VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

TÄMÄ ON ALKUPERÄISEN ARTIKKELIN RINNAKKAISTALLENNE

**Käytä viittauksessa alkuperäistä lähdettä:**

Stén, P., Dahlhem, K., Engblom, S., Grannas, A., Högfors-Rönnholm, E., Rosendahl, R. & Österholm, P. 2019. Kemiallinen täsmäkäsittely happamilla sulfaattimailla. Vesitalous 1, 52-57.

URL: https://www.vesitalous.fi/vesitalous-lehdet/maankuivatus-ja-ilmastonmuutos/

**Versio:** kustantajan pdf

**Copyright:** © 2019 Tekijät

# Kemiallinen täsmäkäsittely happamilla sulfaattimailla

Happamilla sulfaattimailla tapahtuva sulfidien hapettuminen ja sitä seuraava hapon muodostuminen pyritään tässä tutkimuksessa estämään syntysijoillaan sulfidikerroksen hydrologisesti aktiivisissa makrohuokosissa. Lähtökohtana on tuotantokäytössäkin oleva altakastelu, mutta altakasteluveteen lisätään kalsiumkarbonaattia tai kalsiumhydroksidia ja suspensio pumpataan salaojaputkia pitkin suoraan happoa muodostavaan kerrokseen. Perimmäisenä tavoitteena on hidastaa asidofiilisten bakteerien katalysoimaa sulfidien hapettumista, mutta myös neutraloida jo muodostunut happo ja samalla saostaa siihen liuenneet metallit.

PEKKA STÉN
yliopettaja (ympäristötekniikka),
Vaasan ammattikorkeakoulu
e-mail: pekka.sten@vamk.fi

KRISTER DALHEM
doktorand, Åbo Akademi

STEN ENGBLOM
FoU-ledare, Yrkeshögskolan Novia

ANDERS GRANNAS
utbildningschef, Yrkesakademin i Österbotten

EVA HÖGFORS-RÖNNHOLM
forskare, Yrkeshögskolan Novia

RAINER ROSENDAHL
dräneringstekniker, ProAgria Österbottens svenska lantbrukssällskap

PETER ÖSTERHOLM
akademielektor, Åbo Akademi

Tässä artikkelissa keskitytään PRECIKEM-projektin koekentällä vuosina 2012–2016 toteutettuihin kokeisiin ja niiden vaikutusten seurantaan. Ennen kenttäkokeita on kuitenkin tehty kymmenittäin laboratoriomittakaavan uuttokokeita, joissa koekentältä n. 70–85 cm syvyydeltä otettuja maanäytteitä (halkaisija 14,2 cm, korkeus 15 cm) uutettiin vedenläpäisylaitteistossa vedellä sekä käsittelykemikaalien ($CaCO_3$ ja $Ca(OH)_2$) suspensioilla tarkoituksena löytää oikeat olosuhteet kenttäkokeisiin ja ymmärtää käsittelyjen vaikutusmekanismit. Uuttokokeiden suotovesistä tehtyjen kemiallisten analyysien ja termodynaamisen mallinnuksen perusteella olemme esittäneet hypoteesin (Wu ym. 2015), jonka mukaan käsittelemättömissä maanäytteissä kaliumjarosiitin ja schwertmanniitin välinen tasapaino (**1**) puskuroi suotovesien (ja salaojista purkautuvien vesien) pH:n lähelle arvoa 4.

Yhteistyössä Linné-yliopiston tutkimusryhmän kanssa työssä on käytetty mikrobiologisia ja geokemiallisia menetelmiä maaperän mikrobipopulaatioiden identifiointiin 16S rRNA -geenisekvensoinnin avulla ja tutkittu laboratoriomittakaavassa tehtyjen kemiallisten käsittelyjen vaikutusta mikrobipopulaatioihin. Mikrobiologisen ja geokemiallisen datan tulkinnassa on menestyksekkäästi hyödynnetty kehittyneitä tilastollisia monimuuttujamenetelmiä ja tuloksia on toistaiseksi julkaistu neljässä tieteellisessä artikkelissa (Wu ym. 2013, Wu ym. 2015, Högfors-Rönnholm ym. 2018a ja Högfors-Rönnholm ym. 2018b). Keskeiset havainnot ovat: a) happamassa sulfaattimaassa esiintyvät bakteerit ovat identifioitavissa käytetyillä tekniikoilla, b) asidofiiliset bakteerit katalysoivat haponmuodostusreaktioita ja c) niiden aktiivisuutta voidaan vähentää nostamalla pH-arvoa.

