



SALAOJAYHDISTYS 100 VUOTTA



6. SALAOJITUS- TUTKIMUKSESTA SUOMESSA

Seija Virtanen ja Pertti Vakkilainen

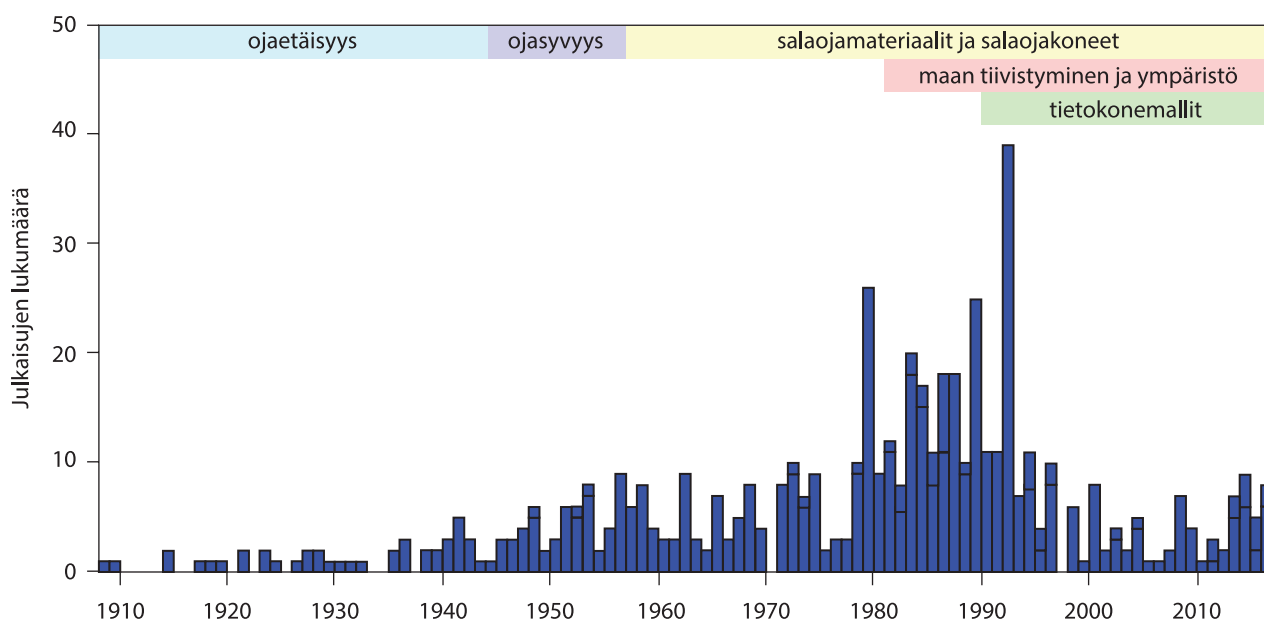
Johdanto

Suomalainen salaojatutkimus on sadan vuoden saatossa pysynyt ajan hermolla aktiivisten alan edistämisestä kiinnostuneiden henkilöiden toimesta. He ovat saaneet valtiovallan ja muut tutkimusta rahoittavat tahot vakuutuneiksi siitä, että jatkuvasti alaa kehittämällä edistetään maataloutemme toimintaedellytyksiä ja koko kansakunnan etua. Tässä läpileikkauksessa 100 vuoden suomalaiseen salaojatutkimukseen luodaan katsaus tutkimuksen painopistealueisiin (Kuva 1) ja siihen, kuinka tutkimustoiminta on vaikuttanut käytännön salaojitukseen. Siitä huolimatta, että Suomi on syrjässä maanviljelyksen valta-alueista, uutuudet ovat nopeasti tulleet Suomeen aiheuttaen tutkimustarpeita, ja siksi myös alan kansainvälistä kehitystä on tarkasteltu taustaksi. Tässä katsauksessa ei kuitenkaan rajoituta vain Salaojayhdistys ry:n ja sen edeltäjien tekemään tutkimukseen, koska salaojitustutkimusta on tehnyt myös moni muu toimija, ennen kaikkea maataloushallitus, Teknillinen korkeakoulu, Maatalouden tutkimuskeskus, vesihallitus ja Helsingin yliopisto.

Kuva 1. Salaojatutkimusten painopistealueet ja Salaojatutkimustietopankkiin (www.tukisaatio.fi/tietopankki) tallennettujen julkaisujen ajallinen jakautuminen vuodesta 1900 vuoden 2017 elokuuhun. Tietopankkiin oli tallennettu yhteensä 560 julkaisua elokuun 2017 loppuun mennessä.

Salaojitustoimintaa ja tutkimusta ennen Suomen itsenäistymistä

Peltojen kuivatus erilaisin kivi- ja risusalaojen on alkanut tiettävästi jo ennen 1600-lukua Itä-Suomessa. Tuossa vaiheessa ja myöhemminkin vielä pitkään ojien paikat ja syvyyden lieenee kukin viljelijä päättänyt kokemuseräisten havaintojensa ja perimätiedon perusteella. Suomessa suunnitelmallisen salaojituksen katsotaan alkaneen 1858, kun Harjun tilalle Virolahdella ja Sippolan kartanon pelloille Kouvolassa laadittiin salaojasuunnitelmat salaojituskarttoineen. Suunnittelijat tulivat ulkomailta ja sovelsivat suunnitelmiinsa muualta saamiaan oppeja ja kokemuksia. Peltoja salaojitettiin lähinnä suurtiloilla ja kartanoiden mailla Etelä-Suomessa. Koska salaojitus oli tuolloinkin kallis investointi, perustettiin samana vuonna kaksi valtionagronomin virkaa antamaan salaojituksessa suunnitteluapua uudistuksia haluaville vähävaraisemmille maanviljelijöille. Senaatti oli kuitenkin sitä mieltä, että valtion palkkaamien agronomien tuli lähinnä keskittyä opastamaan suurtiloja kierto- ja vuoroviljelyyn siirtymisessä sekä suorittaa kuivatuksia, vesityksiä ja järvenlaskuja. Pian valtionagronomien rinnalle perustettiin lääninagronomien virkoja. Heidän tehtäviinsä



kuului myös ojitussuunnitelmien tekeminen. Vuodesta 1876 alkaen lääninagronomien virkoihin vaadittiin agromintutkinto, tutkinto maanmittauksessa ja kahden vuoden harjoittelu valtion- tai lääninagronomien toimitusmatkojen seuraajana. Vuonna 1885 perustettiin kolme maanviljelysinsinöörin virkaa, joiden haltijoille siirtyivät kuivatus- ja maanmittaustehtävät, kun lääninagronomien tehtävät uudistettiin vuonna 1894.

1800-luvun loppupuolelle tultaessa salaojitettuja pelloja oli jo monilla tiloilla Suomessa. Salaojituksen hyödyllisyys oli monin paikoin todettu, mutta myös epäonnistuneita salaojituksia oli tiedossa. Salaojitusten yleistyminen pysähtyi, eikä valtion virkamiehiä saatu vakuuttuneeksi salaojituksen tukemisen tarpeesta. Tarvittiin Suomen ilmasto-oloille ja maalajeille sopivat mitoitusperusteet salaojitusten saamiseksi toimiviksi. Maanviljelysinsinööri Hallakorpi (silloin vielä Schroeder ja myöhemmin Teknillisen korkeakoulun kulttuuriteknikan professori) perusti ensimmäisen salaojituskokeen nykyisen Vantaan Jokiniemen savimaalle vuonna 1908. Kokeessa tutkittiin ojaetäisyyden ja syvyyden vaikutusta satoon. Hallakorpi oli vakuuttunut salaojituksen soveltuvuudesta Suomessa.

Salaojituksen hyödyt, kustannukset ja kannattavuus

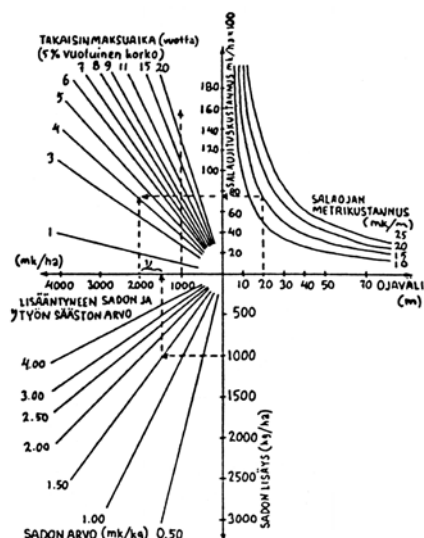
1850-luvulla Englannissa salaojitus nähtiin niin tärkeäksi edellytykseksi voimaperäiselle maataloudelle, että sitä verrattiin höyrykoneen käyttöönottoon teollisuudessa. Salaojituksen puolestapuhujat Suomessa olivat tietoisia sekä näistä hyödyistä että Saksassa saadusta sadonlisäyksistä. Hallakorpi kirjoittaakin kirjassaan ”Maan kuivatus” (1917) salaojituksen kannattavuudesta seuraavasti: ”Teknillisesti oikein suoritettu ja hyvin kunnossapidetty salaojitus katsotaan voimaperäisessä maanviljelyssä sellaiseksi maanparannukseksi, joka on aina kannattava, joka tuottaa varman ja hyvän voiton.” Tuolloin kannattavuuteen vaikutti merkittävästi sadonlisäys, joka Hallakorven mukaan oli 25–100 % avo-ojitetulta pellolta saatuun verrattuna. Suomen Salaojitusyhdistyksen toimitusjohtaja Lauri Keso tutki Suomessa salaojituksen aiheuttamaa sokerijuurikkaan sadonlisäystä teollisuudelta saamiensa tilastojen perusteella ja toteasi keskimääräisen sadonlisäyksen olleen 35 %. Vuonna 1924 ilmestyneessä kirjassaan ”Salaojituksen merkitys maanviljelyksessä ja salaojitustyöt” Keso listaa tekijöitä, jotka vaikuttavat sadonlisäykseen: viljeltypinta-ala lisääntyy, maa lämpenee aikaisemmin, kevätkestävyys säilyy paremmin ja maan kosteus on tasaisemmin jakautunut, maan rakenne paranee, rikkaruohojen, kasvitau-

tien, tuhohyönteisten torjuminen helpottuu sekä satojen varmuus lisääntyy ja laatu paranee. Epäsuorasti sadonlisäykseen vaikuttaviksi tekijöiksi Keso mainitsee myös, että kasvit käyttävät paremmin hyväkseen runsaankin lannoituksen, ja että lannoitteet eivät huuhtoudu salaojitetulta pellolta veden mukana pois niin helposti kuin avo-ojitetuilta pelloilta. Lisäksi hyötyjä tulee työ- ja aine-
menekin vähentymisenä ja avo-ojien hoitokustannusten poisjäämisestä.

Salaojituksen hyödyt ovat edelleenkin samoja ja nykyisin varsin hyvin kaikkien tiedossa. Sen sijaan salaojituksen kustannuksiin ja varsinkin rahamääräiseen hyötyyn vaikuttavat tekijät ovat muuttuneet vaikuttaen salaojituksen kannattavuuteen eri aikakausina. Salaojitusinvestoinnin kannattavuus on ollut mielenkiintoinen tutkimuksen kohde ja sitä on tutkittu runsaasti. Seuravassa tuloksia eräistä tutkimuksista.

1930-luvun yleismaailmallinen lama alensi työvoima- ja materiaalikustannuksia niin, että Suomen Salaojitusyhdistyksen laskelmien mukaan salaojituksen kokonaiskustannukset pienenevät keskimäärin 40 %, mikä puolestaan aiheutti pienen nousun salaojitusmääriin. 1930- ja 1940-luvulla Suomen Salaojitusyhdistys tiedusteli säännöllisin väliajoin salaojittaneilta viljelijöiltä salaojituksen kannattavuutta. Vastausten perusteella salaojitus nähtiin pääsääntöisesti hyvin kannattavana investointina. Salaojitusten kustannusarvioita on verrattu myös maatalouden rakennuskustannusindeksiin, jonka alapuolella kustannukset pysyivät 1960-luvun puolivälistä 1980-luvun alkuun nousten sitten rakennuskustannusindeksiä suuremmaksi. Maatalouden taloudellisessa tutkimuskeskuksessa vuonna 1981 valmistuneessa tutkimuksessa ”Salaojituksen kustannukset ja kannattavuus” verrattiin salaojituskustannuksia eri puolella Suomea. Suurimmat hehtaarikustannukset olivat Pohjois-Suomessa ja pienimmät Etelä-Suomessa. Tähän olivat syynä Pohjois-Suomen pienemmät salaojituspinta-alat sekä vaikeammat salaojitusolot, joissa ojituksia jouduttiin tekemään mm. kauhakoneilla.

Salaojituksen kannattavuutta on selvitetty tilastotietojen, tilaesimerkkien ja lohko- ja tilamallien avulla, sillä mm. lohkon muoto, sarkaleveys, viljelykasvi, satotaso ja työn hinnoittelu sekä tilan konekanta vaikuttavat kannattavuuslaskelmien tulokseen. Salaojitusinvestoinnin tarkasteluun laadittiin mm. nomogrammi, jolla voitiin tarkastella eri ojaetäisyyksien vaikutusta kannattavuuteen (Kuva 2). Vuonna 1988 valmistui mallisovellus (ks. mallinnus), jonka avulla oli mahdollista laskea salaojituksen tehokkuuden vaikutus sadonlisäykseen ja edelleen viljelijän saamaan hyötyyn (katetuottoon).



Kuva 2. Nomogrammi salaojitusinvestoinnin kannattavuuden määrittämiseksi (Koivunen 1986).

Eri aikakausina tehdyille selvityksille on yhteistä se, että salaojitus on todettu kannattavimmaksi erikoiskasveilla. Esimerkiksi 1983 tehdyssä tutkimuksessa ”Pellon kuivio-ominaisuuksien ja maalajin vaikutuksesta salaojituksen hyötyyn” salaojitusinvestoinnin takaisinmaksuajaksi saatiin 30 vuotta säilörehunurmella, kun taas takaisinmaksuaika oli vain noin 4 vuotta sokerijuurikasta tai perunaa viljeltäessä.

2000-luvun alussa Maatalouden taloudellisessa tutkimuslaitoksessa (sittemmin MTT taloustutkimus) tehtiin kannattavuustutkimusta salaojitukseen liittyen. Tutkimuksessa ”Säätösalojituksen ja salaojakastelun kustannukset ja hyödyt” todettiin, että viljanviljelyssä sadonlisäykset eivät kata säätösalojituksen ja altakastelun lisäkustannuksia, mutta erikoiskasveilla, kuten perunalalla, kustannukset ovat parhaiten katettavissa. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös säätösalojituksen yhteiskunnallista kannattavuutta, johon vaikuttavat mm. typen huuhtoutumisen vähentyminen säätösalojituksen avulla ja vaihtoehtoisen typen vähentämismenetelmän kustannukset sekä säätösalojituksen käyttöikä (ks. säätösalojitus). Tutkimuksessa ”Salaojituksen kannattavuus Suomessa” todettiin salaojituksen satohyötyjen merkityksen pienentyneen sadon myyntihintojen alennettua, ja siksi syntyvien kustannussäästöjen ja työn rationalisoinnista tulevien hyötyjen merkitys oli kasvanut. Tutkimuksessa havaittiin salaojitushalukkuuden olevan suurempi omistetuilla pelloilla kuin vuokratuilla pelloilla. MTT:n taloustutkimuksessa valmistui vuonna 2001 tutkimus tilusrakenteen vaikutuksesta tuotannon kannattavuuteen,

jonka mukaan salaojitus on kannattavaa lohkoilla, jotka ostetaan tai vuokrataan isolle tilalle lisämaaksi, vaikka lohkojen salaojittaminen ei olisikaan ollut kannattavaa aikaisemmin. Vuonna 2008 valmistuneessa tutkimuksessa ”Suomalainen pellon omistaja” todettiin, että 90 %:lla pellon omistajista, jotka eivät saaneet maataloustuloa, pellot olivat salaojittamatta. Sen sijaan 67 %:lla viljelystä tuloa saavilla pellot olivat salaojitettut. Uusin tutkimushanke salaojituksen kannattavuudesta ”Perusparannukset ja ravinnetase suomalaisessa peltoviljelyssä” (PERA) käynnistyi keväällä 2017. Siinä selvitetään mm. kuivatuksen vaikutusta pellon ravinnetaseeseen ja kuivatusinvestoinnin kannattavuutta viljelijän ja yhteiskunnan kannalta.

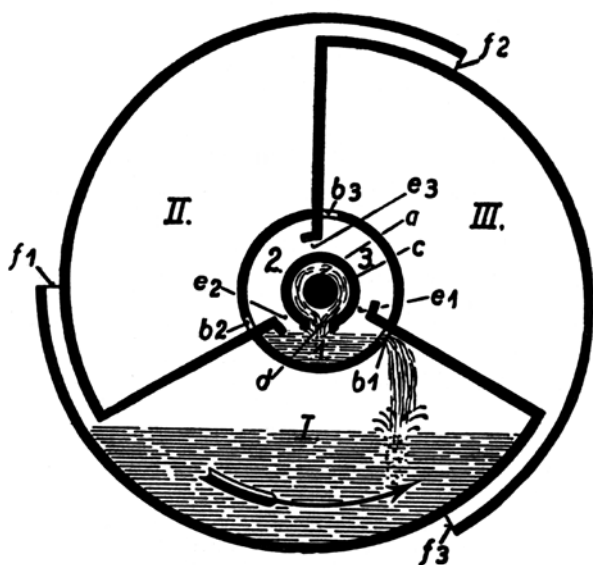
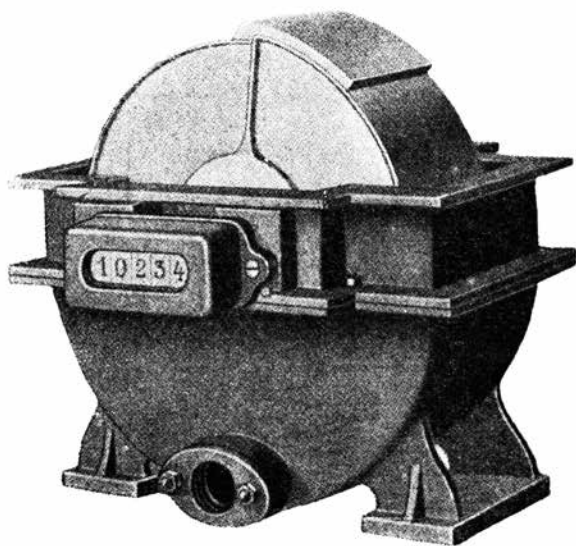
Suomalaisen salaojituksen mitoituksen perusteiden tutkimisesta

Hallakorven jo aiemmin mainitussa käsikirjassa ”Maan kuivatus” esitellään muualla Euroopassa käytettyjä mitoituserusteita ja maan fysikaalisiin ominaisuuksiin perustuvia yhtälöitä ojaetäisyyksien laskemiseen. Kirjassa esitellään myös tuloksia Vantaan Jokiniemen ojaetäisyysoikeista. Jokiniemen tulokset osoittivat, että kokeessa käytetty suurin ojaetäisyys 15 metriä ei ollut liian suuri kyseiselle maalle. Putkien mitoituksessa käytettiin mitoitustalutmana eli ”vedenpaljouksena” 0,65 l/s ha (4,9 mm/vrk). Hallakorpi viittaa kirjassaan kuitenkin mm. Itävallan ja Saksan mitoituskäytäntöön, jossa maan vedenläpäisevyys otetaan huomioon vesimäärissä.

Suomen Salaojitusyhdistyksen perustamalla ojaetäisyyssuoritusalueilla mitattiin salaojavalumaa automaattisesti jo 1920-luvulla (Kuva 3). Koetulosten perusteella mm. urpamaiden (hapan sulfaattimaa) mitoitustalutmaa pienennettiin arvoon 0,5 l/s ha (4,3 mm/vrk). Mitoitusvalumia tarkistettiin muidenkin maalajien osalta, mm. suomaille alettiin käyttää 0,75 l/s ha (6,5 mm/vrk) ja tiiviillä savilla 1 l/s ha (8,6 mm/vrk), ja valumaksi oli löytynyt suunnilleen oikea taso. Maataloushallituksen vesistö tutkimusten johtaja (myöhemmin Teknillisen korkeakoulun professori) Pentti Kaiteran lumen sulamisesta tekemien tutkimusten perusteella mitoitustalutmassa otettiin huomioon alueen lumisuus. Esimerkiksi Oulun pohjoispuolella olevien alueiden vesimääriä kasvatettiin 50 %:lla. Nykyisin käytössä oleva mitoitustalutma 1 l/s ha:lta perustuu lumen maksimisulantaan keväällä (8,6 mm/vrk), ja sitä käytetään lähtökohtaisesti koko maassa. Ilmaston mahdollisesti muuttuessa kevättulva säilynee mitoitustalutustalutena Pohjois-Suomessa, mutta Etelä-Suomessa salaojaputket saatetaan mitoittaa rankkasateista aiheutuvan tulvan perusteella tulevaisuudessa.

