

TOSKA-HANKKEEN TULOKSIA

VUOSINA 2014–2016 toteutetussa tutkimushankkeessa *Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa* (TOSKA) tutkittiin salaojien ojavälien vaikutuksia pellon hydrologiaan, ravinnehuuhtoumiin ja satoon sekä kenttämittauksin että mallintamalla. Lisäksi selvitettiin kaivavalla salaojakoneella ja aurasalaojakoneella tehtyjen salaojitusten sekä eri ympärysa-aineiden toimivuutta.

Salaojituksen mitoitusta, materiaaleja ja ojitustekniikkaa on tarvetta kehittää kasvintuotannon kannattavuuden parantamiseksi ja vesistökuormituksen vähentämiseksi. Sekä yhteiskunnallisen että yksittäisen viljelijän päätöksenteon tulisi perustua eri toimenpiteiden vaikutuksiin sekä lyhyellä että pitkällä aikavälillä.

Täydennysojituksen vaikutuksista pellon hydrologiaan ja ainehuuhtoumiin ei ole ennen Nummelan koekentän mittauksia tehty kokeellista tutkimusta Suomessa. Tutkimuksessa hyödynnettiin ja syvennettiin PVO- ja PVO2-hankkeissa (2006–2013) saatuja tuloksia. Kokonaan uutta oli Sieviin perustetulla koekentällä kaivavalla salaojakoneella ja aurasalaojakoneella tehtyjen ojitusten toimivuutta käsittelevä tutkimus. Lisäksi selvitettiin ympärysa-aineiden toimivuutta kaivamalla vanhoja salaojia esiin. Kokeellisen tutkimuksen lisäksi Hankkeessa kehitettiin ja sovellettiin Aalto-yliopistossa kehitettyä matemaattista FLUSH-mallia siten, että se soveltuu erilaisten ojitusten lyhyt- ja pitkäaikaisten vaikutusten arviointiin.

TUTKIMUSALUEET

Nummelan koekentällä tehtiin tutkimusta TOSKA-tutkimushanketta edeltäneissä PVO- ja PVO2-hankkeissa (2006–2013). Koska pitkäaikaisen mittausdatan saaminen on oleellista hydrologialtaan vaihtelevien vuosien vuoksi, mittauksia Nummelan koekentällä jatkettiin TOSKA-hankkeessa. Koekenttä (n. 9 ha) koostui neljästä koealueesta, joista kolmen (A, B ja C) ojaväli oli 1950-luvulta lähtien ollut 16 m ja yhden (D) 32 m. Koekentän maalaji oli aitosavi ja keskimääräinen kaltevuus noin 1 %. Nummelassa ojavälin vaikutuksia savimaalla tutkittiin kahdella täydennysojitusalueella, joista yksi oli täydennysojitettu (ojaväli 16 m → 8 m) kesäkuussa 2008. Märkydestä selvästi kärsinyt 32 m ojavälin alue täydennysojitettiin TOSKA-hankkeessa kesäkuussa 2014, jolloin ojaväliksi tuli 10,7 m. Molemmat täydennysojitukset tehtiin kaivavalla salaojakoneella ja ympärysa-aineena käytettiin soraa, ja lisäksi tehtiin sorasilmäkkeitä.

Nummelan koekentällä mitattiin sala-oja- ja pintakerrosvaluntaa sekä valuntavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksia vuosina 2007–2016. Mittausten perusteella laskettiin pelloilta tulleet ainekuormat. Koealueilla seurattiin myös pohjavedenpinnan syvyyttä, muokkauskerroksen kosteutta sekä sadon määrää ja laatua. Viljelytoimenpiteet ovat olleet koealueilla samanlaiset vuosikymmenten ajan. Kokeen aikana peltoalueella viljeltiin kauraa

tai ohraa. Pääosin käytettiin kivennäislan-
noitteita.

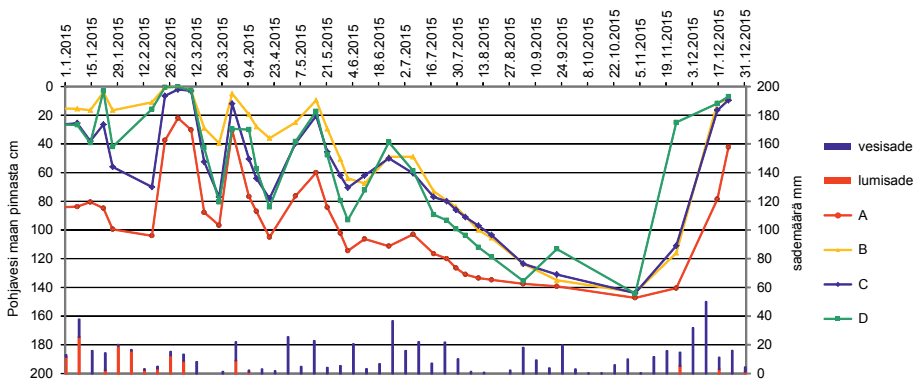
Eri salaojakoneilla tehtyjen ojitusten
toimivuuden tutkimusta varten perusteti-
ttiin koekenttä Pohjois-Pohjanmaalla Sie-
vissä sijaitsevalle peltoalueelle. Pelto on
pinta-alaltaan 3,6 ha, suorakulmion muo-
toinen ja maastoltaan tasainen (keskikal-
tevuus alle 0,2 %). Koekenttää ympäröivät
tasaiset viljelysmaat. Koekentällä tutkittiin
kaivavalla salaojakoneella ja aurasalaoja-
koneella tehtyjen ojitusten toimintaa. Sa-
laojien toimivuutta arvioitiin mittaamalla
pohjavedenpinnan syvyyttä, veden virtaa-
maa kokooajojista sekä eri satomuuttujia.