## Koekenttä

PRECIKEM-projektissa (*Kemisk precisionsbehandling av sura sulfatjordar för att förhindra uppkomsten av syra, Kemiallinen täsmäkäsittely haponmuodostuksen estämiseksi happamilla sulfaattimailla*) rakennettu koekenttä sijaitsee Vaasan Risöfladanilla *Yrkesakademin i Österbotten* -oppilaitoksen viljellyillä pelloilla. Koekenttää on rakennettu tois-

$$8KFe_3(SO_4)_2(OH)_6 \rightarrow 3Fe_8O_8(OH)_6SO_4 + 8K^+ + 13SO_4^{2-} + 18H^+ + 6H_2O \quad (1)$$

taiseksi kahdessa vaiheessa ja tässä raportoidut kokeet tehtiin vuonna 2011 valmistuneella alueella, joka käsittää yhdeksän toisistaan ja viereisistä valtaojista hydrologisesti eristettyä hehtaarin kokoista koeruutua. Eristys on toteutettu 1,5 m korkealla muovikalvolla, joka ulottuu juuri muokkauskerroksen alapuolelta n. 1,9 m syvyyteen tiiviiseen ja vettä läpäisemättömään mustaan sulfidisavikerrokseen. Kussakin ruudussa on kuivatusta ja altakastelua varten 120–130 cm syvyydellä kolme huuhtelujatkoksilla varustettua halkaisijaltaan 80 mm imuojaa ojavälin ollessa 26 m, halkaisijaltaan 100 mm kokoojaoja sekä säätökaivo. Altakastelu läheisestä Laihianjoesta on toteutettu kiinteää 75 mm vesijohtoa pitkin.

## Kenttäkokeet

Koekentän koeruuduilla 1–9 toteutettiin viitenä kesänä heinä-elokuussa pohjaveden pinnan ollessa alhaisimmillaan **Taulukossa 1** mainitut käsittelyt. Jokivesi pumpattiin dieselpumpulla roottorilla varustettuun 3 m³ sekoitusastiaan, johon traktorin lavalla suursäkeissä säilytetyt kemikaalit annosteltiin. Sekoitusastiasta suspensio valui omalla paineellaan säätökaivoon ja sieltä edelleen salaojaputkistoon (**Kuva 1**). Parhaimmillaan salaojaputkisto imi käsittelysuspensioita n. 5 dm³/s, mutta nopeus hidastui altakastelun edetessä. Ennen kemikaalilisäystä putkistoa huuhdottiin pumppaamalla 10 m³ jokivettä ja sama toistettiin kemikaalisäyksen jälkeen.

Koeruudut 2, 4 ja 7 ovat vertailuruutuja ja niille on pumpattu pelkästään Laihianjoen vettä **Taulukosta 1** ilmenevät tilavuudet. Syksyisin ja keväisin pohjaveden pinnan noustua salaojituksen yläpuolelle salaojaputkista purkautuvien vesien (jatkossa lyhyemmin salaojavesien) laatua on seurattu näytteenoton ja analyysien avulla. Vertailuruutujen salaojavesi on laadultaan tyypillistä

**Kuva 1.** Altakastelukokeiden koejärjestely.

**Taulukko 1.** PRECIKEM-projektin koekentällä vuosina 2012–2016 toteutettujen altakastelukokeiden olosuhteet. Hehtaarin kokoisille koeruuduille pumpattiin säätökaivojen ja salaojaputkien kautta 110–1640 kg käsittelykemikaaleja ($CaCO_3$ tai $Ca(OH)_2$) suspendoituna 99–461 m³ Laihianjoen vettä. Vertailuruutuihin 2, 4 ja 7 pumpattiin ainoastaan Laihianjoen vettä 99–476 m³.

