasketun etäisyyden funktiona. Putken säde $R_0 = 20\text{mm}$, piikittäisrakojen lukumäärä $N = 4$, ympärysaineen paksuus $d_e = 10\text{mm}$ ja suhteellinen johtavuus $\kappa_e = 10$. (Dierickx 1983)

Taulukko 2. Hydraulinen gradientti ympärysaineen ja maan välisessä rajapinnassa. Putkityyppi sama kuin taulukon 1. tapauksessa. Ympärysaineen paksuus 10mm ja suhteellinen johtavuus $\kappa_e = 10$. (Dierickx 1983)

putken säde mm	rakojen lkm.	sisääntulo- vastus	tehollinen säde mm	hydraulinen gradientti
20	4	0.0238	25	1.2
25	4	0.0256	29	1.0
30	4	0.0271	33	0.9

Tavallisesti putki ei ole täynnä vettä eikä virtaus symmetristä. Ekvipotentialit saavuttavat pyöreän muotonsa jollakin etäisyydellä putkesta, mutta niiden keskipisteet sijaitsevat epäkeskisesti putken keskipisteen suhteen. Tällaisessa tilanteessa putkeen tulevan virtauksen vastus muuttuu. Kuitenkin suurin piirtein sama määrä vettä virtaa putkeen sen alapuolelta. Tällöin hydraulinen gradientti putken alapuolella on paljon suurempi kuin symmetrisen radiaalivirtauksen tapauksessa. Maapartikkelien

kulkeutuminen putkeen alkaa putken alapuolelta ja siirtyy ylöspäin, kun vedenpinnan korkeus putkessa nousee. Suoritetut kokeelliset tutkimukset (esim. Kowald 1960) tukevat tätä teoriaa.

3. MAAHIUKKASTEN PIDÄTTYMINEN YMPÄRYSAINEESEEN

3.1 Pidäyttymismekanismi

RIL 93 (1973) mukaan voidaan rakeisessa suodatinaineessa tapahtuvaan maahiukkasten pidättymiseen vaikuttavat tekijät jakaa kuuteen ryhmään. Kuituisessa materiaalissa pidätyminen noudattanee samoja periaatteita, jotka ovat seuraavat :

1. Siivilöityminen joka on samanlaista kuin siivilöidessä vettä sihdin läpi.
2. Sieppaus, joka tapahtuu hiukkasen joutuessa virtauksen vaikutuksesta riittävän lähelle rakeen pintaa, johon se tarttuu adheesiovoimien vaikutuksesta. Sieppauksen vaikutetäisyys on hyvin pieni.
3. Diffuusio, jolloin hiukkasen lämpöliike voi tuoda hiukkasen niin lähelle suodatinraetta, että hiukkanen pidättyy pintavoimien vaikutuksesta samaan tapaan kuin sieppauksessa.
4. Jatkuvuus voi tuoda maahiukkasen riittävän lähelle suodatinraetta, jolloin pidätyminen tapahtuu. Jatkuvuuden merkitys hiukkasten pidättäjänä suodatinaineeseen on varsin vähäinen.
5. Laskeutuminen tapahtuu suodatinrakeiden välissä, jolloin kiintoainesta siirtyy virtausviivalta toiselle ja laskeutuu lopuksi rakeen yläpinnalle.
6. Hydrodynaamiset syyt vaikuttavat hiukkasten liikerataan tehden sen virtausviivasta poikkeavaksi silloin, kun laminaarivirtaus muuttaa suuntaansa tai nopeuttaan, ja hiukkanen joutuu suodatinrakeen pidätyskyvyn piiriin.

3.2 Suodatusteho

Jarret & Fisher (1984) jakavat ympärysaineen tukkeutumisen kahteen osaan :

1. Ympärysaineen ja maan rajapinnassa tapahtuva, ympärysaineen aukot tukkiva, virtausvastusta lisäävä maahiukkasten keräytyminen (blocking). Sen vaikutus huomataan välittömästi.
2. Ajan myötä tapahtuva pienten maapartikkeleiden, orgaanisen pölyn ja kemiallisten saostumien keräytyminen ympärysaineeseen (clogging).

Blocking-riskiä ei ole (Dierickx 1986), kun

$$i_g \leq i_s$$

i_s = ympäröivän maan hydraulinen gradientti
 i_g = hydraulinen gradientti putken välittömässä läheisyydessä

Clogging-riskiä voidaan arvioida ympärysaineen ja maan hydraulisten johtavuuksien suhteen avulla. Arvon lisääntyminen osoittaa muutosta parempaan, kun taas pieneminen merkitsee ympärysaineen tukkeutumista.

Ympärysaineiden suodatuskyky (SRA=sediment retention ability) voidaan määritellä seuraavasti (Jarret & Fisher 1984):

$$SRA = ((C_{inflow} - C_{outflow}) / C_{inflow}) * 100\% \quad (17)$$

C_{inflow} = maahiukkaskonsentraatio ympärysaineeseen tulevassa vedessä
 $C_{outflow}$ = maahiukkaskonsentraatio ympärysaineen läpässeessä vedessä

Ympärysaineen vedenläpäisevyys (UFR, unit flow rate) määritellään vesimääränä, joka aikayksikössä läpäisee tietyn pinta-alayksikön. Maahiukkasten pidäytyminen ympärysaineeseen alentaa sen vedenläpäisevyyttä. Käytännössä onkin löydettävä

kompromissi suodatuskyvyn ja vedenläpäisevyyden välillä. Jotta eri ympärysaineita voitaisiin vertailla keskenään, on pystyttävä yhdistämään vedenläpäisevyyden ja suodatuskyvyn arvot. Tämä onnistuu määrittelemällä suodatustehon (SRE, sediment retention efficiency) arvo (Jarret & Fisher 1984) :

$$SRE = SRA_m * (UFR_{fw}/100) (UFR_m / UFR_{fw}) \quad (18)$$

$$\Rightarrow SRE = SRA_m * (UFR_m / 100) \quad (19)$$

SRA_m = mitattujen SRA-arvojen keskiarvo
 UFR_{fw} = UFR-arvo puhtaalla vedellä
 UFR_m = mitattujen UFR-arvojen keskiarvo

Yleisesti voidaan sanoa, että korkeat SRE-arvot tarkoittavat hyvää suodatuskykyä ja vedenläpäisevyyttä ja pienet arvot vastaavasti huonoa suodatuskykyä ja/tai huonoa vedenläpäisevyyttä.