Ympärysaineiden toimivuutta selvi-
tettiin kaivamalla salaojituksen kannalta
haasteellisen maalajin vähintään 10 vuotta
vanhoja ojituksia. Lisäksi mukana oli pel-
toalueita, joissa oli mahdollisesti ympä-
röysaineesta johtuneita märkyysoongelmia.
Tutkimuskohteita oli yhteensä 30, joista 18
kaivettiin auki TOSKA-hankkeessa vuosi-
en 2015 ja 2016 aikana. Maalajeina tutki-
muslohkojen salaojien syvyydessä olivat
savi (12 kpl), hieta (9), hiesu (3), hiue (2),
hiekkä (2) ja turve (1). Tutkittuja ympä-

rysaineita olivat suodatinkangas, kookos-
kuitu sekä sora. Salaojat kaivettiin esiin
kaivinkoneella yleensä kohtaa lohkoa, ja
maan rakeisuus määritettiin salaojasyvyy-
destä, ja putkesta jos maata oli putkeen
kertynyt. Lisäksi tehtiin peltomaan laatu-
testin kuoppahavainnot. Kohteita oli 16
kunnassa monen maakunnan alueella.

TÄYDENNYSOJITUKSEN VAIKUTUS KUIVATUSTEHOKKUUTEEN

Nummellan koekentällä täydennysoji-
tus tehosti peltoalueiden kuivatusta, mi-
kä näkyi pohjavedenpinnan syvyyksis-
sä, etenkin alueella D (ojaväli 32 m →
10,7 m). Ennen täydennysojitusta alue D
oli koekentän märin ja selvimmin satei-
siin reagoinut osa sekä pohjavedenpin-
nan syvyyden että pintamaan (0–30 cm)
maankosteuden mittaustulosten perus-
teella. Pohjavesimittausten mukaan poh-
javedenpinta ei noussut täydennysojituk-
sen jälkeen muita alueilta korkeammalle
kuin satunnaisesti runsaiden sateiden jäl-
keen (kuva 1). Keväisin pohjavesi laski
10,7 metrin ojavälillä keskimäärin viik-



Kuva 1. Pohjavedenpinnan etäisyys maanpinnasta ojien puolivälissä v. 2015 alueilla A (ojaväli 6 m), B (ojaväli 1950-luvulta lähtien 16 m), C (ojaväli 8 m) ja D (ojaväli 10,7 m kevästä 2014), (n=5–12).

koa nopeammin kuin viereisellä alueella 16 metrin ojavälillä. Parantunut kuivatustila näytti vaikuttavan suhteellisen vähän pintamaan kosteuspitoisuuteen, eivätkä muutokset olleet yhtä yksikäsitteisiä kuin pohjavedenpinnan syvyydessä.

TÄYDENNYSOJITUKSEN VAIKUTUS SATOON

Nummelan koealueiden ohra- ja kaurasadon määrässä tai laadussa ei havaittu selkeitä eroja 6, 8, ja 16 metrin ojavälin alueiden (A, C ja B) välillä. Sadon määrä ja laatu olivat keskimäärin huonoimpia 32 metrin ojavälin alueella (D). Alueen D täydennysojituksen jälkeen on Nummelasta korjattu kaksi ohrasatoa ja yksi kaurasato. Satotulosten mukaan tilanne ei ollut muuttunut aikaisemmista vuosista, alueen D sadot olivat muita alueita huonompia, niin määrän kuin laadun puolesta. Alkukesällä 2014 tehty täydennysojitus ei näkynyt sadossa. Osaltaan syynä ovat erot alueiden kasvuolosuhteissa. Alueen D fosforiluku on koekentän pienin ($< 3 \text{ mg l}^{-1}$ maata). Maan rakenne oli alkujaan heikompi kuin muilla alueilla ja kuivatustilan paraneminen näkyy siinä todennäköisesti hyvin hitaasti.

TÄYDENNYSOJITUKSEN VAIKUTUS VALUNTAAN

Salaoja- ja pintakerrosvalunnat vaihtelivat Nummelan koekentällä huomattavasti. Kaikki koealueet ja tutkimusvuodet huomioon ottaen salaojien vuosivalunnat vaihtelivat välillä 33–294 mm. Valtaosa mitatusta kokonaisvalunnasta tuli salaojien kautta. Salaojavalunnan osuus ojaväleillä 6, 8 ja 16 m oli 80–90 % ja alueella D (ennen täydennysojitusta) 32 metrin ojavälillä 60 %.

Salaojavalunta lisääntyi molemmilla täydennysojitetuilla alueilla (C ja D). Ojavälin puolittamisen (alue C, ojaväli 16 m \rightarrow 8 m) jälkeisinä kahdeksana vuonna alueen C salaojavalunta oli vertailualueeseen nähden (ojaväli 16 m) keskimäärin 1,7-kertainen. Alueen D (ojaväli 32 m \rightarrow 10,7 m) salaojavalunta oli ojituksen jälkeen vertailualueen B nähden 1,4-kertainen. Tehostunut ojitus näkyi pienentyneenä pintakerrosvalunnan osuutena etenkin alueella D. Ennen täydennysojitusta sadannasta yhtä suuri osuus (11 %) muodosti sekä salaojaitta pintakerrosvaluntaa. Ojituksen jälkeen salaojavalunnan osuus yli kaksinkertaistui (ka. 27 %) ja pintakerrosvalunnan osuus laski puoleen (5 %) aiemmasta.