Ojaetäisyys

Hallakorpea avusti Maan kuivatus-kirjan teossa maanviljelysinsinööri Lauri Keso, joka valittiin vuonna 1917 perustetun Suomen Salaojitusyhdistys ry:n ensimmäiseksi toiminnanjohtajaksi. Hän teki väitöskirjansa suomalaisen maalajien ominaisuuksista ja niiden käytöstä ojaetäisyyksien määrittämiseen. Tutkimuksen johtopäätös kuitenkin oli, että kenttäkokeet olisivat varmin tapa Suomeen sopivien salaojaetäisyyksien selvittämiseen. Jo

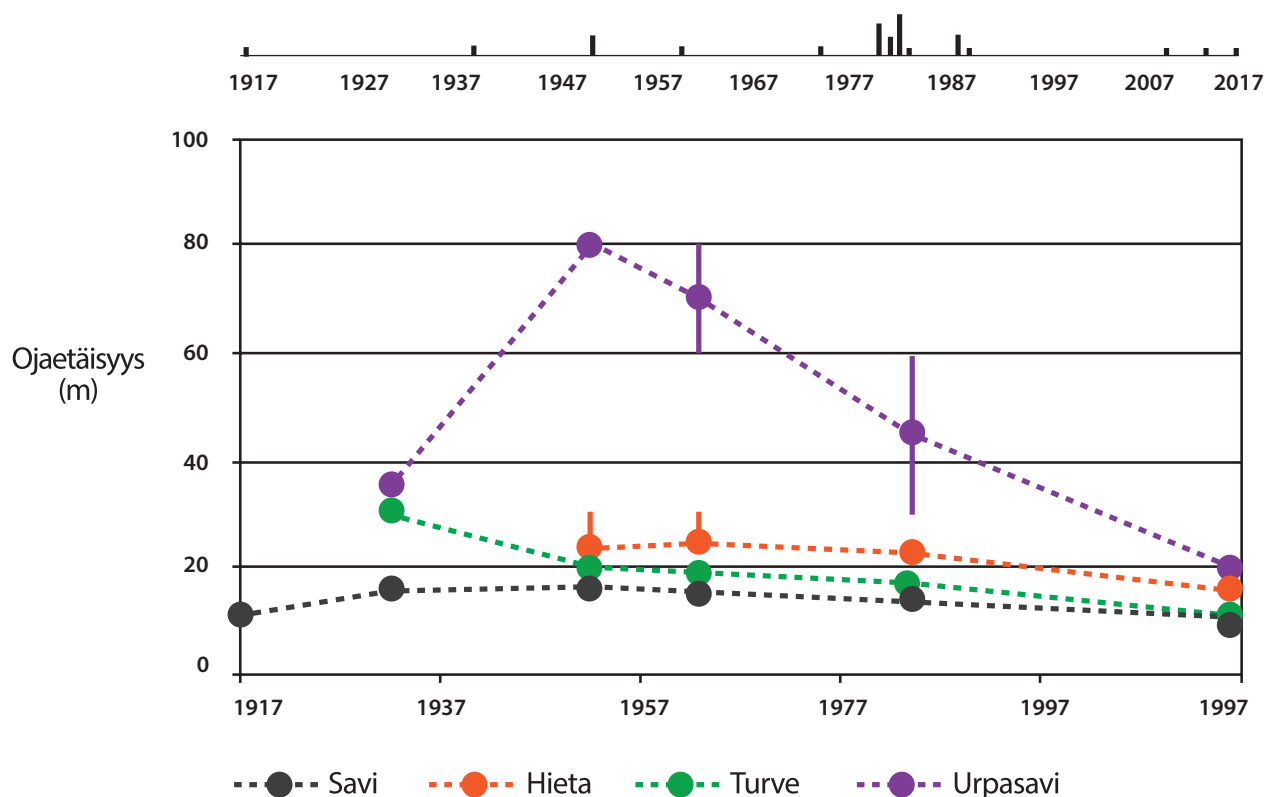


Kuva 3. Salaojavalumaa mitattiin jo 1920-luvulla automaattisesti. Kuvan mittalaitteessa kunkin kammion tilavuus oli 10 litraa, joten yksi kierros vastasi 30 litran ulosvirtausta. Mittalaite oli mahdollista siirtää ojustosta toiseen (Keso 1940).

ennen vuonna 1930 valmistunutta väitöskirjaansa toimitusjohtaja Keso aloitti kenttäkokeiden perustamisen. Ojaetäisyyskokeissa oli mukana viisi mineraalimaalla, yksi urpamaalla (hapan sulfaattimaa) ja kaksi turvemaalla olevaa koekenttää. Turvemailla tutkittiin ojaetäisyyden, syvyyden ja lautasalaojituksen lisäksi holvisalaojitusta ja reikäsalaojien käyttömahdollisuuksia. Yhdistyksen tutkimukset jatkuivat vaihtelevan ajan mittaisina eri maalajeilla, mutta koetoiminnan tuloksia on julkaistu vain osittain, mikä mahdollisesti johtuu siitä, että koejärjestelyssä oli mukana käytössä ollut ojaetäisyys ja vain sitä leveämpiä tai kapeampia ojavälejä. Esimerkiksi urpasaville suositellut ojaetäisyydet kaksinkertaistuivat (Kuva 4), vaikka näin suuria ojaetäisyyksiä ei kokeissa ollutkaan. Todennäköisesti näistä kokeista saadut tulokset kuitenkin vaikuttivat muilla maalajeilla siihen, että ojavälit pysyivät samoina tai niitä hieman pienennettiin.

Salaojaetäisyyksiin palattiin uudestaan 1950-luvun alussa, kun maataloushallituksen insinööriosaston vesiteknillinen tutkimustoimisto aloitti laajamittaisen salaojituskoetoiminnan. Koetoiminnan uudelleen aloittamisen syynä oli toimintaa johtamaan nimetyn tohtori Taneli Juuselan mukaan se, että Keson järjestämissä salaojituskoeteissa oli käytetty vain yhtä salaojasyvyyttä (120 tai 130 cm) ja ojaetäisyyksien variointi oli ollut riittämättömän eri maalajeilla. Juuselan johtamassa koetoiminnassa koekenttiä perustettiin Jokioisten kartanon pelloille (Kotkanoja, Lammintie, Lintupaju), Muhoksen Koivikon koulutilalle ja maataloushallituksen pelloille Tikkurilaan. Koekentillä tutkittiin ojaetäisyyksien ja -syvyyden lisäksi myös ojattomuutta ja rinnemaiden ojitusta. Tulokset olivat vaihtelevia. Tikkurilan savimaalla sijaitsevan koekentän tutkimukset osoittivat mm. että ojaetäisyyksien ollessa 16 m ja 32 m satotaseroerot olivat varsin pienet. Sen sijaan Muhoksen hiesusavikoekentällä 38 m imuoväli oli ollut liian suuri, sillä pintavettä oli keväällä pellolla useissa kohdissa. 1960-luvun alkuun mennessä erilaisilla ojaväleillä ei ollut havaittu satoeroja rinnemailla, ja ojaetäisyyksiä olisi voitu ehkä tuntuvastikin harventaa aiheuttamatta sanottavaa riskiä. Yhdistyksen ohjeistuksessa suurennettiin rinnemaiden ojaetäisyyttä mm. rinteiden jyrkkyyden mukaan.

Edellä mainittujen kenttäkokeiden lisäksi maataloushallituksen salaojatutkimukseen sisältyi 90 yksityiselle tilalle perustettua erillistä koaluetta, joilla vertailtiin Salaojitusyhdistyksen kyseessä olevalle maalajille suosittelemaa ojaetäisyyttä ja kyseistä ojaetäisyyttä kaksinkertaisena (15–16 m ja 30–32 m). Vuoteen 1962 mennessä kahdeksalta yksityiseltä koalueelta oli saatu niin selviä tuloksia suuremman ojavälin aiheuttamasta hai-



tasta huonosti vettäläpäisevillä mailla, että kenttähavainnot voitiin lopettaa ja ojaetäisyydelle annetut suositukset pysyivät ennallaan (Kuva 4). Yksityisille tiloille tehtyihin koealueisiin palattiin vielä 1980-luvulla, kun Salaojakeskus teki kyselyn salaojien toimivuudesta. Harvaa salaojituksista oli osittain jouduttu täydentämään, paitsi koealueilla, joiden maalaji vaihteli hietasaven ja hiekan välillä. Niillä ei pellon kuivumisessa eri ojaväleillä ollut havaittu selviä eroja. Maataloushallituksen aloittaman ojituskoe-toiminnan yhteydessä perustettiin myös toistakymmentä myyräojituskoealuetta, mutta myyräojitus ei ole Suomessa yleistynyt.

Turvepeltojen salaojaetäisyyksiä tutkittiin myös Suoviljelysyhdistyksen vuonna 1931 Tohmajärvelle perustamalla koekentällä. Koeasemalla verrattiin myös sala-ojitettujen ja avo-ojitettujen peltojen satoja. Koe osoitti, että parhaimmat heinäsadot saatiin suurimmalla ja parhaimmat kaurasadot taas pienimmällä ojaetäisyydellä. 1930-luvulla turvemaiden käytettiin 30–40 m ojaetäisyyttä ja vielä 1950- ja 1960-luvulla turvemaiden ojaetäisyydeksi riitti 20 m. Kun 1970-luvulla turvemaiden ojaetäisyyttä alkoi esiintyä toimimattomuutta, ojaetäisyyssuosituksia pienennettiin 10–15 metriin. Nykyään turvemaiden suositellaan vielä pienempiä ojaetäisyyksiä so. 8–14 m.

Ojituskustannusten pienentämiseksi järjestettiin Lapissa käytännön viljelyksille suursarkakuivatuskoealu-

Kuva 4. Ylhäällä olevassa kuvaajassa on esitetty ojavälitutkimusten ajoittuminen eri vuosikymmenille Suomessa ja alemmassa ojavälisuositukset eri aikoina. Ojaetäisyyden tutkiminen alkoi jo ennen Suomen Salaojitusyhdistyksen perustamista ja edelleenkin sitä tutkitaan. Yhdistyksen 1920-luvulla aloittamien ojaetäisyyssuositusten perusteella urpamaiden (happamat sulfaattimaat) suositusojaetäisyyttä kasvatettiin. Muuten salaojien etäisyydet ovat vuosien saatossa vähentyneet mm. raskaiden koneiden vaatiman entistä tehokkaamman kuivatuksen vuoksi. Painavat koneet myös tiivistävät maata ja huonontavat maan vedenläpäisevyyttä. Tämä puolestaan aiheuttaa tarpeen vielä taajemmalle ojitukselle.

eita Norjasta saadun esimerkin mukaisesti 1980-luvun lopussa. Suursaralla tarkoitetaan 30–50 metriä leveää kuperaksi muotoiltua sarkaa, jota täydennetään avo-ojituksella tai salaojituksella. Kokemukset suursarkaojituksesta olivat hyviä. Kuitenkin, jos turvekerroksen paksuus on pienempi kuin salaojasyvyys ja saran alin kohta ulottuu kivennäismaahan, tulee mm. kivennäismaan soveltuvuus maanparannusaineeksi varmistaa. Kokeen perusteella voitiin todeta suursarkaojituksen olleen kustannuksiltaan 20–30 % edullisempi tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna, jos viljelijä itse muotoili pellon.

Ojaetäisyyksien kenttäkokeet, alkoivat uudelleen vuonna 2006 Nummelan koekentällä, joka oli ollut yksi

maataloushallituksen 1950-luvulla perustamista ojaetäisyyskoekentistä. Salaojituksen tutkimusyhdistyksen vetämissä yhteistutkimushankkeissa ”Pellon vesitalouden optimointi” (PVO ja 2) sekä ”Toimivat salaojitukset kasvinviljelyssä” (TOSKA) tutkittiin samoilla Nummelan aitosavipelloilla täydennys- ja uusintaojituksen satovaihtuksia sekä ravinteiden ja kiintoaineen huuhtoutumisen kulkeutumisreittejä. Kokeessa oli neljä erilaista koelohkoa, joista kolme oli salaojitettu 1950-luvulla 16 m ja yksi 32 m ojavälillä. Vuonna 2008 yksi 16 m ojavälin lohkoista täydennysojitettiin puolittamalla sen ojaväli, ja toiselle lohkolle tehtiin uusintaojitus 6 m ojavälillä. Vuonna 2014 32 m ojavälillä ojitettu lohko täydennysojitettiin lisäämällä imuojien väliin kaksi uutta salaojaa, jolloin ojaetäisyys oli 1/3 alkuperäisestä. Neljäs lohko alkuperäisellä 16 m ojavälillä jätettiin verrannealueeksi. Täydennysojitus on nopeuttanut pohjavedenpinnan laskua ja näin tehnyt mahdolliseksi kevättyöt parhaimmillaan kahdesta kolmeen viikkoa aikaisemmin. Koealueen seuranta jatkuu edelleen.

Salaojasyvyys

Varhaisina aikoina Suomessa käytetty salaojasyvyys oli puu- ja kiviojissa 0,6 m:stä 0,8 m:iin, mutta tiiliputkiojituksen katsottiin kuitenkin vaativan syvempää ojitusta. Hallakorven mukaan Suomessa tarkoituksenmukainen salaojasyvyys oli 0,9 m:stä 1,2 m:iin riippuen maan laadusta ja ”kirsirajasta” eli roudan syvyydestä. Sokerijuurikkaan katsottiin kuitenkin vaativan vähintään 1,4 m syviä salaojia. Suomen Salaojitusyhdistyksen alkuaikoina normaali salaojitussyvyys oli 1,25 m. Yhdistyksen 1920-luvulla perustamissa ojaetäisyyskokeissa salaojasyvyys ei tutkittu, koska Keson mukaan ”jäätymis- ja juuritukkeumavaaran vuoksi on pakko käyttää melkoisen suurta syvyyttä, nimittäin 1,2 m Etelä-Suomessa ja 1,4 m Pohjois-Suomen savimaillaakin”. Kenttäkokeista saatujen tulosten perusteella urpasaville kuitenkin suositeltiin ojasyvyudeksi 1 m:ä. Salaojasyvyys määräytyikin pitkään roudan syvyyden mukaan (Kuva 5).

Putkien jäätyminen ja rikkoutuminen roudan vuoksi on askarruttanut salaojitusohjeiden laatijoita ja suunnittelijoita heti Suomen Salaojitusyhdistyksen perustamisesta alkaen. Yhdistyksen ensimmäisistä vuosikirjoista löytyy mainintoja roudan syvyytutkimuksista, joita jatkettiin ainakin vielä vuonna 1942 koko maassa. Suomen Salaojitusyhdistyksessä insinöörinä toiminut Taneli Juusela teki vertailututkimuksen maan vesipitoisuudesta, routaantumuksesta ja lämpötilasta Backaksen kartanon avo-ojitetuilla ja salaojitetuilla pelloilla vuosina 1939–1942. Tulokset on esitetty Juuselan vuonna 1945

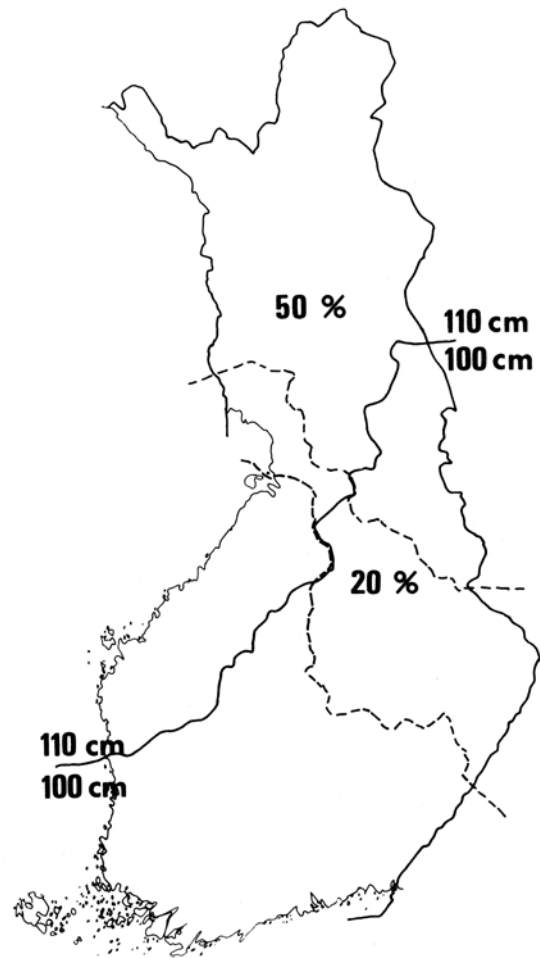
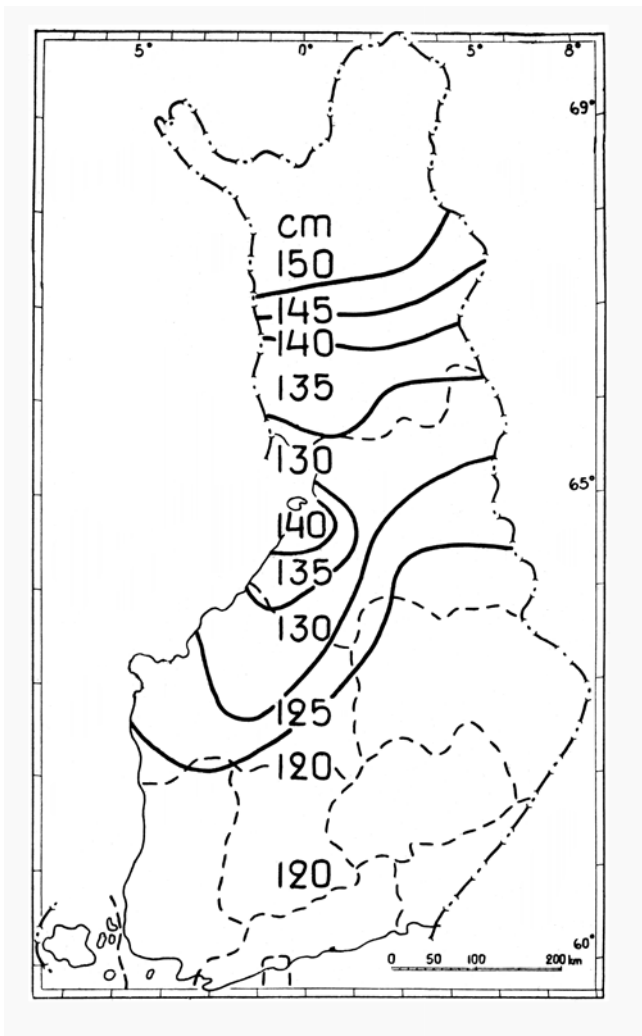
valmistuneessa väitöskirjassa, jossa on todettu mm. roudan syvyyden olleen pienempi salaojitetulla pellolla kuin avo-ojitetulla pellolla. Vuosina 1940–1943 tutkittiin myös roudan vaikutusta tiilisalaojaputken kestävyys- ja laboratoriossa että maataloushallituksen vuonna 1938 perustamalla Maasojan vesitaloudellisella koekentällä Vihdissä vuosina 1940–43. Routarajan yläpuolella (< 55 cm) olleissa putkissa ei havaittu murtolujuuden heikennemistä eikä rapautumista lukuun ottamatta ojien päissä olleita putkia.

Professori Kaitera kritisoi 1950-luvun alussa Suomessa käytettäviä salaojitusohjeistuksia, varsinkin ojasyvyyttä (ks. Kaitera). Hän perusti kritiikkinsä sekä käytännön kokemuksiin että tutkimustuloksiin, jotka osoittivat että roudan ja juurien aiheuttamien tukkeutumien aiheuttamia vaikeuksia oli Suomessa aiheettomasti liioiteltu. Suomessa käytetyt salaojasyvyydet olivat 20–30 syvempiä kuin Ruotsissa, ja matalampi salaojitus olisi kustannuksiltaan edullisempi ja helpommin koneellistettavissa. Jokioisten koekentän havainnot osoittivat, että oleellisia eroja viljelyn ja satojen kannalta ei eri ojasyvyyksillä ollut. Salaojitusyhdistyksen toimitusjohtaja Lauri Keso puolusti kuitenkin käytössä olleita syvempiä salaojia.

Salaojasyvyyttä alettiin tutkia 1950-luvulla maataloushallituksen vesiteknillisen tutkimustoimiston koekentillä ja yksityisille tiloille perustetuilla koealueilla. Tutkittavat syvyydet olivat 60, 90 ja 120 cm. Näiden syvyyksien lisäksi mukana oli hyvin matala ojitus (30 cm) Kotkanojalla ja Muhoksella 150 cm syvä ojitus. Yksityisille tiloille perustettuja salaojasyvyyskokeita oli 42. Lisäksi kaivettiin esiin vanhoja salaojituksia, joissa putket olivat maan kulumisen vuoksi lähellä maan pintaan. Vanhoissa salaojituksissa putket olivat säilyneet suurimmalta osin hyväkuntoisina eikä routa ei ollut rikkonut putkia, vaikka matalin ojitus oli ollut vain 39 cm syvyinen. Yksityisille tiloille tehtyjen kenttäkokeiden tulokset osoittivat matalat, vain 60 cm syvät, salaojat kuivatuksen kannalta riittämättömiksi. Sen sijaan vertailevat kokeet 90 cm:n ja 120 cm:n salaojasyvyyksillä eivät antaneet selviä eroja kummankaan paremmuudesta. Vuonna 1959 kokeista saatujen tulosten ja Ruotsista saatujen kokemusten perusteella ojasyvyyksien suosituksia muutettiin Etelä-Suomessa 120:stä 100 cm:iin ja Pohjois-Suomessa 140:stä 120 cm:iin. Nykyinen suositus on kivennäismailla 100 cm ja turvemilla 120 cm.

