

Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA) Jatkohanke

Helena Äijö, Jyrki Nurminen, Merja Myllys, Markus Sikkilä,
Heidi Salo, Maija Paasonen-Kivekäs, Mika Turunen, Harri Koivusalo,
Laura Alakukku ja Markku Puustinen



Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA)

Jatkohankkeen raportti 2018

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 33

Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA)

Jatkohankkeen raportti 2018

Helena Äijö, Jyrki Nurminen, Merja Myllys, Markus Sikkilä, Heidi Salo,
Maija Paasonen-Kivekäs, Mika Turunen, Harri Koivusalo,
Laura Alakukku ja Markku Puustinen

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

Simonkatu 12 A 11

00100 Helsinki

puh. (09) 694 2100

Päätoimittaja Helena Äijö

Etukansi Pohjavesiputkien asennusta Sievin koekentällä

Web www.salaojayhdistys.fi/julkaisut

ISBN 978-952-5345-41-4

Sisällysluettelo

Esipuhe.....	5
Tiivistelmä.....	6
Referat.....	7
Abstract.....	8
1 Johdanto.....	9
1.1 Tausta.....	9
1.2 Tavoitteet.....	9
2 Koekentät, mittaukset ja menetelmät.....	10
2.1 Nummelan koekenttä.....	10
2.2 Sievin koekenttä.....	10
2.3 Sievin pohjavesiaineiston tilastollinen tarkastelu.....	11
3 Tulokset.....	12
3.1 Täydennysojituksen vaikutukset Nummelan koekentällä.....	12
3.1.1 Sadanta.....	12
3.1.2 Pohjavedenpinnan syvyys ja maan kosteus.....	13
3.1.3 Valunta.....	14
3.1.4 Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet sekä ainekuormat.....	17
3.1.5 Sato.....	26
3.1.6 Nummelan koekentän tulosten tarkastelu.....	29
3.2 Eri salaojakonetyypeillä tehtyjen ojitusten toimivuus Sievin koekentällä.....	29
3.2.3 Pohjavedenpinnan syvyys koekentällä.....	29
3.2.4 Pohjavedenpinnan syvyydet eri etäisyyksillä salaojasta.....	29
3.2.5 Pohjavedenpinnan syvyydet eri kaivumenetelmien ojituksissa.....	31
3.2.6 Salaojavalunnat.....	32
3.2.7 Sato.....	33
3.2.8 Sievin koekentän tulosten tarkastelu.....	34
3.3 Sievin pohjavesiaineiston tilastollisen tarkastelun tulokset.....	35
4 Johtopäätökset.....	40
Kirjallisuusviitteet.....	41
Liite 1.....	42
Liite 2.....	43
Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet.....	44

Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA)

Jatkohankkeen raportti 2018

Esipuhe

”Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa” (TOSKA) -hankkeen (2014–2016) loppuraportissa (Äijö ym. 2017) esitettiin tutkimuksen lähtökohdat, tavoitteet, käytetyt tutkimusmenetelmät sekä tulokset ja johtopäätökset. Tutkimusta jatkettiin TOSKA-jatkohankkeessa vuonna 2017 ja sen tutkimuksen tuloksia on koottu tähän raporttiin. Osa jatkotutkimuksesta on suoraa jatkoa TOSKA-hankeeseen (Nummelan koekentän ja Sievin koekentän mittaustutkimukset). Kokonaan uutta on Sievin koekentän pohjavedenpinnan syvyysmittauksista tehty tilastollinen tarkastelu. Tämä raportti täydentää em. TOSKAn loppuraporttia, joka julkaistiin sarjassa Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32.

Tutkimus toteutettiin yhteistutkimushankkeena ja siitä vastasi Salaojituksen Tutkimusyhdistys ry. Tutkimusryhmä oli lähes sama kuin TOSKA-hankkeessa ja siinä ovat toimineet Helena Äijö (Salaojayhdistys ry) tutkimuksen vastuullisena johtajana, Merja Mylly (MTT / Luonnonvarakeskus), Markus Sikkilä (Salaojayhdistys ry), Heidi Salo (Aalto-yliopisto), Jyrki Nurminen (Salaojituksen tutkimusyhdistys ry), Mika Turunen (Aalto-yliopisto), Maija Paasonen-Kivekäs (Sven Hallinin tutkimussäätiö sr), , Harri Koivusalo (Aalto-yliopisto), Laura Alakukku (Helsingin yliopisto) ja Markku Puustinen (Suomen ympäristökeskus).

Hanketta ovat rahoittaneet Salaojituksen Tukisäätiö sr sekä Maa- ja vesitekniikan tuki ry.

Tiivistelmä

”Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa” (TOSKA) -hankkeen (2014–2016) loppuraportissa (Äijö ym. 2017) esitettiin tutkimuksen lähtökohdat, tavoitteet, käytetyt tutkimusmenetelmät sekä tulokset ja johtopäätökset. Tutkimusta jatkettiin TOSKA-jatkohankkeessa vuonna 2017. Osa tutkimuksesta oli suoraa jatkoa TOSKA-hankkeeseen (Nummelan koekentän ja Sievin koekentän mittaustutkimukset). Kokonaan uutta oli Sievin koekentän pohjavedenpinnan syvyysmittauksista tehty tilastollinen tarkastelu. Tämä raportti täydentää TOSKA-hankkeen loppuraporttia, joka julkaistiin sarjassa Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32.

Nummelan täydennysojitukset lisäsivät vuotuista salaojavaluntaa keskimäärin 80 % (alue C, ojaväli 16 m → 8 m v. 2008) ja 40 % (alue D, ojaväli 32 m → 10,7 m v. 2014) vanhaan 16 metrin ojavälin ojaan (alue B) verrattuna. Lisääntynyt valunta näkyi ravinne- ja kiintoainekuormien kasvuna täydennysojitusten salaojavesissä. Pintakerrosvalunta ja sen mukana tullut kuormitus vähenivät varsinkin alueella, jossa ojaväliä tihennettiin 32 m:stä 10,7 m:iin, mutta kokonaiskuormitus (salaojat + pintakerrosvalunta) kasvoi verrattuna täydennysojitusta edeltävään tilanteeseen.

Eri salaojakonetyypeillä (aurakone ja kaivava kone) tehtyjen ojitusten välillä ei havaittu merkityksellistä eroa viljelyn kannalta Sievin koekentän kahden vuoden mittaustulosten perusteella. Mittausaineiston tilastollinen tarkastelu osoitti, että myös muut tekijät, kuten maaperän ominaisuudet tai pohjavesiputken sijainti koekentällä (reunalla/keskellä), saattoivat vaikuttaa pellon pohjavedenpinnan syvyyksiin lähes yhtä paljon kuin konetyyppi.

Nummelan koekentällä tärkeää olisi jatkossa tutkia täydennysojitettujen peltoalueiden kasvukunnan kohentamista mm. ravinnetasoa ja maan rakennetta parantamalla ja sen vaikutuksia satotasoon ja vesistökuormitukseen. Sievin koekentällä olisi jatkossa tärkeää tutkia säätösalojitusta, jolla voidaan mahdollisesti parantaa pellon vesi- ja ravinnetaloutta entisestään. Molempien koekenttien pitkät havaintosarjat mahdollistavat hyvän koesuunnittelun pellon tuottokykyä lisäävien ja ympäristökuormitusta vähentävien toimenpiteiden tutkimusta varten.

Asiasanat: salaojitus, ojaväli, ravinnehuuhtoumat, sato, salaojakoneet, pohjavedenpinnan syvyys, tilastollinen tarkastelu

Referat

I slutrapporten för projektet "Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa" (TOSKA, på svenska effektiva täckdikningsmetoder inom växtodlingen) beskrivs forskningens bakgrund, syfte, forskningsmetoder samt resultat och slutsatser. Forskningen fortsatte 2017 i projektet TOSKA-jatkohanke. En del av forskningen var en direkt fortsättning på TOSKA-projektet (mätningarna på försöksfälten i Nummela och Sievi). Helt nytt i projektet var statistisk analys av grundvattenmätningarna i Sievi. Denna rapport kompletterar TOSKA-projektets slutrapport, som publicerats i Salaojituksen tutkimusyhdistys (Forskningsföreningen för täckdikning) serie nummer 32.

Kompletteringsdikningarna ökade den årliga avrinningen från täckdikena i medeltal med 80 % (område C, dikesavstånd 16 m → 8 m år 2008) och 40 % (område D, dikesavstånd 32 m → 10,7 m år 2014) jämfört med den ursprungliga dikningen med 16 meters dikesavstånd (område B). Den ökade avrinningen ledde till en ökad närings- och partikelbelastning via täckdikena från de kompletteringsdikade områdena. Ytvattenavrinningen och dess belastning minskade i synnerhet där dikesavståndet minskade från 32 m till 10,7 m, men den sammanlagda belastningen (innefattande både ytvattenavrinningen och avrinningen via täckdikena) ökade jämfört med läget innan kompletteringsdikningen.

På basis av två års mätningar märktes inga skillnader mellan täckdikningarna gjorda med grävande täckdikningsmaskin och med täckdikningsplog som skulle ha betydelse för odlandet. Den statistiska analysen av mätresultaten visade att övriga faktorer, såsom jordmånens egenskaper eller läget av grundvattenrören på försöksområdet (vid kanten eller i mitten) kan ha påverkat grundvattennivåerna nästan lika mycket som maskintypen.

På försöksområdet i Nummela skulle det vara viktigt att i fortsättningen undersöka hur man kan öka åkerns bördighet genom att bl.a. förbättra näringssituationen och markens struktur och mäta hur detta påverkar skördenivån och näringsläckagen. På försöksområdet i Sievi skulle det vara skäl att forska i reglerad dränering, som möjligen ytterligare kan förbättra åkerns vatten- och näringsbalans. De långa mätserierna från de både försöksfälten skapar goda förutsättningar för forskning av åtgärder för att öka åkerns avkastningsförmåga och minska på miljöbelastningen.

Nyckelord: *täckdikning, dikesavstånd, näringsbelastning, skörd, täckdikningsmaskiner, grundvattennivå, statistisk analys*

Abstract

The final report of the *Feasible subsurface drainage methods in crop production* (TOSKA) research project (2014–2016) presented the background, aims, and research methods, as well as results and conclusions of the research (Äijö et al. 2017). The research was continued in the extension of TOSKA project in 2017. Part of the research is a direct continuation of TOSKA project (measurements at Nummela and Sievi experimental sites). A totally new approach was the statistical study of the groundwater table levels in Sievi experimental site. This is a supplementary report to the final report of TOSKA project that was published in series “Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote” no. 32.

The supplementary drainage increased annual drain discharge on average by 80% (plot C, drain spacing 16 m → 8 m in 2008) and 40% (plot D, drain spacing 32 m → 10.7 m in 2014) compared to the reference plot B with drain spacing of 16 m. Increased drain discharge resulted in increased nutrient and sediment loads from the supplementary drained plots. Tillage layer runoff and related loads decreased especially in the plot where drain spacing was decreased from 32 m to 10.7 m, but the total load (drain discharge + tillage layer runoff) increased compared to the situation before the supplementary drainage.

The drainage with the different types of machines (trenching machine and trenchless machine) did not result in systematic differences in field cultivation in Sievi experimental site based on two years of measurement data. Statistical study of the measurement data revealed that other factors, such as soil characteristics and the location of the groundwater observation tube (in the middle or on the edge of a field), might affect the groundwater table levels as much as the type of the machine.

In the future in the Nummela experimental site, it is important to study how the fertility of the fields could be enhanced by improving the nutrient status and soil structure, and how it affects on the crop yield and nutrient loads. In the Sievi experimental site it would be important to study the controlled drainage that could further improve the field water and nutrient balances. Long time series from both experimental sites enable a research study design that aims for better crop yield together with measures to reduce environmental loading.

Keywords: subsurface drainage, drain spacing, nutrient load, crop yield, drainage machines, groundwater table level, statistical study

1 Johdanto

1.1 Tausta

Salaojitukseen, pellon tuottokykyyn ja maatalouden vesiensuojeluun liittyvää tutkimusta tehtiin vuosina 2006–2016 kolmessa yhteistutkimushankkeessa, joista viimeisin, TOSKA-hanke, toteutettiin vuosina 2014–2016 (Äijö ym. 2017). Hanke oli jatkoa vuosien 2006–2013 *Pellon vesitalouden optimointi* (PVO) ja *Salaojitustekniikat ja pellon vesitalouden optimointi* (PVO2) -hankkeille (Vakkilainen ym. 2010, Äijö ym. 2014). Hankkeiden osapuolet ovat olleet Salaojituksen tutkimusyhdistys ry., Salaojayhdistys ry., Luonnonvarakeskus (Luke), Aalto-yliopisto, Helsingin yliopisto ja Suomen ympäristökeskus (SYKE). TOSKA-hanketta rahoittivat siinä mukana olleet laitokset sekä Salaojituksen Tukisäätiö sr, maa- ja metsätalousministeriö ja Maa- ja vesitekniiikan tuki ry.

TOSKA-hankkeessa jatkettiin PVO- ja PVO2-hankkeiden täydennysojitusta koskevaa tutkimusta Nummelan koekentällä. Hankkeessa perustettiin keväällä 2015 uusi koekenttä Sieviin, jossa tutkittiin eri salaojakonetyypeillä tehtyjen ojitusten toimivuutta.

TOSKA-hankkeen päätyttyä tutkimusryhmä piti tarpeellisena, että Nummelan ja Sievin koekenttien mittauksia jatkettaisiin mahdollisimman edustavien mittausaineistojen varmistamiseksi. Pitkäaikaisia mittauksia tarvitaan sekä eri ojitustoimenpiteiden vaikutusten (hydrologia, sato, vesistökuormitus ja maan rakenne) arvioitiin että matemaattisten mallien kehittämiseen ja soveltamiseen. Salaojituksen vaikutuksia peltoviljelyn eri osa-alueisiin (sato, maaperä ja vesistökuormitus) yksittäisillä peltoalueilla on Suomessa tutkittu suhteellisen vähän. Kaiken kaikkiaan pitkäaikaisia peltolohkomittakaavan kokeita on Suomessa niukasti.

TOSKA-jatkohanketta rahoittivat Salaojituksen Tukisäätiö sr ja Maa- ja vesitekniiikan tuki ry sekä siihen osallistuneet em. laitokset. Hanke toteutettiin vuonna 2017.

1.2 Tavoitteet

Tutkimuksen tarkoituksena on tuottaa tietoa salaojituksen vaikutuksista kasvintuotannon, maan kuivatuksen ja vesiensuojelun suunnittelua varten siten, että turvataan mahdollisimman hyvä satotaso ja sadon laatu ja minimoidaan vesistökuormitus. Tutkimuksessa jatkettiin mittauksia Nummelan ja Sievin koekentillä ja analysoitiin mittausaineistoja. Tutkimuksen tavoitteet ovat:

- Selvittää salaojituksen vaikutuksia satoon, maan rakenteeseen, pellon hydrologiaan ja ravinnehuuhtoutumiin.
- Selvittää kaivavalla ja aurasalaojakoneilla tehtyjen salaojitusten toimivuutta.
- Selvittää aurakoneella ja kaivavalla salaojakoneella tehtyjen ojitusten eroja tilastollisilla menetelmillä.

2 Koekentät, mittaukset ja menetelmät

2.1 Nummelan koekenttä

Jokioisilla sijaitseva Nummelan koekenttä (9 ha) on lievästi viettävä, ja maa on lähes kauttaaltaan aitosavea. Koekenttä koostuu neljästä koealueesta, joista kolmella (alueet A, B ja C) oli alkujaan 16 metrin ojaväli ja yhdellä (alue D) 32 metrin ojaväli (liite 1). Koealueiden salaojitetut pinta-alat ovat 2,9 ha (alue A), 1,7 ha (C), 1,3 ha (B) sekä 3,4 ha (D). Jokaisella koealueella on oma salaojaston laskuaukko ja mittausjärjestelmä pintakerrosvaluntaa varten. Alue C täydennysojitettiin (ojaväli 16 m -> 8 m) kesäkuussa 2008 ja märkyydestä selvästi kärsinyt alue D (ojaväli 32 m -> 10,7 m) kesäkuussa 2014. Molemmat täydennysojitukset tehtiin kaivavalla salaojakoneella ja ympärysaineena käytettiin soraa ja lisäksi sorasilmäkkeitä. Alue B (ojaväli 16 m) jätettiin vertailualueeksi ja mittauksia tehtiin myös neljännellä koealueella A (uusintaohitus 2008.) Koealueilla on mitattu salaoja- ja pintakerrosvaluntaa jatkuvatoimisesti kevästä 2007 lähtien. Valumavesien automaattisista kokoomanäytteistä on analysoitu kiintoaine-, fosfori- ja typpipitoisuudet. Lisäksi koekentällä on mitattu sadantaa, pohjavedenpinnan syvyyttä, maan kosteutta, lumen syvyyttä ja vesiainetta, roudan syvyyttä sekä sadon määrää ja laatua. Viljelykasvit (kaura tai ohra) ja -menetelmät ovat olleet koko alueella samanlaiset viime vuosikymmenet. Koealueita lannoitettiin pääasiassa kivennäislannoitteilla. Vuonna 2017 mittaukset tehtiin samoin kuin aiempina vuosina, mutta alueella A ei mitattu pintamaan (0-30 cm) kosteutta. Lisäksi alueelta D otettiin kesällä 2017 pohjavesinäytteitä, joista määritettiin samat laatuominaisuudet kuin em. valumavesinäytteistä. Pitoisuustulosten perusteella näytteenottoon liittyi paljon epävarmuutta, minkä vuoksi pohjaveden pitoisuuksia ei ole esitetty tässä raportissa. Viljelykasvina oli kaura. Nummelan koekentän tutkimusten tausta ja koejärjestely on esitetty TOSKA-hankkeen loppuraportissa (Äijö ym. 2017).

2.2 Sievin koekenttä

Aurakoneella ja kaivavalla salaojakoneella tehtyjen ojitusten toimivuutta tutkittiin koekentällä Sievissä (3,55 ha, keskikaltevuus alle 0,2 %). Peltoalueen maalajit vaihtelevat salaojasyvytyksessä hiedan (Ht) ja hiueen (He) välillä. Salaojien toimivuutta arvioitiin mittaamalla pohjavedenpinnan syvyyttä, veden virtaamaa kokoojaojista ja eri satomuuttujia.

Avo-ojissa ollut pelto salaojitettiin toukokuussa ja mittaukset aloitettiin kesäkuussa 2015. Kahdeksasta koealueesta neljä ojitettiin aurakoneella ja vastaavasti neljä kaivavalla koneella. Jokaiselle alueelle asennettiin kolme salaojaa (ojaväli 15 m ja ojitussyvyys 1,0 m). Kummallakin koneella tehdyissä ojituksissa laskettiin 10 cm soraa putken päälle, ruokamulta asennettiin suositusten mukaisesti ja koko salaojakaivanto täytettiin maa-aineksella. Jokaiseen imujoaan tehtiin sorasilmäkkeet avo-ojien kohtiin.

Salaojituksen jälkeen jokaisen koealueen keskimmäisen imujan ympärille asennettiin pohjavesiputket 0,2, 0,6, 2,5 ja 7,5 m etäisyydelle molemmin puolin salaojaa. Kaikista putkista mitattiin pohjavedenpinnan syvyyttä manuaalisesti. Lisäksi koealueilta 5 (kaivava) ja 6 (aura) pohjavedenpinnan syvyyttä mitattiin neljästä havaintoputkesta automaattisilla mittareilla. Salaojavalunta mitattiin molemmissa menetelmissä kokoojaojista. Lisäksi koekentällä mitattiin sadantaa automaattimittarilla sekä sadon määrää ja laatua. Pellolla viljeltiin normaalisti ohraa ennen ja jälkeen salaojituksen, ja muokausketju oli perinteinen kyntö-äestys-kylvö. Vuonna 2017 mittauksia tehtiin samoin kuin aiempina vuosina. Koejärjestelyt on kuvattu julkaisussa Äijö ym. (2017).

2.3 Sievin pohjavesiaineiston tilastollinen tarkastelu

Sievin koekentällä pohjavedenpinnan käyttäytymistä erilaisilla salaojakoneilla tehdyissä ojituksissa tutkittiin myös tilastollisilla menetelmillä (Salo ym. 2018). Lisäksi tarkasteltiin automaattisten ja manuaalisten pohjavesimittausten yhteneväisyyttä. Pohjavedenpinnan eroja tarkasteltiin myös käyttäen maksimi ja minimi aikasarjoja sekä suodatettuja aikasarjoja.

Tutkimusaineistona menetelmien välisten erojen tarkastelussa käytettiin pohjavedenpinnan syvyyksien manuaalisia mittausaikasarjoja jaksolta 4.6.2015–28.6.2017 neljältä aurakoneen ja neljältä kaivavan koneen ojitusalueelta. Kultakin koealueelta aikasarjoja testattiin seitsemän havaintopisteen kohdalta. Havaintopisteet sijaitsivat salaojan kummallakin puolella 0,6, 2,5 ja 7,5 m:n etäisyydellä salaojasta sekä salaojan kohdalla 0,2 m ojakohdasta oikealle.

Automaattimittauksia alueilta 5 (kaivava kone) ja 6 (aura kone) käytettiin ko. alueiden manuaalisten mittausaikasarjojen validointiin. Alueiden automaattisista aikasarjoista valittiin manuaalisten aikasarjojen havaintohetket, joita oli yhteensä 172 (kahdesti viikossa keväällä, kesällä ja syksyllä, talvella kerran viikossa). Automaattimittausten ja manuaalisten havaintojen eroja testattiin merkkitestillä sekä aikasarjojen erotuksilla (ks. kuva 31). Aikasarjojen erotus laskettiin yhtälöllä 1:

$$\Delta GW_i = GW(auto)_i - GW(man)_i, i \in [1,172] \quad (1)$$

, jossa GW on pohjavedenpinnan taso [m], $auto$ on automaattimittaus, man on manuaalimittaus ja i havaintohetki.