TÄYDENNYSOJITUKSEN VAIKUTUS RAVINNE- JA KIINTOAINENUORMAAN

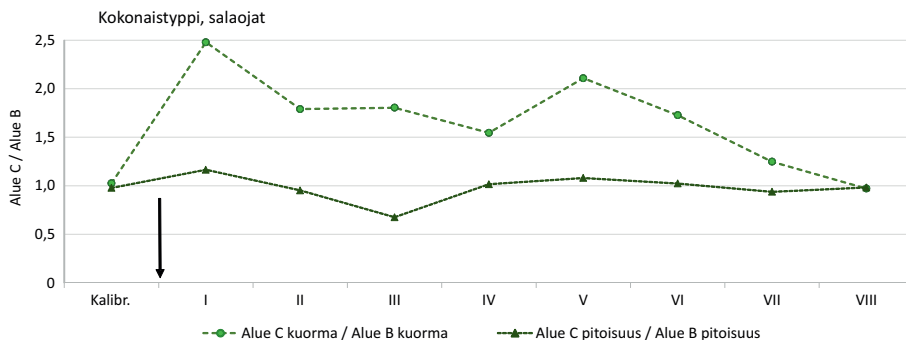
Merkittävä osa koealueilta tulleesta ravinne- ja kiintoainenuormituksesta tuli salaojien kautta. Mitatuista kuormista (kokonaistyyppi, kokonaisfosfori ja kiintoaine) salaojien osuus oli 6, 8, 10,7 ja 16 metrin ojaväleillä 80–95 % ja 32 metrin ojavälillä 50–60 %. Liukoisen epäorgaanisen fosforin kuormista tuli 8–16 m ojavälin alueilla keskimäärin 75 % ja 32 m ojavälillä 55 %. Salaojien kuorma perustui suhteellisen suureen salaojavaluntaan. Ainekuormat Nummelan koekentällä vaihtelivat paljon sekä eri mittausjaksojen (vuosien) että koealueiden välillä, mikä on tyypillistä peltoalueilta tulevalle kuormitukselle muun muassa vaihtelevien sää- ja maaperäolosuhteiden vuoksi. Vuotuiset kokonaistyyppihuuhtoumat vaihtelivat salaojavedessä (kaikki koealueet) välillä 1,3–18 kg ha^{-1} ja pintakerrosvalunnassa 1,0–4,5 kg ha^{-1} . Valtaosa huuhtoutuneesta tyypeistä oli nitraattityyppiä. Salaojien kokonaisfosforihuuhtoumi-

en vuosikuormat vaihtelivat mittausjaksoilla välillä 0,3–3,4 kg ha⁻¹ ja pinta-kerrosvalunnan välillä 0,1 –1,0 kg ha⁻¹. Suurin osa Nummelan pellolta valtaojaan kulkeutuneesta fosforista oli kiintoaineeseen sitoutunutta partikkelimaisista fosforia.

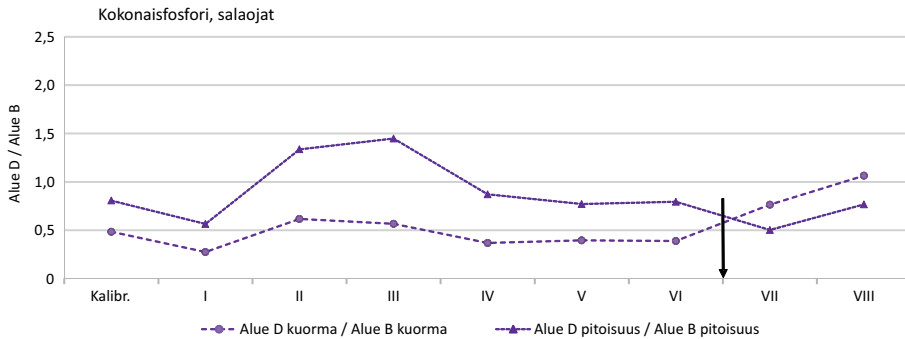
Salaojavalunnat lisääntyivät täydennysojituksen jälkeen ja se näkyi myös kuormituksen kasvuna. Täydennysojituksen vaikutuksia salaojavalunnan mukana kulkeutuneisiin huuhtoumiin arvioitiin vertaamalla alueiden C ja D ainemääriä vertailualueen B (ojaväli 16 m) arvoihin. Tämän arvioinnin mukaan märkyydestä selvästi kärsineellä alueella D täydennysojittaminen (ojaväli 32 m → 10,7 m) lisäsi salaojavalunnan mukana tullut kuormitusta selvästi enemmän kuin alueella C (16 m → 8 m), lukuun ottamatta liukoista fosforia. Alueen C (ojaväli 16 → 8 m) vuotuisen kokonaistyyppi-huuhtouman suhde vertailualueen B (16 m) huuhtoumaan oli täydennysojituksen jälkeen (8 v.) keskimäärin 1,7-kertainen ojitusta edeltävään kalibrointijaksoon (1 v.) verrattuna (kuva 2). Salaojien kokonaisfosforihuuhtoumaan täydennysojitus

ei juurikaan vaikuttanut, vastaava suhdeluku oli 1,1-kertainen. Tämä selittyy sillä, että kuormituksen kasvu johtui alueella C pääosin salaojavalunnan lisääntymisestä, ja että kokonaisfosforipitoisuudet laskivat täydennysojituksen jälkeen. Liukoisen epäorgaanisen fosforin kuorman osalta huuhtoumien suhdeluku oli kalibrointijaksoon verrattuna 1,3-kertainen. Myös kiintoainekuormien suhdeluku (keskiarvo täydennysojituksen jälkeen / ennen ojitusta) oli 1,3-kertainen. Alueen D (32 m / 10,7 m) ja vertailualueen B (16 m) vuotuisen kokonaistyyppikuormien suhdeluku oli täydennysojituksen jälkeen (2 v. mittaukset) keskimäärin 2,6-kertainen täydennysojitusta edeltävän ajanjakson (7 v. mittaukset) keskimääräiseen suhdelukuun verrattuna. Kiintoainekuormien suhdeluku oli myös 2,6-kertainen, kokonaisfosforin 2,0-kertainen (kuva 3) ja liukoisen fosforin 1,2-kertainen.

Eroja alueiden C ja D kuormituksissa ja niiden täydennysojitusta seuranneissa muutoksissa selittävät osaltaan erot ojitusta edeltäneessä tilanteessa. Alueen C täydennysojitusta edelsi yksi vuoden mittainen kalibrointijakso, kun taas alueelta D



Kuva 2. Alueiden C ja B vuotuisen salaojavalunton kokonaistyyppipitoisuuksien mediaanien sekä kokonaistyyppikuormien suhde kalibrointijaksolla ja kahdeksalla tutkimusjaksolla. Alueen C täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.