| | 2012 | | | 2013 | | | 2014 | | | 2015 | 2016 | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| Koeruutu | kg * | käsittely | m³ ** | kg * | käsittely | m³ ** | kg * | käsittely | m³ ** | | kg * | käsittely | m³ ** |
| 1 | 150 | $Ca(OH)_2$ | 99 | 380 | $Ca(OH)_2$ | 129 | | | | | 660 | $CaCO_3$ | 130 |
| 2 | | $H_2O$ | 92 | | $H_2O$ | 137 | | $H_2O$ | 459 | | | $H_2O$ | 130 |
| 3 | 680 | $CaCO_3$ | 109 | | | | | | | | | | |
| 4 | | $H_2O$ | 122 | | $H_2O$ | 174 | | $H_2O$ | 476 | | | $H_2O$ | 131 |
| 5 | 770 | $CaCO_3$ | 107 | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | 350 | $CaCO_3$ | 126 | 1640 | $CaCO_3$ | 461 | | | | |
| 7 | | $H_2O$ | 108 | | $H_2O$ | 140 | | $H_2O$ | 434 | | | $H_2O$ | 134 |
| 8 | 110 | $Ca(OH)_2$ | 100 | 360 | $Ca(OH)_2$ | 116 | | | | | 820 | $CaCO_3$ | 134 |
| 9 | | | | 400 | $CaCO_3$ | 127 | 1590 | $CaCO_3$ | 427 | | | | |

* käsittelykemikaalien kokonaismassa, ** käsittelyssä pumpattu tilavuus Laihianjoen vettä

happamilla sulfaattimailla sijaitsevien peltojen valumavettä. Kuten **Taulukosta 2** ilmenee salaojavesien asiditeetti ja sähkönjohtavuus sekä rikin ja useiden metallien kokonaispitoisuudet ovat noin kymmenkertaisia koekentän vieressä virtaavan Laihianjoen veden pitoisuuksiin nähden, jotka puolestaan ovat noin kymmenkertaisia keskimääräisiin suomalaisiin virtavesiin nähden.

**Taulukko 2.** Risöfladanin koekentän vertailuruutujen 4 & 7 salaojavesien laatu verrattuna läheisen Laihianjoen vedenlaatuun ja Lahermon ym. (1996) selvittämään suomalaisten virtavesien keskimääräiseen laatuun.

