



Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipelloilta tulevaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen

Gårdskullan kartanon mittaustulokset
2008–2017

Jyrki Nurminen, Maija Paasonen-Kivekäs ja Helena Äijö

Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipelloilta tulevaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen

Gårdskullan kartanon mittaustulokset 2008–2017

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 34

Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipelloilta tulevaan ravinne- ja kiintoainekuormitukseen

Gårdskullan kartanon mittaustulokset 2008-2017

Jyrki Nurminen, Maija Paasonen-Kivekäs ja Helena Äijö

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

Simonkatu 12 A 11

00100 Helsinki

puh. (09) 694 2100

Päätoimittaja Helena Äijö

Etukansi Naudat laiduntavat Gårdskullan kartanon tutkimuspelloilla kesällä 2016

Web www.salaojayhdistys.fi/julkaisut

ISBN 978-952-5345-42-1

Sisällysluettelo

Esipuhe	5
Förord	6
Tiivistelmä.....	7
Referat	8
1 Johdanto	10
1.1 Tausta	10
1.2 Tavoitteet	10
2 Koealueet ja mittaukset.....	11
2.1 Yleiskuvaus	11
2.2 Maaperän ominaisuudet	13
2.3 Viljely- ja muokkaustoimenpiteet.....	15
2.4 Mittausjärjestelyt	16
3 Tulokset	19
3.1 Sääolot.....	19
3.2 Valunta.....	20
3.3 Pohjavedenpinnan syvyys.....	23
3.4 Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet.....	24
3.5 Ravinne- ja kiintoainekuormat	30
4 Tulosten tarkastelu.....	40
5 Johtopäätökset	45
Kirjallisuusviitteet	46
Liitteet.....	49
Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet.....	55

Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipellon ravinne- ja kiintoainekuormitukseen

Gårdskullan kartanon mittaustulokset 2008–2017

Esipuhe

Gårdskullan kartanon kahdella peltolohkolla Siuntiossa on seurattu yli kymmenen vuoden ajan salaoja- ja pintakerrosvaluntaa sekä valumavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksia ja huuhtoumia siirryttäessä tavanomaisesta viljanviljelystä luonnonmukaiseen nurmiviljelyyn ja lihakarjan laidunnukseen. Gårdskullan kartanon tutkimus oli vuosina 2007 – 2013 osa PVO (Pellon vesitalouden optimointi) ja PVO2 (Salaojitusmekaniikat ja pellon vesitalouden optimointi) -hankkeita. Koealueiden matemaattista mallintamista tehtiin myös Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA)-hankkeessa vuosina 2014–2017. Vuodesta 2014 lähtien Gårdskullan kartanon kokeellinen tutkimus on ollut oma projektinsa. Tutkimukset toteutettiin yhteistutkimushankkeina ja niistä vastasi Salaojituksen Tutkimusyhdistys ry.

Tässä raportissa esitetään Gårdskullan kartanon peltolohkolla tehdyn tutkimuksen lähtökohdat, tavoitteet, mittausjärjestelyt, käytetyt tutkimusmenetelmät sekä mittaustulokset vuosilta 2008 - 2017.

PVO:n tutkimusryhmässä toimivat Pertti Vakkilainen tutkimuksen vastuullisena johtajana (Teknillinen korkeakoulu TKK, Salaojituksen tutkimusyhdistys ry), Rauno Peltomaa (Salaojayhdistys ry), Maija Paasonen-Kivekäs (TKK, Sven Hallinin tutkimussäätiö sr), Merja Mylly (Maa- ja elintarviketalouden tutkimuslaitos MTT), Laura Alakukku (Helsingin yliopisto), Markku Puustinen (Suomen ympäristökeskus SYKE), Jari Koskiaho (SYKE), Jyrki Nurminen (Salaojayhdistys) ja Helena Äijö (Salaojayhdistys ry).

PVO2:n tutkimusryhmässä toimivat Helena Äijö tutkimuksen vastuullisena johtajana, Laura Alakukku, Harri Koivusalo (Aalto-yliopisto), Merja Mylly, Maija Paasonen-Kivekäs (Sven Hallinin tutkimussäätiö sr), Markku Puustinen, Jyrki Nurminen (Salaojayhdistys ry), Lassi Warsta (Aalto-yliopisto), Mika Turunen (Aalto-yliopisto), Emilia Korpelainen (Salaojayhdistys ry, Aalto-yliopisto), Markus Sikkilä (Helsingin yliopisto) ja Heidi Salo (Aalto-yliopisto).

PVO- ja PVO2- hankkeiden jälkeiset vuodet (2014–2017) tutkimusryhmässä ovat toimineet Jyrki Nurminen (Salaojituksen tutkimusyhdistys ry), Maija Paasonen-Kivekäs ja Helena Äijö. Tutkimuksesta vastasi Salaojituksen tutkimusyhdistys ry.

Tutkimusta ovat rahoittaneet Salaojituksen Tukisäätiö sr sekä mukana olleet laitokset. Vuosina 2007–2013 rahoittajana oli myös maa- ja metsätalousministeriö ja vuosina 2011 - 2013 Maa- ja vesiteknikan tuki ry.

Kiitämme kaikkia myönteisestä suhtautumisesta tutkimushankkeeseen ja hankkeen hyväksi tehdystä työstä sekä tutkimuksen rahoittajia. Erityiskiitokset esitämme Gårdskullan kartanon isäntävälle Gustav ja Henrik Rehnbergille sekä Aalto-yliopiston kenttä- ja laboratoriohenkilöille ja Pertti Hyvöselle Pythagoras Oy:stä hyvästä yhteistyöstä.

Inverkan av ändrad produktionsinriktning på närings- och sedimentläckaget från en leråker

Mätresultat från Gårdskulla Gård 2008–2017

Förord

På Gårdskulla Gård i Sjundea undersöktes hur läckaget av näringsämnen och sediment påverkades av en ändring i produktionsinriktning från konventionell spannmålsodling till ekologisk vallodling och betesmark för nötkreatur. Undersökningen på Gårdskulla Gård var under åren 2007–2013 en del av forskningsprojekten PVO (Pellon vesitalouden optimointi, på svenska Optimering av åkrars vattenhushållning) och PVO 2 (Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi, på svenska Täckdikningsmetoder och optimering av åkrars vattenhushållning). Från och med 2014 har undersökningen varit ett självständigt projekt. Projekten genomfördes som gemensamma forskningsprojekt ledda av Forskningsföreningen för täckdikning rf.

I den här rapporten presenteras utgångsläget, målsättningarna, mät- och forskningsmetoderna samt mätresultaten från undersökningen utförd på Gårdskulla Gård under åren 2008–2017.

I PVO-forskningsgruppen fungerade professor Pertti Vakkilainen (Tekniska Högskolan, Forskningsföreningen för täckdikning rf.) som ansvarig forskningsledare. Övriga medlemmar var Rauno Peltomaa (Täckdikningsföreningen rf.), Maija Paasonen-Kivekäs (Tekniska Högskolan, Sven Hallins forskningsstiftelse sr), Merja Myllys (Forskningscentralen för jordbruk och livsmedelsekonomi/MTT), Laura Alakukku (Helsingfors universitet), Markku Puustinen (Finlands miljöcentral/SYKE), Jari Koskiahho (Finlands miljöcentral/SYKE), Jyrki Nurminen (Täckdikningsföreningen rf.), Helena Äijö (Täckdikningsföreningen rf.).

I PVO2-forskningsgruppen fungerade verksamhetsledare Helena Äijö som ansvarig forskningsledare. Övriga medlemmar var Laura Alakukku, Harri Koivusalo (Aalto universitetet), Merja Myllys, Maija Paasonen-Kivekäs, Markku Puustinen, Jyrki Nurminen, Lassi Warsta (Aalto universitetet), Mika Turunen (Aalto universitetet), Emilia Korpelainen (Täckdikningsföreningen rf., Aalto universitetet), Markus Sikkilä (Helsingfors universitet) och Heidi Salo (Aalto universitetet).

Under åren efter forskningsprojekten PVO och PVO2 (2014–2017) bestod forskningsgruppen av Jyrki Nurminen, Maija Paasonen-Kivekäs och Helena Äijö. Forskningsföreningen för täckdikning rf. ansvarade för projektet.

Forskningen finansierades av Stödstitelsen för Täckdikning sr. samt av de institutioner som deltog i forskningen. Under åren 2011–2013 fungerade även Jord- och skogsbruksministeriet och Maa- ja vesiteknikan tuki rf. som finansiärer.

Vi vill tacka alla som arbetat för forskningsprojektet och projektets finansiärer. Ett särskilt tack vill vi rikta till jordbrukarna Gustav och Henrik Rehnberg på Gårdskulla Gård och till Aalto universitetets laboratorie- och fältpersonal och Pertti Hyvönen från Pythagoras Oy.

Tiivistelmä

Tutkimuksessa tavoitteena oli selvittää veden ja aineiden kulkeutumisreitit ja kuormitusta peltolohkon mittakaavassa ja etenkin sitä, miten valunta ja valumavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuudet ja -huuhtoumat muuttuivat siirryttäessä tavanomaisesta viljanviljelystä luonnonmukaiseen nurmiviljelyyn ja lihakarjan laidunnukseen.

Tutkimus toteutettiin Gårdskulla Gårdin tutkimusalueen kahdella peltolohkolla Siuntion Kirkkojoen varrella. Alueiden maalaji on savea (HeS, HsS ja AS). Alueen 1 (5,7 ha) keskikaltevuus on noin 1 % ja alueen 2 (4,7 ha) noin 5 %. Lohkot on salaojitettu 1940-luvulla keskimäärin 16 metrin ojavälillä. Vuosina 2007–2010/2011 koealueilla viljeltiin kevät- ja syysviljoja kivennäislannoitteita ja tavanomaisia muokkausmenetelmiä käyttäen. Alue 1 on ollut jatkuvasti nurmella syksystä 2011 ja alue 2 kevästä 2011 lähtien lihakarjan laitumena (nurmi perustettiin keväällä 2010). Tuotantosuunnan muutoksen yhteydessä koealueilla siirryttiin luomutuotantoon. Tämä tutkimus käsitti mittasaineiston vuosilta 2008–2017.

Molemmilla koealueilla salaojavalunta muodosti 80–90 % mitatusta valunnasta (salaojat+pintakerros) sekä ennen tuotantosuunnan muutosta että sen jälkeen. Valunnasta (s+p) 90–95 % muodostui kasvukauden ulkopuolella. Pintakerrosvalunnan mittauksissa oli kuitenkin useana keväänä epävarmuutta, etenkin alueella 2.

Muutos tavanomaisesta viljanviljelystä luonnonmukaisesti viljellylle monivuotiselle nurmelle (ei lannoitusta eikä muokkausta) näkyi selvimmän kokonaistypen huuhtouman vähenemisenä ja liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) huuhtouman kasvuna. Typpi- ja kiintoainehuuhtoumien laskun pääsyyinä oli pitoisuuksien pieneneminen sekä salaoja- että pintakerrosvalunnassa. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin huuhtouman kasvu selittyi suurelta osin pitoisuuden nousulla, etenkin pintakerrosvalunnassa. Kiintoainehuuhtoumissa oli nähtävissä lievää laskua ja kokonaisfosforin huuhtoumat pysyivät likimain ennallaan.

Muutos viljanviljelystä luonnonmukaiseen lihakarjan laidunnukseen (ei lannoitusta eikä muokkausta) vaikutti valumaveden pitoisuuksiin ja kuormiin samansuuntaisesti kuin siirtyminen nurmiviljelyyn. Laidunalueella kokonaistypen huuhtoumat vähenivät likimain yhtä paljon kuin nurmiviljelyssä. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin huuhtouma lisääntyi ja liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforihuuhtoumasta lisääntyi selvästi. Kokonaisfosforihuuhtouma oli kuitenkin pienempi kuin viljanviljelyssä, koska salaojavalunnan fosforipitoisuudet laskivat tuotantosuunnan muutoksen myötä. Kiintoainehuuhtoumat pienenivät laidunalueella enemmän kuin nurmialueella.

Tutkimus jatkuu, jotta saadaan kattavampaa tietoa nurmiviljelyn ja laidunnuksen toimenpiteiden, esim. nurmen uusimisen, vaikutuksista ravinne- ja kiintoainekuormitukseen sekä typen kaasumaisista häviöistä ja ravinnetaseista.

Asiasanat: savipellot, ravinne- ja kiintoainekuormitus, tuotantosuunnan muutos, viljanviljely, luonnonmukainen nurmiviljely, luonnonmukainen laidunnus

Referat

Forskningens syfte var att klarlägga vattnets och ämnens flödesvägar i skiftesskala och speciellt hur avrinning, koncentrationer och utlakning av näringsämnen och sediment förändras vid en övergång från konventionell spannmålsodling till ekologisk vallodling och betesmark för boskap.

Undersökningen genomfördes vid Gårdskulla Gårds försöksområde på två skiften belägna intill Kyrkån i Sjundeå. Områdenas jordart utgörs av lera. Område 1 (5,7 ha) har en medellutning på ca 1 % och område 2 (4,7 ha) har en medellutning på ca 5 %. Områdena är täckdikade på 1940-talet med ett genomsnittligt dikesavstånd på 16 m. Åren 2007–2010/2011 odlades det höst- och vårsäd på områdena med hjälp av mineralgödsel och konventionella jordbearbetningsmetoder. Område 1 har använts för vallodling sedan hösten 2011 och område 2 har varit betesmark för nötkreatur sedan våren 2011 (vall anlades våren 2010). I och med ändring av produktionsinriktning övergick försöksområdet även till ekologisk produktion. Forskningsmaterialet i denna studie omfattar åren 2008–2017.

Avrinningen från täckdikena utgjorde på båda områdena 80–90 % av den sammanlagda avrinningen (ytavrinning + avrinningen från täckdikena) både innan och efter att produktionsinriktningen ändrades. 90–95 % av den sammanlagda avrinningen uppstod utanför växtsäsongen. Under flera vårar förkom det emellertid osäkerhet vid mätningen av ytavrinning, i synnerhet på område 2.

Ändringen från konventionellt jordbruk till mångårig ekologisk vallodling (utan gödsel eller jordbearbetning) återspeglades tydligast i en minskad utlakning av totalkväve och en ökad utlakning av oorganisk fosfatfosfor ($\text{PO}_4\text{-P}$). Huvudorsaken till att mängden utlakat kväve och sediment minskade var att koncentrationerna i avrinningen (både ytavrinningen och avrinningen via täckdikena) minskade. Den ökade utlakningen av oorganisk fosfor kan till stor del förklaras med de ökade koncentrationerna i avrinningsvattnet (i synnerhet i ytavrinningen). Utsköljningen av sediment minskade aningen, medan utlakningen av totalfosfor förblev så gott som oförändrad.

Övergången från konventionell spannmålsodling till betesmark för ekologiskt nötkreatur (utan gödsel eller jordbearbetning) påverkade avrinningens koncentrationer åt samma håll som övergången till ekologisk vallodling. Utlakningen av totalkväve från betesområdet minskade ungefär lika mycket som på vallodlingsområdet. Utlakningen av oorganisk fosfor ökade och den lösliga fosfors andel av utlakad totalfosfor ökade markant. Utlakningen av totalfosfor var dock mindre än vid spannmålsodling, eftersom koncentrationen av fosfor i avrinningen via täckdikena minskade i och med ändringen av produktionsinriktning. Utsköljningen av sediment minskade mer på betesområdet än på vallodlingsområdet.

Forskningen fortsätter för att erhålla mer täckande information kring hur åtgärder på vallodlingsområdet och betesmarken (t.ex. förnyandet av vallen) påverkar utsköljningen av näringsämnen och sediment, den gasformiga kväveförlusten och näringsbalansen.

Nyckelord: Leråker, närings- och sedimentbelastning, ändring av produktionsinriktning, spannmålsodling, ekologisk vallodling, ekologisk betesmark

Abstract

The aim of the study was to examine the routes of water flow and nutrient transport on the field-scale. The specific aim was to study how the runoff, nutrient and sediment concentrations and loads change, when the production changed from the conventional grain cultivation to the organic grass cultivation and the beef cattle grazing.

The study was carried out by monitoring two field plots of the Gårdskulla estate along the River Kirkkojoki in Siuntio, Southern Finland. The soil type of the field plots is clay. The average slope of plot 1 (5.7 ha) is about 1% and plot 2 (4.7 ha) about 5%. The plots have been subdrained in the 1940s with an average drain spacing of 16 meters. During 2007-2010/2011, spring and autumn crops were cultivated in the test plots using mineral fertilizers and conventional soil tillage methods. Plot 1 has had permanent grass since autumn 2011 and plot 2 pasture for cattle from spring 2011 (the grass was established in spring 2010). In the test plots, there was also a change towards organic production in 2011. The measurement data of this study covered the years 2008–2017.

In the test plots, 80-90% of the measured total discharge (drain discharge + tillage layer runoff) was drain discharge, both before and after the change of the production type. 90-95% of the discharge was formed outside the growing season. However, there were uncertainties in the measurements of tillage layer runoff in the thawing seasons, especially in the plot 2.

The change from the conventional grain cultivation to the organic perennial grass cultivation (no fertilization or soil tillage) was most evident as a decrease in total nitrogen load and an increase in soluble inorganic phosphate phosphorus (PO₄-P) load. The main reason for the decline in nitrogen and sediment loads was the decreased concentrations in both drain discharge and tillage layer runoff. The increased soluble inorganic phosphate phosphorous load was explained to a large extent by the increased concentrations, especially in the tillage layer runoff. There was a slight decrease in sediment loads, and the total phosphorus loads remained virtually unchanged.

The change from the grain cultivation to the organic pasture (no fertilization or soil tillage) affected the nutrient and sediment concentrations and loads in the same way as the transition from the grain cultivation to the grass cultivation. In the pasture field, the total nitrogen loads decreased roughly as much as in the grass field. The soluble phosphate phosphorus load increased and the proportion of the soluble phosphate phosphorus in the total phosphorus load increased clearly. However, the total phosphorus load was smaller than in the grain cultivation because the phosphorus concentrations of the drain discharge decreased in the pasture. The sediment load decreased more in the pasture field than in the grass field.

The study will be continued to provide more comprehensive knowledge on the effects of grass cultivation and pasture measures, such as grassland renewal, on nutrient and sediment loads and on the gaseous losses of nitrogen and nutrient balances.

Keywords: *clayey fields, nutrient and sediment loads, the line of production, grain cultivation, organic grass cultivation, organic pasturage*

1 Johdanto

1.1 Tausta

Siuntionjoen vesistöön kuuluva Kirkkojoki virtaa Gårdskullan kartanon maiden halki. Vesistöalueesta suurin osa kuuluu Natura 2000 -alueeseen, ja se on arvioitu ainoaksi erityissuojeltavaksi jokivesistöksi Uudellamaalla. Kirkkojoki on fysikaalis-kemialliselta ja ekologiselta tilaltaan luokiteltu tyydyttäväksi. Pistemäinen jätevesikuormitus jokeen väheni oleellisesti 1990-luvun alkupuolella. Nykyisin veden laatua heikentää etenkin maa- ja metsätaloudesta tuleva hajakuormitus. (www.siuntionjoki.fi).

Kirkkojoen veden laatua ja kuormitusta on selvitetty sekä pistekuormittajien velvoitetarkkailuissa että eri tutkimushankkeissa 1970-luvulta lähtien. Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry ja Teknillisen korkeakoulun vesitalouden laboratorio tekivät vuosina 1974-1984 Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailua, johon kuului Kirkkojoen kaksi havaintopaikkaa (Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry 1979-1985, Teknillinen korkeakoulu 1974 ja 1977). Tuolloin Teknillisessä korkeakoulussa tutkittiin myös ainehuuhtoumia pienillä valuma-alueilla vesistöalueen eri osissa (Pekkarinen 1979, Maasilta ym. 1980). Kirkkojoen veden laatua seurattiin uudelleen Teknillisen korkeakoulun toimesta vuosina 2005 ja 2006 (Nurminen ym. 2007). Joen ravinnekuormitusta on arvioitu mm. Suomen ympäristökeskuksessa kehitetyllä Vemala-mallilla, joka ottaa huomioon eri maankäyttömuodot ja pistekuormittajat koko valuma-alueella (Liljendahl 2017, Huttunen ym. 2016). Yhteistarkkailusta vastaa nykyisin Länsi-Uudenmaan Vesi ja Ympäristö ry (Liljendahl 2017).

Pellon vesitalouden optimointi (PVO)- ja Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi (PVO2)-tutkimushankkeet toteutettiin vuosina 2006–2013 (Vakkilainen ym. 2010, Äijö ym. 2014). Gårdskullan kartanon osahankkeessa kerättiin mittausaineisto maaperän ominaisuuksista, valunnoista ja ravinnehuuhtoumista kahdelta peltolohkoilta, joiden tuotantosuunta muuttui tutkimuksen aikana. Myös Kirkkojoen veden laatua seurattiin vuosina 2008-2009 kahdessa havaintopisteessä. Vuodesta 2014 lähtien Gårdskullan kartanon kokeellinen tutkimus on ollut oma projektinsa. Mittausaineistoja on käytetty matemaattisessa mallinnuksessa, jolla laskennallisesti on tutkittu peltoalueiden vesitaseita sekä eroosiota ja kiintoaineen kulkeutumista (Turunen ym. 2015 ja 2017, Turunen 2017, Äijö ym. 2018).

1.2 Tavoitteet

Tutkimuksen tavoitteena on selvittää veden sekä kiintoaineen ja ravinteiden kulkeutumisreitit ja kuormitusta suhteellisen suuren peltolohkon (salaojaston valuma-alueen) mittakaavassa sekä sitä, miten valunta ja valumavesien pitoisuudet ja huuhtoumat muuttuvat siirryttäessä tavanomaisesta viljanviljelystä luonnonmukaiseen nurmiviljelyyn ja lihakarjan laidunnukseen. Pitkäaikaisen mittaustoiminnan tavoitteena on saada esille myös pellon kaltevuuden ja erilaisten sääolosuhteiden vaikutusta kuormitukseen sekä tuottaa aineistoja matemaattista mallinnusta varten. Malleja voidaan hyödyntää mm. peltoalueiden vesitalouden ja vesiensuojelutoimenpiteiden suunnittelussa. Tähän raporttiin on koottu Gårdskullan kartanon tutkimusalueiden mittaustulokset vuosilta 2008-2017.

2 Koealueet ja mittaukset

2.1 Yleiskuvaus

Kaksi lohkotason tutkimuskohdetta sijaitsee Gårdskullan kartanon mailla Siuntiossa. Koekenttä perustettiin PVO-hankkeessa loppusyksyllä 2007. Tilan peltojen halki virtaavan Kirkkojoen valuma-alue on noin 140 km². Pinta-alasta noin 40 % on peltoja ja ne rajoittuvat monin paikoin Kirkkojokeen ja sen sivuhaaroihin. Pellot ovat pääosin savimaita, ja lähes kaikki salaojitettuja.

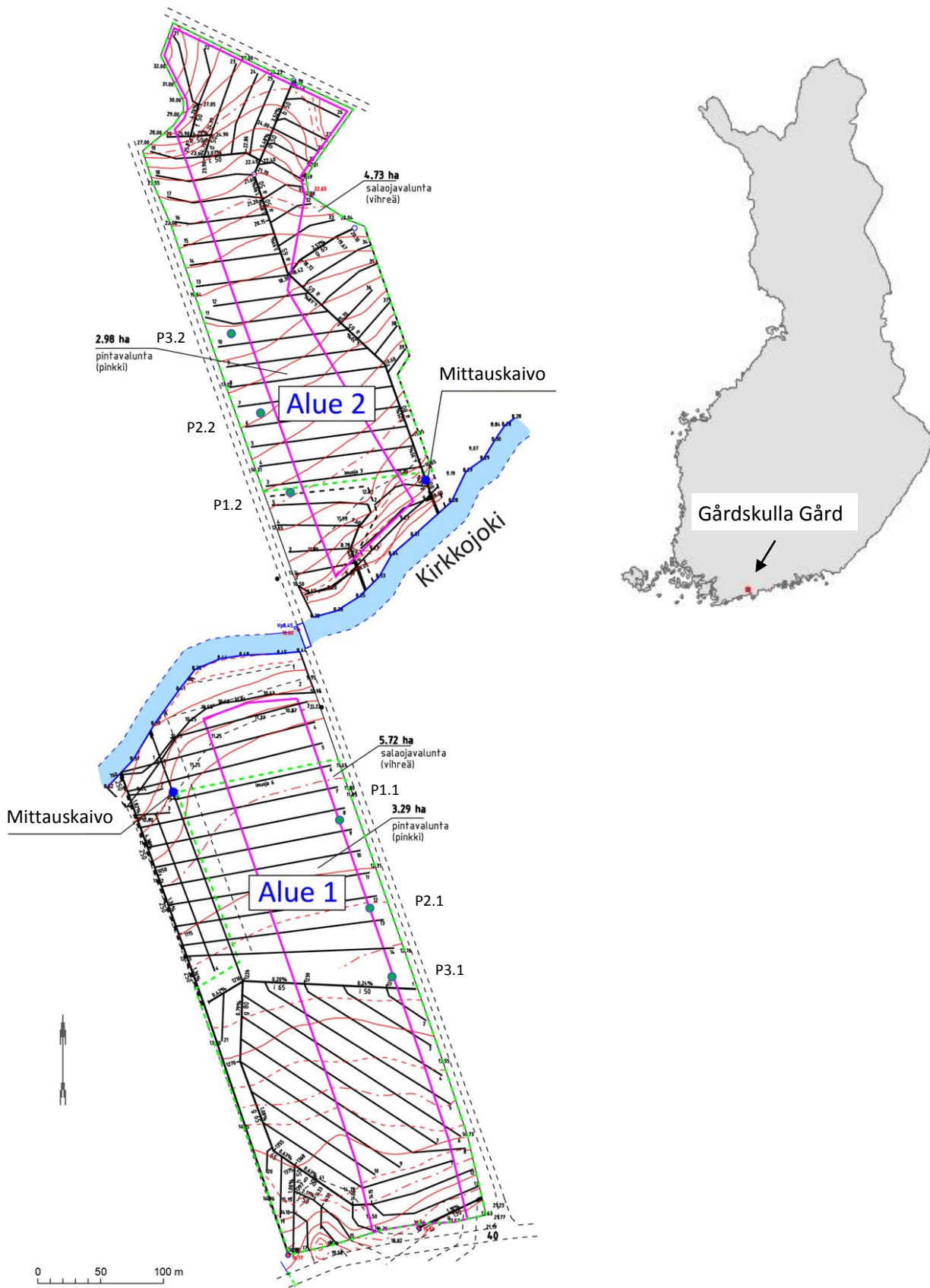
Nykyisin peltoalueilta tuleva kuormitus muodostaa arvioiden mukaan suurimman osan jokeen tulevasta ihmisen toiminnan aiheuttamasta ravinnekuormituksesta (Vento 2008, Liljendahl 2017). Ainut pistekuormittaja on Munkkaan jätekeskus Kivikoskenpuron latvoilla. Kirkkojoen alajuoksulla veden keskimääräinen kokonaisfosforipitoisuus on huomattavan korkea, lähes 100 µg l⁻¹ (Nurminen ym. 2007, Valjus 2012). Liukoisen fosfaattifosforin (PO₄-P) osuus siitä on noin viides, valtaosa maa-alueilta huuhtouvästä fosforista on maa-ainekseen sitoutunutta.

