

PVO2-hanke
Salaojitustekniikat ja
pellon vesitalouden optimointi
Loppuraportti 2014

Helena Äijö, Merja Myllys, Jyrki Nurminen,
Mika Turunen, Lassi Warsta, Maija Paasonen-Kivekäs,
Emilia Korpelainen, Heidi Salo, Markus Sikkilä,
Laura Alakukku, Harri Koivusalo &
Markku Puustinen



PVO2-hanke

Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi

Loppuraportti 2014

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 31

PVO2-hanke

Salaojitekniikat ja pellon vesitalouden optimointi

Loppuraportti 2014

Helena Äijö, Merja Myllys, Jyrki Nurminen, Mika Turunen,
Lassi Warsta, Maija Paasonen-Kivekäs, Emilia Korpelainen,
Heidi Salo, Markus Sikkilä, Laura Alakukku, Hami Koivusalo
& Markku Puustinen

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

Simonkatu 12 A 11

00100 Helsinki

puh (09) 694 2100

fax (09) 694 2677

Päätoimittaja Helena Äijö

Etukansi Salaojitusta Nummelan koekentällä Jokioisissa. Kuva: Helena Äijö

Taitto Juha Peltomaa

Painopaikka Multiprint Oy, Helsinki 2014

Web www.salaojayhdistys.fi -> julkaisut

ISBN 978-952-5345-29-2

Sisällysluettelo

Esipuhe.....	3
Tiivistelmä.....	4
Abstract	8
1 Johdanto	10
1.1 Tausta	10
1.2 Tavoitteet	10
2 Tutkimusmenetelmät	12
2.1 Nummelan koekenttä	14
2.2 Gårdskulla Gårdin tutkimusalue	16
2.3 Sotkamon koekenttä	16
2.4 Salaojien ympärysaineiden toimivuus	18
2.5 Salaojitusten tilakohtaiset seurantakohteet	20
2.6 Matemaattinen mallintaminen	22
3 Tulokset ja tulosten tarkastelu	26
3.1 Nummelan koekenttä	26
3.2 Gårdskulla Gårdin tutkimusalue.....	58
3.3 Sotkamon koekenttä	70
3.4 Salaojien ympärysaineet	74
3.5 Salaojitusten tilakohtaiset seurantakohteet.....	87
4 Tulokset ja niiden tulkinta	96
4.1 Ojitusmekaniikoiden vaikutukset kuivatukseen, satoon ja maan rakenteeseen.....	96
4.2 Ympärysaine	96
4.3 Valunnat ja ravinnehuuhtoutumat.....	97
5 Johtopäätökset	99
Kirjallisuusviitteet	101
Liitteet	109
Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet.....	126

Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi

Loppuraportti 2014

Esipuhe

Vuosina 2006–2010 toteutettiin tutkimushanke ”Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi” (PVO), jossa selvitettiin eri ympärysaineilla ja ojaväleillä toteutettujen salaojien toimivuutta sekä vaikutuksia satoon, vesistökuormitukseen ja maan rakenteeseen. Hankkeen toinen vaihe, ”Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi” (PVO2), käsitti vuodet 2011–2013.

Tässä loppuraportissa esitetään tutkimushankkeen ”Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi” (PVO2) lähtökohdat, tavoitteet, koalueet, koejärjestelyt, käytetyt tutkimusmenetelmät sekä tulokset ja johtopäätökset.

Luvussa 1 esitetään hankkeen tausta ja tavoitteet ja luvussa 2 käsitellään eri osahankkeissa käytetyt tutkimusmenetelmät. Lukuun 3 on koottu PVO- ja PVO2-hankkeiden tulokset ja niiden tarkastelu. Luvussa 4 on osahankkeiden tulosten tulkinta ja lukuun 5 on kerätty hankkeen johtopäätökset.

Hankkeen ohjausryhmä koostui seuraavista henkilöistä: Katri Vasama puheenjohtaja (MMM), puheenjohtaja 1.1.2012 alkaen Ville Keskisarja (MMM), Anna Schulman (MMM), Hannu Porkola (MMM), Liisa Pietola (MTK), Juha-Pekka Triipponen (Varsinais-Suomen ELY-keskus), Teemu Kokkonen (Aalto-yliopisto), Mika Mikkola (Maveplan Oy) ja Sari Peltonen (ProAgria).

Tutkimus toteutettiin yhteistutkimushankkeena ja siitä vastasi Salaojituksen Tutkimusyhdistys. Tutkimusryhmässä ovat toimineet Helena Äijö tutkimuksen vastuullisena johtajana (Salaojayhdistys), Laura Alakukku (HY), Harri Koivusalo (Aalto-yliopisto), Merja Mylly (MTT), Maija Paasonen-Kivekäs (Sven Hallinin tutkimussäätiö), Markku Puustinen (SYKE), Jyrki Nurminen (Salaojayhdistys), Lassi Warsta (Aalto-yliopisto), Mika Turunen (Aalto-yliopisto), Emilia Korpelainen (Salaojayhdistys/Aalto-yliopisto), Markus Sikkilä (Helsingin yliopisto) ja Heidi Salo (Aalto-yliopisto).

PVO2-hanketta ovat rahoittaneet Salaojituksen Tukisäätiö, maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja vesiteknikan tuki ry. ja hankkeen toteutuksesta vastanneet laitokset: Salaojayhdistys, MTT, Aalto-yliopisto, SYKE, Helsingin yliopisto ja Sven Hallinin tutkimussäätiö. Vuoden 2010 mittausten rahoituksesta vastasi Salaojituksen Tukisäätiö.

Kiitämme kaikkia myönteisestä suhtautumisesta tutkimushankkeeseen ja hankkeen hyväksi tehdystä työstä sekä tutkimuksen rahoittajia. Erityiskiitokset esitämme tutkimuksessa mukana olleiden maatalojen isäntävälle myönteisestä suhtautumisesta hankkeeseen sekä MTT:n ja Aalto-yliopiston kenttä- ja laboratoriohenkilöille.

Tiivistelmä

Salaojitusmekaniikat ja pellon vesitalouden optimointi (PVO ja PVO2) -hankkeissa tutkittiin salaojan ympärysaineen ja ojavälin vaikutuksia pellon kuivatustilaan, satoon, ravinnehuuhtoumiin ja maan ominaisuuksiin. Ensimmäisen vaiheen lopuraportti julkaistiin vuonna 2010. Toinen vaihe (PVO2) käsitti vuodet 2011–2013 ja koostui kokeellisesta tutkimuksesta ja matemaattisesta mallintamisesta. Hankkeessa jatkettiin PVO-hankkeessa perustettujen koekenttien ja tilakohteiden seurantaan sekä ympärysaineen tutkimista.

Nummelan koekentällä Jokioisissa tutkittiin kahden alun perin 16 metrin ojavälin alueen uusinta- ja täydennysojitusta. Uusintaojitetun alueen (ohut suodatinkangas ympärysaineena, aurasalaojakone) ojaväliksi tuli kuusi metriä ja perinteisesti täydennysojitetun alueen (ympärysaineena sora, kaivava salaojakone) kahdeksan metriä. Uusintaojitettu alue syväkuohkeutettiin noin puolentoista vuoden kuluttua ojituksesta. Vertailualueina käytettiin jo aikaisemmin 16 metrin ja 32 metrin ojaväleillä ojitettuja alueita. Gårdskulla Gårdin tutkimusalue Siuntiossa käsitti kaksi kaltevuodeltaan erilaista peltolohkoa, jotka oli salaojitettu 1940-luvulla. Nummelan ja Gårdskulla Gårdin koekentillä mitattiin pinta- ja salaojavaluntaa sekä valumavesien pitoisuuksia. Mittausten perusteella laskettiin peltoalueilta tulevia pitkän ajan kiintoaine- ja ravinnekuormituksia. Lisäksi Nummelan koekentälle laskettiin sekä vuotuinen typpitase että kasvukauden ja sen ulkopuolisen ajan typpitaseet. Nummelan koekentällä mitattiin myös sadon määrää ja laatua sekä ojituksen vaikutuksia maan rakenteeseen. MTT:n koekentällä Sotkamossa tutkittiin jankkuroinnin merkitystä salaojituksen tehostajana viljan- ja nurmenviljelyssä.

Hankkeessa oli mukana yhdeksän yksityisillä tiloilla sijaitsevaa peltolohkoa, jotka on ojitettu käyttämällä tavanomaisesta poikkeavaa salaojitusmenetelmää. Tutkimuslohkoilla seurattiin ojituksen vaikutusta maan rakenteeseen ja kerättiin viljelijöiden kokemuksia menetelmistä.

Eri esipäälysteiden soveltuvuutta salaojituksen ympärysaineeksi selvitettiin kaivamalla esille noin kymmenen vuotta vanhoja ohuella suodatinkankaalla tai kookoskuidulla tehtyjä ojituksia, joissa oli esiintynyt märkyysongelmia. Tutkittavat kohteet olivat savi- tai hietamailla. Maaperää tutkimalla selvitettiin onko maalajilla ja esipäälysteen hajoamisella yhteyttä putken liettymiseen. Kirjallisuuden mukaan toimivan salaojituksen edellytys on, että ympärysaineen paksuus ja huokosjakauma noudattavat tiettyjä kriteerejä suhteessa ympäröivään maahan. Lisäksi hyödynnettiin Nummelan koekentän, tilakohtaisten seuranta-kohteiden sekä mallintamisella tuotettuja aineistoja.

Koekenttien aineistojen mallisovellukset perustuivat numeerisen FLUSH-laskentamallin käyttöön. Mallin avulla voidaan tarkastella salaojitettujen savipeltojen vesitasetta, eroosiota sekä typhen liikkeitä kolmiulotteisesti. Mallilla selvitettiin salaojitusmenetelmien vaikutusta kasvukaudella Nummelan pellon vesitaseeseen. Mallia sovellettiin myös Gårdskulla Gårdin pellon aineistoon laskemalla kaltevuuden vaikutusta vesitaseeseen ja kiintoainekuormaan.

Molemmat Nummelassa tutkitut ojitusmenetelmät tehostivat alueiden kuivatusta, mikä näkyi vertailualueita alempana pohjavedenpinnan syvyytenä ja pienempänä muokkauskerroksen kosteutena. Salaojituksen tehostaminen ei vielä runsaan vii-

den vuoden aikana merkittävästi vaikuttanut maan rakenteeseen. Sotkamon koekentällä jankkuroinnin ei havaittu aiheuttavan merkitseviä eroja nurmi- tai viljasaatojen määrään.

Nummelan koekentällä sadon määrässä tai laadussa ei havaittu systemaattisia eroja 6, 8 ja 16 metrin ojavälien välillä. Sato oli keskimäärin pienin 32 metrin ojavälillä. Yhtenäisten koeolosuhteiden varmistamiseksi kaikki koealueet oli kylvetty samaan aikaan märimmänkin lohkon kuivuttua. Käytännön viljelyssä lohkoille mennään kuitenkin niiden kuivumisen kannalta optimaaliseen aikaan, jolloin ojitustavan tai ojavälin vaikutus satotasoon tulee mahdollisesti selvemmin esille. Eri ojitusmenetelmien vaikutuksista ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumiin ei saatu yksikäsitteisiä tuloksia. Uusinta- ja täydennysojitus lisäsivät typen huuhtoutumista heti ojituksen jälkeisinä vuosina erityisesti aurasalajakoneella tehdyssä ojituksessa.

Ravinne- ja kiintoainekuormat savipelloilla vaihtelivat huomattavan paljon eri vuosien välillä. Vuotuiset kokonaisfosforikuormat salaojista Nummelan ja Gårdskullan Gårdin tutkimusalueilla vaihtelivat välillä 0,1–3,9 kg ha⁻¹, kokonaistyyppi-kuormat välillä 1–29 kg ha⁻¹ ja kiintoainekuormat välillä 170–2 400 kg ha⁻¹. Valtaosa Nummelan ja Gårdskulla Gårdin tutkimuslohkojen huuhtoutumista tuli runsaan salaojavalunnan mukana kasvukauden ulkopuolisena aikana. Huomionarvoista on, että myös kaltevilla pellolla (kaltevuus 5 %) salaojavalunta sekä sen mukana tulleet ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumat olivat suuret. Maatalouden vesiensuojelussa tulisikin kiinnittää enemmän huomiota peltoalueilla tehtäviin toimenpiteisiin, joilla voidaan vähentää sekä pinta- että salaojavalunnan pitoisuuksia. Mallintamistulosten perusteella pohjavesivalunta savisilla peltoalueilla oli merkittävää, mikä tulisi ottaa huomioon vesitasetta ja kokonaiskuormitusta arvioitaessa.

Koealueiden mittaukset osoittivat, että muokkauskerroksen fosforiluvut alenivat pikku hiljaa fosforilannoituksen lopettamisen myötä, mutta se ei näkynyt valumavesien fosforipitoisuuksissa. Tämä saattaa johtua alhaisista fosforiluvuista ja viljelysuunnan muuttamisesta. Typpitaselaskelmista ilmeni, että peltoon tulleesta typpimäärästä valumavesien mukana huuhtoutuvan kokonaistypen osuus oli keskimäärin noin 10 % ja sadon ottama typpimäärä vaihteli välillä 35–90 %.

Tilakohtaisilla seurantakohteilla, joissa salaojitus tehtiin perinteisestä ojituksesta poikkeavilla menetelmillä, lisäojitukset paransivat haastattelujen perusteella maan kuivatustilaa. Kaikki käytetyt ojitustekniikat olivat toimineet hyvin kuuden vuoden tutkimusajanjakson ajan. Maan rakenteessa oli yleensä havaittavissa pientä parannusta.

Tutkimusosio, jossa kaivettiin esille vanhoja salaojituksia (5–32 vuotta) osoitti, että pääosin orgaaninen suodatinkangas ja kookoskuitu olivat osittain tai kokonaan hajonneet. Kun esipäällyste oli hajonnut liettymiä esiintyi hyvää suodatinominaisuutta vaativilla mailla suurimmassa osassa tutkimuskohteita. Maa-ainesta oli kertynyt putkeen myös kohteissa, joissa hyvää suodatinominaisuutta omaavaa ympärysainetta ei teorian mukaan korkean savespitoisuuden takia tarvittaisi. Liettymistä ei esiintynyt esille kaivetuissa salaojaputkissa karkeilla mailla, vaikka esipäällyste oli hajonnut. Orgaanisten esipäällysteiden käyttöä tulisi välttää maassa, jossa olosuhteet aiheuttavat orgaanisten aineiden hajoamista ja joka on herkkä liettymiselle. Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella valtioneuvoston asetuksessa (VNA 978/2010) salaojituksen tukemisesta esitettyjä laatuvaatimuksia ei ole syytä muuttaa.

Tutkimus osoitti, että toimiva salaojitus on mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla. Ojaväli, ojasyvyys, ympärysaineen laatu ja paksuus, toteutusajankohta sekä ojituksessa käytetty konetyyppi vaikuttavat pellon vesitaseen komponentteihin, veden ja ravinteiden kulkeutumisreitteihin maaperässä ja sitä kautta kuivatus-tilaan ja ravinnehuuhtoutumiin. Ojitustekniikoiden valintoihin vaikuttavat monet tekijät, kuten paikalliset olosuhteet, soran hintataso ja konetyyppien tarjonta sekä muut ojituksen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät.

Peltomittakaavan kokeet ovat välttämättömiä salaojitusmenetelmien tutkimuksessa. Koealueiden epähomogeenisuus, kuten vaihtelut maan ominaisuuksissa, topografiassa yms. aiheuttavat epävarmuutta tulosten tulkinnassa. Pitkät havaintosarjat ennen ja jälkeen toimenpiteiden toteuttamista parantavat tulosten luotettavuutta. Kolmiulotteisella matemaattisella mallilla voidaan tutkia peltoalueen hydrologiaa, analysoida mittausaineistoja ja arvioida eri ojitusmenetelmien vaikutuksia laskennallisesti.

Asiasanat: salaojitus, ojaväli, ympärysaine, ravinnehuuhtoumat, sato, matemaattinen mallintaminen

Abstract

The effect of envelope material and drain spacing on field drainage, crop yield, nutrient transport and soil structure was studied in the *Field drainage methods and optimizing water management of agricultural fields* (PVO) project. The final report of PVO was published in 2010. The second phase (PVO2) included the years 2011–2013 and consisted of both experimental research and mathematical modeling. In the project, monitoring of the three experimental field sites, evaluation of on-farm field drainage systems and research on different envelope materials were continued.

In Nummela experimental site, in south-western Finland, drainage methods were studied in two heavy clay field areas with an original drain spacing of 16 m. New drains were installed (using a plow and a thin textile envelope) with a drain spacing of 6 m in one of the areas. In another area the drain spacing was decreased to 8 m by adding new drains (using a trencher and gravel as envelope material) between the old drain lines. Two field sections with drain spacings of 16 m and 32 m were used as reference plots. Gårdskulla Gård experimental site, in southern Finland, consisted of two field sections with slopes of 1 and 5%. The fields were silty clay and subsurface drained in 1940s. Depth of groundwater table, drainflow and tillage layer runoff and concentrations of nutrients and suspended solids in runoff waters were measured from each field section in both experimental sites. In Nummela, soil moisture (0–30 cm layer), crop yield and quality were also measured, and physical, hydraulic and chemical soil properties were determined in autumn 2006 and again in autumn 2013. The effects of subsoiling on drainflow and grain crop and grass cultivation were investigated in the Sotkamo field site, in northern Finland.

Suitability of different prewrapped envelope materials to drainage of clay and sandy soils were examined with field investigations. Organic coconut prewrapping and thin fabric sheet were studied by excavating 5–32 year old subsurface drains in different parts of Finland. The effect of soil texture and decay of prewrapped envelope material on the siltation of the drains was also studied.

Water balances of the Nummela and Gårdskulla Gård field sections were studied with applications of the three dimensional (3D) mathematical model FLUSH. The model describes hydrological processes in macroporous clayey soil and simulates the water balance components of the field. The model also includes erosion and solute transport submodels. The model simulations were used to estimate the quantity of tillage layer runoff, evapotranspiration, drain discharge and groundwater outflow under different field and hydro-meteorological conditions. Nitrogen reactions and leaching after harvest in autumn were also studied with the model. Annual and seasonal nitrogen balances were calculated for the Nummela site using the data.

Both drainage methods increased the effectiveness of drainage as the groundwater table levels and the soil moistures in the tillage layer were lower than in the reference areas of the Nummela site. Nitrogen leaching increased from both areas especially in the first year following the improved drainage. The renewed drainage had no clear effect on soil structure during the first six years. Also, there were no systematic differences in the crop yield between the 6, 8 and 16 m drain spacings. On average the crop yield and quality were lower in the area with 32 m drain spacing. Subsoiling did not have a clear effect on the crop yield, but during the

autumn the water table levels in the subsoiled field remained slightly lower than in the non-subsoiled field.

The nutrient and suspended solid loads from the clayey fields varied considerably between the different years. Major part of the loads from Nummela and Gårdskulla Gård fields were observed during the high drain discharge and surface runoff events outside the growing season. The annual loading came primarily from the tile drains. In the subsurface drainflow, the annual load of total P varied from 0.1 to 3.9 kg ha⁻¹, total N from 1 to 29 kg ha⁻¹, and suspended solids from 170 to 2 400 kg ha⁻¹. It should be noted that the drain discharge and the associated nutrient and suspended solid loads were also high from the field with a relatively steep slope (5%). Water pollution control measures from field cultivation needs more attention on reduction of concentrations both in tillage layer runoff and drainflow.

According to the modeling results the groundwater outflow from the clayey fields was substantial. This should be considered in the estimation of the total loads to surface water bodies. The model simulations also showed that topography of a field section and its surroundings had a remarkable effect on groundwater flow and drainflow generation, which should be taken into account in drainage design.

No clear connection between the amount of soil soluble phosphate phosphorus in the tillage layer and the PO₄-P concentration in the tillage layer runoff and drain discharge was observed in the Nummela and Gårdskulla Gård field sites. The soil phosphorus concentrations were slowly decreasing after the mineral P fertilization was stopped in all the fields. However, no reduction of phosphate phosphorus concentration was observed in the tillage layer runoff or drain discharge. The possible change was partly imbedded by change from grain crop production to pasture.

The textile envelope material and coconut fibre had mostly decayed in the study sites situated in different parts of Finland. When the envelope around the drain pipe had decayed, silting was observed in most of the studied soils, which required an envelope material with good filtration properties. However, silting was also found in the pipes located in the soils with high clay content, which according to the theory should not require envelope material with good filtration properties. Use of organic envelope materials should be avoided in soils where organic materials are in risk of decaying and drainage pipes are susceptible to silting.

The study showed that there are many different ways to achieve effective subsurface drainage. The drain spacing, drain depth, quality and thickness of the envelope material, the timing of subsurface drainage and the type of installation machine affect the water balance components and flow paths in the soil and thus also the drainage conditions and nutrient transport.

Field scale studies are necessary in the research of subsurface drainage methods. The non-homogeneity of experimental areas, e.g. the differences in soil properties and field topography, causes uncertainties in the interpretation of the measurement results. However, long-term data before and after operations will increase the reliability of the field-scale results. 3D mathematical models can be used to study field hydrology, to analyze the measured data and to estimate the effects of subsurface drainage methods computationally.

Key words: subsurface drainage, drain spacing, envelope material, nutrient transport, crop yield, mathematical modeling

I Johdanto

I.1 Tausta

Vuoden 2005 syksyllä alkoi vilkas keskustelu salaojituksen, erityisesti salaojien ympärysaineen ja esipäällysten laatuvaatimuksista. Vuonna 2006 MMM:n asettama työryhmä ”Valtion varoin tuettavan salaojituksen ehdot–peltoviljelyn ravinnepäästöjen vähentäminen” antoi mietintönsä (MMM:n työryhmämuistio 2006:3). MMM:n esityksestä Salaojayhdistyksen PVO-tutkimushankkeeseen lisättiin kohta, jossa tutkitaan ohuempaa esipäällystettä kuin MMM:n silloisessa asetuksessa edellytettiin. Valtioneuvosto antoi asetuksen (322/2006) tutkimushankkeeseen kuuluvan salaojituksen tukemisesta. Sen mukaan ojituksille, jotka eivät täytä laatuvaatimuksia mutta hyväksytään mukaan PVO-tutkimushankkeeseen, voidaan myöntää investointitukea. Edellä mainitulla osatutkimuksella vahvistettu PVO-hanke alkoi kesällä 2006. Asetuksen mukaisesti tutkimukseen mukaan tulleet viljelijät ovat sitoutuneet olemaan mukana tutkimuksessa kahdeksan vuotta.

PVO-tutkimushanke toteutettiin vuosina 2006–2010. Hankkeessa selvitettiin eri ympärysaineilla ja ojaväleillä toteutettujen salaojien toimivuutta sekä vaikutuksia satoon, vesistökuormitukseen ja maan rakenteeseen. Hanketta rahoittivat Salaojituksen Tukisäätiö, maa- ja metsätalousministeriö ja hankkeen toteutuksesta vastanneet laitokset: Salaojayhdistys, MTT, Aalto-yliopisto, SYKE, Helsingin yliopisto ja Sven Hallinin tutkimussäätiö. Tutkimus painottui koekenttien perustamiseen sekä niillä tehtyihin mittauksiin ja eri salaojitusmenetelmien seurantaan useilla peltoalueilla. Salaojitusmekaniikoiden toiminnasta ja vaikutuksista ei PVO-hankkeessa saatu vielä yksikäsitteisiä tuloksia, koska täydennysojituksen jälkeen koalueita oli mahdollista seurata vain vajaat kaksi vuotta. Hankkeen väliraportti ilmestyi vuonna 2008 (Vakkilainen ym. 2008) ja loppuraportti toukokuussa 2010 (Vakkilainen ym. 2010).

PVO2-hanke (2011–2013) jatkoi PVO-hankkeesta käynnistettyä kokeellista tutkimusta, ja uuden hankkeen myötä kerättiin pitkän ajan kokeellinen aineisto vesitaseesta ja ravinnehuuhtoumista usealta eri peltolohkolta. Kahden hankkeen turvin kerätty tiheästi mitattu aineisto loi pohjaa hankkeen laajentamiseen kokeellisesta tutkimuksesta koalueiden hydrologian matemaattiseen mallintamiseen. PVO2-hanke sisältää täten monipuolisen katsauksen sekä tehtyihin mittauksiin, että niiden taustalla oleviin tekijöihin.

I.2 Tavoitteet

Kuudesta osatutkimuksesta koostuvan PVO2-hankkeen tavoitteet olivat:

1. Selvittää salaojien eri ympärysaineiden ja eri ojavälien vaikutuksia ravinnehuuhtoumiin, satoon ja maan rakenteeseen.
2. Tutkia aikaisempaa laajemmin vanhojen salaojitusten toimivuutta eri maalajeissa
3. Tuottaa tietoa kuivatustehokkuuden ja jankkuroinnin vaikutuksesta satoon ja maan rakenteeseen.

4. Selvittää pinta- ja salaojavalunnan suhteet, veden ja ravinteiden kulkeutumisreitit ja eroosioon vaikuttavat mekanismit erilaisissa hydrologisissa olosuhteissa mittausaineistoja ja matemaattista mallintamista hyväksi käyttäen.
5. Tuottaa tietoa mittausaineiston ja matemaattisten mallien avulla ravinnehuuhtoumiin ja satoon vaikuttavien tekijöiden, kuten kuivatus- ja viljelytoimenpiteiden, maaperän ominaisuuksien ja sääolosuhteiden, merkityksestä.
6. Selvittää eri salaojitustekniikoiden käyttökelpoisuus ja kannattavuus ja tuottaa niiden pohjalta suosituksia ojituksen suunnittelua ja toteutusta varten.

Tavoitteena oli kaiken kaikkiaan tuottaa tietoa kasvintuotannon, maan kuivatuksen ja vesiensuojelun suunnittelua varten siten, että turvataan satotaso ja sadon laatu ja minimoidaan vesistökuormitus.

2 Tutkimusmenetelmät

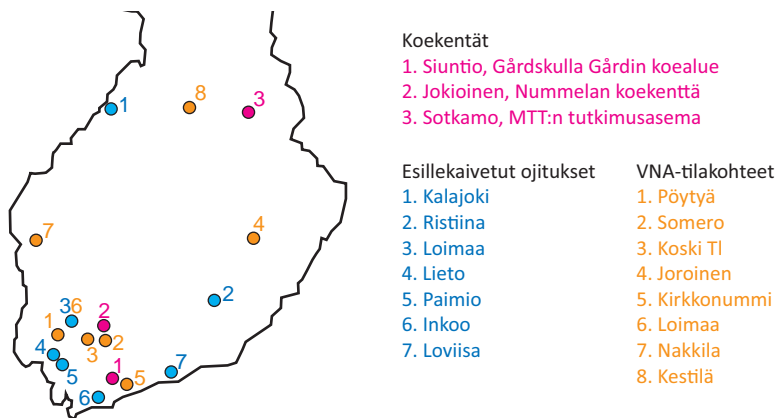
Tutkimushanke koostui kokeellisesta tutkimuksesta ja matemaattisesta mallintamisesta. Hankkeen tutkimusaiheet sekä mittaukset ja laskentamenetelmät on esitetty taulukossa 2.1. Hankkeen koekentät ja tutkimusalueet on esitetty kuvassa 2.1.

Tutkimuksessa jatkettiin PVO-hankkeessa perustettujen koekenttien ja tilakoh-
teiden seurantaa.

Nummelan koekentällä Jokioisissa tehtiin PVO-hankkeessa yhdelle koalueelle täydennysojitus kaivavalla salaojakoneella ympärysaineena sora ja toiselle uusinta-
ojitus aurasalaojakoneella ympärysaineena ohut suodatinkangas. Uusinta-
ojitettu alue syväkuohkeutettiin noin puolentoista vuoden kuluttua ojituksesta. Gårdskul-
lan Gårdin tutkimusalue käsitti kaksi kaltevuodeltaan erilaista peltolohkoa, jotka
oli salaojitettu 1940-luvulla.

Molemilla kentillä mitattiin PVO-hankkeessa pinta- ja salaojavaluntaa sekä
valumavesien pitoisuuksia, ja mittaukset jatkuivat PVO2-hankkeessa. Mittausten
perusteella laskettiin peltoalueilta tulevia pitkän ajan kiintoaine- ja ravinnekuor-
mituksia. Nummelan koekentällä jatkettiin mittauksia myös sadon määrästä ja laa-
dusta sekä ojituksen vaikutuksista maan rakenteeseen. MTT:n koekentälle Sotka-
mossa oli PVO-hankkeessa perustettu jankkurointikoe, jossa seurattiin jankkuroin-
nin vaikutusta maan rakenteeseen ja satoon.

Eri ympärysaineiden soveltuvuutta selvitettiin PVO2-hankkeessa kaivamalla
esille vanhoja ojituksia ja hyödyntämällä Nummelan koekentän, tilakohtaisten seu-
rantakohteiden sekä mallintamisella tuotettuja aineistoja. Savi- ja hietamailla esille
kaivettiin noin kymmenen vuotta vanhoja ojituksia, joissa ympärysaineena oli käy-
tetty suodatinkangasta tai kookoskuitua. Koekuopista kerättiin maanäytteitä rakei-
suuskäyrien määrittystä varten ja tehtiin havaintoja ympärysaineen hajoamisesta ja
putken liettymisestä. Nummelan koekentällä arvioitiin soran ja ohuen suodatin-
kankaan soveltuvuutta ympärysaineeksi savimaalla mittaamalla salaojavaluntaa ja
ravinnehuuhtoutumia sekä tutkimalla muutoksia maan rakenteessa. Tilakohtaisina



Kuva 2.1. Koekentät ja tutkimusalueet.

seurantakohteina oli mukana kymmenen yksityisillä tiloilla sijaitsevaa peltolohkoa, jotka on ojitettu käyttämällä tavanomaisesta poikkeavaa salaojitusmenetelmää.

Koekenttien aineistojen mallisovellukset perustuivat numeerisen FLUSH-laskentamallin (Warsta, 2011) käyttöön. Mallin avulla voidaan tarkastella salaojitettujen savipeltojen vesitasetta, eroosiota sekä aineiden liikkeitä. FLUSH-mallin kehitystä jatkettiin PVO2-hankkeessa ja mallilla selvitettiin salaojitusmenetelmien vaikutusta kasvukaudella Nummelan pellon vesitaseeseen. Mallia sovellettiin myös Gårdskulla Gårdin pellon aineistoon laskemalla kaltevuuden vaikutusta vesitaseeseen ja kiintoainekuormaan. FLUSH-malliin lisättiin myös maan lämpötila ja talviajan kuvaamisen tarvittavat prosessit sekä geneerinen aineiden kulkeutumiskomponentti, jota sovellettiin typen prosessien kuvaamiseen Nummelan pellolla kasvukauden jälkeisinä syksyinä.

Taulukko 2.1. PVO2-hankkeen tutkimusaiheet sekä mittaukset ja laskentamenetelmät eri osioissa

Tutkimusaihe	Nummelan koekenttä	Gårdskulla Gårdin tutkimusalue	Sotkamon koekenttä	Ympärys-aineet	Tilakohteet
Valentakomponentit	x	x			
Ravinnehuhtoutumat	x	x			
Sadon määrä ja laatu	x		x		
Kaltevuuden vaik. rav.		x			
Eri ojitusten toim.	x				
Ympärysaine	x			x	x
Mittaukset ja lask.men.					
Sadon määrä ja laatu	x		x		
Valunta	x	x			
Ravinteet ja kiintoaine	x	x			
Maan rakenne	x	(x)	x	x	x
Maan mekaaninen vastus			x		
Maan rakeisuus	x	x	x	x	x
P-luku	x	x			
Ymp.aineen haj.				x	
Sadanta	x	x	x		
Maan kosteus	x		x		
Pohjavedenpinnan korkeus	x	x	x		
Lumen syvyys ja vesipit.	x	x			
Mallinussov., vesitase	x	x			
Mallinussov., eroosio		x			
Mallinussov., tyyppi	x				
Typpitaselaskelma	x				

2.1 Nummelan koekenttä

Jokioisten Nummelan koekenttä on MTT:n hallinnoima peltoalue, jolla tehtiin 1950-luvulla maa- ja metsätalousministeriön toimesta salaojien etäisyyskoe käyttäen ojavälejä 16 ja 32 m. Koekentän pinta-ala on yhteensä noin yhdeksän hehtaaria. Alue on lievästi viettävä, ja maa on lähes kauttaaltaan aitosavea. Pinta- ja sala-ojavedet purkautuvat peltoalueen laidassa virtaavaan Raiskionjoaan. Viljelykasvit ja -menetelmät ovat olleet koko alueella samanlaiset viime vuosikymmenet.

Nummelan koekenttä koostuu neljästä koalueesta, joista kolmella (alueet A, B ja C) oli alkujaan 16 metrin ojaväli ja yhdellä (alue D) 32 metrin ojaväli. Koalueiden salaojitetut pinta-alat ovat 2,9 ha (alue A), 1,7 ha (alue C), 1,3 ha (alue B) sekä 3,4 ha (alue D). Jokaisella koalueella on oma salaojaston laskuaukko ja mittausjärjestelmä pintavaluntaa varten. Ennen PVO-hanketta Nummelan koekenttä oli viimeinen MTT:n koalueista, jolla ei ollut tehty täydennysojotusta. PVO-hankkeessa alue A uusintaojitettiin ja alue C täydennysojitettiin kesäkuun 2008 alussa. Tätä ennen kaikkia koalueita seurattiin runsaan vuoden ajan (huhtikuu 2007–toukokuu 2008) alueiden välisen vaihtelun selvittämiseksi (kalibrointijakso). Sen aikana mitattiin koalueiden pinta- ja sala-ovalunnon määrää ja laatua, sadantaa, pohjaveden pinnan korkeutta, maan kosteutta sekä roudan syvyyttä. Lisäksi määritettiin maan ominaisuudet 0–60/100 cm profiileista.

Kesäkuun 2008 ojitukset oli PVO-hankkeessa tehty kahdella eri menetelmällä. Menetelmässä I ojitus tehtiin alueelle C tavanomaisesti lisäämällä vanhojen imuojien väliin uusi imuoja, jolloin ojaväliksi tuli kahdeksan metriä. Ympärysaineena käytettiin soraa, ja lisäksi tehtiin sorasilmäkkeitä keskimäärin seitsemän metrin välein. Menetelmässä II alue A uusintaojitettiin kuuden metrin ojavälillä, ja ympärysaineena käytettiin Suomen kuituteollisuuden valmistamaa ohutta esipäälystettä (Fibrella 2160). Alueet B ja D jäivät vertailualueiksi. Syyskuussa 2009 alue A syväkuohkeutettiin jankkuroimalla. Alueen B pintakerrosvalunnon mittauksessa olleiden epävarmuuksien vähentämiseksi alueiden B ja A väliselle, koalueisiin kuulumattomalle, alueelle tehtiin syksyllä 2011 kolme lisäojaa. Kartta Nummelan koekentästä on liitteenä 1.

PVO2 hankkeessa keskityttiin mittaamaan aikaisemman koejärjestelyn mukaisesti koekentän kaikilta neljältä alueelta seuraavia muuttujia:

- pinta- ja sala-ovalunta (jatkuva mittaus 15 minuutin välein)
- kiintoaine, fosfori- ja typpipitoisuudet pintakerros- ja sala-ovalunnassa (automaattinen näytteenotto virtauksen suhteen, laboratorioanalyysit)
- sadanta (jatkuva mittaus 15 minuutin välein)
- pohjaveden pinnan korkeus (osittain manuaalinen ja osittain automaattinen mittaus 60 minuutin välein)
- maan kosteus muokkauskerroksessa (manuaalinen mittaus TDR-mittarilla)
- lumen syvyys ja vesiarvo (manuaalinen mittaus, lumikeppi ja lumipuntari)
- roudan syvyys (manuaalinen mittaus, metyleenisiniputket)
- sadon määrä (kuiva-aine) ja laatu (hehtolitraino, 1000 jyvän paino, jyvien typpipitoisuus)

Koejärjestelyt ja mittaus- ja analyysimenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisuissa Vakkilainen ym. (2008, 2010). Nummelan koekentän viljelytoimenpiteet olivat vuosina 2011–2013 samat kaikilla neljällä alueella. Viljelykasveja olivat kaura ja ohra, ja lannoitukseen käytettiin pelkäästään kivennäislannoitteita. Viljelytoimenpiteet vuosina 2007–2013 on esitetty liitteessä 2.

Syksyllä 2006 Nummelan koekentältä otettiin maanäytteet (20 paikasta) metrin syvyyteen asti. Näytteistä selvitettiin maan rakenne ”alkutilanteessa” eli ennen uusinta- ja täydennysojituksia, ja toisen kerran maanäytteet otettiin ja analysoitiin kaikkien toimenpiteiden jälkeen syksyllä 2013. Maanäytteistä tehdyistä analyysistä on lisää tietoa julkaisussa Vakkilainen ym. (2010).

2.1.1 Typpitaseen arvioiminen Nummelan koekentällä

PVO2-hankkeen yhtenä osatutkimuksen oli typpitaseen laatiminen Nummelan koealueille A, B, C ja D (Korpelainen, 2014). Typpitase kuvaa peltoon tulevia ja sieltä lähteviä ravinnevirtoja. Tuleva typpimäärä koostui laskelmissa lannoitteiden, lietelannan, siementen sekä laskeuman sisältämästä typestä. Lähtevä typpimäärä koostui pinta- ja salaojavaluntojen sekä sadon mukana poistuneesta typestä.

Typpitaseen arviointi mittausaineistojen ja kirjallisuusarvojen perusteella on kuvattu tarkemmin muualla (Korpelainen, 2014). Nummelan eri koealueille A-D tulevat typpivirrat oletettiin samansuuruisiksi. Lietelannan, väkilannoitteiden ja siementen typpimäärät laskettiin niiden tunnettujen käyttömäärien ja typpipitoisuuksien perusteella. Siementen typpipitoisuus laskettiin Mavin (2008) antamien lukuarvojen perusteella. Laskeumana tuleva typpi määritettiin Suomen ympäristökeskukselta saatujen märkälasseuman kokonaistyppipitoisuuksien ja Nummelassa mitattujen sadanta-arvojen perusteella. Laskeuman osalla puuttuvien mittaustulosten kohdalla käytettiin keskiarvoa mitatuista typpilukemista

Toisin kuin tulevat typpivirrat, lähtevät typpivirrat laskettiin koealueittain. Valumavesien mukana poistunut typpimäärä saatiin salaoja- ja pintakerrosvaluntojen ja niiden typpipitoisuuksien tulona (ks. kohta 3.1). Sadon mukana poistunut typpimäärä saatiin kuiva-ainemäärän ja typpipitoisuuden tulona. Olkien, juurten ja rikkakasvien sisältämää typen määrää ei laskelmissa otettu huomioon. Vuoden 2012 puuttuvalle kaurasadon typpipitoisuudelle käytettiin vuosien 2008 ja 2010 kaurasadon typpipitoisuuksien keskiarvoa.

Typpitaseen jäännöstermi, eli tulevan ja lähtevän typpimäärän erotus, koostui pohjavesivalunnan sisältämästä typestä, kaasumaisista typpipäästöistä (denitrifikaatio, ammoniakkin volatilisaatio), korjaamattoman oljen sisältämästä typestä ja typen maavaraston muutoksesta. Kaasumaisten häviöiden suuruusluokka on kirjallisuuden mukaan muutamia kilogrammoja hehtaaria kohden vuodessa (Ylivainio ym., 2002), mutta kasvukauden aikainen mineralisaatio saattaa olla useita kymmeniä kilogrammoja hehtaaria kohden, vaikka jatkuvassa viljanviljelyssä mineraalityppeä ei maahan juuri kerry, ja keväisin sen arvo voi olla 10 - 20 kg ha⁻¹ (Sippola ja Ylärinta, 1985). Molempiin arvoihin vaikuttavat pellon olosuhteet, etenkin kosteus, lämpötila ja maan happipitoisuus.

Typpitaseet laskettiin koealueittain sekä vuositasolla että jaksotettuna kasvukauden ja kasvukauden ulkopuoliseen ajanjaksoon. Vuosijakso alkoi toukokuusta ja päättyi seuraavan vuoden huhtikuuhun. Kasvukausi käsitti ajanjakson toukokuusta syyskuuhun ja kasvukauden ulkopuolinen ajanjakso käsitti loka-huhtikuun.

2.2 Gårdskulla Gårдин tutkimusalue

Kaksi lohkotason seurantakohtetta sijaitsee Gårdskulla Gårдин tilalla Siuntiossa. Koekenttä oli perustettu PVO-hankkeessa loppusyksyllä 2007. Tilan peltojen halki virtaa Siuntionjoen vesistöön kuuluva Kirkkojoki. Valuma-alueeltaan noin 140 km² suuruisen Kirkkojoen pääuoma kuuluu Natura 2000 -alueisiin. Valuma-alueen pinta-alasta noin 40 % on peltoja ja ne rajoittuvat monin paikoin Kirkkojokeen ja sen sivuhaaroihin. Pistemäinen jätevesikuormitus jokeen loppui 1990-luvun alkupuolella, mutta jokiveden keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus on edelleen huomattavan korkea, lähes 100 µg l⁻¹. Nykyisin peltoalueilta tuleva kuormitus muodostaa arvioiden mukaan suurimman osan jokeen tulevasta ihmisen toiminnan aiheuttamasta ravinnekuormituksesta (Vento 2008).

Seurannassa olevat peltolohkot sijaitsevat Kirkkojoen molemmin puolin ja niiden suojavyöhykkeet rajoittuvat jokeen. Koelohkojen salaojastojen pinta-alat ovat 5,7 (alue 1) ja 4,7 (alue 2) hehtaaria. Lohkojen keskikaltevuudet Kirkkojokeen ovat noin yksi ja viisi prosenttia. Ojavälit ovat molemmilla alueilla 16 metriä. Salaoja- ja pintavaluntavedet purkautuvat suoraan Kirkkojokeen. Ojitus on tehty 1940-luvulla, ja sen jälkeen salaojia on paikoitellen korjattu. Koalueiden maalaji on savea. Kartta Gårdskulla Gårдин koelohkoista on esitetty liitteessä 7.

Tutkimusalueiden viljelytoimenpiteet poikkesivat jonkin verran toisistaan. Vuoden 2010 syksyyn asti molemmilla koelohkoilla viljeltiin viljakasveja (vehnä, mallasohra). Syksyn 2010 jälkeen alueelle 2 ei ole enää kylvetty viljakasveja ja nautaeläimet aloittivat laiduntamisen siellä keväällä 2011, ja lihakarja laidunsi alueella myös vuosina 2012 ja 2013. Alue 1 on ollut nurmella syksystä 2011 lähtien. Koalueilla siirryttiin luomuviljelyyn vuonna 2011. Viljelytoimenpiteet on esitetty liitteessä 8.

PVO2-hankkeessa jatkettiin seuraavien muuttujien havainnointia molemmilla peltolohkoilla:

- pinta- ja salaojavalunta (jatkuva mittaus 15 minuutin välein)
- kiintoaine, fosfori- ja typpipitoisuudet pintakerros- ja salaojavalunnassa (automaattinen näytteenotto virtauksen suhteen, laboratorioanalyysit)
- sadanta (jatkuva mittaus 15 minuutin välein)
- pohjaveden pinnan korkeus (manuaalinen mittaus)
- lumen syvyys ja vesiarvo (manuaalinen mittaus, lumikeppi ja lumipuntari)
- roudan syvyys (manuaalinen mittaus, metyleenisiniputket)

Mittaus- ja analyysimenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisuissa Vakkiainen ym. (2008, 2010). Molempien koalueiden pintakerrosvaluntakeräimiä kunnostettiin syksyllä 2009. Valuntaa keräävän salaojaputken yläpuolella ollut savi ja salaojasora (osittain) korvattiin salaojasepelillä. Kaivumassoilla tuettiin kaivannon reunaan, alarinteen puolelle asennettua muovilevyä.

2.3 Sotkamon koekenttä

PVO- ja PVO2-hankkeissa tutkittiin MTT:n Sotkamon tutkimusasemalla sijaitsevassa kokeessa 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 selvitettiin myös, mikä merkitys on viljan ja nurmen viljelyllä jankkuroitujen ja ei-jankkuroitujen ruutujen maan rakenteelle. Oletus oli, että vahvajuurinen nurmi lisää maan biologista aktiivisuutta (josta syntyy eliö- ja kasvintähteitä), mikä puolestaan edistää kestävämmän maan rakenteen muodostumista.

Jankkurointikokeessa oli neljä koekäsittelyä:

- vilja, ei jankkurointia
- vilja, jankkurointi
- nurmi, ei jankkurointia
- nurmi, jankkurointi

Koe perustettiin PVO-hankkeessa MTT:n Sotkamon tutkimusasemalle salaojituksen yhteydessä vuonna 2007. Koekentän järjestelyt on esitetty liitteessä 9.

Koekenttä salaojitettiin 4.10.2007 kahdeksan metrin ojaväleihin välittämättä vanhasta, tehottomaksi käyneestä ojituksesta. Salaojaputkien ympärysaineena oli ohut suodatinkangas. Puolet koekentän pinta-alasta jankkuroitiin 6.6.2008, kun kenttä oli kuivahtanut talven jälkeen. Maa murtui melko hyvin, mutta vielä kuivempaan se olisi todennäköisesti murtunut vielä paremmin. Jankkurointi tehtiin yksiteräisellä jankkurilla siten, että jankkuroidut urat tulivat traktorinlevyiden päähän toisistaan (180 cm). Maa ei siten tullut jankkuroiduksi kauttaaltaan vaan kaistoittain. Jankkuri rikkoi maata noin 40 cm:n syvyyteen. Jankkuroinnin jälkeen koko koealue kynnettiin (kyntösyvyys 22 cm), ja koeruuduille kylvettiin joko nurmi (suojaviljaan) tai ohra. Ohraruudut kynnettiin kokeen aikana vuosittain. Nurmi jouduttiin uusimaan vuoden 2011 sadonkorjuun jälkeen.

Koekäsittelyjen vaikutuksia maan rakenteeseen selvitettiin tutkimalla maan ominaisuudet kokeen alussa ennen ojitusta ja jankkurointia sekä kokeen lopussa kuuden vuoden kuluttua syksyllä 2013.

Jokaisen koeruudun keskeltä mitattiin pintamaan vedenjohtavuus infiltraatiomenetelmällä (Bouwer 1986). Ruuduista otettiin häiriintymätön maanäyte (halkaisija 15 cm, pituus 60 cm) traktorikairalla. Maanäyte katkaistiin laboratoriossa siten, että saatiin kolme erillistä näytettä: 0–20 cm, 20–40 cm ja 40–60 cm. Näistä näytteistä määritettiin maan vedenjohtavuus kyllästetyssä tilassa Darcyn lain mukaisesti (Youngs 1991). Erikokoisten huokosten tilavuus määritettiin sekä Alakukun (1996) kuvaamalla alipainemenetelmällä että osmoottisella menetelmällä (Williams ja Shykwewich 1969). Tilavuuspaino määritettiin lieriömenetelmällä (200 cm³) (Blake ja Hartge 1986) ja juurikanavien ja lieronreikien määrä laskemalla (Alakukku 1996).

Vuonna 2007 maanäytteitä otettiin kairalla 20 cm:n välein ja 100 cm:n syvyyteen asti ja vuonna 2013 80 cm:n syvyyteen asti. Maanäytteistä määritettiin taustatiedoiksi, maalaji mekaanisella maa-analysillä (vain vuonna 2007) (Elonen 1971), maan orgaanisen aineksen pitoisuus kuivapolttomenetelmällä (Carr 1973), pH ja johtoluku vesisuspensiosta (Vuorinen ja Mäkitie 1955) ja liukoisten ravinteiden (Ca, Mg, K, P) määrä (vain muokkauskerroksesta) happamalla ammoniumasetatiituutolla (Vuorinen ja Mäkitie 1955).

Ojituksen toimivuuden seuraamista varten kentän jokaiselle ruudulle asennettiin syksyllä 2008 kolme pohjavesiputkea, yksi jokaiseen ojaväleihin. Manuaalisia pohjavesimittauksia tehtiin viikoittain 24.10.2008 - 24.11.2009. Maan kosteutta mitattiin jokaisen pohjavesiputken vierestä TDR-menetelmällä (Topp ym. 1980) neljään kertaan hankkeen aikana.

Jokaisesta koeruuduista otettiin vuosittain sadonkorjuun yhteydessä kaksi sato- näytettä 15 m²:n alalta sadon määrän ja laadun analysointia varten. Viljan laatua selvitettiin määrittämällä hehtolitrapaino ja 1000 jyvän paino virallisten lajikeko- keiden suoritusohjeiden mukaan sekä typpipitoisuus Kjeldahl-menetelmällä ja typpisato. Nurminäytteistä määritettiin sadon lisäksi typpipitoisuus ja typpisato.

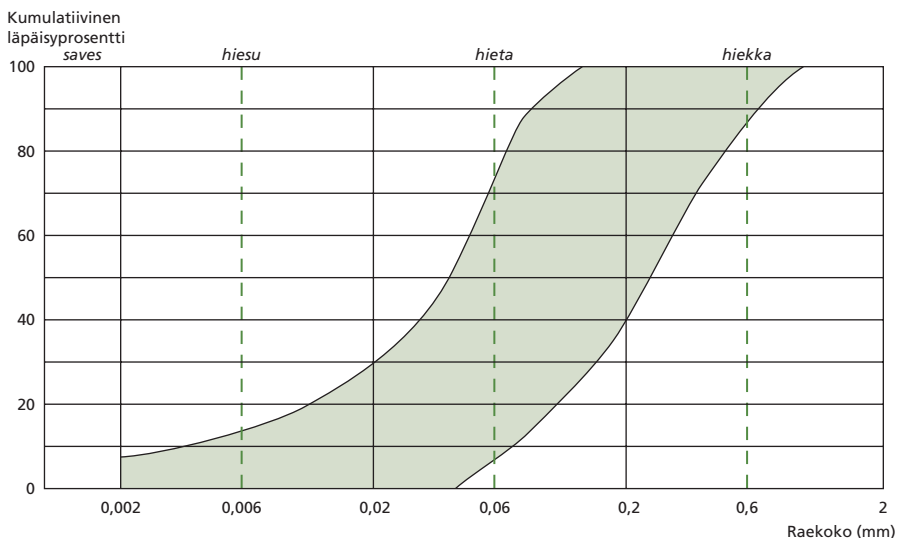
Jankkuroinnin vaikutusta maan mekaaniseen vastukseen mitattiin penetromet- rillä kahteen kertaan hankkeen aikana. Mittaus tehtiin jokaisesta ruudusta kahdek- sasta paikasta pohjavesiputkien ympäristöstä. Penetrometri mittaa kartion maahan painamiseen tarvittavaa voimaa 3,5 cm:n välein 52,5 cm:n syvyyteen asti (Ander- son ym. 1980).

2.4 Salaojien ympärysaineiden toimivuus

Eri ympärysaineiden soveltuvuutta selvitettiin kaivamalla esille vanhoja ojituksia. Asiaa tutkittiin myös Nummelan koekentällä tehtyjen ojitusten, tilakohtaisten seur- rantakohteiden sekä mallintamisen avulla.

Nummelan koekentällä arvioitiin soran ja ohuen suodatinkankaan soveltuvuutta ympärysaineeksi savimaalla mittaamalla salaojavaluntaa, ravinnehuuhtoutumia sekä tutkimalla muutoksia maan rakenteessa eri ympärysaineilla tehdyissä ojituksissa (ks. 2.1). Tilakohtaisissa seurantakohteissa oli mukana yhdeksän yksityisillä tiloilla sijaitsevaa peltolohkoa, jotka on ojitettu käyttämällä tavanomaisesta poikkeavaa salaojitusmenetelmää (ks. 2.5). Matemaattisen FLUSH-mallin avulla tarkasteltiin ympärysaineen vaikutusta salaojavaluntaan (ks. 2.6).

Tutkimusosiossa (Sikkilä, 2014), jossa esipäällysteen soveltuvuutta selvitettiin kaivamalla esille vanhoja ojituksia, valittiin noin kymmenen vuotta vanhoja ohuella (Fibrella) suodatinkankaalla tai kookoskuidulla tehtyjä ojituksia, joissa oli esiinty- nyt märkyysongelmia. Tutkimus rajattiin siten, että tutkittavat kohteet olivat savi- tai hietamailla. Maaperää tutkimalla selvitettiin onko maalajilla yhteyttä putken liettymiseen ja esipäällysteen hajoamiseen.



Kuva 2.2. Tummennetulla alueella on niiden maalajien rakeisuuskäyrän alue, joilla salaojien ympärysaineen suodatin- tarve on suuri.



Kuva 2.3. Ohut suodatinkangas Fibrella (vas.) ja kookospäällyste (oik).