Salaojien mitoitus mallintamalla

Pohjaveden virtausta kuvaavat perusyhtälöt kehitettiin jo 1800-luvulla, ja nämä opit kulkeutuivat myös suomalaisten salaojittajien tietoon. Suomen Salaojitusyhdistyk-

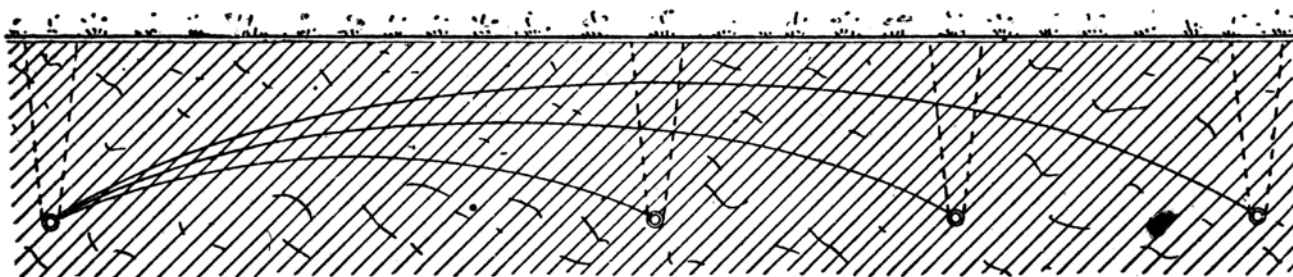


Kuva 5. Vasemmalla salaojien syvyydet eri osissa Suomea tiiviillä kivennäismaalla vuonna 1951 Salaojitusyhdistyksen (Juusela 1953) ja oikealla 1986 Salaojakeskuksen suositusten mukaan (Salaojakeskus 1986). Vuoden 1986 ohjeistuksessa prosenttiluvut merkitsevät mitoitusvaluman lisäystä lumisilla alueilla.

sen perustamisvuonna 1917 julkaistussa kirjassa ”Maan kuivatus, avo-ojitus, salaojitus, yhteiset kuivatustyöt” professori Hallakorpi selvitti myös salaojien mitoituksen teoriaa esittämällä kuvia mm. salaojasyvyyden ja etäisyyden vaikutuksesta kuivavaraan (Kuva 6). Kirjaan prof. Hallakorpi kokosi mm. Saksassa ja Liivinmaalla kehitettyjä ojitusyhtälöitä, joiden avulla salaojien etäisyydet voidaan laskea maan ominaisuuksien perusteella. Tällaisia maan ominaisuuksia olivat mm. maan vedenjohtavuus ja hydroskooppisuus. Tämän lisäksi mitoituksessa otettiin huomioon maalaji sekä maan rauta- ja kalkkipitoisuus.

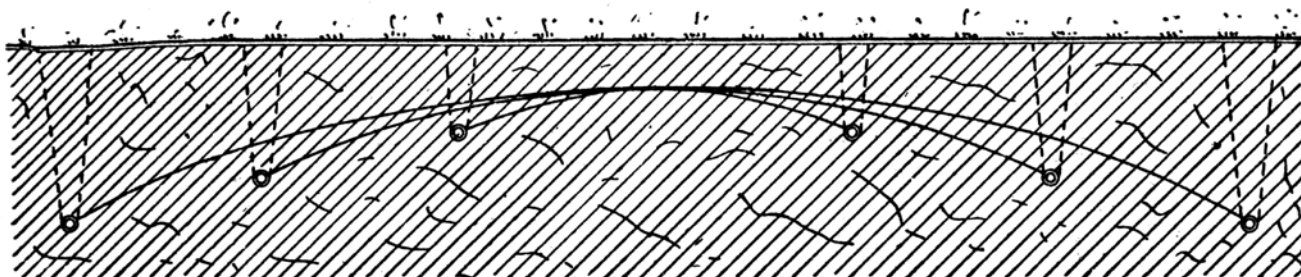
Veden virtaukseen perustuvia salaojitusyhtälöitä oja-
välien ja etäisyyksien määrittämiseen kehitettiin 1930- ja 1940-luvulla mm. Hollannissa ja Yhdysvalloissa, jonka

jälkeen ne ovat olleet laajasti käytössä, ja ne löytyvät sekä suomalaisesta että kansainvälisestä kirjallisuudesta, mm. kirjasta Maan vesi- ja ravinnetalous ja FAO:n oppaista. Yhtälöitä ei kuitenkaan ole käytetty käytännön salaojitusten suunnittelussa Suomessa, mutta yhtälöiden soveltuvuutta suomalaisille maalajeille tutkittiin 1980-luvulla Teknillisessä korkeakoulussa. Tutkimuksessa mitattiin hieta-, hiesu-, savi- ja turvepeltojen vedenjohtavuutta, jota käytettiin salaojayhtälöissä ojaetäisyyksien laskemiseksi kullekin pellolle. Vedenjohtavuus oli määritetty maanäyteliერიöistä, jotka edustivat maamatriisin vedenjohtavuutta. Peltomittakaavassa maassa olevien halkeamien vaikutus pellon kuivatukseen jäi tutkimuksessa tästä syystä huomioon ottamatta. Ojitusyhtälöitä käytettäessä saatiin hiesu- ja hietapelloille sa-



Kuva 83.

(S. H.)



maa suuruusluokkaa olevat ojaetäisyydet kuin millä ne olivat ojitetut, mutta savimaalle lasketut etäisyydet olivat vain noin yksi neljäsosa kyseisen savipellon ojaetäisyydestä. Tulos kuvaa hyvin sitä, että makrohuokosten ja maassa esiintyvien halkeamien vaikutus veden kulkureitteihin on savimaalla merkittävä, ja se tulee ottaa huomioon mitoituksessa.

Salaojien mitoituksessa siirryttiin uuteen aikaan tietokoneiden laskentakapasiteetin kehittyessä, niin että veden virtausta maassa pystyttiin mallintamaan simuloinnilla. Yhdysvalloissa kehitettiin 1970-luvun loppupuolella DRAINMOD -malli, jonka avulla voidaan laskea pellon vesitaseeseen perustuen ojaetäisyyden ja syvyyden vaikutus kuivavaraan ja satoon usean vuoden säähavaintoja tai ennusteita käyttäen. Suomen olosuhteissa DRAINMOD -mallin käyttöä rajoitti mm. talviolosuhteiden puuttuminen simulointimallista, sillä malli ei ottanut huomioon lumen kertymistä, sulamista eikä myöskään roudan vaikutusta valunnan muodostumiseen. Suomessa mallin laskentaa kehitettiin 1990-luvulla niin, että siihen lisättiin talven kuvaus, ja tälle DRAINMOD-mallin versiolle annettiin nimeksi FINNMOD.

Vuonna 1982 Suomessa kehitettiin simulointimalli, joka kuvasi veden liikkumista yksiulotteisessa maaprofiilissa. Mallinnus jatkui ja vuonna 1988 salaojamallinnus nousi Suomessa korkealle kansainväliselle tasolle, kun tohtori Tuomo Karvonen kehitti väitöskirjatyössään

Kuva 6. Ojaetäisyyden ja syvyyden vaikutus kuivavaraan esitettiin jo vuonna 1917 Hallakorven julkaisemassa kirjassa "Maan kuivatus".

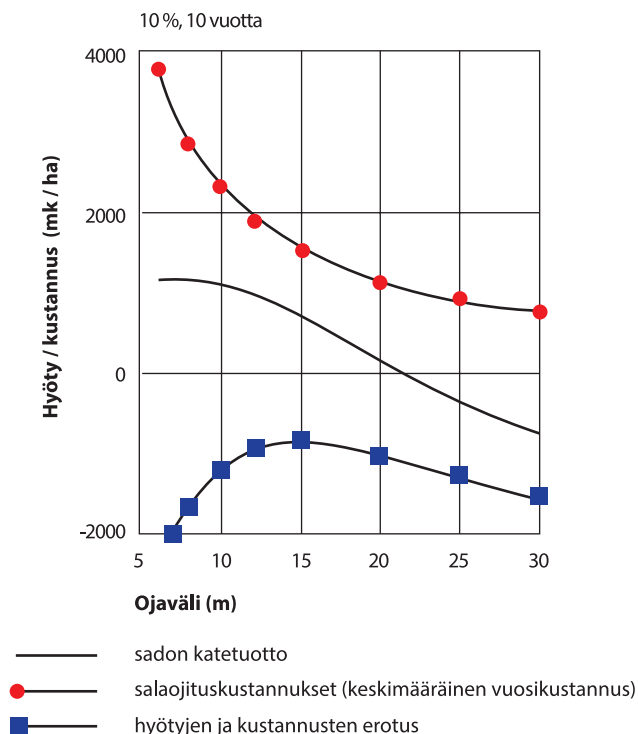
laskentamallin, jonka avulla voitiin arvioida kuivatuksen vaikutus pellon satotasoon. Mallilla voitiin laskea kuivatuksen hyötyjä rahamääräisesti ottaen huomioon korkotaso ja takaisinmaksuaika. Sadonmuodostuksessa ojaetäisyyden pienentäminen aikaistaa pellolle pääsyä, joka näkyy satotasossa, mutta merkitsee suurempia kustannuksia (Kuva 7). Mallin lähtötietoina käytettiin mm. Maasojan vesitaloudellisen koekentän ja Backaksen kartanon salaojituskokeiden havaintoja. Karvosen malliin oli sisällytetty myös pohjoiset talviolosuhteet; sadanta lumena, routa ja sulanta. Yhdysvalloissa kehitettyyn DRAINMOD-malliin liitettiin talvi mukaan Karvosen kehitystyön jälkeen. Myös Maatalouden tutkimuskeskuksessa kehitettiin 1980-luvun lopussa mallinnusta savipellon salaojituksen vaikutuksista pohjavedenpinnan korkeuteen. Tutkimuksen "Salaojien toimivuus savimaassa" laskelmat osoittivat, mm. että kaivannon täyttäminen hyvin läpäisevällä materiaalilla vähentäisi pintaveden kerääntymistä pellolle. Ympärysaineen tehtävänä on suodatinominaisuuksien lisäksi lisätä salaojaputken vedenottookykyä. Tähän perustuvia mallilaskelmia tehtiin Teknillisessä

korkeakoulussa 1980-luvun lopussa. Laskelmien mukaan ojaväliä voitiin suurentaa, kun käytettiin hyvin vettäläpäisevää suodatinta. Esimerkiksi sorastuksen korvaaminen kookoskuitupäällysteisellä salaojaputkella aiheuttaisi tarpeen metrin taajemmalle salaojitukselle.

1990-luvulla mallinnusta kehitettiin edelleen mm. typen ja fosforin huuhtoutumisen mallintamiseen (CROPWATERN ja CROPWATERNP). 1990-luvun lopussa kehitettiin myös happamille sulfaattimaille oma simulointimalli (HAPSU) säättöjituksen ja kalkituksen vedenlaatuvaikutusten arviointiin. Mallin käyttö jäi kuitenkin vähäiseksi, mutta sen käyttöönotto uudelleen ja kehitystyö ovat alkamassa.

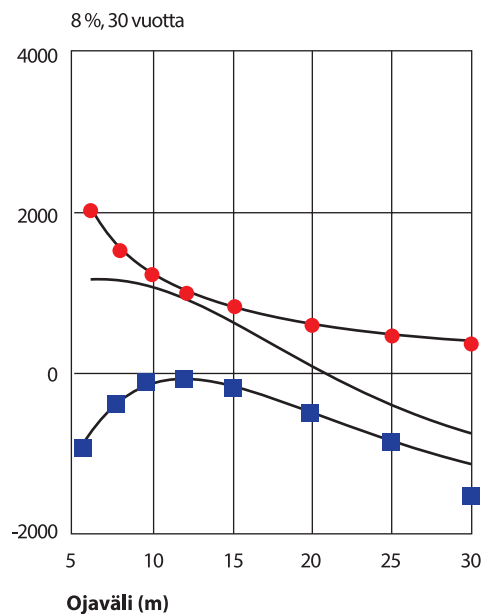
Suomessa salaojituksen mallinnus on pysynyt kansainvälisesti korkeatasoisena. Peltomaan suuret hyvin vettä johtavat huokokset ja pienet maamatriisin huokokset otettiin molemmat huomioon vuonna 2011 valmistuneessa FLUSH-mallissa, jonka tohtori Lassi Warstan kehitti Aalto-yliopistoon tekemässä väitöskirjatyössään (Kuva 8).

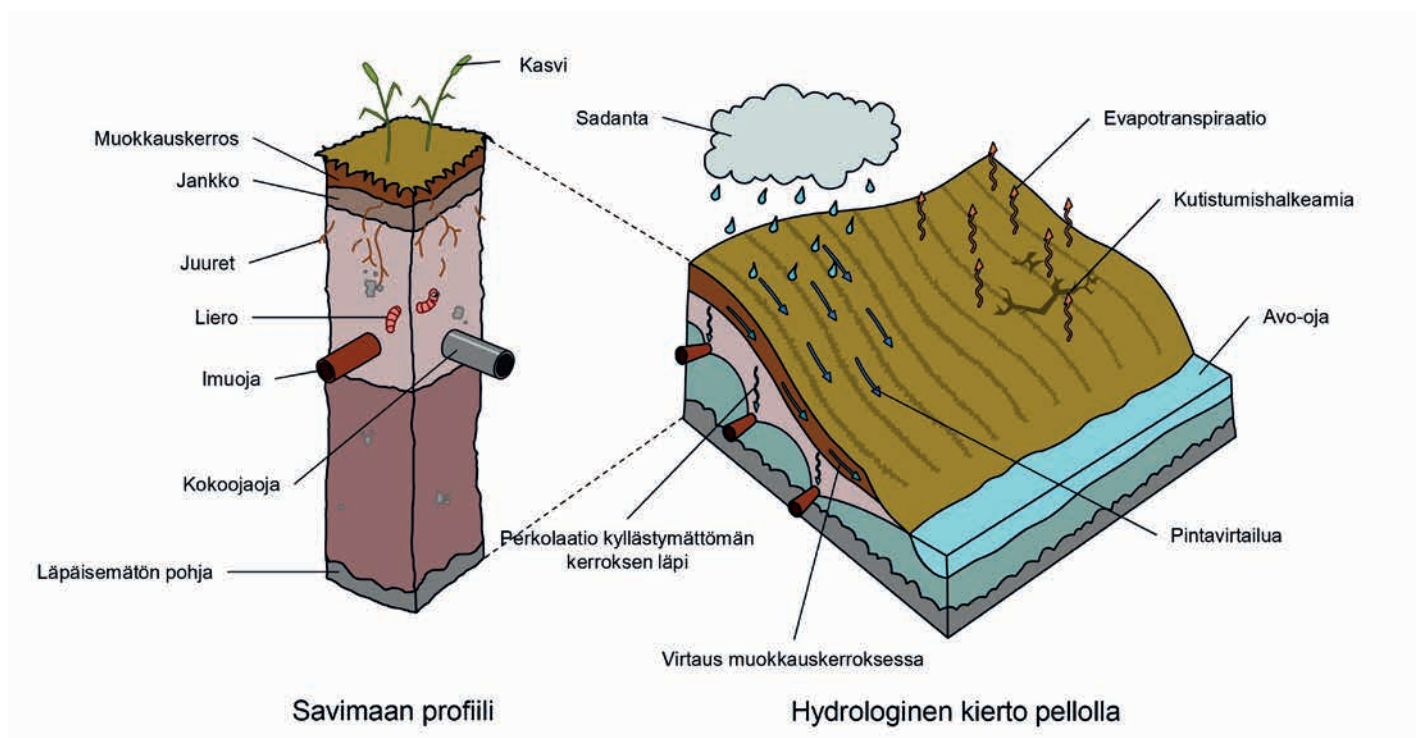
Kuva 7. Ojavälin vaikutus sadon katetuottoon, keskimääräisiin salaojituksen vuosikustannuksiin ja viljelijän hyötyyn vuonna 1988 (Karvonen 1988).



Mallilla voidaan simuloida veden kolmiulotteista virtausta peltomittakaavassa, ja malli ottaa huomioon veden virtauksen muuttumisen maan kuivuessa ja kostuessa. Mallia on kehitetty edelleen veden mukana kulkeutuvan eroosioaineksen mallinnukseen ja myös laskemaan typen kulkeutumista ja virtauksen aikana tapahtuvia muutoksia typen kemiallisissa muodoissa.

Karvosen väitöstyössään kehittämää mallia olisi voitu käyttää apuna salaojituksen suunnittelussa jo 1990-luvulla, mutta sen käyttöä käytännön ojituksiin Suomessa rajoitti eniten mallinnukseen tarvittavien lähtötietojen hankkimisen kustannukset, mm. maan vedenläpäisevyyden mittaaminen. Suomessa peltolohkot ovat pinta-alaltaan pieniä toisin kuin esimerkiksi USA:ssa, jossa lähtötietojen mittaaminen on kustannustehokasta myös käytännön viljelyksillä suurten ja tasalaatuisten pelto-kuvioiden vuoksi. Suomessa todellisessa suunnittelutilanteessa Salaojakeskuksen tuolloin käyttämä pelkästään maalajiluokitukseen perustuva mitoitusmenetelmä oli riittävän kustannustehokas tapa valita ojien välinen etäisyys pellolle. Kuivatusyhtälöt ovat kuitenkin käytökelpoisia vertailtaessa eri kuivatusmenetelmien keskinäistä paremmuutta ja tarkistettaessa suunnitteluperusteita. CROPWATERN -mallin avulla onkin laskettu mm.





Kuva 8. FLUSH-mallilla voidaan simuloida veden virtausta pellolla kolmiulotteisesti (Warsta 2011). Mallin avulla voidaan laskea eri valuntakomponenttien osuus kokonaisvalunnasta, ja mallinnuksella on huomattu esimerkiksi, että eräällä savipellolla pohjavesivalunnan osuus oli suurempi kuin aiemmin oletettiin.

säätösalaajituksen vaikutus pellon typpikuormitukseen ja CROPWATERNP -mallilla eri ojaetäisyyksien vaikutus typpien ja fosforin huuhtoutumiseen pelloilta.

Savimaat ovat olleet mallinnuksen kannalta hankalia, mutta Aalto-yliopistossa kehitetyn FLUSH-mallin on todettu toimivan hyvin suomalaisilla savipelloilla, koska se ottaa huomioon myös pellon makrohuokokset. Mallilla voidaan simuloida esimerkiksi pohjavedenpinnan todennäköisiä syvyyksiä keväällä erilaisilla salaajetäisyyksillä, syvyyksillä tai kaivannon täytöillä. Malli soveltuu hyvin ojitusten vaikutusten arviointiin ja salaajitusten suunnitteluperusteiden laadintaan. Mallilla voidaan laskea maaperän ominaisuuksien, kuten makrohuokosten määrän ja maan hydraulisten ominaisuuksien perusteella ojavälin ja kaivannon täytön vaikutuksia pellon salaaja-, pintakerros- ja pohjavesivaluntaan, valuntasuhteisiin sekä pohjavedenpinnan korkeuteen. Suomalaisten vilje-

lykasvien biomassan kertymistä on mallinnettu Helsingin yliopistossa ja aiheeseen liittyvä väitöskirja valmistui vuonna 2015. Yhdistämällä pellon vesitalous- ja kasvu- mallit voitaisiin tulevaisuudessa mallintaa sadonmuodostuksen ja ympäristötekijöiden kannalta viljelijälle ja yhteiskunnalle kannattavin salaajitustapa erilaisissa sääolosuhteissa.

Salaojan kaivutyö

Salaojakaivannon pohjan tasaisuus ja putkien asennustarkkuus ovat olennaisia salaajien toimivuudelle. Salaajitukset kaivettiin pääsääntöisesti lapiolla 1950-luvulle asti ja tiiliputket ladottiin käsin kaivannon pohjalle. Jo Keson laatimissa salaajakriteereissä 1920-luvulla vaadittiin tiiliputkisalaajille 0,3 %:n ja risuriukuojille 0,2 %:n minimikaltevuus, joka pysyy samana tai kasvaa ojaostossa alaspäin mentäessä, jotta myös vedennopeus kasvaisi ja ojat olisivat näin itsepuhdistuvia. Asennussyvyydelle ja kaltevuuden vaihtelulle määrättiin varsin tiukat rajat, ja tämän lisäksi mitoituksessa käytettiin ns. varmuuskerrointa, joka varmisti ojituksen toimivuuden pienillä syvyyden ja kallistuksen vaihtelevuudella. Asennustyön tuloksen arviointi vaadittiin valtion tukemissa salaajituksissa. Tällöin kaivannon pohjan tasaisuuden ja kalte-

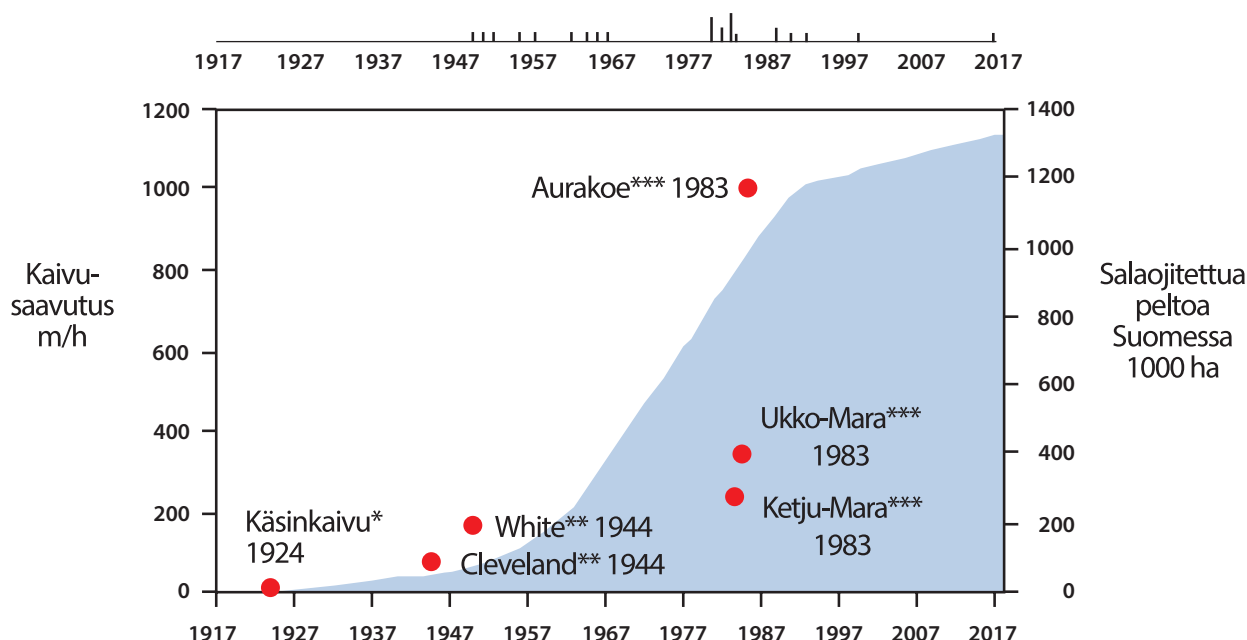
vuoden tarkistusmittaukset tehtiin ennen putken laskua. Ojan pohjan tasaisuus tarkistettiin kaatamalla vettä kaivantoon, ja ojan kaltevuus määritettiin ajokepin ja tähtyssihtien avulla.