Seurannassa olleet peltolohkot sijaitsevat Kirkkojoen molemmin puolin ja niiden suojavyöhykkeet rajoittuvat jokeen. Ylivirtaamien aikaan joki tulvii ajoittain suojavyöhykkeille ja alueella 2 myös yläpuoliselle peltoalueelle (kuva 2.1). Koelohkojen salaojastojen pinta-alat ovat 5,7 (alue 1) ja 4,7 (alue 2) hehtaaria (kuvat 2.2 ja 2.3). Lohkojen keskikaltevuudet Kirkkojokeen ovat noin yksi (alue 1) ja viisi prosenttia (alue 2). Ojavälit ovat molemmilla alueilla 16 metriä, ja salaojavaluntavedet purkautuvat suoraan Kirkkojokeen. Ojitus on tehty 1940-luvulla, ja sen jälkeen salaojia on paikoitellen korjattu. Koealueiden maalaji on hiue-, hiesu- ja aitosavea.

Tutkimusalueiden viljelytoimenpiteet poikkesivat jonkin verran toisistaan. Vuosina 2007–2010 alueilla viljeltiin viljakasveja (syys- ja kevätvehnä, mallasohra) tavanomaisia muokkausmenetelmiä ja kivennäislannoitteita käyttäen. Lihakarja aloitti laiduntamisen alueella 2 keväällä 2011. Alue 1 kevätvehnä puitiin elokuussa 2011, ja sen jälkeen alue on ollut nurmella. Koealueilla siirryttiin luomuviljelyyn vuonna 2011. Nurmet perustettiin suojaviljaan.



Kuva 2.1 Kirkkojoki alueen 2 kohdalla kesäkuussa 2018 (vas.) ja maaliskuussa 2012 (oik.).



Kuva 2.2. Gårdskullan kartanon tutkimusalueet 1 ja 2. Salaojaputket on merkitty mustalla yhtenäisellä viivalla. Salaojavalunta on ohjattu mittauskaivoihin vihreällä katkoviivalla rajatulta alueelta ja pintakerrosvalunta liilalla yhtenäisellä viivalla rajatulta alueelta. Pohjavesiputkien sijainti on merkitty vihreillä ympyröillä.

2.2 Maaperän ominaisuudet

Gårdskullan kartanon molemmilta koalueilta otettiin maanäytteet kolmesta kohdasta rinteiden suunnassa (piste 1 lähinnä jokea). Kustakin kohdasta näytteitä otettiin lokakuussa 2007 neljästä kerroksesta 0–100 cm:n profiilista (20–40, 40–80 ja 80–100 cm) ja toukokuussa 2008 muokkauskerroksesta (0–20 cm). Näytteistä määritettiin maan lajitekoostumus, orgaaninen hiili ja orgaanisen aineksen määrä. Lisäksi pintakerroksesta (0–20 cm) määritettiin maan pH ja sähkönjohtokyky sekä liukoisten ravinteiden (Ca, K, Mg ja P) määrä. Maa-analyyseiden tulokset on esitetty taulukoissa 2.1–2.3. Marraskuussa 2013 otettiin molemmilta koalueilta uudelleen maanäytteet muokkauskerroksesta (0–20 cm). Näistä näytteistä määritettiin maan pH ja liukoisten ravinteiden (Ca, K, Mg ja P) määrä (taulukko 2.4). Analyyseissä käytetyt määrittämenetelmät on esitetty PVO-hankkeen loppuraportissa (Vakkilainen ym. 2010).

Taulukko 2.1. Koalueiden 1 ja 2 maan orgaanisen hiilen ja orgaanisen aineksen määrä sekä maalaji.

	Syvyys cm	ALUE 1			ALUE 2		
		Piste 1	Piste 2	Piste 3	Piste 1	Piste 2	Piste 3
Org. C %	0-20	2.71	3.14	3.36	2.46	2.29	2.19
	20-40	1.63	3.03	2.11	0.59	1.55	1.86
	40-80	0.57	1.45	0.58	0.42	0.47	0.64
	80-100	0.6	0.85	0.75	0.37	0.23	0.27
Org. aines %	0-20	4.7	5.4	5.8	4.2	3.9	3.8
	20-40	2.8	5.2	3.6	1.0	2.7	3.2
	40-80	1.0	2.5	1.0	0.7	0.8	1.1
	80-100	1.0	1.5	1.3	0.6	0.4	0.5
Multavuus*	0-20	m	m	m	m	m	m
	20-40	vm	m	m	vm	vm	m
	40-80	vm	vm	vm	vm	vm	vm
	80-100	vm	vm	vm	vm	vm	vm
Maalaji	0-20	HeS	HsS	HsS	HeS	HeS	HeS
	20-40	HsS	HsS	HsS	HsS	HeS	HeS
	40-80	HsS	HsS	HsS	HsS	HsS	HsS
	80-100	AS	HsS	HsS	AS	AS	HsS

* Laskettu org. C:n perusteella

Taulukko 2.2. Koalueiden 1 ja 2 maan lajitekoostumus.

	Syvyys cm	ALUE 1			ALUE 2		
		Piste 1	Piste 2	Piste 3	Piste 1	Piste 2	Piste 3
Sa %	0-20	46,6	50	50,9	44,2	38,6	40,4
	20-40	50,8	50,3	52,1	46,9	43,9	37,2
	40-80	56,2	51,3	53,4	55,2	56,9	57,2
	80-100	60,4	56,4	53,4	86,1	64,9	55,2
HHs %	0-20	15,7	15,5	16,7	15,7	16,2	17,5
	20-40	15,8	16,1	19,5	15,4	15,9	15,1
	40-80	16,1	13,7	17,2	14,4	14,8	15,3
	80-100	12,2	14,1	15,8	8	12,9	15,9
KHs %	0-20	14,4	15,1	15,8	18,1	20,1	19,2
	20-40	16,8	15,3	17,2	19,3	17,6	17,9
	40-80	15,3	15,2	16,2	15,5	14,8	13,6
	80-100	12,8	15,4	18,9	2,7	11,5	15,3
HHt %	0-20	9,4	9	10,1	13,8	16,2	14,3
	20-40	11,4	10,6	7,8	13,8	15	17,4
	40-80	10	13,5	10	10,5	11,4	10,3
	80-100	12	10,3	10,1	2,5	7,5	11,6
KHt %	0-20	3,9	2,8	3	5,1	5,1	4,3
	20-40	2,3	6,1	1,5	3,7	4,8	7,2
	40-80	1,7	2,7	2,1	3,1	1,8	2,6
	80-100	2,3	3,3	1,6	0,6	2,4	1,6
HHk %	0-20	6,1	3,5	2	1,8	2,4	2,6
	20-40	1,8	1	1,4	0,7	1,8	3,3
	40-80	0,4	1,6	0,8	0,8	0,3	0,7
	80-100	0,2	0,4	0,2	0,1	0,6	0,3
KHk %	0-20	3,9	4,1	1,5	1,3	1,4	1,7
	20-40	1,1	0,6	0,5	0,2	1	1,9
	40-80	0,3	2	0,3	0,5	0	0,3
	80-100	0,1	0,1	0	0	0,2	0,1
HSr %	0-20	0	0	0	0	0	0
	20-40	0	0	0	0	0	0
	40-80	0	0	0	0	0	0
	80-100	0	0	0	0	0	0
KSr %	0-20	0	0	0	0	0	0
	20-40	0	0	0	0	0	0
	40-80	0	0	0	0	0	0
	80-100	0	0	0	0	0	0

Taulukko 2.3. Koealueiden 1 ja 2 kemiallisia ominaisuuksia (näytteet 2007 ja 2008).

	Syvyys cm	ALUE 1			ALUE 2		
		Piste 1	Piste 2	Piste 3	Piste 1	Piste 2	Piste 3
pH	0-20	7,12	6,71	6,63	6,56	6,58	6,51
	20-40	6,33	6,28	6,16	6,68	6,76	6,51
	40-80	6,29	6,06	6,4	6,89	6,86	6,67
	80-100	6,27	6,6	6,51	7,09	7,14	7,07
Johtokyky 10 ⁻⁴ s/cm	0-20	5,05	2,02	1,83	7,16	2,37	3,15
	20-40	1,05	1,15	0,98	0,67	1,36	1,1
	40-80	0,88	0,82	0,81	0,88	0,97	0,98
	80-100	0,9	0,64	0,93	1,21	0,89	0,98
Ca mg/l maata	0-20	6013	4624	4259	3816	3006	2997
K mg/l maata	0-20	271	238	197	347	281	289
Mg mg/l maata	0-20	396	448	359	406	301	316
P mg/l maata	0-20	28,7	17,9	12,3	25,0	28,6	26,6

Taulukko 2.4. Koealueiden 1 ja 2 kemiallisia ominaisuuksia (2013 näytteet 2013).

	Syvyys cm	ALUE 1			ALUE 2		
		Piste 1	Piste 2	Piste 3	Piste 1	Piste 2	Piste 3
pH	0-20	7,01	7,01	7,13	6,53	6,59	6,81
Ca mg/l maata	0-20	4582	4769	5913	2519	2593	8096
K mg/l maata	0-20	173	162	191	260	261	277
Mg mg/l maata	0-20	220	312	355	256	268	304
P mg/l maata	0-20	9,8	9,9	12,7	16,4	13,2	14,2

Molemmilta koealueilta määritettiin vedenpidätyskäyrät (liite 2) ja makrohuokoisuus marraskuussa 2012 otetuista maanäytteistä. Näytteitä otettiin molemmilta alueita kolmelta syvyydeltä (0,10–0,15 m, 0,30–0,35 m ja 0,50–0,55 m) ja rinteän ala- ja yläosasta.

2.3 Viljely- ja muokkaustoimenpiteet

Vuosina 2007–2010 molemmilla koealueilla viljeltiin syys- tai kevätiljoja (syysvehnä, kevätvehnä, mallasohra), kivennäislannoitteita ja tavanomaisia muokkausmenetelmiä (kyntö ja kevytmuokkaus) käyttäen. Tuotantosuunnan muutoksen yhteydessä (2010/2011) koepelloilla siirryttiin luonnonmukaiseen viljelyyn.

Syksyllä 2007 alueelle 1 kylvettiin syysvehnä, jota lannoitettiin huhtikuussa (Suomensalpietari), ja se puitiin elokuussa 2008. Talven 2008–2009 ajan alue oli kynnöksellä. Huhtikuun 2009 lopulla lohko äestettiin ja kylvettiin mallasohralle (N-P-K lannoite). Puinti tehtiin elokuussa ja syyskuun puolivälissä pelto kevytmuokattiin ja kylvettiin syysvehnälle (lannoitus N-P). Huhtikuussa 2010 vehnää lannoitettiin tyvellä. Alue 1 puitiin ja kevytmuokattiin elokuun puolivälissä, ja kuun

viimeisenä päivänä kylvettiin uusi syysvehnä. Syksyllä lohkoa ei lannoitettu. Syysvehnän itämisessä ilmenneiden ongelmien vuoksi toukokuun 2011 alussa kylvettiin kevätvehnä ja nurmi suojaviljaan. Lohko myös lannoitettiin typellä. Elokuun puolivälissä vehnä puitiin. Syksystä 2011 lähtien alue 1 on ollut jatkuvasti nurmella. Nurmella on tehty voikukkien mekaaninen käsittely keväisin, mutta aluetta ei ole lannoitettu. Sato on korjattu kerran kasvukaudessa tuorerehuksi.

Alueen 1 tapaan myös alueelle 2 kylvettiin syksyllä 2007 syysvehnä, jota lannoitettiin huhtikuussa 2008 Suomensalpietarilla. Elokuussa lohko puitiin, kynnettiin ja kylvettiin uudelleensyysvehnälle. Kylvön yhteydessä pelto lannoitettiin (N-P). Vuonna 2009 lohko lannoitettiin (Suomensalpietari) kahdessa vaiheessa, ensin huhtikuussa ja sitten kesäkuussa. Alue 2 puitiin elokuun puolivälissä ja kynnettiin syyskuun puolivälissä. Keväällä 2010 peltoäestettiin toukokuun puolivälissä, minkä jälkeen tehtiin mallasohran ja nurmen kylvö suojaviljaan (N-P-K lannoite). Vilja puitiin elokuussa. Alue 2 on ollut lihakarjan laitumena kevästä 2011 lähtien. Se on osa noin 30 ha aluetta, jolla on laiduntanut 30-60 nautaa kesä-lokakuun välisenä aikana. Alueella 2 larjalle on annettu lisärehua ja juomapaikkana on ollut Kirkkojoki Laidunnurmea ei erikseen lannoitettu eikä muokattu tutkimuksen aikana. Viljelytoimenpiteet vuosina 2007 - 2017 on esitetty liitteessä 1.



Kuva 2.3 Alue 1 toukokuussa 2018 (vas.) ja alue 2 syyskuussa 2011 (oik.).

2.4 Mittausjärjestelyt

Alueiden 1 ja 2 mittausasemat, niiden instrumentointi ja muut rakenteet mm. pintakerrosvalunnan mittausta varten saatiin valmiiksi marraskuussa 2007 ja mittaukset käynnistyivät kuun lopulla. Molemmilla alueilla mittausasemina toimivat noin kahden metrin syvyiset betonirengaskaivot (kuva 2.4), joiden kautta salaoja- ja pintakerrosvalunta johdettiin Kirkkojokeen. Kaivoihin asennettiin siivikkomittarit (mittausväli 15 min) pintakerros- ja salaojavesien määrän mittausta ja näytteenottimet kokoomanäytteiden keruuta varten. Vuosina 2008 – 2017 tehtiin seuraavien muuttujien havainnointia molemmilla peltolohkoilla:

- pintakerros- ja salaojavalunta (jatkuva mittaus 15 minuutin välein)
- ainepitoisuudet salaoja- ja pintakerrosvalunnassa: kokonaistyyppi (Kok-N), nitriitti- ja nitraattityypen summa ($\text{NO}_2\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$), ammoniumtyppi ($\text{NH}_4\text{-N}$), kokonaisfosfori (Kok-P), liukoinen epäorgaaninen fosfori ($\text{PO}_4\text{-P}$), kiintoaine
- sadanta (jatkuva mittaus 15 minuutin välein)
- pohjaveden pinnan korkeus (manuaalinen mittaus)

- lumen syvyys ja vesiarvo (manuaalinen mittaus, lumikepit ja lumipuntari)
- roudan syvyys (manuaalinen mittaus, metyleenisiniputket)

Salaojastojen kokoojaojat purkautuivat mittakaivoon. Alueen 1 ojaston valuma-alueeksi arvioitiin 5,72 ha ja alueen 2 ojaston 4,73 ha salaojakarttojen ja tammikuussa 2007 tehdyn pintakartoituksen perusteella. Alueen 1 salaojaston valuma-alueen pinta-ala saattaa kuitenkin olla arvioitua suurempi, sillä alueelle purkautuu mahdollisesti pohjavesiä sen eteläpuolella olevalta jyrkähköltä metsäalueelta (Vakkilainen ym. 2008, Turunen ym. 2015 ja 2017).

Pintakerrosvalunnan mittausta varten pellon pinnalta ja pintakerroksesta tulleet valumavedet koottiin noin 0,4 metriä syvän kaivannon (sora+salaojaputki Ø 50 mm) ja matalan vallin avulla ja johdettiin umpiputkessa mittauskaivoon (kuva 2.5). Pintakerrosvalunnan valuma-alueeksi arvioitiin 3,29 ha alueella 1 ja 2,98 ha alueella 2. Pintakerrosvalunnan keruussa oli ongelmia etenkin alueella 2. Runsaan valunnan aikaan, erityisesti sulantajaksoilla, osa pintakerrosvalunnasta meni keräimen yli. Molempien koalueiden pintakerrosvaluntakeräimiä kunnostettiin syksyllä 2009. Valuntaa keräävän salaojaputken yläpuolella ollut savi ja salaojasora osittain poistettiin, ja korvattiin salaojasepelillä. Kaivumassoilla tuettiin kaivannon reunaa ja alarinteen puolelle asennettiin muovilevy.

Pintakerros- ja salaojavaluntavesiä kerättiin kaivoissa oleviin muovikanistereihin siten, että vettä otettiin automaattisesti virtauksen suhteen kokoojaojaan kiinnitettyä magneettiventtiiliä käyttäen. Kanisterista otettiin 250 ml:n näyte muovipulloon 1-116 päivän välein virtaamatilanteesta riippuen. Vuotuisten valuntavesinäytteiden määrä on esitetty taulukossa 2.5. Näytteet analysoitiin Teknillisen korkeakoulun/Aalto-yliopiston Insinööritieteiden korkeakoulun vesilaboratoriossa. Kokonaistyyppi ja kokonaisfosfori määritettiin suodattamattomista näytteistä. Liukoinen fosfaattifosfori, nitriitti- ja nitraattitypen summa ja ammoniumtyppi määritettiin suodatetuista näytteistä (suodatintyyppi: Whatman ME24 0,2 µm). Kiintoaine määritettiin haihdutusjäännöksenä (kuiva-aine). Analyysimenetelmät olivat SFS ja ISO- standardien mukaiset (Vakkilainen ym. 2010).

Koalueille asennettiin toukokuussa 2008 putket pohjavedenpinnan syvyyden mittaamista varten. Molemmille koelohkoille sijoitettiin kolme putkea salaojien puoliväliin (kuva 2.2). Putket ulottuivat kahden metrin syvyyteen maanpinnasta. Putket oli rei'itetty noin 1,5 metrin pituudelta putken pohjasta lähtien ja ympäröity hiekalla. Vedenpinnan syvyys mitattiin puhaltamalla muoviseen mittaputkeen. Keskimäärin mittauskertoja oli kymmenen vuoden aikana noin 20 vuodessa, ja ne painottuivat yleensä kevääseen ja syksyyn. Mittausmenetelmät on kuvattu yksityiskohtaisesti julkaisuissa Vakkilainen ym. (2008, 2010).



Kuva 2.4 Alueen 2 mittauskaivo ja dataloggeri (vas.) sekä mittauslaitteet kaivossa (oik.).



Kuva 2.5 Pintakerrosvalunnan keräämistä varten koelohkojen alaosaan tehtiin soralla täytetty kaivanto ja muoviseinä syyskuussa 2009, kuvassa alue 1.

Kirkkojoen vedenpinnan korkeutta mitattiin 2008-2017 Gårdskullan kartanon tutkimuspeltojen lähellä, tilalle vievän sillan pielessä olevalta mitta-asteikolta. Kirkkojoesta otettiin myös vesinäytteitä vuosina 2008-2009 kahdesta havaintopisteestä noin kaksi kilometriä koepeltojen kohdalta yläjuoksulle päin ja kaksi kilometriä alajuoksulle päin. Jokiveden ravinne- ja kiintoainepitoisuudet on esitetty julkaisussa Vakkilainen ym. (2010).

Taulukko 2.5 Koealueiden valuntavesinäytteiden lukumäärät 2008–2017.

	Alue 1		Alue 2	
	Salaojavalunta	Pintakerrosvalunta	Salaojavalunta	Pintakerrosvalunta
2008	34	10	26	15
2009	22	7	15	7
2010	14	7	13	9
2011	19	9	14	7
2012	29	14	26	21
2013	17	7	15	9
2014	16	9	16	10
2015	22	18	21	16
2016	17	10	14	10
2017	14	12	14	12

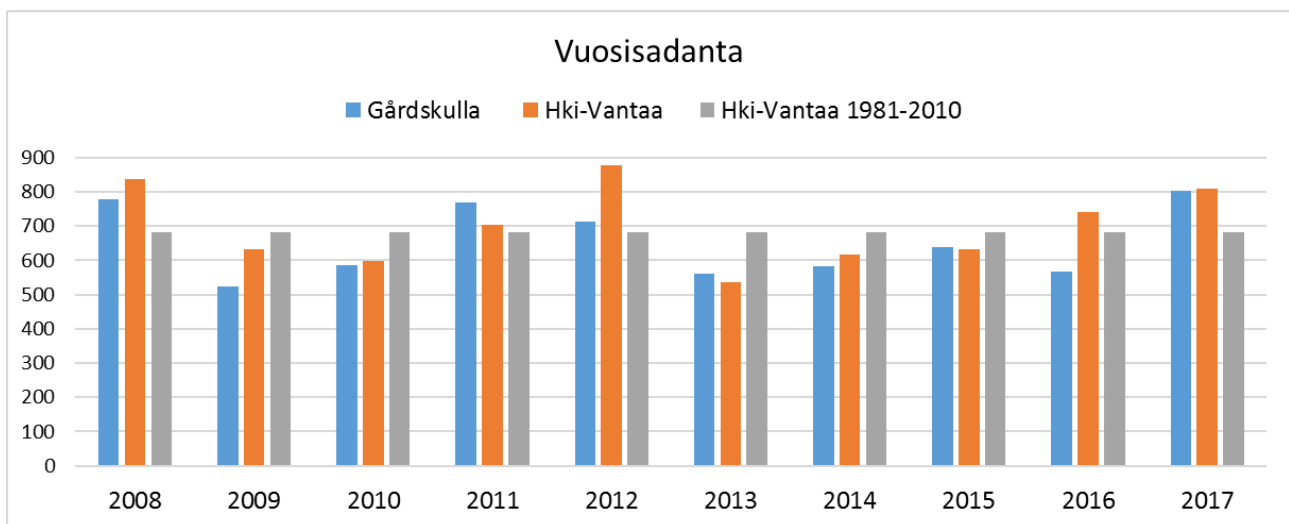
3 Tulokset

Gårdskullan kartanon koekentällä on mitattu kahdelta isolta kaltevuudeltaan erilaiselta (1 % ja 5 %) peltolohkolta tulevien pintakerros- ja salaojavaluntavesien määrää ja laatua. Tuloksissa on koottu yhteen mittaustuloksia vuosilta 2008-2017. Salaoja- ja pintakerrosvalunta, ravinne- ja kiintoainepitoisuudet sekä -huuhtoumat on esitetty ensin vuosittain koko kymmenen vuoden jaksolla ja sen jälkeen on niiden keskimääräiset arvot (mediaanit) jaksolta ennen tuotantosuunnan muutosta ja muutoksen jälkeen. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin (PO₄-P) pitoisuudet on esitetty kunakin vuonna myös vuodenaikoittain. Tarkemmin valunnan ja fosforifraktioiden vuodenaikaisvaihtelua on käsitellyt Seppälä (2017).

3.1 Sääolot

Sadanta

Gårdskullan kartanon koekentän vuosien 2008 – 2017 sadesummat (korjaamattomat arvot) vaihtelivat välillä 524 – 803 mm (kuva 3.1), ja vuosisummien keskiarvo oli 653 mm. Keskimääräistä sateisemmat vuodet sattuiivat pääosin tutkimusjakson alkupuolelle (2008, 2011 ja 2012), ja märin mittaavuosi oli 2017. Jakson loppupuolella (2013 – 2017) vuosittain satoi keskimäärin 631 mm. Myös talvet olivat luonnollisesti erilaisia. Peräkkäisten vuosien 2010 – 2013 talvet olivat verrattain lumisia (lumen syvyys > 40 cm). Leudot ja vähälumiset (10 – 25 cm) talvet sattuiivat tarkastelujakson alkuun ja loppuun, näitä olivat ensimmäisen mittaustalven 2008 lisäksi vuosien 2014 – 2016 talvet.