4. YMPÄRYSAINEMATERIAALIT

4.1 Ympärysaineiden luokittelu

Knops & Dierickx (1978) jakavat ympärysainemateriaalit kolmeen eri luokkaan :

1. Rakeiset materiaalit, esim. karkea hiekka ja hieno sora
2. Orgaaniset materiaalit, esim. kookoskuitu, olki, sahajauho ja turve
3. Synteettiset materiaalit, esim. lasikuitu-, polypropeeni-polyeteeni- ja akryylikankaat

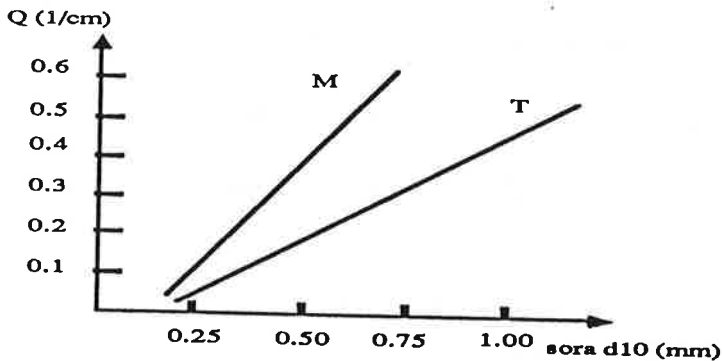
Jako voitaisiin tehdä myös massiivisiin ja levymäisiin aineisiin (Saavalainen 1980). Massiivisia ovat esim. sahajauho ja turve. Levymäiset aineet voidaan vielä jakaa paksuihin ja ohuihin aineisiin. Paksuja ovat esim. kookoskuitu, polystyreenigranulaatti ja lasivilla. Ohuita taas ovat erilaiset synteettiset kankaat.

4.2 Rakeiset materiaalit

4.2.1 Sora

Nykyisin Suomessa suojatataan kaikki kivennäismaille asennettavat tiiliputket soralla. Myös muoviputkien yhteydessä sora on yleisin ympäräysaine (Strandman 1978). Soran erinomaisten ominaisuuksien, helpon saatavuuden ja edullisuuden vuoksi ei Suomessa ole ilman riittäviä perusteluja syytä käyttää muita ympäräysaineita. Samoista syistä johtuen on ympäräysainetutkimus Suomessa jäänyt olemattomaksi.

TKK:ssa tutkittiin v. 77-78 putkia ympäröivän soran rakeisuuden ja tiiveyden vaikutusta putken vedenotto-kykyyn (Hooli et al. 1981). Tulokset osoittavat, että sala-
ojaputken vedenotto-kyky pienenee voimakkaasti ympäräysainesoran rakkoon pienen-
tyessä. Ero suurimman ja pienimmän virtaaman välillä on tiiliputkilla noin
10-kertainen, kun soran d_{10} -koko vaihtelee välillä 0.25mm - 1.1mm. Muoviputkella
virtaama-ero on vieläkin suurempi. Kuvassa 7. on esitetty virtaaman riippuvuus
ympäräysainesoran raekoosta d_{10} .



KUVA 7. Salaojaputken tulovirtaaman riippuvuus ympäräysainesoran d_{10} -raekoosta.
T = tiiliputki, M = muoviputki. (Hooli et al. 1981)

Soran rakkoon ja vedenläpäisevyyden välistä yhteyttä kuvaa Hazenin kaava :

$$k = c * (d_{10})^2 \quad (20)$$

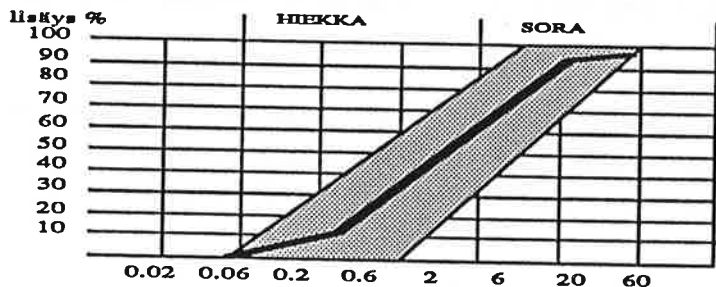
k = vedenläpäisevyys, cm/s
 d_{10} = maan tehokas rakkoko
 c = maan rakkokomuodosta, raemuodosta ja huokoisuudesta riippuva kerroin, arvo vaihtelee välillä 60 -150.

Kaavassa oletetaan maan olevan luonnollisesti kerrostunutta ja luonnollisessa tiiveydessään. Maan tiivistäminen pienentää hieman sen k -arvoa : muoviputken ollessa kyseessä suodatinsoran suhteellisen tiiveyden kasvaminen 85%:sta 90%:iin vähentää virtaamaa n.15%. Tiiliputkella vastaava tiivistyminen pienentää virtaamaa n. 30% (Strandman 1978).

Ympärysainesorassa tapahtuu sen läpi virtaavan veden vaikutuksesta laitteiden huuhtoutumista ja kasautumista. Tästä on seurauksena putkirakojen tai reikien päällä olevan sorakerroksen vedenläpäisevyyden pieneneminen ja suodatuskyvyn paraneminen.

Peltosalaojitus

Peltosalaojituksessa käytettävän ympärysainesoran tulee olla hyvin vettä läpäisevää ja sen rakoostumuksen on oltava 0.2mm - 20mm (Strandman 1978). Kuvassa 8. on esitetty soran ohjeellinen rakeisuuskäyrä ja rakeisuusalue. Sora ei saa sisältää ruostetta eikä muitakaan vieraita aineita.



KUVA 8. Ympärysainesoran ohjeellinen rakeisuuskäyrä (paksu viiva) ja rakeisuusalue (varjostettu alue) (Saavalainen 1981)

Sorakerroksen paksuus putken päällä on yleensä n.10cm (Rathmayer 1971). Hiesuja hietamaissa, pohjavedenpinnan alla sekä milloin jossakin ojassa putous on ylempänä suurempi kuin alempana eikä lietekaivoa ole käytetty, on putket peitettävä vahvemmallalla suojakerroksella siltä osalta, missä putous on suurin. Tarvittavan soran määrään vaikuttavat myös putkikoko, ojan leveys ja pohjan muoto sekä ojitettavan maan laatu. Mikäli putken mekaaninen vahingoittumisvaara on olemassa, olisi putki ennen ojan lopullista täyttööä suojattava riittävän paksulla sorakerroksella. Eriksson (1966) esittää kokeellisten tutkimuksien perusteella sorakerroksen vähimmäispaksuudeksi 8cm. Putkien alla käytetään soraa vain silloin, kun alueella esiintyy paineellista pohjavettä (Strandman 1978).

Vedenalaisessa salaojituksessa on soran tarve normaalia suurempi ; alkuvaiheessa kerrospaksuuden on oltava vähintään 10cm - 15cm. Sorakerroksen tulee ulottua ainakin 50mm vedenpinnan yläpuolelle, jotta tiivistymisalttiit savi ja hiesuainekset eivät estä veden valumista putkiin.

Rakennuspaikan salaojitus

Rakennuspaikan salaojituksen tarpeellisuuteen vaikuttavat rakennuspohjan maalaji, sen vedenläpäisevyys, pohjavedenpinnan korkeus ja veden kapillaarinen nousukorkeus maalajissa. Näiden ominaisuuksien perusteella jaetaan maalajit eri kuivatusryhmiin, joiden avulla voidaan arvioida tarvittavien sorakerrosten ominaisuudet. Vaikeissa olosuhteissa tarvitaan kolme erilaista sorakerrosta : salaojitus- , suojus- ja suodatinkerros (Strandman 1978).