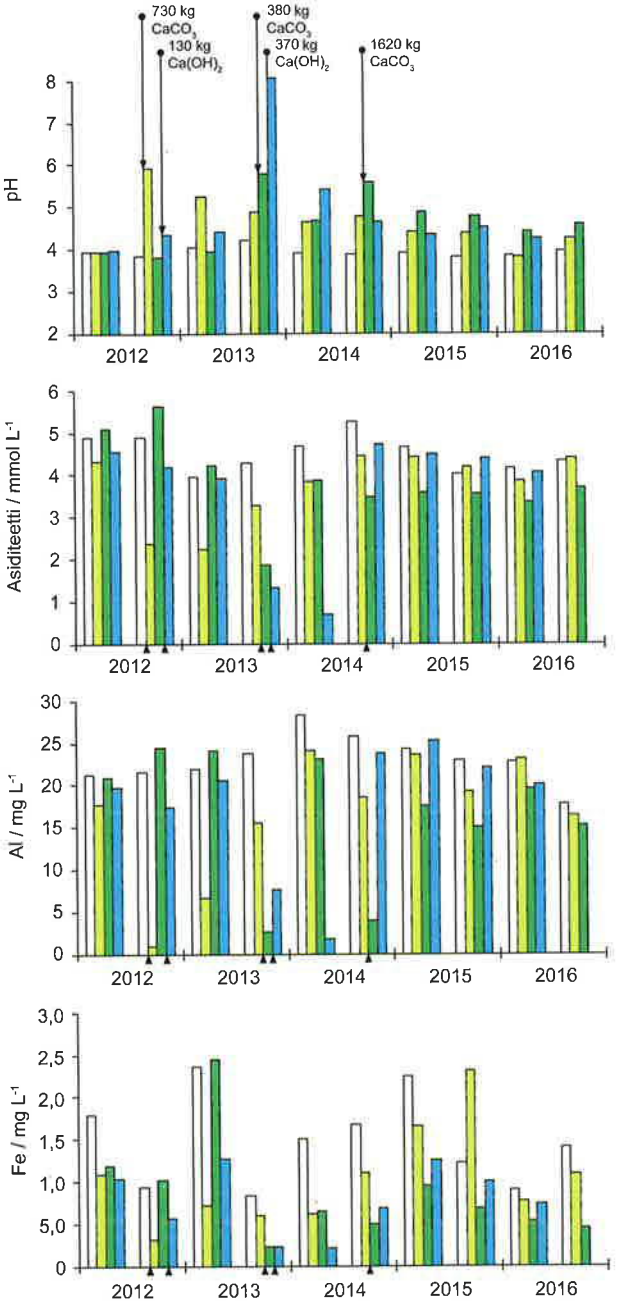
| | | Vertailu-ruudut | Laihianjoki | Virtavedet* |
|---|---|---|---|---|
| pH | | 3,9 | 5,0 | 5,9 |
| EC | µS cm$^{-1}$ | 1723 | 200 | 44 |
| asiditeetti | mmol L$^{-1}$ | 4,52 | 0,51 | - |
| S | mg L$^{-1}$ | 214 | 29 | 2,4 |
| Fe | mg L$^{-1}$ | 1,31 | 0,65 | 0,68 |
| Al | mg L$^{-1}$ | 22,5 | 1,9 | 0,095 |
| Ca | mg L$^{-1}$ | 82,7 | 17,1 | 4,06 |
| Mn | mg L$^{-1}$ | 4,21 | 0,62 | 0,029 |
| Co | µg L$^{-1}$ | 149 | 18 | 0,17 |
| Cu | µg L$^{-1}$ | 14,8 | 7,2 | 0,64 |
| Ni | µg L$^{-1}$ | 251 | 45 | 0,52 |
| Zn | µg L$^{-1}$ | 652 | 75 | 3,6 |
| Li | µg L$^{-1}$ | 219 | 33 | 1,02 |
| Cd | µg L$^{-1}$ | 2,30 | 0,25 | 0,02 |
| Pb | µg L$^{-1}$ | 0,70 | 0,10 | 0,23 |
| U | µg L$^{-1}$ | 1,41 | 0,23 | 0,073 |

*keskimääräisten suomalaisten virtavesien laatu (Lahermo ym., 1996)

## Tulokset

Tässä raportoitujen kenttäkokeiden tuloksia seurattiin yli neljän vuoden ajan ottamalla salaojavesistä suuren valunnan aikaan keväisin (huhti-kesäkuussa) ja syksyisin (loka-tammikuussa) 288 näytettä, joista tehtiin tuhansia analyysejä. Tuloksista on äskettäin ilmestynyt ensimmäinen yksityiskohtaisesti raportoitu tieteellinen artikkeli (Dalhem ym. 2018) ja tässä pyritään antamaan yleiskuva rajoittumalla neljään vedenlaatuparametriin ja niiden käsittelykohtaisiin mediaaniarvoihin.

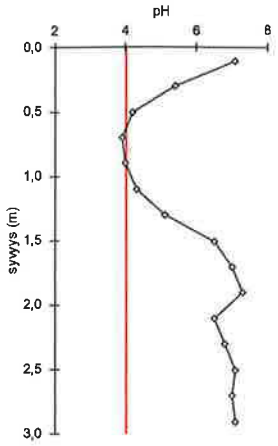
Kukin käsittely ($CaCO_3$-suspensio kahdella eri annostuksella, $Ca(OH)_2$-suspensio, pelkkä jokivesi) toistettiin koetarkkuuden puitteissa samanlaisena ja samanaikaisesti kahdella eri koeruudulla ja kunkin kevään ja syksyn aikana näytteitä haettiin 1–5 kertaa. Samalla tavalla käsiteltyjen koeruutujen seurantadata on **Kuvassa 2** yhdistetty ja tuloksia raportoidaan vertailuruutuparin 4 & 7 lisäksi kolmelta koeruutuparilta: $CaCO_3$-käsitellyt koeruudut 3 & 5, $Ca(OH)_2$-käsitellyt koeruudut 1 & 8 sekä $CaCO_3$-käsitellyt koeruudut 6 & 9. Kunkin käsittelyn vaikutusta salaojavesien laatuun on siis joka kevät ja syksy seurattu 2–10 näytteen avulla, joista tehtyjen analyysien mediaaniarvot esitetään **Kuvassa 2**. →