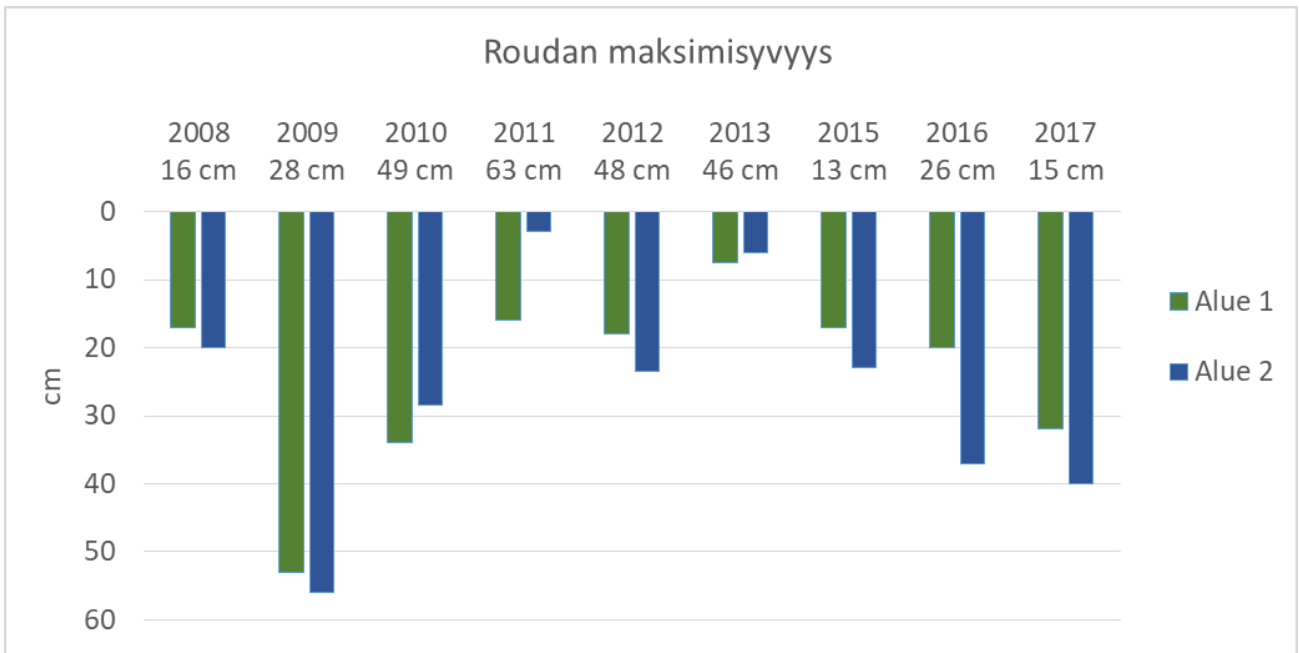


Kuva 3.1. Vuosisadannat (korjaamattomat arvot) Gårdskullan kartanon tutkimusalueella ja Ilmatieteen laitoksen Helsinki-Vantaan sääasemalla vuosina 2008 - 2017 sekä vertailukauden 1981–2010 keskiarvo.

Routa ja lumi

Vuosiin 2008–2017 sattui routa- ja lumiolosuhteiltaan erilaisia vuosia. Roudan syvyys ja kesto vaihtelivat siten, että roudan maksimisyyvyys oli kylmimpinä talvina lähes 60 cm ja jäi

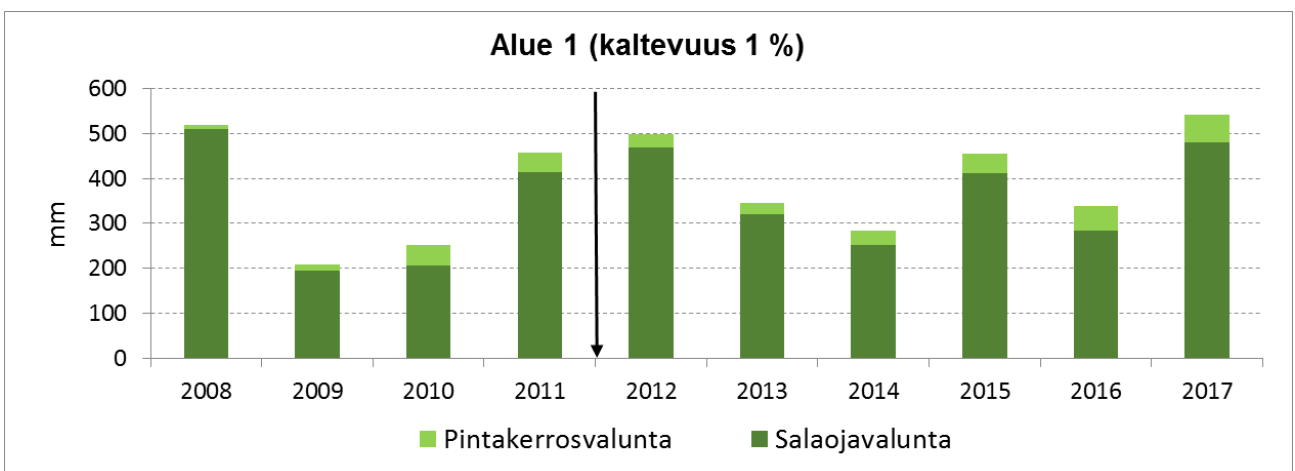
leudoimpina/lumisina talvina alle 20 cm (kuva 3.2). Alimmat roudan syvyydet mitattiin useimpina vuosina alueelta 2. Aikaisimmillaan maa jäätyn koealueilla joulukuun puolivälin paikkeilla ja joinakin vuosina talven ensimmäiset routahavainnot tehtiin vasta helmikuussa.



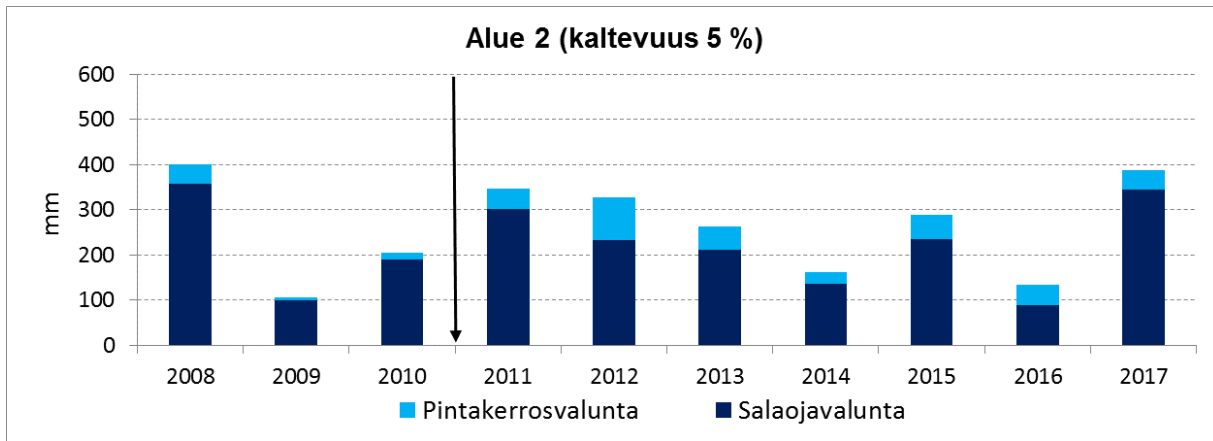
Kuva 3.2 Koealueiden roudan maksimisyvyydet vuosina 2008–2017 (n=1). Lumen maksimisyvyys on merkitty vuosilukujen alle. Talvella 2014 routa- tai lumimittauksia ei tehty.

3.2 Valunta

Kuvissa 3.3 ja 3.4 on esitetty koealueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnat vuosilta 2008–2017. Vuosisadannat (korjatut arvot) on esitetty taulukossa 3.1. Kumulatiiviset (vuositain) sadannat sekä alueiden 1 ja 2 salaoja- ja pintakerrosvalunnat on esitetty liitteessä 3.



Kuva 3.3. Alueen 1 vuotuiset salaoja- ja pintakerrosvalunnat 2008 – 2017. Tuotantosuunnan muuttuminen on merkitty nuolella.



Kuva 3.4. Alueen 2 vuotuiset salaoja- ja pintakerrosvalunnat vuosina 2008 – 2017. Tuotantosuunnan muuttuminen on merkitty nuolella.

Taulukko 3.1. Gårdskullan kartanon tutkimusalueen vuosisadannat (korjatut arvot) 2008 – 2017.

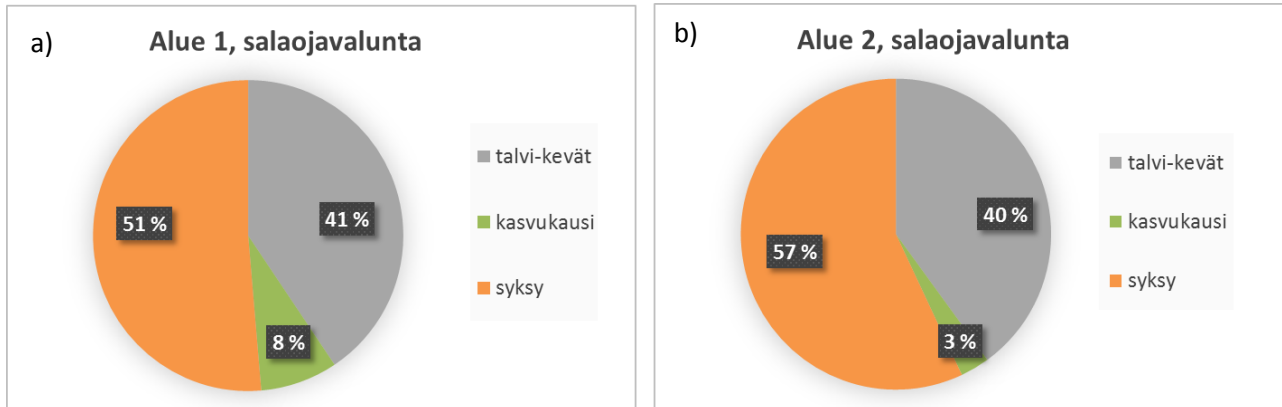
Sadanta mm a ⁻¹									
2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
838	565	654	768	844	598	630	691	610	859

Vuotuiset valuntamäärät vaihtelivat paljon eri vuosien välillä. Pääsyyinä tähän olivat sademäärät ja sateen ajallinen jakautuminen ja rankkuus. Mös erilaiset talviolosuhteet vaikuttivat valunnan muodostumiseen. Loivemmalla (kaltevuus 1 %) koealueella 1 salaojavalunta muodosti keskimäärin 90 % (vaihteluväli 82 – 98 %) mitatusta vuosittaisesta kokonaisvalunnasta (salaoja- ja pintakerrosvalunnan summa). Kaltevammalla (5 %) alueella 2 salaojavalunnan osuus oli 83 % (66 – 93 %). Kevätsulannan aikaiset suuret vesimäärät, jäinen maa sekä veden virtailu pengerrysten yli ja ohi aiheuttivat epätarkkuutta pintakerrosvalunnan mittaamisessa monena vuonna, varsinkin jyrkemmällä alueella 2.

Kun vuosi jaettiin kolmeen jaksoon, talvi-kevääseen (tammi-huhtikuu), kasvukautteen (touko-elokuu) ja syksyyn (syys-joulukuu), niin mitatusta kokonaisvalunnasta (s+p) syntyi kasvukauden ulkopuolella koealueella 1 keskimäärin 92 % ja koealueella 2 97 % (kuva 3.5). Vuosien 2008 - 2017 aikana molemmilla alueilla syksyn osuus salaojavalunnasta oli suurin. Alueen 2 salaojavalunta painottui aluetta 1 enemmän syksyyn, ja kasvukauden osuus oli puolestaan alueella 1 suurempi kuin alueella 2. Talvi-kevään osuus oli molemmilla alueilla keskimäärin noin 40 % vuoden salaojavalunnasta.

Salaojavalunnan valuntakerroin vaihteli vuosina 2008 – 2017 alueella 1 välillä 0,31 – 0,61 (mediaani 0,50) ja pintakerrosvalunnan välillä 0,01 – 0,09 (mediaani 0,05). Alueella 2 vastaavat luvut olivat salaojavalunnassa 0,15 – 0,43 (Md 0,31) ja pintakerrosvalunnassa 0,01 – 0,11 (Md 0,06).

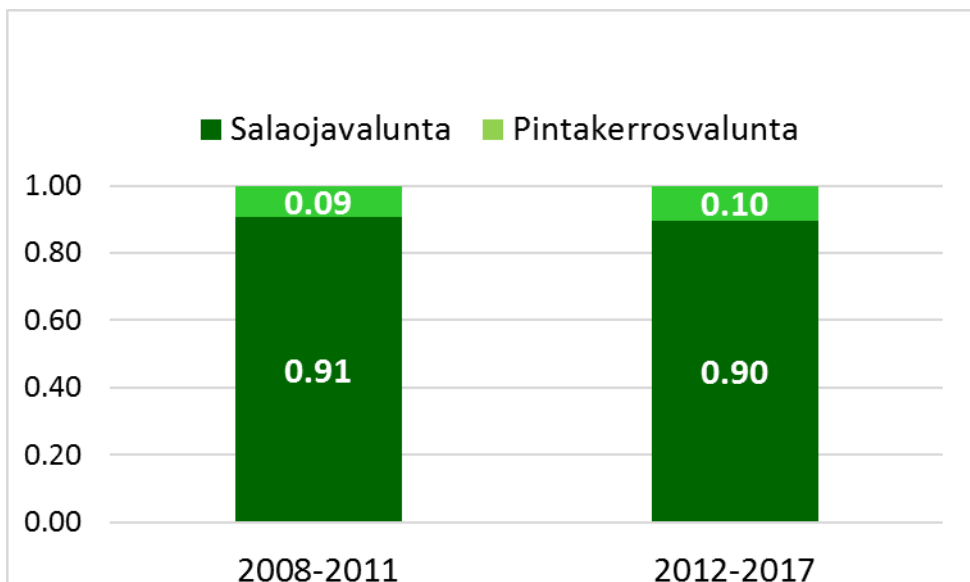
Pintakerrosvalunta painottui vuoden ensimmäisiin kuukausiin. Alueen 1 mitatusta pintakerrosvalunnasta keskimäärin 80 % muodostui talvi-kevään aikana, ja syksyn osuus oli noin 20 %. Kasvukaudella ei pintakerrosvaluntaa käytännössä muodostunut. Alueella 2 talvi-kevään osuus pintakerrosvalunnasta oli 60 %, syksyn 29 % ja kasvukauden 1 %. Siitä huolimatta, että mittausongelmia havaittiin useana vuonna tammi-huhtikuussa, valtaosa mitatusta pintakerrosvalunnasta (80 % alueella 1 ja 60 % alueella 2) tuli talven ja kevään aikana.



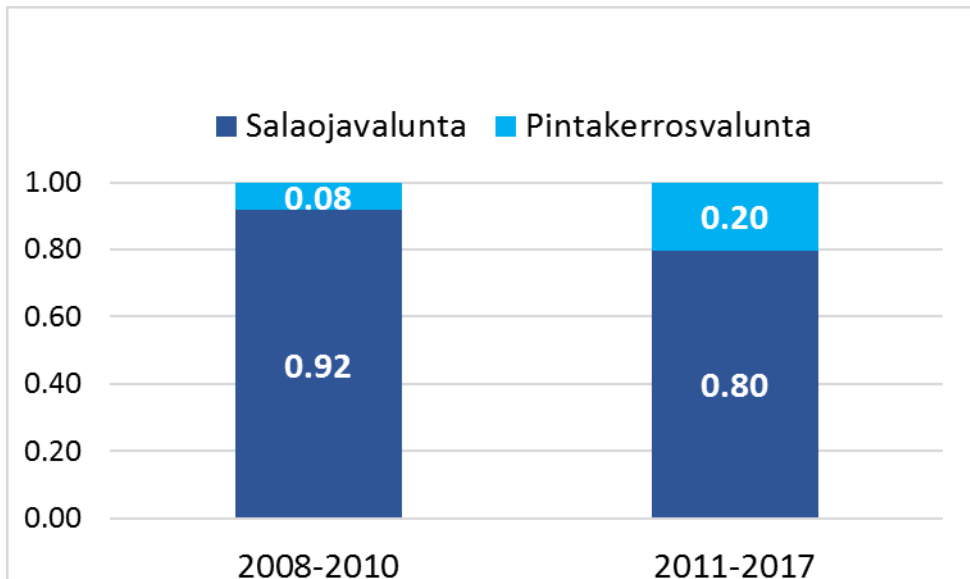
Kuva 3.5. Salaojavalunnan keskimääräinen jakautuminen 2008 - 2017 alueella 1 (a) ja alueella 2 (b) kun vuosi on jaettu kolmeen jaksoon: talvi-kevääseen (tammi-huhtikuu), kasvukauteen (touko-elokuu) ja syksyyn (syys-joulukuu). Keskimäärin salaojavaluntaa tuli alueelta 1 390 mm a⁻¹ ja alueelta 2 262 mm⁻¹.

Valunta ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen

Gårdskullan kartano siirtyi osittain luomutuotantoon vuonna 2011 ja vuosina 2010-2011 koalueille perustettiin nurmi suojaviljaan uusia tuotantosuuntia varten. Alue 1 on ollut nurmella syksystä 2011 lähtien. Alue 2 o ollut nurmella syksystä 2010 lähtien ja kevästä 2011 lihakarjan laitumena. Salaoja- ja pintakerrosvaluntojen osuudet kokonaisvalunnasta ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen on esitetty kuvissa 3.6 ja 3.7. Alueella 1 viljaa viljeltiin 2008–2011 ja nurmea 2012–2017. Alue 2 oli viljalla 2008–2010 ja laitumena 2011–2017.



Kuva 3.6. Vuotuisten salaojavaluntojen ja pintakerrosvaluntojen osuudet mitatusta kokonaisvalunnasta (s+p) ennen tuotantosuunnan muutosta (vilja, keskiarvo 2008-2011) ja muutoksen jälkeen (nurmi, keskiarvo 2012-2017) alueella 1. Vuosisadantojen (korjattu) keskiarvot olivat vastaavilla jaksoilla 706 mm ja 705 mm.



Kuva 3.7. Vuotuisten salaojavaluntojen ja pintakerrosvaluntojen osuudet mitatusta kokonaisvalunnasta (s+p) ennen tuotantosuunnan muutosta (vilja, keskiarvo 2008–2010) ja muutoksen jälkeen (laidun, keskiarvo 2011–2017) alueella 2. Vuosisadantojen (korjattu) keskiarvot olivat vastaavilla jaksoilla 685 mm ja 714 mm.

Kokonaisvalunnan (s+p) osuus sadannasta oli koealueen 1 nurmivuosina suurempi kuin viljavuosina. Pintakerrosvalunnan osuus kasvoi nurmiviljelyssä suhteellisesti enemmän kuin salaojavalunnan. Vuodet 2008–2011 olivat keskimäärin yhtä sateisia (706 mm) kuin vuodet 2012–2017 (705 mm). Kaltevammalla (5 %), Alueen 2 laidunvuosina olleella salaojavalunnan osuus sadannasta ei muuttunut, mutta pintakerrosvalunnan osuus sadannasta yli kaksinkertaistui viljaan verrattuna. Vuodet 2011–2017 olivat keskimäärin sateisempia (ka. 706 mm) kuin vuodet 2008 – 2010 (ka. 695 mm). Tosin sadannan ajallinen vaihtelu eri vuosina ja kevätulannan aikaiset epävarmuudet pintakerrosvalunnan mittauksessa vaikeuttavat vertailua. Alueella 1 tuotantosuunnan muutos ei juurikaan muuttanut salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan välistä suhdetta (kuva 3.6). Alueella 2 pintakerrosvalunnan osuus kasvoi sen sijaan selvästi, sen osuus kokonaisvalunnasta oli ennen muutosta 8 % ja sen jälkeen 20 % (kuva 3.7). Syitä alueen 2 pintakerrosvalunnan kasvuun voi laiumeksi muuttamisen lisäksi olla myös muita, kuten mittauksen kannalta suotuisimmat kevät jälkimmäisellä jaksolla. Tällainen oli vuosi 2016, jolloin kokonaisvaluntaa muodostui alueella 2 verrattain vähän (valuntakerroin 0,22), ja siitä pintakerrosvalunnan osuus oli 34 %.

3.3 Pohjavedenpinnan syvyys

Pohjavedenpinta nousi korkeimmillaan lähes maan pintaan sulannan ja syksyn sateiden aikaan. Talvella ja kesän lopulla pohjavedenpinta laski syvimmällään pohjavesiputkien alapään tasolle (200 cm), ja välillä allekin. Mitatut pohjavedenpinnan syvyydet alueilta 1 ja 2 on esitetty liitteessä 4.

Alueella 1 pohjavedenpinta oli jokaisella mittauskerralla syvimmällä lähimpänä Kirkkojokea sijainnassa putkessa P1.1, mutta ei laskenut putken alapään tason alapuolelle. Märimpinä aikoina vesi ei noussut putkessa P1.1 niin korkealle kuin putkissa P2.1 ja P3.1. Putken P1.1 pohjavedenpinnan syvyyksien ääriarvot olivat 20 ja 190 cm maanpinnasta, ja kaikkien mittausten mediaaniarvo oli 122 cm. Vaikka vaihteluväli oli suuri, niin 70 % mittauksista vedenpinta putkessa P1.1 oli välillä 100 – 140 cm maan pinnasta.

Kauempana joesta sijainneissa putkissa, P2.1 ja P3.1, pohjavedenpinnan syvyydet olivat yleensä lähellä toisiaan, kaikkien mittausten mediaaniarvot näissä putkissa olivat 81 ja 84 cm. Syvimmillään pohjavedenpinta laski putkissa 170 ja 180 cm: iin maanpinnan tasosta. Putkissa P2.1 ja P3.1 pohjavedenpinta pysyi 73 % mittauksista välillä 70 – 100 cm. Lähellä maanpintaa (< 60 cm) pohjavesi kävi vuodesta riippuen maaliskuussa ja marras-joulukuussa. Alimmat lukemat mitattiin alueelta 1 elokuussa.

Alueen 1 tapaan myös alueella 2 pohjavedenpinta oli syvimmällä alimmassa, lähinnä Kirkkojokea sijainneessa, putkessa P1.2. Mutta toisin kuin alueella 1, pohjaveden pinta laski siellä ajoittain mittaussyvyyden alapuolelle, yli kahteen metriin maanpinnasta. Aluetta 1 jyrkemmällä alueella 2 (kaltevuus 5 %) pohjavedenpinta käväisi keväällä 2010 aivan maanpinnan tuntumassa myös putkessa P1.2. Alueen 2 pohjavesimittausten mediaanisyyvydet olivat vuosina 2008 – 2017 129 cm putkessa P1.2, 75 cm putkessa P2.2 sekä 66 cm putkessa P3.2 maanpinnasta. Pohjavedenpinnan syvyyksien vaihteluväli oli molempien koalueiden pohjavesiputkissa samaa suuruusluokkaa. Alimpien putkien (P1.1 ja P1.2) ja myös putkien P2.1, P3.1 sekä P2.2, P3.2 mediaaniarvot olivat lähellä toisiaan.

Alueen 1 putkissa vedenpinta oli pääosan ajasta lähellä keski-/mediaaniarvoa, mutta alueella 2 kaukana keskimääräisistä arvoista olevia pohjavedenpinnan syvyyksiä oli paljon (liite 4). Alueella 2 putken P1/2 pohjavedenpinnan mittauksista 40 % oli välillä 110 – 150 cm. Putkien P2 ja P3 mitatuista pohjavedenpinnansyvyyksistä 13 % osui välille 70 – 100 cm. Vedenpinta nousi alueen 2 pohjavesiputkissa lähelle maanpintaa ja myös laski selvästi salaojitussyvyyden (110 cm) alapuolelle aluetta 1 useammin. Alueella 2 pohjavedenpinta oli alle 60 cm syvyydellä maanpinnasta keskimäärin lähes joka kolmannessa mittauksessa, kun alueella 1 näin oli joka kymmenennessä mittauksessa. Syvällä, selvästi salaojaputkien alapuolella (> 150 cm) alueen 2 mittauksista oli 18 % ja alueen 1 noin 3 %.