Eri salaojakoneilla tehtyjen ojitusten vertailussa käytettiin kaikkien koealueiden manuaalisten havaintojen minimi ja maksimi aikasarjoja. Minimi aikasarjat muodostettiin ottamalla kultakin havaintohetkeltä minimi pohjavedenpinnan taso auran (yhtälö 2) ja kaivavan (yhtälö 3) koealueen mittauksista (jokainen havaintoetäisyys erikseen).

$$GW(min)_i = \text{Min}\{ GW(1)_i, GW(4)_i, GW(6)_i, GW(7)_i \}, i \in [1,172] \quad (2)$$

$$GW(min)_i = \text{Min}\{ GW(2)_i, GW(3)_i, GW(5)_i, GW(8)_i \}, i \in [1,172] \quad (3)$$

, jossa 1, 4, 6 ja 7 ovat aurakoneen koealueita ja 2, 3, 5 ja 8 kaivavan koneen koealueita. Samalla tavalla saatiin maksimi aikasarjat kummallekin menetelmälle ja jokaiselle havaintoetäisyydelle.

Tutkimuksessa analysoitiin myös samalla konetyypillä tehtyjen ojitusalueiden välisiä eroja manuaalisia aikasarjoja käyttäen. Testauksella selvitettiin, aiheuttaako jokin muu tekijä ojitusmenetelmän lisäksi eroja pohjavedenpinnan tasoon.

Koko kahden vuoden aikasarjojen (4.6.2015–28.6.2017) lisäksi testattiin kahdenlaisia suodatettuja aikasarjoja, joissa valittiin havainnot 1) salaojasyvyyden yläpuolella ja 2) vuodenaikojen mukaan (talvi, kevät, kesä ja syksy).

Manuaalisten aikasarjojen testauksessa käytettiin kahden otoksen t-testiä ja Mann-Whitneyn U-testiä. T-testi testaakaan kahden otoksen keskiarvojen yhtäsuuruutta ja Mann-Whitneyn testi sitä, ovatko otokset samasta jakaumasta. Tilastollisessa tarkastelussa käytetyt aineistot ja menetelmät on tarkemmin kuvannut Salo ym. (2018).

3 Tulokset

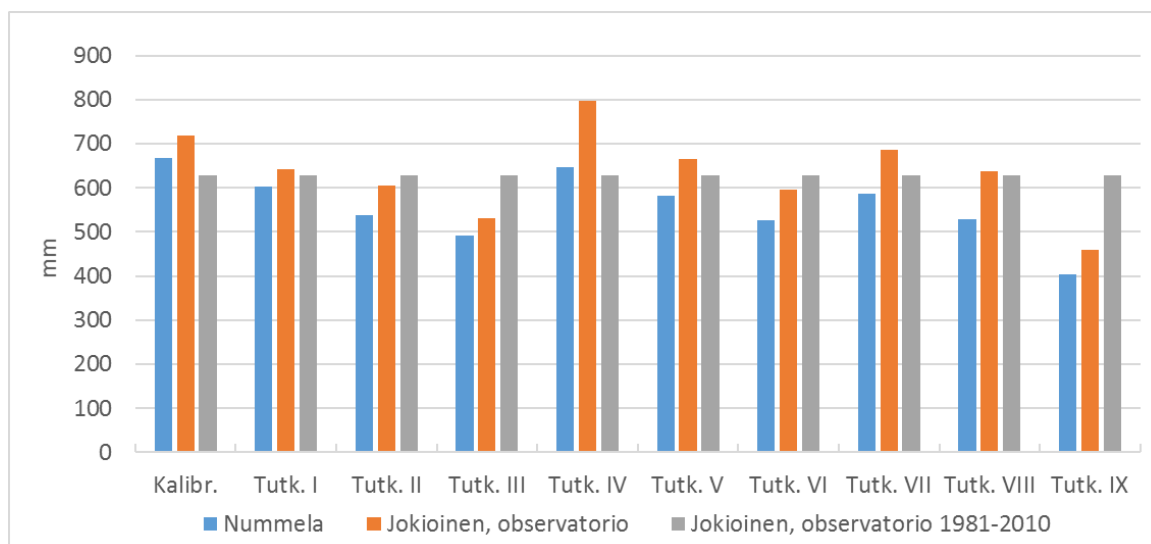
TOSKA-jatkohankkeen myötä Nummelan koekentällä keväällä 2007 alkanut yhtenäinen mittausjakso sai jatkoa. Nummelan koekentällä 10-vuotisen mittauskauden vähäsatteisin tutkimusjakso laajensi mittausdataa. Pitkä aikasarja on tärkeä myös matemaattisen mallinnuksen kannalta. Kesällä 2015 Sievissä alkaneeseen eri salaojakonetyypeillä tehtyjen ojitusten toimivuutta käsittelevään tutkimukseen saatiin jatkohankkeessa lisävuosi. Koekentältä reilun kahden vuoden mittaustuloksia (pohjavedenpinnan syvyys) käytettiin myös tilastollisessa tarkastelussa.

3.1 Täydennysojituksen vaikutukset Nummelan koekentällä

Tähän lukuun on koottu sekä TOSKA-hankkeen että Nummelan koekentän aikaisempien PVO-tutkimushankkeiden (Vakkilainen ym. 2010, Äijö ym. 2014) mittaustuloksia vuodesta 2007 lähtien, jotta vuosien vaihtelusta ja ojitustoimenpiteiden vaikutuksista saadaan mahdollisimman kattava käsitys. Valunta- ja kuormitusmittausten osalta TOSKA-hankkeen tulokset kattavat ajanjakson kesäkuu 2014 – toukokuu 2016 (tutkimusjaksot VII ja VIII) ja TOSKA -jatkohanke ajanjakson kesäkuu 2016 – toukokuu 2017 (tutkimusjakso IX). Pohjavedenpinnan syvyysmittaukset ja maan kosteusmittaukset sekä satotulokset on esitetty kalenterivuositain. TOSKA -jatkohanke käsittää vuoden 2017. Esitetyissä tuloksissa päähuomio kiinnittyy alueiden C (kevät 2008, ojaväli 16 -> 8 m) ja D (kevät 2014, ojaväli 32 -> 10,7 m) täydennysojitusten vaikutuksiin pellon hydrologiaan ja vesistökuormitukseen.

3.1.1 Sadanta

Nummelan koekentän vuoden pituisten tutkimusjaksojen sademäärät (korjaamattomat arvot) vaihtelivat välillä 403 – 668 mm (kuva 1). Koekenttää lähinnä sijaitsevalla Ilmatieteenlaitoksen mittausasemalla (Jokioisten observatorio) sadannan 30 vuoden (1981- 2010) keskiarvo (korjaamaton) on 627 mm. Nummelassa tutkimusjaksolla IX (06/2016 – 05/2017) mitattu sadesumma 403 mm oli mittausvuosien pienin. Erityisen kuivia olivat vuoden 2016 loka- ja joulukuu sekä vuoden 2017 tammi- ja toukokuu.



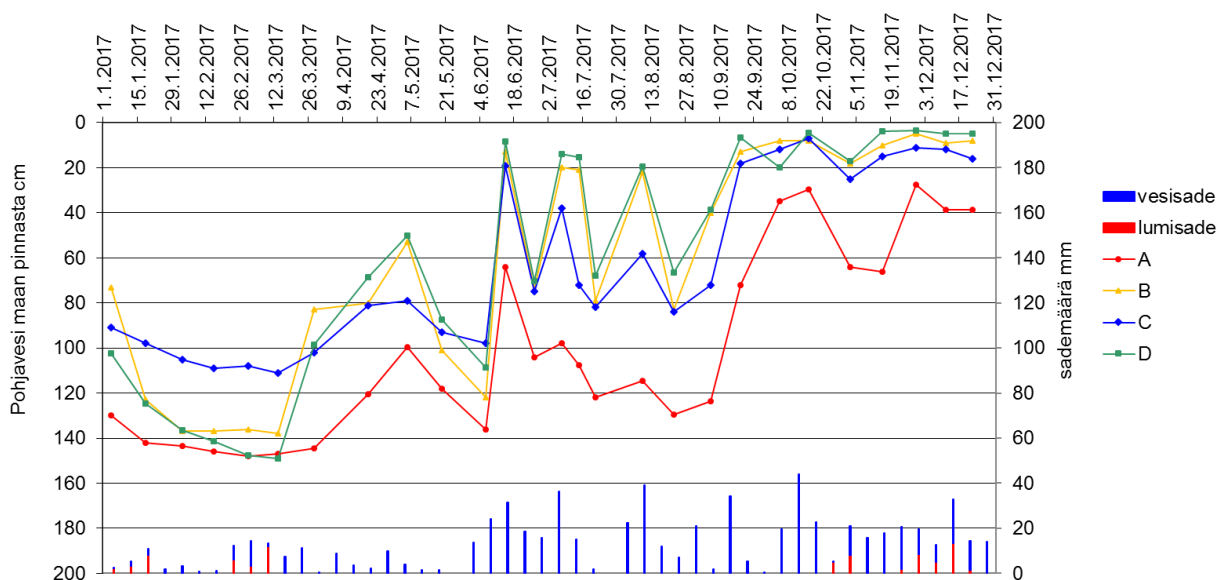
Kuva 1. Nummelan koekentän sekä Ilmatieteen laitoksen Jokioisten observatorion vuotuiset (korjaamattomat) sadannat kalibrointijaksolla ja tutkimusjaksoilla sekä ajanjakson 1981–2010 keskimääräinen sadanta (Jokioisten observatorio). Vuotuinen jakso oli kesäkuu-toukokuu.

3.1.2 Pohjavedenpinnan syvyys ja maan kosteus

Pohjavedenpinnan syvyudet

Alueella C, joka sijaitsee tasaisella pellon osalla noin 300 metriä valtaojasta, pohjavesi on luontaisesti korkeammalla, ja pysyy mittausten mukaan salaojasyvyyden yläpuolella suuren osan ajasta. Ennen täydennysojitustaan lähellä valtaojaa sijaitsevalla alueella D pohjaveden pinta oli vallitsevasti muita alueita korkeammalla. Vertailualueella B pohjavedenpinnan syvyys vaihteli eri vuosina suhteessa viereiseen alueeseen C, mutta pääosin se oli alempana kuin alueella C. Alueella A, joka sijaitsee valtaojaan (Raiskionoja) johtavan rinteen tuntumassa, pohjavesi on luontaisesti syvemmällä kuin muualla. Lukuarvot edustavat viikon tai kahden välein tehtyjen manuaalisten mittausten mediaanien arvoja.

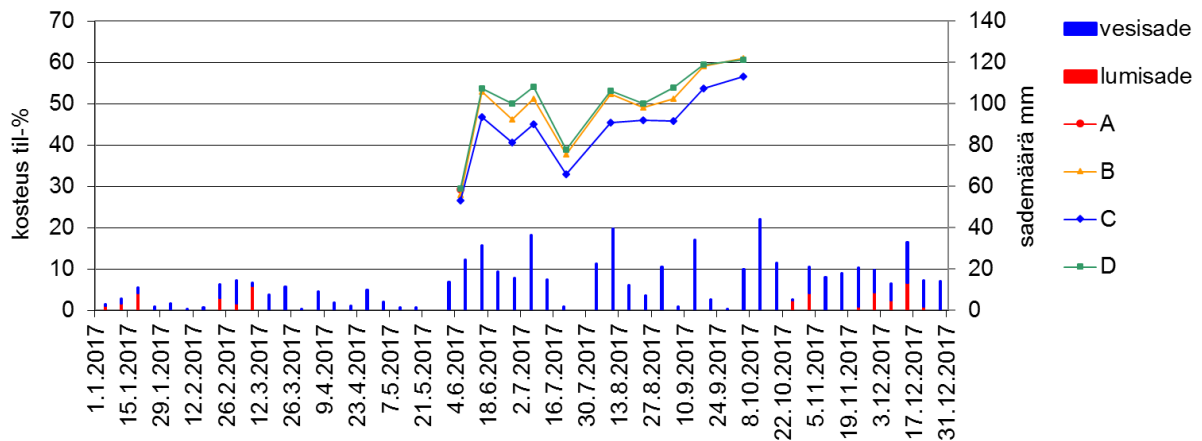
Talvella 2016–2017 pohjaveden pinta laski roudan alla 100 cm:n alapuolelle kaikilla koalueilla (kuva 2). Keskimääräistä sateisempi kesä piti pohjavedenpinnat verrattain lähellä maan pintaa (pois lukien alue A). Alueella D pohjavesi oli ennen täydennysojitusta noussut märkinä aikoina herkästi muita ylemmäksi, mutta vuonna 2017 alueen D pohjavedet reagoivat sateisiin hyvin samalla tavalla kuin verrannealueen B.



Kuva 2. Pohjaveden pinnan etäisyys maan pinnasta ojien puolivälissä v. 2017 alueilla A (ojaväli 6 m), B (ojaväli 1950-luvulta lähtien 16 m), C (ojaväli 8 m) ja D (ojaväli 10,7 m, keväästä 2014), (n=5–12).

Maan kosteus

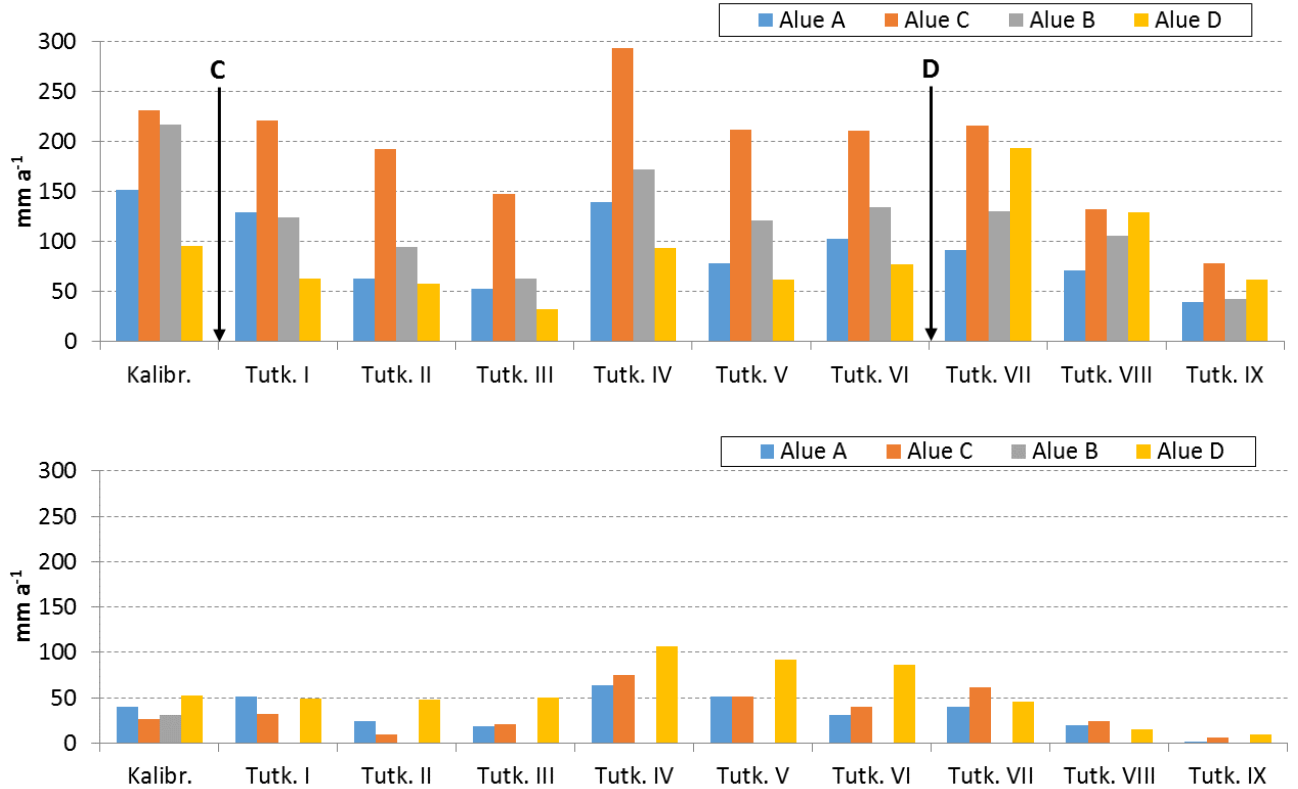
Maan kosteutta (0-30 cm) on mitattu koekentän olemassaolon (v. 2007) ajan pohjavesimittausten yhteydessä sulan maan aikaan. Kosteusmittaukset kertovat samaa kuin pohjavesimittauksetkin; alue D on ollut yleensä muita alueita märempi. Myös keväällä 2014 tehdyn täydennysojituksen jälkeen (vuodet 2015 – 2016) alue D oli edelleen märin alue runsaiden sateiden jälkeen. Se ei kuitenkaan enää erottunut muista niin selvästi kuin ennen ojitusta. Vuonna 2017 alueen D kosteus vaihteli hyvin samaan tapaan kuin vertailualueen B (kuva 3).



Kuva 3. Maan kosteudet (tilavuusprosentteina maan kokonaistilavuudesta) ojien puolivälissä v. 2017 alueilla B (ojaväli 1950-luvulta lähtien 16 m), C (ojaväli 8 m) ja D (ojaväli 10,7 m, kevästä 2014), (n=10–24). Alueelta A (ojaväli 6 m) ei mitattu maan kosteuksia vuonna 2017.

3.1.3 Valunta

PVO- ja PVO2-hankkeiden sekä TOSKA-hankkeen (kalibrointijakso ja tutkimusjaksot I-VIII) ja TOSKA -jatkohankkeen (tutkimusjakso IX) salaoja- ja pintakerrosvalunta on esitetty kuvassa 4. Lisäksi kuvien alla on jaksosten sadesummat.



Sadanta (korjattu) mm a⁻¹

Kalibr.	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX
715	646	575	526	693	623	564	628	566	434

Kuva 4. Vuotuinen (kesäkuu-toukokuu) salaojavalunta (a) ja pintakerrosvalunta (b) Nummelan koealueilta kalibroitijaksolla ja tutkimusjaksoilla I–IX kesäkuusta 2007 toukokuuhun 2017. Alueiden C ja D täydennysojitusten ajankohdat on merkitty nuolella. Kuvien alla on vuoden pituisten jaksojen sadannat (korjatut arvot).

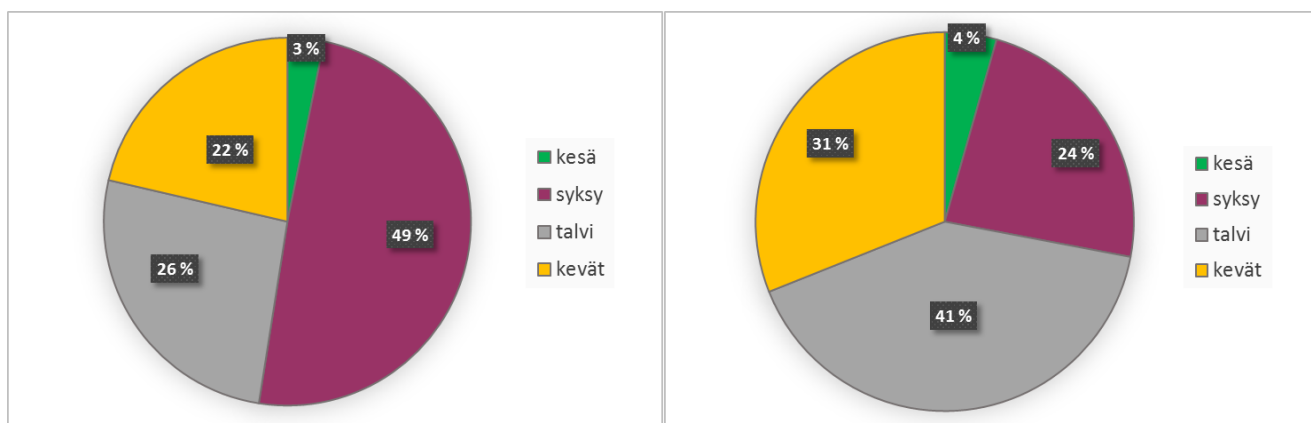
TOSKA -jatkihankkeen tutkimusjakso IX (06/2016 – 05/2017) oli vähäsateinen. Jakson (korjattu) sadesumma (434 mm) oli 70 % aikaisempien jaksojen keskiarvosta. Valuntaa muodostui koealueilla verrattain vähän. Alueilla A, C ja B salaojavaluntaa syntyi 30 – 40 % mittausvuosien aluekohtaisista keskiarvoista. Myös mitatut pintakerrosvaluntamäärät olivat pieniä (alue C 6 mm). Alueella D tutkimusjakso IX oli kolmas vuoden 2014 touko-kesäkuun vaihteessa tehdyn täydennysojituksen (ojaväli 32 m -> 10,7 m) jälkeen. Kuiva vuosi näkyi myös alueen D valunnassa. Jakson salaojavalunta oli noin 40 % ja pintakerrosvalunta 30 % kahden edeltäneen jakson keskiarvosta.