**Kuva 2.** Risöfladanin koekentän salaojavesien laatu. Kuvassa on yhdistetty samalla tavalla käsiteltyjen koeruutujen salaojavesistä otettujen näytteiden tulokset ja esitetään mediaaniarvo perustuen kaikkiin kunakin a) keväänä ja b) syksynä otettuihin näytteisiin.

# Happamat sulfaattimaat

Happamilla sulfaattimailla tarkoitetaan metallisulfidipitoisia maita, joilla voi muodostua rikkihappoa sulfidien hapettuessa. Happamia sulfaattimaita esiintyy Suomessa tuhansia neliökilometrejä erityisesti länsirannikolla. Vuosituhansia sitten alueella lainehtineen Litorina-meren ajoilta alkaen on meren pohjaan saostunut sulfidimineraaleja. Noista ajoista alkaen maa on kohonnut kymmeniä metrejä ja koko rannikko onkin entistä merenpohjaa. Monet toiminnot edellyttävät maan kuivattamista, jolloin kuivien kesien aikana maaperään saostuneet sulfidimineraalit pääsevät kosketuksiin ilman hapen kanssa ja hapettuvat. Reaktiotuotteena muodostuu myös happoa ja ilmiötä voidaan havainnollistaa pyriitin, $FeS_2$, hapettumisella ferrihydroksidiksi, $Fe(OH)_3$.




**Kuva 3.** Keskimääräinen pH-profiili Risöfladanin koekentältä. Muokkauskerros 30 cm syvyyteen asti pidetään pintakalkituksella lähes neutraalina, osittain hapettuneessa kerroksessa (30 cm–150 cm) pH laskee arvoon 4, yleensä pohjaveden pinnan alapuolella säilyvissä maakerroksissa (syvemmällä kuin 150 cm) pH on lähes neutraali.

$$4FeS_2 + 15O_2 + 14H_2O \rightarrow 4Fe(OH)_3 + 8SO_4^{2-} + 16H^+$$

Happamilla sulfaattimailla ilmiö näkyy pH-profiileissa (**Kuva 3**) sekä **kuvista 4 ja 5** ilmenevällä tavalla maakerrosten väreissä.

Yksinkertaistaen voidaan todeta, että kuivaa kesää seuraava märkä syksy huuhtoo muodostuneen hapon ja siihen maaperästä liukenevat metallit vesistöihin aiheuttaen pahimmillaan kalakuolemia. Vanhin kirjoittajien tiedossa oleva dokumentti Pohjanmaalla sattuneista happamoitumisepisodeista on vuodelta 1834 (Sevola 1979) ja näyttää siltä, että pahoja happamoitumisepisodeja Pohjanmaalla esiintyy noin kerran vuosikymmenessä, mm. 1996 ja 2006–2007.

**Kuva 4.** Maaprofiili PRECIKEM-projektin koekentällä. Tumma, vettä huonosti johtava hapettumaton savikerros alkaa n. 150 cm syvyydestä. Sen yläpuolella olevassa hapettuneessa kerroksessa 30 cm–150 cm syvyydessä näkyy punaruskeaa rautahydroksidia. Ylimpänä 30 cm paksu muokkauskerros. Vasemmalla soralla peitetty salaojaputki, johon on tilapäisesti avattu tarkastusluukku.