Kuva 3. Alueiden D ja B vuotuisten salaojavaluntojen kokonaisfosforipitoisuuksien mediaanien sekä kokonaisfosforikuormien suhde seitsemällä jaksolla ennen täydennysojitusta ja kahdella sen jälkeen. Alueen D täydennysojituksen ajankohta on merkitty nuolella.

oli ennen ojitusta mittaustietoa seitsemältä vuodelta. Myös ojavälit ja niiden muutokset olivat erilaiset. Alueella C ojaväli oli ollut vuosikymmenten ajan 16 metriä, ja se puolitettiin ojituksessa. Alueella D alkuperäinen oli ojaväli, 32 m, ja se jaettiin kolmeen ojaan. Ojituksen jälkeen alueella C salaojista uusia oli siis puolet, ja alueella D kaksi ojaa kolmesta.

ERI SALAOJAKONETYYPEILLÄ TEHTYJEN OJITUSTEN TOIMIVUUS

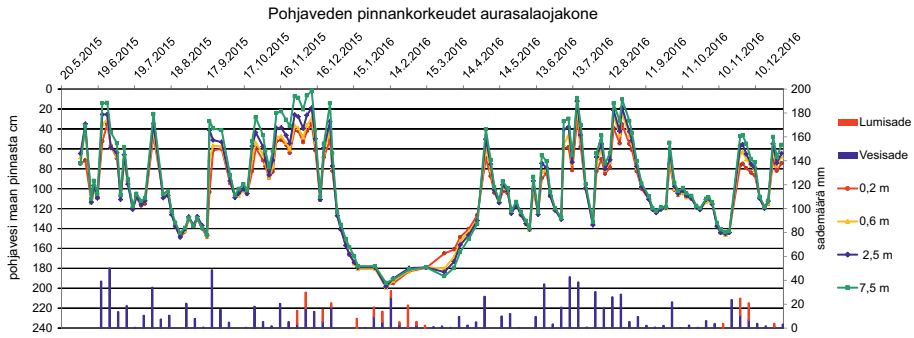
Pohjois-Pohjanmaalla Sievissä sijaitsevalla koekentällä tutkittiin eri salaojakoineilla tehtyjen ojitusten toimivuutta. Salaojien toimivuutta arvioitiin mittaamalla pohjavedenpinnan syvyyttä, veden virtaamaa kokoojaojista sekä eri satomuuttujia. Koekentän maalaji määritettiin kaikkiaan 21 pisteestä (3 tai 4 syvyydestä) otetuista näytteistä. Maalajit vaihtelivat salaojasyvyydessä hiedan (Ht) ja hiueen (He) välillä.

Pintamaaltaan pelto on runsasmultaista hietaa (rmHt) ja ruokamultakerroksen paksuus on keskimäärin 30 cm.

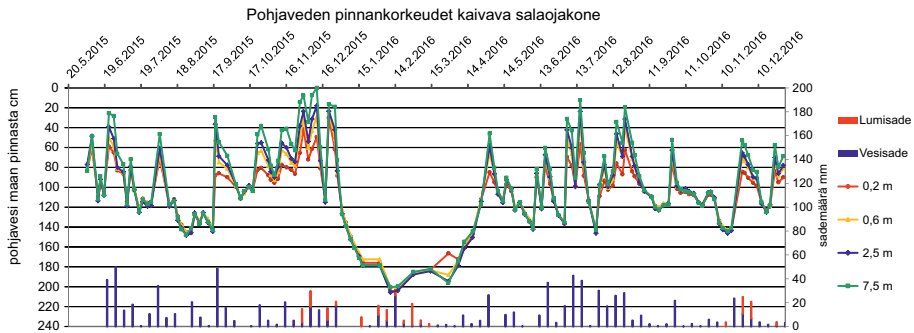
Maaperätutkimusten, alustavien poh-

javedenpinnan syvyyden mittausten ja koesuunnitelman perusteella tehtiin salaojasuunnitelma pellolle. Pelto jaettiin koealueisiin, jotka salaojitettiin joko kaivavalla salaojakoneella tai aurasalaojakoneella. Salaojaketutkimus koostui kahdeksasta koealueesta, joista neljä ojitettiin aurakoneella ja vastaavasti neljä kaivavalla koneella. Jokaiselle alueelle asennettiin kolme salaojaa kuhunkin (ojaväli 15 m ja ojitussyvyys keskimäärin 1,0 m). Sorakeroksen paksuus putken päällä oli kummallakin koneella tehdyissä ojituksissa 10 cm. Ruokamulta asennettiin suositusten mukaisesti ja koko salaojakaivanto täytettiin maa-aineksella. Ruokamullan pudotus tapahtui aurakoneella ojituksen aikana multaruuvilla ja kaivavalla koneen ojituksissa multa pudotettiin kaivinkoneella. Jokaiseen imuajaan tehtiin sorasilmäkkeet avo-ojien kohtiin. Koekentällä viljeltiin kasvukausina 2015 ja 2016 ohraa (Brage). Koealueiden sadon määrä ja laatua mitattiin näytteistä, jotka otettiin (v. 2016) salaojan kohdalta ja 7,5 m etäisyydeltä salaojasta.

Mittausten mukaan pohjavedenpinta oli suurimman osan ajasta aurakoneella (ku-



Kuva 4. Pohjaveden pinnankorkeudet (mediaani) aurasalaojakoneella tehdyissä salaojissa eri etäisyyksillä salaojasta. Sadanta (vesi ja lumi, korjaamaton) on esitetty viikkoarvoina.