Salaojavalunnan vuodenaikainen jakautuminen alueella D

Valtaosa koealueiden valunnasta syntyi kasvukauden ulkopuolella. Jaksojen väliseen vaihteluun vaikuttivat lähinnä sademäärä sekä sateiden ajallinen jakautuminen ja rankkuus. Myös erilaiset talviolosuhteet näkyivät valunnan muodostumisessa. Alueen D salaojavalunnan jakautuminen vuodenajoinnain ennen täydennysojitusta ja sen jälkeen on esitetty kuvassa 5. Suurin ero oli syksyn (syys-marraskuu) osuudessa. Ennen täydennysojitusta puolet alueen D salaojavalunnasta tuli syksyllä, ja ojituksen jälkeen neljännes. Ojituksen jälkeisillä kolmella tutkimusjaksolla sekä talven (jouluhelmikuu) että kevään (maalis-toukokuu) osuudet olivat suurempia kuin syksyn. Kesän (kesä-elokuu) osuus salaojavalunnasta jäi pieneksi kaikilla jaksoilla. Vertailualueella B salaojavalunnan vuodenaikainen jakautuminen oli samansuuntaista kuin alueella D. Jaksoilla ennen (kalibroitijakso – tutkimusjakso VI) syksyn osuus oli alueella B 43 %, ja talven ja kevään osuudet 29 ja 25 %. Jaksoilla jälkeen (VII – IX) alueiden D ja B salaojavalunnat eri vuodenaikoina olivat lähempänä toisiaan.

a) Salaojavalunta ennen, 69 mm

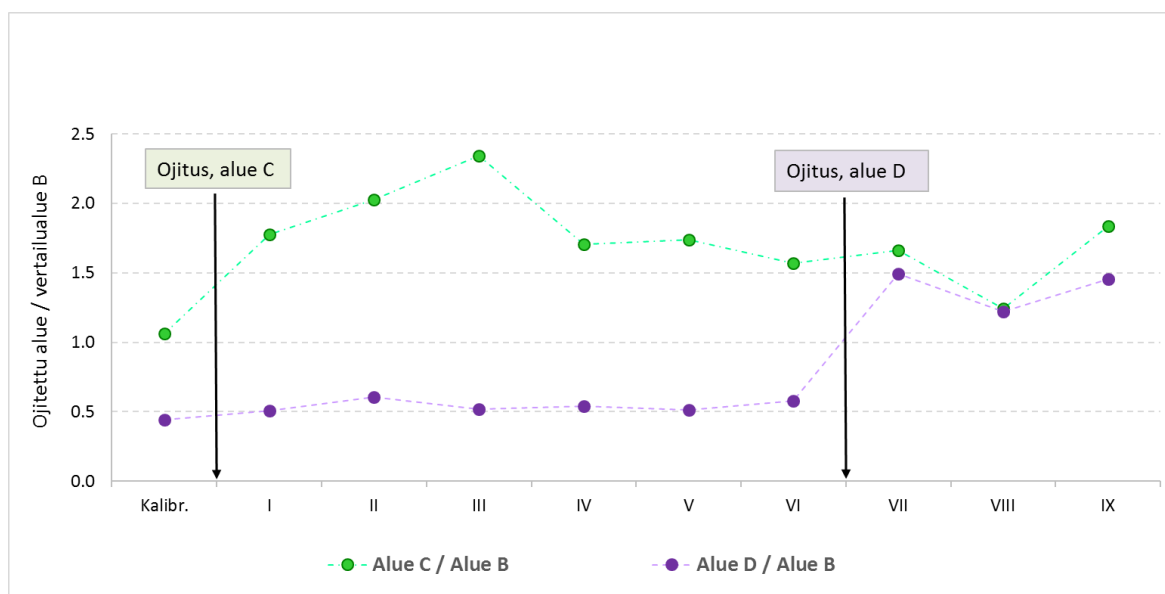
b) Salaojavalunta, jälkeen 129 mm



Kuva 5. Salaojavalunnan vuodenaikainen jakautuminen alueella D (a) ennen täydennysojitusta (kalibroitijakso–tutkimusjakso VI) ja (b) ojituksen jälkeen (tutkimusjakso VII – IX).

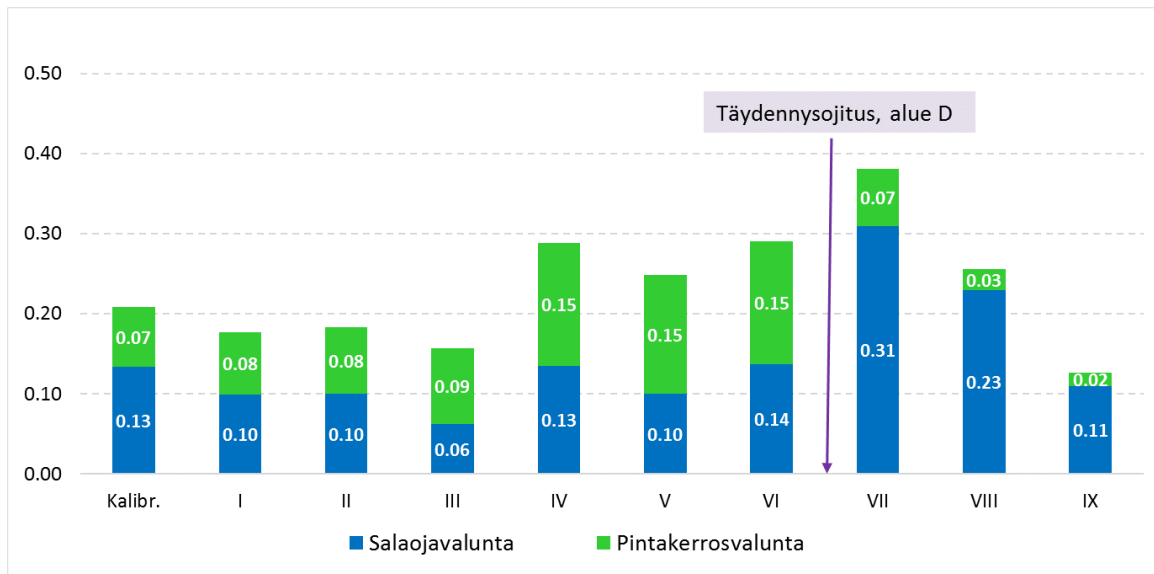
Täydennysojituksen vaikutus valuntaan

Täydennysojitus lisäsi salaojavaluntaa koalueilla C ja D. Ojavälin puolittaminen (16 m → 8 m) alueella C lisäsi vuotuista salaojavaluntaa keskimäärin 1,8-kertaiseksi 16 metrin ojavälin alueeseen (B) verrattuna (kuva 6). Tutkimusjaksolla IX suhdeluku (C/B) oli sama kuin kahdeksan aikaisemman jakson keskiarvo, 1,8. Alueen D ojavälin pienentäminen kolmannekseen (32 m → 10,7 m) lisäsi salaojavaluntaa vertailualueeseen B nähden ensimmäisenä täydennysojituksen jälkeisenä vuonna 1,5- ja toisena vuonna 1,2-kertaiseksi. Kolmantena vuonna (jakso IX) salaojavaluntojen suhdeluku (D/B) oli sama kuin jaksolla VII, eli 1,5. Ennen täydennysojitusta (7 mittausvuotta) salaojavaluntojen suhde (D/B) oli ollut keskimäärin 0,5.



Kuva 6. Alueiden C (ojaväli 1950-luvulta 16 m, kesäkuusta 2008 lähtien 8 m) ja D (ojaväli 1950-luvulta 32 m, kesäkuusta 2014 lähtien 10,7 m), vuotuisten salaojavaluntojen suhde vertailualueen B (ojaväli 1950-luvulta lähtien 16 m) salaojavaluntoihin mittausjaksoilla (06/2007–05/2017).

Alueella D salaojavalunnan osuus sadannasta lisääntyi kahtena täydennysojitusta seuranneena vuonna yli kaksinkertaiseksi, ja pintakerrosvalunnan osuus väheni keskimäärin alle puoleen ojitusta edeltäneeseen tilanteeseen verrattuna (kuva 7). Salaoja- ja pintakerrosvalunnan summa kasvoi 1,4-kertaiseksi. Kuivalla kolmannella täydennysojituksen jälkeisellä jaksolla (IX) salaoja- ja pintakerrosvalunnan valuntakertoimet olivat kahta edellistä jaksoa alempia. Salaojavalunnan osuus sadannasta oli jaksolla IX 0,11, kun se oli kahdella edellisellä jaksolla ollut keskimäärin 0,27. Myös pintakerrosvaluntaa muodostui verrattain vähän, sen osuus sadannasta oli 0,02. Jakson vähäsateisuus näkyi myös muilla alueilla. Alueella C salaojavalunnan osuus sadannasta (valuntakerroin) oli 0,14 (keskiarvo 0,33) ja vertailualueella B 0,08 (keskiarvo 0,21).



Kuva 7. Mittausjaksojen salaojavaluntien ja pintakerrosvaluntien osuudet vuosisadannasta (korjatut arvot) ennen täydennysojitusta ja sen jälkeen alueella D.

3.1.4 Ravinne- ja kiintoainepitoisuudet sekä ainekuormat

Nummelan koekentältä valumavesien mukana valtaosaan kulkeutuneille ravinne- ja kiintoainehuuhtoumille oli tyypillistä suuret vaihtelut eri vuosien ja koalueiden välillä, pääosin valuntamäärien vaihtelun vuoksi. Salaojavalunnan fosfori- ja kiintoainepitoisuudet olivat keskimäärin hieman alempia kuin pintakerrosvalunnan. Kuormitushuiput ajoittuivat kasvukauden ulkopuolelle, keväällä lumen ja roudan sulamiseen sekä syksyn ja talven sateisiin. Huomattava osa ravinne- ja kiintoainekuormituksesta tuli salaojien kautta. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan jaksokohtaiset ravinne- ja kiintoainemäärät on esitetty kuvissa 8, 12, 15 ja 18.

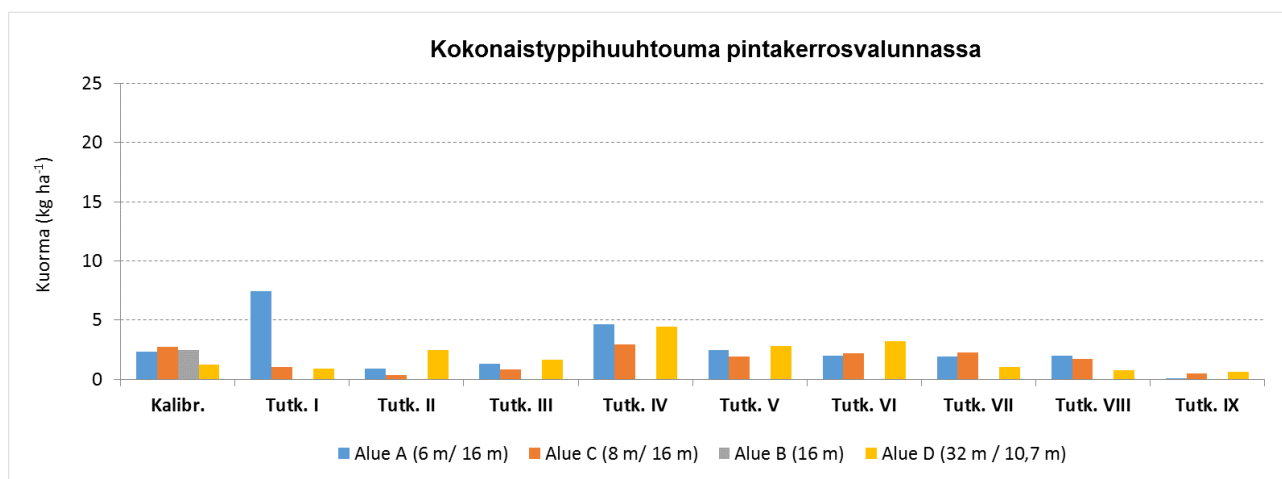
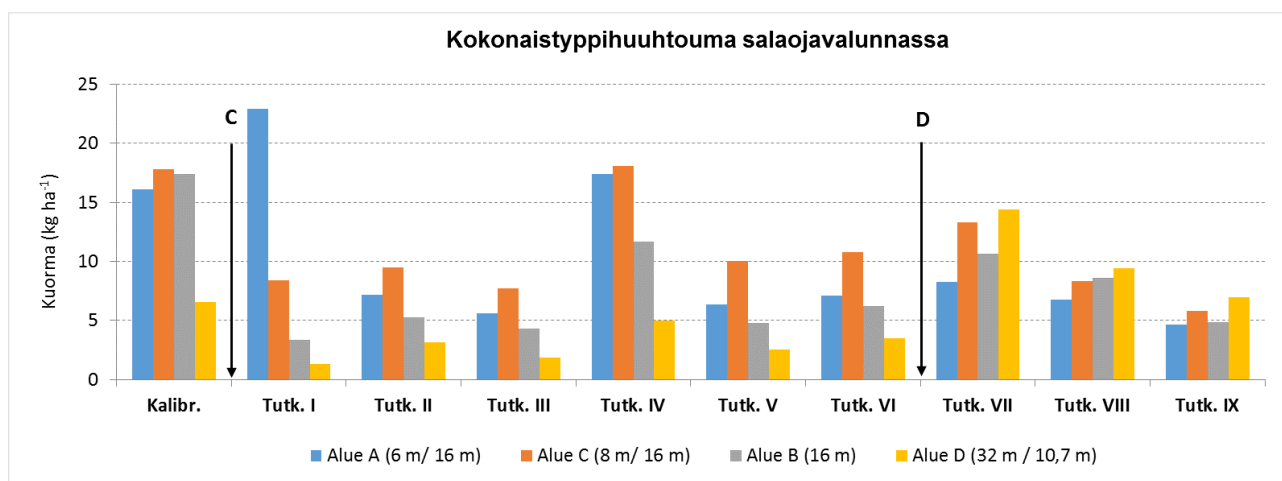
Kokonaistyyppi

Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuuksien mediaanit ja vaihteluvälit sekä valunnalla painotetut pitoisuudet (koko kymmenen vuoden mittausaineistosta) on esitetty taulukossa 1. Kokonaistyyppipitoisuudet olivat keskimäärin melko samansuuruisia koko tutkimuksen aikana eri alueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnassa.

Taulukko 1. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaistyyppipitoisuuksien minimi-, mediaani (Md)- ja maksimi-arvot (mg l^{-1}) Nummelan koekentällä ajanjaksolla 6/2007–5/2017. Ojavälit, alue A 16 m / 6 m, alue C 16 m / 8 m, alue B 16 m ja alue D 32 m / 10,7 m.

	Kokonaistyyppipitoisuus (mg l^{-1})			
	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta				
min/Md/max	1,9 / 9,5 / 52,5	1,4 / 5,1 / 27,5	1,3 / 5,1 / 33,6	1,4 / 4,6 / 30,3
Painotettu pitoisuus	10,9	5,5	6,1	5,9
Pintakerrosvalunta				
min/Md/max	1,0 / 7,3 / 65,2	0,8 / 4,7 / 55,5	1,2 / 5,4 / 53,8	0,9 / 3,6 / 61,5
Painotettu pitoisuus	6,9	4,3	5,0	3,6

Mitatusta kokonaistyyppikuormasta salaojista tuli 8, 10,7 ja 16 m ojavälin alueilla 80–90 % ja 32 m ojavälillä osuus oli keskimäärin 60 %. Vuotuiset tyyppihuuhtoumat salaojavedessä vaihtelivat välillä 1,3–18 kg ha⁻¹ (kuva 8a) ja pintakerrosvalunnassa 0,6–4,5 kg ha⁻¹ (kuva 8b). Valtaosa huuhtoutuneesta tyyppistä oli nitraattityyppiä.



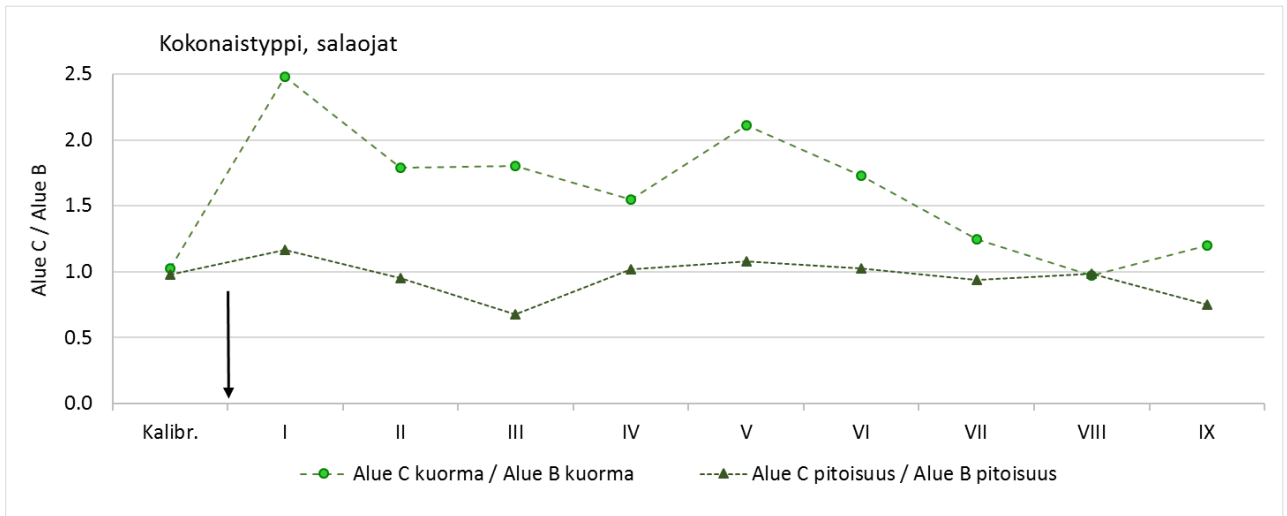
Kuva 8. Kokonaistyyppien vuotuiset huuhtoumat (kg ha⁻¹) salaojavalunnassa (a) ja pintakerrosvalunnassa (b) koelaitteilla A-D kalibrointijaksolla ja tutkimusjaksoilla I-IX. Alueiden C ja D täydennysojituksen ajankohdat on merkitty nuolella.

Täydennysojituksen vaikutus tyyppien huuhtoutumiseen

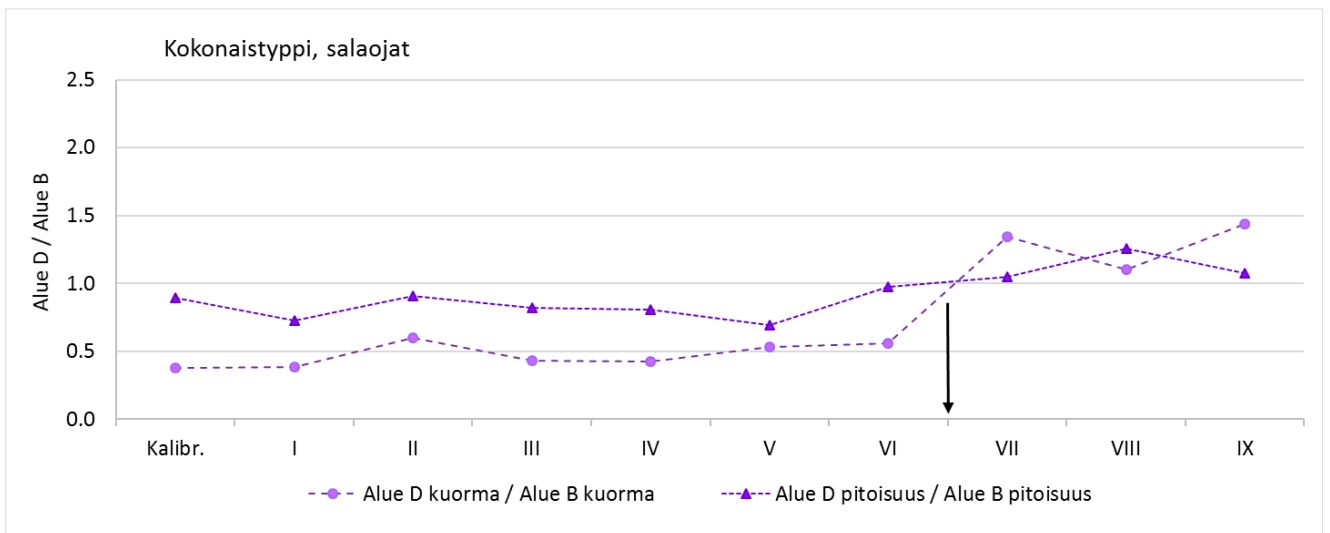
Täydennysojituksen vaikutuksia salaojavalumavesien mukana kulkeutuneisiin huuhtoumiin arvioitiin vertaamalla alueiden C ja D ainepitoisuuksia ja -kuormia alueen B (ojaväli 16 m) arvoihin. Alueen C salaojavalunnassa tyyppipitoisuuden suhdeluku (C/B) nousi hieman täydennysojituksen jälkeisenä vuonna, jonka jälkeen se kääntyi laskuun ja palasi likimain ojitusta edeltäneelle tasolle (kuva 9). Tutkimusjaksolla IX sekä kokonaistyyppipitoisuuden että -kuormituksen suhdeluvut (C/B) olivat aikaisempien jaksosten keskiarvoja alempia.

Täydennysojituksen myötä lisääntynyt salaojavalunta näkyi tyyppikuormituksen kasvuna alueella D. Tyyppipitoisuudet olivat täydennysojituksen jälkeisillä jaksolla (suhteessa vertailualueeseen B) ojitusta edeltäneiden jaksosten keskiarvoa hieman korkeampia (kuva 10). Tutkimusjakso IX oli salaojavalunnassa kokonaistyyppipitoisuuden ja -kuormituksen suhdelukujen (D/B) osalta likimain samanlainen kuin

jakso VII, pitoisuuksien suhde oli pienempi ja kuormien suhde suurempi kuin välissä olleella jaksolla VIII.



Kuva 9. Alueiden C ja B vuotuisten salaojavaluntojen kokonaistyyppipitoisuuksien mediaanien sekä kokonaistyyppikuormien suhde kalibrointijaksolla ja yhdeksällä tutkimusjaksolla. Alueen C täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.



Kuva 10. Alueiden D ja B vuotuisten salaojavaluntojen kokonaistyyppipitoisuuksien mediaanien sekä kokonaistyyppikuormien suhde seitsemällä jaksolla ennen täydennysojitusta ja kolmella sen jälkeen. Alueen D täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.

