29

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 29

Pellon vesitalouden optimointi

Väliraportti 2008

Pertti Vakkilainen, Laura Alakukku, Merja Myllys,
Jyrki Nurminen, Maija Paasonen-Kivekäs,
Rauno Peltomaa, Markku Puustinen &
Helena Äijö

Helsinki 2008

Pellon vesitalouden optimointi

Väliraportti 2008

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 29

Pellon vesitalouden optimointi -hankkeen väliraportti 2008

Pertti Vakkilainen, Laura Alakukku, Merja Myllys, Jyrki Nurminen,
Maija Paasonen-Kivekäs, Rauno Peltomaa, Markku Puustinen & Helena Äijö

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry
Simonkatu 12 A 11
00100 Helsinki
puh (09) 694 2100
fax (09) 694 2677

Päätoimittaja Rauno Peltomaa
Etukansi Mittauskaivo Gårdskulla Gårdin koealueella Siuntiossa lokakuussa 2007
Taitto Juha Peltomaa
Painopaikka Multiprint Oy, Helsinki 2008
Web www.salaojayhdistys.fi -> julkaisut

ISBN 978-952-5345-21-6

Sisällysluettelo

Esipuhe 3

1. Johdanto 3
   1.1 Taustaa 3
   1.2 Tavoitteet 4
   1.3 Yhteistyötahot, rahoitus ja aikataulu 4

2. Salaojituksen kehitys ja periaatteet 5
   2.1 Salaojituksen kehitys 5
   2.2 Salaojituksen periaatteet 5
   2.3 Katsaus ympärysaineiden tarpeeseen ja niiden laatuvaatimusten teoriaan 7

3. Aiemmat salaojatutkimukset 15
   3.1 Salojatutkimusta Suomessa 16
   3.2 Salojatutkimusta Ruotsissa 20
   3.3 Muualla tehtyä salaojatutkimusta 22

4. Hankkeen toteutus, alustavat tulokset ja jatkotoimenpiteet 28
   4.1 Tutkimussuunnitelma 28
   4.2 Nummelan koekenttä Jokioisissa 28
   4.3 Gårdskulla Gårdin koekenttä Siuntiossa 37
   4.4 Jankkurointikoe MTT/Sotkamo 45
   4.5 Valunta ja valunnan vuodenaikaisjakauma Aurajoella ja Hovissa 48
   4.6 Salaojituksen pitkäaikaisvaikutukset maan rakenteeseen MTT:n koekentillä 51
   4.7 Tilakohtaiset seurantakohteet (VNA-kohteet) 52
   4.8 Lill-Nägels 54
   4.9 Köyliön Vanhakartano 55
   4.10 Eri ojitusmenetelmien kustannukset 58

5. Yhteenveto 59

Kirjallisuus 61

Liitteet 65

Salaojituksen tutkimusyhdistyksen tiedotteet 100

Pellon vesitalouden optimointi

Väliraportti 2008

Esipuhe

Tässä väliraportissa esitetään tutkimushankkeen ”Pellon vesitalouden optimointi” (PVO) lähtökohdat, tavoitteet, käytetyt menetelmät sekä tähän saakka kertyneet tulokset. Tulosten tulkinta ja johtopäätökset ovat tässä vaiheessa vasta alustavia ja niihin palataan tarkemmin loppuraportissa.

Luvussa 1 esitetään hankkeen tausta, tavoitteet, yhteistyötahot, rahoitus ja aikataulu. Luvussa 2 käsitellään lyhyesti salaojituksen kehitystä ja periaatteita ja luvussa 3 on yhteenveto aiemmin tehdyistä salaojatutkimuksista. Luvussa 4 esitetään hankkeen tutkimussuunnitelma, toteutus, alustavat tulokset ja jatkotoimenpiteet sekä luvussa 5 yhteenveto hankkeesta.

Hankkeen johtoryhmä koostuu seuraavista henkilöistä: Markku Järvenpää puheenjohtaja (MTT), Ville Keskisarja (MMM), Sini Wallenius (MMM), Helinä Hartikainen (HY), Tarmo Luoma (Työtehoseura), Holger Falck (SLC), Erkki Aura (MTT, eläk.) Olavi Rautiainen (Maanrakenne- ja vesitaloussuunnittelu O&M Oy), Hannu Kolehmainen (Savon Salaoja Oy), Kimmo Oravuo (Köyliön Vanhakartano) ja Rauno Peltomaa sihteeri (Salaojayhdistys).

Tutkimusryhmässä ovat toimineet Pertti Vakkilainen tutkimuksen vastuullisena johtajana (Salaojituksen tutkimusyhdistys), Rauno Peltomaa varapuheenjohtajana (Salaojayhdistys), Maija Paasonen-Kivekäs (TKK), Merja Myllys (MTT), Laura Alakukku (HY), Markku Puustinen (SYKE), Jyrki Nurminen (Salaojayhdistys) ja Helena Äijö sihteerinä (Salaojayhdistys).

1. Johdanto

1.1 Taustaa

Salaojituksen tutkimusyhdistys haki tutkimushankkeelle ”Pellon vesitalouden optimointi” (PVO) osarahoitusta maa- ja metsätalousministeriöstä (MMM) syksyllä 2005. Hankkeen pääpaino oli hakemuksessa suomalaisten savimaiden tiivisty-

mis- ja kuivatusongelmien selvittäminen ja ratkaisujen hakeminen. Hankesuunnitelmaan sisältyi myös ravinteiden huuhtoutumisen ongelmat. Samana syksynä alkoi keskustelu MMM:n omien salaojituksen laatuvaatimusten aikaansaamisesta. Laatuvaatimukset oli jostain syystä poistettu pari vuotta aikaisemmin investointituen ehdoista. MMM asetti työryhmän selvittämään laatuvaatimuksia. Työryhmään kutsuttiin jäseniä MMM:stä, Teknillisestä korkeakoulusta, Helsingin yliopistosta, MTK:sta ja Salaojaurakoitsijat ry:stä ja pysyviä asiantuntijoita Etelä-Pohjanmaan TE-keskuksesta ja Salaojakeskuksesta. Työryhmä kokoontui 12 kertaa ja siinä käytiin vilkasta keskustelua erityisesti salaojien ympärysaineen ja esipäällysteen laatuvaatimuksista. Työryhmä antoi mietintönsä keväällä 2006 ”Valtion varoin tuettavan salaojituksen ehdot – peltoviljelyn ravinnepäästöjen vähentäminen” (MMM:n työryhmämuistio 2006:3).

Työryhmän esityksen pohjalta MMM antoi 21.3.2006 asetuksen tuettavan peltosalaojituksen laatuvaatimuksista ja tukikelpoisista enimmäiskustannuksista (MMM:n asetus 204/2006). MMM:n esityksestä Salaojituksen tutkimusyhdistyksen aiemmin tekemään tutkimushankkeeseen lisättiin MMM:n laatuvaatimusasetuksen edellyttämää ohuemman esipäällysteen tutkiminen. Valtioneuvosto antoi asetuksen (VN:n asetus 322/2006) tutkimushankkeeseen kuuluvan salaojituksen tukemisesta. Sen mukaan ojituksille, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia, mutta hyväksytään mukaan PVO-tutkimushankkeeseen, voidaan myöntää investointitukea. Edellä mainitulla osiolla vahvistettu PVO-hanke alkoi kesällä 2006.

1.2 Tavoitteet

Hankkeen tavoitteet ovat:

- selvittää erilaisilla salaojarakenteilla, ojaväleillä ja jankkuroinneilla toteutettujen salaojitusten vaikutuksia maan vesitalouteen ja sitä kautta satoon.
- selvittää eri menetelmien vaikutusta ravinnehuuhtoumiin.
- arvioida uusien menetelmien kestoikää ja taloudellisuutta.

Hankkeen yhteydessä tehdään selvitys aiemmin Suomessa ja muissa maissa tehdyistä salaojatutkimuksista. Asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi tehty tutkimussuunnitelma on esitetty luvussa 4.1.

1.3 Yhteistyötahot, rahoitus ja aikataulu

Hankeen koordinaattorina toimii Salaojituksen tutkimusyhdistys ja tutkimuksen toteuttajina toimivat Teknillinen korkeakoulu (TKK), Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT), Helsingin yliopisto, Suomen ympäristökeskus (SYKE) ja Salaojayhdistys.

Hanke oli alunperin kolmivuotinen, mutta siihen on myönnetty vuoden jatkoaika ja sen toteutusaika on 1.1.2006–31.3.2010. Hankkeen kokonaiskustannusarvio oli alunperin 590 000 euroa. Salaojituksen tutkimusyhdistyksen osuus on 240 000 euroa, MMM:n osuus on 230 000 euroa ja hankkeeseen osallistuvien organisaatioiden osuus on 120 000 euroa. Hankkeen jatkoajalle on anottu lisärahoitusta.

2. Salaojituksen kehitys ja periaatteet

2.1 Salaojituksen kehitys

Salaojitusta tehtiin jo Rooman valtakunnan aikaan yli 2000 vuotta sitten. Keskiajalla ei juurikaan salaojitettu ja vasta 1650-luvulla se otettiin käyttöön Englannissa. Suomessa tehtiin yksinkertaisia salaojia käyttämällä risuja ja kiviä jo 1700-luvulla. Putkisalaojitus käynnistyi Suomessa 1840-luvun alkupuoliskolla, jolloin salaojitusta koskevaa tietoa tuli osaksi Englannista, jonkin verran Saksasta, mutta ennen kaikkea Ruotsista. Lontoon vuoden 1851 maailmannäyttely oli putkisalaojituksen leviämisen kannalta merkittävä tapahtuma. Itsenäistymisen jälkeen salaojitus yleistyi erityisesti Etelä-Suomen kartanoissa. Tuolloin työt tehtiin luonnollisesti lapiokaivuna, mutta silläkin tekniikalla päästiin jo 1930-luvulla yli 5 000 hehtaarin vuosittaisiin salaojitusmääriin. (Aarrevaara 1993.)

Vuosittaiset ojitushehtaarit kasvoivat salaojakoneiden yleistymisen myötä 1950 alusta 1960-luvulle 30 000 hehtaarin vuosittaisiin ojitusmääriin. Ennätysvuosi oli sateisen 1974 jälkeen vuonna 1975, jolloin hyvät ojitusolosuhteet jatkuivat myöhään syksylle. Vuoden ojitusala oli yli 44 000 ha, mikä oli silloisesta koko peltoalasta 1,8 %. Yli 30 000 hehtaarin vuosivauhtia riitti aina 1980-luvun lopulle saakka, jonka jälkeen ne ovat palanneet 1950-luvun alun tasolle ja niistäkin noin kolmannes on ollut vanhojen ojitusten täydennystä. Koko maan peltoalasta on salaojissa kaksi kolmasosaa eli 1,3 milj. hehtaaria, avo-ojissa on vielä 0,6 milj. hehtaaria ja ojattomana viljellään 0,3 milj. hehtaaria. (Maa- ja metsätalousministeriö 2002.)

Salaojitustyössä ja materiaaleissa on sitten 1950-luvun tapahtunut useita muutoksia. Konekanta kehittyi aluksi amerikkalaisten salaojakoneiden varassa, mutta varsin pian alkoi myös kotimaisten koneiden valmistus. Niistä markkinajohtajaksi selviytyi loimaalainen Kurpan Konepaja. Mara-koneiden valtakautta kesti 1980-luvun alkuun saakka. 1970-luvun lopulla salaojakoneisiin tuli laser-tekniikkaan perustuva kaivusyvyyden ohjausjärjestelmä, joka helpotti niin urakoitsijan kuin paaluttajan työtä.

1980-luvun alku oli aurasalaojitustekniikan kokemusten keräämistä ja menetelmän soveltamista suomalasiin olosuhteisiin. Auratekniikkaan liittyi oleellisesti esipäällystettyjen putkien tulo markkinoille, joka tehosti merkittävästi aurakoneiden asennusnopeutta. Tekniikan myötä salaojakoneet alkoivat siirtyä kumipyöriltä tela-alustaisiin koneisiin.

Putkimateriaalin muutos tiilestä muoviin alkoi Suomessa 1970-luvun lopulla. Muutoksen taustalla oli korrugoidun muoviputken kehittäminen Saksassa 1960-luvun lopulla. Suomessa siirtyminen tiiliputkesta muoviputkeen tapahtui kymmenen vuoden kuluessa 1970-luvun lopulla alkaneen siirtymäkauden aikana. Siirtymistä vauhditti aura-tekniikan ja esipäällysteiden yleistyminen. (Salaojituksen perinneyhdistys 2002.)

2.2 Salaojituksen periaatteet

Salaojituksen toimivuuden kannalta tärkeimpiä valintoja ovat ojasyvyys, ojaväli, ympärysaine, putkikoko, putkimateriaali, ojien kaltevuus ja sijainti. Valintoihin vaikuttavat paikalliset olosuhteet kuten maalaji, maan vedenläpäisevyys, kaltevuus sekä kuivatustarve, joka riippuu muun muassa maantieteellisestä sijainnista, hydrologi-

sista olosuhteista ja viljelykasvista. Pintavesien johtamista salaojiin voidaan tehostaa sorasilmäkkeillä ja jankkuroinnilla. Pellon vesitalouden säätöä ja lisäveden johtamista varten on kehitetty säätösalaojitus- ja salaojituskastelumenetelmiä.

Nykyisin käytössä olevien salaojien ojavälien laskentamallien teoreettiset perusteet juontavat juurensa Darcyn tutkimuksiin 1800-luvun puolivälissä. Laskentamalleista edelleen yleisesti käytetyin on Hooghoudt:n kehittämä laskentamenetelmä, jonka hän julkaisi 1940. Darcyn kaavan periaatteen lisäksi siinä sovelletaan Dupuit-Forschheimerin teoriaa 1930-luvulta (Ritzema 2006).

Hooghoudt:n oivallus liittyy edellä mainittujen peruskaavojen soveltamiseen, jossa hän otti käyttöön läpäisevän kerroksen ekvivalenttisyvyyden. Kaava huomioi myös putken tehollisen koon.

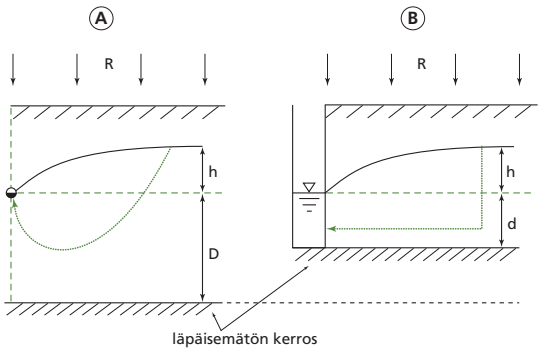
Hooghoudt:n kaavan tekijät ovat:

$$q = \frac{8Kdh + 4Kh^2}{L^2} \qquad (1)$$

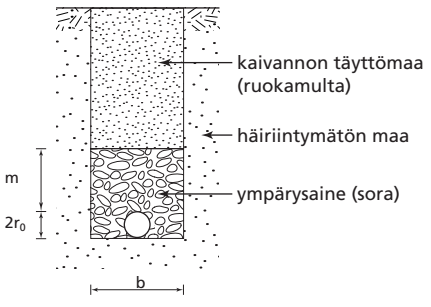
jossa: q = mitoitusvirtaama (m/d)
K = maaperän hydraulinen johtavuus (m/d)
d = läpäisevän kerroksen ekvivalenttisyvyys, johon vaikuttaa myös putken tehollinen halkaisija eli putki ja ympärysaine (m)
h = pohjavedenpinnan korkeus salaojien välissä (m)
L = ojaväli (m)

Koska ojaväli L riippuu ekvivalenttisyvyydestä d, mikä puolestaan on L:n funktio, edellä esitetty funktio voidaan ratkaista vain iteroimalla. Tietokoneet ovat helpottaneet laskentaa, niillä saadaan nopeasti tarkka ekvivalenttisyvyyden arvo kaavalla

$$d = \frac{\frac{\pi L}{8}}{In\frac{L}{\pi r_0 + F(x)}} \quad \text{jossa} \quad x = \frac{2\pi d}{L} \quad \text{ja} \quad F(x) = 2\sum_{n=1}^{\infty} \ln\coth(nx)$$



Kuva 1. Periaatekuva läpäisevän kerroksen D syvyyden muuttamiseksi ekvivalenttisyvyydeksi d.



Kuva 2. Putken tehollinen halkaisija sorastetussa salaojassa.

Tehollinen putkikoko,

$$u = b + 2\left(2r_0 + m\right) \tag{2}$$

Jos kaavassa (1):

- mitoitusvirtaama (q) suurenee, se pienentää ojaväliä (L)
- ekvivalenttisyvyys (d) pienenee, johon vaikuttaa myös putken tehollinen halkaisija, pienenee myös ojaväli (L)
- pohjavedenpinnan korkeus (h) pienenee eli kuivavara suurenee, ojaväli (L) pienenee
- hydraulinen johtavuus (K) pienenee, ojaväli (L) pienenee.

Salaojituksen suunnittelun tueksi on Hooghoudtin kaavan jälkeen kehitetty useita eritystilanteisiin sovellettavia laskentakaavoja. 1970-luvun lopulla alkanut maavesien mallintaminen tuotti salaojitussuunnitteluun muun muassa DRAINMOD-mallin, joka on USA:ssa laajasti käytössä, hollantilaisen SWATR-mallin ja suomalaisen CROPWATN-mallin, jonka kehittäjä on Tuomo Karvonen (Salaojituksen tukisäätiö 2004). Kotimaista mallinnusta on sittemmin kehitetty TKK:lla edelleen 2000-luvulla myös salaojituksen näkökulmasta Sjökullan aineiston avulla (Warsta et al. 2008). Salaojien mitoitukseen tarvittavat yleiset putkivirtauksen perusteet ovat sovellettavissa asennusolosuhteista riippumatta (Smedema et al. 2004).

Salaojituksen laatuvaatimusten virallistaminen tuli ajankohtaiseksi, kun maa- ja metsätalousministeriö poisti valtion tuen ehdoista kokonaan aiemmat salaojituksen laatuvaatimuksina olleet Salaojittajan käsikirjat ja siihen liittyvät RIL:n normit vuonna 2004.

Päätöksen seurauksena käynnistyi maa- ja metsätalousministeriön omien laatuvaatimusten laatiminen. Tätä varten ministeriö nimitti laajapohjaisen työryhmän, joka teki ehdotuksen salaojituksen laatuvaatimuksista. Työryhmän esityksen pohjalta MMM antoi asetuksen salaojituksen tuettavista enimmäiskustannuksista ja laatuvaatimuksista keväällä 2006.

2000-luvulla käyty keskustelu on liittynyt erityisesti imuojien ojavälin suuruuteen, ojasyvyyteen, ympärysaineen laatuun sekä maan rakenteen mekaaniseen kuohkeuttamiseen salaojituksen yhteydessä. Keskustelun taustalla on ollut menetelmästä tehty patenttianomus ja mallisuoja. Tutkimuksen aikana edellä mainittu patenttianomus ja mallisuoja ovat rauenneet. Keskustelun yhteydessä on käytetty termiä rakenneputkitus, jota eivät sen markkinoijat ole kuitenkaan määritelleet. Yleinen käsitys termistä lienee, että sillä tarkoitetaan salaojitusta, jossa ei käytetä soraa ja salaojaojat ovat tiheässä ja matalassa. Yhtenä menetelmän etuna on esitetty salaojituskustannusten pienentäminen. Siltä osin soran korvaaminen halvemmilla esipäällysteillä on noussut tarkastelun kohteeksi. On myös esitetty, että menetelmä pienentää ravinnehuuhtoumia.

2.3 Katsaus ympärysaineiden tarpeeseen ja niiden laatuvaatimusten teoriaan

Katsaus perustuu julkaisuun Vlotman W.F., Willardson S.W, ja Dierickx W, 2003. Envelope design for subsurface drains. ILRI publication 56, 358 s. Alkuperäiset kir-

jallisuusviitteet löytyvät edellä mainitusta julkaisusta, niitä ei ole yksilöity tähän katsaukseen.

Ympärysaine-termi on suhteellisen nuori, se on korvannut aiemman yleisesti käytetyn salaojan suodatin -termin. Ympärysaineella tarkoitetaan välittömästi salaojaputken ympärille työn aikana asennettavaa tai etukäteen asennettua materiaalia. Putken ympärille joko tehtaalla tai työmaalla asennetusta ympärysaineesta käytetään termiä esipäällyste.

Ympärysaineen tehtävät

Salaojan ympärysaineen tehtävät voidaan jakaa neljään eri luokkaan:

Suodatintehtävä	Ympärysaine estää tai rajoittaa maa-aineksen pääsyä putken sisään. Putken asennuksen alkuvaiheessa hienoin kolloidinen maa-aines pääsee putken sisään, mutta ympärysaineen ja kaivannon täytön jälkeen putken liettymistä aiheuttavien hiukkasten liike maaperästä putkeen estyy.
Hydraulinen tehtävä	Ympärysaineen hyvä vedenjohtavuus pienentää veden virtausvastusta salaojaputkeen saumojen tai reikien läheisyydessä.
Mekaaninen suojaus	Ympärysaineen tehtävänä on tukea ja suojata putkea maapaineelta ja estää putken särkyminen tai kokoonpainuminen.
Asennuksen varmistaminen	Ympärysaineella varmistetaan, että asennuspohja on tasainen ja että putki asettuu oikeaan paikkaa ja myös pysyy siinä kaivannon täyttöön saakka.

Ympärysaineen tarve

Ympärysaineen laatuvaatimusten osalta suodatin- ja hydraulinen tehtävä rajaavat käytettävän materiaalin ominaisuudet tarkimmin. Vaadittavat ominaisuudet ovat kiinteässä vuorovaikutussuhteessa asennusolosuhteisiin. Putken liettymisen on todettu johtuvan ensisijaisesti seuraavista tekijöistä:

- maapartikkeleiden raekoko on sellainen, että ne pääsevät putken sisään
- maan rakenne on epästabiili, jolloin maapartikkelit liikkuvat herkästi veden mukana
- putken kaltevuus on niin pieni, ettei putkeen päässyt maa huuhtoudu pois veden vaikutuksesta.

Yksityiskohtainen suodatintarpeen määrittely edellyttää hydraulisen sortuman gradientin HFG:n tuntemista. HFG-menetelmä soveltuu maalajeille, joiden hydraulinen johtavuus on 0,02–4,5 m/d (0,08-19 cm/h). HFG kuvaa maan eroosiokestävyyttä veden virtauksen suhteen. HFG:n arvo voidaan laskea empiirisen kokemuksen perusteella plastisuusindeksin ja hydraulisen johtavuuden arvoista, jos ne ovat tiedossa, kaavalla 3.

$$HFG = e^{0{,}333 - 0{,}132K + 1{,}07 \ln PI} \qquad (3)$$

jossa e = Neperin luku, luonnollisen logaritmin kantaluku
K = kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus m/d
PI = plastisuusindeksi

Plastisuusindeksi kuvaa maan kosteutta, jossa maa-aines käyttäytyy kuten plastinen massa.

Käytännössä ensimmäinen indikaattori suodatintarpeen arvioinnissa on maan savespitoisuus. Maan rakenne on pelkästään suodatintarvetta ajatellen riittävän stabiili, jos sen savespitoisuus ylittää 60 % ja hydraulinen johtavuus on alle 0,1 m/d.

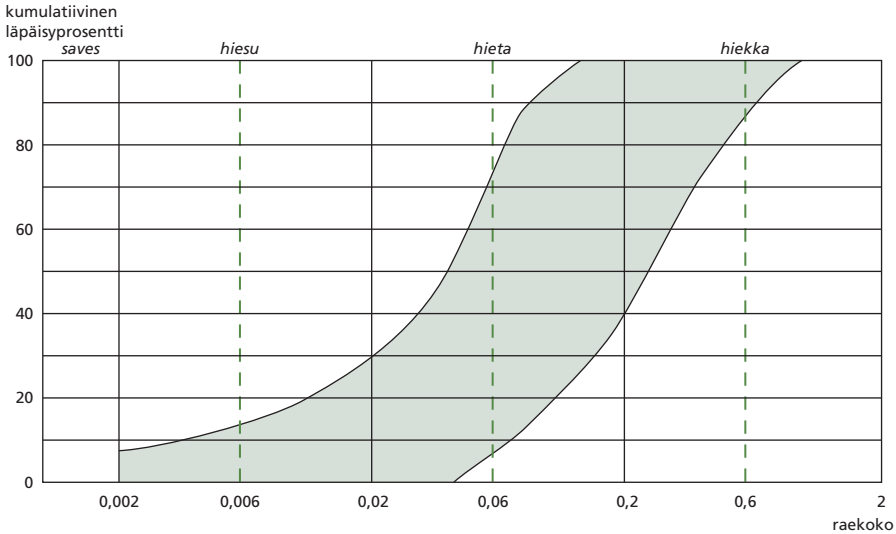
Lauhkealla ilmastovyöhykkeellä savespitoisuuden raja on pienempi, alarajana on vähintään 30 %. Savimaillakin saattaa hienoa ainesta päästä putkeen, jos maaperässä esiintyy suuria huokosia. Plastisuusindeksin tulisi olla vähintään 12, jotta suodatintarve olisi vähäinen.

Niiden maalajien, jotka ovat märkänä mekaanisesti erityisen epävakaita, rakeisuusalue on esitetty kuvassa 3. Näillä maalajeilla on ympärysaineen laatuun syytä kiinnittää erityistä huomiota. Kyseisiä maalajeja pidetään ympärysaineen laadun suhteen erityisen vaativina. Niihin kuuluvat hienot hiedat ja siltit eli hiesun ja hienon hiedan yhdistelmä sekä tasarakeiset karkeat hiedat. Suodatintarve ongelmalliseilla maalajeilla voidaan käytännössä selvittää kairaamalla maahan reikä. Jos se ei pysy auki pohjaveden pinnan alapuolella, suodatintarve on ilmeinen. Samaa asiaa ilmentää avo-ojien luiskien sortumat. Asennusaikaisilla maaperän kosteussuhteilla ja asennustavalla on niin ikään merkittävä vaikutus ympärysaineen tarpeeseen.

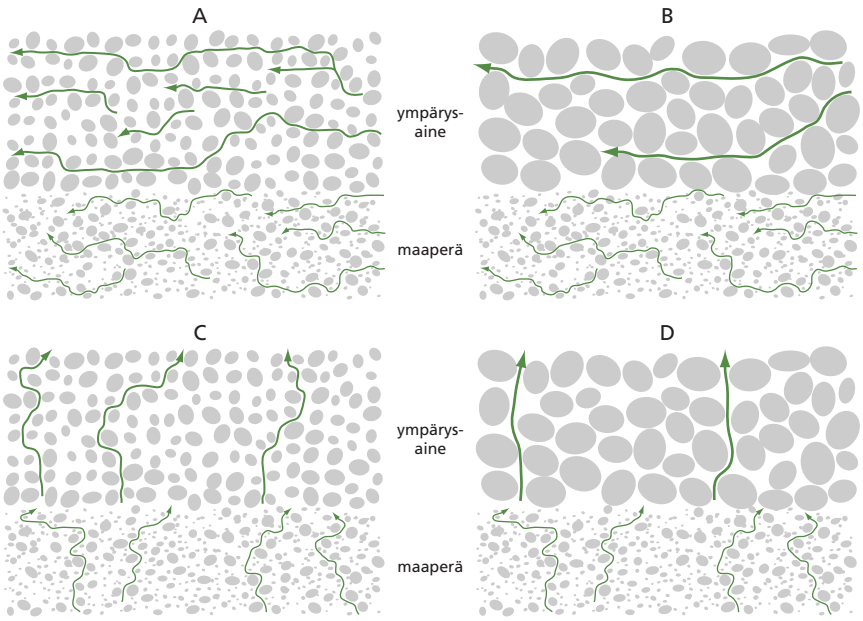
Veden virratessa maaperässä se vetää puoleensa maahiukkasia. Veden nopeuden ja hydraulisen gradientin kasvaessa, vetovoima kasvaa, kunnes se saavuttaa arvon, jolla maapartikkelit alkavat erottua toisistaan ja lähtevät liikkeelle veden mukana. Maahiukkasten siirtyminen voi tapahtua eri suuntiin kuten painovoiman suuntaisesti tai kohtisuoraan sitä vastaan.

Eroosioherkin alue on ympärysaineen ja maaperän rajapinta. Asiaa on havainnollistettu kuvassa 4, jossa hieno ja karkea esipäällyste ovat saman perusmaan päällä. Virtaus on kuvattu sekä esipäällysteen suuntaisena A:ssa ja B:ssä että kohtisuoraa suodatinta vastaan C:ssä ja D:ssä.

Perusmaan ja suodattimen rajapinnassa veden kitkavoima perusmaan hiukkasiin on suhteessa veden virtausnopeuteen suodattimessa. Niin kauan kuin virtausolo-



Kuva 3. Kuvassa on tummennettuna esitetty niiden maalajien rakeisuuskäyrien alue, joilla salaojien suodatintarve on suurin. Rajaus edustaa lauhkeiden ilmasto-olosuhteiden riskimaalajien rajausta.



Kuva 4. Veden pitkittäistä ja kohtisuoraa virtausta perusmaan päällä olevien hienon ja karkean suodattimien rajapinnoissa havainnollistava kuvaus.
A = Hieno ympärysaine ja pitkittäisvirtaus
B = Karkea ympärysaine ja pitkittäisvirtaus
C = Hieno ympärysaine ja kohtisuora virtaus
D = Karkea ympärysaine ja kohtisuora virtaus

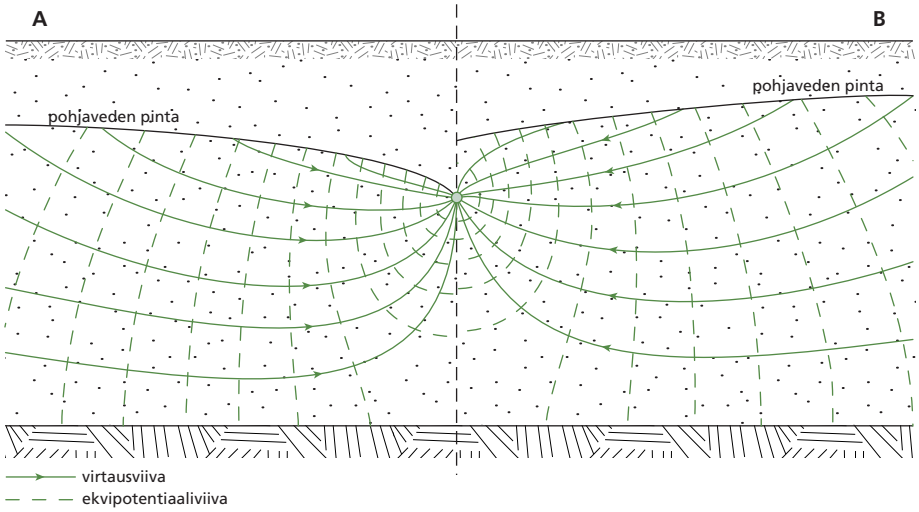
suhteet rajapinnassa pysyvät vakioina, hiukkasten liike jatkuu. Pitkittäisessä virtauksessa maahiukkaset liikkuvat yksittäisinä partikkeleina, kun sen sijaan kohtisuorassa virtauksessa maa-aines liikkuu koko maalajijakauman massana.

Suurten huokosten osuus ympärysaineessa aiheuttaa sen, että virtausnopeus on samalla gradientilla ympärysaineessa suurempi kuin maaperässä. Vastaavasti virtausnopeus on suurempi karkeassa kuin hienossa ympärysaineessa. Koska maaperän kriittinen virtausnopeus on sama molemmilla suodattimilla, kriittinen gradientti, joka saa maahiukkaset liikkeelle, on vaakasuorassa virtauksessa suurempi hienossa kuin karkeassa suodattimessa. Tätä kriittistä gradienttia ilmaistaan hydraulisen sortuman gradientilla HFG:llä.

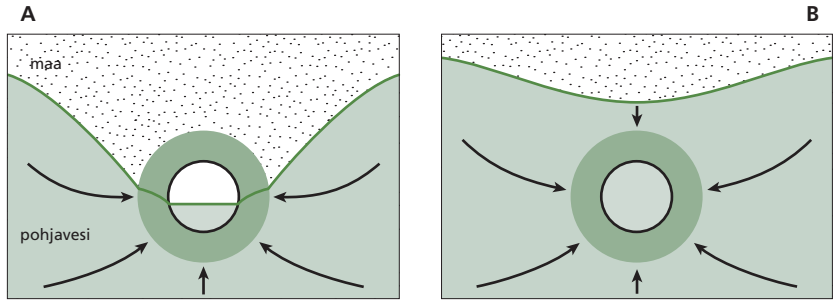
Veden liikkuessa maaperästä kohtisuoraan ympärysaineen rajapintaa vastaan, maahiukkasten liikkeelle lähtö tapahtuu eri tavalla kuin pitkittäisessä virtauksessa, koska virtaus tapahtuu pienemmästä huokostilavuudesta suurempaan huokostilavuuteen. Tällöin veden nopeus on suodattimessa pienempi kuin perusmaassa, jos virtauksen määrä on kummasakin materiaalissa yhtä suuri. Kuvissa 4 C ja 4 D on kuvattu pohjaveden virtausta salaojaan. Veden liikkuessa alhaalta ylöspäin, se liikkuu painovoimaa vastaan. Mekanismi on samanlainen painovoiman suuntaan, paitsi tällöin voimat ovat eri suuruisia ja vaikuttavana tekijänä tulee mukaan ns. siltaefekti.

Veden liikkuessa maaperässä kohti salaojaa, hydraulinen gradientti kasvaa putken ympärillä virtausviivojen kaartumisen vuoksi ollen suurimmillaan maan ja putken rajapinnassa. Kun putken ympärille asennetaan ympärysaine, kriittinen rajapinta siirtyy maan ja ympärysaineen rajapintaan ja gradientti ympärysaineessa pienenee. Näin ollen ympärysaineen valinnan kriittiseksi kohdaksi muodostuu maan ja ympärysaineen rajapintaan muodostuva gradientti.

Veden virtaus salaojaputkeen riippuu oleellisesti vallitsevista olosuhteista.



Kuva 5. Veden virtausta salaojaputkeen havainnollistava kuva. Ekvipotentiaaliviivat ilmaisevat veden energiataosoja putken suhteen. Kuvan vasen puoli (A) edustaa ideaalista tilannetta, jossa salaojaputkella ei ole sisääntulon virtausvastusta. Kuvan oikea puoli (B) tilannetta, jossa putken reikien sijainnista syntyy sisääntulon virtausvastusta.

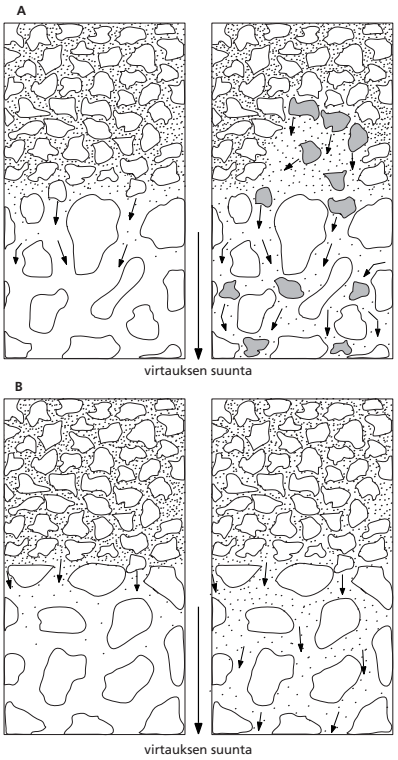


Kuva 6. Kuva havainnollistaa pohjaveden gradienttia ja sen virtausta salaojaputkeen. Vasen kuva (A) edustaa tilannetta, jossa pohjaveden pinta on salaojasyvyydessä ja oikealla (B) oleva kuva tilannetta, jossa laskuaukko on veden alla.

Kuvassa 5 on esitetty virtausviivat ja veden potentiaalitasot ideaalitilanteessa (kuva 5A) ja tilanteessa, jossa putken rakenteesta aiheutuu virtausviivojen ahtautumista putken reikiä kohti (kuva 5B). Kuvassa 6 on havainnollistettu veden virtaus tyypillisissä tilanteissa. Kuvassa 6A pohjaveden pinta on salaojan kohdalla putken syvyydessä. Kuva 6B edustaa tilannetta, jossa laskuaukko on esimerkiksi tulvan vuoksi veden alla.

Siltaefekti

Siltaefekti-termi juontaa juurensa vanhaan holvikaaritekniikkaan sillan rakennuksessa. Maapartikkelit muodostavat ympärysaineessa holvirakenteita jotka estävät niiden etenemistä suodattimessa. Ilmiötä on havainnollistettu kuvassa 7. Siltaefektin aikaansaaminen edellyttää ympärysaineen huokoskoolta ja perusmaan raekoolta tiettyä suhdetta. Suhde määritellään useimmiten O_{90}/d_{90} -suhteena eli ympärysaineen huokoskoon ja maan raekoon 90 %:n arvoilla. Arvo O_{90} on se huokoskoko, jota pienempiä huokosia ympärysaineessa on vähintään 90 % koko huokoskokojakautumasta. Holvautumisen on todettu syntyvän, jos perusmaan maahiukkasen koko on vähintään kolmasosa ympärysaineen huokosen koosta. Jos hiukkasen koko on



Kuva 7. Siltaefektiä havainnollistava kuva
A: Eroosiotilanne
B: Siltaefektin vuoksi vain hieno aines liikkuu

neljäsosa huokosesta, holvautuminen on yleistä. Jos koko on vain viidennes, ilmiötä ei juuri synny. Sorassa hienoin maa-aines läpäisee ensi vaiheessa ympärysaineen, mutta karkeampi osa jää siltaefektin ansiosta siihen. Sen jälkeen kun holvautuminen on muodostunut, hienoa maa-ainesta ei enää pääse ympärysaineen läpi. Tämä ilmiö aiheuttaa sen, että myös sen suodatinominaisuudet ovat hyvät hyvin erilaisissa olosuhteissa. Holvautuminen voi kuitenkin särkyä esimerkiksi salaojien huuhtelun yhteydessä tai käytettäessä salaojia kasteluun.

Ympärysaineen laatu

Salaojien ympärysaineiden laatuvaatimusten historian voidaan katsoa alkaneen 1920-luvulla, jolloin Terzaghi loi suunnitteluperusteet soran laadulle hydraulisissa rakenteissa. Sittemmin korrugoidun salaojaputken käyttöönotto toi mukanaan esipäällystetyt putket, joiden ympärysaineen materiaalina on käytetty muun muassa orgaanisia aineita kuten kookoskuitua, turvekuitua, olkea ja pellavakuitua tai synteettisiä kuituja.

Kuten edellä esitetyistä ympärysaineen tehtävistä käy ilmi, ympärysaineella tulisi olla kaksi vaikeasti yhteen sovitettavaa ominaissuutta; hyvä suodatinominaisuus ja hyvä vedenjohtavuus, joiden pitäisi olla voimassa samanaikaisesti. Ympärysaineiden laatukriteerit perustuvatkin ensisijaisesti näiden kahden ominaisuuden määrittämiseen. Lisäksi ympärysaineen tulisi olla pitkäikäinen sekä itse materiaalinsa että toimivuutensa osalta.

Soran laatukriteerit

Soran laatuvaatimukset määritellään rakeisuuskäyrän avulla. Sopivaan raekokojakautumaan vaikuttaa ensisijaisesti maaperän (d) ja soran (D) raekokojen suhde. Suhteen raja-arvojen tärkeys on sitä suurempi, mitä liettymäherkemmästä maalajista on kysymys.

Ympärysaineen rakeisuuskäyrän rajaus määritetään peltosalaojituksissa yleensä alla esitetyllä suhteilla, c ja f viittaavat karkeaan ja hienoon rajapintaan.

Raekokojakautuman karkeuden raja-arvot:

1. $D_{15c} < 7\ d_{85f}$ Käytännössä on todettu, että mikäli kerroin on suurempi kuin 9, ympärysaineen suodatinkyky ei ole riittävä.
2. $D_{60c} = 5\ D_{15c}$ Suhdeluku kuvaa sallittavan raekokojakautuman käyryyttä.
3. $D_{100} < 9{,}5$ mm Liian karkeat rakeet aiheuttavat rakeiden lajittumista materiaalin käsittelyssä. Raja-arvoa ei tulisi ylittää ainakaan käytettäessä murskeita.

Raekokojakautuman pienimpien raekokojen raja-arvot:

4.a $D_{15f} > 4\ d_{15c}$	Arvo määrittelee hydraulisen johtavuuden pääkriteerin. 15 prosentin läpäisevyysarvo kuvaa materiaalien vedenjohtavuutta, koska kyseinen raekoko määrittelee vedenjohtavuuden kannalta oleellisten huokosten määrän. Kertoimen 4 arvolla ympärysaineen vedenjohtavuus on teoriassa 16-kertainen ja käytännössä ainakin kymmenkertainen verrattuna ympäröivän maan vedenjohtavuuteen.
4.b $D_{15f} = D_{15c}/5$	Arvo määrittelee raekokojakautuman laajuuden ja hydrauliset ominaisuudet. Rajaus varmistaa, että ympärysaineen vedenjohtavuus on riittävä suhteessa maaperän vedenjohtavuuteen.
5. $D_{5f} > 0{,}0074$ mm	Arvo varmistaa sen, että hydraulinen johtavuus ei ole liian pieni ja että asennuksen yhteydessä ympärysaineesta ei pääse liikaa hienoainesta putkeen.
6. $D_{60f} = D_{60c}/5$	Määrittelee sallitun raekokojakautuman laajuuden.
7. $D_{85} > D_{reikäkoko}$	Putkien reikäkoko on leveydeltään normaalisti enintään 2 mm, joten D_{85} >2 mm.

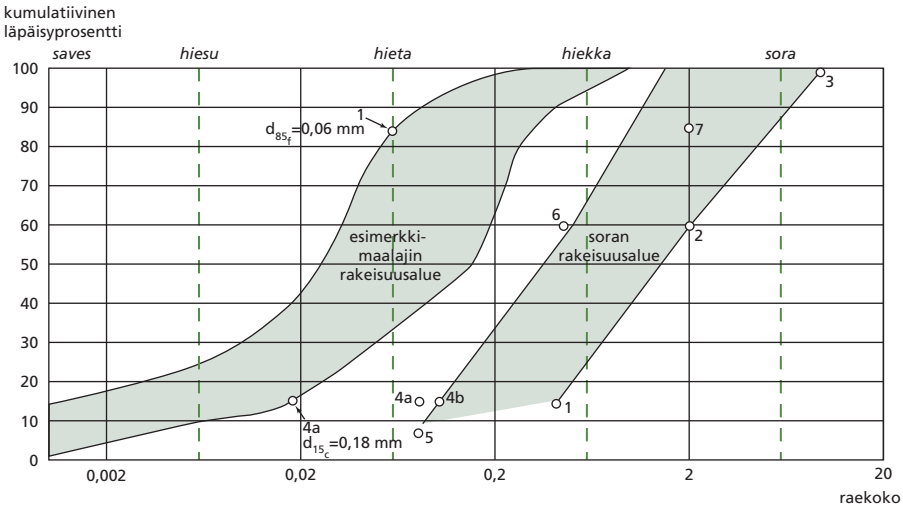
Kiviaineksesta murskaamalla tehdyillä ympärysaineilla on lisäksi huomioitava, että rakeiden muoto tulisi olla sellainen, että niiden pituuden suhde leveyteen ei ole yli kaksi. Myös eri raekokojen esiintyminen murskeessa on tärkeää. Käytännössä murskeita käytettäessä suurimmat ongelmat on todettu johtuneen juuri jonkin raekoon puuttumisesta kokonaan. Murskeen vedenjohtavuuden on todettu myös olevan usein jopa 100 kertaa suurempi kuin vastaavan raekokojakautuman omaavan luonnon soran vedenjohtavuus. Murskeen vedenjohtavuus ei saisi ylittää 300 m/d.

Jos putken reikäkokoa pienemmät rakeet muodostavat holvirakenteen, ne eivät kulkeudu veden mukana putkeen. Ympärysaineen raekoon suhteesta putken reikäkokoon on todettu, että raekoon ollessa kolmasosan reikäkoosta, siltaefekti syntyy aina. Jos suhde on neljäsosa, holvirakenne muodostuu useimmiten, mutta sitä pienemmillä suhteilla siltaefektiä ei synny. Käytännössä ennen holvirakenteen syntymistä putken lähellä oleva hienoaines pääsee putkeen, mutta sen jälkeen hienoaineksen putkeen pääsy on hyvin vähäistä.

Siltaefektin varmistamiseksi on syytä huomioida myös seuraavia suhteita hienomman alarajan osalta:

$D_{15} > 0{,}25D_{reikäkoko}$	Mikäli reikäkoko on 2 mm, suhde edellyttää, että D_{15} on vähintään 0,5 mm. Mikäli maaperä on erityisen liettymisherkkää, jolloin suodatusvaatimus on suuri, on syytä käyttää pienireikäistä putkea ja, jolloin D_{15}-arvo voi olla pienempi.
$D_{50} > 0{,}5D_{reikäkoko}$	Suhde varmistaa, että raekokojakautuma on myös keskikooltaan sopivaa.
$D_{90} > 1{,}5D_{reikäkoko}$	Suhdeluku varmistaa karkean raekoon oikean suhteen. Arvoa voi verrata myös esipäällysteiden vaatimuksiin, jossa kriteerinä on D_{90}-arvo.

Soran määrä tulee olla sellainen, että se yltää vähintään 7 cm putken yläreunan yläpuolelle.



Kuva 8. Ympärysaineen raekokorajauksen määrittäminen esimerkkimaalajille. Tarkistuspisteinä on käytetty:
1. $D_{15c} < 7\ d_{85f}$ **2.** $D_{60c} = 5\ D_{15c}$ **3.** $D_{100} < 9{,}5$ mm **4a.** $D_{15f} > 4\ d_{15c}$ **4b.** $D_{15f} = D_{15c}/5$ **5.** $D_{5f} > 0{,}0074$
6. $D_{60f} = D_{60c}/5$ **7.** $D_{85} > D_{reikäkoko}$

Kuvassa 8 on esitetty edellä olevien kriteerien perusteella soran raekokojakautuma esimerkkimaalajeille, jotka edellyttävät hyvää suodatinominaisuutta ympärysaineelta.

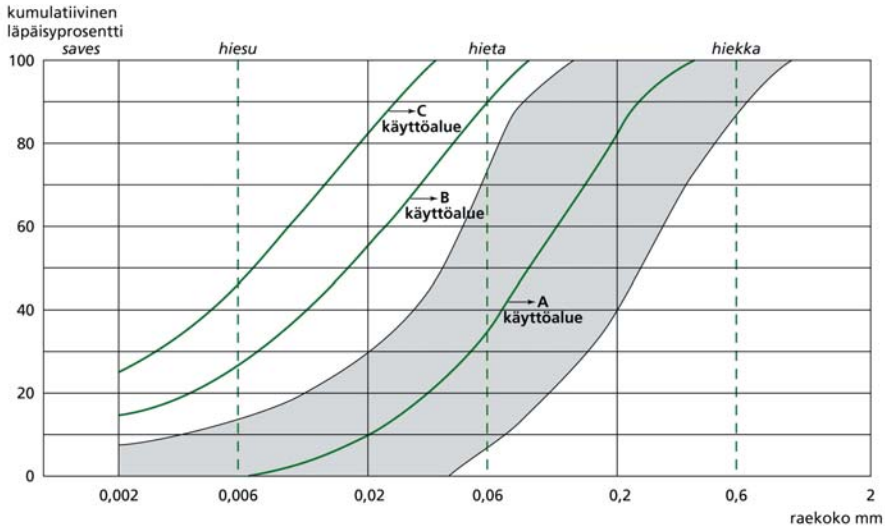
Esipäällysteet

Esipäällysteet jaetaan materiaalin alkuperän mukaan orgaanisiin ja synteettisiin esipäällysteisiin. Orgaaniset päällysteet ovat tavallisesti vähintään 4 mm paksuja, kun synteettisistä aineista voidaan valmistaa hyvinkin ohuita esipäällysteitä. Euroopassa peltosalaojituksissa käytetyt esipäällysteet ovat nykyisin pääasiassa valmistettu kookoskuidusta tai mattoteollisuuden ylijäämäkuidusta.

Laatuvaatimusten osalta orgaanisille esipäällysteille ei ole yhtä kattavia testausmenetelmiä, kuin on maa- ja vesirakentamisessa laajasti käytössä oleville synteettisille geotekstiileille. Orgaanisten esipäällysteiden kriteerit perustuvat ensisijassa niiden paksuuteen, painoon ja huokoskokokoon. Huokoskokojakautuman osalta kriittisenä arvona käytetään seulontatestillä mitattavaa O_{90}-arvoa. Arvo ilmaisee sen huokoskoon, jota pienempiä huokosia esipäällysteessä on vähintään 90 % koko huokoskokojakautumasta. Suodatinominaisuuksien osalta peltosalaojituksessa suositeltavat O_{90} arvot tulisi olla 300–1100 µm:n välillä. Tällaisten esipäällysteiden soveltuvuus eri maalajeille määritellään O_{90} ja d_{90} arvojen suhteella. Tämän suhteen arvo on riippuvainen esipäällysteen vahvuudesta. Jos esipäällysteen vahvuus on vähintään 5 mm, suhde ei saa ylittää viittä. Jos on kysymys 1–5 millin vahvuisesta esipäällysteestä, suhdeluvun tulee olla 2,5–5. Alle 1 mm:n vahvuisilla esipäällysteillä sen on oltava alle 2,5. Näillä suhteen arvoilla varmistetaan esipäällysten riittävä suodatuskyky.