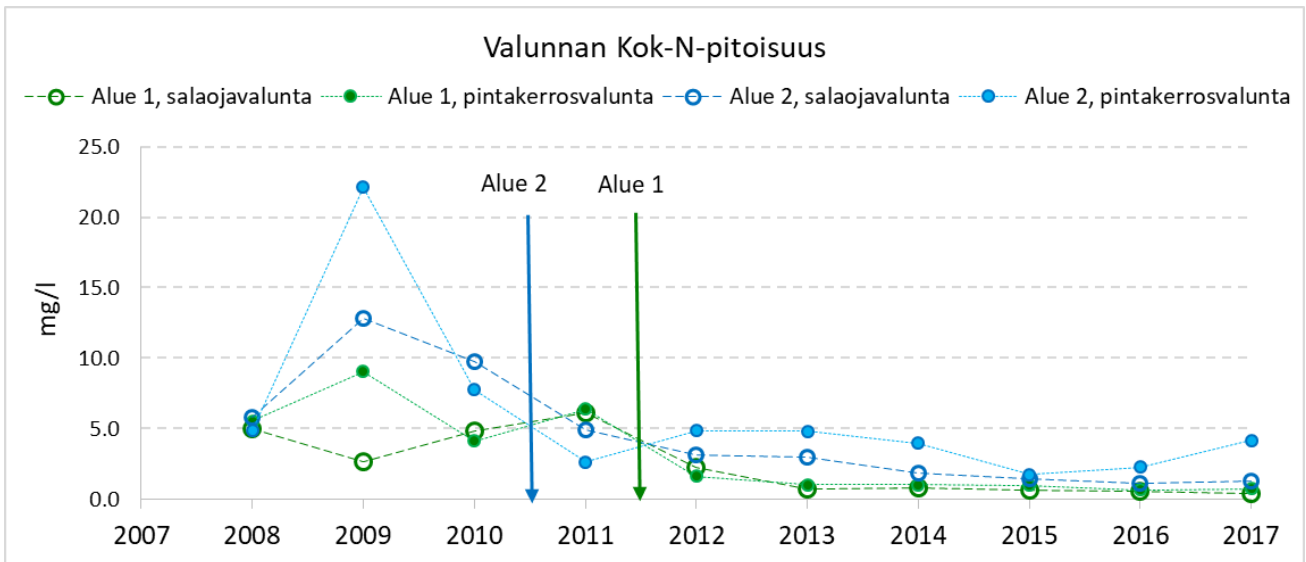
3.4 Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet

Vuosien 2008–2017 aikana salaoja- ja pintakerrosvalunnan pitoisuudet vaihtelivat varsin paljon. Kokonaistyyppipitoisuuksien ääriarvot (molemmat alueet, pintakerrosvalunta suluisissa) vaihtelivat välillä 0,2–52,6 mg l⁻¹ (0,4–67,9 mg l⁻¹), kokonaisfosforipitoisuuksien välillä 0,01–2,75 mg l⁻¹ (0,05 mg l⁻¹ – 7,92 mg l⁻¹), liukoisen epäorgaanisen fosforin välillä 1 – 1430 µg l⁻¹ (1–3690 µg l⁻¹) ja kiintoaineen välillä 69 – 2020 mg l⁻¹, (15–2880 mg l⁻¹). Suurimmat pitoisuudet sekä salaoja- että pintakerrosvalunnan osalta mitattiin alueelta 2 ja pienimmät alueelta 1. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan ravinne- ja kiintoainepitoisuuksien vuosimediaanit on esitetty kuvissa 3.8–3.11.

Kokonaistyyppipitoisuus

Vuositasolla alueen 1 salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuudet (mediaani) olivat lähellä toisiaan, lukuun ottamatta kuivaa vuotta 2009, jolloin pintakerrosvalunnan vuosimediaani oli salaojavaluntaan nähden yli kaksinkertainen (kuva 3.8). Vuosien 2008 - 2017 (kaikki näytteet) salaojavalunnan tyyppipitoisuuden mediaani oli 1,5 mg l⁻¹ ja pintakerrosvalunnan 1,6 mg l⁻¹. Kun mukaan otettiin näytteet vain niiltä ajankohdilta, jolloin muodostui sekä salaojavaluntaa että pintakerrosvaluntaa, mediaanit olivat 1,0 mg l⁻¹ ja 1,6 mg l⁻¹.

Valumavesien kokonaistyyppipitoisuudet olivat alueelta 2 pääosin suurempia kuin alueelta 1. Korkeimmat vuosimediaanit mitattiin alueen 2 pintakerrosvalunnasta, lukuun ottamatta vuotta 2011, jolloin alueen 1 salaoja- ja pintakerrosvalunnan pitoisuudet olivat suurempia. Kun tarkasteluun otettiin mukaan valuntavesinäytteet (2008 – 2017) niiltä ajankohdilta, jolloin oli muodostunut sekä salaoja- että pintakerrosvaluntaa, niin salaojavalunnan kokonaistyyppipitoisuuden mediaani oli $3,1 \text{ mg l}^{-1}$ ja pintakerrosvalunnan $3,9 \text{ mg l}^{-1}$.

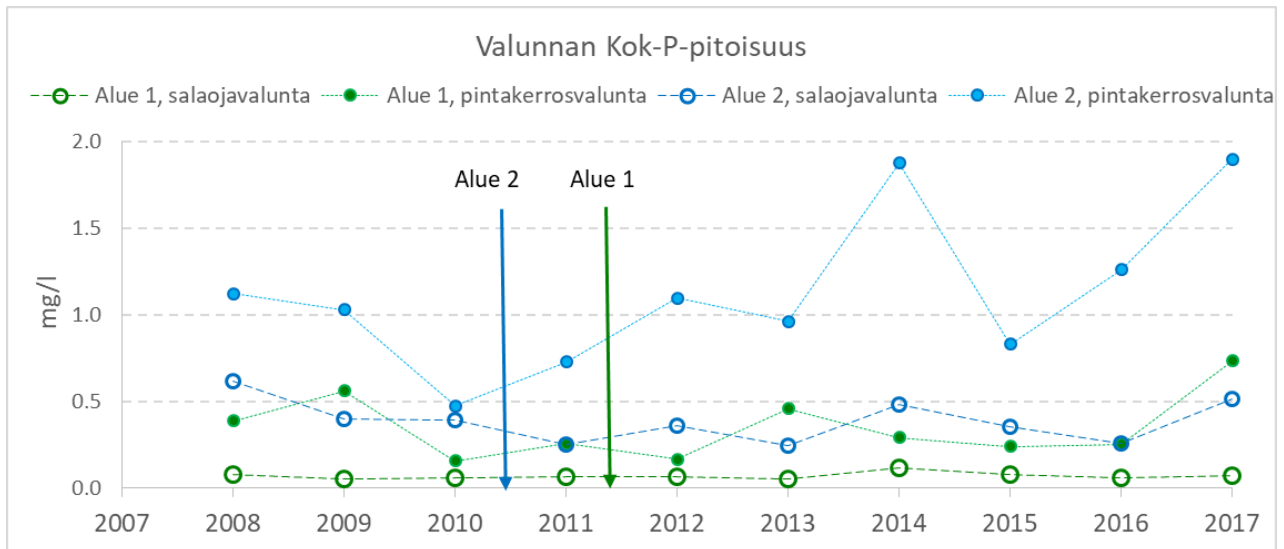


Kuva 3.8 Koalueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuuksien vuosimediaanit 2008 – 2017. Vuotuiset näytemäärät, salaojavalunta n= 13–34 ja pintakerrosvalunta n= 7–21. Tuotantosuunnan muutosten ajankohdat on merkitty kuvaan nuolilla.

Kokonaisfosforipitoisuus

Alueen 1 pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuuden vuosimediaanit olivat joka vuosi selvästi salaojavaluntaa korkeampia (kuva 3.9). Kymmenen tutkimusvuoden salaojavalunnan mediaanipitoisuus (vesinäytteet samoilta ajankohdilta) oli $0,10 \text{ mg l}^{-1}$ ja pintakerrosvalunnan $0,31 \text{ mg l}^{-1}$. Myös vuosimediaanien vaihtelu oli pintakerrosvalunnassa suurempaa kuin salaojavalunnassa.

Tyyppipitoisuuksien tapaan suurimmat kokonaisfosforipitoisuudet mitattiin alueen 2 pintakerrosvalunnasta. Tarkastelujakson jokaisena vuonna alueen 2 pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuuden mediaani oli salaojavaluntaa korkeampi. Jakson 2008–2017 mediaanipitoisuudet (vesinäytteet samoilta ajankohdilta) olivat $0,47 \text{ mg l}^{-1}$ (salaojavalunta) ja $1,09 \text{ mg l}^{-1}$ (pintakerrosvalunta).

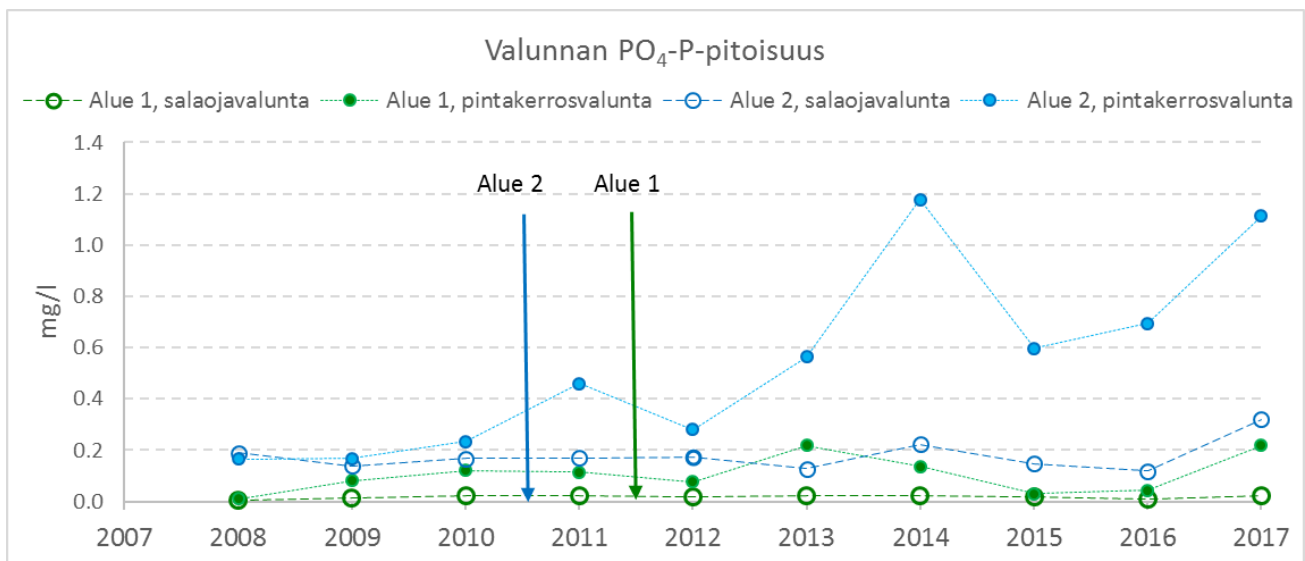


Kuva 3.9. Koealueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuuksien vuosimediaanit 2008 - 2017. Vuotuiset näytemäärät, salaojavalunta n= 13–34 ja pintakerrosvalunta n= 7–21.

Liukoisen fosforin pitoisuus

Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) pitoisuuksien vaihtelu seurasi alueella 1 kokonaisfosforin pitoisuuksien vaihtelua, poikkeuksena kaksi ensimmäistä tutkimusvuotta. Tällöin pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuudet olivat selvästi salaojavalunnan pitoisuuksia suurempia, kun taas liukoisen fosforin pitoisuudet olivat lähellä toisiaan. Samaan aikaan otettujen vesinäytteiden liukoisen fosforin mediaanipitoisuudet olivat $0,02 \text{ mg l}^{-1}$ (salaojavalunta) ja $0,06 \text{ mg l}^{-1}$ (pintakerrosvalunta).

Myös alueella 2 pintakerrosvalunnan liukoisen fosforin pitoisuudet olivat yleensä salaojavalunnan pitoisuuksia suurempia ja vaihtelu oli voimakkaampaa. Kun vesinäytteitä saatiin sekä salaoja- että pintakerrosvalunnasta, alueen 2 salaojavalunnan liukoisen fosforin mediaanipitoisuus oli $0,18 \text{ mg l}^{-1}$ ja pintakerrosvalunnan $0,53 \text{ mg l}^{-1}$.



Kuva 3.10. Koealueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnan liukoisen fosforin pitoisuuksien vuosimediaanit 2008 - 2017. Vuotuiset näytemäärät, salaojavalunta n= 13–34 ja pintakerrosvalunta n= 7–21.

Taulukoissa 3.1a ja 3.1b on esitetty liukoisien epäorgaanisten fosfaattifosforin (PO₄-P) pitoisuudet eri vuodenaikoina: talvi-kevät (tammi-huhtikuu), kasvukausi (touko-kesäkuu) ja syksy (syys-joulukuu). Varsinkin pintakerrosvalunnan pitoisuudet vaihtelivat paljon eri keväinä ja syksyinä samallakin alueella ja tuotantosuunnalla. Nurmella (alue 1) pintakerrosvalunnan pitoisuudet olivat yleensä korkeimmillaan talvi-kevällä. Laidunalueella (alue 2) puolestaan kesäisin ja syksyisin, jolloin maahan oli kertynyt runsaasti tuoretta sontaa ja virtsaa.

Taulukko 3.1. Liukoisien epäorgaanisten fosforin (PO₄-P) pitoisuudet (aritmeettinen keskiarvo) salaojavalunnassa ja pintakerrosvalunnassa eri vuodenaikoina alueilla 1 (a) ja 2 (b).

a)

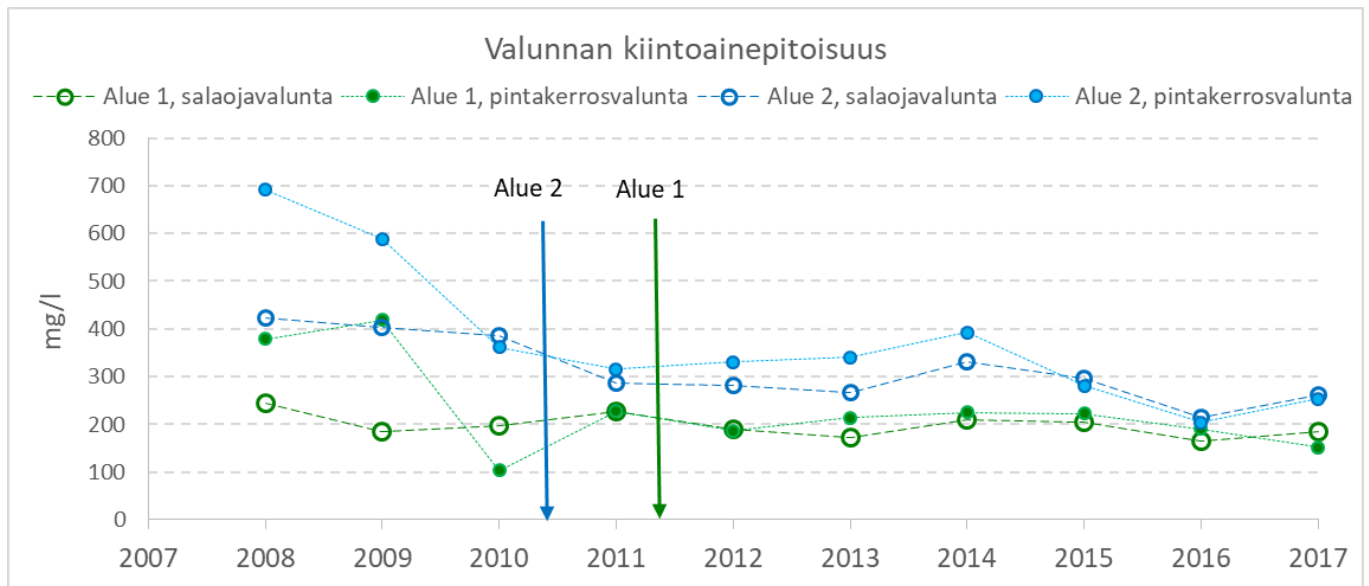
PO ₄ -P (µg l ⁻¹)	Kevät-talvi		Kasvukausi		Syksy	
	Salaoja	Pintakerros	Salaoja	Pintakerros	Salaoja	Pintakerros
2008	8	6	16		7	59
2009	8	30	13		21	81
2010	36	125	23	27	11	237
2011	12	20	24		23	118
2012	18	119	23		23	64
2013	17	199	32		25	252
2014	19	259	25	22	24	112
2015	19	141	20	17	21	128
2016	11	113	4		10	663
2017	27	1209	37		21	151
Viljanviljely (2008-2011)	16	45	19	27	16	124
Nurmiviljely (2012-2017)	19	340	23	20	21	228

b)

PO ₄ -P (µg l ⁻¹)	Kevät-talvi		Kasvukausi		Syksy	
	Salaoja	Pintakerros	Salaoja	Pintakerros	Salaoja	Pintakerros
2008	203	285			179	159
2009	288	76	121		120	173
2010	166	223	135	242	204	332
2011	87		209		279	497
2012	147	237	267	667	228	887
2013	133	348	218	1307	119	946
2014	313	364	308	1439	218	1235
2015	137	402	174	831	224	1028
2016	191	616	71		743	2126
2017	466	1388	368		233	1179
Viljanviljely (2008-2010)	219	195	128	242	168	221
Laidunnurmi (2011-2017)	210	559	231	1061	292	1128

Kiintoainepitoisuus

Ravinnepitoisuuksien tapaan alueen 2 valuntavesien kiintoainepitoisuudet olivat alueen 1 pitoisuuksia korkeampia, ja molempien alueiden pintakerrosvalunnan pitoisuudet salaojavalunnan pitoisuuksia suurempia. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuudet olivat molemmilla alueilla lähempänä toisiaan kuin ravinnepitoisuudet. Alueella 1 vuosien 2008 – 2017 salaojavalunnan kiintoainepitoisuuksien mediaani (näytteet samoilta ajankohdilta) oli 210 mg l⁻¹ ja pintakerrosvalunnan 220 mg l⁻¹. Alueella 2 vastaavat mediaanien arvot olivat 310 mg l⁻¹ (salaojavalunta) ja 360 mg l⁻¹ (pintakerrosvalunta).



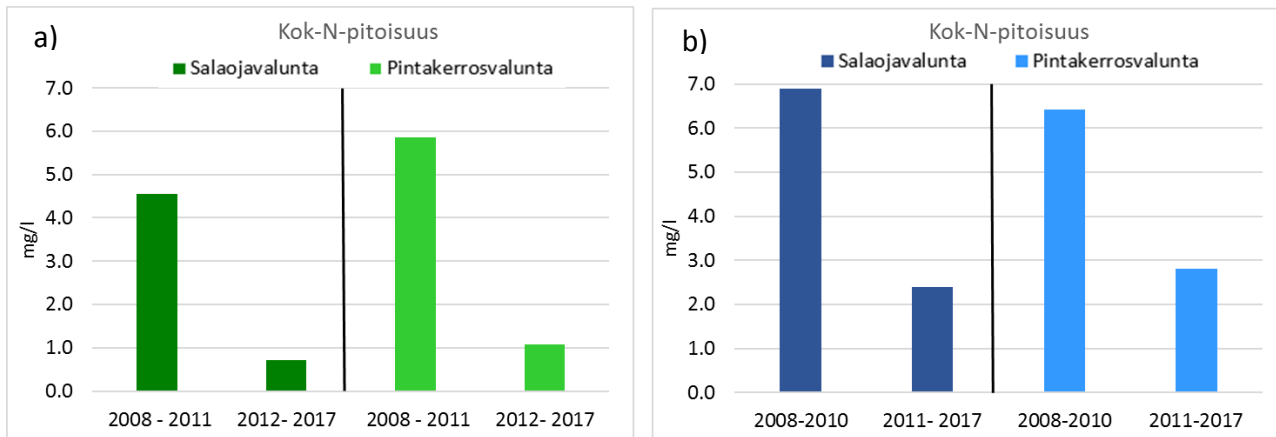
Kuva 3.11. Koealueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnan kiintoaineen (haihdutusjäännös) vuosimediaanit 2008 -2017. Vuotuiset näytemäärät, salaojavalunta n= 13–34 ja pintakerrosvalunta n= 7–21.

Valuntaveden pitoisuudet ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen

Koealueiden tuotantosuunnan muutokset tapahtuivat vuosien 2010 ja 2011 aikana. Alueella 1 vilja puitiin viimeisimmän kerran elokuussa 2011, jonka jälkeen alue on ollut nurmiviljelyssä. Alueella 2 vilja puitiin vuotta aikaisemmin, ja kevästä 2011 lähtien se on ollut lihakarjan laitumena. Tuotantosuunnan vaikutusta koealueiden valuntavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksiin on tarkasteltu vertaamalla muutosta edeltävän ja jälkeisen tutkimusjakson mediaanipitoisuuksia (kuvat 3.12 – 3.15).

Kokonaistyyppipitoisuus

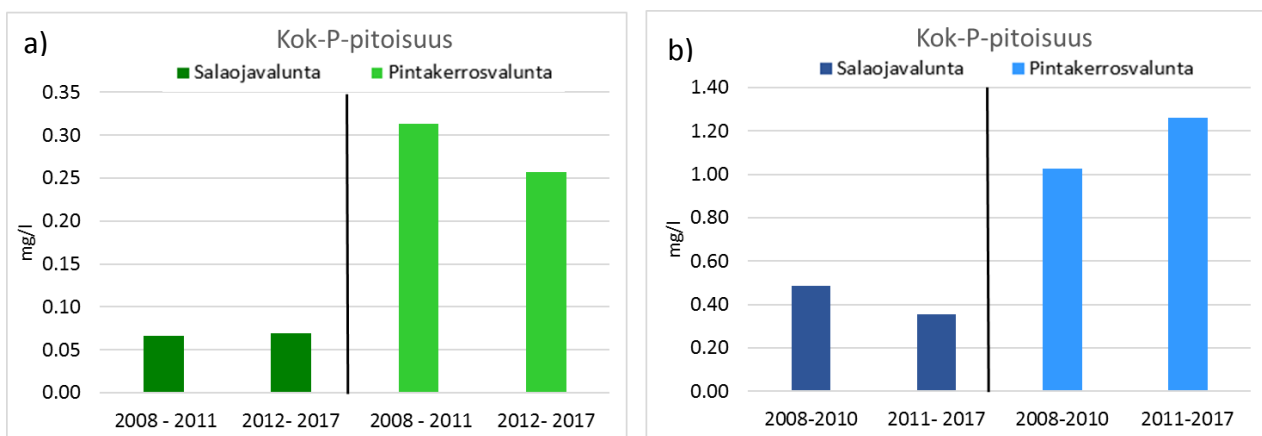
Tuotantosuunnan muutos näkyi molemmilla alueilla selkeänä kokonaistyyppipitoisuuden laskuna. Alueella 1 sekä salaoja- että pintakerrosvalunnan tyyppipitoisuudet (mediaanit, kuva 3.12) olivat alle 20 % muutosta edeltävästä. Alueella 2 salaoja- ja pintakerrosvalunnan mediaanipitoisuudet olivat muutoksen jälkeen noin 40 % aiemmasta.



Kuva 3.12. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) kokonaistyyppipitoisuuden mediaanit ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

Kokonaisfosforipitoisuus

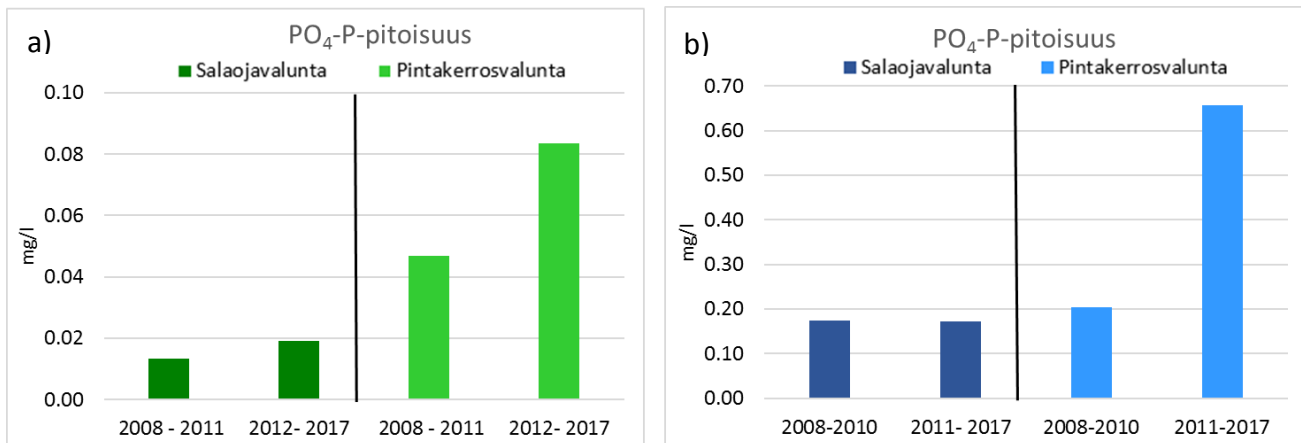
Valumavesien kokonaisfosforipitoisuuksiin tuotantosuunnan muutos näytti vaikuttavan vähemmän kuin kokonaistyyppipitoisuuksiin. Alueen 1 nurmella salaojavalunnan Kok-P-pitoisuus pysyi keskimäärin samalla tasolla kuin viljalla ja pintakerrosvalunnan pitoisuus pieneni vajaa 20 % (kuva 3.13). Alueella 2 muutoksen vaikutus pitoisuuksiin oli kahdensuuntainen. Laitumen salaojavalunnan Kok-P-mediaanipitoisuus oli vajaa 30 % viljaa alempi, mutta pintakerrosvalunnan pitoisuus oli viljavuosiin verrattunanähdn 1,2-kertainen.