Koska salaojien lapiokaivu oli hidasta ja työvoimaa vaativaa, niin Salaojitusyhdistys tuki mm. kevyen kaivavan salaojankoneen kehittämistyötä 1950-luvulla, jotta salaojituksia voitaisiin tehdä nopeammin ja salaojitus leviäisi laajalle. Konekaivuun tuli kuitenkin täyttää samat kaivu- ja asennustarkkuuden laatuvaatimukset kuin lapiokaivunkin. Putkenlaskun koneellistuttua ja muoviputkeen siirryttäessä asennustarkkuutta oli vielä mahdollista mitata asennuksen jälkeen avoimesta kaivannosta. Kun ensimmäiset aurakoneet tulivat Suomeen 1980-luvun alussa, asennustarkkuuden mittaamiseen tarvittiin uudenlainen reaaliaikainen mittaamenetelmä, koska aurakoneen tekemä kaivanto sulkeutuu auran perässä.

Kuva 9. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty salaojakonetutkimusten ajoittuminen eri vuosikymmenille Suomessa sekä kaivusaavutukset käsin ja eri konetyypeillä. Vuonna 1924 julkaistujen taulukoiden mukaan yhden metrin imuojan kaivamiseen lapiolla 1 metrin syvyyteen kului 5 tuntia kuivahtaneella savella ja savihiesulla. Yhden hehtaariin imuojan kaivamiseen 14 metrin ojavälillä ja 1 metrin syvyyteen lapiokaivuna kului siis yli 120 tuntia. Saman ojamäärän pelkkään kaivamiseen olisi ketjukoneella kulunut 2 ja puoli tuntia ja aurakoneella noin puoli tuntia (*Keso 1924, **Aarrevaara 1914, ***Peltola ja muut 1983, Olkinuora ja muut 1983)

Tästä syystä Salaojakeskus suhtautuikin aurakoneen käyttöön ensin varauksellisesti ja teki aloitteen asian tutkimiseksi. Teknillisessä korkeakoulussa vuonna 1982 tehdyn kirjallisuusselvityksen mukaan aurasalaojien kuitusteho oli samanlainen kuin kaivavalla tehdyn ojituksen hiekkamaissa, mutta hienorakeisissa maissa huompi. Tutkimus jatkui salaojitustyömaalla kaivannon pohjan tasaisuuden mittauksella, jossa osoittautui, että yli puolet tutkituista kohteista ei täyttänyt salaojan asennustarkkuudelle asetettuja vaatimuksia. Asennustarkkuuden tutkimista jatkettiin Valtion maatalouskoneiden tutkimuslaitoksessa (VAKOLA). Tutkimuksessa todettiin laser-ohjatulla aurakoneella kaivetun kaivannon tarkkuuden olevan parempi kuin sihtien perusteella kaivavalla koneella tehdyn kaivannon. Tutkimusten tuloksena todettiin kuljettajan huolellisuuden vaikuttavan merkittävästi työn laatuun. Työnaikaisen asennustarkkuuden kontrollointiin kehitettiin Helsingin yliopistossa mittaamenetelmä. Nykyisin koneenkuljettaja voi seurata ajantasaisesti sekä asennussyvyyttä piirturilta että sorastusta videokameran välityksellä.

Vaikka tutkimustulokset aurakoneojituksen teknisestä laadusta olivat hyviä, on aurakoneen ja kaivavan koneen paremmuudesta salaojien toimivuuden kannalta keskusteltu sitten aurakoneiden saapumisen jälkeen. Aiheeseen palattiin uudelleen vuonna 2014 alkaneessa TOSKA -tutkimushankkeessa. Seuraamalla pellon pohja-



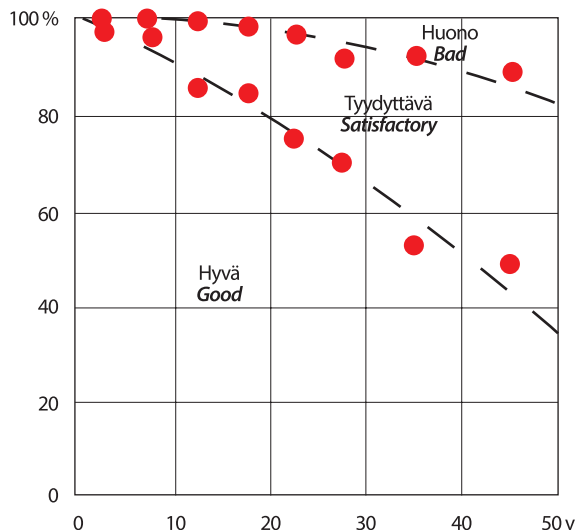
vedenkorkeutta ja salaojavaluntaa tutkittiin, vaikuttaako salaojakonetyyppi salaojakaivannon toimivuuteen hieta- ja hiesumaalla. Saatujen tulosten mukaan konetyyppi ei vaikuta salaojituksen toimivuuteen merkittävästi, jos ojitukset tehdään huolellisesti ja hyvissä olosuhteissa.

Salaojien kaivutyöhön kuluvat tuntimäärät eri maala-jeilla, kaivannon syvyydellä ja leveydellä esitettiin jo esimerkiksi Keson vuonna 1924 ilmestyneessä kirjassa ”Salaojituksen merkitys maanviljelyksessä ja salaojitusyöt” (Kuva 9). Salaojien konekaivuun siirtymisen jälkeen, alettiin tutkia kaivutyöhön ja sen eri osa-alueisiin kulu-vaa aikaa työn tehokkuuden parantamiseksi. 1980-luvun alussa Työtehoseurassa tehtiin useita tutkimuksia työn-menekistä salaojitusten kaivamisesta kaivavalla koneel-la. Myös sorastuksen vaikutusta salaojan asennustark-kuuteen tutkittiin turvepelloilla. Sorastuksen ei todettu vaikuttavan putken tasoon, eikä myöskään jo asennetun putken päällä sorakuormalla ajamisen. Uusimpana kehi-tyssuuntana salaojatyön rationalisoimiseksi on salaoja-karttojen piirtäminen kolmessa dimensiossa, ja niiden siirtäminen suoraan salaojakoneeseen, jolloin salaojien paalutusta ei enää tarvittaisi.

Mitä salaojien materiaaliksi?

Suomessa varhaisimmat salaojat tehtiin kivistä ja risuis-ta, mutta salaojitus alkoi yleistyä laajemmin, kun tiiliput-kia alkoi olla saatavilla. Salaojaputkipuristin keksittiin Englannissa vuonna 1844. Puristimella voitiin valmistaa huokeita kestäviä salaojitukseseen sopivia putkia, ja Eng-lannissa salaojitettiin vuosina 1844–1880 23 % (1,5 milj. ha) silloisesta peltopinta-alasta. Salaojituksen nope-aan edistymiseen Englannissa vaikutti tuolloin myös val-tion aloittamat avustukset salaojituksiin. Uudet menetel-mät salaojittamiseen tulivat varsin pian Suomeen, sillä jo vuonna 1855 Mustialan maanviljelysopistolle hankittiin ensimmäinen salaojaputkipuristin. Vaikka esimerkiksi vuonna 1905 perustettu Keskusosakeliike Hankkija aloi-tti salaojaputkien välittämisen jo vuonna 1915, tiiliputkis-ta oli kuitenkin pulaa aina 1960-luvulle asti. Tästä syys-tä tiiliputkia korvaavia vaihtoehtoja tutkittiin. Tutkimus betoniputkien soveltuvuudesta 1920-luvulla osoitti, että ne rapautuvat 5–10 vuodessa Suomen maaperän humus-happojen ja vesien vapaan aggressiivisen hiilidioksidin vuoksi.

Risuojien käyttöäksi oli todettu ainakin 30 vuotta (Kuva 10). Puuputkia ja lautalaatikkosalaojituksia käyte-ttiin turvemailla ja vedenalaisiksi suunnitelluissa ojituk-sissa. Lautaputket olivat turvemailla käytössä 1970-lu-vun alkuun, jolloin muoviputki hyväksyttiin eloperäisten maiden salaojitukseseen. Laudoista tehtyjä laatikkoputkia



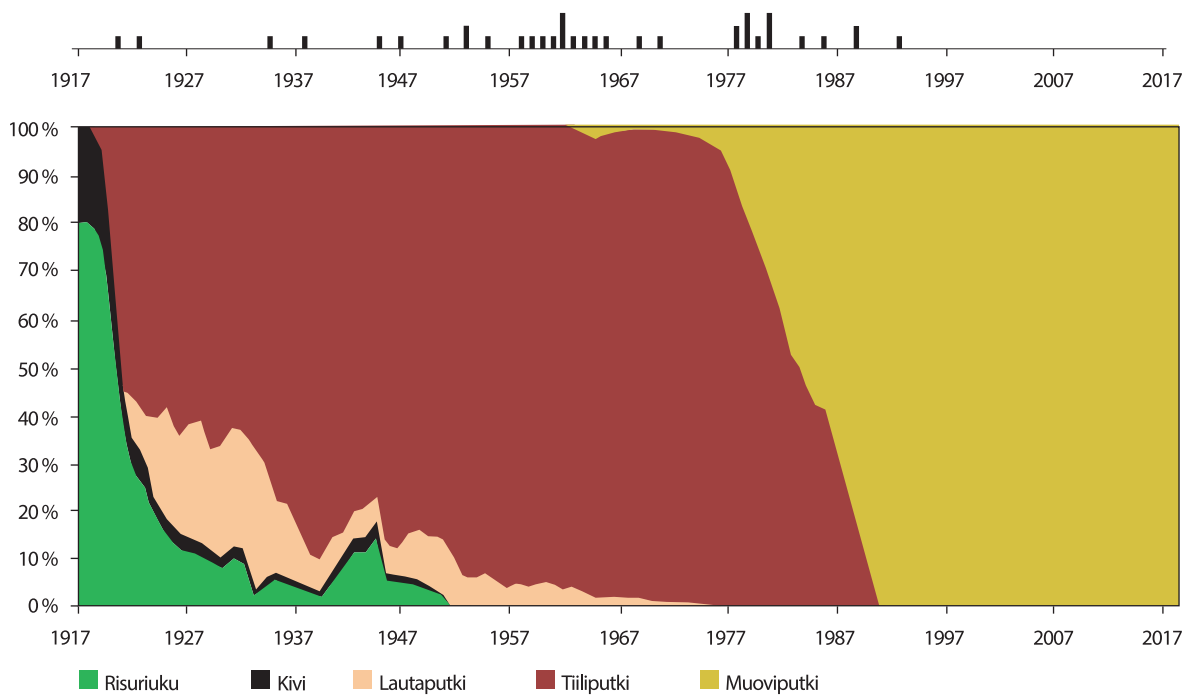
Kuva 10. Risuojituksen kunto eri-ikäisissä ojituksissa vuonna 1951 (Juusela 1953).

ja kairattuja pyöreitä puuputkia tutkittiin 1920, 1930 ja 1950-luvulla, jolloin tutkimuksen kohteena olivat niiden vedenjohtokyky ja paineenkestävyys. Tutkimusten pe-rusteella niille määritettiin mitoitusnomogrammit.

Suomen Salaojitusyhdistys edisti tiiliputkien käyt-töä risuriukuojitusten sijaan niiden kestävyys ja hel-pomman asentamisen vuoksi. Tiiliputkien saatavuuden helpottuessa tiiliputkesta tulikin yleisin putkimateriaali (Kuva 11). Sen vuoksi Salaojitusyhdistys oli kiinnostu-nut valmistettavien putkien laadusta. Yhdistys tarkasti vuonna 1957 seitsemän tiiliputkitehtaan myyntivarastot ja antoi lausunnon niissä olleista putkista. Putket luo-kiteltiin laatunsa mukaan viiteen kategoriaan. Yhdistyk-sen hallitus päätti suositella salaojittajille tehtaita, joiden putkista korkeintaan 25 % kuului kahteen huonoimpaan ryhmään ”heikkolaatuiset” ja ”käyttökelvottomat” sekä huonoimpaan enintään 5 %. Lisäksi tehtaille päätettiin ilmoittaa, ettei huonoimpaan ryhmään kuuluvia putkia vastedes saisi esiintyä maanviljelijöille myytävässä va-rastossa lainkaan eikä niitä saisi heille myydä.

Muoviputkien käyttö salaojituksessa alkoi USA:ssa si-leillä PE-putkilla vuonna 1948 ja Hollannissa pian sen jälkeen. Muoviputkia kehitettiin edelleen ja vuonna 1958 asennettiin Hollannissa ensimmäiset aallotetut PVC-put-ket. Uutuudet tulivat jälleen varsin pian Suomeen. Sa-laojitusyhdistyksen kanta näihin uutuuksiin oli varovai-nen, ja se vaati materiaalien testaamista ennen niiden hyväksymistä käyttöön.

Ensin tutkittiin muovinauhasalaojitusta. Vuonna 1959



valmistuneessa tutkimuksessa se ei kuitenkaan osoittautunut käyttökelpoiseksi salaojitukseen. Sileät muoviputket tulivat markkinoille 1960-alussa ja sen jälkeen aallotetut putket. Tällöin tutkimus kohdistui muoviputkien siivilä- ja saumarakojen vedenotto- ja vedenjohtokykyyn sekä erilaisten muovien lujuusominaisuuksiin. Saatujen tulosten perusteella PVC-putket todettiin kestävämmiksi kuin PE- ja seosputket. Putkien lujuustutkimusten tulosten perusteella laskettiin vaadittavat seinämäpaksuudet muoviputkille, ja vuonna 1968 laadittiin PVC-putkia koskevat normit. Salaojitusyhdistys suhtautui kuitenkin muoviputkeen varauksellisesti, koska ei ollut tietoa sen käyttäjästä. Ensin arveltiin sen olevan sama kuin lautaputkilla (30 vuotta), ja normien valmistuttua sitä suositeltiin vain turvemaille. Valtion rahoitus muoviputkiojituksille hyväksyttiin turvemaille vuonna 1971. Teknisessä korkeakoulussa vuosina 1977–78 tehdyt laboratoriokokeet osoittivat muoviputkien vedenotto- ja vedenjohtokykyyn tiiliputkea suuremmaksi, mutta sen sijaan vedenjohtokykyyn puoli-toista kertaa pienemmäksi kuin tiiliputken. Näiden tutkimusten perusteella päädyttiin ns. nimellismittaperiaatteeseen, jonka mukaan muoviputkien kokoa kasvatettiin niin, että niiden vedenjohtokyky oli sama kuin tiiliputkella, jolla oli sama sisämitta. Kivennäismaille muoviputki sai Salaojakeskuksen hyväksynnän vasta 1977. Muoviteollisuus suostui kasvattamaan putkikokoaan vuonna

Kuva 11. Salaojien materiaaleihin liittyvät tutkimukset (yläkuva), ja niiden vuosittaiset osuudet tehdyistä salaojituksista (alakuva). Tiiliputken soveltuvuus salaojien materiaaliksi oli todettu jo muualla, mutta Suomessa tarvittiin vielä tietoa sen roudankestävyydestä, jota tutkittiin sekä laboratoriossa että kentällä. Muoviputkien tullessa markkinoille putkimateriaalitutkimuksia tehtiin useita.

1980 niin, että nimellismittaperiaatetta voitiin käyttää. Nykyisin käytössä on vain aallotettuja muoviputkia.

Ympärysainetutkimus

Salaojatoiminnan varhaisina aikoina tiiliputkien saumakohdat peitettiin sammalilla ja ruohotuppailla. 1900-luvun alussa oli yleistä, että putken päälle pudotettiin kaidan seinämästä maata. Keso suositteli vuonna 1924 kirjassaan ”Salaojituksen merkitys maanviljelyksessä ja salaojatyöt” tiiliputkien suojaamiseksi soraa, koska se lisää putkien vedenotto- ja vedenjohtokykyä. Hiesu-, hieta- ja hiekka- mailla sora katsottiinkin välttämättömäksi, mutta muilla maalajeilla sen asemasta voitiin käyttää ruokamultaa tai mureista savea, jos soraa ei ollut käytettävissä. Suomen Salaojitusyhdistys selvitti erilaisten salaojien täyttöaineiden, kuten olkien, turpeen ja ruokamullan käyttöä ympärysaineena kenttäkokein ja laboratoriossa 1920- ja 30-luvun lopussa. Vuonna 1951 turvepehkuja ja ruoka-

multaa kehoitettiin välttämään salaojien suojausaineena.

Salaojasorana käytetyn ja siihen parhaiten sopivan soran rakeisuutta on selvitetty useaan otteeseen Salaojitusyhdistyksen toimesta 1950-luvulta alkaen. Toimitusjohtaja Keson vuonna 1951 laatimissa ohjeissa salaojasoran raekoon tuli olla 0,5–3,0 mm ja mieluummin eri suuruuksia yhtä paljon, eli soran tuli olla suhteistunutta. Raekojakauma muuttui laajemmaksi ja karkeammaksi (0,2–20 mm) VTT:llä 1970-luvun alussa tehdyn tutkimuksen perusteella. 1980-luvulla esitettiin, että raekokoa voitaisiin siirtää vielä karkeampaan suuntaan putkien vedenottokyvyn lisäämiseksi. Salaojasoran raekoostumuksen tutkimukseen on palattu viimeisimmissä salaojaputkien liettymistä ja tukoksia selvittävässä TOSKA-hankkeen tutkimuksessa. Uusimpien tulosten mukaan ympärysaineen suodatintarve on suuri aiempia suosituksia hienojakoisemmissa maissa.

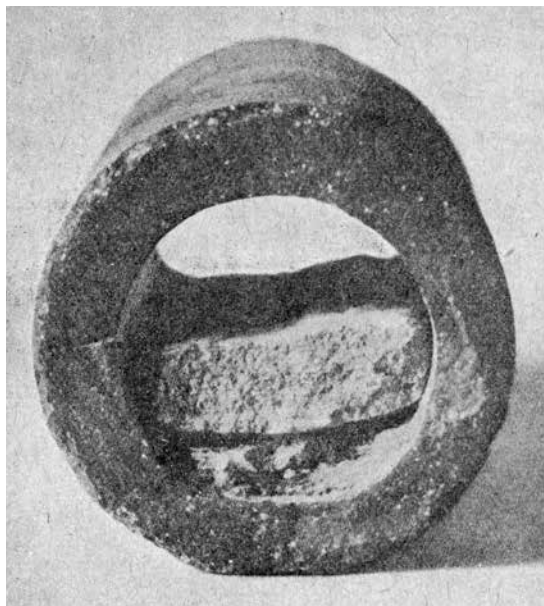
Lasi- ja kivivillan sekä sepelin soveltuvuutta salaojien ympärysaineeksi tutkittiin 1960-luvulla, mutta niitä ei hyväksytty salaojien ympärysaineeksi. Muoviputkien yleistyttyä salaojat oli mahdollista ympäröidä suodatinaineella tai -kankaalla ennen putken maahan laskua. Kookoskuidulla ympäröity salaojaputki tuli markkinoil-

le 1981 yhdessä aurakoneiden kanssa. Kookoskuituputkea ja sahanpurulla ympäröityjä salaojaputkia tutkittiin 1988 Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratoriossa. Myös jo tehtyjen ojitusten putkia kaivettiin esiin esipäällysteiden maassa hajoamisen selvittämiseksi. Merkittävää hajoamista Suomen happamassa maaperässä ei todettu, ja kookoskuitua voitiin suositella salaojien ympärysaineeksi muilla kuin herkimmin liettyvillä mailla, kuten hiesulla ja hienolla hiedalla. Valtion salaojatukia oli tämän jälkeen mahdollista saada myös kookoskuitua ja sahanpurua ympärysaineena käytettäviin salaojituksiin.

Ympärysaineen tehtävänä on suodatinominaisuuksien lisäksi lisätä salaojaputken vedenottokykyä. Tähän perustuvia mallilaskelmia kehiteltiin Teknillisessä korkeakoulussa 1980-luvun lopussa (katso mallinnus).