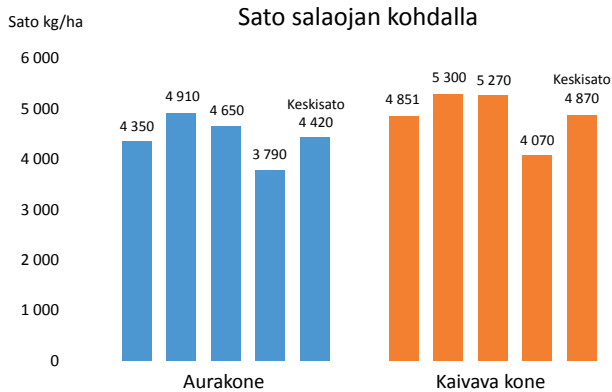
Kuva 5. Pohjaveden pinnankorkeudet (mediaani) kaivavalla salaojakoneella tehdyissä salaojissa eri etäisyyksillä salaojasta. Sadanta (vesi ja lumi, korjaamaton) on esitetty viikkoarvoina.

va 4) tehdyissä ojituksissa korkeammalla kuin kaivavalla koneella (kuva 5) tehdyissä ojituksissa. Pohjaveden pinta 6–13 cm lähempänä maan pintaa aurakoneella ojitetuilla koealueilla kuin kaivavalla koneella ojitetuilla alueilla. Pienimmät erot mitattiin 0,2 m etäisyydellä salaojasta ja suurimmat salojien puolivälissä. Suurimmat erot menetelmien välille syntyivät runsaiden sadetapahtumien aikana.

Salaojavaluntaa mitattiin kaivavalla salaojakoneella tehtyjen alueiden kokoojajasta aurakonealueiden kokoojaa enemmän. Kesäkuusta 2015 joulukuuhun 2016 valuntasumma oli kaivavan koneen alu-

eilta 11 % suurempi kuin aurakonealueilta. Aurakoneella tehdyistä ojastoista tuli vähemmän valuntaa lähes joka kuukausi. Suurimpien sadetapahtumien (yli 30 mm d⁻¹) aikana salaojavalunta oli hetkelisestään kaivavalla koneella tehdyistä ojastoista aurakonealueisiin nähden yli kaksinkertainen.

Kasvukaudella 2016 rehuohran (Brage) keskisato salaojan oli kohdalla kaivavalla koneella ojitetuilla alueilla 4870 kg ha⁻¹ ja aurakoneella ojitetuilla alueilla 4420 kg ha⁻¹. Salojien puolivälissä aurakoneella ojitetujen alueiden keskisato oli 4430 kg ha⁻¹ ja kaivavan koneen alueiden 4310



Kuva 6. Ohrasato menetelmittäin vuonna 2016 salaojan kohdalla. Jokainen pylväs esittää neljän näytteen keskiarvoa.

kg ha⁻¹. Koko koekenttä huomioon ottaen sato oli salaojan (kuva 6) kohdalla 6 % suurempi kuin ojien puolivälissä. Menetelmittäin sato oli salaojan kohdalla 10 % suurempi kaivavan salaajakoneen alueilla kuin aurakoneen alueilla, kun taas salaojien puolivälissä aurakonealueiden sato oli 3 % suurempi kuin kaivavan koneen alueiden.

Ero kaivavalla salaajakoneella ja aurakoneella tehtyjen alueiden pohjavedenpinnan syvyyksissä eikä runsaampi salaajavalunnan muodostuminen kaivavalla koneella toteutetussa ojituksessa vaikuttanut tutkimusjakson aikana pellolla tehtäviin viljelytoimiin. Pohjavedenpinnan nopea lasku (maalajista johtuva) vaikutti siihen, että aurakoneella tehdyillä alueilla ylempänä ollut pohjavedenpinta ei ehtinyt vaikuttaa sadon muodostukseen ja satomääriin.

SALAOJIEN YMPÄRYSAINIET

TOSKA-hankkeen osana tutkittiin ympärysaineen toiminnan kannalta keskeisiä tekijöitä: maalaji salaajasyvyydessä, salaojien ikä, maan rakenne, salaajakai-

vannon muodostuminen, esipäällysten hajoamisaste, soran laatu, putkeen kertyneen maan määrä, ruostekertymien sekä märkyysongelmien esiintyminen. Tutkimukseen otettiin kohteita, joissa oli ollut märkyysongelmia. Tämä näkyi maan rakenteessa selvästi yhdeksässä kohteessa kolmestakymmenestä. Näissä kohteissa pellon sisällä märkyydestä kärsivillä alueilla maa oli tiivistynyttä ja märkää ja pellon kantavuus huono. Märkyysongelmia esiintyi 24 kohteessa, ja näistä jatkuvasti märkyydestä kärsiviä kohteita oli yhdeksän. Kohteita, jossa märkyysongelmat olivat havaittavissa, mutta joissa märkyys ei ollut jatkuvaa, oli kaikkiaan 11.

Tutkituista 30 kohteesta 16 salaojien ympärysaineena käytettiin soraa ja esipäällistettyjä kohteita oli 14. Salaajaputken merkittävää tukkeutumista havaittiin kahdessa soralla ojitetussa kohteessa. Kohteissa, joissa putkien ympärillä oli käytetty esipäällistettä, tukkeumia esiintyi viidessä kohteessa, joista neljässä oli käytetty kookoskuitua. Tukkeutuneet putket olivat lähes kaikki rakeisuudeltaan hienojakoisilla maalajeilla. Myös

savimailla esiintyi salaojen tukkeumista, vaikka kirjallisuuden mukaan näin ei pitäisi käydä. Hyvin vettä läpäisevissä savipitoisissa maissa, joissa salaojakaivanto oli myös hyvin läpäisevä, salaojaputket tukkeutuivat. Maa sisälsi saveslajitteiden lisäksi runsaasti hiesua tai hietaa.

Tutkimusten mukaan esipäällysteet hajoavat maan olosuhteista riippuen (pH, lämpötila, mikrobi, happitila). Kookoskuitu oli kokonaan orgaanista materiaalia ja suodatinkankaan koostumukselta sitä oli noin puolet. Kookoskuitu oli hajonnut ainakin osittain noin puolessa kohteista ja suodatinkangas lähes kaikissa kohteissa. Esipäällysteiden hajoaminen ei kuitenkaan yksiselitteisesti aiheuttanut putken tukkeutumista. Vaikka esipäällyste oli hajonnut, liettymistä ei aina esiintynyt. Toisaalta ehjien esipäällysteiden putkissa havaittiin liettymistä. Tukkeutumiseen näytti vaikuttavan merkittävästi pellon maalaji. Tukkeutumista esiintyi etenkin hienojakoisissa maalajeissa.