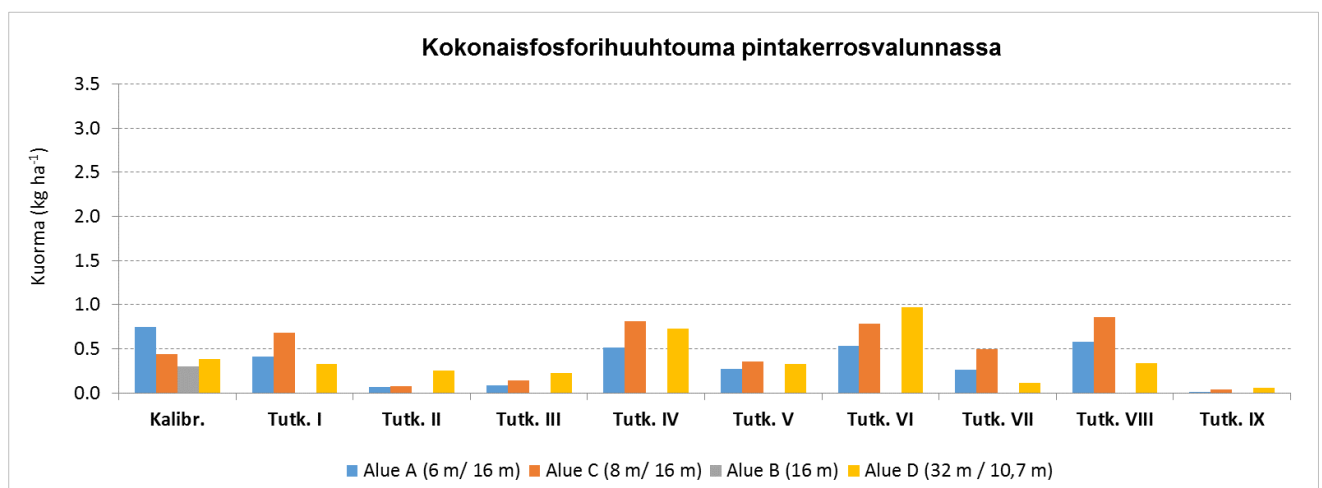
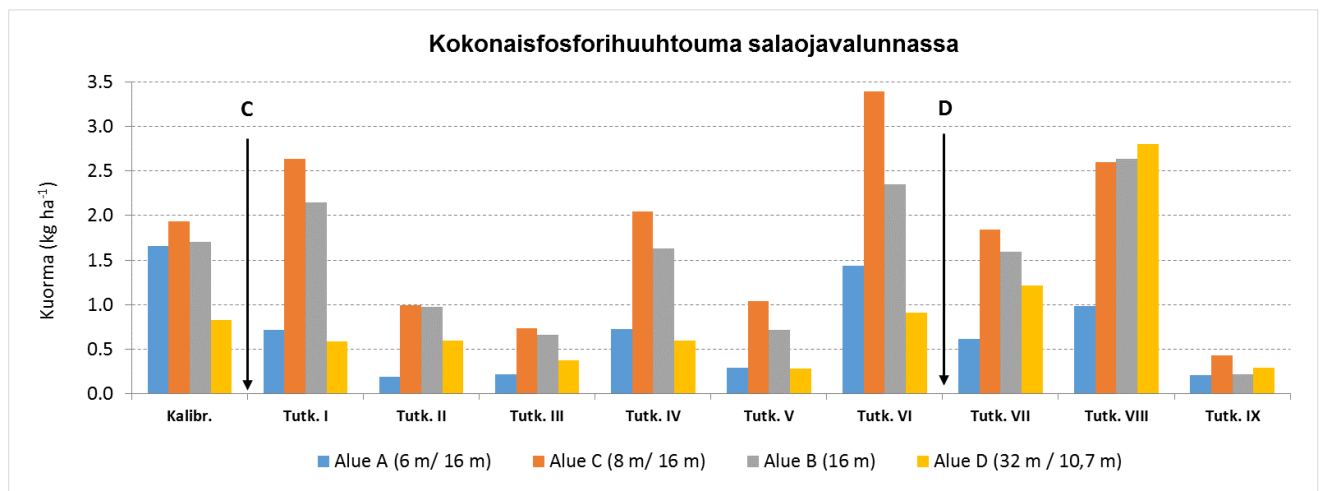
Kokonaisfosfori

Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuuksien mediaanit ja vaihteluvälit sekä valunnalla painotetut pitoisuudet (koko kymmenen vuoden mittausaineistosta) on esitetty taulukossa 2. Kokonaisfosforipitoisuudet olivat keskimäärin melko samansuuruisia koko tutkimuksen aikana eri alueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnassa. Kokonaisfosforin pitoisuudet noudattivat pitkälti kiintoaineen pitoisuuksia.

Taulukko 2. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kokonaisfosforipitoisuuksien minimi-, mediaani (Md)- ja maksimiarvot (mg l^{-1}) Nummelan koekentällä ajanjaksolla 6/2007–5/2017.

	Kokonaisfosforipitoisuus (mg l^{-1})			
	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta				
min/Md/max	0,04 / 0,41 / 4,08	0,03 / 0,44 / 4,69	0,05 / 0,61 / 5,27	0,03 / 0,53 / 4,32
Painotettu pitoisuus	0,77	0,91	1,24	0,98
Pintakerrosvalunta				
min/Md/max	0,06 / 0,75 / 4,94	0,15 / 0,84 / 4,79	0,05 / 0,75 / 5,29	0,06 / 0,47 / 4,54
Painotettu pitoisuus	1,02	1,35	0,56	0,67

Vuotuiset kokonaisfosforin huuhtoumat Nummelan koalueiden salaojista vaihtelivat välillä 0,2–3,4 kg ha^{-1} (kuva 11a). Pintakerrosvalunnan mukana kokonaisfosforia huuhtoutui selvästi vähemmän, 0,03–1,0 $\text{kg ha}^{-1} \text{a}^{-1}$ (kuva 11b). Kuormituksesta tuli 8, 10,7 ja 16 m:n ojaväleillä salaojista keskimäärin 80–90 %. Kokonaistypen tapaan 32 m ojavälillä salaojien osuus oli noin 60 %

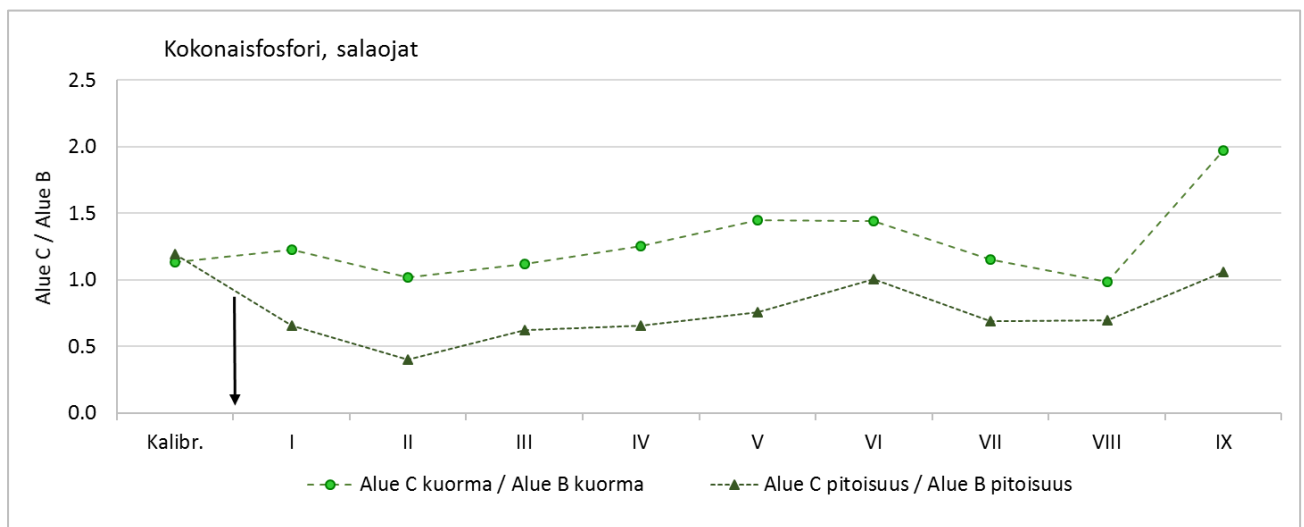


Kuva 11. Kokonaisfosforin vuotuiset huuhtoumat (kg ha^{-1}) salaojavalunnassa (a) ja pintakerrosvalunnassa (b) koalueilta A-D kalibrintijaksolla ja tutkimusjaksoilla I-IX. Alueiden C ja D täydennysojitusten ajankohdat on merkitty nuolella.

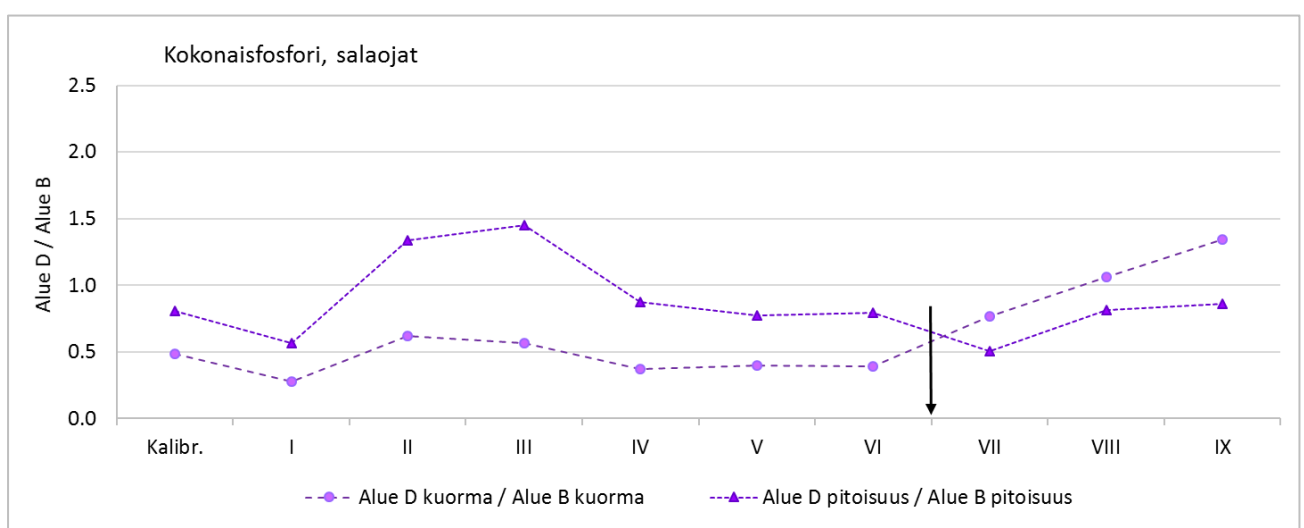
Täydennysojituksen vaikutus kokonaisfosforin huuhtoutumiseen

Salaojavalunnan kokonaisfosforipitoisuuden suhdeluku (C / B) oli kahdeksalla tutkimusjaksolla keskimäärin pienempi kuin ennen ojitusta (kuva 12). Jaksolla IX suhde (C/B) oli tutkimusjaksojen suurin, mutta kuitenkin pienempi kuin ojitusta edeltäneellä kalibrointijaksolla. Salaojavalunnan suhteellinen (C/B) kokonaisfosforikuormitus oli jaksolla IX selvästi korkeampi kuin aikaisemmillä tutkimusjaksoilla.

Täydennysojituksen jälkeen alueen D salaojavalunnan suhteelliset (D / B) kokonaisfosforipitoisuudet ovat olleet alempia kuin ennen ojitusta keskimäärin (kuva 13), tosin jaksolla IX suhdeluku (D/B) oli kahta edeltänyttä jaksoa korkeampi. Alueen D salaojavalunnan kokonaisfosforikuormat suhteessa vertailualueeseen B nousivat selvästi täydennysojituksen jälkeen. Tämä nousu jatkui kolmannella ojituksen jälkeisellä jaksolla (jakso IX).



Kuva 12. Alueiden C ja B vuotuisten salaojavaluntojen kokonaisfosforipitoisuuksien mediaanien sekä kokonaisfosforikuormien suhde kalibrointijaksolla ja yhdeksällä tutkimusjaksolla. Alueen C täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.



Kuva 13. Alueiden D ja B vuotuisten salaojavaluntojen kokonaisfosforipitoisuuksien mediaanien sekä kokonaisfosforikuormien suhde seitsemällä jaksolla ennen täydennysojitusta ja kolmella sen jälkeen. Alueen D täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.

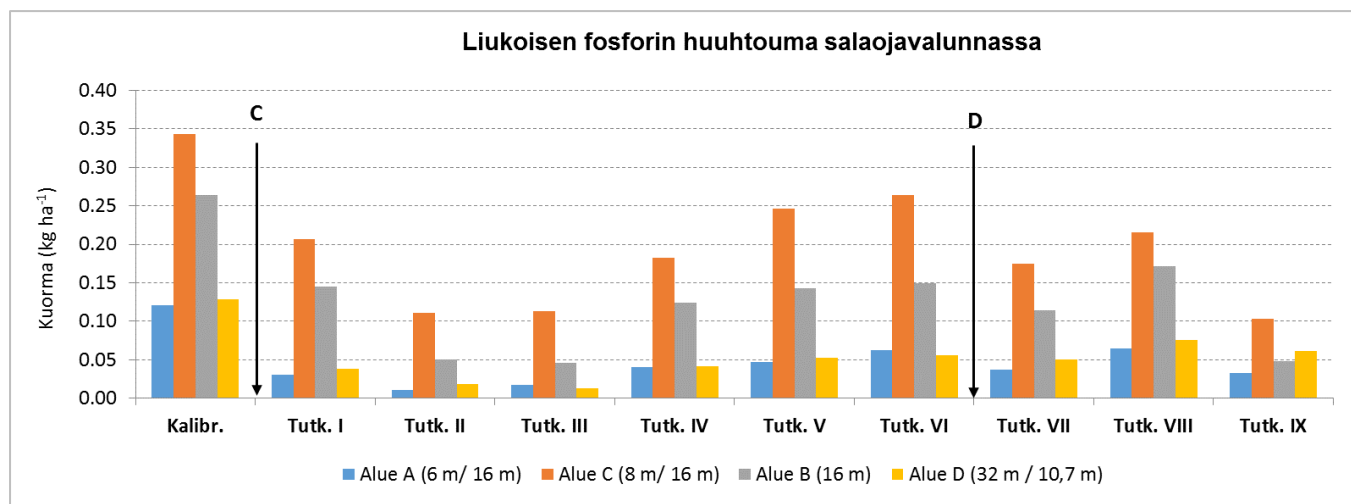
Liukoinen fosfori

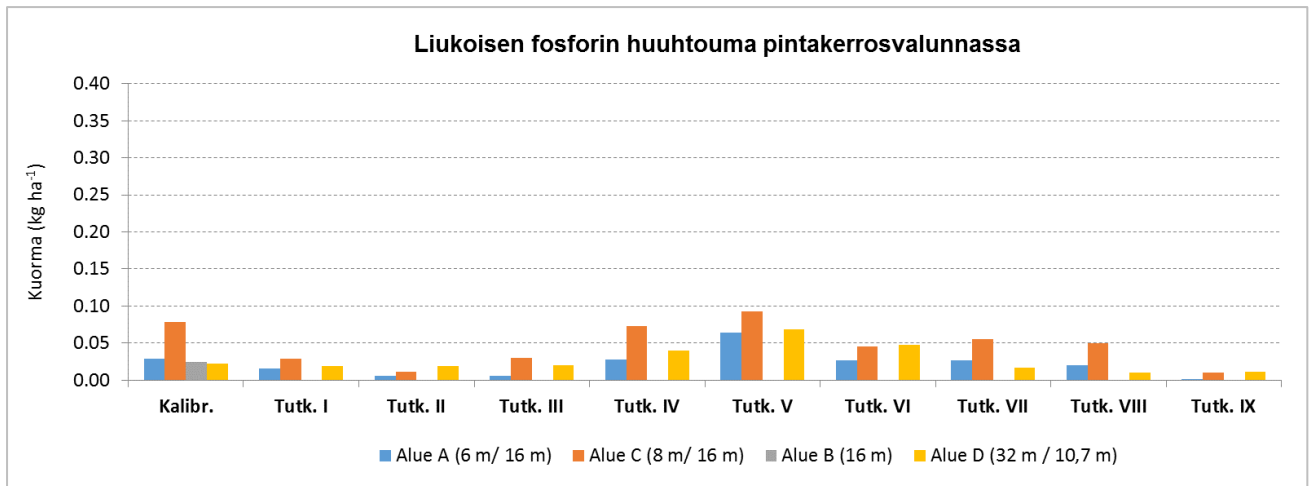
Salaoja- ja pintakerrosvalunnan liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin (liukoisen fosforin) pitoisuuden mediaanit ja vaihteluvälit sekä valunnalla painotetut pitoisuudet (koko kymmenen vuoden mittausaineistosta) on esitetty taulukossa 3. Liukoisen fosforin pitoisuudet olivat keskimäärin melko samanlaisia koko tutkimuksen aikana eri alueiden salaoja- ja pintakerrosvalunnassa. Maan helppoliukoisen fosforin määrä (viljavuusfosfori) vaihteli (v. 2013) keskimäärin välillä 2,8–9,5 mg l⁻¹ maata. Suurin fosforiluku oli alueella C ja pienin alueella D, mikä näkyi alueiden valumavesien erilaisina liukoisen fosforin pitoisuuksina.

Taulukko 3. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan liukoisen epäorgaanisen fosforin pitoisuuksien minimi-, mediaani (Md)- ja maksimiarvot (µg l⁻¹) Nummelan koekentällä ajanjaksolla 6/2007–5/2017.

	Liukoisen fosforin pitoisuus (µg l ⁻¹)			
	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta				
min/Md/max	10 / 37 / 1040	7 / 72 / 881	3 / 73 / 547	10 / 45 / 1348
Painotettu pitoisuus	51	101	104	62
Pintakerrosvalunta				
min/Md/max	9 / 53 / 622	9 / 93 / 1364	5 / 86 / 456	3 / 39 / 198
Painotettu pitoisuus	66	136	119	50

Suurin osa valuntavesien mukana kulkeutuneesta fosforista oli kiintoaineeseen sitoutunutta partikkelimaista fosforia. Liukoisen epäorgaanisen fosfaattifosforin (liukoisen fosforin), osuus kokonaisfosforihuuhtoumasta vaihteli välillä 3–26 %. Koealueilla liukoisen fosforin huuhtoumat salaojavalunnassa vaihtelivat välillä 0,01–0,34 kg ha⁻¹ a⁻¹ (kuva 14a). Pintakerrosvalunnan mukana huuhtoutui 0,01–0,09 kg ha⁻¹ a⁻¹ (kuva 14b). Kuormituksesta 8, 10,7 ja 16 m ojaväleillä tuli salaojien kautta keskimäärin noin 75 % ja 32 m ojavälillä noin 55 %.



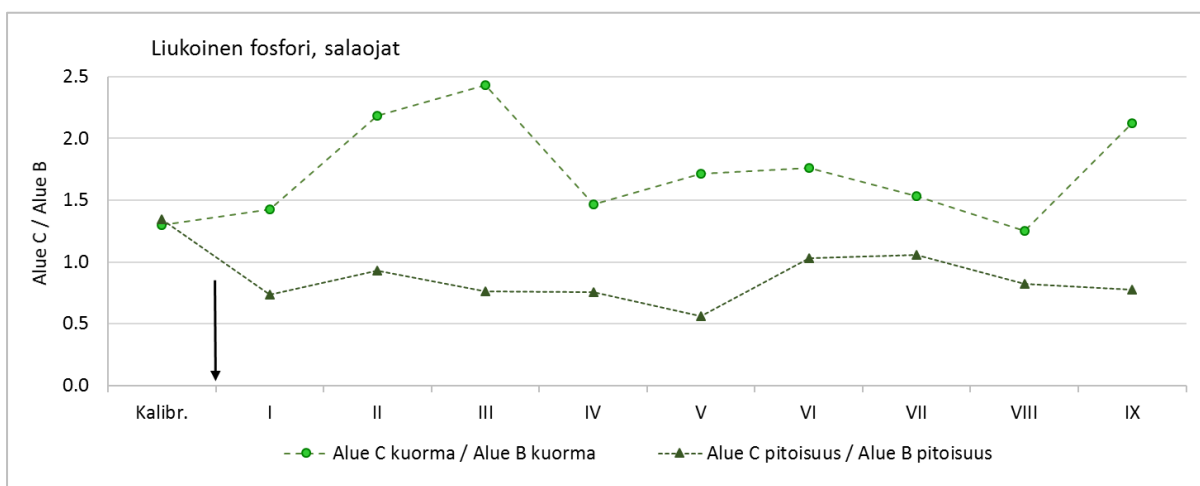


Kuva 14. Liukoisen fosforin vuotuiset huuhtoumat (kg ha^{-1}) salaojavalunnassa (a) ja pintakerrosvalunnassa (b) koalueilta A-D kalibrointijaksolla ja tutkimusjaksoilla I-IX. Alueiden C ja D täydennysojitusten ajankohdat on merkitty nuolella.