Kuva 3.13. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) kokonaisfosforipitoisuuden mediaanit ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

Liukoisen fosforin pitoisuus

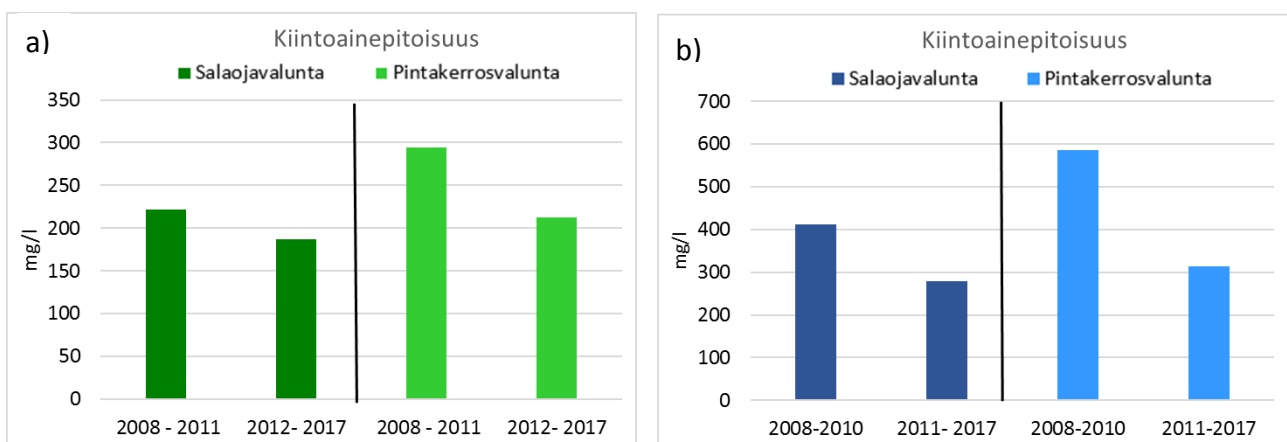
Tuotantosuunnan muutos vaikutti liukoisen fosforin pitoisuuksiin enemmän kuin kokonaisfosforin pitoisuuksiin ja pintakerrosvaluntaan enemmän salaojavaluntaan (kuva 3.14). Alueella 1 salaojavalunnan mediaanipitoisuus oli nurmella viljaan verrattuna 1,4- kertainen pintakerrosvalunnan 1,8 -kertainen. Alueella 2 siirtymienviljanviljelystä laidunnukseen ei vaikuttanut salaojaveden keskimääräiseen liukoisen fosforin pitoisuuteen. Sen sijaan pintakerrosvalunnan liukoisen fosforin mediaanipitoisuus oli laidunvuosina 3,2 -kertainen viljavuosiin verrattuna.



Kuva 3.14. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) liukoisen fosforipitoisuuden mediaanit ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

Kiintoainepitoisuus

Sekä nurmen (alue 1) että laitumen (alue 2) salaoja- ja pintakerrosvaluntavesien kiintoainepitoisuudet (mediaani) olivat viljanviljelyvuosia alempia (kuva 3.15). Alueen 1 salaojavalunnan kiintoainepitoisuudet olivat nurmiviljelyjaksolla 85 % ja pintakerrosvalunnan 72 % viljan pitoisuuksista. Alueen 2 laitumella pitoisuudet vähenivät enemmän, sillä vastaavat osuudet olivat 68 % ja 54 % viljanviljelystä.



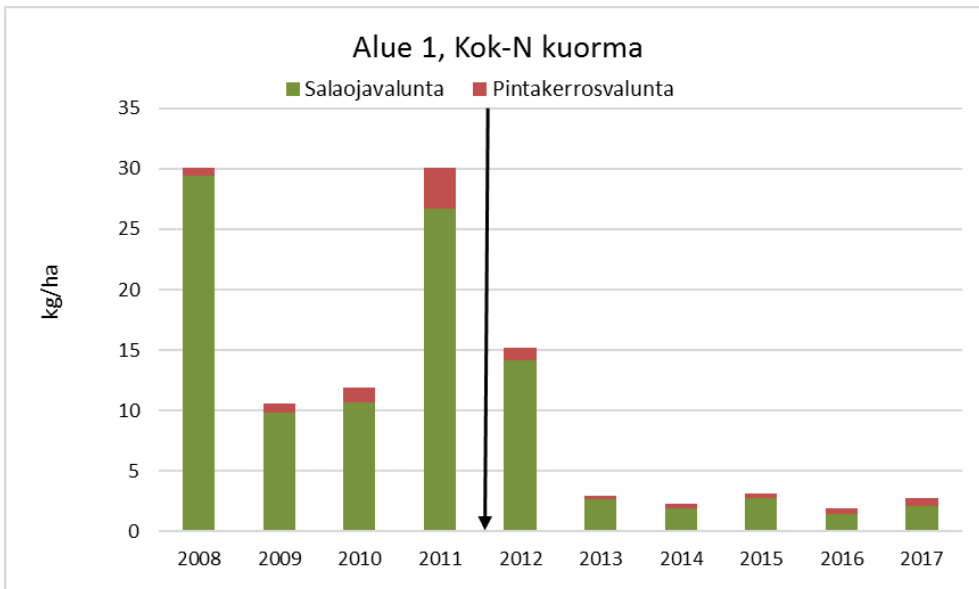
Kuva 3.15. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) kiintoainepitoisuuden mediaanit ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

3.5 Ravinne- ja kiintoainekuormat

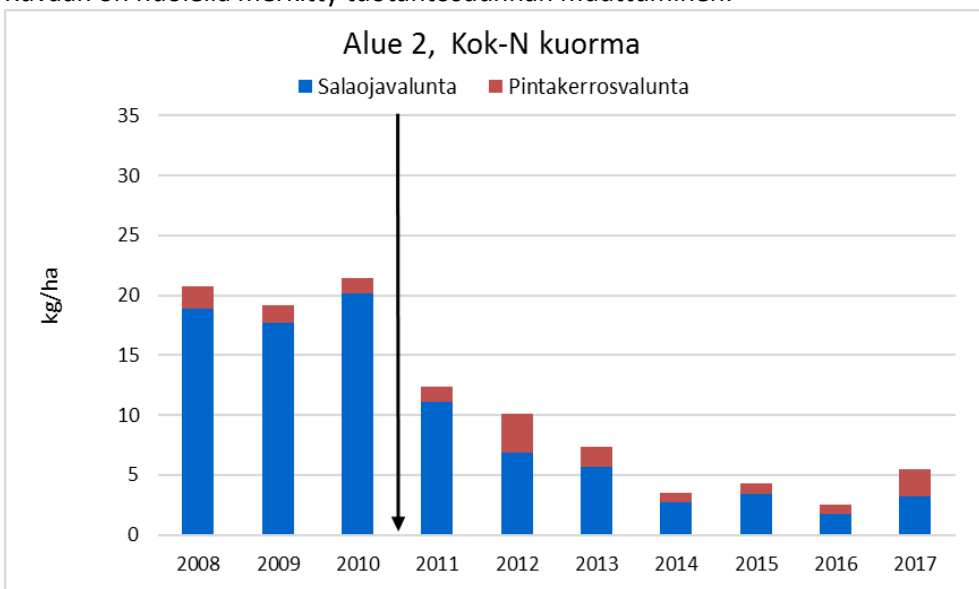
Salaojavalunnan mukana kulkeutuneet ravinne- ja kiintoainemäärät vuosilta 2008–2017 on esitetty kuvissa 3.16–3.23. Salaojavalunnan vuosittaiset kokonaistyyppihuuhtoumat (molemmat alueet) vaihtelivat välillä 1,5–29,4 kg ha⁻¹, kokonaisfosforin huuhtoumat välillä 0,2–3,9 kg ha⁻¹ ja kiintoainekuormat välillä 190 – 2400 kg ha⁻¹. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin kuormat olivat välillä 0,03–0,79 kg ha⁻¹.

Kokonaistyyppihuuhtouma

Koealueiden kokonaistyyppien vuosikuormissa oli suurta vaihtelua (kuvat 3.16 ja 3.17). Vuosina 2008 – 2017 mitatut kokonaiskuormat (s+p) alueella 1 vaihtelivat välillä 1,9 – 30,1 kg ha⁻¹. Myös pintakerrosvalunnan osuus vaihteli huomattavasti. Pienimmillään se oli 2 % suurimmillaan 25 % kokonaiskuormasta. Keskimäärin pintakerrosvalunnan typpikuorman osuus oli 12 %, eli suurempi kuin pintakerrosvalunnan osuus (10 %) kokonaisvalunnasta. Alueen 2 kokonaiskuormien vaihteluväli oli 2,5 – 21,5 kg ha⁻¹, josta pintakerrosvalunnan osuus oli keskimäärin 21 % (vaihteluväli 6 – 41 %).



Kuva 3.16. Kokonaistyyppien vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 1. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.



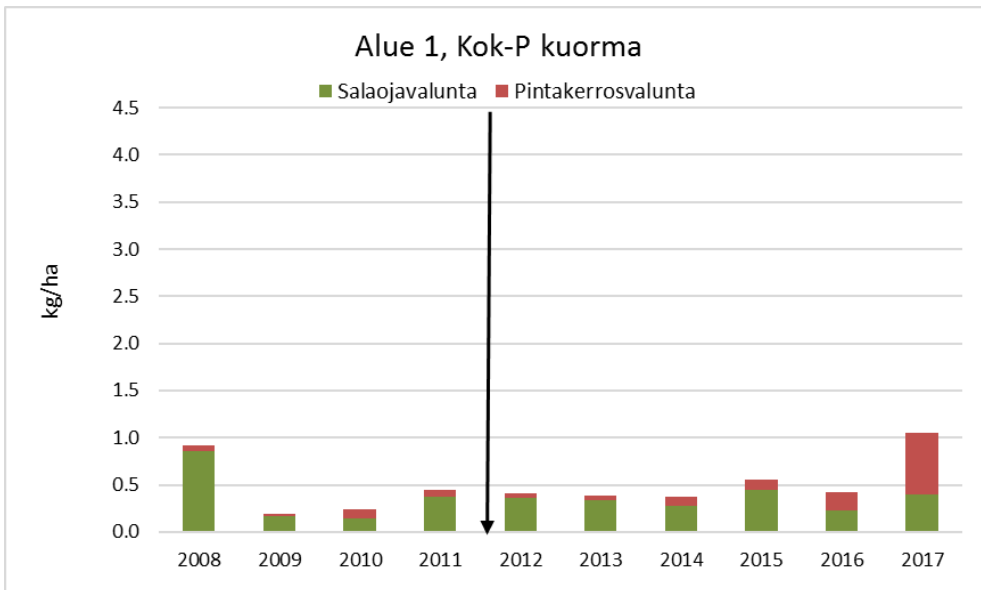
Kuva 3.17. Kokonaistyyppien vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 2. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.

Kokonaisfosforihuuhtouma

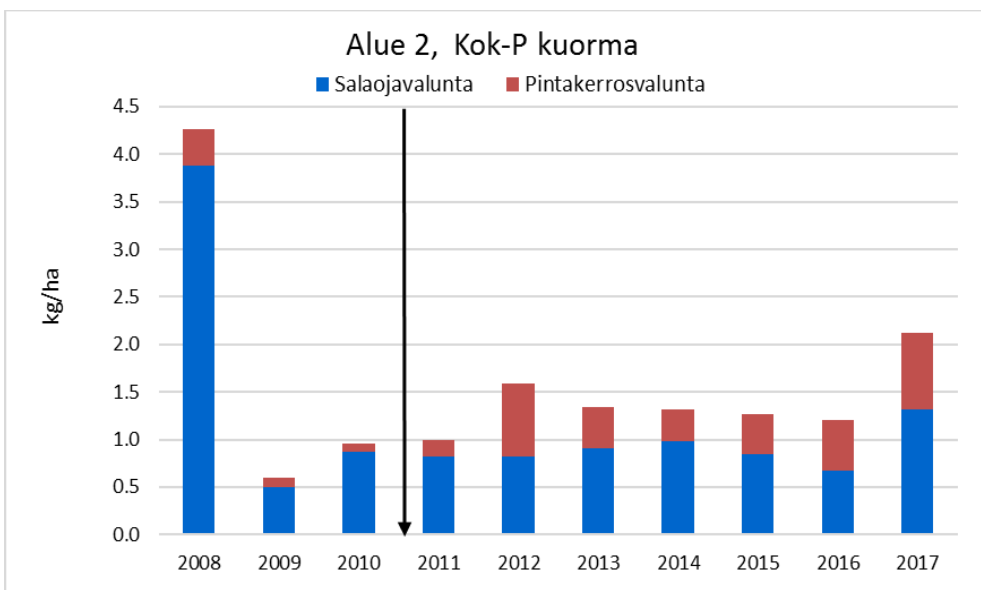
Alueella 1 vuosina 2008 – 2017 kokonaisfosforikuorma vaihteli välillä 0,2 – 1,1 kg ha⁻¹ a⁻¹. Selvästi suurimmat kokonaisfosforin vuosikuormat syntyivät vuosina viljavuonna 2008 ja nurmivuonna 2017 (kuva 3.18). Vuosi 2008 oli märkä (P = 838 mm) ja salaojavaluntaa muodostui runsaasti myös

talvikuukausina. Valtaosa (94 %) fosforikuormasta tuli salaojien kautta. Suurin kokonaisfosforikuorma (1,1 kg ha⁻¹ a⁻¹) muodostui vuonna 2017 (P=859 mm), jolloin pintakerrosvalunnan osuus oli 62 %. Kymmenen tutkimusvuoden aikana pintakerrosvalunnan osuus fosforikuormasta oli keskimäärin 26 %.

Alueella 2 vuosien 2009 – 2017 salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlasketut kokonaisfosforikuormat vaihtelivat välillä 0,6 – 2,1 kg ha⁻¹. Vuonna 2008 (vilja) salaoja- ja pintakerrosvalunnan mukana kulkeutunut kokonaisfosforikuorma, 4,3 kg ha⁻¹ a⁻¹, oli selvästi mittausvuosien suurin (kuva 3.19). Tällöin pääosa kuormasta tuli salaojien kautta, sillä pintakerrosvalunnan osuus oli 9 %. Keskimäärin pintakerrosvalunnan mukana kulkeutui 27 % fosforikuormasta.



Kuva 3.18. Kokonaisfosforin vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 1. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.

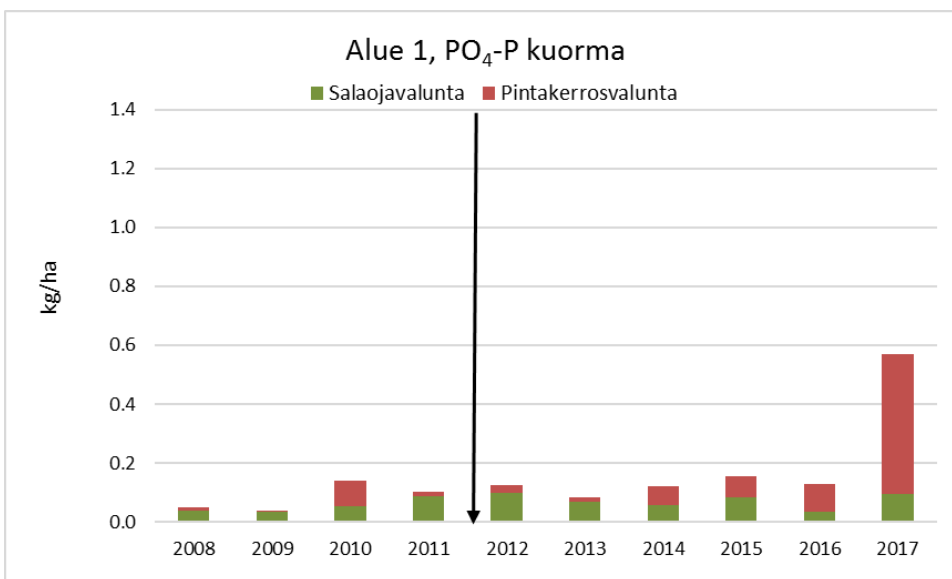


Kuva 3.19. Kokonaisfosforin vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 2. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.

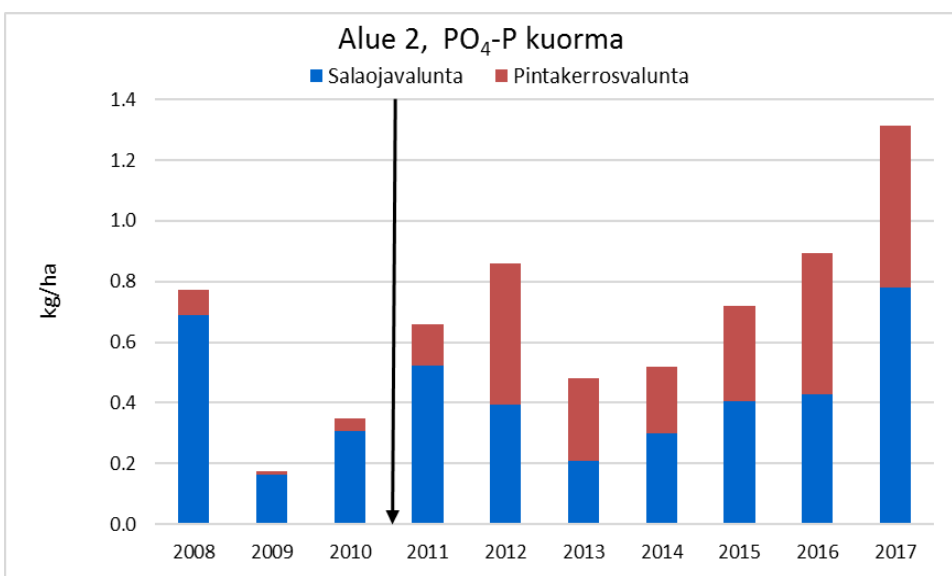
Liukoisen fosforin huuhtouma

Alueen 1 liukoisen fosforin kuormat olivat vuosina 2008 – 2016 verrattain pieniä (kuva 3.20), keskimääräinen kuorma oli $0,11 \text{ kg ha}^{-1}$. Vuosi 2017 erosi aikaisemmista selvästi, sen aikana alueelta 1 kulkeutui liukoista fosforia $0,57 \text{ kg ha}^{-1}$. Kuormasta valtaosa, 83 %, tuli pintakerrosvalunnan mukana ja yli 80 % pintakerrosvalunnan kuormasta muodostui helmi-maaliskuun aikana. Keskimäärin liukoisesta fosforista tuli pintakerrosvalunssa 40 % (12 - 83 %). Liukoisen fosforin kuorman (s+p) osuus kokonaisfosforikuormasta oli vuosina 2008–2017 keskimäärin noin 30 %.

Alueelta 2 liukoista fosfaattifosforia huuhtoutui Kirkkojokeen keskimäärin $0,67 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Myös alueella 2 kuormittavin vuosi oli 2017 (kuva 3.21), jolloin salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu kuorma ($1,32 \text{ kg ha}^{-1}$) oli keskiarvoon nähden kaksinkertainen. Pintakerrosvalunnan osuus liukoisen fosforin kuormasta oli alueella 2 keskimäärin 34 % (6 – 57 %). Liukoisen fosforin kuorman osuus kokonaisfosforikuormasta oli vuosina 2008–2017 keskimäärin 47 %.



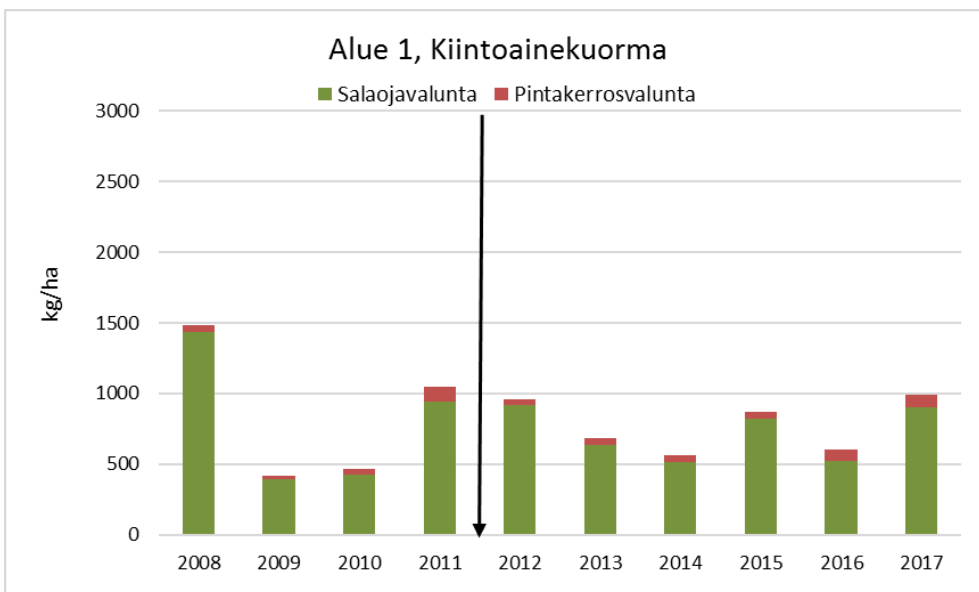
Kuva 3.20. Liukoisen fosforin vuotuiset huuhtoumat (kg ha^{-1}) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 1. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.



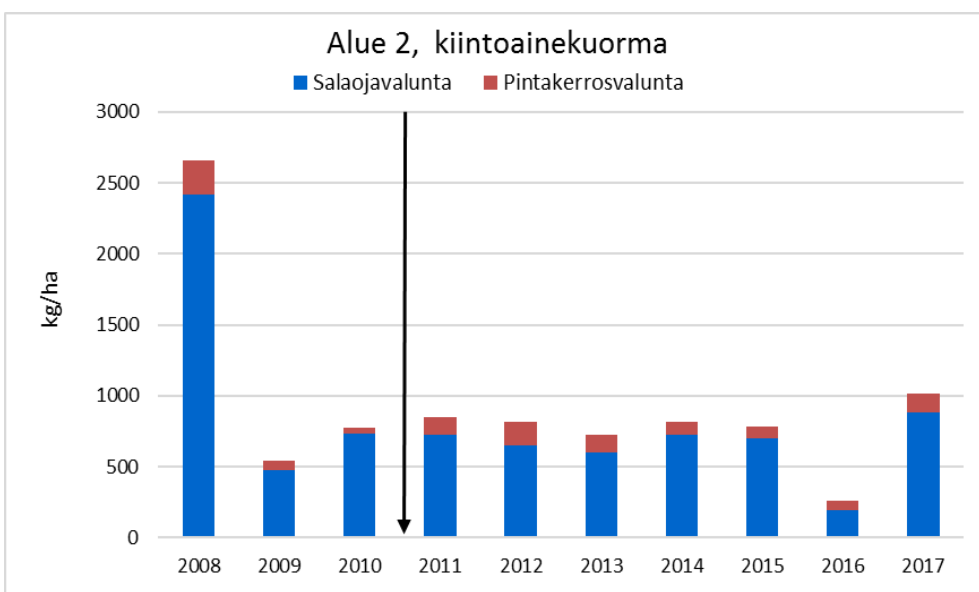
Kuva 3.21. Liukoisen fosforin vuotuiset huuhtoumat (kg ha^{-1}) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 2. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.

Kiintoainehuuhtouma

Paljon fosforikuormaa tuottanut vuosi 2008 erottuu myös kiintoainekuormia tarkasteltaessa, etenkin alueella 2 (kuvat 3.22 ja 3.23). Alueelta 2 vuoden aikana kulkeutunut kiintoaineen kokonaiskuorma (s+p) oli 2660 kg ha⁻¹ ja alueelta 1 puolestaan 1480 kg ha⁻¹. Vuosien 2009-2017 kiintoainekuorman vuosikeskiarvo oli molemmilla alueilla keskimäärin 730 kg ha⁻¹. Kiintoainekuorman osalta pintakerrosvalunnan mukana tulleen kuorman osuus oli pienempi kuin ravinnekuormissa. Alueella 1 pintakerrosvalunnan osuus kiintoainekuormasta oli keskimäärin 8 % ja alueella 2 14 %. Myös osuuden vuotuinen vaihtelu oli pienempää. Alueella 1 pintakerrosvalunnan mukana tulleen kiintoainekuorman osuus vaihteli välillä 3 – 14 % ja alueella 2 välillä 5 – 26 %.



Kuva 3.22. Kiintoaineen vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 1. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.



Kuva 3.23. Kiintoaineen vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaoja- ja (b) pintakerrosvalunnassa alueella 2. Kuvaan on nuolella merkitty tuotantosuunnan muuttuminen.



Kuva 3.24. Koealueiden 1 ja 2 salaojavalunnan kokonaistypen, kokonaisfosforin, liukoisen fosforin sekä kiintoainekuorman jakautuminen kolmelle jaksolle vuosina 2008 - 2017. Jaksot talvi-kevät käsittää tammi-huhtikuun, kasvukausi touko-elokuun ja syksy syys-joulukuun.

Kuormituksen vuodenaikainen jakautuminen

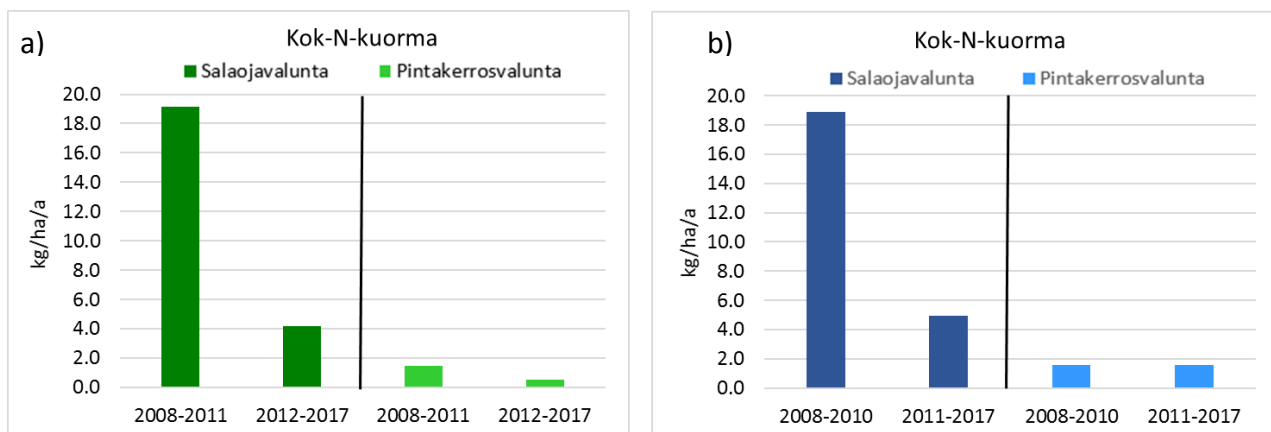
Valtaosa koalueiden ravinne- ja kiintoainekuormituksesta kulkeutui salaojavalunnassa ja pääosa koalueiden salaojavalunnasta muodostui kasvukauden ulkopuolella (kuva 3.5). Vuosina 2008 - 2017 alueella 1 syksyn (syys-joulukuu) osuus (48 – 59 %) huuhtoumista oli talvi-kevät – jaksoa (tammi-huhtikuu, 34 – 47 %) suurempi. Tosin kokonaistypen osalta osuudet olivat lähes yhtä suuret. Kasvukauden (touko-elokuu) osuus oli muuttujasta riippuen 5-10 %. Alueella 2 salaojavalunnan ravinne- ja kiintoainekuormitus painottui hieman aluetta 1 enemmän syksyyn, jonka osuus vaihteli välillä 50 – 62 %. Talvi- ja kevätkuukausien osuus oli 35 – 44 %. Myös alueella 2 kokonaistypen kuormissa syksyn osuus oli pienempi kuin kolmella muulla muuttujalla ja talvi-kevään osuus puolestaan suurin. Kasvukauden (touko-elokuu) osuus alueen 2 salaojahuuhtoumista oli 3-6 %.