Salaojituskerroksen tehtävänä on ehkäistä veden kapillaarinen nousu pohjaveden pinnasta sekä koota ja johtaa kerrokseen tulevat vedet salaojaputkistoon. Kerroksen paksuuden tulee olla vähintään 15cm ja korkeintaan 5% aineksesta saa olla rakeisuudeltaan alle 2mm. Suurin sallittu raekoko on 32mm.

Suojuskerros on materiaaliltaan samankaltainen kuin salaojituskerros. Sen rakeisuusalue on kuitenkin laajempi nimenomaan pienemmällä raekokoalueella. Suojuskerrok-

sen tehtävät ovat samat kuin salaoituskerroksella.

Suodatinkerroksen tarkoituksena on estää hienojakoisissa, juoksevista maalajeista irtaantuvien aineiden kulkeutuminen veden mukana putkiin. Sen on kyettävä pidättämään itseensä erilaatuiset tukkeumavaaran aiheuttavat hiukkaset.

4.2.2 Muut rakeiset materiaalit

Soran lisäksi rakeisista ympärysaineista tulevat kyseeseen kevytsora ja masuunikuona. Kevytsoran käyttö ympärysaineena on perusteltua silloin kun sitä voidaan helposti ja edullisesti valmistaa eikä soraa ole saatavilla. Se valmistetaan sintraamalla maa-ainesta riittävän korkeassa lämpötilassa. Kevytsoran ominaisuuksiin vaikuttavat siis valmistusmenetelmä ja lähtöaineen ominaisuudet. Menfee ja Hautala (1981) tutkivat eri sintrauslämpötiloilla savesta valmistettujen kevytsorien ominaisuuksia. Tutkimustulokset osoittivat kevytsoran olevan rakenteellisesti riittävän lujaa ja vettäjohtavaa materiaalia ympärysaineeksi. Veden ei havaittu aiheuttavan muutoksia rakeiden ominaisuuksiin.

Masuunikuonaa ei ole yleisesti käytetty ympärysaineena, joten kokemuksia tai tutkimustietoa sen ominaisuuksista ei ole saatavilla. Syynä vähäiseen käyttöön lienee sen huono saatavuus.

4.3 Orgaaniset materiaalit

Yleensä orgaanisia ympärysaineita käytetään, kun soraa ei ole saatavilla. Salaoitustekniikan kehittyminen ja orgaanisten aineiden kyky estää ruostesaostumien synty ovat myös osaltaan lisänneet niiden käyttöä.

Orgaaniset ympärysaineet hajoavat maassa ollessaan. Esimerkiksi kookoskuitu-

materiaalin on todettu hajoavan jopa parissa vuodessa (Burghard 1983). Tästä syystä niitä voidaan suositella käytettäväksi vain sellaisissa olosuhteissa, joissa hienoaineksen kulkeutuminen putkeen loppuu mahdollisimman aikaisessa vaiheessa maan stabiloituessa. Hajoamista nopeuttavat aerobiset, neutraalit ja alkaaliset olosuhteet sekä humuspitoisen maan pudottaminen ympärysaineen päälle (Suortti-Suominen 1982). Kestävyyttä voidaan yrittää parantaa erilaisilla suoja-aineilla tai orgaanisen ja synteettisen aineen yhdistelmillä. Myös ympärysainekerroksen paksuudella voidaan pidentää sen toimintaikää.

Ruosteongelma

Rauta esiintyy pohjavedessä liukoisessa kaksiarvoisessa muodossa. Hapettuessaan kolmiarvoiseksi se muuttuu vaikealiukoiseksi. Tällöin syntyy saostuma, jota kutsutaan ruosteeksi. Hapettuminen voi tapahtua kemiallisesti tai biologisesti, mutta ilmeisesti biologinen saostuminen on salaojaputkissa yleisempi (Saavalainen 1978). Se perustuu siihen, että erilaiset bakteerit pystyvät käyttämään hyväkseen raudan hapettuessa vapautuvaa energiaa (Peltomaa 1981).

Ruoste aiheuttaa ongelmia salaojitukselle tukkimalla ympärysaineen huokosia, putkien rakoja ja reikiä sekä itse putkia. Ympärysaineen tukketumisherkkyyteen vaikuttaa sen huokoskoko: pienet huokokset tukkeutuvat nopeasti. Toisaalta suurhuukoiset aineet edesauttavat hapen saantia, jolloin ruosteen muodostuminen on todennäköisempää. Ruostetukkeutumia esiintyy muoviputkissa huomattavasti enemmän kuin tiiliputkissa. Tämä johtuu PVC:n suuremmista rautayhdisteiden tartuntavoimista ja siitä, että rautaionit reagoivat muoviputkien valmistuksessa käytettävien aineiden kanssa (Suortti-Suominen & Mäenpää 1982).

Ruosteongelma on yhteydessä maalajiin ja sitä kautta salaojituksen leviämiseen Suomessa. Ojitustoiminnan siirtyessä kohti pohjoista lisääntyy turve- ja kangasmaiden osuus kuivatettavista maista. Samalla lisääntyvät myös ruosteongelmat, koska niitä

esiintyy juuri turve- ja kangasmailla (Saavalainen 1983a).

Orgaanisten ympärysaineiden kyky hidastaa tai kokonaan ehkäistä ruostesaostumien synty perustuu siihen, että ne sisältävät parkkiainetta. Se muodostaa raudan kanssa suhteellisen pysyviä yhdisteitä ja vähentää liukenemattomassa muodossa olevan raudan määrää (Suortti-Suominen & Mäenpää 1982). Näin rauta pystyy virtaamaan saostumatta salaojaputkiston läpi. Myös ympärysaineeseen sekoitetun kuparin ja hopean on todettu ehkäisevän raudan biologista hapettumista (Hallgren & Östholm 1957).

Eräiden orgaanisten materiaalien (esim. tammen kaarna ja kuusen puru) on todettu vapauttavan kuivatusveteen haitallisia fenoleita ja muita orgaanisia yhdisteitä. Tästä syystä pitäisi välttää näiden materiaalien käyttöä alueilla, joilta kuivatusvesi saattaa joutua juomaveden yhteyteen (Svobodova 1981 ; Kunze et al. 1984).

Kookoskuitu

Yleisin orgaaninen ympärysaine on kookoskuitu. Kokemuksia ja tutkimuksia sen ominaisuuksista on julkaistu suuri määrä (Burghardt 1983, 1979 ; Burghardt et al. 1978 ; Dierickx 1982, 1986 ; Jonsson 1986 ; Suortti-Suominen 1982 ; Broughton et al. 1976). Kookoskuitujen kärkeuden vuoksi on niistä tehdyn kankaan huokoisuus hyvin suuri, n. 90% tilavuudesta. Huokosten koko vaihtelee 0.3mm - 1.0mm ja on siten suurimpia tunnetuista ympärysaineista (Suortti-Suominen 1982). Näistä syistä johtuen kookoskuitukangas lisää huomattavasti putken vedenottokykyä. Ympärysaineen suodatustehtävän kannalta on karkea huokosrakenne on epäedullinen. Hienoinen läpäisee kookoskuidun helposti ja putkiin kertyy lieteä.

