

VÄHENEKÖ HAPPAMILTA SULFAATTIMAILTA TULEVA KUORMITUS POHJAVEDEN PINTAA SÄÄTÄMÄLLÄ?

Normaali salaojitus suunnitellaan siten, että sateisina ajanjaksoina sekä lumen ja roudan sulaessa kuivatus on riittävän nopea turvaamaan kuivavara koneille ja estämään kasvuston vettymishaitat. Maksimaalista kuivatustehokkuutta tarvitaan kuitenkin vain ajoittain ennen kaikkea keväällä ja syksyllä.

VÄHÄSATEISIMPINA AIKONA salaojitus saattaa toimia liiankin tehokkaasti, jolloin pohjavesi voi laskea tarpeettoman syvälle tavanomaisessa maassa, jolloin menetetään kasvien kasvukaudella tarvitsemaa vettä. Tämän lisäksi happamilla sulfaattimaila pohjaveden laskeminen syvälle on haitallista, koska silloin pohjamaassa olevat rautasulfidit pääsevät reagoimaan hapen kanssa, ja muodostuu rikkihappoa.

Säätösalaajituksen avulla kuivatusta säädetään kasvukauden sääolosuhteiden mukaan. Säätösalaajituksessa kokooajojan asennetaan säätökaivoja, joista purkautuvan veden määrää ja taso voidaan säätää ”säätöputkella” (Kuva 1). Kun pohjavesi nousee padotuskorkeuden yläpuolelle, vettä virtaa ojastosta kunnes pohjaveden pinta laskee säätöputken asennetulle tasolle. Kun padotus poistetaan kokonaan, ojitus toimii normaalina salaojituksena. Säätökaivojen määrä riippuu maanpinnan kaltevuudesta ja ojaston rakenteesta. Peukalo-sääntönä on, että korkeuseroa säätökaivoa kohti on 50 cm. Johdettaessa vettä säätökaivojen ja salaojien kautta maaperään kasvien käytettäväksi puhutaan altakastelusta, josta käytetään myös nimitystä säätökastelu tai salaojakastelu.

Söderfjärdenin kentällä Vaasan lähellä on tutkittu vuodesta 2010 alkaen tavan-



Kuva 1. Säätökaivon avulla säädetään pohjaveden pinnan tasoa. Kaivon kautta ojastoon voidaan pumpata lisävetä. (Kuva: Rainer Rosendahl.)

omaisen salaojituksen, säätösalaajituksen ja altakastelun vaikutusta happamilta sulfaattimailta purkautuvan salaojaveden happamuuteen ja metallikuormitukseen. Tutkimus alkoi CATERMASS (Climate Change Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils) -hankkeena (2010–2012), ja se on jatkunut sen jälkeen BEFCASS-hankkeena (2013–2014). Kentällä selvitetään myös eri kuivatustapojen vaikutuksia kasvihuonekaasupäästöihin sekä viljelykasvien satoon ja laatuun. Säätösalaajitus ja altakastelu otettiin koekentällä käyttöön vuonna 2011, sillä ensimmäisenä vuonna (2010) seurattiin, minkälainen pellon satotaso ja kuormitus oli lohkoilla ennen toimenpiteitä.