Esipäällysteiden toimivuuden tutkimiseen on palattu taas viime vuosina. Vuonna 2006 perustettiin koe ohuen suodatinkankaan (Fibrella) soveltuvuudesta salaojien ympärysaineeksi (PVO-hanke). Yleensä Salaojayhdistys on edellyttänyt, että uudet menetelmät ja materiaalit on tutkimuksilla todettu täyttävän vähintään olemassa olevat kriteerit, mutta tämän ohuen suodatinkankaan kohdalla tehtiin poikkeus, sillä se hyväksyttiin käyttöön jo

a)



b)



Kuva 12. Salaojiin virtaava vesi kuljettaa mukanaan hienoaainesta, joka voi tukkia putken. Ympärysaineella pyritään parantamaan putken vedenottokykyä ja estämään hienoaaineksen pääsy putkeen. Eri suodatinmateriaalien kykyä estää hienoaaineksen pääsy putkeen on tutkittu mm. kaivamalla putkia esiin. Kuva a) putkeen kertyneessä maa-aineksessa näkyy kerroksellisuutta, ja vuonna 1924 arveltiin putken liettymisen syntyneen kahtena peräkkäisenä vuonna (Keso 1924), ja b) kookoskuidulla esipäällistettyyn putkeen on kerääntynyt sekä maa-ainesta että ruostetta, vaikka päällyste ei ole juurikaan hajonnut (Äijö ja muut 2017).

tutkimuksen alkuvaiheessa. Tutkimuksessa selvitettiin suodatinkankaan lisäksi myös kookoskuidun kestävyyttä putkien ympärysaineena käytännön viljelmillä. Kymmenen vuoden aikana suurimmassa osassa tutkituista kohteista sekä ohut suodatinkangas että kookos oli haurastunut tai hajonnut kokonaan. Kookoksen todettiin hajoavan hitaammin kuin ohuen suodatinkankaan (Kuva 12). Ympärysaineen hajoaminen ei kuitenkaan ollut kaikissa tutkituissa kohteissa syynä putkien tukkeutumiselle, vaan myös pellon maalajilla oli merkittävä vaikutus siihen.

Peltojen kuivatustila ja salaojien toimintahäiriöt

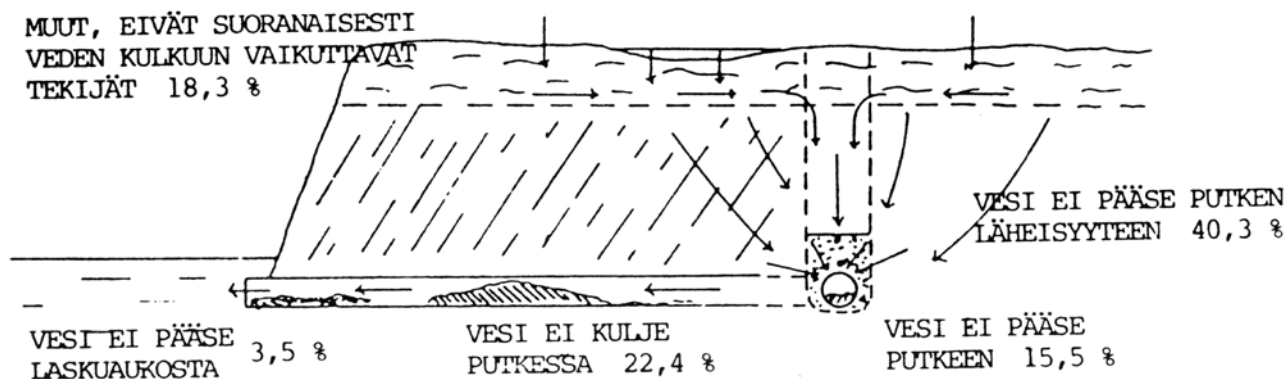
Koko Suomen peltojen kuivatustilaa eli paikalliskuivatuksen ja peruskuivatuksen tilaa yhdessä on selvitetty kahdessa inventointitutkimuksessa vuosina 1956 ja 1994. Juuselan ja Wäreen tutkimuksessa 1956 on johdannossa kerrottu historiallinen tausta peruskuivatuksen tarpeelle seuraavasti: ”Määräyksiä peltojen valtaojitusta koskevasta yhteistoiminnasta sisältyy Suomessa voimassa olleeseen lainsäädäntöön jo 1200-luvulta lähtien. Yhteisten valtaojien syvyyden oltua 1681 annettujen säädösten mukaan 60 cm osanottovelvollisuus ulotettiin vuonna 1868 75 cm:n syvyyteen, vuonna 1902 90 cm:n syvyyteen ja vuonna 1951 120 cm:n syvyyteen.” Vuoden 1956 inventointitutkimuksen tuloksena todettiin, että paikallisojituksessa sarkaojitus oli yleisin paikalliskuivatusmuoto; pelloista oli avo-ojissa 87,1 %, salaojitettuna 5,4 % ja ojattomana viljeltyä 7,5 % pelloista. Vuonna 1994 valmistuneessa ”Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla” (KUTI) -tutkimuksessa todettiin, että salaojitus oli yleisin paikalliskuivatusmuoto: pelloista oli salaojissa 52,4 %, avo-ojissa 29,5 % ja 18,1 % ojattomina. Peruskuivatuksen kunto oli myös kohentunut, sillä KUTI-tutkimuksessa todettiin valtaojien viimeisestä perkauksesta olleen kulunut keskimäärin vain 10 vuotta. Valtaojista oli vuonna 1956 välttävässä tai huonossa kunnossa 53 %, mutta 1994 vastaava luku oli 31 %. Kuitenkin yleisin syy salaojituksien toimimattomuudelle oli matala valtaoja (27 %). Suomen peltojen kuivatustilaa ei ole vuoden 1994 tutkimuksen jälkeen inventoitu, joten nykytilanne ei ole tiedossa.

Salaojituksen alkuajoista lähtien on selvitetty ojitusten toimivuutta ja ilmenneiden toimintahäiriöiden syitä, jotta samoja virheitä ei tehtäisi uudelleen ja jotta voitaisiin taata viljelijöille hyvä pellon kuivatus. Maataloushallituksen insinööriosaston vesiteknillinen tutkimustoimisto selvitti vuosina 1952–1954 1800-luvulla tehtyjen tii-

liputkisalaojitusten toimivuutta tutkimuksessa ”Vanhat salaojitukset Suomessa”. Tutkimusta valvoi tohtori Taneli Juusela. Kenttätutkimuksessa kaivettiin esille toistakymmentä vanhaa salaojaa. Kenttätutkimuksiin osallistuneen agronomi Reino Halosen muistiinpanoista selviää, että joissakin tapauksissa salaojaputkien paikalta on löytynyt vain punaista massaa, mihin lienee ollut syynä suolapitoinen saviaines putken valmistuksessa. Tutkimuksissa löytyi myös turvepellolle tehty ojitus, jossa tiiliputket olivat enää vain 20–30 cm:n syvyydessä pellon kulumisen vuoksi sekä myös moitteettomasti toimivia ojituksia, joissa vain puusta tehdyt laskuaukot olivat lahonneet. Laskuaukkojen paikat olivat löytäneet helposti pajukasvustoja paljastaessa niiden sijainnin. Tukkeutumia oli aiheuttanut mm. paju, joka oli työntynyt tiiliputkeen muutaman millin saumakohdasta ja täyttänyt salaojan usean metrin matkalta. Jokioisten Lintupajun pellolla toimintahäiriön oli aiheuttanut peltokortteen juuret, jotka olivat tukkineet putken. Tutkimuksessa osui kohdalle myös salaojitus urpamaalla (hapan sulfaattimaa), joka ei olisi tarvinnut ojitusta lainkaan.

Maataloushallitus teki myös kyselytutkimuksen salaojien tukkeutumista vuonna 1955. Tutkimuksen mukaan suurin osuus tukkeumista oli aiheutunut putken liettymisestä (51 %), toiseksi yleisin tukkeuman syy oli juurten aiheuttamat tukokset (24 %) ja kolmanneksi yleisin tukoksen syy oli ruoste (15 %). Tutkimuksia vedenalaisen salaojituksen vaikutuksesta ruostesaostuman muodostumiseen onkin tehty useaan otteeseen. 1950-luvulla tehdyissä tutkimuksissa todettiin, että rauta pysyi liukoisena ja saostui vasta valtaojassa päästessään siellä hapettumaan. Salaojakeskus tutki 1970-luvun loppupuolella vedenalaista salaojitusta uudelleen. Tulos oli sama; vedenalaisessa salaojituksessa ruostesaostumien muodostuminen hidastuu tai estyy kokonaan. Ruoste oli syynä 6 %:ssa selvitetystä toimintahäiriöstä KUTI-tutkimuksessa.

Salaojakeskus teki säännöllisesti vikatarkastuksia suunnittelemissaan salaojituksilla 1970- ja 1980-luvulla. Poikkeuksellisen sateisten kesien 1981 ja 1987 jälkeen tehtiin kyselytutkimukset ojitusten toimivuudesta. Tämän lisäksi toimimattomuuden syyt haluttiin selvittää perinpohjaisesti, ja Helsingin yliopistossa käynnistettiin useita tutkimuksia salaojien toimintahäiriöiden syistä. Esimerkiksi vuonna 1986 valmistuneessa Helsingin yliopiston maatalousteknologian osastolla tehdyssä tutkimuksessa selvitettiin 503 tilan ongelmallisia salaojituksia, tehtiin 92 kenttätutkimusta toimimattomilla pelloilla sekä käytiin läpi Salaojakeskuksen vikatarkastusraportit vuosilta 1981 ja 1982. Suurin osa (34 %) toimimattomista ojituksista oli huonosti läpäisevillä turvepelloilla ja lä-



Kuva 13. Salaojien toimintahäiriötutkimuksessa havaittiin yleisimmäksi syyksi salaojien toimimattomuudelle se, ettei vesi päässyt salaojaputken läheisyyteen ja toiseksi yleisin syy oli putken tukkeutuminen hienoaineksella (Puustinen ja Pehkonen 1986).

hes yhtä yleinen syy oli puutteellisesti tehty salaojitustyö (27 %). Toimintahäiriöt aiheutuivat veden virtauksen estymisestä eri tavoin (Kuva 13). Kivennäismailla täydennysojitus ja 10 metrin välein tehdyt sorasilmäkkeet olivat tehokkain tapa parantaa kuivatusta. Vuonna 2017 valmistuneessa TOSKA-hankkeessa selvitettiin erilaisten ympärysaineiden toimivuutta 30:llä eri puolilla Suomea sijaitsevalla pelloilla, joissa oli ollut märkyysongelmia. Näistä 12:ssa esiintyi putken tukkeutumista joko maa-aineksella tai ruostesaostumalla.

Maan tiivistyminen ja salaojien toiminnan parantaminen

Maatalouden koneellistuminen ja aiempaa raskaampien koneiden käytön huomattiin 1970-luvulla aiheuttavan peltomaan rakenteen muuttumista tiiviiksi ja vettä huonosti läpäiseväksi. Kun 1940-luvulla hevoskynäto kivennäismaalla alkoi vaikeutua vasta pohjaveden pinnan noustessa 25 cm syvyyteen maanpinnasta (vaikeutumisraja), niin 1970-luvun lopussa maatalouskoneilla tehtävien töiden vaikeutumisrajaksi saatiin kivennäismailla mailla 45 cm. Suojarannan 1983 tekemässä tutkimuksessa työnmenekki alkoi kasvaa, kun pohjaveden etäisyys maanpinnasta oli pienempi kuin 75 cm. 1980-luvun toimintahäiriötutkimuksissa (ks. edellinen kpl) yleisimmäksi syyksi salaojitusten vajaatoimivuuteen todettiinkin se, että vesi ei pääse ojien läheisyyteen eli pelto tai salaojakaivanto oli tiivistynyt huonosti vettäläpäiseväksi viljelytoimien tai märissä oloissa tehdyn ojituksen seurauksena.

Ruotsissa maan tiivistymiseen liittyviä kokeellisia tutkimuksia tehtiin 1960-luvun loppupuolella runsaasti. Suomessa Maatalouden tutkimuskeskus ja Vakola tutkivat koneiden käytön aiheuttamaan muokkauskerroksen tiivistymistä 1970-luvulla. Vuonna 1979 valmistui Teknillisessä korkeakoulussa tutkimus ”Tutkimus pellon tiivistymisen vaikutuksesta salaojituksen toimintaan”. Siinä maan tiivistymistä selvitettiin salaojitukseltaan eri-ikäisillä savipelloilla Loimaalla ja Somerolla. Peltoviljelyn todettiin pienentävän suurien huokosten määrää ja näin maan vedenjohtavuutta myös salaojakaivannon kohdalla. Vaikka salaojakaivanto johti hyvin vettä ojitusta seuraavana vuonna, niin viidessä vuodessa sen vedenjohtavuus oli pienentynyt huomattavasti. Tutkimuksen johtopäätöksenä todettiin mm. että märällä pellolla ajoa pitäisi välttää. Maan vedenläpäisevyyttä voidaan parantaa ja kuivatusta voidaan tehostaa mm. heinäkasvien viljelyllä ja jankkuroinnilla. Salaojituksen tehokkuutta voidaan parantaa lisäämällä salaojakaivannon vedenläpäisevyyttä sorasilmäkkeillä ja sorasaarroilla sekä muotoilemalla pelto johtamaan pintavedet pois pellolta. Myös MTT:n Jokioisilla vuonna 1983 valmistuneessa tutkimuksessa todettiin, että traktorilla ajo tiivistää eniten maakerroksia noin 25 cm syvyyteen asti, ja että maan ollessa märkää ajon tiivistävä vaikutus voi ulottua jopa pohjamaahan asti. Jokioisilla aloitettiin vuonna 1981 kenttäkokeet suurten akselipainojen aiheuttaman maan tiivistymisen syvyydestä, kestosta ja vaikutuksista maan kasvukuntoon savimaalla. Kuusi vuotta kestäneen tutkimuksen tuloksena todettiin kostean maan tiivistyneen

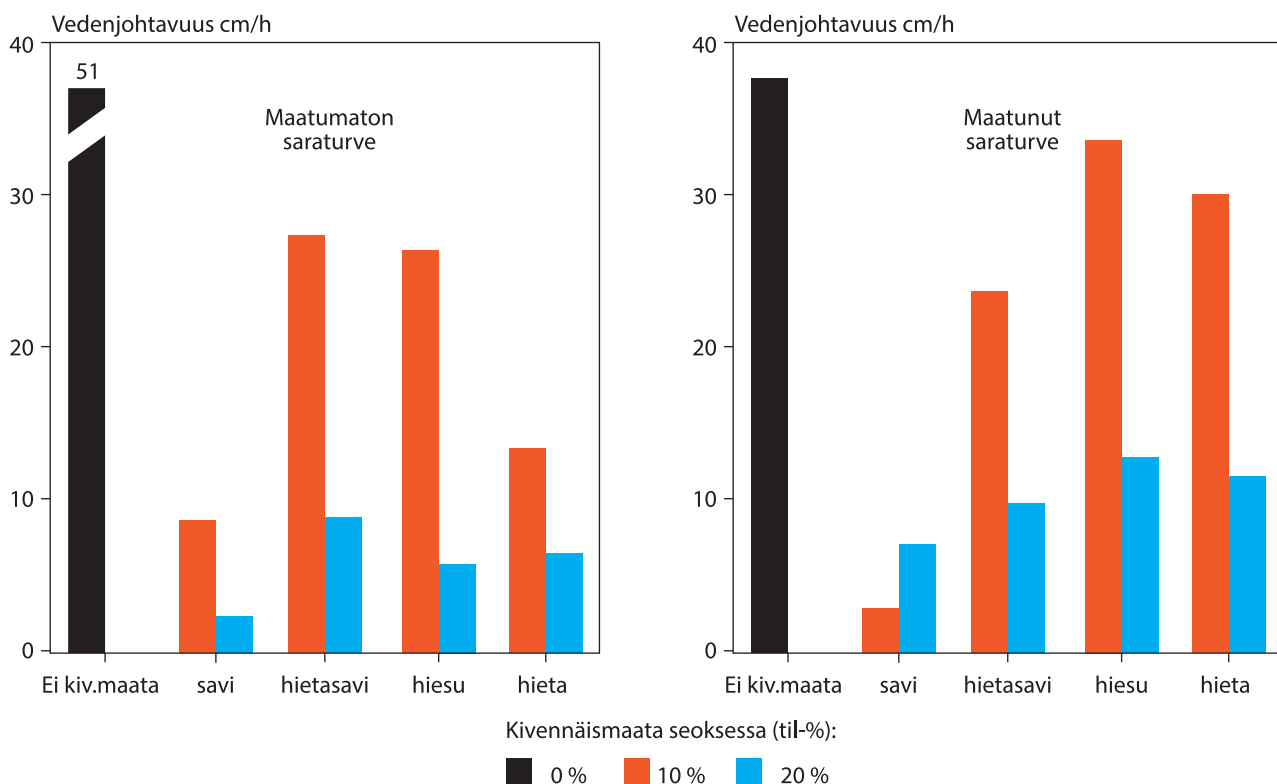
ainakin puolen metrin syvyyteen ja pienentäneen maan vedenläpäisevyyttä. Tiivistymä oli säilynyt koko tutkimusjakson ajan, kun taas kyntökerros oli palautunut vähitellen entiselleen. Suurten akselipainojen aiheuttaman tiivistymisen säilymistä selvitettiin uudelleen 30 vuotta kokeen aloittamisen jälkeen, jolloin havaittiin, että tiivistyminen näkyi edelleen maan pienentyneenä vedenläpäisevyytenä. Koska pellolla ajetaan suurilla akselipainoilla, esimerkiksi juuri salaojitustyön aikana, on tärkeää, ettei työtä tehdä märissä oloissa, koska vauriot maan rakenteessa säilyvät vuosikymmeniä.

Maatalouden tutkimuskeskuksessa jatkettiin salaojien toimivuuden ja kuivatuksen parantamiskeinojen tutkimista huonosti vettä läpäisevillä ja tiivistyneillä aitosavi- mailla vuosina 1985–88. Viidellä koekentällä selvitettiin mm. kaivannon kaivuleveyden, täyttömateriaalien, salaojatoran määrän, sorasilmäkkeiden sekä täydennysojitus- tusten vaikutusta salaojien toimivuuteen. Tulosten mu- kaan 10 cm:n salaojatorakerros putken päällä oli riittävä, eikä sorakerroksen kaksinkertaistaminen eikä salaoja- kaivannon leventäminen nopeuttanut maan kuivumista. Ojavälin pienentäminen täydennysojituksella 16 metris- tä 10 metriin todettiin tehokkaimmaksi tavaksi parantaa

kuivatusta. Tutkimuksessa tehtyjen laskelmien mukaan myös ojan täyttäminen hyvin vettäläpäisevällä aineella, kuten hakkeella vähentää pintaveden kertymistä pellolle. Sorasilmäkkeiden vaikutus kuivatukseen havaittiin pie- neksi. Sen sijaan lierojen reikien vaikutus kuivatukseen tehokkuuteen todettiin suureksi, sillä lierojen reikiä löy- tyi lukumääräisesti eniten salaojien läheisyydestä. Myös Salaojituksen tutkimusyhdistys käynnisti 1990-luvun alussa viljelyksessä olevilla savipelloilla suoto-ojitusko- keita, joissa kohtisuoraan salaojia vastaan kaivettiin uria, jotka täytettiin hakkeella. Niiden vaikutuksesta tehdyn kyselytutkimuksen perusteella menetelmä paransi pelto- jen kuivatusta. MTT:n turvepelloille järjestämissä kent- täkokeissa hakkeella tai soralla täytetyn suoto-ojituksen havaittiin tehostavan myös turvemaiden kuivatusta. Vil- jelijöiltä saatujen tietojen mukaan 1990-luvun alussa teh- dyt suoto-ojat ovat johtaneet vettä vielä 2010-luvullakin.

Varsinkin maatuneiden turvemaiden vedenläpäisevyy- den todettiin olevan huono ja osaltaan aiheuttavan sala-

Kuva 14. Kivennäismaalisäyksen vaikutus saraturpeen vedenläpäisevyyteen (Myllys 1993).



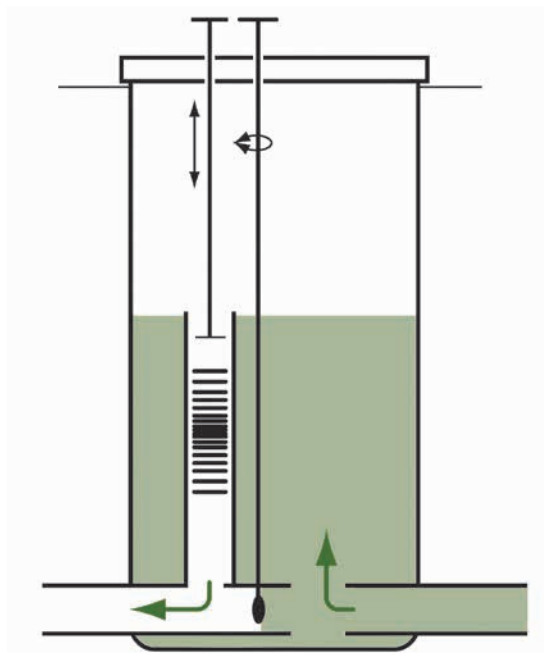
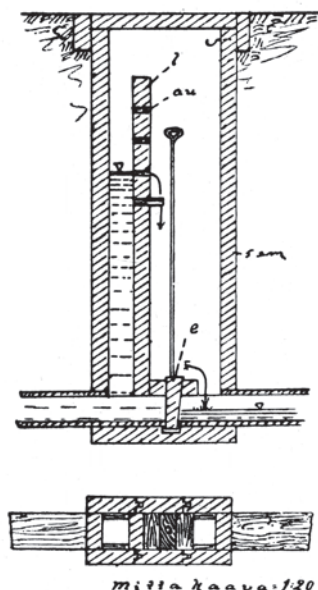
ojituksen toimintahäiriöitä vuonna 1988 valmistuneessa tutkimuksessa ”Turpeen ominaisuuksien vaikutus pellon salaoituksen toimintaan”. Turvemaiden vedenjohtavuuden parantamista kivennäismaalisäyksellä tutkittiin vuonna 1993 sekä sara- että rahkaturpeella, mutta tutkimuksessa havaittiin kivennäismaalisäyksen pääsääntöisesti huonontavan vedenläpäisevyyttä (Kuva 14).