Vedenjohtavuuden osalta ei ole erillistä kriteeriä, koska edellä mainituilla O_{90}-arvojen rajauksella hydraulinen johtavuus on riittävän suuri. Mikäli esipäällysteen O_{90}-arvo on alle 200 µm, sen hydraulinen johtavuus rajoittaa veden liikkumista ja päällysteen tukkeutumisriski on suuri.

Toisin kuin soran osalta esipäällysteiden mekaaninen kestävyys on syytä tarkistaa.



Kuva 9. Esimerkki esipäällysteen O_{90}-arvon suhteesta esipäällysteeltä hyvää suodatinominaisuutta vaativien maalajien raekokoon. Käyttöalue:
A = Kookoskuitu O_{90}-arvo 1,0 mm ja paksuus vähintään 3 mm
B = Kookoskuitu, O_{90}-arvo 0,3 mm ja paksuus vähintään 3 mm
C = Osittain synteettinen ohut esipäällyste, O_{90}-arvo 0,08 mm ja paksuus 0,3 mm

Orgaanisten päällysteiden käytössä tulee lisäksi huomioida muu käyttöympäristö. Niiden hajoaminen saattaa tapahtua muutamassa vuodessa, jos maaperän pH ja lämpöolosuhteet ovat lahoamiselle suotuisat.

Kuvassa 9 on verrattu edellä esitettyjen esipäällysteen O_{90}-kriteerin suhdetta kuvassa 3 esitettyyn maalajien raekokojakautumaan. Kuvassa on havainnollistettu esipäällysteiden O_{90} arvoja, A = 1,0, B = 0,3 ja C = 0,08 mm. Käyrät A ja B edustavat Keski-Euroopassa standardisoituja yli 3 mm paksuisia kookoskuituesipäällysteitä ja C 0,3 mm paksuista esipäällystettä, joka on kotimaista valmistetta ja jonka käyttökokemuksia tutkitaan PVO-hankkeessa. Käyttöaluerajaus on määritelty olettaen, että maalajin raekoostumusjakautuma vastaa kriittisten maalajien raekokojakaumaa. Käyttöaluerajaus perustuu vain ympärysaineen suodatinominaisuuksien kriteeriin. Verrattaessa käyttöaluerajausta maataloudelliseen maalajiluokitukseen, niin A:n käyttöalue rajoittuu karkeaa hietaa karkeammille maalajeille, B:n käyttöalue hienoille hiedoille ja C:n hiuemaille.

Hydraulisten ominaisuuksien osalta O_{90}-huokoskoko tulisi olla vähintään 0,2 mm, vain hyvin rajatuissa olosuhteissa se saisi olla 0,1–0,2 mm, jotta sen vedenläpäisykyky olisi riittävä. Esipäällysteen vedenjohtavuus tulisi olla lisäksi vähintään kymmenkertainen maan vedenjohtavuuteen. Pieni huokoskoko lisää esipäällysteen tukkeutumisriskiä erityisesti, jos veden rautapitoisuus aiheuttaa ruostesaostumia ympärysaineseen.

3. Aiemmat salaojatutkimukset

Salaojituksen toimivuutta on seurattu ja kehitetty sitä mukaan kun se tuli laajemmin käyttöön. Varsinainen salaojien systemaattinen tutkimus tapahtui kuitenkin vasta myöhemmin. Seuraavaksi on lyhyesti esitetty Suomessa, Ruotsissa sekä muissa maissa tehtyä salaojatutkimusta.

3.1 Salojatutkimusta Suomessa

Seuraava katsaus salaojatutkimuksesta Suomessa perustuu pääosin Salaojituksen tutkimusyhdistyksen kirjallisuusselvitykseen (Virtanen et al. 1988).

Salaojitus yleistyi vähitellen 1900-luvun alusta lähtien, jolloin syntyi tarve tutkia salaojitusta Suomen olosuhteissa. Salaojien etäisyyskysymysten selvittelyllä oli keskeinen asema salaojitustoiminnassa usean vuosikymmenen ajan. Tutkimuksissa pyrittiin löytämään olosuhteisiimme soveltuvat ojavälit eri maalajeilla. Ojasyvyyden miniminä pidettiin roudan syvyyttä, kunnes 1940- ja 1950-luvulla alettiin kyseenalaistaa syvyysvaatimuksia ja aloitettiin tarkemmin selvittämään tarkoituksenmukaista ojasyvyyttä. Suositukset ja vaatimukset koskien salaojitusta ovat muuttuneet vuosien kuluessa perustuen kunakin ajankohtana käytettävissä olleisiin tutkimustuloksiin ja käytännön kokemuksiin. Ojavälin ja ojasyvyyden lisäksi on tutkittu muun muassa ympärysaineita, putkimateriaaleja, ojitustekniikoita sekä ruoste-, juuri- ja lietetukkeumia. Maan tiivistymistä ja pelloilta tulevia ravinnehuuhtoumia on tutkittu 1970-luvulta saakka. (Virtanen et al. 1988.)

Salaojitusta on tutkittu koekenttätoiminnan lisäksi laboratoriokokeilla sekä kirjallisuus- ja mallitutkimuksilla. Salaojakustannuksista ja kannattavuudesta on tehty tutkimusta jo 1920-luvulta lähtien. Kysely- ja mielipidetiedusteluja on myös tehty mm. kuivatuksessa esiintyvistä puutteista. (Virtanen et al. 1988.) Suomessa perustut salaojitukseen liittyvät kentät ovat liitteessä 1.

1900- ja 1920-luku, salaojaetäisyyskokeet

Salaojatutkimuksen koekenttätoiminta alkoi Suomessa vuonna 1908, kun prof. I.A. Hallakorpi perusti Tikkurilaan maanviljelystaloudellisen koelaitoksen pellolle koekentän. Kenttäkokeessa salaojien etäisyydet olivat 8; 10,5; 13 ja 15 m ja koekentän maalaji oli tiivistä hiesusavea. Kokeen 13-vuotisten tulosten perusteella ei ollut todettavissa selvää riippuvuussuhdetta satomäärien ja käytettyjen ojaetäisyyksien välillä. (Hallakorpi 1917, Juusela 1953, Pälikkö 1967, Simola 1936.)

Vuosina 1925–1931 Salaojitusyhdistys perusti eri maalajeille seitsemän ojavälikoekenttää. Salaojien syvyydet olivat kaikilla koekentillä 120–130 cm. Ojaetäisyydet olivat aitosavella 12,5–22,5 m, urpasavella 15–35 m, hiesusavella 10–20 m, urpahiesulla 13–25 m, hiedalla 15–20 m, rahkaturpeella 22–56 m ja saraturpeella 17–38 m (Keso 1930). Kokeet jatkuivat koko 1930-luvun jatkuen aitosavella vuoteen 1949 ja saraturpeella vuoteen 1956 saakka. Muilla em. maalajeilla koetoiminta loppui vuosina 1939, 1940 ja 1944. (Salaojayhdistyksen toimintakertomukset 1925–1956.) Koetoiminnan tuloksia on julkaistu vain osittain, mikä mahdollisesti johtuu siitä, että koejärjestely oli ojaetäisyyksiin nähden tarkoituksenmukainen vain aitosavella, hiesusavella ja saraturpeella (Juusela 1953). Todennäköisesti näistä kokeista saadut tulokset ovat kuitenkin vaikuttaneet Suomessa salaojituksessa käytettyihin ojaetäisyyksiin (Virtanen et al. 1988). Jokioisten koekentällä tehtyjen pohjavesimittausten perusteella edullisin salaojaetäisyys aitosavella olisi 12,5 m (Kankare 1956).

Salaojitettujen ja avo-ojitettujen peltojen satotasoja tutkittiin 1920-luvun alkupuolella. Ensimmäiset myyräojitukset tehtiin 1920-luvun loppupuolella. Myös betoniputkien käyttöä salaojana tutkittiin ja selvitettiin vanhojen tiiliputkien kuntoa. Ympärysainetutkimuksissa selvitettiin mm. oljen, turpeen, soran ja ruokamullan ominaisuuksia ympärysaineena. (Virtanen et al. 1988.)

1930- ja 1950-luku, salaojaetäisyys ja ojasyvyyskokeet

Suoviljelysyhdistys perusti vuonna 1931 Tohmajärvelle koekentän ojaetäisyyksien tutkimiseksi. Ojaetäisyydet olivat 10, 20, 30, ja 40 m ja salaojasyvyys oli 120 cm. Koeasemalla verrattiin myös salaojitettujen ja avo-ojitettujen peltojen satoja. Koe osoitti, että parhaimmat heinäsadot saatiin suurimmalla ojavälillä ja parhaimmat kaurasadot saatiin pääasiassa 10 m:n ojaetäisyydellä. (Kotiaho 1953, Juusela 1953.)

Maataloushallituksen insinööritoimisto perusti vuonna 1938 Vihtiin Maasojan vesitaloudellisen koekentän, jossa tutkittiin maan vesitalouteen liittyviä kysymyksiä sekä veden viljelyskasveille aiheuttamaa vahinkoa tai haittaa. Koekentällä selvitettiin myös roudan vaikutusta salaojaputken kestävyyteen. Kolme vuotta 0–60 cm syvyydessä olleissa putkissa ei havaittu murtolujuuden heikkenemistä eikä rapautumista lukuun ottamatta ojien päissä olleita putkia. (Niinivaara 1945.)

Helsingin pitäjän Backaksessa tutkittiin 1940-luvulla salaojituksen vaikutusta maan lämpö- ja kosteusoloihin sekä maan routaantumiseen. Salaojayhdistys teki 1942 roudan syvyyttä koskevia mittauksia koko maassa. (Virtanen et al. 1988.)

Ojasyvyyttä ei 1920- eikä 1930-luvulla tutkittu, koska Suomessa esiintyvän syvän roudan katsottiin vaativan syviä salaojia. Suomessa käytettiin Etelä-Suomessa 120 cm ja Pohjois-Suomessa 140 cm ojasyvyyttä. Ruotsin normien mukaiset salaojasyvyydet poikkesivat Suomessa käytettävistä salaojasyvyyksistä ja 1940-luvulla heräsi mielenkiintoa tutkia myös salaojasyvyyttä. (Virtanen et al. 1988.)

Teknillisen Korkeakoulun maatalouden vesirakennuksen professori Pentti Kaitera kyseenalaisti 1950-luvun alussa Suomessa käytettäviä salaojitusmenetelmiä. Kritiikki kohdistui varsinkin ojasyvyysvaatimuksiin. Hän esitti käytännön kokemuksista ja tutkimuksista saatuja tuloksia, jotka osoittivat että roudan ja juuritukkeutumien aiheuttamia vaikeuksia oli Suomessa aiheettomasti liioiteltu. Maataloushallituksen insinööriosaston päällikkö Lauri Keso, joka oli ollut Salaojitusyhdistyksen toimitusjohtaja sen perustamisesta vuodesta 1918 vuoteen 1946 asti, puolusti käytössä olleita vaatimuksia (Aarrevaara 1993). Myöhemmin Salaojayhdistyksessä vaatimuksia lievennettiin siten, että imuojien syvyyttä madallettiin 20 cm:llä ja ojatiheyden harvennus rinnemailla hyväksyttiin.

Maataloushallituksen vesiteknillinen tutkimustoimisto aloitti 1950-luvun alussa laajamittaisen salaojituskoetoiminnan. Jokioisten kartanon pelloille (Kotkanoja, Lammintie, Lintupaju), Muhoksen Koivikon koulutilalle ja Maatalouslaitoksen pelloille Helsingin pitäjän Tikkurilaan perustettiin koekentät. (Juusela 1953.) Koekenttätutkimuksissa selvitettiin ojaetäisyyksiä (12–38 m), ojasyvyyksiä (30–150 cm), ojattomuutta ja rinnemaiden ojitusta. Lisäksi yli sadalle yksityiselle tilalle perustettiin erillisiä koealueita. Koealueilla käytettiin joko Salaojitusyhdistyksen kyseessä olevalle maalajille suosittelemaa ojaetäisyyttä tai kyseistä ojaetäisyyttä kaksinkertaisena. Maataloushallituksen aloittaman ojituskoetoiminnan yhteydessä perustettiin myös toistakymmentä myyräojituskoealuetta.

Jokioisten koekentän havainnot osoittivat, että oleellisia eroja viljelyn ja satojen kannalta ei eri ojasyvyyksillä ollut. Lintupajun koekentällä ojasyvyys oli 90 cm, ojaetäisyys 18 m ja 36 m, kaltevuus 5,5 % ja maalaji oli hiesusavea. Pälikön (1961) mukaan 1960-luvun alkuun mennessä eri ojaväleillä ei oltu havaittu satoeroja. Pälikön (1962b) mielestä koealueella alun perin suunniteltu 18 m:n ojaetäisyyttä olisi voitu ehkä tuntuvastikin harvetnaa aiheuttamatta sanottavaa riskiä. Tikkurilan savimaalla sijaitsevalla koekentällä Laurisen (1958) tekemät tutkimukset osoittivat mm. että ojaetäisyyksien ollessa 16 m ja 32 m satotasoerot olivat varsin

pienet. Tahvanaisen (1978) mukaan Muhoksen koekentällä, jossa maalaji on hiesusavi, 38 m imuojaväli on ollut liian suuri, sillä pintavettä oli keväällä pellolla useissa kohdissa. Muhoksen koekentällä ojien äärisyvyydet 60 ja 150 cm osoittautuivat huonoimmiksi vaihtoehdoiksi. Edellä mainittujen koekenttätutkimusten tuloksia on kuitenkin julkaistu melko vähän.

Yksityisten tiloille perustettujen koealueiden tutkimustuloksia on käytettävissä vähän. Vuoteen 1962 mennessä kahdeksalta yksityiseltä koealueelta oli saatu niin selviä tuloksia, että kenttähavainnot voitiin lopettaa. Ojavälit olivat 15 ja 30 m tai 16 m ja 32 m ja kävi ilmi, että suurin ojaväli aiheutti viljelytoimenpiteille erityisesti korjuuaikana suurta haittaa. Ojasyvyydestä Pälikkö kirjoitti artikkelissaan (Pälikkö 1962a): ”matalat vain 60 cm syvät salaojat ovat osoittaneet mainitun salaojasyvyyden varjopuolet käytännön peltoviljelyssä. Sen sijaan vertailevat kokeet 90 cm:n ja 120 cm:n koejäsenillä eivät ole antaneet toistaiseksi selviä eroja puoleen eikä toiseen.” Salaojakeskuksen 1980-luvulla suorittaman kyselyn mukaan koealueilla oli osittain jouduttu harvan ojavälin kohdalla tekemään täydennyksiä. Koealueilla, joiden maalaji vaihteli hietasaven ja hiekan välillä, ei täydennyksiä kuitenkaan oltu tarvittu, eikä pellon kuivumisessa eri ojaväleillä ollut selviä eroja (Suortti-Suominen 1984).

Matalan salaojituksen kuntoa selvitettiin vuonna 1952 kuudella tilalla. Ojien syvyydet olivat 39–127 cm. Tutkimus osoitti, että putket olivat säilyneet suurimmalta osin hyvänkuntoisina. Routa ei ollut rikkonut niitä eikä juuritukkeutumia esiintynyt lainkaan. (Juusela 1953.)

Salaojayhdistys perusti 1950-luvulla Rovaniemelle Apukkaan ja Teuravuomalle Kolariin koekentät turvemaiden salaojituksen tutkimiseksi. Turvemailla tutkittiin ojaetäisyyden, -syvyyden ja lautasojituksen lisäksi holvisalaojitusta ja reikäsalaojien käyttömahdollisuuksia. Tutkimustuloksia ei ole kuitenkaan julkaistu. (Juusela 1953.)

Muita tutkimuksen kohteita 1950-luvulla olivat ruostesaostumien ehkäisy, pohjaveden korkeus salaojitetulla ja avo-ojitetulla alueella vertaileva tutkimus sekä tutkimus vuosina 1850–1880 tehtyjen salaojitusten kunnosta ja putkimateriaaleista. Salaojituskoneet alkoivat yleistyä Suomessa 1950-luvulla ja koneiden ominaisuuksia tutkittiin. (Virtanen et al. 1988.)

1960- ja 1970-luku, putkimateriaalit, maan tiivistyminen ja ravinnehuuhtoumat

Salaojatutkimus oli 1960- ja 1970-luvuilla melko vähäistä. Salaojitustyön kausiluontoisuuden poistamiseksi selvitettiin peltomaiden salaojittamista talvella. Salaojakeskus tutki 1970-luvun loppupuolella noin 30 tilan vedenalaisten salaojien toimintaa. Muoviputki tuli markkinoille 1960-luvulla ja tutkimus kohdistui salaojatyömenekkiin ja tiili- ja muoviputkien ominaisuuksien vertailuun. Maataloushallituksen vesiteknillisen tutkimustoimiston johtaman salaojituskoetoiminnan yhteydessä tutkittiin vuonna 1961 muovisten salaojaputkien siivilä- ja saumarakojen vedenotto- ja vedenjohtokykyä. Laboratoriokokeet osoittivat, että muoviputkien vedenjohtokyky oli parempi kuin tiiliputken (Pälikkö 1962c).

Teknillisessä korkeakoulussa tehtiin vuosina 1977–78 laboratoriotutkimuksia salaojaputkien vedenotto- ja vedenjohtokyvystä (mm. Vesitalouden seminaari 1978-1979). Mittausten perusteella muoviputkien vedenottokyky osoittautui huomattavasti suuremmaksi kuin tiiliputkella. Vedenjohtokyky oli taas tiiliputkella puolitoista kertaa suurempi kuin muoviputkella. (Hooli 1979.)

Maan tiivistymisen tutkimiseksi perustettiin 1970-luvulla useita koekenttiä. Vuosina 1973–1975 Maatalouden tutkimuskeskus ja Vakola toteuttivat yhteistyönä tutkimuksia maan tiivistymisestä. Vuosina 1975–1979 Helsingin yliopiston maanviljelyskemian laitos osallistui näihin tutkimuksiin. Kenttäkokeita tehtiin Pakankylän tilalla Espoossa, Lounais-Suomen koeasemalla Mietoisissa, Kymenlaakson koeasemalla Anjalassa sekä Keski-Suomen koeasemalla Laukaalla. Myös Teknillisessä korkeakoulussa käynnistettiin keväällä 1979 maan tiivistymisen vaikutusten selvittämiseksi kokeellinen tutkimus. Tutkimus tehtiin maatiloilla Loimaalla ja Somerolla. (Virtanen et al. 1988.)

Pelloilta huuhtoutuvien ravinnemäärien tutkimiseksi perustettiin 1970-luvun puolivälissä useita huuhtoutumiskoekenttiä. Maatalouden tutkimuskeskus perusti vuonna 1975 Jokioisiin (Kotkanoja, mm. Jaakkola 1979, Turtola ja Jaakkola 1985) ja Vesihallitus vuosina 1977–1978 Liperiin (Melanen ym. 1985, Melkas ym. 1985) ja Maaningalle huuhtoutumiskentät. Pisimmät valumahavaintosarjat ovat Vesihallituksen vuonna 1972 Vihtiin perustetulta Hovin koekentältä (mm. Seuna ja Kauppi 1981). Koealue on yksi ympäristöhallinnon ns. pienistä valuma-alueista.

1980-luku, salaojituksen vajaatoimivuus ja ravinnehuuhtoumat

Tutkimuksen kohteina 1980-luvulla olivat salaojitusten kustannukset (Tolvanen ja Torvela 1981), vajaatoimivuus, auraojitus, salaojituksen mitoituksen vaikutus pellon satotasoon, ympärysaineet ja ravinnehuuhtoumat. Maatalouden tutkimuskeskus perusti 1980-luvulla koekenttiä sorasalaojituksen, salaojien kaivuleveyden, ojaetäisyyden, ympärysaineiden, vajaatoimivuuden, salaojien täyttötavan ja maanpinnan muotoilun sekä syväkynnön tutkimiseksi. Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitoksella selvitettiin salaojtusten vajaatoimivuutta (Puustinen ja Pehkonen 1986). Lisäksi tutkittiin suuren akselipainon vaikutuksia eri maalajien tiivistymiseen. Savimaiden koekentät sijaitsevat Jokioisissa (Alakukku ja Elonen 1994) ja osa turvemaiden kentistä Pohjois-Pohjanmaan koeasemalla Ruukissa. Helsingin yliopiston maatalousteknologian laitos perusti koealueita käytännön maatiloille Lopelle, Urjalaan, Outokumpuun ja Viikkiin, jossa tutkittiin menetelmiä maan tiivistymisen aiheuttamien toimintahäiriöiden korjaamiseksi (Puustinen et al. 1987). Salaojakeskus ja Salaojituksen tutkimusyhdistys perustivat 1980-luvulla tiivistyneiden maiden salaojituksen tehostamisen tutkimiseksi koekenttiä Loimaalle ja Turenkiin, turvemaiden salaojituksen tutkimiseksi Jalasjärvelle ja Lappiin ja salaojavaluman tutkimiseksi Nurmijärvelle (Virtanen et al. 1988).

Vesihallitus rakensi vuonna 1982 Maatalouden tutkimuskeskuksen käyttöön Tohmajärvelle turvemaalle koekentän huuhtoutumistutkimusta varten. Happamien sulfaattimaiden ojituksen tutkimiseksi perustettiin vuonna 1984 Tupoksen koekenttä Limingan Ruhko-ojan alueelle. Vesi- ja ympäristöhallitus perusti vuonna 1986 Pohjois-Savoon Maaningan lysimetrikentän peltoviljelyn pohjavesivaikutuksien tutkimista varten ja vuonna 1987 Aurajoen koekentän erilaisten viljelymenetelmien vaikutuksen valumavesien määrän ja laadun tutkimiseksi (Puustinen 1999, 2005, 2007). Kemira perusti Vihtiin vuonna 1986 Kotkaniemen (Lintulan) koekentän, jossa on vertailtu kyntöä ja kyntämättä viljelyä ravinnehuuhtoutumien näkökulmasta (Koskiaho ym. 2002). MTT perusti vuonna 1989 Keski-Pohjanmaalle Toholammen koekentän, jossa on tutkittu eri viljelytoimenpiteiden vaikutuksia ravinnehuuhtoumiin (mm. Turtola et al. 1985). Vuonna 1982 MTT:ssa perustettiin lysimetrikenttä Jokioisiin (mm. Lemola ym. 2000).

1990- ja 2000-luku, kuivatustila, ravinnehuuhtoumat, säätösalaojitus

Osana Maatalous ja vesien tila -hanketta (MAVERO) (MMM 1992) toteutettiin 1990-luvun alussa laaja investointitutkimus peltojemme kuivatustilasta. Tutkimuksessa selvitettiin käytännön tiloilla peltojen kemiallis-fysikaalisia ominaisuuksia, valuma-alueiden ominaisuuksia, ympäristökysymyksiä ja peltojen paikalliskuivatuksen sekä peruskuivatuksen tilaa ja kohentamistarpeita (Puustinen ym. 1994).

Huuhtoumatutkimuksia jatkettiin 1990-luvulla jo aikaisemmin perustetuilla koekentillä. MTT perusti vuonna 1991 Jokioisiin uudet Lintupajun ja Kotkanoja II koekentät, joilla tutkittiin suojavyöhykkeiden vaikutuksia pintaveden laatuun (Virkajärvi & Uusi-Kämppä 2006) ja vuonna 1992 Ojaisen koekentän valuntasuhteiden ja ravinnevirtojen tutkimiseksi.

Salaojituksen tutkimusyhdistys käynnisti 1990-luvun alussa peltojen ravinnehuuhtouma tutkimuksen. Hanke jatkui vuosikymmenen lopulla yhteistutkimuksena. Tutkimuksessa olivat mukana Teknillinen korkeakoulun Sjökullan koekenttä Kirkkonummella, Lapuan säätösalaojituksenkoekenttä, ja Tyrnävän salaojakastelun koekenttä. Lisäksi selvitettiin MTT:n ja SYKEN koekenttien tuloksia salaojavalunnan ravinnepitoisuuksien osalta, kehitettiin huuhtoutumisherkkyyskartan laatimista sekä säätösalaojituksen ja salaojakastelun taloudellisuutta. (Salaojituksen tutkimusyhdistys 2000.)

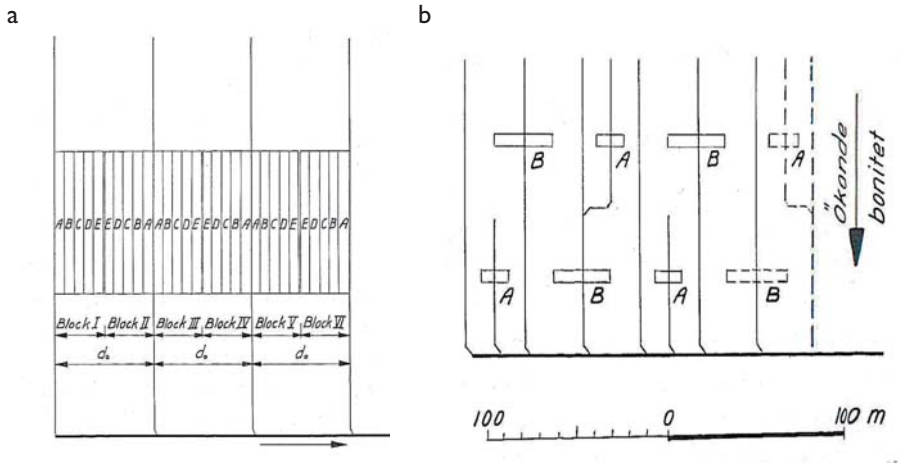
Salaojayhdistyksen johtaman Pellon vesitalouden optimointi (PVO) -hankkeen yhteydessä perustettiin vuonna 2006 Siuntioon Gårdskullan tilalle kaksi mittausasemaa, jolla seurataan ravinnehuuhtoumia. Lisäksi perustettiin Jokioisiin Nummelan koekenttä, jossa mitataan kahden eri salaojitusmenetelmän vaikutuksia satoon ja ravinnehuuhtoumiin.

3.2 Salojatutkimusta Ruotsissa

Ojasyvyys ja ojavälikokeet Ruotsissa

Ruotsin maatalousyliopistolla tehtiin laajamittainen salaojatutkimus vuosina 1947-1977, jossa tutkittiin ojasyvyyden ja ojavälin vaikutusta satoon. Koekenttiä oli eri puolella Ruotsia ja useimmista niistä on tuloksia noin 15 vuoden ajalta. Ojavälin vaikutuksia tutkittiin 100:lla kentällä ja ojasyvyyden vaikutuksia 25:llä kentällä. Ojitus tehtiin tiiliputkilla ja ympärysaineen käytettiin soraa. Salaojien välinen alue oli jaettu salaojien suuntaisiin kaistoihin, joilta mitattiin sadon määrä. Ojasyvyytenä käytettiin 0,6–1,2 m ja ojavälinä 10–40 m. Useimpien kenttien maalaji oli savi. (Wesström et al. 2008.)

Tutkimustulokset on julkaistu Ruotsin maatalousyliopiston julkaisusarjassa monessa eri julkaisussa (Berglund 1978) ja tulokset on esitetty koekenttittäin lääneittäin. Yhteenvetoja kaikista kentistä ei ole tehty. Tuloksiin on merkitty kunkin koekentän maan kaltevuus, savespitoisuus, vedenjohtokyky, kokeen ojavälit, koevuosien lukumäärä, vuosisadanta, satovähenemä ojien keskellä, kuivumisen ja kantavuuden erot eri ojaväleillä keväällä ja syksyllä. Tulokset on esitetty keskiarvona kaistoista, jotka ovat samalla etäisyydellä salaojasta. Tulosten perusteella sadon määrä on suurimmillaan ojien kohdalla ja pienenee ojista poispäin mentäessä. Erot vaihtelevat riippuen maalajista, ojavälistä, sääolosuhteista ja viljeltävästä kasvista. Satovähenemä ojien välillä verrattuna ojien kohdalla olevaan satoon vaihteli eri kentillä välillä 0–21 %. Sadon merkittävää pienenemistä (>10 %) esiintyi keskimäärin vasta ojaväin ollessa yli 16 m muutamilla koekentillä.



Kuva 10. Koejärjestelyt a ja b.

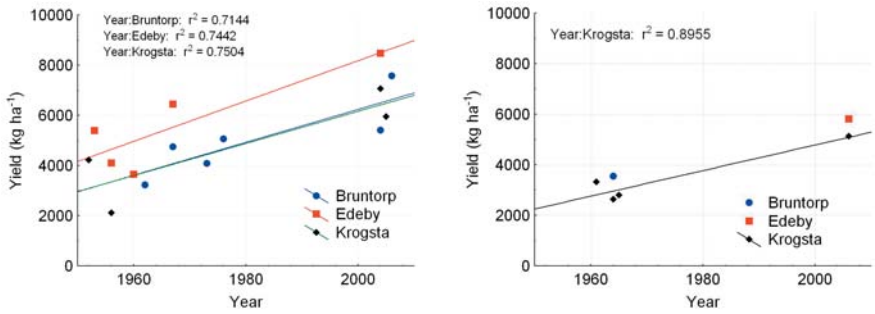
Håkansson (1960a) raportoi 18 koekentän tuloksista, joista osaa oli tutkittu 10 vuotta. Yhteensä tuloksia oli 105 koevuodelta. Ojasyvyys vaihteli 0,6 ja 1,2 m välillä. Tutkimuksissa selvitettiin ojasyvyyden vaikutusta pohjavedenpinnan korkeuteen, satoon, maan kuivumiseen ja kantavuuteen.

Håkanssonin (1960b) yhteenvedossa tarkasteltiin vuosina 1948–1953 tehtyjen yhteensä 90 kokeen tuloksia. Håkansson vertaa kahta eri koejärjestelyä. Hän osoitti, että koejärjestely, jossa ojavälit oli jaettu kaistoiksi (kuva 10a) antaa luotettavamman tuloksen kuin koejärjestely, jossa sato mitataan ojien poikki olevilta alueilta (kuva 10b).

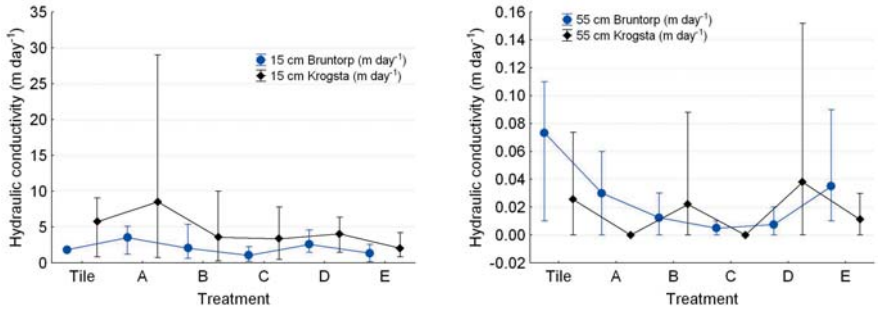
Tutkimus salaojien pitkäaikaisvaikutuksista Ruotsissa

Ruotsin maatalousyliopistolla (Sveriges Lantbruksuniversitet, SLU) tehtiin vuosina 2004–2006 selvitys salaojituksen pitkäaikaisvaikutuksista. Kolmella vanhalla koekentällä, jotka oli perustettu 1950-luvulla, mitattiin uudestaan maan fysikaaliset ominaisuudet ja sato ja verrattiin niitä vuosina 1952–1976 tehtyihin mittauksiin. Koekenttien maalaji oli aitosavi ja ojavälit olivat 30, 32 ja 36 m.

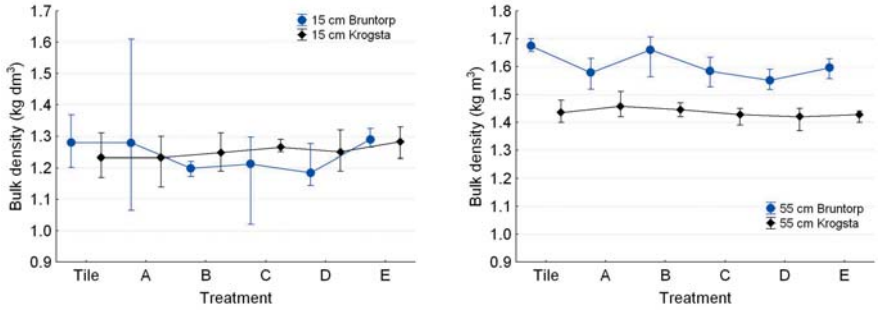
Kentiltä mitattiin kasvu-alustan maanmuokkausominaisuudet, sato, maaperän fysikaalisia ominaisuuksia (kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus, kuivairtotiheys ja huokoisuus), pohjavedenpinnan korkeus sekä maaperän vedenpidätyskyky. Kuvassa 11a on esitetty tuloksia viljan kasvusta eri alueilla, kuvassa 11b maaperän fysikaalisia ominaisuuksia ja kuvassa 11c irtotiheyksiä.



Kuva 11a. Syysvehnän (vas.) ja ohran (oik.) sadon kehitys Bruntorpissa, Edebyssä ja Krogstassa (Wesström et al 2008).



Kuva 11b. Hydraulisen johtavuuden keski-, minimi- ja maksimiarvot 15 ja 55 cm syvyyksillä.



Kuva 11c. Irtotiheyden keski-, minimi- ja maksimiarvot 15 ja 55 cm syvyyksillä. A-E = etäisyys ojasta. (Wesström 2008)

Viimeisen 40 vuoden aikana keskimääräiset syysvehnän ja ohran sadot ovat lisääntyneet 130 % ja 95 %. Suurimmat sadot saatiin Edebyssä, jossa oli korkein savipitoisuus, syvin ojasyvyys (90 cm) ja kapein ojaväli (30 m). Suurimmat sadot olivat lähellä ojia. Sadot pienenivät etäisyyden kasvaessa ojista (ojaväli 30:sta 36:een metriin). Ojituksen johdosta lisääntynyt vedenjohtavuus salaojien kohdalla on nähtävissä 50 vuoden ajan salaojien asentamisen jälkeen. (Wesström 2008.)

Säätösalaojituskokeet Ruotsissa

Säätösalaojituskokeita tehtiin vuosina 1996–2000 Hallandissa ja Skånessa. Koepellot olivat pinta-aloiltaan noin 0,5 ha. Molemmissa kokeissa säätösalaojitetulla pellolla mitattiin salaojavaluntaa läpimitaltaan 1,6 m betonikaivoon asennetulla vesimittarilla ja vedenlaatua seurattiin ottamalla keräilynäytteitä kippiastialla noin 4 litran kokoiseen astiaan. Pintavaluntaa ei mitattu. Hallandissa tehty koe on päättynyt ja Skånessa mitataan enää ainoastaan salaojavalunnan määrää. (Wesström 2002.)

Smålandissa olevalla säätösalaojitetulta pellolta on mitattu 2000-luvulla salaojavaluntaa neljältä peltolohkolta, joista kukin on pinta-alaltaan noin 1,5 ha. Vesimittarit on asennettu noin 70 cm syvyyteen vanerilaatikoihin, jotka on lämpöeristetty. Jokaisessa laatikossa on dataloggeri, josta tieto tallennetaan edelleen paikan päällä kovalevylle. Veden laatua ei ole analysoitu.

3.3 Muualla tehtyä salaojatutkimusta

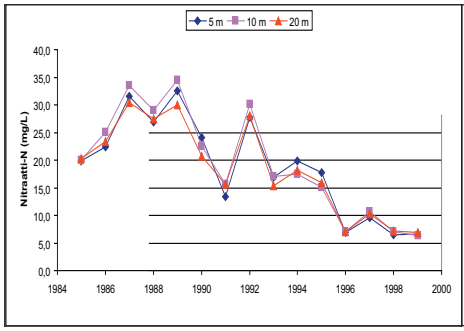
Heinäkuussa 2008 Suomessa ja Virossa järjestettiin kansainvälinen kuivatusseminaari IDW2008 (seminaarijulkaisu ja esitykset: www.fincid.fi). Ohessa on poimintoja seminaarin esitelmistä PVO-hankkeen kannalta mielenkiintoisimmista aiheista.

Ojitustehokkuus ja ravinteiden huuhtoutuminen

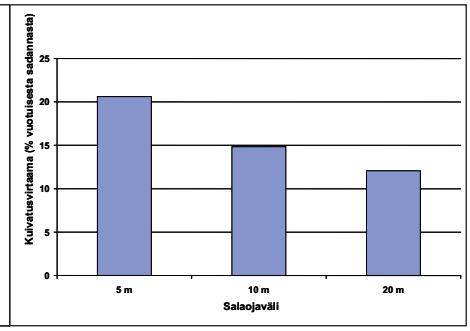
Salaojitus oli useiden esitelmien aiheena. Niistä erityistä mielenkiintoa herättivät amerikkalaiset tutkimukset. Salaojan syvyys ja ojaetäisyys ovat olleet USA:ssa tutkimuksen kohteena useita vuosia. Ojavälin osalta tutkimustuloksia löytyy Indianasta jopa yli 20 vuoden jaksolta (Kladivko et al., 2008). Seurannassa olleet ojaetäisyydet olivat 5, 10 ja 20 m hienohietamaalla, jonka savespitoisuus oli 12 %. Koekentän viljelykierto on esitetty taulukossa 1 ja keskeisimmät tulokset kuvissa 12–15. Alueen 15 vuoden sadannan keskiarvo oli 1120 mm/a. Yhteenvedossa todetaan muun muassa, että pienin ojaväli, 5 m, lisäsi salaojavalunnan kaksinkertaiseksi suurimpaan ojaväliin, 20 m, verrattuna. Satotaso oli pienimmällä ojavälillä vain vähän korkeampi kuin suurimmalla ojavälillä.

Taulukko 1. Indianassa USA:ssa koekentän viljelykierto. Talviajan typenkerääjäkasvina käytettiin syysvehnää. Kentän maalaji oli hienohieta.

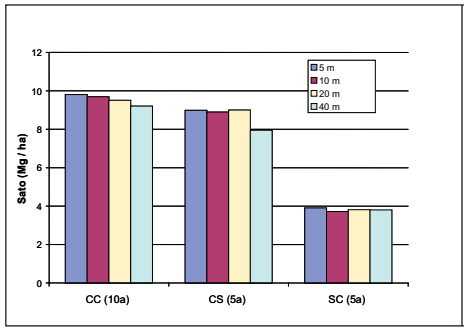
Vuosi	Kasvi	Maanmuokkaus	Typpilannoitus (kg/ha)	Talven ”kerääjäkasvi”
1985–88	Maissi	Kyntö	285	ei
1989–93	Maissi	Kyntö	228	ei
1994–95	Soijapapu/maissi	ei	200 (vain maissi)	kyllä
1996–99	Soijapapu/maissi	ei	177 (vain maissi)	kyllä



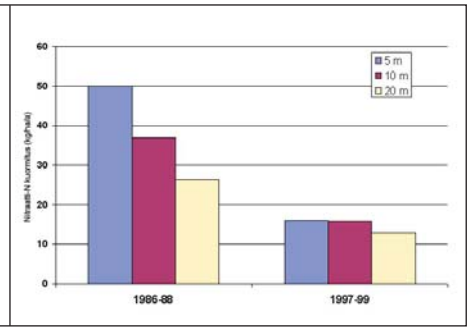
Kuva 12. Salaojavalunnan vuosittaiset nitraattitypen pitoisuudet eri ojaväleillä.



Kuva 13. Ojavälin vaikutus salaojavaluntaan jaksolla 1985–1999 Indianan kokeessa. Maalaji oli hienohieta.



Kuva 14. Keskimääräiset sadot eri ojaväleillä. Vasemmalla (CC) on maissisadot pelkästään maissikierrolla, keskellä (CS) maissin sadot soijapapu kierrolla ja oikealla soijapavun sadot maissikierrolla.

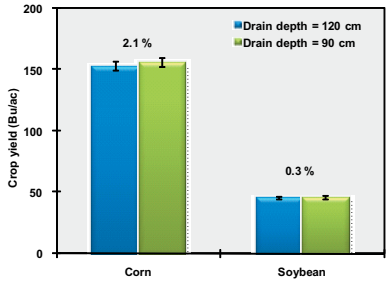


Kuva 15. Ojavälin vaikutus typen huuhtoumaan. Jaksoilla 1986–88, viljelykierrossa vain maissi, jaksolla 1997–99 viljelykierrossa maissi, soijapapu ja kerääjäkasvina syysvehnä.

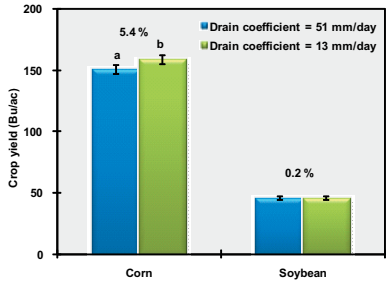
Minnesotassa (Sands et al., 2008) selvitetään myös ojitustehokkuuden vaikutuksia typpihuuhtoumiin. Alueen vuosisadannan pitkän ajan keskiarvo 881 mm, josta 59 % ajoittuu huhti-elokuulle. Typpi on sikäläisissä olosuhteissa todettu merkittävimmäksi Mississippijoen Meksikonlahtea kuormittavaksi ravinteeksi. Tutkimuksen taustalla yhtenä tekijänä on lisäksi meilläkin tuttu ilmiö, että käytännön ojituksissa käytetään merkittävästi suosituksia pienempää ojaväliä. Minnesotan tutkimuksessa optimaalinen ojaväli laskettiin Hooghoudtin kaavalla.

Koekentän maalajit ovat hiue- ja hietasavea. Koetekijöinä käytetään kahta ojasyvyyttä ja kahta mitoitusvirtaamaa. Ojasyvyydet ovat 120 ja 90 cm. Mitoitusarvolla 13 mm/vrk optimaalisiksi ojaväleiksi saatiin Hooghoudt:n kaavalla 24 m 120 cm:n ojasyvyydellä ja 18 m 90 cm ojasyvyydellä. Vertailuojaväleinä ovat laskennallisten ojavälien puolittaminen eli 12 m ja 9 m vastaavilla ojasyvyyksillä 120 cm ja 90 cm. Pienempi ojaväli vastaa mitoitusvirtaamaa 51 mm/vrk. Vuonna 2001 alkaneessa tutkimuksessa selvitetään salaojavalunnan määrää ja typpihuuhtoumia sekä mitataan satomääriä.

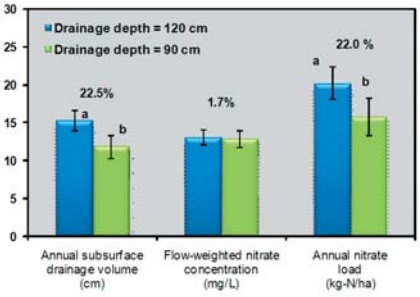
Tutkimuksen tähän astisten tulosten yhteenvedossa todetaan, että ojasyvyys ei vaikuttanut satotasoon (kuva 16). Ojaväli vaikutti jopa niin, että maissin satotaso oli pienellä ojavälillä 5,4 % pienempi kuin optimaalisella ojavälillä, kuva 17. Matala ojasyvyys ja normaali ojaväli pienensivät typpihuuhtoumia (kuvat 18–19). Tulosta selittää se, että syvässä ojituksessa kokonaisvalunta lisääntyi, mutta se ei pienen-



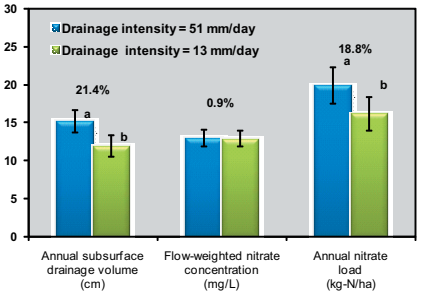
Kuva 16. Ojasyvyyksien 120 ja 90 cm vaikutus maissin (corn) ja soijapavun (soybean) satotasoon. Sininen = ojasyvyys 120 cm ja vihreä = ojasyvyys 90 cm.



Kuva 17. Ojavälin vaikutus satotasoon. Mitoitusvaluma 51mm/vrk (sininen) = ojavälit 9 ja 12 m ja vastaavasti 13 mm/vrk (vihreä) = ojavälit 18 ja 24 m.



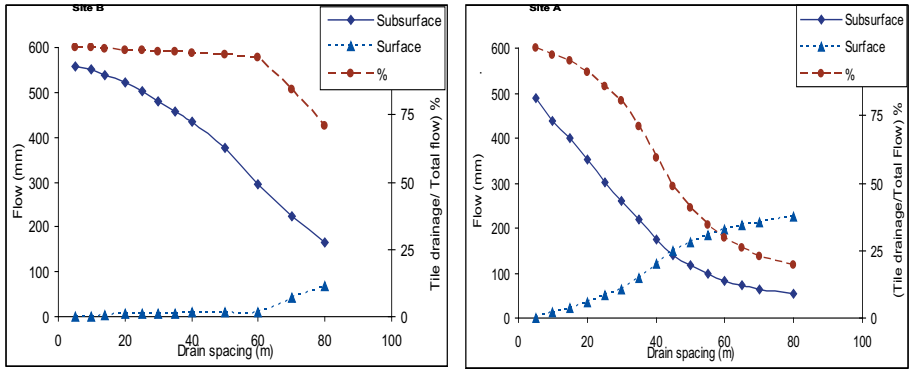
Kuva 18. Ojasyvyyksien 120 (sininen) ja 90 cm (vihreä) suhteellinen vaikutus (%) vuosittaiseen salaojavaluntaan (vasemmalla), valunnan nitraattitypen pitoisuuteen (keskellä) ja sen huuhtoumaan (oikealla).



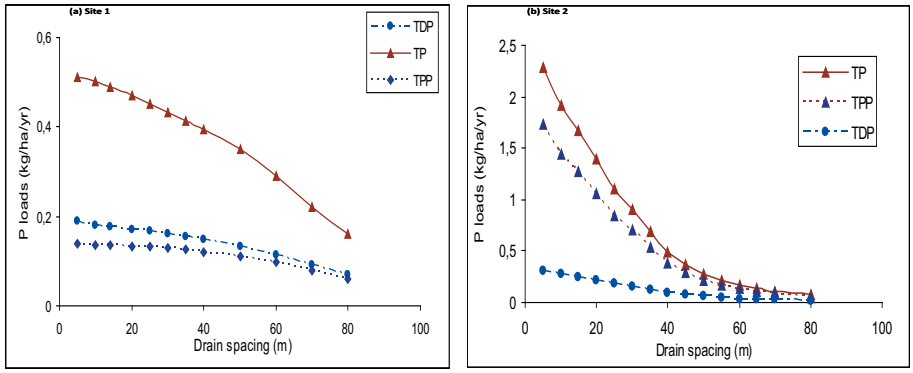
Kuva 19. Ojavälin suhteellinen vaikutus (%) vuosittaiseen salaojavaluntaan (vasemmalla), valunnan nitraattitypen pitoisuuteen (keskellä) ja sen huuhtoumaan (oikealla). Mitoitusvaluma 51mm/vrk = ojavälit 9 ja 12 m ja vastaavasti 13 mm/vrk = ojavälit 18 ja 24 m.

tänyt valumaveden pitoisuutta. Kun lisäksi ojitustehokkuudella ei ollut vaikutusta satotasoon, se ei vaikuttanut sadon ottamaan typen määrään. Tulokset kattavat kuuden vuoden seurantajakson.

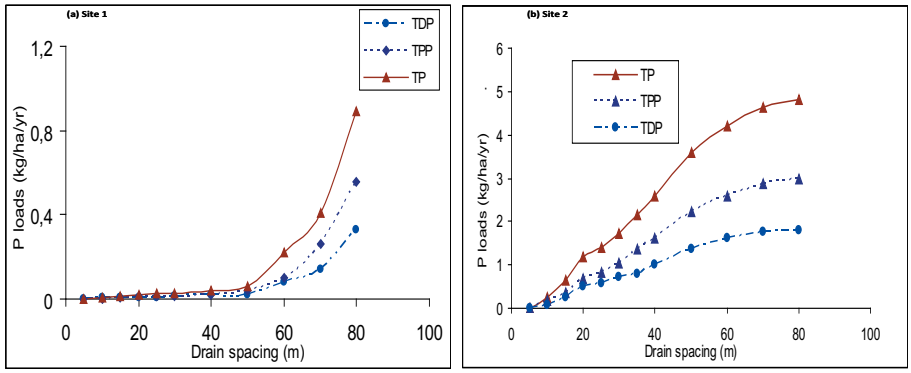
Kanadalaisissa tutkimuksissa (Madramootoo & Dodds 2008) on selvitetty Drainmod-mallin avulla ojavälin vaikutusta myös fosforin huuhtoumaan. Mallilaskelmat



Kuva 20. Ojavälin vaikutus salaojavaluntaan (Subsurface) ja sen osuuteen kokonaisvalunnasta (%) sekä pintavaluntaan (Surface) Drainmod- mallin tulosten mukaan, A savimaa, B hietamaa.