SÖDERFJÄRDENIN DEMONSTRAATIOKENTTÄ

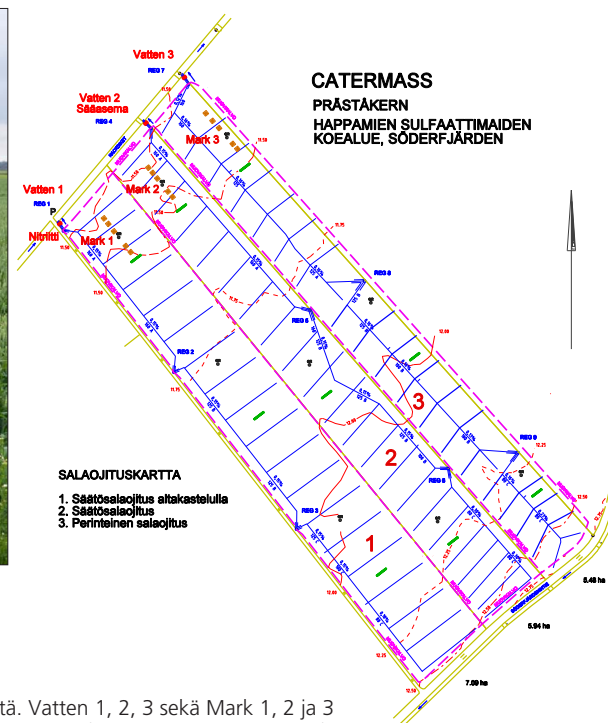
Söderfjärdenin kenttä muodostuu kolmesta koelohkosta, joiden pinta-ala on yhteensä 18,5 ha. Kentällä on kolme erilaista salaojitusmenetelmää: (1) altakastelu, (2) säätösalaajitus ja (3) tavallinen salaojitus (Kuva 2). Kenttää rakennettaessa periaatteena oli, että jos tulokset osoittaisivat menetelmistä olevan hyötyä, niin säästö voitaisiin rakentaa niin vanhoihin kuin uusiinkin salaojituksiin. Lohkot ympäröitiin 1,5 m leveällä muovikalvolla, jonka alareuna asennettiin 1,9 m syvyyteen. Joka lohkolle asennettiin kolme säätökaivoa ja lisäksi kolme pohjavesiputkea pohjavedenkorkeuden reaaliaikaista seuranta varten. Altakastelussa vettä pumpattiin pienellä bensiinipumpulla viereisestä

valtaojasta 2–4 kertaa kesässä, keskimäärin 1000 m³ kerrallaan; virtausnopeus oli noin 3–5 l/s.

Koekentällä salaojat ovat noin 1,2 metrin syvyydessä, mutta kesällä pohjaveden pinta saattaa laskea niiden alapuolelle. Maaprofiili onkin hapettunut 1,5 m:n syvyyteen, ja sen alapuolelta alkaa hapettumaton sulfidikerros. Syvällä oleva sulfidikerros pysyy pelkistyneenä, kun pohjavesi estää sulfidien altistumisen ilman hapelle. Lähempänä maan pintaa aiemmin olleet sulfidikerrokset ovat hapettuneet ojituksen takia ja muuttuneet happamiksi sulfaattimaisiksi. Muokkauskerroksen pH on kalkituksen ansiosta 6,6–7,1, mutta happamat keltaista jarosiittia, KFe₃(SO₄)₂(OH)₆, sisältävät maakerroksen alkavat heti jankon alta, ja niiden pH vaihtelee 3,8:sta 4,7:ään.



Kuva 3. Pohjavesiputken kelluva antenni näyttää pohjaveden pinnan etäisyyden maanpinnasta (Kuva: Rainer Rosendahl.)



Kuva 2. Söderfjärdenin koekenttä. Vatten 1, 2, 3 sekä Mark 1, 2 ja 3 viittaavat automaattisiin mittausasemiin. (Kartta: Rainer Rosendahl.)

Pelkistynyt sulfideja sisältävä maa ei ole hapanta, vaan sen pH on 7 tai sitä korkeampi (Laakso, 2009; Yli-Halla, 2012).