Muita orgaanisia materiaaleja ovat mm. sahajauho, erilaiset turpeet ja kanervat, eri kasvien oljet, puiden lastut, risut ja kaarna sekä maissin tähkät. Suoritettujen tutkimusten ja saatujen kokemusten perusteella ei eri materiaaleja voida asettaa paremmuus-

järjestykseen eikä antaa yleispäteviä ohjeita niiden käytöstä. Jokainen tapaus on harkittava erikseen omana kokonaisuutenaan.

4.4 Synteettiset materiaalit

Synteettiset ympärysaineet tulivat markkinoille osittain samoista syistä kuin orgaanisetkin. Samoin kuin putken ympärille valmiiksi asennetut orgaaniset ympärysaineet, mahdollistavat myös vastaavat synteettiset kankaat erittäin nopean ja helpon ojituksen. Synteettisten materiaalien suurimpana etuna orgaanisiin materiaaleihin verrattuna on se, etteivät ne maassa ollessaan yleensä hajoa.

Ensimmäinen laajemmin käytetty synteettinen ympärysainemateriaali oli lasikuitu. Myöhemmin tulivat mm. nailon-, polyesteri-, polyetyleni- ja polypropyleenikuidut ja erilaiset rakeet (Willardson 1978 ; Willardson & Walker 1979). Valmistusmenetelmässä vuoksi voidaan synteettisten kuitujen ja rakeiden kokoa sekä niistä valmistettavan kankaan tai massan ominaisuuksia helposti vaihdella, joten erilaatuisten synteettisten ympärysaineiden lukumäärä on hyvin suuri.

Synteettisten ympärysaineiden tärkeimmät ominaisuudet ovat veto- ja hankauslujuus, kemiallinen kestävyys, veden johtavuus ja suodatuskyky (Willardson 1978). Materiaalin vetolujuuden on oltava niin suuri, ettei se painu aallotetun putken syvennyksiin tai tuki putken reikiä. Sen on kestävä myös varastoinnin ja asennuksen aikaiset rasitukset.

Suuri hankauslujuus on tärkeää putken asennuksen aikana. Ympärysainekerros saattaa rikkoutua hankautuessaan toiseen putkeen, maahan tai ojituskoneeseen. Jo pienikin reikä ympärysaineessa voi johtaa putken tukkeutumiseen.

Vaikka synteettiset materiaalit eivät kovinkaan helposti hajoa maaperässä biologisten

tai kemiallisten tekijöiden vaikutuksesta, olisi silti otettava huomioon se, että kaikkein hienoimmat kuidut tarjoavat suuren pinta-alan mahdollisille haitallisille kemiallisille reaktioille. Maan pH saattaa joissain oloissa olla haitallisen korkea tai se saattaa laskea liian alas, kun putkesta huuhdellaan rauta- ja mangaanisaostumia suolahapolla (Sojak & Ivarson 1978). Lisäksi ultraviolettivalon on havaittu olevan vahingollista hienoimmille kuiduille (Willardson 1978). Tämä on ongelmana varastoinnin aikana.

Myös synteettisillä ympärysaineilla on ongelmana löytää paras mahdollinen suhde suodatuskyvyn ja vedenjohtavuuden välillä. Paksut synteettiset materiaalit painuvat ja tiivistyvät maamassojen painosta ja putken vedenottoikyky alenee. Ohuet synteettiset materiaalit toimivat vain suodattimena eivätkä paranna putken vedenottoikykyä. Lisäksi niillä on taipumus tukkeutua hyvin nopeasti (Nelson 1960 ; Shull 1964).

Suomessa synteettisistä ympärysaineista saadut tiedot perustuvat lähinnä valmistajien tekemiin kenttäkokeisiin (Anon. 1980 ; Enckell & Maasilta 1968). Saatujen tulosten perusteella on todettu mineraalivillan korvaavan soran, kun lopputäytön yhteydessä sen päälle pudotetaan ruokamultaa. Polyesterikuitukankaan on todettu sopivan etenkin turve- ja liejuaueilla soran korvikkeeksi. Hiekka- ja hietamailla em. kangas toimii hyvin, kun se peitetään riittävän paksulla ruokamultakerroksella.

Ruotsissa saadut kokemukset (Jonsson 1986) osoittavat, että synteettisen ympärysaineen paksuuden tulisi olla ainakin 5mm-10mm . Sen hydraulisen johtavuuden tulisi olla vähintään kymmenkertainen ympäröivään maahan nähden ja sen huokoskokojakauman tulisi olla mahdollisimman laaja. Ohuita kankaita ei suositella käytettäväksi, koska ne eivät paranna putkien vedenottoikykyä. Norjassa ollaan synteettisistä materiaaleista huopumassa niistä saatujen huonojen kokemusten vuoksi (Hove 1982).

5. YMPÄRYSAINETUTKIMUS SUOMESSA

Kivisaaren (1984) mukaan aloitettiin ympärysainetutkimus Suomessa v. 1926 Jokioisiin ja Porvooseen perustetuilla koekentillä. Tutkimuksissa selvitettiin oljen, turpeen, soran ja ruokamullan ominaisuuksia ympärysaineena. Vuonna 1949 perustettiin Juuselan ja Puustjärven toimesta Utajärvelle rahkasaraturvesuolle koealue. Tutkimuksen yhtenä päämääränä oli löytää keinoja ruostetukkeutumien estämiseksi. Tukkeutumista pyrittiin torjumaan mm. lisäämällä ympärysainesoraan erisuuruisia määriä kalkkikivijauhoa.

1950-luvun jälkeen salaojituskoekenttien rakentaminen ja salaojatutkimus yleensä ty-
rehtyi miltei kokonaan. Yhtenä syynä tähän on ollut maaperämme kasvinravinteiden
luontainen vähyys. Se on perinteisesti koettu kasvintuotantoa rajoittavana ongelmana
ja tämä on aiheuttanut sen, että tutkimuspaine ja siten myös tutkijoiden lukumääräinen
paine on luonnollisesti kohdistunut tälle sektorille. Sijoituslannoituksen läpimurto
60-luvulla aiheutti satotason selvää yleistä nousua ja lisäsi entisestään mielenkiintoa
kasvinravitsemukseen ja ravinteiden hyväksikäyttöön. Voimakas sitoutuminen
perinteisiin ongelmiin johti siihen, että maan fysikaalisia kysymyksiä ei pidetty
tärkeinä. Tällöin niiden arvostus myös maatalouspiireissä väheni. Tämän asenteen
vaikutukset näkyvät, ei ainoastaan 1960- ja 70-lukujen salaojatutkimuksen
vähäisyydessä, vaan myös laajemmin maaperäfysikaalisen tutkimuksen ja opetuksen
vähäisyytenä sekä tutkijoiden määrän pienuutena.