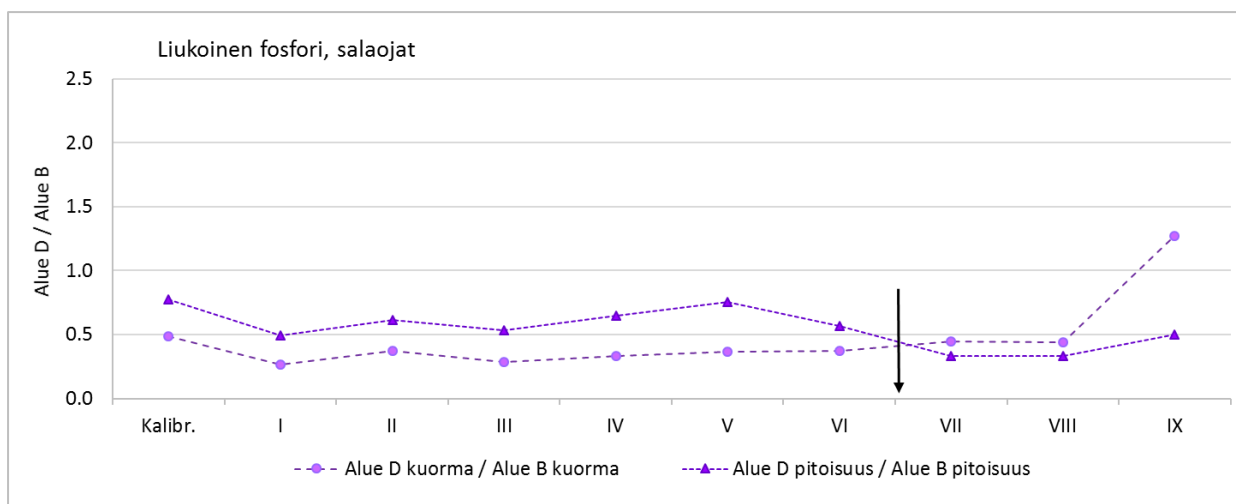
Täydennysojituksen vaikutus liukoisen fosforin huuhtoutumiseen

Samoin kuin kokonaisfosforipitoisuudet, myös alueen C salaojavalunnan suhteelliset (C/B) liukoisen fosforin pitoisuudet olivat täydennysojituksen jälkeisinä vuosina kalibrointijaksoa alempia (kuva 15). Tutkimusjaksolla IX pitoisuuden suhdeluku (C/B) oli tutkimusjaksojen keskiarvoa alempi. Alueen C salaojien liukoisen fosforin kuormat (C/B) sen sijaan ovat olleet täydennysojituksen jälkeen kalibrointijaksoa suurempia. Jakso IX oli liukoisen fosforin suhteellisen kuorman osalta keskimääräistä tutkimusjaksoa kuormittavampi.

Alueella D salaojavalunnan liukoisen fosforin pitoisuudet suhteessa alueeseen B olivat täydennysojituksen jälkeen aikaisempaa alempia (kuva 16). Kokonaisfosforin tapaan tutkimusjaksolla IX alueen D salaojavalunnan liukoisen fosforin pitoisuuden suhdeluku (D/B) oli suurempi kuin jaksoilla VII ja VIII. Näillä jaksoilla alueen D liukoisen fosforin huuhtoumat suhteessa vertailualueeseen B olivat hieman täydennysojitusta edeltäneiltä suurempia ja kolmannella jaksolla (jakso IX) liukoisen fosforin suhteellinen kuorma nousi selvästi.



Kuva 15. Alueiden C ja B vuotuisten liukoisen fosforin pitoisuuksien mediaanien sekä liukoisen fosforin kuormien suhde kalibrointijaksolla ja yhdeksällä tutkimusjaksolla. Alueen C täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.



Kuva 16. Alueiden D ja B vuotuisten liukoisen fosforin pitoisuuksien mediaanien sekä liukoisen fosforin kuormien suhde seitsemällä jaksolla ennen täydennysojitusta ja kolmella sen jälkeen. Alueen D täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.

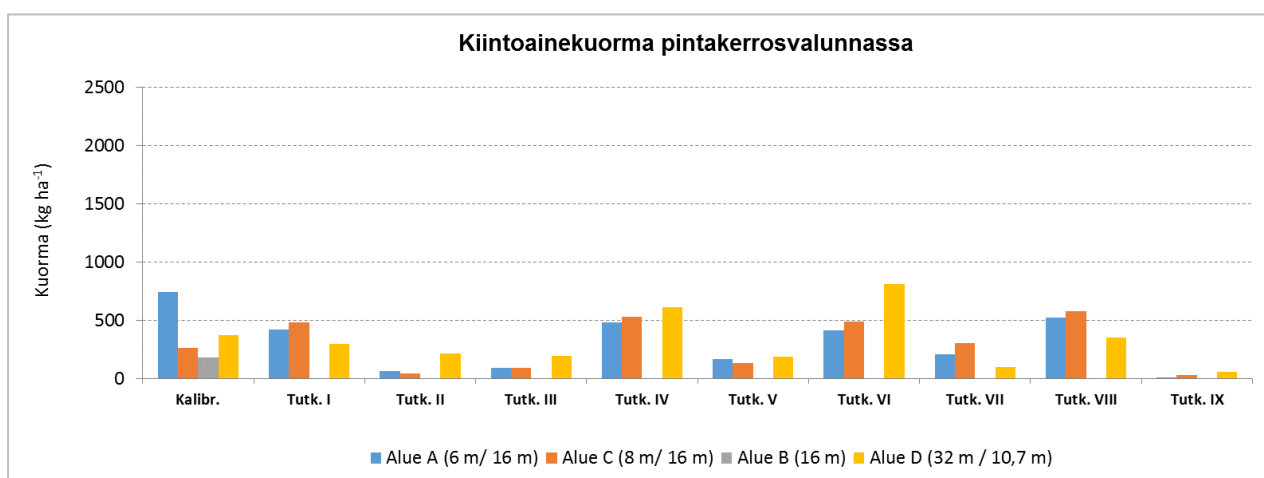
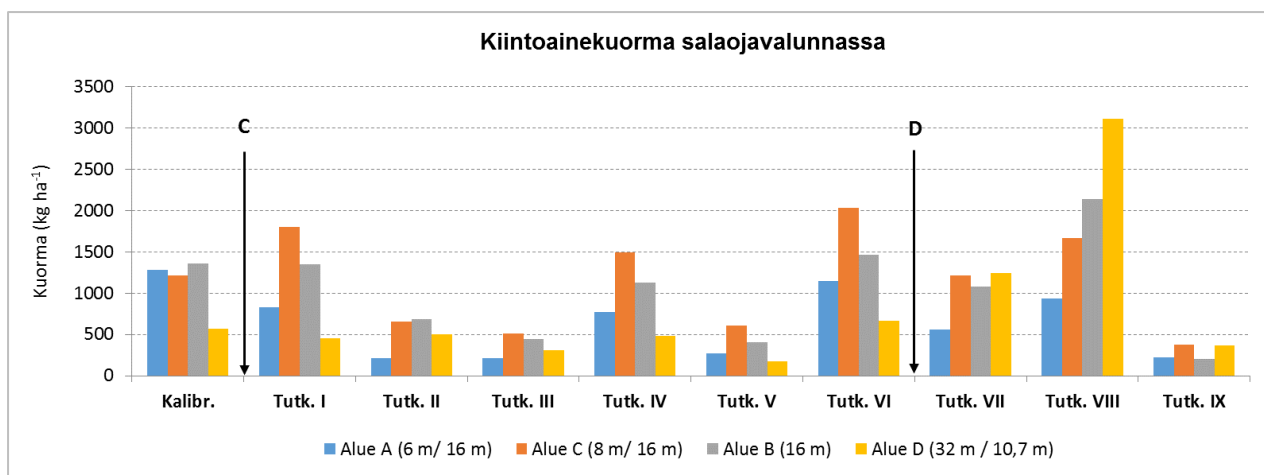
Kiintoaine

Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuuden mediaanit ja vaihteluvälit sekä valunnalla painotetut pitoisuudet (koko kymmenen vuoden mittausaineistosta) on esitetty taulukossa 4. Ravinnetuotteiden tapaan myös salaoja- ja pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuudet olivat keskimäärin melko lähellä toisiaan koko tutkimuksen aikana. Erilaisten ja eri-ikäisten ojitusten kiintoainepitoisuuksissa ei näyttänyt olevan eroja, vaan korkeita pitoisuuksia mitattiin sekä vanhojen (yli 60 v.) että uusien (3-9 v.) ojastojen salaojavesissä.

Taulukko 4. Salaoja- ja pintakerrosvalunnan kiintoainepitoisuuksien minimi-, mediaani (Md)- ja maksimiarvot (mg l^{-1}) Nummelan koekentällä ajanjaksolla 6/2007–5/2017.

	Kiintoainepitoisuus (mg l^{-1})			
	Alue A	Alue C	Alue B	Alue D
Salaojavalunta				
min/Md/max	20 / 400 / 3310	24 / 360 / 2710	80 / 440 / 4640	60 / 440 / 4430
Painotettu pitoisuus	701	597	846	905
Pintakerrosvalunta				
min/Md/max	20 / 690 / 4490	0 / 646 / 3240	20 / 560 / 4140	10 / 440 / 4730
Painotettu pitoisuus	911	843	320	573

Salaojavesien mukana kulkeutuneen kiintoaineen määrä vaihteli paljon tutkimuskauden aikana. Maainesta kulkeutui salaojavalunnassa vuosittain $170\text{--}3110 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (kuva 17a) ja pintakerrosvalunnassa $40\text{--}810 \text{ kg ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$ (kuva 17b). Salaojien osuus mitatusta kokonaiskuormituksesta (salaojavalunta+pintakerrosvalunta) ojaväleillä 8, 10,7 ja 16 m oli 80–95 %. Harvalla (32 m) ojaväleillä salaojavalunnan ja pintakerrosvalunnan osuudet olivat yhtä suuret.

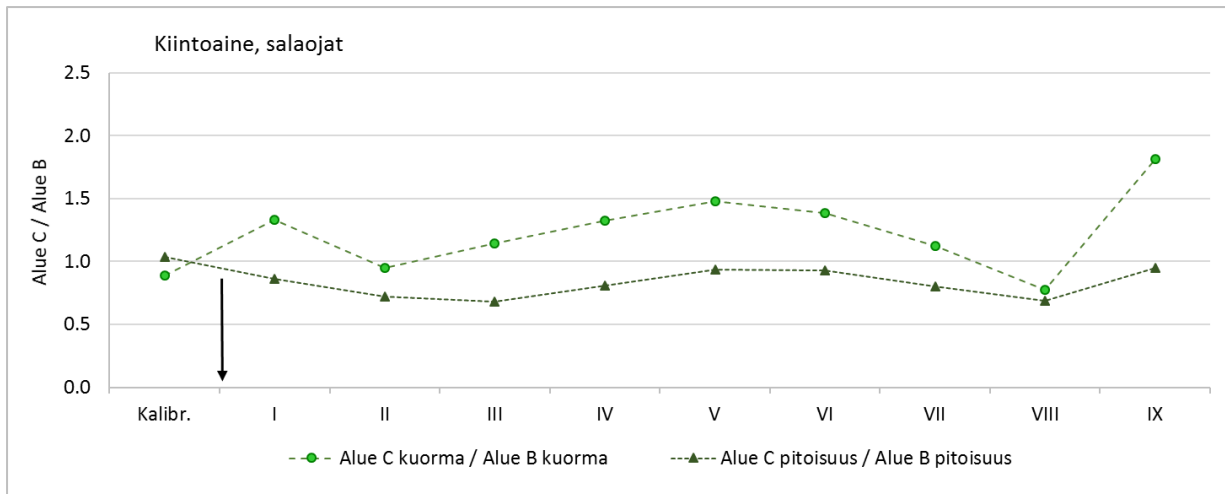


Kuva 17. Vuotuiset kiintoainekuormat (kg ha⁻¹) salaojavalunnassa (a) ja pintakerrosvalunnassa (b) koealueilta A-D kalibrointijaksolla ja tutkimusjaksoilla I-IX. Alueiden C ja D täydennysojitusten ajankohdat on merkitty nuolella.

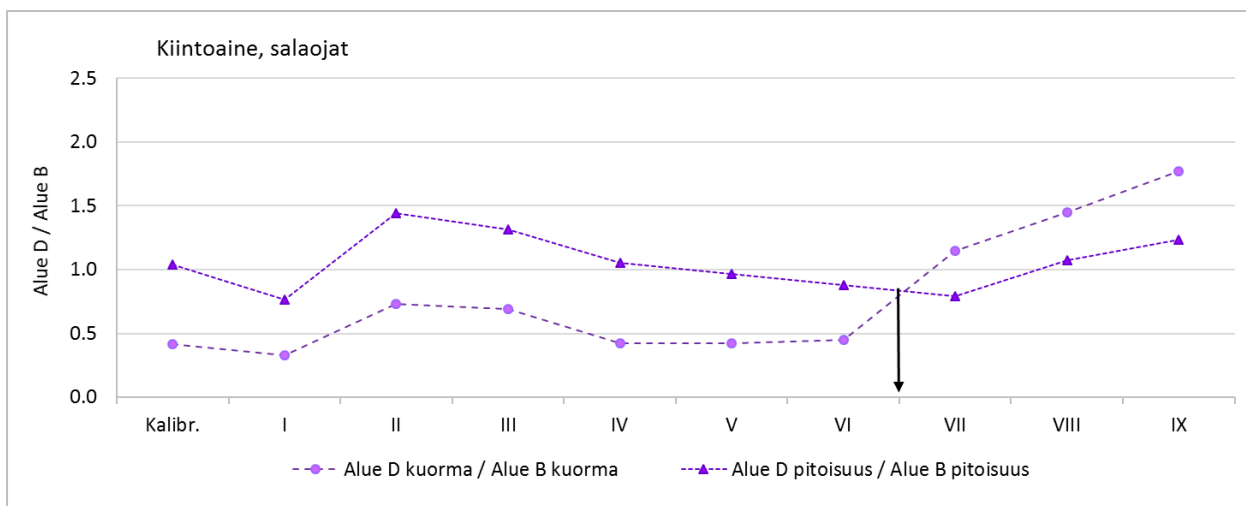
Täydennysojituksen vaikutus kiintoainehuuhtoumaan

Täydennysojituksen jälkeen alueen C salaojavalunnan kiintoainepitoisuudet olivat, suhteessa alueeseen B, kaikilla jaksoilla kalibrointijaksoa alempia (kuva 18). Tutkimusjaksolla IX salaojavalunnan kiintoainepitoisuuden suhdeluku (C/B) oli tutkimusjaksojen korkein. Suhteelliset kiintoainekuormat olivat alueella C tutkimusjaksoilla (pois lukien jakso VIII) suurempia kuin kalibrointijaksolla. Kokonaisfosforin tapaan myös kiintoainekuorma (C/B) oli jaksolla IX tutkimusjaksojen suurin.

Salaojavalunnan suhteelliset kiintoainepitoisuudet (D/B) ovat täydennysojituksen jälkeen olleet nousussa (kuva 19). Ensimmäisellä ojituksen jälkeisellä jaksolla (VII) kiintoainepitoisuuksien suhde oli pienempi kuin ojitusta edeltäneiden jaksojen keskiarvo, ja toisella jaksolla (VIII) yhtä suuri. Kolmantena vuonna (jakso IX) kiintoainekuorman suhdeluku (D/B) nousi yli ojitusta edeltäneiden jaksojen keskiarvon. Lisääntyneet salaojavalunnat yhdessä nousseiden pitoisuuksien kanssa nostivat suhteellista kiintoainekuormaa ojituksen jälkeen alueella D (kuva 19). Tilanne oli samansuuntainen kuin kokonaisfosforikuormissa.



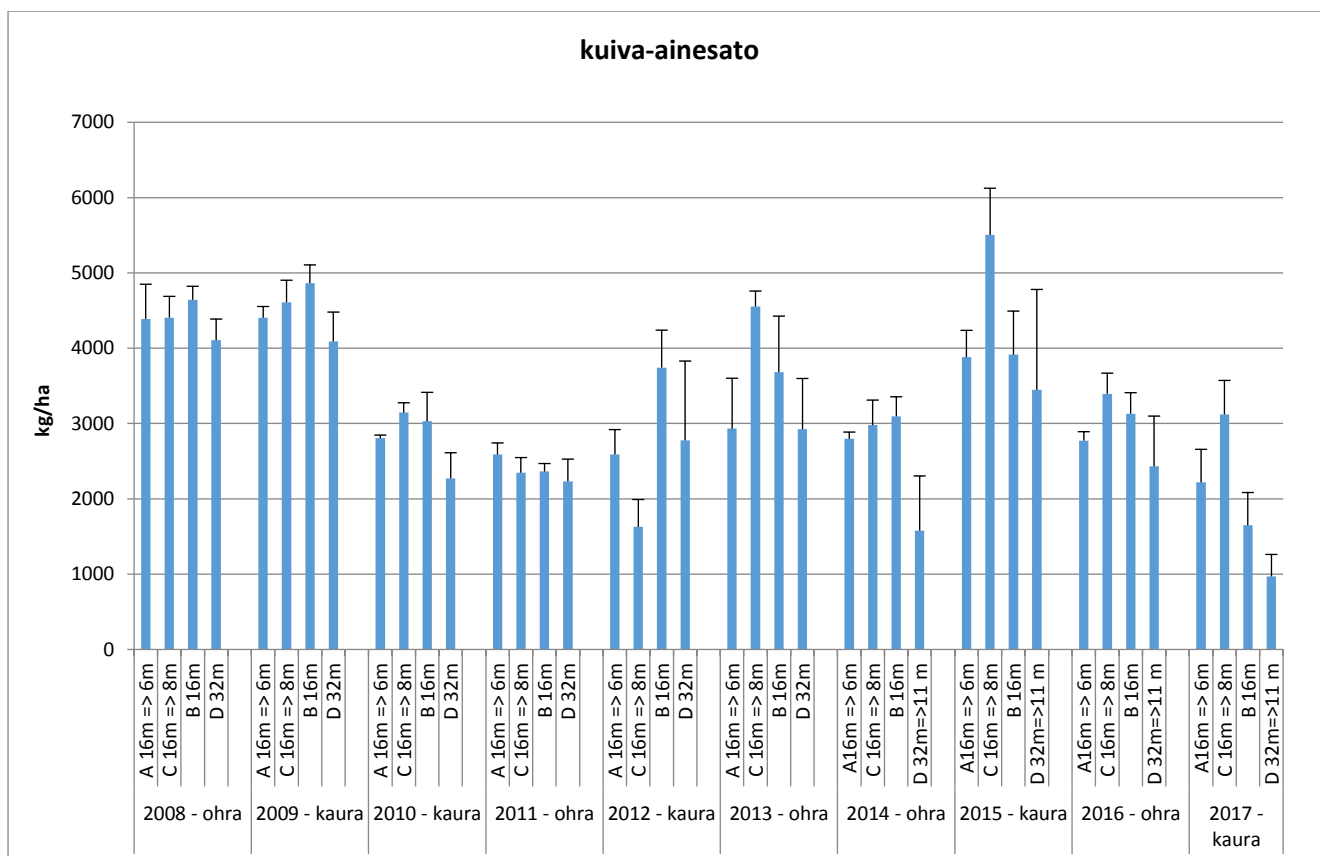
Kuva 18. Alueiden C ja B vuotuisten salaojavaluntojen kiintoainepitoisuuksien mediaanien sekä kiintoainekuormien suhde kalibrointijaksolla ja yhdeksällä tutkimusjaksolla. Alueen C täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.



Kuva 19. Alueiden D ja B vuotuisten salaojavaluntojen kiintoainepitoisuuksien mediaanien sekä kiintoainekuormien suhde seitsemällä jaksolla ennen täydennysojitusta ja kolmella sen jälkeen. Alueen D täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.

3.1.5 Sato

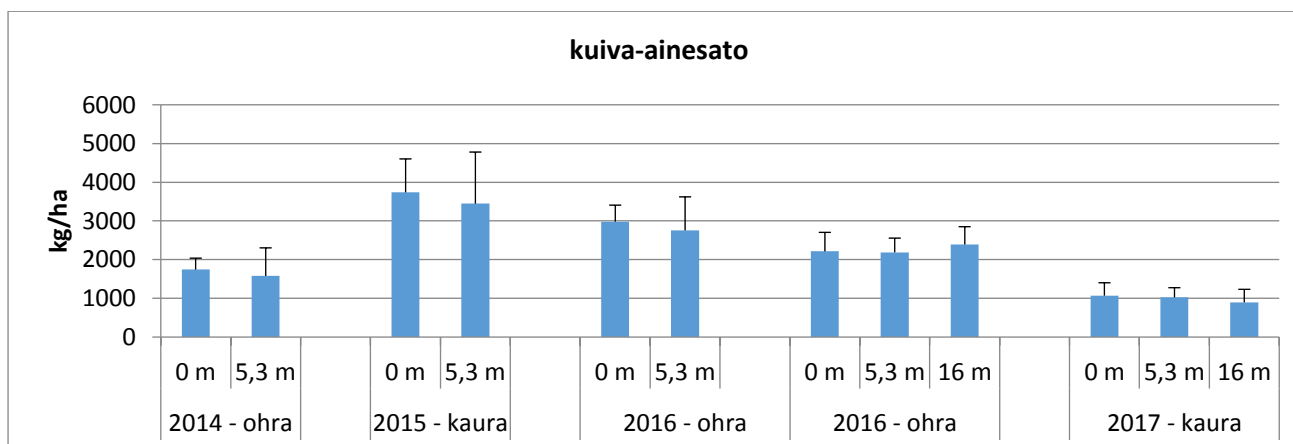
Vuonna 2017 sadon määrä ja laatu olivat aikaisempaa huonompia, todennäköisesti verrattain sateisen kesän ja erityisen sateisen syksyn takia (kuva 20). Alueiden järjestys oli kuitenkin sama kuin edellisinä vuosina; paras sato saatiin keväällä 2008 täydennysojitetulta alueelta C. Alueen D (ojaväli 32 m, vuodet 1952 – 2013) sato oli huonoin. Täydennysojitus (kevät 2014) ei siis ainakaan vielä ole parantanut satomääriä eikä sadon laatua.