Eri salaojitusmenetelmien vaikutusta pohjaveden korkeuteen seurattiin pohjavesiputkien avulla sekä putkeen asennetun jatkuva-omaisen anturin että ”antennin” avulla (Kuva 3). Pellolle asennettiin myös muita automaattisia mittauslaitteita, joiden tulokset (mm. salaojaveden pH, johtoluku ja nitraattityppipitoisuus sekä pohjavedenpinnan korkeus) ovat vapaasti luettavissa reaaliajassa Internetin (<http://www.catermass.fi>) kautta. Tämän lisäksi salaojaveden laatua on seurattu vesinäytteiden avulla, joista on mitattu mm. veden asiditeettiä. Koelohkojen lisäksi vesinäytteitä on otettu myös läheisestä Nackdiket-ohjasta, jotta valuma-alueen taustapitoisuuksien tasoa ja vaihtelua voidaan verrata koekentältä saatuihin tuloksiin.

Kuivatusmenetelmistä on seurantatietoa neljällä kasvukaudella: 2011 (normaalia kuivempi), 2012 (normaalia sateisempi), 2013 (kevät ja alkukesä sateisia, märkyys häiritsi jonkin verran kylvöjen aloittamista) ja 2014 (elokuu poikkeuksellisen sateinen, 5 tunnin sademäärä 57 mm 4. elokuuta ja kuukauden kokonais sademäärä 175 mm).

TULOKSET

Hankkeen tutkimuskysymykset olivat

- Miten pohjavedenpinnan taso vaikuttaa happamilta sulfaattimailta lähtevään happamuus-, sulfaatti-, typpi-, fosfori- ja metallikuormaan?
- Onko pohjaveden korkeudella vaikutuksia satotasoon, sadon laatuun tai kasvien metallienottoon?
- Voidaanko pohjaveden korkeutta säättämällä vaikuttaa happamien sulfaattimaiden typpioksiduulipäästöihin?

Happamat sulfaattimaita

Happamia sulfaattimaita esiintyy Suomen rannikoilla entisen Litorinameren alueella. Niissä esiintyvät sulfidikerrokset hapettuvat mm. maankohoamisen ja ojituksen seurauksena, jolloin sulfidien sisältämä rikki ja rauta hapettuvat rautahydroksidiksi ja rikkihapoksi.

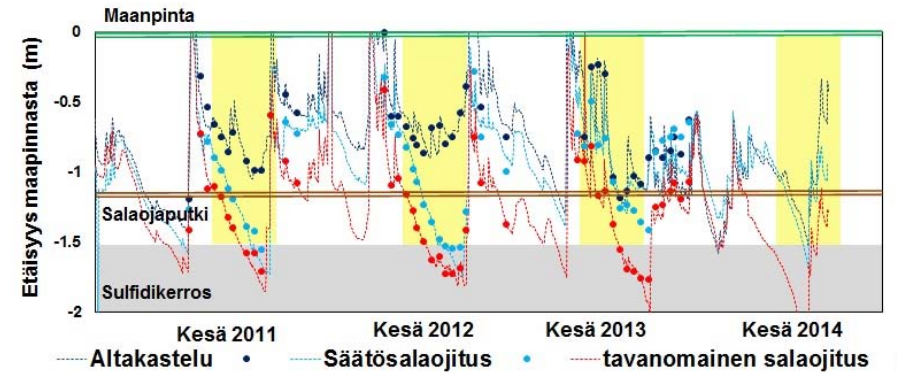
Vaasan lähelle perustettiin Söderfjädenin kenttä Life plus -rahoittaman CATERMASS (Climate Change Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils) -hankkeen aikana (2010–2012).

Mittauksia kentällä on jatkettu Maa- ja metsätalousministeriön, Maa- ja vesiteknikan tuen sekä Salaojituksen Tukisäätiön rahoittaman BEFCASS-hankkeen aikana (2013–2014).