Kuva 21. Vastaavasti ojavälin vaikutus salaojavalunnan fosforihuuhtoumaan. TDP = Liukoinen fosfori, TP = kokonaisfosfori, TPP = partikkelifosfori, (a) = hietamaa, (B) = savimaa. Tulokset on saatu mallilaskelmilla.



Kuva 22. Samoin ojavälin vaikutus pintavalunnan fosforihuuhtoumaan Drainmod-mallin mkaan. TDP = Liukoinen fosfori, TP = kokonaisfosfori, TPP = partikkelifosfori. Tulokset on saatu mallilaskelmilla.

perustuvat koekenttien A ja B mittaustuloksiin, Koealue A on savimaalla, savespitoisuus 40 %, salaojaetäisyys 10 m ja ojasyvyys 1 m. Koealue B on hietamaalla, savespitoisuus 10 %, ojaväli 13 m ja ojasyvyys 1 m.

Mallilaskelmien mukaan fosforin huuhtouma salaojavalunnassa lisääntyy ojavälin pienentyessä. Toisaalta huuhtouma pintavalunnan mukana kasvaa erityisesti, jos ojaväli on yli 40 m. Tulosta selittää vastaavat muutokset valunnan määrissä (kuvat 20–22).

Vesitalouden hallinta

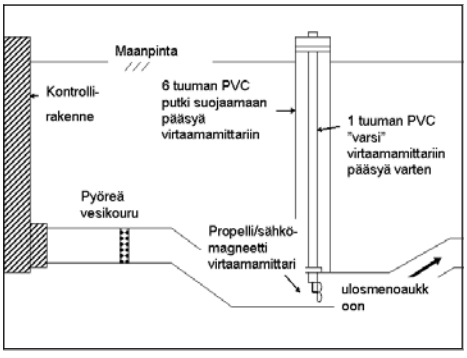
Salaojituksen tilakohtaisena tavoitteena on satotason ylläpitäminen ja sen parantaminen. Samalla tavoitteena tulisi olla ravinteiden ja muiden vesistöille haitallisten aineiden huuhtoumien vähentäminen. Vesiensuojelun näkökulmasta salaojituksen vaikutukset typen ja fosforin huuhtoutumiseen ovat (Skaggs ja Youssef 2008):

- Pintavalunnan pienentyminen, mikä pienentää pintavalunnan mukana eroosiainekseen sitoutuneiden fosforin ja torjunta-aineiden huuhtoutumista
- Salaojitus lisää typen huuhtoumaa ylipäätään ja sitä enemmän, mitä tehokkaampi on salaojitus

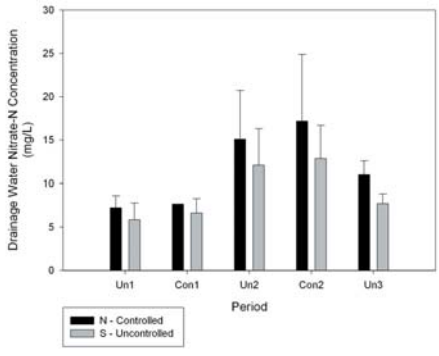
Vesitalouden hallinta on 1970-luvulta lähtien ollut aktiivisen tutkimuksen kohteena erityisesti USA:ssa ja Kanadassa. Tutkimuskohteina ovat olleet muun muassa säätösalaojitus ja salaojakastelu sekä niiden yhdistelmät. Menetelmiä käytetään vuoden aikana yleensä niin, että keväällä ja syksyllä kuivatetaan mahdollisimman tehokkaasti, kesällä joko pelkästään säädetään tai käytetään myös säätökastelua, kasvukauden ulkopuolella käytetään vain säätöä.

Salaojavalunnan ja typpihuuhtoumien osalta pelkän säätökastelun vaikutukset ovat vaihdelleet siten, että säätöojitus on pienentänyt valuntaa 17–94 % tavanomaiseen salaojitukseen verrattuna. Typen osalta vähenemä on vastaavasti ollut 19–85 %. Säädön vaikutus typpipitoisuuksiin on ollut vähäistä, joten huuhtouman väheneminen on selittynyt valuman pienentymisellä ja sadonlisäyksen vaikutuksella. Salaojituskastelu on voinut lisätä myös typen denitrifikaatiota.

Kanadan itäosassa on pitkäaikaisissa kenttäkokeissa saavutettu säätökastelulla typpihuhtoumien vähentymistä 20 prosentilla normaaliin salaojitukseen verrattuna



Kuva 23. Salaojavalunnan mittauksen periaate



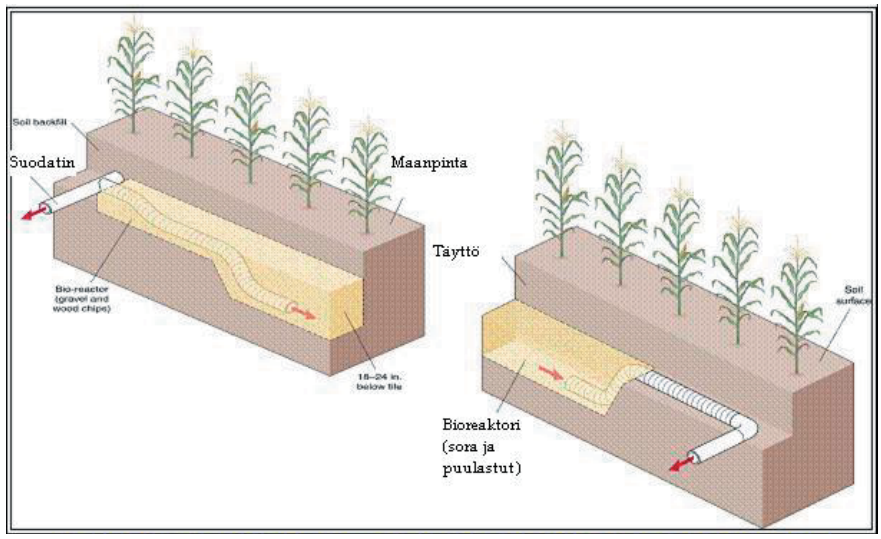
Kuva 24. Salaojavalunnan nitraattipitoisuuksia eri mittausjaksoilla säätösalaojituksessa (controlled) ja normaalissa (uncontrolled) salaojituksessa

(Madramootoo ja Dodds 2008). Fosforin osalta säätökastelun on todettu toisaalta lisänneen salaojavesien fosforipitoisuuksia. Pitoisuuden lisäys painottui talviaikaan, jolloin myös säätökastelukoeruudut päästettiin kuivaksi ja maasta purkautui siihen kasvukauden aikana kerääntynyt fosforipitoinen vesi.

Indianassa (Frankenberger et al. 2008) on meneillään kenttäkokeita, joissa mittausjärjestelyt ovat samankaltaisia kuin PVO-hankkeessa (kuva 23). Tutkimuksella selvitetään säädön vaikutusta sadon määrään, pohjaveden syvyyteen, veden laatuun ja maan rakenteeseen. Säädön typpihuuhtoumaa pienentävä vaikutus perustui valunnan pienenemiseen, ei pitoisuuseroihin (kuva 24).

Innovaatiot

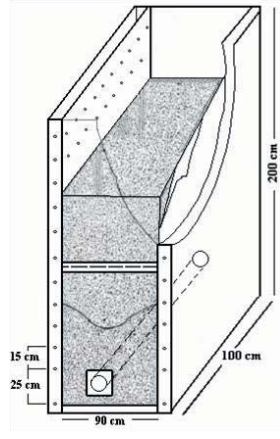
Minnesotassa on tutkittu hakkeesta tehtyä bioreaktoria typen poistamiseksi salaojavesistä (Schrader et al. 2008). Periaate on esitetty kuvassa 25. Menetelmällä on saavutettu keskimäärin 20–50 prosentin nitraattitypen huuhtouman vähenemä. Vähennys ajoittui pääosin kasvukaudelle.



Kuva 25. Hakkeesta rakennetun bioreaktorin periaatepiirros

Tutkimusryhmä tiivistää kuivatuksen tehokkuuden ohjeeksi: ”Kuivata vain sen verran kun on tarpeen kantavuuden ja sadon varmistamiseksi, ei tippaakaan enempää.”

Salaojan ympärysaineeseen liittyvä tutkimus käsitteli Iranissa tehtyä laboratoriotutkimusta riisin puintijätteen (akanoiden) ominaisuuksista ympärysaineena (Kaboosi et al. 2008). Tutkimuksella selvitettiin, voidaanko halpaa paikallista materiaalia käyttää kalliin kiviaineksen korvaajana. Oheisessa kuvassa on esitetty koejärjestelyä (kuva 26). Materiaalin vedenjohtavuus heikkeni ajan myötä, mikä johtui ympärysaineen tukkeutumisesta maa-aineksella.



Kuva 26. Ympärysaineen laboratoriotestauksen periaatekuva.

4. Hankkeen toteutus, alustavat tulokset ja jatkotoimenpiteet

4.1 Tutkimussuunnitelma

Asetettujen tavoitteiden saavuttamiseksi tehtiin seuraava suunnitelma.

Nummelan Jokioisiin perustetaan koekenttä, jossa täydennysojitus tehdään kahdella eri menetelmällä. Gårdskullaan Siuntioon perustetaan koekenttä kahden ison peltolohkon huuhtoutumien selvittämiseksi. Molemmilla koekentillä mitattiin pinta- ja salaojavalunnan määrää ja laatua. Lisäksi MTT:n koekentällä Sotkamossa on perustettu jankkurointikoe, jossa seurataan jankkuroinnin merkitystä maan rakenteeseen ja satoon.

Vanhoja koekenttiä hyödynnetään siten, että

- Aurajoen ja Hovin koekenttien mittauksista lasketaan lisää tuloksia,
- Jokioisten MTT:n Kotkanojan huuhtoutumiskentältä selvitetään salaojituksen pitkäaikaisvaikutukset maan fysikaalisiin ominaisuuksiin. HY:ssa tehdään aiheesta pro gradu -työ maaperä- ja ympäristötieteeseen,
- Vihdissä Kemiran Kotkaniemen koetilalla vuonna 1980 tehdyn syväkuohkeutuskokeen pitkäaikaisvaikutuksia selvitetään yhteistyössä MMM:n osarahoittaman MaSa2- tutkimuksen kanssa.

Valtioneuvoston asetuksen mukaisten tilakohtaisten seurantakohteissa (VNA-kohteet) on tehty uusia ojituksia vuosina 2006–2007 käyttämällä ohutta suojakangasta. Näiden ojitusten vaikutusta kuivatukseen, satoon ja maan rakenteeseen seurataan. Markkinoilla oleva ohut suojakangas testataan. Hakkeen käyttö ojituksessa ojan täyttöaineena tutkitaan Kirkkonummella sijaitsevalla Lill-Nägelsin tilalla.

Ohutta esipäällystettä on käytetty Suomessa yli kymmenen vuotta. Tutkimuksessa pyritään keräämään sillä tehdyistä ojituksista saatuja kokemuksia. Köyliön Vanhakartano, jossa salaojitusta on tehty eri menetelmillä, on yksi tutkimuksen kohde.

Eri menetelmien kestoikää ja taloudellisuutta selvitetään vertailemalla eri menetelmien nykyisiä kustannuksia. Tehdään yhteenveto aiemmin tehdyistä salaojatutkimuksista Suomessa ja muualla.

4.2 Nummelan koekenttä Jokioisissa

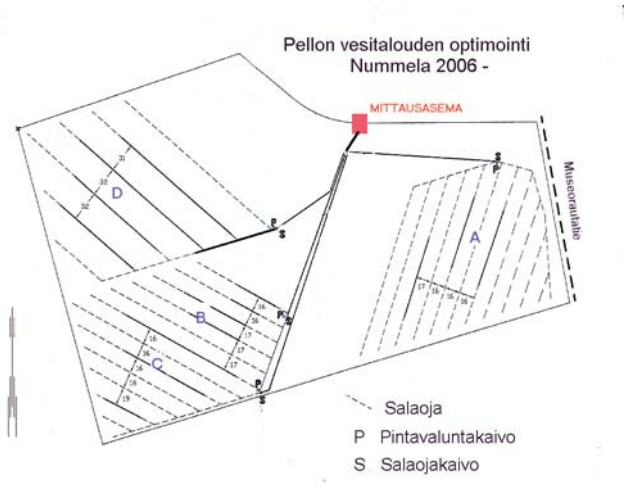
Tavoitteet

Tavoitteena on verrata kahden eri täydennysojitusmenetelmän vaikutuksia pellon kuivatukseen, pellolta tuleviin ravinnepäästöihin ja satoon. Menetelmässä I lisätään vanhojen imuojien jokaiseen väliin salaoja, jolloin ojaväliksi tulee kahdeksan metriä. Ympärysaineena käytetään soraa. Menetelmässä II käytetään tiheää (6 m) ojaväliä ja ympärysaineena ohutta esipäällystettä.

Toteutus

Koejärjestelyt

Nummelan koekenttä on MTT:n hallinnoima peltoalue, jolla on 1950-luvulla maa- ja metsätalousministeriön toimesta tehty salaojien etäisyyskoe käyttäen ojavälejä 16 ja 32 m. Alue on MTT:n viimeinen iso peltoalue, jolla ei ole sitten ensiojituk-



Kuva 27. Nummelan koealueet ja mittausasema. Alueella A tehtiin täydennysojitus menetelmän II mukaisesti (tiheä ojaväli, ympärysaineena ohut esipäällyste). Alueella C tehtiin täydennysojitus menetelmän I mukaisesti (salaoja joka imuojan väliin, ympärysaineena sora). Alueet B ja D jäivät vertailualueiksi.

sen tehty täydennysojitusta. Nummelan kentän pinta-ala on yhteensä noin yhdeksän hehtaaria. Alue on lievästi viettävä, ja maa on lähes kauttaaltaan aitosavea. Viljelykasvit ja -menetelmät ovat olleet koko alueella samanlaiset vuosikymmeniä.

Tutkimuksen alussa koekenttä jaettiin neljään koealueeseen; 16 metrin ojavälein ojitettu peltoalue jaettiin alueisiin A, B ja C. Harvemman ojavälin, 32 m, alueesta tuli koealue D (kuva 27).

Tutkimus alkoi kalibrointijaksolla, jonka tavoitteena oli saada käsitys koealueiden välisestä luontaisesta vaihtelusta ennen täydennysojitusten tekoa. Kalibrointijakso kesti huhtikuusta 2007 toukokuun 2008 loppuun. Sen aikana mitattiin koealueiden pinta- ja salaojavalunnan määrää ja laatua, sadantaa, pohjaveden pinnankorkeutta, maan kosteutta sekä roudan syvyyttä. Lisäksi määritettiin maan ominaisuudet.

Koekenttä kartoitettiin GPS-menetelmällä kesällä 2007. Jokaiselta koealueelta etsittiin piikittämällä kolme tai neljä salaojaputkea, ja näin saatujen tietojen perusteella piirrettiin koekentän kartta (liite 2a). Ojia etsittiin piikittämällä myös täydennysojien oikean sijaintipaikan löytämiseksi alueelta C. Myös maanäytteidenottopisteet ja pohjavesiputkien paikat mitattiin GPS:llä.

Koealueiden pinta-alat tarkistusmitattiin keväällä 2008. Tällöin mitattiin erikseen ne pinta-alat, joilta salaojaputket keräävät vettä ja pintavaluntaputkien rajaamat alueet. Nämä pinta-alat on esitetty taulukossa 2. Vaikka noin 0,4 metrin syvyyteen kaivetuilla rei'itetyillä putkilla kerätään myös muuta kuin pellon pinnassa liikkuvaa vettä, niin kaivantojen putkissa liikkuvasta vedestä käytetään tässä yhteydessä nimitystä pintavalunta.

Taulukko 2. Nummelan koealueiden pinta-alat (ha).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	2,9	1,7	1,3	3,4
Pintavalunta	2,4	1,2	0,7	2,7

Täydennysojitukset tehtiin menetelmiä I ja II käyttäen kesäkuun 2008 alussa. Alueella C toteutettiin menetelmän I mukainen täydennysojitus. Tällöin vanhojen imuojien väliin lisättiin uusi imuoja, jolloin ojaväliksi tuli kahdeksan metriä. Ympärysaineena käytettiin soraa, ja lisäksi tehtiin sorasilmäkkeitä keskimäärin seitsemän metrin välein (kuvat 28 ja 29). Alueella A toteutettiin menetelmän II mukainen ojitus.

Kuva 28. Koealueen C täydennysojitustyö 5.kesäkuuta 2008 MTT:n Nummelan koekentällä.

Kuva 29. Sorasilmäkkeitä koealueella C.

Kuva 30. Koe-alueen A ojitus aurakoneella MTT:n Nummelan koekentällä.

Kuva 31. Näkymä alueelle A ojituksen jälkeen.

Ojaväli oli 6 metriä, ja ympärysaineena oli ohut esipäällyste (kuvat 30 ja 31). Alueen A vanhat salaojat rikottiin. Alueet B ja D jäivät vertailualueiksi.

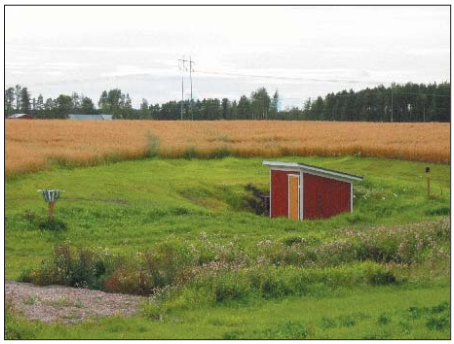
Kaikkien neljän koealueen pinta- ja salaojavaluntojen määrän ja laadun seurantaa ja muita mittauksia jatkettiin täydennysojitusten jälkeen samalla tavalla kuin kalibrointijaksolla.

Nummelan koekentällä viljeltiin kesinä 2007 ja 2008 kauraa. Ennen kevään kylvöjä kentälle levitettiin lietettä. Lietettä levitettiin myös syksyllä 2007. Kaikki viljelytoimet tehtiin Jokioisten kartanoiden normaalin viljelykäytännön mukaisesti. Työkoneita ei käännelty pintavalunnan keräämiseen tehtyjen maavallien takia, vaan niiden yli ajettiin. Ainoastaan pohjavesiputkia väisteltiin.

Täydennysojituksen jälkeen koealueilta otetaan syksyisin satonäytteet, joista analysoidaan määrä ja laatu (hehtolitrapaino, 1000 siemenen paino, typen määrä ja fosforin määrä).

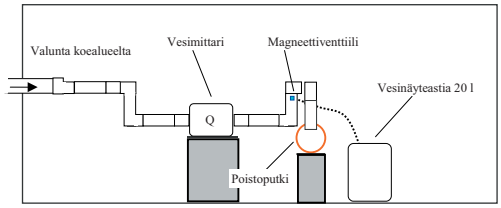
Valumavesien määrän ja laadun mittaukset

Syksyn 2006 ja talven 2007 aikana Nummelan koekentälle rakennettiin valumavesien keruu- ja mittausjärjestelmä, joka koostuu peltolohkoille asennetuista putkista ja kaivoista sekä koekentän laidalle rakennetusta mittausasemasta (kuva 32) mittauslaitteineen (kuvat 33 ja 34). Kunkin neljän koealueen pintakerroksen valumavedet kootaan matalien maavallien ja niiden yhteydessä olevien keruuputkien avulla ensin pintavesikaivoon ja kaivosta putkia pitkin mittausasemalle. Keruuputket (Ø 50 mm:n salaojaputkea) asennettiin kapean noin 0,4–0,5 metrin syvyisen kaivan-



Kuva 32. Nummelan mittausasema ja koekenttä

Kuva 33. Nummelan mittausasema (vesimittarit rivissä keskellä)



Kuva 34. Valumaveden määrän mittaus ja näytteenotto

non pohjalle, joka täytettiin soralla. Koealueiden kokoojaputkien keräämät salaojavedet johdetaan vastaavasti välikaivojen ja putkiston kautta mittausasemalle. Mittauskoppiin tuleviin putkiin (neljä salaoja- ja neljä pintavaluntaputkea) on asennettu jatkuvatoimiset vesimäärämittarit (Maddalena DATAWATER WS). Dataloggeri kerää tiedot mittareista (esim. 15 min välein) ja ohjaa vesinäytteiden ottoa virtaamaan perustuen. Mittarit lähettävät 100 litran välein pulssin dataloggeriin, jonka laskeman pulssien summan avulla saadaan kunkin alueen pinta- ja salaojaputkista valuneen veden määrä. Vesimittareissa on lisäksi mekaaninen mittari, joka ilmoittaa mittarin läpi virranneen kokonaisvesimäärän. Mittareiden vesimäärälukemista on apua loggerin mahdollisten toimintakatkojen aikana.

Loggerille asetetun näytteenottoehdon (esim. 5 m^3) täytyttyä avautuu putkeen kiinnitetty magneettiventtiili määrätyksi ajaksi (esim. 10 s), jolloin kokoomanäytettä keräävään kanisteriin (20 l) saadaan halutun suuruinen vesimäärä (esim. 0,1–5 l). Keruukanistereihin kertyneestä vedestä otetaan jaksoa (noin 1 vko) edustavat näytteet MTT:n laboratoriossa tehtävää analysointia varten. Mittareiden vesimäärätietojen lisäksi dataloggeri kerää sadantatiedot mittauskopin läheisyyteen sijoitetulta automaattiselta sademittarilta (kippilaskuri-tyyppinen). Dataloggerin keräämä tieto siirretään päivittäin gsm-yhteyden avulla TKK:n vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorioon Otaniemeen.

Automatisoituja mittauksia varmistetaan manuaalisesti; kun kentältä käydään hakemassa vesinäytteitä 1–2 kertaa viikossa, luetaan samalla vesimittarin lukemat ja mitataan sademäärä mittauskopin läheisyyteen asennetusta astiamittarista. Näin varmistetaan näytteenottovälien sademäärä.

Valumavesinäytteistä analysoidaan kokonais-, ammonium- ja nitraattityppi, kokonaisfosfori, liukoinen epäorgaaninen fosfori sekä haihdutusjäännös.

Pohjavedenpinnan syvyys ja maan kosteus

Nummelan koekentällä seurataan ojituksen tehokkuutta mittaamalla pohjaveden syvyyttä ja maan kosteutta. Kaikille neljälle koealueelle asennettiin kesällä 2007 viisi pohjavesiputkea. Putket ulottuvat 1,5 metrin syvyyteen, ja ne on sijoitettu salaojien puoliväliin. Alueiden A ja C pohjavesiputket poistettiin täydennysojitustöiden takia 4.6.2008 ja asennettiin takaisin syysmuokkauksen jälkeen. Putkia asennettiin jokaiseen ojaväliin yhtä pitkälle linjalle kuin ennen täydennysojituksiakin (noin 60 m), jolloin niitä tuli alueelle A 12 kpl ja alueelle C 9 kpl. Pohjaveden korkeus mitataan manuaalisesti noin kerran viikossa. Pohjavesiputkien sijainti kalibrointijakson aikana on esitetty liitteessä 2b.

Alueiden A ja C keskimmäisiin pohjavesiputkiin asennettiin lisäksi 14.3.2008 paineanturit ja niiden yhteyteen dataloggerit jatkuvan pohjavesidatan saamiseksi. Anturit ja loggerit asennettiin putkiin uudelleen täydennysojituksen jälkeen. Pohjaveden korkeus näissä kahdessa putkessa mitataan 30 minuutin välein, ja loggereihin kertynyt data otetaan talteen paikan päällä noin kuukauden välein.

Jokaisen pohjavesiputken vierelle on asennettu kaksi kosteusmittausanturia (TDR-menetelmä). Niiden avulla mitataan maan vesipitoisuus tilavuusprosentteina maan kokonaistilavuudesta. Kosteusmittaus tehdään pohjavesimittausten yhteydessä noin kerran viikossa.

Maanäytteet ja maa-analyysit

Tutkimuksen alkuvaiheessa syksyllä 2006 Nummelan koekentältä otettiin maanäytteitä viidestä paikasta koealuetta kohti, yhteensä siis 20 paikasta (liite 2b). Näytteitä otettiin metrin syvyyteen asti, ja niistä selvitettiin maan rakenne ”alkutilanteessa” eli ennen täydennysojituksen tekoa. Jokaisesta paikasta otettiin kahdenlaisia näytteitä:

- Häiriintymättömiä maanäytteitä (halkaisija 15 cm, pituus 60 cm) otettiin traktorikairalla siten, että näytteen rakenne säilyi. Näytteet katkaistiin laboratoriossa siten, että saatiin erilliset näytteet: 0–20 cm, 20–40 cm ja 40–60 cm. Näytteistä määritettiin
  - maan vedenjohtavuus kyllästetyssä tilassa
  - maan vedenpidätyskyky ja erikokoisten huokosten tilavuus
  - tilavuuspaino
  - juurikanavien ja lieronreikien määrä
- Kairattuja maanäytteitä otettiin 10 cm:n välein 100 cm:n syvyyteen asti. Maanäytteistä määritettiin
  - maalaji mekaanisella maa-analyysillä
  - orgaanisen aineksen pitoisuus kuivapolttomenetelmällä
  - viljavuus: pH, johtoluku, Ca, Mg, K, P (vain muokkauskerroksesta)

Kalibrointijakson tulokset

Valumaveden määrä

Nummelan koekentän valumavesien keruu- ja mittauslaitteisto saatiin toimintakuntoon huhtikuussa 2007. Yhtäjaksoiset vesimäärämittaukset käynnistyivät laiteongelmien ja vesimittarien tukkeutumisesta johtuneiden katkosten jälkeen 30.4.2007, ja kalibrointijakso päättyi reilun vuoden päästä 31.5.2008.

Dataloggerin kokoamien vesimäärätietojen ja taulukossa 2 esitettyjen pinta-alo-

jen perusteella laskettiin kalibrointijakson valunnat. Mittaustietoa koealueiden vesimääristä saatiin lähes katkeamatta koko kalibrointijakson ajan. Jakson aikana mittauksissa oli yksi pidempi katkos 10–14.3.2008, sillä mittausasemalla sähköt olivat vikavirtasuojan laukeamisen takia poikki. Kalibrointijakson valunnat on esitetty taulukossa 3. Sadanta on saatu mittausaseman viereen asennetusta manuaalisesta astiamittarista ja automaattisesta sademittarista. Sadannan ja koealueiden pinta- ja salaojavaluntojen summakäyrät on esitetty liitteissä 3–5.

Taulukko 3. Pinta- ja salaojavalunnat (mm) sekä sadanta (mm) 30.4.2007–31.5.2008 .

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D	Sadanta*
Salaojavalunta	151	231	218	96	
Pintavalunta	40	27	31	53	
Yhteensä	191	258	249	149	737

* korjattu sadanta, vesisateen korjauskerroin 1,05 ja lumisateen 1,3.

Vierekkäin sijaitsevien koealueiden B ja C salaoja- ja pintavalunnat olivat varsin lähellä toisiaan. Kolmannen kapeamman ojavälin (16 m) alueen A salaojavalunta oli selvästi pienempi kuin alueilla B ja C. Harvan ojavälin (32 m) alueen D salaojavalunta oli alle puolet alueiden C ja B määrästä. Pintavaluntaa syntyi kalibrointijaksolla eniten harvan ojavälin alueella D. Alueen A, jonka pinta-ala oli selvästi suurempi kuin alueiden B ja C, pintavalunta oli oli ¾ alueen D vastaavasta. Liitteessä 4 esitetyt koealueiden salaojavalunnan summakäyrät ovat varsin samanmuotoisia. Koealueiden pintavalunnat eivät ajallisesti seuranneet toisiaan aivan yhtä hyvin kuin salaojavalunnat (liite 5). Muista koealueista poiketen alueelta B pintavaluntaa syntyi enemmälti vasta vuoden 2007 joulukuun alussa. Alueiden A ja D pintavalunnat sattuivat likimain samoihin aikoihin. Valtaosa pintavalunnasta kertyi helmikuun ja huhtikuun 2008 välisenä aikana. Pääosa alueen C pintavalunnasta kertyi A:ta ja D:tä hieman myöhemmin, maaliskuun puolivälistä huhtikuun puoliväliin.

Koealueiden kalibrointijakson valuntakertoimet (pintavalunta+salaojavalunta/sadanta) ja pintavalunnan osuudet on esitetty taulukossa 4. Eniten valuntaa muodostui vierekkäisillä alueilla C ja B, joilla pintavalunnan osuudet olivat pienimmät. Vähiten valuntaa mitattiin harvan ojavälin alueella D, jolla pintavaluntaa muodostui suhteessa eniten. Sekä valuntakertoimen että pintavalunnan osuuden puolesta ääripäiden väliin jäi alue A.

Taulukko 4. Valuntakertoimet ja pintavalunnan suhteelliset osuudet kalibrointijaksolla.

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Valuntakerroin	0,26	0,35	0,34	0,20
Pintavalunnan osuus	0,21	0,10	0,12	0,36

Valumaveden laatu

Kalibrointijakson automaattinen vesinäytteiden keruu aloitettiin 22.3.2007 ja viimeiset näytteet saatiin 22.4.2008. Toukokuun 2008 aikana valunta oli niin vähäistä, että näytteitä ei saatu. Muutamia näytteitä jäi teknisten ongelmien (tukos magneettiventtiilissä tms.) vuoksi saamatta.

Kalibrointijaksolla näytteenottimen vesimääräehto vaihteli välillä 0,5–20 m^3. Magneettiventtiilien aukioloaika oli koko jakson ajan 10 s, jolloin kerralla kanisteriin valui vettä noin 0,15 l.

Jakson aikana koealueilta kertyneiden näytteiden lukumäärä on esitetty taulukossa 5.

Taulukoihin 6–8 on koottu valuntavesien ravinnepitoisuuksien ja kiintoainepitoisuuksien (haihdutusjäännös) keskiarvoja. Salaojavalunnan ainepitoisuuksien ajallinen vaihtelu on esitetty liitteissä 6–8 ja pintavalunnan liitteissä 9–11. Näytteenottoväleillä kertyneet sadesummat on esitetty liiteessä 12. Pinta- ja salaojavesistä otettujen kokoomanäytteiden kokonaistyppipitoisuuksien keskiarvot on esitetty taulukossa 6.

Salaojaveden keskimääräiset kokonaistyppipitoisuudet olivat alueilla C, B ja D lähes samansuuruiset. Sen sijaan alueen A salaojavalunnan kokonaistyppipitoisuus oli keskimäärin lähes kaksinkertainen kolmen muun alueen pitoisuuteen verrattuna. Pintavaluntavesien typpipitoisuuksien keskiarvot olivat alueilla B ja C suurempia kuin alueiden salaojaveden vastaavat pitoisuudet. Pinta-alaltaan isommilla koealueilla A ja D tilanne oli päinvastainen. Alueiden C ja A pintavalunnan typpipitoisuuksien keskiarvo oli yli kaksinkertainen harvan ojavälin alueen D keskiarvopitoisuuteen verrattuna.

Taulukkoon 7 on koottu koealueiden pinta- ja salaojavesien kokonaisfosforipitoisuuksien keskiarvot ja taulukkoon 8 kiintoainepitoisuuksien keskiarvot.

Kaikilla kolmella 16 metrin ojavälin koealueella (A, B ja C) salaojavalunnan kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvo oli alempi kuin pintavalunnan vastaava pitoisuus. Sekä salaojavalunnan että pintavalunnan fosforipitoisuuksien keskiarvot laskivat järjestyksessä A, C ja B. Alueen A pintavalunnan kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvo oli alueen B vastaavaan nähden 1,6-kertainen ja alueen D pitoisuuteen nähden 2,6-kertainen. Alueella D keskimääräinen fosforipitoisuus oli salaojavedessä pintavalunnan pitoisuutta korkeampi.

Taulukko 5. Kalibrointijakson valumavesinäytteiden lukumäärä.

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	21	23	29	25
Pintavalunta	14	12	9	21
Yhteensä	35	34	38	46

Taulukko 6. Kalibrointijakson kokonaistyppipitoisuuksien keskiarvot (mg/l).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	11,6	6,6	6,7	6,5
Pintavalunta	10,1	10,3	8,2	4,8

Taulukko 7. Kalibrointijakson kokonaisfosforipitoisuuksien keskiarvot (mg/l).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	0,92	0,81	0,69	0,75
Pintavalunta	1,36	1,27	0,82	0,53

Taulukko 8. Kalibrointijakson kiintoainepitoisuuksien (haihdutusjäännös) keskiarvot (mg/l).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	660	510	520	560
Pintavalunta	1100	920	600	620

Kokonaisravinteiden pitoisuuksien tapaan myös salaojaveden kiintoainepitoisuuden keskiarvo oli korkein alueella A. Alueiden C ja B salaojavalunnan kiintoainepitoisuuksien keskiarvot olivat alimmat ja käytännössä yhtä suuret. Alueen D salaojavedessä kiintoainetta oli keskimäärin hieman enemmän kuin alueilla C ja B. Myös pintavalunnan kiintoainepitoisuus oli korkein alueella A ja pienin alueella B, noin puolet alueen A pitoisuudesta. Alueen D pintavalunnan kiintoainepitoisuus oli keskimäärin likimain samansuuruinen kuin alueella B.

Ravinne- ja kiintoainekuormat

Koealueilta alapuoliseen ojaan kulkeutuneet ravinne- ja kiintoainemäärät laskettiin kunkin näytteenottovälin ainepitoisuuksien ja vesimäärän tulona. Kalibrointijaksolla vesinäytteitä otettiin siten, että huuhtoumat määritettiin aikavälille 16.4.2007–22.4.2008 eli 12 kuukauden jaksolle.

Taulukoihin 9–11 on koottu koealueiden kalibrointijakson kokonaistyppi-, kokonaisfosfori- ja kiintoainehuuhtoumat.

Kalibrointijaksolla kolmen 16 metrin ojavälin koealueen (A, C ja B) kokonaistyppikuormitukset olivat lähellä toisiaan. Alueelta D tullut typpikuormitus oli reilu kolmannes muiden alueiden vastaavasta. Kaikilla koealueilla valtaosa typpihuuhtoumasta kulkeutui salaojien kautta. Pintavalunnan keruujärjestelmän kautta tuli alueesta riippuen 7–17 % typpihuuhtoumasta. Suurin pintavaluntahuuhtouman osuus oli alueella D ja pienin alueella C.

Alueiden C ja B salaojavesien kokonaisfosforihuuhtoumat olivat alueen A huuhtoumaan verrattuina 1,3-kertaisia. Alueen D salaojista tullut kokonaisfosforikuormitus jäi puoleen tiheämmin ojitettuihin koealueisiin verrattuna. Pintavaluntakuormituksen osuus fosforin kokonaiskuormituksesta oli alueilla C ja B 13 %. Kolmas 16 metrin ojavälin koealue (A) poikkesi tässä suhteessa kahdesta muusta alueesta, sillä sen fosforikuormituksesta 35 % tuli pintavalunnan mukana. Alueella D pintavaluntakuormituksen osuus oli 31 %.

Taulukko 9. Kalibrointijakson kokonaistyppihuuhtoumat (kg/ha/a).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	16,3	17,8	17,7	6,3
Pintavalunta	2,8	1,4	2,4	1,3
Yhteensä	19,1	19,2	20,1	7,6

Taulukko 10. Kalibrointijakson kokonaisfosforihuuhtoumat (kg/ha/a).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	1,6	2,1	2,1	0,8
Pintavalunta	0,9	0,3	0,3	0,4
Yhteensä	2,5	2,4	2,4	1,2

Taulukko 11. Kalibrointijakson kiintoainekuormat (kg/ha/a).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta	1200	1300	1400	600
Pintavalunta	600	220	210	340
Yhteensä	1800	1520	1610	940

Salaojien kautta tullut kiintoainekuorma oli alueilla C ja B lähellä toisiaan samoin kuin kokonaisravinnekuormitukset. Alueen A salaojavalunnan mukana tullut kuormitus oli myös kiintoaineen osalta hieman pienempi kuin alueilla C ja B. Salaojavalunnan kiintoainekuorma jäi alueella D noin puoleen kolmen muun alueen vastaavaan kuormitukseen verrattuna. Alueilla C ja B pintavalunnan kuljettaman kiintoainemäärän osuus oli likimain sama, 13–15 % kokonaiskuormituksesta. Alueilla A ja D kiintoainekuormituksesta pintavalunnan mukana kulkeutui 33 % ja 40 %.

Pohjavedenpinnan korkeudet

Maaliskuusta kesäkuun alkuun 2008 automaattisesti mitatut pohjavedenkorkeudet pisteistä A3 ja C3 on esitetty liitteessä 13.

Maanäytteet

Taulukossa 12 on esitetty Nummelan koekentän maan keskimääräiset ominaisuudet. Aluekohtaiset tulokset esitetään vasta loppuraportissa, jolloin voidaan verrata eri tekijöiden vaikutusta maan rakenteen kehittymiseen

Taulukko 12. Nummelan koekentän keskimääräiset maan ominaisuudet. Suluissa oleva luku ilmoittaa keskihajonnan.

Ominaisuus	0–20 cm		20–30/35 cm		30/35–60 cm		60–100 cm	
Savespitoisuus %	67	*(6)*	67	*(6)*	76	*(10)*	81	*(10)*
Hiesupitoisuus %	17	*(6)*	17	*(6)*	11	*(8)*	11	*(9)*
Hieta/hiekkapitoisuus %	16	*(3)*	16	*(3)*	13	*(4)*	8	*(3)*
Maalaji	aitosavi		aitosavi		aitosavi		aitosavi	
Orgaaninen aines %	6,6	*(0,9)*	5,80	*(1)*	1,30	*(1)*	0,50	*(0,1)*
Multavuusluokka	runsasmultainen		multava		vähämultainen		vähämultainen	
Johtoluku 10^{-4} S/cm	1,0	*(0,2)*	0,9	*(0,1)*	1,0	*(0,2)*	1,0	*(0,2)*
Tilavuuspaino g/cm^3	1,10	*(0,07)*	1,30	*(0,08)*	1,30	*(0,08)*		
Lierokanavien määrä/dm^3	0,6	*(0,59)*	0,8	*(1)*	0,1	*(0,2)*		
Maan vedenjohtavuus (laboratoriomittaus) cm/h	13,0	*(18,0)*	2,4	*(7,0)*	0,5	*(1,3)*		
pH	6,1	*(0,2)*						
Ca mg/litra maata	2794	*(473)*						
K mg/litra maata	295	*(88)*						
Mg mg/litra maata	682	*(208)*						
P mg/litra maata	6,9	*(3,6)*						

Jatkotutkimukset

Kaikkien neljän koealueen pinta- ja salaojavaluntojen määrän ja laadun mittaamista jatketaan täydennysojitusten seurantajaksolla, joka alkoi kesäkuun alussa 2008. Pohjaveden pinnankorkeuksia ja maan kosteutta mitataan jatkossakin kerran viikossa, ja roudan syvyyttä seurataan koekentälle asennettavista routaputkista talven ajan. Salaojitusmenetelmän vaikutus maan rakenteeseen selvitetään maanäytteistä tutkimuksen lopussa. Täydennysojitusten vaikutukset valumaveden määrään ja laatuun sekä satotasoon esitetään projektin loppuraportissa.

4.3 Gårdskulla Gårdin koekenttä Siuntiossa

Tavoitteet

Gårdskullan koekentällä tavoitteena on mitata kahdelta isolta peltolohkolta tulevien pinta- ja salaojavaluntavesien määrää ja laatua. Lisäksi seurataan Kirkkojoen veden laatua kahdessa pisteessä, jotka sijaitsevat tilan peltoalueisiin nähden ylä-, ja alavirtaan noin 4 kilometrin etäisyydellä toisistaan. Tutkimusalueilla pyritään mahdollisuuksien mukaan kokeilemaan eri menetelmiä niiltä tulevan ravinnekuormituksen vähentämiseksi.

Toteutus

Yleiskuvaus

Kaksi lohkotason seurantakohdetta sijaitsevat Gårdskullan tilalla Siuntiossa. Tilan peltojen halki virtaa Siuntiojoen vesistöön kuuluva Kirkkojoki. Valuma-alueeltaan noin 140 km^2 suuruisen Kirkkojoen pääuoma kuuluu Natura 2000 -alueisiin. Valuma-alueen pinta-alasta noin 40 % on peltoja ja ne rajoittuvat monin paikoin Kirkkojokeen ja sen sivuhaaroihin. Peltoalueilta tuleva kuormitus muodostaakin arvioiden mukaan merkittävän osan jokeen tulevasta ihmisen toiminnan aiheuttamasta ravinnekuormituksesta. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorion raportti Kirkkojoen veden laadun seurantatutkimus 2005 valmistui keväällä 2007.

PVO-hankkeen koealueet sijaitsevat Kirkkojoen molemmin puolin ja alueiden suojavyöhykkeet rajoittuvat jokeen. Koelohkojen viljelypinta-alat ovat 5,7 (Alue 1) ja 4,7 (Alue 2) hehtaaria. Koealueet on esitetty liitekartassa 14. Lohkojen keskikaltevuudet Kirkkojokeen ovat noin yksi (Alue 1, kuva 35) ja viisi (Alue 2, kuva 36) prosenttia. Ojavälit ovat molemmilla alueilla 16 metriä. Salaojavedet purkautuvat suoraan Kirkkojokeen.

Koealueiden mittausasemilla mitataan jatkuvatoimisesti salaoja- ja pintavaluntavesien sekä sadannan määrää. Valuntavesien laatua analysoidaan TKK:n vesilaboratoriossa automaattisesti otetuista kokoomanäytteistä.

Laitteisto ja mittaukset

Gårdskullan koealueille rakennettiin mittausasemat lokakuussa ja asemien instrumentointi saatiin valmiiksi marraskuussa 2007. Molemmilla alueilla mittausase-

Kuva 35. Näkymä alueen 1 yläreunasta kohti Gårdskulla Gårdin rakennuksia.

Kuva 36. Alue 2 maaliskuussa 2008, Kirkkojoki virtaa notkossa.

Kuva 37. Mittauskaivo ja dataloggeri telineineen Gårdskullan koealueella.

Kuva 38. Mittauskaivo, magneettiventtiilit ja näytekanisterit Gårdskullan koealueella.

mina toimivat noin kahden metrin syvyiset betonirengaskaivot (Ø 1,5 m) ja niiden yhteydessä olevat dataloggerit (kuva 37). Lisäksi koelohkoille rakennettiin pintavalunnan keruujärjestelmä. Pellon pinnalta ja pintakerroksesta tulevat valumavedet kootaan noin 0,4 metriä syvän kaivannon (sora+salaojaputki Ø 50 mm) ja matalan vallin avulla, ja johdetaan putkea pitkin mittauskaivon vesimittarin kautta Kirkkojokeen. Koealueen salaojavedet keräävä kokoojaputki kulkee niin ikään mittauskaivon läpi. Kaivon läpi kulkevissa putkissa (salaojavalunta ja pintavalunta) on omat jatkuvatoimiset vesimittarit (Maddalena DATAWATER WS).

Dataloggeri ohjaa näytteenottoa vesimäärään perustuen samoin kuin MTT:n Nummelan koealueella Jokioisilla. GSM-yhteyden avulla asetetun näytteenottoehdon (esim. 10 m^3) täytyttyä dataloggeri avaa putkiin kiinnitetyn magneettiventtiilin (kuva 38) määrätyksi ajaksi (esim. 10 s), jolloin kanisteriin (20 l) virtaa silikoniletkua pitkin pieni määrä valumavettä (esim.0,15 l). Kanistereista ajanjaksoa edustavat kokoomanäytteet haetaan analysoitavaksi noin kerran viikossa. Vesinäytteistä analysoidaan TKK vesilaboratoriossa seuraavat pitoisuudet: kokonaistyppi, ammoniumtyppi, nitraatti+nitriittityppi, kokonaisfosfori, fosfaattifosfori sekä kuiva-aine (haihdutusjäännös).

Dataloggeri kerää myös sadantatiedot mittauskaivon kannelle (Alue 1) sijoitetulta automaattiselta sademittarilta (kippilaskuri-tyyppinen). Loggeri lähettää keräämänsä tiedon TKK:n vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorioon GSM-yhteyden avulla kerran vuorokaudessa. Alueella 1 on lisäksi sadetta mittaava astiamittari, jonka keräämä sademäärä mitataan aina kenttäkäyntien yhteydessä.

Valuma-alueet

Koealueiden pinta-alat mitattiin tammikuussa 2007. Mittausten perusteella määritettiin viljelysalat, joilta mittausasemille tuleva salaojavalunta kerätään ja se pinta-ala, jolta pintavaluntakaivannot ja vallit kokoavat valuntaa. Samoin kuin Nummelan koekentän osuudessa, käytetään myös tässä osiossa termiä pintavalunta, vaikka noin 0,4 metrin syvyydessä olevat reikäputket keräävät valuntavesiä myös pellon pinnan alapuolelta. Koekentän viljelysalueiden pinta-alat on esitetty taulukossa 12.

Valuntamittausten perusteella koealueiden salaojavalunnan määrä vaikutti huomattavan suurelta sadantaan nähden, varsinkin alueella 1. Tämän takia salaojastoon tulevien vesien alkuperää selvitettiin merkkiainemittauksilla. Näitä tuloksia on esitelty kohdassa Tulokset.

Taulukko 12. Gårdskullan koealueiden pinta-alat (ha).

	Alue 1	Alue 2
Salaojavalunta	5,7	4,7
Pintavalunta	3,3	3,0

Lumi- ja routamittaukset

Kummankin koealueen suojavyöhykkeelle asennettiin tammikuun 2008 lopussa kolmesta noin 30 metrin välein sijoitetusta lumikepistä koostuva lumilinja. Lumen syvyys mitattiin koekentällä käyntien yhteydessä.

Tammikuun 2008 lopussa koealueille asennettiin talven ajaksi myös routaputket (3 kpl/alue), jotka oli täytetty metyylisinellä. Metrin syvyyteen ulottuneet putket sijaitsivat tasavälein linjassa koko koelohkon pituudelta. Roudansyvyyshavaintoja tehtiin noin kerran viikossa.

Pohjavesiputket

Koealueilla asennettiin keväällä 2008 pohjavesiputket. Molemmilla koelohkoilla on kolme salaojien puoliväliin sijoitettua putkea. Muoviset pohjavesiputket (Ø 32 mm) ulottuvat kahden metrin syvyyteen ja koostuvat kahdesta muhvilla toisiinsa kiinnitettävästä osasta. Putkien ylempi, 0,4 metrin syvyyteen ulottuva osa irrotetaan pellon muokkaustoimenpiteiden ajaksi. Pohjaveden korkeudet mitataan jokaisen koekentällä käynnin yhteydessä, eli noin kerran viikossa.

Viljely- ja muokkaustoimenpiteet koealueilla

Gårdskullan molemmille koelohkoille kylvettiin syksyllä 2007 syysvehnää. Lohkoja lannoitettiin 21.4.2008 Suomensalpietarilla (135 kg typpeä/ha). Alueen 1 vilja puitiin 12.8.2008 ja alueen 2 pari päivää myöhemmin. Vehnäsato (4,8 t/ha) jäi lohkon keskimääräistä satoa pienemmäksi.

Alue 2 kynnettiin elokuun lopulla ja uusi syysvehnä kylvettiin 29.8.2008. Lannoitemäärät olivat typen osalta 20 kg/ha ja fosforin osalta 14 kg/ha. Aluetta 1 muokattiin lokakuun ensimmäisellä viikolla ja kynnettiin loka-marraskuun vaihteessa.

Tulokset

Tässä yhteydessä on esitetty alustavia tuloksia Gårdskullan valuntamittauksista. Aluksi on tarkasteltu selvityksiä, jotka tehtiin peltoalueilta purkautuvien vesien valuma-alueiden määrittämiseksi.

Koealueen 1 valunta

Loppusyksyn 2007 ja kevään 2008 suuret salaojavalunnat antoivat aihetta epäillä, että koealueen 1 salaojiin tulee myös muita vesiä kuin peltoalueen sade- ja sulamisvedet. Merkkiainekokeilla tutkittiin sitä mahdollisuutta, että koealueen 1 yläpuolisen metsäalueen valuntavedet kulkeutuisivat salaojaputkiin ja niitä pitkin mittauskaivoon.