Suodatintarve on ulkomaalaisen kirjallisuuden mukaan erityisen suuri seuraavilla maalajeilla: hienot hiedat ja hiue sekä tasarakeiset karkeat hiedat (Vlotman ym. 2000). Kuvassa 2.2. on esitetty niiden maalajien rakeisuuskäyrän alue, joilla salaojien ympärysaineen suodatintarve on suuri. Mikäli savespitoisuus maassa on yli 30 % liettymisen vaara on pieni.

Tutkittavat esipäällysteet olivat kookskuitu ja ohut suodatinkangas, Fibrella 2150 (kuva 2.3.). Kankaan paino on 45 g/m^2 ja sen raaka-aineesta 50 % on viskoosia ja 50 % polyesteria. Kankaan paksuus on 0,3 mm ja tehokas huokoskoko 0,077 mm. Kookoskuidun materiaalista suurin osa on orgaanista ainesta (selluloosaa ja ligniiniä).

Esipäällysteen tutkimuksessa tehtiin kenttäkokeita yhdellätoista peltolohkolla. Paikat valittiin salaojasuunnittelijoiden ja urakoitsijoiden haastattelujen avulla. Koelohkojen sijainti on esitetty kuvassa 2.1. Koelohkojen tiedot näkyvät taulukossa 3.52 (kohta 3.4). Kaikki pellot Loimaan ja Ristiinan lohkoja lukuun ottamatta olivat viljapeltoja. Ristiinassa viljeltiin porkkanaa ja Loimaan lohkot olivat nurmella. Kaikki kohteet Inkoota lukuun ottamatta oli ojitettu aurakoneella.

Salaojat kaivettiin esiin vähintään kolmesta kohtaa lohkoa kaivinkoneella ja koekuopat merkittiin salaojakarttaan (liitteet 10–15). Salaojaputki katkaistiin ja putken sisällöstä sekä ympärysaineesta tehtiin havainnoja. Putkesta katkaistiin 20–70 cm pätkä putken sisällön määrittämistä varten. Kuopasta otettiin maanäytteitä kolmesta kerroksesta: 0–20 cm, 20–50 cm, 50–80 cm. Salaojien ollessa syvemmällä kuin 80 cm maasta otettiin vielä neljännessä syvyydestä (> 80 cm) näyte. Lisäksi kaivannon maaprofiilista, salaojaputkesta ja salaojaputken ympärystä otettiin valokuvia myöhempää tarkastelua varten. Koekuopan tyypillinen maaprofiili ennen näytteenottoa on esitetty savisessa maassa kuvassa 2.4 ja hietamaassa kuvassa 2.5.

Tutkimuskohteissa tehtiin MTT:n ja ProAgrian kehittämä peltomaan laatutesti (www.agronet.fi) ja kuoppahavainnot. Kuoppahavainnoissa maaprofiilista etsittiin iskostumia, lieroja ja juurikäytäviä, sekä pyrittiin tutkimaan maan koostumusta.

Tutkimuksessa kerätyistä maanäytteistä määritettiin rakeisuuskäyrä. Maanäytteet jaettiin aistinvaraisesti karkeisiin ja hienoihin lajitteisiin. Hienolajitteiset näytteet määritettiin areometrinen menetelmällä (SGY 1985) ja karkealajitteiset näytteet seuloittiin seulasarjalla. Osa näytteistä sisälsi tasaisesti kaikkia partikkelikokoja, jolloin käytettiin molempia menetelmiä yhdessä. Sikkilä (2014) on kuvannut kenttäkokeet tarkemmin.



Kuva 2.4. Tyypillinen koekuopan maaprofiili savimailla. Pinnassa on noin 20 cm multavaa maata.



Kuva 2.5. Tyypillinen koekuopan maaprofiili karkeilla mailla (hieta/hiekka).

Salaojien ympärysaineen ja valunnan riippuvuutta tutkittiin myös FLUSH-mallin avulla. Ympärysaineen vaikutusta salaoja- ja pintakerrosvaluntaan savimaissa mallinnettiin soran osalta kasvattamalla salaojaputken halkaisijaa asteittain 3 senttimetrinä 25 senttimetriin Nummelan koekentän alueella C (Turunen, 2011). Laskennassa sorastuksen oletettiin kasvattavan putken tehollista sädettä (esim. Stuyt ym., 2005). Lisäksi kesällä 2008 asennettujen uusien salaojien ympärysaineen vaikutusta huomioitiin mallissa parametrilla, joka kuvaa salaojaresistanssia ja veden virtausreitit pituutta (Warsta, 2011, yhtälö 58).

2.5 Salaojitusten tilakohtaiset seurantakohteet

Hankkeessa oli mukana yhdeksän yksityisillä tiloilla sijaitsevaa peltolohkoa, jotka on ojitettu käyttämällä tavanomaisesta poikkeavaa salaojitusmenetelmää. Tutkimuslohkoilla seurattiin ojituksen vaikutusta maan rakenteeseen ja kerättiin viljelijöiden kokemuksia menetelmistä. Ojitusmenetelmät näillä yhdeksällä lohkoilla olivat seuraavat:

- aurasalaojakone, **tiheä** ojaväli (5–6 m), ojasyvyys hieman tavallista matalampi (0,8–1,0 m), putken ympärillä ohut **suodatinkangas** (Fibrella) (yksi lohko, runsasmultainen hietamaa)
- kuten edellinen, mutta **lisäksi** maan **jankkurointi** (kolme lohkoa, kaikki savimaita)
- aurasalaojakone, ojaväli 10 m, matala ojitus (ojasyvyys keskimäärin 80 cm), erittäin **runsas sorastus** (20–30 cm), sorasilmäkkeet vanhojen avo-ojien risteyksiin (yksi lohko, runsasmultainen hietasavimaa)

- ketjukaivinkone, täydennysojitus jossa ojaväliksi 8 m, putken ympärysaineena **kookoskuitu**, kaivannon täyttö **hakkeella** (yksi lohko, hiesusavimaa)
- ketjukaivinkone, ojaväli 8 m, normaali ojasyvyys, **runsas sorastus**, sorasilmäkkeet, kaivannon täyttö **hakkeella** (yksi lohko, runsasmultainen hiesusavimaa)
- ketjukaivinkone, ojaväli 8 m, ojasyvyys keskimäärin 95 cm, **tavallista niukempi sorastus** (3 m³/100 m), ei sorasilmäkkeitä (yksi lohko, erittäin runsasmultainen hieumaa).
- ketjukaivinkone, ojaväli 12 m, normaali ojasyvyys, **runsas sorastus**, sorasilmäkkeet (yksi lohko, karkea hietamaa), melko **tavallinen** ojitus

Hankkeessa mukana olleiden peltolohkojen pinta-ala oli yhteensä 73 hehtaaria.

Kaikkien lohkojen maa tutkittiin kahteen kertaan. Ensimmäinen tutkimus tehtiin ojitusvuonna tai vuosi sen jälkeen. Tutkimuksen katsotaan kuvaavan tilannetta ennen ojitusta. Jankkuroitavia lohkoja ei ollut vielä jankkuroitu paitsi kohteen neljä tapauksessa. Toinen tutkimus tehtiin kuuden vuoden kuluttua ensimmäisestä. Lohkoilla tehtiin peltomaan laatutestin (www.agronet.fi) kuoppahavainnot sekä pinta-maan vedenjohtavuuden määrittäminen. Pintamaan vedenjohtavuutta ei pystytty määrittämään, jos pelto oli kynnetty tutkimusajankohtana. Tässä raportissa esitetään tulokset vain niiltä lohkoilta, joilla määrittäminen pystyttiin tekemään kummallakin tutkimuskerralla. Pohjamaan vedenjohtavuuden määrittäminen ei pystytty tekemään, sillä osassa lohkoista pohjavesi oli määrittämisestä liian korkealla ja osassa liian matalalla. Lisäksi otettiin maanäytteitä laboratorioanalyysijä varten. 0–20 cm:n syvyydestä otetuista näytteistä määritettiin maan viljavuus (pH, Ca, K, Mg ja P) ja orgaanisen aineksen pitoisuus. 20–40 cm:n syvyydestä otetuista näytteistä määritettiin vain orgaanisen aineksen pitoisuus.

Näiden kahteen kertaan (alussa ja kuuden vuoden jälkeen) tehtyjen määrittysten lisäksi hankkeen alussa määritettiin maan lajitekoostumus (maalaji) 100 cm:n syvyyteen asti. Näytteitä oli otettu 40 cm:stä alaspäin eri kerroksista sen mukaan, kuinka maalaji näytti muuttuvan silmävaraisesti. Näytteistä määritettiin myös orgaanisen aineksen pitoisuus.

Viljavuus määritettiin viljavuusanalyysillä, maan lajitekoostumus mekaanisella maa-analyysillä ja maan orgaanisen aineksen pitoisuus kuivapolttomenetelmällä.

Edellä mainitut määrittäykset tehtiin jokaiselta lohkolta kolmesta kohdasta lukuun ottamatta lohkoja 1 ja 8, joissa tutkittavia kohtia oli lohkon pienuuden takia vain kaksi. Siten kaikki jäljempänä esitettävät tulokset ovat kolmen (tai kahden) luvun keskiarvoja.

Viljelijöiltä kerättiin tietoja lohkon kuivatus- ja viljelytilanteesta ennen ojitusta, kaksi–kolme vuotta ojituksen jälkeen ja kuusi vuotta ojituksen jälkeen. Haastatteluaineisto koostui seuraavista tiedoista:

- mikä oli lohkon kuivatus- ja viljelytilanne ennen ojitusta
- miksi ojitus tehtiin
- miten ojitus tehtiin ja millaisissa oloissa
- mitkä olivat ojituskustannukset

- mitkä olivat ensivaikutelmat ojituksen toimivuudesta
- onko ojitus muuttanut pellon viljelykäytäntöjä
- mitä lohkolla on viljelty ja miten maata on käsitelty ojituksen jälkeisinä vuosina
- näkykö lohkolla muutoksia maan tai kasvuston suhteen

Näiden tietojen perusteella tehtiin johtopäätelmiä ojitusmenetelmän toimivuudesta.

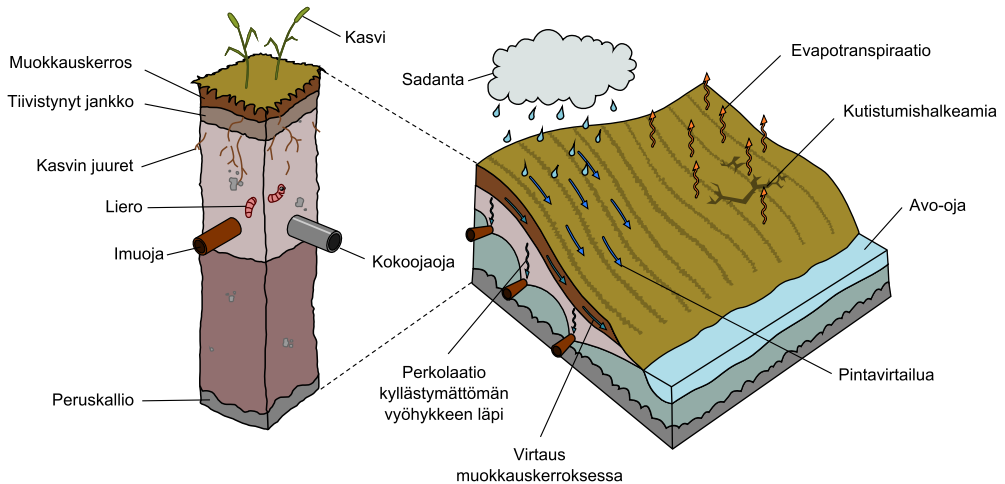
2.6 Matemaattinen mallintaminen

Nummelan ja Gårdskulla Gårdin koekenttien laskentasovellukset tehtiin FLUSH-mallilla, jolla voidaan tarkastella salaojitettujen savipeltojen vesitasetta (Warsta ym., 2013a; Turunen ym., 2013; 2014), eroosiota (Warsta ym., 2013b) sekä aineiden liikkeitä (Salo, 2014). Warsta (2011) on julkaissut mallin ensimmäisen version ja sen kehitystä on jatkettu PVO2-hankkeessa. Hankkeessa mallilla selvitettiin salaojitusmenetelmien vaikutusta Nummelan pellon vesitaseeseen (Turunen ym., 2012a; Turunen ym., 2013) sekä kaltevuuden vaikutusta vesitaseeseen ja kiintoainekuormaan Gårdskullan pellolla (Turunen ym., 2012b; Turunen ym., 2014). Malliin lisättiin talviajan kuvaamiseen tarvittavat prosessit (Warsta et al., 2012a; b; Turunen ym., 2014). Salo (2014) kehitti malliin geneerisen aineiden kulkeutumiskomponentin, jota sovellettiin typen prosessien kuvaamiseen Nummelan pellolla kasvukauden jälkeisinä syksyinä. Alla on kuvattu tarkemmin järjestelmän konseptuaalinen ja matemaattinen malli sekä kehitetty tyypimalli.

2.6.1 Mallin konseptuaalinen kuvaus

FLUSH-malli kuvaa pellolla tapahtuvia prosesseja kaksiulotteisesti pellon pinnalla ja kolmiulotteisesti maaperässä (kuva 2.6). Maaperän kokonaishuokoisuus jaetaan mallissa makrohuokos- ja matriisihuokossysteemeihin, mikä mahdollistaa nopean ja hitaan virtauksen ja kulkeutumisen samanaikaisen kuvaamisen simulaatioissa. Vesi liikkuu pellon pinnalla paine- ja korkeuserojen mukaan, kun taas maaperässä vesi liikkuu näiden lisäksi kapillaaristen voimien takia. Aineet kulkeutuvat maaperän huokossysteemeissä ja niiden välillä advektio- ja dispersiomekanismien avulla. Aineet voivat lisäksi pidäytyä maahan ja muodostaa hajoamisketjuja toistensa välille. Eroosiota tapahtuu mallissa vain pellon pinnalla. Suspendoitunut kiintoaine kulkeutuu maaperässä vain makrohuokosissa. Lämmön kulkeutumista kuvataan kokonaishuokoisuudessa eikä erillisissä huokossysteemeissä.

Mallilla voidaan simuloida valuntaa ja kuormia useiden erillisten kuivatusjärjestelmien kuten avo-ojien ja salaojien kautta (Turunen ym., 2013). Haihdunta ja transpiraatio kasvien kautta on yhdistetty mallissa evapotranspiraatioksi, joka vähennetään maaperän vesivarastosta. Potentiaalinen evapotranspiraatio (PET) lasketaan tällä hetkellä mallin ulkopuolella ja jaetaan profiiliin kasvin juurimassan jakauman mukaan. Viljelytoimenpiteet voidaan ottaa huomioon epäsuorasti säätämällä muokauskerroksen makrohuokoisuutta, juuristosyvyyttä sekä pellon pinnan eroosiherkkyyttä, karkeutta ja painannevaraston suuruutta. Syöttötietoina tarvitaan tunnitaiset meteorologiset aikasarjat (sadanta, ilman lämpötila, lyhyt- ja pitkäaaltosäteily, suhteellinen ilmankosteus, tuulen nopeus ja PET) ja pellon geometriaa kuvaavat tiedot.



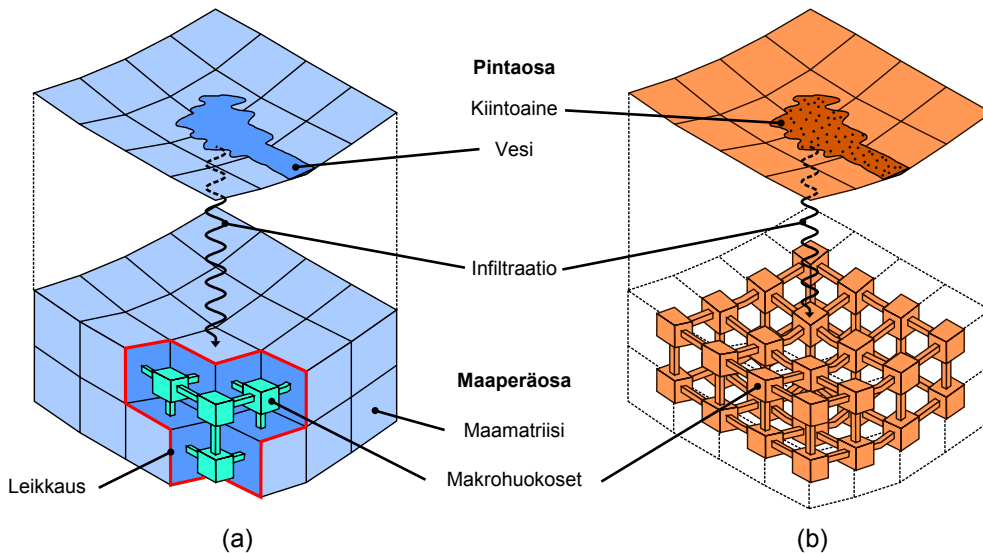
Kuva 2.6 Veden prosessit pellolla.

2.6.2 Mallin matemaattinen ja numeerinen kuvaus

Veden virtausta sekä lämmön, kiintoaineen ja aineiden kulkeutumista kuvataan mallissa osittaisdifferentiaaliyhtälöillä, joihin yhdistetään tarvittavat prosessit. Virtausta pellon pinnalla simuloidaan diffuusioaaltomenetelmällä, joka johdetaan Saint Venantin yhtälöistä jättämällä liikemäärän säilyminen pois yhtälöistä (Warsta ym., 2013a). Virtaus maaperässä esitetään kahden Richardsin yhtälön muodostamalla osittaisdifferentiaaliyhtälöparilla, joka kuvaa samanaikaisesti nopeaa virtausta makrohuokosissa ja hidasta virtausta matriisissa (Warsta ym., 2013a). Lumen kerääntymistä ja sulamista pellon pinnalla simuloidaan hajautetulla versioilla Koivusalo ym. (2001) esittelemästä energiataseeseen perustuvasta lumimallista (Turunen ym., 2014). Lämmönkulkeutumista maaperässä sekä maan jäätymistä ja sulamista kuvataan muunnetulla konvektio-diffuusioyhtälöllä (Warsta ym., 2012).

Kiintoaineprosessit pellon pinnalla esitetään sedimentinjakkuusyhtälöllä, johon on liitetty pintavirtailu- ja sadepisaraeroosion kuvaukset sekä kuljetuskapasiteetti- ja sedimentin laskeutumisprosessit (Warsta ym., 2013b). Kiintoaineen kulkeutumista maaperän makrohuokosissa kuvataan advektio-dispersioyhtälöllä (Warsta ym., 2013b). Aineiden kulkeutumista pellon pinnalla simuloidaan advektioyhtälöllä (Salo, 2014). Aineiden kulkeutuminen maaperässä esitetään kahden advektio-dispersioyhtälön muodostamalla osittaisdifferentiaaliyhtälöparilla, joka kuvaa nopeaa kulkeutumista makrohuokosissa ja hidasta kulkeutumista matriisissa (Salo, 2014). Aineet voivat pidäytyä kummassakin huokossysteemissä lineaarisen, Freundlichin ja Langmuirin isotermien mukaisesti.

Virtausta ja kulkeutumista kuvaavien osittaisdifferentiaaliyhtälöiden spatiaaliset (alueelliset) komponentit ratkaistaan implisiittisellä kontrollitilavuusmenetelmällä. Pellon pintaosa jaetaan mallissa laskentaverkolla suorakaiteen muotoisiin soluihin, kun taas maaperäosa jaetaan heksaedrin muotoisiin soluihin (kuva 2.7). Ajalliset komponentit ratkaistaan taaksepäin differenssimenetelmällä. Mallissa käytetään aika-askelia, jotka vaihtelevat muutamasta sekunnista yhteen tuntiin, ja lyhyempiä aika-askelia käytetään valuntapahtumien aikana.



Kuva 2.7. (a) Veden virtaus pellon pinnalla ja maaperässä sekä (b) kiintoaineen kulkeutuminen pellon pinnalla ja makrohuukoksissa.

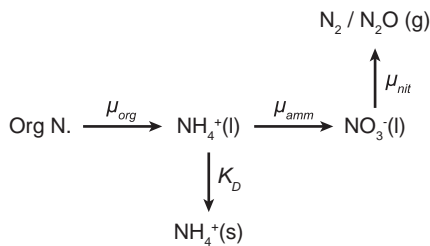
2.6.3 Typpimallin kuvaus

FLUSH-mallin aineen kulkeutumiskomponentti sisältää typen prosessien kuvaamiseen salaojitetulla savipellolla (Salo, 2014). Typpimallin nykyisellä versiolla voidaan tarkastella typen kierron prosesseja ja eri fraktioiden kulkeutumista kasvukauden jälkeisinä syyskausina, mutta ei kasvukausina, sillä malli ei sisällä kasvin typtonon kuvausta.

Typpimallissa on mukana epäorgaaniset nitraatti- ja ammoniumtyppifraktiot sekä orgaanisen typen varasto (kuva 2.8). Ammonium- ja nitraattityppi kuvataan mobiileina aineina ja orgaaninen typpi immobiilina ainevarastona. Ammoniumtyppi esiintyy maaperässä liukoisessa (*l*) sekä kiinteässä (*s*) muodossa eli se adsorptoituu maapartikkelien pinnoille. Nitraattityppi esiintyy vain liukoisessa muodossa, kunnes se muuttuu kaasumaiseen (*g*) muotoon ja poistuu systeemistä. Orgaanisen typen ainevarasto muokkauskerroksessa kuvaa pellolle sadonkorjuun jälkeen jääneen helposti hajoavan orgaanisen aineksen, esimerkiksi kasvin jäänteiden, sisältämää typpeä.

Epäorgaanisia typen fraktioita voidaan asettaa profiiliin haluttuun syvyyteen asti ja kerrokseen sijoitettava typen määrä pienenee alempaan kerrokseen siirryttäessä. Sateen mukana maan pinnalle kertyy ammonium- ja nitraattityppeä, jotka voivat infiltroitua maamatriisiin tai makrohuukostoon veden infiltroitumisen yhteydessä. Koska infiltroituminen lasketaan maaperäosassa, pidättyminen hidastaa ammoniumtypen siirtymistä pinnalta maaperään. Ammoniumtypen pidättymistä sekä typpifraktioiden hajoamisprosesseja ei kuitenkaan kuvata pintaosassa, jolloin typpifraktiot kulkeutuvat pintaosassa keskenään samalla tavalla veden liikkeiden mukaisesti. Maaperässä epäorgaanisten typen fraktioiden kulkeutuminen lasketaan erikseen matriisi- ja makrohuukossysteemissä sekä huukossysteemien välisessä masanvaihdoissa.

Typen kierron prosesseista kuvataan mineralisaatio, nitrifikaatio sekä denitrifikaatio (kuva 2.8). Nämä käsitellään ensimmäisen kertaluvun reaktioina, joita säädelään kosteuden ja lämpötilan mukaan. Ammoniumvarastosta vapautuu nitraattitypeä nitrifikaatioissa, jossa oletetaan, että ammoniumtyppi hapetuu suoraan nitraattitypeksi ja nitriittitypen esiintymistä ei huomioida. Nitraattityppi muuttuu kaasumaiseksi typeksi denitrifikaatioreaktiossa. Happipitoisuuden oletetaan olevan suoraan yhteydessä kosteuteen, jolloin veden täyttämässä laskentasolussa oletetaan olevan hapettomat olot. Kosteuspitoisuudella hajoamisreaktiota voidaan rajata siten, että nitrifikaatio ei esiinny denitrifikaation kanssa samaan aikaan vaan kosteuspitoisuus määrää kumpaa reaktiota esiintyy. Hajoamis- ja muutosprosessit voidaan kuvata myös pelkillä vakiohajoamiskertoimilla, jos oletetaan, että ympäristöteki-
jöillä on pieni vaikutus hajoamisreaktioihin.



Kuva 2.8. Typen reaktiot ja reaktiokertoimet. Fraktioille on määrätty hajoamiskerroin, jonka mukaan typeä siirtyy ainevarastosta toiseen (μ_{amm} , μ_{org} , μ_{nit}). Maapartikkeleihin pidättyneen ammoniumtypen määrä on riippuvainen jakaantumiskertoimesta K_D . Maassa aine on liukoisessa (l) tai kiinteässä (s) muodossa ja poistuu maaperästä kaasuna (g).

3 Tulokset ja tulosten tarkastelu

PVO2-hankkeessa jatkettiin PVO-hankkeessa koekentillä tehtyjä mittauksia. Tuloksissa on koottu yhteen molempien hankkeiden mittaustuloksia vuodesta 2007 lähtien, jotta eri tutkimusjaksojen ja -vuosien vaihtelusta saadaan kattava käsitys. Lisäksi esitetään matemaattisella mallilla laskettuja Nummelan koekentän vesitasetta ja salaojien toimintaa sekä Gårdskullan koekentän vesitasetta ja eroosiota koskevia tuloksia. Nummelan koekentältä esitetään myös typpitaselaskelmat. Sotkamon koekentän jankkurointikokeen tulokset esitetään samoin kuin salaojien ympärysainetutkimusten tulokset. Tilakohtaisten kartoitusten tulokset eri menetelmillä tehtyjen salaojitusten toimivuudesta on esitetty luvun lopussa.

3.1 Nummelan koekenttä

Nummelan koekentällä tehtiin kohdassa 2.1 mainittuja mittauksia noin vuoden ajan (kalibrointijakso) koalueiden välisen luonnollisen vaihtelun selvittämiseksi. Kesäkuun 2008 alussa tehtyjen täydennys- ja uusintaaojitusten jälkeen alkoi varsinainen tutkimuskausi. Tutkimuskausi on jaettu vuoden mittaisiin osiin: tutkimusjakso I (6/2008–5/2009), tutkimusjakso II (6/2009–5/2010), tutkimusjakso III (6/2010–5/2011), tutkimusjakso IV (6/2011–5/2012) ja tutkimusjakso V (6/2012–5/2013). Kartta Nummelan koekentästä kalibrointijaksolla on esitetty liitteessä 1 ja tutkimusjaksolla liitteessä 3.

3.1.1 Sääolot

Kalibrointijakso oli mittausjaksoista sateisin, korjattu sadesumma oli 715 mm. Tutkimusjaksojen sademäärät vaihtelivat välillä 526–693 mm (keskiarvo 603 mm). Koekenttää lähinnä sijaitsevan Ilmatieteenlaitoksen mittausaseman, Jokioisten Observatorion, sadannan pitkän ajan (1971–2000) vuosikeskiarvo on 606 mm.

Kalibrointijaksoa edeltävä kevät oli verrattain kuiva. Jakson ensimmäiset kuukaudet (kesä- ja heinäkuu) olivat sademääriltään keskimääräisiä, ja niitä seurannut elokuu oli kalibrointijakson sateisin kuukausi ($P=103$ mm). Syksyn (syys-marraskuu) sadesumat olivat pitkän ajan keskiarvojen tuntumassa. Joulukuun oli leuto ja verrattain sateinen, ja sama säätyyppi jatkui tammi-maaliskuussa. Kalibrointijakson kevätkuukaudet erosivat sateen suhteen toisistaan, verrattain sateiset maaliskuu ja huhtikuu vaihtuivat kuivaan toukokuuhun.

Nummelan koekentällä ei ollut ilman lämpötilan mittausta, joten tässä käytetään Ilmatieteenlaitoksen Jokioisten Observatorion lämpötilatietoja. Kalibrointijakso oli Jokioisissa verrattain lämmin. Kesä- ja syyskuukaudet olivat hieman ($< 1,7$ °C) pitkän ajan keskiarvoaan lämpimämpiä. Joulu-helmikuun keskilämpötila oli yli 5 °C pitkän ajan keskiarvoa korkeampi. Kalibrointijakson kylmin kuukausi oli maaliskuu (keskilämpötila $-1,3$ °C).

Kalibrointijaksolla maa pysyi jäässä yhtäjaksoisesti joulukuusta kevääseen asti, ja viimeiset routalukemat mitattiin maaliskuun lopussa. Roudan syvyys vaihteli talven aikana 10 cm:n ja 30 cm:n välillä. Koekentän roudan syvyys talvella 2007–2008 on esitetty liitteessä 4.

Talvi 2007–2008 oli vähäluminen. Tammikuun viimeisenä päivänä lunta oli noin 10 cm ja helmikuun aikana vähäinen lumipeite oheni ja kuun viimeisinä päivinä suli kokonaan. Maaliskuussa lunta oli enimmillään vain 2 cm:n paksuudelta. Lumen syvyys Nummelan koekentällä talvella 2007–2008 on esitetty liitteessä 4.

Kalibrointijaksoa seuranneet tutkimusjaksot olivat talviltaan lumisempia ja kevään sulantajaksot olivat voimakkaampia. Sadesummat jäivät tutkimusjaksoa IV ($P = 693$ mm) lukuun ottamatta selvästi kalibrointijaksoa pienemmiksi. Vähäsaateisimpia olivat jaksot III ($P = 526$ mm) ja II ($P = 575$ mm). Keskiarvoa enemmän sadetta saatiin jaksoilla I (646 mm) ja V (623 mm). Eniten lunta satoi tutkimusjaksolla III ja vähiten tutkimusjakson I talvella. Syksyistä verrattain märkiä olivat vuosien 2011 (jakso IV) ja 2012 (jakso V) syksyt. Joulukuussa 2011 satoi pitkänajan keskiarvoon nähden lähes kolminkertaisesti ja syksyllä 2012 osa Nummelan koepeltojen sadosta jäi korjaamatta ja pellot jätettiin märkyiden takia muokkaamatta.

Kokonaisuudessaan viisi tutkimusjaksoa käsittänyt tutkimuskausi oli kalibrointijaksoa viilempiä, ainoastaan tutkimusjakson IV keskilämpötila oli lähellä kalibrointijaksoa. Jaksojen lämpötilat olivat myös kalibrointijaksoa vaihtelevampia. Kalibrointijaksolla yhdenkään kuukauden keskilämpötila ei ollut pitkän ajan keskiarvoa alempi, mutta tutkimuskaudella näin oli jokaisella jaksolla. Suurimmat poikkeamat alapäin olivat tutkimusjakson II tammikuu (ero $-6,6$ °C) ja tutkimusjakson III joulukuu (ero $-6,4$ °C). Eniten kuukausikeskiarvon yläpuolella olivat tutkimusjakson IV joulukuu (ero $+5,2$ °C) ja tutkimusjakson III heinäkuu (ero $+4,7$ °C). Jaksojen kesät vaihtelivat keskimääräisestä lämpimään. Tutkimuskauden viimeimmät kesät osuivat alkuun ja loppuun, jaksoille I ja V. Tutkimuskausien III ja IV kesät olivat selvästi muita lämpimämpiä. Talvet olivat tutkimuskaudella kalibrointijaksoa selvästi kylmempiä. Kolmen kylmimmän kuukauden keskilämpötila oli kalibrointijaksolla $-0,9$ °C ja tutkimuskaudella $-6,8$ °C. Kylmimmän talven keskilämpötila oli $-9,5$ °C (tutkimusjakso III) ja leudoimman $-4,4$ °C (tutkimusjakso I).

Tutkimusjaksoilla maa jäättyi syvemmälle ja oli jäässä pidempään kuin kalibrointijaksolla. Tammi-maaliskuussa Nummelan koekentän roudan keskimääräiset syvyudet vaihtelivat välillä 30–55 cm. Suurin roudan syvyys, 67 cm, mitattiin jaksoilla II ja III. Lähimmäksi pellon pintaa routa jäi tutkimusjaksolla IV. Yleensä suurimmat routalukemat mitattiin maaliskuussa, tästä poikkeuksena oli tutkimusjakso V, jolloin maa oli syvimmillään jäässä vasta huhtikuun puolivälissä. Ensimmäiset routalukemat mitattiin aikaisimmillaan marraskuun lopussa (jakso III) ja myöhäisimmillään tammikuun alussa (jakso I ja IV). Nummelan koekentän roudan syvyys tutkimusjaksoilla on esitetty liitteessä 4 ja 5.

Kaikilla tutkimusjaksoilla lumipeite oli paksumpi ja se pysyi maassa pidempään kuin kalibrointijaksolla. Yleensä maaliskuussa mitatut suurimmat lumen syvyudet vaihtelivat välillä 20–50 cm. Paksuin lumikerros mitattiin tutkimusjakson III talvella, ja ohuin ensimmäisellä tutkimusjaksolla. Suurimmat lumen vesiarvot vaihtelivat jaksolla I mitatusta (55 mm) jaksos III lukemaan 130 mm. Lumipeite alkoi kertyä marraskuun lopun (jakso III) ja tammikuun alun (jaksot I ja IV) välillä. Tutkimusjaksoilla sulanta osui huhtikuulle, yleensä sen alkupuolelle. Lumen syvyys Nummelan koekentällä tutkimusjaksoilla on esitetty liitteissä 4 ja 5.

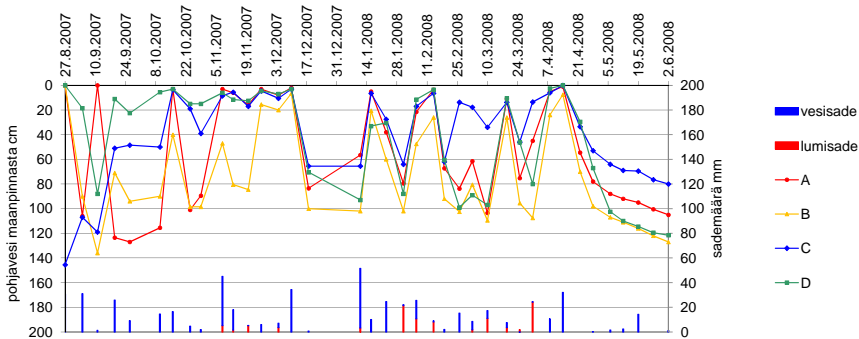
Nummelan koekentän kasvukausien lämpö-, säteily- ja sadantasummat on esitetty liitteissä 6.

3.1.2 Pohjaveden korkeus ja maan kosteus

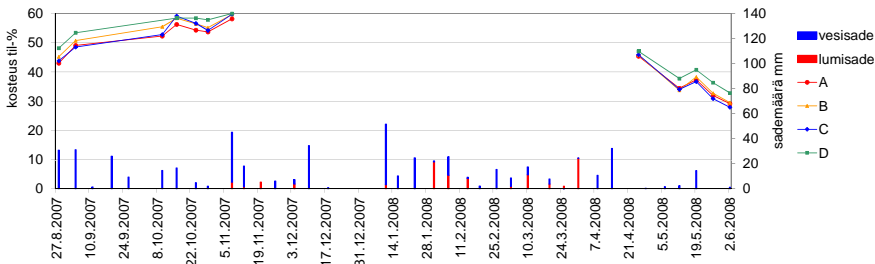
Pohjavesimittausten mukaan kumpikin vuonna 2008 tehty ojitus paransi pellon olosuhteita niin, ettei vesi noussut enää ojien puolivälissä märkinäkään kausina maan pintaan asti. Poikkeuksellisen sateisena syksynä 2012 uudelleenkin ojitetut alueet kärsivät märkydestä, joka esti osittain sadonkorjuun. Vettä kertyi tuolloin paikoitellen kaikkien tutkimusalueiden pinnalle.

Kahden ojitusmenetelmän välisten erojen havaitsemista haittasi se, että alueella A (ojaväli 6 m, ei soraa) pohjavesi laski kuivina kausina luontaisesti paljon salaajasyvyyden alapuolelle, jolloin ojituksella ei ole merkitystä. Alueella C (ojaväli 8 m, sorastus) puolestaan pohjavesi pysyi luontaisesti kuivinakin kausina pidempään salaajasyvyyden yläpuolella (mikä aiheutti suuremman valunnan kuin muilla alueilla). Kosteina kausina, kun pohjavedet olivat salaajasyvyyden yläpuolella kummallakin koalueella (A ja C), vedenpinnan korkeusvaihtelut olivat samanlaiset, vaikkakin alueella C taso oli ylempänä. Alueelle A tehty jankkurointi näytti lisäävän alueiden A ja C välistä tasoeroa kosteina kausina. Hyvin märkinä kausina alueen C pohjavesi alkoi viimeisinä mittausvuosina käyttäytyä samaan tapaan kuin verranalueiden B ja D pohjavesi. Pohjaveden pinnankorkeudet on esitetty kuvissa 3.1a–3.6a. Pohjavesikuvien alla on vastaavan ajanjakson muokkauskerroksen (0–20 cm) maan kosteudet.

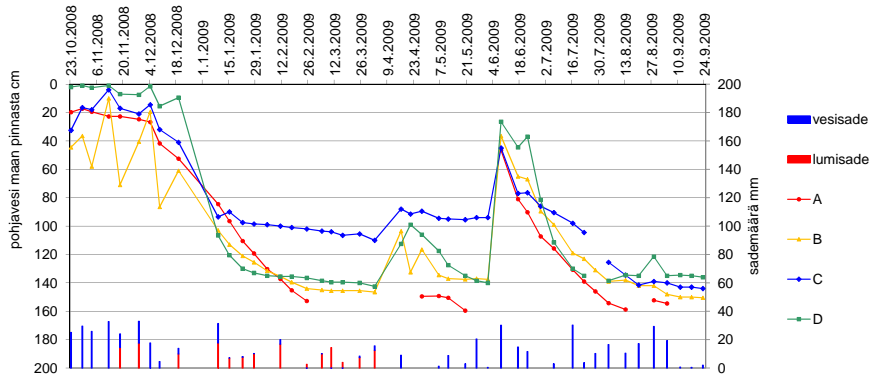
Maankosteusmittaukset muokkauskerroksesta (syvyys 0–20 cm) osoittivat samaa kuin pohjavesimittaukset eli että vuonna 2008 ojitetuilla alueilla A ja C maan pinta pysyi märkinäkin kausina kuivempana kuin vertailualueilla B ja D. Ojitusmenetelmien välillä ei ollut eroja, sillä maan kosteus oli hyvin samanlainen kummallakin ojitetulla alueella kalibrointijaksolla, ojituksen jälkeen ja jankkuroinnin jälkeen. Kuten pohjaveden suhteen, alueen C pintamaan kosteus alkoi märkinä aikoina muistuttaa alueiden B ja D kosteuksia. Maankosteudet on esitetty kuvissa 3.1b–3.6b.



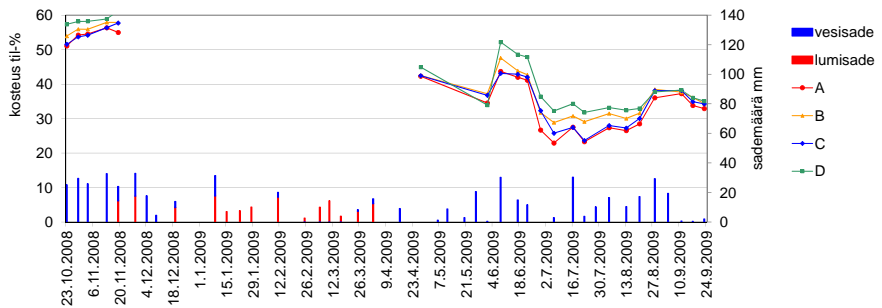
Kuva 3.1a. Nummelan koalueiden pohjaveden pinnankorkeudet kalibrointijaksolla.



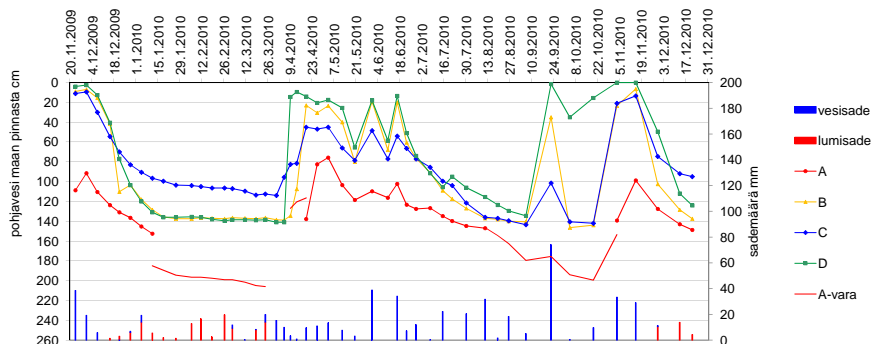
Kuva 3.1b. Nummelan koalueiden maan kosteudet muokkauskerroksessa kalibrointijaksolla.



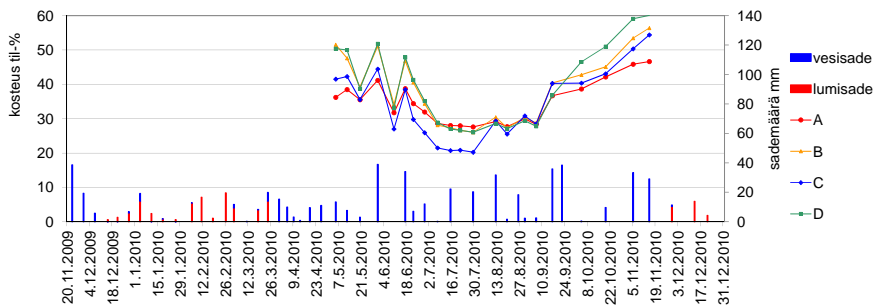
Kuva 3.2a. Nummelan koalueiden pohjaveden pinnankorkeudet lisäojitusten ja jankkuroinnin välillä.



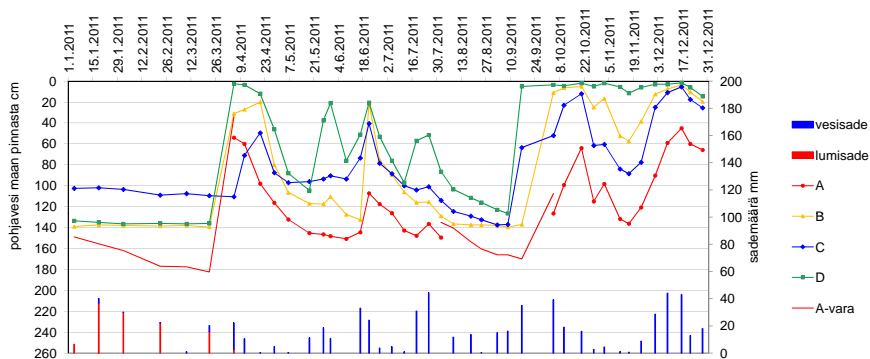
Kuva 3.2b. Nummelan koalueiden maan kosteudet muokkauskerroksessa lisäojitusten ja jankkuroinnin välillä.



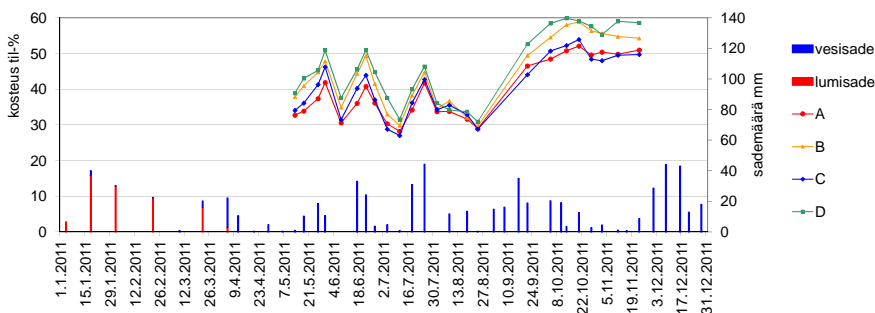
Kuva 3.3a. Nummelan koalueiden pohjaveden pinnankorkeudet jankkuroinnin jälkeen.



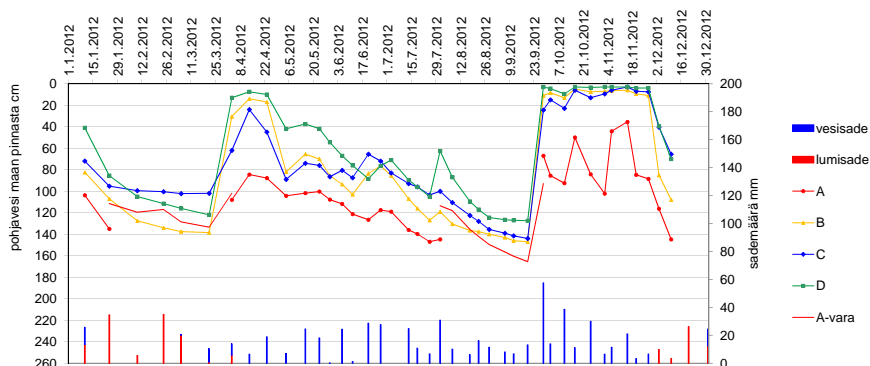
Kuva 3.3b. Nummelan koalueiden maan kosteudet muokkauskerroksessa jankkuroinnin jälkeen.



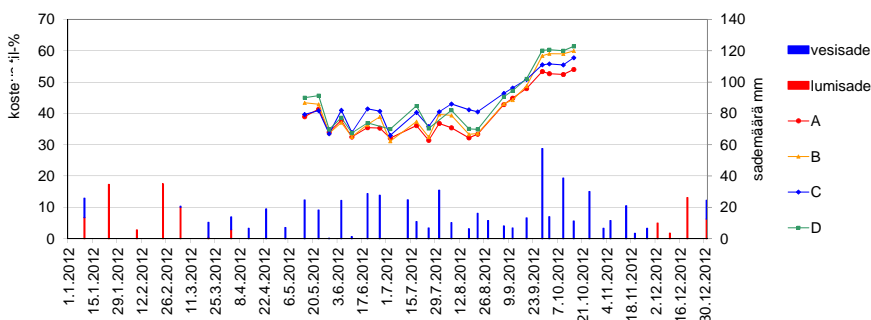
Kuva 3.4a. Nummelan koalueiden pohjaveden pinnankorkeudet vuonna 2011.



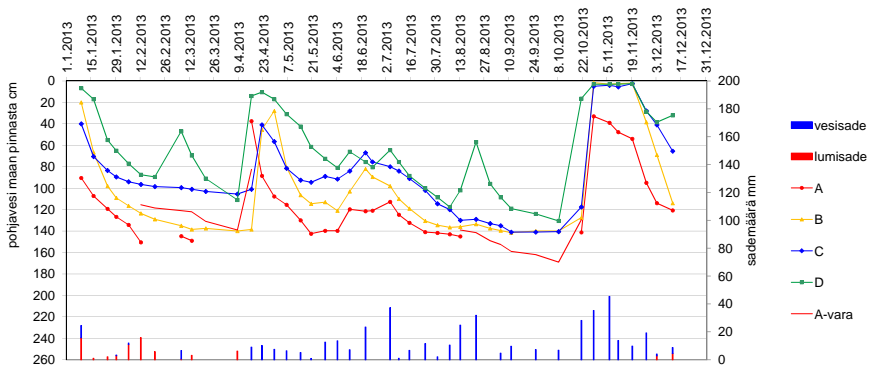
Kuva 3.4b. Nummelan koalueiden maan kosteudet muokauskerroksessa vuonna 2011.



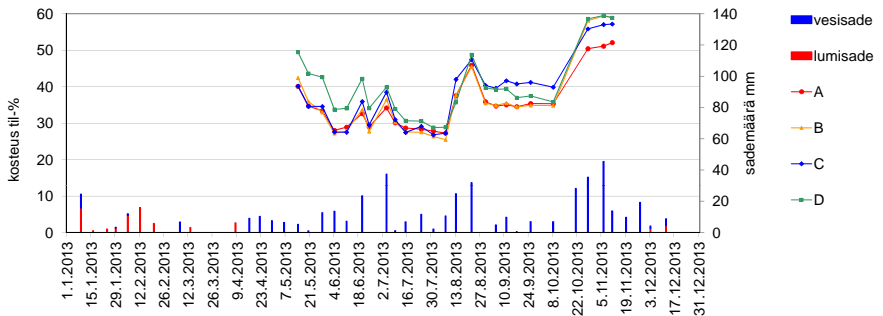
Kuva 3.5a. Nummelan koalueiden pohjaveden pinnankorkeudet vuonna 2012.



Kuva 3.5b. Nummelan koalueiden maan kosteudet muokauskerroksessa vuonna 2012.



Kuva 3.6a. Nummelan koalueiden pohjaveden pinnankorkeudet vuonna 2013.



Kuva 3.6b. Nummelan koalueiden maan kosteudet muokkauskerroksessa vuonna 2013.

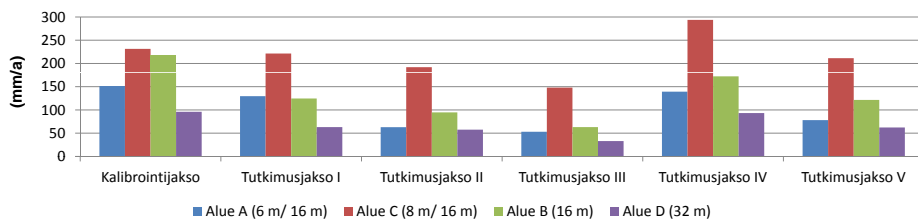
3.1.3 Valunta

Kalibrointijakson ja viiden tutkimusjakson vuotuiset salaoja- ja pintakerrosvalunnat on esitetty kuvissa 3.7 ja 3.8. Tutkimusjaksoilla kevätsulunnan aikaiset suuret vesimäärät aiheuttivat epätarkkuutta pintakerrosvalunnan mittaamisessa. Alueen B pintakerrosvaluntoihin kevään 2009–2013 aikana liittyi niin paljon epävarmuutta, että mittaustulokset jätetään tästä tarkastelusta pois. Vuotuisista kokonaisvalunnoista ja -kuormituksista uusien ojitusten jälkeen ei siten saatu luotettavaa kuvaa.

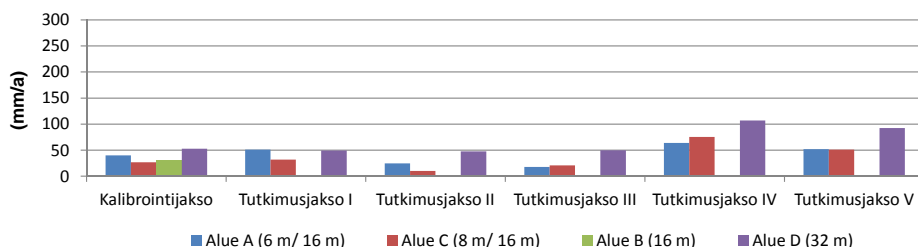
Kalibrointijaksolla Nummelan lievästi viettävällä koekentällä salaojavalunta muodosti valtaosan kokonaisvalunnasta (salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan summa) kaikilla neljällä alueella.

Alueilla C ja B salaojavalunnan osuus oli noin 90 %, alueella A noin 80 % ja harvemman ojavälin (32 m) alueella D reilut 60 % mitatusta kokonaisvalunnasta. Vierekkäisillä alueilla C ja B salaojavaluntaa muodostui lähes yhtä paljon, mutta alueen A salaojista vettä purkautui noin kolmannes vähemmän kuin alueilta C ja B, samasta (16 m) ojavälistä huolimatta. Harvan ojavälin (32 m) alueen D vuotuisen salaojavalunta oli noin 60 % alueen A ja noin 40 % alueen C salaojavalunnasta.

Kalibrointijaksolla suurin pintakerrosvalunnan osuus, 36 %, kokonaisvalunnasta mitattiin odotetusti harvan ojavälin alueelta D. Toisella koekentän reunalla sijaitsevalla alueella A vastaava osuus oli 21 %. Raiskionojasta kauimpina sijaitsevilla alueilla C ja B pintakerrosvalunnan osuudet olivat 10 ja 12 %. Kalibrointijaksolla pintakerrosvalunnan mittaaminen onnistui hyvin, sillä talvi oli vähäluminen ja -routainen eikä voimakasta kevätsuluntaa esiintynyt.



Kuva 3.7. Koealueiden salaojavalunnat (mm a^{-1}) kalibroitijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013). Jaksojen korjatut sadannat: kalibroitijaksolla 715 mm a^{-1} , tutkimusjaksoilla 646 mm a^{-1} , II 575 mm a^{-1} , III 526 mm a^{-1} , IV 693 mm a^{-1} ja V 623 mm a^{-1} .



Kuva 3.8. Koealueiden pintakerrosvalunnat (mm a^{-1}) kalibroitijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010) ja III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013). Alueen B pintakerrosvalunnassa oli epätarkkuutta tutkimusjaksoilla.

Kesäkuussa 2008 tehtyjen täydennys- ja uusintaajitusten jälkeen selvimmän muuttuivat alueen C valuntaolot suhteessa vertailualueeseen B koko tutkimuskauden ajan. Sitä vastoin uusintaajitus alueella A näytti lisänneen salaojavalunnan määrää vain ensimmäisenä vuonna ojituksen jälkeen. Sen jälkeen salaojavalunnan määrä suhteessa vertailualueisiin B ja D palautui samalle tasolle kuin kalibroitijaksolla.