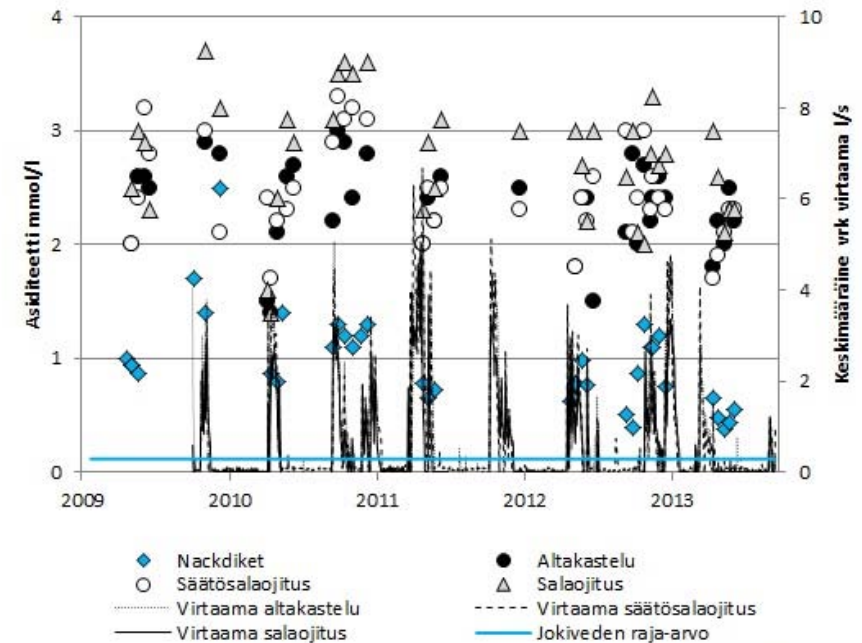
POHJAVEDEN TASO JA LAATU

Pohjaveden pinta pysyi sulfidisavikerroksen yläpuolella altakastelulohkolla koko koeajan, kun kuivina kausina salaojastoon pumpattiin lisävetä (30–50 mm/vuosi) (Kuva 4). Säättösalojituksessa (ilman lisävetä) sulfidisavien hapettuminen oli mahdollista huomattavasti lyhyemmän ajan kuin tavanomaisessa salaojituksessa, jossa kerrokset olivat kesällä alttiina hapettumiselle useamman kuukauden ajan (Kuva 4). Vaikka pohjaveden pinta saatiin pidettyä korkealla altakastelulohkolla ja säättösalojituslohkolla, muutoksia maan pH-luvussa ei havaittu (Österholm ym. 2014). Pellon reunaan 0,3 m:stä 1,9 m:n syvyyteen asennetulla muovikalvolla pystyttiin ehkäisemään veden virtaus valtaojaan, jolloin pohjaveden pinnan laskuun lohkoilla vaikutti lähinnä evapotranspiraatio eli kasvien vedenotto ja haihdunta maanpinnalta.

Salaojaveden pH vaihteli välillä 3,8 ja 4,5, ja alhaisimmat pH-arvot mitattiin tavanomaisesti ojitetulla lohkoilla. Salaojaveden happamuutta ja sen haitallisia



Kuva 4. Pohjaveden pinnan vaihtelut koelohkoilla vuosina 2011–2014 (Kuva: Seija Virtanen.)



Kuva 5. Salaojaveden happamuusaste (asiditeetti, mmol/l) altakastelu-, säättösalojitus- ja tavanomaisesti salaojitetulla lohkoilla sekä alueen ulkopuolelta virtaavassa Nackdiket-valtaojassa vuosina 2010–2014. Sininen viiva osoittaa jokivesille määritellyä raja-arvoa, jota korkeammat asiditeetin arvot ovat haitallisia vesiekosysteemille. Kuvaan on piirretty myös päivittäiset keskivirtaamat kunkin lohkon laskuaukkokaivossa. Punainen viiva osoittaa säättöjituksen ja altakastelun aloittamisajankohdan. (Kuva Seija Virtanen.)