Alueen 1 yläpuoliselta metsäalueelta tulee valumavesiä kahden Virkkalaan vievän maantien alittavan rummun (1 ja 2) kautta niskaojaan. Rummun 1 (noin 50 m tilatiestä länteen) kautta virtaava vesi kulkee ensin noin 20 metriä niskaojassa kaivoon, josta edelleen putkea (Ø 130 mm) pitkin Gårdskullan tilalle vievän tien viereiseen avo-ojaan. Ojassa vesi virtaa aluksi näkyvissä, sitten maan alla (ilmeisesti

tiiliputkessa) ja nousee uudestaan näkyviin ojaan, kunnes noin 230 metriä ennen Kirkkojokea häviää näkyvistä. Tienvierioja on alapäästään kuivana lukuun ottamatta erittäin märkiä jaksoja, jolloin koko ojan pituudelta virtaa vettä aina Kirkkojokeen asti. Ojavedellä on häviämisensä jälkeen ainakin kaksi mahdollista reittiä. Joko vesi kulkeutuu kokonaan tai osa siitä koealueelle 1 ja sen salaojien kautta mittauskaivoon tai sitten putkessa Kirkkojoen sillan vieressä olevaan tienvieriojan alaosaan, johon vettä purkautuu Ø 50 mm:n salaojaputkesta. Rummuista 1 ja 2 kulkevien valumavesien reittejä tutkittiin merkkiainekokeiden avulla keväällä ja syksyllä 2008.

Rumpu 1

Rummusta 1 tienvarsiojaan virtaavan veden virtausreittiä maan alla tutkittiin merkkiainekokeen avulla 7.10.2008. Merkkiaineena käytettiin ruokasuolaliuosta (NaCl), kilogramma suolaa liuotettiin noin 10 litraan vettä. Suolaliuos kaadettiin ojaveteen hieman sen kohdan yläpuolelle, missä vesi häviää näkyvistä. Sähkönjohtokykyä mitattiin kenttämittarilla alueen 1 mittauskaivon salaojavedestä, ojasta (suolapulssin lähtöpaikka) sekä Kirkkojoen ylittävän sillan kupeessa olevaan tienvieriojan alaosaan laskevasta putkesta (Ø 50 mm). Käytetyn suolaliuoksen sähkönjohtokyky oli 136 000 µS/cm. Mittaustulokset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Rumpu 1 merkkiainekokeen sähkönjohtokykymittaukset (µS/cm).

	Tienvierioja, suolapulssi	Salaojavesi, mittauskaivo	Putki (50 mm), ojan alaosa
Ennen suolan lisäämistä	86	265	97
Suolan lisäämisestä 2-15 min	-	262-263	97-98
Suolan lisäämisestä 20 min	-	263	955
Suolan lisäämisestä 30 min	-	263	125
Suolan lisäämisestä 60 min	-	262	101

Kokeen aikana salaojaputken virtaama oli mittauskaivossa noin 1,3 l/s. Rummusta 1 vettä virtasi noin 0,8 l/s ja tienvieriojan alaosaan purkavasta putkesta noin 0,7 l/s. Rummun ja putken virtaamat määritettiin astiamittauksena. Johtokykymittauksia tehtiin mittauskaivossa ja tienvieriojan purkuputken suulla 5–10 minuutin välein, vajaan kahden tunnin ajan. Lisäksi kanisteriin kolmen vuorokauden aikana automaattisesti (20 m^3 välein) otetusta kokoomanäytteestä mitattiin sähkönjohtokyky. Näiden mittausten keskiarvo oli 252 µS/cm.

Tienvarsiojan (noin 240 m Kirkkojoesta) veteen sekoitettu suolaliuos ei näyttänyt vaikuttavan mittauskaivon salaojaveden sähkönjohtokykyyn. Sen sijaan tienvarsiojan alaosaan, lähelle Kirkkojoen siltaa, laskevan putken vedessä oli havaittavissa selvä johtokyvyn nousu. Merkkiainekokeen tulokset vahvistavat sitä käsitystä, että tienvarsiojan rummusta 1 tuleva yläpuolinen valumavesi painuu ojan puolivälissä maan sisälle putkeen, ja virtaa putkessa alueen 1 sivuitse tienvieriojan alaosaan ja ojaa pitkin Kirkkojokeen.

Rumpu 2

Rummusta 2 (noin 150 m tilatiestä länteen) vesi virtaa lyhyen avo-ojan kautta kaivoon ja siitä edelleen isoon (Ø 250 mm) pellon alittavaan purkuputkeen, joka laskee Kirkkojokeen. Toukokuussa 2008 tehtiin tällä oja-/putkilinjalla merkkiainekoe, jossa merkkiaineena käytettiin ruokasuolaliuosta (NaCl). Suola (1 kg) liuotettiin noin 10 litraan vettä, joka kaadettiin rummun alapuoliseen ojaan hieman kaivon

yläpuolelle. Sähkönjohtokykyä mitattiin kenttämittarilla rummun vedestä, alueen 1 mittauskaivon salaojavalunnasta sekä purkuputkesta juuri ennen Kirkkojokea. Sähkönjohtokykymittausten tulokset on koottu on taulukkoon 14.

Taulukko 14. Rumpu 2 merkkiainekokeen sähkönjohtokykymittaukset (µS/cm).

	Rumpu 2	Salaojavesi, mittauskaivo	Purkuputki, ennen Kirkkojokea
Ennen suolan lisäämistä	50	193	120
Suolan lisäämisestä 30 min	-	192–195	510
Suolan lisäämisestä 60 min	52	194–196	140

Sähkönjohtokykymittauksia tehtiin aluksi viiden ja sitten 10 minuutin välein noin kahden tunnin ajan. Lisäksi näytekanisteriin kerättiin kahden vuorokauden kokoomanäyte, josta tehtiin neljä sähkönjohtokykymittausta. Näiden mittausten tulokset olivat välillä 193–196 µS/cm. Kokeen aikana virtaama oli mittauskaivon salaojaputkessa noin 0,15 l/s. Niskaojaan aiheutettu suolapulssi ei näkynyt mittauskaivon salaojavedestä tehdyissä johtokykymittauksissa. Sen sijaan pellon alittavan purkuputken suulta tehdyissä mittauksissa oli johtokykylukemissa havaittavissa selvä piikki. Kokeen tulokset viittaavat siihen suuntaan, että rummun 2 kautta alueen 1 yläpuoliseen kaivoon tulevat vedet menevät purkuputkea pitkin suoraan Kirkkojokeen.

Ruokasuolalla tehtyjen kahden merkkiainekokeen perusteella näyttää siltä, että yläpuolisten metsäojien valumavedet virtaavat koealueen 1 salaojien ohi Kirkkojokeen.

Koealueen 2 valunta

Alueen 2 salaojastoon tulee valuntaa myös viljelysalueen ulkopuolelta. Peltoalue rajoittuu koillisessa metsäiseen kumpareeseen, jossa sijaitsee asuinrakennus pihapiireineen. Osa kumpareen valumavesistä kulkeutuu aluetta 2 rajaavaan piiriojaan, ja ojasta kaivon kautta alueen 2 kokoojaojaan. Karttatarkastelun pohjalta alueen 2 salaojiin valuntaa tuovan, pellon ulkopuolisen alueen pinta-ala määritettiin puolen hehtaarin suuruiseksi. Alueen 2 mittauskaivoon tulevan salaojavalunnan muodostumisalueeseen kuuluu viljelysalan (4,7 ha) lisäksi osa kumpareen pinta-alasta (noin 0,5 ha). Tällöin alueen 2 mittauskaivon salaojavaluntamittarille tulevan valunnan muodostumisalaksi saadaan 5,2 ha. Tätä pinta-alaa (peltoa 90 %) on käytetty salaojavalunnan määrää koskevassa taulukossa 15.

Koealueiden valumat marraskuusta 2007 lokakuuhun 2008

Gårdskullan koealueiden valumavesien mittausjärjestelmään kuuluvat putket ja mittausasemat saatiin valmiiksi lokakuun 2007 lopulla. Alkukokeilujen jälkeen alueelta 2 mittausdataa vesimäärien osalta alettiin saada lokakuun viimeisellä viikolla ja alueelta 1 viikkoa myöhemmin. Automaattinen sademittari asennettiin paikalleen alueelle 1 marraskuun 23. päivänä. Nummelan mittausaseman tapaan myös Gårdskullassa dataloggerit keräsivät vesimäärä- ja sadantatiedot 15 minuutin välein. Yhtäjaksoista mittausdataa on saatu lyhyitä katkoksia lukuun ottamatta marraskuun lopulta lähtien. Tukos pysäytti alueen 2 salaojaveden määrää mittaavan vesimittarin muutaman kerran lyhyeksi aikaa. Tukoksen aiheuttajat edustivat sekä eläinkuntaa (sammakko) että kasvikuntaa (puun kappaleet).

Automaattisen sademittarin asennusajankohdasta (23.11.2007) lokakuun 2008

loppuun kertyneet salaoja-, pintavaluma- ja sadantasummat on esitetty taulukossa 15. Valuntasummia laskettaessa käytettiin taulukossa 12 esitettyjä valuma-aluiden pinta-aloja.

Taulukko 15. Pinta- ja salaojavalumat (mm) ja sadanta (mm) marraskuu 2007* – lokakuu 2008.

	Alue 1	Alue 2	Sadanta**
Pintavalunta	15	36	
Salaojavalunta	444	277	
Yhteensä	459	313	768

* 23.11.2007 alkaen ** korjattu sadanta

Tutkimuksen ensimmäisten runsaan yhdentoista kuukauden aikana alueella 1 pinta- ja salaojavalunnan osuus oli 60 % sadannasta. Pintavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli noin 3 %. Alueella 2 pinta- ja salaojavaluntaa muodostui 41 % sateen määrästä ja mitatusta valunnasta noin 11 % tuli pintavaluntana. Alueiden 1 ja 2 pinta- ja salaojavaluntojen sekä sadannan summakäyrät on esitetty liitteissä 15 ja 16.

Rankimpien valuntatapahtumien aikana osa pintavalunnasta virtasi pintavalunnankeruujärjelmän ohi. Talvella ja keväällä 2008 kaltevamman koealueen 2 pintavaluntakourun kaivumaista tehtyä vallia jouduttiin paikkaamaan muutaman kerran (kuva 39). Alueella 1 jälkiä keruujärjestelmän ohi menneestä pintavirtailusta havaittiin pari kertaa.

Kuva 39. Murtuma pintavaluntaa kokoavassa vallissa alueella 2 joulukuussa 2007.

Valumaveden laatu

Gårdskullan koealueilta vesinäytteet otettiin samaan tapaan kuin Nummelan koekentällä. Dataloggerin ohjaamat magneettiventtiilit päästivät kanisteriin pienen vesimäärän aina näytteenottoehdon täytyttyä. Vesimääräehto on vaihdellut kuivien jaksojen 2 m^3:stä suurten sateiden aikaiseen 20 m^3:iin. Magneettiventtiilin aukioloaika on ollut koko ajan 15 s, jonka aikana vettä valuu näytekanisteriin noin 0,2 l.

Gårdskullan koealueilla kokoomanäytteiden keruu aloitettiin 8.11.2008 ja huhtikuun lopulle asti salaojavalunnasta saatiin näytteitä tasaiseen tahtiin. Näytekanisterit tyhjennettiin noin kerran viikossa. Kevään viimeiset näytteet haettiin alueelta 2 22.4.2008 ja alueelta 1 noin kuukautta myöhemmin, 20.5.2008. Kesällä ei valuntaa juuri syntynyt, ja alueelta 1 toukokuun jälkeen seuraava kokoomanäyte haettiin 4.9.2008. Alueella 2 valuntaa alkoi muodostua lokakuun loppupuolella.

Pintavaluntaa muodostui vastaavana aikana (marraskuu 2007–toukokuu 2008) huomattavasti vähemmän kuin salaojavaluntaa, ja siten myös kokoomanäytteitä saatiin melko harvoin, etenkin alueella 1. Lauhan ja sateisen talven ja kevään aikana näytteenottoa häiritsi muutaman kerran Kirkkojoen veden nouseminen periaatteessa vesitiiviiseen mittauskaivoon. Tämä tapahtui pitkäkestoisten ja rankkojen sateiden yhteydessä, jolloin syntyi myös pintavaluntaa. Alueelta 1 pintavesinäytteitä saatiin 5.12.2007–23.1.2008 ja seuraavan kerran 4.9.2008. Alueen 2 pintavesinäytteet ajoit-

Taulukko 16. Gårdskullan koealueiden näytemäärät 8.11.2007 – 31.5.2008.

	Alue 1	Alue 2
Salaojavalunta	26	23
Pintavalunta	3	10

Taulukko 17. Kokonaistyppipitoisuuksien (mg/l) keskiarvot 8.11.2007 – 31.5.2008.

	Alue 1	Alue 2
Salaojavalunta	5,1	7,3
Pintavalunta	6,9	5,3 (4,3)

Taulukko 18. Kokonaisfosforipitoisuuksien (mg/l) keskiarvot 8.11.2007 – 31.5.2008.

	Alue 1	Alue 2
Salaojavalunta	0,09	0,65
Pintavalunta	0,22	1,36 (0,94)

Taulukko 19. Kiintoainepitoisuuksien (haihdutusjäännös, mg/l) keskiarvot 8.11.2007 – 31.5.2008.

	Alue 1	Alue 2
Salaojavalunta	232	452
Pintavalunta	289	741 (452)

tuivat välille 8.11.2007–15.4.2008, ja kesän jälkeen seuraavan kerran näyte haettiin 17.9.2008. Koealueiden näytemäärät marraskuusta 2007 toukokuuhun 2008 on esitetty taulukossa 16. Salaojavalunnasta kokoomanäytteitä saatiin molemmilta koealueilta lähes joka käyntikerralla.

Ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien ajallinen vaihtelu on esitetty liitteissä 17 ja 18 (salaojat) sekä liitteissä 19 ja 20 (pintavalunta). Taulukkoihin 17–18 on koottu Gårdskullan koealueiden salaoja- ja pintavaluntanäytteiden pitoisuuksien keskiarvot.

Alueen 2 salaojavesinäytteiden kokonaistyppipitoisuuksien keskiarvo oli alueeseen 1 nähden noin 1,4-kertainen. Alueen 1 pintavalunta näyttäisi sisältävän enemmän typpeä kuin alueen 2 pintavalunta. Tosin alueelta 1 saatiin marras-toukokuussa vain kolme pintavaluntanäytettä. Näiden kolmen kokoomanäytteen (noutopäivät 5.12., 15.1. ja 23.1.) pitoisuuksien keskiarvot alueelta 2 on merkitty taulukoissa 17–19 sulkuihin.

Ero koealueiden valuntavesien kokonaisfosforipitoisuuksissa oli huomattava. Salaojavalunnan fosforipitoisuuksien keskiarvo oli alueella 2 noin 7,5-kertainen alueeseen 1 verrattuna. Pintavalunnan osalta vastaava kerroin oli 6,1. Jos tarkastellaan vain niitä kolmea kokomaanäytettä, jolloin myös koealueella 1 syntyi riittävästi pintavaluntaa, alueen 2 kokonaisfosforipitoisuuksien keskiarvo oli alueen 1 keskiarvoon nähden noin nelinkertainen.

Salaojaveden kiintoainepitoisuuksien (haihdutusjäännös) keskiarvo oli alueella 2 likimain kaksinkertainen alueen 1 keskiarvoon verrattuna. Samoina päivinä (5.12., 15.1. ja 23.1.) noudettujen kokoomanäytteiden osalta alueen 2 pintavaluntavedet sisälsivät noin 1,5-kertaa enemmän kiintoainetta kuin alueen 1 vastaavat näytteet.

Roudan ja lumen syvyys

Talven aikana varsinaisia routalukemia saatiin noin kerran viikossa tehdyissä mittauksissa putkesta riippuen joko kaksi tai kolme kertaa. Lauhan talven vuoksi routa eteni syvimmillään vain noin 20 cm pellon pinnan alapuolelle. Koska lyhyitä pakkasjaksoja seurasi aina leuto jakso, suli jäätynyt maa melko pian. Roudan syvyydet eri mittauspisteissä ja molemmilla alueilla olivat kullakin havaintokerralla varsin lähellä toisiaan. Routamittausten tulokset on esitetty taulukossa 20. Routaputket poistettiin maasta 15.4.2008.

Talvi 2008 oli varsin vähäluminen, lumikepeistä lukemia saatiin vain kaksi kertaa, maaliskuun 5. ja 28. päivä. Lumen syvyydet vaihtelivat 5.3. molemmilla lumilinjoilla välillä 8–13 cm. Maaliskuun lopulla (28.3.) alueella 1 oli hieman paksumpi kerros lunta (15-16 cm) kuin alueella 2 (10–13 cm).

Taulukko 20. Roudan syvyys koealueilla tammi-huhtikuussa 2008.

	Putki 1		Putki 2		Putki 3	
	Alue 1	Alue 2	Alue 1	Alue 2	Alue 1	Alue 2
29.1.2008	0	0	0	0	0	0
6.2.2008	0	0	0	0	0	0
13.2.2008	0	0	0	0	0	0
19.2.2008	16,5	17	17	18,5	17	20
28.2.2008	0	0	0	0	0	0
5.3.2008	3	1	0	3	0	0
12.3.2008	0	0	0	0	0	0
19.3.2008	0	0	0	0	0	0
28.3.2008	12	10	11.5	10,5	11	12
2.4.2008	0	0	0	0	0	0
8.4.2008	0	0	0	0	0	0
15.4.2008	0	0	0	0	0	0

Pohjavedenpinnan syvyys

Toukokuun puolivälissä 2008 havaintoputkia asennettaessa pohjaveden pinnan korkeudet olivat alueen 1 putkissa (P1/1, P2/1 ja P3/1), 150, 90, 100 cm maanpinnan tason alapuolella. Alueella 1 pohjaveden pinta laski toukokuun puolivälistä kesäkuun 10. päivän tienoille. Kuivaa toukokuuta seuranneen kesäkuun loppupuolen melko runsaat sateet käänsivät pohjaveden pinnat alueella 1 parin viikon ajaksi lievään nousuun. Nousu taittui heinäkuun alussa, josta alkoi ainakin elokuun puoliväliin jatkunut pohjaveden pinnan lasku. Mittaukseen tuli tauko, koska pohjavesiputkien irrotettavat yläosat poistettiin peltolohkoilta puintitöiden tieltä 12.8.2008. Toukokuun puolivälistä elokuun puoliväliin kestäneellä mittausjaksolla pohjaveden pinta laski alueella 1 putkesta riippuen 0,6–0,8 metriä. Pohjaveden korkeudet alueella 1 on esitetty liitteessä 21.

Pohjaveden pinnan korkeudet alueen 2 putkissa olivat toukokuun puolivälissä, alhaalta ylöspäin, 166, 100 ja 95 cm maanpinnasta. Alueella 2 pohjavesi laski toukokuun puolivälistä elokuun puoliväliin. Pienin muutos oli lähimpänä Kirkkojokea sijaitsevassa putkessa (P1/2) ja suurin muutos kauimmaisessa putkessa (P3/2). Tosin pohjaveden pinta laski alimmassa putkessa jo heinäkuun viimeisinä päivinä

putken pohjan alapuolelle, joten elokuussa tarkkoja mittaustuloksia ei saatu. Alueella 2 kesän mittausjakson aikainen pohjavedenpinnan aleneminen oli välillä 0,4–1,0 metriä. Pohjaveden korkeudet koealueella 2 on esitetty liitteessä 21.

Kirkkojoen vesinäytteet

Maaliskuussa 2008 alettiin ottaa manuaalisia vesinäytteitä kahdesta Kirkkojoen pisteestä K1 ja K3. Piste K1 sijaitsee Gårdskullan koekentästä noin kaksi kilometriä ylävirtaan ja piste K3 saman verran alavirtaan. Vesinäytteet haettiin koekentällä käyntien yhteydessä, noin kerran viikossa. Näytteenottopisteet ovat samoja (ja nimetty samoin) kuin TKK:n vesitalouden ja vesilaboratorion Kirkkojoen veden laadun seurantatutkimuksessa vuosilta 2005–2006. Ajanjaksolta 19.3.–10.6.2008 otettujen vesinäytteiden ravinne- ja kiintoainepitoisuudet on koottu liitteeseen 22.

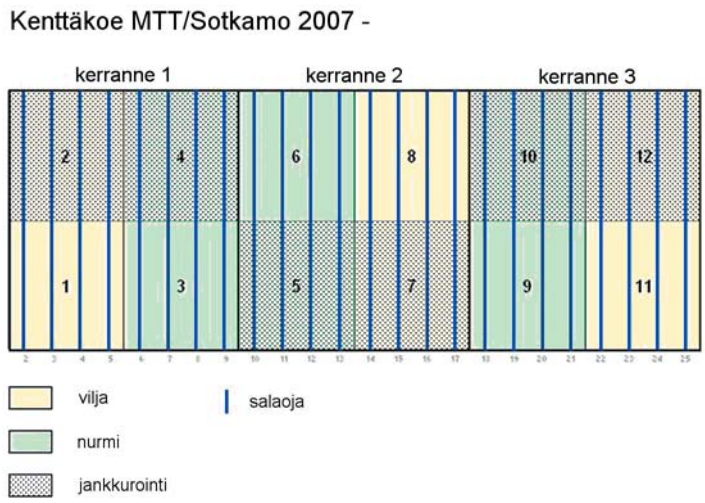
Jatkotoimenpiteet

Sadanta-, virtaama- ja vedenlaatumittaukset jatkuvat samaan tapaan. Samoin pohjaveden korkeutta mitataan noin kerran viikossa. Routa- ja lumimittaukset käynnistetään talven tullen.

4.4 Jankkurointikoe MTT/Sotkamo

Toteutus

Sotkamossa sijaitsevalle MTT:n tutkimusasemalle perustettiin salaojituksen yhteydessä vuonna 2007 jankkurointikoe. Kokeessa tutkitaan jankkuroinnin merkitystä salaojituksen tehostajana. Jankkuroinnin tavoitteena on saada 1) hyvä maan rakenne ja 2) mahdollisimman hyvä sato ja siten mahdollisimman paljon ravinteita pellolta pois sadon mukana. Tällöin ravinteet eivät jää huuhtoutumiselle alttiiksi. Kenttäkokeessa selvitetään myös, mikä merkitys on viljan ja nurmen viljelyllä jankkuroitujen ja ei-jankkuroitujen ruutujen maan rakenteelle. Oletus on, että vahvajuurinen nurmi lisää maan biologista aktiivisuutta (josta syntyy eliö- ja kasvintähteitä), mikä puolestaan edistää kestävämmän maan rakenteen muodostumista. Koekentän järjestelyt on esitetty kuvassa 40.



Kuva 40. MTT/Sotkamon koekentän järjestelyt.

Salaojitus tehtiin 4.10.2007 vanhan tehottomaksi käyneen ojituksen päälle. Uusien ojien ojaväli on 8 m, ja putken ympärysaineena on ohut esipäällyste. Kaikki imuojat yhdistettiin samaan kokoojaan.

Koekentän maan ominaisuudet määritettiin ojituksen yhteydessä tai heti sen jälkeen. Jokaisen ruudun keskeltä

- mitattiin pintamaan vedenjohtavuus infiltraatiomenetelmällä
- mitattiin pohjamaan vedenjohtavuus auger hole -menetelmällä
- otettiin häiriintymätön maanäyte (halkaisija 15 cm, pituus 60 cm) traktorikairalla. Maanäyte katkaistiin laboratoriossa siten, että saatiin erilliset näytteet: 0–20 cm, 20–40 cm ja 40–60 cm. Maanäytteistä määritettiin:
  - maan vedenjohtavuus kyllästetyssä tilassa
  - maan vedenpidätyskyky ja erikokoisten huokosten tilavuus
  - tilavuuspaino
  - juurikanavien ja lieronreikien määrä
- otettiin maanäyte kairalla 10 cm:n välein 100 cm:n syvyyteen asti. Maanäytteistä määritettiin
  - maalaji mekaanisella maa-analyysillä
  - orgaanisen aineksen pitoisuus kuivapolttomenetelmällä
  - pH ja johtoluku viljavuusanalyysimenetelmällä
  - viljavuus: Ca, Mg, K, P (vain muokkauskerroksesta)

Puolet koealueen pinta-alasta jankkuroitiin koesuunnitelman mukaisesti 6.6.2008, kun kenttä oli kuivahtanut talven jälkeen. Jankkurointi tehtiin yksiteräisellä jankkurilla (kuva 41) siten, että jankkuroidut urat tulivat traktorinleveyden päähän toisistaan (180 cm). Maa ei siten tullut jankkuroiduksi kauttaaltaan vaan kaistoittain. Jankkuri rikkoi maata noin 40 cm:n syvyyteen (kuva 42).

Jankkuroinnin jälkeen ruuduille kylvettiin nurmi (suojaviljaan) ja ohra koesuunnitelman mukaisesti. Ohrasadot (myös suojavilja) korjattiin 23.9.2008, ja samalla otettiin satonäyte 15 m^2:n alalta joka ruudusta. Näytteestä määritettiin sadon määrä ja laatu. Laatumäärityksiä olivat hehtolitrapaino, 1000 siemenen paino, typen määrä ja fosforin määrä.

Syksyllä 2008 sadonkorjuun jälkeen kentälle asennettiin yhteensä 36 pohjavesiputkea. Jokaiseen ruutuun tuli kolme putkea, yksi jokaiseen ojaväliin. Manuaaliset pohjavesimittaukset aloitetaan keväällä 2009. Samalla aloitetaan myös maan kosteusmittaukset TDR-menetelmällä sekä pohjavesinäytteiden otto ravinneanalyysejä varten. Tutkimusasemalla seurataan myös sademäärää.

Kuva 41. Kokeessa käytetty jankkuri.

Kuva 42. Jankkuri rikkoi maata noin 40 cm:n syvyyteen.

Alustavat tulokset

Koekentän maalaji oli kauttaaltaan multavaa hiesua, ja sen ominaisuudet olivat hiesulle tyypilliset (taulukko 21)

Ruutukohtaiset tulokset esitetään vasta hankkeen loppuraportissa, jolloin voidaan verrata eri ruutujen ominaisuuksien kehittymistä jankkuroinnin ja nurmen- ja viljanviljelyn seurauksena.

Jatkotoimenpiteet

Koekentältä on tähän mennessä selvitetty alkutilanne eli maan ominaisuudet ojituksen aikoihin ennen jankkurointia. Tutkimuksen lopussa tehdään vastaavat toimet uudelleen ja selvitetään, miten jankkurointi sekä nurmen ja viljan viljely ovat vaikuttaneet maan rakenteeseen ja kuivatustilanteeseen. Pohjaveden korkeutta, maan kosteutta, sademäärää ja pohjaveden ravinnepitoisuuksia seurataan säännöllisesti sulan maan aikaan. Sadon määrä ja laatu analysoidaan vuosittain.

Taulukko 21. Sotkamon jankkurointikentän keskimääräiset maan ominaisuudet. Suluissa oleva luku ilmoittaa keskihajonnan.

Ominaisuus	0-20 cm		20-40 cm		40-60 cm	
Savespitoisuus %	16	(6)	14	(5)	18	(9)
Hiesupitoisuus %	61	(3)	61	(3)	60	(10)
Hieta/hiekkapitoisuus %	23	(9)	25	(7)	21	(17)
Maalaji	hiesu		hiesu		hiesu	
Orgaaninen aines %	4,8	(2,5)	2,60	(2,6)	0,51	(0,6)
Multavuusluokka	multava		vähämultainen		vähämultainen	
Tilavuuspaino g/cm3	1,25	(0,1)	1,59	(0,1)	1,68	(0,1)
Maan vedenjohtavuus (kenttämittaus) cm/h	51*	(48)			0,43**	(0,2)
Maan vedenjohtavuus (laboratoriomittaus) cm/h	45	(42)	19	(29)	1,1	(2,3)
Isoja huokosia (ø>30 µm) til-%	4,0	(1,3)	1,8	(0,7)	1,6	(0,4)
Pieniä huokosia (ø<0,2 µm) til-%	34	(6)	27	(13)	24	(7)
pH	6,2	(0,4)	6,3	(0,5)	6,4	(0,4)
Johtoluku 10-4 S/cm	0,58	(0,1)	0,41	(0,1)	0,37	(0,1)
Ca mg/litra maata	910	(160)				
K mg/litra maata	83	(28)				
Mg mg/litra maata	165	(59)				
P mg/litra maata	10,1	(4,8)				

* infiltraatiomittaus maan pinnasta ** auger hole -mittaus noin 80-100 cm:n syvyydestä

4.5 Valunta ja valunnan vuodenaikaisjakauma Aurajoella ja Hovissa

Aurajoen koekenttä

Aurajoen koekentällä tutkittiin muokkauskäsittelyiden vaikutuksia eroosioon ja ravinnehuuhtoutumiin kahdessa jaksossa vuosina 1990–1994 ja 1997–2002. Kahdeltatoista koeruudulta mitattiin valunta ja analysoitiin veden laatutekijät. Vuosikuormitus ja kuormituksen vaihtelu perustuivat valunnan määrään ja veden laatutekijöihin.

Koekentän suuresta kaltevuudesta (7–8 %) johtuen lähtöoletuksena oli, että pääosa vuosivalunnasta muodostuu ylimmän pintakerroksen valuntana. Tämän vuoksi valunnan mittaaminen kohdennettiin 25 cm:n ruokamultakerroksessa liikkuvaan veteen. Valunta kerättiin koeruuduittain 2-tasoisilla keräimillä, joista ylempi taso kokosi veden koeruutujen alareunassa 0–10 cm:n kerroksesta ja alempi taso 10–25 cm:n kerroksesta (Puustinen ym. 2005). Koeruutujen pituus oli 55 m ja leveys 18 m. Toimenpiteet toteutettiin koeruudun koko alalle. Valunta koottiin koeruuduilta 9 m:n kaistalta. Ruutujen väliin jäi siten suoja-alueet, jotka estivät veden virtaamisen ruudulta toiselle. Salaojavaluntaa ei mitattu.

Muokkauskäsittelyistä syyskyntö, syysvehnä ja talviaikainen sänki olivat koejäseninä molemmilla jaksoilla eli yhteensä 9 vuoden ajan. Muita muokkauskäsittelyitä mm. kultivointi, sänkimuokkaus, suorakylvö ja nurmi, tutkittiin vain toisessa jaksossa eli joko 4 vuoden tai 5 vuoden ajan. Seurantavuosi alkoi syyskuun alussa ja jatkui seuraavan vuoden elokuun loppuun.

Aurajoen koekentällä mitattu valunta-aineisto jaettiin kahteen ryhmään syksyn ja talven hydrologisten olojen perusteella (Puustinen ym. 2007). Ensimmäiseen ryhmä sisälsi vuodet (5 vuotta), jolloin oli keskimääräistä sateisempia syksyjä ja leutoja talvijaksoja, jolloin lumi ajoittain suli pois. Toinen ryhmä koostui vuosista (4 vuotta), jotka sisälsivät edellistä kuivempia syksyjä ja lumisen kylmän talven. Ensimmäistä ryhmää kutsuttiin kuormittaviksi vuosiksi ja toista ryhmää vähän kuormittaviksi vuosiksi Puustisen ym. (2007) esittämien kuormitustulosten perusteella. Valunnan määrää tarkasteltiin vuodenajoittain syksystä seuraavan vuoden kesän loppuun.

Hovi

Hovin valuma-alue kuuluu ympäristöhallinnon pieniin valuma-alueisiin, joissa on ollut hydrologinen seuranta ja veden laatuseuranta usean kymmenen vuoden ajan. Hovin valuma-alue muodostuu 12 ha:n peltoalasta. Peltoalan keskimääräinen kaltevuus on noin 3 %. Hovissa mitataan alueen kokonaisvaluntaa ja salaojavaluntaa.

Salaojavalunta perustuu salaojakaivoon asennetun V-mittapadon vedenkorkeuteen. Kokonaisvalunta määritetään vastaavasti alapuoliseen uomaan asennetun v-mittapadon vedenkorkeuden perusteella. Pintavalunta (ylimmän maakerroksen valunta) on kokonaisvalunnan ja salaojavalunnan erotus. Menettelystä johtuen laskennallinen pintavalunta voi sisältää myös syvemmän maakerroksen valuntaa ja jopa pohjavesivaluntaa. Hovin valunnat ovat samoilta vuosilta kuin Aurajoella ja vuosityypittely on sama.

Sadanta ja valunta

Turun lentokentällä keskimääräinen sadanta syyskuun alusta toukokuun loppuun oli kuormittavina vuosina 66 mm suurempi kuin keskimääräisinä vuosina (taulukko

22). Ero muodostui syksyllä ja talvella, jolloin sadanta oli 79 mm ja 12 mm suurempi. Keväällä kuormittavan vuoden sadanta oli 26 mm pienempi. Kesäsadanta oli kuormittavana vuonna keskimäärin 56 mm suurempi.

Vihdin Maasojalla keskimääräinen sadanta syyskuun alusta toukokuun loppuun oli kuormittavina vuosina 45 mm suurempi kuin keskimääräisinä vuosina. Ero muodostui syksyllä, jolloin sadanta oli 67 mm suurempi. Talvella sadanta oli lähes sama ja keväällä 14 mm pienempi. Kesäsadanta oli kuormittavana vuonna keskimäärin 45 mm suurempi.

Sadannan jakautuminen eri vuodenajoille molemmilla sääasemilla oli hyvin samanlainen vaikka sademäärät poikkesivat toisistaan. Syyskuun alusta toukokuun loppuun sadanta oli kuormittavan vuonna Turun lentokentällä 59 mm ja keskimääräisenä vuonna 64 mm suurempi kuin Vihdissä. Myös kesäkuukausien sadanta oli Turussa suurempi kuin Vihdissä.

Taulukko 22. Vuosi- ja vuodenaikaissadanta Turun lentokentällä ja Vihdin Maasojalla eri tyyppisinä vuosina.

	Keskimääräinen vuosisadanta ja vuodenaikaissadanta (mm) hydrologisesti erityyppisinä vuosina					
Sääasema	Syksy	Talvi	Kevät	Yhteensä	Kesä	Vuosi
Turun lentokenttä						
Kuormittava	325	121	93	539	234	773
Keskimääräinen	246	109	119	473	178	651
Vihdin Maasoja						
Kuormittava	223	145	99	467	247	714
Keskimääräinen	156	153	113	422	165	587

Se osa maahan sataneesta vedestä, joka ei haihdu kasvustosta tai suoraan maanpinnalta, muodostaa valuntaa tai varastoituu maan huokosiin. Valunnan määrää pitkällä aikavälillä säätelee sadanta ja haihdunta. Pelloilta valunta tulee pintavaluntana, maanpinnan alaisena valuntana jankkokerroksen yläpuolella, salaojavaluntana ja syvänä pohjavesivaluntana. Pelloilla tapahtuvan valunnan kulkureitti riippuu ensisijaisesti maanpinnan kaltevuudesta, maan lajitekoostumuksesta ja rakenteesta, maan kosteustilasta, ojituksesta, maanmuokkauksesta ja kasvipeitteisyydestä.

Taulukoissa 23 ja 24 on esitetty Aurajoen ja Hovin pinta-, pintakerros- ja salaojavalunnat vuodenajoittain eri tyyppisinä vuosina. Näiden valuntakomponenttien yhteismäärästä syksyllä tapahtui keskimäärin 30–40 %, keväällä 30–50 % ja talvella 10–30 %. Kasvukauden ulkopuolella tapahtuneen valunnan osuus oli käytännössä yli 90 % koko vuoden valunnasta (taulukot 23 ja 24). Taulukossa 23 Aurajoen valunta on pintakerrosvaluntaa (pintavalunta + jankkokerroksen valunta) ja Hovin valunta pintakerrosvaluntaa ja salaojavaluntaa. Keskimääräisten valuntojen vuodenaikaisjakaumat olivat samankaltaisia molemmilla alueilla.

Aurajoen huomattavan viettävällä peltoalueella pintakerrosvaluntaa (pintavalunta ja maanpinnan alainen valunta jankkokerroksen yläpuolella) muodostui keskimäärin 189–239 mm vuodessa muokkausmenetelmästä ja kasvipeitteisyydestä sekä syksyn ja talven hydrologisista olosuhteista riippuen. Aurajoen koekentällä pintavalunnan osuus syysvehnällä, sängellä ja nurmella oli suurempi kuin maanpinnan alaisen valunnan. Kynnetyssä maassa jankkokerroksen valunta oli yhtäsuuri kuin pintavanlunta. Valuntasuhteet edustavat koeruutujen alareunassa vallitsevaa tilannetta.

Hovissa salaojavaluntojen osuus kokonaisvalunnasta on merkittävä. Kuormittavana vuonna salaojavalunnan osuus on selvästi suurempi kuin keskimääräisenä vuonna. Ero muodostuu syksyn ja kevään valunnoista. Märkänä syksynä salaojavalunnan osuus on huomattavan suurempi kuin keskimääräisenä syksynä ja kylmän talven jälkeen pintavalunnan osuus kasvaa lumen sulamisvesistä (taulukot 23 ja 24). Vuosivalunnan määrät vaihtelevat eri vuosina sateisuudesta ja sadannan jakaumasta riippuen, mutta pintakerros- ja salaojavalunnan suhteilla ei ole kovin suurta vaikutusta vuosivalunnan kokonaismäärään.

Hovissa kuormittavana vuonna valunta oli 50 mm suurempi kuin keskimääräisenä vuonna. Aurajoen koekentällä tällaista eroa ei havaittu johtuen mahdollisesti siitä, että salaojavaluntaa ei mitattu. Hovissa kuormittavina vuosia salaojavalunta kasvoi merkittävästi ja pintavalunta pieneni. Aurajoella kaltaisissa olosuhteissa pintavalunnan määrään vaikuttaa mm. syksyn runsaat ja pitkäaikaiset sateet sekä keväällä lumen sulanta. Jos pintavalunnan kynnys ei ylity, vesi menee salaojiin. Leutoina kuormittavina vuosina kaltevillakin pelloilla maaperän ollessa kenttäkapasiteetissa salaojavaluntojen määrä kasvaa, eikä kasvu välttämättä tulekaan esille pintavalunnassa. Tässä tilanteessa sade vaikuttaa välittömästi valunnan määrään, mutta sateen intensiteetti valuntareittien osuuksiin. Eri tyyppisten vuosien vaikutukset ilmenevät valunnan vuodenaikaisjakaumien muutoksena. Aurajoelta puuttuva salaojavalunta saattaa olla samaa suuruusluokkaa kuin Hovin ja Aurajoen valuntojen erotus eli noin 50–80 mm.

Taulukko 23. Keskimääräinen pintavalunta ja pinnan alainen (jankon yläpuolinen) valunta Aurajoen koekentällä sekä keskimääräinen pintakerros- ja salaojavalunta Hovissa eri vuodenaikoina sateisten syksyjen ja leutojen talvien vuosina.

Aurajoki	Keskimääräinen pintakerrosvalunta ja salaojavalunta (mm)					
Muokkauskäytäntö	Valuntatyyppi	Vuosi	Syksy	Talvi	Kevät	Kesä
Syyskyntö	Pinta	122	35	46	36	-
	Jankko	117	61	33	38	-
	Yhteensä	239	96	79	64	-
Syysvehnä	Pinta	139	29	62	43	-
	Jankko	79	45	22	17	-
	Yhteensä	218	74	84	60	-
Sänki	Pinta	152	38	57	46	-
	Jankko	70	50	14	17	-
	Yhteensä	222	88	71	63	-
Pysyvä nurmi	Pinta	125	21	51	53	-
	Jankko	81	36	35	11	-
	Yhteensä	206	57	86	63	-
Hovi	Pinta	130	39	28	50	13
	Salaoja	184	96	15	61	12
	Yhteensä	314	135	43	111	25

Taulukko 24. Keskimääräinen pintavalunta ja pinnan alainen (jankon yläpuolinen) valunta Aurajoen koentällä sekä keskimääräinen pintakerros- ja salaojavalunta Hovissa eri vuodenaikoina kuivien syksyjen ja kylmien talvien vuosina.

Aurajoki Muokkauskäytäntö	Keskimääräinen pinta- pintakerros- ja salaojavalunta (mm)					
	Valuntatyyppi	Vuosi	Syksy	Talvi	Kevät	Kesä
Syyskyntö	Pinta	131	45	31	57	-
	Jankko	97	43	34	18	-
	Yhteensä	228	88	65	75	-
Syysvehnä	Pinta	153	24	74	41	-
	Jankko	67	41	17	23	-
	Yhteensä	220	65	91	64	-
Sänki	Pinta	134	29	47	45	-
	Jankko	55	44	10	14	-
	Yhteensä	189	73	57	59	-
Pysyvä nurmi	Pinta	111	32	42	34	-
	Jankko	101	46	21	37	-
	Yhteensä	212	78	63	71	-
Hovi	Pinta	158	46	12	97	3
	Salaoja	106	42	13	45	6
	Yhteensä	264	88	25	142	9

Kasvukaudella, jolloin sadannanvajaus on suuri, maaperän vesivarastot tyhjenevät ja valunnat ovat minimissään. Huolimatta kesäkuukausien sateista (taulukot 23 ja 24) pintakerros- ja salaojavalunta oli minimaalista kummallakin koealueella. Aurajoen koekentällä muokkauskerroksen valunta kesäkuukausina yhdeksän vuoden aikana oli enimmillään vain 1–2 mm. Hovissa vastaavana aikana kesäkuukausien valunta oli noin 10–20 mm. Kasvukaudella valunnan osuus koko vuoden valunnasta poikkeuksellisen sateisia vuosia lukuun ottamatta oli selvästi alle 10 %. Vain voimakkaimmat ja pitkäaikaiset kesäsateet tuottavat kasvukaudella ajoittain runsaampaa valuntaa.

Aurajoen ja Hovin tutkimusalueiden lisäksi savipelloilta tulevaa valuntaa on mitattu muun muassa MTT:n koealueilla Jokioisissa ja TKK:n tutkimusalueella Kirkkonummella. PVO-hankkeessa nyt käynnissä olevat mittaukset Nummelan ja Gårdskullan koealueilla lisäävät edelleen tietämystä valunnan ja kuormituksen muodostumisesta salaojitetuissa savimaissa. Tämä on keskeistä erilaisten vesiensuojelutoimien kohdentamisessa.

4.6 Salaojituksen pitkäaikaisvaikutukset maan rakenteeseen MTT:n koekentillä

Toteutus

MTT:ssa on useita vuosina 1985–88 ojitettuja savimaan salaojituskenttiä. HY:ssa tehdään niihin liittyen pro gradu -työ maaperä- ja ympäristötieteeseen. Tavoitteena on selvittää, mitä muutoksia maan fysikaalisissa ominaisuuksissa on tapahtunut ojituksen jälkeen.

Kenttäkokeet (tässä vain Jokioisten Kartanoiden mailla olevat kokeet. Osa kokeista oli viljelijöiden pelloilla):

Jokioisten kokeissa on tutkittu seuraavia asioita:

- ojan täyttö hakkeella
- sorasilmäkkeiden käyttö ojien täytössä
- ojaetäisyys (12 tai 16 m)
- entisen ojituksen tehostamista
- ojien täyttöä kuivatetulla kaivuumaalla

Näistä kentistä valittiin Kotkanojan huuhtoumiskenttä, jossa tutkitaan maan rakenteen kehitystä ojituksen jälkeen. Ilmiö, jota työssä tutkitaan: maan kosteustilan vaikutus savimaan rakenteeseen.

Syksyllä 2007 tehtiin infiltraatiomittaukset ja keväällä 2008 on määritetty kyllästetyn maan hydraulinen johtavuus käänteisellä auger hole- menetelmällä yhden metrin syvyyteen. Kentältä otettiin näytteet, joista tehdyt laboratoriomääritykset valmistuvat syksyllä 2008. Aineistosta tehtävä gradutyö valmistuu alkuvuonna 2009.

4.7 Tilakohtaiset seurantakohteet (VNA-kohteet)

Toteutus

Tilakohtaiset seurantakohteet tulivat hankkeeseen mukaan Maa- ja metsätalousministeriön aloitteesta. Ministeriön nimeämä työryhmä valmisteli vuoden 2005 lopussa ja vuoden 2006 alussa salaojituksen laatuvaatimuksia ja salaojituksen investointitukea käsittelevän asetuksen perusteita maaliskuun 23. päivänä 2006 annettiin Maa- ja metsätalousministeriön asetus peltosalaojituksen laatuvaatimuksista ja tukikelpoisista enimmäiskustannuksista (204/2006). Työryhmässä käydyssä keskustelussa korostettiin salaojitustutkimuksen tarvetta. Keskustelun seurauksena säädettiin Valtioneuvoston asetus tutkimushankkeeseen kuuluvan salaojituksen tukemisesta vuonna 2006 (322/2006). Tämä asetus mahdollisti, että tutkimushankkeen yhteydessä tilakohtaisia salaojituksia voitiin toteuttaa asetuksesta 204/2006 poiketen innovatiivisia salaojitusmateriaaleja ja -menetelmiä käyttäen siten, että tilat voivat saada investointitukea. Asetuksen toimeenpano määrättiin Pellon vesitalouden optimointi -hankkeen vastuulle.

Hankkeeseen haluavia tiloja etsittiin vuonna 2006 lehti-ilmoituksilla. Hakemuksia tuli 16 kpl kattaen 140 ha:n pinta-alan. Kaikki kohteet hyväksyttiin mukaan tutkimukseen. Tutkimussopimuksen allekirjoitti kuitenkin vain yhdeksän viljelijää, joista yksi perui osallistumisensa myöhemmin. Sopimuksen piirissä oleva peltoala kattaa 75 ha.

Hankkeessa on mukana kahdeksan yksityistä maatilaa, joilla on ojitettu lohkoja käyttämällä normaalia tiheämpää ojaväliä ja salaojaputken ympärysaineena ohutta esipäällystettä tai muuten tavanomaisesta poikkeavaa menetelmää (liite 23). Ojitukset on tehty vuosina 2006–2008. Lohkoilla seurataan ojituksen vaikutusta maan rakenteen kehittymiseen ja kerätään viljelijöiden kokemuksia menetelmistä.

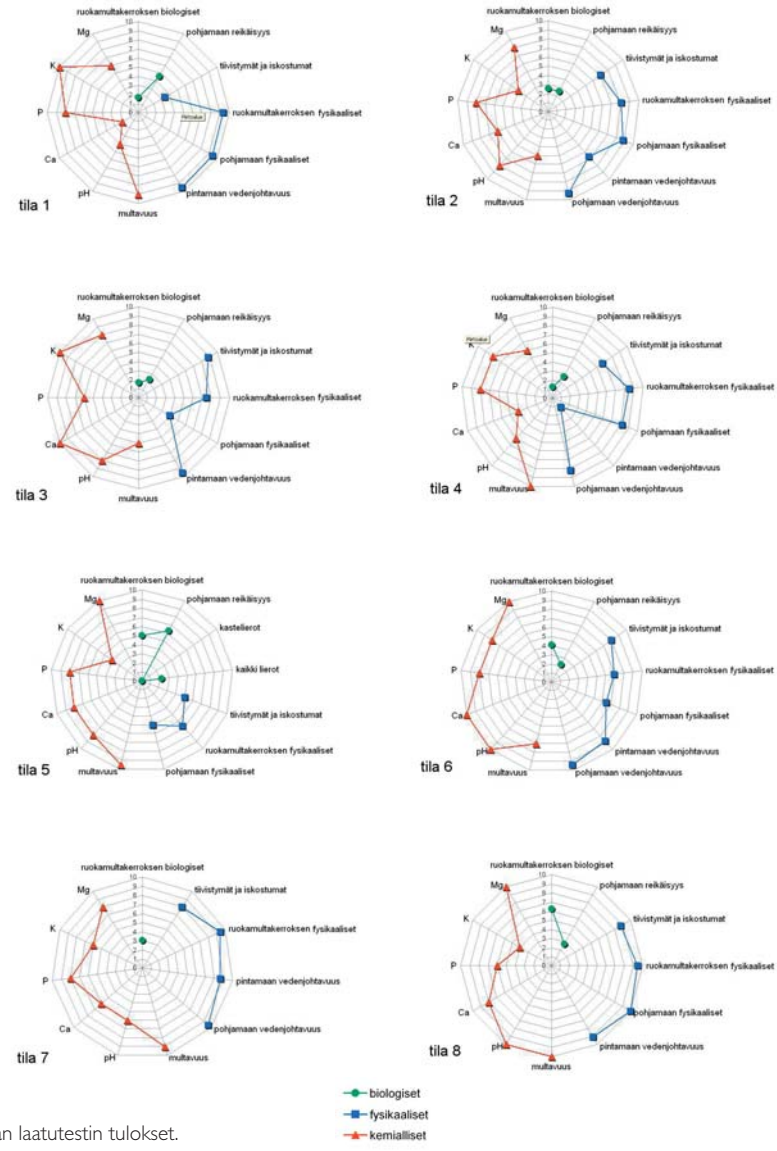
Syksyn 2007 aikana tehtiin maaperätutkimus kaikilla tiloilla. Tutkimukseen sisältyvät peltomaan laatutestin (www.agronet.fi > peltomaan laatutesti) kuoppahavainnot sekä pinta- ja pohjamaan vedenjohtavuuden määritykset. Lisäksi otettiin maanäytteitä 100 cm:n syvyyteen asti. Maanäytteistä analysoitiin maan lajitekoostumus mekaanisella maa-analyysillä, maan orgaanisen aineksen pitoisuus kuivapolttomenetelmällä ja viljavuus viljavuusnalyysillä. Viljelijöiltä kerättiin tietoja lohkon kuivatustilanteesta ennen ojitusta.