Viimeisin Suomessa tehty ja raportoitu kenttäkoe ympärysaineiden ominaisuuksien
selvittämiseksi aloitettiin v. 1968 Lappeenrannassa Paraisten Kalkkivuori Oy:n toi-
mesta (Enckell & Maasilta 1968). Materiaaleina olivat sora, sepeli, vuorivilla ja
lasivilla.

Laboratoriotutkimuksia ympärysaineisiin keskittyen ei meillä ole tehty yhtään.
Teknillisessä Korkeakoulussa tutkittiin v. 77 - 78 salaojaputken vedenottoa ja

samalla selvitettiin ympärysainesoran rakeisuuden ja tiiveyden vaikutusta vedenotto-kykyyn (Hooli et al. 1981). Tämä onkin toistaiseksi jäänyt viimeiseksi ympärysainetutkimukseksi Suomessa.

Tällä hetkellä ympärysainetutkimuksen suurin ongelma on se, että markkinoille ilmestyy jatkuvasti uusia, lähinnä synteettisiä materiaaleja, jotka otetaan käyttöön ennen niiden ominaisuuksien ja soveltuvuuden selvittämistä.

6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkimukset ja kokemukset osoittavat, että sora on paras ympärysaine (Saavalainen 1985; Benz et al. 1976; Broughton et al. 1982). Soravarojemme ehtyessä ja hinnan noustessa joudutaan kuitenkin ainakin joillain alueilla turvautumaan muihin ympärysaineisiin. Lisäksi valmiiksi ympärysaineella käärityn putken nopea ja helppo asennettavuus sekä orgaanisten materiaalien kyky estää ruostesaostumien synty salaojaputkeen lisäävät niiden käyttöä.

Orgaanisten ja synteettisten materiaalien ominaisuudet ja soveltuvuus oloihimme tulee selvittää ennen niiden käyttöönottoa. Muista Pohjoismaista saatujen kokemusten (Andersen 1983; Grant 1986; Hove 1982) perusteella on sahajauho sopivin orgaaninen ympärysaine myös Suomessa. Synteettisistä aineista saadut kokemukset naapurimaissamme eivät ole rohkaisevia (Andersen 1983; Hove 1982;). Puolueetonta tutkimustietoa niiden soveltuvuudesta Suomeen ei ole olemassa.

Ympärysainetutkimus näyttää keskittyvän valmiiksi putken ympärille käärittyihin synteettisiin ja orgaanisiin materiaaleihin (Andersen 1983; Andersen & Waagepetersen 1985; Broadhead et al. 1983; Broughton et al. 1982; Burghardt 1983; Dierickx 1982, 1986; Grant 1986; Hove 1982; Jarret & Fisher 1984; Jonsson 1986; Kunze et al. 1984; Schwab et al. 1986; Stuynt 1982; Svobodová

1981). Mullistavia uusia ideoita tai materiaaleja ei ole odotettavissa, ja tutkimustoiminnan tarkoituksena on lähinnä selvittää kunkin materiaalin ominaisuudet ja ne olosuhteet, joissa sitä voidaan käyttää.

Suomessa on tarvetta ympärysainetutkimukseen. Olisi kuitenkin tarkkaan harkittava tutkimusten päämäärä. Tärkeintä on selvittää synteettisten ja orgaanisten materiaalien soveltuvuus Suomen oloihin ja laatia suositukset niiden käytöstä. Tutkimuksissa tulisi mahdollisuuksien mukaan käyttää hyväksi ulkomailla saatuja tuloksia ja kokemuksia, jotta turhilta päällekkäisyyksiltä välttyttäisiin.

7. YHTEENVETO

Salaojaputken ympärysaineen tärkeimpinä tehtävinä ovat veden virtausvastuksen alentaminen ja hienoaineksen suodattaminen. Sillä voidaan myös suojata putkea ja estää putkien liikkuminen ojitustyön aikana. Eräiden orgaanisten ympärysaineiden on todettu ehkäisevän ruostesaostumien syntymistä itse ympärysaineeseen, putkirakoihin ja putkeen.

Maapartikkeleiden kulkeutumista salaojaputkeen tapahtuu, kun hydraulinen gradientti putkea ympäröivässä maassa saavuttaa kriittisen arvonsa. Hydraulinen gradientti on riippuvainen veden sisäänvirtausvastuksesta salaojaputkeen. Alentamalla sisäänvirtausvastusta ympärysaineen avulla alennetaan samalla hydraulista gradienttia, eikä maapartikkelien kulkeutumista tapahdu. Virtausvastuksen alentaminen lisää myös putken kuivatustehoa. Käytännössä ongelmana on ympärysaineen hyvän vedenjohtavuuden ja suodatuskyvyn ristiriita : mitä parempi suodatuskyky sitä huonompi vedenjohtavuus, ja päinvastoin.

Ympärysaineet voidaan jakaa rakeisiin, synteettisiin ja orgaanisiin aineisiin. Parhaimpana ympärysainemateriaalina pidetään soraa. Ongelmana on se, että soraa ei kaikkialla ole saatavissa ja ojitus sitä käytettäessä ei ole yhtä tehokasta kuin valmiiksi putken ympärille käärittyjä orgaanisia tai synteettisiä ympärysaineita käytettäessä. Suomessa soraa on käytetty miltei kaikissa ojituksissa, eikä syitä sen käytöstä luopumiseen lähiaikoina ole näkyvissä.

LÄHDELUETTELO

- Andersen, Sv. Aa. 1983. Versuche und Erfahrungen mit Dränmethoden und Dränmaterialien in Dänemark. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 24, 4, s. 223-227.
- Andersen, Sv. Aa. & Waagepetersen, J. 1985. Organiske pakningsmaterialer ved dræning af okkerholdig sandjord. Hedeselskapet Forsøgsvirksomheden Beretning 28, 24 s. (volyymia ei mainittu)
- Anon. 1980. Suodatinkankainen salaojaputki. Koneviesti 28, 11, s. 13.
- Beken, A. van der. 1968. Filtermateriale in de drainagetechniek. Mededelingen van het Rijksstation voor Boerderijbouwkunde 30, 15 s. (volyymia ei mainittu)
- Broadhead, R. G., Schwab, G. O. & Reeve, R. C. 1983. Synthetic Drain Envelopes and Soil Particle-Size Distribution. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 26, 1, s.157-160.
- Broughton, R. S., English, B., Damant, C., Ami, S., McKyes, J. & Brasseur, J. 1976. Tests of Filter Materials for Plastic Drain Tubes. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976. American Society of Agricultural Engineers . S. 34-39.
- Broughton, R. S., Gameda, S., Gibson, W. 1982. Field Tests of Some Drain Tube Envelope Materials. Advances in Drainage, Proceedings of the American Society of Agricultural Engineering, Fourth National Drainage Symposium, December 13 - 14. S. 69-78.
- Burghardt, W. 1979. Die Entwicklung von Dränvollfiltern aus Kunststofffasern. Wasser und Boden 31, 1, s. 14-17.
- Burghardt, W. 1983. Untersuchungen zum Abbau von Kokosfiltern in Marschböden. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 24, 1, s.43-49.
- Burghardt, W., Foerster, P. & Scheffer, B. 1978. Die Bedeutung einiger Bodeneigenschaften für den Abbau von Dränfiltern aus Kokosfasern. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 19, 6, s. 363-370.
- Dierickx, W. 1978. The Influence of Envelope Materials in Preventing Silting-up of Drain Pipes. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Proceedings of the International Drainage Workshop , publication 25, s. 306-318.