Kalibroitijaksolla alueiden C ja B salaojavalunnat olivat likimain yhtä suuret. Alueen C salaojavalunta oli noin 10 % alueen B valuntaa suurempi. Ojavälin pienentäminen puoleen (ympärysaaneena sora ja sorasilmäkkeet) lisäsi salaojavaluntaa odotusten mukaisesti. Viiden vuoden tutkimuskaudella alueen C vuotuinen salaojavalunta oli vertailualueeseen B nähden keskimäärin 1,9-kertainen (vaihteluväli 1,7–2,3-kertainen) ja vertailualueeseen D nähden keskimäärin 3,6-kertainen. Kalibroitijaksolla alueiden C ja D salaojavaluntojen suhde oli ollut 2,4.

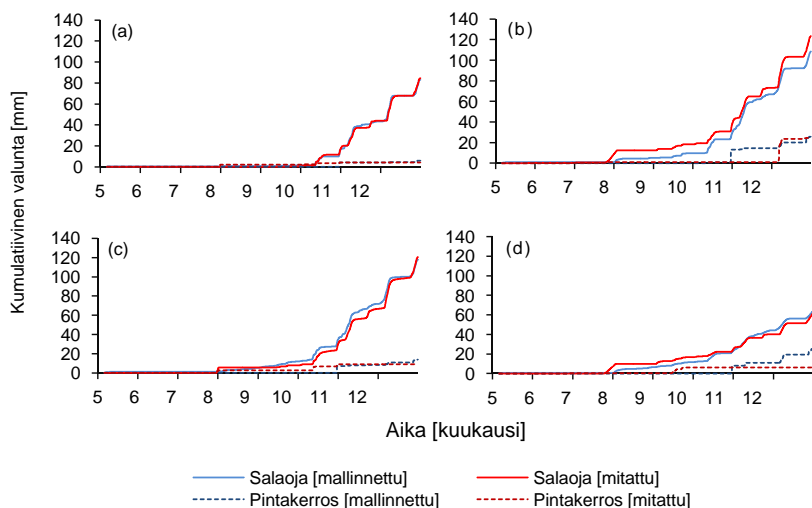
Kalibroitijaksolla alueen A salaojavalunta oli 70 % alueen B valunnasta. Uusintaajitetulla alueella A muodostui ensimmäisellä tutkimusjaksolla likimain yhtä paljon salaojavaluntaa kuin vertailualueella B, selvästi erilaisista ojaväleistä huolimatta. Tutkimusjaksoilla II–V alueelta A mitatun salaojavalunnan määrä oli keskimäärin 74 % (vaihteluväli 66–84 %) vertailualueen B valunnasta. Uusintaajituksen salaojavaluntaa lisäävä vaikutus näkyi ensimmäisellä tutkimusjaksolla myös suhteessa harvan ojavälin vertailualueeseen D. Kalibroitijaksolla alueen A salaojavalunta oli ollut alueen D valuntaan nähden 1,6-kertainen ja tutkimusjaksolla I se oli 2,1-kertainen. Seuraavilla tutkimusjaksoilla II–V alueen A salaojavalunta oli alueen D salaojavaluntaan nähden keskimäärin 1,4-kertainen (vaihteluväli 1,1–1,6). Tutkimusjaksolla II syys-lokakuun vaihteessa vuonna 2009 tehtiin alueella A maan kohotus (jankkurointi).

Pintakerrosvalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli tutkimusjaksoilla keskimäärin kalibrointijaksoa suurempi alueilla A, C ja D. Suhteessa vertailualueeseen D pintakerrosvalunnan osuus alueella A kasvoi tutkimusjaksolla I, mutta jaksoilla II–V alueelta A osuus oli suhteessa alueeseen D pienempi kuin kalibrointijaksolla. Alueen C täydennysojitus ei näyttänyt vaikuttaneen pintakerrosvalunnan osuuteen suhteessa alueeseen D. Kalibrointijaksolla alueella C muodostui pintakerrosvaluntaa noin puolet alueen D määrästä, ja samoin oli myös tutkimusjaksoilla keskimäärin. Keväällä 2009 sulannan aikainen routa häytti mittauksia ja runsaslumisten talvien jälkeiset huhtikuut vuosina 2010–2013 olivat ongelmallisia. Tämän vuoksi alueen B tuloksia tutkimusjaksoilta ei esitetä ja muiden alueiden pintakerrosvalunnan määriin sisältyy enemmän epävarmuutta kuin salaojavaluntoihin.

3.1.4 Pellon vesitaseen ja salaojitusmenetelmien hydrologisten vaikutusten matemaattinen mallintaminen

Turunen (2011) testasi FLUSH-mallia Nummellan koekentän aineistoa vastaan ja Turunen ym. (2013) tarkensivat laskelmia sekä arvioivat salaojitusmenetelmien hydrologisia vaikutuksia koko Nummellan pellon vesitaseen kannalta.

Malli parametrisoitiin, kalibroitiin ja validoitiin käyttäen koekentän mittausaineistoa lumettomilla ajanjaksoilla vuosilta 2007–2009 (kuva 3.9). Mallin testaamisen jälkeen sillä arvioitiin eri salaojitusmenetelmien ja vaihtelevan topografian vaikutuksia pellon hydrologiaan sekä salaojavalunnan muodostumiseen. FLUSH-mallin avulla määritettiin myös niitä vesitaseen komponentteja, joita ei mittauksilla tavoitettu. Lisäksi mallilla pystyttiin erottamaan eri tekijöiden vaikutuksia salaojavalunnan muodostumiseen. Mallitulosten perusteella evapotranspiraatio oli selkeästi vesitaseen suurin komponentti lumettomina aikoina ja pohjavesivalunta muodosti salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan ohella merkittävän veden kulkeutumisreitit.



Kuva 3.9. Tunnittainen mitattu ja mallinnettu salaojavalunta sekä pintakerrosvalunta vastasivat toisiaan hyvin tutkituilla koealueilla (a) A, (b) B, (c) C ja (d) D kalibrointijaksolla (6.5.2007–31.12.2007).

Mallin avulla luotiin skenaarioita seuraavien suunnittelukriteerien vaikutuksesta valuntasuhteisiin: ojaväli, ojasyvyys, putken halkaisija ja ympärysaine sekä asennusmenetelmä. Ojavälillä todettiin olevan suunnittelukriteereistä suurin vaikutus salaojavaluntaan, ja pellon topografian todettiin vaikuttavan salaojavaluntaan muita tutkittuja suunnittelukriteerejä enemmän. Kuitenkin alueella A, joka vietti valtaosaa kohden, tiheä ojaväli (6 m) ei lisännyt salaojavaluntaa yhtä paljon kuin alueella C, jossa ojaväli oli harvempi (8 m). Mallinnustulosten perusteella ilmiön todettiin johtuvan rinteiden muodostamasta hydraulisesta gradientista, joka lisää pohjavesivalunnan määrää enemmän alueella A kuin alueella C. Paikalliset olosuhteet voivat siis vaikuttaa pellon hydrologiaan useimpia suunnittelukriteereitä enemmän. Mallinnuksella todettiin myös peltolohkojen ulkopuolisen kaltevan alueen vaikuttavan merkittävästi tutkituilla peltolohkoilla muodostuvan salaojavalunnan määrään. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että peltolohkojen ulkopuoliset alueet tulisi ottaa huomioon salaojituksia suunniteltaessa. Ilmiöiden analysointi ei ole mahdollista perinteisillä ja laajalti sovelletuilla 1-D laskentamalleilla. Mallinnustulosten perusteella salaojien asennusmenetelmä vaikutti enemmän salaojavalunnan dynamiikkaan kuin salaojavalunnan kumulatiiviseen määrään.

Nummelan mallitulosten perusteella pohjavesivalunnan todettiin olevan merkittävä valuntakomponentti myös savimailla. Simulointitulosten mukaan sadannasta noin 9–15 % poistuu pellolta pohjavesivalunnan kautta. On kuitenkin huomioitava, että mallinnuksissa ei ollut mukana kevätuluntaa ja talviaikaa. Lisäksi mallinnukseen tuo epävarmuutta se, että syvien maakerrosten hydraulisia ominaisuuksia ei ole pohjoisilla leveysasteilla juurikaan tutkittu. Aiempia arvioita pohjavesivalunnan osuudesta ei ole Suomessa tai muualla juurikaan tehty. Tulokset ovat oleellisia vesistöjen suojelun kannalta, koska pohjavesivalunnan ollessa keskeinen valuntakomponentti, voi se olla myös merkittävä reitti liukoisten ravinteiden kulkeutumiselle pelloilta vesistöihin, kuten eräissä hollantilaisissa tutkimuksissa on todettu (Rozemeijer ja Broers, 2007; Rozemeijer ym., 2010). Mallinnuksella todennettiin myös alueiden keskinäisen vuorovaikutuksen vaikuttavan mittaustuloksiin pohjavesivirtausten kautta.

3.1.5 Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet

Salaoja- ja pintakerrosvalunnan ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien vaihteluvälit sekä valunnalla painotetut keskiarvot on esitetty taulukoissa 3.1–3.24. Kalibrointijakson ja viiden tutkimusjakson (kaikki alueet) aikana salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan (suluissa) kokonaistyyppipitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihtelivat välillä 2,4–17,7 mg l⁻¹ (1,8–15,8 mg l⁻¹), kokonaisfosforipitoisuuksien välillä 0,25–1,41 mg l⁻¹ (0,38–1,87 mg l⁻¹), liukoisen epäorgaanisen fosforin välillä 18–159 µg l⁻¹ (22–218 µg l⁻¹) ja kiintoaineen välillä 318–948 mg l⁻¹ (210 - 1360 mg l⁻¹).

Taulukko 3.1. Kalibrointijakson kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	2,5 / 12,1 / 52,5	1,6 / 7,4 / 27,5	1,5 / 7,1 / 21,0	1,9 / 6,9 / 25,4
Painotettu pitoisuus	10,7	7,7	8,0	6,8
Pintakerrosvalunta	1,2 / 10,4 / 56,3	1,9 / 11,0 / 34,3	2,0 / 8,6 / 15,6	1,0 / 4,9 / 22,6
Painotettu pitoisuus	5,8	10,7	7,5	2,5

Taulukko 3.2. Tutkimusjakson I kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	5,0 / 17,7 / 30,3	2,1 / 5,8 / 19,5	1,4 / 3,3 / 6,2	1,4 / 2,4 / 4,2
Painotettu pitoisuus	17,5	3,7	2,7	2,1
Pintakerrosvalunta	2,8 / 15,8 / 33,0	2,0 / 3,6 / 5,5	1,2 / 1,8 / 2,4	1,4 / 3,3 / 9,4
Painotettu pitoisuus	14,6	3,3	1,2	1,8

Taulukko 3.3. Tutkimusjakson II kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	2,2 / 14,4 / 36,6	1,4 / 5,1 / 10,6	2,2 / 5,9 / 11,9	2,7 / 6,3 / 23,4
Painotettu pitoisuus	9,5	5,4	5,8	4,5
Pintakerrosvalunta	1,8 / 6,9 / 10,8	2,1 / 4,6 / 7,8	2,6 / 5,5 / 7,2	2,4 / 14,6 / 61,5
Painotettu pitoisuus	6,9	3,1	3,2	6,0

Taulukko 3.4. Tutkimusjakson III kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	2,1 / 11,2 / 17,5	1,6 / 5,6 / 14,5	1,8 / 6,7 / 13,6	2,5 / 5,8 / 10,7
Painotettu pitoisuus	10,7	5,3	6,9	5,7
Pintakerrosvalunta	2,3 / 10,3 / 18,5	2,5 / 5,7 / 9,4	1,8 / 5,8 / 10,4	1,7 / 6,1 / 18,4
Painotettu pitoisuus	7,4	3,9	2,9	3,3

Taulukko 3.5. Tutkimusjakson IV kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	2,5 / 12,3 / 22,8	1,6 / 6,0 / 11,1	1,3 / 6,4 / 20,8	2,0 / 6,2 / 24,8
Painotettu pitoisuus	12,4	6,1	6,7	5,3
Pintakerrosvalunta	1,0 / 13,1 / 51,9	1,4 / 6,1 / 19,4	1,3 / 6,0 / 17,7	1,0 / 6,4 / 40,6
Painotettu pitoisuus	5,1	2,6	3,3	4,2

Taulukko 3.6. Tutkimusjakson V kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	3,9 / 9,7 / 28,1	2,5 / 4,7 / 10,6	1,6 / 4,2 / 11,5	1,5 / 3,2 / 7,6
Painotettu pitoisuus	8,1	4,7	3,8	4,0
Pintakerrosvalunta	2,7 / 11,2 / 65,2	1,8 / 4,1 / 13,0	1,7 / 4,0 / 6,9	1,2 / 4,7 / 26,2
Painotettu pitoisuus	5,0	1,6	2,6	3,1

Alueen A salaojavalunnan kokonaistyyppipitoisuudet olivat jo kalibrointijaksolla muita alueita korkeampia ja uusintaajituksen jälkeen ero kasvoi entisestään, 5,4-kertaiseksi. Ensimmäisen vuoden jälkeen ojituksesta nousu kuitenkin taittui, mutta pitoisuudet olivat vertailualueisiin ja täydennysojitusalueeseen C nähden likimain kaksinkertaisia.

Alueiden C, B ja D salaojavesien tyyppipitoisuudet olivat tutkimusjaksoa I lukuun ottamatta lähellä toisiaan. Täydennysojituksen jälkeisenä vuonna havaittiin pieni nousu alueen C salaojaveden tyyppipitoisuudessa suhteessa vertailualueisiin.

Kalibrointijaksolla alueiden A ja C pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuudet olivat lähellä toisiaan, ja korkeampia kuin alueilla B ja D. Tutkimusjaksoilla tilanne oli samansuuntainen kuin salaojavalunnassakin, alueen A tyyppipitoisuudet olivat korkeimpia, ja kolme muuta aluetta lähellä toisiaan. Poikkeuksena tähän oli tutkimusjakso II, jolloin alueen D pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuus oli muita alueita selvästi suurempi.

Alueiden viljelytoimenpiteet olivat samanlaiset koko tutkimuksen ajan ja vuosikausia ennen tutkimuksen alkua. Maan fysikaalisissa ominaisuuksissa ei havaittu kovin suuria eroja. Maaperän typpimääristä ei koalueilta ollut mittauksia, mutta muissa kemiallisissa ominaisuuksissa oli eroja (Vakkilainen ym. 2010). Alueen A valumavesien tyyppipitoisuuksien nousu täydennysojituksen jälkeen johtui todennäköisesti aurasalaojakoneen maata muokkaavasta vaikutuksesta ja jankkuroinnista. Muokkauksen on todettu lisäävän orgaanisen typen mineralisaatiota ja herkästi huuhtoutuvan nitraattitypen määrää maassa.

Taulukko 3.7. Kalibrointijakson kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojat	0,13 / 0,96 / 4,08	0,28 / 0,94 / 2,23	0,05 / 0,76 / 1,66	0,21 / 0,82 / 2,64
Painotettu pitoisuus	1,03	0,84	0,79	0,84
Pintakerrosvalunta	0,06 / 1,42 / 4,94	0,45 / 1,38 / 3,21	0,05 / 0,86 / 1,94	0,06 / 0,52 / 1,64
Painotettu pitoisuus	1,90	1,56	0,98	0,70

Taulukko 3.8. Tutkimusjakson I kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	0,07 / 0,57 / 2,09	0,22 / 0,99 / 2,01	0,25 / 1,41 / 2,42	0,33 / 0,83 / 1,39
Painotettu pitoisuus	0,55	1,20	1,68	0,95
Pintakerrosvalunta	0,13 / 0,76 / 1,53	1,13 / 1,87 / 2,54	0,19 / 0,38 / 0,57	0,21 / 0,76 / 1,47
Painotettu pitoisuus	0,80	2,12	0,21	0,69

Taulukko 3.9. Tutkimusjakson II kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	0,04 / 0,25 / 0,84	0,03 / 0,41 / 1,87	0,10 / 0,64 / 2,18	0,13 / 0,73 / 1,62
Painotettu pitoisuus	0,33	0,64	1,10	1,02
Pintakerrosvalunta	0,10 / 0,67 / 1,40	0,30 / 0,89 / 2,12	0,22 / 0,71 / 1,70	0,06 / 0,55 / 1,57
Painotettu pitoisuus	0,56	0,75	0,35	0,65

Taulukko 3.10. Tutkimusjakson III kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
	min / ka. / max	min / ka. / max	min / ka. / max	min / ka. / max
Salaojavalunta	0,04/0,37/ 1,82	0,04/0,55/ 2,85	0,17/0,90/ 4,72	0,18/0,87/ 2,14
Painotettu pitoisuus	0,42	0,51	1,05	1,13
Pintakerrosvalunta	0,14/0,65/ 2,03	0,23/1,15/ 2,81	0,17/0,71/ 2,71	0,10/0,59/ 1,98
Painotettu pitoisuus	0,49	0,70	0,23	0,46

Taulukko 3.11. Tutkimusjakson IV kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
	min / ka. / max	min / ka. / max	min / ka. / max	min / ka. / max
Salaojavalunta	0,04 / 0,37 / 1,34	0,04 / 0,47 / 1,90	0,15 / 0,69 / 2,512	0,08 / 0,54 / 1,77
Painotettu pitoisuus	0,52	0,69	0,96	0,65
Pintakerrosvalunta	0,13 / 0,80 / 2,74	0,20 / 1,02 / 2,86	0,18 / 0,91 / 3,14	0,11 / 0,53 / 1,69
Painotettu pitoisuus	0,77	0,82	0,61	0,65

Taulukko 3.12. Tutkimusjakson V kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
	min / ka. / max	min / ka. / max	min / ka. / max	min / ka. / max
Salaojavalunta	0,05 / 0,35 / 0,88	0,04 / 0,40 / 0,90	0,08 / 0,52 / 1,26	0,03 / 0,42 / 1,23
Painotettu pitoisuus	0,38	0,49	0,59	0,45
Pintakerrosvalunta	0,29 / 0,67 / 1,52	0,31 / 0,79 / 1,77	0,39 / 0,67 / 1,01	0,22 / 0,46 / 1,59
Painotettu pitoisuus	0,51	0,40	0,50	0,36

Salaojavalunnan kokonaisfosforipitoisuuksien keskiarvot eri alueilla ja jaksoilla vaihtelivat tyypipitoisuuksia enemmän. Kalibroitijaksolla alueiden A ja C pitoisuuskeskiarvot olivat vertailualueiden B ja D keskiarvoja hieman suurempia. Uusinta- ja täydennysojitus näyttivät pienentäneen salaojavalunnan fosforipitoisuuksia vertailualueisiin nähden. Alueen A kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvot olivat kaikilla tutkimusjaksoilla jakson alimpia. Tutkimusjakson I jälkeen alueen C keskiarvot olivat vastaavasti toiseksi alimpia. Erot koealueiden (A ja C) ja vertailualueiden (B ja D) kokonaisfosforipitoisuuksien välillä kaventuivat vuosien myötä.

Vertailualueen B salaojavalunnan kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvo oli tutkimusjaksolla I lähes kaksinkertainen kalibroitijakssoon verrattuna. Seuranneilla tutkimusjaksoilla fosforipitoisuus laski samaan suurusluokkaan kuin alueella D, jonka salaojavalunnan kokonaisfosforipitoisuus ei ollut noussut kalibroitijakson tasosta. Alueen B fosforipitoisuuden kasvu johtui muita alueita suuremmasta kiintoaineen määrästä salaojavedessä.

Pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuuksien keskiarvojen vaihtelu erosi salaojavalunnan vaihtelusta. Kalibroitijaksolla alueiden A ja C fosforipitoisuudet olivat likimain yhtä suuret ja selvästi vertailualueiden pitoisuuksia korkeampia.

Alueen A kokonaisfosforipitoisuus pieneni uusintaojituksen jälkeen suhteessa kalibroitijakssoon ja vertailualueisiin B ja D. Tutkimusjaksoilla II - V alueen A

pintakerrosvalunnan pitoisuuskeskiarvo oli samaa luokkaa vertailualueen B keskiarvon kanssa, ja vaihtelua oli verrattain vähän (välillä 0,65–0,80 mg/l).

Alueen C pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuus kasvoi täydennysojituksen jälkeisenä vuonna, jonka jälkeen pitoisuus laski alle kalibrointijakson tason suhteessa vertailualueisiin B ja D. Jokaisen tutkimusjakson korkeimmat kokonaisfosforipitoisuuden keskiarvot mitattiin alueen C pintakerrosvalunnasta.

Nummelan mittausten perusteella näyttää siltä, että uusintaajitus aurasalaojako-
neella vähensi selvästi kokonaisfosforin pitoisuuksia valumavesissä. Uusintaajitusalue myös jankkuroitiin, mikä todennäköisesti vaikutti fosforin käyttäytymiseen maassa. Täydennysojituksella oli samanlainen vaikutus toisesta tutkimusvuodesta alkaen.

Taulukko 3.13. Kalibrointijakson liukoisien fosforin pitoisuuden minimi-, keski- ja maksimi- ja valunnalla painotetut keskiarvot (ug/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojat	16 / 125 / 1040	7 / 186 / 881	3 / 87 / 301	10 / 157 / 1348
Painotettu pitoisuus	89	155	96	108
Pintakerrosvalunta	9 / 93 / 622	9 / 218 / 1364	5 / 32 / 86	3 / 26 / 63
Painotettu pitoisuus	71	301	79	42

Taulukko 3.14. Tutkimusjakson I liukoisien fosforin pitoisuuden minimi-, keski- ja maksimi- ja valunnalla painotetut keskiarvot (ug/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	10 / 26 / 47	36 / 83 / 111	76 / 110 / 139	46 / 64 / 149
Painotettu pitoisuus	24	93	116	60
Pintakerrosvalunta	25 / 33 / 46	54 / 84 / 101	87 / 99 / 110	33 / 42 / 61
Painotettu pitoisuus	31	91	88	38

Taulukko 3.15. Tutkimusjakson II liukoisien fosforin pitoisuuden minimi-, keski- ja maksimi- ja valunnalla painotetut keskiarvot (ug/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	10 / 18 / 54	23 / 46 / 77	30 / 49 / 66	21 / 35 / 59
Painotettu pitoisuus	18	74	61	31
Pintakerrosvalunta	17 / 22 / 28	46 / 83 / 154	39 / 61 / 101	21 / 35 / 62
Painotettu pitoisuus	36	61	79	55

Taulukko 3.16. Tutkimusjakson III liukoisien fosforin pitoisuuden minimi-, keski- ja maksimi- ja valunnalla painotetut keskiarvot (ug/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	16 / 29 / 55	26 / 57 / 110	37 / 76 / 173	20 / 43 / 84
Painotettu pitoisuus	31	75	72	40
Pintakerrosvalunta	20 / 35 / 77	41 / 94 / 181	35 / 79 / 108	8 / 38 / 85
Painotettu pitoisuus	36	143	96	41

Taulukko 3.17. Tutkimusjakson IV liukoisien fosforin pitoisuuden minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	13 / 30 / 75	22 / 60 / 139	27 / 69 / 140	13 / 47 / 194
Painotettu pitoisuus	30	64	72	45
Pintakerrosvalunta	25 / 45 / 92	46/ 86 / 149	43/ 72 / 88	18 / 36 / 59
Painotettu pitoisuus	43	45	70	36

Taulukko 3.18. Tutkimusjakson V liukoisien fosforin pitoisuuden minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	19 / 54 / 166	29 / 87 / 225	30 / 101 / 219	10 / 79 / 164
Painotettu pitoisuus	58	116	116	83
Pintakerrosvalunta	24 / 95 / 165	55/ 160 / 430	78/ 162 / 279	39 / 68 / 98
Painotettu pitoisuus	120	67	259	73

Kalibrointijaksolla salaojavalunnan korkein liukoisien fosforin pitoisuuskeskiarvo (186 mg l⁻¹) mitattiin alueelta C ja pienin (87 mg l⁻¹) alueelta B. Tutkimusjaksolla I tilanne oli aivan toisenlainen, koealueiden A ja C sekä vertailualueen D liukoisien fosforin pitoisuuskeskiarvot laskivat kalibrointijaksosta (55 - 80 %), mutta vertailualueen B nousi (25 %). Tutkimusjaksolla II alueen B liukoisien fosforin keskipitoisuus laski samalle tasolle kuin alueella C. Tutkimusjaksoilla III–V alueen C liukoisien fosforin pitoisuudet olivat vertailualueiden B ja D välissä. Alueen A salaojavalunnan pitoisuuskeskiarvo oli kaikilla tutkimusjaksoilla matalin, noin puolet seuraavaksi pienimmän, vertailualueen D, keskiarvosta.

Pintakerrosvalunnan liukoisien fosforin pitoisuuskeskiarvot vaihtelivat alueella A eri jaksoilla samansuuntaisesti kuin salaojavalunnassakin. Kalibrointijakson jälkeen liukoisien fosforin pitoisuudet alueella A laskivat ja olivat tutkimusjaksoilla selvästi alueen C ja vertailualueen B keskiarvoja alempia. Tosin salaojavalunnasta poiketen tutkimusjaksoilla IV ja V vertailualueen D pintakerrosvalunnan liukoisien fosforin pitoisuuskeskiarvot olivat aluetta A matalampia.

Liukoisien fosforin pitoisuudet koealueen A salaojavalunnassa laskivat tutkimusjaksoilla suhteessa kalibrointijaksoon ja vertailualueisiin. Myös alueen C salaojavesien liukoisien fosforin pitoisuus laski tutkimusjaksoilla verrattaessa kalibrointijaksoon ja vertailualueeseen B, vertailualueeseen D nähden ei muutosta tapahtunut. Pintakerrosvalunnassa pitoisuusmuutokset uusien ojitusten jälkeen eivät olleet niin selväpiirteisiä.

Liukoisien fosfaattifosforin pitoisuudet kasvoivat sekä salaoj- että pintakerrosvalunnassa kaikilla alueilla viimeisellä tutkimuskaudella, jolloin syksyllä 2012 osa sadosta jäi korjaamatta märkyyden vuoksi.

Liukoisien fosforin pitoisuuden osuus kokonaisfosforin pitoisuudesta vaihteli kalibrointijaksolla salaojavalunnoissa välillä 11–20 % ja pintakerrosvalunnoissa välillä 4–16 %. Osuus oli alueen C salaojavalunnassa 20 % ja alueen A 13 %. Tutkimusjaksoilla liukoisien fosforin osuudet olivat kalibrointijaksoa pienempiä, alueen C salaojavalunnassa keskimäärin 13 % ja alueen A 9 %.

Taulukko 3.19. Kalibrointijakson kiintoaineen pitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	180 /668/ 1520	220/562/1020	140/558/1080	120/570/1360
Painotettu pitoisuus	848	526	627	600
Pintakerrosvalunta	120/1179/4400	220/958/1640	260/619/1160	180/553/1520
Painotettu pitoisuus	1870	1041	577	708

Taulukko 3.20. Tutkimusjakson I kiintoaineen pitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	280 / 700/2340	200/ 720/ 1380	180/ 948/ 1620	280/ 643/ 1140
Painotettu pitoisuus	640	811	1084	720
Pintakerrosvalunta	140/ 784/ 1540	880/1360/1820	100/ 210/ 320	160/ 690/ 1620
Painotettu pitoisuus	820	1500	111	610

Taulukko 3.21. Tutkimusjakson II kiintoaineen pitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	20 / 335/840	24/ 337/ 1060	80/ 505/ 1440	240/ 611/ 1340
Painotettu pitoisuus	343	423	746	846
Pintakerrosvalunta	20/ 617/ 1440	20/594/1540	20/ 528/ 1340	80/ 555/ 1360
Painotettu pitoisuus	548	522	171	555

Taulukko 3.22. Tutkimusjakson III kiintoaineen pitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	100 / 406/1500	100 / 428/1820	80 / 648/3000	340 / 767/1780
Painotettu pitoisuus	412	351	716	938
Pintakerrosvalunta	160 / 642/1900	80 / 767/2040	60 / 502/1780	40 / 537/1700
Painotettu pitoisuus	496	425	137	401

Taulukko 3.23. Tutkimusjakson IV kiintoaineen pitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	140 / 427/ 1240	80 / 379 / 1260	140/ 516 /1940	180 /472 /1420
Painotettu pitoisuus	551	501	658	519
Pintakerrosvalunta	100 /790 /2940	100/ 699 /2120	120/ 620 /2220	100 /477 /1600
Painotettu pitoisuus	751	555	382	568

Taulukko 3.24. Tutkimusjakson V kiintoaineen pitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l).

	Alue A min / ka. / max	Alue C min / ka. / max	Alue B min / ka. / max	Alue D min / ka. / max
Salaojavalunta	160 / 372 / 800	60 / 319 / 540	80 / 359 / 880	80 / 318 / 880
Painotettu pitoisuus	347	284	335	272
Pintakerrosvalunta	120 / 516 / 1280	0 / 404 / 1080	60 / 330 / 740	60 / 323 / 1400
Painotettu pitoisuus	322	194	100	207

Kalibrointijaksolla alueiden C, B ja D salaojavalunnan kiintoainepitoisuuksien vuotuiset keskiarvot olivat likimain yhtä suuret. Alueen A keskipitoisuus oli näitä korkeampi, noin 1,2-kertainen. Ojitusten jälkeisenä vuonna sekä alueen A että alueen C salaojavesien kiintoainepitoisuudet nousivat hieman kalibrointijaksosta, mutta olivat sitä seuranneilla tutkimusjaksoilla vertailualueita ja kalibrointijaksoa alempia. Ero vertailualueisiin pieneni kuitenkin mittausvuosien myötä.

Vertailualueen B salaojavalunnan kiintoainepitoisuus oli huomattavan korkea tutkimusjaksolla I, vaikka viljelytoimenpiteet olivat samat kuin muillakin koealueilla ja ojitus säilyi ennallaan.

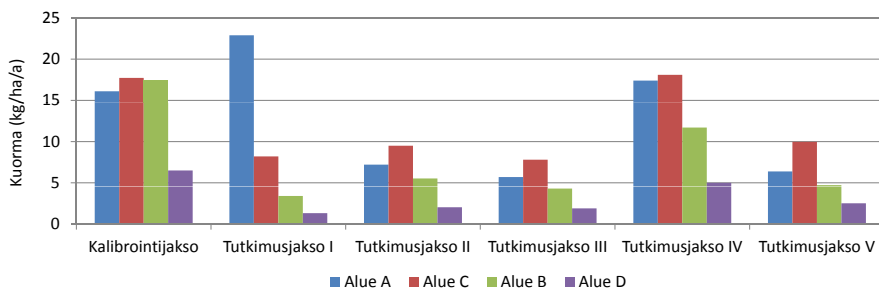
Pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuudet olivat kalibrointi- ja tutkimusjaksoilla koealueilla (A ja C) korkeampia kuin vertailualueilla (B ja D). Täydennysojitus näytti nostavan kiintoainepitoisuutta alueen C pintavalunnassa lyhytaikaisesti. Tutkimusjaksolla I kiintoainepitoisuuden keskiarvo (1360 mg l⁻¹) oli kaikki alueet huomioon ottaen tutkimusjaksojen selvästi korkein. Tämän jälkeen pitoisuudet laskevat, ja tutkimusjaksoilla II - V alueen C pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuus oli noin puolet huippulukemasta. Alueella A pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuus nousi lyhytaikaisesti suhteessa vertailualueeseen B, mutta laskeutui alueeseen D ja kalibrointijaksoon verrattuna. Tutkimusjaksoilla IV ja V alueen A pintakerrosvalunnan pitoisuuskeskiarvo nousi muita alueita hieman korkeammaksi.

Vertailualueella B tutkimusjaksojen pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuudet poikkesivat salaojavalunnasta. Alueen B salaojavalunnan kiintoainepitoisuuksien keskiarvot olivat yleensä jaksojen korkeimpia, mutta pintakerrosvalunnassa alimpia. Alueen B pintakerrosvalunnan mittauksissa oli epätarkkuutta, mikä saattoi vaikuttaa myös valumavesien pitoisuuksiin.

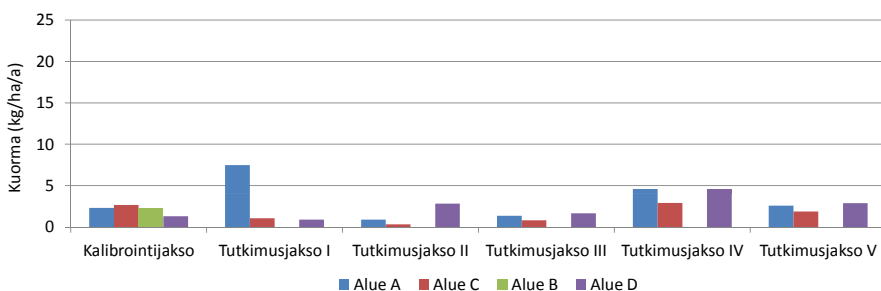
3.1.6 Ravinne- ja kiintoainehuuhtoumat

Huomattava osa alueiden A, C ja B ravinne- ja kiintoainekuormituksesta tuli salaojien kautta. Harvan ojavälin (32 m) alueelta D myös pintakerrosvalunnan mukana kulkeutui suhteellisen suuria ainemääriä. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan ravinne- ja kiintoainemäärät kalibrointijaksolla ja tutkimusjaksoilla on esitetty kuvissa 3.10–3.17. Valuntamittauksessa olleiden epävarmuuksien vuoksi alueen B pintakerrosvalunnan ainekuormia ei kalibrointijaksoa lukuun ottamatta laskettu. Muidenkin alueiden pintakerrosvaluntojen ainekuormat olivat salaojavaluntojen mukana tulleita kuormituksia epätarkempia.

Salaojavaluntojen vuotuiset kokonaistypen huuhtoumat vaihtelivat välillä 1,3–22,9 kg ha⁻¹, kokonaisfosforin huuhtoumat välillä 0,2–2,7 kg ha⁻¹ ja kiintoainekuormat välillä 170–1810 kg ha⁻¹ eri koealueilla. Liukoisen epäorgaanisen fosforin osuus kokonaisfosforihuuhtoumasta oli 3 - 23 % alueesta ja ajanjaksosta riippuen.



Kuva 3.10 Salaojavalunnon kokonaistyyppikuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibrointijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).

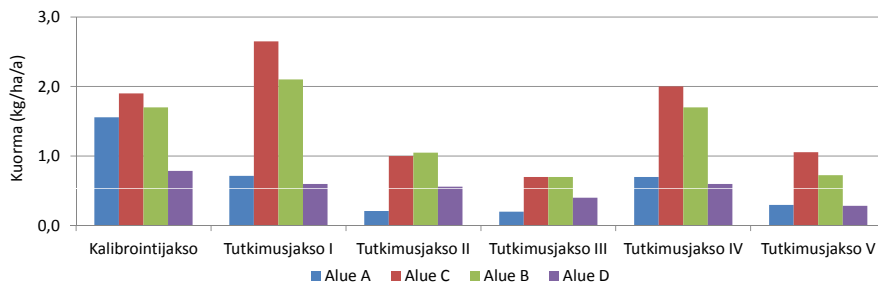


Kuva 3.11 Pintakerrosvalunnon kokonaistyyppikuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibrointijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).

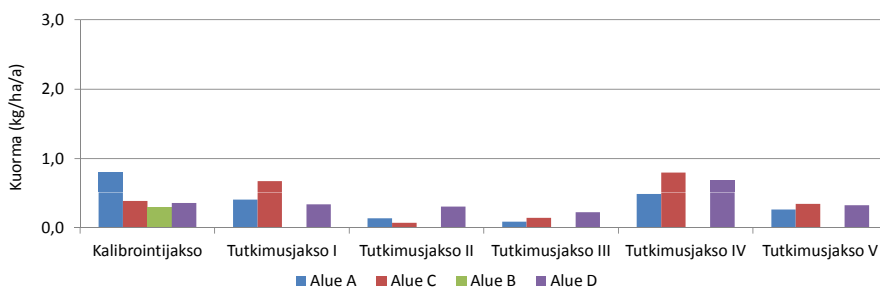
Kalibrointijaksolla 16 metrin ojavälin alueet A, C sekä B tuottivat likimain yhtä suuret kokonaistyyppihuuhtoumat (18,4–20,4 kg ha⁻¹ a⁻¹) salaoja- ja pintakerrosvaluntojen mukana. Harvan ojavälin (32 m) alueen D kokonaistyyppihuuhtouma (7,8 kg ha⁻¹ a⁻¹) oli 40 % kolmen muun alueen keskiarvosta. Pintakerrosvalunnon osuus 16 metrin ojavälin alueilla oli 12–13 % ja 32 metrin ojavälin alueella D 17 %.

Kalibrointijaksolla alueen A salaojista tuli lähes saman verran tyyppikuormitusta kuin alueiden C ja B salaojista, kolmanneksen pienemmästä valunnasta huolimatta, sillä alueen A salaojaveden tyyppipitoisuudet olivat 60–70 % korkeampia kuin alueiden C ja B. Alueen D pienempi kokonaiskuormitus johtui muista alueista pienemmästä valunnasta ja myös pintakerrosvalunnon pienemmistä pitoisuuksista.

Salaojavalunnon kokonaistyyppikuormat vaihtelivat tutkimusjaksojen ja koealueiden välillä huomattavasti. Tyyppikuormien ääriarvot, 1,3–22,9 kg ha⁻¹ a⁻¹, muodostuivat ensimmäisellä tutkimusjaksolla. Sekä uusinta- että täydennysojitus lisäsivät koealueiden tyyppihuuhtoumista vertailualueisiin nähden. Heti uusintaojituksen jälkeen alueen A salaojien kokonaistyyppihuuhtouma kasvoi selvästi kalibrointijaksoon ja muihin alueisiin verrattuna. Ensimmäisenä tutkimusvuonna alueen A salaojista huuhtoutui tyyppiä (22,9 kg ha⁻¹ a⁻¹) yli kuusinkertainen määrä alueeseen B verrattuna, vaikka salaojavalunnat olivat likimain yhtä suuret. Alueen A tyyppihuuhtoumat (suhteessa alueeseen B) pienenevät ajan myötä. Tutkimusjaksoilla II–V alueen A salaojien kokonaistyyppihuuhtouma oli noin puolitoistakertainen alueen B huuhtoumaan verrattuna.



Kuva 3.12. Salaojavalunnan kokonaisfosforikuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibrointijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).

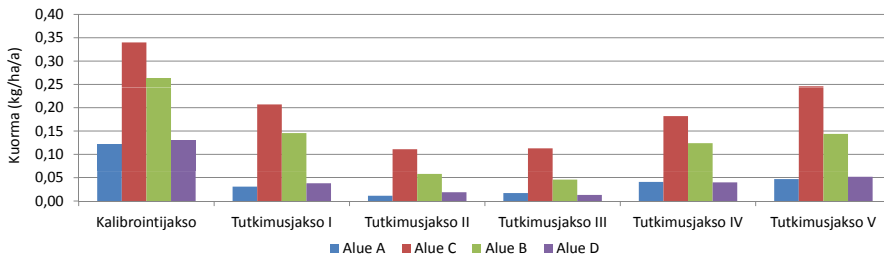


Kuva 3.13. Pintakerrosvalunnan kokonaisfosforikuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibrointijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).

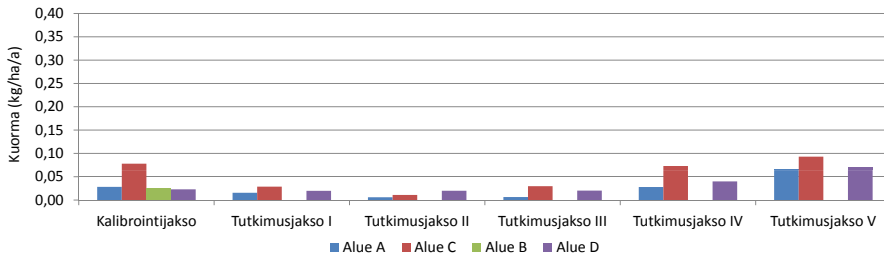
Täydennysojitetun alueen C salaojavalunnan tyyppikuorma pieneni kalibrointijaksosta (paitsi jaksolla IV), mutta kasvoi vertailualueeseen B nähden. Uusinta-ajituksen alueelle A aiheuttamaa selvää kuormituspiikkiä ei alueella C havaittu. Tutkimusjaksoilla alueen C salaojavalunnan kokonaistyyppikuormat olivat 1,5–2,4-kertaisia alueeseen B verrattuna. Suhdeluku harvan ojavälin vertailualueeseen D vaihteli välillä 3,6–4,7. Koalueen C salaojavalunnan vertailualueita suurempi kokonaistyyppikuorma johtui pääosin täydennysojituksen aiheuttamasta valunnan lisääntymisestä.

Kalibrointijaksolla pintakerrosvalunnan tyyppikuorman osuus kokonaiskuormasta (salaoja- ja pintakerrosvalunta) oli alueilla A, B ja C lähes sama, 12–13 %. Tutkimusjaksoilla pintakerrosvalunnan osuus oli alueella A keskimäärin noin 20 % ja alueella C noin 10 %. Harvan ojavälin vertailualueella D pintakerrosvalunnan osuus alueen kokonaistyyppikuormasta oli kalibrointijaksolla vain 17 %, mutta tutkimusjaksoilla huomattavasti suurempi, noin puolet kokonaiskuormasta.

Kalibrointijaksolla kaikkien kolmen 16 metrin ojavälin alueen (A, C ja B) kokonaisfosforihuuhtoumat olivat lähellä toisiaan. Kokonaiskuormitus (sala- ja pintakerrosvalunta) vaihteli välillä 2,0–2,4 kg ha⁻¹ a⁻¹, josta salaojien kautta tuli 66–85 %. Harvan ojavälin alueen D kokonaisfosforihuuhtouma oli puolet muiden alueiden keskiarvosta, ja salaojien osuus kokonaiskuormituksesta noin 70 %. Alueen D muita alueita pienempi kokonaisfosforikuormitus johtui pienemmästä valunnasta ja pintakerrosvalunnan matalammista pitoisuuksista.



Kuva 3.14. Salaojavalunnan liukoisen fosforin kuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibroitintijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).



Kuva 3.15. Pintakerrosvalunnan liukoisen fosforin kuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibroitintijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).

Alueen A salaojavalunnan kokonaisfosforikuorma pieni uusintaajituksen jälkeen. Keskimäärin alueen A salaojien kokonaisfosforikuorma oli tutkimusjaksoilla 30 % (vaihteluväli 20–40 %) vertailualueen B kuormasta. Harvan ojavälin vertailualueeseen D nähden vaihtelu oli suurempaa, 0,4–1,2 -kertaista (keskiarvo 0,9). Alueen A kokonaisfosforipitoisuuksien lasku salaojavedessä oli pienentyneiden kuormien pääsääntöinen syy.

Täydennysojituksen jälkeisenä tutkimusvuonna alueen C kokonaisfosforikuorma nousi kalibroitintijaksoon verrattuna, ja samoin tapahtui vertailualueella B, tosin nousu oli pienempi. Tutkimusjaksoilla alueen C salaojien kokonaisfosforikuorma oli alueen B kuormaan nähden keskimäärin 1,2 -kertainen. Vastaava suhdeluku toiseen vertailualueeseen D nähden oli 3,0. Kokonaistyyppikuormien tapaan myös kohonneet kokonaisfosforikuormat johtuivat alueen C kasvaneesta salaojavalunnasta. Vertailualueen B tutkimusjakson I salaojien kohonneen kokonaisfosforikuormituksen perustana oli muita alueita suuremmat fosforipitoisuudet.

Tutkimusjaksoilla pintakerrosvalunnan keskimääräinen osuus kokonaisfosforin kokonaiskuormasta oli koealueilla suurempi kuin kalibroitintijaksolla. Tutkimusjaksoilla osuus oli alueella A noin 40 % ja alueella C noin 20 %, eli hieman korkeampi kuin kalibroitintijaksolla. Myös vertailualueella D pintakerrosvalunnan osuus oli tutkimusjaksoilla kalibroitintijaksoa korkeampi, keskimäärin 43 %. Osuuksien eroihin vaikuttanee kalibroitintijakson poikkeuksellisen lauha talvi, jolloin salaojavaluntaa muodostui runsaasti.

Suurimmat vuotuiset salaojavalunnan liukoisen fosforin kuormat tulivat alueelta C. Näin oli sekä kalibroitintijaksolla että tutkimusjaksoilla. Yhtä säännönmukaisesti toiseksi suurimmat kuormat mitattiin viereiseltä vertailualueelta B. Koealueen C salaojien

liukoisen fosforin kuorma oli kalibrointijaksolla alueen B kuormaan nähden 1,3 -kertainen. Täydennysojituksen jälkeen alueen C kuormat nousivat suhteessa vertailualueisiin B ja D. Tutkimusjaksojen I–V liukoisen fosforin kuormien keskiarvo alueella C oli 1,8 -kertainen alueen B kuormaan verrattuna (vaihteluväli 1,4–2,5).

Alueiden C ja D salaojavaluntojen liukoisen fosforin kuormien suhde oli kalibrointijaksolla 2,6 ja tutkimusjaksoilla keskimäärin 5,9 (vaihteluväli 4,6–8,7). Kuormituksen kasvu alueella C johtui lisääntyneestä salaojavalunnasta, sillä salaojaveden pitoisuudet vähenivät jonkin verran täydennysojituksen jälkeen.

Koealueen A salaojien liukoisen fosforin kuormitus oli kalibrointijaksolla puolet alueen B kuormasta. Uusintaajitetulla alueella A salaojavalunnan liukoisen fosforin kuormat laskivat suhteessa alueeseen B. Vähemmän johtui ennen kaikkea alueen A pienentyneistä pitoisuuksista, sillä salaojavalunnat alueilla A ja B olivat samaa suuruusluokkaa. Harvan ojavälin vertailualueeseen D nähden alueen A salaojien liukoisen fosforin kuormat eivät uusintaajituksen jälkeen juuri muuttuneet. Kuormien suhde (A / D) oli sekä kalibrointijaksolla että tutkimusjaksoilla keskimäärin 0,9 (vaihteluväli 0,8–1,3).

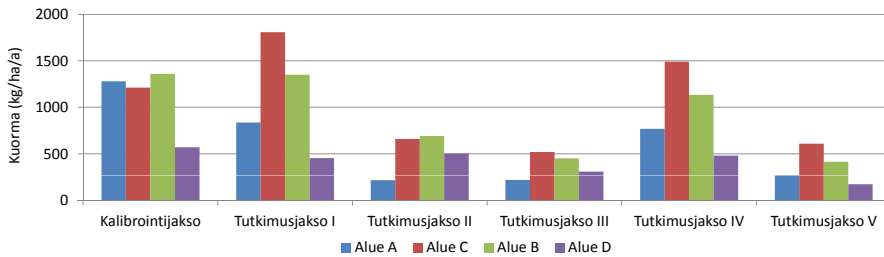
Kalibrointijaksolla salaojavalunnan liukoisen fosforin kuormitus oli 8–18 % kokonaisfosforin kuormituksesta ja tutkimusjaksoilla 8–23 %. Täydennys- ja uusintaajitusten jälkeen liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforikuormasta nousi koealueilla A ja C. Suurin osuus oli alueella C, jonka muokkauskerroksessa oli eniten heppoliukoista fosforia. Kaikilla alueilla korkein liukoisen fosforin osuus mitattiin tutkimusjaksolla V, jolloin syksyllä 2012 peltoon jäi paljon korjaamatonta satoa.

Pintakerrosvalunnan osuus mitatusta liukoisen fosforin kokonaiskuormasta oli kalibrointijaksolla koealueilla A ja C noin 19 % ja vertailualueella D näitä pienempi, 15 %. Tutkimusjaksoilla vastaava osuus oli kalibrointijaksoa suurempi koealueella A (28 - 58 %) ja vertailualueella D (34–57 %). Koealueella C pintakerrosvalunnan osuus vaihteli kalibrointijakson osuuden molemmin puolin, välillä 9–29 %.

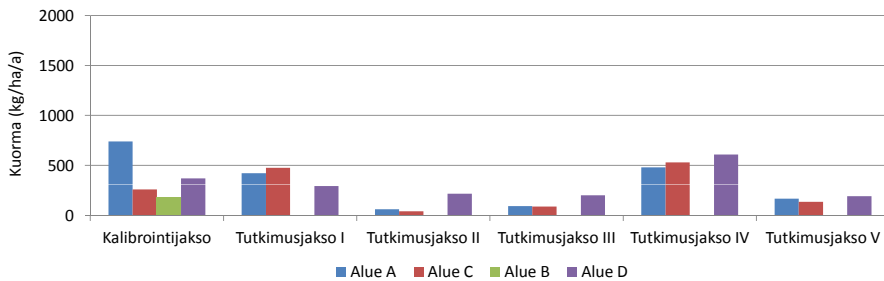
Kalibrointijaksolla alueiden C ja B kiintoainekuormat olivat likimain yhtä suuria (1470 ja 1540 kg ha⁻¹ a⁻¹). Eniten kiintoainetta Raiskionjoaan kulkeutui alueelta A (2020 kg ha⁻¹ a⁻¹) ja vähiten alueelta D (940 kg ha⁻¹ a⁻¹). Kaikilta alueilta tuli salaojien kautta enemmän kiintoainetta kuin pintakerrosvalunnan mukana. Suurimmat salaojakuormitusten osuudet olivat vierekkäisillä alueilla B ja C, 88 ja 82 %. Alueella A salaojavalunnan osuus, 63 %, kiintoaineen kokonaiskuormasta oli lähellä harvaan ojitetun alueen D osuutta, 61 %.

Alueen A salaojien kiintoainekuorma pieneni uusintaajituksen jälkeen kalibrointijaksoon ja alueisiin B ja D verrattuna. Kiintoainekuorman pieneneminen johtui sekä vähentyneestä valunnasta että pienemmistä kiintoainepitoisuuksista. Tutkimusjaksoilla täydennysojitusalueen A salaojien kiintoainekuormitus oli keskimäärin 60 % alueen B kuormituksesta. Harvan ojavälin alueen D salaojien kiintoainekuorma oli joinakin tutkimusvuosina suurempi ja toisina vuosina pienempi kuin alueen A kuormitus. Keskimäärin alueen A ja D salaojakuormitusten suhde tutkimusjaksoilla oli 1,2 ja sen vaihteluväli 0,4–1,8.

Täydennysojitetulla alueella C salaojien kiintoainekuorma puolestaan kasvoi suhteessa vertailualueisiin. Suhteellinen kuormituksen kasvu perustui lisääntyneeseen salaojavaluntaan. Vertailualueeseen B nähden alueen C salaojien kiintoainekuormat olivat tutkimusjaksoilla keskimäärin 1,2-kertaisia (vaihteluväli 1,0–1,5). Vastaavasti alueen C salaojien kiintoainekuormat olivat vertailualueen D kuormiin verrattuna keskimäärin 2,7 -kertaisia (vaihteluväli 1,3–4,0).



Kuva 3.16. Salivajalunnan kiintoainekuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibrointijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).



Kuva 3.17. Pintakerrosvalunnan kiintoainekuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) kalibrointijaksolla (6/2007–5/2008) ja tutkimusjaksoilla I (6/2008–5/2009), II (6/2009–5/2010), III (6/2010–5/2011), IV (6/2011–5/2012) ja V (6/2012–5/2013).

Kalibrointijaksolla pintakerrosvalunnan osuus kiintoaineen kokonaiskuormasta oli alueella A 37 % ja alueella C 18 %. Harvan ojävälän vertailualueella D pintakerrosvalunnan osuus oli 39 %. Tutkimusjaksoilla pintakerrosvalunnan osuus oli alueella A keskimäärin kalibrointijaksoa alempi (32 %) ja alueella C likimain yhtä suuri (17 %). Vertailualueella D pintakerrosvalunnan osuus kiintoainekuormituksesta oli keskimäärin hieman kalibrointijaksoa korkeampi, 43 %. Pintakerrosvalunnan mittauksessa esiintyi epävarmuutta erityisesti tutkimusjaksojen runsasvaluntaisina keväinä. Alueen B pintakerrosvalunnan ainekuormia ei kalibrointijaksoa lukuun ottamatta laskettu.