**Kuva 5.** Happamalle sulfaattimaalle Vaasan Risöfladanilla kaivetun kuopan kaivuumassoja. Vasemmalla pintamaata muokkauskerroksesta, keskellä juuri kaivettua tiivistä ja mustaa sulfidisavea puolentoista metrin syvyydeltä. Oikealla muokkauskerroksen ja sulfidisaven välistä kaivettua hapettunutta ja viljelyominaisuuksiensa kannalta rakenteeltaan hyvää hapanta sulfaattimaata

→ Myös koeruutu 2 on vertailuruutu, mutta rakennusvaiheessa se jätettiin tutkimustarkoituksessa hydrologisesti eristämättä vieressä virtaavasta valtaojasta.

Kuten **Kuvasta 2** havaitaan, pysyy vertailuruutujen salaojavesien pH vuodesta toiseen vakaana, lähellä arvoa 3,9. Parhaat tulokset on saatu heinäkuussa 2012 koeruuduilla 3 & 5 toteutetulla 730 kg $CaCO_3$-lisäyksellä ja sen vaikutuksia tarkastellaan lähemmin. Samana syksynä salaojavesien pH oli kaksi yksikköä vertailuruutujen arvoja korkeampi. Ajan mittaan näiden ruutujen salaojavesien pH laskee, mutta on vielä neljän vuoden kuluttua 0,4 yksikköä korkeampi kuin vertailuruuduilla.

Vertailuruutujen salaojavesien asiditeetti vaihtelee välillä 4–5 mmol/L. Koeruuduilla 3 & 5 toteutetun 730 kg $CaCO_3$-käsittelyn ansiosta salaojavesien asiditeetti laskee samana syksynä puoleen ja pysyy tässä arvossa seuraavaan kevääseen asti. Runsaan vuoden kuluttua salaojavesien asiditeetti palaa kuitenkin vertailuruutujen tasolle.

Tutkimuksessa analysoiduista alkuaineista kemialliset käsittelyt vaikuttavat voimakkaimmin salaojavesien alumiinipitoisuuksiin, jotka laskevat käsittelyä seuraavana syksynä yli 90 % (arvosta 20 mg/L alle arvon 2 mg/L) ja ovat runsaan vuoden selvästi alentuneella tasolla palaten vertailuarvojen tasolle parissa vuodessa.

Kukin testattu käsittely laskee kaksiarvoisen liuenneen raudan pitoisuutta salaojavesissä, aluksi puoleen ja vähäisempänä vaikutus on havaittavissa koko pisimmillään nelivuotisen seurantajakson ajan.

Salaojavesien sähkönjohtavuuteen ja rikin kokonaispitoisuuteen käsittelyillä ei havaittu olevan vaikutusta, ei myöskään kadmiumin pitoisuuteen. Kalsiumpitoisuus on käsittelyä seuraavana syksynä noin kaksinkertainen vertailuarvoihin nähden ja palaa parissa vuodessa vertailuarvojen tasolle. Salaojavesissä poistunut kalsiumin määrä on kuitenkin vähäinen verrattuna käsittelyissä lisättyihin määriin.

Koeruuduille 6 & 9 tehtiin kesällä 2013 $CaCO_3$-lisäys, joka oli suuruudeltaan noin puolet (380 kg) ruuduille 3 & 5 tehdystä lisäyksestä. Vaikutukset ovat samansuuntaisia, mutta vähäisempiä. Vaikka tätä lisäystä täydennettiin seuraavana kesänä nelinkertaisella $CaCO_3$-annostuksella (1 620 kg suspendoituna nelinkertaiseen vesitilavuuteen 440 $m^3$) vaikutukset jäivät vähäisemmiksi kuin ensimmäiseksi testatulla 730 kg lisäyksellä.

Kesällä 2012 koeruuduille 1 & 8 tehdyn pienen $Ca(OH)_2$-annostuksen (130 kg) vaikutus on vähäinen. Annostuksen täydentäminen seuraavana kesänä 370 kilogrammalla aiheuttaa selvän, mutta lyhytaikaisen efektin salaojavesien laadun palatessa vertailutasolle runsaassa vuodessa.