- Dierickx, W. 1980. Electrolytic Analogue Study of the Effect of Openings and Surrounds of Various Permeabilities on the Performance of Field Drainage Pipes. Mededelingen van het Rijksstation voor Landbouwtechniek, B-9220 Merelbeke, publ.no. 77, 238 s. (volyymia ei mainittu)
- Dierickx, W. 1982. Structural Stability of Soil and the Need for Drainage Envelopes. Advances in Drainage, Proceedings of the American Society of Agricultural Engineering, Fourth National Drainage Symposium, December 13 - 14. S. 79-86.
- Dierickx, W. 1983. Hydraulic Gradients near Subsurface Drains and Soil Erosion. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 26, 5, s. 1409-1412.
- Dierickx, W. 1986. Field Experience and Laboratory Research on Drainage Envelopes. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesiteknikka, Otaniemi. S. 51-70.
- Enckell, P. & Maasilta, A. 1968. Salaojien suojausaineista. Vesitalous 9, 6, s. 29-30, 34.
- Ericson, A. 1981. Egenskaper hos dräneringsrör lindade med filter. Lantmannen 102, 8, s. 18-19.
- Eriksson, J. 1966. Om behovet av slagskydd vid plaströrsdikens återfyllning. Grundförbättring 19, 2, s. 151-157.
- Grant, R. O. 1986. Experiments with Drainage Materials and Submerged Drains on Ochreous Sites. Proceedings of International Seminar on Land Drainage. TKK, Rak. ins. osasto, Vesiteknikka, Otaniemi, s. 310-323.
- Hallgren, G. & Östholm, C-O. 1957. Om utfällning av järn i dräneringsledningar. Grundförbättring 10, 2, s. 87-101.
- Hooli, J., Hepojoki, A., Maunula, M., Silfverberg, P. & Suortti, T. 1981. Salaojaputkien toiminnalliset kokeet. Vesitalous 22, 1, s. 24-28.
- Hove, P. 1982. Filter Materials for Drains - Experiences in Norway. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 23, 2, 104-109.
- Jarret, A. R. & Fisher, L. S. 1984. Sediment Retention Efficiency of Synthetic Filter Fabrics. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 27, 2, s. 429-436.
- Jonsson, B. 1986. Organic and Synthetic Fibres as Drainage Filters. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesiteknikka, Otaniemi. S. 71-79.

- Kivisaari, S. 1984. Salaojatutkimuksen järjestäminen Suomessa. Maatalouden tutkimuskeskus, Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto, Jokioinen . 60 s.
- Knops, J. A. C. & Dierickx, W. 1978. Drainage Materials. International Institute for Land Reclamation and Improvement , Proceedings of the International Drainage Workshop , publication 25, s. 14-28.
- Kuntze, H., Scheffer, B. & Eilts, F. 1984. Organische Dränfilter gegen Verockerung. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 25, 5, s. 308-312.
- Nelson, W. R. 1960. Fiberglass as a Filter for Closed Tile Drains. Agricultural Engineering 41, 10, s. 690-693, 700.
- Nieuwenhuis, G. J. A. & Wesseling, J. 1979. Effect of Perforation and Filter Material on Entrance Resistance and Effective Diameter of Plastic Drain Pipes. Agricultural Water Management 2, s.1-9. (numeroa ei mainittu)
- Peltomaa, R. 1981. Salaojien ruoste - mitä se on ja mitä se aiheuttaa ? Käytännön Maamies 30, 5, s.54-55.
- RIL 93. 1973. Vesihuolto, s.184. Helsinki.
- Saavalainen, J. 1978. Ruoste salaojituksessa. Käytännön maamies 27, 3, s. 80-81.
- Saavalainen, J. 1980. Salaoja ja suodatin. Käytännön Maamies 29, 11, s. 28 -29.
- Saavalainen, J. 1981. Salaojittajan käsikirja, osa 2B. Helsinki. 57 s.
- Saavalainen, J. 1983a. Rostproblem i samband med täckdikning. Landsbygdes Folk 37, 16, s. 6-7.
- Saavalainen, J. 1983b. Salaojittajan käsikirja, osa 1B. Helsinki. 83 s.
- Schwab, G. O. , Broadhead, R. G & Loong, S. 1986.Sediment Inflow into Pipe Drains through Synthetic Envelopes and Pin Holes. Proceedings of International Seminar on Land Drainage, TKK, Rak. ins. osasto, Vesitekniikka, Otaniemi. S. 61-70.
- Sojak, M. & Ivarson, K. C. 1978. Iron and Manganese Oxide Problems in Tile Drains. Ontario Ministry of Agriculture and Food, Factsheet, Agdex 752, order no.78-045.
- Strandman, A. 1978. Erilaatuiset suodatinsorat salaojituksessa. HTKK, vesitalouden seminaari, 23 s.
- Stuynt, L. C. P. M. & Cestre, T. 1986. Common Lines in Research on Drainage Envelopes in France and in the Netherlands. Institute for Land and Water Management Research, Technical Bulletins 41, s. 163-173. (volyymia ei mainittu)

- Suortti-Suominen, T. 1982. Kookoskuitukankaan ominaisuudet salaojan ympärysaineena. *Vesitalous* 23, 6, s. 14-22.
- Suortti-Suominen, T. & Mäenpää, O. 1982. Ruosteen torjunta meillä ja ulkomailla. *Salaojittaja* 1, s. 15. (volyymia ei annettu)
- Svobodová, V. 1981. Decomposition of Organic Drainfilters in Soils. *Scientia Agriculturae Bohemoslovaca* 13, 2, s. 107-118.
- Willardson, L. S. 1978. Synthetic Drain Envelope Materials. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Proceedings of the International Drainage Workshop, publication 25, s. 297-305.
- Willardson, L. S. & Walker, E. 1979. Synthetic Drain Envelope-Soil Interactions. *Journal of the Irrigation and Drainage Division*. IR 4, December .S. 367-373.