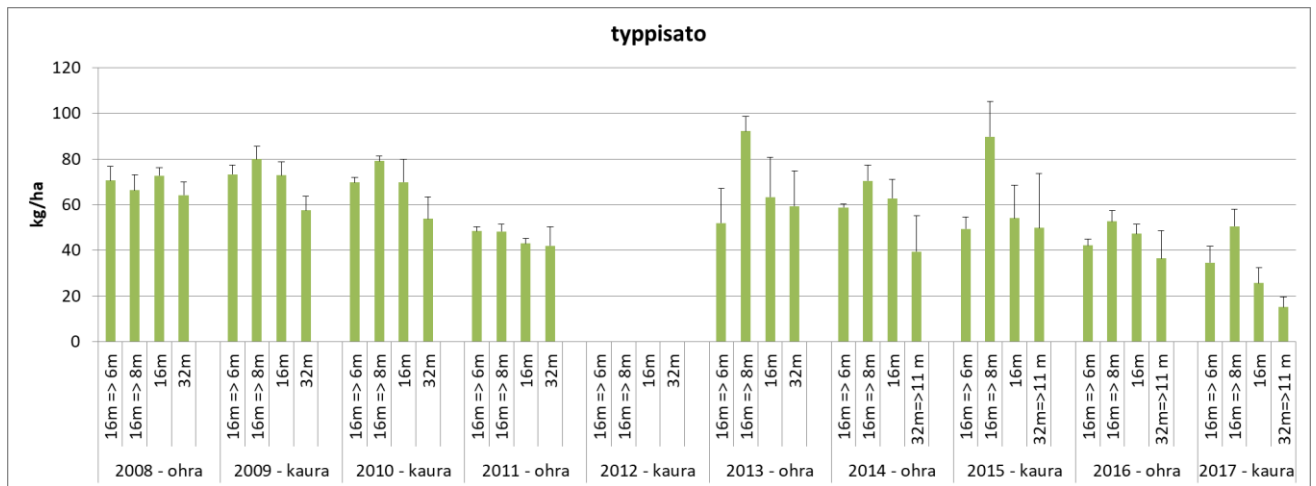
Kuva 20. Kuiva-ainesato (ohra, kaura) Nummelan koalueilta A (6 m), C (8 m), B (16 m) ja D (32 / 10,7 m) vuosina 2008 - 2017.

Vuodesta 2014 alkaen alueelta D on otettu satonäytteitä myös eri etäisyyksiltä vuonna 1952 tehdyistä salaojista (kuva 21). Aluksi näytteitä otettiin vain ojan kohdalta ja 5,3 metrin päästä ojasta (joka on ojien puoliväli täydennysojituksen jälkeen), ja vuosina 2016 ja 2017 myös 16 metrin päästä eli vanhojen ojien puolivälistä. Sadon määrä on lähes aina ollut ojan kohdalla parempi kuin kauempana niistä. Hajonnat ovat kuitenkin suuria eikä tuloksia ole vielä testattu tilastollisesti, joten varmaa johtopäätöstä vielä ei ole.

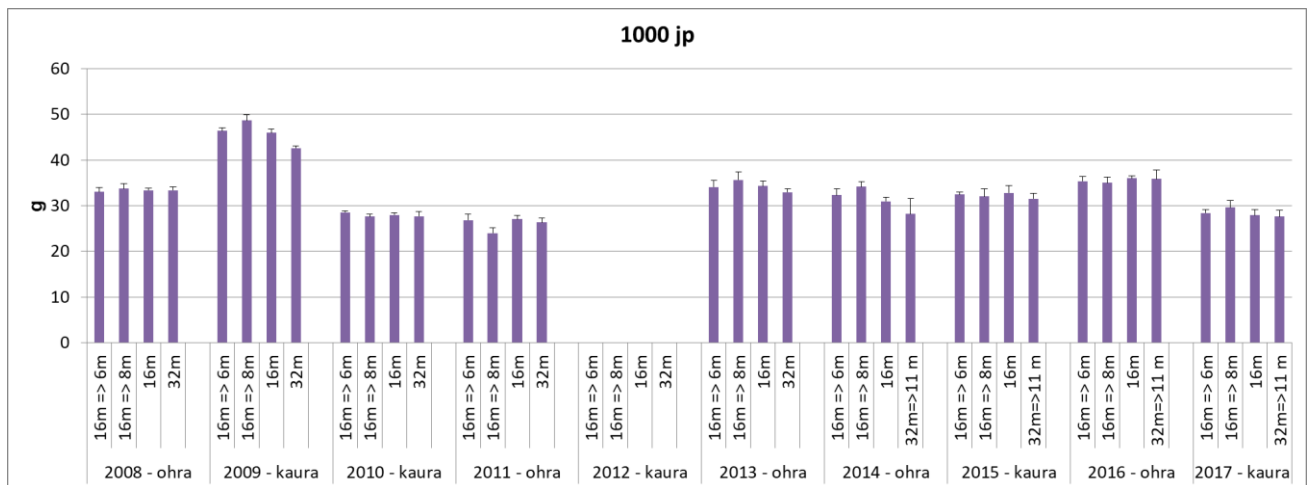
Sadon laatumittausten (typpisato, Hlp ja tjp) tulokset on esitetty kuvissa 22 – 24.



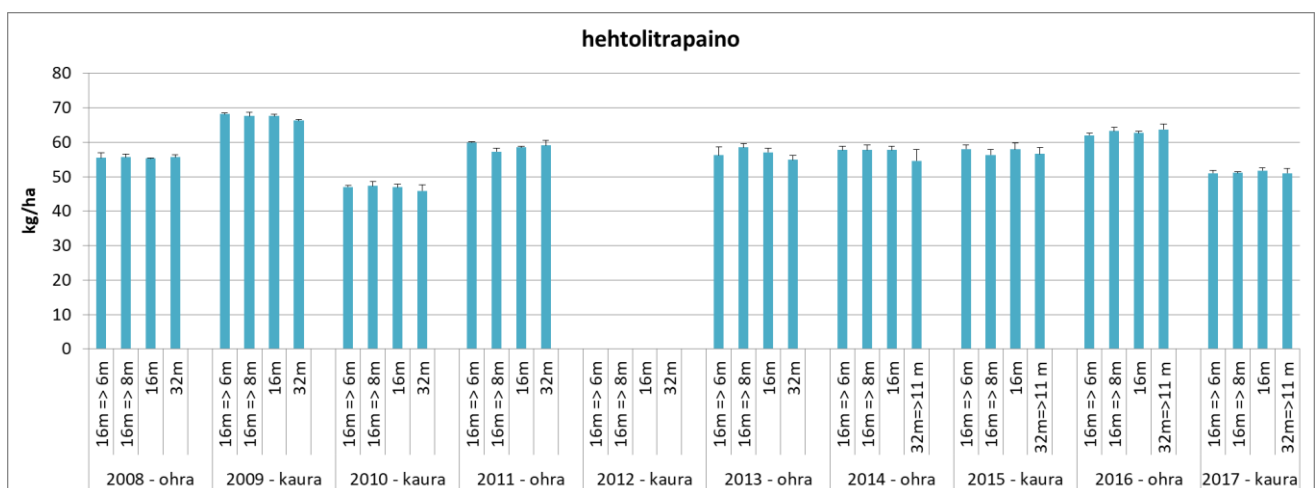
Kuva 21. Kuiva-ainesadot ja niiden hajonnat Nummelan koekentän alueella D eri etäisyyksillä vuonna 1952 asennetusta salaojasta.



Kuva 22. Typpisato (kg ha⁻¹) vuosina 2008 – 2017 alueilta A (ojaväli 6 m), C (8 m), B (16 m) ja D (32 m / 10,7 m). Poikkeuksellisen huonojen korjuulojen vuoksi määrittystä ei tehty vuoden 2012 sadosta.



Kuva 23. 1000 jyvän paino (kg ha⁻¹) vuosina 2008 – 2017 alueilta A (ojaväli 6 m), C (8 m), B (16 m) ja D (32 m / 10,7 m). Määrittystä ei tehty vuoden 2012 sadosta (poikkeukselliset sääolot).



Kuva 24. Hehtolitrapaino (kg ha⁻¹) vuosina 2008 – 2017 alueilta A (ojaväli 6 m), C (8 m), B (16 m) ja D (32 m / 10,7 m). Määrittystä ei tehty vuoden 2012 sadosta (poikkeukselliset sääolot).

3.1.6 Nummelan koekentän tulosten tarkastelu

TOSKA -jatkohankkeeseen kuulunut tutkimusjakso IX (06/2016 – 05/2017) oli Nummelan koekentän vuonna 2007 alkaneiden mittausten kuivin. Vuonna 2014 täydennysojitetulla alueella D salaojavalunnan suhde vertailualueeseen B oli yhtä suuri kuin sadannaltaan keskimääräisellä täydennysojitusta seuranneella jaksolla VII.

Ennen täydennysojitustaan alueen D pohjavedenpinta laski muita alueita huomattavasti hitaammin. Kolmantena täydennysojituksen jälkeisenä vuonna (jakso IX) alueen D pohjavedenpinnan korkeudet ja maan kosteudet (0 – 30 cm) eivät enää erottuneet muista alueista, vaan pohjaveden pinta ja maan kosteus reagoivat sateisiin samalla tavalla kuin vertailualueen B.

Tutkimusjaksolla IX alueen D salaojavalunnan kokonaisfosforin, liukoisen fosforin sekä kiintoaineen huuhtoumat olivat korkeita suhteessa vertailualueeseen B pääosin runsaan salaojavalunnan vuoksi. Myös suhteellinen (D/B) kokonaistyyppikuorma oli kahta edeltänyttä jaksoa suurempi. Mutta vaikka alueen D salaojien ravinne- ja kiintoainekuormat olivat jaksolla IX korkeita suhteessa vertailualueeseen B, niin absoluuttisesti ne olivat pienempiä kuin kahtena edellisessä vuonna, koska kuivalla jaksolla valunnat jäivät pieniksi. Vuonna 2008 täydennysojitetun alueen C tilanne oli jaksolla IX samansuuntainen kuin alueella D. Kuormat (liukoinen fosfori ja etenkin kokonaisfosfori sekä kiintoaine) olivat korkeita suhteessa vertailualueeseen B, mutta absoluuttisesti verrattain pieniä.

Sateisena syksynä 2017 korjattiin määrältään ja laadultaan heikko sato. Edellisten vuosien tapaan paras sato saatiin alueelta C ja huonoin alueelta D.

3.2 Eri salaojakonetyypeillä tehtyjen ojitusten toimivuus Sievin koekentällä

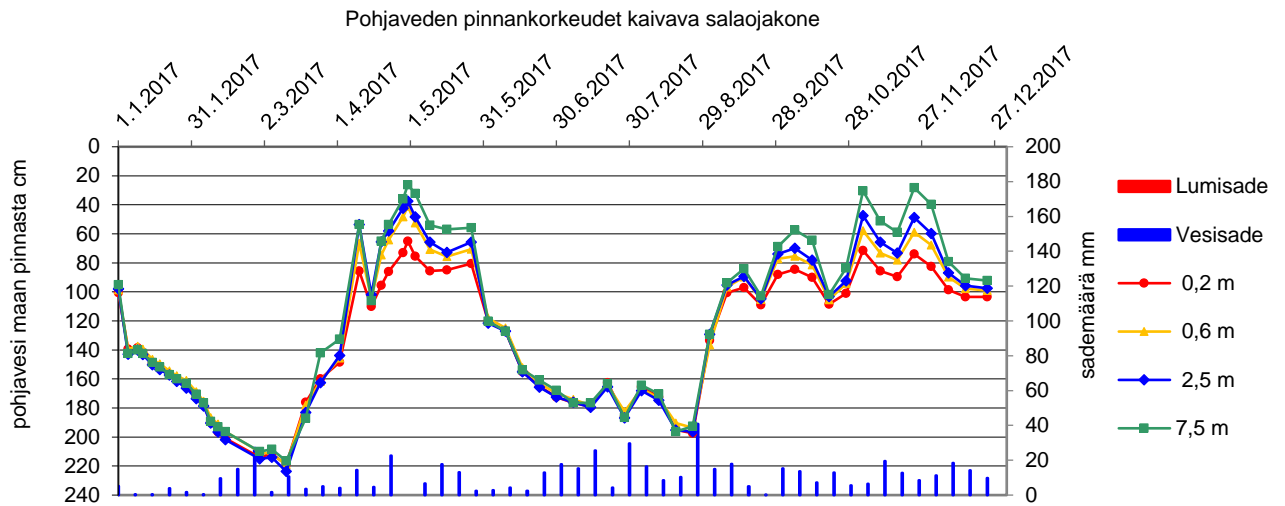
Tähän lukuun on koottu tuloksia Sievin koekentän sadanta-, pohjavesi- ja satomittauksista vuodelta 2017.

3.2.3 Pohjavedenpinnan syvyys koekentällä

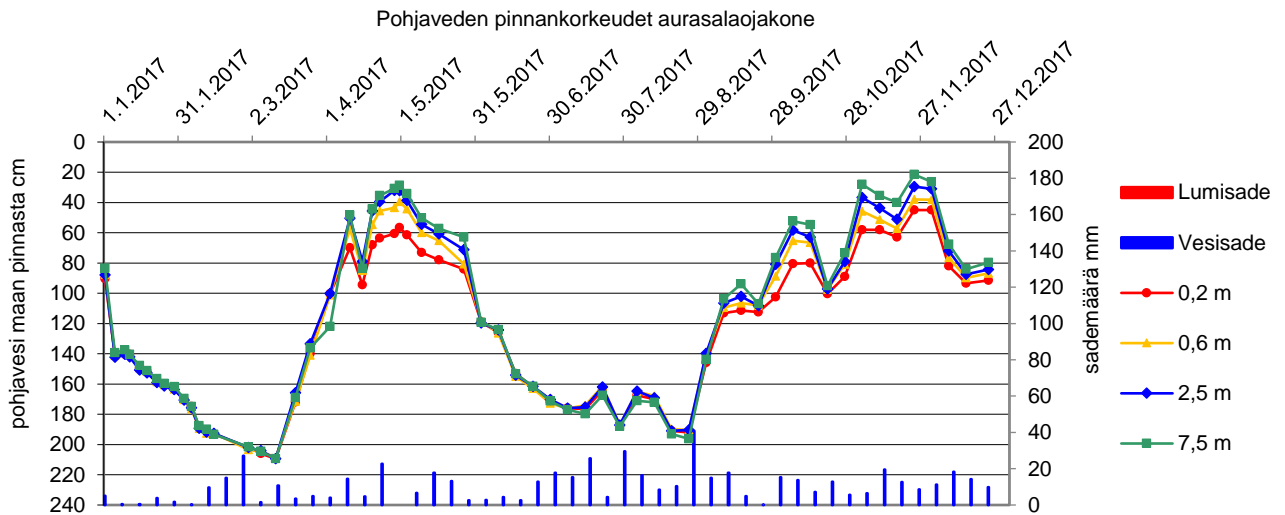
Pohjaveden pinta laski talvella 2017 2,2 metrin syvyyteen maanpinnasta, ja nousi hetkittäin sateisina aikoina 20–30 cm:n päähän maanpinnasta. Merkittävin ero aiempaan mittausjaksoon (2015–2016) oli se, että pohjavedenpinta ei noussut pellon pintaan asti lainkaan vuoden aikana.

3.2.4 Pohjavedenpinnan syvydet eri etäisyyksillä salaojasta

Pohjavesi nousi sitä lähemmäksi pellon pintaa mitä kauempana oltiin salaojasta (kuvat 25 - 27). Keskimääräinen ero pohjaveden pinnassa 7,5 metrin etäisyyden ja salaojan kohdan (0,2 m) kesken oli koko mittausjakson aikana 10 cm, kun salaojasyvyyden alapuoliset pohjavesiarvot olivat mukana laskennassa (keskiarvo, molemmat 7,5 m etäisyydet ja menetelmät). Suodattamalla salaojasyvyyden alapuoliset arvot pois (kun pohjavesipinta laski ojien puolivälissä alle salaojasyvyyden), ero oli 22 cm (keskiarvo, molemmat 7,5 m etäisyydet ja menetelmät). Välietäisyyksillä (0,6 m, 2,5 m) salaojasta pohjavedenpinnat olivat tältä väliltä. Pohjavesipintojen erot etäisyyksien kesken tasoittuivat silloin, kun oli kuivempaa ja pohjaveden taso oli lähellä salaojasyvyyttä. Kuivina aikoina pohjaveden painuessa salaojasyvyyden alapuolelle ei eroja etäisyyksien kesken ollut.



Kuva 25. Pohjaveden pinnankorkeudet (mediaani) kaivavalla salaojakoneella tehdyissä salaojissa eri etäisyyksillä salaojasta. Sadanta (vesi, korjaamaton) on esitetty viikkoarvoina.



Kuva 26. Pohjaveden pinnankorkeudet (mediaani) aurasalaojakoneella tehdyissä salaojissa eri etäisyyksillä salaojasta. Sadanta (vesi, korjaamaton) on esitetty viikkoarvoina.



Kuva 27. Pohjaveden pinnankorkeudet (jatkuva mittaus, mittausintervalli 10 min) 0,2 – ja 7,5 m etäisyyksillä salaojasta aurasalaojakoneella ja kaivavalla koneella. Sadanta (vesi, korjaamaton) on esitetty viikkoarvoina.

3.2.5 Pohjavedenpinnan syvyydet eri kaivumenetelmien ojituksissa

Pohjavedenpinnan syvyydet (keskiarvo) eri etäisyyksillä salaojasta on esitetty menetelmäkohtaisesti taulukossa 5. Tuloksista on laskettu keskiarvot koko datasta ja lisäksi on laskettu keskiarvot, joista yli salaojasyvyyden (1 m) arvot on jätetty pois. Tulosten mukaan pohjavesi oli suurimman osan mittausjaksosta korkeammalla aurakoneella tehdyissä ojituksissa kuin kaivavalla koneella tehdyissä ojituksissa. Erot pohjaveden syvyydessä menetelmien kesken pysyivät lähes samana edelliseen mittausjaksoon verrattuna.

Pohjaveden pinta oli 1–9 cm lähempänä maan pintaa aurakoneojituksissa (taulukko 5). Pienimmät erot menetelmien kesken mitattiin 7,5 m etäisyydellä ja suurimmat erot 2,5 m etäisyydellä salaojasta. Kun ajankohdat, jolloin pohjaveden pinta oli yli metrin syvyydessä, jätettiin huomioimatta, oli ero etäisyyden mukaan 2–15 cm menetelmien välillä. Suurimmat erot menetelmien välille syntyivät runsaiden sadetapahtumien aikana.

Pohjavesimittausten hajonta oli suurempaa koko mittausjakson aikana, kun taas alle metrin suodatetuissa pohjavesiarvoissa hajonta oli pienempää aiempaan mittausjaksoon verrattuna. Pohjaveden nopeat muutokset olivat myös tasaisempia.

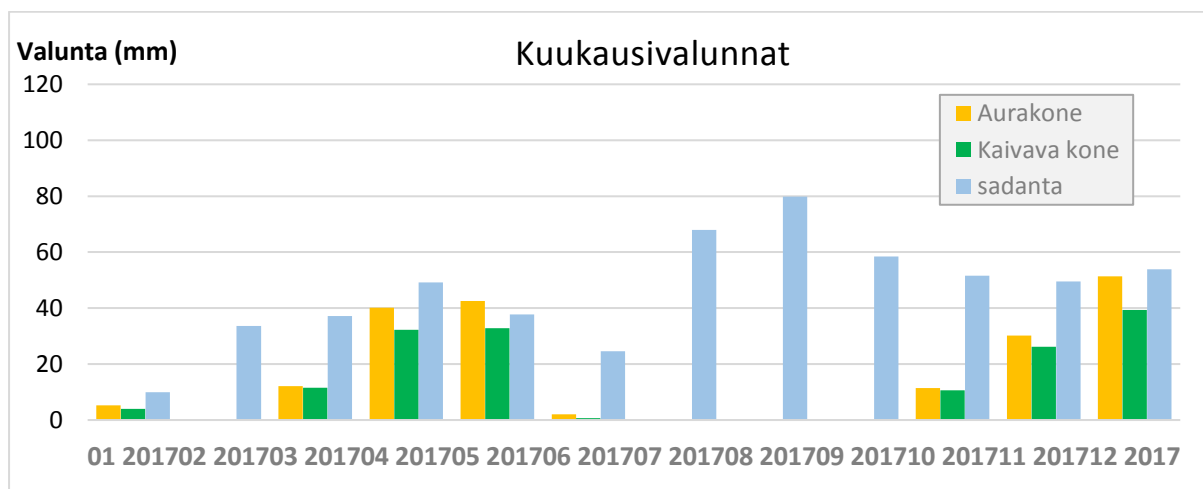
Ajankohtia, jolloin pohjavesi oli lähempänä kuin 50 cm maanpinnasta esiintyi huhtikuussa ja marraskuussa 7,5 metrin etäisyydellä salaojasta. Kasvukaudella pohjavesi ei noussut lähelle maanpintaa, eikä märkyyssstressiä kasvustoille aiheutunut.

Taulukko 5. Pohjavedenpinnan syvyydet maanpinnasta eri etäisyyksillä salaojasta. Jokaisen mittaushetken arvoista on laskettu mediaani ja tästä koko mittausjaksolle (6/2015–12/2017) keskiarvo.

	Etäisyys salaojasta (m)						
	-7,5	-2,5	-0,6	0,2	0,6	2,5	7,5
Pohjavedenpinnan syvyys maanpinnasta (cm), koko mittausjakso							
Aurakone							
Keskiarvo	120	119	125	126	119	119	116
Keskihajonta	59	56	53	49	54	56	59
Kaivava kone							
Keskiarvo	121	125	127	133	127	128	122
Keskihajonta	58	54	50	44	49	53	55
Menetelmien ero	1	6	2	7	8	9	6
Pohjavedenpinnan syvyys maanpinnasta (cm), yli 1 m arvot poistettu							
Aurakone							
Keskiarvo	62	64	72	78	66	63	57
Keskihajonta	28	25	22	19	22	23	26
Kaivava kone							
Keskiarvo	64	73	79	91	80	77	69
Keskihajonta	25	22	21	16	21	25	28
Menetelmien ero	2	10	7	13	15	14	12

3.2.6 Salaojavalunnat

Mittausjakson kuukausittaiset salaojavalunnat menetelmittain on esitetty kuvassa 28.



Kuva 28. Aurakoneella ja kaivavalla koneella salaojitettujen alueiden salaojavalunta ja sadanta (korjaamaton) kuukausittain 1/2017–12/2017.