Ravinne- ja kiintoainekuormat ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen

Alueella 1 viljanviljelyvuodet olivat 2008–2011 ja nurmiviljelyn 2012–2018. Alue 2 oli viljalla 2008–2010 ja lihakarjan laitumena 2011–2018. Keskimääräiset ravinne- ja kiintoainekuormat ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen on esitetty kuvissa 3.25 – 3.28. Koalueiden salaojavalunnan keskimääräiset kuukausikuormat (kokonaistyyppi, kokonaisfosfori, liukoinen fosfori ja kiintoaine) eri tuotantosuunnilla on esitetty liitteessä 5.

Kokonaistyyppikuormien muutos

Tuotantosuunnan muutos näkyi molempien alueiden kokonaistyyppikuormien selvänä pienemisenä (kuva 3.25). Alueen 1 nurmelta salaojavalunnan vuotuinen tyyppikuorma oli keskimäärin neljäsnes ja pintakerrosvalunnan kolmannes viljanviljelyn kuormasta. Alueen 2 laidunnurmen salaojavalunnan Kok-N-kuorman vähenemä oli samaa tasoa kuin alueella 1, laidunalueen vuosikuormien keskiarvo oli 28 % viljanviljelyn aikaisesta. Pintakerrosvalunnan tyyppikuormissa ero oli pienempi, sillä laitumen Kok-N-kuorma oli keskimäärin 92 % viljanviljelystä. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu Kok-N-kuorma oli alueen 1 viljanviljelyssä keskimäärin $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja nurmiviljelyssä noin $5 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Alueella 2 kokonaistyyppikuorma oli viljavuosina $21 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja laidunvuosina $7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.



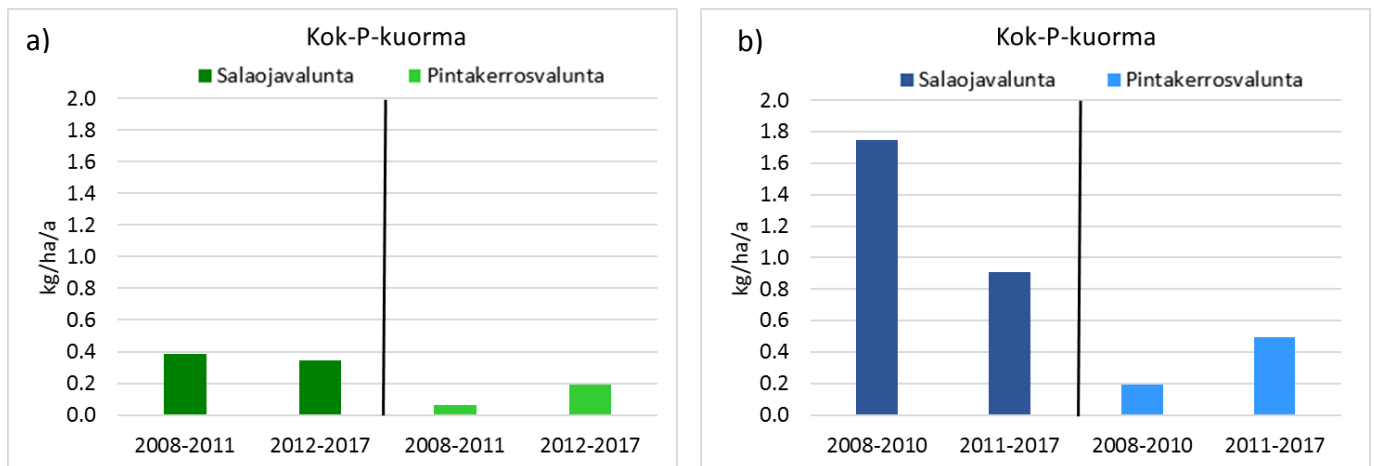
Kuva 3.25. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) kokonaistyyppikuormien keskiarvot ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

Kokonaisfosforikuormien muutos

Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus koealueiden kokonaisfosforikuormiin oli kahdensuuntainen, salaojavalunnan mukana kulkeutuneen fosforin määrä pieneni ja pintakerrosvalunnan mukana tullut kasvoi (kuva 3.26). Alueella 1 tuotantosuunnan muutos näkyi salaojavalunnan Kok-P-kuormissa suhteellisen vähän. Vuosi 2008 oli selvästi tutkimusjakson kuormittavin ($0,9 \text{ kg ha}^{-1}$). Sen jälkeisinä viljanviljelyvuosina (2009–2011) salaojavalunnan kokonaisfosforin vuosikuormat vaihtelivat välillä $0,1 - 0,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja nurmiviljelyn vuosina (2012-2017) välillä $0,2 - 0,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$.

Alueen 1 pintakerrosvalunnan vuosittaiset Kok-P-kuormat olivat viljalla keskimäärin $0,06 \text{ kg ha}^{-1}$ ja viitenä nurmivuonna (2012–2016) $0,10 \text{ kg ha}^{-1}$. Vuosi 2017 erottui pintakerrosvalunnan osalta huomattavan kuormittavana ($0,65 \text{ kg ha}^{-1}$). Alueella 1 salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu kokonaisfosforikuorma oli viljanviljelyssä keskimäärin $0,45 \text{ kg ha}^{-1}$ ja nurmiviljelyssä $0,53 \text{ kg ha}^{-1}$.

Alueella 2 muutokset Kok-P-kuormissa olivat samansuuntaisia kuin alueella 1. Selvästi suurin salaojavalunnan fosforikuorma ($3,9 \text{ kg ha}^{-1}$) muodostui myös alueella 2 vuonna 2008. Sen jälkeisinä viljanviljelyn vuosina fosforia kulkeutui keskimäärin $0,7 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Laidunnusvuosina salaojavalunnan Kok-P-kuorman keskiarvo oli $0,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Pintakerrosvalunnan kokonaisfosforikuorma vaihteli viljalla välillä $0,1 - 0,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja laitumella välillä $0,2 - 0,8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Alueella 2 salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu Kok-P-kuorma oli viljavuosina keskimäärin $1,9 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja laidunvuosina $1,4 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Viljalla keskiarvoa nostaa salaojavalunnan vuoden 2008 poikkeuksellisen suuri huuhtouma.



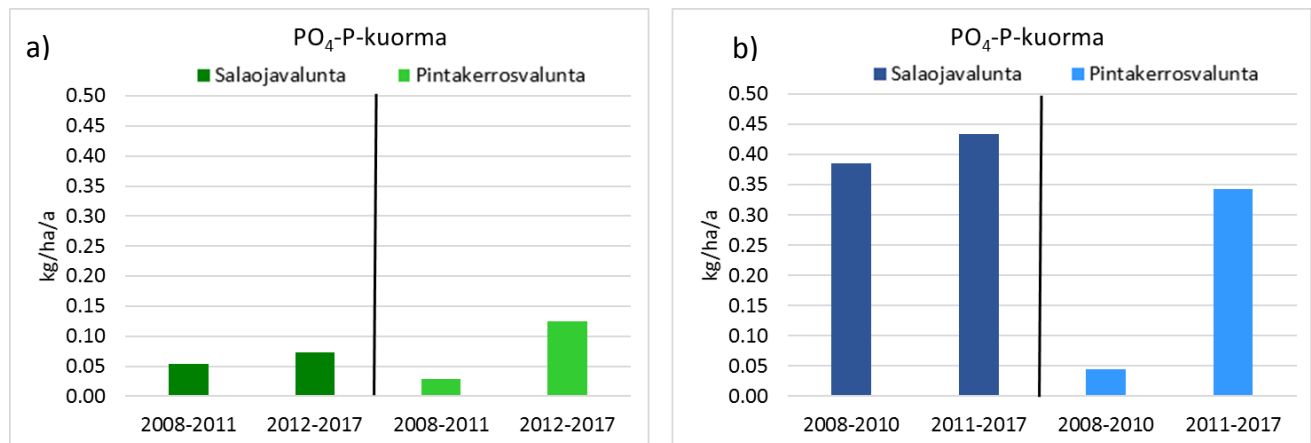
Kuva 3.26. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) kokonaisfosforikuormien keskiarvot ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

Liukoisen fosforin kuormien muutos

Siirtyminen viljanviljelystä nurmiviljelyyn ja laitumeksi lisäsi valuntavesien liukoisen fosfaattifosforin kuormia molempien alueiden salaojavalunnassa ja etenkin pintakerrosvalunnassa (kuva 3.27). Alueella 1 salaojavalunnan mukana tullut $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuorma oli viljanviljelyn vuosina keskimäärin $0,05 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja nurmivuosina $0,07 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Alueen 1 viljavuosina pintakerrosvalunnan $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuorma oli keskimäärin $0,03 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ ja nurmivuosina 2008 – 2016 kuormat vaihtelivat välillä $0,03 - 0,10 \text{ kg ha}^{-1}$. Kuten kokonaisfosforin niin myös liukoisen fosforin osalta vuosi 2017 oli kuormittava.

Alkuvuoden korkeat pitoisuudet ja runsas pintakerrosvalunta vaikuttivat siihen, että vuoden PO₄-P-kuorma oli aikaisempiin vuosiin nähden moninkertainen, 0,47 kg ha⁻¹. Alueella 1 salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu PO₄-P-kuorma oli viljanviljelyn vuosina keskimäärin 0,08 kg ha⁻¹ ja nurmiviljelyssä 0,20 kg ha⁻¹. Liukoisen fosforin osuus vuosittaisesta kokonaisfosforikuormasta (salaojavalunta+pintakerrosvalunta) oli alueelta 1 ennen tuotantosuunnan muutosta 26 % ja sen jälkeen 33 %.

Tuotantosuunnan muutos näkyi alueen 2 PO₄-P-kuormissa samansuuntaisesti kuin alueella 1. Salaojavalunnan mukana kulkeutunut PO₄-P-kuorma vaihteli kolmena viljanviljelyn vuonna välillä 0,2 – 0,7 ha⁻¹ a⁻¹ ja laidunnuksen aikana välillä 0,2 – 0,8 ha⁻¹ a⁻¹ (ka. 0,4 ha⁻¹ a⁻¹). Pintakerrosvalunnan PO₄-P-kuormat olivat viljanviljelyssä kertaluokkaa salaojavaluntaa pienempiä, vaihteluväli 0,01 – 0,08 ha⁻¹ a⁻¹. Pintakerrosvalunnan kohonneet PO₄-P-pitoisuudet nostivat laidunvuosina huhtouneen fosfaattifosforin määrää. Tällöin PO₄-P-kuormat vaihtelivat välillä 0,14 – 0,53 kg ha⁻¹ a⁻¹. Alueella 2 PO₄-P-kokonaiskuorma (s+p) oli viljalla keskimäärin 0,43 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja laitumella 0,78 kg ha⁻¹ a⁻¹. Liukoisen fosforin osuus vuosittaisesta kokonaisfosforin kokonaiskuormasta (s+p) oli viljalla 28 % ja laitumella 56 %.



Kuva 3.27. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) liukoisen fosforin kuormien keskiarvot ennen tuotantosuunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

Kiintoainekuormien muutos

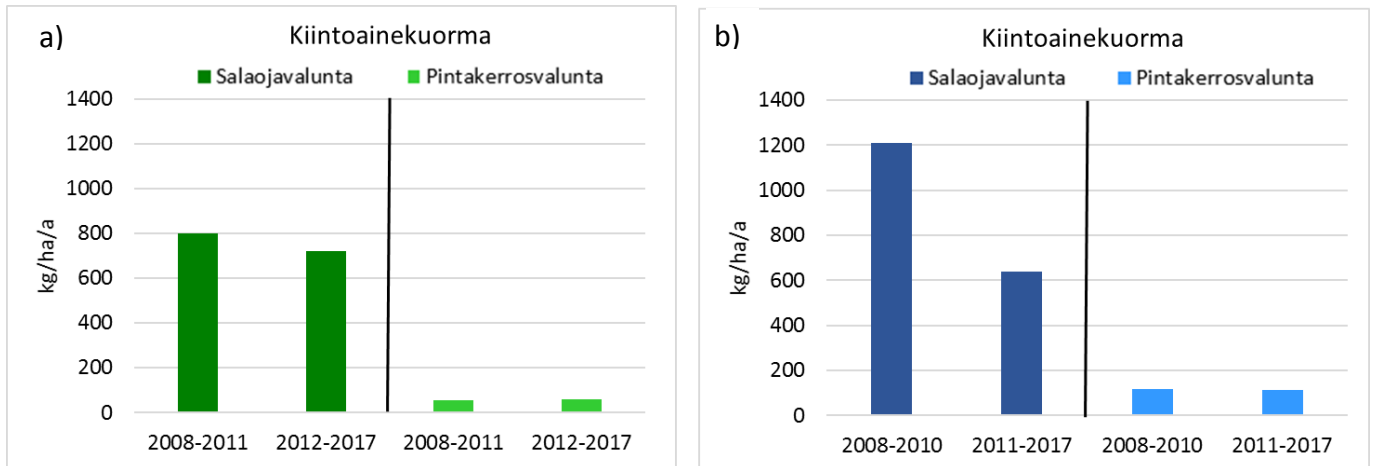
Tuotantosuunnan muutos näkyi koalueiden salaojavalunnan kiintoainekuormien pienemisenä, etenkin alueella 2 (kuva 3.28). Alueella 1 salaojavalunnan suurin vuotuinen kuorma, 1430 kg ha⁻¹, mitattiin vuonna 2008. Sitä seuranneina viljanviljelyvuosina kiintoainekuorma vaihteli välillä 390 – 940 kg ha⁻¹ ja laidunvuosina (2012-2017) vaihteluväli oli 520 – 920 kg ha⁻¹.

Alueen 1 pintakerrosvalunnan keskimääräisissä vuosikuormissa ei viljanviljelyn ja nurmiviljelyn vuosina ollut käytännössä eroa. Viljalla pintakerrosvalunnan kiintoainekuorman vaihteluväli oli 30 – 100 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja nurmella 40 – 90 kg ha⁻¹ a⁻¹. Alueen 1 salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu kiintoainekuorma oli viljanviljelyssä keskimäärin 850 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja nurmiviljelyssä 780 kg ha⁻¹ a⁻¹.

Alueella 2 salaojavalunnan suurin kiintoainekuorma, 2040 kg ha⁻¹ a⁻¹, muodostui vuonna 2008 samoin kuin alueella 1. Kahtena sitä seuranneena viljanviljelyn vuonna salaojien kiintoainekuormat

olivat 470 ja 730 kg ha⁻¹ a⁻¹. Laitumella salaojavalunnan kiintoainekuormien keskiarvo oli 640 kg ha⁻¹ a⁻¹.

Alueella 2 myös pintakerrosvalunnan suurin kiintoainekuorma syntyi vuonna 2008. Tällöin kertynyt kuorma (230 kg ha⁻¹ a⁻¹) oli vuosien 2009-2010 kuormiin, 70 ja 40 kg ha⁻¹ a⁻¹, nähden moninkertainen. Laidunvuosina pintakerrosvalunnan vuotuisten kiintoainekuormien vaihtelu (70 – 170 kg ha⁻¹ a⁻¹) oli pienempää. Alueen 2 salaoja- ja pintakerrosvalunnan yhteenlaskettu kiintoainekuorma oli viljanviljelyssä keskimäärin 1320 kg ha⁻¹ a⁻¹ ja nurmiviljelyssä 750 kg ha⁻¹ a⁻¹. Viljanviljelyn keskikuormaa nostaa vuoden 2008 verrattain suuri kuorma, 2660 kg ha⁻¹.



Kuva 3.28. Alueen 1 (a) ja alueen 2 (b) kiintoainekuormien keskiarvot ennen tuotantosunnan muutosta ja sen jälkeen. Alueella 1 jaksolla 2008-2011 vilja ja jaksolla 2012-2017 nurmi. Alueella 2 jaksolla 2008-2010 vilja ja jaksolla 2011-2017 laidun.

4 Tulosten tarkastelu

Gårdskullan kartanon kahdella peltolohkolla (alueet 1 ja 2) Siuntiossa seurattiin salaoja- ja pintakerrosvaluntavesien määrää ja laatua kymmenen vuoden ajan (2008–2017). Tutkimuksessa tarkasteltiin erityisesti sitä, miten tuotantosuunnan muutos vaikutti valumavesien määrään, pitoisuuksiin sekä ravinne- ja kiintoainehuuhtoumiin. Salaojitettujen peltolohkojen pinta-alat ovat noin 5,7 ha (alue 1) ja 4,7 ha (alue 2). Kirkkojoen molemmin puolin sijaitsevien alueiden maalaji on savea (HeS, HsS ja AS). Selvimmin alueet eroavat toisistaan kaltevuudeltaan, 1 % (alue 1) ja 5 % (alue 2). Ensimmäisinä tutkimusvuosina (2008–2010/2011) molemmilla alueilla viljeltiin syys- ja kevätiljaa tavanomaisia viljelymenetelmiä ja kivennäislannoitteita käyttäen. Vuonna 2011 tutkimusalueilla siirryttiin luomuviljelyyn. Alue 2 on ollut lihakarjan laitumena keväästä 2011 lähtien. Viimeinen viljasato korjattiin alueelta 1 elokuussa 2011, jonka jälkeen se on ollut nurmiviljelyssä. Molemmilla koealueilla nurmet perustettiin suojaviljaan, alueella 2 keväällä 2010 ja alueella 1 keväällä 2011.

Valunta

Koko tutkimusjaksolla (2008–2017) mitatusta kokonaisvalunnasta (salaojavalunta+ pintakerrosvalunta) tuli valtaosa salaojien kautta, myös jyrkemmällä alueella 2. Pintakerrosvalunnan mittauksissa oli kuitenkin puutteita varsinkin kevätulannan aikana, joten mitatut pintakerrosvaluntamäärät jäivät useana vuonna todellisia pienemmiksi. Valuntamittauksiin epävarmuutta aiheutti mahdollisesti myös salaojastojen valuma-alueiden pinta-alat. Alueelle 1 purkautui todennäköisesti pohjavettä sen yläpuoliselta metsäalueelta (Vakkilainen ym. 2008, Turunen ym. 2015 ja 2017).

Vuotuiset valunnat vaihtelivat erittäin paljon pääasiallisesti sateen määrällisestä ja ajallisesta vaihtelusta johtuen. Kokonaisuudessaan valunnan osuus sadannasta (valuntakerroin) oli alueella 1 suurempi kuin alueella 2. Matemaattisella FLUSH-mallilla saatujen tulosten mukaan pohjavesivalunnan osuus oli alueella 1 noin 10 % ja alueella 2 22 % vuotuisesta vesitaseesta (Turunen ym. 2015). Eron pohjavesivalunnan osuudessa oletettiin johtuvan alueiden erilaisista kaltevuuksista, mutta laskentatuloksiin vaikutti myös mallin rakenne, kuten läpäisemättömän kerroksen syvyys maanpinnasta ja sivusuuntaiset reunaehdot.

Alueella 1 salaojavalunnan osuus mitatusta vuotuisesta kokonaisvalunnasta oli sekä viljanviljelyn (2008–2011) että nurmiviljelyn (2012–2017) vuosina noin 90 %. Nurmella valuntakerroin sen sijaan kasvoi. Viljanviljelyn aikaan keskimäärin 49 % sadannasta muodosti valuntaa (s+p) ja nurmiviljelyn vuosina osuus oli 58 %, suhteessa pintakerrosvalunta lisäytyi salaojavaluntaa enemmän. Keskimääräisessä vuosisadannassa ei jaksoilla (2008–2011 ja 2012–2017) ollut eroa. Osaltaan havaittuihin eroihin on voinut vaikuttaa nurmiviljelyyn vuosiin sattuneet pintakerrosvalunnan mittaamisen kannalta suotuisat, vähälumisista talvia seuranneet kevät (2015–2017). Monivuotisella nurmella pintavalunnan osuuden on todettu olleen suurempi kuin viljalla Kotkanojan koekentällä tehdyissä kokeissa Lounais-Suomessa (Turtola ja Jaakkola 1995). Vanhalla (10 vuotta) nurmea kasvavalla suojavyöhykkeellä veden imeytymisen maahan havaittiin olevan heikompaa kuin viereisellä kynöksellä, minkä arveltiin johtuneen suojakaistan huokoston juuristotukkeumista (Pietola ja Yli-Halla 2007).

Alueella 2 salaojavalunnan osuus kokonaisvalunnasta oli viljanviljelyssä (2008-2010) 92 % ja laitumella (2011-2017) 80 %. Pintakerrosvalunnan osuus kasvoi laidunvuosina keskimäärin 12 prosenttiyksikköä viljanviljelyvuosiin verrattuna. Laidunnusvuodet olivat keskimäärin hieman (4 %) sateisempia kuin viljanviljelyn vuodet. Kuinka suuri osa tästä kasvusta johtuu tuotantosuunnan muuttumisesta ja mikä on ollut sää- ja mittausolosuhteiden osuus on vaikea sanoa. Silmämääräisesti tarkasteltuna alueella liikkuneet naudat olivat tiivistäneet pellon pintaa ja niiden kulku-urat muodostivat reittejä pintavirtailulle. Tutkimukset maan ominaisuuksista laidunalueilla ovat osoittaneet, että niiden kantavuus, huokosrakenne ja kyllästyneen maan vedenjohtavuus heikkenivät karjan tallauksen tiivistäessä maata suoraan alaspäin ja hiertäessä sitä kolmiulotteisesti (Pietola ym. 2005, Pietola ja Yli-Halla 2007, Rätty ym. 2010).

Ravinne- ja kiintoainehuuhtoumat

Ravinne- ja kiintoainekuormat vaihtelivat paljon sekä kullakin koealueella että tuotantosuunnalla lähinnä valunnan vaihtelusta johtuen. Sääolosuhteiden suuri vaikutus kuormitukseen on tullut esille myös muissa tutkimuksissa suomalaisilla peltoalueilla (esim. Puustinen ym. 2007, Tattari ym. 2017, Äijö ym. 2018). Valtaosa huuhtoutumista tuli kasvukauden ulkopuolisena aikana, mikä on tyypillistä pohjoisissa ilmasto-oloissa. Suuresta ajallisesta vaihtelusta huolimatta tuotantosuuntien vaikutus huuhtoumiin tuli selvästi esille Gårdskullan peltolohkojen kymmenen vuoden seurantajaksolla, josta viljanviljelyä oli 3–4 vuotta ja nurmiviljelyä tai laidunta 6–7 vuotta.

Pintakerrosvalunnan ravinne- ja kiintoainepitoisuudet (mediaaniarvot) olivat keskimäärin korkeampia kuin salaojavalunnan pitoisuudet molemmilla koealueilla. Suurimmat erot havaittiin Kok-P- ja PO₄-P-pitoisuuksissa. Pienemmistä pitoisuuksista huolimatta suuret salaojavalunnat aiheuttivat sen, että valtaosa ravinne- ja kiintoainekuormituksesta koealueilta kulkeutui Kirkkojokeen salaojien kautta. Pintakerrosvalunnan mukana tuli todellisuudessa kuitenkin mitattua enemmän kuormitusta kevät aikaisten mittausongelmien takia.

Koealueiden 1 ja 2 valumavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksissa oli eroja viljanviljelyn vuosina (2008-2010). Erot johtuivat mm. erilaisista viljelytoimista (viljelykasvi, lannoitus ja muokkaus) ja maaperän viljavuudesta. Alueen 2 sekä salaojavalunnan että pintakerrosvalunnan kokonaisfosforin ja liukoisin fosforin (PO₄-P) pitoisuudet olivat moninkertaisia alueen 1 pitoisuuksiin verrattuna. Kokonaisfosforin kokonaishuuhtouma (s+p) alueelta 2 oli lähes 2 kg ha⁻¹ vuodessa, kun se alueelta 1 oli noin 0,7 kg ha⁻¹. Myös alueen 2 kiintoaineen pitoisuudet ja huuhtoumat olivat suurempi kuin alueen 1 sekä pintakerros- että salaojavalunnan mukana, mikä näkyi suurempana eroosioainekseen sitoutuneen (partikkelimaisen) fosforin huuhtoutumisena. Maan viljavuusfosforin määrä (fosforiluku) tutkimuksen alkaessa syksyllä 2007 oli alueen 1 pintakerroksessa (0-20 cm) 19,6 ja alueen 2 26,7 mg l⁻¹ maata.