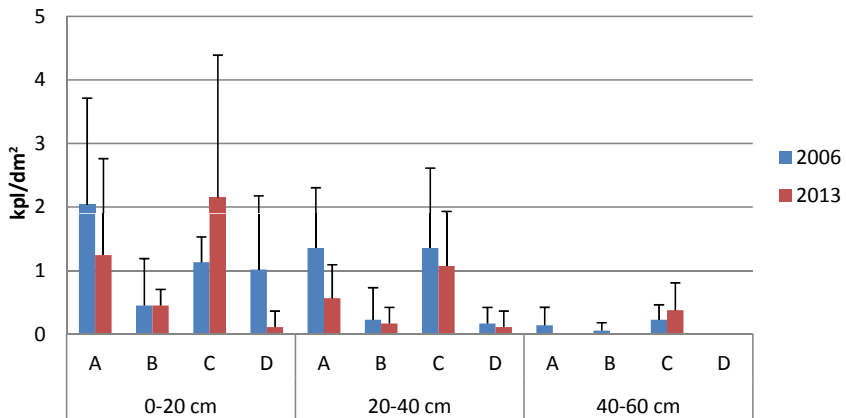
3.1.7 Maan rakenne

Maan rakenne tutkittiin Nummelan koealueilla tutkimuksen alussa ennen kalibrointijakson alkua ja seitsemän vuoden kuluttua siitä. Tutkimukset tehtiin ojien puolivälistä otetusta maasta. Maa oli kauttaaltaan multavaa tai runsasmultaista aitasavea (savespitoisuus pinnassa 76 %, pohjamaassa 73–88 %), minkä takia rakenne oli muokkauskerroksen alapuolella tiivis. Isoja, vettä ja ilmaa johtavia huokosia oli vain 1–3 % maan kokonaistilavuudesta. Pohjamaan vedenjohtavuus oli alle 1 mm h⁻¹ eikä siinä tapahtunut muutoksia tutkimuksen aikana. Pintamaan vedenjohtavuudessa puolestaan oli niin suuret hajonnat, että tulokset eivät ole luotettavia.

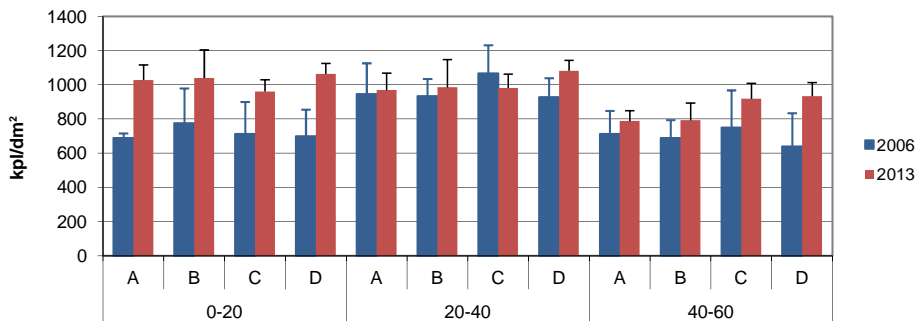
Lieronreikien määrässä oli suuret hajonnat. Tulokset kuitenkin viittasivat siihen, että lieronreikien määrä olisi lisääntynyt alueella C, jossa on tehty perinteinen sala-
ojitus. Ne olisivat vähentyneet alueella A, jossa maa oli jankkuroitu. Jankkuroinnin
ja kynnon on muissa tutkimuksissa todettu vähentävän lierojen määrää. Verrannea-
alueilla tilanne olisi säilynyt entisellään. Kaikkein mörimmällä alueella (D) lieron-
reikiä ei ollut pohjamaassa kumpanakaan vuonna lainkaan. (kuva 3.18).

Juurikanavien määrässä ei ollut eroja eri alueiden välillä millään syvyydellä (kuva
3.19). Juurikanavien määrä näytti yleensä lisääntyneen kokeen aikana kaikilla alu-
eilla, mutta koska ne lisääntyivät kaikilla alueilla, lisääntyminen ei ollut ojituksen
ansiota. Juurikanavia oli melko tasaisesti 60 cm:n syvyyteen asti, mikä kertoo siitä,
että lohkolle usein viljellyt runsasjuuriset nurmi (ennen tätä tutkimusta) ja kaura
ovat rei'ittäneet maata syvälle.

Ojitusvaiheessa ojakaivanto kuohkeutui noin metrin leveydeltä alueella A, jossa
ojitus tehtiin aurasalaojakoneella. Lisäksi maa oli jankkuroitu. Kaivavalla koneella
alueella C tehty ojakaivanto oli noin 30 cm leveä. Yhteenvetona voidaan todeta, että
maan rakenteessa ei ollut vielä viiden vuoden kuluttua ojituksesta havaittavissa sel-
viä muutoksia ainakaan ojien puolivälissä.



Kuva 3.18. Lieronreikien määrä Nummelan koealueilla.

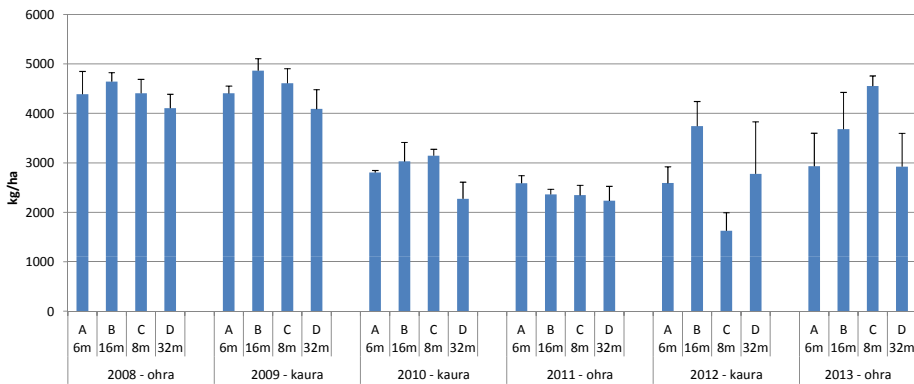


Kuva 3.19. Juurikanavien määrä Nummelan koealueilla.

3.1.8 Sato

Nummelan koekentällä sadon määrässä tai laadussa ei havaittu selkeitä eroja 6, 8 ja 16 metrin ojavälien välillä (kuva 3.20, taulukko 3.25). Sadon määrä ja laatu olivat keskimäärin huonoimpia 32 metrin ojavälillä. Vuosien 2012 ja 2013 vaihtelu johtuu poikkeuksellisen huonoista korjuuoloista vuonna 2012 ja siitä, että silloin korjaamatta jäänyt sato häiritsi seuraavan vuoden kasvua.

Kaikki koalueet kylvettiin samaan aikaan, jotta voitiin eliminoida eri aikaan tapahtuneiden kylvöjen aiheuttamat epävarmuustekijät (mm. sääolojen muutokset). Jos kylvöt olisi tehty kullekin lohkolle maan kuivumisen ja kantavuuden suhteen optimaaliseen aikaan, ojitustavan tai ojavälin vaikutus satotason olisi tullut mahdollisesti selvemmin esille.



Kuva 3.20. Kuiva-ainesadon määrä vuosittain koalueilla A-D. Jokainen pylväs esittää neljän näytteen keskiarvoa. Virhepalkki kuvaa keskihajontaa. Vuosien 2012 ja 2013 vaihtelu johtuu poikkeuksellisen huonoista korjuuoloista vuonna 2012 ja siitä, että silloin korjaamatta jäänyt sato häiritsi seuraavan vuoden kasvua.

Taulukko 3.25.

Sadon määrä ja laatu keskimäärin kaikkina ohra- ja kauravuosina 2008–2013 alueilla A-D. Laatua ei pystytty määrittämään vuoden 2012 kaurasadosta jyvien itämisen takia. Kursiivilla merkityt luvut ovat keskihajontoja.

		ka-sato kg ha ⁻¹	typpi %	typpisato kg ha ⁻¹	tjg g	hlp kg					
ohra	A	3300	428	1,74	0,07	56,9	7,8	31,3	1,3	57,2	1,4
	C	3770	230	1,86	0,08	68,9	5,5	31,1	1,4	57,1	1,0
	B	3560	343	1,70	0,07	59,7	7,7	31,6	0,8	56,9	0,6
	D	3090	416	1,82	0,10	55,2	9,8	30,9	0,9	56,5	1,1
kaura	A	3610	96	2,08	0,09	71,5	3,2	37,5	0,5	57,6	0,4
	C	3880	212	2,13	0,04	79,5	4,0	38,2	0,9	57,4	1,1
	B	3950	312	1,90	0,06	71,3	8,0	37,0	0,6	57,3	0,6
	D	3180	365	1,88	0,05	55,6	8,0	35,2	0,7	56,1	1,0

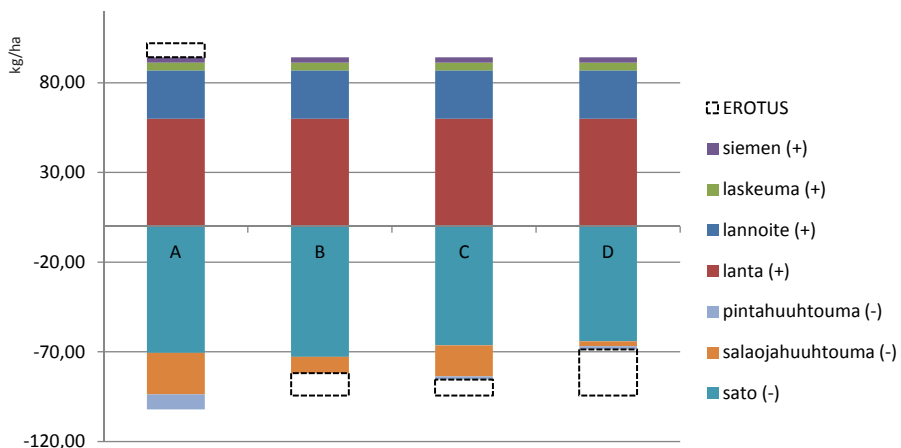
3.1.9 Nummelan koekentän tyypitase

Nummelan koalueiden tyypitaseiden suuruutta ja tekijöitä arvioitiin vuodesta 2008 vuoteen 2013 (Korpelainen 2014). Vuotuiset tyypitaseet touko-huhtikuun välisille jaksoille on esitetty koalueittain kuvissa 3.21–3.25 ja kasvukauden ja kasvukauden ulkopuolisen ajanjakson taseet koalueittain kuvissa 3.26–3.29.

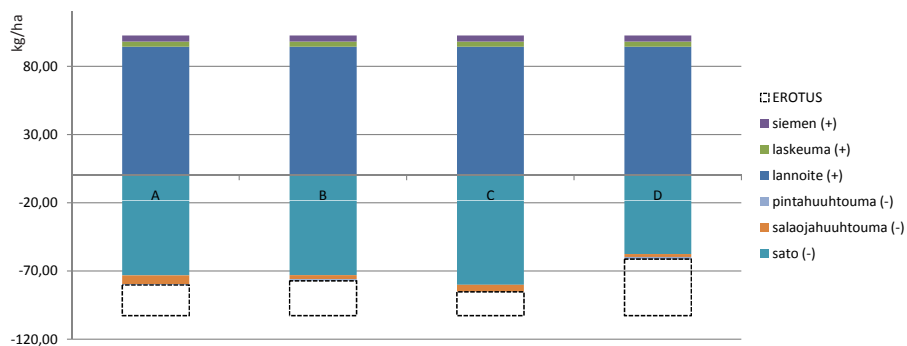
Koalueelle tuleva typpimäärä vaihteli eri vuosina välillä 87–144 kg N ha⁻¹ a⁻¹ ja lähtevä typpimäärä välillä 49–102 kg N ha⁻¹ a⁻¹. Vuosittaiset tyypitaseet vaihtelivat välillä -7,7– +54,6 kg ha⁻¹ a⁻¹ keskiarvon ollessa 23,3 kg ha⁻¹ a⁻¹. Kasvukauden tyypitaseet vaihtelivat välillä 2,6– +56,2 kg ha⁻¹ a⁻¹ keskiarvon ollessa 29,7 kg ha⁻¹ a⁻¹. Kasvukauden ulkopuolisella jaksolla tyypitaseet vaihtelivat välillä -32,3–+27,1 kg ha⁻¹ a⁻¹ keskiarvon ollessa 2,1 kg ha⁻¹ a⁻¹. Kasvukauden ulkopuolisella jaksolla tyypitase oli positiivinen vain lietalantaa käytettäessä jaksolla lokakuu 2007–huhtikuu 2008. Harvaan ojitetulla lohkokolla D tyypitase oli suurempi kuin muilla lohkoilla, koska sadossa poistunut typpimäärä oli siellä pienin.

Kuvista 3.26–3.29 nähdään typpivirtojen keskittyvän kasvukausille, jolloin viljelytoimista johtuvat typpiliisäykset ja -poistot tapahtuvat. Sadon typpimäärän osuus peltoon tulleesta typpimäärästä (lannoitus, laskeuma, siemenet) vaihteli välillä 35–90 % alueesta ja vuodesta riippuen. Salaojavalunnan kautta poistuva typpimäärän osuus peltoon tulleeseen typpimäärään vaihteli välillä 2,1–24 % ja oli keskimäärin 8,8 % peltoon tulleesta tyypestä. Kun jätetään tarkastelun ulkopuolelle vuoden 2008 tulos, jolloin käytettiin lietalantaa, vastaava vaihteluväli oli 2,1–16 % ja keskiarvo 7,2 %. Vuosina 2009–2013 käytettiin mineraalilannoitetta 80,0–94,5 kg ha⁻¹. Vastaavasti pintakerrosvalunnan kautta poistuva typpimäärän osuus vuosina 2009–2013 peltoon tulleesta typpimäärästä vaihteli välillä 0,2–9,1 % ja oli keskimäärin 2,7 %.

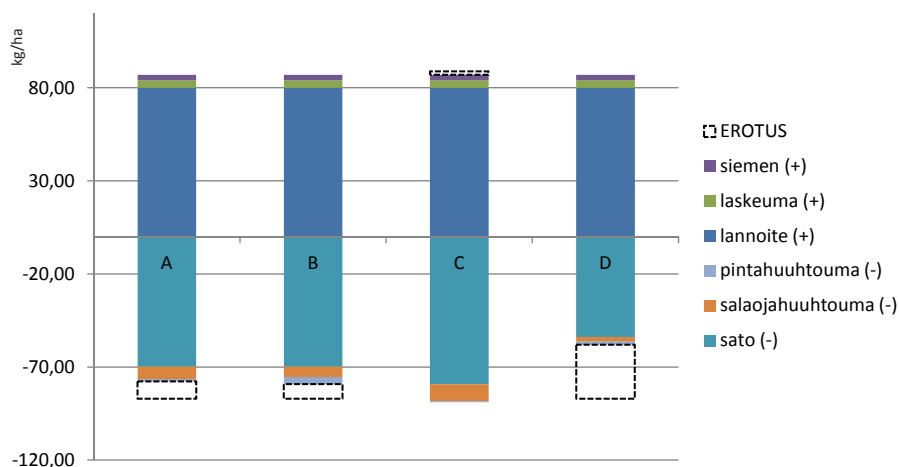
Huuhtoutumien osuus oli hyvin pieni peltoalueille tulleesta typen määrästä. Viljellyissä mineraalimaissa typpeä on muokkauskerroksessa noin 5000–6000 kg ha⁻¹, josta yli 90 % on orgaanisessa muodossa. Orgaanisen typen varastosta vapautuu kasveille käyttökelpoista ja potentiaalisesti huuhtoutuvaa mineraalityppeä.



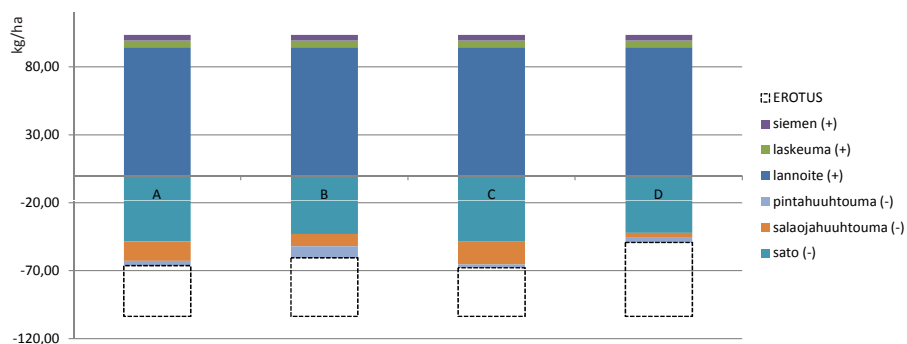
Kuva 3.21. Tyypitase lohkoittain ajanjaksolla toukokuu 2008–huhtikuu 2009.



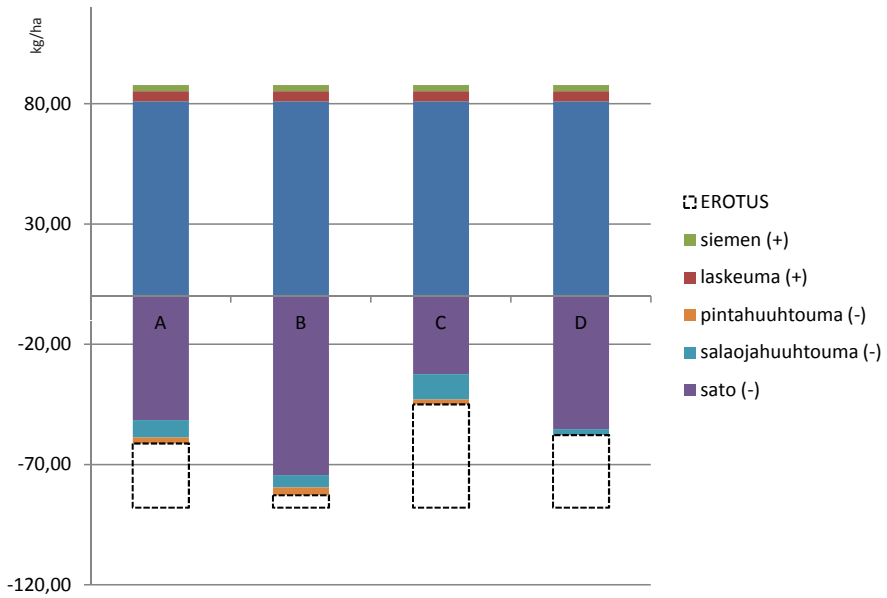
Kuva 3.22. Tyypitase lohkoittain ajanjaksolla toukokuu 2009–huhtikuu 2010.



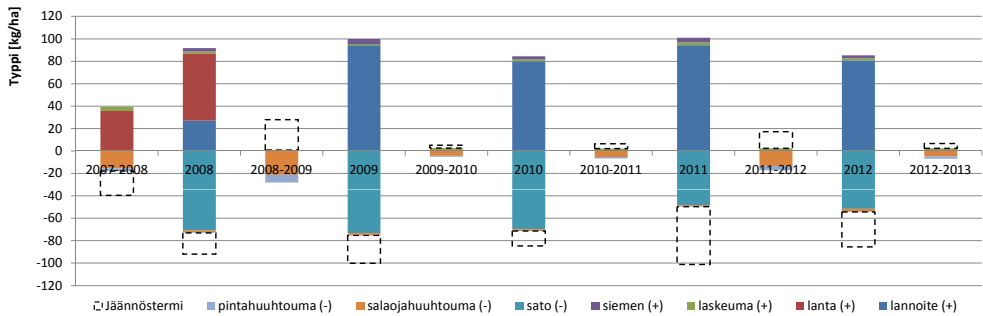
Kuva 3.23. Tyypitase lohkoittain ajanjaksolla toukokuu 2010–huhtikuu 2011.



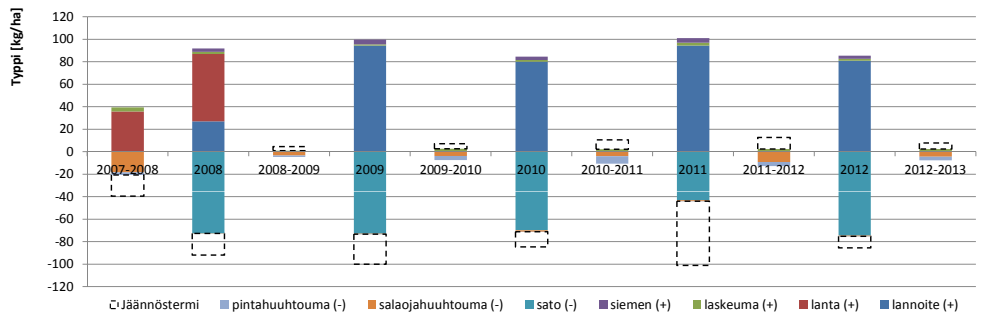
Kuva 3.24. Tyypitase lohkoittain ajanjaksolla toukokuu 2011–huhtikuu 2012.



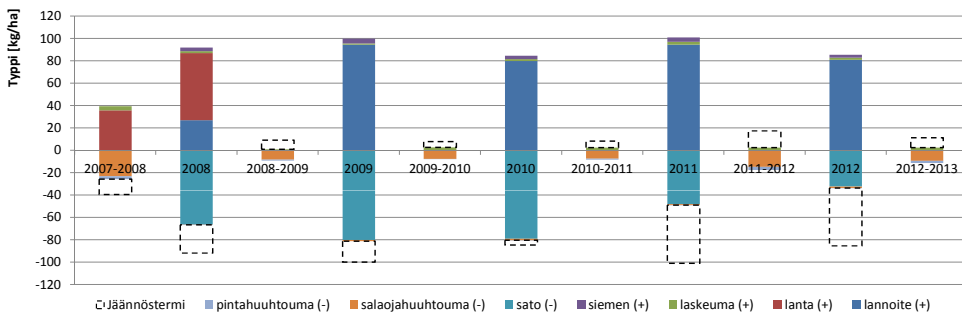
Kuva 3.25. Tyypitase lohkoittain ajanjaksolla toukokuu 2012–huhtikuu 2013.



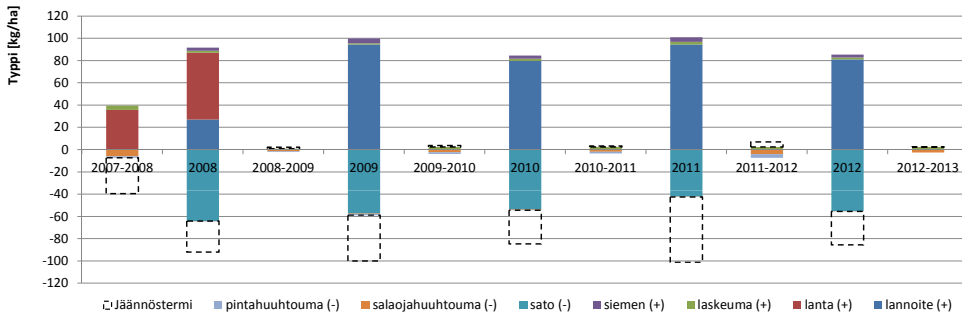
Kuva 3.26. Koepellon lohkon A tyypitase kasvukausiin ja kasvukauden ulkopuolisiin ajanjaksoihin jaettuna.



Kuva 3.27. Koepellon lohkon B tyypitase kasvukausiin ja kasvukauden ulkopuolisiin ajanjaksoihin jaettuna.

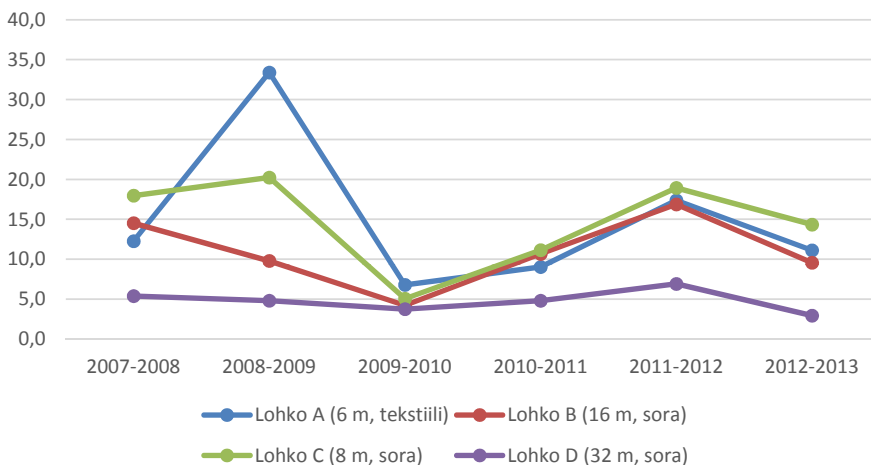


Kuva 3.28. Koepellon lohkon C typpitase kasvukausiin ja kasvukauden ulkopuolisiin ajanjaksoihin jaettuna.



Kuva 3.29. Koepellon lohkon D typpitase kasvukausiin ja kasvukauden ulkopuolisiin ajanjaksoihin jaettuna.

Kuvassa 3.30 on esitetty valumavesien typpikuorman osuus peltoon tulleesta typpimäärästä. Typpitaselaskelmista ilmeni, että Nummelan koekentällä valumavesien mukana huuhtoutuva kokonaistypen osuus peltoon tulleesta typpimäärästä oli pieni ja vaihteli vuositasolla välillä 3–33 %, ja näistäkin suurin arvo oli uusintaajituksen jälkeen kasvaneen pintakerrosvalunnan aiheuttama kertaluontoinen ravinnepiikki. Muutoin valumavesien typpikuorma pysyi välillä 3–20 %, ja keskiarvo oli 10 % ja keskihajonta 5 %.



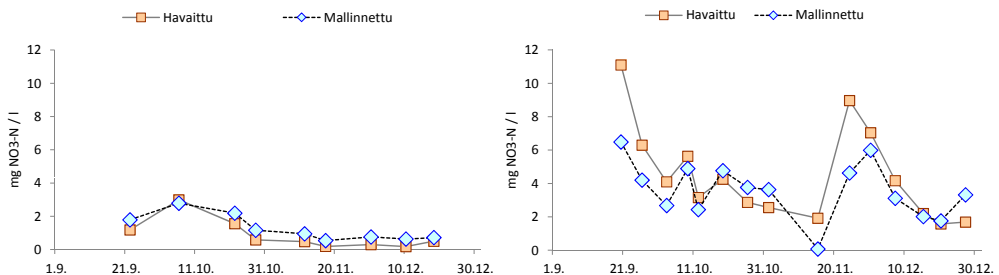
Kuva 3.30. Valumavesien (pinta- ja salaojavalunta) typpikuorman suhde peltoon tulleeseen typpimäärään.

3.1.10 Typpimallin tulokset Nummelan koekentältä

FLUSH-mallin aineiden kulkeutumiskomponenttia sovellettiin typen prosessin kuvaamiseen Nummelan peltoalueen kasvukauden jälkeisille syyskausille vuosien 2008 ja 2011 osalta (Salo, 2014). Simuloinneissa tarkasteltiin B- ja D-lohkojen typpipitoisuuksia salaoja- ja pintakerrosvalunnassa. Typpimallilla voitiin arvioida syyskauden typpihuuhtoumia (pintakerros-, salaoja- ja pohjavesivalunnassa) ja tasekomponentteja (esim. reaktioiden suuruutta ja esiintymistä) erilaisten kasvukausien jälkeen.

Mallisovelluksessa käytettiin syksyn 2008 aineistoa mallin kalibroitiin ja syksyn 2011 aineistoa validointiin. Simuloitujen lohkojen välillä oli eroja typpipitoisuuksien suuruudessa, mutta dynamiikaltaan ne olivat hyvin samanlaiset. D-lohkoilla mallinnetut pitoisuudet olivat pienemmät kuin lohkoilla B. D-lohko oli B-lohkoa kosteampi, joten simuloinneissa arvioitiin, että D-lohkolta muodostui enemmän denitrifikaatioreaktiossa syntyviä typpikaasuja. Eri vuosien typpipitoisuuksissa oli enemmän eroja sekä suuruudessa että dynamiikassa. Kuvassa 3.31 on esitetty B-lohkon salaojavalunnan mallinnetut ja mitatut nitraattityppipitoisuudet sovelluksen kalibrointi- ja validointikausilta. Mitatut ja mallinnetut ammoniumtyppipitoisuudet salaojavalunnassa olivat suuruusluokaltaan 10-kertaa pienemmät nitraattitypen pitoisuuksiin verrattuna.

Nummelan pellon lohkoille tehdyistä tase-laskelmista huomattiin, että kasvukauden 2011 taseen jäännöstermi oli selvästi suurempi kuin kasvukauden 2008 jäännöstermi (Korpelainen, 2014). Syyskauden 2011 mallinnuksessa arvioitiin, että pellolle jäi kasvukauden jälkeen enemmän huuhtoutumisaltista typpeä sekä kasvin jäänteitä, joista orgaanista typpeä mineralisoitui kauden aikana epäorgaaniseksi typeksi. Nitraattitypen simulointituloksissa huomattiin, että laskeumalla oli suuri merkitys salaojavalunnan pitoisuuksiin kalibrointikauden loppujaksolla, jolloin pääasiallinen nitraattitypen lähde oli laskeuma, kun lämpötila ja kosteuspitoisuus rajoittivat reaktioiden esiintymistä enemmän loppukaudella. Lämpötila ei ollut ratkaiseva tekijä kalibrointi- ja validointikausien välisiin eroihin, vaan suurempi merkitys oli validointikauden kuivalla jaksolla loka-marraskuussa, jolloin nitraattityppeä ehti nitrifikaatioreaktion ansiosta kertyä maaperään ja huuhtoutua vasta marras-joulukuun vaihteen sateiden aikaan.



Kuva 3.31. Salaojavalunnan nitraattityppipitoisuudet B-lohkoilla a) kalibrointi- ja b) validointikausilla.

3.1.1 | Nummelan koekentän tulosten tarkastelu

Nummelan peltoalueella Jokioisissa mitattiin valuntaa ja valumavesien laatua neljällä salaojitetulla koalueella (A, B, C ja D). Alueilla mitattiin myös pohjaveden pinnan syvyyttä ja maankosteutta sekä sadon määrää ja laatua. Alueet oli ensiojitettu 1950-luvulla tiiliputkin ja kaksi niistä (alueet A ja C) uusinta- ja täydennysojitettiin PVO-hankkeessa. Lisäksi alueella A maa kohotettiin (jankkuroitiin) runsas vuosi uusintaojituksen jälkeen.

Koalueilla tehtiin mittauksia noin vuoden ajan (kalibrointijakso) ennen uusia ojituksia alueiden välisen luonnollisen vaihtelun selvittämiseksi. Kesäkuun 2008 alussa tehtyjen uusinta- ja täydennysojitusten jälkeen alkoi varsinainen tutkimuskausi. Ojitusten vaikutuksia valuntaan, vesistökuormitukseen ja satoon arvioitiin ns. vertailumenetelmällä, jossa uusinta- ja täydennysojitettujen alueiden A ja C käyttäytymistä verrattiin alueeseen B ja tilanteeseen ennen ojituksia. Ennen täydennysojituksia kaikkien kolmen alueen ojaväli oli 16 metriä. Uusintaojituksen jälkeen alueen A ojaväli oli kuusi metriä (putkien ympärillä ohut suodatinkangas Fibrella 2160) ja alueen C kahdeksan metriä (ympärysaineena sora ja sorasilmäkkeet). Tulosten tarkastelussa hyödynnettiin myös alueen D (ojaväli 32 m) mittaustuloksia.

Koekentällä ei ollut mahdollista järjestää käsittelyistä kerranneita, koska mittaukset tehtiin peltolohkon/salaojaston mittakaavassa 1,3–3,4 hehtaarin suuruisilla alueilla. Koalueiden suuren pinta-alan vuoksi niitä ei eristetty toisistaan esimerkiksi muoviseinämillä, vaan pohjavesi pääsi virtaamaan alueella luonnolliseen tapaansa. Alueiden välillä ei ollut myöskään suojavyöhykkeitä.

Kullakin koalueella oli oma kokoojaputkensa salaojavalunnan mittaamista ja näytteenottoa varten. Mittauslaitteisto toimi tutkimuksen aikana hyvin, ja havaintosarjoissa oli vain muutamia lyhyitä katkoksia. Pintakerrosvalunnan mittausta varten kunkin alueen pinnalta ja pintakerroksesta tulleet valumavedet koottiin noin 0,4 metriä syvän kaivannon (sora ja salaojaputki halkaisija 50 mm) ja matalan vallin avulla ja johdettiin mittausasemalle. Mittausjärjestelmä toimi kohtuullisen hyvin kalibrointijaksolla, jolloin talvi oli poikkeuksellisen lauha, mutta ongelmia esiintyi tutkimusjaksojen keväinä lumien sulaessa maan ollessa vielä roudassa. Pintavaluntakeräimien valuma-alueiden pinta-aloissa oli epätarkkuutta, mikä vaikutti lasketuihin valuntamääriin. Eniten ongelmia oli vierekkäisten alueiden B ja C pintakerrosvalunnan mittaamisessa keräinten sijainnin ja alueiden muodon takia. Alueiden B ja A väliselle koalueisiin kuulumattomalle alueelle tehtiin syksyllä 2011 lisäojia (kolme ojaa, sorastus pintaan asti). Lisäojituksesta huolimatta alueen B pintakerrosvalunnan mittauksessa oli epävarmuutta runsaan sulannan aikaan eikä tuloksia esitetty tässä raportissa.

Pohjavesimittaukset osoittavat, että sekä uusinta- että täydennysojitus paransivat pellon olosuhteita niin, ettei vesi enää märkinäkään kausina noussut maan pintaan asti. Tosin poikkeuksellisen sateisena syksynä 2012 uudelleenkin ojitetut alueet kärsivät märkydestä, joka esti osittain sadonkorjuun. Vettä kertyi paikoitellen maanpinnalle kaikilla tutkimusalueilla, sillä vettynyt maa johti erittäin huonosti vettä.

Maa routaantui kovina pakkastalvina 60 cm:n syvyyteen ja leutoina talvina 30 cm:n syvyyteen. Roudan syvyyteen vaikuttavat maan kosteuden lisäksi pakkasen määrä ja lumen paksuus. Tämän tutkimuksen suppeasta aineistosta ei voitu päätellä, vaikuttaako ojitusmenetelmä roudan syvyyteen.

Maan rakennetta analysoitiin Nummelan koalueilla tutkimuksen alussa ja lopussa määrittämällä maasta useita eri muuttujia. Runsaan kuuden vuoden jälkeen uusinta- ja täydennysojituksista aitosavea olleen maan rakenteessa ojien puolivälissä ei ollut havaittavissa selviä muutoksia verrattuna tilanteeseen ennen ojituksia tai vertailualueisiin. Tulokset kuitenkin viittasivat siihen, että lieronreikien määrä olisi lisääntynyt alueella, jossa tehtiin perinteinen täydennysojitus. Ne olisivat vähentyneet alueella, joka oli uusintaojitettu aurasalaojakoneella ja sen lisäksi jankkuroitu. Jankkuroinnin ja kynnon on muissakin tutkimuksissa todettu vähentäneen lierojen määrää. Verrannealueilla tilanne näytti säilyneen entisellään. Kaikkein mörkimällä alueella (ojaväli 32 m) lieronreikiä ei ollut pohjamaassa kumpakaan tutkimusvuonna lainkaan. Se, ettei parantunut kuivatustila näkynyt selvästi maan rakenteessa, johtuu muun muassa siitä, että maan ominaisuudet vaihtelevat luonnostaan paljon. Tästä johtuen rakennetta kuvaavien muuttujien arvoissa on monesti suuret hajonnat, kuten Nummelassa oli lieronreikien määrässä. Vaihtelu kunkin alueen sisällä voi olla suurempaa kuin ojitustoimenpiteiden aiheuttamat muutokset. Mittaukset tehtiin salaojien puolivälistä olevasta maasta, jossa pohjaveden pinta pysyy keskimäärin korkeimmillaan ja jossa maan rakenteen muodostumisen voidaan olettaa olevan hitaampaa kuin lähempänä salaojia.

Nummelan koekentällä sadon määrässä tai laadussa ei havaittu systemaattisia eroja ojaväliltään 6, 8 ja 16 metrin alueiden välillä. Harvan ojituksen (32 m) alueen sato oli keskimäärin pienin ja laatu huonoin. Tällä alueella maan helppoliukoisien fosforin määrä oli pienin (noin 3 mg l^{-1}), mikä saattoi vaikuttaa sadon muodostukseen märkytyksen ohella. Kaikki viljelytoimenpiteet tehtiin samaan aikaan kaikilla koalueilla, jolloin ajankohdan määräsi muita alueita märempi alue. Ojavälin vaikutus satotasoon olisi mahdollisesti tullut esille selvemmin, jos kylvöt olisi tehty kunkin alueen kuivuustilanteen mukaan.

Kalibrointijakson mittaukset osoittivat, että koalueen A valunta ja valumavesien pitoisuudet (erityisesti typpipitoisuudet) ja siten kuormitukset poikkesivat alueista C ja B jo ennen uusinta- ja täydennysojitusta. Tämä siitä huolimatta, että ojaväli (16 m), viljelykasvit, lannoitus ja muokkausmenetelmät olivat olleet vuosikautia samoja koko yhdeksän hehtaarin peltoalueella. Koalueiden pinta-alat olivat käytännön syiden vuoksi erisuuruisia ja niiden maanpinnan korkeustasojen ja kaltevuuksien välillä oli jonkin verran eroja, mikä vaikutti pohjavedenpinnan korkeuden vaihteluun ja valunnan muodostumiseen. Maan kemiallisissa ja fysikaalisissa ominaisuuksissa oli myös jonkin verran eroja alueiden välillä, mikä vaikutti valumavesien pitoisuuksiin.

Ojavälin pienentäminen puoleen (8 m, ympärysaineena sora ja sorasilmäkkeet) lisäsi salaojavaluntaa odotusten mukaisesti vanhaan 16 metrin ojavälin alueeseen B verrattuna koko tutkimuksen ajan. Alueen C suurempaan salaojavaluntaan vaikutti myös se, että pohjavesi oli siellä viereistä aluetta B korkeammalla.

Alueelle A tehty uusintaojitus (ojaväli 6 m, ohut suodatinkangas; jankkurointi) lisäsi salaojavaluntaa suhteessa vertailualueeseen B heti ojituksen jälkeisenä vuonna. Sen jälkeen salaojavalunnan määrä suhteessa vertailualueisiin B ja D palautui samalle tasolle kuin kalibrointijaksolla. Se, ettei tiheä ojaväli lisännyt salaojavaluntaa, johtuu todennäköisesti siitä, että pohjaveden pinta alueella A nousi harvemmin salaojitusvyöhyteen tai sen yläpuolelle kuin muilla alueilla. Uusintaojituksessa käytettiin myös tavanomaista matalampaa ojasyvyyttä (0,9 m). Alueen vanha ojitus saattaa myös osittain toimia, vaikka salaojat rikottiin ennen uusintaojitusta. Aura-

salaojitus ja jankkurointi muokkasivat voimaperäisesti maata, mikä muutti todennäköisesti maan hydraulisia ominaisuuksia.

Nummelan suhteellisen tasaisella peltoalueella pintavaluntaa muodostui luonnostaan vähän ja valtaosa mitatusta kokonaisvalunnasta (salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan summa) purkautui salaojien kautta sekä ennen että jälkeen uusien ojitusten. Alueen A erilaiset pohjavesi- ja valuntaolot alueisiin C ja B nähden johtuivat ennen kaikkea alueen sijainnista koekentän laidalla, joka jatkuu jyrkästi viettävänä suojavyöhykkeenä kohti Raiskionojaa. Myös alue D sijaitsi töyräällä alueen laidalla. Alueen D muita alueita pienempi salaojavalunta ja suurempi pintakerrosvalunta selittyi muita alueita harvemmillä ojavälillä. Lisäksi maaston jyrkempi topografia todennäköisesti lisäsi pintakerrosvaluntaa alueella D, samoin kuin alueella A.

Alueiden maaprofiilit olivat melko samanlaisia lajitekoostumukseltaan ja multavuudeltaan. Selviä eroja ei esiintynyt koealueiden välillä kokonaishuokoisuudessa, liero- ja juurikanavien määrässä eikä isojen (makro-) huokosten (halkaisija $> 30 \mu\text{m}$) tilavuusosuudessa, jolla on suuri vaikutus veden virtaukseen savimaissa. Vedellä kyllästyneen maan hydraulinen johtavuus oli alueiden A ja D muokkauskerroksessa kuitenkin selvästi pienempi kuin alueilla C ja B, mikä myös saattoi edistää pintakerrosvalunnan muodostumista.

FLUSH-mallilla arvioitiin erilaisten salaojitusmenetelmien ja vaihtelevan topografian vaikutuksia Nummelan koekentän hydrologiaan ja salaojavalunnan muodostumiseen. Mallin avulla tarkasteltiin niitä vesitaseen komponentteja, joita ei voitu mitata, kuten pohjavesivalunnan määrää ja sen vaikutuksia pellon hydrologiaan. Mallinnustulokset tukevat sitä käsitystä, että alueilla A ja D muodostui enemmän syvää pohjavesivaluntaa kuin alueilla C ja B. Uusintaojitus (ojaväli 6 m) ei lisännyt alueen A salaojavaluntaa edes lyhytaikaisesti yhtä paljon kuin täydennysojitus (ojaväli 8 m) alueella C. Mallinnustulosten mukaan tämä johtui Raiskionojaan viettävän rinteiden muodostamasta gradientista, joka lisää pohjavesivalunnan määrää alueella A. Mallintamistulokset osoittivat, että alueen C täydennysojitus vähensi jonkin verran viereisen vertailualueen B salaojavaluntaa pohjaveden pinnan laskun myötä (Turunen ym. 2013).

Alueilta A, C ja B valtaosa myös ravinne- ja kiintoainekuormituksesta tuli salaojien kautta, vaikka otetaan huomioon epävarmuudet pintakerrosvalunnan mittauksessa. Harvan ojavälin alueella D myös pintakerrosvalunnan mukana kulkeneen kuormituksen määrä oli merkittävä. Salaojien kautta huuhtoutui paljon myös partikkelimaista fosforia ja kiintoainetta varsinkin sateisena ja leutona vuonna, jolloin lunta ja routaa esiintyi vähän.

Uusintaojituksen jälkeen salaojista tullut typpikuorma kasvoi selvästi ja fosforikuorma väheni. Kuormitusmuutokset johtuivat valumavesien typipitoisuuksien kasvusta ja fosforipitoisuuksien vähenemisestä. Pitoisuusmuutokset olivat selvimmät muutaman vuoden ajan ojituksesta. Aurasalaojitus ja maan jankkurointi sekä maan happitilanteen paraneminen edistivät todennäköisesti orgaanisen typen mineralisaatio, jolloin maahan kertyi herkästi huuhtoutuvaa mineraaliatyyppiä. Maan voimaperäinen muokkaus noin puolen metrin syvyyteen näyttäisi vaikuttaneen myös fosforin reaktioihin. Muokkaus muutti todennäköisesti veden viipymää, jolla on suuri vaikutus fosforin reaktioihin makrohuokoisessa savimaassa.

Täydennysojitetun alueen salaojien typpikuorma kasvoi ojitusta seuraavina vuosina ja myös fosforin kuormitus lisääntyi jonkin verran. Alueella C kuormituksen kasvu johtui pääosin lisääntyneestä salaojavalunnasta. Koekentällä salaojien kautta

tullut ravinne- ja kiintoainekuormitus oli suurinta täydennysojitusalueelta koko tutkimuksen ajan. Uusinta- ja täydennysojitus näyttivät pienentäneen salaojavalunnan fosfori- ja kiintoainepitoisuuksia kalibrointijaksoon ja vertailualueisiin nähden, tosin ero vertailualueisiin pieniä mittaavuosien myötä.

Liukoisen fosfaattifosforin pitoisuudet kasvoivat sekä salaoja- että pintakerrosvalunnassa kaikilla alueilla viimeisellä tutkimuskaudella, jolloin syksyllä 2012 osa sadosta jäi korjaamatta märkyiden vuoksi. Tulokset ovat yhdenmukaisia aiempien tutkimusten kanssa, joiden mukaan suojakaistoilla (kasvusto jätetty korjaamatta) ja nurmiviljelyssä vapautuu runsaasti liukoista fosforia valumavesiin. Toisaalta korjaamaton sato näkyi kiintoainepitoisuuksien pienemisenä seuraavan syksyn ja kevään valumavesissä.

Maan heppoliukoisen fosforin määrä (P-luku mg l⁻¹ maata) Nummelan koekentällä mitattiin syksyllä 2006 ja syksyllä 2013. Alueiden viljavuusluokka vaihteli tyydyttävästä (C ja B) huonolaatuiseen (C). Suurimmat keskimääräiset fosforiluvut, 11,6 mg l⁻¹ maata (2006) ja 9,5 mg l⁻¹ (2013), olivat alueella C ja pienimmät, 2,9 mg l⁻¹ (2006) ja 2,8 mg/l (2013), alueella D. Alueen A fosforiluvut olivat 5,5 ja 4,6 mg l⁻¹, ja alueen B 7,8 ja 6,0 mg l⁻¹. P-luvut olivat pienentyneet 3,4–23 % seitsemän vuoden aikana. Alueella C salaojavalunnan liukoisen fosforin pitoisuuksien vuosikeskiarvot (2007–2013) vaihtelivat välillä 64–155 mg l⁻¹ ja pintakerrosvalunnan välillä 45–301 mg l⁻¹. Alueella D vastaavat pitoisuuksien vaihtelut olivat 31–108 mg l⁻¹ ja 36–73 mg l⁻¹. Alueen A salaojavalunnan pitoisuuskeskiarvot olivat 18–89 mg l⁻¹ ja pintakerrosvalunnan 31–120 mg l⁻¹. Alueella B vastaavat arvot olivat 61–116 mg l⁻¹ ja 61–259 mg l⁻¹. Maan fosforiluvun ja valumavesien liukoisen fosfaattifosforin pitoisuuksissa ei ollut havaittavissa selväpiirteistä yhteyttä, mikä johtunee melko alhaisista fosforiluvuista. Syynä voi olla myös se, että ojitustoimenpiteiden jälkeen alueiden A ja C pitoisuudet pienenevät.

Typpitaselaskelmien mukaan Nummelan koelajeilta valuvan veden mukana huuhtoutuvan kokonaistypen osuus peltoon tulleesta tyyppistä (lannoitus, laskeuma ja siemenet) vaihteli eri vuosina välillä 3–20 %. Vuosittaiset typpitaseet vaihtelivat välillä -6 – +24 kg ha⁻¹. Typpihuuhtoumien osuus pellolle tulleesta typpimäärästä oli pieni. Huuhtoutuvaa tyyppiä tulee myös luonnostaan mineralisaation seurauksena sillä viljeltyjen kivennäismaiden muokkauskerroksessa on tyyppiä noin 5000–6000 kg ha⁻¹, josta yli 90 % on orgaanisessa muodossa.

Nummelan koekentän typen prosessien kuvaamiseen sovellettiin FLUSH-mallin aineiden kulkeutumiskomponenttia. Simuloinneissa tarkasteltiin kasvukausien jälkeisten syksyjen typpihuuhtoumia ja tasekomponentteja. Simuloinneissa arvioitiin, että kosteammalla alueella D muodostui aluetta B enemmän denitrifikaatiossa syntyviä typpikaasuja. Nitraattitypen osalta laskeumalla oli suuri merkitys salaojavalunnan pitoisuuksiin silloin kun loppusyksyn lämpötila ja kosteuspitoisuus rajoittivat reaktioiden esiintymistä. Lämpötilaa suurempi vaikutus eri vuosien välisiin eroihin oli ensimmäisen tarkastelusyksyn (2008) alkuun osuneella kuivalla jaksolla, jolloin nitraattityppiä ehti kertyä maaperään huuhtoutuakseen loppusyksyn sateiden aikaan.

3.2 Gårdskulla Gårdin tutkimusalue

Mittaukset käynnistyivät Gårdskulla Gårdin tilalla täysipainoisesti marraskuussa 2007 ja tässä kootaan yhteen tulokset kuudelta kalenterivuodelta 2008–2013.

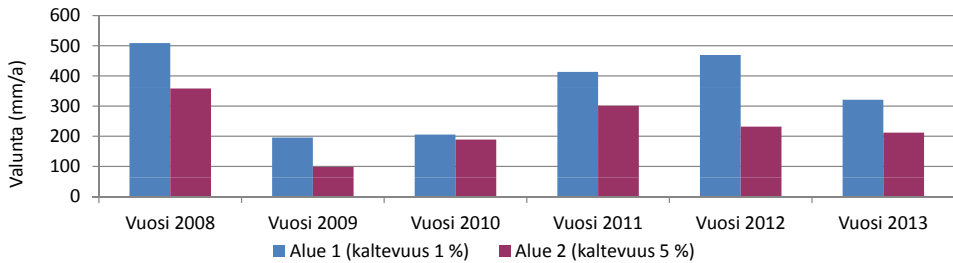
3.2.1 Valunta

Tutkimusvuosien 2008–2013 vuosisadantojen (korjatut arvot) vaihteluväli oli 565–844 mm, ja keskiarvo 711 mm. Keskiarvoa kuivempia vuosia olivat 2009, 2010 ja 2013. Sateisimpia olivat puolestaan 2012 ja 2008. Myös talvet olivat erilaisia, talvi 2008 oli vähäluminen ja routaa vain lyhyen aikaa. Vuoden 2009 talvi oli kylmä ja routa ulottui yli 0,5 metrin syvyyteen, mutta lunta oli seuranneita talvia vähemmän. Talvet/kevät 2010–2013 olivat runsaslumisia ja sulanta voimakasta. Kesän valunnat jäivät yleensä pieniksi. Tutkimusvuosiin mahtui valunnan kannalta erilaisia syksyjä, mutta useimpina vuosina koealueilta mitattiin enemmän salaojavaluntaa syksyllä kuin keväällä. Syksyllä salaojavalunta käynnistyi alueella 1 noin kuu-kautta aluetta 2 aikaisemmin.

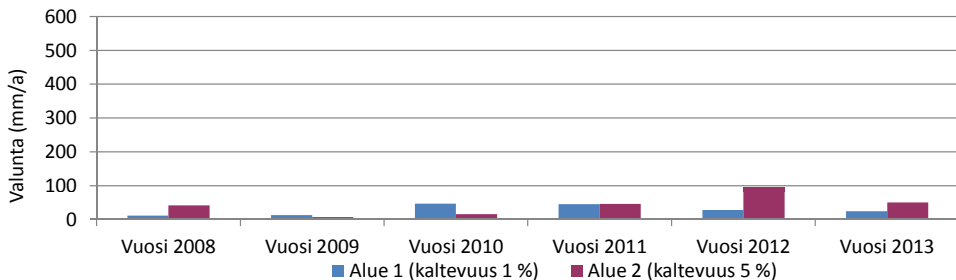
Salaoja- ja pintakerrosvalunnat vuosilta 2008–2013 on esitetty kuvissa 3.32 ja 3.33. Ensimmäisen mittausvuoden 2008 lauhan talven jälkeisenä keväänä pinta-kerrosvalunnan mittaussysteemi toimi kohtuullisen hyvin. Seuraavat talvet olivat ensimmäistä kylmempiä ja lumisempia. Routa ja kevätulunnan aikainen runsas valunta aiheuttivat ongelmia pintakerrosvalunnan mitaamiseen. Pintakerrosvaluntakeräimiä kunnostettiin ja paranneltiin syksyllä 2009, mutta keväiden 2010 ja 2011 suuret pintaa pitkin virranneet vesimäärät menivät osittain keräinten ohi ja yli, etenkin jyrkemmällä (I~5 %) alueella 2. Keväällä 2012 lumisen talven jälkeinen sulanta oli kahta edellistä talvea hitaampaa, ja pintakerrosvalunnan keruu ja mitaaminen onnistuivat verrattain hyvin. Keväällä 2013 lumet sulivat pitkän talven jälkeen huhtikuun puolivälissä. Suhteellisen lyhyen sulantajakson runsas pintavirtailu johti pengerrysten ohi ja yli tapahtuvaan valuntaan molemmilla koealueilla.

Salaojavalunta muodosti valtaosan mitatusta kokonaisvalunnasta (salaoja- ja pinta-kerrosvalunnan summa) Gårdskulla Gårdin molemmilla koealueilla kaikkina mitausvuosina. Leudon ja sateisen vuoden 2008 tammi-huhtikuun valunta oli alueella 1 lähes yhtä suuri kuin syksyllä (syys-joulukuu). Kokonaisvalunnan osuus sadannasta oli alueella 1 62 %. Valunta tuli lähes kokonaan (98 %) salaojien kautta. Alueella 2 tammi-huhtikuussa salaojavaluntaa muodostui hieman enemmän kuin syksyn kuukausina ja pintakerrosvaluntaa sama määrä. Alueella 2 mitatusta sateesta valunnaksi muodostui noin 48 % ja kokonaisvalunnasta salaojien osuus oli noin 90 %. Alueen 1 salaojavalunta oli huomattavan suuri. Runsaan salaojavalunnan oletettiin osittain johtuvan viereiseltä metsäalueelta peltoalueelle tulevasta pohjavesistä, mutta koealueella tehdyt merkkiainekokeet eivät tukeneet tätä teoriaa (Vakkilainen ym.2008). Salaojaston valuma-alueen pinta-alaa saattaa sisältyä epätarkkuutta, mikä vaikuttaa valunnan määrään.