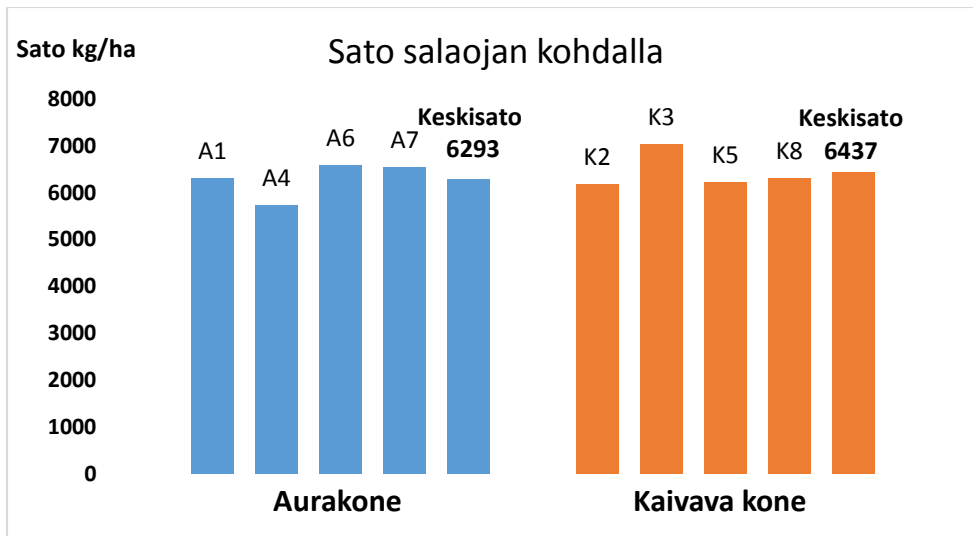
Salaojavaluntaa kertyi kaivavalla koneella tehdyistä salaojista 158 mm ja aurakoneella tehdyistä salaojista 195 mm vuoden 2017 aikana. Valuntasumma oli 19 % suurempi aurasalaojakoneella kuin kaivavalla koneella. Aurakoneella tehdyistä ojastoista tuli enemmän salaojavaluntaa joka kuukausi. Valuntamäärät olivat kaivavalla koneella tehdyistä ojastoista suuremmat vain hyvin runsaiden sadekuurojen aikana. Salaojavaluntaa ei muodostunut sadetapahtumien aikana kesällä (kesä-heinä-elokuu), sillä pellon pohjavesipinta oli salaojasyvyyden alapuolella.

3.2.7 Sato

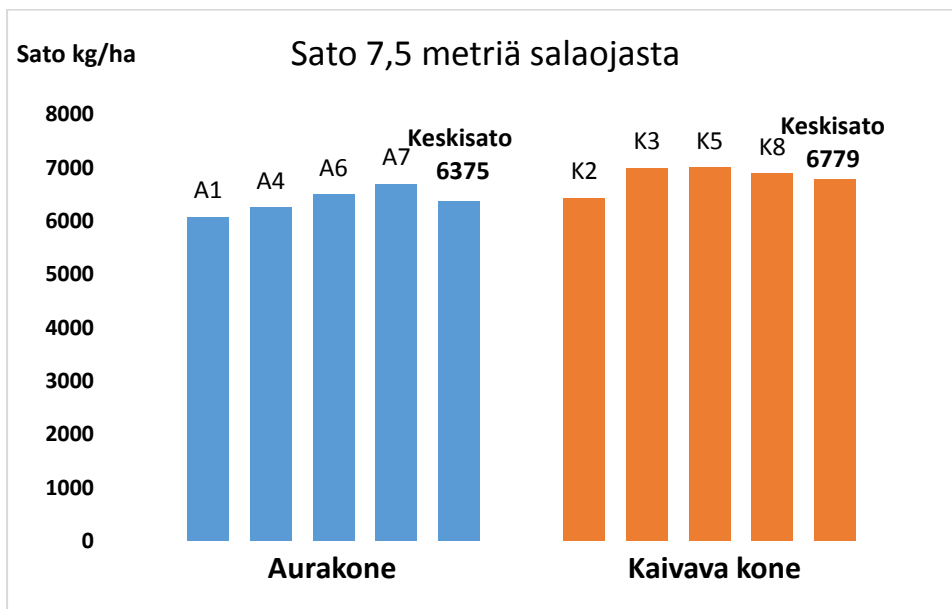
Koealueiden sadon määrä ja laatu vuonna 2017 on esitetty taulukossa 6 ja kuvissa 29 ja 30. Viljelykasvina oli rehuohra (Brage). Ohran keskisato vuonna 2017 oli kaivavalla koneella ojitetuilla alueilla 6630 kg ha⁻¹ ja aurakoneella 6330 kg ha⁻¹. Sato oli salaojan kohdalla kaivavalla koneella 6440 kg ha⁻¹ ja aurakoneella 6290 kg ha⁻¹. 7,5 m päässä salaojasta aurakoneella ojitettujen alueiden keskisato oli 6380 kg ha⁻¹ ja kaivavan koneen 6780 kg ha⁻¹. Sato oli 2,1 % suurempi 7,5 m etäisyydellä salaojasta (molemmat menetelmät). Kaivavan koneen sato oli 2,2 % aurakonetta suurempi salaojan kohdalla. Salaojien puolivälissä kaivavan koneen sato oli 6 % aurakonetta suurempi.

Taulukko 6. Sadon määrä (kuiva-aine) (ohra, Brage) ja laatu (1000 jyvän paino ja hehtolitrapaino) vuonna 2017. Kursiivilla olevat luvut kertovat keskihajonnan. Satomäärät on laskettu kahden näytteen keskiarvona.

Koealue	Etäisyys salaojasta (m)	Sato kg/ha		Typpi %		Typpisato (kg/ha)		Tjp g	Hlp kg
1 = Aurakone	0	6312	<i>805</i>	1,58	<i>0,04</i>	100	<i>14,6</i>	32,7	59
	7,5	6070	<i>128</i>	1,61	<i>0,12</i>	98	<i>6,6</i>	31,7	58
2 = Kaivava kone	0	6178	<i>518</i>	1,80	<i>0,21</i>	112	<i>18,3</i>	28,4	55
	7,5	6429	<i>342</i>	1,79	<i>0,25</i>	115	<i>15,6</i>	29,9	55
3 = Kaivava kone	0	7036	<i>390</i>	1,84	<i>0,25</i>	130	<i>19,5</i>	31,3	57
	7,5	6987	<i>355</i>	1,72	<i>0,14</i>	120	<i>2,7</i>	30,4	58
4 = Aurakone	0	5744	<i>146</i>	1,79	<i>0,11</i>	103	<i>7,2</i>	30,2	57
	7,5	6246	<i>211</i>	1,85	<i>0,26</i>	115	<i>8,8</i>	31,1	53
5 = Kaivava kone	0	6217	<i>380</i>	1,89	<i>0,06</i>	117	<i>4,4</i>	31,3	53
	7,5	6997	<i>1476</i>	1,89	<i>0,12</i>	133	<i>25,6</i>	33,2	57
6 = Aurakone	0	6578	<i>78</i>	1,73	<i>0,23</i>	114	<i>11,9</i>	33,7	58
	7,5	6491	<i>427</i>	1,78	<i>0,18</i>	116	<i>13,8</i>	31,7	57
7 = Aurakone	0	6539	<i>333</i>	1,79	<i>0,11</i>	117	<i>0,7</i>	31,6	58
	7,5	6693	<i>344</i>	1,90	<i>0,13</i>	127	<i>1,7</i>	32,2	54
8 = Kaivava kone	0	6317	<i>497</i>	1,86	<i>0,13</i>	118	<i>14,9</i>	30,7	57
	7,5	6887	<i>512</i>	1,75	<i>0,11</i>	120	<i>0,8</i>	31,7	58



Kuva 29. Ohrasato menetelmittäin vuonna 2017 salaojan kohdalla. Jokainen pylväs esittää kahden näytteen keskiarvoa.



Kuva 30. Ohrasato (kuiva-aine) menetelmittäin vuonna 2017 7,5 metrin päässä salaojasta. Jokainen pylväs esittää kahden näytteen keskiarvoa.

3.2.8 Sievin koekentän tulosten tarkastelu

Pohjaveden pinnat pysyivät vuonna 2017 alempana verrattuna aikaisempaan mittausjaksoon. Erot pohjavesipinnoissa menetelmien välillä pysyivät lähes samoina ja eri etäisyyksillä muutos oli 1-5 cm. Muutokset johtuvat luultavasti pienestä vuotuisesta sademäärästä. Pohjaveden nopeat muutokset olivat tasaisempia aiempaan mittausjaksoon verrattuna (hajonta pientä).

Salaojavalunnan määrissä menetelmien kesken tapahtui merkittävä muutos aikaisempaan tarkastelujaksoon, sillä aurakoneella ojitetuilta alueilta kertyi enemmän salaojavaluntaa ympäri vuoden. Tämä ei kuitenkaan näkynyt koalueiden pohjavesipinnoissa.

Pelloilta korjattiin hyvä sato, sillä satomäärät olivat lähes 2000 kg ha⁻¹ korkeammat aiempaan tarkastelujaksoon verrattuna. Kasvusto oli tasaista lähes koko koepellon alalla. Satomäärät olivat kaivavalla koneella hieman suuremmat salaojan kohdalla sekä ojien puolivälissä. Sadot olivat koko kentän alalla salaojien puolivälissä hieman suuremmat, mikä voi johtua siitä, että kuivina aikoina vettä oli kaukana salaojasta enemmän kasvien käytettävissä.

Muutokset satomäärissä sekä pohjavesissä viittaavat siihen, että maan rakenne ja pellon kasvukunto ovat parantuneet ja salaojituksen aiheuttama maan rakenteen häiriintyminen on tasaantunut pellolla.

3.3 Sievin pohjavesiaineiston tilastollisen tarkastelun tulokset

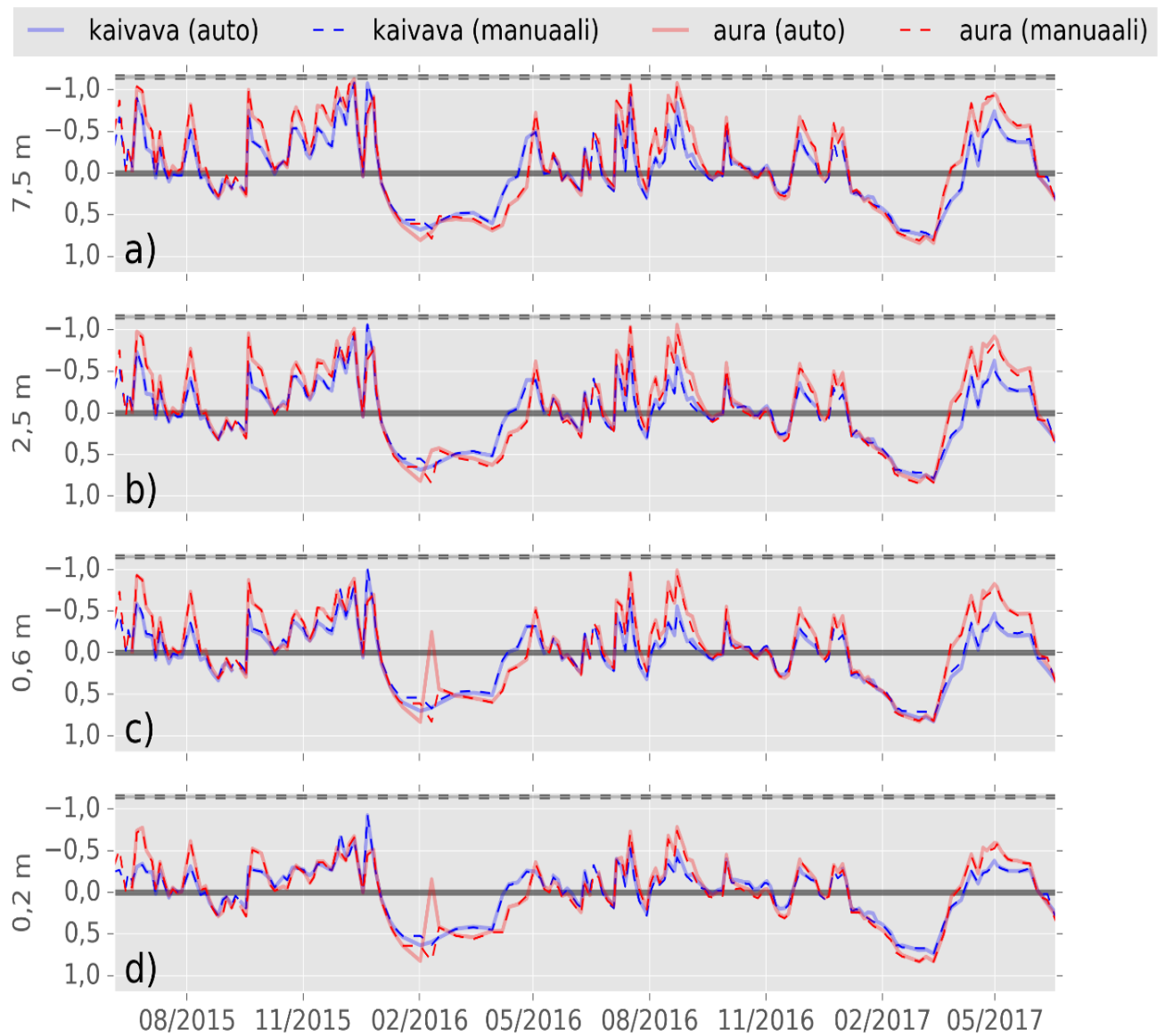
Kuvassa 31 on esitetty tulokset automaattisista ja manuaalisista pohjavesimittauksista koealueilta 5 (kaivava kone) ja 6 (aurakone). Kuvassa on alueiden pohjavedenpinnan tasot neljässä havaintokohdassa, joista pohjavedenpinnan syvyyden mittaukset oli tehty sekä manuaalisesti että automaattisilla mittareilla. Kaikkien kahdeksan koealueen välillä salaojasyvyys vaihteli 0,98–1,18 cm. Vertailua varten pohjavedenpinnan syvyyden mittaukset muutettiin kuvaamaan pohjavedenpinnan tasoa salaojaan nähden. Salaojasyvyys asetettiin 0-tasoksi. Negatiiviset arvot ovat salaojasyvyyden yläpuolella ja positiiviset ojasyvyyden alapuolella (kuva 31).

Pohjavedenpinta oli lähempänä maanpintaa auralla (koealueella 6) kuin kaivavalla (koealueella 5) 71 %, 53 %, 58 % ja 43 % havainnoista kohdissa 7,5, 2,5, 0,6 ja 0,2 m, vastaavasti. Erot olivat keskimäärin 12–17 cm, kun aura oli lähempänä maanpintaa, ja 7–8 cm, kun kaivava oli lähempänä maanpintaa. Kaikkien koealueiden ja havaintoetäisyyksien osalta 60–90 % havaintohetkestä pohjavedenpinta oli aurakoneella lähempänä maan pintaa verrattuna kaivavaan koneeseen (Salo ym., 2018, käsikirjoitus).

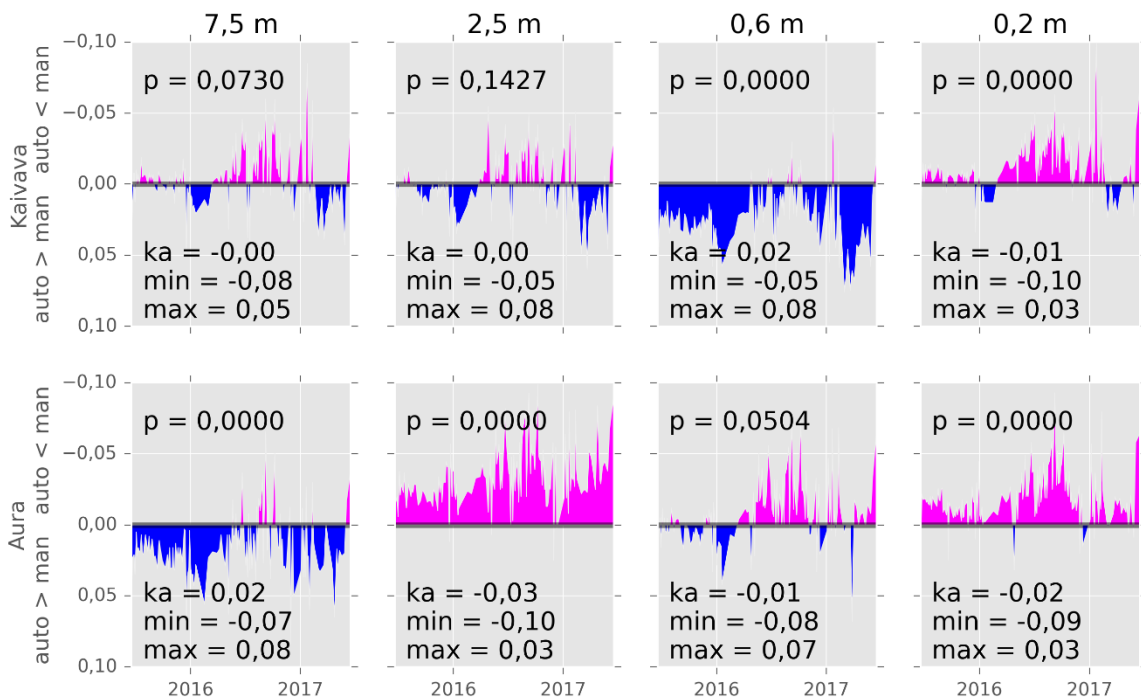
Kuvassa 32 on esitetty merkkitestin tulos (p-arvo) automaattisen ja manuaalisen aikasarjojen erotuksille. Merkkitesti testaa, onko automaattimittauksen tulos lähempänä maan pintaa manuaalimittaukseen verrattuna (onko erotusaikasarjassa sama määrä negatiivisia ja positiivisia lukuja). Erot manuaalisten ja automaattisten aikasarjojen välillä olivat enimmillään 10 cm ja keskimäärin 0–3 cm. Systemaattista eroa (automaattinen vai manuaalinen lähempänä maanpintaa) aikasarjojen välillä ei ollut (kuva 32). Kuvasta 31 nähdään, että automaattimittaus ja manuaalimittaus vastaavat toisiaan lähes joka havaintohetkellä (lukuun ottamatta selvää poikkeamaa aurakoneella helmikuussa 2016).

Kaikkien koealueiden tarkastelussa käytettiin manuaalisten havaintojen minimi ja maksimi aikasarjoja (ks. kohta 2.3). Näiden maksimi ja minimi aikasarjojen erot kaivavan ja auran välillä olivat keskimäärin 14–25 cm silloin, kun aura oli lähempänä maanpintaa, ja 6–12 cm silloin, kun kaivava oli lähempänä maanpintaa. Koko aikasarjojen osalta, pohjavedenpinta oli keskimäärin 6–16 cm ylempänä aurakoneella kuin kaivavalla koneella.

Edellä mainitut erot auran ja kaivavan pohjavedenpinnan tasoissa eroavat aiemmista tarkasteluista (Äijö ym., 2017; Sikkilä ym., 2018). Minimi ja maksimi aikasarjojen tarkastelussa tulee huomioida, että muodostetut aikasarjat eivät kuvaa minkään yksittäisen koealueen tilaa vaan koko pellon tilaa. Lisäksi on tarkasteltu erikseen tilanteita, jolloin aura on lähempänä maanpintaa ja kaivava on lähempänä maanpintaa.



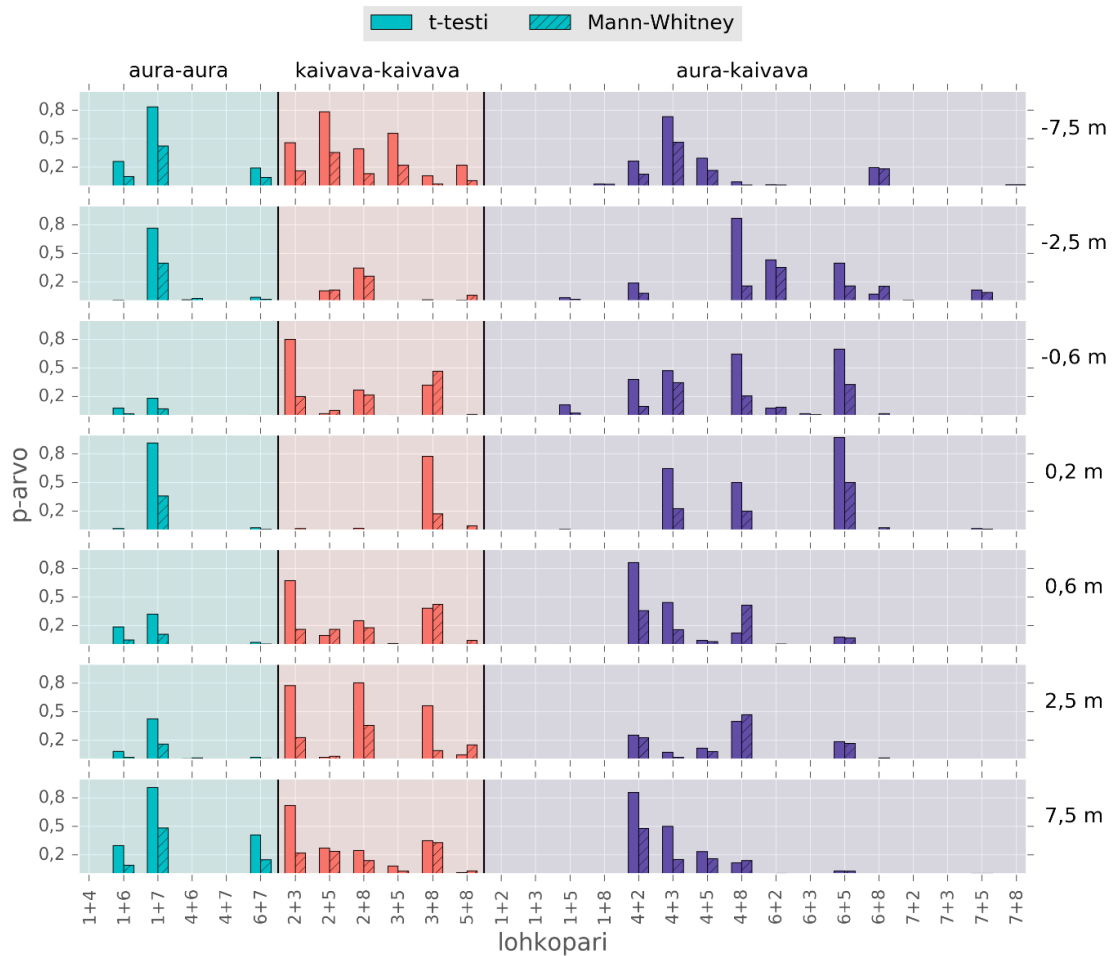
Kuva 31. Pohjavedenpinnan taso kaivavan koneen koealueella 5 (sininen) ja aurakoneen koealueella 6 (punainen) automaattisesti (yhtenäinen viiva) ja manuaalisesti (katkoviiva) mitattuna havaintokohdissa a) 7,5, b) 2,5, c) 0,6 ja d) 0,2 m salaojasta.