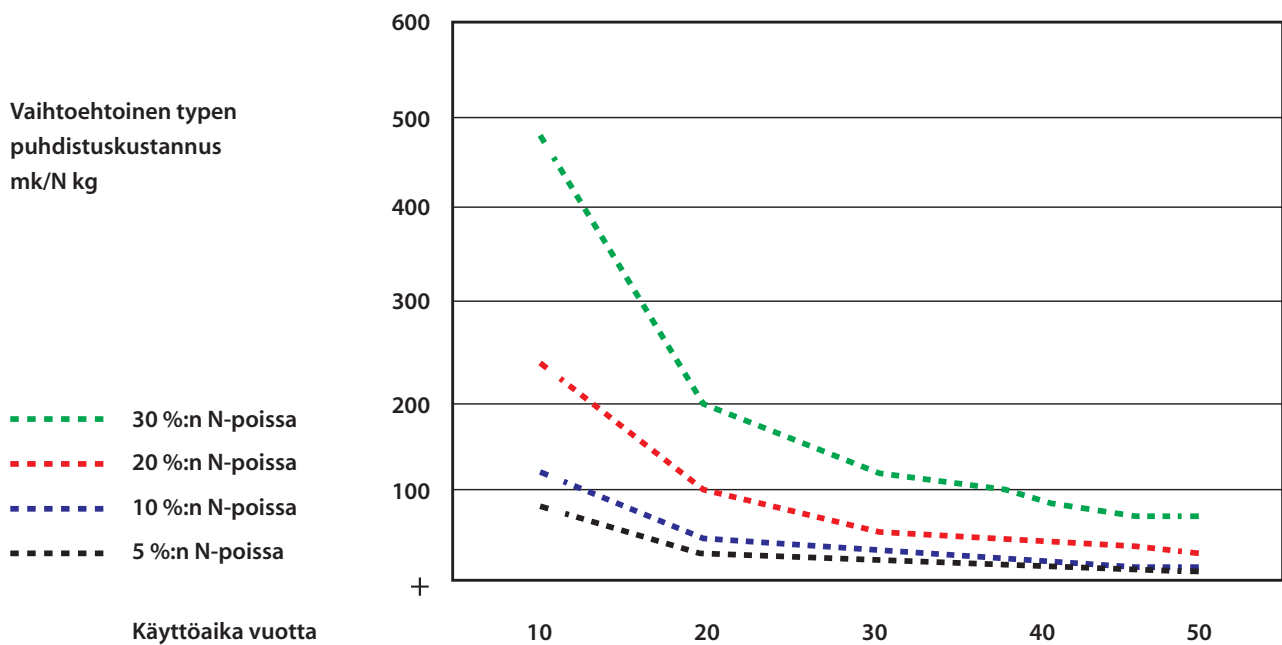
Vuonna 2006 alkaneissa Salaoituksen tutkimusyhdistyksen järjestämissä PVO- ja PVO2-tutkimuksissa päätavoitteena oli savimaiden tiivistymisen ja muiden kuivatusongelmien selvittäminen ja ratkaiseminen. Tutkimuksessa perustettiin täydennys- ja uusintaaoituskokeet MTT:n Jokioisilla sijaitsevalle Nummellan koekentälle ja sen lisäksi MTT:n Sotkamon koekentällä tutkittiin jankkuroinnin vaikutusta maan kosteuteen ja sadon määrään ja laatuun. Tuloksena oli, että hiesumaalla jankkuroinnista ei ole hyötyä nurmi- tai ohrasadon määrään tai laatuun. Sen sijaan täydennys- ja uusintaaoitus paransivat pellon kuivatusta, vaikkakaan se ei näkynyt sadon määrässä eikä laadussa. Tutkimushankkeessa kehitettiin FLUSH- mallia niin, että sillä voidaan laskea sorasilmäkkeiden vaikutus pellon kuivumiseen. Meneillä on myös hankkeita maan vedenläpäisevyyden ja rakenteen parantamiseen syväjuuristen kasvien avulla, esimerkiksi viherlannoitusnurmilla.

Säätösalaaoitus ja altakastelu

Kasteluveden pellolle padottaminen ei ole uusi keksintö Suomessa, sillä jo 1700-luvulla peltoja vesitettiin padottamalla vettä avo- tai valtaoijiin. Veden padottaminen salaojiin on kuitenkin ollut mahdollista kivennäismail-la vasta tiiliputkiojituksen yleistyttyä, mutta turvemail-la lautaputkiojitukset on pyritty aina tekemään vedenalaisina. Padotuskastelu (nykyisin alta-, salaoja-, tai säätökastelu) oli esillä jo vuonna 1914 Hallakorven kirjoituksessa ”Nykyaikaisista vesitystavoista”, mutta ensimmäiset tutkimustulokset salaojen padotuksen vaikutuksesta saattoon saatiin maataloushallituksen kuivavaran tutkimiseen Vihdin Maasojan savi- ja turvepelloille vuonna 1938 perustamilta koekentiltä. Viisivuotisen kokeen ajalle sattui sekä kuivia että märkiä vuosia. Kuivina kesinä salaojen padotus, jossa pohjavesi nostettiin päiväksi maanpintaan asti, lisäsi satoa savipellolla, mutta turvepelloilla sadonlisäykset jäivät pieniksi, koska siellä kasvanut kaura ei kärsinyt kuivuudesta. 1940-luvulla ilmestyi useita kasteluun liittyviä kirjoituksia, joissa kerrotaan myös salaojen padotuksen hyödyistä ja toteuttamisesta, mm. Kaiteeran ”Peltojemme vesitysmahdollisuuksista” (1940) ja ”Miten voin torjua kuivuutta?” (1942). Säätökaivon eli ”vesityssulun” Keso esitteli jo vuonna 1924 ilmestyneessä kirjassaan (Kuva 15). Pellervossa ilmestyneessä artikkelissaan ”Kastelusta” Keso esittelee myös

Kuva 15. Vasemmalla säätökaivomallia 1924 (Keso 1924) ja oikealla mallia 2009 (Salaojayhdistys).





Kuva 16. Säättösalaajituksen vaikutuksesta pellolta huuhtoutuvan typen määrän on todettu vähenevän. Vuonna 2000 Kaisu Haataja laski säättösalaajituksen kannattavuutta vertailukoh- tana kustannus, joka olisi syntynyt vastaavasta typenpoistosta jätevesipuhdistamolla. Kun tuotoiksi laskettiin vain ympäristö- hyödyt, niin säättösalaajitus ei ollut yhteiskunnallisesti kannat- tavaa, mutta jos mukaan laskettiin myös hyöty sadon laadussa tai määrässä, niin tuotot kattoivat kustannukset esimerkkitalalla (perunanviljelytila) (Haataja 2000).

säättösalaajituksen kirjoittaessaan, että padotuksen tar- koituksena voi olla vain salaojavesien poisvirtauksen ja pohjaveden painumisen estäminen, jos huomataan ke- vään muodostuvan kuivaksi. Vuosien 1940 ja 1951 väli- senä aikana Salaojitusyhdistys teki padotuskastelua var- ten suunnitelmia yhteensä 3639 peltohehtaarille.

USA:ssa säättösalaajitusta tutkittiin laajemmin 1970-lu- vun lopussa tarkoituksena satojen kasvattaminen. Ko- keissa pellolta pois virtaavan veden määrää rajoitettiin samalla tavoin kuin Suomessa oli tehty vuosikymme- niä aiemmin, eli säättökaivojen avulla, ja niihin myös pumpattiin vettä johdettaviksi salaojiin. Tutkimukses- sa mitattiin myös salaojaveden mukana huuhtoutuvien ravinteiden pitoisuuksia ja havaittiin salaojavalunnan vähenevän ja näin myös peltojen kokonaiskuormituk- sen pienentyvän. Suomessa tutkimukset säättösalaajituk-

sesta aloitettiin uudelleen 1990-luvun alussa. Salaojituk- sen tutkimusyhdistyksen julkaisussa numero 13 vuodelta 1990 julkaistiin suomeksi käännettynä englanniksi alku- jaan ilmestynyt artikkeli ”Ohjeita pohjavedenkorkeuden säätelemiseksi Pohjois-Carolinassa”. Seuraavana vuonna valmistui Teknillisessä korkeakoulussa tutkimus, jossa selvitettiin säättösalaajituksen ja altakastelun vaikutuk- sia perunasatoon hietapellolla. Tutkimuksessa havait- tiin mm. että rupisten perunoiden määrä oli vähentynyt säättösalaajitetulla alueella jopa 50 %:iin vertailualueen perunoihin verrattuna. Tutkimuksessa arvioitiin myös mallinnuksen (CROPWATERN) avulla kokonaistypen huuhtouman vähenevän 15–30 % altakastelun vaikutuk- sesta. Mallinnus osoitti myös, että ojituksen tehostami- nen ojavälejä pienentämällä lisää typen huuhtoutumaa. Säättösalaajituksen ja altakastelun tutkimista jatkettiin vuonna 1992 alkaneessa Salaojituksen tutkimusyhdis- tyksen, Teknillisen korkeakoulun ja Helsingin yliopiston yhteistutkimushankkeessa ”Peltoviljelyn ravinnehuuh- toutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämäl- lä”. Hanke oli aluksi nelivuotinen (1992–1996), mutta sitä jatkettiin myöhemmin vuoteen 2000 saakka. Tut- kimuksen tavoitteena oli selvittää säättösalaajituksen ja altakastelun soveltuvuus Suomen oloihin sekä vaikutus ravinnekuormitukseen. Hankkeen koepellot sijaitsivat Kirkkonummella Teknillisen korkeakoulun Sjököllan sa- vipelloilla, Tuusulassa turvepelloilla, Lapualla hietapelloilla

ja Tyrnävällä hiesupellolla. Jatkohankkeessa käytettiin lisäksi MTT:n Kotkanojan ja Lintupajun sekä SYKE:n Aurajoen koekenttien havaintoja salaojavalunnan fosforipitoisuuksien ja eroosioaineksen tutkimiseen, kehitettiin huuhtoutumisherkkyyuskartan laatimista sekä selvitettiin säätösalaajituksen ja altakastelun vaikutusta satoon ja säädön taloudellista kannattavuutta (Kuva 16). Pitkäaikaisen kokeellisen tutkimuksen ja sen pohjalta tehtyjen mallilaskelmien perusteella voitiin todeta kesällä sattuvilla sateilla olevan suuri vaikutus säätösalaajituksen hyötyihin; parhaimmillaan satotaso voisi parantua noin 10 %. Altakastelu kohotti satotasoa selvästi säätösalaajitusta enemmän varsinkin kuivina kesinä. Ravinteiden osalta säätösalaajituksen todettiin vähentävän tyypin huuhtoutumista liittyen valuman pienenemiseen ja denitrifikaatioon. Fosforin arveltiin voivan pidättyä syvempiin maakerrokseen veden virratessa niiden läpi salaojiin. Laboratoriokokeissa oli nimittäin todettu syvempien maakerrosten fosforinpidätyskyky suuremmaksi kuin ylempien kerrosten. Tavanomaisessa salaojituksessa pidättymistä ei todennäköisesti ehdi tapahtua, mutta säätösalaajituksessa pitempi viipymä voisi edesauttaa tätä. Altakastelun ja säätösalaajituksen automatisointia sekä veden pumppausta säätökaivoihin tuulivoimalla on myös tutkittu, mutta molemmat sovellutukset vaativat vielä lisäkehittelyä toimiakseen käytännön viljelyksillä.

Säätösalaajitusta ja altakastelua on tutkittu ja tutkitaan edelleen happamilta sulfaattimailta tulevan happaman ja metallipitoisen kuormituksen vähentämisessä. Tällöin pohjavedenpintaa pidetään tavanomaista korkeammalla, jotta sulfideja sisältävä maakerros ei pääsisi hapettumaan, eikä hapon muodostumista tapahtuisi. Vuonna 1984 perustettiin Liminkaan ojittamattomalle alueelle koe, jossa verrattiin valumaveden happamuutta avo-ojituksen, salaojituksen ja vedenalaisen salaojituksen jälkeen. Koealueella sulfidikerrokset ulottuivat lähes maan pintaan asti, ja kaikilla ojitustavoilla muodostui hyvin hapanta valumaa. Salaojitetulla lohkolle kuivatussyvyys oli suurin, ja veden happamuus oli suurimmillaan jopa kymmenkertainen avo-ojitettuun lohkoon verrattuna. Säätökaivojen avulla järjestetty vedenalainen ojitus vähensi 25–30 % salaojaveden happamuutta.

Limingan rantapelloilla pystytettiin järjestämään vedenalainen salaojitus. Sen sijaan kauan viljelyksessä ja ojitetuna olleilla Ilmajoen ja Mustasaaren koekentillä (1998–2002) huomattiin, että pohjaveden korkeuden ylläpitäminen sulfidikerrosten yläpuolella on vaikeaa kuivina kesinä. Kuitenkin Ilmajoella, jossa sulfidikerrokset sijaitsivat syvällä (2 m) voitiin säätösalaajituksella lyhentää aikaa, jonka sulfidit olivat alttiina hapettumiselle ja

näin myös hapon muodostuminen väheni. Kokeen havaintoaineistoa käyttäen kehitettiin mallisovellus (HAP-SU) (ks. mallinnus) kuivatusmenetelmien ja kalkituksen vedenlaadun pitkäaikaisten vaikutusten simulointiin. Säätösalaajituksen mahdollisuuksia pohjavedenpinnan korkeusvaihteluiden tasaamiseksi sekä happamien valuntapiikkien vähentämiseksi tarkasteltiin vuonna 2009 Teknillisessä korkeakoulussa tehdyssä mallinnustutkimuksessa, jossa todettiin säätösalaajituksen voivan vaikuttaa pohjavedenpinnan korkeuteen.

Happamien sulfaattimaiden haitallisten vesistövaikutusten vähentämiskeinojen tutkimukseen panostettiin aiempaa enemmän poikkeuksellisen kuivan kesän 2006 jälkeen, jolloin happaman valuman vuoksi sattui useita kalakuolemia, jotka ylittivät valtakunnallisen uutiskynnyksen. Helsingin yliopistolla alkoi 2007 lysimetrikoe, jossa tutkittiin pysyvästi korkealla olevan pohjavedenpinnan vaikutusta happamaan valumaan. Kasvina oli ruokohelpi, jota tuolloin viljeltiin bioenergian tuottamiseksi. Ruokohelven pintakerrokseen tuottama orgaaninen aine ja lähelle maanpintaa nostettu pohjavesi kohottivat valumaveden pH-arvoa, jolloin alumiinipitoisuudet vähenivät, mutta veden rautapitoisuudet nousivat hyvin korkeiksi. Vuonna 2010 alkaneessa Euroopan Unionin tukemassa Life + -hankkeessa (CATERMASS) perustettiin kenttäkoe säätösalaajituksen ja altakastelun hapanta valumaa vähentävien vaikutusten tutkimiseksi Vaasan lähistölle Söderfjärdeniin. Kokeessa eri tavoin salaojitetut lohkot eristettiin toisistaan ja valtaojasta muovikalvolla. Muovikalvon ansiosta säätösalaajituksella ja altakastelulla saatiin pohjavesi pysymään korkeammalla kuin tavanomaisesti salaojitetulla lohkolle (Kuva 17). Valumaveden happamuus ja alumiinipitoisuudet vähentyivät jonkin verran kaikilla lohkoilla, kuitenkin eniten altakastellulla lohkolle. Koekenttiä seurataan edelleen. Säätösalaajituksen lisäksi ko. maiden happamuutta voidaan neutraloida kalkitsemalla tai kalkkisuodinojien avulla. Kalkituksen on todettu vähentävän salaojitetun pellon happamuutta 15–30 %:lla. Sen sijaan kalkkisuodinojitus, joka aluksi vaikutti lupaavalta, osoittautui menettävän neutralointivaikutuksensa jo muutamassa vuodessa. Uusimpana keinona vähentää salaojaveden happamuutta on neutralointiaineiden pumppaamisen salaojien kautta maahan estämään sulfidien mikrobiologista hapettumista syvällä maassa. Tätä on tutkittu PRECIKEM- ja PRECIKEM2-hankkeessa, jossa toimenpiteen tehostamiseksi asennettiin koekentälle menetelmä salaojavesien kierrättämiseksi takaisin ojaan vuonna 2017.

Ympäristöohjelmien tavoitteiden saavuttamiseksi on ohjauskeinoina käytetty viljelijöille suunnattuja ympäristö-

tukia, ja niitä on voinut saada myös säätösalaojitukseen. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta-tutkimuksilla (MYTVAS) on selvitetty, kuinka ohjauskeinot ovat vaikuttaneet tavoitteiden saavuttamiseen. Näissä tutkimuksissa on havaittu pelloilta huuhtoutuvan kuormituksen vähentyneen mm. lannoitteiden käyttömäärien vähentymisen vuoksi, mutta myös erilaisten kuormitusta vähentävien toimenpiteiden vaikutuksesta. Ensimmäisen ohjelmakauden jälkeen säätösalaojituksella aikaansaatu ravinnekuormituksen vähenemä arvioitiin VIHTA-mallin avulla, jossa vähenemä oli laskettu 15 %:ksi. Se koostui valuman pienenemisestä ja sadonlisäyksestä säätösalaojituksen seurauksena.

Turvemailla säätösalaojitus on tavallaan ollut käytössä jo pitkään, koska lautaputkiojitukset tehtiin vedenalaisiksi. Lautaputket pyrittiin pitämään vedenalaisina niiden lahoamisen estämiseksi ja toimintakuntoisina pysymisen varmistamiseksi. Viimeaikaisissa Luke:n tutkimuksissa on havaittu säätösalaojituksen ja korkean pohjaveden ylläpitämisen vähentävän turvemailta syntyviä kasvi-huonekaasuemissioita sekä estävän turpeen kulumista ja painumista. Uusimmassa vuonna 2017 ilmestyneessä Maaseutuohjelman ympäristöseuranta-tutkimuksessa arvioitiin, että turvemailta siirryttäessä normaaliuojituksesta korkeaan vesipintaan hiilidioksidin ja metaanin yhteenlasketut päästöt pienenevät 40 %, jos säädöt tehdään ohjeistuksen mukaan. Lisää tietoa asiasta saadaan Pohjois-Pohjanmaalle Ruukkiin ohuturpeiselle peltosaluudelle vuonna 2016 valmistuneesta peltomittakaavan tutkimus-ympäristöstä, jossa kaikille koelohkoille voidaan järjestää säätösalaojitus. Koelalueella on tarkoitus tutkia mm. turvepellon kasvihuonekaasupäästöjen yhteyttä pohjavedenpinnan korkeuteen sekä salaojavesien ravinne- ja metallipitoisuuksia.

Ympäristövaikutukset

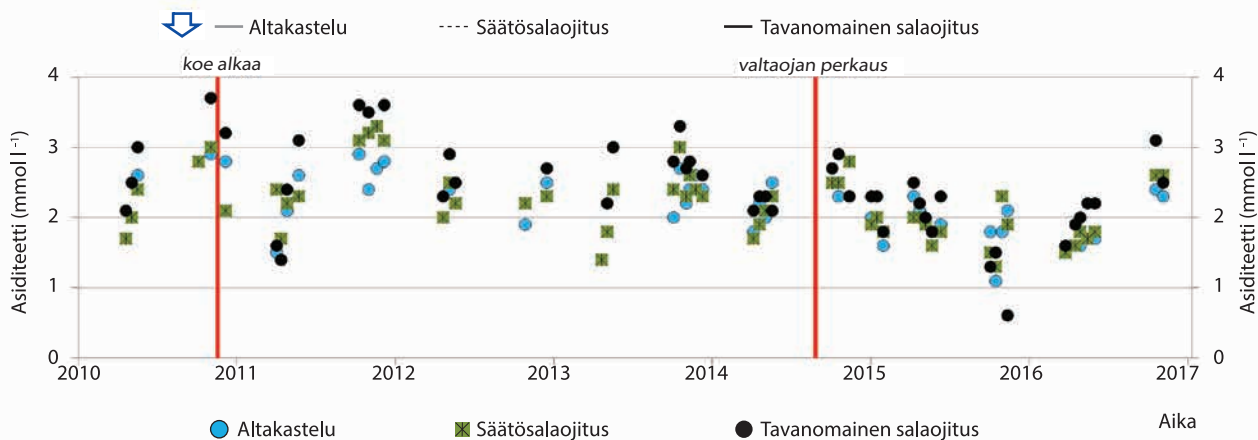
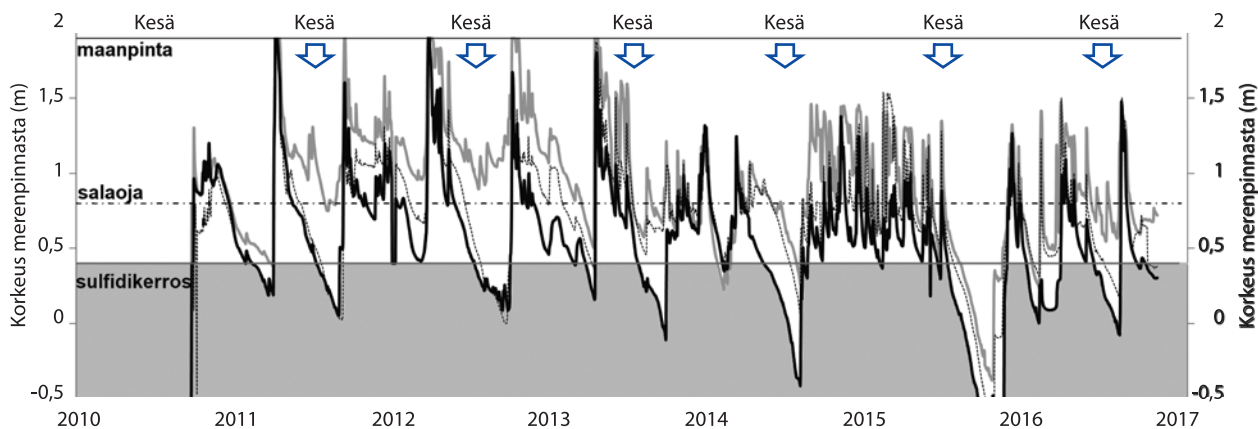
Jo vuonna 1948 professori Kaitera ennakoiki kirjoituksessaan ”Viemäröinnistä ja veden hankinnasta maaseudulla”, että pellolle viedyt lannoitteet voisivat saastuttaa vesiä. Kuitenkin peltojen lannoituksen vaikutus vesistöjen tilan huononemiseen havaittiin laajemmin vasta muiden lähteiden typpi- ja fosforikuormituksen vähennyttä huomattavasti 1970-luvulla. Ennen tätä vuonna 1962 oli Suomessa tullut voimaan vesilaki, jossa mm. vesien pilaaminen kiellettiin, ja 1960-luvulla onnistuttiinkin vähentämään teollisuuden ja yhdyskuntien kiintoainekuormitusta sekä happea kuluttavan orgaanisen aineen määrää. Tämän jälkeen vähenivät myös yhdyskuntien ja teollisuuden fosfori- ja typpipäästöt ja näin ollen pelloilta huuhtoutuvan kuormituksen suhteellinen osuus kasvoi.