MALLINTAMINEN

TOSKA-hankkeessa kehitettiin ja sovellettiin kolmiulotteista (3-D) FLUSH-mallia, joka kuvaa veden virtausta, eroosiota ja aineiden kulkeutumista peltomittakaavassa. Kaksoishuokossysteemiin pohjautuva mallikuvaus mahdollistaa veden virtauksen simuloimisen erikseen vettä heikosti johtavassa maamatriisissa ja oi-

kovirtausreittejä simuloivassa makrohuokostysteemissä.

VEDEN VIRTAUSREITIT ERI TAVOILLA TOTEUTETUISSA SALAOJAKAIVANNOISSA

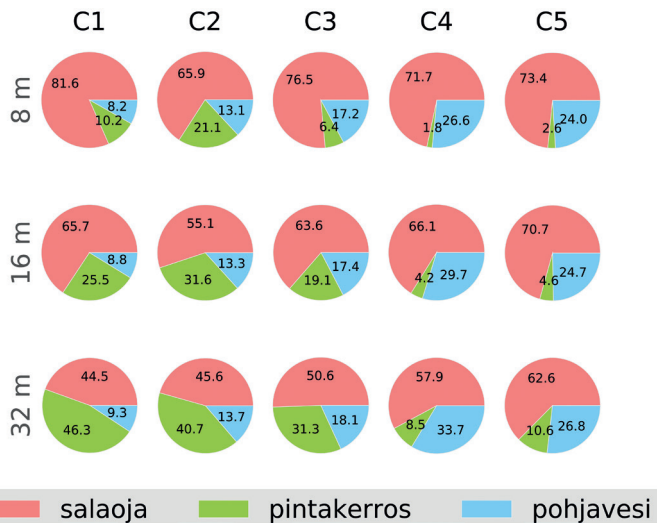
TOSKA-hankkeessa tarkasteltiin erilaisen kaivantojen sekä ojavälien vaikutusta veden virtausreitteihin.

Nummelan koekentän aluetta C simuloitiin kolmiulotteisella ideaalilohkoa kuvaavalla laskentaverkolla ojavälimitäkaavassa. Ideaalilohkolla tarkoitetaan sitä, että yksittäinen ojaväli erotettiin muusta koalueesta mallinnettavaksi alueeksi, eivätkä siihen vaikuttaneet ympäröivät alueet tai alueen hydrologiset yhteydet. Menetelmällä pyrittiin selvittämään kaivannon laskennallinen vaikutus Nummelan alueella C ennen täydennysojitusta ja sen jälkeen.

Mallinnusprosessissa simuloitiin kolme eri syysjaksoa kahdella eri mallikuvauksella ja viidellä eri maaparametrisoinnilla, jotka johdettiin suoraan koalueelta kerättyjen maanäytteiden mitatuista ominaisuuksista. Muussa parametrisoinnissa käytettiin tuloksia aiemmista mallinnustutkimuksista Nummelan koekentältä. Salaoja- ja pintakerrosvaluntoja simuloitiin ojavälimitäkaavan mallilla yhden ja kahden huokoston mallikuvauksilla. Simulointitulokset yhdeltä syysjaksolta (ojaväli 16 m) ennen alueen C täydennysojitusta ja kahdelta sen jälkeen (2008 ja 2012, ojaväli 8 m) on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Mitatut ja mallinnetut salaoja- ja pintakerrosvaluntamäärät (mm) ennen (2007) ja jälkeen (2008, 2012) alueen C täydennysojituksen. Mitattu valuntamäärä on esitetty suluisissa.

	Yhden huokoston malli		Kahden huokoston malli	
	Salaoja [mm]	Pinta [mm]	Salaoja [mm]	Pinta [mm]
2007 (16 m ojaväli)	44 (27)	8 (6)	39 (27)	2 (6)
2008 (8 m ojaväli)	72 (57)	8 (14)	65 (57)	1 (14)
2012 (8 m ojaväli)	52 (44)	4 (10)	43 (44)	1 (10)



Kuva 7. Simuloitujen vesitaseiden valuntakomponenttien osuudet kokonaisvalunnasta kolmella ojavälillä ja viidellä maaparametrisoinnilla ajalta 2008–2014.

FLUSH-malli pystyi jäljittelemään veden virtausreittejä ja kuvaamaan mitattuja salaojavaluntoja syksyllä, kun se parametrisoitiin suoraan maanäytteistä määritetyillä hydraulisilla ominaisuuksilla. Todennetulla mallikuvauksella voitiin tuottaa pitkäaikaiset simulointiaikasarjat, joita käytettiin arvioitaessa ojavälin muutoksen laskennallista vaikutusta koalueen kuivatukseen.

Vesitaseiden valuntakomponenttien osuudet simuloitiin kolmella eri ojavälillä kokonaisvalunnasta ajalta 2008–2014 (kuva 7). Valuntakomponenttien muutoksista ojavälien ja maaparametrisointien välillä huomataan, että ojavälin kasvataminen pienensi salaojavalunnan osuutta, mutta maakuvauksesta riippuen siirsi valuntaa pintakerros- (esim. C1, C2, C3) tai pohjavesivaluntaan (C4 ja C5). Salaojavalunnan osuus pieneni vähiten maakuvausten C4 ja C5 tapauksissa.