Kuva 32. Automaattisen ja manuaalisen mittauksen erot kaivavalla (ylärivi) ja aurakoneella (alarivi) neljässä havaintokohdassa (7,5, 2,5, 0,6 ja 0,2 m salaojasta). Kuvissa on ilmoitettu merkkitestin p-arvo (p), erotusten keskiarvo (ka), minimi (min) ja maksimi (max) metreinä. Sininen tarkoittaa hetkiä, jolloin manuaalimittaus lähempänä maanpintaa automaattimittaukseen verrattuna (sininen) ja pinkki hetkiä, jolloin automaattimittaus on lähempänä maanpintaa.

Manuaalisia aikasarjoja testattiin eri menetelmien koalueiden välillä sekä saman menetelmän alueiden välillä. Saman menetelmän alueiden erojen testauksella selvitettiin, aiheuttaako jokin muu tekijä ojitusmenetelmän lisäksi eroja pohjavedenpinnan tasoon. Kuvassa 33 on esitetty kahden otoksen t-testin ja Mann-Whitneyn U-testin tulokset kaikille koaluepareille jokaiselta havaintoetäisyydeltä. T-testi testaa kahden otoksen keskiarvojen yhtäsuuruutta ja Mann-Whitneyn testi sitä, ovatko otokset samasta jakaumasta. Kuvassa 30 aura-aura (turkoosi), kaivava-kaivava (punainen) ja aura-kaivava (violetti) parien tulokset on eroteltu toisistaan. Testien p-arvoista nähdään, että eroja on kaivava-kaivava pareissa vähemmän (suurempi p-arvo) aura-aura pareihin verrattuna. Testitulosten mukaan merkittäviä eroja oli reunakoealueiden ja keskimmäisten koealueiden välillä. Erot salaojakoneiden välillä eivät olleet suoraan havaittavissa tilastollisten testien tuloksista, vaikka eroja näyttää olevan enemmän aura-kaivava pareissa aura-aura ja kaivava-kaivava pareihin verrattuna.

Kuvassa 33 esitetyt testitulokset (t-testi ja Mann-Whitneyn U-testi) eroavat toisistaan siten, että Mann-Whitneyn U-testin mukaan eroja on useammassa tapauksissa t-testiin verrattuna (pienempi p-arvo). Näistä testeistä t-testi on herkempi testattavien otosten jakauma oletukselle, sillä t-testissä oletetaan, että otokset noudattavat normaalijakaumaa. Kummassakin testissä oletetaan, että otokset (aikasarjat) ovat riippumattomia, mikä aiheuttaa testituloksiin epävarmuutta, kun aikasarjat ovat havaintoja samalta alueelta, milloin esimerkiksi sadannalla sekä topografialla on eri aikasarjoihin samanlainen vaikutus.



Kuva 33. T-testin ja Mann-Whitneyn U-testin p-arvot jokaiselle koaluepareille. Aura-aura (turkoosi), kaivava-kaivava (punainen) ja aura-kaivava (violetti) parit on esitetty erikseen jokaisella havaintoetäisyydellä (-7,5, ..., 7,5 m) salaojasta.

Koko kahden vuoden aikasarjojen lisäksi testattiin kahdenlaisia suodatettuja aikasarjoja, joissa valittiin havainnot 1) salaojasyvyyden yläpuolella ja 2) vuodenaikojen mukaan (talvi, kevät, kesä ja syksy). Tulokset suodatetuista aikasarjoista eivät eronneet selvästi koko kahden vuoden aikasarjojen tuloksista. Suodatettujen aikasarjojen tulokset on esitetty Salo ym. (2018, käsikirjoitus).

Tulosten tarkastelu

Saatujen tulosten perusteella aurakoneella ja kaivavalla salaojakoneella ojitettujen alueiden pohjavedenpinnan syvyyksissä ei havaittu merkittäviä eroja. Tässä esitetyistä tuloksista voidaan päätellä, että kaivavan koneen koalueet (2, 3, 5 ja 8) käyttäytyvät suurimmaksi osaksi samalla tavalla, kun taas aurakoneen koalueilla (1, 4, 6 ja 7) aikasarjojen välillä on enemmän eroja. Tilastollisilla testeillä selvitettiin aikasarjojen erojen olemassaoloa, muttei erojen suuruutta. Erojen suuruutta tarkasteltiin maksimi ja minimi aikasarjoilla, joista huomattiin, että erot pohjavedenpinnan tasoissa olivat suurempia silloin, kun pohjaveden pinta oli aurakoneella ojitetuilla alueilla lähempänä maan pintaa kuin kaivavan koneen alueilla. Eri menetelmien koalueiden tuloksista voidaan huomata, että myös muut tekijät mahdollisesti aiheuttavat eroja koalueiden välillä, kun tilastollisesti merkittäviä eroja löytyi sekä saman että eri menetelmän koaluepareista. Yksi mahdollinen tekijä on koalueen sijainti kentällä, kun eroja näytti löytyvän ainakin reuna-alueiden ja keskeisillä sijaitsevien koalueiden välillä (kuva 33). Toinen mahdollinen tekijä on maaperä, joka erosi koalueiden 3 ja 4 osalta.

Automaattimittausten ja manuaalimittausten aikasarjoissa oli tilastollisesti merkittäviä eroja merkkitestin tulosten mukaan. Erot automaattimittauksen ja manuaalimittauksen välillä eivät kuitenkaan olleet isoja (keskiarvo 0–3 cm).

Tutkimusmenetelmät ja -tulokset esitellään laajemmin tieteellisenä julkaisuna, joka lähetetään julkaistavaksi vertaisarvioituun kansainväliseen sarjaan (Salo ym. 2018).

4 Johtopäätökset

TOSKAN (Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa) jatkohanke vuonna 2017 mahdollisti pitkäaikaisten mittausaikasarjojen jatkuvuuden Nummelan ja Sievin salaojituskoekentillä. Niiden perusteella on arvioitu eri ojitusmenetelmien vaikutuksia pellon hydrologiaan, kuormitukseen ja satoon. Pitkäaikaiset kenttäkokeet ovat ensiarvoisen tärkeitä, jotta salaojitusmenetelmien toiminnasta saadaan kattava käsitys erilaisissa hydro-meteorologissa olosuhteissa. Pitkät havaintoajasarjat ovat oleellisia myös matemaattisten mallien kehittämisessä, testauksessa ja soveltamisessa, jotta niillä voidaan mahdollisimman luotettavasti arvioida esimerkiksi erilaisten toimenpiteiden vaikutuksia peltoalueilta tulevaan vesistökuormitukseen.

Nummelan koekentän 10-vuotinen mittauskausi osoittaa hydrologisten ja muiden säätekijöiden keskeisen vaikutuksen pelloilta tulevaan kuormitukseen ja sadon muodostukseen. Nummelassa jatkohankkeen tutkimusjakso (6/2016 – 5/2017) oli koko 10-vuotiskauden vähäsatoin, mikä näkyi vähäisinä valuntoina ja kuormina Nummelassa. Poikkeuksellisen alhaisia satoja mitattiin keskimääräistä sateisimmilla kasvukausilla, joita edusti mm. vuosi 2017.

Täydennysojitus paransi pellon kuivatustilaa selvästi, erityisesti märkyydestä kärsineellä harvan ojavälin (32 m) alueella. Pohjavedenpinta laski keväällä peltotöiden vaatimaan syvyyteen noin viikon nopeammin kuin aikaisemmin.

Nummelan tulokset osoittivat, että pellon kuivatustilan paraneminen ei yksin riitä satotason nostamiseen, jos pellon viljavuus on huono.

Nummelan täydennysojitukset lisäsivät vuotuista salaojavaluntaa keskimäärin 80 % (alue C, ojaväli 16 m → 8 m v. 2008) ja 40 % (alue D, ojaväli 32 m → 10,7 m v. 2014) vanhaan 16 metrin ojavälin ojaan (alue B) verrattuna. Lisääntynyt valunta näkyi ravinne- ja kiintoainekuormien kasvuna täydennysojitusten salaojavesissä. Pintavalunta ja sen mukana tullut kuormitus vähenivät varsinkin alueella, jossa ojaväliä tihennettiin 32 m:stä 10,7 m:iin, mutta kokonaiskuormitus valtaosaan (salaojat + pintavalunta) kasvoi verrattuna täydennysojitusta edeltävään tilanteeseen.

Eri salaojakonetyypeillä (aurakone ja kaivava kone) tehtyjen ojitusväliä ei havaittu merkityksellistä eroa viljelyn kannalta Sievin koekentän kahden vuoden mittautulosten perusteella. Mittausaineiston tilastollinen tarkastelu osoitti, että myös muut tekijät, kuten maaperän ominaisuudet tai pohjavesiputken sijainti koekentällä (reunalla/keskellä), saattoivat vaikuttaa pellon pohjavedenpinnan syvyyksiin lähes yhtä paljon kuin konetyyppi.

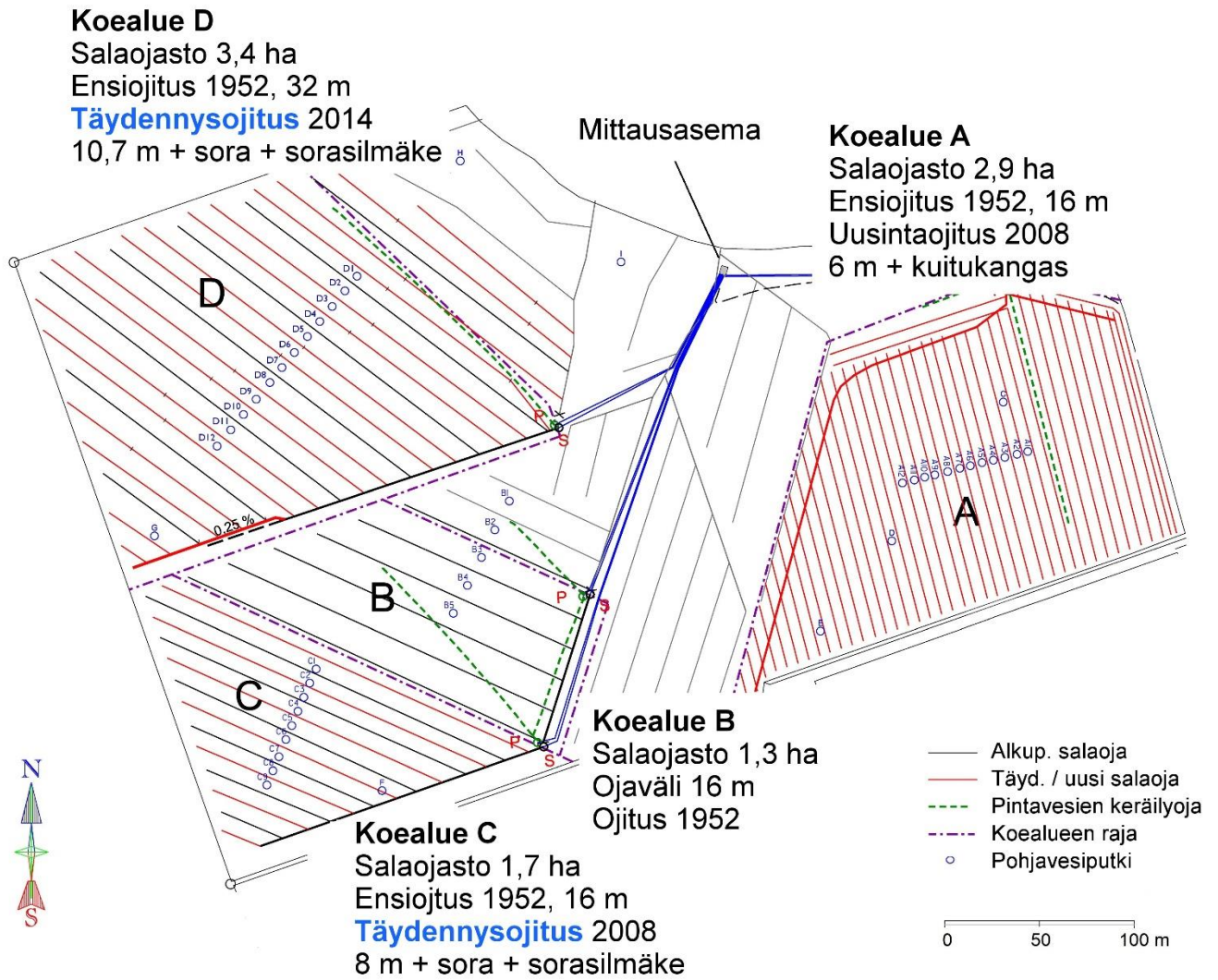
Nummelan koekentällä tärkeää olisi jatkossa tutkia täydennysojitettujen peltoalueiden kasvukannon kohentamista mm. ravinnetasoa ja maan rakennetta parantamalla ja sen vaikutuksia satotasoon ja vesistökuormitukseen. Sievin koekentällä olisi jatkossa tärkeää tutkia säättösalaojitusta, jolla voidaan mahdollisesti parantaa pellon vesi- ja ravinnetaloutta entisestään. Molempien koekenttien pitkät havaintosarjat mahdollistavat hyvän koesuunnittelun pellon tuottokykyä lisäävien ja ympäristökuormitusta vähentävien toimenpiteiden tutkimusta varten.

Kirjallisuusviitteet

- Salo, H., ym. 2018. Using groundwater table level observations to study the performance of subsurface drainage implemented with trencher and trenchless machineries. (käsikirjoitus, julkaisematon)
- Sikkilä, M., ym. 2018. Eri salaojakonetyypeillä tehtyjen ojitusten toimivuuden seuranta pohjavedenpinnan korkeuden ja salaojavalunnan mittausten avulla Sievin koekentällä. Julkaisussa: Puhakainen, T. ja Hakojärvi, M. (toim.). Maataloustieteen Päivät 2018, 10.–11.1.2018 Viikki, Helsinki. Esitelmä- ja posteritiivistelmät. Suomen Maataloustieteellisen Seuran Tiedote No 34. s. 184. Verkkojulkaisu: http://www.smts.fi/sites/smts.fi/files/MTP2018_Abstraktikirja.pdf
- Vakkilainen, P., Alakukku, L., Myllys, M., Nurminen, J., Paasonen-Kivekäs, M., Peltomaa, R., Puustinen, M., Äijö, H. 2010. Pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2010. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 30. 114 s.
- Äijö, H., Myllys, M., Nurminen, J., Turunen, M., Warsta, L., Paasonen-Kivekäs, M., Korpelainen, E., Salo, H., Sikkilä, M., Alakukku, L., Koivusalo, H., Puustinen, M. 2014. Salaojitusmenetelmät ja pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2014. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 31. 126 s.
- Äijö H., Myllys, M., Sikkilä, M., Salo, H., Nurminen, J., Häggblom, O., Turunen, M., Paasonen-Kivekäs, M., Warsta, L., Koivusalo, H., Alakukku, L., Puustinen, M., 2017. Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA) – loppuraportti 2017. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32. 109 s.

Liite 1

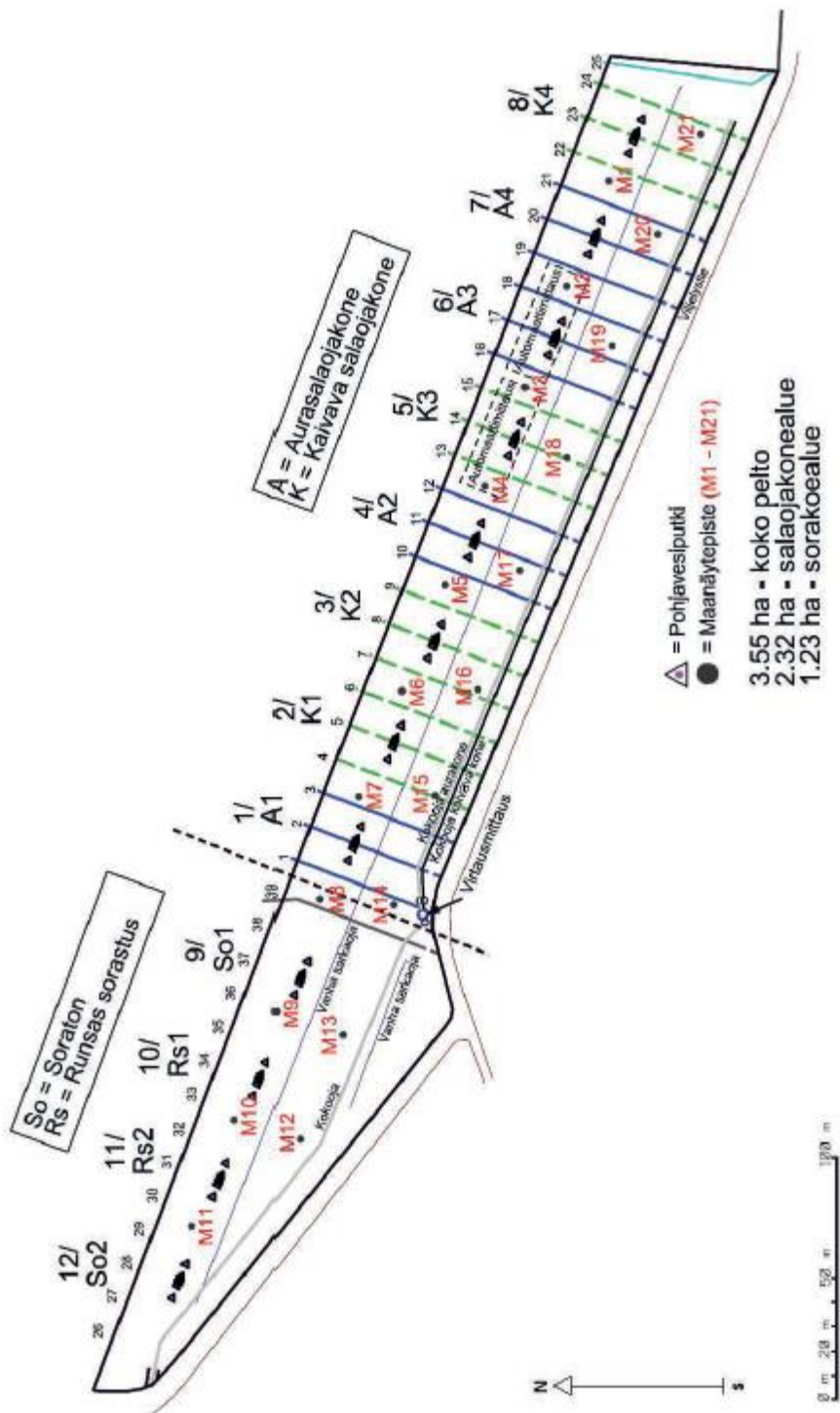
Nummelan koekenttä.



Liite 2

Sievin koekenttä.

Salaojasuunnitelma ja koalueet 1-8. Siniset imuajat (aurakone, A1-A4) ja vihreät imuajat (kaivava kone, K1-K4). Pohjavesiputket merkitty kolmioilla ja maanäytepisteet numeroiduilla pisteillä.



Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedotteet

- 1 Yhdistyksen toiminnasta ja otteita salaojitustutkimuksesta (1987)
- 2 Salaojitustutkimusta koskevia aiheita (1987)
- 3 Salaojituskoetoinnasta Ruotsissa ja salaojaputken ympärysaineista (1987)
- 4 Salaojatutkimuksia vuosilta 1987–1988 (1988)
- 5 Kuivatusta ja kastelua koskevia tutkimuksia (1988)
- 6 Maan tiivistymisen tutkimisesta Ruotsissa ja salaojatutkimuksesta Suomessa (1989)
- 7 Salaojaseminaari Osuuspankkiopistolla 17.9.1988 (1988)
- 8 Salaojituksen tavoiteohjelma, näkymiä vuoteen 2010 saakka (1989)
- 9 Sievin salaojituspäivät 20.–21.9.1989 ja ajankohtaista asiaa ympärysaineista (1989)
- 10 Maaseudun ympäristöpäivät Laukaalla 21.3 ja Jokioisissa 26.3.1990 (1990)
- 11 Turve- ja kivennäismaiden vesitaloudesta sekä rautasaostuman muodostumisesta (1990)
- 12 Salaojitusnäkymiä maailmalta (1990)
- 13 Kenttätutkimusmenetelmistä paineenalaisilla salaojitusalueilla sekä Junkkarinjärven pengerrys (1991)
- 14 Myyräojituksesta (1991)
- 15 Zaitsevo-koekentän tuloksia (1992)
- 16 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, uusintaajituksen ja padotuskastelun tutkimustuloksia (1996)
- 22 Salaojitus ja pellon vesitalous – tavoitteita toimialan kehittämiseksi (1998)
- 23 Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä (1998)
- 24 Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä – vuoden 1998 väliraportti (2000)
- 25 Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä – loppuraportti (2000)
- 26 Haja-asutuksen jätevedet & Jaloittelutarhojen valumavedet – katsaus vuoden 2003 tilanteeseen (2004)
- 27 Laiduntamisen ja suojavyyöhykkeiden 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. Salaojitusmekaniikat ja pellon vesitalouden optimointi. Loppuraportti 2014
- 32 Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA). Loppuraportti 2017
- 33 Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA). Jatkohankkeen raportti 2018

Salaojituksen tutkimusyhdistys ry

ISBN 978-952-5345-41-4