vaikutuksia vastaanottavissa vesistöissä voidaan arvioida pH-arvoa paremmin happamuuden määrän eli asiditeetin avulla. Tavanomaisesti ojitetulta lohkolta purkautuvan salaojaveden asiditeetti vaihteli välillä 1,4 ja 3,7 mmol/l, eli se oli haitallisen korkea, sillä pitoisuuksien, jotka ovat yli 0,03 mmol/l, on todettu olevan kaloille haitallisia jokivedessä (Kuva 5). Kuitenkin jo luontaisesti valtaojissa virtaavan veden asiditeetti ylitti tämän raja-arvon, sillä peltolohkojen ulkopuolelta tulevan Nackdiket-ojan veden asiditeetti oli välillä 0,38–2,5 mmol/l. Säätosalojitetun lohkon salaojaveden asiditeetti oli keskimäärin 0,3 mmol/l pienempi kuin tavanomaisessa salaojituksessa ja altakastellun lohkon vielä hieman pienempi, eli 0,4 mmol/l. Vaikka nämä erot olivat merkitseviä ja hieman parannusta vesien laatuun saatiinkin, on pelloilta purkautuvan veden asiditeetti silti vielä paljon raja-arvoa korkeampi ja ainakin kaksinkertainen muualta valuma-alueelta tulevan veden asiditeettiin verrattuna. Vaikka salaojista purkautuvat vedet laimenevatkin sekoituessaan valuma-alueen muihin vesiin, vesien laadun parantamiseksi tarvittaisiin suurempia muutoksia pellolta purkautuvan veden laatuun.

Vedenpinnan säätely vaikutti positiivisesti myös vesieliöille myrkyllisen alumiinin pitoisuuksiin. Altakastelulohkolta purkautuvassa salaojavedessä alumiinipitoisuudet olivat pienempiä (11,5 mg/l) kuin tavanomaisessa salaojituksessa (15,8 mg/l) ja myös hieman pienempiä kuin säätosalojituksessa (Virtanen ym. 2014). Salaojaveden kokonaistyyppi- (5–35 mg/l) ja nitraattityypipitoisuudet (3–30 mg/l) olivat suuria kaikilla käsittelyillä. Tavanomaisesti salaojitetulla lohkolta oli hieman alhaisemmat pitoisuudet kuin säätosalojituksessa ja salaojakastelussa.

Ammoniumtyypipitoisuudet olivat yleensä alle 0,5 mg/l. Kokonaisfosforipitoisuudet olivat muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta alle 0,1 mg/l, koska maassa oli fosforia tehokkaasti pidättäviä rautayhdisteitä (Taulukko 1) suuria määriä. Sulfaattipitoisuudet vaihtelivat 140:stä 1200:aan mg/l, ja ne olivat vähän pienemmät altakastelulohkon salaojavesissä kuin säätosalojituksen tai tavallisen ojituksen lohkoilla. Tämä viittaa siihen, että altakastelu on hieman vähentänyt maassa olevan sulfidimuotoisen rikin hapettumista sulfaatiksi.

SADON MÄÄRÄ JA LAATU

Satotasoiissa ei ollut havaittavissa merkittäviä eroja koevuosien 2011–2013 aikana, mutta vuoden 2014 satotasoon pohjaveden korkeudella oli positiivinen vaikutus. Suurin sato saatiin altakastelulohkolla ja pienin tavanomaisesti salaojitetulla lohkolta. Kaikkina koevuosina viljasadot ylittivät suomalaisten peltojen keskisadot. Heinäkuussa 2013 altakastelulohkolta kasvuston kasvu hidastui märkyden takia ja lohkon alaosaan sato jäi hieman pienemmäksi verrattuna tavanomaisesti ojitetun lohkon vastaavaan kohdan satoon. Koekentältä kerättyjen kasvustonäytteiden ja jyvien alkuainepitoisuudet eivät olleet tavallisuudesta poikkeavia. Altakastelussa havaittiin maanpinnan liettymistä kasvukaudella 2013, mikä saattoi johtua liian korkeasta pohjavedenpinnasta (Österholm ym. 2014). Jo syksyllä 2012 oli märkää ja vuoden 2013 kevään ja alkukevään runsaiden sateiden seurauksena märkyys haittasi kevättöitä. Kesäkuun 2013 sademäärä oli 129 mm.