Vuonna 2009 talvisten kuukausien jälkeen lumet sulivat maaliskuun vaihteessa noin viikossa. Sulunnan alkaessa koelohkojen maa oli vielä jäässä noin 0,5 metrin syvyyteen. Sulamisen aikaisesta pintakerrosvalunnasta saatiin loivemmalla (I~1 %) alueella 1 mitattua vain osa, sillä sulamisvesiä virtasi myös pintavaluntakeräimen yli. Jyrkemmällä koelohkolla 2 pintakerrosvalunta meni kokonaisuudessaan vielä jäässä olleen keräimen yli. Vuonna 2009 salaojavalunta painottui syk-



Kuva 3.32. Gårdskulla Gårdin koalueiden salaojavalunnat vuosina 2008–2013. Sadanta (korjattu): vuosi 2008 838 mm a⁻¹, vuosi 2009 565 mm a⁻¹, vuosi 2010 654 mm a⁻¹, vuosi 2011 768 mm a⁻¹, vuosi 2012 844 mm a⁻¹ ja vuosi 2013 598 mm a⁻¹.



Kuva 3.33. Gårdskulla Gårdin koalueiden pintakerrosvalunnat vuosina 2008–2013. Pintakerrosvalunnat vuosilta 2009 ja 2010 ovat todellisia pienempiä sulannan aikaan mittauksessa esiintyneiden puutteiden vuoksi. Sadanta (korjattu): vuosi 2008 838 mm a⁻¹, vuosi 2009 565 mm a⁻¹, vuosi 2010 654 mm a⁻¹, vuosi 2011 768 mm a⁻¹, vuosi 2012 844 mm a⁻¹ ja vuosi 2013 598 mm a⁻¹.

syn. Alueella 1 syys-joulukuun osuus oli 2/3 koko vuoden valunnasta. Pintakerrosvaluntaa muodostui eniten huhtikuussa, jolloin mittauksessa olleista puutteista huolimatta koko vuoden pintakerrosvalunnasta syntyi lähes 80 %. Alueen 2 salaojavalunta painottui vielä aluetta 1 selvemmin loppuvuoteen. Loka-joulukuun salaojavalunta oli 90 % vuoden aikana mitatusta. Vuosi 2009 oli tutkimusvuosista vähäsaateisin (P = 565 mm). Alueella 1 salaojavaluntaa syntyi noin 37 % ja alueella 2 noin 20 % vuoden sadesummasta.

Vuoden 2010 talvella lunta kertyi edellistalvia enemmän ja sulanta-aika oli likimain yhtä pitkä. Pintakerrosvalunnan mittaussysteemiin syksyllä 2009 tehdyistä parannustoimenpiteistä huolimatta mittauksessa edelleen oli epävarmuutta, jota lisäsi Kirkkojoen tulviminen koelohkon 2 suojavyöhykkeen yläpuolelle, pintakerrosvaluntakeräimen tasolle. Päinvastoin kuin vuonna 2009, vuonna 2010 valtaosa koalueiden salaojavalunnasta muodostui keväällä. Alueen 1 salaojavalunnasta 53 % mitattiin sulannan aikana huhtikuussa. Kesällä ei valuntaa muodostunut, ja syksyn salaojavalunta alueella 1 alkoi kunnolla vasta marraskuussa ja syksyn osuus vuoden salaojavalunnasta oli vain 25 %. Pintakerrosvaluntaa ei syksyllä syntynyt käytännössä lainkaan. Alueella 1 valunnan osuus sadannasta oli noin 40 % ja salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta 82 %. Alueen 2 valunta painottui vielä aluetta 1 enemmän kevääseen. Huhtikuuhun osuneen sulannan aikainen salaojavalunta muodosti noin 70 % koko vuoden salaojavalunnasta. Mitatusta pintakerrosvalunnasta puolestaan lähes 80 % syntyi keväällä. Alueella 2 vuoden aikana sateesta muodostui valunnaksi noin 31 %. Salaojavaluntaa mitatusta kokonaisvalunnasta oli 92 %.

Sääolosuhteiltaan vuoden 2011 talvi ja kevät (pakkasjaksoineen ja kevättulvi-
neen) olivat edellisen vuoden kaltaisia. Valuntamittauksessa oli samantapaisia epä-
varmuuksia ja puutteita kuin kahtena edellisenä keväänä. Tavanomaisen vähäva-
luntaisen kesän jälkeen salaojavalunta käynnistyi alueella 1 syyskuussa ja alueella
2 lokakuussa. Vaikka kevään sulannan aikaan valuntaa muodostui runsaasti, oli
harvinaisen lämmin syksy vielä märempi. Etenkin joulukuu oli poikkeuksellisen
sateinen, sen sadesumma oli yli 150 mm. Alueen 1 vuoden 2011 salaojavalunnasta
muodostui syksyllä 63 % ja alueella 2 syksyn osuus oli 55 %. Valunnan jakaant-
umisen osalta vuosi 2011 muistutti ensimmäistä mittausvuotta 2008. Alueella 1
salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli noin 90 % ja alueella 2 noin 85 %.
Myös mitattu kokonaisvalunnan osuus sadannasta oli vuoden 2008 kaltainen, 64
% (alue 1) ja 48 % (alue 2).

Talvi 2012 oli sääolosuhteiltaan samantapainen kuin kaksi edellistä, tosin lumi-
peite ei ollut aivan yhtä paksu, ja lumet sekä routa sulivat hieman aikaisemmin.
Kevään sulamisvedet saatiin koottua pintakerrosvaluntakeräimillä verrattain hyvin,
myös jyrkemmällä koealueella 2. Alueella 1 salaojavaluntaa mitattiin vuonna 2012
keväällä ja syksyllä yhtä paljon, 39 % vuosivalunnasta. Pintakerrosvalunnan pää-
osa syntyi (70 %) keväällä. Alueella 2 salaojavaluntaa muodostui syksyllä (51 %)
kevättä (38 %) enemmän, sen sijaan pintakerrosvalunnasta 2/3 syntyi kevään sul-
nan aikana. Vuoden 2012 aikana mitatusta valunnasta (S+P) pintakerrosvaluntaa oli
29 %. Pintakerrosvalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli vuonna 2012 alueella 1
selvästi aluetta 2 pienempi, 6 %. Mittausten perusteella laskettu kokonaisvalunnan
(S+P) osuus sadannasta oli koealueilla 59 % (alue 1) ja 39 % (alue 2).

Talvi 2012 -2013 oli pitkä, pysyvä lumipeite muodostui jo joulukuussa 2012 ja
suli vasta huhtikuun puolivälissä. Sulantavalunnan ollessa vuolaimmillaan vesi vir-
tasi osittain pintavaluntakeräinten yli ja ohi molemmilla koealueilla. Alueella 1 pää-
osa vuoden salaojavalunnasta syntyi syksyllä (53 %), kevään osuuden ollessa 28 %.
Pintakerrosvalunta painottui keväeseen, jolloin syntyi 63 % mitatusta valunnasta.
Syksyn osuus oli 11 % ja tammikuu lämpimän jakson aikana pintakerrosvaluntaa
mitattiin 6,5 mm eli 26 % koko vuoden pintakerrosvalunnasta. Alueen 2 salaojaja-
valunta jakaantui samaan tapaan kuin alueella 1. Vuoden aikana Alueelta 2 mitatusta
salaojavalunnasta 23 % muodostui kevään sulannan aikana ja 63 % syksyllä, vu-
oden kolmen viimeisen kuukauden aikana. Pintakerrosvalunnan osalta tilanne oli
päinvastainen. Mittausongelmista huolimatta 50 % pintakerrosvalunnasta mitattiin
keväällä, ja 40 % syksyllä. Vuoden 2013 aikana kokonaisvalunnan (S+P) osuudet
sadannasta olivat 58 % (alue 1) ja 44 % (alue 2).

Mitatut kokonaisvalunnat (salaojat+pintakerros) olivat alueella 1 suurempia kuin
alueella 2. Alueella 1 mittausten mukaan sadannasta muodostui valunnaksi 37–64
% ja alueella 2 vaihteluväli oli 20–48 %. Suurimmat valuntakertoimet saatiin paljon
valuntaa synnyttäneinä vuosina 2008, 2011 ja 2012 ja pienimmät kuivina vuosina
2009 ja 2010. Pintakerrosvalunnan mittauksessa olleet puutteet vaikeuttavat koko-
naisvalunnan arviointia, etenkin alueella 2. Mittauksessa olleista puutteista huoli-
matta on ilmeistä, että valtaosa valunnasta tuli salaojien kautta.

Mittauksiin perustuvat pintakerrosvalunnan osuudet kokonaisvalunnasta vaihte-
livat alueella 1 välillä 2–20 % ja alueella 2 välillä 7–29 %. Alueen 1 pienin osuus
(2 %) on lauhalta ja sateiselta vuodelta 2008 ja suurin osuus (20 %) kuivalta vuo-
delta 2010. Alueella 2 pintakerrosvalunnan mittaus onnistui verrattain hyvin satei-
sina vuosina 2008 ja 2012, tällöin pintakerrosvalunnan osuudet olivat 10 % ja 29 %.

Näinä vuosina alueen 2 pintakerrosvalunnan määrä oli aluetta 1 suurempi. Tämä on luonnollista, sillä alueen 2 keskikaltevuus on noin neljä prosenttiyksikköä suurempi kuin alueen 1. Maakerrosten lajitekoostumuksessa ja orgaanisen aineksen määrässä koealueiden välillä ei ole suuria eroja. Maan rakenteesta ei toistaiseksi ole yksityiskohtaista tietoa koealueilta.

3.2.2 Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet

Salaoja- ja pintakerrosvalunnan ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien vaihteluväli sekä valunnalla painotetut keskiarvot on esitetty taulukoissa 3.26–3.49. Vuosien 2008–2013 aikana salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuuksien vuosikeskiarvot (molemmat alueet, pintakerrosvalunta suluissa) vaihtelivat välillä 0,8–12,1 mg l⁻¹ (2,8–19,0 mg l⁻¹), kokonaisfosforipitoisuuksien välillä 0,07–0,81 mg l⁻¹ (0,21–1,34 mg l⁻¹), liukoisen epäorgaanisen fosforin välillä 8 - 207 µg l⁻¹ (50–864 µg l⁻¹) ja kiintoaineen välillä 186 - 536 mg l⁻¹, (161–960 mg l⁻¹).

Taulukko 3.26. Kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2008.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	2,1 / 4,8 / 7,8	3,9 / 6,0 / 8,8
Painotettu pitoisuus	5,8	5,3
Pintakerrosvalunta	2,6 / 5,6 / 8,1	3,0 / 6,4 / 19,1
Painotettu pitoisuus	4,3	5,7

Taulukko 3.27. Kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2009.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	1,0 / 3,5 / 10,7	2,2 / 12,1 / 22,2
Painotettu pitoisuus	4,2	10,5
Pintakerrosvalunta	2,2 / 7,6 / 10,7	3,4 / 19,0 / 27,2
Painotettu pitoisuus	7,1	9,0

Taulukko 3.28. Kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2010.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	2,5 / 5,1 / 13,8	4,0 / 12,0 / 52,6
Painotettu pitoisuus	3,1	4,5
Pintakerrosvalunta	1,3 / 5,7 / 16,6	3,9 / 15,5 / 67,9
Painotettu pitoisuus	2,4	6,2

Taulukko 3.29. Kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2011.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	1,3 / 5,7 / 15,1	3,3 / 4,8 / 6,4
Painotettu pitoisuus	7,3	3,8
Pintakerrosvalunta	2,6 / 6,1 / 9,6	1,6 / 3,5 / 8,8
Painotettu pitoisuus	7,6	2,9

Taulukko 3.30. Kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2012.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,8 / 2,7 / 6,6	2,1 / 3,3 / 6,0
Painotettu pitoisuus	2,7	2,7
Pintakerrosvalunta	1,0 / 2,8 / 6,7	0,6 / 5,8 / 15,0
Painotettu pitoisuus	3,0	3,2

Taulukko 3.31. Kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2013.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,3 / 0,8 / 1,5	2,3 / 3,5 / 9,9
Painotettu pitoisuus	0,8	2,7
Pintakerrosvalunta	0,9 / 1,3 / 2,3	1,1 / 5,9 / 16,9
Painotettu pitoisuus	1,4	1,7

Kuuden vuoden (2008–2013) tutkimusjaksolla alueen 2 valumavedet olivat ravinne- ja kiintoainepitoisempia kuin alueen 1 valumavedet. Kokonaistyyppipitoisuuden vuosikeskiarvot vaihtelivat alueen 2 salaojavedessä välillä 3,3–12,1 mg l⁻¹ ja alueen 1 välillä 0,8–5,7 mg l⁻¹. Koko tutkimusjaksolla alueen 2 salaojavalunnan kokonaistyyppipitoisuus oli alueeseen 1 verrattuna keskimäärin 2,3 -kertainen. Yhtenä vuonna (2011) alueen 1 salaojavalunnan pitoisuuskeskiarvo (5,7 mg l⁻¹) oli alueen 2 keskiarvoa (4,8 mg l⁻¹) suurempi. Pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuudet olivat salaojavalunnan pitoisuuksia korkeampia ja vuosikeskiarvojen vaihteluväli oli salaojia suurempi, 3,5–19,0 mg l⁻¹ (alue 2) ja 1,3–7,6 mg l⁻¹ (alue 1).

Alueella 2 valumavesien suurimmat kokonaistyyppipitoisuuksien keskiarvot mitattiin vähävaluntaisina vuosina 2009 ja 2010. Alueella 1 kuivien ja märkien vuosien ero ei ollut selvä. Alueen 2 salaoja- ja pintakerrosvalumavesien kokonaistyyppipitoisuuksien vuosikeskiarvot olivat kolmena viimeisenä mittausvuonna (2011 - 2013)

Taulukko 3.32. Kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2008.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,01 / 0,11 / 0,52	0,29 / 0,81 / 2,24
Painotettu pitoisuus	0,17	1,08
Pintakerrosvalunta	0,07 / 0,55 / 1,23	0,30 / 1,28 / 2,97
Painotettu pitoisuus	0,50	0,97

Taulukko 3.33. Kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2009.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,02 / 0,07 / 0,27	0,16 / 0,42 / 0,79
Painotettu pitoisuus	0,07	0,27
Pintakerrosvalunta	0,10 / 0,53 / 1,26	0,28 / 1,30 / 3,85
Painotettu pitoisuus	0,22	1,00

Taulukko 3.34. Kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2010.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,050 / 0,07 / 0,13	0,11 / 0,46 / 0,99
Painotettu pitoisuus	0,05	0,27
Pintakerrosvalunta	0,11 / 0,30 / 0,72	0,34 / 0,59 / 1,050
Painotettu pitoisuus	0,21	0,55

Taulukko 3.35. Kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2011.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,02 / 0,07 / 0,14	0,06 / 0,37 / 1,38
Painotettu pitoisuus	0,10	0,23
Pintakerrosvalunta	0,06 / 0,27 / 0,56	0,41 / 0,88 / 1,57
Painotettu pitoisuus	0,18	0,47

Taulukko 3.36. Kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2012.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,04 / 0,07 / 0,19	0,18 / 0,42 / 1,04
Painotettu pitoisuus	0,07	0,32
Pintakerrosvalunta	0,05 / 0,21 / 0,58	0,17 / 1,34 / 5,18
Painotettu pitoisuus	0,13	0,77

Taulukko 3.37. Kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2013.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0,02 / 0,09 / 0,28	0,11 / 0,31 / 1,0
Painotettu pitoisuus	0,10	0,23
Pintakerrosvalunta	0,1 / 0,44 / 0,78	0,53 / 1,18 / 3,04
Painotettu pitoisuus	0,43	0,63

alkuvuotia alempia. Samanlainen suuntaus oli nähtävissä alueen 1 valumavesissä vuosina 2012 ja 2013. Pienentyneet kokonaistyyppipitoisuudet johtuivat todennäköisimmin siitä, että alue 2 oli ollut lihakarjan laitumena keväästä 2011 lähtien ja alue 1 syksystä 2011 lähtien nurmella. Alueilla siirryttiin luomutuotantoon vuonna 2011.

Kokonaisfosforipitoisuudet olivat kaikkina kuutena tutkimusvuonna alueen 2 valumavesissä aluetta 1 selvästi korkeampia. Kokonaisfosforipitoisuuden vuosikeskiarvot vaihtelivat alueen 2 salaojavedessä välillä 0,31–0,81 mg l⁻¹ ja alueen 1 välillä 0,07–0,11 mg l⁻¹. Koko tutkimusjaksolla alueen 2 salaojavalunnan kokonaisfosforipitoisuus oli alueeseen 1 verrattuna keskimäärin 5,7 –kertainen. Molempien alueiden pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuudet olivat salaojavalunnan pitoisuuksia korkeampia. Alueiden sisällä fosforipitoisuuden vuosikeskiarvojen vaihteluväli oli salaojia suurempi, 0,59–1,34 mg l⁻¹ (alue 2) ja 0,21–0,55 mg l⁻¹ (alue 1). Kuivien ja sateisten vuosien vaikutusta kokonaisfosforipitoisuuksiin ei ollut selvästi nähtävissä.

Taulukko 3.38. Fosfaattifosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (µg/l) vuonna 2008.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0 / 8 / 21	58 / 195 / 306
Painotettu pitoisuus	8	200
Pintakerrosvalunta	0 / 50 / 361	103 / 218 / 499
Painotettu pitoisuus	79	208

Taulukko 3.39. Fosfaattifosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (µg/l) vuonna 2009.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	0 / 14 / 28	72 / 176 / 490
Painotettu pitoisuus	2	110
Pintakerrosvalunta	24 / 66 / 94	14 / 145 / 220
Painotettu pitoisuus	3	70

Taulukko 3.40. Fosfaattifosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (µg/l) vuonna 2010.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	8 / 25 / 75	77 / 163 / 261
Painotettu pitoisuus	15	90
Pintakerrosvalunta	27 / 158 / 316	180 / 264 / 447
Painotettu pitoisuus	180	260

Taulukko 3.41. Fosfaattifosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (µg/l) vuonna 2011.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	3 / 20 / 52	48 / 205 / 676
Painotettu pitoisuus	21	160
Pintakerrosvalunta	13 / 108 / 242	312 / 497 / 846
Painotettu pitoisuus	34	300

Taulukko 3.42. Fosfaattifosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (µg/l) vuonna 2012.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	11 / 31 / 296	61 / 207 / 505
Painotettu pitoisuus	18	152
Pintakerrosvalunta	9 / 100 / 450	115 / 566 / 1747
Painotettu pitoisuus	72	464

Taulukko 3.43. Fosfaattifosforipitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimi-arvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (µg/l) vuonna 2013.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	12 / 23 / 55	15 / 152 / 390
Painotettu pitoisuus	22	112
Pintakerrosvalunta	9 / 229 / 557	176 / 864 / 2070
Painotettu pitoisuus	282	442

Liukaisen fosfaattifosforin pitoisuuksissa oli kokonaisfosforia suurempi ero alueiden välillä. Salaojaveden fosfaattifosforipitoisuuden vuosikeskiarvot olivat alueella 2 alueeseen 1 nähden keskimäärin yksitoistakertaisia. Pintakerrosvalunnan osalta vastaava suhde oli 3,7. Pintakerrosvalunnassa oli salaojavettä enemmän fosfaattifosforia. Alueella 2 pintakerrosvalunnan ja salaojavalunnan fosfaattifosforipitoisuuden vuosikeskiarvojen suhde oli 5,9 ja alueella 1 vastaavasti 2,3.

Nautakarjan laiduntaminen (2011–2013) alueella 2 on nähtävissä pintakerrosvalunnan kohonneina fosfaattifosforipitoisuuksina. Vuosina 2008–2010 keskiarvojen vaihteluväli oli 0,15–0,26 mg l⁻¹ ja vuosina 2011–2013 pitoisuus vaihteli välillä 0,50–0,86 mg l⁻¹. Vastaava pitoisuuksien nousu oli havaittavissa alueella 1 nurmi-
viljelyyn siirtymisen jälkeen.

Vuonna 2007 määritetty koealueen 2 muokkauskerroksen fosforiluku (26,8 mg l⁻¹ maata) oli suurempi kuin alueella 1 (19,6 mg l⁻¹). Syksyllä 2013 määritetyt fosforiluvut olivat tutkimuksen alussa analysoituja pienempiä, 14,6 mg l⁻¹ (alue 2) ja 10,8 mg l⁻¹ (alue 1).

Taulukko 3.44. Kiintoainepitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2008.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	160 / 253 / 436	307 / 536 / 1490
Painotettu pitoisuus	282	678
Pintakerrosvalunta	286 / 460 / 810	324 / 800 / 2240
Painotettu pitoisuus	404	562

Taulukko 3.45. Kiintoainepitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2009.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	90 / 196 / 330	121 / 376 / 613
Painotettu pitoisuus	176	280
Pintakerrosvalunta	60 / 430 / 930	390 / 960 / 2900
Painotettu pitoisuus	209	741

Taulukko 3.46. Kiintoainepitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2010.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	165 / 210 / 288	221 / 416 / 717
Painotettu pitoisuus	139	214
Pintakerrosvalunta	70 / 209 / 418	170 / 424 / 711
Painotettu pitoisuus	96	314

Taulukko 3.47. Kiintoainepitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2011.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	184 / 226 / 319	176 / 304 / 553
Painotettu pitoisuus	226	214
Pintakerrosvalunta	171 / 238 / 303	254 / 394 / 769
Painotettu pitoisuus	226	286

Taulukko 3.48. Kiintoainepitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2012.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	162 / 189 / 226	207 / 307 / 604
Painotettu pitoisuus	169	248
Pintakerrosvalunta	45 / 161 / 253	27 / 484 / 2633
Painotettu pitoisuus	122	170

Taulukko 3.49. Kiintoainepitoisuuksien minimi-, keski- ja maksimiarvot sekä valunnalla painotetut keskiarvot (mg/l) vuonna 2013.

	Alue 1 min / ka. / max	Alue 2 min / ka. / max
Salaojavalunta	146 / 186 / 267	189 / 280 / 431
Painotettu pitoisuus	190	261
Pintakerrosvalunta	162 / 241 / 370	54 / 398 / 2130
Painotettu pitoisuus	161	156

Ravinnepitoisuuksien tapaan myös kiintoainepitoisuudet olivat alueen 2 valumavesissä aluetta 1 korkeampia. Salaojaveden kiintoainepitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihtelivat alueella 2 välillä 280–536 mg/l ja alueella 1 välillä 186–253 mg/l. Koko tutkimusjaksolla alueen 2 salaojavalunnan kiintoainepitoisuus oli alueeseen 1 verrattuna keskimäärin 1,7 -kertainen. Molempien alueiden korkeimmat vuotuiset pitoisuuskeskiarvot mitattiin sateisena ja lauhatalvisena vuonna 2008.

Pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihtelivat välillä 394–958 mg l⁻¹ mg l⁻¹ (alue 2) ja 161–460 mg l⁻¹ (alue 1). Pintakerrosvalunnan korkeimmat kiintoainepitoisuuden vuosikeskiarvot mitattiin molemmilla alueilla jakson sateisimpana (2008) ja sitä seuranneena kuivimpana (2009) vuonna.

Erot alueiden pintakerrosvaluntojen kiintoainepitoisuuksissa selittyvät osittain peltolohkojen erilaisilla kaltevuuksilla, mikä vaikuttaa pintakerrosvalunnan muodostumiseen ja eroosioon. Alueiden viljelykäytännöissä, kuten viljelykasveissa ja muokkausmenetelmissä, oli myös eroja. Alue 2 oli laitumena keväästä 2011 lähtien. Alue 1 oli nurmipeitteisenä ja muokkaamatta syksystä 2011 lähtien. Kiintoainepitoisuuksien erot olivat suhteessa pienempiä kuin kokonaisfosforin pitoisuuksissa.

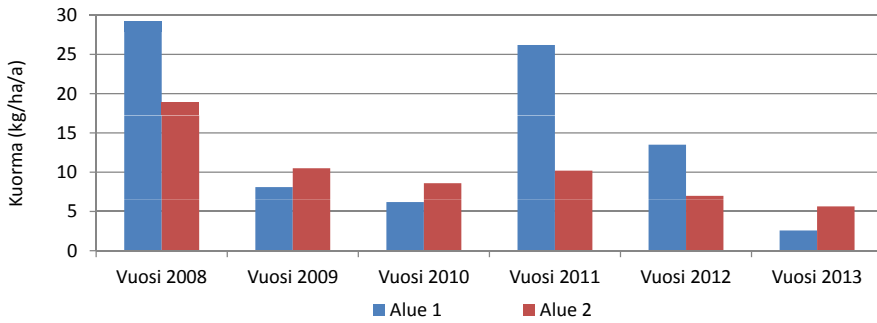
3.2.4 Ravinne- ja kiintoainehuuhtoumat

Valtaosa mitatusta ravinne- ja kiintoainekuormituksesta tuli molemmilta koealueilta salaojien kautta. Salaojavalunnan mukana kulkeutuneet ravinne- ja kiintoainemäärät vuosilta 2008 - 2013 on esitetty kuvissa 3.34–3.37. Salaojavalunnan vuosittaiset kokonaistyyppihuuhtoumat vaihtelivat välillä 2,6–29,2 kg ha⁻¹, kokonaisfosforin huuhtoumat välillä 0,1–3,9 kg ha⁻¹ ja kiintoainekuormat välillä 270 - 2430 kg ha⁻¹. Liukoisen epäorgaanisen fosforin kuormat olivat välillä 0,04–0,7 kg ha⁻¹, ja sen osuus kokonaisfosforihuuhtoumasta oli 4 - 66 % alueesta ja vuodesta riippuen.

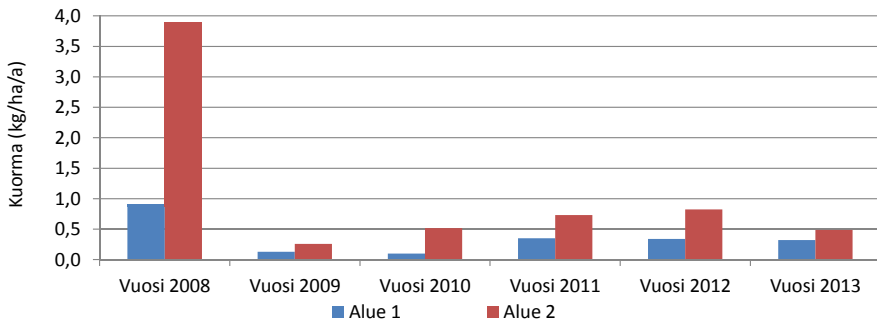
Tutkimusjakson selvästi suurimmat kokonaistyyppikuormat (noin 30 kg ha⁻¹a⁻¹) tulivat alueelta 1 runsasvaluntaisina vuosina 2008 ja 2011. Kuivina vuosina 2009 ja 2010 alueen 2 huuhtouma oli aluetta 1 suurempaa suuremmista tyyppipitoisuuksista johtuen. Kuuden vuoden jaksolla alueen 1 salaojien huuhtouma vaihteli välillä 2,6–29,2 kg ha⁻¹ ja alueen 2 välillä 5,6–18,9 kg ha⁻¹ a⁻¹. Salaojien keskimääräinen kokonaistyyppikuorma alueelta 1 oli 14,3 kg ha⁻¹ ja alueelta 2 10,1 kg ha⁻¹. Alueen 1 suuremmat tyyppikuormat johtuvat aluetta 2 suuremmista salaojavalunnoista.

Pintakerrosvalunnan mittauksissa kevään sulannan aikaan ilmenneet puutteet ja epävarmuudet vaikeuttivat kokonaiskuormien laskentaa. Vuosina 2008 ja 2012, jolloin pintakerrosvalunnan mittaus onnistui verrattain hyvin, alueen 2 pintakerrosvalunnan kokonaistyyppikuormitus oli noin 2,5 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja alueen 1 noin 0,8 kg ha⁻¹ a⁻¹.

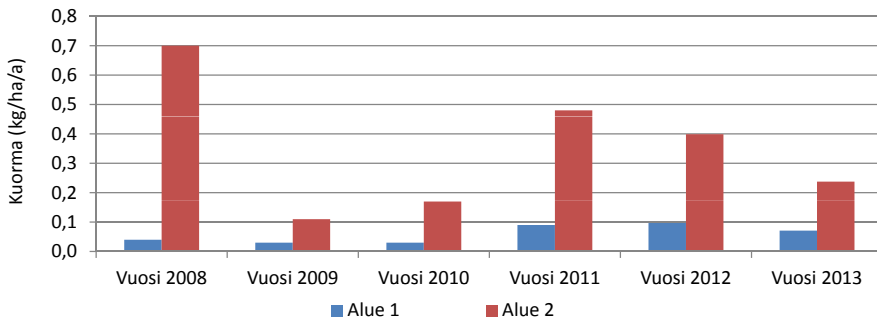
Fosforin osalta alue 2 oli aluetta 1 kuormittavampi. Alueen 2 kokonaisfosforihuuhtouma oli jokaisena tutkimusvuonna alueen 1 huuhtoumaa suurempi. Lauhana ja runsasvaluntaisena vuonna 2008 fosforin kokonaiskuorma (salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan summa) oli huomattavan suuri, 4,3 kg ha⁻¹ (alue 2) ja 1,0 kg ha⁻¹ (alue 1). Kuormituksesta valtaosa tuli salaojista molemmilla alueilla. Viitenä muuna tutkimusvuonna salaojien kokonaisfosforikuorma vaihteli alueella 2 välillä 0,3–0,8 kg ha⁻¹ ja alueella 1 välillä 0,1–0,4 kg ha⁻¹. Kuormittava vuosi 2008 nostaa salaojavaluntojen keskikuormitusta koko tutkimusjaksolla. Alueen 2 salaojista se oli 1,1 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja alueen 1 0,4 kg ha⁻¹ a⁻¹. Vuosina 2008 ja 2012, jolloin pintakerrosvalunnan mittaus onnistui verrattain hyvin, alueen 2 pintakerrosvalunnan kokonaisfosforikuormitus oli noin 0,6 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja alueen 1 alle 0,1 kg ha⁻¹ a⁻¹.



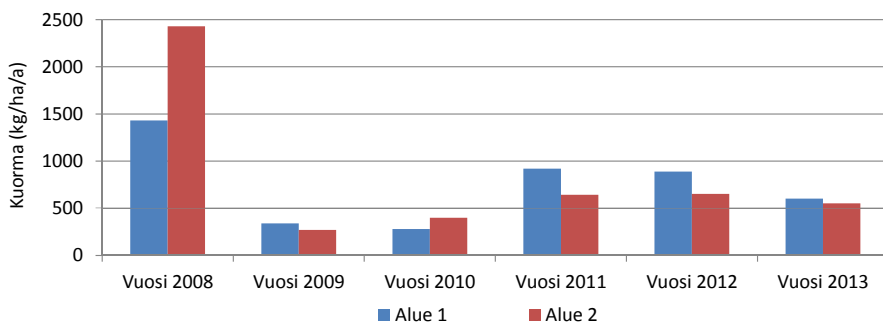
Kuva 3.34. Salaojavalunnan kokonaistyyppikuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) vuosina 2008–2013.



Kuva 3.35. Salaojavalunnan kokonaisfosforikuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) vuosina 2008–2013.



Kuva 3.36. Salaojavalunnan liukoisin fosforin kuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) vuosina 2008–2013.



Kuva 3.37. Salaojavalunnan kiintoainekuorma (kg ha⁻¹ a⁻¹) vuosina 2008–2013.

Kokonaistypestä ja kokonaisfosforista poiketen fosfaattifosforikuorma oli vuonna 2008 alueen 1 salaojavalunnassa mittausjakson keskiarvoa pienempi. Muuten tilanne oli samansuuntainen kuin kokonaisfosforin kohdalla, alueen 2 salaojien fosfaattifosforikuorma oli keskimäärin 6,6 -kertainen alueen 1 kuormaan verrattuna. Salaojien fosfaattifosforin osuus kokonaisfosforikuormasta oli alueella 2 (18–66 %) suurempi ja vaihteli aluetta 1 (4–30 %) enemmän.

Salaojien kautta kulkeutui huomattavan paljon kiintoainetta vuonna 2008 samoin kuin ravinteita. Alueen 2 salaojien kautta kiintoainekuorma oli noin 2400 kg ha⁻¹ ja alueen 1 noin 1400 kg ha⁻¹ a⁻¹. Viiden muun vuoden aikana molempien alueiden salaojien kiintoainekuormat olivat huomattavasti pienempiä. Alueen 2 kiintoainekuorma oli näinä vuosina keskimäärin noin 500 kg ha⁻¹ ja alueen 1 noin 600 kg ha⁻¹. Vuosina 2008 ja 2012, jolloin pintakerrosvalunnan mittaus onnistui verrattain hyvin, alueen 2 pintakerrosvalunnan kokonaisfosforikuormitus oli noin 200 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja alueen 1 noin 40 kg ha⁻¹ a⁻¹.

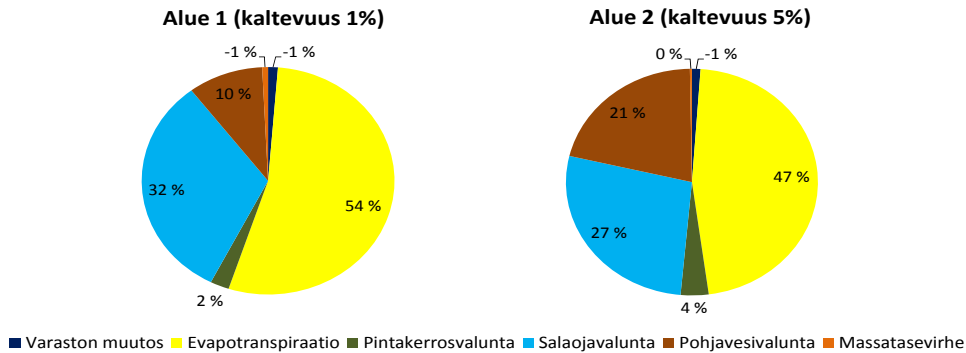
Kiintoainepitoisuuksien erot alueiden 1 ja 2 välillä olivat suhteessa pienempiä kuin kokonaisfosforin pitoisuuksissa, mikä johtuu osittain alueen 2 fosforipitoisemmasta pintamaasta.

3.2.5 Vuotuisen vesitaseen mallintaminen peltomittakaavassa

FLUSH-mallia sovellettiin Gårdskulla Gårdin koekentällä ympärivuotisen vesitaseen tarkasteluun (Turunen ym., 2014). Malliajot kaikkien vuodenaikojen yli edellyttivät talviajan prosessien huomioon ottamista, mikä toteutettiin Warstan ym. (2012a; b) mukaisesti. Mallia sovellettiin vuosille 2008–2012, ja vesitaseita tarkasteltiin vuodenajoittain, vuotuisesti ja pitkäjaksoisesti. Kahden lähekkäisen ja eri kaltevuudet omaavan peltoalueen parametrisointi tarjosi mahdollisuuden tarkastella kaltevuuden vaikutusta peltojen vesitaseisiin. Vesitaseiden määrittäminen on oleellista, koska peltojen hydrologia ja virtausreitit määrittävät vesistökuormituksen syntymistä. Kaltevuuden hydrologisia vaikutuksia oli oleellista tarkastella, koska peltojen topografia vaihtelee Suomessa laajalti. Työn yhteydessä myös haihduntamallia kehitettiin eteenpäin ottamaan huomioon pellolla kasvavien viljojen kasvuvaiheet.

Simulaatiotulosten mukaan pohjavesivalunta on oleellinen vesitaseen komponentti erityisesti jyrkillä peltoalueilla, mutta myös tasaisilla peltoalueilla. Jyrkältä peltoalueella (kaltevuus 5 %) pohjavesivalunnan osuus oli jopa 22 % sadannasta, kun tasaisella alueella (kaltevuus 1 %) vastaava määrä oli 10 % (kuva 3.38). Pohjavesivalunnan osuuden määrittämiseen liittyy kuitenkin epävarmuutta, koska savi- ja maisten syvien maakerrosten hydraulisia ominaisuuksia ei ole juuri tutkittu. Mallintustulosten tarkkuuteen vaikuttaa myös pintakerrosvalunnan mittaamisen ja mallintamisen epävarmuudet kevätvaluntojen aikaan. Tulokset kuitenkin osoittavat verrat selvästi, että pohjavesivalunta on oleellinen vesitaseen komponentti erityisesti kaltevilla peltoalueilla. Vaikka pohjavesivalunnan määrä oli suurempaa keväisin ja syksyisin, pohjavesivaluntaa tapahtuu mallin mukaan läpi vuodenaikojen, myös kesäisin. Keskimäärin keväisin (maalis-toukokuu), syksyisin (syys-marraskuu) ja talvisin (joului-helmikuu) tapahtui likimain yhtä paljon valuntaa. Kesäisin haihdunnan ollessa suurta valuntaa tapahtui vastaavasti hyvin vähän.

Kaltevuuden lisäessä pohjavesivalunnan määrää sen todettiin vastaavasti myös vähentävän salaojavalunnan määrää. Tämä voidaan havaita myös mittaustuloksista, ja vastaava ilmiö havaittiin myös Nummelan koekentän loholla A, joka sijaitsee



Kuva 3.38. Gårdskulla Gården peltoalueiden 1 ja 2 simuloidut vesitaseen komponentit prosentteina sadannasta 2008–2012. Pintakerrosvalunnassa on mukana myös alueita ympäröiviin mataliin (0,4–0,5 m) ojiin valuva vesi.

lähellä kaltevaa jyrkännettä. Myös talviaikoina lumipeitteen aikaan salaojasyvyyden alapuolelle vajoavat pohjavedenpinnat viittaavat siihen, että pohjavesivaluntaa tapahtuu kaltevilla alueilla syvien maakerrosten kautta.

Gårdskulla Gården kaltevien peltöjen mallinnustulokset ovat oleellisia vesistönsuojelun kannalta, koska peltöjen topografian vaikuttaessa vesitaseisiin ja virtausreitteihin useita suunnittelukriteereitä voimakkaammin, on yleispätevän ja ympäristöystävällisen salaojituksen suunnittelukriteerien määrittäminen Suomen oloihin haastavaa. Lisäksi pohjavesivalunta voi olla tärkeä pintavesien kuormitusreitti, jota ei ole perinteisesti otettu huomioon. Vesimalli muodostaa myös perustan eroosion ja aineidenkulkeutumisen mallinnuksille.

3.2.6 Gårdskulla Gården tutkimusalueen tulosten tarkastelu

Siuntiossa Gårdskulla Gården tilalla tehdyn tutkimuksen tavoitteena oli mitata pintakerros- ja salaojavaluntavesien määrää ja laatua ja niiden mukana tulevaa ravinne- ja kiintoainekuormitusta. Tutkimusalueina oli kaksi salaojitettua viljelylohkoa (5,7 ja 4,7 ha), jotka olivat savimaata. Näkyvimmin tutkimusalueet poikkesivat toisistaan kaltevuudeltaan (1 ja 5 %). Maan kemiallisten ominaisuuksien osalta alueiden välillä oli selvä ero muokkauskerroksen helppoliukoisen fosforin määrässä. Ensimmäisinä tutkimusvuosina koalueilla viljeltiin syys- ja kevätiljaa ja käytettiin pelkästään kivennäislannoitteita. Tutkimuksen puolivälissä viljan viljely vaihdettiin toisella alueella nurmeen ja toisesta tuli lihakarjan laidun.

Kirkkojoen molemmin puolin sijaitsevien koalueiden valunnat ja valumavesien pitoisuudet ja siten kuormitukset poikkesivat huomattavasti toisistaan. Myös erot tutkimusvuosien välillä olivat suuria. Erityisen kiinnostava tulos oli kokonaisfosforin ja kiintoaineen suuri huuhtouma salaojien kautta leutona ja sateisena vuonna 2008 kaltevuudeltaan suhteellisen jyrkältä (I ~ 5 %) koelohkolta.

Salaojavalunta muodosti valtaosan mitatusta kokonaisvalunnasta (salaoja- ja pintakerrosvalunnan summa) Gårdskulla Gården molemmilla koalueilla koko tutkimuskaudella. Alueen 1 salaojavalunnat olivat kaikkina kuutena tutkimusvuonna alueen 2 salaojavaluntoja suurempia. Katkot ja epävarmuudet valuntamittauksissa varsinkin kevätsulannan aikaan vaikeuttivat kuitenkin valuntasuhteiden ja kokonaishuuhtoumien arviointia. Todellisuudessa pintakerrosvalunnan osuus oli mitattua suurempi.

Kaltevyyden vaikutusta pellon vesitaseseen tarkasteltiin FLUSH-mallin avulla. Simulaatiotulosten perusteella pohjavesivalunta on oleellinen osa vesitasetta, erityisesti kaltevilla pelloilla. Gårdskulla Gårdin jyrkemmältä koealueelta (kaltevyys 5 %) jopa noin 22 % sadannasta poistui pohjavesivalunnan mukana, ja tasaisemmalta (kaltevyys 1 %) alueelta noin 10 %. Samalla kun kaltevyys lisäsi pohjavesivalunnan määrää, se vähensi salaojavalunnan määrää.

Erot alueiden valumavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksissa selittyvät osittain peltolohkojen erilaisilla kaltevyuksilla, mikä vaikuttaa pintakerrosvalunnan muodostumiseen ja eroosioon. Alueiden viljelykäytännöissä, kuten viljelykasveissa ja muokkausmenetelmissä, oli myös eroja. Alue 2 oli laitumena kevästä 2011 lähtien. Alue 1 oli nurmipeitteisenä ja muokkaamatta syksystä 2011 lähtien. Tutkimusalueilla siirryttiin luomuviljelyyn vuonna 2011.

Vuonna 2007 tutkimusalueen 1 muokkauskerroksen fosforiluku oli 19,6 mg l⁻¹ maata (luokka hyvä) ja alueen 2 26,8 mg l⁻¹ maata (luokka korkea). Syksyllä 2013 otetuista maanäytteistä määritetyt fosforiluvut olivat näitä selvästi pienempiä, 10,8 mg l⁻¹ maata (alue 1) ja 14,6 mg l⁻¹ maata (alue 2). Alue 1 kuului luokkaan tyydyttävä ja alue 2 luokkaan hyvä. Erot maan helppoliukoisen fosforin määrissä selittävät osaltaan alueen 2 suuremmat fosforipitoisuudet pinta- ja salaojavesissä.

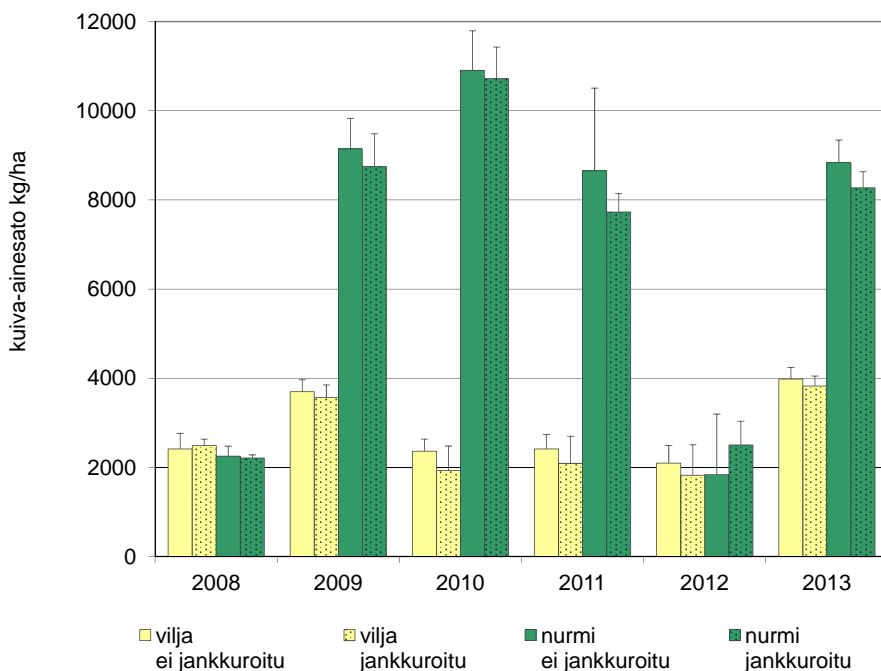
Muokkauskerroksen helppoliukoisen fosforin määrä tutkimusalueilla väheni 45–50 % kuuden vuoden aikana. Sen vaikutus valumavesien pitoisuuksiin jäi epäselväksi, sillä tuotantosuunnan muutos peitti alleen mahdollisen pitoisuuksien pienenemisen. Lihakarjan laiduntaminen alueella 2 kasvatti pintakerrosvalunnan fosfaattifosforipitoisuuksia. Viljanviljelyssä (2008–2010) keskiarvojen vaihteluväli oli 0,15–0,26 mg l⁻¹ ja laiduntamisen jälkeen (2011–2013) 0,50–0,86 mg l⁻¹.

Muutos viljanviljelystä lihakarjan luomulaitumeksi näkyi kokonaistypen pitoisuuksien pienenemisenä pintakerros- ja salaojavalunnoissa. Tuotantosuunnan muuttamisen vaikutuksen arviointia koealueiden valuntasuhteisiin vaikeuttavat vielä lyhyt aika ja epävarmuudet pintakerrosvalunnan mittaamisessa.

3.3 Sotkamon koekenttä

3.3.1 Sadon määrä ja laatu

Koeruutujen sadot poikkesivat toisistaan hyvin vähän niin määrän (kuva 3.39) kuin laadun (taulukot 3.50 ja 3.51) suhteen. Jankkurointi paransi hieman joitain ominaisuuksia mutta yleisemmin huononsi joitain. Erot ovat kuitenkin pieniä ja vaihtelu suurta. Kenttäkokeen tulos on, ettei jankkurointi vaikuta sadon määrään eikä laatuun.



Kuva 3.39. Sotkamon jankkurointikokeen sadon määrät vuosina 2008–2013 jankkuroiduilla ja jankkuroimattomilla vilja- ja nurmi ruuduilla (n=6). Vuosina 2008 ja 2012 numiruuduilla kasvoi suojavilja. Virhepalkit tarkoittavat keskihajontoja.

Taulukko 3.50. Sotkamon jankkurointikokeen sadon laatu vuosina 2008–2013 jankkuroiduilla ja jankkuroimattomilla viljaruuduilla (n=6). Kursiivilla merkitty luku tarkoittaa keskihajontaa.

OHRA	typpipitoisuus % kuiva-aineesta				typpisato kg/ha				hehtolitrapaino kg				1000 jp g			
	ei jankkuroitu		jankkuroitu		ei jankkuroitu		jankkuroitu		ei jankkuroitu		jankkuroitu		ei jankkuroitu		jankkuroitu	
2008	2,01	0,13	1,99	0,16	48,5	7,1	49,6	5,2	40,1	0,7	40,6	2,6	25,2	1,5	24,4	0,4
2009	1,75	0,05	1,78	0,05	64,6	3,6	63,5	6,4	65,4	1,3	63,5	2,4	43,5	2,5	43,4	2,2
2010	1,99	0,13	2,02	0,20	46,8	3,8	38,9	11,2	60,6	1,3	60,3	1,8	36,1	2,2	35,8	2,1
2011	2,02	0,10	2,04	0,15	48,6	5,1	42,4	11,8	58,5	1,5	57,9	2,0	34,2	1,2	32,3	3,0
2012	1,62	0,14	1,49	0,17	33,7	5,6	27,9	12,0	54,8	0,7	54,0	3,1	24,1	1,8	24,0	3,3
2013	1,65	0,03	1,64	0,07	65,5	4,5	62,8	1,9	64,4	1,4	63,9	0,8	40,7	1,6	40,7	0,8
kaikki	1,82	0,20	1,81	0,25	51,6	12,4	47,3	16,0	58,9	7,2	58,2	7,0	34,8	7,4	34,2	7,6

Taulukko 3.51. Sotkamon jankkurointikokeen sadon laatu vuosina 2008–2013 jankkuroiduilla ja jankkuroimattomilla numiruuduilla (n=6). Vuodet 2008 ja 2012 olivat numiruutujen kylvövuosia eikä numisatoa korjattu. Kurssiivilla merkitty luku tarkoittaa keskihajontaa.

NURMI (ei suoja-viljassa)	typpipitoisuus % kuiva-aineesta				typpisato kg/ha			
	ei		jankkuroitu		ei		jankkuroitu	
2009	1,87	0,11	1,99	0,12	170	11	173	15
2010	1,76	0,20	1,82	0,18	186	16	187	10
2011	1,70	0,19	1,87	0,26	144	41	142	18
2013	1,72	0,21	1,71	0,08	152	21	141	12
kaikki	1,76	0,18	1,84	0,19	163	29	161	24

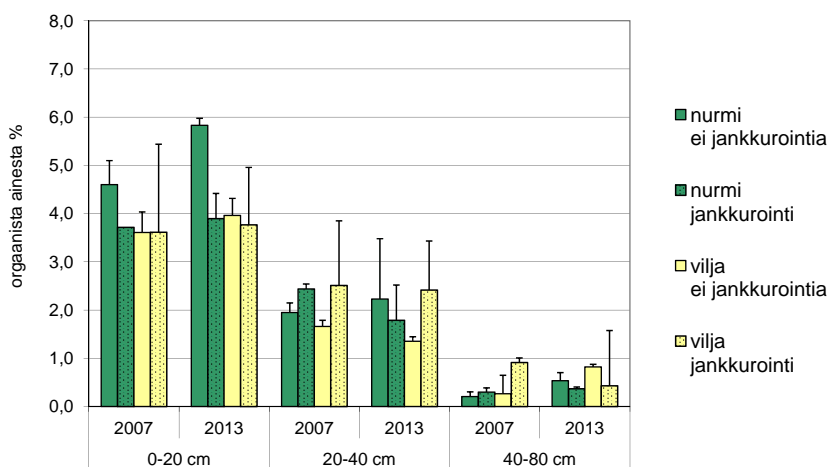
3.3.2 Maan ominaisuudet

Kemialliset ominaisuudet

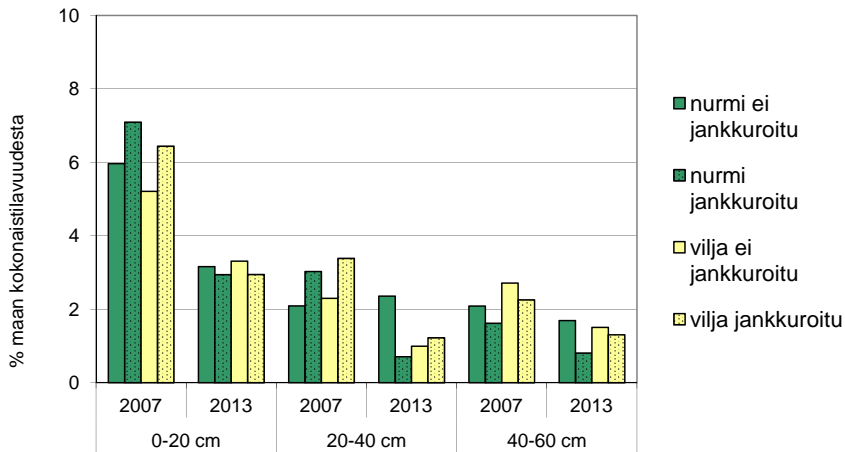
Koekentän maa oli kauttaaltaan multavaa hiesua. Kemialliset ominaisuudet olivat viljavuusluokissa välttävä tai tyydyttävä ja säilyivät samoina tutkimuksen ajan. pH oli 6,2 ja P-luku 10. Maan orgaanisen aineksen pitoisuus (kuva 3.40) säilyi muuttumattomana ojitusta ja jankkurointia edeltäneeseen aikaan nähden. Jankkuroimattomassa nurmea kasvavassa maassa orgaanisen aineksen pitoisuus oli kuitenkin noussut. Orgaanisen aineksen määritystulokseen vaikuttaa paljon se, kuinka paljon näytteeseen on jäänyt tuoreita juuria, joten tulosta ei voi pitää täysin luotettavana näin pienen aineiston perusteella.