Suomessa salaojaputken ympärillä käytetyn ohuen esipäällysteen huokoskoko ja paksuus testattiin helmikuussa 2007 VTT:llä. Näyte oli otettu VNA-kohteen työmaalta Joroisilta.

Alustavat tulokset

Tutkimuslohkojen maalajit vaihtelivat aitosavimaista karkeisiin hietamaihin, ja orgaanisen aineksen pitoisuudet multavasta turvemaihin (liite 23). Syyt, joiden takia viljelijät halusivat salaojittaa, olivat tyypillisiä kuivatusongelmia: tiivis maa, harva ojaväli, tukkeutuneet salaojat, umpeutuvat avo-ojat, märät alueet tai notkot, lähteisyys ja ruosteisuus (liite 23).

Peltomaan laatutestin tulokset (kuva 43) osoittivat, että maiden fysikaaliset ominaisuudet olivat yleensä melko hyvässä kunnossa, mitä monien maiden hyvä mul-



Kuva 43. Peltomaan laatutestin tulokset.

tavuus on todennäköisesti edistänyt. Biologiset ominaisuudet puolestaan olivat heikot. Tämä saattaa johtua siitä, että maan liiallinen märkyys heikentää maaperäeliöiden toimintaedellytyksiä.

Esipäällysteen testin tulokset

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää ohuen suojakankaan toimivuutta. Sitä toimittaa Jokema Oy, joka on Suomessa valmistetun kuitukankaan jatkojalostaja sekä myyjä. Yritys toimii Kokemäellä ja se on toiminut alalla vuodesta 1988. Kangasta tehdään Nakkilassa Suominen kuitukangas Oy:n tehtailla. Suojakankaan tuotemerkki on Fibrella ja se on tarkoitettu pääasiassa kosteuspyyhkeeksi. Aikaisemmin käytettiin tuotetta Fibrella 2100, jonka koostumus oli 2/3 viskoosia ja 1/3 polyesteria ja paino 50 g/m^2. Nyt käytössä on vielä Fibrella 2150, jonka koostumus on ½ viskoosia ja ½ polyesteria ja jonka paino on 45 g/m^2, mutta sitä ei enää valmisteta. Tällä hetkellä valmistettava tuote on Fibrella 2160, jonka koostumus on 60% polyesteria ja 40% viskoosia ja paino on 45 g/m^2.

PVO-hankkeessa esipäällyste Fibrella 2150 testattiin VTT:llä. Testin mukaan materiaalin paksuus oli 0,3 mm ja tehokas huokoskoko 0,077 mm. MMM:n asetuksen (2004/2006) mukaiset vaatimukset ovat paksuuden osalta 3 mm ja huokoskoon osalta 0,45–1,0 mm. (Testitulokset ovat liitteessä 24).

Verrattaessa testitulosta kansainvälisiin kriteereihin (kts. luku 2.3), voidaan todeta, että:

- kriittisen huokoskokojakautuman eli O_{90}-arvon mukaan suodatinominaisuudet ovat riittävät niille suomalaisten peltojen maalajeille, joilla ympärysaineelta vaaditaan hyvää suodatinominaisuutta
- vedenläpäisevyyden näkökulmasta huokoskoko on liian pieni
- esipäällysteen ohuudesta ja pienestä huokoskoosta johtuen esipäällysteen tukkeutumisriski on ilmeinen

Esipäällyste on osittain orgaanista materiaalia, jonka takia sen suodatin- ja vedenläpäisevyysominaisuudet muuttuvat ajan myötä orgaanisen materiaalin lahotessa. Se parantaa esipäällysteen vedenläpäisevyyttä, mutta heikentää sen suodatinominaisuuksia.

Jatkotoimenpiteet

Hankkeessa mukana olevilta tiloilta on tähän mennessä selvitetty alkutilanne eli maan ominaisuudet ojituksen aikaan. Haastatteluin on selvitetty kuivatustilanne ennen ojitusta. Tutkimuksen lopussa tehdään vastaavat toimet uudelleen ja selvitetään, miten ojitus on vaikuttanut maan rakenteeseen ja kuivatustilanteeseen.

4.8 Lill-Nägels

Toteutus

Salaojitus kookoskuidulla esipäällystetyllä salaojaputkella ja hakkeen käyttö salaojakaivannon täyttömateriaalina on yleisesti käytössä Länsi-Uudellamaalla. Tavoitteena on selvittää tämän salaojitusmenetelmän vaikutukset salaojituksen toimivuuteen ja salaojaveden laatuun. Asiaa tutkitaan Lill-Nägelsin tilalla, joka sijaitsee Jorvaksessa Kirkkonummella välittömästi kantatie 51:n eteläpuolella (liite 25). Tilalla seurataan myös täydennysojituksen vaikutusta erittäin tiivistyneen savipellon tilaan.

PVO hankkeessa seurataan kahta lohkoa, joilla on pitkään esiintynyt kuivatusongelmia. Molemmilla lohkoilla on viljelty vuosikausia kauraa. Lannoitusmäärät ovat viime vuosina olleet 8 kg/ha fosforia ja 75–80 kg/ha typpeä vuosittain. Lohkon 1 (ojasto 18, 2,4 ha) vanhasta salaojituksesta ei ole tarkkaa tietoa. Lohko 2 (ojasto 610, 3,9 ha) on salaojitettu vuonna 1959 ojavälillä 16 m ja ojasyvyydellä n. 1,0 m. Maalaji on lohkolla 1 hiesusavi ja lohkolla 2 hietasavi.

Lohko 1 uusintaojitettiin keväällä 2006 kookoskuidulla esipäällystetyllä salaojaputkella ja haketäytöllä. Lohko 1 oli kesällä 2006 sänkikesantona, kesällä 2007 lohkolla viljeltiin kevätvehnää ja kesällä 2008 rypsiä. Lohkoa on lannoitettu ja kalkittu keväällä 2008.

Lohkolla 2 vilja on kasvanut huonosti todennäköisesti huonosta kuivatuksesta ja maan tiivistymisestä johtuen. Tällä lohkolla tehtiin 25.5.2007 maan laatutestin (www.agronet.fi) mukaiset kuoppahavainnot kolmesta kohdasta. Maaperänäytteitä otettiin lohkolta 2 kolmesta kohtaa 100 cm:n syvyyteen asti. Maanäytteistä analysoitiin maan lajitekoostumus, maan orgaanisen aineksen pitoisuus ja viljavuus.

Toukokuun lopussa 2007 lohko 2 täydennysojitettiin kookoskuidulla esipäällystetyllä salaojaputkella ja haketäytöllä. Vuonna 1959 tehdyn ojituksen ojaväli oli 16 m. Nyt lisättiin joka ojaväliin imuoja, jolloin ojaväli on nyt 8 m. Ojasyvyys on noin 1,0 m. Lokakuusta 2006 alkaen on seurattu muutamana ajanjaksona molempien lohkojen salaojavalunnan määrää ja laatua. Lohko 2 oli kesällä 2007 kesantona. Keväällä 2008 lohkoa kalkittiin. Keväällä 2008 lohkolle kylvettiin heinäsiemeniä ja kauraa.

Alustavat tulokset

Salaojavalunta oli erityisen suuri lohkolla 29 ja on todennäköistä että alueella on lähteitä. Vesinäytteitä on otettu vain 13 kpl vuosin 2006 ja 2007, minkä perusteella ei voida tehdä luotettavia johtopäätöksiä. Tulokset on esitetty liitteessä 26a–c. Lohkolla 2 on esiintynyt ongelmia ja epäiltiin että se johtuu salaojituksen vajaatoimivuudesta ja/tai savimaan voimakkaasta tiivistymisestä. Koekuoppahavaintojen perusteella maan rakenne on kuitenkin tyydyttävä.

Jatkotoimenpiteet

Vesinäytteitä otetaan vielä hankkeen loppuajan, jolloin nähdään onko hakkeella vaikutusta veden laatuun. Maan rakennetta tutkitaan uudelleen hankkeen lopussa, jolloin nähdään onko se siinä ajassa muuttunut.

4.9 Köyliön Vanhakartano

Toteutus

Tilakohtaisia kokemuksia ohuen esipäällysteen käytöstä yhdistettynä pieneen ojaväliin on muun muassa Köyliön Vanhakartanon tilalla. Tila sijaitsee Satakunnassa Köyliönjärven Kirkkosaaressa. Peltoja ja rakennuksia on lisäksi mantereella Polsun salmen länsipuolella. Tilalla on noin 140 hehtaaria peltoa ja tila on keskittynyt vihannesviljelyyn. Peltojen maalaji on pääasiassa hietaa. Salaojitukset tilalla on tehty eri aikoina ja osassa on käytetty putken ympärysaineena soraa, osassa ohutta esipäällystettä ja osassa ei ole käytetty ympärysainetta lainkaan. Vuonna 2004 Köyliön Vanhakartanosta on tehty maatilan ympäristöselvitys. Maan kosteuspitoisuutta on mitattu monena vuotena Diviner-mittareilla 10 cm välein 50–70 cm:n syvyyteen.

Liitteessä 27 on alueen salaojakartta, jossa mustalla on merkitty vanhat

1930-luvulla tehdyt ojitukset ja punaisella on merkitty uudet vuosina 1997 (lohko 10) ja 1999 (lohkot 6 pohjoisosa,7, 8) tehdyt ojitukset. Lohkon 9 ojitusta ei ole uusittu. Lohkon 6 pohjoisosa ja lohko 7 on syväkuohkeutettu vuonna 2002. Vanhat ojitukset on tehty 18 metrin ojavälillä tiiliputkella ja ympärysaineena on käytetty soraa. Uudet ojitukset on tehty noin 6 m ojavälillä. Lohkolla 10 uudet ojitukset on tehty kokonaan ilman esipäällystettä ja lohkolla 6, 7 ja 8 on käytetty ohutta esipäällystettä. Lohkojen 7-10 maalaji on hietaa ja lohkon 6 maalaji on savea. Alueet, joilla esiintyy kuivatusongelmia, on merkitty kartalle.

Alustavat tulokset

Kesäkuussa 2008 kaivettiin salaojaputket esille lohkoilla 7, 9, ja 10 (koepisteet 7a, 7b, 9, ja 10a). Syyskuussa 2008 sadonkorjuun jälkeen kaivettiin salaojaputket esille lohkoilla 6, 7, 8 ja10 (koepisteet 6a, 6b, 6c, 7c, 8a, 8b, 10b ja 10c). Koekohdista selvitettiin, oliko putkissa maata ja ympärysaineen kuntoa. Kaivannoista tehtiin peltomaan laatutestin kuoppahavainnot ja otettiin maaperänäytteet, josta analysoidaan maan lajitekoostumus, maan orgaanisen aineksen pitoisuus ja viljavuus. Kaikissa esiinkaivetuissa kohteissa ohuella esipäällysteellä tehdyt salaojat olivat vanhan tiiliputkiojituksen yläpuolella. Ohuella esipäällysteellä tai kokonaan ilman esipäällystettä tehtyjen keskimäärin 10 vuotta vanhojen imuojien syvyys maanpinnasta oli 0,7–0,9 m ojaetäisyys on n. 6 m. Syvemmällä olevien sorastettujen tiiliputkiojien syvyys oli 1,0–1,1 m ja ojaväli16–18 m. Niiden ikä on yli 70 vuotta.

Kuvissa 44a–44j on esitetty valokuvat esiinkaivetuista putkista. Pisteessä 6c maalaji on savea ja ojituksen esipäällysteenä on käytetty ohutta suojakangasta eikä saostumia esiinny. Pisteessä 7a maalaji on hietaa ja ohut suojakangas on haurastunut lähes olemattomiin. Muoviputkeen oli saostunut hieman maata. Vanhan tiiliputkiojituksen toimivuudesta ei ole varmaa tietoa, mutta se on todennäköisesti rikottu uutta asennettaessa. Tiiliputkessa pisteessä 7a ei ollut maata. Pisteissä 7c ja 8 a, joissa maalaji on hietaa ja esipäällysteenä ohut suojakangas, esiintyy saostumia. Vastaavasti 8 b:ssä, joka on imuojan latvalla, ei ole saostumia. Lohkolla 10 uusintaojitus on tehty kokonaan ilman suojakangasta ja saostumia esiintyi sekä imuojassa että kokoojaojassa, imuojan latvaosa oli kuitenkin lähes puhdas.

Otetuista maanäytteistä ei ole vielä tiedossa raekokojakautumaa, joten vertailua maalajien suhteen ei ole voitu vielä tehdä. Ohut esipäällyste on selvästi haurastunut niin, että siitä on jäljellä vain harva verkkomainen rakenne. Niiden kohteiden osalta, joissa putkessa oli runsaasti maata esipäällysteestä huolimatta, todennäköinen syy maan putkeen pääsyyn on ollut esipäällysteen lahoaminen. Esipäällysteen mahdollista vajaata asennusta putken ympärille ei voitu todeta.

Salaojasyvyydessä ei esiintynyt missään kohtaa poikkeuksellista märkyyttä, vaikka maan pinnalla esiintyi lätäköitä. Silmävaraisesti arvioiden saatta olla, että kuivatusongelmat eivät johdu salaojista vaan muokkauskerroksen maan rakenteesta ja siitä johtuvasta huonosta vedenläpäisevyydestä. Pohdittavaksi jääkin, voiko tilannetta ylipäätään parantaa salaojilla ja onko täydennysojitus tehdyssä laajuudessa ollut perusteltua.

Kuva 44a. Köyliön Vanhakartano, Lohko 6, piste 6c, 6.10.2008. Savimaa, ympärysaineena ohut esipäällyste, hieman saostunut.

Kuva 44b. Köyliön Vanhakartano, Lohko 7, piste 7a, 13.6.2008. Hietamaa. Esipäällyste on haurastunut kymmenessä vuodessa.

Kuva 44c ja 44d. Köyliön Vanhakartano, Lohko 7, piste 7a, 13.6.2008. Saostumia oli muoviputkessa, jonka ympärysaineena oli ohut esipäällyste, muttei tiiliputkessa, jonka ympärysaineena oli sora.

Kuva 44e+f. Köyliön Vanhakartano, vasemmalla lohko 7, piste 7c, 6.10.2008. Oikealla lohko 8, piste 8a, hietamaa. Molemmissa ympärysaineena on ohut esipäällyste ja putkissa esiintyy saostumia.

Kuva 44g. Köyliön Vanhakartano, Lohko 8, piste 8b, 6.10.2008. Hietamaa ja ohut esipäällyste. Saostumia ei esiinny.

Kuva 44h. Köyliön Vanhakartano, Lohko 10, piste 10c, hietamaa, ilman esipäällystettä, 6.10.2008. Putkessa on saostumia.

Kuva 44i+j. Köyliön Vanhakartano, Lohko 10, hietamaa, ilman esipäällystettä, 6.10.2008. Vasemmalla piste 10 a, jossa esiintyy saostumia. ja oikealla. 10 b imuojan latvalta, jossa ei esiinny saostumia.

Jatkotoimenpiteet

Maaperätutkimusten valmistuttua tehdään johtopäätökset Köyliön Vanhankartanon tilan kokemuksista. Tarvittaessa tilalla tehdään vielä lisäselvityksiä.

4.10 Eri ojitusmenetelmien kustannukset

Kustannusten tiivistelmänä on alla on esitetty vertailu imuojan (Putkikoko DN 50) metrikustannuksista kuluvalta kaivukaudelta €/metri.

	Salaojan ympärysaine	
	Sora	Ohut esipäällyste
Putkikustannus	0,36	0,36
Ympärysaine	0,19	0,08
Putken asennus/ urakoitsijan kustannus	1,40	0,80
Yhteensä	**1,95**	**1,24**

Kustannukset ojituksessa, jossa käytetään ohutta esipäällystettä, ovat keskimäärin imuojametriä kohti vain noin 64 % soralla tehtyjen imuojien kustannuksista.

Kustannukset hehtaaria kohti riippuvat ojavälistä. Yleensä täydennysojitus tehdään siten, että vanhaa ojitusta käytetään hyväksi ja ympärysaineena käytetään soraa. Mikäli vanhan ojituksen ojaväli on ollut 16 m ja jokaiseen väliin lisätään uusi oja, tarvitaan lisäojia 625 m/ha, jolloin imuojien kustannukset maahan asennettuna käyttäen soraa ympärysaineena ovat 1 219 €/ha. Mikäli vanha ojitus rikotaan ja ojitetaan 6 m ojavälillä käyttäen ympärysaineena ohutta esipäällystettä, tarvitaan lisäojia 1 667 m, jolloin imuojien kustannukset ovat 2 067 €/ha. Jos tehdään kokonaan uutta ojitusta, 12 m ojavälillä tarvitaan ojia 833 m/ha ja kustannukset ovat soraa käyttäen 1 624 €/ha. Hinnat sisältävät vain putken ja sen asettamisen maahan ympärysaineineen. Lisäksi tulevat muut kustannukset, kuten kaivot, liitokset, kokoojaojat, suunnittelutyöt, kaluston siirto ja arvonlisävero.

Täydennysojituksen kustannukset hehtaaria kohti ainoastaan imuojien osalta ovat siten soraa ja 16 m ojaväliä käyttäen 59 % kustannuksista, jotka saadaan ohutta esipäällystettä ja 6 m ojaväliä käyttäen. Ensiojituksissa kustannukset hehtaaria kohti ovat vastaavasti soraa ja 12 m ojaväliä käyttäen 79 % kustannuksista, jotka saadaan ohutta esipäällystettä ja 6 m ojaväliä käyttäen.

Ojitusmenetelmä vaikuttaa myös ojituksen kestoikään, huoltotarpeeseen ja täydennysojitustarpeeseen ja sitä kautta kustannuksiin.

5. Yhteenveto

Tutkimushanke ”Pellon vesitalouden optimointi” (PVO) on yhteistutkimus, johon osallistuvat Salaojituksen tutkimusyhdistys, Teknillinen korkeakoulu, Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus, Helsingin yliopisto, Suomen ympäristökeskus ja Salaojayhdistys. Hanke toteutetaan 1.1.2006–31.3.2010 ja sen rahoittavat Salaojituksen tukisäätiö, maa- ja metsätalousministeriö ja osallistuvat laitokset. Hanke on edennyt suunnitelman mukaisesti.

Hankkeen tavoitteena on kehittää menetelmiä, joilla voidaan tuottaa pellon vesitalouden optimoinnissa tarvittavaa informaatiota tilakohtaisen päätöksenteon tueksi. Tällä informaatiolla parannetaan sekä investointien kannattavuutta että pienennetään pelloilta syntyvää ravinnekuormitusta vesistöihin.

Hankkeen tavoitteet ovat selvittää erilaisilla salaojarakenteilla, ojaväleillä ja jankkuroinneilla toteutettujen salaojitusten vaikutuksia maan vesitalouteen ja sitä kautta satoon sekä menetelmien vaikutusta ravinnehuuhtoumiin. Lisäksi tavoitteena on arvioida uusien menetelmien kestoikää ja taloudellisuutta sekä tehdä yhteenveto aiemmin tehdyistä salaojatutkimuksista.

Tiheää ojaväliä ja ohuen suojakankaan käyttöä tutkitaan Jokioisten Nummelan koekentällä, MTT:n Sotkamon koekentällä ja tilakohtaisilla seurantakohteilla (VNA-kohteet). Nummelan koekentällä on mitattu yhden vuoden kalibrointijakson ajan valumaveden määrää ja laatua pinta- ja salaojavesissä neljältä koealueelta. Kahdelle koealueelle tehtiin kesäkuussa 2008 täydennysojitukset kahdella menetelmällä. Kaksi aluetta jätettiin vertailualueiksi. Mittaukset Nummessa jatkuvat toistaiseksi. MTT:n Sotkamon tilalla on perustettu jankkurointikoe, jossa seurataan jankkuroinnin merkitystä maan rakenteeseen ja satoon. Tilakohtaisia seurantakohteita on kahdeksan kappaletta ja niiden pinta-ala on yhteensä 75 ha. Niillä on

salaojitettu käyttäen ohutta esipäällystettä tai muuten tavanomaisesta poikkeavaa menetelmää vuosina 2006–2008. Lohkoilla seurataan ojituksen vaikutusta maan rakenteen kehittymiseen ja kerätään viljelijöiden kokemuksia menetelmistä. Köyliön Vanhankartanon noin 10 vuotta vanhojen ojitusten toimivuus on selvitetty kaivamalla ojia auki ja tekemällä maan laatutesti koekuopista.

Ravinnehuuhtoutumia tutkitaan edellä mainitun Nummelan koekentän lisäksi Siuntiossa Gårdskulla Gårdin tilalla perustetulla koekentällä. Kirkkonummella Lill-Nägelsin tilalla seurataan hakkeen käyttöä salaojakaivannon täyttömateriaalina.

Eri menetelmien kestoikää ja taloudellisuutta selvitetään vertailemalla eri menetelmien nykyisiä kustannuksia. Hankkeessa on tehty yhteenveto aiemmin tehdyistä salaojatutkimuksista Suomessa ja muissa maissa.

Tässä vaiheessa on vielä liian vähän tuloksia, jotta tämän tutkimuksen perusteella voitaisiin tehdä johtopäätöksiä ohuen esipäällysteen ja tiheän ojavälin vaikutuksista kuivatustilaan, maan rakenteeseen, satotasoon tai ravinnehuuhtoumiin. Tulokset Köyliön Vanhankartanon peltojen ojituksista viittaavat kuitenkin siihen, että hietamailla saattaa olla vaarana esipäällysteen lahoaminen ja maan saostuminen salaojaputkiin. Lisää tietoa asiasta saadaan jatkuvasti edellä mainituista kokeista, joiden seuranta jatkuu tämän hankkeen puitteissa vuoden 2009 loppuun asti. Hankkeen loppuraportti ilmestyy maaliskuun 2010 loppuun mennessä.

Kirjallisuus

Aarrevaara H. 1993. Suomen salaojituksen historia 276 s.

Alakukku, L., Elonen, P. 1994. Finnish experiments on subsoil compaction by vehicles with high axle load. Soil & Tillage Research 29, 2-3: 151-155.

Berglund G., Håkansson A. och Eriksson J. 1978. Om dikningsintensiteten vid dränering av åkerjord. Resultat av fältförsök med olika dikesavstånd. Institutionen för markvetenskap. Rapport 108, 1978.

E., Adeuya, R., N. Utt, N, Bowling L. ja B. Carter, 2008. Determining the Hydrologic Impacts of Drainage Water Management in Indiana, USA. Proceeding of the 10th International. Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 134-141. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www.fincid.fi)

Hallakorpi, I. A. 1917. Maan kuivatus. Porvoo. 232 s.

Hooli, J. 1979. Salaojaputkien vedenotto- ja vedenjohtokyky suoritettujen laboratoriotutkimusten valossa. Vesitalous 20, 1979, 1: 3-11.

Håkansson A. 1960a. Studier av dikesdjupets inverkan på grundvattenstånd, skördeavkastning, markens upptorkning och bärkraft. Hallgren Gunnar (red.), Grundförbättring, Tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättringar, Nr 4–1960–årg. 13.

Håkansson A. 1960b. Dräneringsförsök med olika dikesavstånd. Grundförbättring, Tidskrift för jordbrukets rationalisering genom grundförbättringar, Red. Gunnar Hallgren, Specialnr 4–1960–årg. 14.

Jaakkola, A. 1979. Ravinteiden huuhtoutumistutkimus käynnistynyt. Koetoiminta ja käytäntö 36, 24.4.1979: p. 15,16.

Juusela, T. 1953. Salaojituskoetoiminnasta Suomessa. Eripainos. Maataloustieteellinen aikakauskirja 25, 1953. 23 s.

Kaboosi K., Liaghar A. ja H. Rahimi, 2008. The feasibility of rice husk application as envelope materials in subsurface drainage systems. Proceeding of the 10th International. Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 134–141. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi)

Kankare, E. 1956. Jokioisten koekenttien pohjavesihavainnot vuosilta 1928–1941. Diplomityö. teknillinen korkeakoulu. Rakennusinsinööriosasto.

Keso, L. 1930. Kulttuuriteknillisiä maaperätutkimuksia erikoisesti.

Kivisaari, S. 1984. Salaojatutkimuksen järjestäminen Suomessa. Moniste. Maatalouden tutkimuskeskus. Maanviljelyskemian ja -fysiikan osasto. 46 s.

Kladivko E. J., Frankenberger J. R., 2008 Nitrate-N Loads to Subsurface Drains as affected by Drainage Intensity and Agronomic Management Practices. Proceeding of the 10th International. Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 134-141. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi).

Koskiaho, J., Kivisaari, S., Vermeulen, S., Kauppila, R., Kallio, K. & Puustinen, M. 2002. Reduced tillage: Influence on erosion and nutrient losses in a clayey field in southern Finland. Agricult. Food Sci. Finland 11, 37-50.

Kotiaho, A. 1953. Suomaan salaojituksesta ja vertailua salaojituksen ja avo-ojituksen kesken. Koetoiminta ja käytäntö 10, 1953, 2:2.

Laurinen, V. 1958. Maan kosteudesta ja lämpötilasta viljelyskasvien satoihin vaikuttavina tekijöinä, erityisesti Maatalouden tutkimuskeskuksen koekentällä Tikkurilassa kasvukautena 1956. Laudaturtyö. Helsingin yliopisto. 114 s.

Lemola, R., Turtola, E., Eriksson, C. 2000. Undersowing Italian ryegrass diminishes nitrogen leaching from spring barley. Agricultural and Food Science in Finland 9, 3: 201-216.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2002. Salaojituksen tavoiteohjelma 2020. Työryhmän raportti 2002:9.

Maa- ja metstätalousministeriö. 2006. Valtion varoin tuettavan salaojituksen ehdot. Työryhmämuistio 2006:3.

Madramootoo A. C. ja G.T. Dodds, 2008. Redusing Nutrient loads in Agricultural Land Drainage Systems. Proceeding of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 79-97. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi)

Melanen, M., Jaakkola, A., Melkas, M., Ahtiainen, M. & Matinvesi. J. 1985. Leaching resulting from land application of sewage sludge and slurry. National Board of waters. Publ. Water Res. Inst. 61. 124 pp. Vesihallitus. Helsinki 1985.

Melkas, M., Melanen, M., Jaakkola, A., Ahtiainen, M. & Matinvesi, J. 1985. Leaching resulting from land application of sewage sludge and slurry. Aqua Fennica 15,1. 1985.

Melkas, M., Melanen, M., Jaakkola, A., Ahtiainen, M. & Matinvesi, J. 1985. Pellolle levitetystä jätevesilietteestä aiheutuva huuhtoutuminen. Ympäristö ja Terveys 1985. 1:14-16.

Messing I. & Wesström I. 2006. Efficiency of old tile drain systems in soils with high clay content: differences in the trench backfill zone versus the zone midway between trenches. Irrigation and Drainage, Volume 55, num. 5, 523–531.

MMM 1992. Maatalous ja vesien tila. Luonnonvarajulkaisuja 15. Luonnonvarainneuvosto. Maa- ja metsätalousministeriö. Helsinki 1992.

Niinivaara, K. 1945. Kestävyyskokeita jäädytetyillä ja roudan vaikutuksen alaisina olleilla salaojaputkilla. Maanviljelysinsinööriyhdistyksen vuosikirja 1944–45: 74–92.

Puustinen, M. & Pehkonen , A. 1986. Salaojien toimintahäiriöt. Helsingin yliopisto, Maatalousteknologian laitos. Tutkimustiedote 48. Helsinki 1986.

Puustinen, M. 1999. Viljelymenetelmien vaikutus pintaeroosioon ja ravinteiden huuhtoutumiseen . Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 285.

Puustinen, M., Koskiaho, J. and Peltonen, K. 2005. Influence of cultivation methods on suspended solids and phosphorus concentrations in surface runoff on clayey sloped fields in boral climate. Agriculture, Environment & Ecosystems 105:565–579.

Puustinen, M., Merilä, E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuivatustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Vesi ja ympäristöhallinnon julkaisuja -sarja A 198. Vesi- ja ympäristöhallitus. Helsinki 1994.

Puustinen, M., Tattari, S., Koskiaho, J. & Linjama, J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. Soil & Tillage Research 93 (2007) 44–55.

Puustinen. M., Varis, R. & Luoma. T. 1987. Salaojien toimintahäiriöiden korjaus savi- ja turvemailla. Helsingin yliopisto, maatalousteknologian laitos. Tutkimustiedote 51. Helsinki 1987.

Pälikkö, E. A. 1961. Salaojaetäisyyden vaikutuksesta kuivatustehoon rinnemaalla. Koetoiminta ja Käytäntö 15, 1958, 10:1,24.

Pälikkö, E. A. 1962a. Salaojitustoiminnan tavoitteista ja tuloksista. Koneviesti 10, 1962, 4: 10–11.

Pälikkö, E. A. 1962b. Havaintoja pohjaveden korkeusvaihteluista Jokioisten rinneojituskoealueella v. 1962. Koetoiminta ja käytäntö 19, 1962, 11:38–40.

Pälikkö, E. A. 1962c. Muovisten salaojaputkien siivilä- ja saumarakojen veden läpäisykyvystä. Koetoiminta ja Käytäntö 19, 1962, 1: 1–4.

Pälikkö, E. A. 1967. Salaojituksen ja salaojitustyön tutkimuksesta ja kehittämismahdollisuuksista. Tiili 1967, 2: 22–24.

Ritzema H.P. (ed.) 2006. Drainage Principles and Applications. ILRI Pubication 16 1125 s.

Salaojayhdistyksen toimintakertomukset vuosilta 1925–56.

Salaojituksen perinneyhdistys 2002. Salaojitus Suomessa 1950–2000 127 s.

Salaojituksen tukisäätiö 2004. Työtä, tietoa ja tutkimusta 135 s.

Salaojituksen tutkimusyhdistys 2000. Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä. Loppuraportti, tiedote N:o 21 104 s.

Sands G. R., Song I., Busman L. M., ja B. Hansen, 2008. Drainage Design to Achieve Both Agronomic and Environmental Objectives. Proceeding of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 98-109. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi)

Schrader C., Sands, G., Dittrich M. ja Busman L., 2008. Minnesotas Conservation Drainage Demonstration Project. Proceeding of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 195-208. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi)

Seuna P. & Kauppi, L. 1981. Influence of sub-drainage on water quality in a cultivated area in Finland. Publication of the water research institute 43:32-47. Helsinki 1981

Simola, E. F. 1936. Peltoviljelykiertokokeiden tuloksista maatalouskoelaitoksen kasvinviljelyosastolla 1914–1926. Valtion maataloustoimikunnan julkaisuja 78. 64 s.

Skaggs W. R. ja M. A. Youssef. 2008. Effect of Controlled Drainage on Water and Nitrogen Balances in Drained Lands. Proceeding of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 195-208. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi)

Smedema L.K., Vlotman W.F. ja Rycroft D.W. 2004.Modern Land Drainage 445 s.

Suortti-Suominen, T. 1984. Selvitys vanhoista salaojituskentistä. Julkaisematonta materiaalia. Salaojakeskus.

Tahvanainen, S. 1978 Salaojituskokemuksia. Pellervo 79, 1978, 3:52-53.

Tolvanen, M. & Torvela, M. 1981. Salaojituksen kustannukset ja kannattavuus. Maatalouden taloudellisen tutkimuslaitoksen tiedonantoja 81. Helsinki 1981.

Turtola, E., Jaakkola, A. 1985. Viljelykasvin ja lannoitustason vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen savimaasta. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 6/85: 43 p.

Warsta L., Paasonen- Kivekäs M. ja Karvonen T. 2008. Modelling Runoff at an Agricultural Field. Drainage Systems. Proceeding of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage 79-97. (Julkaisu ja siihen liittyvä PP-esitys löytyvät osoitteesta: www. fincid.fi)

Vesitalouden Seminaari 1978-1979. Salaojitus maankäytön teknisenä perusedellytyksenä. Teknillinen korkeakoulu. Vesitekniikan laitos, julkaisu 15. Otaniemi 1979.

Wesström I. 2002. Controlled Drainage. Effects on subsurface runoff and nitrogen flows. Doctoral thesis. Swedish University of Agricultural Sciences.

Wesström I. Bölenius E., Joel E. 2008. Long-term effects of tile drainage on soil physical properties and crop yields. proceedins of the 10th International Drainage Workshop of ICID Working Group of Drainage. Teknillisen korkeakoulun vesitalouden ja vesirakennuksen julkaisuja 16.

Virkajärvi & Uusi-Kämppä (toim.) 2006. Laitumien ja suojavyöhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76. MTT, s. 101-137.

Virtanen S., Saavalainen J., Marttunen M. 1988. Salaojatutkimus Suomessa. Kirjallisuusselvitys. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry.

Vlotman W.F., Willardson S.W, ja Dierickx W, 2003. Envelope design for subsurface drains. ILRI publication 56, 358 s.

Liitteet

1. Salaojitukseen liittyvät koekentät Suomessa.
2a. Nummela. Koekentän kartta, kalibrointijakso.
2b. Nummela. Kalibrointijakson pohjavesi- ja näytteenottopisteiden paikat.
3. Nummela. Summakäyrät sadanta ja valunta, kalibrointijakso.
4. Nummela. Summakäyrät sadanta ja salaojavalunta, kalibrointijakso.
5. Nummela. Summakäyrät sadanta ja pintavalunta, kalibrointijakso.
6. Nummela. Salaojat, kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuuden ajallinen vaihtelu.
7. Nummela. Salaojat, ammonium- ja nitraattityppipitoisuuden ajallinen vaihtelu.
8. Nummela. Salaojat, kiintoaineen ja liukoisen fosforin ajallinen vaihtelu.
9. Nummela. Pintavalunta, kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuuden ajallinen vaihtelu.
10. Nummela. Pintavalunta, ammonium- ja nitraattityppipitoisuuden ajallinen vaihtelu.
11. Nummela. Pintavalunta, kiintoaineen ja liukoisen fosforin ajallinen vaihtelu.
12. Nummela. Sadesummat näytteenottoväleillä.
13. Nummela. Pohjavedenpinnan korkeudet, automaattimittaukset, pisteet A3 ja C3.
14. Gårdskullan koekentän kartta.
15. Gårdskulla. Alue 1, summakäyrät sadanta ja pintavalunta.
16. Gårdskulla. Alue 2, summakäyrät sadanta sekä salaoja- ja pintavalunta.
17. Gårdskulla. Salaojat, kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforipitoisuuden sekä kiintoaineen ajallinen vaihtelu.
18. Gårdskulla. Salaojat, kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuuden sekä nitraatti+nitriittipitoisuuden ajallinen vaihtelu.
19. Gårdskulla. Pintavalunta, kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforipitoisuuden sekä kiintoaineen ajallinen vaihtelu.
20. Gårdskulla. Pintavalunta, kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuuden sekä nitraatti+nitriittipitoisuuden ajallinen vaihtelu.
21. Gårdskulla. Pinnankorkeudet pohjavesiputkissa.
22. Gårdskulla. Vedenlaatu Kirkkojoen mittauspisteissä.
23. Taulukko VNA-kohteista.
24. VTT:n tekemä esipäällystetestin tulokset.
25. Lill-Nägels, Kartta.
26. Lill-Nägels, Virtaama ja vedenlaatu.
27. Köyliö, Yleiskartta ja karttaleikkaukset.

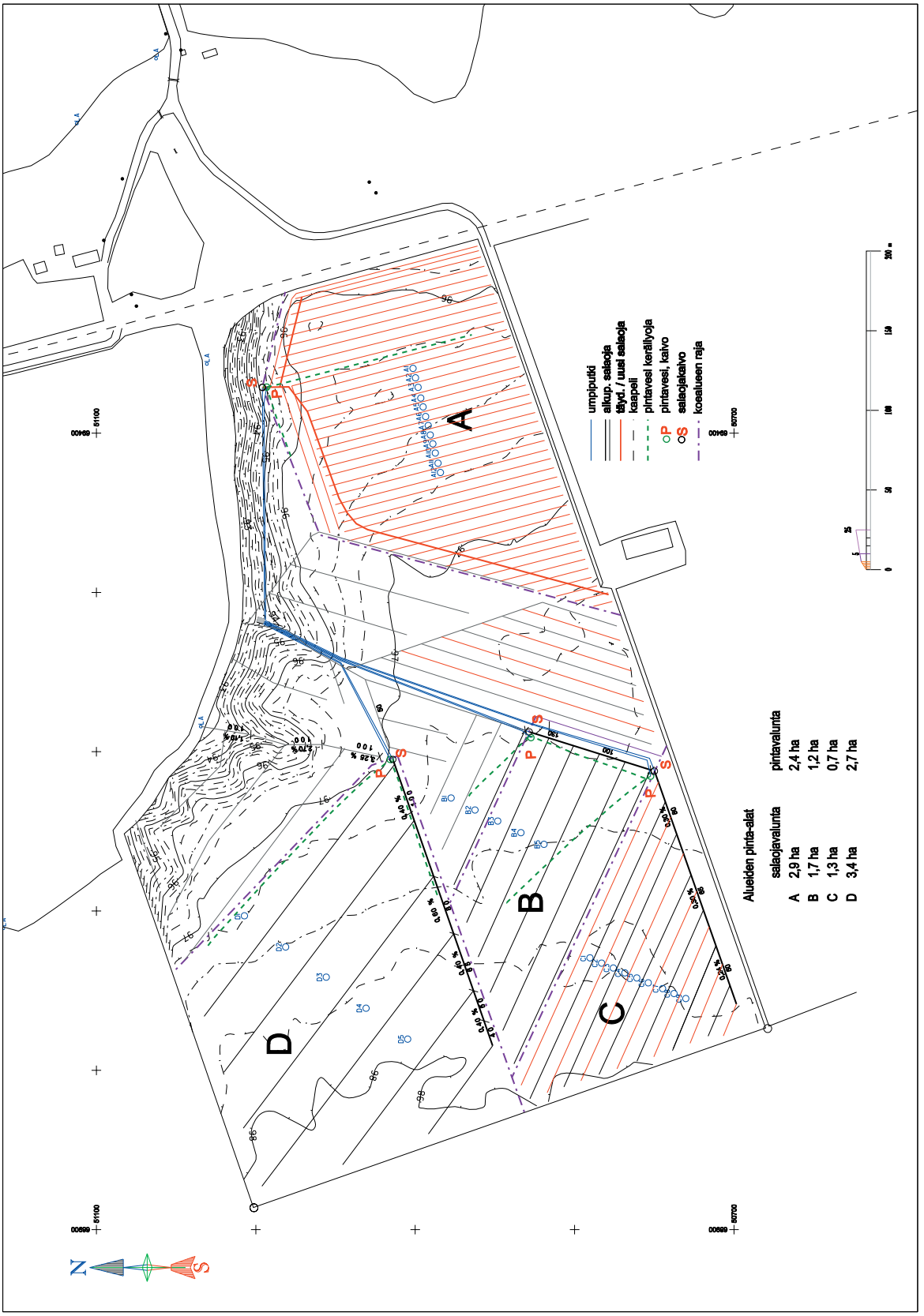
Liite 1. Salaojitukseen liittyvät koekentät Suomessa.

Perust.	Lopetettu	Sijainti	Laitos	Tukija(t)	Maalaji	Tutkimusaihe	Kalt. %	Pinta-ala ha	Kentän pituus (m)	Kentän leveys	Koe-ruutuja kpl	Valuntamittaukset		
												salaoja	pinta	pohja-vesi
1908	1926	Tikkurila, Åsnäs	MVTK		hiesusavi	OE								
1925	1949	Jokioinen, kartanot	SK		aitosavi	OE,VAS,YA,VA								
1925	1940	Porvoo, Kiiala	SK		urpasavi	OE,VAS,VA								
1926	1939	Kangasala,Vääksy	SK		hiesusavi	OE,VAS,VA								
1926	1944	Kauhava, Jokiniemi	SK		urpahiesu	OE,VAS,VA								
1927	1939	Köyliö, Kepola			hiekka, hieta	OE,VAS,VA								
1930	1956	Revonlahti, Ruukki	SK		mutasuo	OE,VAS								
1931	1944	Tammela, Mustiala	SK		rahkaturve	OE,VAS								
1931		Tohmajärvi	SSV		korpisuo	OE,VAS								
1938	1970-luku	Vihti, Maasoja			turve, savi	vesitalous								
1939	1942	Hki pit., Backas			aitosavi	routa, kosteus, lämpötila								
1940	1943	Vihti, Maasoja	MAT		hiesusavi	P								
1947		Jokioinen, Kotkanoja	MAT		Aitosavi	OE,OS								
1947		Jokioinen, Lammintie	MAT		Aitosavi	OE, OS								
1949	1950	Utajärvi	HY		rahkaturve	R								
1950		Kolari, Teuravuoma	SK		turve	OE								
1950		Rovaniemi, Apukka	SK		turve	OE								
1951		Muhos, Koivikko	MAT		hiesuhieta	OE, OS								
1951		Tikkurila/Rekola	MAT		savi	OE, OS								
1952		Mouhijärvi, LK	LK		savi	OE, OS								
1953		Jokioinen, Lintupaju, I	MAT		hiesusavi	ojaetäisyys								
1953	1970	Vihti, Hovi				kalibrointi								
1957	1962	Tikkurila	MTTK		savi	tiivistyminen								
1958		Pelso, Hallakoeasema	SSV		saraturve	OE, OT								
1964		Jokiniemi, Ruotsinpyhtää	AHL			YA								
1965		Askola, Lappeenranta	PAR			YA								
1967	1974	Laukaa	MTTK	Larpes	hiesu	syväkyntö								
1970	1979	Tikkurila	MTTK	Larpes	hiesu-hietasavi	kylvöaika								
1972		Vihti, Hovi	SYKE		Hiesusavi		2,8	12				+	+	
1973	1975	Pakankylä, Espoo			hiesusavi	tiivistyminen								
1975	meneillään	Jokioinen, Kotkanoja I	MTT	Turtola	Aitosavi	OT, viljelytoimet, huuhtoumia	2	2	150	140	16	+	+	
1975	loppunut	Pakankylä, Anjala	MTTK	Elonen		tiivistyminen								
1975	loppunut	Mietoinen, Lounais-Suomi	MTTK	Elonen		tiivistyminen								
1975	loppunut	Laukaa, Keski-Suomi	MTTK	Elonen		tiivistyminen								
1975	loppunut	Anjala, Kymenlaakso	MTTK	Elonen		tiivistyminen								
1975	loppunut	Pakankylä, Espoo	MTTK	Elonen		tiivistyminen								
1976		Muhos, Koivikkko	SK		karkeahieta	VS								
1978	loppunut	Liperi	PKA	Puustinen, Niinioja	Aitosavi	viljelytoimet	0,5-1	0,86			16	+	+	
1978	loppunut	Maaninka, huuhtoutumiskenttä	PSA		KHt/HHt	huuhtouma	0,6	0,7	100	70	15	+		+
1979	meneillään	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Elonen, Pitkänen, Alakukku	HeS	auraton viljely	tasainen	0,3	68	48	48			
1979	2005	Mietoinen, Lounais-Suomi	MTTK	Köylijärvi, Alakukku	Aitosavi	auraton viljely	tasainen	0,3	68	48	48			
1979	1990-luku	Pälkäne	MTTK	Vuorinen	Karkea hieta	auraton viljely	tasainen	0,3	68	48	48			
1979	1990-luku	Anjalankoski	MTTK	Virri	HsSa	auraton viljely	tasainen	0,3	68	48	48			
1979	1990-luku	Kokemäki	MTTK	Talvitie	sHe/HeS	auraton viljely	tasainen	0,3	68	48	48			
1979	1990-luku	Mouhijärvi	MTTK	Kangasmäki	sHe/HeS	auraton viljely	tasainen	0,3	68	48	48			
1980	1984	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Esala	aitosavi	kylvöaika	tasainen	0,24			80			
1981	meneillään	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Elonen, Alakukku	AS, Hs	suurten akselipainojen koe	tasainen	0,6	80	81	72			
1982		Loppi	PALO		hieta	YA								
1982	2007	Tohmajärvi	MTTK	Turtola, Kemppainen, Partala	saraturve	huuhtouma	tasainen	1,5	120	120	16	+	+	
1983	meneillään	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Alakukku	savi	oljenpolttokoe, kevennetty muokkaus	tasainen	0,2	41	48	24			
1983	loppunut	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Aura	savi	rakennekoe II	tasainen	0,2	36	50	16			
1984	loppunut	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Aura	savi	suorakylvö	tasainen	0,2	38	48	12			
1984		Jalasjärvi, Soini	SK		turve	VT								
1984	1987	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Aura	savi	penkkiviljely	tasainen	0,4	20	22	8			
1984	loppunut	Jokioinen, Korpela, Murronkulma	MTTK	Aura	aitosavi	PM	tasainen	1,6	230	70	4			+
1984	loppunutnut	Jokioinen, Korpela, Murronkulma	MTTK	Aura	aitosavi	SR, KL	tasainen	9,5	130	520	9			+
1984		Liminka, Ruhko-oja	mm. OY,VYH		sulfaattimaa	OE								
1984		Loppi	HY		turve	TO								+

Perust.	Lopetettu	Sijainti	Laitos	Tukija(t)	Maalaji	Tutkimusaihe	Kalt. %	Pinta-ala ha	Kentän pituus (m)	Kentän leveys	Koe-ruutuja kpl	Valuntamittaukset		
												salaoja	pinta	pohja-vesi
1984		Mietoinen	MTTK		aitosavi	SR								
1984		Nurmijärvi, Houni	SK		hietasavi	VA								
1984		Outokumpu	HY		siltti, turve	TO								
1984		Tupos	PPO		sulfaattimaa		tasainen	2			5 oj.	+	+	
1984		Urjala	HY		savi	SU,TO, SR								
1984		Viikki	HY		savi	SR								
1985	loppunut	Jokioinen, Korpela, Murronkulma	MTTK	Aura	aitosavi	PM	tasainen	5,4	320	180	6			+
1985	loppunut	Jokioinen, Ojainen	MTTK	Aura	savi	VT	tasainen	13						
1985	loppunut	Jokioinen, Kuuma	MTTK	Aura	AS/LjS	VT	tasainen	8,8			6			
1986	loppunut	Jokioinen, Pellilä	MTTK	Aura,Alakukku	savi	SR	tasainen	11,4	500	220	12			+
1986	loppunut	Jokioinen, Pellilä	MTTK	Aura,Alakukku	savi	OE	tasainen	10,1	580	170	8			+
1986		Loimaa, Perho	SK		aitosavi	SU								
1986	meneillään	Maaninka, lysimetrikenttä	PSA->MTT	Virkajärvi, Saarijärvi	hieta	huuhtoutuma		0,6	0,7	100	70	12/15	+	+
1986		Turenki, Jaakonsaari	SK		hiesusavi	SU								
1986		Vihti, Lintula	Kemira	Kauppila	HeSa	viljelytoimet		3,7-5,7	3,2			2	+	+
1986		Nurmijärvi		Virtanen S.										
1987	loppunut	Jokioinen, Ilmala	MTTK	Aura	savi	OT	tasainen	1,8	260	70	6			
1987	loppunut	Jokioinen, Nummela	MTTK	Aura	savi	VT	tasainen	9	320	280	6			
1987	loppunut	Koijärvi, Heikkilä	MTTK	Aura	savi	OT	tasainen	9,4	420	220	6			+
1987	1990	Ruukki	MTTK	Myllys	Mm	syväkyntö	tasainen	0,36	120	30	8			
1987	1990	Ruukki	MTTK	Myllys	Mm	pinnanmuotoilu	tasainen	0,9	75	120	4			
1988	1992	Ruukki	MTTK	Myllys	Mm	OT, SU	tasainen	1,9	120	160	12			+
1988	2002	Aurajoki	SYKE/LOS	Puustinen	heSa/As	eroosio, P, N, viljelytoimet		7-8	1,05	51	12	12	-	+
1989	meneillään	Toholampi	MTT	Turtola, Lemola	Ht/Hs	viljelytoimet		1-2	1,56	100	256	16	+	+
1989	meneillään	Jokioinen,Yöni	MTT	Turtola, Lemola	savi	VA	tasainen	10,3			14	+		
1989	1992	Koijärvi, Mäkelä	MTT	Myllys	saraturve	PM	tasainen	3,3	250	130	4			+
1989	1991	Jämsänkoski, Seppänen	MTT	Myllys	saraturve	OT	tasainen	4,4	340	130	6			
1989	1991	Koijärvi, Mikkola	MTT	Myllys	saraturve	OT	tasainen	1,2	240	50	6			
1989	meneillään	Koijärvi, Mikkola	MTT	Myllys	saraturve	OT	tasainen	1,5	150	100	6			+
1989	meneillään	Rovaniemi, Apukka	MTT	Myllys	saraturve	OT	tasainen	5,5	max 240	260	9			+
1989	meneillään	Rovaniemi, Apukka	MTT	Myllys	saraturve	VAS, pinnanmuotoilu	tasainen	7,5	300	250	7			+
1989	meneillään	Maaninka, Meriranta	MTT	Myllys	saraturve	OT, SU	tasainen	4,8	300	160	12			+
1990	meneillään	Jokioinen, Lintupaju 2	MTT	Uusi-Kämppä	HsSa/As	suojavyöhyke		12-18	0,75	70	108	6	-	+
1991	2004	Jokioinen, Kotkanoja II	MTT	Uusi-Kämppä	Aitosavi	suojavyöhyke		2-3	0,34	70	48	8	-	+
1992		Jokioinen, Ojainen	MTT		HtSa/As			13-18	0,24			12	-	+
1992		Kirkkonummi, Sjökulla	TKK	Paasonen-Kivekäs	HtSa/HsSa	ojitus		3,5-5	4				+	+
1993		Lapua	TKK	Paasonen-Kivekäs	HHt//Hs	ojitus		I	3,06					+
1994		Tyrnävä	TKK	Paasonen-Kivekäs	Hieta	ojitus		0,5	8			3oj.		+
1998	2003/4	Jokioinen, Lintupaju	MTT	Pitkänen, Salo	savi	VA						I	+	+
2001	2003	Tyrnävä	MTT	Linna, Myllys, Virtanen	Karkea hieta	salaojakastelu	tasainen	10			5			
2001	2003	Pyhäjoki	MTT	Linna, Myllys, Virtanen	Karkea hieta	salaojakastelu	tasainen				3			
2002	2004	Jokioinen, Lintupaju	MTT	Alakukku	Savi	MaSa			2-3			I		
2006	meneillään	Siuntio, Gårdskullan koekenttä	SY	PVO	Savi	Huuhtouma		I ja 5	10,4			2	+	+
2006	meneillään	Jokioinen , Nummela	MTT, SY	PVO	Aitosavi	TO,VA, ojitusmenetelmä			14,5			4	+	+
2007	meneillään	Sotkamo	MTT	PVO	Hs	jankkurointi	tasainen		1,65	86	192	12		+

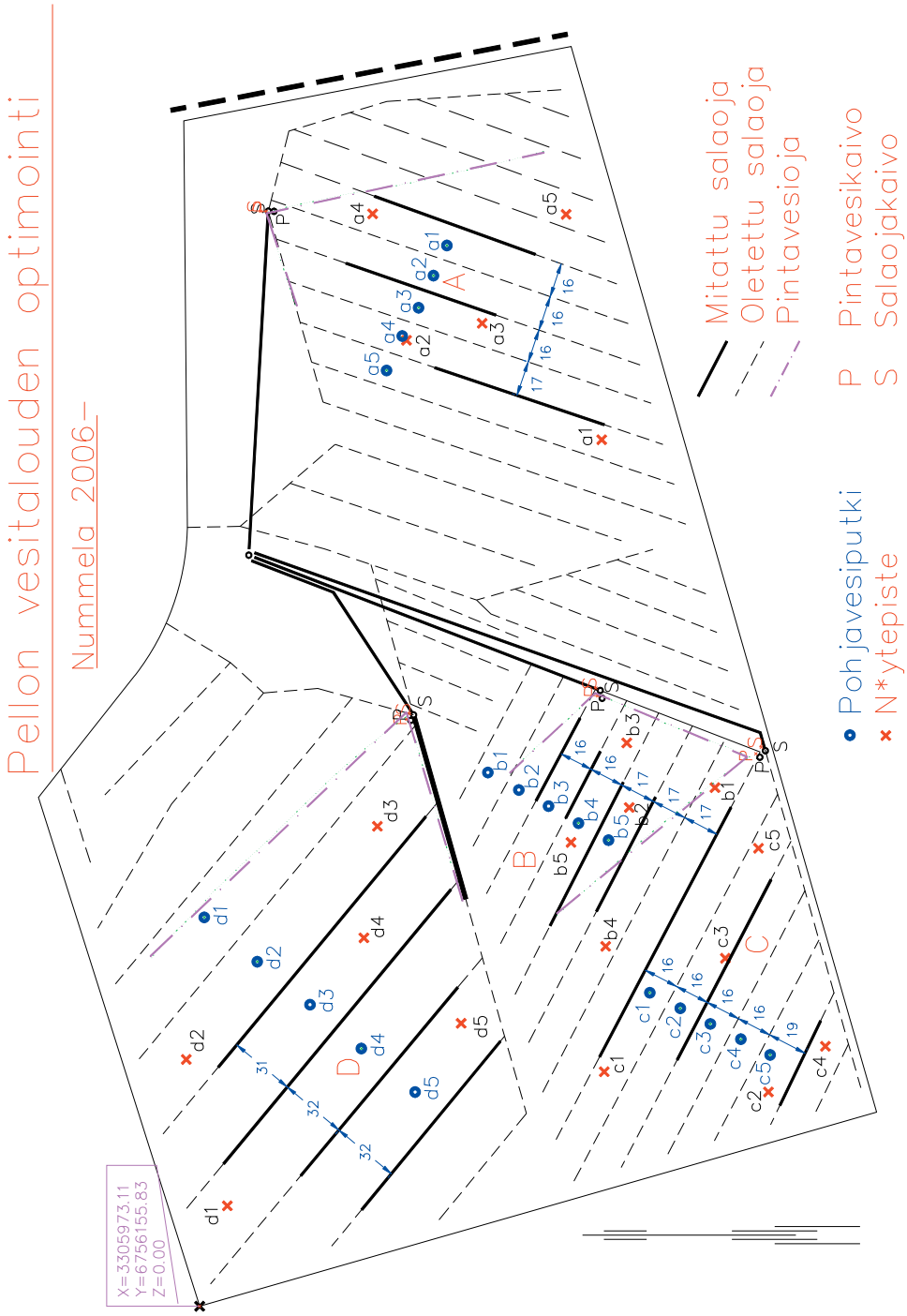
AHL	A.Ahlström Oy
LK	laidunkoeasema
MAT	maataloushallitus
MTTK	Maatalouden tutkimuskeskus
MVTK	Maanviljelystaloudellinen koelaitos
OY	Oulun yliopisto
PALO	Paloheimo Oy
PAR	Paraisten Kalkkivuori Oy
SK	Suomen salaojitusyhdistys/Salaojakeskus
SY	Salaojayhdistys
SSV	Suonviljelysyhdistys
VYH	vesihallitus/vesi- ja ympäristöhallitus
MTT	Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus
PKA	Pohjois-Karjalan ympäristökeskus
PPO	Pohjois-Pohjanmaan ympäristökeskus
PSA	Pohjois-Savon ympäristökeskus
SYKE	Suomen ympäristökeskus
TKK	Teknillinen korkeakoulu

Liite 2a. Nummela. Koekentän kartta.