Syntyi tarve tutkia siihen vaikuttavia tekijöitä ja vähentämiskeinoja. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamaan vesistöjen happamoitumiseen ja happamien valumapiikkien jälkeisiin kalakuolemiin alettiin laajemmin kiinnittää huomiota myös 1970-luvulla, jonka jälkeen aiheeseen liittyvää tutkimusta on tehty paljon. Happamien sulfaattimaiden tutkimuksia on esitelty edellä säätösalaojituksen yhteydessä.

Salaojista purkautuvan veden ravinnepitoisuuksien seurantaan perustettiin useita huuhtoutumiskenttiä 1970- ja 1980-luvuilla. Tämän lisäksi aineiden käyttäytymistä maaperässä sekä huuhtoutumista on tutkittu mm. Teknillisen korkeakoulun 1960-luvulla Otaniemeen perustetulla lysimetrikoekentällä sekä MTT:n Jokioisten ja Maanangan lysimetrikoekentillä. Ravinteiden huuhtoutumista peltovaltaisilta alueilta verrattiin metsävaltaisten alueiden huuhtoutumiseen Siuntiossa jo 1980-luvulla. Viimeksi vastaavanlaista vertailua on tehty pienten valuma-alueiden aineistosta vuonna 2017.

Salaojituksen vaikutusta avo-ojitetun pellon valumavesien määriin ja laatuun tutkittiin vesihallituksen Hovin huuhtoutumakentällä. Tutkimuksessa verrattiin valumia ennen salaojitusta (1950–1971) sen jälkeisiin valumiin (1972–1979). Veden laadun osalta vertailu tehtiin vuosien 1966–1970 ja 1972–1978 kesken. Salaojituksen havaittiin tasaavan valumaa vähentämällä ylivalumia ja kasvattamalla alivalumia. Salaojituksen jälkeen salaojavalunnan osuus oli 77 % ja pintavalunnan 23 % kokonaisvalunnasta. Salaojaveden laadun osalta typen huuhtoutuminen lisääntyi, mutta fosforin huuhtoutumiseen salaojituksella ei todettu olleen selvää vaikutusta. Maatalouden tutkimuskeskus perusti Kotkanon huuhtoutumiskentän Jokioisille vuonna 1975 alun perin vuonna 1962 salaojitetulle pellolle. Kotkanon huuhtoutumiskentällä valuntasuhteet olivat mm. vuosina 1983–1986 päinvastaiset Hovin kenttään verrattuna, koska salaojitus oli huonosti toimiva. Tuolloin pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli huomattavasti suurempi kuin salaojavalunnan, ja 4/5 huuhtoutuneesta fosforista kulkeutui pintavesien mukana eroosioainekseen sitoutuneena, ja vain 1/5 kulkeutui salaojavesien mukana. Kun salaojitus uusittiin vuonna 1991, kasvoi salaojavalunnan osuus ensimmäisenä vuonna 90 % kokonaisvalunnasta. Kahden vuoden kuluttua salaojituksesta salaojavalunnan osuus oli 60 % kokonaisvalunnasta.

Vesien suojeleminen tehostamiseksi ja vesien hyvän tilan saavuttamiseksi on tehty useita valtakunnallisia ja alueellisia ohjelmia ja strategioita. Valtioneuvosto teki vuonna 1988 periaatepäätöksen vesien suojeleminen tavoiteohjelmasta vuoteen 1995. Sen mukaan maatalouden

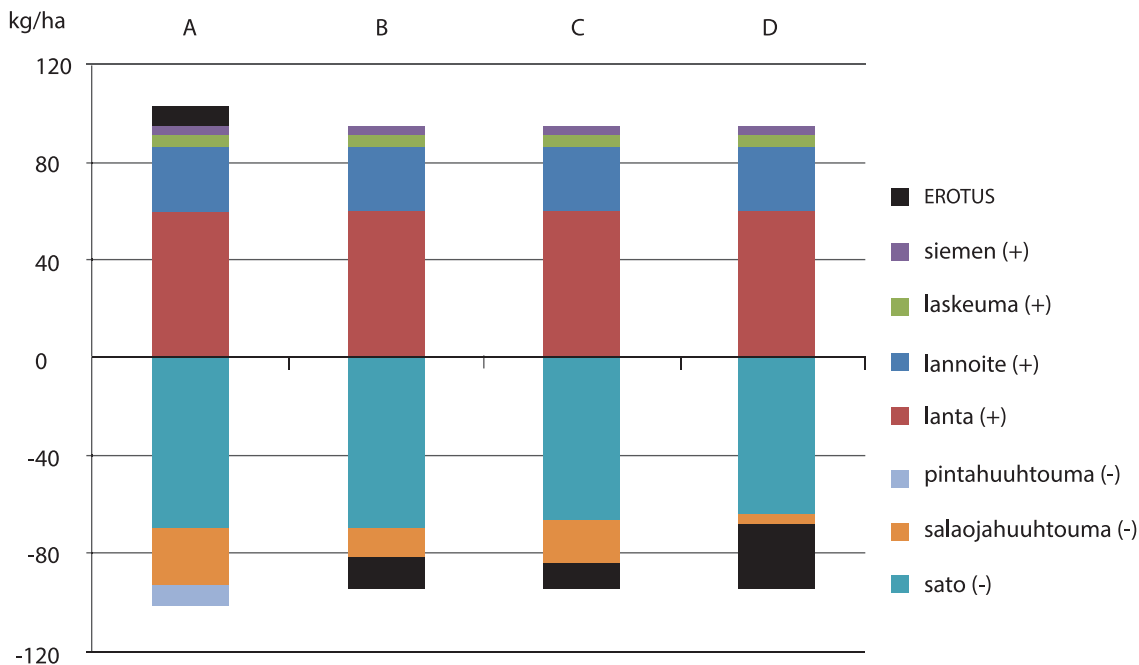


Kuva 17. Pohjaveden korkeuden vaihtelu salaajitetulla, säätösalaajitetulla ja altakastelulla pellolla Söderfjärdenin koekentällä vuosina 2010 – 2016 (Ylempi kuva) ja valumaveden asiditeetti mitattuna laskuaukkokaivosta (alempi kuva) (Virtanen ja muut 2017).

fosforikuormitusta oli vähennettävä 1/3:aan osaan vuoden 1988 tasosta. Samalla edellytettiin toimenpiteitä typikuormituksen vähentämiseksi merkittävästi. Samana vuonna maa- ja metsätalousministeriö ja ympäristöministeriö käynnistivät nelivuotisen yhteistutkimusprojektin ”Maatalous ja vesien kuormitus” (MAVERO), jota myös Salaajituksen Tukisäätiö rahoitti. Projektissa arvioitiin maataloudesta aiheutuvien ravinteiden ja eroosion suuruutta sekä vaikutusta vesistöjen ja rannikkovesien rehevöitymiseen. Salaajituksen osalta loppuraportissa todettiin, että kunnollinen ojitus ehkäisee eroosiota lisäävää pintakerrosvaluntaa ja tehostaa syvempien maakerrosten mahdollisuutta pidättää fosforia ja näin vähentää kokonaisfosforikuormitusta. Typpikuormituksen osalta säätösalaajituksen nähtiin olevan lupaava mahdollisuus pienentää typen huuhtoutumista (katso edellä säätöojitus). MAVERO-projektissa tutkittiin myös lannoitteena annetun typpi-isotoopin avulla typen huuhtoutumiseen

vaikuttavia tekijöitä ja typen kohtaloa MTT:n lysimetrikentällä. Tutkimuksessa todettiin kohtuullisen typpilannoituksen vaikuttavan vain vähän typen huuhtoutumiseen. Myös Teknillisessä korkeakoulussa tutkittiin monipuolisesti typen huuhtoutumista ja siihen liittyviä prosesseja 1990-luvulla.

Vuonna 1997 alkaneessa yhteistutkimushankkeessa ”Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä” olivat mukana Teknillinen korkeakoulu, Helsingin yliopisto ja Maatalouden tutkimuskeskus. Hankkeessa selvitettiin tekijöitä, jotka vaikuttavat pinta- ja salaajavalunnan fosforipitoisuuksiin. Salaajakaivannon pintamaa- tai haketytön vaikutusta ravinteiden huuhtoutumiseen tutkittiin Kotkanon huuhtoutumiskentän uusintaajituskokeessa. Ennen uusintaajitusta salaajaveden partikkelifosforipitoisuudet olivat pintavalunnan pitoisuuksia hieman pienempiä, mutta uusintaajituksen jälkeen huomattavasti pienem-



Kuva 18. Typpitase Nummelan koealueilla A–D ajanjaksolla toukokuu 2008–huhtikuu 2009. Sadon typpimäärän osuus peltoon tulleesta typpimäärästä (lannoitus, laskeuma, siemenet) vaihteli 35 %:sta 90 %:tiin. Salaojavalunnan kautta keskimäärin 8,8 % peltoon tulleesta typestä (Äijö ja muut 2014).

piä, kun kaivanto oli täytetty pintamaalla. Haketäytön ei todettu suodattavan maapartikkeleita, mutta liukoisien fosforin pitoisuudet pienenivät sekä maa-aineksella että hakkeella täytettyjen salaojien valumavesissä. Salaojien kautta huuhtoutuvan hienoaineksen alkuperää ja sen fosforin luovutuskykyä tutkittiin Jokioisten Kotkanojan ja Teknillisen korkeakoulun Sjököllän koekenttien salaojavesistä vuonna 1997. Tulosten mukaan näytti siltä, että salaojista huuhtoutuva maa-aines olisi pääsääntöisesti salaojien täyttöön käytettyä tai muokkauskerroksen maata. Tutkimuksen havaintojen mukaan salaojista huuhtoutuvan hienoaineksen fosforinluovutuskyky oli keskimäärin pienempi kuin pintavalun mukana huuhtoutuvan maa-aineksen. Salaojavedessä oli vähemmän maa-ainesta ja siksi sen kokonaisfosforipitoisuus oli pienempi kuin pintavalun.

Salaojituksen maisemalliset vaikutukset ja vaikutukset luonnon monimuotoisuuteen nähtiin tärkeinä tutkimusaiheina jo 1980-luvun lopussa. Maaperäeliöstä salaojitetulla pellolla saatiin tietoa MTT:ssa vuonna 1990 valmistuneessa tutkimuksessa ”Salaojituksen toimivuus savimaassa”, jossa huomattiin lieronreikien olevan lukuisampia salaojien läheisyydessä kuin ojien keskivälillä. 2000-luvun vaihteessa tehdyt tutkimukset kastematojen

lukumäärästä ja massasta vahvistivat 1990-luvun havainnot, sillä savimaassa kastelierojen lukumäärä todettiin yli kaksinkertaiseksi salaojien läheisyydessä verrattuna salaojien keskivälistä mitattuihin lukumääriin, lierojen massana laskettuna ero oli vieläkin suurempi. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta tutkimuksen (MYTVAS-3) loppuraportissa vuonna 2014 tarkasteltiin luonnon monimuotoisuuden kehitystä kasvien, perhosten ja lintujen osalta. Salaojituksen ja avo-ojituksen osalta vertailu oli tehty vain linnuston osalta. Tutkimuksessa olivat mukana kaksi lintulajia, kiuru ja niittykirvinen. Kiuru runsastui tutkimusvuosien aikana avo-ojitetuilla lohkoilla, salaojitetuilla lohkoilla kanta pysyi ennallaan. Niittykirvisiä oli avo-ojitetuilla lohkoilla paljon enemmän kuin salaojitetuilla, ja se runsastui avo-ojitetuilla lohkoilla. Salaojitetuilla lohkoilla niittykirviset vähenivät hiekan, mutta eivät tilastollisesti merkitsevästi.

Salaojituksen tutkimusyhdistyksen koordinoimissa PVO-, PVO2- ja TOSKA-hankkeissa on tutkittu ravinteiden huuhtoutumista eri tavoin salaojitetuilta sekä täydennysojitetuilta peltolohkoilta vuosina 2006–2017. Täydennysojituksen jälkeen salaojaveden kokonaistyyppi-pitoisuudet nousivat kahtena seuraavana vuonna, mutta palautuivat entiselle tasolle sen jälkeen. Vaikka täyden-

nysojitus ei lisännyt ravinnepitoisuuksia, niin ravinne- ja kiintoainehuuhtoumat lisääntyivät, koska salaojavalunta lisääntyi. Pintakerrosvalunnan ravinnehuuhtoumat vähenivät, mutta kuitenkin salaoja- ja pintavalunnan yhteenlaskettu ravinteiden huuhtoutuminen lisääntyi. Kokeenttien pitkäaikaisia valuma- ja ravinnehuuhtoumien aikasarjoja on käytetty pellon ravinteiden huuhtoutumisen mallintamiseen (ks. mallinnus ja FLUSH).

Pelloilta huuhtoutuvia ravinteita on havainnoitu huuhtoumakoeekentillä ja käytännön viljelyksille perustetuilla kokeilla pisimmillään yli neljän vuosikymmenen ajan ja tutkimustietoa on saatu runsaasti. Nykyisellä tietotekniikan avulla pystytään suuria havaintoaineistoja yhdistämään jossain määrin, ja siten saamaan vanhoista aineistoista uutta tietoa uusista näkökulmista. Salaojitukseen liittyen eräs tällainen hanke on vuonna 2016 alkanut SYKE:n vetämä Kiertovesi-hanke, jossa kootaan yhteen pitkän ajan kuluessa kerättyjä havaintoaineistoja maankäytön ja vesistöjen laadun kehitystrendien estimoimiseen. Hankkeen tarkoituksena on arvioida, millaisia muutoksia maatalouden käytäntöihin on realistista tavoitella. Myös monet muut hankkeet, joissa peltojen ravinnekuormitusta pyritään vähentämään viljelytoimin tai esim. kipsikäsittelyin (SAVE) liittyvät pellon kuivatukseen ja salaojitukseen, vaikka salaojitus ei itse olekaan varsinainen tutkimuksen kohde.

Painopistealueiden muuttuminen sadan vuoden aikana

Jo 1900-luvun alusta lähtien on ollut laajalti selvillä, että salaojituksen avulla pellon kuivatus paranee ja myös viljelyala lisääntyy. Pidettiin myös selvänä, että samalla työntuottavuus ja viljelyn yksikkökustannusten pienentyminen parantavat maanviljelyn kannattavuutta salaojitetuilla pelloilla. Suomen itsenäistyttyä tavoitteena oli elintarvikeomavaraisuus, jota peltojen salaojittaminen myös edisti. Tutkimuksen painopiste olikin sata vuotta sitten olosuhteisiimme sopivien ojaetäisyyksien selvittämisessä, jotta aikaansaataisiin toimiva kuivatus ilman, että investoinnin kustannukset nousisivat liikaa liian taajan salaojituksen vuoksi. Muissa maissa kehitetyt laskentamenetelmät salaojitusten mitoitukselle eivät sellaisenaan soveltuneet Suomen savisille maille eikä turvepelloille, minkä vuoksi tarvittiin kenttäkokeita Suomen olosuhteissa. Vuonna 1917 perustettu Suomen Salaojitusyhdistys aloitti laajamittaisen koetoiminnan, joka jatkui hallintoviranomaisten, tutkimuslaitosten ja korkeakoulujen järjestäminä tutkimuksina. 1950-luvulla tutkimuksen painopiste siirtyi myös salaojasyvyyden tutkimiseen, koska siihen asti mm. roudan vuoksi käytetty syvä sala-

ojitus oli eräänä syynä sille, ettei koneellinen salaojitus ei ollut laajemmin yleistynyt. Tuolloin salaojasyvyyden suosituksia muutettiin, ja Salaojitusyhdistyksen kannustamana kehitettiin myös suomalaisia salaojakoneita, ja salaojitettu peltoala alkoi kasvaa voimakkaasti. 1970-luvulla tiiliputki, joka oli todettu kestäväksi ja hyvin vettä johtavaksi, sai haastajakseen kevyemmän ja helpommin asennettavan muoviputken pian sen jälkeen, kun se oli tullut markkinoille Hollannissa ja USA:ssa. Tutkimuksen painopiste siirtyi tällöin uusiin salaojamateriaaleihin, kuten muoviputkiin ja orgaanisiin esipäällysteisiin. Aurasalaojakoneet laserohjaimineen tulivat Suomeen 1980-luvulla, jolloin salaojituksen asennustarkkuus oli yksi tutkimuksen painopistealueista. Pellon vesitalouden optimointi on ollut keskeisenä tutkimuskohteena viimeiset pari vuosikymmentä, aluksi tavoitteena oli hyvä sato pienin kustannusvaikutuksin, mutta optimointiin on tullut lisäulottuvuutena myös salaojituksen ympäristövaikutukset. Tällä hetkellä salaojatutkimusta tehdään mm. valtion toimesta Luke:ssa ja SYKE:ssä, Aalto-yliopistossa ja Helsingin yliopistossa sekä Salaojayhdistyksen ja Salaojituksen tutkimusyhdistyksen koordinoimissa yhteistutkimushankkeissa.

Uudet haasteet

Salaojituksen tutkimustarpeet ovat siis muuttuneet runsaan sadan vuoden aikana. Kuitenkin tutkimuksen kohteena on edelleen samoja aiheita kuin salaojituksen alkutaipaleella, kuten ympärysaineet ja optimaalinen ojaetäisyys. Edelleen on tarvetta myös säännöllisille tutkimuksille, kuten peltojen kuivatustilatutkimus, joka viimeksi käynnistettiin noin 30 vuotta sitten. Myös aiemmin tutkittujen, mutta nyt taaemmalle jääneiden tutkimusaiheiden tutkiminen on tärkeää. Esimerkkinä on säätösala-
ojitus, joka oli käytössä jo viime vuosisadan alussa sadon kohottajana, mutta myöhemmin huomattiin sen mahdollisuudet salaojituksen haitallisten ympäristövaikutusten vähentämisessä. Säätösala-
ojituksen vaikutuksista ympäristöön eri maalajeilla ja erilaisissa olosuhteissa tarvittaisiin tarkempaa tietoa. Viimeisimmissä mallitutkimuksissa on huomattu pohjavesivalunnan olevan merkittävä valunnan komponentti, ja aiheen jatkotutkimukselle olisi tarvetta. Salaojituksen ja pohjaveden laadun yhteyttä on Suomessa selvitetty vain vähän, sillä on oletettu nitraatin pääsääntöisesti huuhtoutuvan salaojavesien mukana vesistöihin. Pohjaveden pilaantumisen estäminen on monissa maissa suuri haaste. Vaikka Suomessa pohjavesi on pääsääntöisesti hyvää tai erinomaista, olisi hyvä selvittää, miten salaojitus vaikuttaa pohjaveden laatuun. Myös mitoitusperusteita tulisi tarkistaa aika-ajoin.

Mallien kehitystyössä ja tulosten varmistamisessa tarvitaan lähtötietoina pitkäaikaisia monipuolisia havainto- ja mittausarvoja eri maalajeilta, viljelysuunnilta ja Suomen erilaisissa ilmasto-oloissa, joita voidaan saada vain koe- kentiltä (Kuva 19).

Lähteinä käytetty muun muassa:

Seuraavassa lähdeluettelossa lyhenne TY tarkoittaa Salaojituksen tutkimusyhdistyksen tiedotetta ja SY Salaojayhdistyksen jäsenjulkaisua. Artikkelit löytyvät tutkimustietopankista www.tukisaatio.fi/tietopankki sekä Salaojayhdistyksen nettisivuilta www.salaojayhdistys.fi. Tietopankista voi hakea myös muita artikkeleita ja tutkimusjulkaisuja salaojituksesta ja siihen liittyvistä aiheista.

Aakkula J., Leppänen J. (toim.) 2014. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta tutkimus (MYTVAS 3): Loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. 265 s.

Aarveaara H. 2014. Suomen salaojituksen historia. Salaojituksen Tukisäätiö. Helsinki. 387 s.

Alakukku L., Elonen P. 1994. Syksyn kuljetusajon aiheuttama savi- maan tiivistyminen. Jokioinen. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 17/94. 30 s.

Kuva 19. Pohjavedenkorkeutta mitataan koepellolla vuonna 1940 (vasemmalla) ja vuonna 2014 (oikealla). Kenttämittauksia tarvitaan edelleen mallien lähtötiedoiksi, ja uusien mittausantureiden avulla voidaan saada jatkuvaa tietoa havainnoitavasta suureesta, jolloin myös kesto- ltaan lyhytaikaiset tapahtumat tulevat huomioon otetuiksi.