KASVIHUONEKAASUPÄÄSTÖT

Typpioksiduulipäästöt olivat suuria verrattuna aiemmin peltomaasta mitattuihin

päästöihin. Typpioksiduuli (N₂O) on ilmasto lämmittävä kaasu, jota mikrobit tuottavat maaperässä vapaana olevasta typestä. Kivennäismaiden typpioksiduulipäästöt viljan viljelyssä ovat Suomessa keskimäärin 3,5 kg/ha/vuosi, mutta Söderfjärdenin pelloilta mitatut vuosipäästöt olivat 8–32 kg/ha. Ojitustavalla ei

ollut vaikutusta näihin päästöihin. Kynökerroksen pH ja typpipitoisuudet olivat samanlaisia kuin kivennäismailla, mutta alemmissa maakerroksissa typpipitoisuus oli suuri ja pH alhainen. Maan korkean typpipitoisuuden lisäksi alhainen pH saattaa olla yksi syy korkeisiin typpioksiduulipäästöihin.

Taulukko 1. Maaprofiilin horisontit, maalaji, pH(H₂O), johtoluku, oksalaattiuuttoiset Al ja Fe sekä hiilen (C_{tot}), typen (N_{tot}), rikin (S_{tot}), ja fosforin (P_{tot}) kokonaispitoisuudet (Laakso 2009).

Syvyys (cm)	Horisontti	Maalaji	pH (H ₂ O) tuore	Johtoluku	Alox (mmol/kg) ¹⁾	Feox (mmol/kg) ¹⁾	C tot (%) ²⁾	N tot (%) ²⁾	S tot (%) ²⁾	Ptot (mg P/kg) ³⁾
0-28	Ap	Hiue	6,7	1,6	50	76	2,3	0,23	0,23	1325
28-50	Bgj1	Hiuesavi	4,7	1,1	29	64	1,2	0,16	0,35	977
50-86	Bgj2	Hiuesavi	4,0	1,7	41	110	1,5	0,22	0,39	944
86-152	Bg	Hiuesavi	3,8	6,7	-	-	1,9	0,28	0,18	986
152-182	Cg1	Hiesusavi	7,9	22,1	19	87	2,2	0,32	0,83	944
182-220	Cg2	Hiesusavi	8,6	20,1	18	62	2,1	0,29	0,79	997
Keski- virhe ⁴⁾			0,03	-	1	1	0,00	0,01	0,01	133

1) Horisontteille Ap-Bgj2 määrittäminen tehtiin ilmakuivista, Cg1 ja Cg2 tuoreena kylmäkuivatuista näytteistä

2) Kokonaispitoisuudet määritetty kuivapolttomenetelmällä

3) Kokonaisfosfori määritetty mikroalutounehajotuksella ilmakuivista näytteistä

4) Rinnakkaismääritysten keskimääräinen keskivirhe

Taulukko 2. Horisonttien lajitekoostumus (Laakso 2009).

Syvyys (cm)	Horisontti	Sr	KHK	HHK	KHt	HHT	KHs	HHs	S
%									
0-28	Ap	0	0	1	5	34	23	11	26
28-50	Bgj1	0	0	0	2	27	24	14	32
50-86	Bgj2	0	0	1	2	21	23	16	38
86-152	Bg	0	0	0	0	25	26	13	36
152-182	Cg1	0	0	0	1	18	29	14	38
182-220	Cg2	0	0	0	1	16	28	16	40