AIHEESTA ENEMMÄN

- Anon. 1981. Filtermaterialer for drenledninger. NJF - seminar nr. 17. Nordisk Jordbrugsforskning 63, 1981, 4, s. 719-728.
- Benz, L. C., Doering, E. J., Reichman, G. A. & Follet, R. F. 1976. Evaluation of Some Subsurface Drainage Envelopes. Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976. American Society of Agricultural Engineers . S. 31-33. (volyymia ei mainittu)
- Bredikhin, NN. 1984. Selecting Optimum Design of Closed Drainage for Various Water Loads. *Soviet Agricultural Sciences* . 8, s. 52-55. (volyymia ei mainittu)
- Brownscombe, R. H. 1962. Field Evaluation of Tile Drains Laid with Organic Blinding Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 5, 1, s. 61-63, 67.
- Buras, N. & Pillsbury, A. F. 1963. Lateral Movement of Water along a Glass Fiber Sheet Used as a Drantile Filter . American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 6, 2, s. 173, 176.
- Dierickx, W. 1985. Soil Invasion into Drain Pipes. Proceedings of a Seminar in the EC Programme of Coordination of Research on Land Use and Rural Resources, Arnhem / The Netherlands, 18-25 June. S. 151-161.
- Dierickx, W. & Leyman, N. 1978. Veldonderzoek naar de drainerende werking van verschillende drainagematerialen. Mededelingen van het Rijksstation voor Landbouwtechniek 71, 105 s. (volyymia ei mainittu)

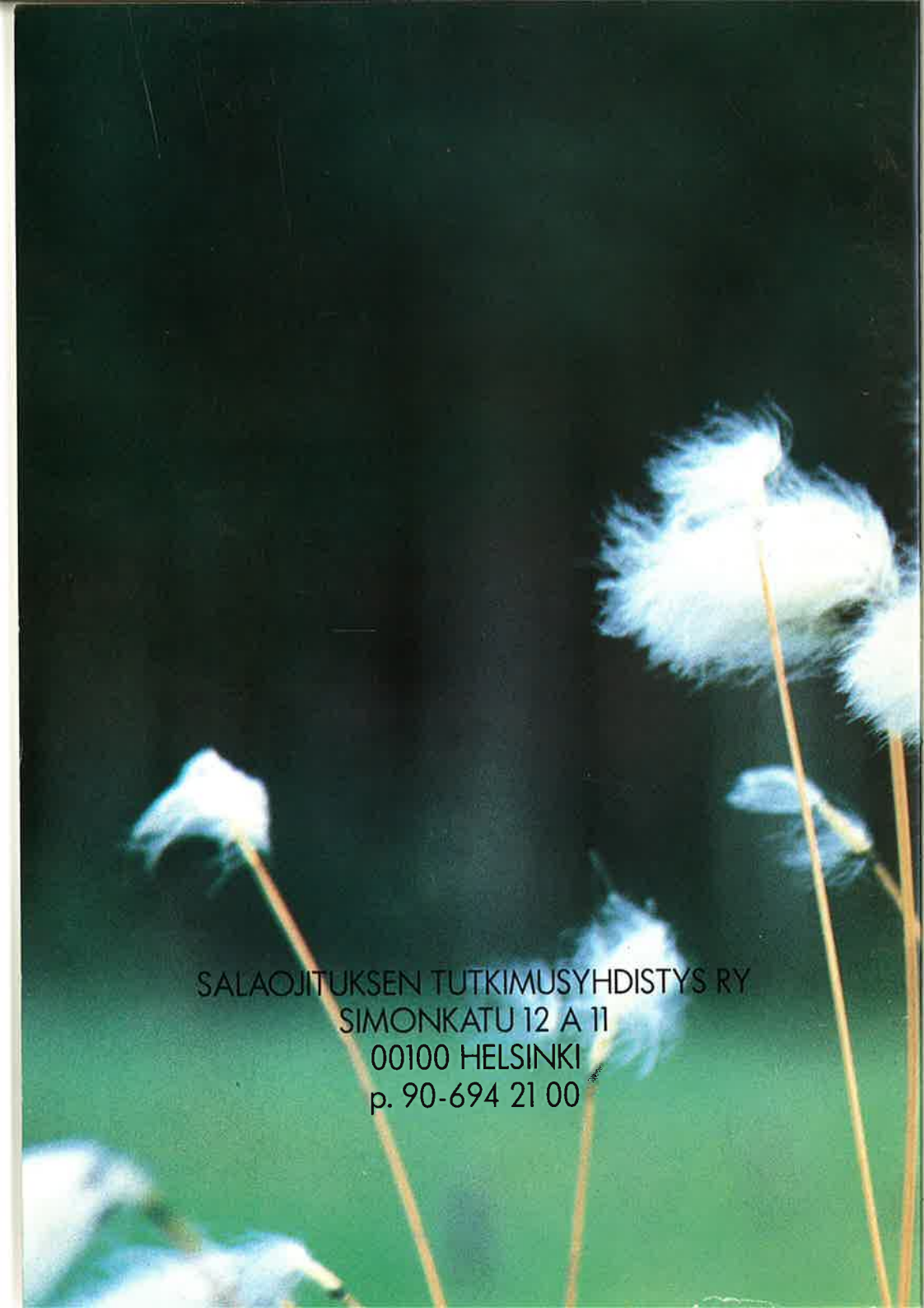
- Dierickx, W. & Yüncüoğlu, H. 1982. Factors Affecting the Performance of Drainage Envelope Materials in Structurally Unstable Soils. *Agricultural Water Management* 5, 3, s. 215-225.
- Fischer, W. 1965. Plast - drenrør og nye filtermaterialer. *Ny Jord* 52, 3, s. 102-107.
- Ford, H. W. & Beville, B. C. 1968. Chemical Changes in Tile-drain Filters and Ditch Banks Caused by Anaerobiosis. *American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE* 11, 1, s. 41-42.
- Grant, R. O. & Andersen, Sv. Aa. 1985. Forsøg med dræningsmaterialer og dykkede dræn på okkerholdig jord. Hedeselskapet Forsøgsvirksomheden Beretning 29, 63 s. (volyymia ei mainittu)
- Halonen, R. 1969. Salaojaputkien suojauksesta. *Oma Maa* 15, 33, s. 4.
- Hansmann, J. 1968. Glasvlies als Umhüllungswerkstoff für die Dränung. *Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung* 9, 2, s. 102-115.
- Hautala, E. & Menefee, E. 1981 Artificial Gravel Produced by Sintering Soil. *Journal of the Science of Food and Agriculture* 32, 1981, 5, s. 508-512.
- Hermesmeier, L. S. 1976. Economical Envelopes for Subsurface Drains in Irrigated Lands. *Proceedings, Third National Drainage Symposium, Chicago, USA, December 1976. American Society of Agricultural Engineers. S. 18-21.* (volyymia ei mainittu)
- Hooli, J. 1979 Salaojaputkien vedenotto- ja vedenjohtokyky suoritetujen laboratoriotutkimusten valossa. *Vesitalous* 20, 1, s. 3-11.
- Hove, P. 1964. Laboratorieforsøk med grøftmaterialer. *Meldinger fra Norges Landbrukshøgskole* 43, 10, s. 1-9.
- Irwin, R. W. & Hore, F. R. 1978. Drain Envelope Materials in Canada. *International Institute for Land Reclamation and Improvement, Proceedings of the International Drainage Workshop, publication 25, s. 283-296.*
- Juusela, T. 1958. Salaojitusputkiston suojaustavoista ja soran käytöstä suojausaineena. *Maa- ja vesirakentaja* 3, s.34-55. (volyymia ei mainittu)
- Juusela, T. 1964. Salaojaputkiston suojaamisesta. *Koneviesti* 12, 12, s.6-7.
- Kanervisto, O. 1985. Salaojaputkien ympärysaineet. *Käytännön Maamies* 34, 6, s. 59-62.
- Kellet, A. J. & Armstrong, A. C. 1980. Sedimentation of Drain Pipes ; Results of a national investigation (DW 14), preliminary report. Ministry of Agriculture, Fisheries and Food, Land Drainage Service, Research and Development. Report no. 2, 9 s.