- Alakukku L. 2012. Soil compaction. In: Sustainable Agriculture, (ed. Jacobsson, C.). Ecosystem Health and Sustainable Agriculture 1, 217–221.
- Ahonen J. 1991. Säättöojituksen ja pohjavesikastelun käyttö ja soveltuvuus Suomessa. TKK. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. 63 s.
- Aura E. 1990. Salaojien toimivuus savimaassa. Jokioinen, Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 10/90. 93 s.
- Bärlund I, Tattari S, Yli-Halla M, Åström M, 2004, Kehittyneiden ojitusmenetelmien vaikutus pohjavedenpinnan tasoon ja salaojavalunnan laatuun happamilla sulfaattimailla – HAPSU-projektin lopuraportti. 67 s.
- Haapala H. 1990. Menetelmä salaojan asennustarkkuuden ojitustyön aikaiseen kontrollointiin. Helsinki: Helsingin yliopisto. 85 s.
- Haapala H., Luoma T. 1989, Salaojan asennustarkkuuden merkitys. Helsinki. 30 s.
- Haataja K. 2000. Säättösalojituksen ja salaojakastelun kustannukset ja hyödyt. TY tiedote 25. ss. 92–102.
- Haataja K. 2000. Säättösalojituksen ja salaojakastelun kustannukset ja hyödyt. Maatalouden taloudellinen tutkimuslaitos. Selvityksiä 5/2000. 33 s.
- Haataja K., Peltola J. 2001. Salaojituksen kannattavuus Suomessa. MTT Taloustutkimuksen selvityksiä 20/2001. 39 s.
- Hakojärvi M. 2015. Challenges in real-time precision farming: A case study of modelling biomass accumulation. Helsingin yliopisto. Väitöskirja. 88 s.
- Halonen T. 2008. Maasta ja puusta pidemmälle: Helsingin yliopiston maatalous-metsätieteellisen tiedekunnan historia. Osa 1, Hyödyn aikakaudesta vuoteen 1945. Helsinki: Helsingin yliopisto, maatalous-metsätieteellinen tiedekunta. 419 s.
- Hooli J. 1979, Salaojaputkien vedenotto- ja vedenjohtokyky suoritettujen laboratoriotutkimusten valossa, Vesitalous 20, s. 3–11.
- Hooli J., Hepojoki A., Maunula M., Suortti-Suominen T. 1981. Salaojaputkien toiminnalliset kokeet, Vesitalous 21 s. 24–28.
- Hooli J. 1990. Kenttäkäyttöiset raudanmääritysmenetelmät salaojien tukkeumisherkkyden arvioinnissa. Tutkimusyhdistyksen tiedote 11.ss.37–43.
- Häggbloom O. 2017. Impacts of improved subsurface drainage on the water balance of a poorly drained clayey agricultural field, Kosteudesta kärsivän peltolohkon täydennysojituksen vaikutus vesitaseeseen. Aalto-yliopisto. Vesi- ja ympäristötekniikka. Diplomityö. 66 s.
- Jalonen J. 2009. Säättösalojituksen vaikutusmahdollisuudet pohjavedenpinnan ja salaojavalunnan tasaamiseksi happamilla sulfaattimailla. Teknillinen korkeakoulu, Diplomityö. 89 s.
- Juusela T. 1945. Untersuchungen über den Einfluss des Entwässerungsverfahrens auf den Wassergehalt des Bodens, den Bodenfrost und die Bodentemperatur. Väitöskirja. Teknillinen korkeakoulu. Helsinki. 212 s.
- Juusela T. 1953. Salaojituskoetoinnasta Suomessa, Maataloustieteellinen Aikakauskirja 25, 23 s.
- Järvenpää L., Savolainen M. 2015. Maankuivatuksen ja kastelun suunnittelu. Ympäristöhallinnon julkaisuja 4 / 2015, 191 s.
- Kaitera P. 1939. Lumen kevätsumamisesta ja sen vaikutuksesta vesiväylien purkautumissuhteisiin Suomessa, Maa- ja vesiteknillisiä tutkimuksia 2, 255 s.
- Kaitera P. 1940. Peltojemme vesitysmahdollisuuksista. Karjalalous 21–22.
- Kaitera P. 1942. Miten voin torjua kuivuutta? WSOY, Porvoo. 62 s.
- Karvonen T. 1988. A model for predicting the effect of drainage on soil moisture, soil temperature and crop yield, Teknillinen korkeakoulu, Vesitalouden laboratorio. Väitöskirja. 215 s.
- Karvonen T. 1988, Laskentamenetelmä salaojituksen vaikutuksien maan kosteuteen, lämpötilaan ja satoon arvioimiseen. TY:n tiedote 4 ss.1–8.
- Karvonen T. 1992. Säättösalojitus- ja padotuskastelututkimus. TY tiedote 16, ss 5–8.
- Karvonen T. 2016. Matemaattiset mallit maan vesi- ja ravinnetalouden säädössä. Kirjassa Maan vesi- ja ravinnetalous. (Toim.) Paasonen-Kivekäs M., Peltomaa R., Vakkilainen P., Äijö H., toinen painos. ss. 429–452.
- Kauppi L. 2015 Vesi- ja ympäristöhallinnon monistesarja 359. ss. 17–26. 25 s.
- Keso L. 1923. Tutkimuksia salaojituksen aiheuttamasta sadonlisäyksestä sokerijuurikasmailla. Maatalous 16, 1923,ss. 529–533.
- Keso L. 1924. Salaojituksen merkitys maanviljelyksessä ja salaojityöt. Porvoo: WSOY. 310 s.
- Keso L. 1930. Kulttuuritekniillisiä maaperätutkimuksia erikoisesti ojaetäisyyttä silmälläpitäen: Viljelyksellisesti tärkeät maalajimme: ojaetäisyyksien määäämisperusteet. Hki: Valtioneuvoston kirjapaino. 327 s.
- Keso L. 1931. Salaojitustiedustelun tulokset. Pellervo 32, ss. 275–279.
- Keso L. 1942 Kastelusta. Pellervon vihko 8.
- Keso L. 1940. Ojaetäisyyskoe urpasavimaalla. Helsinki: Suomen maataloustieteellinen seura. Suomen maataloustieteellisen seuran julkaisuja 42, ss. 1–34.
- Keso L. 1952, Maataloudellinen vesirakennus, Tekniikan käsikirja II s. 327.
- Kleemola J. Ojituksen toimivuuden määrittäminen FINNMOD-mallia käyttäen. TY:n tiedote 15. ss. 16–23.
- Koivunen T. 1986. Salaojituskustannukset, kustannusten vaihtelu ja vaihteluun vaikuttaneet tekijät. Helsingin yliopisto, Maanviljelystälouden pro gradu-työ. 83 s.
- Koivunen T. 1986. Salaojituskustannukset, kustannusten vaihtelu ja vaihteluun vaikuttaneet tekijät. TY tiedote 1, ss. 19–20.
- Koivusalo H., Turunen M., Salo H., Haahti K., Nousiainen R., Wasta L. 2017. Analysis of water balance and runoff generation in high latitude agricultural fields during mild and cold winters. Hydrology Research, 48. ss. 957–968.
- Maasilta A., Pekkarinen M., Tuononen E., Vakkilainen P. 1980. Ainehuuhtoutumista pelto- ja metsävaltaisella valuma-alueella Siuntionjoen vesistössä. Teknillinen korkeakoulu, Vesiteknikan laitoksen julkaisuja 18. 36 s.

- Mattila T., Paasonen-Kivekäs M., Teittinen M., Kleemola J. 1996. Säättösalaajituksen ja padotuskastelun taloudellinen kannattavuus. TY tiedote 21. ss. 29–37.
- Myllys M. 1992. Turvemaiden salaajitus ja ravinteiden huuhtoutuminen. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja n:o 359 ss. 193–196.
- Myllys M. 1993. Kivennäismaan lisäyksen vaikutus turvemaan vedenjohtavuuteen. TY tiedote 17, ss. 14–17 ja TY tiedote 18, ss.85.
- Myllys M. 1993. Vaikuttaako salaajakaivannon täyttötapa putken suoruuteen. Salaajituksen tutkimusyhdistyksen tiedote 17. ss. 6–13.
- Myllys M., Peltomaa R., Virtanen S. 1993 Turvemaiden salaajituksesta ja suoto-ojituksesta. TY tiedote 17, ss. 6–13.
- Myyrä S. 2002. Tilakoon kasvu asettaa uusia haasteita kuivatusjärjestelmien kehittämiseksi. SY jäsenjulkaisu 2002. ss. 25–27.
- Myyrä S., Pouta E., Hänninen H. 2008. Suomalainen pellonomistaja. Maa- ja elintarviketalous 115. 125 s.
- Myyrä S. 2008. Maatalouden rakennemuutos heikentää peltojen kasvukuntoa. SY jäsenjulkaisu 2008. ss. 10–21.
- Niini S. 1988. Turpeen ominaisuuksien vaikutus pellon salaajituksen toimintaan. TKK. Maanmittaus- ja rakennustekniikan osasto. Diplomityö. 114 s.
- Niini S. 1988. Turpeen ominaisuuksien vaikutus pellon salaajituksen toimintaan. TY tiedote 5. ss. 28–33.
- Niinivaara K. 1945. Kestävyysskojeita jäädytetyillä ja roudan vaikutuksen alaisina olleilla salaajaputkilla, Maanviljelysinsinööriyhdistyksen vuosikirja 1944–45. ss. 74–92.
- Nousiainen R., Warsta L., Turunen M., Huitu H., Koivusalo, H., Pesonen L., 2015. Analyzing subsurface drain network performance in an agricultural monitoring site with a three-dimensional hydrological model. J. Hydrol., 529, ss. 82–93.
- Nuutinen V. 2001. Hyviä koteja kastelieroille – salaajan kohdat savi- mailla. SY 1/2001. ss. 19–22.
- Olkinuora P., Esala J., 1982. Aurasalaajituksen käyttömahdollisuudet. VAKOLA, Tutkimuslause 29. 28 s.
- Paasonen-Kivekäs M. 1993. A study on leaching and storage of nitrogen in the soil-plant system. (Typen fraktioiden huuhtoutuminen ja esiintyminen maakasvisysteemissä). Teknillinen korkeakoulu. Rakennus- ja maanmittaustekniikan osasto. Lisensiaattityö.
- Paasonen-Kivekäs M. 1998. Vesitalouden säädön vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen, TY tiedote 25, ss. 8–40.
- Paasonen-Kivekäs M., Karvonen T. 1998. Typen huuhtoutuminen Lapuan koalueella, TY tiedote 24, ss. 27–52.
- Paasonen-Kivekäs M. (toim.) 2017. Sven Hallinin Tutkimussäätiö 70 vuotta. Sven Hallinin tutkimussäätiö sr. 184 s.
- Palko J. 1988. Happamien sulfaattimaiden kuivatus ja kalkitus Limingan koekentällä 1984–1987. Vesi- ja ympäristöhallinnon julkaisuja 19. 88 s.
- Peltomaa R. 2016. Salaajitus. Kirjassa Maan vesi- ja ravinnetalous. (Toim.) Paasonen-Kivekäs M., Peltomaa R., Vakkilainen P., Äijö H., toinen painos. ss. 283–336.
- Peltomaa R., Saavalainen J. 1990. Suursarkakuivatus salaajituksen vaihtoehtona tai täydentäjänä, TY tiedote 11, ss. 5–15.
- Peltonen A., Salonen V., Oksanen E. 1983, Salaajitustyö kauvupyörä- ja kaivuketjuneella. Työtehoseuran julkaisuja 250. 97 s.
- Peltovuori T. 2000, Salaajavalunnan liukoisen fosforin pitoisuuteen vaikuttavia tekijöitä, TY tiedote nro 25/2000. ss. 41–60.
- Pietola L., Haapala H., Uusi-Rauva J., Lindell K. 2000. Huuhtoutumisherkkyyskartta. TY tiedote 25. ss. 75–91.
- Puputti S. 1981. Havainnointitutkimus kaivurisalaajituksen työmenekistä. Helsingin yliopisto, Laudaturtyö. 101 s.
- Puustinen M. 1987. Salaajien toimintahäiriöt. TY tiedote 1, ss. 21–24.
- Puustinen M. 2004. Leudot talvet ja peltoviljely, Vesitalous 3/2004. ss. 17–21.
- Puustinen M., Merilä E., Palko J. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Vesihallituksen julkaisuja-sarja A 198. Vesihallitus. Helsinki. 323 s.
- Puustinen M., Pehkonen A. 1986. Salaajien toimintahäiriöt. Helsingin yliopisto, Maatalousteknologianlaitos Tutkimustiedote 48. 67 s.
- Puustinen M., Luoma T., Varis R. 1987. Salaajien toimintahäiriöiden korjaus savi- ja turvemailla. Helsingin yliopisto, Maatalousteknologian laitos, Tutkimustiedote 51. 112 s.
- Rekolainen S., Kauppi L., Turtola E. 1992 Maatalous ja vesien tila, Maveron loppuraportti. Luonnonvarajulkaisuja 15. 61 s.
- RIL, 2016. Peltosalaajituksen ohjeet ja laatuvaatimukset 128–2016. 21 s.
- Rintanen S. 1986 Hydraulisen johtavuuden mittaaminen, vaihtelu ja hyväksikäyttö salaajituksen mitoituksessa Teknillinen korkeakoulu, Diplomityö 94 s.
- Saavalainen J. 1986. Agriculture and Drainage Practices in Finland. Proceedings of International Seminar on Land Drainage. Salaajakeskus, ss. 1–15.
- Salaajakeskus, 1986. Drainage in Finland, Salaajakeskuksen julkaisuja 2/1986, 8 s.
- Saavalainen J. 1987. Salaajitukseen kohdistuvan tutkimuksen arviointia suunnittelijan näkökulmasta. TY tiedote 1, ss. 4–8.
- Saavalainen J. 1989. Salaajituksen kehitysnäkymiä. TY tiedote 7 ss. 2–6.
- Salo H. 2014. Aineiden kulkeutumismallin kehittäminen ja soveltaminen typen prosessien kuvaamiseen peltomittakaavassa. Aalto-yliopisto. Vesi- ja ympäristötekniikka. Diplomityö. 80 s.
- Salaajakeskus. 1978. Peltosalaajituksen aine- ja työselitys. Helsinki. 61 s.
- Salo H., Warsta L., Turunen M., Paasonen-Kivekäs M., Nurminen J., Koivusalo H. 2015. Development and application of a solute transport model to describe field-scale nitrogen processes during autumn rains. Acta Agriculturae Scandinavica Section B Soil & Plant Science, Vol 65, No. Supplement 1: 30–43.
- Saukko P. 1941. Muokkaustöiden vaatimasta kuivatussyvyydestä. Maanviljelysinsinööriyhdistyksen vuosikirja 1941. ss. 96–108
- Seuna P., Kauppi L. 1981. Influence of sub-drainage on water quality in a cultivated area in Finland. Publications of the Water Research Institute, National Board of Waters, Helsinki, Finland. 43, 32–47.

- S-Hallakorpi I. A. 1917. Maan kuivatus: Kuivatus, avo-ojitus, sala-ojitus, yhteiset kuivatustyöt. Porvoo: WSOY. 232 s.
- Skaggs R. W. 1978. A water management model for shallow water table soils. Rept. 134.
- Stuyt L.C.P.M., Dierickx W. Martínez Beltrán J. 2005. Materials for subsurface land drainage systems, Rome, 2005, FAO FAO Irrigation and drainage paper 60 Rev.1. 183 s.
- Suojaranta J. 1983. Pellon kuvio-ominaisuuksien ja maalajin vaikutuksesta salaojituksen hyötyyn. Helsingin yliopisto / Maatalousekonomian laitos. Laudaturtyö. 85 s.
- Suortti-Suominen T. 1984. Selvitys vanhoista salaojituskentistä. Salaojakeskus.
- Tiainen I. 1988. Salaojaputken ympärysaineista – kirjallisuustutkimus. TY tiedote 3, ss. 21–55.
- Tiainen J, Seimola T., Rintala J. 2014. Maatalousympäristön pesimälinnusto. Maatalouden ympäristötuen vaikuttavuuden seuranta-tutkimus (MYTVAS 3): Loppuraportti. Maa- ja metsätalousministeriö. ss. 106–132.
- Tiusanen J. 2002. Salaojakastelu tuulivoimalla. Helsingin yliopisto. Pro gradu-tutkielma. MATEK 821. 64 s.
- Tolvanen M., Torvela M. 1981. Salaojituksen kustannukset ja kannattavuus. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen tiedonantoja 81. Helsinki. s. 105.
- Turtola E., Jaakkola A. 1987, Viljelykasvin vaikutus ravinteiden huuhtoutumiseen savimaasta Jokioisten huuhtoutumiskentällä v. 1983–1986. s.3. Maatalouden tutkimuskeskus 22/87. 34 s.
- Turtola E. 1996. Savimaan uusinta-ojituksen vaikutus fosforin ja typen huuhtoutumiseen. TY tiedote 21 ss. 53–59.
- Turunen M. 2011. Pellon vesitaseen ja salaojitusmenetelmien toimivuusanalyysi. Aalto-yliopisto. Vesi- ja ympäristötekniikka. Diplomityö. 116 s.
- Turunen M. 2017. Assessing water and sediment balances in clayey agricultural fields in high-latitude conditions, Vesi- ja kiintoainetaseiden määrittäminen savipelloilla pohjoisissa olosuhteissa. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Väitöskirja. 106 s.
- Uusitalo R., Turtola E., Lilja T. 1998. Hienojakoisen maa-aineksen rikastuminen valuntavesiin ja valunnan kuljettaman maa-aineksen ominaisuudet – Tuloksia Kotkanjoen koekentältä. TY tiedote 24 ss. 19–26.
- Uusitalo R. 2000. Vesitalouden säätely pelloilta pintavesiin joutuvan fosfori- ja kiintoainekuorman vähentämiseksi. TY tiedote 25, ss. 61–74.
- Vakkilainen P. 1982. Maa-alueelta tapahtuvan haihdunnan arvioinnista / On the estimation of evapotranspiration. Acta Universitatis Ouluensis. Series C. Technica No 20. Väitöskirja. 146 s.
- Vakkilainen P. 1980. Tutkimus pellon tiivistymisen vaikutuksesta salaojituksen toimintaan. Vesitalous 21. ss. 23–28.
- Vakkilainen P. (toim.) 2000. Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä. TY tiedote nro 25/2000. 103 s.
- Vakkilainen P., Suortti-Suominen T., 1982. Pitkälle koneellistetun salaojituksen käyttömahdollisuudet ja kannattavuus. Esitutkimus. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. 55 s.
- Vakkilainen P., Suortti-Suominen, T. 1982. Aurasalaojituksen käyttömahdollisuuksien tarkastelua. Vesitalous 23. ss. 24–26.
- Vakkilainen P., Alakukku L., Koskiahio J., Myllys M., Nurminen J., Paasonen-Kivekäs M., Peltomaa R., Puustinen M., Äijö H. 2008. Pellon vesitalouden optimointi -hankkeen väliraportti 2008. TY tiedote 29, 100 s.
- Vakkilainen P., Alakukku L., Koskiahio J., Myllys M., Nurminen J., Paasonen-Kivekäs M., Peltomaa R., Puustinen M., Äijö H. 2010. Pellon vesitalouden optimointi -hankkeen loppuraportti 2010. TY tiedote 30, 114 s.
- Varis R. 1988. Salaojien toimintahäiriöiden korjaus savi- ja turve-mailla. TY tiedote 4. ss. 27–31.
- Virtanen S. 1993. Suoto-ojitus kuivatuksen täydentäjänä. TY tiedote 17, ss. 18–28.
- Virtanen S. 1988. Salaojituksen toimivuus sääoloiltaan poikkeuksellisenä vuotena 1987, Kyselyn tulokset. TY tiedote 4. ss. 32–43.
- Virtanen S. 2015. Redox reactions and water quality in cultivated boreal acid sulphate soils in relation to water management, Väitöskirja Helsingin yliopisto, 25/2015. 79 s.
- Virtanen S. 2015. Lektio. SY 1/2015. ss. 19–22.
- Virtanen S., Saavalainen J., Marttunen M. 1988. Salaojatutkimus Suomessa: Kirjallisuusselvitys. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry. 96 s.
- Virtanen S., Uusi-Kämpä J., Bonde A., Rosendahl R., Österholm P., Yli-Halla M. 2017. Happaman sulfaattimaapellon vesitalouden hallinta ja hapan kuormitus. Pro Terra No. 71 / 2017, IX Maaperätieteen päivien abstraktit. ss. 95–96.
- Warsta L. 2011. Modelling water flow and soil erosion in clayey, subsurface drained agricultural fields. Aalto-yliopisto, Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Väitöskirja. 209 s.
- Wäre M. 1940. Pohjavesipadotus satojen kohottajana. Pellervon viikko 27–28.
- Wäre M. 1948. Uputuksen ja lyhytaikaisen pohjavesipadotuksen vaikutus viljelykasvien satoihin vuosina 1939–1944. Maasojan vesitaloudellisen koekentän tutkimustuloksia. Maanviljely-yhdistyksen vuosikirja 1948. ss. 81–92.
- Yli-Viikari A., Aakkula J. 2017. Maaseutuohjelman ympäristöarvointi. Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 54/2017, 100 s.
- Ylärinta T., Uusi-Kämpä J. 1992. Typen huuhtoutuminen ja hyväksikäyttö lysimetrikokeessa. Maatalous- ja vesien kuormitus, yhteis-tutkimusprojektin tutkimusraportit. (Toim. Rekolainen S.),
- Äijö H. 2015. Peltosalaojitus. Salaojayhdistys ry, 10 s.
- Äijö H., Myllys M., Sikkilä M., Salo H., Nurminen J., Häggblom O., Turunen M., Paasonen-Kivekäs M., Warsta L., Koivusalo H., Alakukku L., Puustinen M. 2017. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvinuotannossa (TOSKA) – loppuraportti 2017, TY tiedote 32, 109 s.