YHTEENVETO

Säätöojituksen ja altakastelun positiivinen vaikutus satotasoon voitiin havaita vain yhtenä koevuonna todennäköisesti siitä syystä, että seurantajakson kasvukaudet olivat tavanomaista mämpiä. Jotta pellolle saadaan varastoitua vettä kasvien käyttöön, tulee säätö laittaa päälle keväällä heti, kun pohjavesi on laskenut noin 60 cm maan pinnan alapuolelle ja maa kantaa koneita. Kuitenkin sateisen kesän sattuessa on erityisen tärkeää tarkkailla pohjavedenpinnan tasoa, niin ettei pellon liika märkyys pääse haittamaan kasvien kasvua varsinkin muovikalvomenetelmää käytettäessä. Pohjavesiputkien kelluva antenni on osoittautunut erinomaiseksi työvälineeksi pohjavedenpinnan korkeuden seurannassa.

Muutokset maaperässä ovat hitaita, eikä kovin suuria eroja havaittukaan eri lohkojen salaojaveden asiditeetissa tai kuorimituksessa neljän ensimmäisen vuoden aikana. Tämän takia koealueen seuranta tulisikin jatkaa, jotta saataisiin selville, ovatko tähän mennessä havaitut vähittäiset muutokset kohti parempaa veden laatua säätösalojittutulla ja altakastellulla lohkoilla pysyviä ja saadaanko selvempiä muutoksia pidemmällä ajanjaksolla. Tällöin voitaisiin myös saada selville eri menetelmien vaikutus satoon normaalina tai poikkeuksellisen kuivana kasvukautena.

Hanketta ovat rahoittaneet: CATERMASS Life plus, maa- ja metsätalousministeriö, Salaojituksen Tukisäätiö, Maa- ja vesitekniikan tuki ja Oiva Kuusisto Säätiö. Lisäksi hanketta ovat rahoittaneet Kyronjokirahasto, Lapuanjokirahasto ja Ähtävänjokirahasto.

TUTKIMUSYHMÄ:

Jaana Uusi-Kämpä (MTT), Seija Virtanen (Salaojituksen Tukisäätiö), Peter Österholm (Åbo Akademi), Rainer Rosendahl (ProAgria Österbotten), Merja Mäensivu (EPO-ELY), Vincent Westberg (EPO-ELY), Kristiina Regina (MTT), Kari Ylivainio (MTT), Markku Yli-Halla (Helsingin yliopisto) ja Eila Turtola (MTT)

Lisätietoa: www.catermass.fi

LÄHTEET

Laakso, J. 2009. Happaman sulfaattimaan fosforin esiintymismuodot. Pro gradu –tutkielma. Maaperä- ja ympäristötiede, Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos, Helsingin yliopisto.

Uusi-Kämpä, J., Virtanen, S., Rosendahl, R., Österholm, P., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Edén, P. & Turtola, E. 2013. Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi. MTT Raportti 74. 24 p.

Uusi-Kämpä, J., Virtanen, S., Rosendahl, R., Österholm, P., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Edén, P. & Turtola, E. 2013. Minskning av miljörisker orsakade av sura sulfatjordar Handbok för reglering av grundvattennivån. MTT Raportti 89: 24 p.

Virtanen, S., Österholm, P., Uusi-Kämpä, J. & Yli-Halla, M. 2014. Mitigation of environmental hazards from cultivated acid sulphate soil by controlled drainage and sub-irrigation in Finland. Abstracts. 12th ICID International Drainage Workshop. 23–26 June 2014, St. Petersburg, Russia. p. 11.

Yli-Halla, M. 2012. The soil profile at Söderfjärden. Guidebook. Post-conference excursions. 7th IASSC. 26.8.–1.9.2012. Finland. p. 18–20.

Österholm, P., Virtanen, S., Rosendahl, R., Uusi-Kämpä, J., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Mäensivu, M. & Turtola, E. 2014. Groundwater management of sulfide bearing farmlands using controlled drainage, by-pass flow prevention and subsurface irrigation on a Boreal farmland. Acta Agriculturae Scandinavica, Section B - Plant Soil Science. Submitted 1.6.2014.