Gårdskullan peltoalueilta viljanviljelyvuosina tulleet kokonaistyyppi, kokonaisfosfori- ja kiintoainekuormat olivat samaa suuruusluokkaa kuin muilta savimailta mitatut arvot Etelä-Suomessa (esim. Turtola 2000, Paasonen-Kivekäs ym. 2008, Tattari ym. 2017, Äijö ym. 2018). Suomessa maatalousmaan keskimääräiseksi vuotuiseksi ominaiskuormitusarvoksi on arvioitu 15,5 kg ha⁻¹ kokonaistypelle ja 1,1 kg ha⁻¹ kokonaisfosforille. Arvot on määritetty Suomen ympäristökeskuksen pienten peltovaltaisten valuma-alueiden pitkäaikaisista seurannoista (Tattari ym. 2017). Liukoisin epäorgaanisen fosfaattifosforin (PO₄-P) osuus kokonaisfosforihuuhtoumasta oli Gårdskullassa viljanviljelyvuosina 25-30 %. Vastaavan suuruisia osuuksia on mitattu muiltakin eteläsuomalaisilta savipelloilta ja peltovaltaisilta valuma-alueilta (Turtola 2000, Tattari ym. 2017, Äijö ym. 2018).

Nummelan koekentällä Jokioisissa mitattiin Gårdskullan kartanon tutkimuksen kanssa samanaikaisesti valumavesien määrää ja laatua. Yhdeksän hehtaarin peltoalue on salaojitettu ja sen keskimääräinen kaltevuus on noin 1 %. Ojaväli on vaihdellut välillä 6-32 m. Alueella viljeltiin rehukauraa ja -ohraa kivennäislannoitteita ja lietelantaa käyttäen. Gårdskullan kartanon koealueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuudet (mediaaniarvot) olivat viljanviljelyn vuosina 2008-2010/2011 samaa suuruusluokkaa kuin Nummelassa. Myös kiintoainepitoisuudet olivat samalla tasolla. Kokonaisfosforipitoisuudet olivat alueen 1 salaoja- ja pintakerrosvalunnassa alempia ja alueella 2 samaa suuruusluokkaa kuin Nummelan pellolla. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) pitoisuudet olivat alueen 1 salaoja- ja pintakerrosvalunnassa samaa suuruusluokkaa ja alueella 2 lähes kertaluokkaa suurempia kuin Nummelassa. Gårdskullan kartanon molempien tutkimusalueiden viljanviljelyn vuosien salaojavalunnan keskimääräiset kokonaistyyppi- ja kiintoainekuormat olivat samaa suuruusluokkaa kuin Nummelan koepellolla Jokioisissa. Keskimääräinen kokonaisfosforikuorma Gårdskullan kartanon alueelta 2 oli samaa luokkaa kuin Nummelan koekentältä. Liukoisen fosforin kuorma puolestaan samaa luokkaa kuin alueelta 1. (Äijö ym. 2014, 2018).

Tuotantosuunnan muutos viljalta luomunurmelle (lannoittamaton) näkyi selvästi valumavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksissa ja siten myös peltoalueelta tulleissa huuhtoumissa. Nurmiviljelyn myötä alueen 1 valumavesien Kok-N-, Kok-P- ja kiintoainepitoisuudet (mediaani) laskivat, lukuunottamatta salaojavalunnan Kok-P-pitoisuutta, joka pysyi samalla tasolla kuin viljanviljelyssä. Sen sijaan nurmiviljely nosti $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuksia (mediaani) sekä salaoja- että pintakerrosvalunnassa.

$\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuksien nousu yhdessä lisääntyneen pintakerrosvalunnan kanssa lisäsi $\text{PO}_4\text{-P}$ -kokonaishuuhtouman (salaojavalunta+pintakerrosvalunta) nurmelta noin 2,5-kertaiseksi viljanviljelyyn verrattuna. Vuosi 2017 oli liukoisen fosforin ja pintakerrosvalunnan osalta erityisen kuormittava. Pintakerrosvalunnan $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuorma oli tällöin lähes yhdeksänkertainen edeltäneisiin nurmiviljelyvuosiin (2012-2016) verrattuna, mutta kokonaisfosforin huuhtouma kuitenkin pieni. Pääosa fosforista kulkeutui pellolta tammi-maaliskuun aikana. Liukoisen fosforin osuus vuotuisesta kokonaisfosforin kokonaishuuhtoumasta kasvoi 26 %:sta 33 %:iin siirryttäessä viljanviljelystä nurmiviljelyyn.

Viljapellolle levitettiin fosforilannoitetta keväinä 2007 ja 2009 (10 ja 11 kg ha⁻¹ P), mutta nurmea ei lannoitettu koko tutkimusaikana. Nurmella epäorgaanista fosforia vapautui kasvinjäänteistä ja maasta valumavesiin. Nurmisato korjattiin vain kerran kasvukaudella, joten talvea vasten alueelle 1 jäi runsaasti helposti hajoavaa biomassaa. $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuden nousu, erityisesti keväisin, viljanviljelystä nurmiviljelyyn ja monivuotiseen nurmikesantoon siirryttäessä on näkynyt monissa aiemmissakin tutkimuksissa (esim. Turtola 1992, Turtola ja Jaakkola 1995, Ylivainio ym. 2002). Myös nurmea (kasvustoa ei korjattu pois) tai luonnonkasveja kasvaneiden suojavyöhykkeiden pintavalunnassa on havaittu korkeita $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuksia (Uusi-Kämpä ja Jauhiainen 2010). Kevään korkeiden $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuksien on todettu johtuvan kasvisolukon hajoamisesta jäätymissulamissykliä aikana (Uusi-Kämpä ja Palojarvi 2006). Syksyllä 2013 otetuista maanäytteistä (0-20 cm) määritetyt fosforiluvut olivat laskeneet kahdessa kohdassa kolmesta syksyyn 2007 verrattuna. Alueen 1 keskimääräinen fosforiluku oli 10,8 mg l⁻¹, eli vähenemä oli 45 %.

Alueen 1 konaistypen kokonaiskuorma (salaojavalunta+pintakerrosvalunta) pieni selvästi toisesta nurmiviljelyvuodesta (2013) lähtien. Kok-N-kuorma (4,5 kg ha⁻¹ a⁻¹) oli nurmelta keskimäärin vain neljännes viljanviljelyn kuormasta. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan keskimääräiset kokonaistyyppipitoisuudet (mediaani) olivat nurmella noin 1 mg l⁻¹, kun viljalla vastaavat pitoisuudet olivat 4,5 ja 5,9 mg l⁻¹. Osaltaan tätä selittää lannoituksen loppuminen. Viljalla käytettiin

typpilannoitetta (2009 – 2011) noin $130 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$, mutta luomunurmea ei lannoitettu, vaan kasvusto hyödynsi pelkästään maaperän luontaisia typpivaroja. Nurmea ei myöskään muokattu koko tutkimusjakson aikana, mikä vähensi huuhtoumisalttiin mineraalityypen vapautumista maaperästä. Toisaalta sato korjattiin vain kerran kasvukaudessa, jolloin maahan jäi paljon kasviainesta talvea vasten. Turtola (1992) havaitsi, että kesantonurmelta (savimaa) tyypeä huuhtoutui puolet vähemmän kuin ohraa viljeltäessä. Gårdskullan nurmilohkon kokonaistyyppihuuhtouma oli samaa suuruusluokkaa kuin nurmikesannolla.

Gårdskullan suhteellisen tasaisella peltolohkolla nurmipeite ei juurikaan vähentänyt kiintoaineen kulkeutumista valumavesien mukana verrattuna kynnettyyn tai kevytmuokattuun viljapeltoon. Nurmelta salaojavalunnan mukana kulkeutui noin 10 % vähemmän kiintoainesta kuin viljalta, mikä oli lähes sama kuin salaojaveden kiintoainepitoisuuden keskimääräinen vähenemä. Pintakerrosvalunnan keskimääräinen kiintoainepitoisuus nurmella pieneni runsaan neljänneksen viljaan verrattuna, mutta kuormissa ei käytännössä ollut eroja nurmen suuremmasta pintakerrosvalunnasta johtuen.

Tuotantosuunnan vaihtuminen viljanviljelystä luonnonmukaisen lihakarjan laitumeksi (alue 2) pienensi selvästi valumavesien kokonaistyyppi- ja kiintoainepitoisuuksia ja toisaalta nosti huomattavasti pintakerrosvalunnan $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuksia samoin kuin siirtyminen viljalta nurmiviljelyyn (alue 1). Nurmiviljelystä poiketen laidunnurmella myös kokonaisfosforin pitoisuus pintakerrosvalunnassa nousi. Laiduntaminen ei muuttanut salaojavalunnan keskimääräistä $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuutta viljaan verrattuna, mutta sen kokonaisfosforipitoisuus väheni noin kolmanneksen. Laidunnurmelta salaojavesissä kulkeutui vähemmän partikkelimaista fosforia, sillä kokonaisfosforin pitoisuus väheni keskimäärin samassa suhteessa kuin kiintoaineen pitoisuus. Laitumella pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuus väheni noin puoleen viljanviljelystä, mutta kokonaisfosforin pitoisuus sitä vastoin kasvoi yli kolminkertaiseksi $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuden kasvusta myötä.

Alueen 2 pintavalunnan $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuutta kasvatti erityisesti laiduntavan karjan sonnan ja virtsan fosfori, jonka määräksi arvioitiin karkeasti $6\text{-}12 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (Ympäristöministeriö 2010), ja osaltaan myös monivuotinen nurmikasvusto kuten alueella 1. Lannan fosforimäärä oli samaa suuruusluokkaa kuin viljan fosforilannoitteen keväällä 2008 ($14 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$) ja keväällä 2010 ($8 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}$). Alueen 2 pintakerroksen (0-20 cm) keskimääräinen fosforiluku syksyn 2013 näytteissä oli $14,6 \text{ mg l}^{-1}$ maata, eli vähennystä syksystä 2007 oli 45 % samoin kuin alueella 1. Maan ohuen pintakerroksen fosforimäärä oli oletettavasti kuitenkin kasvanut, sillä laidunalueilla fosforin on todettu kertyvän vain muutaman senttimetrin paksuiseen pintakerrokseen (Saarijärvi ym. 2006, Virkajärvi ja Uusi-Kämpä 2006, Pietola ja Yli-Halla 2007).

Liukoisen fosforin ($\text{PO}_4\text{-P}$) kokonaishuuhtouma (s+p) laidunalueelta kasvoi viljanviljelyyn verrattuna 80 % johtuen sekä pintakerrosvalunnan että sen $\text{PO}_4\text{-P}$ -pitoisuuden kasvusta. Pintavalunnan $\text{PO}_4\text{-P}$ -kuorma kasvoi 150 %. Kasvaneesta $\text{PO}_4\text{-P}$:n kuormituksesta huolimatta laitumelta tullut Kok-P:n kokonaiskuorma (s+p) väheni noin 30 % viljanviljelystä. Vähenemä johtui salaojavalunnan Kok-P-pitoisuuden laskusta. Fosforin vuosittaisesta kokonaiskuormasta $\text{PO}_4\text{-P}$ muodosti laitumella 56 %, kun se viljalla oli puolet vähemmän. Laidunnusvuosina $\text{PO}_4\text{-P}$:n osuus salaojavalunnan kok-P kuormasta oli 48 % ja pintakerrosvalunnan 71 %.

Alueella 2 muutos viljanviljelystä laidunalueeksi vähensi kokonaistyyppihuuhtoumaa (s+p) noin 70 % valumavesien pitoisuuksien laskun myötä. Pintakerrosvalunta muodosti tyypin vuosittaisesta kokonaiskuormasta (s+p) laitumella 25 %, joka oli noin 15 prosenttiyksikköä enemmän kuin viljalla. Laidunalueella ei käytetty lannoitteita eikä muokkausta, mikä vähensi huuhtoutumisalttiin

mineraalityypen määrää maassa samoin kuin alueen 1 nurmella. Alueen 2 viljakasveille käytettiin typpilannoitetta vuosina 2008–2010 keskimäärin $130 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$. Laidunaikana typpeä tuli kuitenkin pintamaahan karjan sonnan ja virtsan mukana arviolta $45\text{--}90 \text{ kg ha}^{-1}$ (Ympäristöministeriö 2010). Osa lannan sisältämästä tpeestä haihtui oletettavasti ilmakehään pääasiassa ammoniakkinä (Saarijärvi ym. 2006).

Kiintoaineen vuotuinen kokonaiskuorma (s+p) väheni laidunalueella keskimäärin noin 40 % viljanviljelystä eli selvästi enemmän kuin nurmiviljelyssä. Vähenemä johtui pääosin salaojavalunnan mukana tulleen kuorman vähenemisestä. Laitumella salaojavalunnan kiintoainepitoisuudet pienenevät noin puoleen viljanviljelystä ja valunta pysyi melko samana. Vastaavasti myös pintakerrosvalunnan pitoisuudet vähenivät noin kolmanneksen, mutta valuntamäärän kasvu johti siihen, että kiintoainetta kulkeutui laitumelta lähes sama määrä kuin viljapelloilta.

5 Johtopäätökset

Kymmenen vuoden seuranta kahdella salaojitetulla peltolohkolla osoitti, että peltoalueen tuotantosuunnalla (vilja, nurmi ja laidun) oli vaikutusta sieltä tulevaan kokonaisvaluntaan ja valuntareitteihin sekä erityisesti valumavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksiin ja siten kuormitukseen.

Valtaosa mitatusta valunnasta savimaassa purkautui salaojien kautta sekä suhteellisen loivalta (kaltevuus 1 %) että jyrkältä (kaltevuus 5 %) lohkolta kaikilla tuotantosuunnilla. Siirtyminen nurmiviljelyyn lisäsi sekä salaojavalunnan että pintakerrosvalunnan osuutta sadannasta. Laidunnurmilohkolla pintakerrosvalunnan osuus sadannasta ja kokonaisvalunnasta kasvoi.

Muutos tavanomaisesta viljanviljelystä luonnonmukaisesti viljellylle monivuotiselle nurmelle (ei lannoitusta eikä muokkausta) näkyi selvimmin kokonaistypen huuhtouman vähenemisenä ja liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin huuhtouman kasvuna. Kiintoainehuuhtoumissa oli nähtävissä lievää laskua. Kokonaisfosforin huuhtoutuminen pysyi lähes ennallaan.

Muutos viljanviljelystä luonnonmukaiseen lihakarjan laidunnukseen vaikutti ainepitoisuuksiin ja -kuormiin samansuuntaisesti kuin siirtyminen nurmiviljelyyn. Laidunalueella kokonaistypen huuhtoumat vähenivät huomattavasti ja myös kiintoainehuuhtoumat pienivät. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin huuhtouma pintakerrosvalunnassa kasvoi suhteellisesti nurmiviljelyä enemmän. Liukoisen fosforin osuus kokonaisfosforihuuhtoumasta lisääntyi selvästi. Kokonaisfosforihuuhtouma oli kuitenkin pienempi kuin viljanviljelyssä, jossa kiintoaineeseen sitoutunut fosfori muodosti valtaosan kokonaisfosforikuormasta.

Peltolohkotasolla ja erilaisina hydrologisina vuosina tehdyt mittaukset osoittivat selvästi, että siirtyminen nurmen viljelyyn ja laidunnukseen lisäsi liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin huuhtoumia. Tulokset tukevat aiempien tutkimusten tuloksia. Tutkimus jatkuu, jotta saadaan kattavampaa tietoa nurmiviljelyn ja laidunnuksen toimenpiteiden, esim. nurmen uusimisen, vaikutuksista vesistökuormitukseen sekä typen kaasumaisista häviöistä ja ravinnetaseista.

Kirjallisuusviitteet

- Huttunen, I., Huttunen, M., Piirainen, V., Korppoo, M., Lepistö, A., Räike, A., Tattari, S., Vehviläinen, B., 2016. A national scale nutrient loading model for Finnish watersheds – VEMALA. *Environmental Modelling and Assessment* 21(1), 83–109.
- Liljendahl, A. 2017. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto 2013-2016. Länsi-Uudenmaan Vesi ja Ympäristö Oy. Julkaisu 282/2017. 33 s.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1979. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1978. *Tutkimusjulkaisu* 5:1979.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1980. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1979. *Tutkimusjulkaisu* 8:1980.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1981. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1980. *Tutkimusjulkaisu* 13:1981.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1982. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1981. *Tutkimusjulkaisu* 19:1982.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1983. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1982. *Tutkimusjulkaisu* 25:1983.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1984. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1983. *Tutkimusjulkaisu* 35:1984.
- Länsi-Uudenmaan vesiensuojeluyhdistys ry. 1985. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto vuodelta 1984. *Tutkimusjulkaisu* 44:1985.
- Maasilta, A., Pekkarinen, M., Tuononen, E., Vakkilainen, P. 1980. Ainehuuhtoutumista pelto- ja metsävaltaisella valuma-alueella Siuntionjoen vesistössä. Teknillinen korkeakoulu, vesiteknikan laitos. 36 s.
- Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Vakkilainen, P. 2007. Siuntion Kirkkojoen veden laadun seurantatutkimus 2005. Teknillinen korkeakoulu. Vesitalouden ja vesirakennuksen laboratorio. 48 s.
- Paasonen-Kivekäs, M., Vakkilainen, P., Karvonen, T. 2008. Salaojitus ja savipeltojen ravinnekuormitus. *Vesitalous* 4: 20-23.
- Pekkarinen, M. 1979. Ravinteiden huuhtoutuminen Siuntionjoen vesistöalueella. Diplomityö. Teknillinen korkeakoulu. 225 s.
- Pietola, L., Horn, R., Yli-Halla, M. 2005. Effects of trampling by cattle on the hydraulic and mechanical properties of soil. *Soil & Tillage Research*, 82, 99-108.
- Pietola, L., Yli-Halla, M. 2007. Laiduntamisen ja suojavyöhykkeiden vaikutukset pintamaan rakenteeseen ja vesitalouteen. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 27. 18 s.
- Puustinen M., Tattari S., Koskiahho J., Linjama J. 2007. Influence of seasonal and annual hydrological variations on erosion and phosphorus transport from arable areas in Finland. *Soil and Tillage Research* 93: 44-55.
- Räty, M., Horn, R., Rasa, K., Yli-Halla, M., Pietola, L. 2010. Compressive behaviour of the soil in buffer zones under different management practices in Finland. *Agricultural and Food Science*, 19, 160-172.

- Saarijärvi, K., Karppinen, M., Uusi-Kämppe, J., Turtola, E. & Virkajärvi, P. 2006. Laitumen fosforitalous ja vesistökuormituksen hallinta. Julkaisussa: Alakukku, L. (toim.). Maaperä prosessit - pellon kunnan ja ympäristönhoidon perusta. MMM:n maaperätutkimusohjelman loppuraportti. Maa- ja elintarviketalous 82. 23-36.
- Saarijärvi, K., Mattila, P., Virkajärvi, P. 2006. Laitumen ammoniakkipäästöt. Julkaisussa: Virkajärvi, P., Uusi-Kämppe, J. (toim.) 2006. Laitumien ja suojavyyhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. 75-86.
- Seppälä, I. 2017. Fosforin huuhtoutuminen tuotantos suunniltaan erilaisilta peltoalueilta. Kandidaatintyö. Aalto-yliopisto. Insinööritieteiden korkeakoulu. 27 s.
- Tattari, S., Koskiaho, J., Kosonen, M., Lepistö, A., Linjama, J., Puustinen, M. 2017. Nutrient loads from agricultural and forested areas in Finland from 1981 up to 2010 – can efficiency of undertaken water protection measures seen? *Environmental Monitoring Assessment*, 189:95.
- Teknillinen korkeakoulu. 1974. Siuntionjoen vesistön veden laatu vuosina 1962...1974. Alustava selvitys. Vesitalouden laboratorio. Teknillinen korkeakoulu. 1977. Siuntionjoen vesistö. Analyysitulokset 1976. Vesitalouden laboratorio.
- Turunen, M. 2017. Assessing water and sediment balances in clayey agricultural fields in high-latitude conditions. Doctoral Dissertations 67/2017. Aalto University, School of Engineering, Department of Built Environment, Water and Environmental Engineering. 98 s.
- Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M., Nurminen, J., Alakukku, L., Mylly, M., Koivusalo, H. 2015. Effects of terrain slope on long-term and seasonal water balances in clayey, subsurface drained agricultural fields in high latitude conditions. *Agricultural Water Management* 150, 139–151.
- Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, H., Koivusalo, H., 2017. Computational assessment of sediment balance and suspended sediment transport pathways in subsurface drained clayey soils. *Soil and Tillage Research*, 174: 58–69.
- Turtola, E. 1992. Kesannointimenetelmän vaikutus typen ja fosforin huuhtoutumiseen. Julkaisussa: Rekolainen, S., Kauppi, L. (toim.). Maatalous ja vesien kuormitus. Yhteistutkimusprojektin tutkimusraportit. Vesi- ja ympäristöhallituksen monistesarja Nro 359: 135-145.
- Turtola E. 2000. Ojitus, muokkaus ja lannoitus ratkaisevia fosforikuormitukselle. Salaojakeskus ry. Jäsenjulkaisu 1/2000: 14-21.
- Turtola, E., Jaakkola, A., 1995. Loss of phosphorus by surface runoff and leaching from a heavy clay soil under barley and grass ley in Finland. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B—Soil and Plant Science*, 45: 159-165.
- Uusi-Kämppe, J., Jauhiainen, L. 2010. Long-term monitoring of buffer zone efficiency under different cultivation techniques in boreal conditions. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 127, 75-85.
- Uusi-Kämppe, J., Palojärvi, A. 2006. Suojakaistojen tehokkuus kevätiljamaalla ja laitumella. Julkaisussa: Virkajärvi, P., Uusi-Kämppe, J. (toim.) 2006. Laitumien ja suojavyyhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. ss. 101-137.
- Vakkilainen, P., Alakukku, L., Mylly, M., Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Puustinen, M., Äijö, H. 2008. Pellon vesitalouden optimointi. Väli raportti 2008. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 29. 100 s.

- Vakkilainen, P., Alakukku, L., Mylly, 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.
- Valjus, J. 2012. Siuntionjoen vesistön yhteistarkkailun yhteenveto. Laaja tarkkailuvuosi 2011. Länsi-Uudenmaan Vesi ja Ympäristö ry. Julkaisu 233/2012. 90 s.
- Vento, T. 2008. Siuntion Kirkkojoen ravinnekuormitus. Kandidaatintyö. Teknillinen korkeakoulu. 50 s.
- Virkajärvi, P., Uusi-Kämpä, J. (toim.) 2006. Laitumien ja suojavyöhykkeiden ravinnekierto ja ympäristökuormitus. Maa- ja elintarviketalous 76. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus MTT. 208 s.
- Ylivainio K., Esala M., Turtola E. 2002. Luonnonmukaisen ja tavanomaisen viljelyn typpi- ja fosforihuuhtoumat, Jokioinen. Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus. Maa- ja elintarviketalous 12. 74 s.
- Ympäristöministeriö 2010. Kotieläintalouden ympäristönsuojeluohje. Ympäristöhallinnon ohjeita 1/2010. Helsinki. 112 s.
- Äijö, H., Mylly, M., Nurminen, J., Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M., Korpelainen, E., Salo, H., Sikkilä, M., Alakukku, L., Koivusalo, H., Puustinen, M. 2014. Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2014. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 31. 126 s.
- Äijö, H., Mylly, M., Sikkilä, M., Salo, H., Nurminen, J., Häggblom, O., Turunen, M., Paasonen-Kivekäs, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Alakukku, L., Puustinen, M. 2017. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA). Loppuraportti 2017. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32. 109 s.

Liitteet

Liite 1. Alueiden 1 ja 2 viljelytoimenpiteet vuosina 2007 – 2017.

Liite 2. Alueilta 1 ja 2 mitatut vedenpidätysominaisuudet sekä niihin sovitettut vedenpidätyskäyrät.

Liite 3. Alueiden 1 ja 2 kumulatiiviset sadannat sekä salaoja- ja pintakerrosvalunnat 2008 – 2017.

Liite 4. Pohjavedenpinnan syvyydet alueilla 1 ja 2 vuosina 2008 – 2017.

Liite 5. Alueiden 1 ja 2 salaojavaluntojen kuukausittaiset ravinne- ja kiintoainekuormat.

Liite 1. Alueiden 1 ja 2 viljelytoimenpiteet vuosina 2007 – 2017.