## Tulosten arviointi

Kaikilla käsittelyillä oli neutraloiva vaikutus, salaojavesien pH nousi ja asiditeetti laski. Lupaavimmat pitkäaikaistulokset saatiin hehtaarin koeruuduille tehdyillä n. 730 kg $CaCO_3$-lisäyksillä, mutta $Ca(OH)_2$-lisäyksen vaikutus jäi lyhytaikaiseksi.

Sulfaattimaiden happamien valumavesien sisältämistä metalleista alumiini on yksi haitallisimmista ja aiheuttaa vastaanottavissa vesistöissä kalakuolemia saostuessaan kalojen kiduksiin alumiinihydroksidina. Tutkitut käsittelyt vähentävät alumiinin liukenemista tai saostavat sen hydroksidina maaperän hydrologisesti aktiivisiin makrohuokosiin.

Raudan liukenemisen happamilla sulfaattimailla tiedetään riippuvan voimakkaasti pH:sta ja redoxpotentiaalista (esim. Virtanen 2015). Kemialliset analyysit osoittivat raudan esiintyvän salaojavesissä kaksiarvoisena. Käsittelyt nostivat pH:ta, mikä johtaa raudan saostumiseen kolmiarvoisena: schwertmanniittina, $Fe_8O_8(OH)_6SO_4$, tai ferrihydroksidina $Fe(OH)_3$ (Dalhem ym. 2018).

Rikin kokonaispitoisuudessa (enimmäkseen sulfaattina) ei havaittu eroa käsiteltyjen koeruutujen ja vertailuruutujen salaojavesien välillä. Niinpä kysymys projektissa toteutettujen kemiallisten käsittelyjen vaikutuksesta sulfidien hapettumisen hidastajana jää yksinomaan kenttäkokeiden valossa avoimeksi. Syksyllä 2014 tehdyissä kaivauksissa käsittelysuspensioiden todettiin tunkeutuneen maaperään enimmillään muutaman metrin etäisyydelle salaojaputkesta noin metrin paksuisessa kerroksessa, joten valtaosa maamassasta jää käsittelemättä. Vaikka sulfidit eivät hapettuisikaan käsitellyllä vyöhykkeellä, niitä kulkeutuu salaojavesiin kauempaa. Toisaalta valumavesi salaojiin kulkeutuu läpi käsitellyn vyöhykkeen, jossa tapahtuvien reaktioiden ansiosta salaojavesien laatu paranee.

Tutkitut käsittelyt eivät korvaa viljelyn edellyttämää pintakalkitusta, joka puolestaan ei ratkaise sulfaattimailta valuvien happamien metallipitoisten vesien aiheuttamaa ympäristöongelmaa. Menettelyt täydentävät toisiaan. Käytetty kemikaalien määrä on pienempi kuin pintakalkituksessa, mutta kokeissa käytetty 2,5 µm raekokoon jauhettu kalsiumkarbonaatti on maatalouskalkkia kalliimpaa. Altakastelua käytetään jo nyt

tuotantomittakaavassa ja eräillä tiloilla sitä on tehostettu hydrologisella eristämisellä. Muutaman vuoden välein toistettava altakastelukäsittely olisikin monin paikoin toteutettavissa kohtuukustannuksin olemassa olevia järjestelmiä hyödyntäen. Toimenpide kohdistuu nimenomaan vesistöjen tilan parantamiseen, joten yhteiskunnan tuki menetelmän käyttöönottaville viljelijöille tuntuisi kohtuulliselta.

## Jatkosuunnitelmat

Vuonna 2016 koekenttää laajennettiin Salaojituksen tukisäätiön tuen turvin rakentamalla koeruudut 10–12, joilla hyödynnetään uudenlaista kierrättävää altakastelua. Sekä laboratorio- että kenttämittakaavassa on kalkkituotteiden lisäksi testattu myös hienojakoisen turpeen lisäämistä altakasteluveteen antioksidantiksi, joka hapettuu helpommin kuin sulfidimineraalit. Laboratoriokokeissa sen todettiin myös lisäävän mikrobiologista diversiteettiä, suosivan rautaa ja rikkiä pelkistäviä bakteereja sekä edistävän metallien pidättäytymistä. Lyhyen seurantajakson vuoksi näiden kokeiden tulokset julkaistaan myöhemmin.