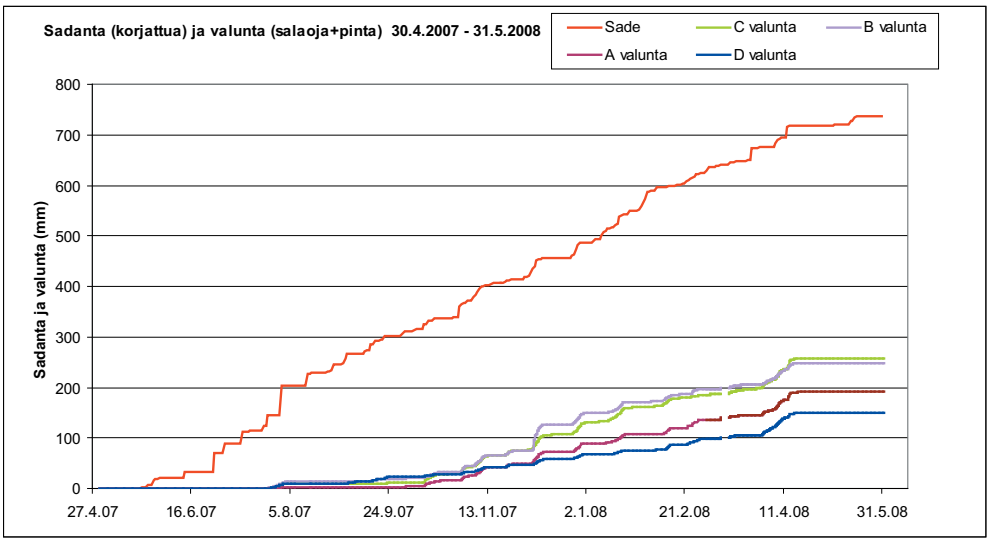


Liite 2b.

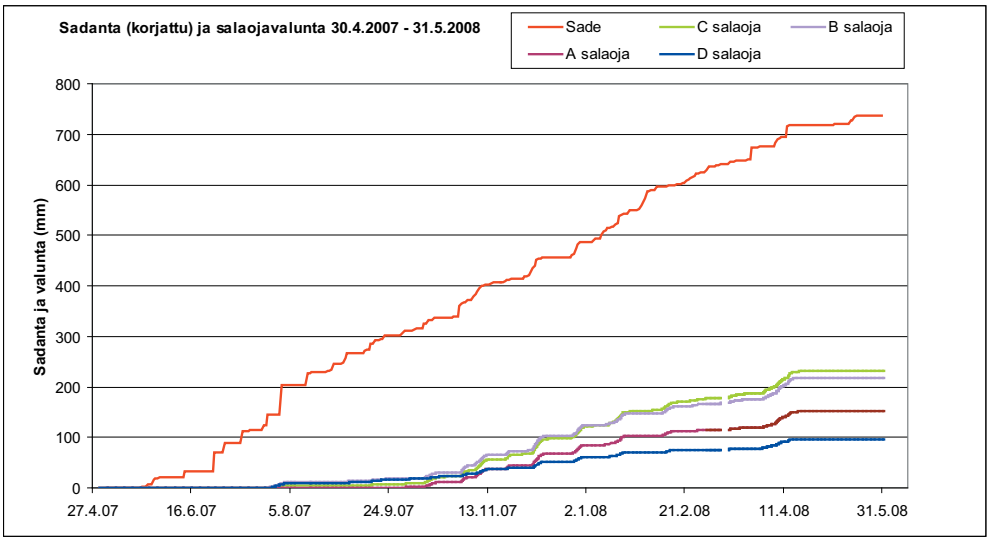
Nummela. Kalibrointijakson pohjavesi- ja näytteenottopisteiden paikat.



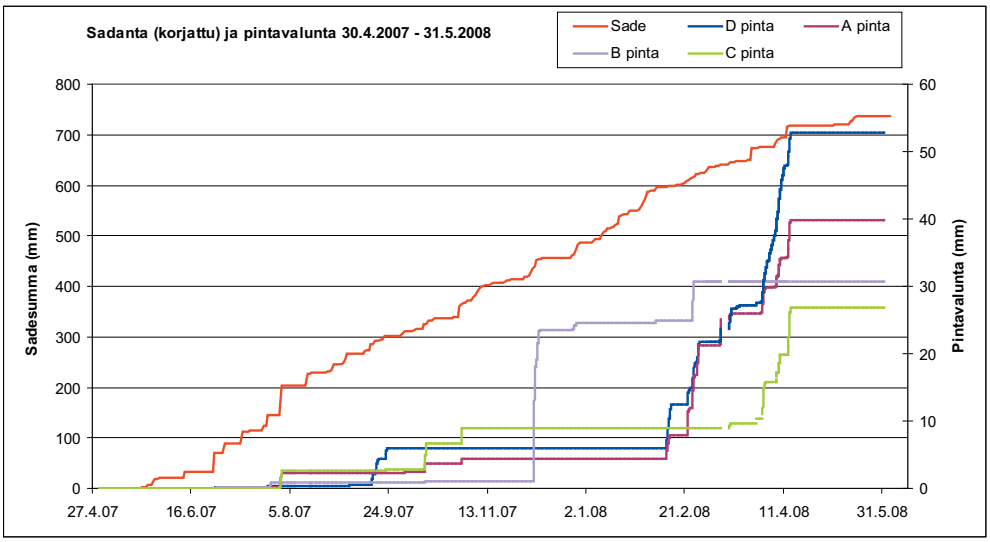
Liite 3. Nummela. Summakäyrät sadanta ja valunta, kalibrointijakso.



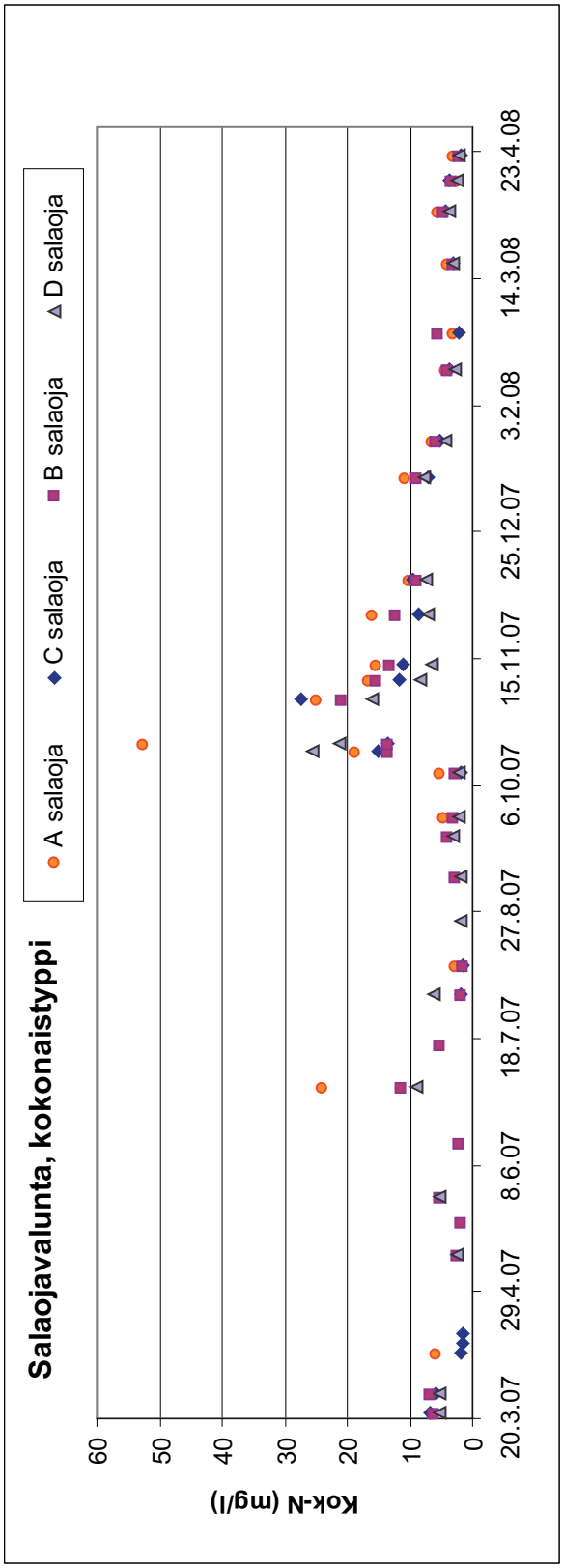
Liite 4. Nummela. Summakäyrät sadanta ja salaojavalunta, kalibrointijakso.

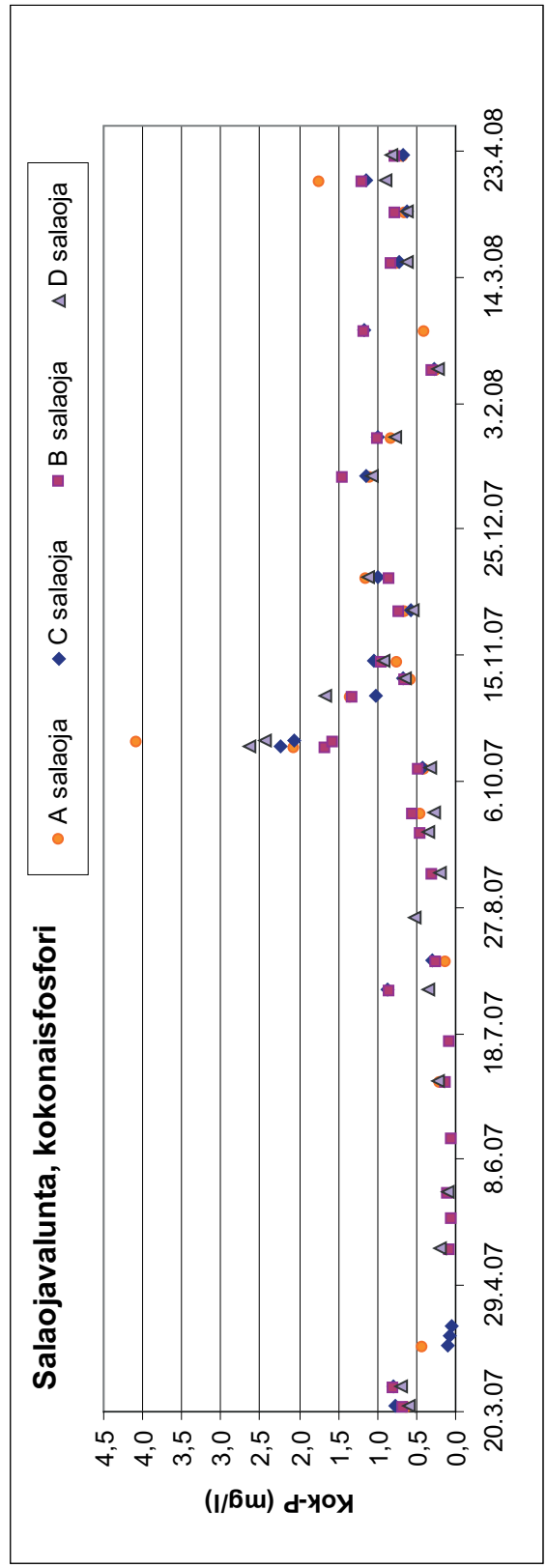


Liite 5. Nummela. Summakäyrät sadanta ja pintavalunta, kalibrointijakso.

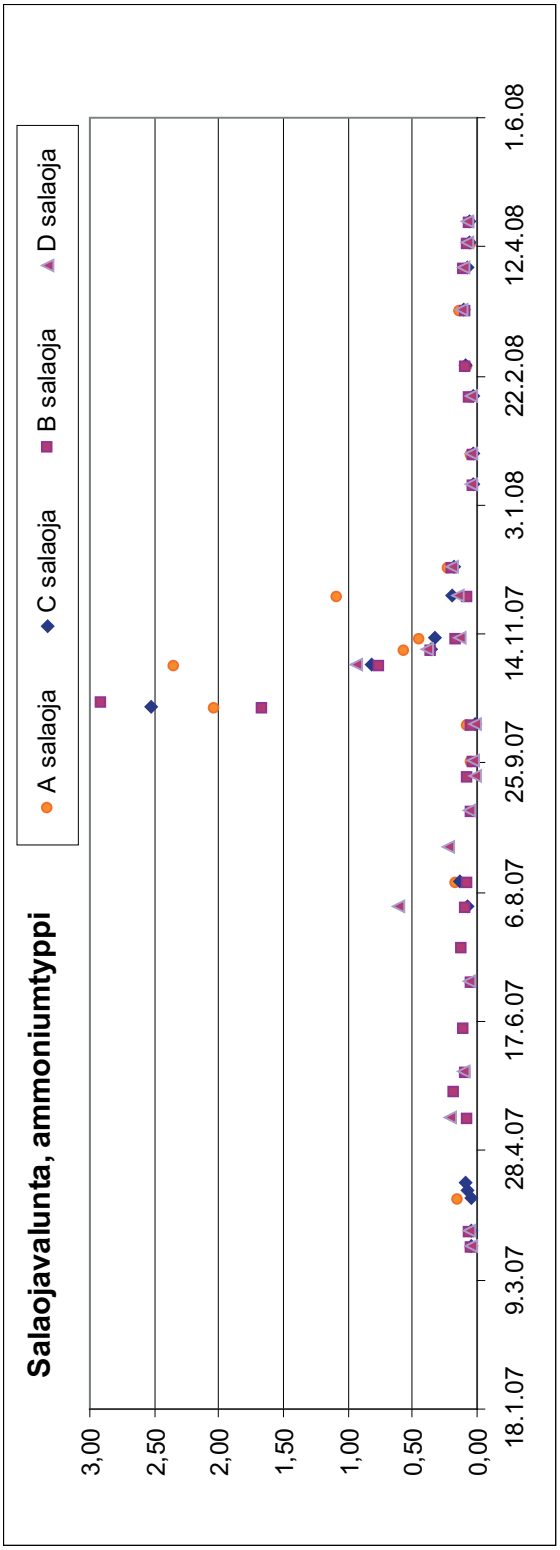


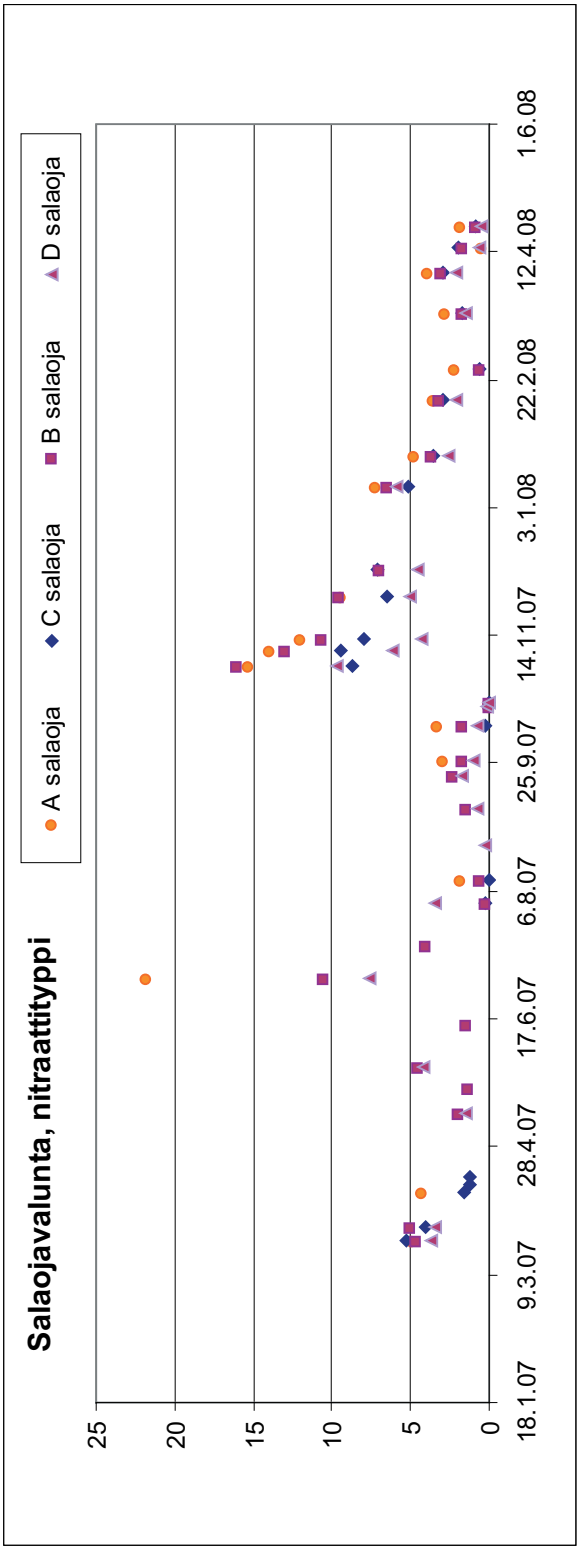
Liite 6.
Nummela. Salaojat, kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuuden ajallinen vaihtelu.



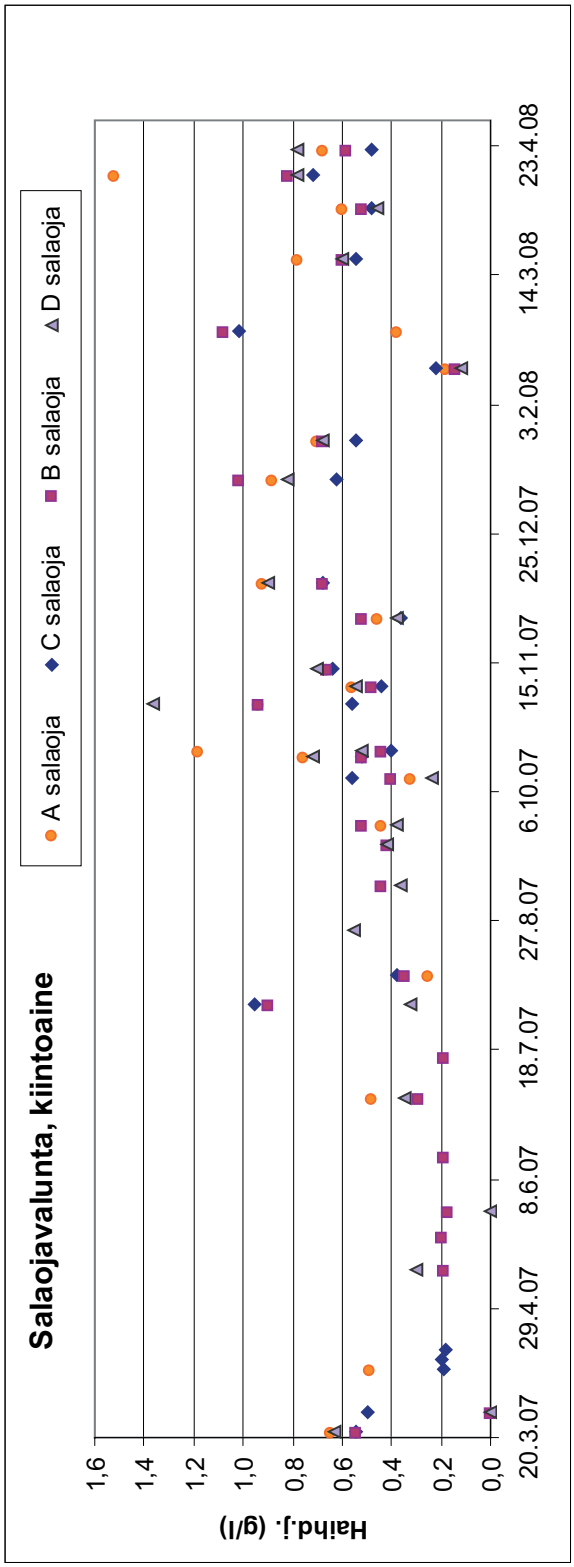


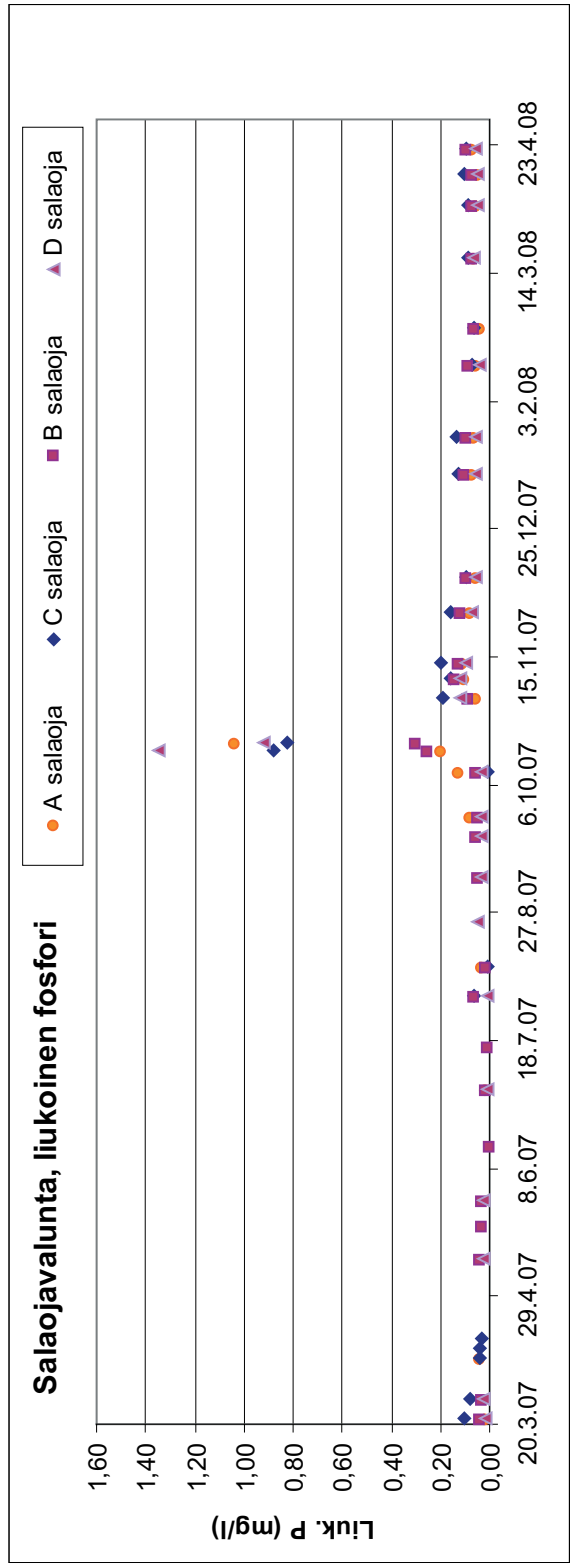
Liite 7. Nummela.
Salaojat, ammonium- ja nitraattityppipitoisuuden ajallinen vaihtelu.



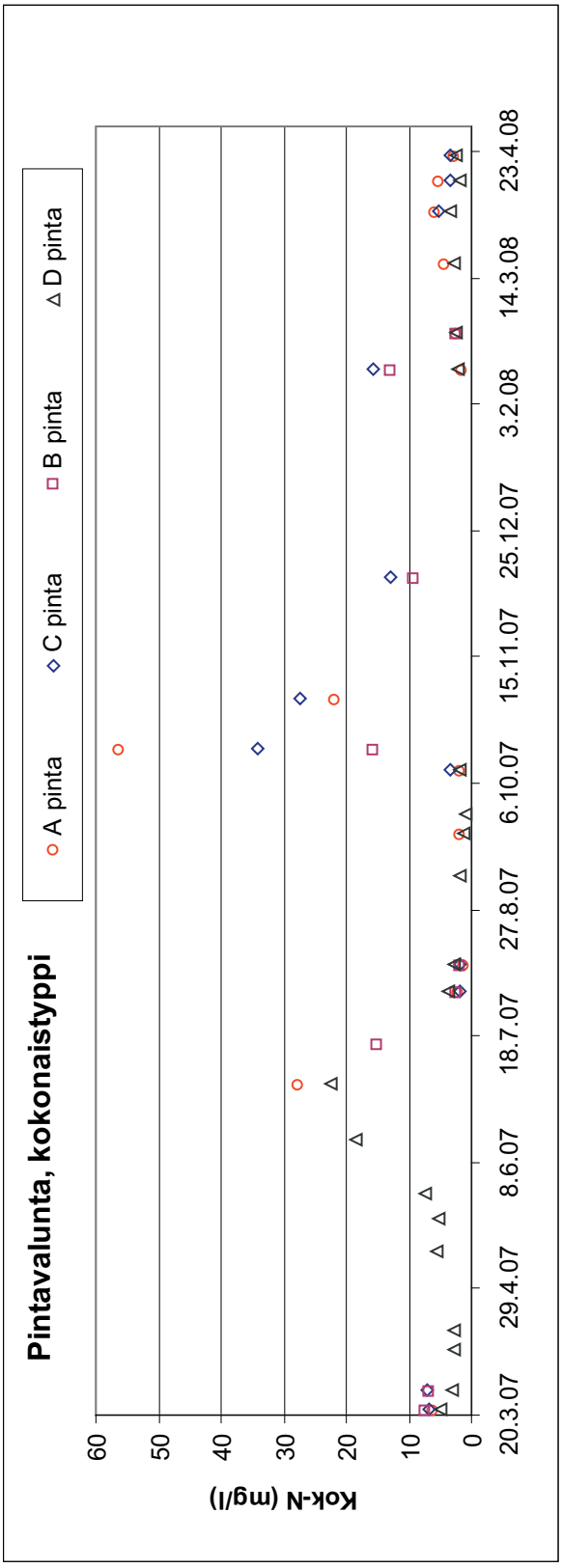


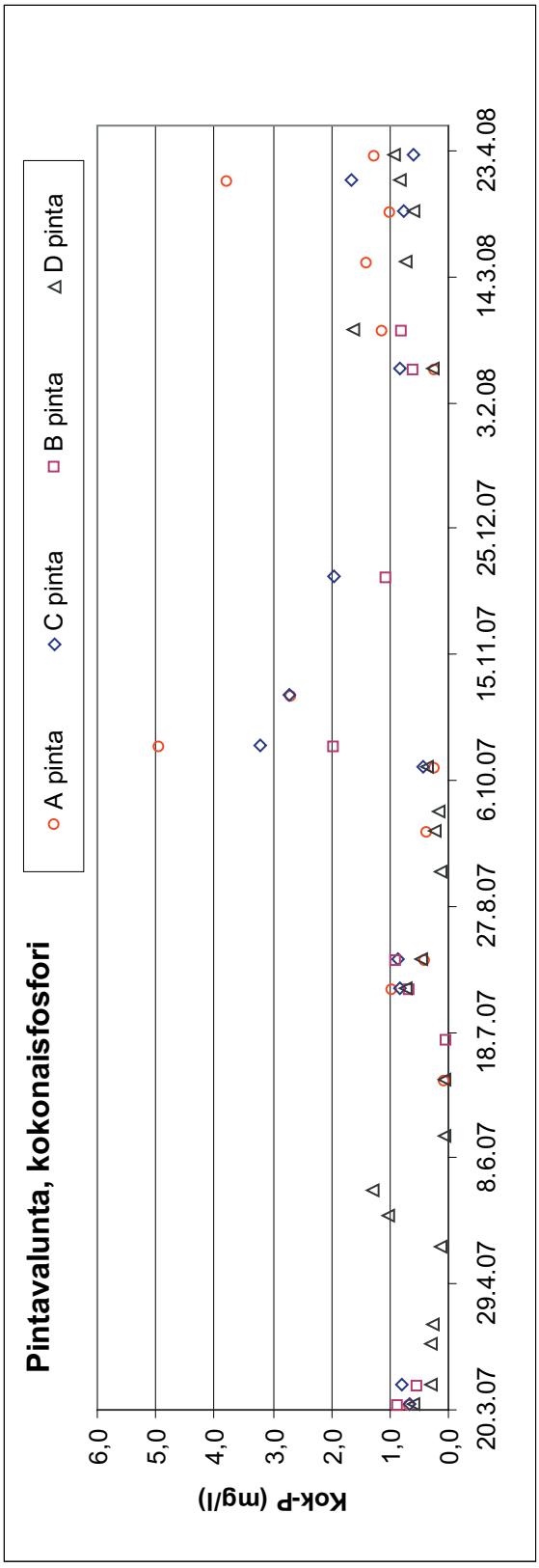
Liite 8. Nummela.
Salaojat, kiintoaineen ja liukoisen fosforin ajallinen vaihtelu.



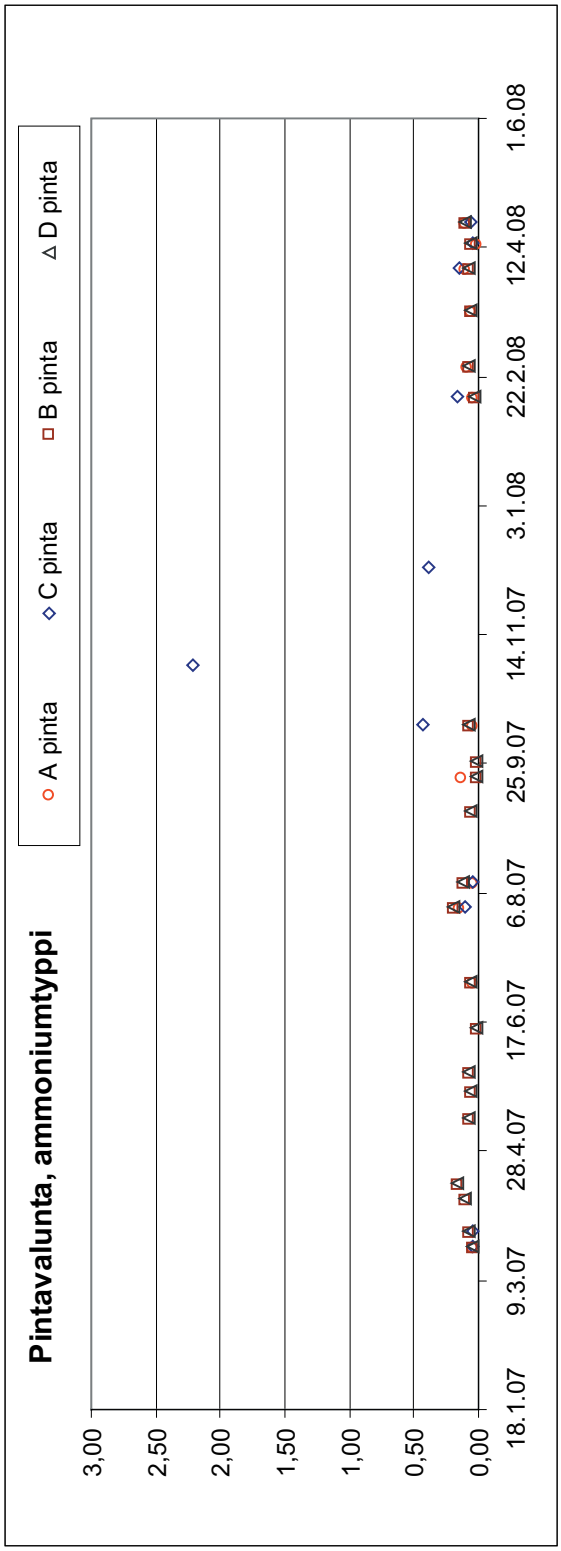


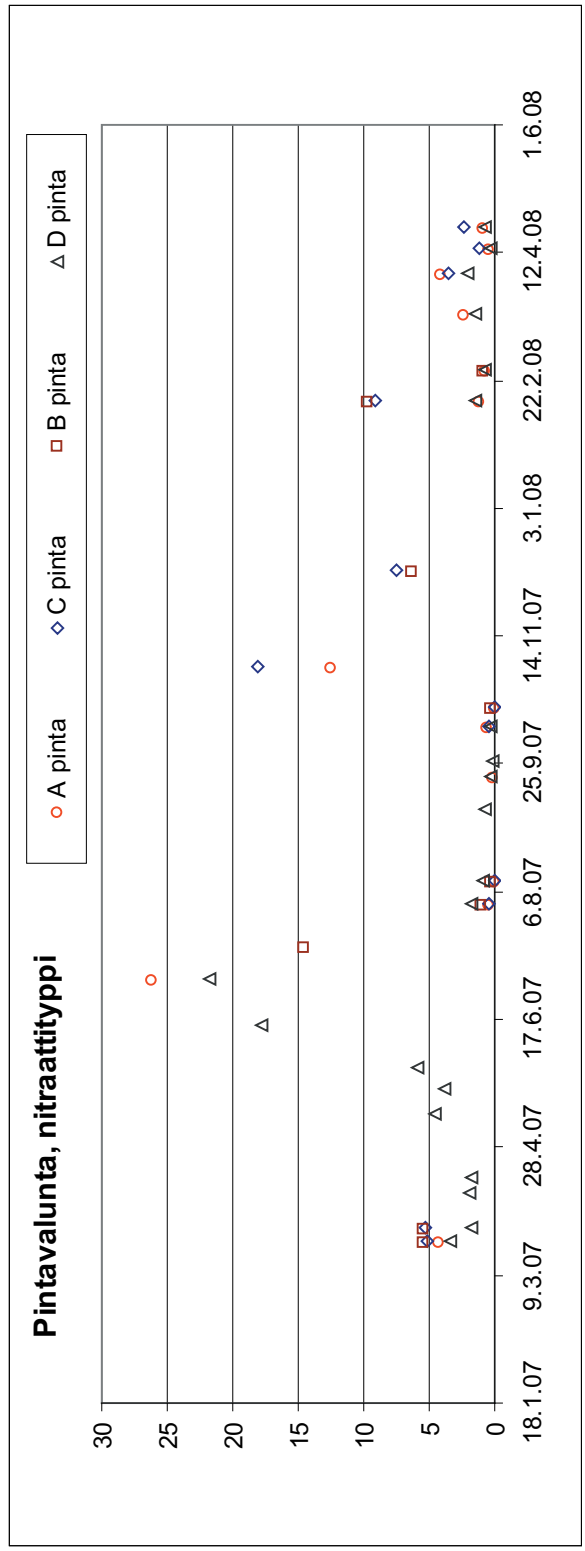
Liite 9. Nummela.
Pintavalunta, kokonaistyppi- ja -fosforipitoisuuden ajallinen vaihtelu.



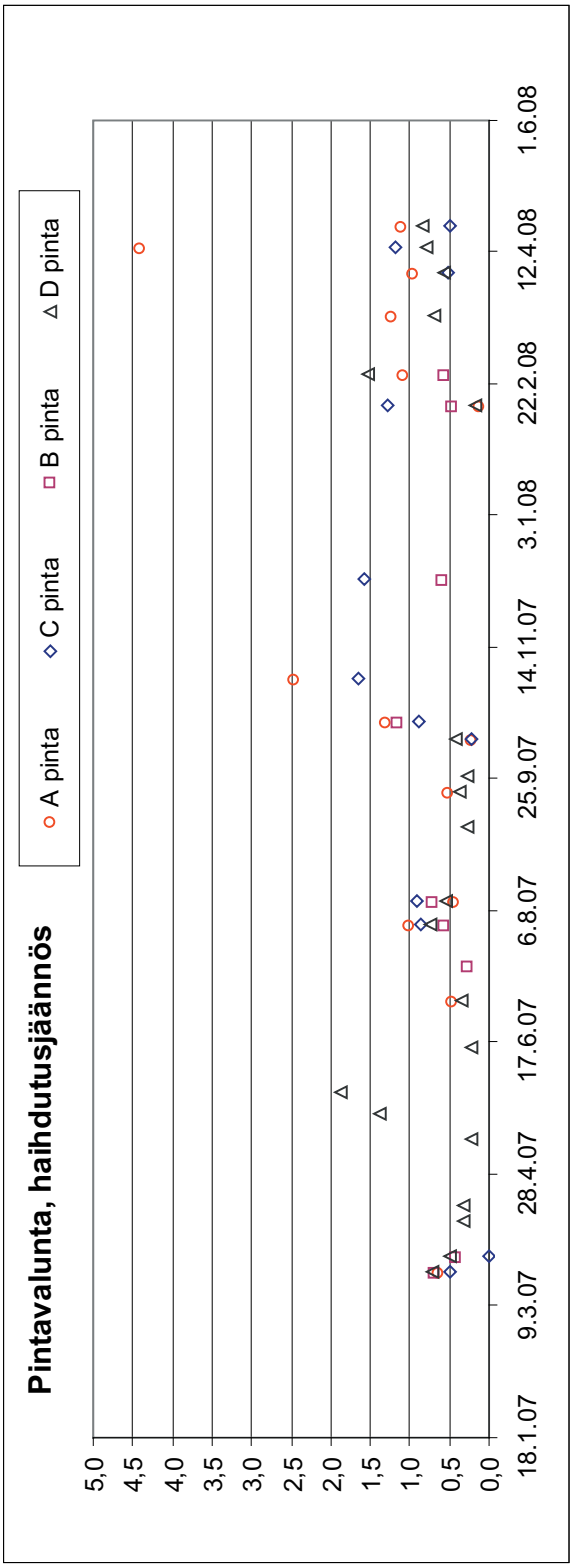


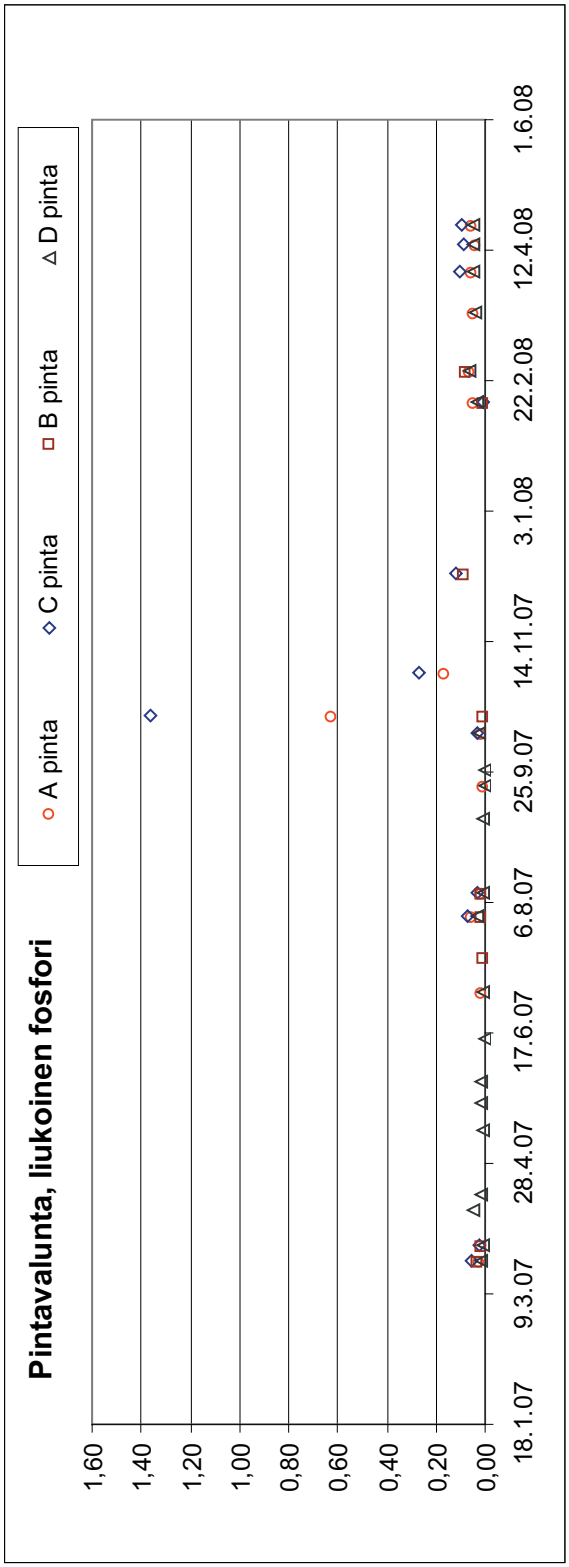
Liite 10. Nummela.
Pintavalunta, ammonium- ja nitraattityppipitoisuuden ajallinen vaihtelu.



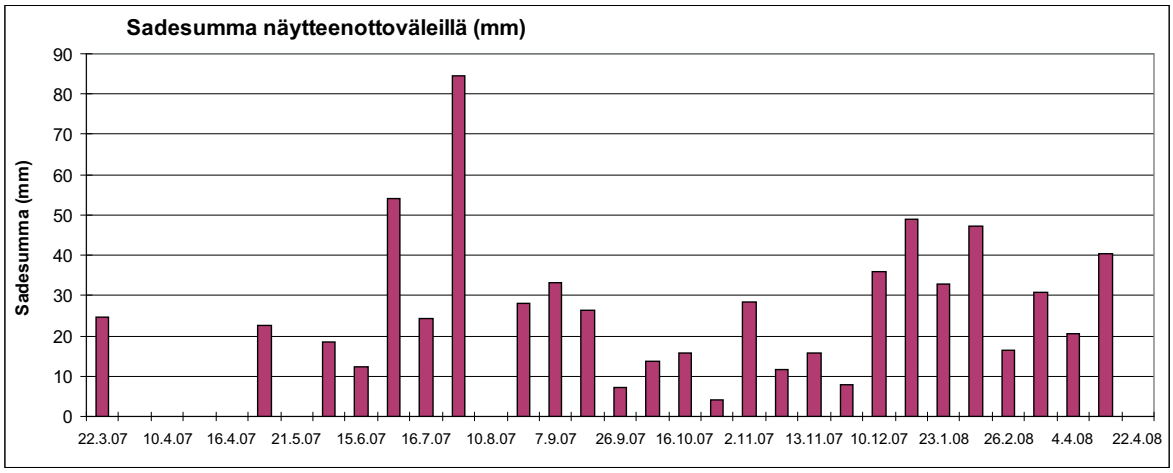


Liite 11. Nummela.
Pintavalunta, kiintoaineen ja liukoisen fosforin ajallinen vaihtelu.