- Knops, J. A. C. 1978. Research on Envelope Materials for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement , Proceedings of the International Drainage Workshop , publication 25, s. 368-392.
- Knops, J. A. C., Zuidema, F. C., Someren, C. L. van & Scholten, J. 1978. Guidelines for the Selection of Envelope Materials for Subsurface Drains. International Institute for Land Reclamation and Improvement . Proceedings of the International Drainage Workshop 25, s. 439-450. (volyymia ei mainittu)
- Kowald, R. 1960. Der Weg des Wassers zum Drän in Grundwasservernässten Böden. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 1, 4, s. 193-201.
- Kowald, R. 1963. Ein neues Dränrohrfilterverfahren. Wasser und Boden 15, 10, s. 369-372.
- Mark, F. A., Jeffords, O. D. & Walker, C. 1958. A Drain Filter Guide That Works. Soil Conservation 23, 6, s. 132-134.
- Maunula, M. 1980. Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä. HTKK, diplomityö v.79-80.
- Mosolova, A. I. & Utkaeva, V. F. 1977. Action Time of Polymer Preparations in the Conditioning of Soils as Applied to Drainage-Trench. Moscow University Soil Science Bulletin 32, 2, s. 21-24.
- Muotka, J. 1978. Muut suodatinaineet salaojituksessa. HTKK, vesitalouden seminaari, 28 s.
- Muth, E. 1962. Untersuchungen über die Wirkung von Filterstoffen bei Abflußstörungen in Dränanlagen , väitöskirja, 105 s.
- Nelson, W. R. 1960. Fiberglass as a Filter for Closed Tile Drains. Agricultural Engineering 41, 10, s. 690-693,700.
- Neuhaus, H. & Kuntze, H. 1963. Untersuchungen über Eigenschaften neuartiger Dränfilterstoffe. Wasser und Boden 15, 10, s. 362-366.
- Ochs, W. J. 1978. Testing Synthetic Fabrics for Use with Drainage Conduits. International Institute for Land Reclamation and Improvement . Proceedings of the International Drainage Workshop , publication 25, s. 332-339.
- Palmer, D. B. & Johnson, H. P. 1962. Field Evaluation of Flow Through Blind Inlets. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 5, 1, s. 58-61.
- Petersen, L. 1966. Ochreous Deposits in Drain-Pipes. Acta Agriculturae Scandinavica 16, 3/4, s. 120-124.

- Rathmayer, H. G. 1971. Kiesfilter für Tondränrohre bei Fundamentenwässerungen. Valtion Teknillinen Tutkimuslaitos, tiedotus, sarja 3., rakennus 165.
- Saavalainen, J. 1985. Salaojien ympärysaineilla kolme tärkeää tehtävää. Käytännön Maamies 34, 8, s.48-50.
- Saavalainen, J. & Suortti, T. 1981. Salaojaputken ympärysaineilla on monta tehtävää. Käytännön Maamies 30, 10, s. 59-60.
- Sandahlskov, K. 1963. Finsand og drænledniger. Hedeselskapets Tidsskrift 84, 15, s. 363-367.
- Shull, H. 1964. Hydraulic Characteristics of Glass-Fiber Filter Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 7, 2, s. 120-122.
- Sisson, D. R. & Jones, B. A. Jr. 1962. Filter Materials for Tile Drains in a Medium Sand - a Laboratory Comparison. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 5, 1, s. 54-58.
- Silfverberg, P. 1982. Jäteveden hyötykäyttö ja puhdistuminen maaperässä sovellettuna jäteveden maahan imeyttämiseen, energiaviljelyyn ja jätevesien sadetukseen. HTKK, diplomityö v. 81-82.
- Sommerfeld, T. G. 1975. Outflow from Various Drainage Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 18, 1, s. 85-88, 94.
- Stuynt, L. C. P. M. 1982. A New Approach in Research into Drainage Materials. Institute for Land and Water Management Research, Technical Bulletins 16, s. 223-247. (volyymia ei mainittu)
- Suortti, T. 1980. Kokeellinen tutkimus salaojaputkien vedenottokyvystä. HTKK, diplomityö v.79-80.
- Suortti-Suominen, T. 1982. Kookoskuitukangas salaojaputkien ympärysaineena. Käytännön Maamies 31, 12, s. 50-51.
- Suortti-Suominen, T. 1983. Salaojaputken ympärysaineista. Teho 34, 4, s. 8-9.
- Svobodová, V. & Vinsova, M. 1979. Zersetzung organischer Filterstoffe im Boden - Modellversuch. Zeitschrift für Kulturtechnik und Flurbereinigung 20, 1, s. 42-50.

- Watts, D. G. & Luthin, J. N. 1963. Tests of Thick Fiberglass Filters for Subsurface Drains. *Hilgardia* 35, 3, s. 33-46.
- Wesseling, J. 1978. The Entrance Resistance of Drains as a Factor in Design. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Proceedings of the International Drainage Workshop, publication 25, s. 354-365.
- Willardson, L. S. 1982. Exit Gradients at Drain Openings. Proceedings of the 2nd International Drainage Workshop, Washington D.C., USA, December 5-11. S. 198-202.
- Willardson, L. S., Aguirre, X. & Watkins, R. K. 1980. Plastic Drain Response in Soft Envelope Materials. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 23, 6, s. 1402-1408.
- Willardson, L. S., Arellano, M. T. & Becker, E. R. 1966. Comparative Laboratory Tests of New Drainage Conduits. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 9, 3, s. 352 - 354.
- Willardson, L. S., Davis, S., Mulder, D. & Spencer, J. R. 1975. Drain Envelope Response to Field Treatments. American Society of Agricultural Engineers, Transactions of the ASAE 18, 1, s. 134-136.
- Zaslavsky, D. 1978. Definition of the Drainage Filter Problem and a Possible Use of Soil Conditioners. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Proceedings of the International Drainage Workshop, publication 25, s. 340-353.
- Zuidema, F. C. & Scholten, J. 1978. Model Tests on Drainage Materials. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Proceedings of the International Drainage Workshop, publication 25, s. 393-401.





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