## Kiitokset

Työn päärahoitus on saatu kahden eri projektin, PRECIKEM (2010–2014) ja PRECIKEM II (2015–2018), puitteissa Pohjanmaan ELY-keskuksen kautta *Euroopan maaseudun kehittämisen maatalousrahaston Manner-Suomen maaseudun kehittämisohjelmista*. Ensimmäisen ohjelman edellyttämän yksityisen rahoituksen myönsivät K. H. Renlundin säätiö, Maa- ja vesitekniikan tuki, MTK Etelä-Pohjanmaa, MTK:n säätiö, Salaojituksen tutkimusyhdistys ja Österbottens svenska producentförbund. Näiden lisäksi tutkimusta ovat tukeneet Gustaf Svanljungin säätiö, K. H. Renlundin säätiö, Oiva Kuusisto Säätiö, Maj ja Tor Nesslingin säätiö, Salaojituksen tukisäätiö ja Vaasan Aktiasäätiö. Nordkalk, Uponor Infra (aikaisemmin KWH Pipe) sekä Kemira ovat tukeneet tutkimusta kemikaalien, materiaalien ja asiantuntemuksen muodossa.

Rahoittajien lisäksi haluamme kiittää kokeiden toteutukseen osallistuneita opiskelijoita ja työtovereitamme, joista Thomas Andersson, Sonja Heikkilä ja Daniel Sjöholm osallistuivat useimpiin näytteenottokierroksiin ja altakastelukampanjoihin säiden vaihdellessa helteistä ukkosmyrskyihin ja räntäsateeseen. Erityiset kiitokset lausumme happamien sulfaattimaiden aiheuttamien ongelmien parissa vuosikymmeniä työskennelleille asiantuntijoille: ympäristöneuvos Pertti Sevolalle, ylitarkastaja Karl-Erik Storbergille ja professori Mats Åströmille, jotka ovat auttaneet ja tukeneet meitä monin tavoin projektin ideointivaiheesta alkaen. Professorien Mark Dopson ja Pawel Nowak apu mikrobiologian ja sulfidikemian maailmassa on ollut ensiarvoisen tärkeää. Thank you Mark and Pawel!

## Kirjallisuus

Dalhem, K., Engblom, S., Stén, P. & Österholm, P. 2018. Subsurface hydrochemical precision treatment of a coastal acid sulfate soil. Applied Geochemistry, online-versio ilmestynyt 5.12.2018, https://doi.org/10.1016/j.apgeochem.2018.12.005

Högfors-Rönnholm E., Christel S., Dalhem K., Lillhonga T., Engblom S., Österholm P. & Dopson M. 2018a. Chemical and microbiological evaluation of novel chemical treatment methods for acid sulfate soils. Science of the Total Environment 625, 39–49.

Högfors-Rönnholm E., Christel S., Engblom S. & Dopson M. 2018b. Indirect DNA extraction method suitable for acidic soil with high clay content. MethodsX 5, 136–140.

Lahermo, P., Väänänen, P., Tarvainen, T., & Salminen, R. 1996. Suomen geokemian atlas. Osa 3: Ympäristögeokemia–purovedet ja-sedimentit, 149.

Sevola, P. 1979. Pohjanmaan ongelmasavet – muinaismeren pohjaliejut. Suomen luonto, 38 (3), 102–106.

Virtanen, S. 2015. Redox reactions and water quality in cultivated boreal acid sulphate soils in relation to water management. Väitöskirja. Helsingin yliopisto, Maatalous-metsätieteellinen tiedekunta.

Wu, X., Sten, P., Engblom, S., Nowak, P., Österholm, P., & Dopson, M. 2015. Impact of mitigation strategies on acid sulfate soil chemistry and microbial community. Science of the Total Environment, 526, 215–221.

Wu, X., Wong, Z. L., Sten, P., Engblom, S., Österholm, P., & Dopson, M. 2013. Microbial community potentially responsible for acid and metal release from an Ostrobothnian acid sulfate soil. FEMS Microbiology Ecology, 84(3), 555–563.