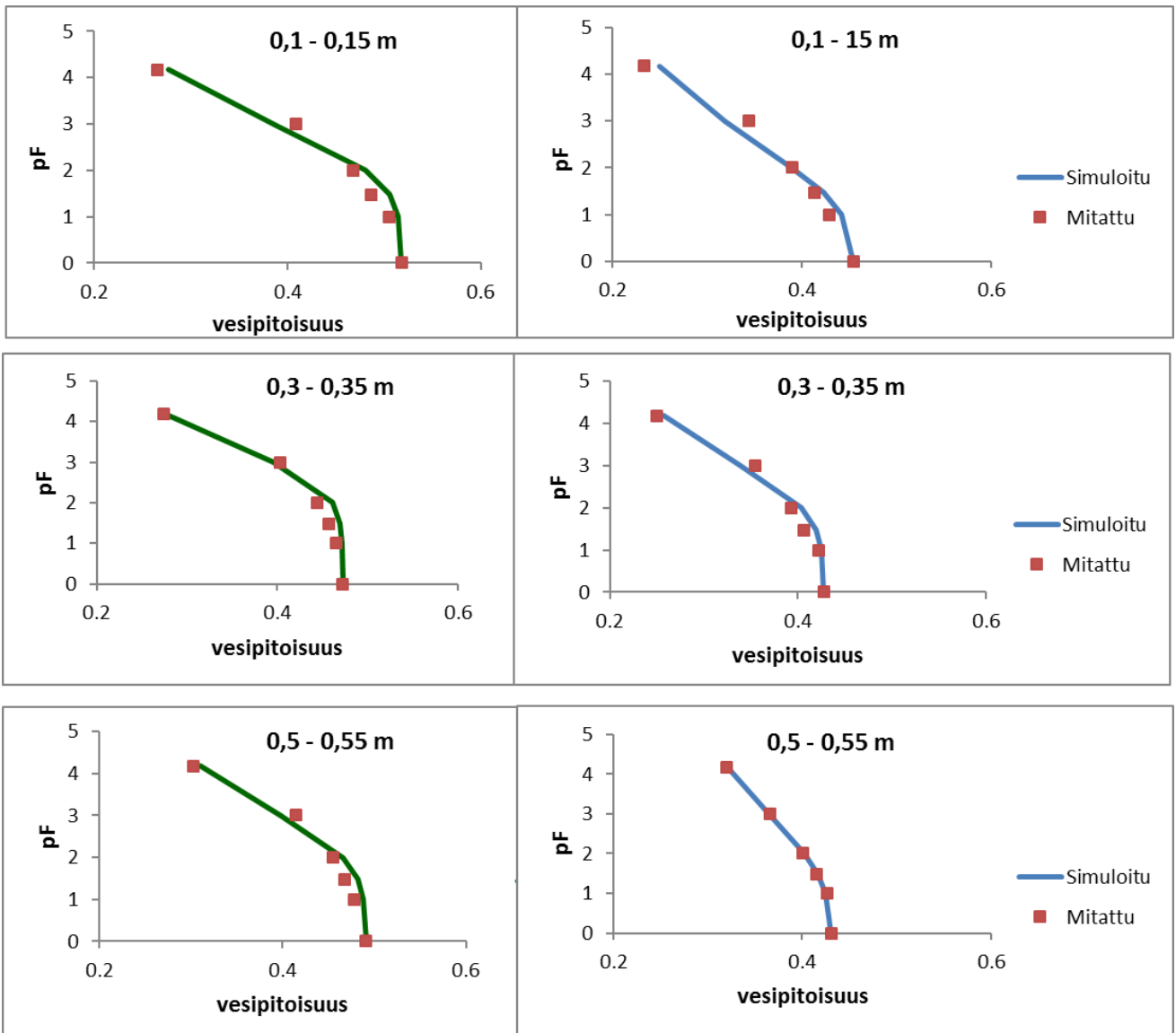
Alue 1

	2007	2008	2009	2010	2011	Vuodet 2012 - 2017
Kevätmuokkaus			Äestys 27.4.2009			
Kevätkylvö	Kevätvehnä 16.5.2007		Mallasohra 28.4.2009		Kevätvehnä, (nurmi suojaviljaan) 3.5.2011	Nurmi (ei muokkausta)
Kevätlannoitus	130 kg/ha N, 10 kg/ha P, 15 kg/ha K, 16.5.2007	SS, 135 kg/ha N, 21.4.2008	80 kg/ha N, 6 kg/ha P, 9 kg/ha K, kylvön yhteydessä 28.4.2009	110 kg/ha N, 5.5.2010	135 kg/ha N	
Torjunta- ainekäsittely	2.6.2007 ja 26.6.2007	9.5.2008 ja 26.6.2008	16.6.2009	21.5.2010 ja 23.6.2010	6.6.2011 ja 30.6.2011	
Puinti		12.8.2008	21.8.2009	11.8.2010	18.8.	Heinä-elokuu
Syysmuokkaus		Kyntö loka- marraskuun vaihteessa	Kevyt muokkaus	Kevyt- muokkaus 19.8.2010	Ei muokkausta	Ei muokkausta
Syyskylvö	Syysvehnä		Syysvehnä 13.9.2009	Syysvehnä 31.8.2010		
Syyslannoitus			50 kg/ha N ja 5 kg/ha P, kylvön yhteydessä 13.9.2009	Ei lannoitusta		

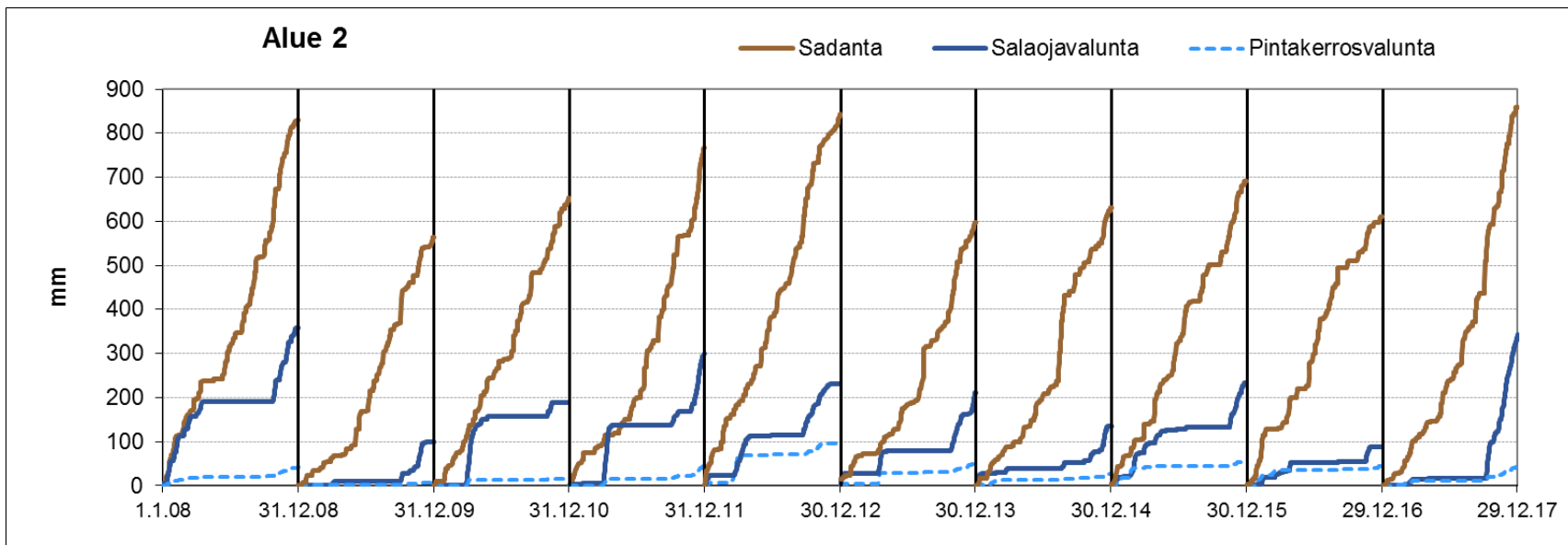
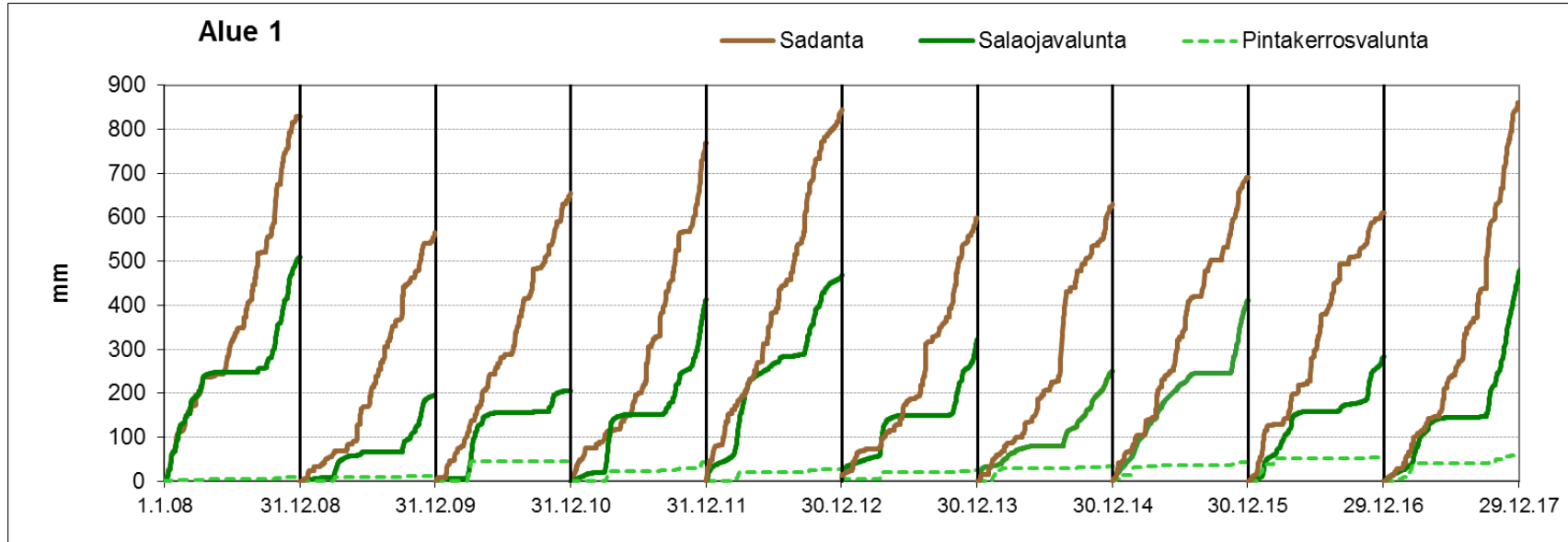
Alue 2

	2007	2008	2009	2010	Vuodet 2011 - 2013	Vuodet 2014 - 2017
Kevätmuokkaus				Äestys 11.5.2010		
Kevätkylvö				Mallasohra+ nurmi 12.5.2010	Laidun, 30 nautaa ja sonni	Laidun, 30 lehmää +30 vasikkaa ja sonni
Kevätlannoitus	SS, 143 kg/ha N, 10.4.2007	SS, 135 kg/ha N, 21.4.2008	SS: 100 kg/ha N 22.4.2009 ja 50 kg/ha N 18.6.2009	NPK 80-8-6 kg/ha		
Torjunta- ainekäsittely	12.4.2007 ja 7.6.2007	9.5.2008 ja 26.6.2008	26.5.2009 ja 27.6.2009	16.6.2010		
Puinti		14.8.2008	19.8.2009	12.8.2010		
Syysmuokkaus		Kyntö 20.8.2008	Kyntö 15.9.2009	Ei muokkausta	Ei muokkausta	Ei muokkausta
Syyskylvö	Syysvehnä	Syysvehnä 29.8.2008				
Syyslannoitus		30 kg/ha N, 14 kg/ha P, kylvön yhteydessä 29.8.2008				

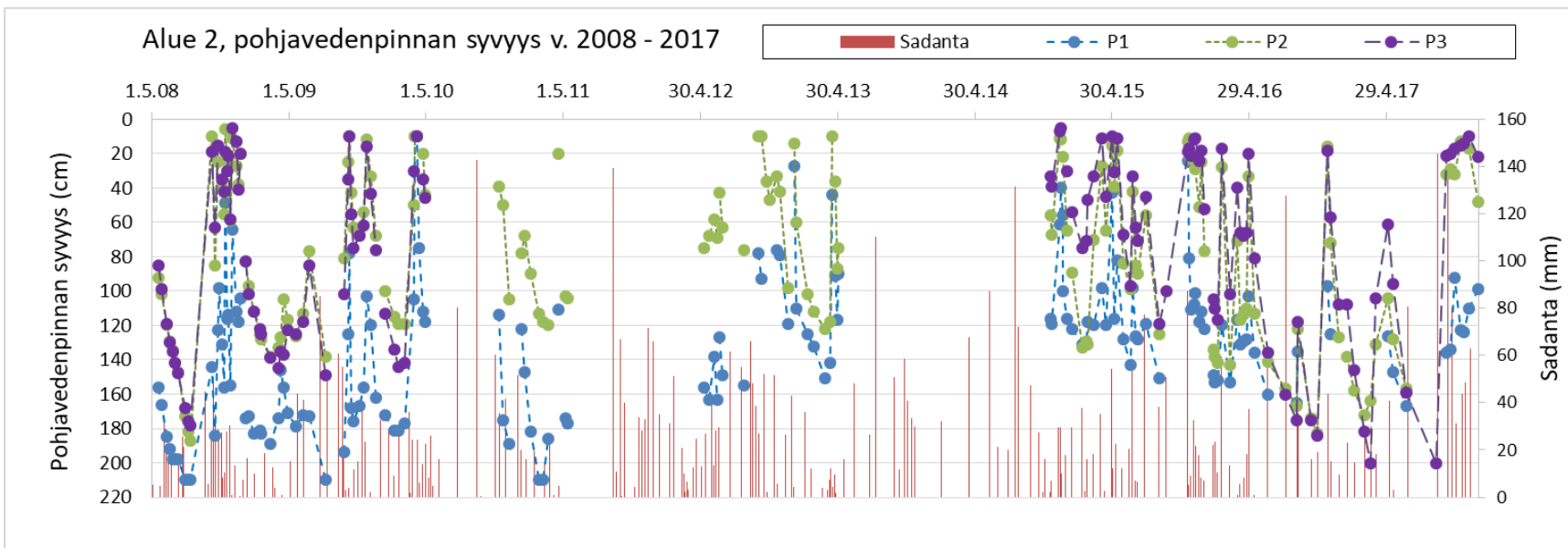
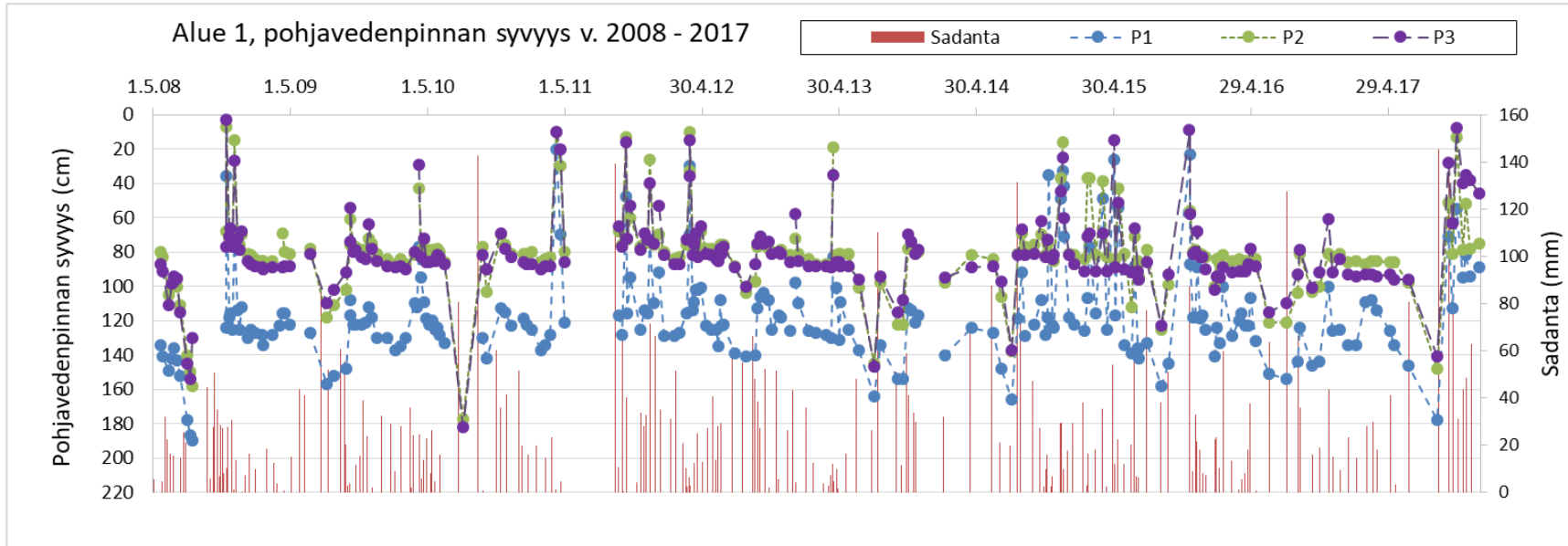
Liite 2. Alueilta 1 ja 2 mitatut vedenpidätysominaisuudet sekä niihin sovitetut vedenpidätyskäyrät.



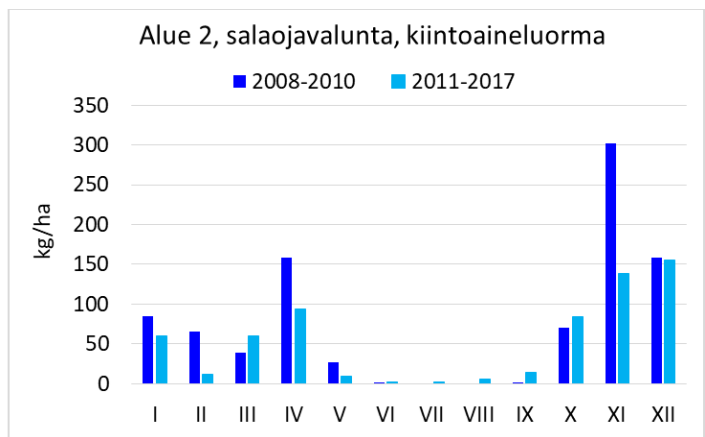
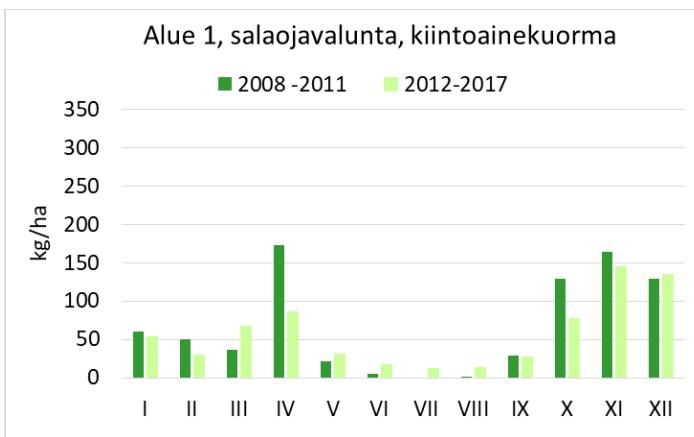
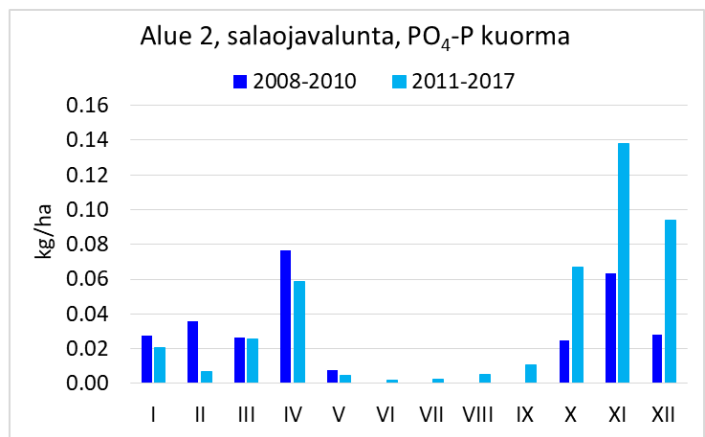
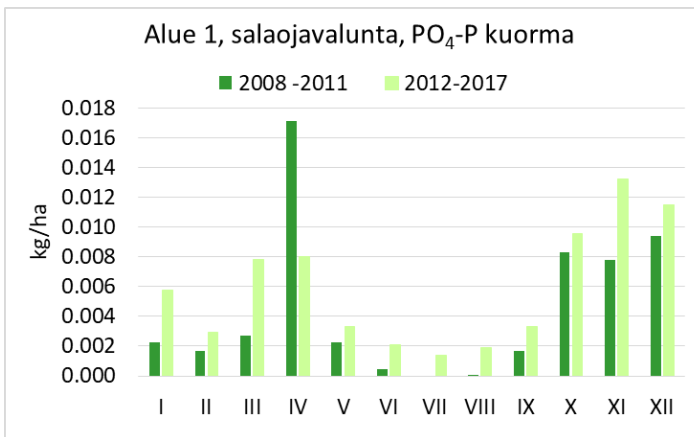
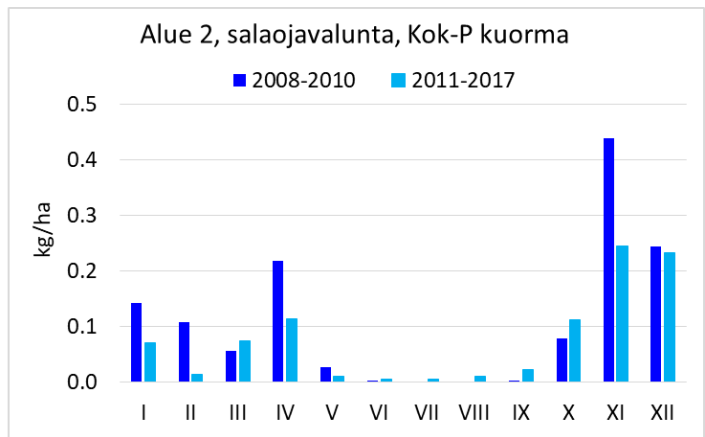
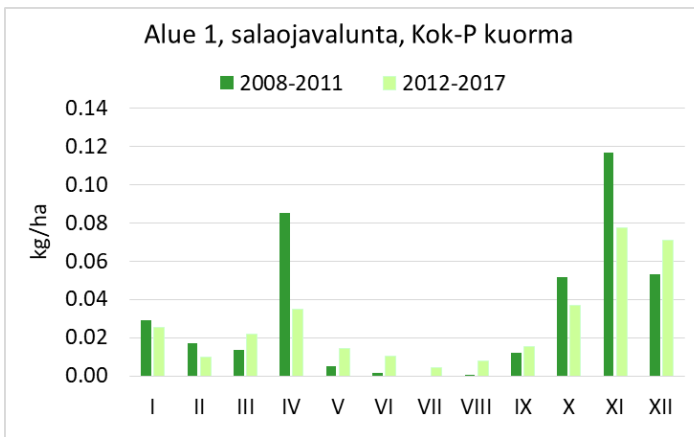
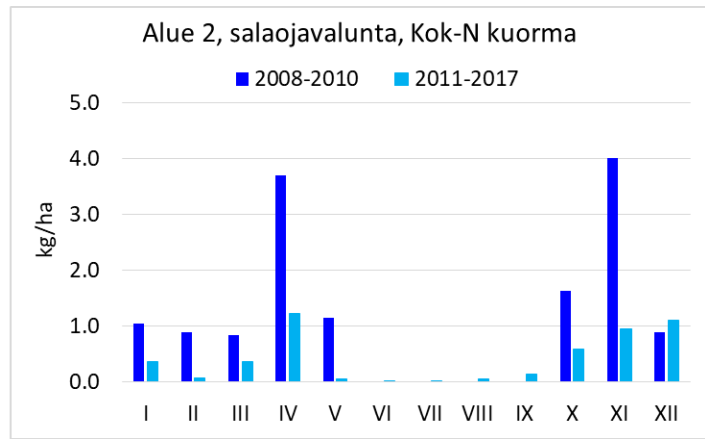
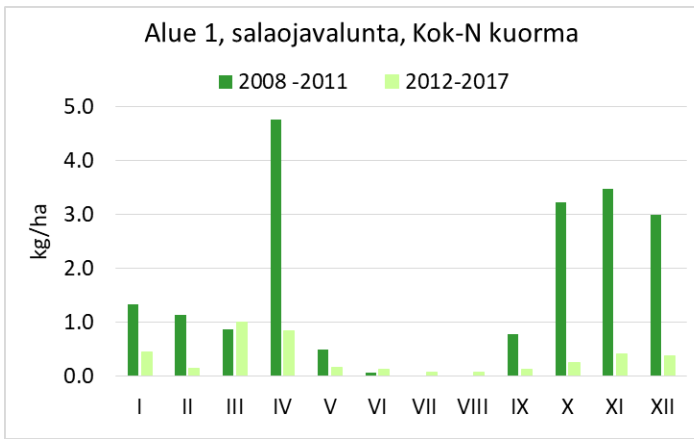
Liite 3. Alueiden 1 ja 2 kumulatiiviset sadannat sekä salaoja- ja pintakerrosvalunnat 2008 – 2017.



Liite 4. Pohjavedenpinnan syvyydet alueilla 1 ja 2 vuosina 2008 – 2017.



Liite 5. Alueiden 1 ja 2 salaojavaluntujen kuukausittaiset ravinne- ja kiintoainekuormat.



Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojitustutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoe-toiminnasta 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 Salaojituskäytännön näkymiä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
- 14 Myyräojituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo-koekentän tuloksia (1992)
- 16 Säättösalaojitus-koekenttien perustaminen (1992)
- 17 Turvemaiden salaojituksesta ja suoto-ojituksesta (1992)
- 18 Säättösalaojitus-tutkimustuloksia vuosilta 1992–1993 (1993)
- 19 Agriculture sector reform in the Baltic republics (1995)
- 20 Maatalouden kehitysnäkymät Baltian maissa lähivuosina (1995)
- 21 Säättösalaojituksen, 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 vuoden 2003 tilanteeseen (2004)
- 27 Laiduntamisen ja suojaväyhykkeiden 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. Salaojitusmenetelmät ja pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2014
- 32 Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA). Loppuraportti 2017
- 33 Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA). Jatkoraportti 2018
- 34 Tuotantosuunnan muutoksen vaikutus savipelloilta tulevaan ravinne- ja kiintoainekuormaan- Gårdskullan kartanon mittaustulokset 2008–2017

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

ISBN 978-952-5345-42-1