Fysikaaliset ominaisuudet

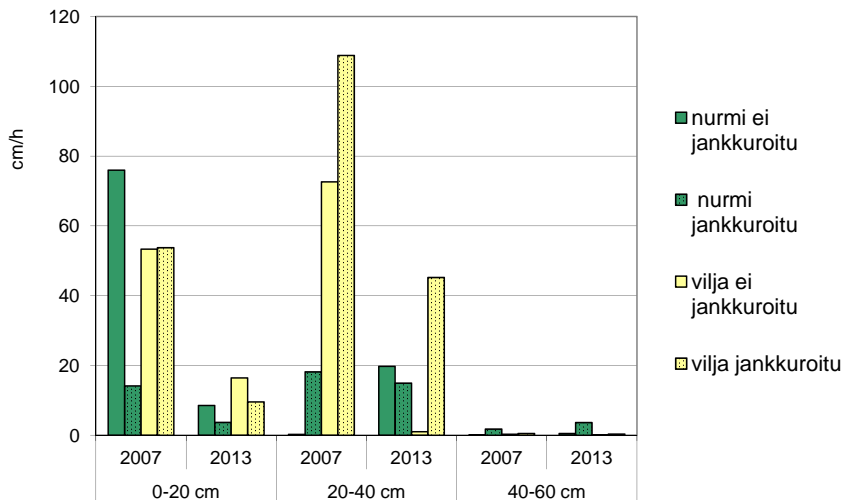
Maan fysikaaliset ominaisuudet heikkenivät kokeen aikana. Isojen, veden ja ilman kulkureitteinä toimivien huokosten määrä pieneni ojitusta ja jankkurointia edeltäneestä ajasta kaikissa tutkituissa maakerroksissa (kuva 3.41). Myös maan veden-



Kuva 3.40. Maan orgaanisen aineksen pitoisuus Sotkamon jankkurointikokeen eri maakerroksissa. n=3. Virhepalkki kuvaa kolmen rinnakkaisen näytteen keskihajontaa.



Kuva 3.41. Isojen huokosten osuus maan kokonaistilavuudesta eri maakerroksissa Sotkamon jankkurointikokeessa. (n=3. Kuvassa on esitetty mediaani eli mitatuista arvoista keskimmäisin.)

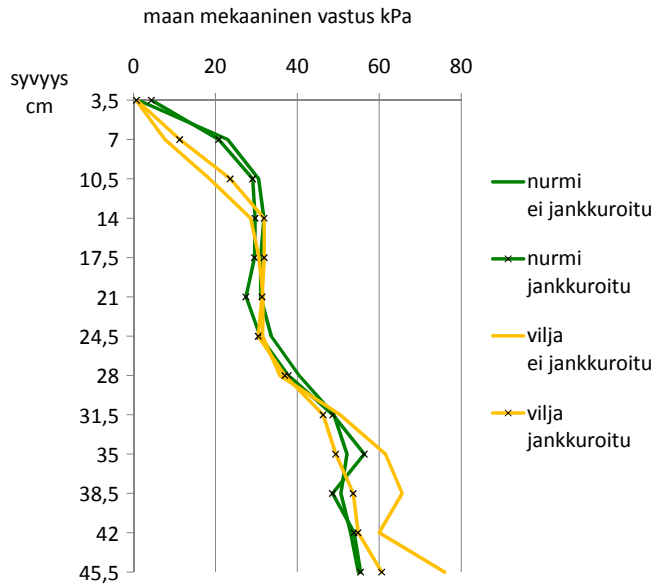


Kuva 3.42. Maan vedenjohtavuus eri maakerroksissa Sotkamon jankkurointikokeessa. (n=3. Kuvassa on esitetty mediaani eli mitatuista arvoista keskimmäisin.)

johtavuus heikkeni (kuva 3.42). Jankkuronti ei siis näytä parantavan maan fysikaalisia ominaisuuksia ainakaan pitkäaikaisesti. Juurten rakennetta vahvistava ominaisuus ei tullut esille. Rakenteen heikkeneminen ilmeni myös tilavuuspainon (maan irtotiheyden) kasvuna.

Edellä mainitut maan ominaisuudet viittaavat siihen, että jankkurointi ei paranna maan rakennetta. Tuloksen luotettavuutta heikentää kuitenkin se, että jankkurointi tehtiin vain kaistoittain eikä tasaisesti koko alueelle. Ero kaistojen ja niiden välisen maan välillä ei ollut niin iso, että jankkurointikaistat olisi voinut nähdä kasvustossa.

Koekentällä mitattiin myös maan mekaanista vastusta penetrometrillä. Mittaus tehtiin joka ruudusta kolmesta kohdasta kahden metrin linjoilta kohtisuoraan jank-



Kuva 3.43. Maan mekaaninen vastus (kPa) koekentän neljässä koekäsittelyssä syvyyksillä 0–45,5 cm. n=42, hajontoja ei ole esitetty.

kurointisuuntaan nähden 30 cm:n välein. Mittauksia osui siten myös jankkurointi-kaistoille, ja penetrometrimittauksissa jankkuroinnin vaikutus näkyi.

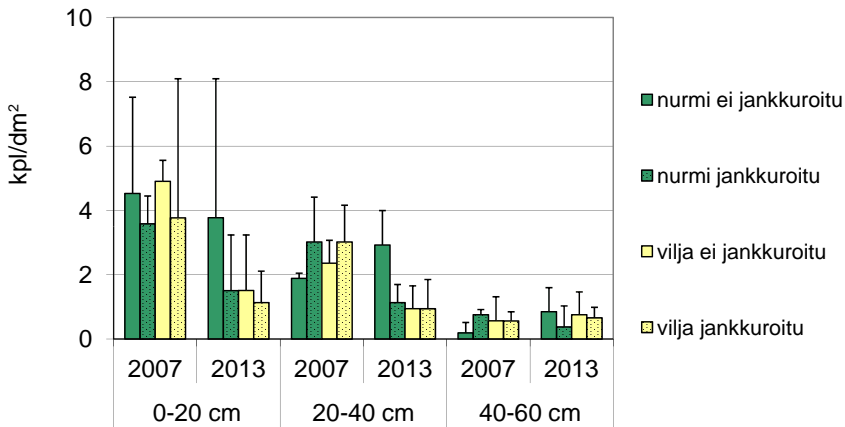
Maan mekaaninen vastus (kuva 3.43) kasvoi selvästi syvälle mentäessä. Se kasvoi erityisesti 25–30 cm:n syvyydessä eli kyntökerroksen alapuolella kaikissa ruuduissa. Kasvilaji vaikutti maan mekaaniseen vastukseen niin, että kynnetyt viljapellon kyntökerroksessa mekaaninen vastus oli pienempi kuin nurmella, jonka kynnöstä oli kulunut aikaa. Erot voivat johtua erilaisen muokkauksen lisäksi myös kosteuseroista.

Jankkurointi näyttäisi pienentävän maan mekaanista vastusta pohjamaassa kyntökerroksen alapuolella. Hajonta oli kuitenkin suurta. Suuri hajonta voi johtua siitä, että osa mittauksista sattui jankkuroiduille ja osa jankkuroimattomille kohdille. Jankkuroinnin vaikutus näkyi pohjamaassa myös siten, että jankkuroiduilla ruuduilla penetrometrimittauksia pystyttiin tekemään syvemmälle kuin jankkuroimattomilla; jankkuroimattomilla vastus kasvoi liian suureksi noin 10 cm aiemmin. Nurmiruuduilla syvyysero jankkuroitujen ja ei-jankkuroitujen kohtien välillä oli pienempi kuin viljaruuduilla. Tämä on koko tutkimuksessa ainoa viittaus siihen, että nurmi saattaisi parantaa jankkuroinnin vaikutusta.

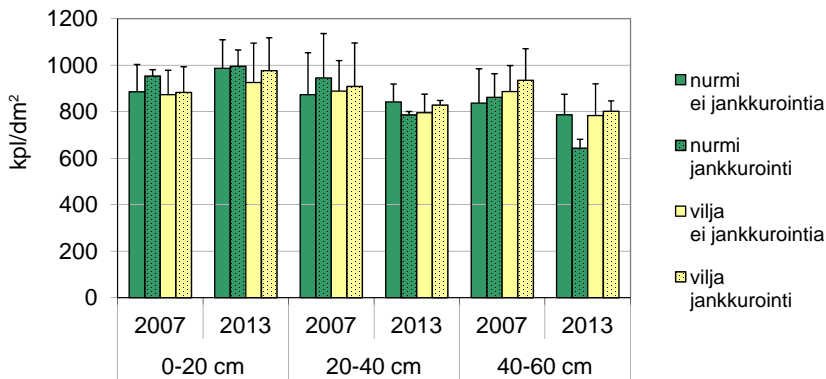
Biologiset ominaisuudet

Maan biologisia ominaisuuksia kuvaavien lieronreikien ja juurikanavien määrät olivat likimain samat kokeen alussa ja lopussa. Juurikanavia oli maassa melko tasaisesti 60 cm:n syvyyteen saakka, mikä kertoo, että juuret pystyvät tunkeutumaan maahan tiiviyydestä huolimatta (kuva 3.44). Juurikanavien määrät näyttäisivät hie-man lisääntyneen pintamaassa mutta vähentyneen pohjamaassa kokeen aikana.

Maassa oli runsaasti lieronreikiä, ja lieroja löytyi näytteistäkin mittausten aikana. Näytteiden välinen vaihtelu oli suurta (kuva 3.45).



Kuva 3.44. Lieronreikien määrä Sotkamon koekentällä jankkuroiduilla ja jankkuroimattomilla vilja- ja nurmiruuduilla. n=3. Virhepalkit tarkoittavat keskihajontaa.



Kuva 3.45. Juukanavien määrä Sotkamon koekentällä jankkuroiduilla ja jankkuroimattomilla vilja- ja nurmiruuduilla. n=3. Virhepalkit tarkoittavat keskihajontaa.

3.3.3 Sotkamon koekentän tulosten tarkastelu

Kaistoittain tehty jankkurointi ei vaikuta sadon määrään eikä laatuun. Se ei juuri vaikuta maan fysikaalisiin tai biologisiin ominaisuuksiin. Heikot vaikutukset ovat mieluummin negatiivisia kuin positiivisia. Näin siitä huolimatta, että jankkurointi pienentää pohjamaan mekaanista vastusta. Nurmen jankkurointia tehostava vaikutus ei tullut esille kuin pienenä viitteenä mekaanisen vastuksen yhteydessä.

3.4 Salaojien ympäröisyneet

Ympäröisyneiden tutkimusosion tulokset ovat melko yhdenmukaisia kirjallisuudessa esitetyn teorian ja aiemmin saatujen kokemusten kanssa. Nummelan koekentällä ohuella suodatinkankaalla ja soralla tehdyt lisäojitukset ovat toimineet tutkimusjakson ajan hyvin. Tilakohtaiset ojitukset, joissa ympäröisyneena käytettiin ohutta suojakangasta, kookoskuidulla esipäällystettyä putkea ja tavanomaista runsaammin soraa, ovat viljelyhaastattelujen sekä kenttätutkimusten perusteella toimi-

Taulukko 3.52. Tutkimuskohteet sekä niiden tiedot.

Esipäällyste	Kohde	Lohkon koko, ha	Maalaji	Salaojien ikä, vuotta	Putkessa liettymiä	Esipäällysteeseen hajoisaste	Ruostekertymiä
Suodatinkangas	Loimaa 1	5,8	AS	13	ei	3	Ei
	Loimaa 2	3,2	HtS	5	ei	3	Ei
	Lieto	5,7	HtS, SHt	13	+ / + +	3	Ei
	Ristiina	6,1	----	n. 15	ei	2	Ei
	Kalajoki 1	6,4	HHk	10	ei	3	Kyllä
	Kalajoki 2	n. 9	HHk	10	ei	3	Kyllä
	Kalajoki 3	5,1	KHt	10	ei	2	Kyllä
Kookoskuitu	Kalajoki 4	10,0	KHt	13	ei	1	Kyllä
	Kalajoki 5	4,7	KHt	13	ei	1	Kyllä
	Loviisa	12,2	HeS, HtS	32	+ / + + / + + +	2,3	Ei
	Inkoo	9,5	HtS, SHt	18	+	3	Ei
	Paimio	21,0	sHt, HHt	17	+ / + +	1,2	Kyllä

+ + + = yli puolet putkesta liettynyt
 + + = 1/3 putkesta liettynyt
 + = vähän liettymiä
 3 = täysin hajonnut
 2 = merkittävästi hajonnut
 1 = vähän hajonnut

neet hyvin seitsemän vuoden ajan. Mallintamistuloksena oli, että ympärysaineen paksuuden kasvattaminen tiettyyn rajaan saakka lisää savimaalla veden virtausta putkeen, jolloin salaojavalunta ja kuivatustehokkuus lisääntyvät.

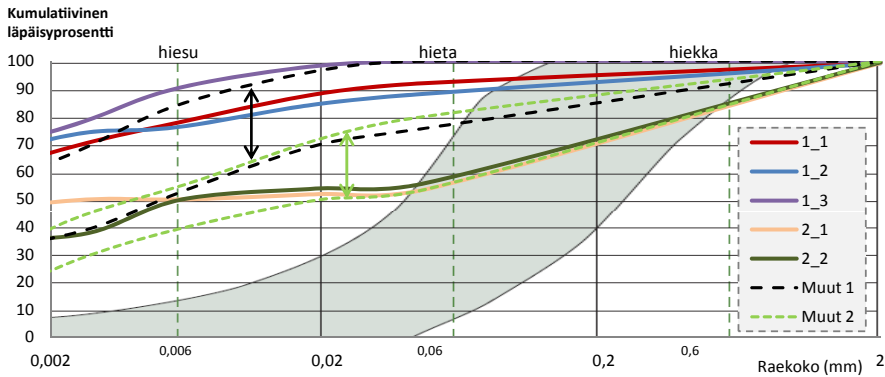
Tutkimustulokset esille kaivetuista vanhoista ojituksista on esitetty koelohkoitain. Kaikkien tutkimuskohteiden maanäytteiden tulokset lajitejakauman ja orgaanisen aineksen osalta on esitetty liitteessä 16 ja 17. Kuoppatestin tulokset on esitetty ympyrädiagrammeina pro gradu -työssä (Sikkilä, 2014). Taulukossa 3.52 on esitetty kohteiden esipäällyste, lohkokoko, salaojasyvyyden maalajit, ojituksen ikä, tieto liettymisestä, esipäällysteeseen hajoamisaste ja ruostekertymän esiintyminen.

3.4.1 Suodatinkankaalla ojitetut kohteet

Loimaa

Loimaan maalaji oli salaojasyvyydessä aitosavea loholla 1 ja hietasavea loholla 2. Maalaji salaojien yläpuolella oli pintaan asti samanlaista kaikissa kuopissa kuin salaojasyvyydessä. Kuvassa 3.46 salaojien yläpuolisen maan rakeisuuden vaihtelua kuvaa katkoviivojen välinen alue molemmilla lohkoilla. Salaojien yläpuolella maan savespitoisuus oli hieman alempi molemmilla lohkoilla kuin salaojasyvyydessä olevan maan savespitoisuus. Maa oli runsasmultaista peltojen pinnasta. Syvemmällä orgaanisen aineksen määrä väheni siten että maa oli multavaa, ja salaojasyvyydessä vähämultaista tai osittain multavaa.

Putket olivat puhtaita molemmilla lohkoilla (kuva 3.47). Savespitoisuudessa oli selvästi eroa lohkojen kesken, mutta se ei ollut vaikuttanut putkien liettymiseen. Lohkon 1 suodatinkangas oli hajonnut kokonaan. Myös loholla 2 kangas oli hajonnut kokonaan, vaikka ojitus oli tehty vain viisi vuotta aiemmin (kuva 3.48).



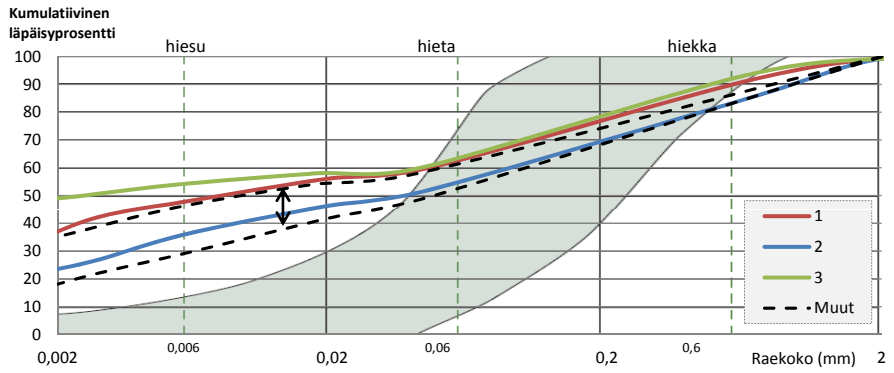
Kuva 3.46. Loimaan (lohkon 1 kuopat 1–3 ja lohkon 2 kuopat 1–2) salaojasyvyyden rakeisuuskäyrät kuoppittain. Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta



Kuva 3.47. Loimaa. Kohteen kaikki putket olivat hyvin puhtaita. **Kuva 3.48.** Loimaa. Suodatinkangas oli hajonnut lähes kokonaan molemmilla lohkoilla.

Lieto

Salaojasyvyyden maalaji vaihteli hietasaven ja savisen hiedan välillä. Maalaji oli pintaan asti lähes samanlaista (kuva 3.49). Maalajitteiden vaihtelut olivat pieniä lohkon sisällä ja merkittäviä eroja oli vain savespitoisuudessa. Salaojiin päätyneen maan määrä vaihteli lohkolla (kuva 3.50). Kuopan 1 kohdalla putket olivat puhtaita, kun taas kuoppien 2 ja 3 kohdalla putkissa esiintyi merkittävää liettymää. Kuoppien 2 ja 3 kohdalla oli märkä alue, joka on haitannut viljelyä. Maan savespitoisuuden ero ei ole vaikuttanut putkien tukkeutumiseen. Kuoppien 2 ja 3 välillä savespitoisuuden ero oli noin 25 prosenttiyksikköä, mutta putkiin oli päätynyt saman verran maata. Kuopan 1 kohdalla savespitoisuus oli näiden kahden väliltä, mutta putki oli lähes puhdas. Suodatinkangas oli hajonnut täysin kaikissa tutkimuskohdissa 13 vuodessa (kuva 3.51).



Kuva 3.49. Lieto. Maan rakeisuuskäyrä salaojasyvyudessa kuopittain (1–3). Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta.



Kuva 3.50. Lieto. Lohkon kolmesta putkesta yksi oli puhdas. Kahteen putkeen pellon märällä alueella oli muodostunut liettymä.

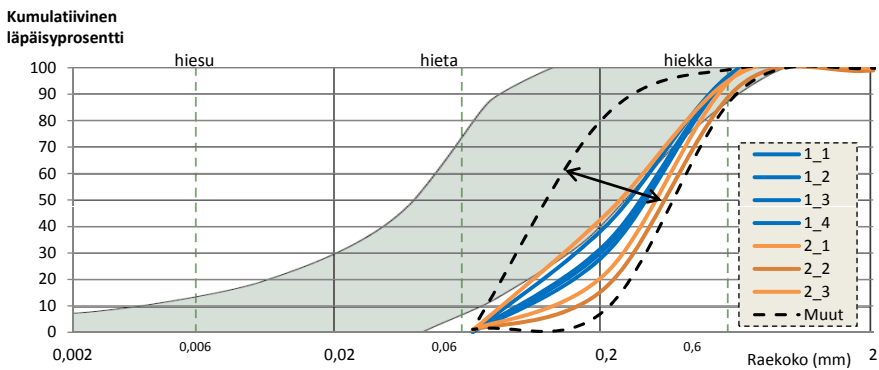


Kuva 3.51. Lieto. Suodatinkangas oli hajonnut täysin.

Kalajoen kohteet 1- 2

Kalajoen kohteet 1 ja 2 olivat maan ominaisuuksiltaan samanlaisia keskenään, vaikka lohkot sijaitsevat lähes 20 kilometrin päässä toisistaan. Lohkojen maalaji on hienoa hiekkaa ja siitä puuttuivat kokonaan hienot lajitteet. Pintamaassa karkeimpien partikkeleiden määrässä oli vaihtelua siten, että maalaji vaihteli karkean hiedan ja hienon hiekan välillä. Maalaji oli sen verran karkeaa, että se ei ollut osunut ongelmalueelle (kuva 3.52). Kuvaan ei ole eritelty jokaista kuoppaa, sillä maa oli kaikissa kuopissa lähes samanlaista.

Molemmissa kohteissa putket ovat täysin puhtaat maapartikkeleista, vaikka suodatinkangas on lähes kokonaan hajonnut lohkoilla (kuva 3.53). Alueen ruosteongelmat tulevat esiin salaojista, sillä ruostetta on kertynyt paikoin vahvasti ympäröivän putken sisäseinämiä (kuva 3.54)



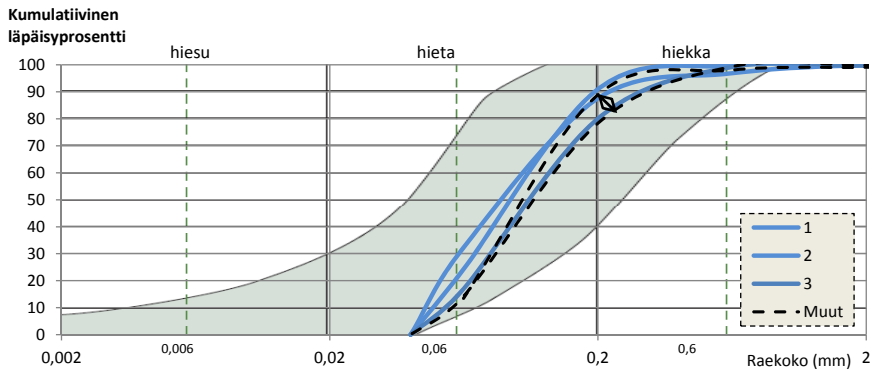
Kuva 3.52. Kalajoki 1–2. Maan rakeisuuskäyrä kuopittain salaojasyvyydessä lohkoilla 1 (kuopat 1–4) ja lohkoilla 2 (kuopat 1–3). Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta.



Kuva 3.53. Kalajoki. Suodatinkangas oli hajonnut lähes kokonaan. Kuva 3.54. Kalajoki 1–2. Putket olivat puhtaita maasta molemmilla lohkoilla. Ruostetta esiintyi paikoitellen paljon.

Kalajoki 3

Maalaji oli koko lohkolla karkeaa hietaa salaojasyvyydestä pintaan asti. Rakeisuudet olivat ongelma-alueen keskellä (kuva 3.55). Suodatinkangas oli hajonnut pitkälle koko lohkon alueella 10 vuodessa (kuva 3.56). Espiäällysteen hajoaminen ja maalajin osuminen ongelma-alueeseen ei ole kuitenkaan aiheuttanut putkiin maan liettymistä (kuva 3.57). Salaojat oli huuhdeltu noin kaksi vuotta sitten. Isännän mukaan huuhdeltaessa putkista ei tullut paljoa maata ulos, joten on oletettavaa, että putket olivat ennen huuhdelua lähes puhtaita.



Kuva 3.55. Kalajoki 3. Maan rakeisuuskäyrä salaojasyvyydessä kuopittain (1–3). Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta.



Kuva 3.56. Kalajoki 3. Suodatinkangas oli hajonnut ohueksi.



Kuva 3.57. Kalajoki 3. Putket olivat puhtaita koko lohkolla.

Ristiina

Maalajin määritys ei onnistunut maan korkean orgaanisen aineksen pitoisuuden vuoksi. Pellon märkyysongelmat johtuivat siitä, että vesi ei päässyt pois lohkolta. Siekkilänjoen puoleinen osa lohkoa oli alavaa, jolloin ojaston laskuaukko jäi veden alle. Joen varressa tehtyihin koekuoppiin kertyi nopeasti vettä ympäröivästä maasta ja salaojista. Putkea ei voitu katkaista kuopassa 1, koska veden paine oli suuri putkessa. Ojaston yläosista tuleva vesi ja korkea vesi laskuaukolla aiheuttivat veden paineen.

Suodatinkangas oli säilynyt maassa 15 vuoden ajan, mutta se oli ohentunut huomattavasti alkuperäisestä (kuva 3.58). Hajoamista oli tapahtunut koko pellon alalla, mutta lohkon alaosissa kangas oli hajonnut hieman enemmän kuin yläosassa. Siellä maa oli tummaa ja orgaanisen aineksen määrä oli suurempi kuin yläosissa. Kangas oli hajonnut, vaikka putket olivat veden peitossa. Tämä viittaa siihen, että kuivana aikana Siekkilänjoen vedenpinta oli alempana, jolloin salaojien vesi pääsi purkautumaan ja laskemaan putkien tasolle tai sen alle. Putkien ruosteisuus oli pientä lohkon alaosissa, mikä voi johtua putkien vedenalaisuudesta. Lohkon yläosassa putkiin oli kertynyt paljon ruostetta (kuva 3.59).



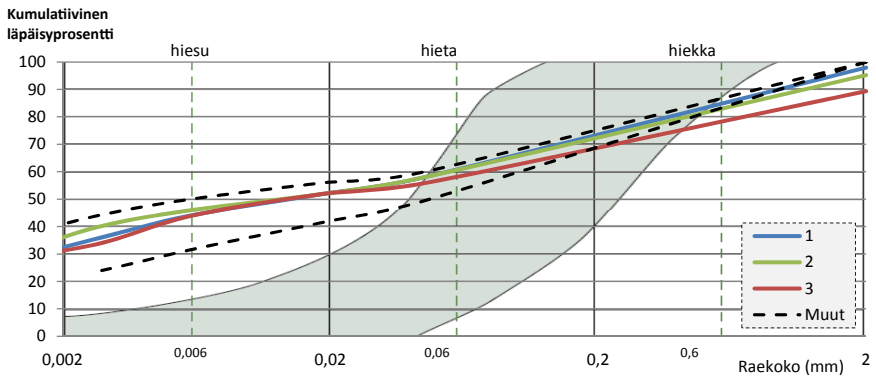
Kuva 3.58. Ristiina. Kangas on säilynyt maassa 15 vuoden ajan, mutta se oli ohentunut merkittävästi. Hajoamista oli vähemmän lohkon yläosissa.

Kuva 3.59. Ristiina. Putket olivat maasta puhtaat. Ruostetta oli kertynyt huomattavasti enemmän lohkon yläosassa tutkittuihin putkiin kuin lohkon alaosassa.

3.4.2 Kookoskuidulla ojitetut kohteet

Loviisa

Maaperän vaihtelu oli lohkolla pientä (kuva 3.60). Pintakerroksissa maalaji oli savista hietaa. Syvemmälle mentäessä savespitoisuus kasvoi. Kuopissa 1 ja 2 salaojasyvyyden maalaji oli hietasavea ja kuopassa 3 hiuesavea. Putkiin liettyneen maan määrä vaihteli merkittävästi puhtaasta putkesta puolittain tukkeutuneeseen putkeen (kuva 3.61). Tukkoisuus lisääntyi lohkolla siirryttäessä kuopan 1 alueelta kuoppien 2 ja 3 alueille. Kookoskuidun hajoamisaste vaihteli kokonaan hajonneen ja merkittävästi hajonneen välillä (kuva 3.62). Putkeen liettyneen maa-aineksen määrä kasvoi siirryttäessä alueelle, jossa kookoskuitu oli kokonaan hajonnut. Maan rakeisuuskäyrät leikkaavat ongelma-alueen karkeiden lajitteiden alueelta. Korkea savi-pitoisuus nostaa käyrän ohi vaativan maan alueelta.



Kuva 3.60. Loviisa. Maan rakeisuuskäyrä kuopittain salaojasyvyydessä lohkoilla 1–3. Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta.



Kuva 3.61. Loviisa. Putkien tukkoisuus vaihteli merkittävästi lohkolla. Kuvassa eniten liettynyt putki.

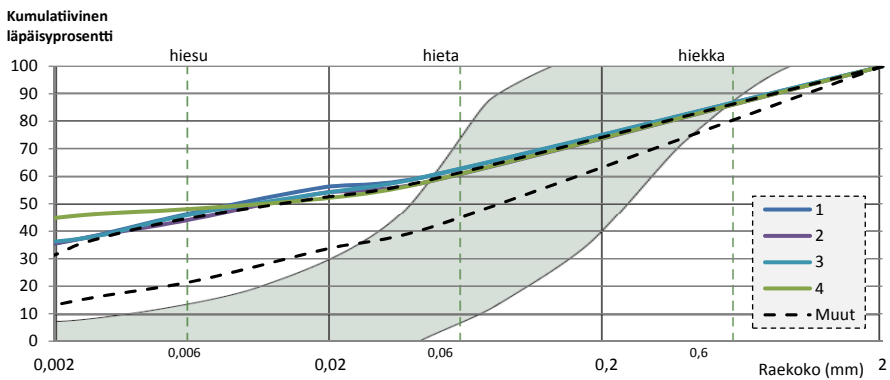


Kuva 3.62. Loviisa. Kookoskuidun hajoamisaste oli kokonaan ja merkittävästi hajonneen välillä.

Inkoo

Inkoon maa oli savipeltoa, ja maalaji sellaista että rakeisuuskäyrä leikkaa ongelma-alueen karkealta alueelta (kuva 3.63). Maaprofiilin savespitoisuus vaihteli. Pinnassa savespitoisuus oli pienimmillään ja siellä maalaji oli karkeaa hiekkaa tai savista hietaa. Syvemmällä maalaji muuttui hieta- tai hiuesaveksi. Salaojasyvytydessä maa oli hietasavea.

Kookos oli hajonnut kokonaan 18 vuodessa (kuva 3.64). Putkiin oli päätynyt vähän maata (kuva 3.65). Esipäällysten hajoaminen ei ollut aiheuttanut putkien tukkeutumista.



Kuva 3.63. Inkoo. Maan rakeisuus salaojasyvytydessä kuopittain. Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta.

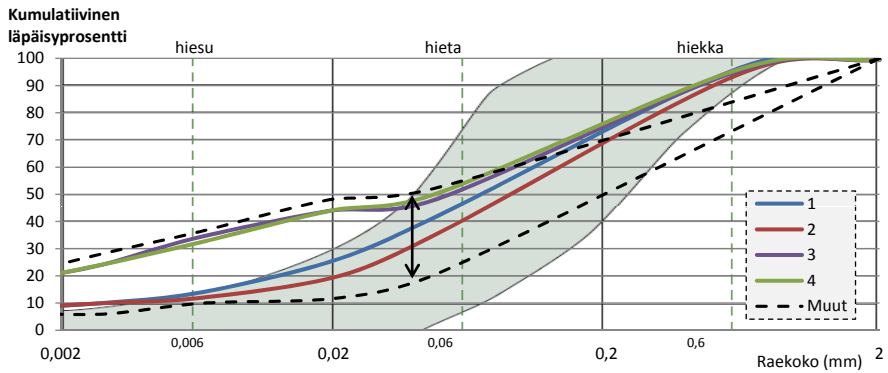


Kuva 3.64. Inkoo. Kookospäällyste oli hajonnut 15 vuodessa.

Kuva 3.65. Inkoo. Putkessa oli vähän lietettä.

Paimio

Salaojasyvyyden maalaji oli kuoppien 1 ja 2 alueella karkeaa hietaa ja kuoppien 3 ja 4 alueella savista hienoa hietaa. Jälkimmäisellä alueella hienojen lajitteiden määrä oli siis suurempi kuin kuoppien 1 ja 2 alueella. Salaojista ylöspäin pintaamaan asti maalaji vaihteli näiden kahden maalajityypin välillä (kuva 3.66). Salaojiin päätyneen maan määrä vaihteli lohkolta maalajin mukaan. Pellon karkean hiedan alueella putkiin oli liettynyt merkittävästi maata, kun taas savisen hiedan alueella putket olivat lähes puhtaat (kuva 3.67). Salaojien ympäröimään rakeisuus kuoppien 1 ja 2 alueella osui kokonaan ongelma-alueelle. Tämä näkyi suurempana putkien tukkoisuutena verrattuna putkien 3 ja 4 alueeseen. Kookoskuitu oli hajonnut 15 vuodessa vain vähän (kuva 3.67).



Kuva 3.66. Paimio. Maan rakeisuuskäyrä salaojasyvyydessä kuoppittain (1–4). Katkoviivojen välinen alue kuvaa salaojien yläpuolisten kerrostien maalajien aluetta.

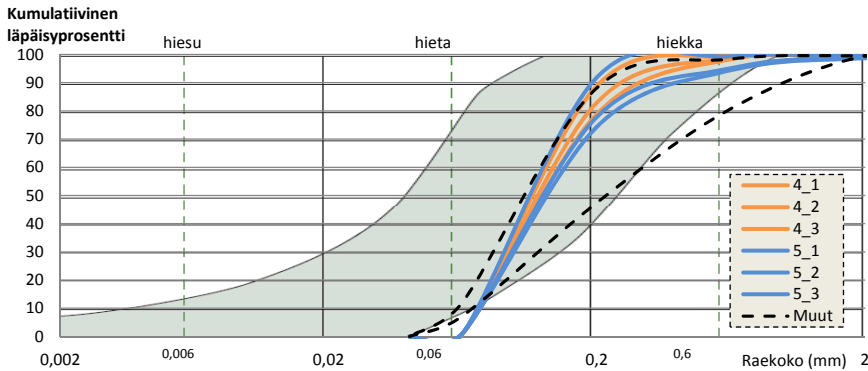


Kuva 3.67. Paimio. Putkien tukkoisuudessa oli eroa lohkon eri alueiden välillä. Kookospäällyste oli hajonnut vähän.

Kalajoen kohteet 4–5

Lohkot 4 ja 5 olivat maalajiltaan karkeaa hietaa lukuunottamatta lohkoa 5. Sama maalaji säilyi pellon pintaan asti. Siellä rakeisuus muuttui karkeammaksi pellon pinnassa siten, että kuopan 2 pintamaa oli hienoa hiekkää. Rakeisuudet olivat ongel-mamaalajien alueelle karkeiden lajitteiden alueella (kuva 3.68).

Molempien lohkojen kookoskuitu oli säilynyt hyvin maassa 10 vuotta (kuva 3.69). Esipäällysteessä ei ollut maan tai ruosteen aiheuttamia tukkeumia ja koo-koksen ja putken väliin ei ollut päässyt maata. Putkessa oli runsaasti ruostetta, joka oli kovettunut koko putken sisäpinnalle. Putket olivat kuitenkin maasta puhtaita molemmilla lohkoilla (kuva 3.69).



Kuva 3.68. Kalajoki 4–5. Maan rakeisuusikäyrä salaojasyvytydessä kuopittain. Katkoviivojen välinen alue kuvaa lohkoilla 4 (kuopat 1–3) ja lohkoilla 5 (kuopat 1–3) salaojien yläpuolisten kerrosten maalajien aluetta.



Kuva 3.69. Kalajoki 4–5. Kookoskuitu oli säilynyt hyvin maassa. Putket olivat puhtaita.

Putken sisään päätynyt maa

Salaojaputkiin oli liettynyt maata maanäytteen verran vain neljässä kohteessa. Näiden kohteiden putkista otettiin yhteensä yhdeksän näytettä. Putkeen liettyneen maan määrä vaihteli kohteittain (taulukko 3.53) ja kuva 3.70. Tutkimuskohteista vain Loviisassa oli maata niin paljon, että se häiritsi ojituksen toimintaa (kuva 3.61).

Salaojaputkessa ollut maa sisälsi kaikkia hiukkaskokoja. Savihiukkasten määrä vaihteli 10- 30 % välillä. Hiesun määrä oli samoissa lukemissa. Karkeiden lajitteiden määrä vaihteli 46 ja 74 % välillä. Putken sisään päätynyt maa oli lähes samantaista kuin salaojien ympärillä oleva maa. Hienojen partikkeleiden osuus oli pienempi putkessa, mikä selittyy veden virtauksella. Putkessa virtaava vesi oli huuhtonut osan hienosta aineksesta ulos salaojista.

Taulukko 3.53. Salaojaputkeen päätynyt maa-aines neljässä kohteessa

Kohde	Putki	Sa %	Hs %	Ht %	Hk %	karkeat (Ht+Hk)		Maalaji	Putkessa liettymä
						%	Summa		
Lieto	1	27	24	23	26	49	100	sHe	+
	2	27	27	22	24	46	100	sHe	++
	3	26	18	24	32	56	100	sKHk	++
Loviisa	1	14	12	34	40	74	100	KHk	+
	2	27	24	25	24	49	100	sHe	++
	(4)	26	22	24	28	52	100	sKHt	+++
Inkoo	1	17	25	29	29	58	100	sKHk	+
	2	19	25	25	31	56	100	sKHk	+
Paimio	1-2	9	17	31	43	74	100	sHe	++

+++ = puolet putkesta liettynyt

++ = 1/3 putkesta liettynyt

+ = vähän liettymiä



Kuva 3.70. Putkien tukkoisuus vaihteli puhtaasta lähes kokonaan tukkeutuneeseen putkeen.

3.4.3 Salaojien ympärysaineosion tulosten tarkastelu

Molemmat tutkitut esipäällysteet, ohut suodatinkangas ja kookoskuitu, olivat hajonneet useassa kohteessa. Esipäällysteen hajoamisaste ei suurentunut ojituksen iän mukaan. Maalajien kesken ei myöskään ollut eroa esipäällysteen hajoamisessa.

Suodatinkankaalla ojitetuissa kohteissa esipäällysteen hajoaminen oli poikkeuksetta pitkällä. Kangas oli hajonnut neljässä kohteessa seitsemästä kokonaan. Savimaissa kankaan hajoaminen oli pidemmällä kuin karkeissa maissa (hieta ja hiekka). Karkeissa maissa putkiin ei ollut kerääntynyt maata, vaikka salaojia vaivasi paikoin pahat ruosteongelmat. Savimaissa putkien liettyminen vaihteli, mutta pääosin salaojat olivat pysyneet puhtaina.

Kookosputkella ojitettuja kohteita oli yhteensä viisi. Näissä kohteissa esipäällysteen hajoamisessa oli paljon vaihtelua. Karkeilla mailla kookos oli säilynyt hyvin, kun taas hienommilla mailla se oli hajonnut kokonaan. Kohteessa, jossa maassa oli sekä karkeitä että hienoja partikkeleita, esipäällyste oli hajonnut osittain. Karkeilla mailla (Hk) putkiin ei ollut kertynyt maata. Savimailla tilanne oli toisin, sillä niissä putkiin oli kertynyt maata merkittäviäkin määriä.

Salaojaputkien sisään kulkeutunut maa oli raekokojakaumaltaan lähes samantyyppistä kuin salaojien ympärillä oleva maa. Hienojen partikkeleiden osuus oli kuitenkin pienempi putkessa, koska ilmeisesti putkessa virtaava vesi oli huuhtonut osan hienosta aineksesta pois salaojasta.

Kirjallisuuden mukaan orgaanisen aineen hajoamiseen vaikuttavat maan pH ja lämpötila putken ympärillä. Kookoskuitu hajoaa helposti maassa, jos maan pH on korkeampi kuin 6, tai jos maan lämpötila on sopiva mikrobeille (Meijer ja Knops, 1977, Antheunisse, 1979). Van Zeijts (1992) osoitti tutkimuksessaan että orgaanisia esipäällysteitä tulisi käyttää vain mekaanisesti vakaassa maaperässä, jossa savipitoisuus on suurempi kuin 30 %. Blom (1987) päätyi hyvin laajassa tutkimuksessaan siihen, että liki 1000 kookosputkea oli osittain tukkeutunut kookoksen hajoamisen vuoksi. Osasyllisenä tukkeutumisiin pidettiin kookoksen liian suurta huokoisuutta, joka mahdollisti veden kovan virtauksen ja maapartikkeleiden siirtymisen kookokseen ja putkeen.

FLUSH-mallilla tehtyjen simulaatioiden mukaan salaojavalunnan määrä kasvaa merkittävästi putken halkaisijan kasvaessa, ja tämä vastaavasti vähentää pintakerrosvalunnan määrää (Turunen, 2011). Putken halkaisijan kasvattaminen viidestä noin kymmenen senttimetriin lisäsi salaojavalunnan määrää huomattavasti. Lisättäessä putken halkaisijaa tästä suuremmaksi oli vaikutus valuntaan huomattavasti pienempää. On kuitenkin huomioitava, että pintakerrosvaluntaa ei onnistuttu simuloimaan Nummelan koekentällä tarkasti (Turunen, 2011; Turunen ym., 2013). Simulaatiotulokset vaikutuksesta kuivatustehokkuuteen ovat samansuuntaisia Auran (1990) kokeellisen tutkimuksen kanssa. Aura (1990) tutki ympärysaineen vaikutusta savimaiden kuivatustehokkuuteen Jokioisissa, ja havaitsi, että 10 cm soraympärysaine lisäsi kuivatustehokkuutta merkittävästi, mutta 20 cm sora ei lisännyt kuivatustehokkuutta merkittävästi enempää. Aikaisemmin Karvonen ja Vakkilainen (1989) simuloivat ympärysaineen vaikutusta salaojavaluntaan teoreettisesti homogeenisessa maaperässä, ja totesivat myös hyvin vettä läpäisevän ympärysaineen lisäävän kuivatustehokkuutta merkittävästi. Laajempi erilaisten ympärysaineiden vaikutusten tarkastelu vaatisi salaojakaivantojen simuloimisen tarkemmalla laskentaresoluutiolla, kun Turunen (2011) ja Turunen ym. (2013) keskittyivät peltomittakaavan vesitaseiden tarkasteluun.

3.5 Salaojitusten tilakohtaiset seurantakohteet

Tutkimuksessa mukana olleilta yhdeksältä viljelijöiden pelloilta sijainneilta koelohkoilta esitetään ensin jokaisella lohkokolla tehtyjen peltomaan laatutestien tulokset, sen jälkeen viljavuusanalyysin tulokset ja lopuksi tulosten yhteenveto. Tulokset on esitetty kuvissa 3.71–3.79. Jollei toisin mainita, niin lohkoilla viljeltiin yksivuotisia vilja-, öljy- tai palkokasveja, käytettiin kivennäislannoitteita, lohkot kynnettiin syksyisin ja ojitusolot olivat hyvät. Kaikki lohkot kalkittiin tutkimuksen aikana.

Lohko 1

Lohko 1 oli ojitettu aurasalaojakoneella viiden metrin ojaväleihin käyttäen salaojaputken ympärysaineena ohutta suodatinkangasta. Maa oli karkeaa hietamaata, joka oli pinnaltaan erittäin runsasmultaista. Maan fysikaaliset ominaisuudet olivat yhtä erinomaiset ennen ojitusta kuin sen jälkeen niin pinta- kuin pohjamaassa, joten ojituksen vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ei voitu havaita. Maassa ei näkynyt tiivistymiä. Ojitus ei vaikuttanut ruokamultakerroksen biologisiin ominaisuuksiin, mutta pohjamaahan ilmestyi ojituksen jälkeen entistä enemmän lieronreikiä merkinä maan biologisten toimintojen paranemisesta.

Maan orgaanisen aineksen pitoisuus oli pienentynyt enemmän kuin muilla lohkoilla. Lohko on aikoinaan ollut suon reunaa, ja sillä on edelleen menossa prosessi, jossa turvema muuttuu viljeltäessä vähitellen kivennäismaaksi. Kevätviljan ja erityisesti perunan viljely ovat todennäköisesti kiihdyttäneet tätä prosessia.

Ojitus on toiminut hyvin. Lohko kuivuu keväisin tasaisesti ja nopeasti viljelykuntoon, ja viljelytoimet voi tehdä ajallaan. Korjuuongelmia ei ole ollut ruokaperunakaan viljelyssä. Tavallista märempänä vuonna viljelijälle muodostui käsitys, että märissä oloissa tämä ojitusmenetelmä ei ehdi poistaa vettä niin nopeasti kuin perinteinen ojitus, jossa kaivanto on täytetty soralla pintaan asti. Tämä pätee erityisesti turvemaalle, mutta myös kivennäismaalle.

Sama ojitusmenetelmä on toiminut hyvin myös koelohkoon rajoituvalla syväturpeisella turvemaalla, joskin turvema kuivuu kivennäismaata hitaammin. Tavallista märempänä syksynä kyntö ei kuitenkaan onnistunut ennen kuin maan pinta jäättyi. Turvemaalla ojaväli on neljä metriä. Syväturpeisimmilla kohdilla pellon pinta on laskenut veden poistumisesta johtuen silmävaraisesti arvioiden puolisen metriä. Tämä oli ennakoitu putkien syvyyksiä määritettäessä.

Sekä kivennäis- että turvemaalta kaivettiin esiin imuojia vajaa kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Turvemaalla putkessa ei ollut lietettä, mutta hieman alkavaa ruostekertymää. Kivennäismaalla putkien pohjalla oli lietettä. Putket on mahdollista huuhdella toimivuuden varmistamiseksi. Toistaiseksi huuhtelua ei ole tarvinnut tehdä.

Lohko 2

Lohko 2 oli salaojitettu aurasalaojakoneella kuuden metrin ojaväleihin käyttäen salaojaputken ympärysaineena ohutta suodatinkangasta. Lisäksi maa jankkuroitiin kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Maa oli pinnalta runsasmultaista hietasavea ja syvemältä aitosavea. Ennen salaojitusta lohko oli ollut heinittynyttä ja vesakoitunutta vanhaa peltoa.

Maan fysikaaliset ominaisuudet olivat erittäin hyvät sekä ennen ojitusta ja jankkurointia että niiden jälkeen niin pinta- kuin pohjamaassa. Toimenpiteiden vaikutuksia maan fysikaalisiin ominaisuuksiin ei siten voitu havaita. Vesi imeytyi pinta-maahan hyvin. Ruokamultakerroksen biologiset ominaisuudet olivat parantuneet ja tiivistymät löyhentyneet ojituksen ja jankkuroinnin jälkeisinä vuosina. Pohjamaassa oli madonreikiä jonkin verran jo ennen ojitusta, eivätkä ojitus ja jankkurointi vaikuttaneet tilanteeseen.

Maan orgaanisen aineksen pitoisuus oli multavan ja runsasmultaisen rajalla, ja pieneni hieman ojituksen – ja samassa yhteydessä tapahtuneen pellon käyttöön-oton – jälkeen.

Pelto kuivuu hyvin ja tasaisesti. Lammikoita ei kerry eikä jääpoltetta esiinny märkinäkään vuosina. Kuivana vuonna maa kuivui liikaa, ja kasvusto saattoi tuleentua hieman liian aikaisin. Maa muokkautuu hyvin, mitä pitkä heinittynyt jakso lienee edistänyt. Viljelijä on erittäin tyytyväinen ojitukseen.

Lohko 3

Lohko 3 oli salaojitettu aurasalaojakoneella kuuden metrin ojaväleihin käyttäen sala-ojaputken ympärysaineena ohutta suodatinkangasta. Lisäksi maa jankkuroitiin kaksi vuotta ojituksen jälkeen. Maa oli jankkuroitaessa märkää. Maa oli pinnaltaan multavaa aitosavea.

Pintamaan fysikaaliset ominaisuudet olivat kelvolliset eivätkä muuttuneet koejakson aikana. Myöskään veden imeytymisnopeus maahan ei muuttunut. Maaprofiilissa 0–40 cm:n syvyydessä havaittiin kuitenkin tiivistymien pahenemista, vaikka lähes kaikilla muilla lohkoilla tilanne helpottui ojituksen jälkeen. On mahdollista, että märissä oloissa tehty jankkurointi pikemminkin heikensi maan rakennetta kuin paransi sitä. Pohjamaan muut fysikaaliset ominaisuudet kuitenkin paranivat selvästi ojituksen ja jankkuroinnin jälkeen, samoin jossain määrin myös pinta- ja pohjamaan biologiset ominaisuudet.

Ojitus ja jankkurointi eivät vaikuttaneet maan orgaanisen aineksen määrään.

Pelto kuivuu hyvin ja tasaisesti. Kasvustot ovat hyvät. Märkinä vuonna vettä jäi pellolle. Viljelijä on tyytyväinen ojitukseen ja aikoo ojittaa samalla menetelmällä jatkossakin.

Lohko 4

Lohko 4 oli salaojitettu aurasalaojakoneella viiden metrin ojaväleihin käyttäen sala-ojaputken ympärysaineena ohutta suodatinkangasta. Lisäksi maa jankkuroitiin sala-ojituksen yhteydessä (ja oli jankkuroitu ennen tämän hankkeen maaperätutkimusta). Ojitus ja jankkurointi tehtiin hyvissä oloissa. Maa oli pinnaltaan multavaa aitosavea. Lohkolla kokeiltiin suorakylvöä kahtena vuonna, mutta pellon kuivumisen kannalta kylvö todettiin tarpeelliseksi.

Koska jankkurointi oli jo tehty ennen ensimmäistä maaperätutkimusta, lohkolta ei voida tehdä luotettavaa vertailua ojitustoimia edeltäneen ja sitä seuranneen tilanteen välillä. Jankkuroinnin jälkeen ja viisi vuotta myöhemmin tehtyjen tutkimusten välillä maa oli pysynyt muuten samanlaisena, mutta pohjamaahan oli tullut lisää juurikanavia.

Viljelijän mukaan ojitus toimii kohtuullisesti, kunhan pelto kynnetään. Suorakylvöä ei saatu onnistumaan. Sänkimaasta vesi ei pääse imeytymään kunnolla maan läpi, maa on märkää ja kasvustot heikot. Hyvinä vuosina pelto kuivuu tasaisesti, tosin lohkolla on yksi märempi kohta.

Lohko 5

Lohko 5 oli ojitettu aurasalaojakoneella, kokoojat oli tehty kuitenkin ketjukaivin-koneella. Imuojien väli oli 10 m. Ojien syvyys vaihteli 60 cm:n ja 100 cm:n välillä ollen yleensä 75 - 85 cm. Imuojissa oli erittäin runsas sorastus (20–30 cm), ja vanhojen avo-ojien risteyksiin tehtiin sorasilmäkkeet. Kokoojien päällä oli 15 cm:n sorastus. Pintamaa oli runsasmultaista hietasavea, pohjamaa oli aitosavea. Näiden välissä oli noin 10 cm:n paksuinen hietakerros. Lohko on kynnety vain kerran ojituksen jälkeen.

Ruokamultakerroksen fysikaaliset ominaisuudet olivat hyvät jo ennen ojitusta eivätkä muuttuneet ojituksen jälkeen. Tiivistymiä tai iskostumia ei juurikaan havaittu. Vesi imeytyi maahan samalla nopeudella kummallakin tutkimuskerralla tosin melko hitaasti johtuen ehkä muokkaamattomuuden aiheuttamasta tiivistä pinnasta. Lohko oli ainut, jossa ruokamultakerroksen biologiset ominaisuudet heikkenivät. Sille ei löytynyt järkevää selitystä.

Pohjamaan fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet paranivat selvästi ojituksen myötä. Lierot olivat ilmestyneet lohkolle. Ominaisuuksien parantuminen voi olla paitsi ojituksen niin myös syväjuuristen ja monivuotisten kasvien viljelyn ansiota; lohkolle on viljelty ojituksen jälkeen yhtä ohravuotta lukuun ottamatta vain kuminaa, tai se on ollut viherkesantona.

Ojitus ei vaikuttanut maan orgaanisen aineksen pitoisuuteen.

Ojitus on toiminut hyvin. Muutamassa notkelmassa oli märkänä syksynä kosteaa. Pelto kuivuu sopivasti ja suhteellisen tasaisesti. Kasvusto on pääosin tasainen paria notkelmaa lukuun ottamatta. Viljelijä on hyvin tyytyväinen ojitukseen.

Lohko 6

Lohko 6 ojitettiin ketjukaivinkoneella. Kyseessä oli täydennysojitus, jossa ojaväliksi tuli kahdeksan metriä. Salaojaputken ympärysaineena oli kookos, ja kaivanto oli täytetty hakkeella. Ojitus tehtiin märissä oloissa. Maa oli pinnasta multavaa hiesusavea, ja syvemmältä aitosavea.

Maan fysikaaliset ominaisuudet paranivat selvästi ojituksen jälkeen niin pinta- kuin pohjamaassa. Suurin parannus tapahtui pajojen tiivistymien suhteen, jotka hävisivät lähes kokonaan tutkimuskertojen välillä. Tilannetta on voinut ojituksen ohella helpottaa nurmi, joka kasvoi lohkolle kolmena vuonna. Pinta- ja pohjamaan biologiset ominaisuudet paranivat hieman, mutteivät merkittävästi.

Pintamaan orgaanisen aineksen pitoisuutta ei määritetty ensimmäisellä tutkimuskerralla, joten vertailua ei voi tehdä. 20 - 40 cm:n syvyydellä orgaanisen aineksen pitoisuus pysyi samana.

Lohko kuivuu tasaisesti eikä siellä enää ole isoja lätäköitä. Viljelijä on tyytyväinen ojitukseen.

Lohko 7

Lohko 7 oli ojitettu ketjukaivinkoneella. Ojaväli oli kahdeksan metriä ja ojasyvyys normaali. Putkien päällä käytettiin runsaasti soraa, ja entisten avo-ojien risteyksiin tehtiin sorasilmäkkeet. Soraa kului 33 - 40 m³/ha. Sorasilmäkkeiden välit täytettiin hakkeella, jota kului 100 m³/ha. Maa oli pinnasta erittäin runsasmultaista hiesusavea, ja syvemmältä aitosavea. Lohko kynnetään vain harvoin, yleensä se kevytmuokataan tai suorakylvetään.