KOSTEUSTESTA KÄRSIVÄN PELTOALUEEN TÄYDENNYSOJITUKSEN VAIKUTUS VESITASEESEEN

Mittaustulosten ja laskentamallin (FLUSH) avulla tutkittiin kaivavalla salaojituskooneella tehdyn täydennysojituksen vaikutusta Nummelan koekentän kosteudesta kärsineen alueen D vesitaseeseen eri vuodenaikoina. Kalibroidulla ja validoidulla mallilla tuotettiin skenaarioita koalueen hydrologisista muuttujista tiheällä (10,7 m) ja harvalla (32 m) ojituksella. Skenaariotulosten avulla arvioitiin koalueen kuivatuskyvyn laskennallista muutosta sekä ojitusskenaarioiden vaikutusta alueen vesitaseeseen.

Kalibroitu malli kuvasi paremmin kumulatiivisia valuntamääriä kuin tunnittaisia valuntoja (kuva 3.46). Malli pystyi paremmin kuvaamaan salaojavaluntaa kuin pintakerrosvaluntaa. Pintakerrosvalunnalle lasketut suhteelliset tasevirheet olivat

täydennysojituksen jälkeiselle jaksolle yli 50 %, johtuen pintakerrosvalunnan pienestä kokonaismäärästä. Malli aliarvioi täydennysojituksen kalibrointijakson (30 mm) ja yliarvioi validointijakson (20 mm) pintakerrosvalunnan.

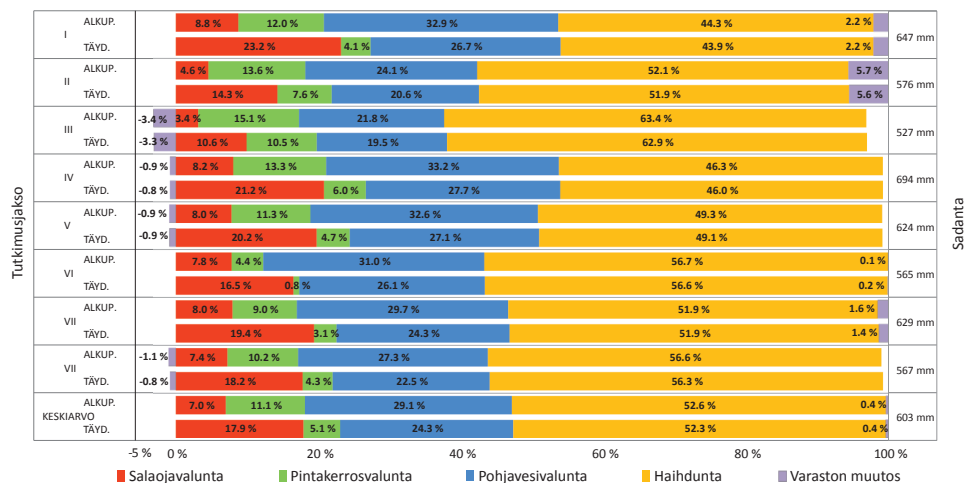
Vuositasolla simuloitu salaojavalunta kasvoi keskimäärin 2,6-kertaiseksi ojituksen muuttuessa harvasta tiheään, ja pinta-kerrosvalunta väheni 57 % (kuva 8). Simuloitu pohjavesivalunta väheni 16 %, kun siirryttiin harvasta ojituksesta tiheään ojituksen skenaarioon.

Kevään pohjavedenpinnan syvyyksiä simuloitiin kummallekin (32 m ja 10,7 m) ojitukselle. Simuloiduista pohjavedenpinnan syvyyksistä laskettiin ajallinen osuus, jolloin pohjavedenpinnan syvyys oli 0–60 cm:n etäisyydellä maanpinnasta. Tutkimusjaksojen erilaiset kevät huomioitiin tarkastelemalla pohjavedenpinnan syvyyksiä keskiarvoina kahdeksalta

simulointijaksolta. Tulosten mukaan huhti-toukokuun vaihteessa tiheään ja harvan ojituksen ero on noin 40 % ajasta, jolloin keskiarvoistettu pohjavedenpinta on alle 60 cm syvyydessä maanpinnasta. Harva ojitus saavuttaa tiheään ojituksen tason 5–7 päivää myöhemmin.

JOHTOPÄÄTÖKSET

Nummellan koekentän mittaukset osoittivat, että ojaväli vaikuttaa pintakerros-, salaoja- ja pohjavesivaluntojen suhteisiin. Nummellan savipellolla täydennysojitukset lisäsivät vuotuista salaojavaluntaa keskimäärin 1,7-kertaiseksi (16 m / 8 m) ja 2,6-kertaiseksi (32 m / 10,7 m). Harvan (32 m) ojavälin täydennysojitus puolitti pintakerrosvalunnan. Mallisimulaatioiden mukaan pohjavesivalunta väheni vastavasti vajaat 20 %. Täydennysojitus paransi pellon kuivatustilaa selvästi, erityisesti



Kuva 8. Koalueen D simuloitu vesitaseen komponenttien (salaojavalunta, pintakerrosvalunta, pohjavesivalunta, haihdunta ja varaston muutos) osuus tutkimusjakson sadannasta harvan ja tiheään ojituksen skenaarioissa tutkimusjaksoille I–VIII sekä keskiarvona simulointijaksoista. Maavesivaraston muutos on negatiivinen nolllinjan vasemmalla puolella. Tutkimusjaksojen korjatut sadannat on esitetty kuvan oikeassa laidassa.

märkytyksestä kärsineellä harvan ojavälin (32 m) alueella. Pohjavedenpinta laski keväällä peltotöiden vaatimaan syvyyteen noin viikon nopeammin kuin aikaisemmin. Mallinnustulosten mukaan maan ominaisuuksilla, kuten hydraulisella johtavuudella ja makrohuokoston määrällä, oli ojitusten menetelmää (kaivanto ja ojaväli) suurempi vaikutus syksyn kokonaisvalunnan jakaantumiseen eri komponentteihin (salaoja-, pintakerros- ja pohjavesivalunta). Pohjavedenpinnan tasoon ojien välissä vaikutti enemmän ojaväli kuin maan ominaisuudet.