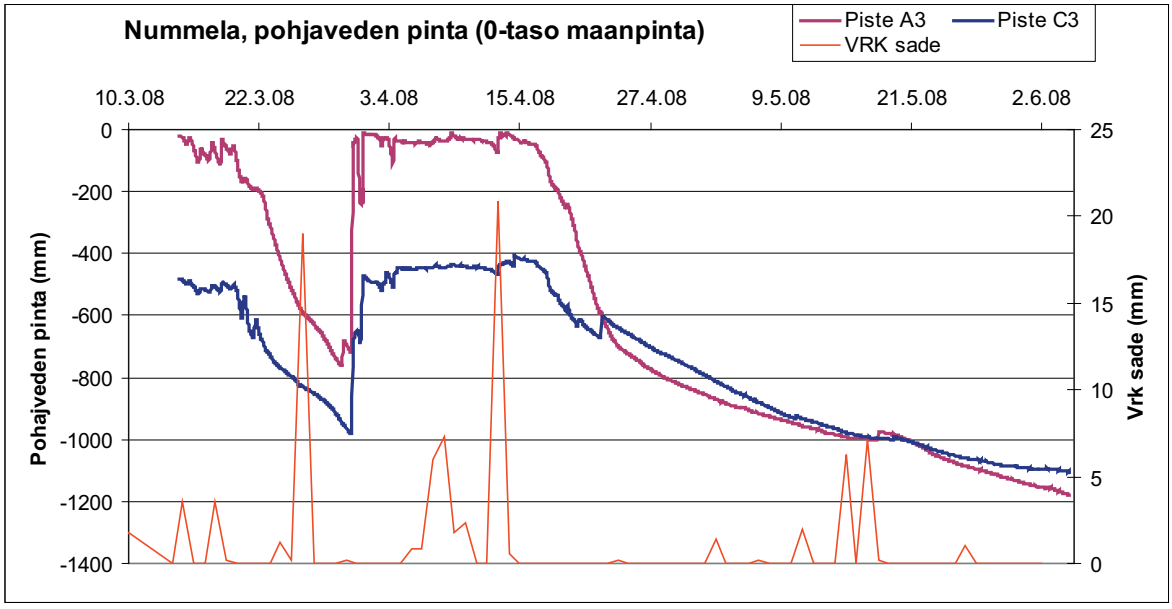




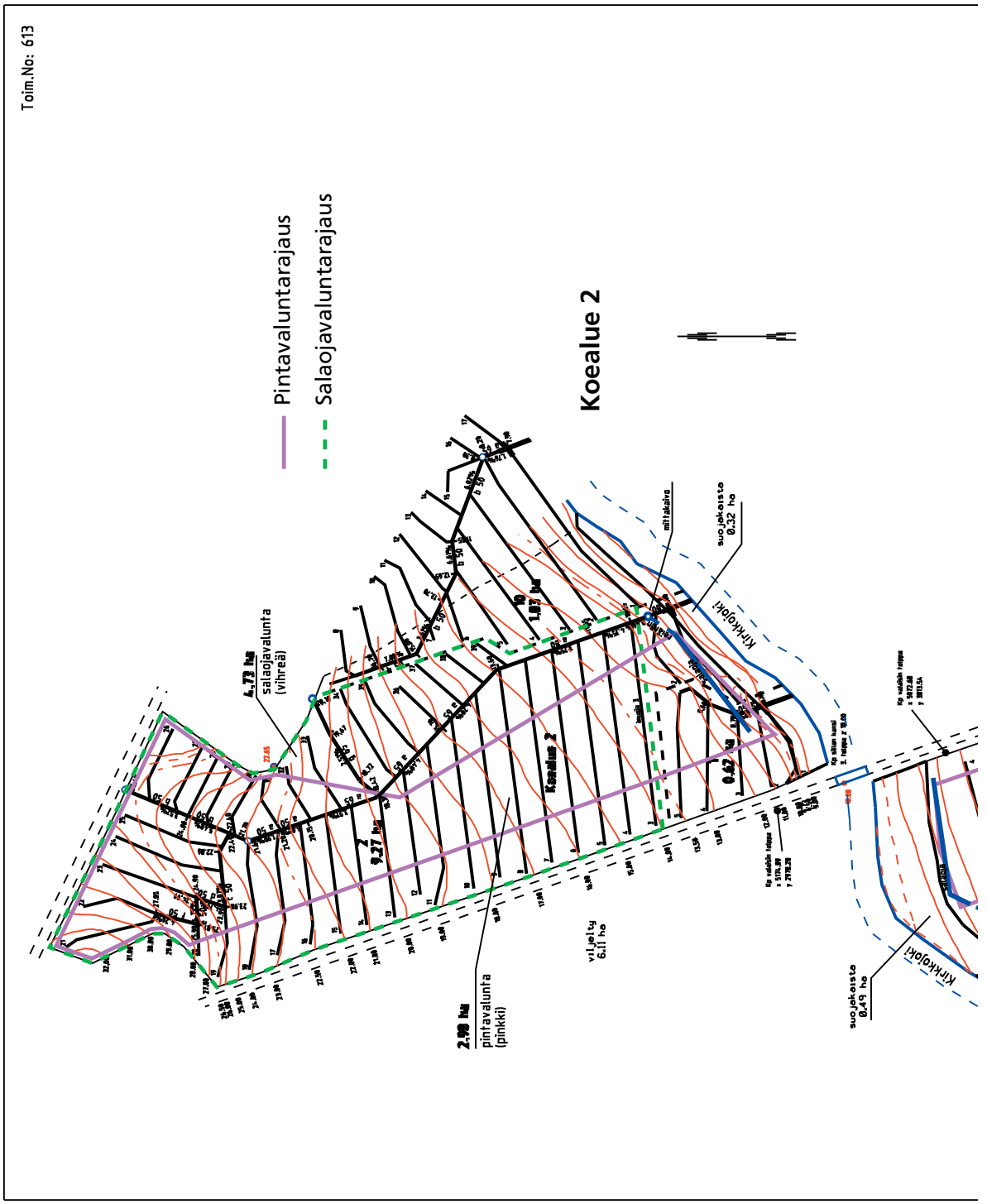
Liite 12. Nummela. Sadesummat näytteenottoväleillä.

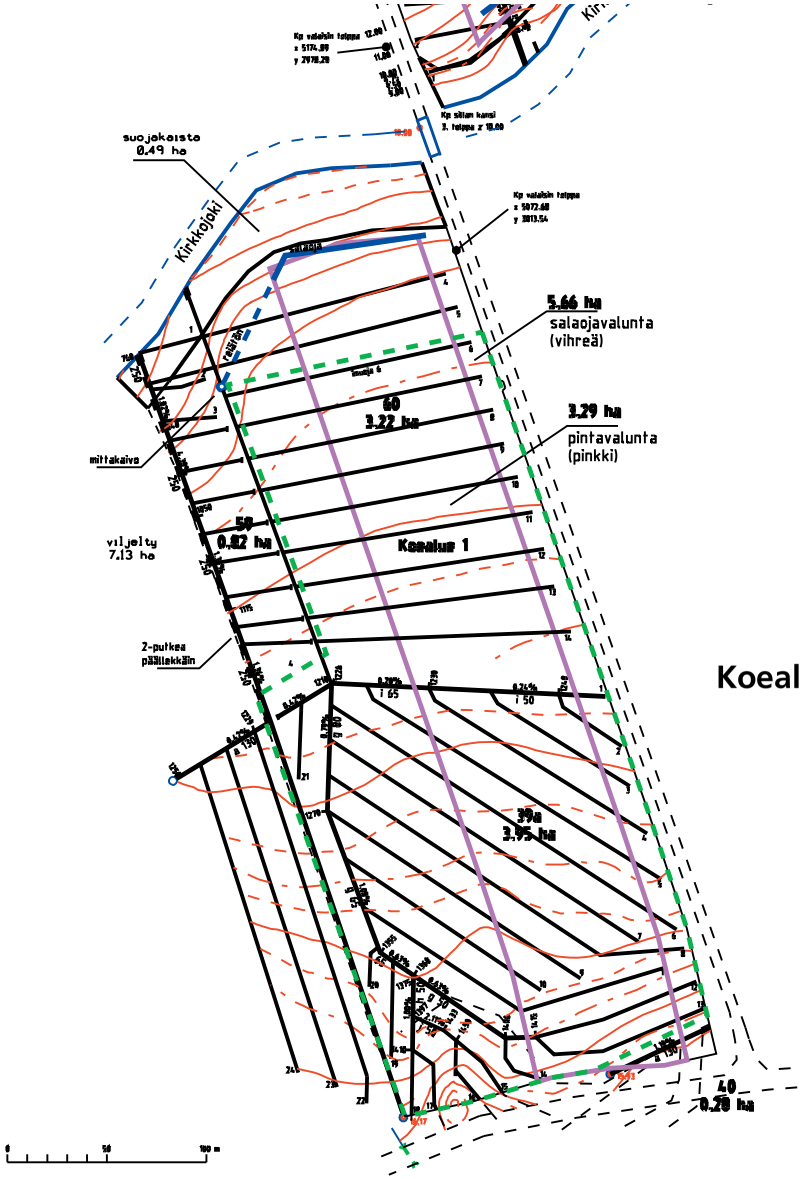


Liite 13. Nummela.
Pohjavedenpinnan korkeudet, automaattimittaukset, pisteet A3 ja C3.



Liite 14. Gårdskullan koekentän kartta.



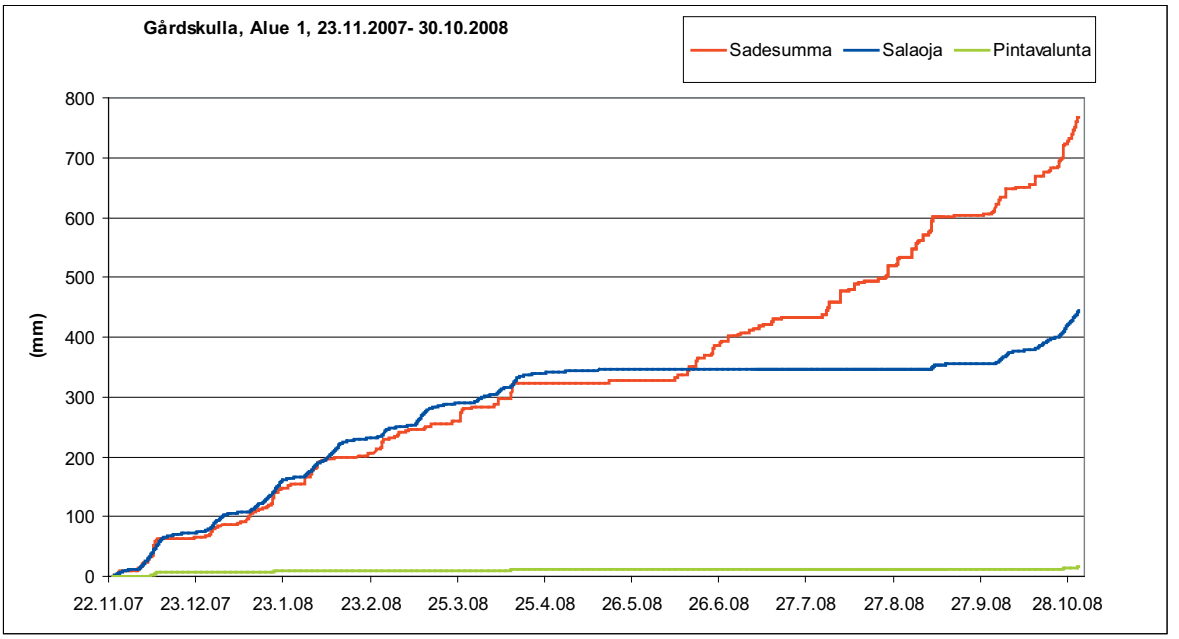


Koealue 1

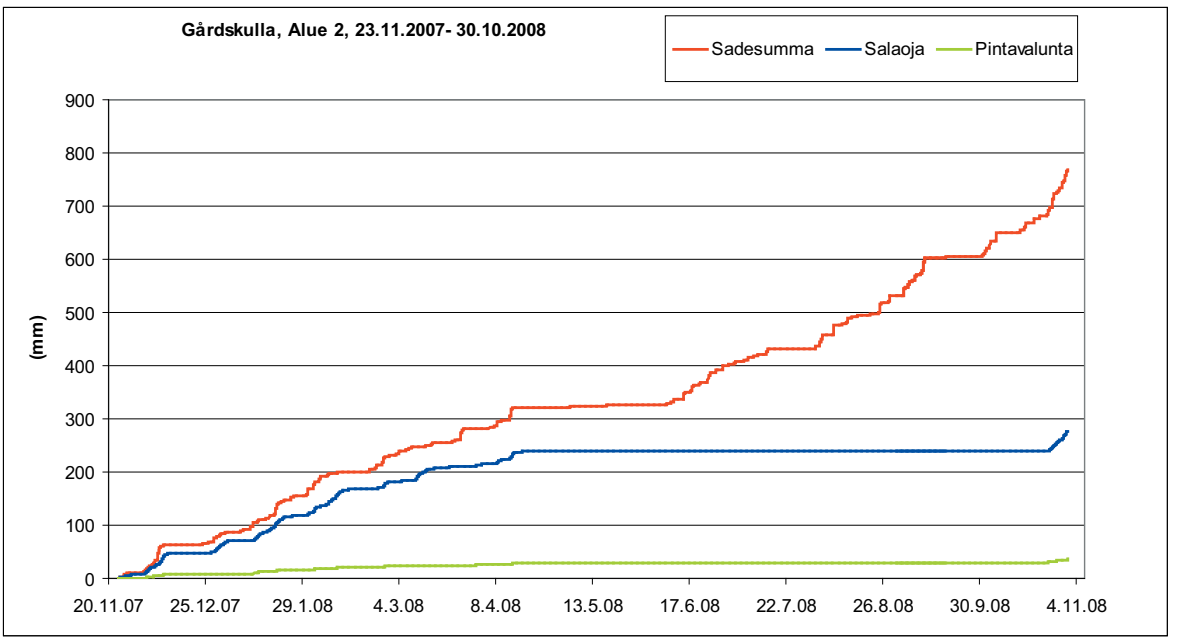
päivitetty 4.6.2008

PINTAKARTTA		Työ tj170171.rdl	Mk 1:2000
Kunta : Siuntio		Omistaja: Gårdskulla Gård	
Kylä :		Osoite : Gårdskulla 89	
Tila : Gårdskulla		02570 Siuntio kk	
Peltoa:		Päiväys : 17.1.2007	
Etelä-Suomen Salaojakeskus		Kart: J. Virta	

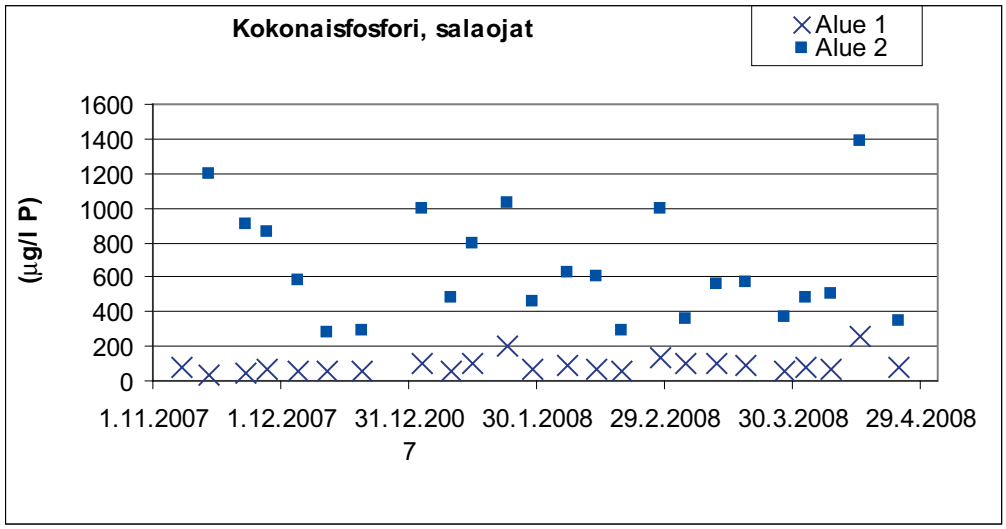
Liite 15. Gårdskulla. Alue 1, summakäyrät sadanta sekä salaoja- ja pintavalunta.

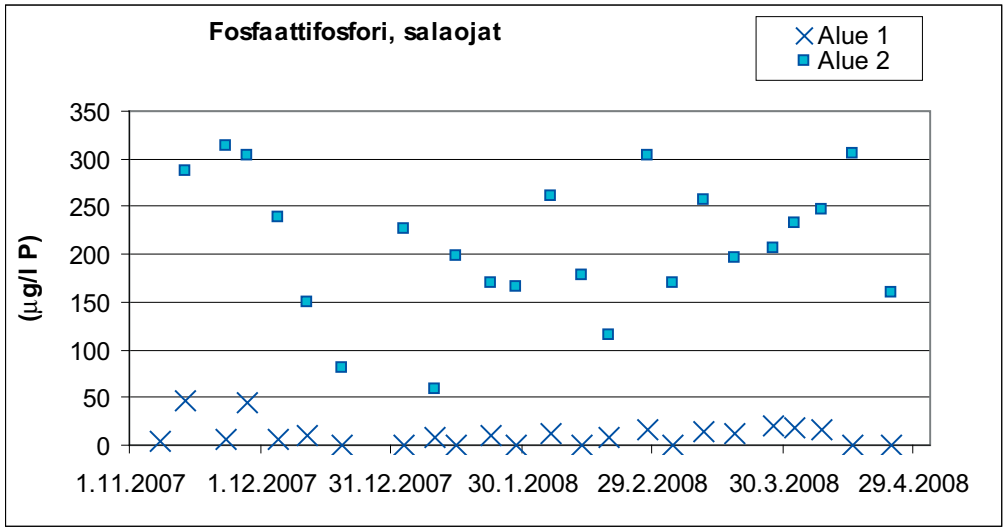


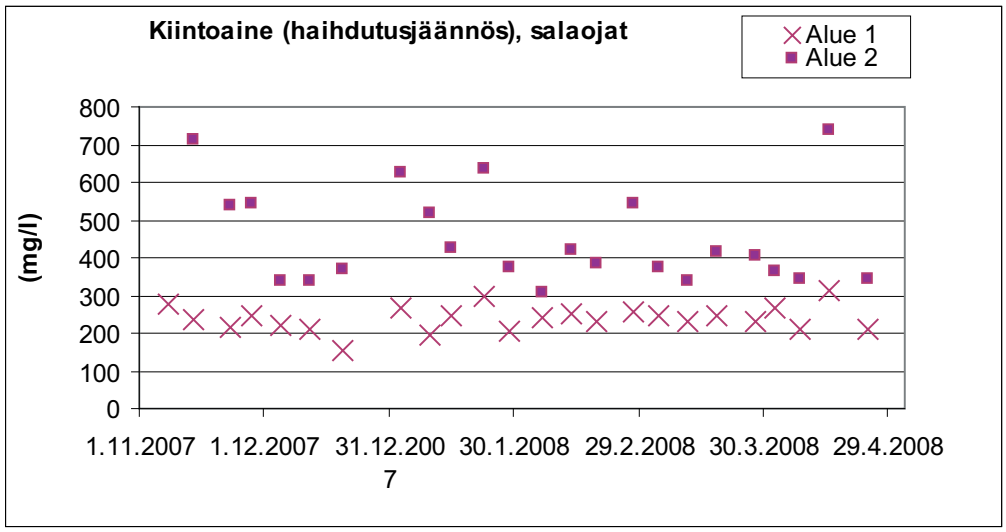
Liite 16. Gårdskulla. Alue 2, summakäyrät sadanta sekä salaoja- ja pintavalunta.



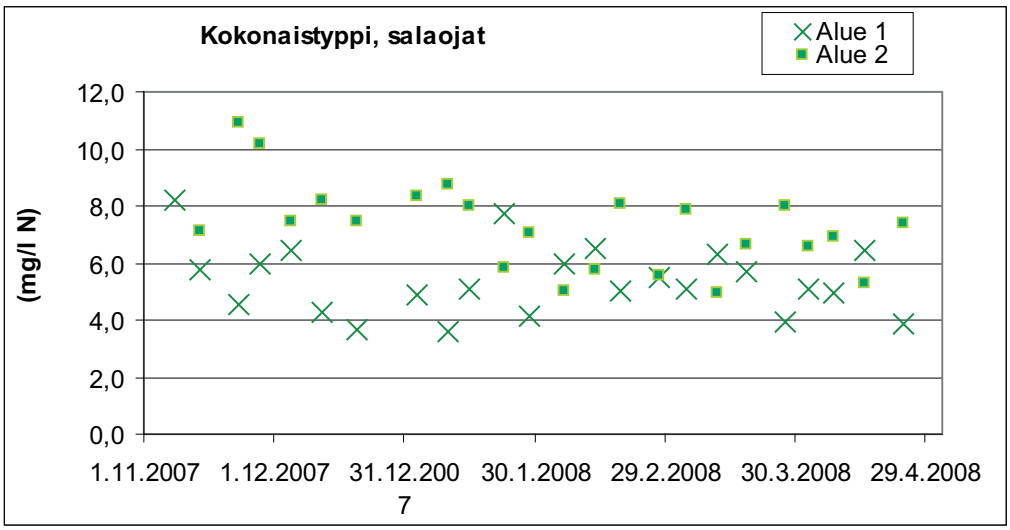
Liite 17. Gårdskulla. Salaojat, kokonaisfosfori- ja fosfaattifosforipitoisuuden sekä kiintoaineen ajallinen vaihtelu.

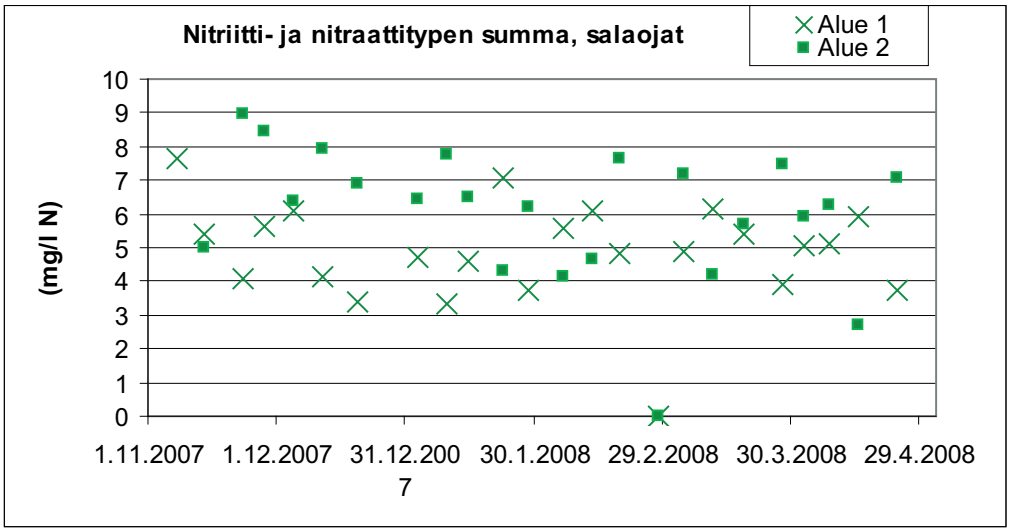


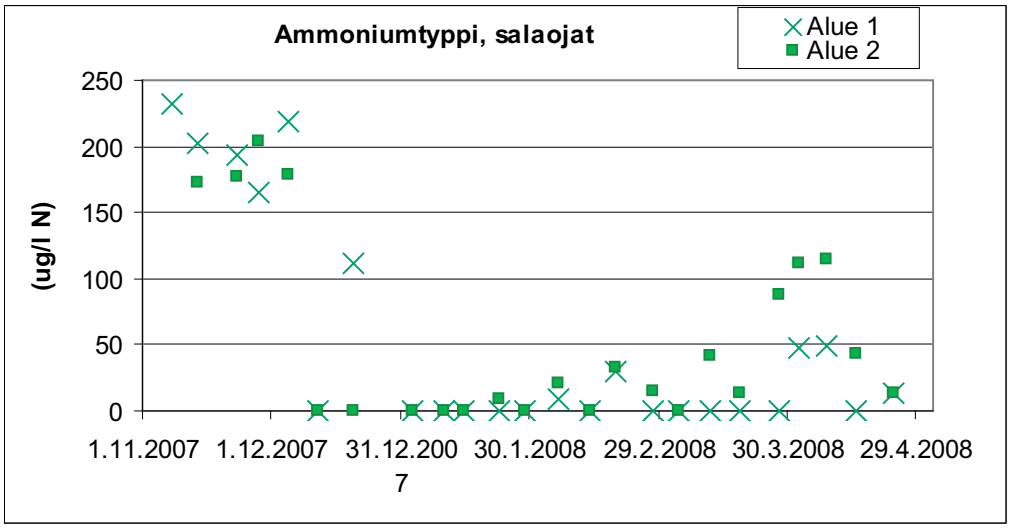




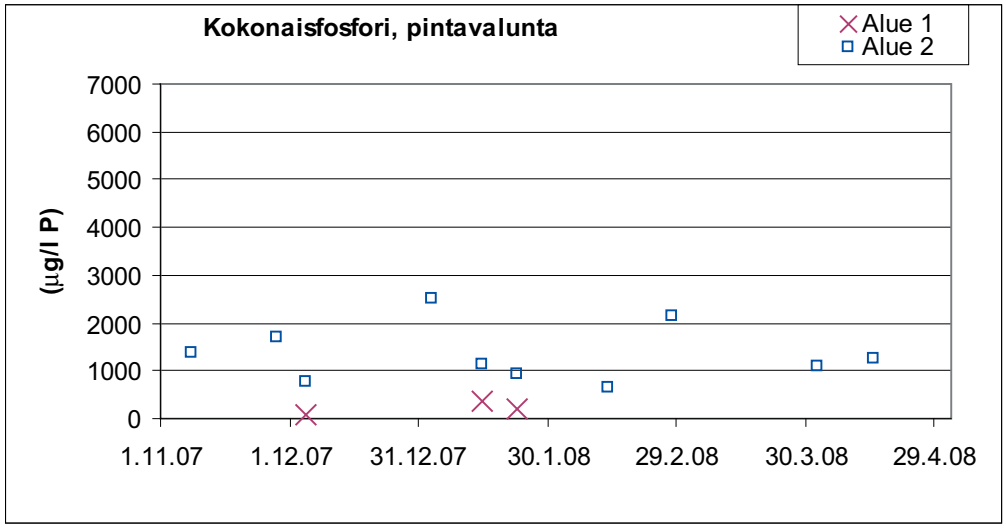
Liite 18. Gårdskulla. Salaojat, kokonais- ja ammoniumtyppipitoisuuden sekä nitraatti+nitriittipitoisuuden ajallinen vaihtelu.

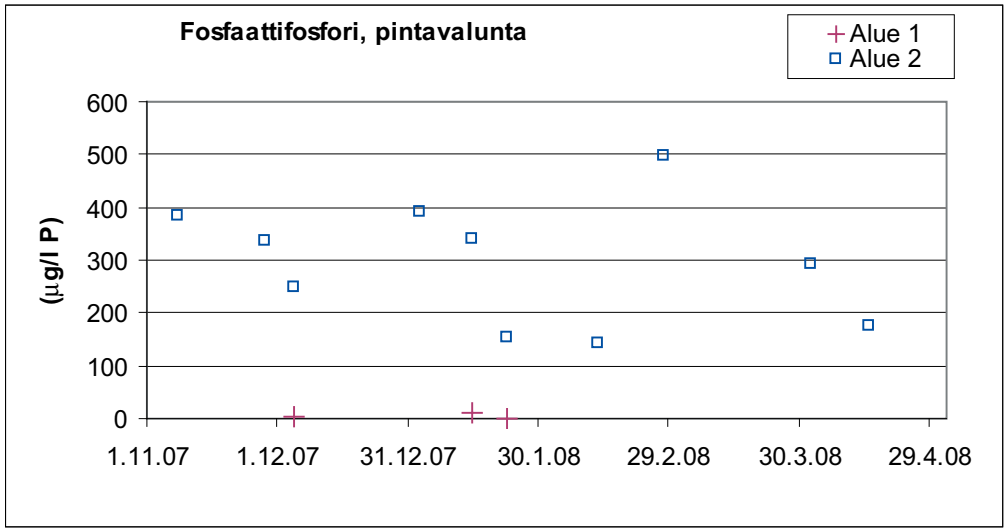


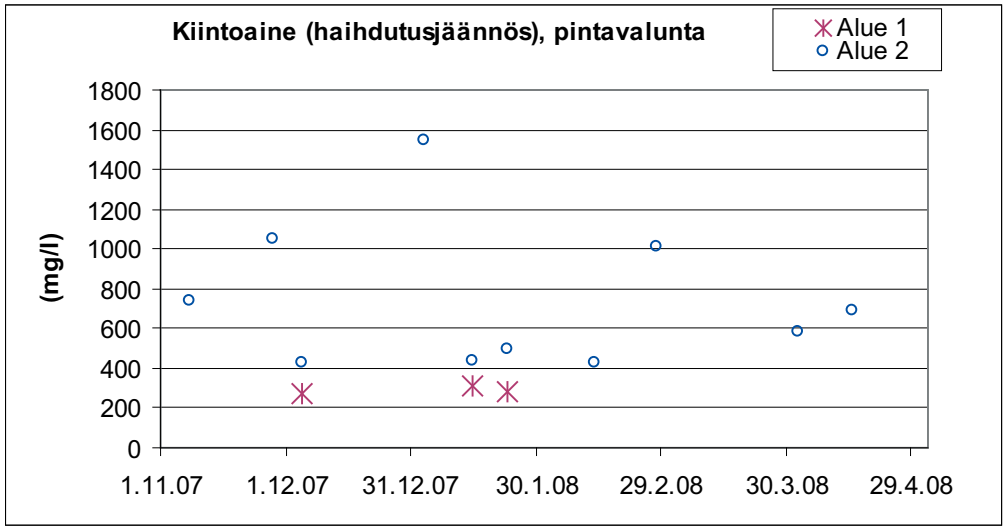




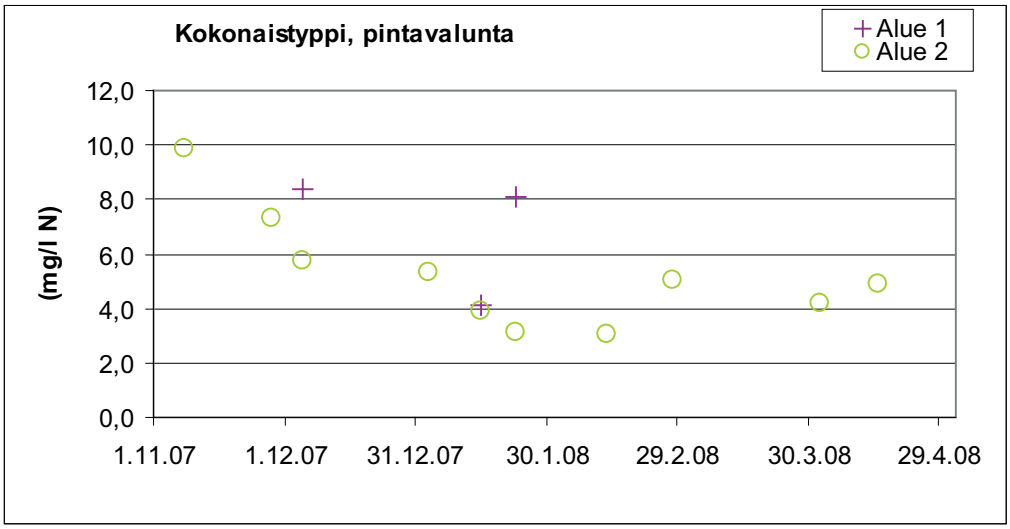
Liite 19. Gårdskulla. Pintavalunta, kokonais- ja ammoniumtyppi-pitoisuuden sekä nitraatti+nitriittipitoisuuden ajallinen vaihtelu.

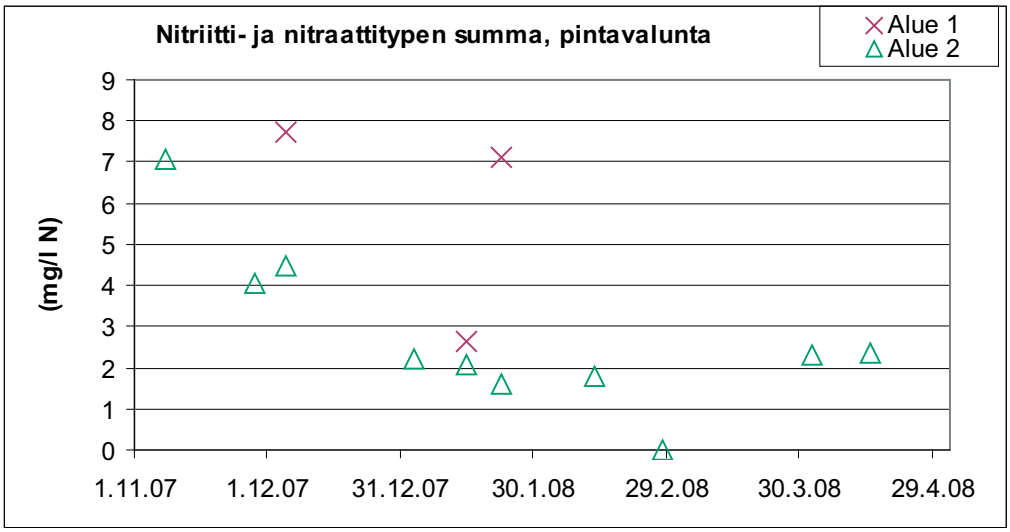


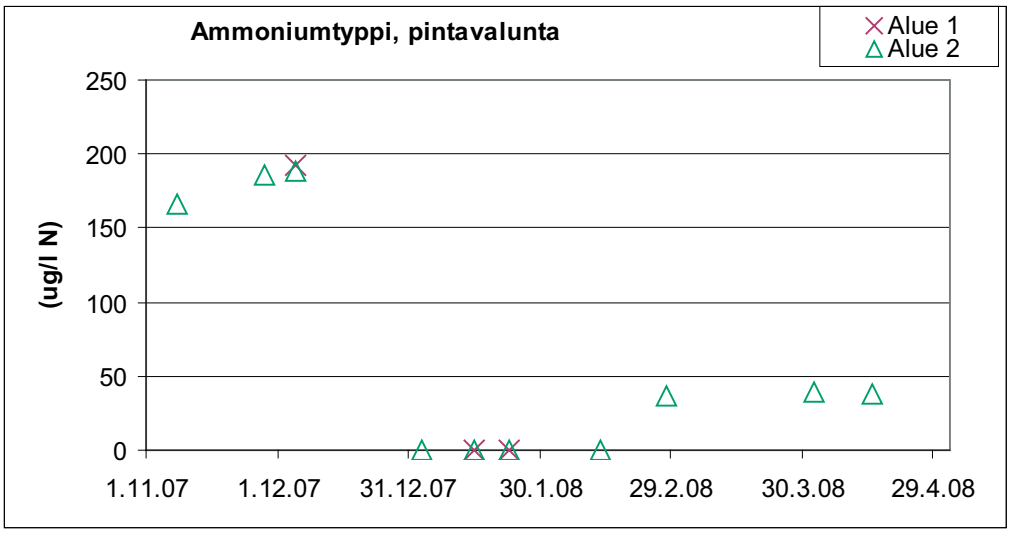




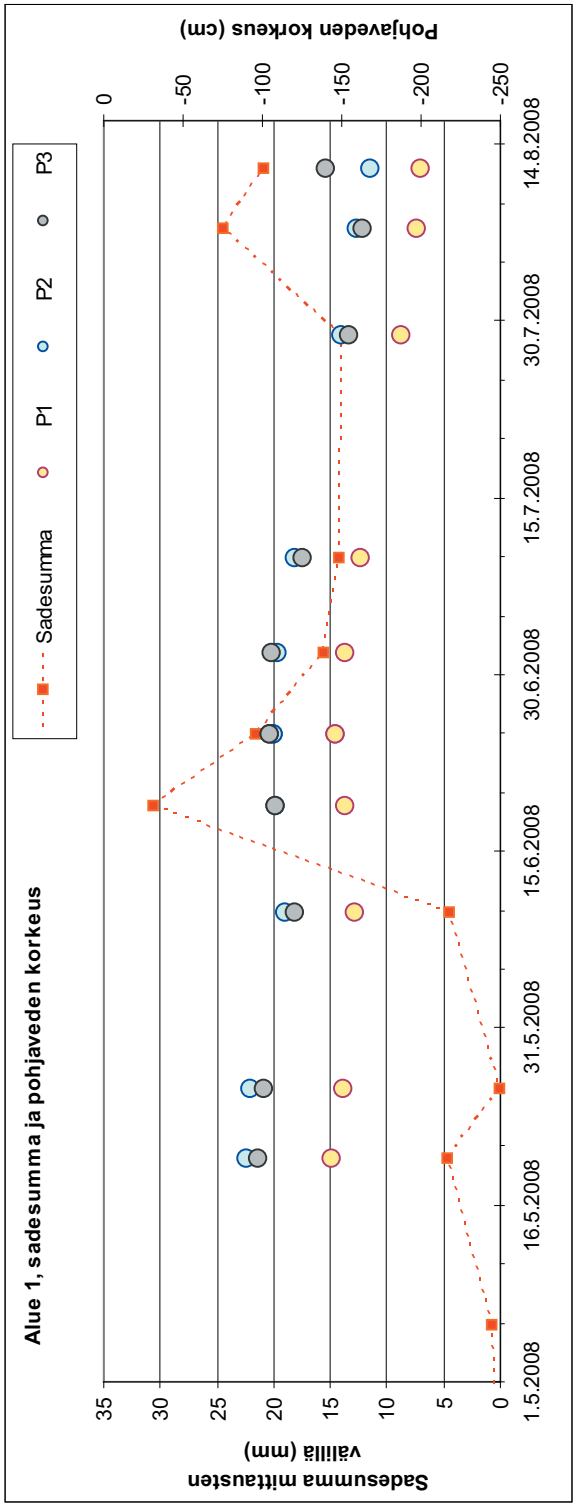
Liite 20. Gårdskulla. Pintavalunta, kokonais- ja ammoniumtyppi-pitoisuuden sekä nitraatti+nitriittipitoisuuden ajallinen vaihtelu.

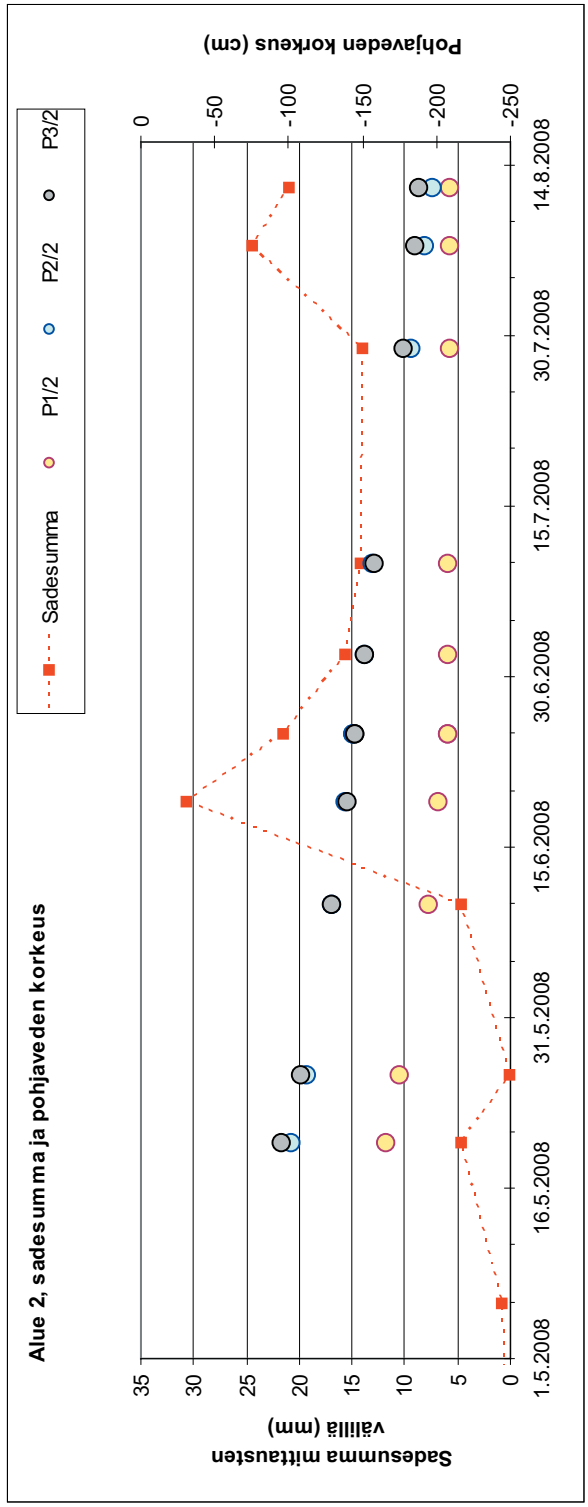




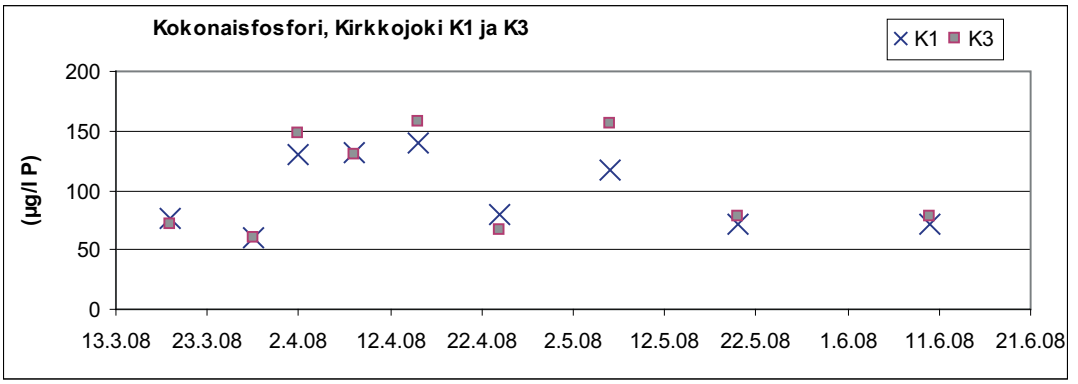


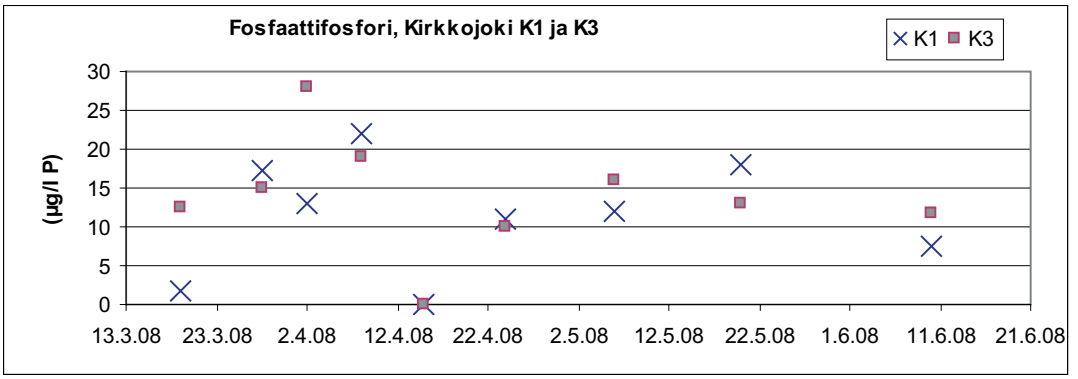
Liite 21. Gårdskulla.Pinnankorkeudet pohjavesiputkissa.

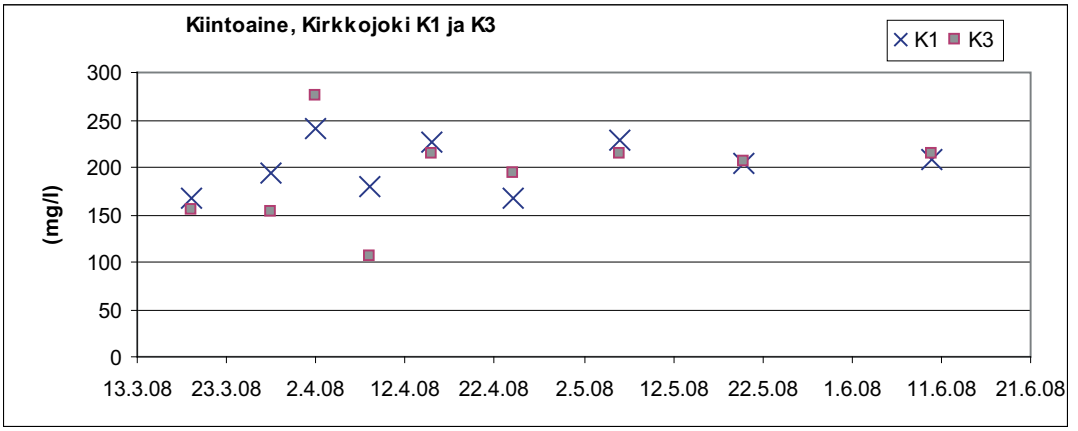


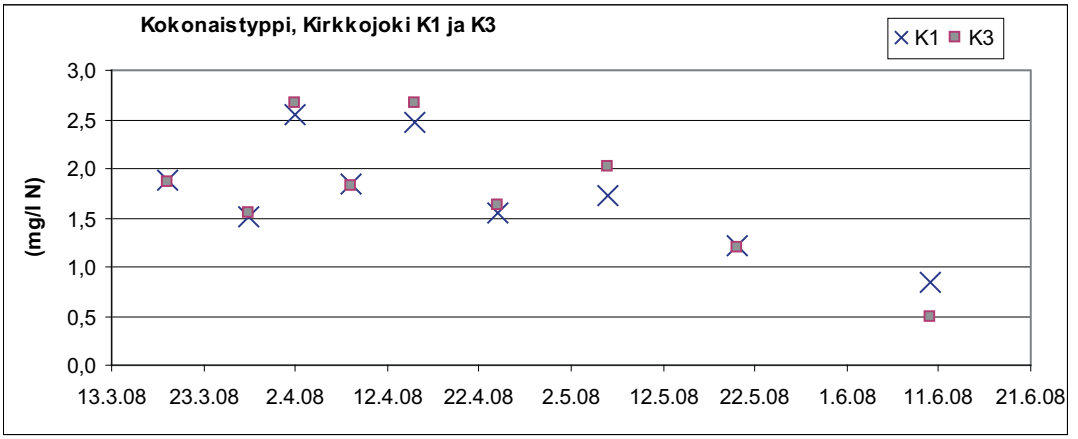


Liite 22. Gårdskulla. Vedenlaatu Kirkkojoen mittauspisteissä.









Liite 23. Taulukko VNA-kohteista.

tila	kunta	ojitusmenetelmä	ojituspv	pinta-ala ha	"maalaji pintamaa"	"maalaji pohjamaa"	ojitustapa ennen	ojaväli ennen m	ongelma	kaltevuus
1	Pöytyä	rakenneputkitus, ojaväli 6 m	5-6/2006	23,56	rmHsS	vmAS	osa salaojitettu 1970-luvulla, osa sarkaojissa	"avo: 12 sala: 8 tai 16 "	märkiä alueita, notkoja, tukkeutumia	"tasainen/ loivasti viettävä"
2	Nakkila	ojaväli 12 m, runsas sorastus, silmäkkeitä 9 m:n välein	12.9.2008	3,65	mKHt	"vmHHt vmHs"	salaojjitus 1965, täydennysojitus 1984	8,5	lähteisyys, ruosteisuus, salaojien tukkeutuminen	loivasti viettävä
3	Somero	rakenneputkitus, ojaväli 6 m	kevät 2006	11,5	mAS	vmAS	salaojitus 1979	12	ojitus ei toimi	tasainen
4	Loimaa	ojaväli 8 m, sorastus, sorasilmäkkeet avo-ojien risteyksiin, muu kaivanto täytetty hakkeella	10.8.2007	4,5	"ermHsS ermAS"	vmAS	avo-ojat	10 tai 12	liian harva ojaväli, märkyys	tasainen
5	Kestilä	ojaväli 8 m, sorastus tavanomaista pienemmällä soramäärällä	6/2007	2,48	"Mm rmHe"	vmHe	avo-ojat	15	avo-ojat eivät pysy auki	loivasti viettävä
6	Koski Tl.	rakenneputkitus, ojaväli 4 m, kohotus heti ojituksen jälkeen	15.6.2007	6,32	"rmAS mHsS"	vmAS	salaojitus 1975 tai 1976	14 tai 16	erittäin tiivis savi, harva ojaväli, vähän sorasilmäkkeitä tai ei ollenkaan, ruokamulta poltettu raivattaessa 1930-luvulla	tasainen
7	Pöytyä	auraojitus, ojaväli 10 m, ojat tavanomaista matalammalla, putken ympärillä sorastus	6/2007	13,6	rmHtS	vmAS	avo-ojat	14-26	märkyys	loivasti viettävä
8	Joroinen	rakenneputkitus, ojaväli 4 m	3.1.2007	9,22	"ermKHt Mm Ct"	"vmKHt Ct"	avo-ojat	12-32	ruosteinen turvemaa	tasainen

Liite 24. VTT:n tekemä esipäällystetestin tulokset.

Tilaaja
Salaojakeskus ry
Helena Äijö
Simonkatu 12 A 11
00100 Helsinki

Tilaus
Helena Äijö / 8.2.2007.