Lohkon fysikaaliset ominaisuudet olivat hyvät jo ennen ojitusta sekä pinta- että pohjamaassa, eikä tilanne muuttunut ojituksen jälkeen. Maaprofilissa havaittiin vain lieviä tiivistymiä, jotka hieman löyhenivät ojituksen jälkeen. Veden imeytyminen maahan parani selvästi ojituksen jälkeen. Maan biologiset ominaisuudet paranivat ojituksen jälkeen selvästi niin pinta- kuin pohjamaassa.

Savimaalla sijainneista koelohkoista lohkon 7 orgaanisen aineksen pitoisuus oli suurin. Pitoisuus pieneni ojituksen jälkeen enemmän kuin muilla savimaalohkoilla.

Viljelijä on pääsääntöisesti tyytyväinen lohkon ojitukseen. Lätäköt eivät vaivaa kuin kovimpina sadejaksoina. Kokoojien laskuaukot ovat vedenpinnan alla, mikä viljelijän mukaan hidastaa veden virtausta kovan virtaaman aikana. Viljelijä on myöhemmin ojitannut viereisen lohkon aurasalaojatekniikalla. Hän on erittäin tyytyväinen siihen ja aikoo jatkossa käyttää yksinomaan aurasalaojatekniikkaa. Sen etuna ovat kustannustehokkuus, nopeus ja ennen kaikkea maan kuohkeutuminen aurasalaojakoneen työljäljessä.

Lohko 8

Lohko 8 ojitettiin ketjukaivinkoneella. Ojaväli oli kahdeksan metriä ja ojasyvyys keskimäärin 95 cm. Soraa käytettiin putken päällä tavanomaista niukemmin, 4–8 cm ($3 \text{ m}^3/100 \text{ m}$) eikä avo-ojien risteyskohtiin tehty sorasilmäkkeitä. Maa oli erittäin runsasmultaista hieutta, osittain multamaata. Pohjamaa on vähämultaista. Yhtenä vuonna lohkolle levitettiin lietelantaa.

Ojituksen myötä paranivat maan fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet niin pinta- kuin pohjamaassa. Tiivistymä säilyi samanlaisena, mutta oli lievä. Toinen lohkon tutkimuspaikoista sijaitsi multamaan puolella, toinen kivennäismaalla, joten tulosten hajonta oli suuri. Kummassakin paikassa orgaanisen aineksen pitoisuus oli laskenut.

Pelto kuivuu tasaisesti. Kaltevuuden takia pellolla ei ole pintavesiongelmia. Maa on multavaa, joten pellolla ei ole kuivuusongelmiakaan. Pellolla on hyvät kasvuolot, ja viljelijä on tyytyväinen ojitukseen.

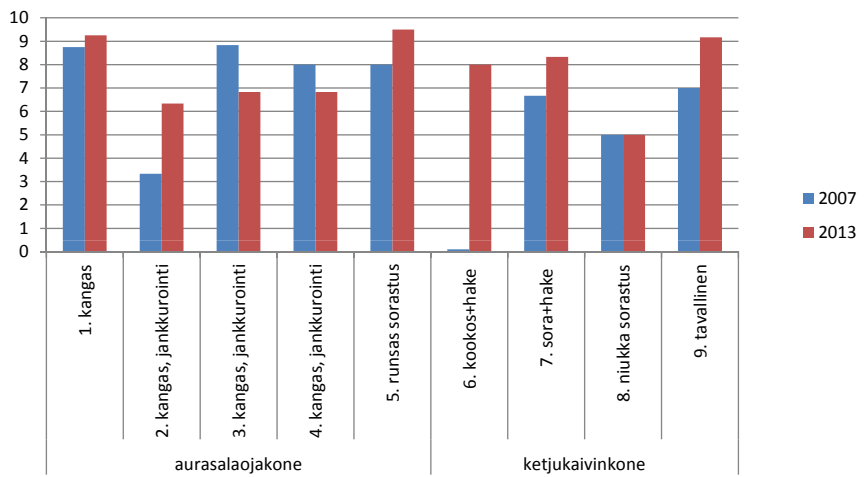
Lohko 9

Lohko 9 ojitettiin ketjukaivinkoneella. Ojaväli oli 12 m ja ojasyvyys normaali. Sorastus oli runsas, ja sorasilmäkkeitä tehtiin yhdeksän metrin välein. Ojitusmenetelmä oli tämän tutkimuksen tavallisin. Ojitus tehtiin märissä oloissa. Pintamaan maalaji oli multavaa karkeaa hietaa, pohjamaa oli hienoa hietaa.

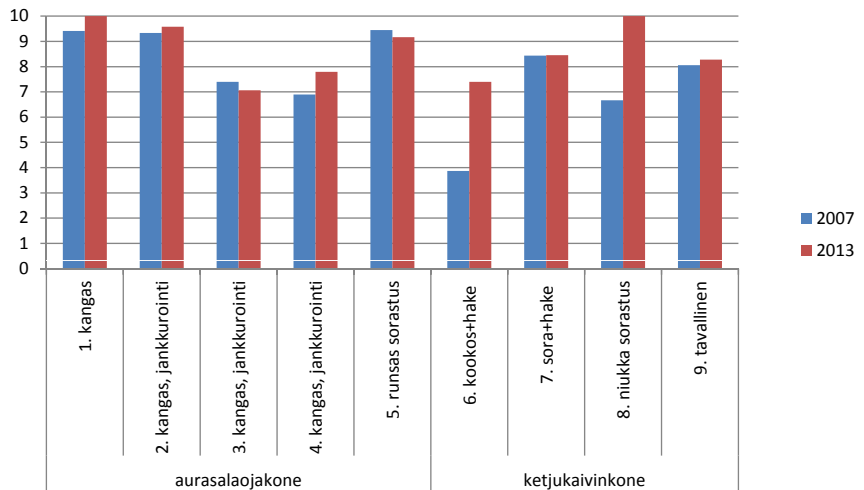
Ojituksen jälkeen ruokamultakerrokseen ilmestyi lisää lieroja, ja maaprofilissa ollut lievä tiivistymä hävisi lähes kokonaan. Muut maan ominaisuudet eivät juuri muuttuneet ojituksen myötä, ja olivat alun perinkin hyvät - paitsi pohjamaan reikäisyys (lieronreikien ja juurikanavien määrä); kun reikäisyys lisääntyi kaikilla muilla lohkoilla ojituksen jälkeen, niin lohkon 9 tilanne jäi kaikkein huonoimmaksi. Lohko oli ollut veden vaivaama vuosia ennen ojitusta, joten voi kestää, ennen kuin lierot ehtivät taas lohkolle tai juuret ehtivät rei'ittää maan.

Lohkon orgaanisen aineksen pitoisuus oli kaikkien lohkojen pintamaiden pienin. Pintamaan pitoisuus ei muuttunut ojituksen jälkeen mutta 20–40 cm:n syvyydessä laski hieman.

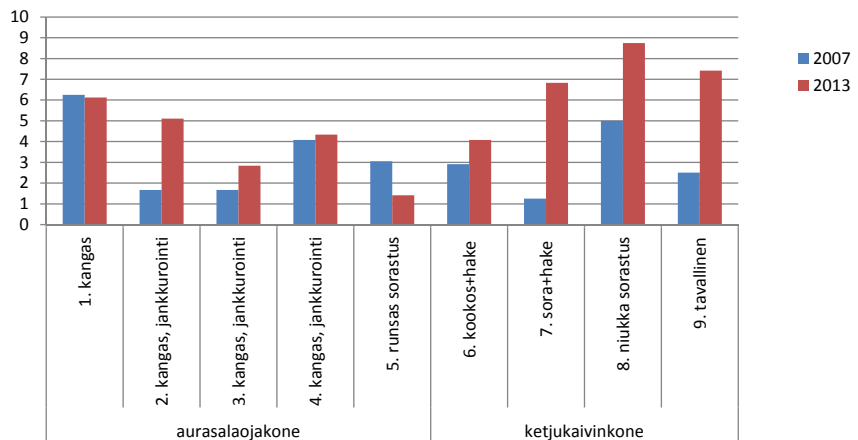
Ojituksen jälkeen pelto on kuivunut tasaisesti ja sopivasti, eikä lätäköitä ole ollut missään vaiheessa. Kasvusto on yleensä tasainen. Ennen ojitusta ja sitä edeltänyttä viherkesannointia lohko kuivui viljelykuntoon viimeisenä, nykyisin ensimmäisenä. Myös syväjuurisen rypsin viljely on saattanut auttaa tilannetta. Viljelijä on erittäin tyytyväinen ojitukseen.



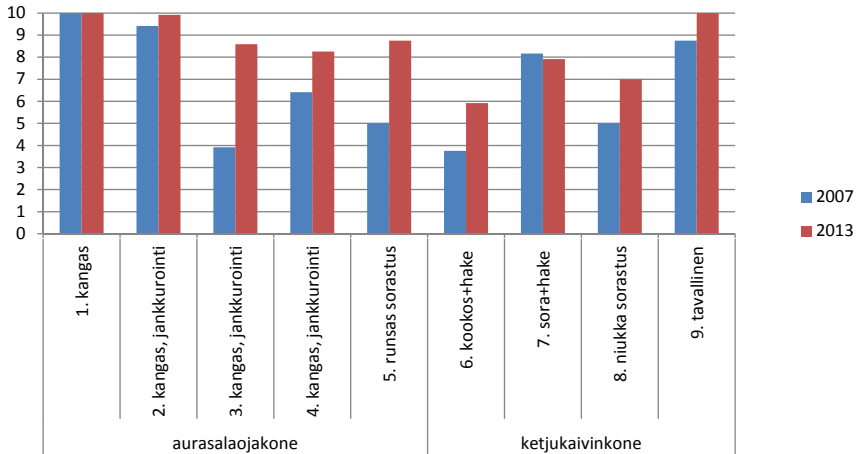
Kuva 3.71. Havainnot maaprofilissa näkyvistä tiivistymistä 0–40 cm:n syvyydessä yhdeksällä koelohkolla. Arvosana on sitä parempi, mitä vähemmän tiivistymiä on.



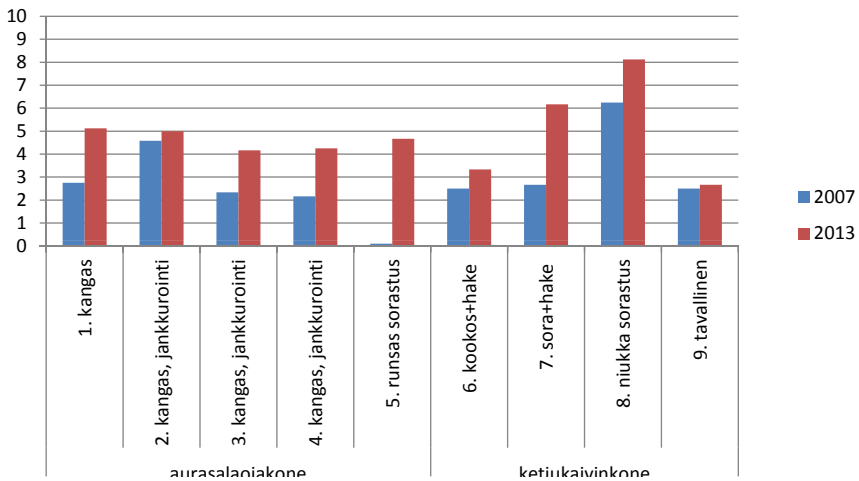
Kuva 3.72. Ruokamultakerroksen fysikaaliset ominaisuudet yhdeksällä koelohkolla. Arvosana muodostuu peltomaan laatuselvityksessä tehdyistä havainnoista maan yleisrakenteesta, murtuvuudesta ja maan pintarakenteen kestävydestä sekä murujen muodosta ja koosta, jos on kyse savimaasta.



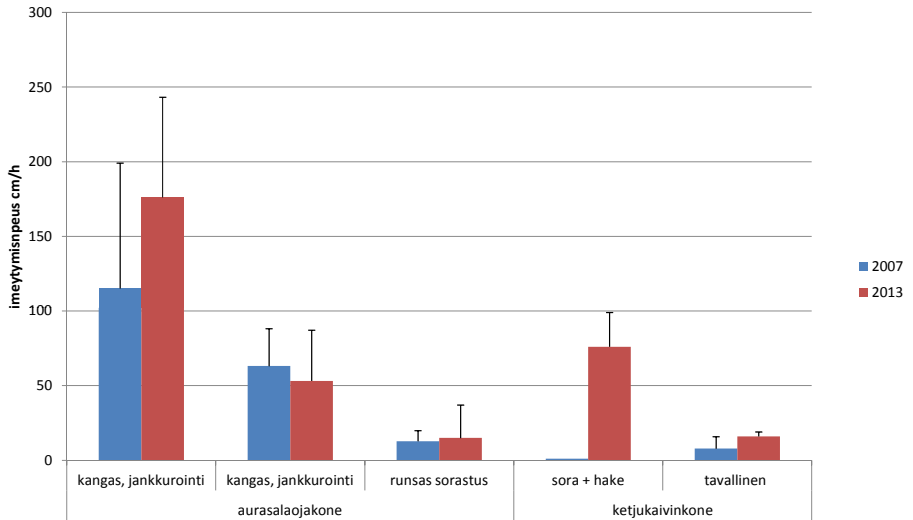
Kuva 3.73. Ruokamultakerroksen biologiset ominaisuudet yhdeksällä koelohkolla. Arvosana muodostuu peltomaan laatuselvityksessä tehdyistä havainnoista maassa olevista lierokäytävistä ja kasvustotähteiden hajoamisnopeudesta.



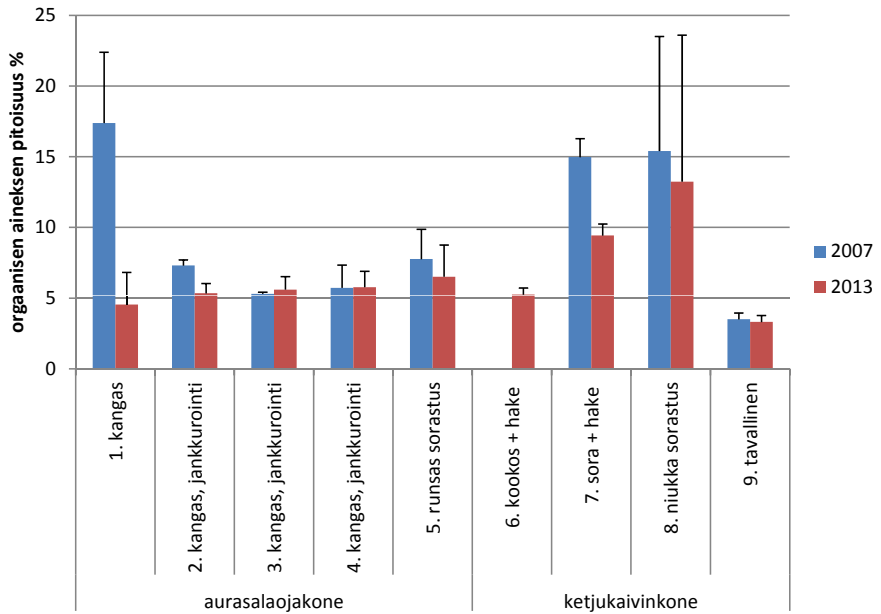
Kuva 3.74. Pohjamaan fysikaaliset ominaisuudet yhdeksällä koelohkolla. Arvosana muodostuu peltomaan laatutesteissä tehdyistä havainnoista pohjamaan yleisrakenteesta ja murtuvuudesta.



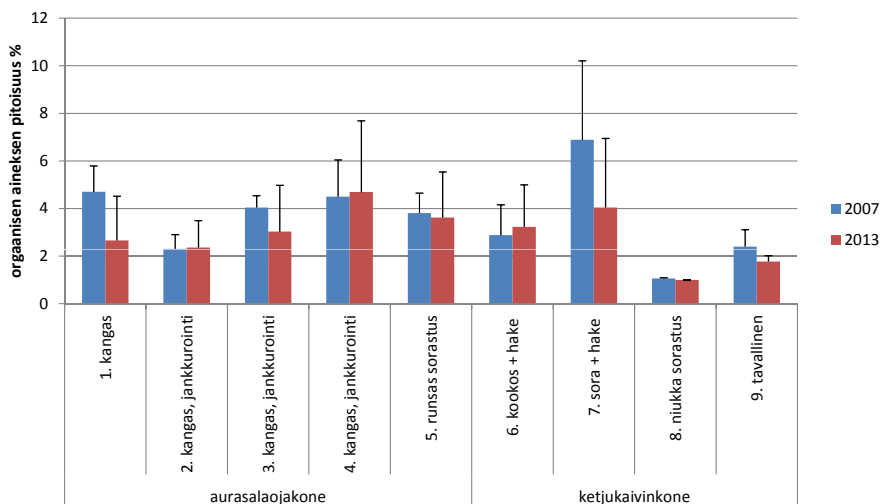
Kuva 3.75. Pohjamaan reikäisyys (joka kuvastaa maan biologista aktiivisuutta) yhdeksällä koelohkolla. Arvosanaan vaikuttavat lieronreikien ja juurikanavien määrä pohjamaassa.



Kuva 3.76. Veden imeytymisnopeus maahan niillä koelohkoilla, joilla määrittäminen pystyttiin tekemään kummallakin tutkimuskerralla.



Kuva 3.77. Orgaanisen aineksen pitoisuus pintamaassa yhdeksällä koelohkolla. Lohkolla 6 ei tehty määrittäystä vuonna 2007.

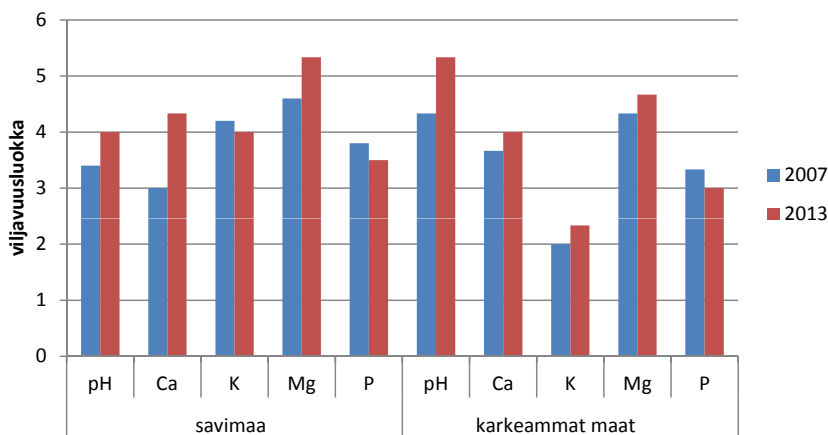


Kuva 3.78. Orgaanisen aineksen pitoisuus 20–40 cm:n syvyydessä yhdeksällä koelohkolla.

Viljavuusanalyysi

Koska viljavuusanalyysin tuloksiin vaikuttavat pääasiassa muut tekijät kuin ojitusmenetelmä, niin tässä esitetään viljavuusanalyysin tulokset kaikkien lohkojen keskiarvoina. Tulokset kertovat, kuinka viljavuus on kehittynyt ojituksen jälkeen, kun ojituksen lisäksi jokainen lohko on kalkittu, ja todennäköisesti lohkon viljelyyn on muutenkin panostettu enemmän kuin ennen ojitusta.

Maan pH on parantunut ja kaikkien muiden ravinteiden kuin fosforin, ja savi- mailla kaliumin, viljavuusluokat ovat parantuneet ojituksen ja muiden toimien jälkeen. Karkeiden kivennäsmaiden kaliumin määrässä on eniten parantamisen varaa. Tavoiteltavat viljavuusluokat ovat ”tyydyttävä” tai ”hyvä”.



Kuva 3.79. Yhteenveto tutkimuslohkojen viljavuusluokista savimaissa ja karkeammassa maissa kaikkien koelohkojen keskiarvoina. 1 = viljavuusluokkaa huono, 2=huononlainen, 3=välttävä, 4=tyydyttävä, 5=hyvä.

Tilakohtaisten seurantakohteiden tulosten tarkastelu

Ojituksen ja samoihin aikoihin tehdyn kalkituksen jälkeen maan kemialliset, fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet yleensä paranivat. Ojitus paransi ruokamultakerroksen ja pohjamaan fysikaalisia ominaisuuksia siinä tapauksessa, että ominaisuudet olivat alun perin huonot ja kaikilla paitsi yhdellä lohkokolla pohjamaan reikäisyys lisääntyi. Erityisen paljon tilanne parani lohkoilla, joita kynnetään harvoin (lohkot 5 ja 7). Myös monivuotisten syväjuuristen kasvien viljely rei'ittää pohjamaata. Jankkurointi märissä oloissa voi aiheuttaa maan tiivistymistä.

Maan multavuus väheni lievästi ojitusmenetelmästä riippumatta. Suurinta väheneminen oli lohkoilla, joilla orgaanisen aineksen pitoisuus oli suuri. Ruokamultakerroksen biologiset ominaisuudet olivat parhaimmillaan lohkoilla, joiden orgaanisen aineksen pitoisuus on suuri tai joiden maalaji on karkeampaa kuin savi. Vähämuiltaisissa savimaissa ruokamultakerroksen biologiset ominaisuudet ovat yleensä huonot.

Ojitusmenetelmällä ei ollut merkitystä edellä mainittuihin ominaisuuksiin. Tärkeintä oli, että ojitus toimi ja poisti liikaveden pellolta.

Maan kemialliset ominaisuudet tutkittiin laboratoriossa ja fysikaaliset ja biologiset ominaisuudet peltomaan laatutestillä. Peltomaan laatutesti perustuu ohjeiden mukaan tehtyyn silmävaraiseen arvioon maan ominaisuuksista ja on riippuvainen testin tekijän näkemyksestä. Tässä hankkeessa laatutestin tekijät olivat samoja kumpanakin tutkimusvuotena. Lohkolla 8 tutkimukset teki eri henkilö kuin muualla, joten arvosteluasteikko voi poiketa muista. Ensimmäisen tutkimuskerran pisteytyksen vaikutus toisen kerran tuloksiin eliminoitiin sillä, että ensimmäiset tulokset eivät olleet testin tekijöiden tiedossa, kun testi tehtiin toiseen kertaan. Tulokset ovat siis niin luotettavia kuin subjektiivisen testin tulokset voivat olla.

4 Tulokset ja niiden tulkinta

4.1 Ojitustekniikoiden vaikutukset kuivatukseen, satoon ja maan rakenteeseen

Nummelan koekentän tulokset osoittivat, että molemmat tutkitut ojitusmenetelmät tehostivat alueiden kuivatusta, mikä näkyi alempana pohjavedenpinnan syvyytenä ja pienempänä muokkauskerroksen kosteutena verrattuna vertailualueisiin. Menetelmässä 1 täydennysojitus tehtiin kaivavalla salaojakoneella kahdeksan metrin ojavälillä käyttäen salaojasoraa ympärysaineena. Menetelmässä 2 uusintaojitus tehtiin kuuden metrin ojavälillä aurasalaojakoneella käyttäen ympärysaineena ohutta suodatinkangasta, ja alue jankkuroitiin 45 cm syvyyteen puolentoista vuoden päästä ojituksesta. Harvalla, 32 metrin ojavälillä ojitetulla alueella pohjavedenpinnan korkeus oli ylempänä ja maan kosteus suurempi kuin 6, 8 ja 16 metrin ojavälillä ojitetuilla alueilla. Tämän oletetaan johtuvan pääosin ojavälistä.

Nummelan koekentällä sadon määrässä tai laadussa ei havaittu systemaattisia eroja 6, 8 ja 16 metrin ojavälien välillä. Sato oli keskimäärin pienin 32 metrin ojavälillä. Yhtenäisten koeolosuhteiden varmistamiseksi kaikki koealueet oli kylvetty samaan aikaan mörinmörin lohkon kuivuttua. Käytännön viljelyssä lohkoille mentäisiin kuitenkin niiden kuivumisen kannalta optimaaliseen aikaan, jolloin ojitustavan tai ojavälin vaikutus satotasoon tulee mahdollisesti selvemmin esille.

Maan rakenne analysoitiin ojien puolivälistä Nummelan koealueilla tutkimuksen alussa ja seitsemän vuoden kuluttua siitä. Ojien välissä maan rakenteessa ei ollut vielä havaittavissa selviä muutoksia. Ojitusvaiheessa ojakaivanto kuohkeutui noin metrin leveydeltä alueella A, jossa ojitus tehtiin aurasalaojakoneella. Kaivavalla koneella alueella C tehty ojakaivanto oli noin 30 cm leveä ja se täytettiin soralla.

Sotkamon koekentällä, jonka maalaji on multava hiesu, jankkuroinnilla 40 cm syvyyteen ei ollut merkitystä nurmisadon eikä viljasadon määrään tai laatuun. Maan rakenne ei ollut muuttunut Sotkamon koekentällä tutkimusjakson aikana.

Tilakohtaisilla seurantakohteilla, joissa salaojitus tehtiin perinteisestä ojituksesta poikkeavilla menetelmillä, lisäojitukset paransivat haastattelujen perusteella maan kuivatustilaa. Kaikki käytetyt ojitustekniikat olivat toimineet hyvin kuuden vuoden tutkimusajanjakson ajan. Maan rakenteessa oli yleensä havaittavissa pientä parannusta erityisesti maan biologisten ominaisuuksien suhteen.

4.2 Ympärysaine

Nummelan koekentällä ohuella suodatinkankaalla ja soralla tehdyt lisäojitukset ovat toimineet tutkimusjakson ajan hyvin. Tilakohtaiset ojitukset, joissa ympärysaineena käytettiin ohutta suodatinkangasta, kookoskuidulla esipäälllystettyä putkea ja tavanomaista runsaammin tai niukemmin soraa, ovat viljelijähaastattelujen sekä kenttä-tutkimusten perusteella toimineet seitsemän vuoden tutkimusjakson aikana hyvin.

Tutkimuksessa kaivettiin esille savi- tai hietamailla tehtyjä 5–32 vuotta vanhoja salaojituksia, joissa esipäälllysteenä oli käytetty ohutta suodatinkangasta tai kookoskuitua, ja joissa oli esiintynyt märkyysongelmia. Molemmat esipäälllysteet koostuvat suurimmaksi osaksi orgaanisesta aineksestä. Suodatinkangas oli kaikissa kohteissa hajonnut hyvin pitkälle tai kokonaan. Myös kookoskuitu oli osittain tai kokonaan hajonnut.

Suurimmassa osassa esille kaivetuissa kohteissa liettyimiä esiintyi, kun esipäällyste oli hajonnut ja kohde sijaitti hyvää suodatinominaisuutta vaativilla mailla, joita ovat hienot hiedat, hiue ja tasarakenteiset karkeat hiedat. Maa-ainesta oli kertynyt putkeen myös kohteissa, joissa korkean savespitoisuuden perusteella maalaji ei teorian mukaan tarvitsisi hyvää suodatinominaisuutta omaavaa ympärysainetta. Liettymistä ei esiintynyt esille kaivetuissa salaojaputkissa karkeilla mailla, vaikka esipäällyste oli hajonnut.

Ympärysaaineita koskevat tutkimustulokset ovat melko yhdenmukaisia kirjallisuudessa esitetyn teorian ja aiemmin saatujen kokemusten kanssa. Kirjallisuuden mukaan ympärysaineen suodatinominaisuuden tarve riippuu salaojaputkea ympäröivästä maasta. Ympärysaineen paksuuden ja huokosjakauman pitää noudattaa tiettyjä kriteerejä suhteessa maahan.

4.3 Valunnat ja ravinnehuuhtoutumat

Pintakerros- ja salaojavalunnan välinen suhde vaihteli paljon sekä peltoalueiden että vuosien välillä. Salaojavalunnan osuus mitatusta salaoja- ja pintakerrosvalunnan summasta oli Nummelan ja Gårdskulla Gårdin savisilla tutkimusalueilla noin 80 - 90 %. Todellinen osuus on tätä jonkin verran pienempi, koska osa pintavalunnasta virtasi ajoittain ohi mittausjärjestelmän. Huomionarvoista oli salaojavalunnan suuri määrä myös kaltevilla (5 %) peltoalueella. Ojävälän puolittaminen täydennysojituksella lisäsi selvästi salaojavaluntaa odotusten mukaisesti. Nummelan uusintaojituksessa salaojavalunta ei mittauksen mukaan lisääntynyt, mikä voi johtua koealueen topografiasta, hieman matalammasta ojitussyvyydestä ja vanhoista salaojista, niiden rikkomisesta huolimatta. Koko vesitaseesta (2008–2012) salaojavalunnan osuus oli mallinnustulosten perusteella Gårdskulla Gårdin tutkimusalueilla noin 30 %. Pohjavesivalunnan vastaava osuus oli 10–20 %.

Ravinne- ja kiintoainekuormat vaihtelivat todella paljon sekä peltoalueiden että vuosien välillä. Pääosa ravinne- ja kiintoainekuormista kulkeutui salaojavalunnan mukana tutkituilla savipelloilla. Vuotuiset kokonaisfosforikuormat salaojista Nummelan ja Gårdskullan Gårdin tutkimusalueilla vaihtelivat välillä 0,1–3,9 kg ha⁻¹, kokonaistyyppikuormat välillä 1–29 kg ha⁻¹ ja kiintoainekuormat välillä 170–2 400 kg ha⁻¹. Mittaukset osoittivat, että myös kaltevilla pellolla salaojien kautta tuli runsaasti kiintoainetta ja fosforia. Ravinnehuhtoutumat Nummelan ja Gårdskullan Gårdin tutkimusalueilla olivat samaa suuruusluokkaa kuin aiemmin Suomessa savipelloilla mitatut huuhtoutumat.

Ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien vuosikeskiarvot vaihtelivat jonkin verran peltoalueiden ja vuosien välillä. Vuosikeskiarvot olivat hieman suuremmat pintakerrosvalunnassa kuin salaojavalunnassa. Vuotuiset kokonaisfosforipitoisuudet Nummelan ja Gårdskullan Gårdin tutkimusalueilla vaihtelivat välillä 0,07–1,41 mg l⁻¹ (salaojissa) ja 0,21–1,87 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunnassa), kokonaistyyppipitoisuudet välillä 0,8–17,7 mg l⁻¹ (salaojissa) ja 1,8–19,0 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunnassa) ja kiintoainepitoisuudet välillä 190–950 mg l⁻¹ (salaojissa) ja 160–1360 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunnassa). Koealueiden ravinne- ja kiintoainepitoisuudet olivat pintakerrosvalunnassa keskimäärin suurempia kuin salaojavalunnassa. Kokonaisfosforipitoisuuksien vuosikeskiarvojen keskiarvot olivat 0,53 mg l⁻¹ (salaojissa) ja 0,80 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunnassa) ja kokonaistyyppipitoisuuksien 6,7 mg l⁻¹ (salaojissa) ja 7,3 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunnassa) ja kiintoainepitoisuuksien 450 mg l⁻¹ (salaojissa) ja 570 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunnassa).

Nummelassa tehtyjen täydennysojitusten selvin vaikutus ravinnepitoisuuksissa oli kokonaistyyppipitoisuuden jyrkkä kasvu alueella, jonka ojitus tehtiin aurasalaojakoneella 6 metrin ojaväliä ja ohutta suojakangasta käyttäen (alue A). Tyyppipitoisuudet olivat korkeat kahden vuoden ajan ojituksesta ja ovat sen jälkeen laskeneet. Tämä aiheutti suuren typpihuuhtouman ojituksen jälkeen. Ojituksilla ei näyttänyt olevan juurikaan vaikutusta kokonaisfosforin pitoisuuksiin. Alueella, jolla salaojitettiin kaivavalla salaojakoneella ja käytettiin 8 metrin ojaväliä ja ympärysaineena soraa (alue C), tuli kuitenkin paljon fosforia lisääntyneen salaojavalunnan vuoksi.

Valumavesien liukoisen fosforin pitoisuuksien ja muokkauskerroksen fosforilukujen välillä ei havaittu selvää yhteyttä. Esimerkiksi Nummelan koekentällä alhaisen fosforiluvun omaavalla alueella valunnan fosforipitoisuus oli samaa tasoa kuin muilla alueilla. Tämä saattaa johtua jo alkuaan suhteellisen alhaisista fosforiluvuista ja tuotantosuunnan muuttumisesta tutkimusjakson aikana.

Nummelan koalueiden muokkauskerroksen fosforiluku vaihteli tutkimuksen alkaessa välillä 2,9–11,6 mg l⁻¹. Fosforilannoitetta ei käytetty Nummelan koekentällä syksyn 2007 jälkeen. Maan fosforiluku laski Nummelan koekentällä syksyyn 2013 mennessä keskimäärin 0,1 - 2,1 mg l⁻¹. Gårdskulla Gårdin koalueiden muokkauskerroksen fosforiluvut olivat vuonna 2007 19,6 mg l⁻¹ (alue 1) ja 26,8 mg l⁻¹ (alue 2). Syksyllä 2013 otetuista maanäytteistä määritetyt fosforiluvut olivat tutkimuksen alussa analysoituja alempia, 10,8 mg l⁻¹ (alue 1) ja 14,6 mg l⁻¹ (alue 2). Fosforilannoitetta ei käytetty Gårdskulla Gårdin koekentällä kevään 2010 jälkeen. Alue 2 toimi laitumena vuodesta 2011 lähtien.

Typpitaselaskelmat osoittavat, että Nummelan koekentällä valumavesien mukana huuhtoutuva kokonaistypen osuus peltoon tulleesta typpimäärästä (lannoitus, laskeuma ja siemenet) oli pieni ja vaihteli vuositasolla välillä 3–20 %. Salaojien kautta huuhtoutunut typen osuus peltoon tulevasta typen määrästä vaihteli välillä 2,1–16 % ja oli keskimäärin 7,2 %, kun alueet lannoitettiin mineraalilannoitteella 80,0–94,5 kg N ha⁻¹. Vastaavasti pintakerrosvalunnan kautta poistuvan typpimäärän osuus peltoon tulleesta typpimäärästä vaihteli välillä 0,2–9,1 % ja oli keskimäärin 2,7 %. Huuhtoutuva typpi on osittain peltoon tullutta typpeä ja osittain maasta vapautuvaa typpeä. Viljellyissä mineraalimaissa typpeä on kirjallisuuden mukaan muokkauskerroksessa noin 5000 - 6000 kg ha⁻¹, josta valtaosa on orgaanisessa muodossa.

5 Johtopäätökset

Optimaalisen kuivatustehokkuuden määrittäminen on peltoviljelyn toimivuuden ja kannattavuuden kannalta tärkeää. Turhan tehokas kuivatus lisää ojituksen kustannuksia eikä paranna sadon määrää eikä laatua, ja toisaalta selvästi riittämätön kuivatus viivyttää kevättöitä ja heikentää satoa. Poikkeuksellisen märkänä vuonna tehokkaallakin salaojituksella savipelto saattaa jäädä liian märäksi kylvötöitä tai sadonkorjuuta varten. Tutkimuksessa käytetyt **ojitusmenetelmät toimivat tutkimusjakson aikana hyvin**. Ojavälin tihentäminen alensi selvästi pohjavedenpintaa ja maan kosteutta. Satotasossa ei havaittu systemaattisia eroja 6,8 ja 16 metrin ojaetäisyyksien välillä kylvöajankohdan ollessa sama. Selvästi märkyydestä kärsivällä lohkolla (ojaväli 32 m) satotaso oli keskimäärin pienin. Liika märkyys heikensi sadon määrää ja laatua. Muuten ojitus tai jankkurointi eivät vaikuttaneet sadon määrään tai laatuun.

Vuosikymmeniä märkänä olleen maan rakenne oli huonompi kuin muualla, mutta kenttäkokeen ojituksen ei havaittu parantavan ojien puolivälissä olevan maan rakennetta vielä kuudessa vuodessa. Viljelijöiden pelloilla erityisesti maan biologiset ominaisuudet olivat parantuneet silmämääräisen tarkastelun perusteella.

Salaojaputken ympärysaineista kookoskuitu ja ohut suodatinkangas sisältävät suurimmaksi osaksi orgaanista ainesta. Tutkimuskohteissa suodatinkangas oli kaikissa kohteissa hajonnut pitkälle tai kokonaan, ja kookoskuitu oli osittain tai kokonaan hajonnut. Liettymiä esiintyi mailla, joissa salaojien ympärysaineen suodatintarve on suuri, suurimmassa osassa tutkimuskohteita silloin, kun esipäällyste oli hajonnut. Liettymistä ei esiintynyt esille kaivetuissa salaojaputkissa karkeilla mailla, vaikka esipäällyste oli hajonnut. Maa-ainesta oli kertynyt putkeen myös kohteissa, joissa korkean savespitoisuuden perusteella ympärysaineen suodatintarve ei teorian mukaan ole suuri. **Orgaanisten esipäällysteiden käyttöä tulisi välttää maassa, jossa olosuhteet aiheuttavat orgaanisten aineiden hajoamista ja joka on herkkä liettymiselle.**

Ympärysaineita koskevat tutkimustulokset tukevat kirjallisuudessa esitettyä teoriaa, jonka mukaan ympärysaineen paksuuden ja huokosjakauman pitää noudattaa tiettyjä kriteerejä suhteessa salaojaputkea ympäröivään maahan. Tutkimuksessa saatujen tulosten perusteella valtionneuvoston asetuksessa (VNA 978/2010) salaojituksen tukemisesta esitettyjä **laatuvaatimuksia ei ole syytä muuttaa.**

Ravinne- ja kiintoainekuormat savipelloilla vaihtelivat paljon eri vuosien välillä erojen ollessa monikymmenkertaiset. Vaihtelu oli suurta myös vierekkäisten peltolohkojen välillä. Valtaosa huuhtoutumista tuli kasvukauden ulkopuolisena aikana. Pintakerrosvalunnoissa oli keskimäärin jonkin verran suuremmat ravinne- ja kiintoainepitoisuudet kuin salaojavalunnoissa, mutta **valtaosa kuormituksesta tuli salaojien kautta** runsaan salaojavalunnan mukana. Huomionarvoista on, että **myös kaltevalla pellolla** salaojavalunta sekä sen mukana tulleet ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumat olivat suuret. Peltoviljelyn vesiensuojelussa tulisikin kiinnittää huomiota peltoalueilla tehtäviin toimenpiteisiin, joilla voidaan vähentää sekä pinta- että salaojavalunnan pitoisuuksia. Mallintamistulosten perusteella **pohjavesivalunta savisilla peltoalueilla oli merkittävää**, mikä tulisi ottaa huomioon vesitaseessa ja kokonaiskuormituksen arvioinnissa.

Eri ojitusmenetelmien vaikutuksista ravinne- ja kiintoainehuuhtoutumiin ei saatu yksikäsitteisiä tuloksia. Uusinta- ja täydennysojitus lisäsivät typen huuhtoutumista heti ojituksen jälkeisinä vuosina erityisesti aurasalajakoneella tehdyssä ojituksessa.

Muokkauskerroksen **fosforilukujen ja valumavesien liukoisen fosforin pitoisuuksien välillä ei havaittu selvää yhteyttä**. Maan fosforiluvut alenivat pikku hiljaa fosforilannoituksen lopettamisen myötä, mutta se ei näkynyt valumavesien fosforipitoisuuksissa. Tämä saattaa johtua jo alkujaan tuotantosuunnan muuttumisesta tutkimusjakson aikana.

Typitaselaskelmista ilmeni, että valumavesien mukana **huuhtoutuva kokonaisytypen osuus peltoon tulleesta typpimäärästä oli suhteellisen pieni**.

Peltomittakaavan kokeet ovat välttämättömiä salaojitusmenetelmien tutkimuksessa. Koealueiden epähomogeenisuus, kuten vaihtelut maan ominaisuuksissa, topografiassa yms. aiheuttavat epävarmuutta tulosten tulkinnassa. Pitkät havaintosarjat ennen ja jälkeen toimenpiteiden toteuttamisen parantavat tulosten luotettavuutta. 3D-mallilla voidaan tutkia peltoalueen hydrologiaa, analysoida mittausaineistoja ja arvioida eri ojitusmenetelmien vaikutuksia laskennallisesti.

Tutkimus osoitti, että toimiva salaojitus on mahdollista toteuttaa usealla eri tavalla. Ojaväli, ojasyvyys, ympärysaineen laatu ja paksuus, toteutusajankohta ja konetyyppi vaikuttavat pellon vesitaseen komponentteihin, veden ja ravinteiden kulkeutumisreitteihin maaperässä ja sitä kautta kuivatustilaan ja ravinnehuuhtoutumiin. Ojitusmekaniikoiden valintoihin vaikuttavat paikalliset olosuhteet, soran hintataso ja konetyyppien tarjonta sekä muut ojituksen kannattavuuteen vaikuttavat tekijät.

Kirjallisuusviitteet

- Alakukku, L. 1996. Persistence of soil compaction due to high axle load traffic. II. Long-term effects on the properties of fine-textured and organic soils. *Soil & tillage research* 37: 223–238.
- Anderson, G., Pidgeon, J.D., Spencer, H.B. & Parks, R. 1980. A new hand-held recording penetrometer for soil studies. *Journal of Soil Science* 31: 279–296.
- Anon. Virallisten lajikekokeiden suoritusohjeet. <http://www.mtt.fi/lajikekokeet> > lajikekokeiden suorittaminen > suoritusohjeet
- Antheunisse, J. 1979. Observations on the decomposition of coconut fibres. *J. Gen. Appl. Microbiol.* 25: 273–277.
- Aura, E. 1990. Salaojien toimivuus savimaassa. Maatalouden tutkimuskeskus. Tiedote 10/90. Jokioinen: Maatalouden tutkimuskeskus. ISSN 0359–7652.
- Blake, K.R. & Hartge, K.H. 1986. Bulk density. Teoksessa: Klute, A.K. (toim.). *Methods of soil analysis. Agronomy 9, Part 1: 363–375. 2.painos.*
- Blom, E. 1987. Envelope materials for drain pipes: field investigation into pipe sedimentation and envelope decomposition. Report of the Government Service of Land and Water Use.
- Bouwer, H. 1986. Intake rate: cylinder infiltrometer. Teoksessa: Klute, A.K. (toim.). *Methods of soil analysis. Agronomy 9, Part 1: 825–844. 2. painos.*
- Carr, C.E., 1973. Gravimetric determination of soil carbon using the Leco induction furnace. *J. Sci. Food Agric.*, 24 1091–1095.
- Elonen, P. 1971. Particle-size analysis of soil. Selostus: Maan raekoostumuksen määrittäminen. *Acta agriculturae Fenniae* 122: 1–122.
- Karvonen, T. ja Vakkilainen, P. 1989. Salaojan ympärysaineen mitoitus. *Vesitalous*, 6/1989, 40–41.
- Koivusalo, H., Heikinheimo, M., Karvonen, T., 2001. Test of a simple two/layer parametrisation to simulate the energy balance and temperature of a snow-pack. *Theoretical and applied Climatology*, 70, 65–79.
- Korpelainen, E. 2014. Tyypitase savipellolla–koekentätuloksia Jokioisten Nummelasta. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. Käsikirjoitus.
- Mavi. 2008. Ravinnetaseet–Ympäristötuen lisätoimenpide lannoituksen ja sadon ravinnemäärien seurantaan.
- Meijer, H.J., Knops, J.A.C. 1977. Field survey into the persistency of coconut fibres as cover and wrapping material for drain pipes. *Cultuurt. Tijdschr.* 16:6. s. 261–265.
- Rozemeijer, J.C., Broers, H.P., 2007. The groundwater contribution to surface water contamination in a region with intensive agricultural land use (Noord-Brabant, The Netherlands). *Environmental Pollution* 148, 695–706.

- Rozemeijer, J.C., van der Velde, Y., van Geer, F.C., Bierkens, M.F.P., Broers, H.P., 2010. Direct measurements of the tile drain and groundwater flow route contributions to surface water contamination: From field-scale concentration patterns in groundwater to catchment-scale water quality. *Environmental Pollution* 158, 3571–3579.
- Salo, H. 2014. Aineiden kulkeutumismallin kehittäminen ja soveltaminen typen prosessien kuvaamiseen peltomittakaavassa. Diplomityö, Aalto-yliopisto, 80 + 5 s.
- SGY. 1985. Geotekniset laboratorio-ohjeet, 1. Luokituskokeet. Espoo, Suomen geoteknillinen yhdistys ry, Rakentajain Kustantamo Oy. 107 s.
- Sikkilä, M. 2014. Esipäällysteen toimivuus salaojituksessa. Maatalouden ympäristötekniikan pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto, maataloustieteiden laitos. 65 s. Käsikirjoitus.
- Sippola, J., Ylärinta, T. 1985. Mineral nitrogen reserves in soil and nitrogen fertilization of barley. *Annales Agriculturae Fenniae* 24, 3: 117–124.
- Stuyt, L.C.P.M., Dierickx, W., Martínez Beltrán, J., 2005. Materials for subsurface drainage systems. FAO irrigation and drainage paper 60, rev. 1. FAO, Rome, Italy, 202 pp. Saatavilla: <ftp://ftp.fao.org/agl/aglw/docs/idp60.pdf>
- Topp, G.C., Davis, J.L., Annan, A.P. 1980. Electromagnetic determination of soilwater content: Measurements in coaxial transmission lines. *Water Resources Research* 16: 574–582.
- Turunen, M. 2011. Pellon vesitaseen ja salaojitusmenetelmien toimivuuden analyysi. Diplomityö. Aalto-yliopisto. Yhdyskunta- ja ympäristötekniikan laitos. 116+9 s.
- Turunen, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Nurminen J., Paasonen-Kivekäs, M., Äijö, H., Mylly, M., Alakukku, L., Puustinen, M. 2012. Analysis of water balance and subsurface drainage methods in a clayey agricultural field. Julkaisussa: Kamula, R., Klöve, B., Arola, H. Abstracts: Catchment Restoration and Water Protection, s. 180. NHF Nordic Water 2012 XXVII Nordic Hydrological Conference, Oulu 13–15.8.2012. Suullinen esitys (Turunen) + abstrakti.
- Turunen, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Nurminen, J., Mylly, M., Alakukku, L., Äijö, H. and Puustinen, M. 2012. 3-D modeling of water balance and soil erosion in a clayey subsurface drained agricultural field in boreal climate. American Geophysical Union's 45th annual Fall Meeting 3.–7.12.2012, San Fransisco, USA. Suullinen esitys (Turunen) + abstrakti. <http://agu-fm12.abstractcentral.com/planner.jsp>
- Turunen, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Nurminen, J., Mylly, M., Alakukku, L., Äijö, H., Puustinen, M., 2013. Modeling water balance and effects of different subsurface drainage methods on water outflow components in a clayey agricultural field in boreal conditions. *Agricultural Water Management*, 121, 135–148.

- Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M., Nurminen, J., Alakukku, L., Myllys, M., Koivusalo, H., 2014. The effects of slope on long-term, annual and seasonal water balances in clayey, subsurface drained agricultural fields. Submitted to Agricultural Water Management 14 Feb 2014.
- Vakkilainen, P., Alakukku, L., Myllys, M., Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Puustinen, M., Äijö, H. 2008. Pellon vesitalouden optimointi. Väliraportti 2008. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 29. 100 s.
- Vakkilainen, P., Alakukku, L., Myllys, M., Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Puustinen, M., Äijö, H. 2010. Pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2010. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 30. 114 s.
- Van Zeijts, T.E.J. 1992. Recommendations of the use of envelopes, based on experience in The Netherlands. Proceedings in 5th International Drainage Workshop. ICID, IWASRI, 1992, Vol. 111, s. 88 - 96.
- Vento, T. 2008. Siuntion Kirkkojoen ravinnekuormitus. Kandidaatintyö. Teknillinen korkeakoulu, Yhdyskunta ja ympäristötekniikan laitos. 51 s.
- Vlotman W.F., Willardson S.W, & Dierickx, W. 2000. Envelope design for subsurface drains. ILRI publication 56, 358 s.
- Vuorinen, J., Mäkitie, O. 1955. The method of soil testing in use in Finland. Selostus: Viljavuustutkimuksen analyysimenetelmästä. Agrogeologia julkaisu 63: 1–44.
- Warsta, L. 2011. Modelling Water Flow and Soil Erosion in Clayey, Subsurface Drained Agricultural Fields. Doctoral dissertation. Aalto University. Department of Civil and Environmental Engineering. 209 p. <http://lib.tkk.fi/Diss/2011/isbn9789526042893/>
- Warsta, L., Karvonen, T., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Taskinen, A., 2013. Simulation of water balance in a clayey, subsurface drained agricultural field with three-dimensional FLUSH model. J. Hydrol., 476, 395–409. 10.1016/j.jhydrol.2012.10.053.
- Warsta, L., 2011. Modelling water flow and soil erosion in clayey, subsurface drained agricultural fields. Doctoral dissertations 82, Aalto University, 209 pp.
- Warsta, L., Turunen, M., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T., Taskinen, A. 2012a. Modelling heat transport and freezing and thawing processes in a clayey, subsurface drained agricultural field. 11th ICID Int. Drainage Workshop on Agricultural Drainage Needs and Future Priorities. Kairo 23–27.9.2012, Egypti. Proceedings. 10 s. Suullinen esitys (Koivusalo) + artikkeli. Konferenssiesitelmät julkaistu CD:nä .
- Warsta, L., Turunen, M., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Taskinen, A., Karvonen, T. 2012b. Modelling water flow, heat transport, soil freezing and thawing, and snow processes in a clayey, subsurface drained agricultural field. American Geophysical Union's 45th annual Fall Meeting 3–7.12.2012, San Fransisco, USA. Posteresitys (Warsta) + abstrakti. <http://agu-fm12.abstract-central.com/planner.jsp>

- Warsta, L., Karvonen, T., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Taskinen, A. 2013a. Simulation of water balance in a clayey, subsurface drained agricultural field with three-dimensional FLUSH model. *Journal of Hydrology*, 476, 395–409.
- Warsta, L., Taskinen, A., Koivusalo, H., Paasonen-Kivekäs, M., Karvonen, T. 2013b. Simulation of soil erosion in a clayey, subsurface drained agricultural field with a three-dimensional FLUSH model. *Journal of Hydrology*, 498, 132–143.
- Williams, J., Shaykewich, C.F. 1969. An evaluation of polyethylene (P.E.G.) 6000 and 20000 in the osmotic control of soil water matric potential. *Canadian Journal of Soil Science* 49: 397–401.
- Ylivainio, K., Esala, M., Turtola, E. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosfohuuhtoumat–kirjallisuuskatsaus. MTT. Maa- ja elintarviketalous 12. ISSN 1458–5081 (verkkojulkaisu).
- Youngs, E.G. 1991. Hydraulic conductivity of saturated soils. Teoksessa: Smith, K.A., Mullins, C.E. (toim.). *Soil analysis. Physical methods*. 1991. 620 s.