Täydennysojituksen vaikutus valuntavesien ravinne- ja kiintoainepitoisuuksiin oli vähäinen. Kokonaistyyppipitoisuuden lyhytaikaista (1–2 vuotta) nousua lukuun ottamatta täydennysojitus ei lisännyt salaojaveden pitoisuuksia. Täydennysojitus lisäsi salaojavalunnan mukana tulleita ravinne- ja kiintoainehuuhtoumia ja vähensi pintakerrosvalunnan mukana tullutta kuormaa, niiden yhteenlaskettu huuhtouma lisääntyi. Pellon kokonaiskuormaa arvioitaessa tulisi huomioida pohjavesivalunnan sisältämä kuorma. Nummelan koekentän mallinnustuloksista huomattiin, että pohjavesivalunta muodostaa merkittävän osan kokonaisvalunnasta. Nummelan koalueiden sadot olivat suhteellisen matalia. Heikko satotaso johtuu huonosta viljavuudesta, erityisesti märkytyksestä kärsineellä harvan (32 m) ojavälin alueella. Ojavälin tihentäminen ei näkynyt sadon määrässä tai laadussa, kun kylvöaika oli sama kaikilla koalueilla. Kolmen vuoden mittausjakson sadot olivat keskimäärin hieman paremmat salaojien kohdalla kuin ojien välissä.

Sievin koekentän hieta/hiuemaassa ojitukset toteutettiin kaivavalla salaojakoneella ja aurakoneella. Mittausten mukaan

kaivavalla salaojakoneella tehty salaojitus kuivatti pellon hieman aurakoneella tehtyä tehokkaammin. Aurakoneella tehdyissä salaojituksissa pohjaveden pinta oli keskimäärin 6–13 cm korkeammalla ja salaojavalunta oli 10 % pienempi. Ero ei näyttäisi olevan merkittävä kahden vuoden mittausten perusteella, sillä pohjavedenpinnan syvyyksissä esiintyi eroja myös rinnakkaisten koalueiden välillä. Erityyppisten salaojakoneiden ojitukset eivät aiheuttaneet eroja sadoissa tai pellon viljeltävyydessä.

Esille kaivetut kaivannot eri pelloilla (30 peltoa, 94 kaivantoa) antoivat viitteitä siitä, että juoksevilla ja huonosti läpäisevillä mailla salaojakaivannon vedenläpäisevyys on huono, mikäli kaivantoa ei ole täytetty läpäisevällä materiaalilla. Ojitus määrässä maassa saattaa aiheuttaa maan tiivistymistä ja salaojakaivannon sortumista sekä vaikeuttaa putkien asennusta.

Eri ympärysaineilla (Fibrella-suodatinkangas, kookoskuitu, sora) tehtyjen ja eri-ikäisten ojituskohdeiden esille kaivu osoitti, että tutkitut esipäälysteet saattavat olosuhteista riippuen hajota nopeasti, suodatinkangas jopa parissa vuodessa. Maa-aineksen kertymistä salaojiin esiintyi kaikilla ympärysaineilla, myös soran ympäröimissä putkissa. Tietyillä maala-jeilla tehokkaasti vettä johtava salaojakai-vanto lisäsi maa-aineksen kertymistä salaojaputkiin. Kertymistä ei välttämättä estä edes hyvälaatuinen ympärysaine.

TOSKA-hankkeen ja sitä edeltävien hankkeiden (PVO, PVO2) pitkäaikaisten mittaustulosten ja matemaattisen mallinnuksen avulla on lisätty tietoa suomalaisten savipeltojen vesitaloudesta, salaojituksista, ravinnehuuhtoutumista ja eroosiosta sekä sadoista. Uutta ja erittäin tarpeellista tietoa on saatu muun muassa

eri ojavälien, salaojakonetyyppien, kaivantojen ja ympärysaineiden toimivuudesta.

Mittaukset osoittivat, että eri salaojakonetyypeillä pystytään tekemään yhtä hyvin toimivia ojituksia, kun ne tehdään huolellisesti suositusten mukaan. Kenttäselvitykset 30 peltoalueella antoivat monipuolista tietoa salaojien ympärysaineista ja kaivannon merkityksestä. Aalto-yliopistossa kehitetyllä FLUSH-mallilla simuloitiin Nummelan koealueilla erilaisten ojitusten lyhyt- ja pitkäaikaisia vaikutuksia pellolla tapahtuvaan valuntaan sekä pohjavedenpinnan syvyyteen. Malli soveltuu hyvin ojitusten vaikutusten arviointiin ja salaojitusten suunnitteluperusteiden laadintaan.

TOSKA-hanketta rahoittivat Salaojituksen Tukisäätiö sr, maa- ja metsätalousministeriö, Maa- ja vesitekniikan tuki ry sekä hankkeen toteutuksesta vastanneet laitokset: Salaojayhdistys ry, MTT/Luke, Aalto-yliopisto, SYKE, Helsingin yliopisto ja Sven Hallinin tutkimussäätiö sr.

Tutkimusryhmä: Helena Äijö (Salaojayhdistys ry), Merja Mylly (MTT / Luonnonvarakeskus), Markus Sikkilä (Salaojayhdistys ry), Heidi Salo (Aalto-yliopisto), Jyrki Nurminen (Salaojayhdistys ry / Salaojituksen tutkimusyhdistys ry), Olle Häggblom (Aalto-yliopisto), Mika Turunen (Aalto-yliopisto), Maija Paasonen-Kivekäs (Sven Hallinin tutkimussäätiö sr), Lassi Warsta (Aalto-yliopisto / Gain Oy), Harri Koivusalo (Aalto-yliopisto), Laura Alakukku (Helsingin yliopisto) ja Markku Puustinen (Suomen ympäristökeskus).

TOSKA-hankkeen loppuraportti: Äijö ym. 2017. *Toimivat salaojitusmenetelmät kasvintuotannossa (TOSKA) - Loppuraportti 2017*. Salaojituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote 32 on saatavissa sähköisesti yhdistyksen kotisivuilta osoitteesta www.salaojayhdistys.fi/julkaisut.