Yhteyshenkilö VTT:ssä
VTT

Tutkija Rainer Laaksonen
PL 1000, 02044 VTT
Puh. 020 722 4692
Faksi 020 722 7060
Sähköposti rainer.laaksonen@vtt.fi

Tehtävä

TILAAJAN TOIMITTAMAN KANKAAN TEHOKKAAN HUOKOSKOON JA PAKSUUDEN MÄÄRITYS

Tilaaja toimitti 8.2.2007 kangasnäytteen VTT Materiaalit ja rakentaminen yksikköön.

Ennen kokeita toimitetusta näytteestä leikattiin kokeisiin tarvittavat näytekappaleet. Paksuusmääritykset tehtiin 2 kPa ja 20 kPa normaalijännityksillä standardin SFS-EN ISO 9863-1 mukaan. Keskiarvotulokset on esitetty taulukossa 1. Tehokas huokoskoko määritettiin standardin SFS-EN ISO 12956 mukaan. Määrityksen tulos on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kangasnäytteen paksuus ja tehokas huokoskoko.

Laboratorio-numero	Paksuus @ 2 kPa (mm)	Paksuus @ 20 kPa (mm)	Tehokas huokoskoko, O_{90} (mm)
7002	0.32	0.3	0.077

VTT:n arvio menetelmien epätarkkuudesta on paksuuden osalta noin ± 0.02 mm ja tehokkaan huokoskoon osalta ± 9%, eli ± 0.007 mm.

Espoossa 16.2.2007

Teknologiapäällikkö Jouko Törnqvist Tutkija Rainer Laaksonen

LIITTEET Tulostaulukko paksuusmäärityksistä ja huokoskokomäärityksen tuloskuvaaja.

JAKELU
Tilaaja Alkuperäinen
VTT/Arkisto Alkuperäinen

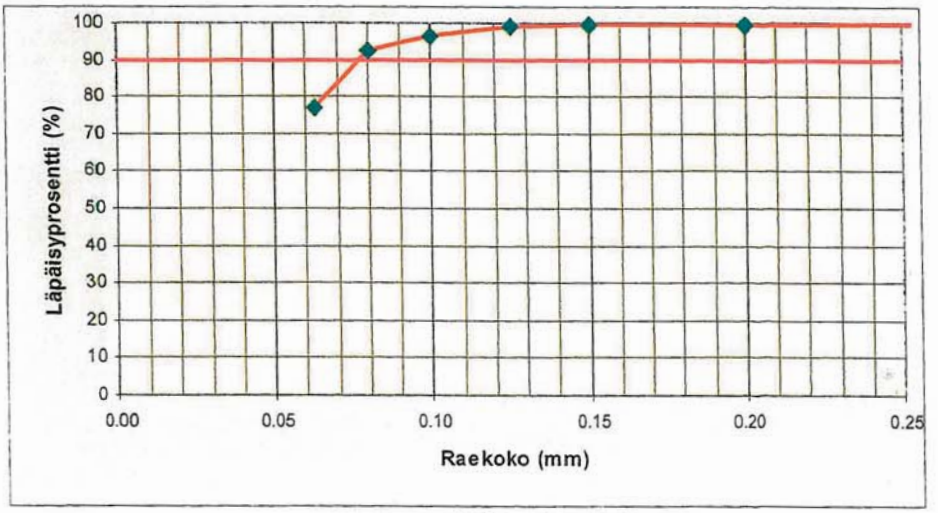
VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

Paksuusmäärityksen tulostaulukot. Paksuusmittaus 10 näytettä ja kolme rinnakkaismääritystä/näyte:

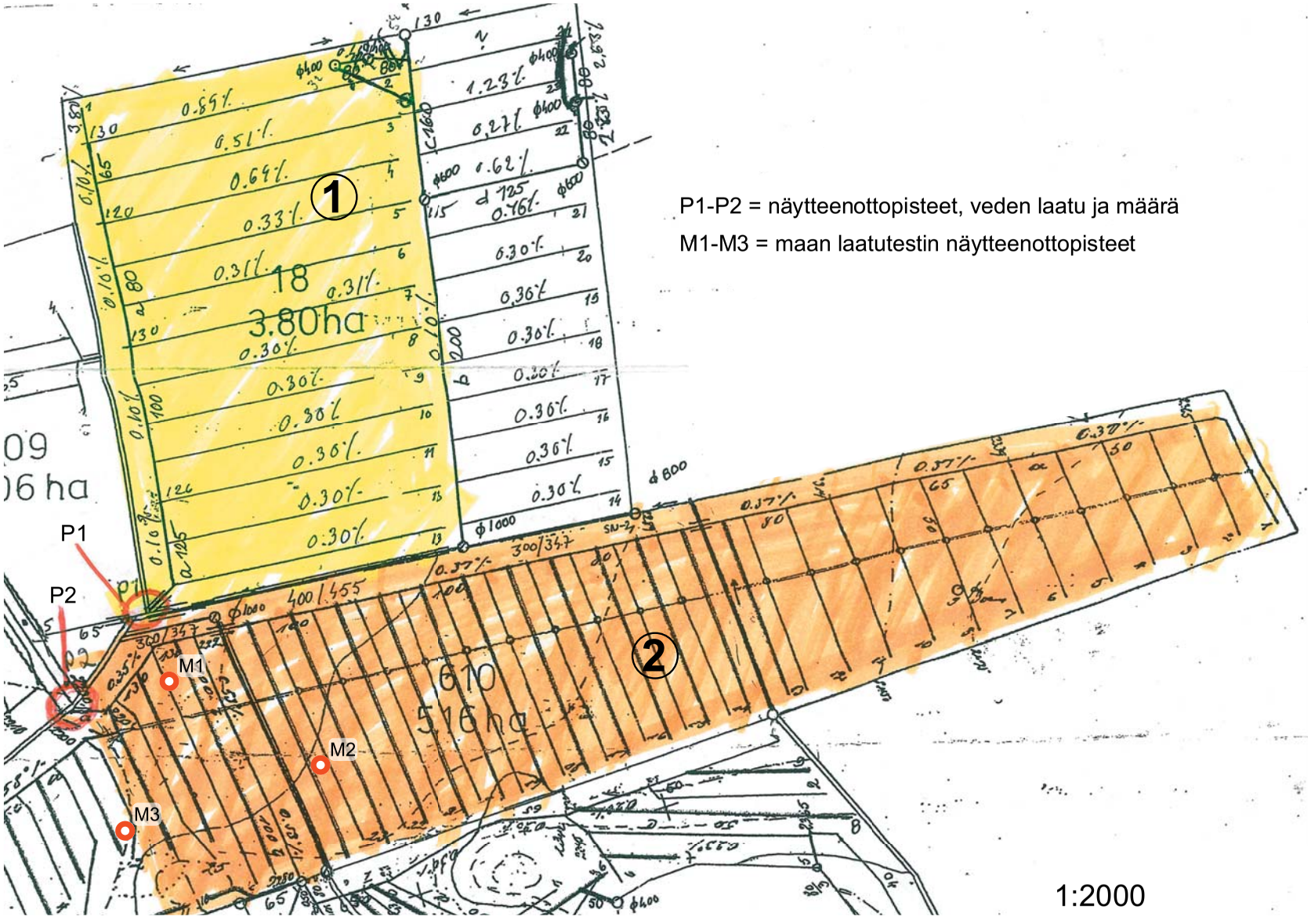
PAKSUUSMÄÄRITYS			20 kPa
PVM: 9.2.2007	Tekijä:		
LAB.NUM 7002	HJJ		
Mittaus 1 mm	Mittaus 2 mm	Mittaus 3 mm	Keski-arvo mm
0.29	0.30	0.29	0.29
0.31	0.31	0.29	0.30
0.29	0.29	0.29	0.29
0.29	0.29	0.33	0.30
0.29	0.31	0.31	0.30
0.29	0.3	0.27	0.29
0.28	0.3	0.31	0.30
0.29	0.3	0.3	0.30
0.3	0.29	0.28	0.29
0.3	0.31	0.32	0.31
	KESKIARVO		0.30
	KESKIHAJONTA		0.01
	VARIAATIKERROIN		2.52

PAKSUUSMÄÄRITYS			2 kPa
PVM: 9.2.2007	Tekijä:		
LAB.NUM 7002	HJJ		
Mittaus 1 mm	Mittaus 2 mm	Mittaus 3 mm	Keski-arvo mm
0.32	0.32	0.33	0.32
0.31	0.33	0.32	0.32
0.32	0.31	0.30	0.31
0.31	0.31	0.34	0.32
0.31	0.34	0.32	0.32
0.31	0.3	0.31	0.31
0.3	0.33	0.32	0.32
0.31	0.33	0.33	0.32
0.31	0.31	0.33	0.32
0.32	0.35	0.34	0.34
	KESKIARVO		0.32
	KESKIHAJONTA		0.01
	VARIAATIKERROIN		2.58

Tehokas huokoskoko –määritys. Kuva huokoskoon määrityksestä.

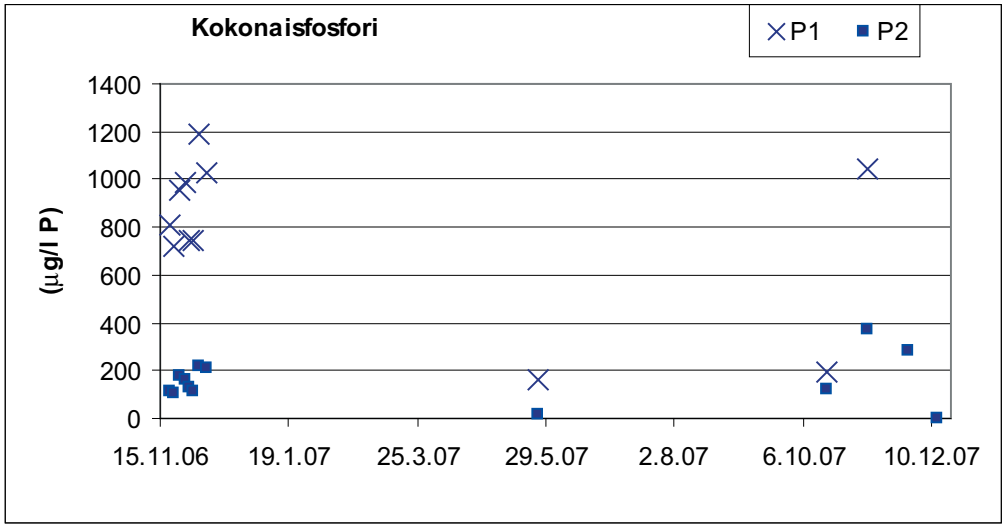


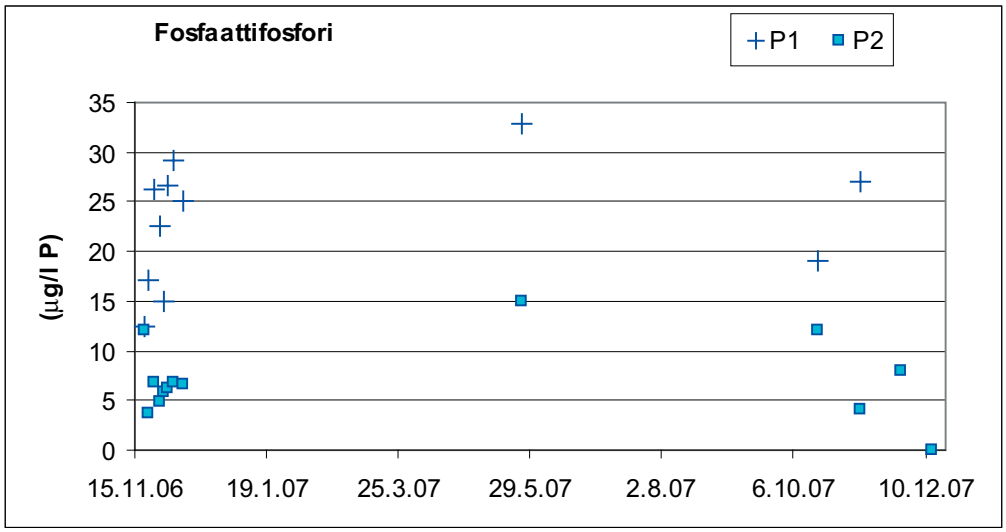
VTT:n nimen käyttäminen mainoksissa tai tämän selostuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:stä saadun kirjallisen luvan perusteella.

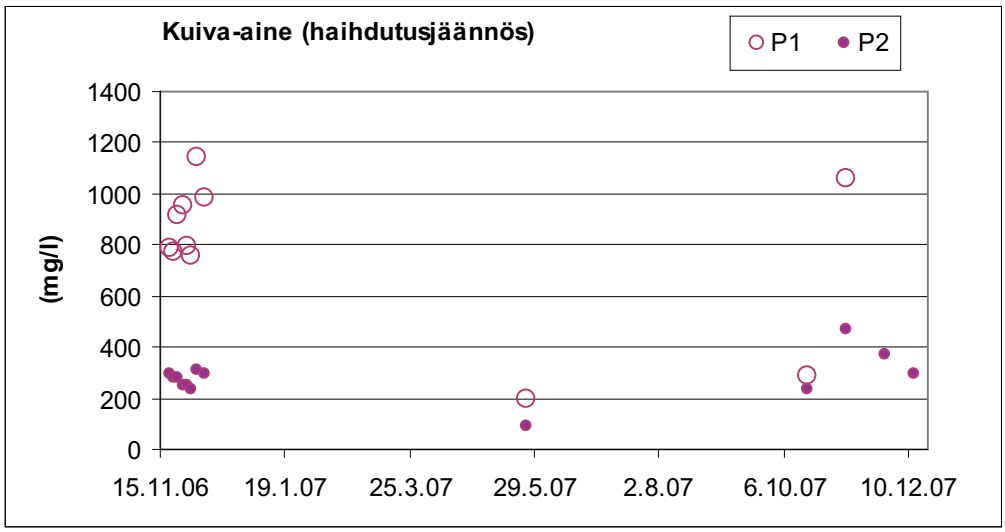

P1-P2 = näytteenottopisteet, veden laatu ja määrä
M1-M3 = maan laatutestin näytteenottopisteet
1
18
3.80ha
2
610
5.16ha
P1
P2
M1
M2
M3
1:2000

Liite 26a. Lill-Nägels, Fosfori- ja kiintoainepitoisuudet.

P1 uusintaojitus kesällä 2006 (haketäyttö 2,4 ha), P2 täydennysojitus kesällä 2007 (3,9 ha).

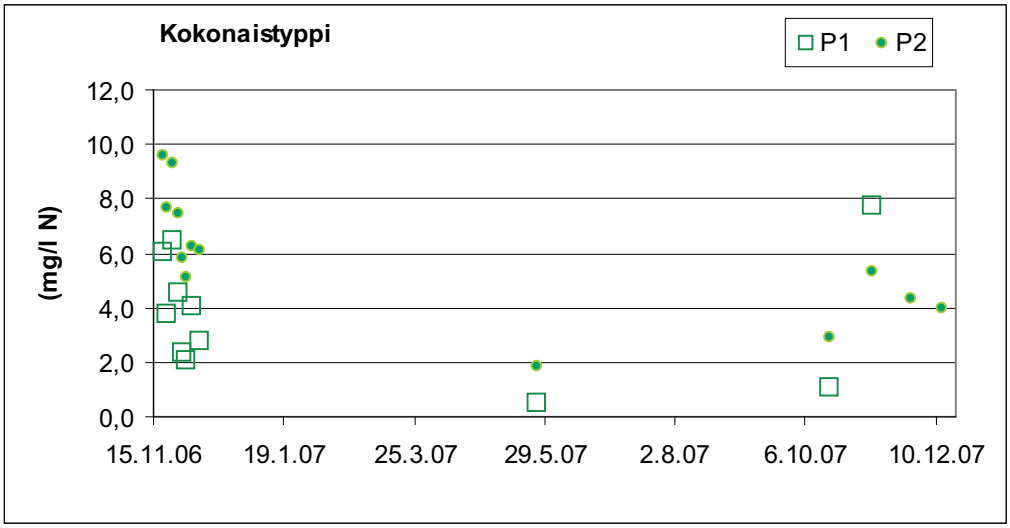


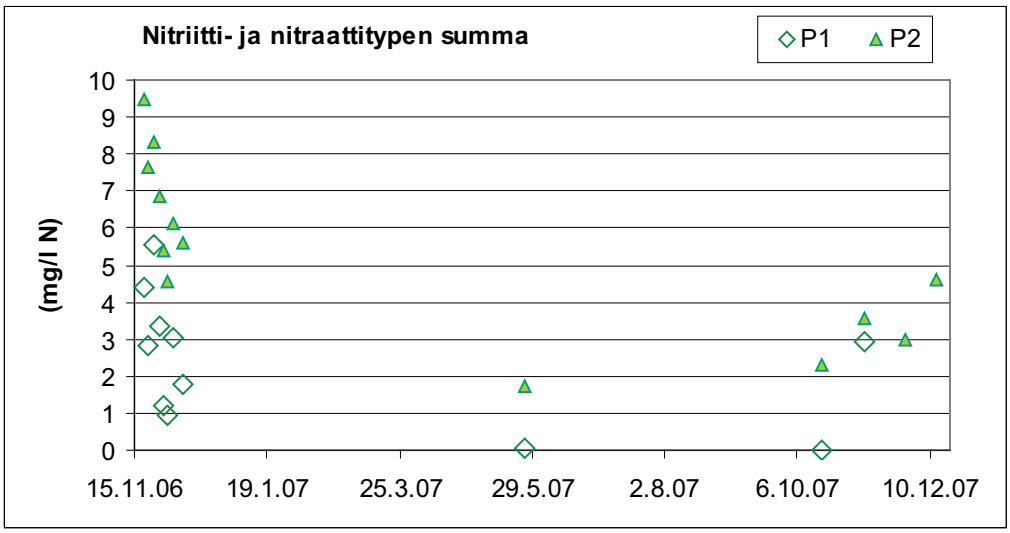


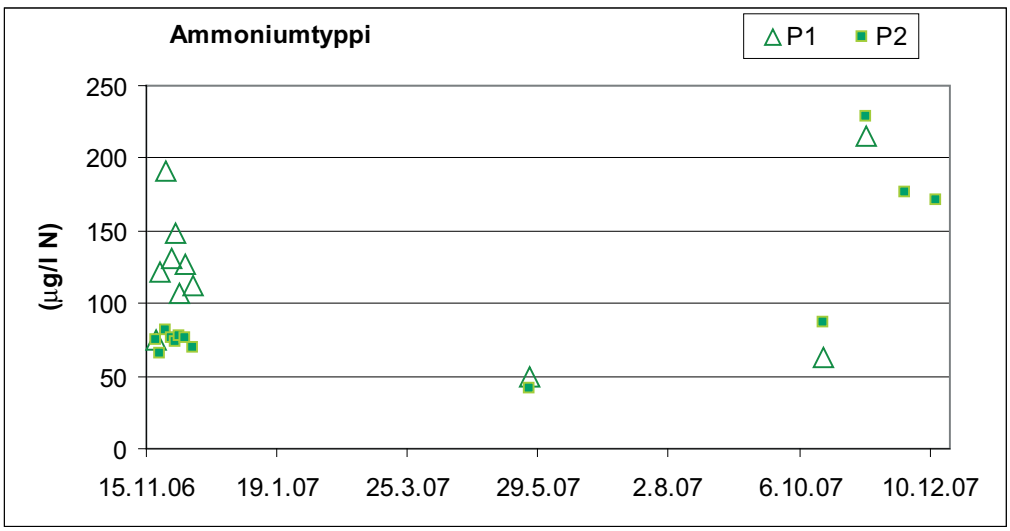


Liite 26b. Lill-Nägels, Typpipitoisuudet.

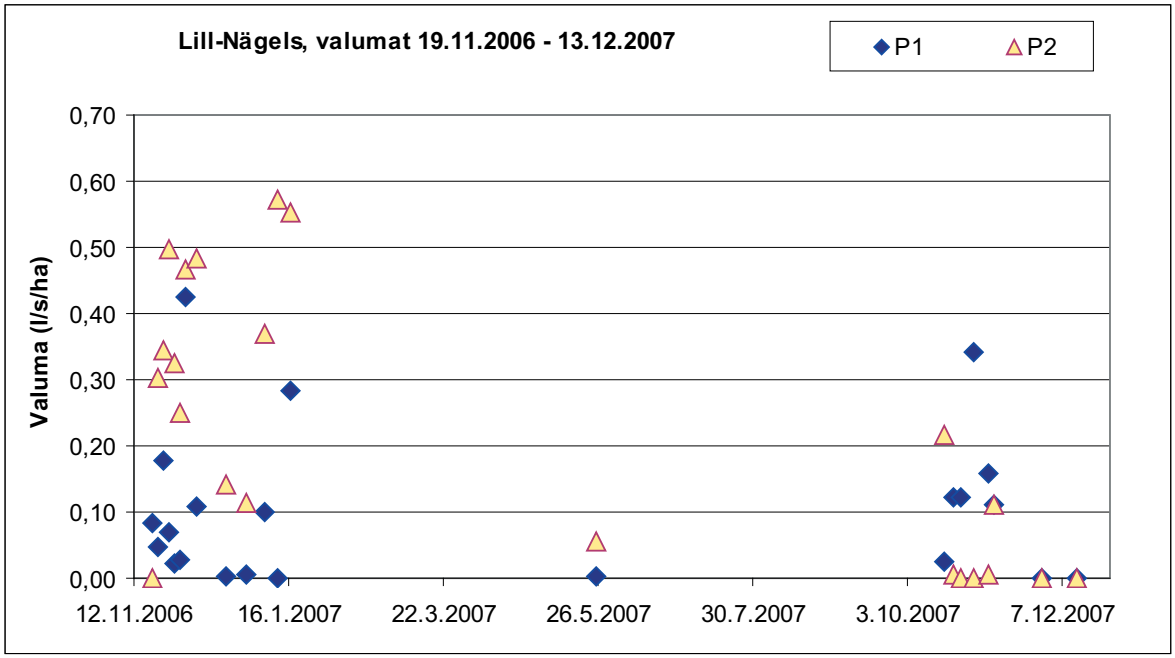
P1 uusintaojitus kesällä 2006 (haketäyttö 2,4 ha), P2 täydennysojitus kesällä 2007 (3,9 ha).



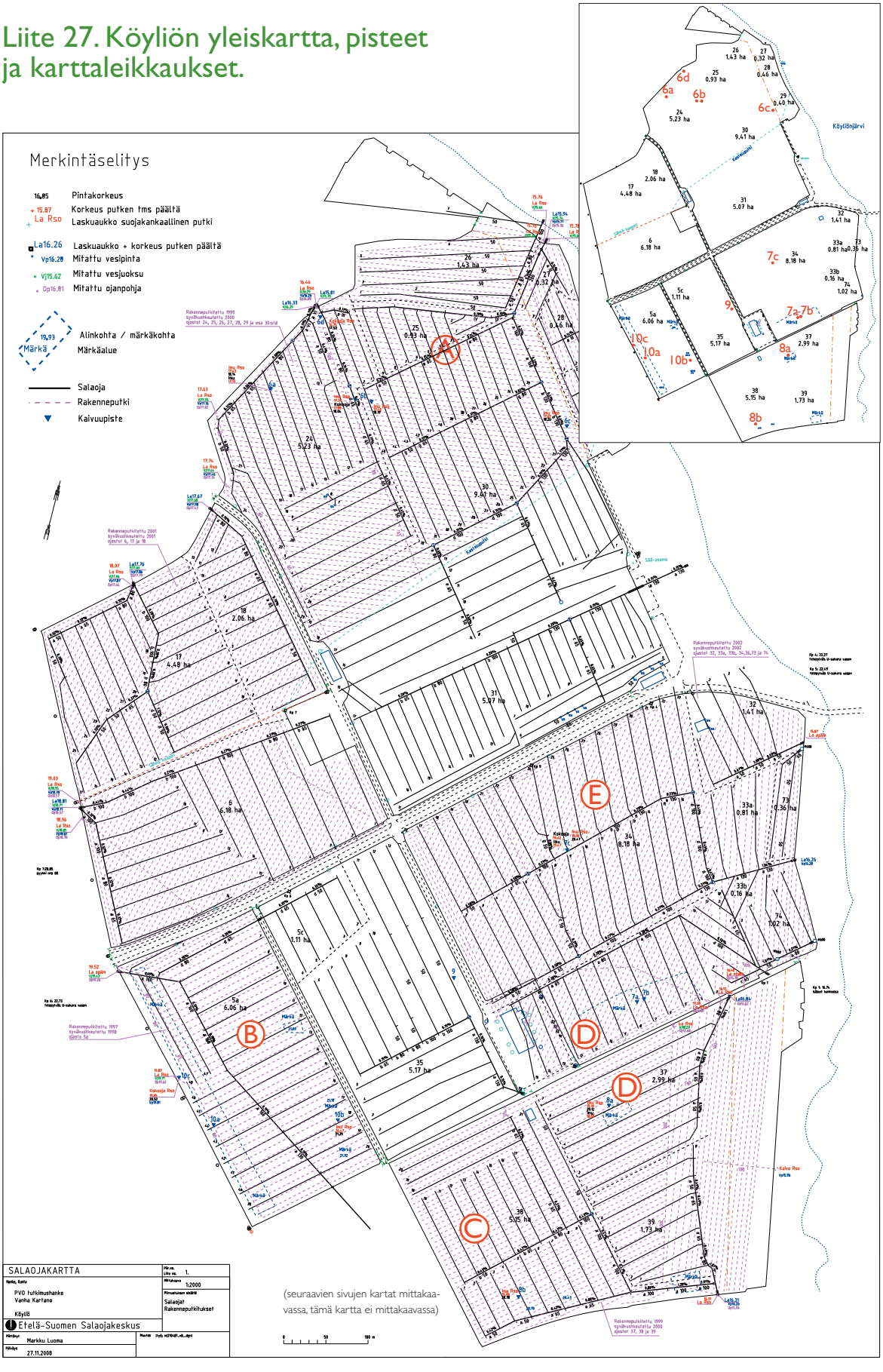


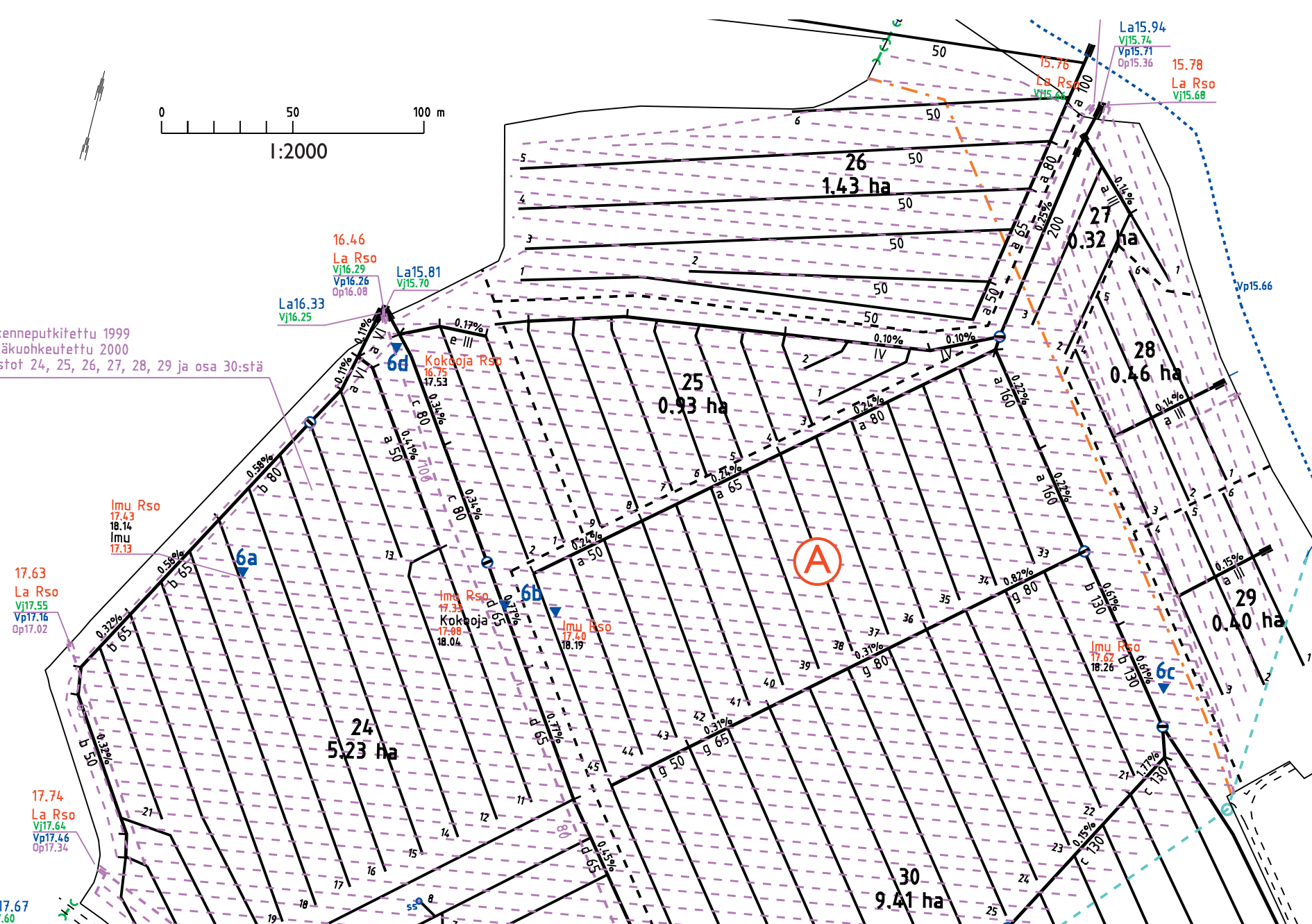


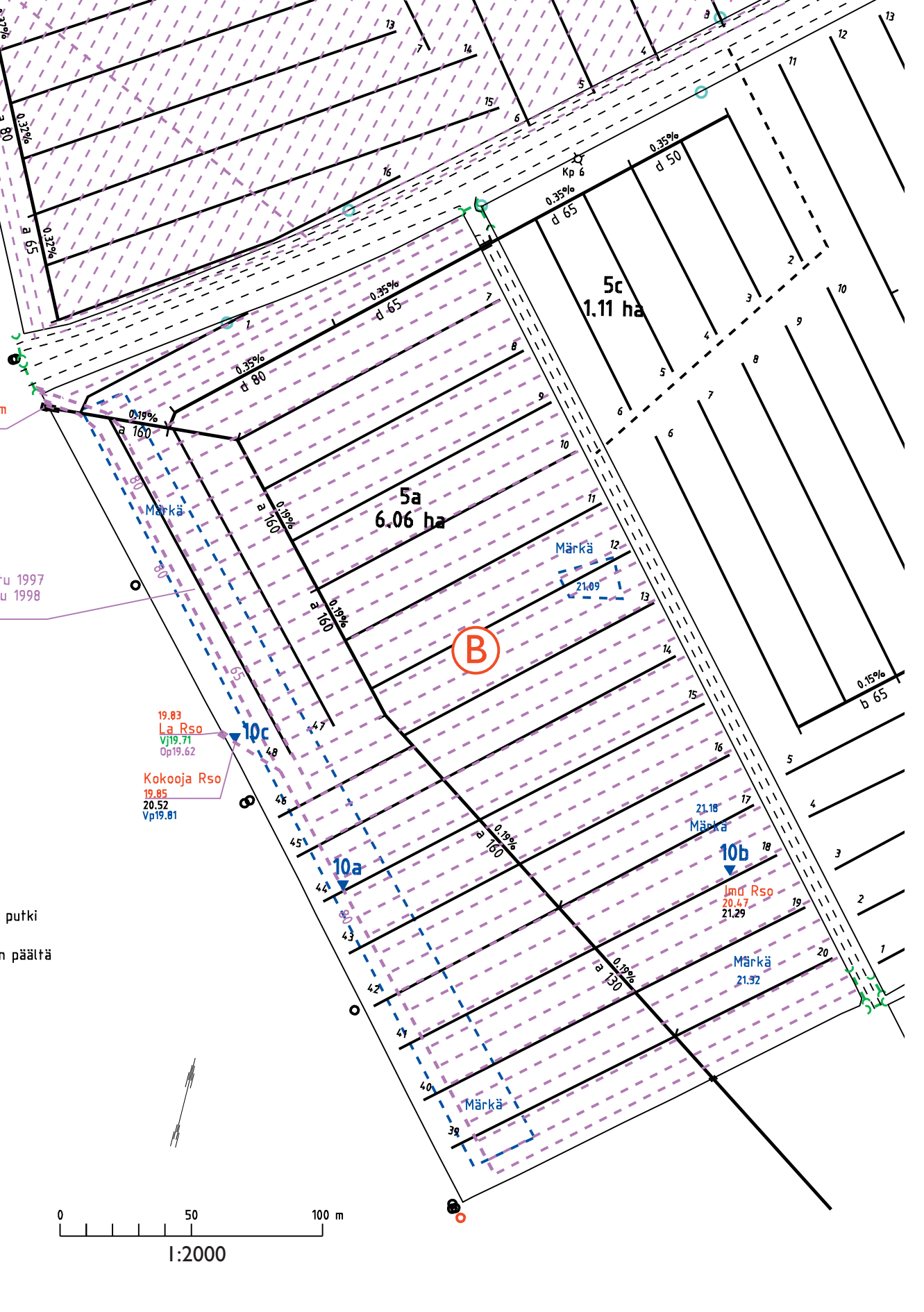
Liite 26c. Lill-Nägels, Valuma.

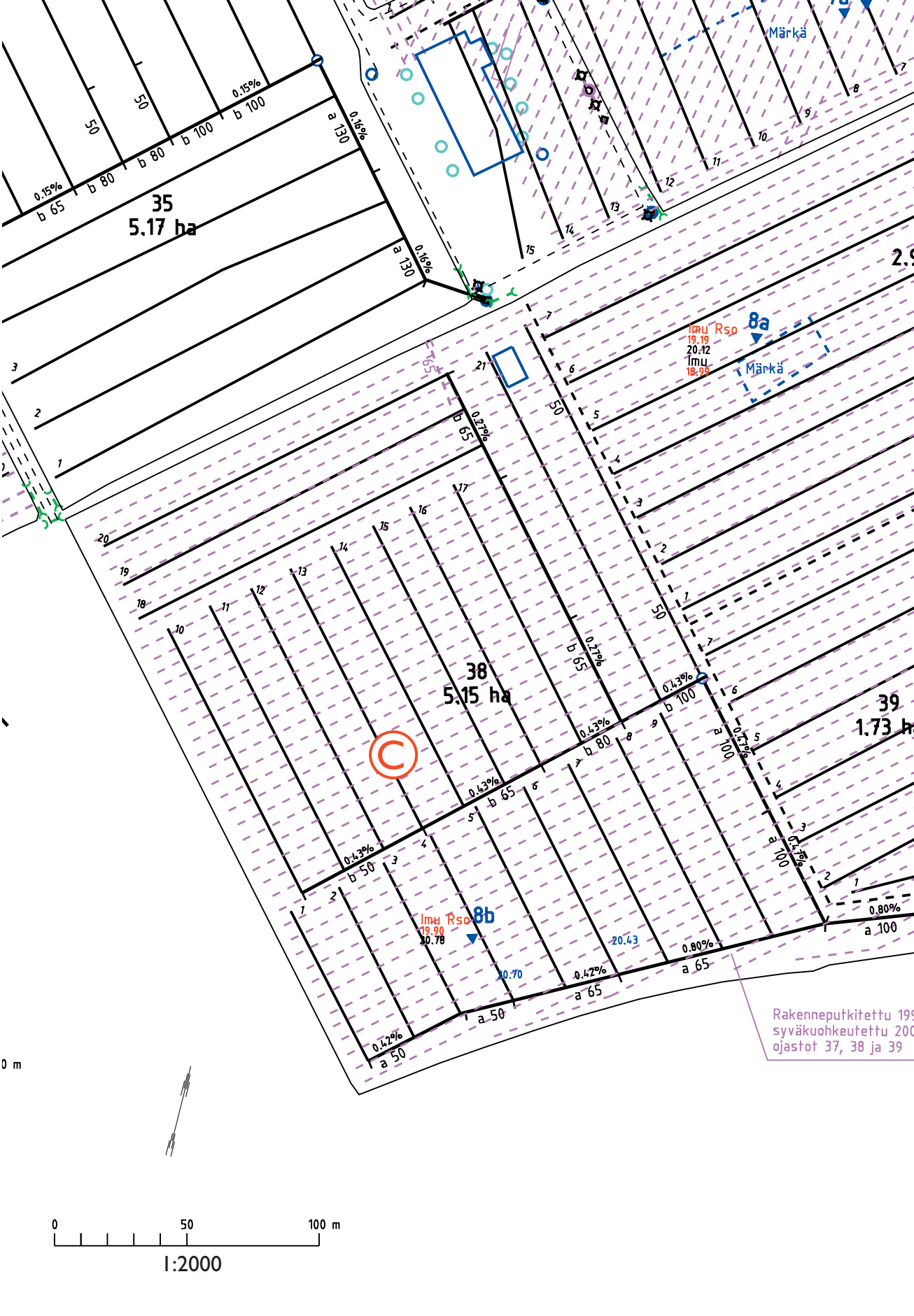


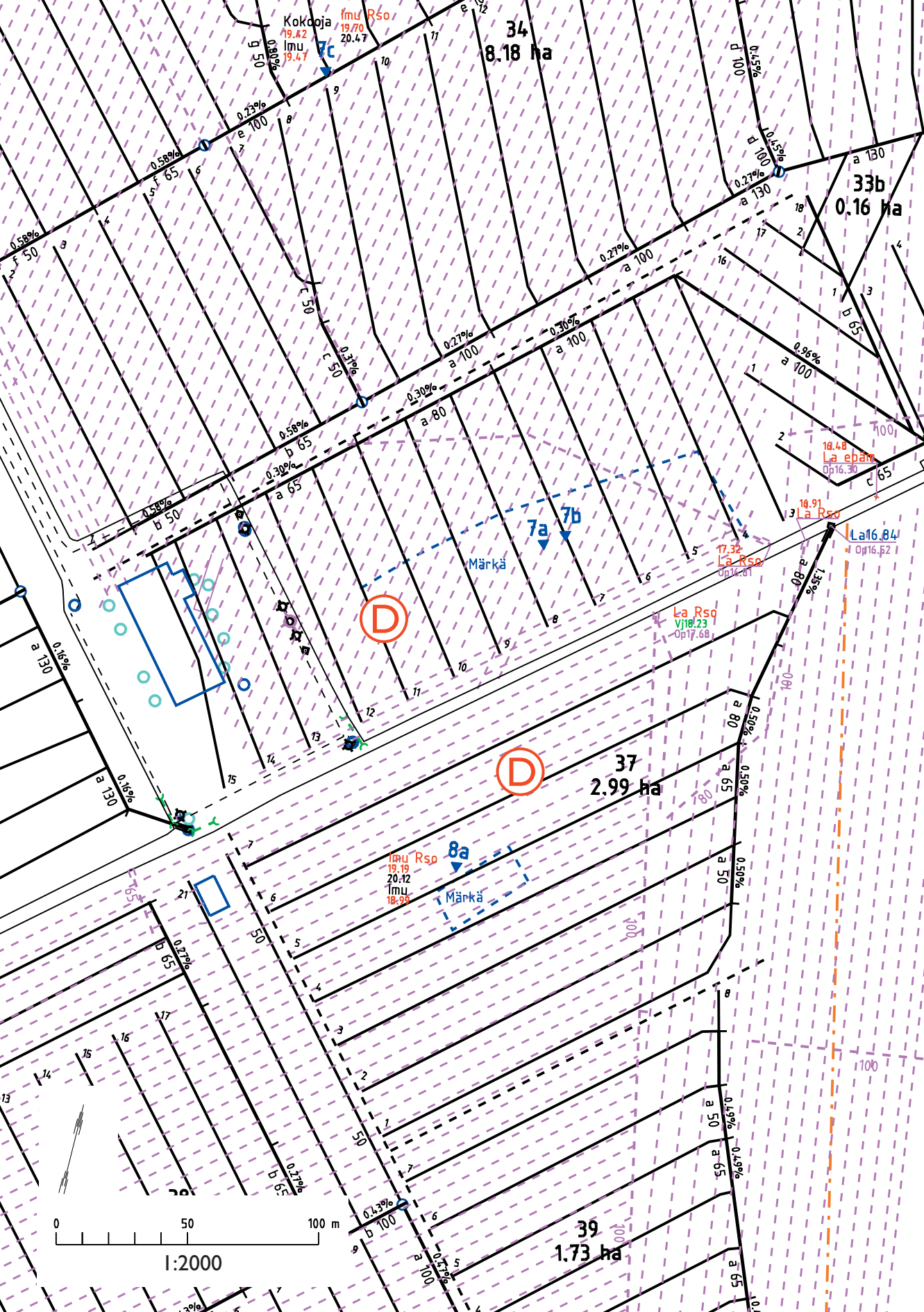
Liite 27. Köyliön yleiskartta, pisteet ja karttaleikkaukset.

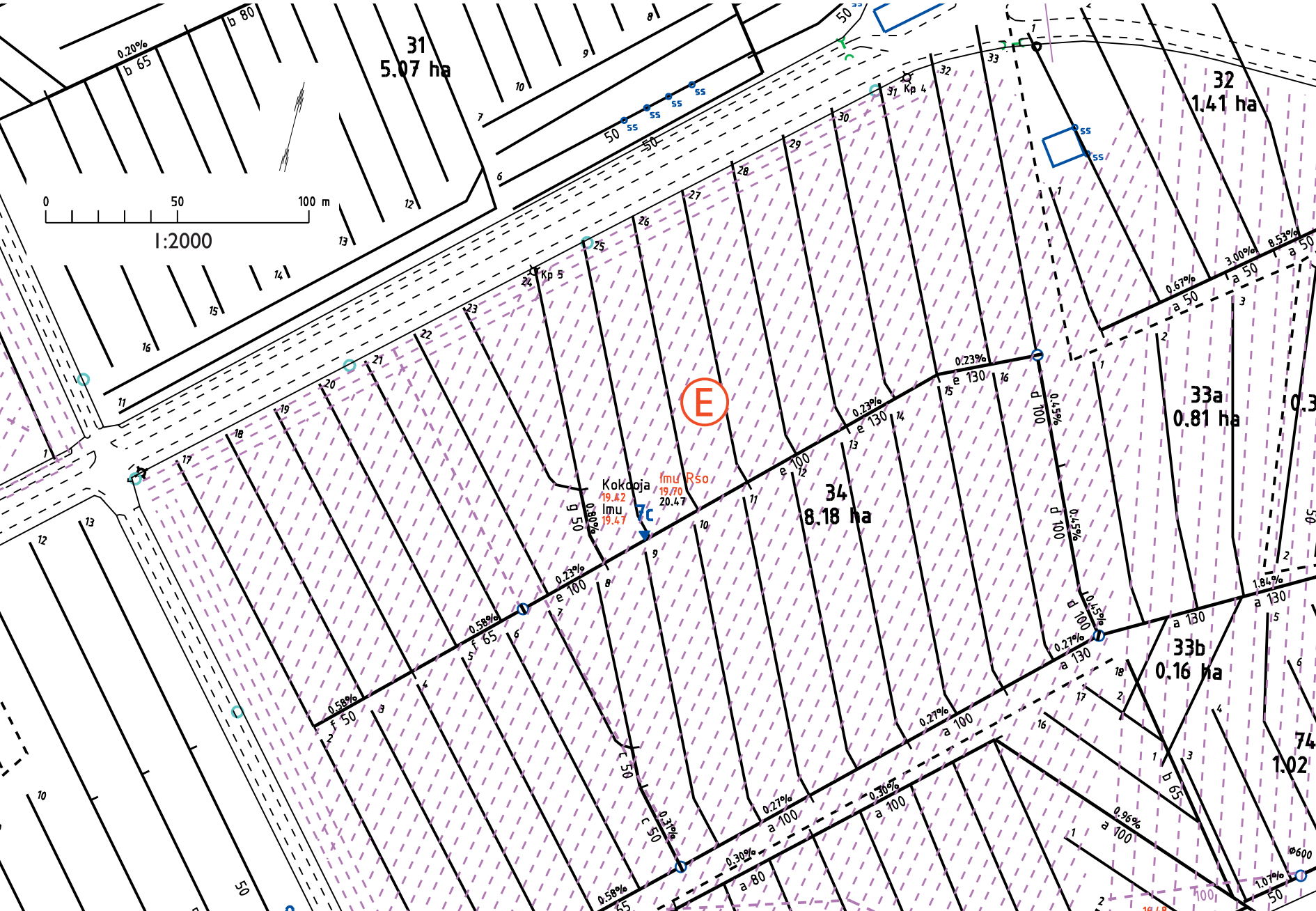



0
50
100 m
1:2000
26
1.43 ha
27
0.32 ha
28
0.46 ha
29
0.40 ha
25
0.93 ha
24
5.23 ha
30
9.41 ha
A
6a
6b
6c
6d
La15.94
Vj15.74
Vp15.71
Op15.36
15.78
La Rso
Vj15.68
15.76
La Rso
Vj15.46
16.46
La Rso
Vj16.29
Vp16.26
Op16.08
La15.81
Vj15.70
La16.33
Vj16.25
Vp15.66
Kokooja Rso
16.75
17.53
Imu Rso
17.43
18.14
Imu
17.13
Imu Rso
17.33
Kokooja
17.08
18.04
Imu Rso
17.40
18.19
Imu Rso
17.62
18.26
17.63
La Rso
Vj17.55
Vp17.16
Op17.02
17.74
La Rso
Vj17.64
Vp17.46
Op17.34
17.67
7.60
cenneputkitettu 1999
äkuohkeutettu 2000
stot 24, 25, 26, 27, 28, 29 ja osa 30:stä


5c
1.11 ha
5a
6.06 ha
B
10a
10b
10c
Märkä
Märkä
Märkä
Märkä
21.09
21.18
21.32
19.83
La Rso
Vj19.71
Op19.62
Kokooja Rso
19.85
20.52
Vp19.81
Jmu Rso
20.47
21.29
Kp 6
d 50
d 65
d 80
a 160
a 130
b 65
0.35%
0.19%
0.15%
0.32%
putki
päältä
0
50
100 m
1:2000


35
5.17 ha
38
5.15 ha
39
1.73 ha
8a
8b
Imu Rso
19.19
20.12
Imu
18.99
Imu Rso
19.90
20.78
Märkä
Märkä
b 65
b 80
b 100
b 50
a 130
a 100
a 65
a 50
0.15%
0.16%
0.27%
0.43%
0.42%
0.80%
20.43
20.70
Rakenneputkitettu 19
syväkuohkeutettu 200
ojastot 37, 38 ja 39
0
50
100 m
1:2000


Kokoojaimu
19.42
19.47
7c
Imu Rso
19.70
20.47
34
8.18 ha
33b
0.16 ha
7a
7b
Märkä
D
La Rso
Vj16.23
Op17.68
17.32
La Rso
Op16.81
16.91
La Rso
16.48
La epäm
Op16.30
La16.84
Op16.62
37
2.99 ha
8a
Imu Rso
19.19
20.12
Imu
18.95
Märkä
39
1.73 ha
0
50
100 m
1:2000



31
5.07 ha
32
1.41 ha
33a
0.81 ha
33b
0.16 ha
34
8.18 ha
0
50
100 m
1:2000
Kokooja
19.42
Imu
19.47
Imu Rso
19.70
20.47
E
Kp 4
Kp 5

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet

1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
2 Salaojitustutkimusta koskevia aiheita (1987)
3 Salaojituskoetoiminnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista (1987)
4 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987–1988 (1988)
5 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa (1989)
7 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 17.9.1988 (1988)
8 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka (1989)
9 Sievin salaojituspäivät 20.–21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista (1989)
10 Maaseudun ympäristöpäivät Laukaalla 21.3 ja Jokioisissa 26.3.1990 (1990)
11 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä rautasaostuman muodostumisesta (1990)
12 Salaojitusnäkymiä maailmalta (1990)
13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
14 Myyräojituksesta (1991)
15 Zaitsevo-koekentän tuloksia (1992)
16 Säätösalaojitus-koekenttien perustaminen (1992)
17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta (1992)
18 Säätösalaojitus-tutkimustuloksia vuosilta 1992–1993 (1993)
19 Agriculture sector reform in the Baltic republics (1995)
20 Maatalouden kehitysnäkymät Baltian maissa lähivuosina (1995)
21 Säätösalaojituksen, uusintaojituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia (1996)
22 Salaojitus ja pellon vesitalous – tavoitteita toimialan kehittämiseksi (1998)
23 Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä (1998)
24 Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä – vuoden 1998 väliraportti (2000)
25 Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä – loppuraportti (2000)
26 Haja-asutuksen jätevedet & Jaloittelutarhojen valumavedet – katsaus vuden 2003 tilanteeseen (2004)
27 Laiduntamisen ja suojavyöhykkeiden vaikutukset pintamaan rakenteeseen ja vesitalouteen (2007)
28 IDW2008 -10th International Drainage Workshop of ICID Working Group on Drainage -seminaarin esitysten suomenkieliset tiivistelmät (2008)
29 Pellon vesitalouden optimointi -hankkeen väliraportti (2008)