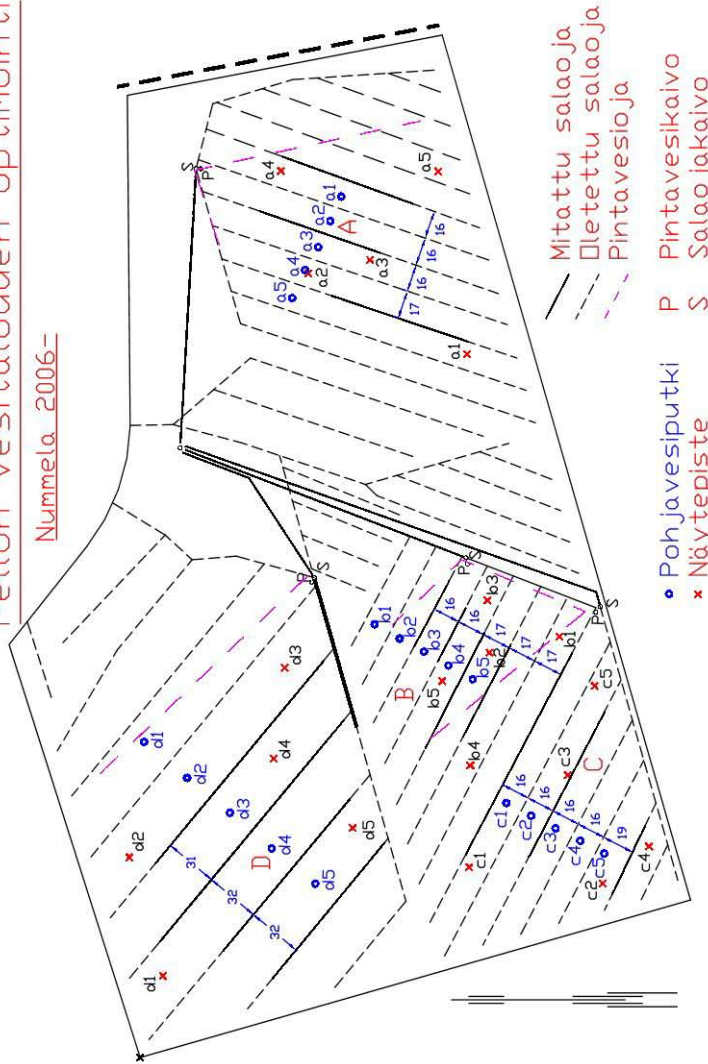
www.agronet.fi > peltomaan laatutesti

Liitteet

- Liite 1 Nummelan koekentän kartta, kalibrointijakso
- Liite 2 Nummelan koekentän viljelytiedot vuosilta 2007–2013
- Liite 3 Nummelan koekentän kartta, tutkimuskausi
- Liite 4 Nummelan koekentän lumen ja roudan syvyys talvina 2007–2008, 2008–2009 ja 2009 - 2010
- Liite 5 Nummelan koekentän lumen ja roudan syvyys 2010–2011, 2011–2012 ja 2012–2013
- Liite 6 Nummela / Jokioinen, lämpösumma, säteilysumma ja sadantasumma kasvukausilla
- Liite 7 Gårdskulla Gårdin tutkimusalueen kartta
- Liite 8 Gårdskulla Gårdin koelohkojen viljelytiedot vuosilta 2008–2013
- Liite 9 Sotkamon koekenttä
- Liite 10 Ympärysainetutkimus, Loimaan salaojakartta
- Liite 11 Ympärysainetutkimus, Inכון salaojakartta
- Liite 12 Ympärysainetutkimus, Paimion salaojakartta
- Liite 13 Ympärysainetutkimus, Loviisan salaojakartta
- Liite 14 Ympärysainetutkimus, Kalajoki 3 salaojakartta
- Liite 15 Ympärysainetutkimus, Kalajoki 4 ja 5 salaojakartta
- Liite 16 Ympärysainetutkimus, tutkimuskohteiden maanäytteiden lajitejakaumat ja orgaaninen aines, 1/2
- Liite 17 Ympärysainetutkimus, tutkimuskohteiden maanäytteiden lajitejakaumat ja orgaaninen aines, 2/2

Pellon vesitalouden optimointi

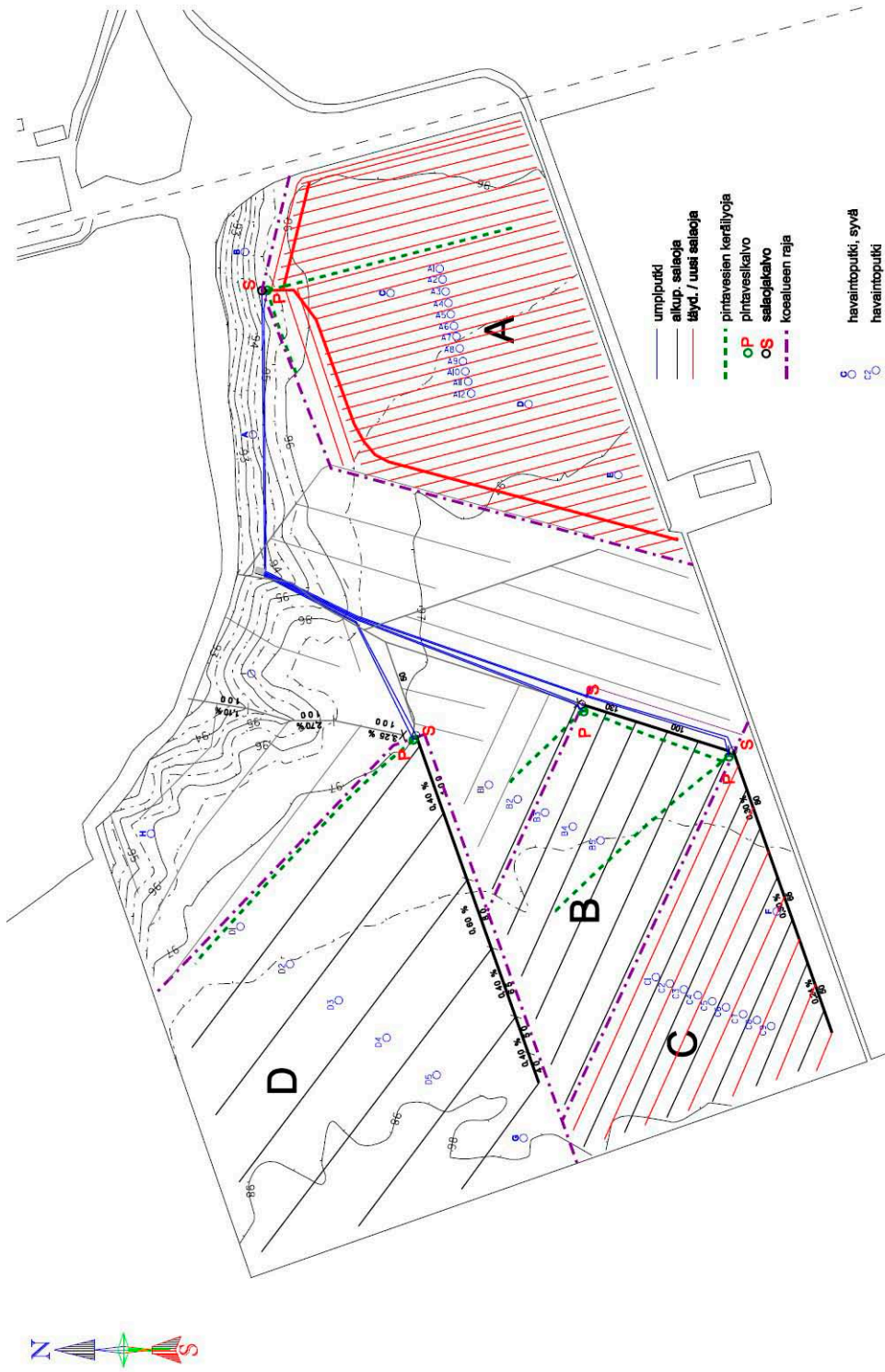
Nummela 2006



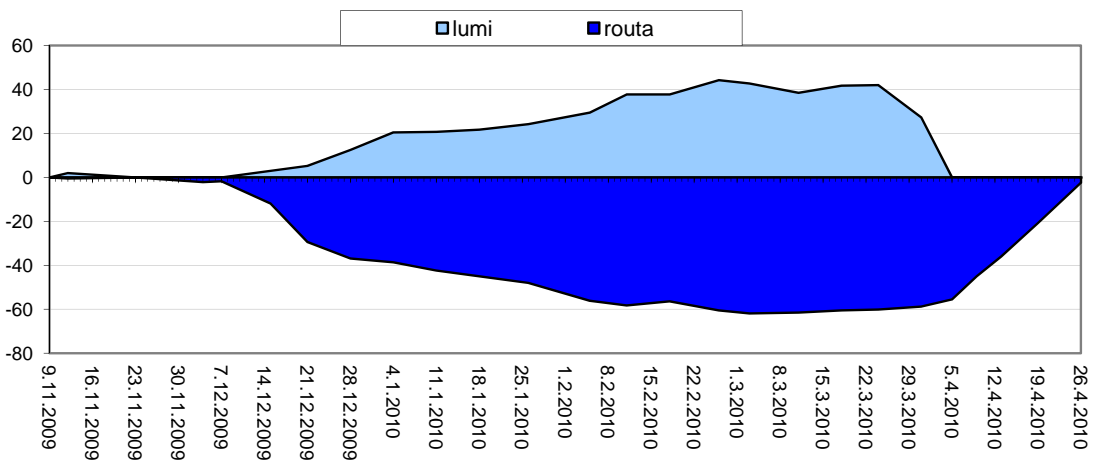
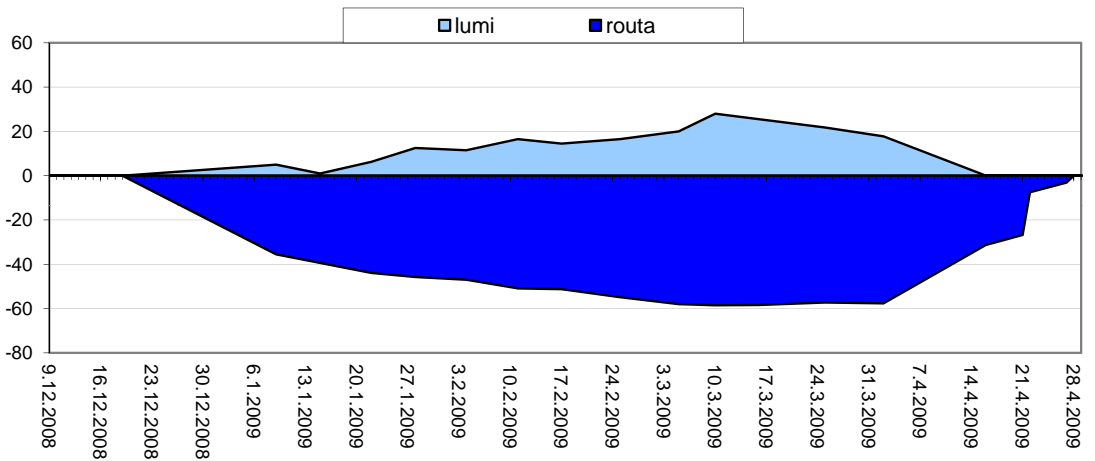
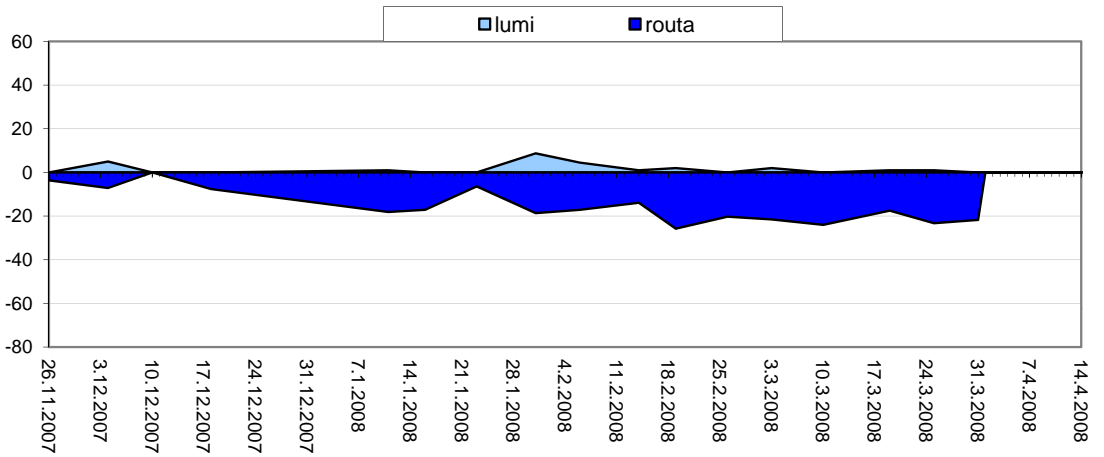
- Mitattu salaoja
- Oletettu salaoja
- Pintavesioja

- Pohjavesisputki
- Näytepiste
- P Pintavesikaivo
- S Salaojakaivo

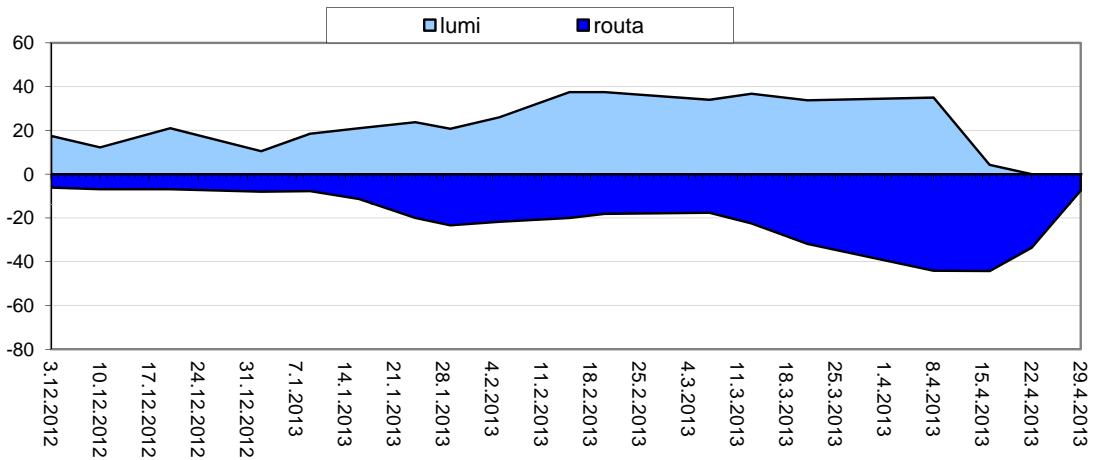
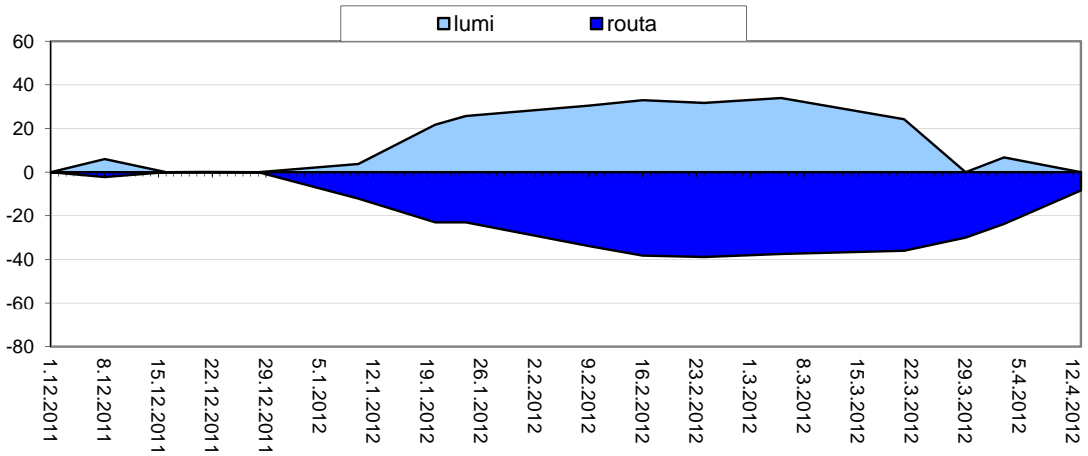
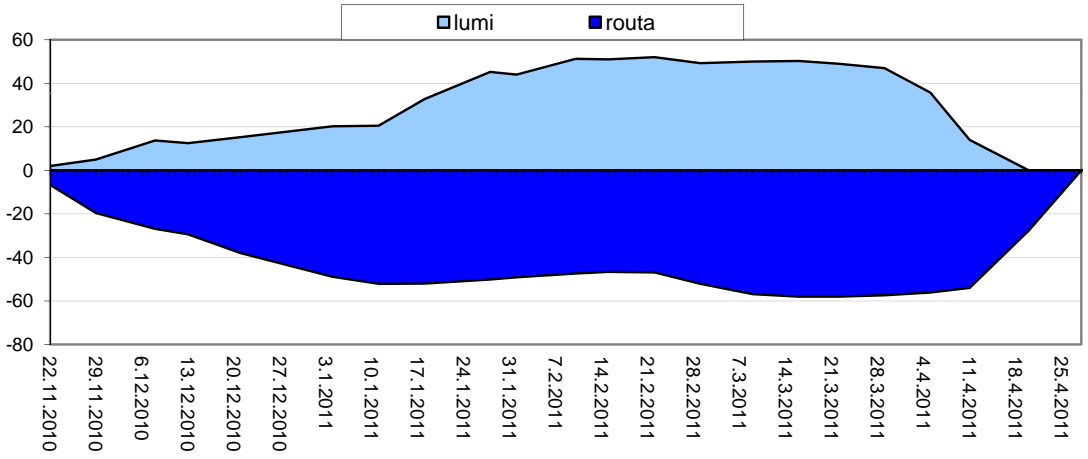




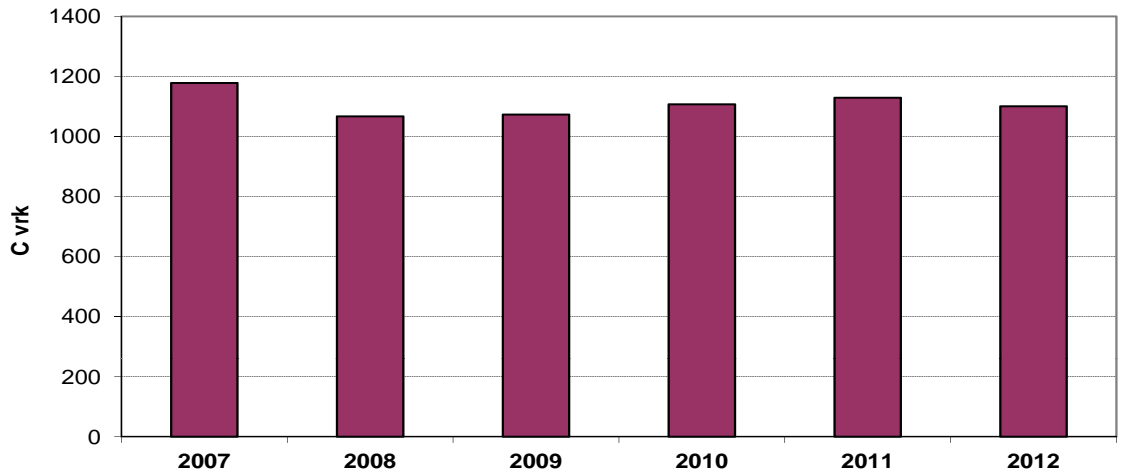
Liite 4 Nummelan koekentän lumen ja roudan syvyys talvina 2007–2008, 2008–2009 ja 2009–2010



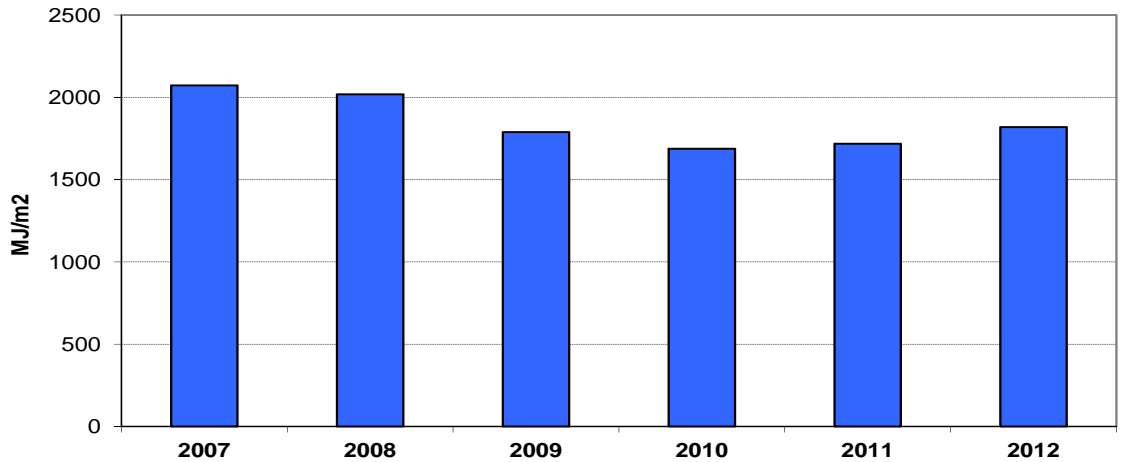
Liite 5 Nummelan koekentän lumen ja roudan syvyys 2010–2011, 2011–2012 ja 2012–2013



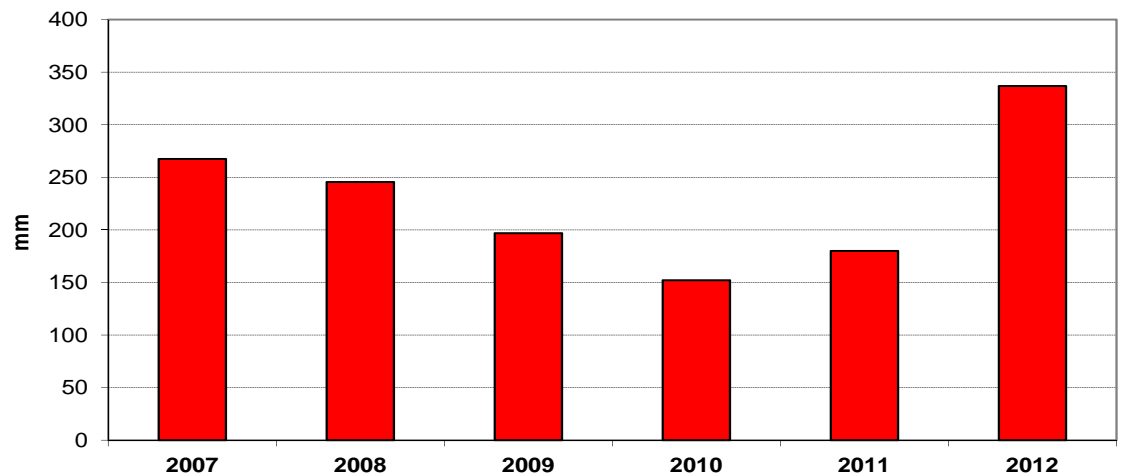
Jokioinen (observatorio), kasvukauden tehoisa lämpösusma



Jokioinen (observatorio), kasvukauden globaali säteilysumma



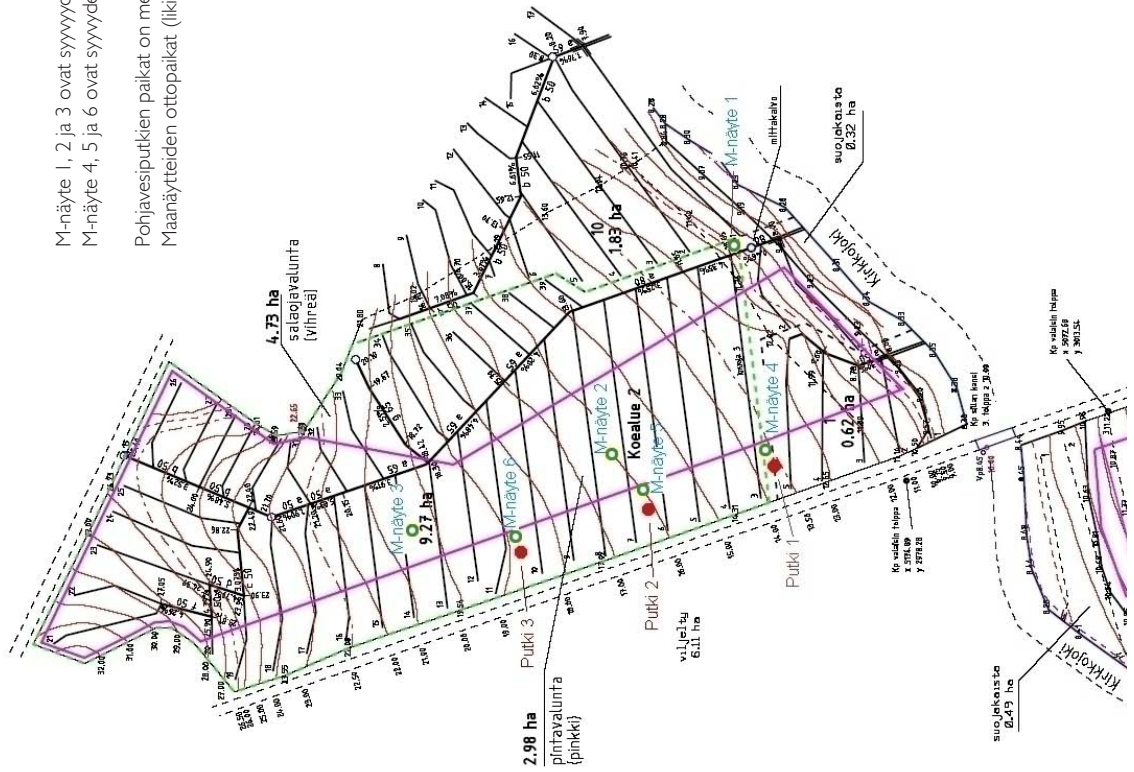
Nummelan koekenttä, kasvukauden sadesumma

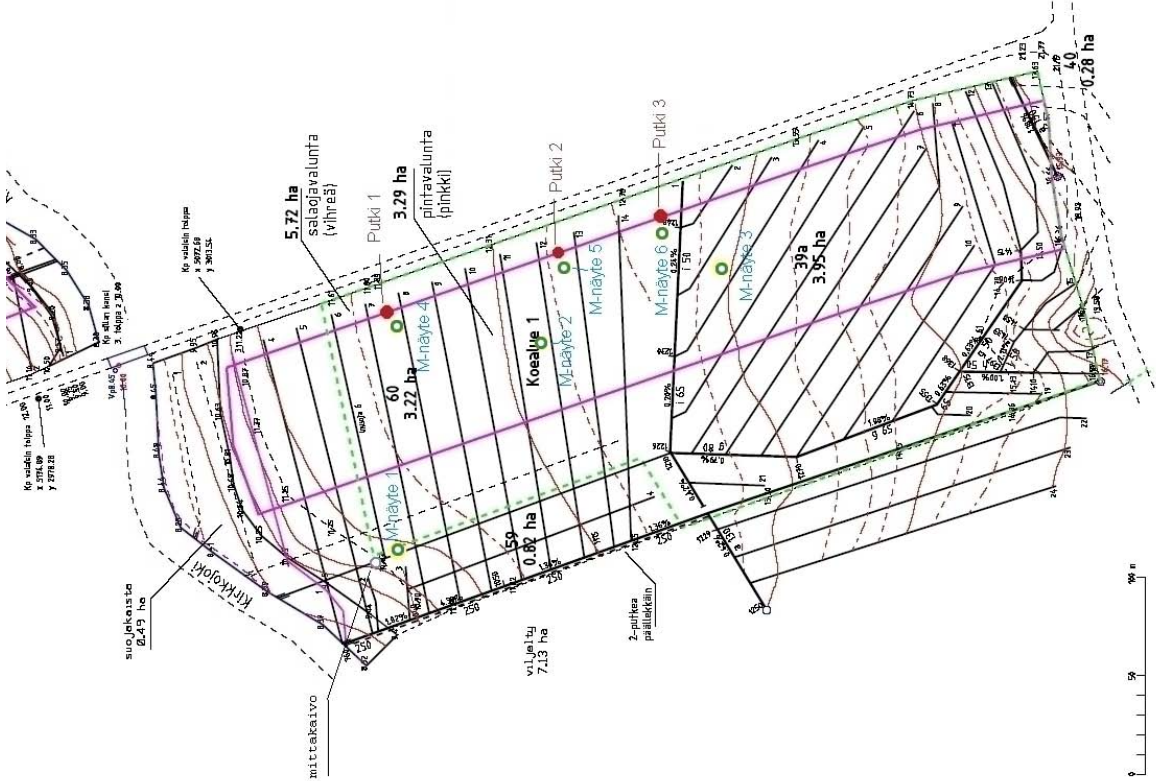


M-näyte 1, 2 ja 3 ovat syyydyteltä 20:100 cm
M-näyte 4, 5 ja 6 ovat syyydyteltä 0-20 cm

Pohjavesiputkien paikat on merkitty punaisilla ympyröillä
Maanäytteen ottopaikat (ikimääräiset) on merkitty vihreillä ympyröillä

KOEALUE 2

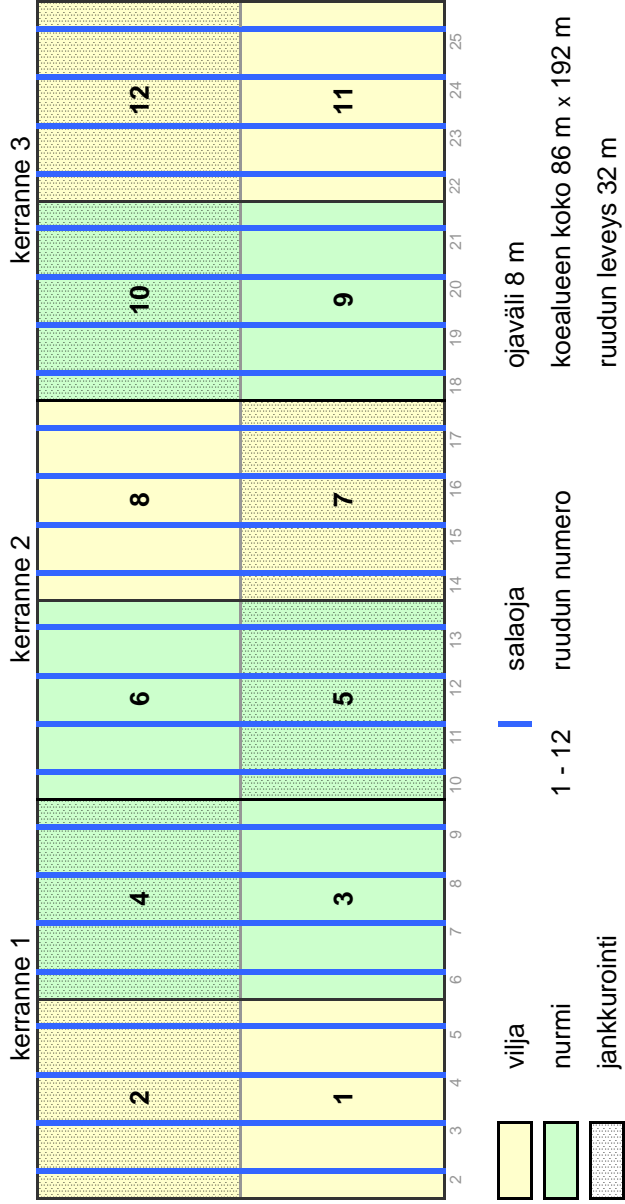




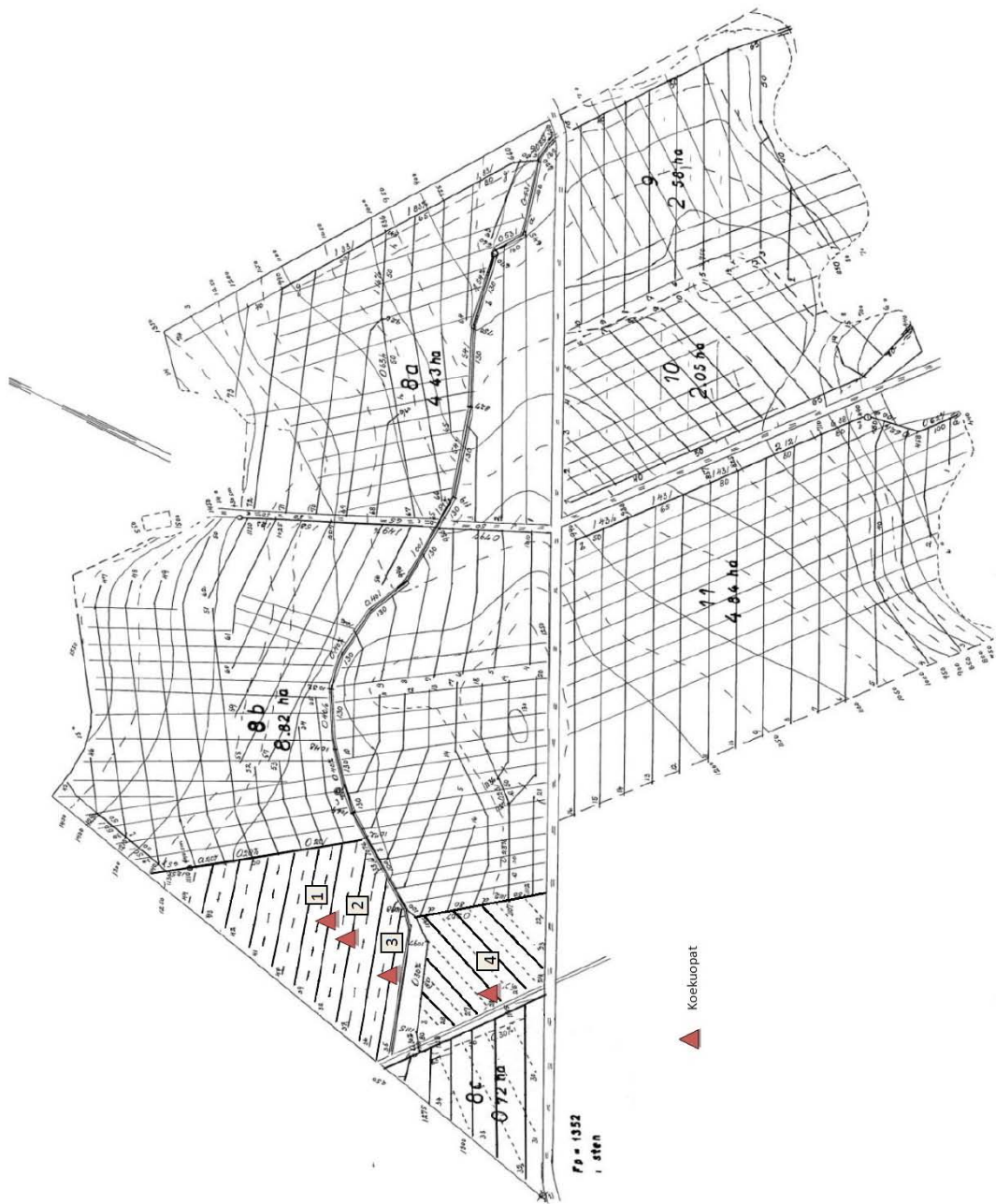
KOEALUE I

PINTAKARTTA	TYÖ	FJ70171.rdl	MK	1:2000
Kunta : Siuntio	Omistaja:			
Kylä :	Osioite :			
Tila : Gårdskulla	Peltosa:			
Peltosa:	Päiväys : 17.1.2007			
Etelä-Suomen Salaojakeskus			Kart:	J. Virta

Kenttäkoe, MTT/Sotkamo 2007 - 2013





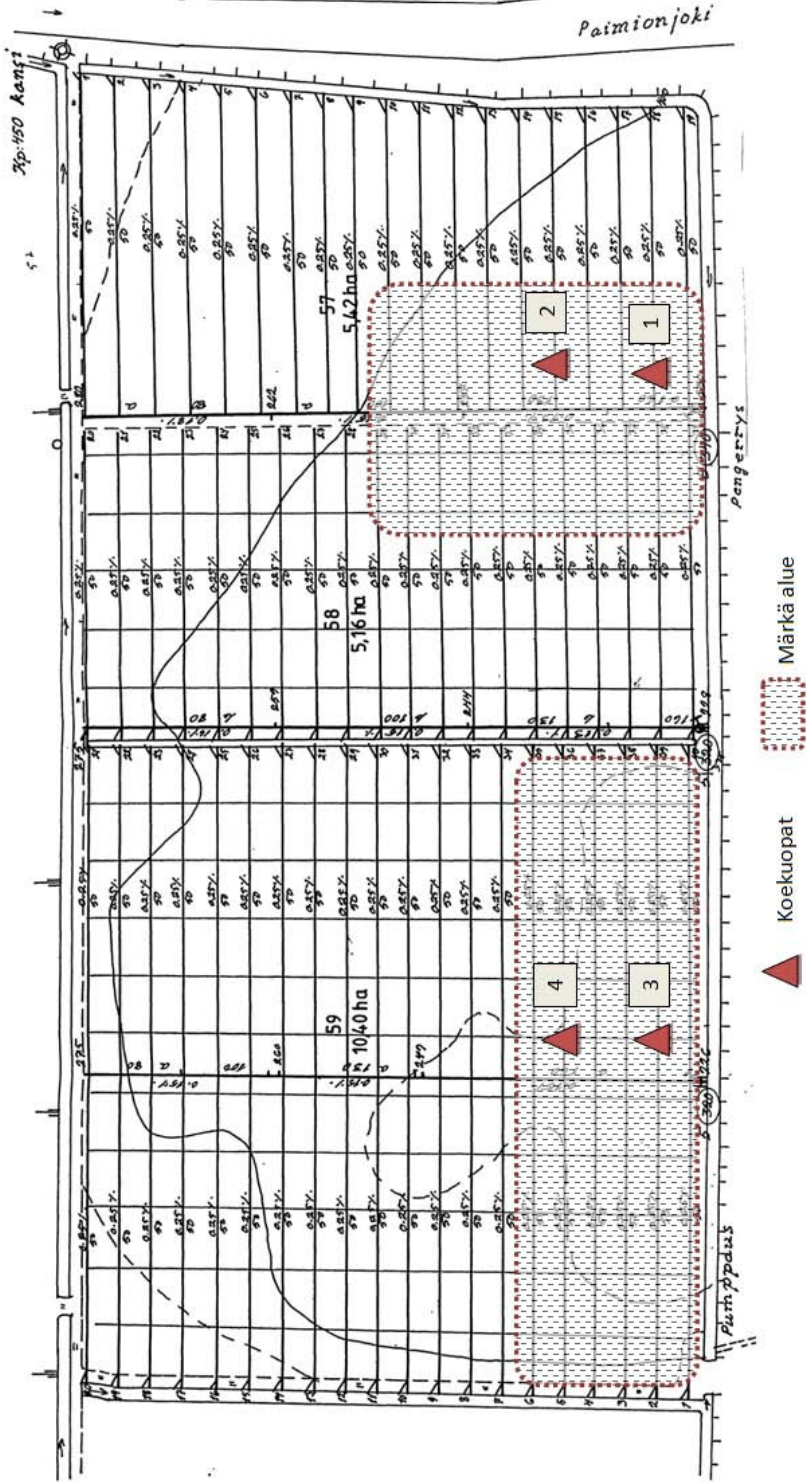


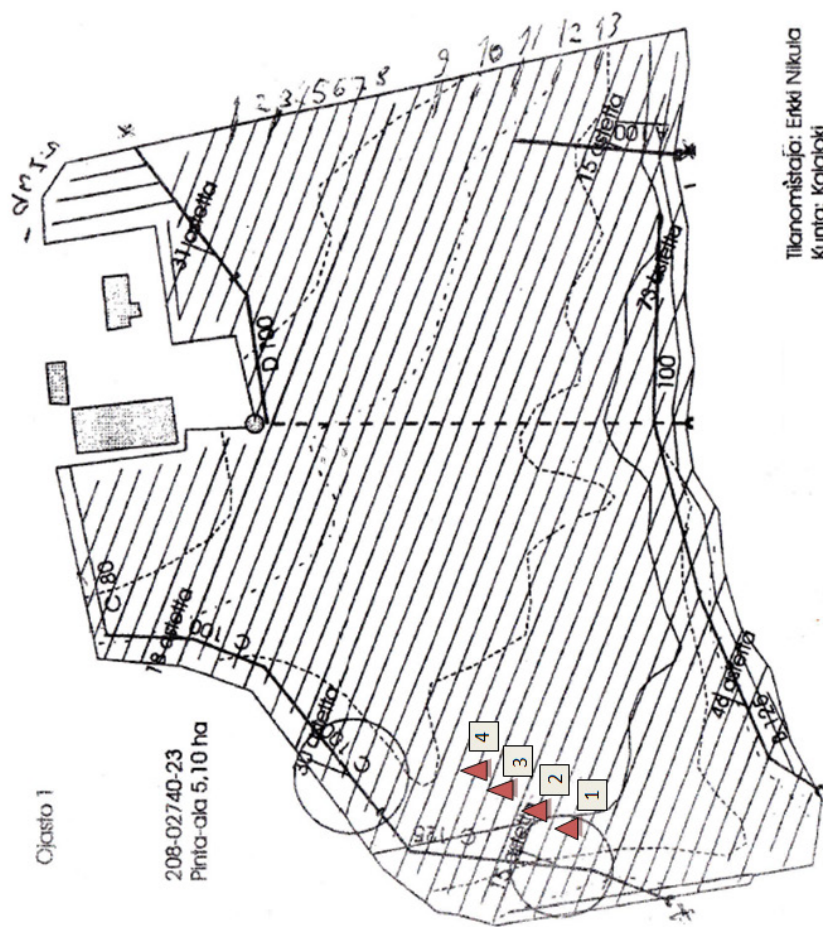
Dräneringsplan
Byudd lägenhet
Ingö socken

DRÄNERINGSRISNINGEN r. 1 t. 1919-78
A. MALMGREN

Kartläggning	Urtäckt av	Gräskod av	
Dränering	A. Malmgren		
Dimensionering			

Skala 1:2000
Tekniskritning i uttändhet





Ojasto 1

208-02740-23
Pinta-ala 5,10 ha

Tilanomistaja: Erkki Nikula

Kunta: Kalajoki

Maan vesitaloussuunnitelma

Mittakaava 1:2000

24.10.2004

Metsäkeskus ja vesitaloussuunnittel

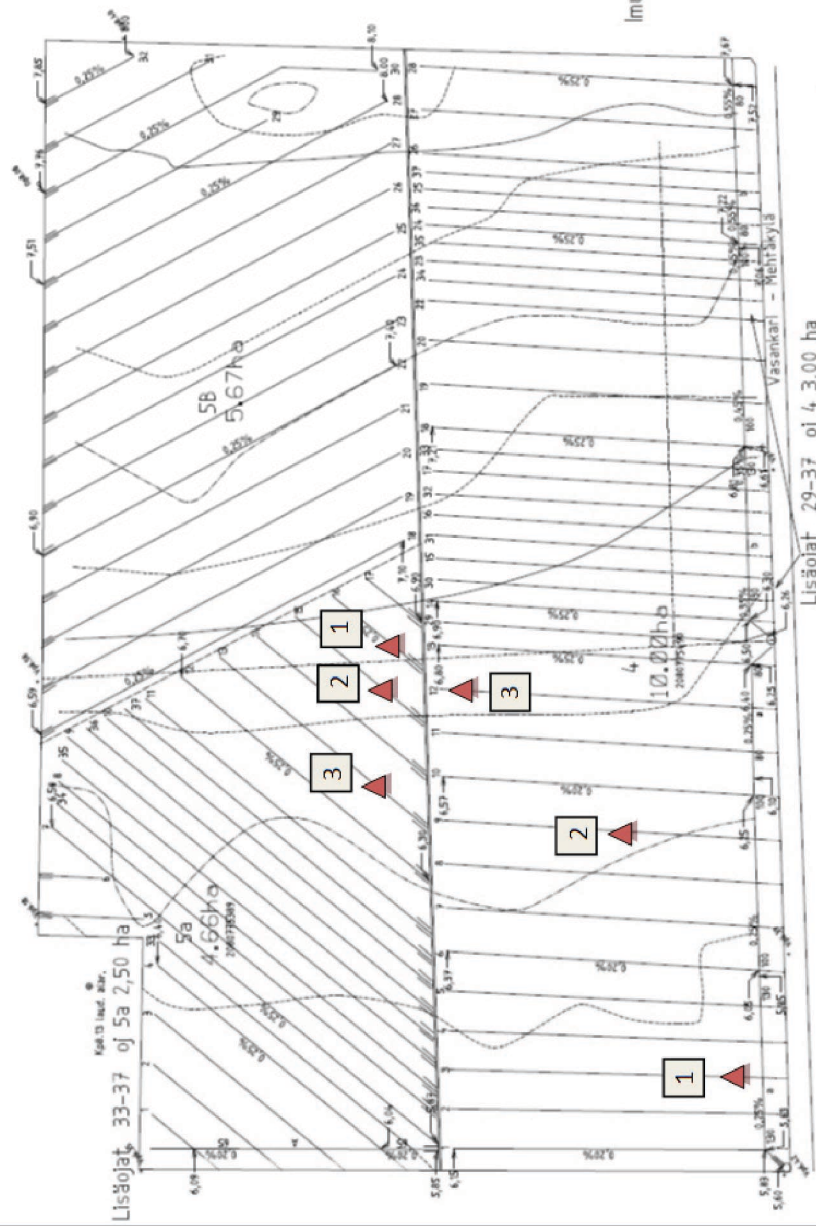
Kampelankatu 54, 18150 Heinola



Koekuopat



Toim. No: 701519



Imuajat 50 mm putki

Lisäosat 29-37 oja 3,00 ha

Salat	
SALAOJITUSSUUNNITELMA	
Kart SH	SH
Onistaja: Nikula Erkki	
Sum SH	JA
Kunta: Kalajoki	
Tila: Nikula 4:10	
Maast. SH	1:2000
Proj. SH	
Ojastot:	4-5
SSK	
SUOMEN SALAOJITUSKESKUS OY	
22.12.2008	

Koekuopat



Kohde	Kuoppa	Syvyys	Sa	HHs	KHs	HHt	KHt	HHk
		cm	%	%	%	%	%	%
Lieto	1	0-20	18	11	13	11	16	15
		20-50	0	0	0	0	0	0
		50-80	32	10	10	9	12	12
		80->	38	10,5	8,5	5	11	13
	2	0-20	26	13	11	7	14	14
		20-50	29	11	10,5	9,5	12	12
		50-80	35	12,5	8	6	11,5	12
		80->	24	12	10	9	15	14
	3	0-20	24,5	8,5	13	6	17	14
		20-50	32	10,5	10	7,5	12	13
50-80		49	5	4	4	13	11	
Paimio	1	0-20	12	7	15	14	17	16,5
		20-50	9	2,5	6,5	25	20	17,5
		50-80	8	2	5	14,5	23,5	22
		80->	9	3	13	20	19,5	16,5
	2	0-20	8	7	10	14,5	20	19,5
		20-50	6	4	1,5	13,5	25	23
		50-80	9	3	7,5	13,5	23	21,5
		80->	9	3	7	21	20,5	18,5
	3	0-20	10	9	11	13	19	18
		20-50	14,5	6,5	9	8	20	20
		50-80	21	12	11	7	17	15
		80->	21	12	11	7	17	16
	4	0-20	15	10	17	10	17	14
		20-50	24	11	13,5	3,5	17	15
		50-80	25	10	13,5	6,5	15	15
		80->	21	10,5	12,5	9	16	14
Loimaa 1	1	0-20	46	17	15,5	4,5	6	5,5
		20-50	65	15,5	8,5	4	4	1
		50-80	66	12	11	2,5	2,5	3
	2	0-20	38	14	18,5	7,5	7	6,5
		20-50	60,5	9,5	8,5	5,5	6	4
		50-80	70,5	5,5	8	5	3	3
	3	0-20	42	21	21	7	3	2
		20-50	64	21	12,5	2,5	0	0
		50-80	74	16,5	7,5	2	0	0
Loimaa 2	1	0-20	39,5	16,5	16	9,5	6,5	5
		20-50	39	4	9	7	12,5	13,5
		50-80	51	1	1	7,5	11,5	13
		80->	49	1	1	7	13,5	12,5
	2	0-20	24,5	15,5	11	6	14	13
		20-50	31	14	6,5	3,5	17	13
		50-80	38	12	2	7,5	11,5	14,5
		80->	37	13	2	8	12	14

Kohde	Kuoppa	Syvyys	Sa	HHs	KHs	HHt	KHt	HHK
Loviisa	1	0-20	23	10	9,5	10,5	16	14
		20-50	21	11	11	10	16,5	14
		50-80	36	12	6	8	13	12
		80->	32	11,5	8,5	7	13	13
	2	0-20	24	9	12	13	13	13
		20-50	26	9	13,5	10,5	13	12,5
		50-80	41	9	6	6	13	13
		80->	38	9	5	9	13	12
	3	0-20	23	10	13	9	15	14
		20-50	22	10,5	13,5	10,5	14,5	13,5
		50-80	31	12	9	7	13	14
	Inkoo	1	0-20	19	12	13	11	15
20-50			31	12	9	9	13	11
50-80			19	10,5	12,5	11	16	14
2		0-20	19	7,5	14,5	16	14,5	13,5
		20-50	36	8	7	9,5	12,5	13
		50-80	37	8	9	7	12	14
3		0-20	19	10	12	11	17,5	13,5
		20-50	33	10	10,5	8	12	12,5
		50-80	36,5	8,5	9	9	11	13
4		0-20	13	8	12,5	11,5	19	16,5
		20-50	26	5	10	17	13	14
		50-80	45	3	3,5	9,5	13	12

Kohde	Kuoppa	Syvyys	Sa	HHS	KHS	HHT	KHT	HHK
		cm	%	%	%	%	%	%
Kalajoki 1	1	0-20	0	0	0	1,7	62,0	30,6
		20-50	0	0	0	0,8	79,0	19,9
		50-80	0	0	0	0,7	56,8	41,6
		80->	0	0	0	0,3	40,1	59,5
	2	0-20	0	0	0	1,3	81,0	17,6
		20-50	0	0	0	2,4	64,1	31,2
		50-80	0	0	0	2,8	58,6	35,6
		80->	0	0	0	0,6	31,6	67,7
	3	0-20	0	0	0	2,1	33,1	58,4
		20-50	0	0	0	2,8	36,9	51,5
		50-80	0	0	0	0,3	41,8	57,7
		80->	0	0	0	0,2	29,9	69,8
	4	0-20	0	0	0	3,6	47,9	43,5
		20-50	0	0	0	1,7	47,5	45,5
		50-80	0	0	0	0,4	44,9	54,4
		80->	0	0	0	0,1	33,6	66,1
Kalajoki 2	1	0-20	0	0	0	2,0	13,1	80,3
		20-50	0	0	0	1,4	20,5	75,5
		50-80	0	0	0	0,6	31,9	67,1
		80->	0	0	0	0,8	44,0	53,0
	2	0-20	0	0	0	1,1	12,9	82,7
		20-50	0	0	0	0,9	11,1	84,7
		50-80	0	0	0	1,0	7,9	82,3
		80->	0	0	0	1,0	16,3	75,9
	3	0-20	0	0	0	1,1	10,8	86,2
		20-50	0	0	0	0,7	15,5	82,6
		50-80	0	0	0	1,5	40,5	57,0
		80->	0	0	0	1,1	21,5	75,9

Kohde	Kuoppa	Syvyys	Sa	HHs	KHs	HHt	KHt	HHk
Kalajoki 3	1	0-20	0	0	0	13,4	75,5	9,1
		20-50	0	0	0	13,0	68,7	17,2
		50-80	0	0	0	14,2	64,3	20,9
		80->	0	0	0	32,2	55,3	9,2
	2	0-20	0	0	0	12,2	76,0	10,2
		20-50	0	0	0	14,0	71,1	13,9
		50-80	0	0	0	15,6	64,2	19,6
		80->	0	0	0	24,3	66,8	8,7
	3	0-20	0	0	0	13,6	68,6	16,7
		20-50	0	0	0	12,2	75,5	11,0
		50-80	0	0	0	16,9	63,2	19,1
		80->	0	0	0	22,7	63,6	13,1
Kalajoki 4	1	0-20	0	0	0	7,3	40,2	33,2
		20-50	0	0	0	5,0	60,8	27,2
		50-80	0	0	0	0,9	78,1	19,4
	2	0-20	0	0	0	11,6	36,0	37,0
		20-50	0	0	0	4,7	46,4	36,3
		50-80	0	0	0	0,9	82,1	15,5
	3	0-20	0	0	0	0,0	27,2	26,6
		20-50	0	0	0	0,9	85,4	12,9
		50-80	0	0	0	0,8	88,1	10,6
Kalajoki 5	1	0-20	0	0	0	7,3	26,5	25,8
		20-50	0	0	0	1,9	78,4	14,9
		50-80	0	0	0	1,2	73,2	20,0
	2	0-20	0	0	0	7,6	33,6	26,9
		20-50	0	0	0	1,0	89,9	7,9
		50-80	0	0	0	1,1	76,9	17,2
	3	0-20	0	0	0	9,1	24,1	26,2
		20-50	0	0	0	1,1	85,2	13,0
		50-80	0	0	0	1,0	91,0	7,4

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojitustutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoetoinnasta 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 Säätäsalaojitus-koekenttien perustaminen (1992)
- 17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta (1992)
- 18 Säätäsalaojitus-tutkimustuloksia vuosilta 1992–1993 (1993)
- 19 Agriculture sector reform in the Baltic republics (1995)
- 20 Maatalouden kehitysnäkömät Baltian maissa lähivuosina (1995)
- 21 Säätäsalaojituksen, uusinta- ja padotuskastelun tutkimustuloksia (1996)
- 22 Salaojitus ja pellon vesitalous – tavoitteita toimialan kehittämiseksi (1998)
- 23 Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä (1998)
- 24 Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä – vuoden 1998 väliraportti (2000)
- 25 Peltoviljelyn ravinnehuuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säättämällä – loppuraportti (2000)
- 26 Haja-asutuksen jätevedet & Jaloittelutarhojen valumavedet – katsaus vuden 2003 tilanteeseen (2004)
- 27 Laiduntamisen ja suojavyyhykkeiden 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)
- 30 Pellon vesitalouden optimointi -hankkeen loppuraportti (2010)
- 31 PVO2-hanke. Salaojitekniikat ja pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti. (2014)

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

ISBN 978-952-5345-29-2