

MTT | RAPORTTI 74

Ympäristöriskien vähentäminen happamalla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi

Jaana Uusi-Kämppä, Seija Virtanen, Rainer Rosendahl, Peter Österholm,
Merja Mäensivu, Vincent Westberg, Kristiina Regina, Kari Ylivainio, Markku Yli-Halla,
Peter Edén ja Eila Turtola



**Ympäristöriskien vähentäminen
happamilla sulfaattimailla
– Opas pohjaveden pinnan
säättämiseksi**

Happamien sulfaattimaiden ympäristöriskien vähentäminen –
sopeutumiskeinoja ilmastonmuutokseen (CATERMASS) -hanke

Jaana Uusi-Kämpä, Seija Virtanen, Rainer Rosendahl, Peter
Österholm, Merja Mäensivu, Vincent Westberg, Kristiina Regina,
Kari Ylivainio, Markku Yli-Halla, Peter Edén ja Eila Turtola



Elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus
Närings-, trafik- och miljöcentralen



(((CATERMASS

ISBN: 978-952-487-421-2 (Painettu)

ISBN: 978-952-487-422-9 (Verkkójulkaisu)

ISSN 1798-6419

<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti74.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Jaana Uusi-Kämpä, Seija Virtanen, Rainer Rosendahl, Peter Österholm, Merja Mäensivu, Vincent Westberg, Kristiina Regina, Kari Ylivainio, Markku Yli-Halla, Peter Edén ja Eila Turtola

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2013

Kannen kuva: Rainer Rosendahl

Ympäristöriskien vähentäminen happamalla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi

Jaana Uusi-Kämppä¹⁾, Seija Virtanen²⁾, Rainer Rosendahl³⁾, Peter Österholm⁴⁾, Merja Mäensivu⁵⁾, Vincent Westberg⁵⁾, Kristiina Regina¹⁾, Kari Ylivainio¹⁾, Markku Yli-Halla²⁾, Peter Edén⁶⁾
ja Eila Turtola¹⁾

¹⁾ MTT, Kasvintuotannon tutkimus, Planta, 31600 Jokioinen, etunimi.sukunimi@mtt.fi

²⁾ Elintarvike- ja ympäristötieteiden laitos, Maaperä- ja ympäristötiede, PL 27 (Latokartanonkaari 11), 00014 Helsingin yliopisto, etunimi.sukunimi@helsinki.fi

³⁾ Pro Agria Österbottens Svenska Lantbrukssällskap, Handelsplanaden 16D, 65100 Vaasa, etunimi.sukunimi@proagria.fi

⁴⁾ Geologia ja mineralogia, Åbo Akademi, Tuomiokirkontori 1, 20500 Turku, etunimi.sukunimi@abo.fi

⁵⁾ Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus, PL 262, 65101 Vaasa, etunimi.sukunimi@ely-keskus.fi

⁶⁾ GTK, PL 97, Vaasantie 6, 67101 Kokkola, etunimi.sukunimi@gtk.fi

Tiivistelmä

Länsi- ja Etelä-Suomen rannikkoalueiden happamat sulfaattimaat (alunamaat) olivat merenpohjaa tuhansia vuosia sitten. Merenpohjan hapettomissa oloissa kasvijätteestä ja meriveden sulfaatista syntyi bakteeritoiminnan vuoksi rikkiyhdisteitä, joista on muodostunut sulfidiasivikerrostumia. Maan kohoamisen, viljelykseen oton ja kuivatuksen myötä aiemmin meren pohjassa olleet maakerrokset hapettuvat ja muuttuvat vähitellen happamiksi sulfaattimaiksi. Sulfidikerrostuman hapettuessa syntyy rikkihappoa, joka happamoittaa sekä maan että valumaveden. Happamuus myös liuottaa maasta eliöille haitallista alumiinia ja raskasmetalleja, jotka voivat aiheuttaa vesistöissä kalakuolemia ja kalkkikuoristen eläinten häviämistä. Vesistökuormituksen lisäksi myös näistä maista aiheutuvat kasvihuonekaasupäästöt voivat olla huomattavia. Happamuusongelman syntymistä pyritään estämään pitämällä sulfidiasivet pohjaveden pinnan alapuolella.

Tässä oppaassa paneudutaan siihen, miten pohjaveden tasoa voidaan säätää haitallisen hapettumisen vähentämiseksi. Opas perustuu Vaasan lähelle perustetun Söderfjärdenin demonstraatiokentän tuloksiin. Kentällä selvitetiin kolmen erilaisen salaojitustavan vaikutuksia pohjaveden tasoon, veteen ja ilmaan tulevaan kuormitukseen sekä viljasatoon. Ojitustavat olivat 1) altakastelu eli säätösaloitus, jossa pumpattiin lisävetä, 2) säätösaloitus ilman lisäveden pumppausta ja 3) tavanomainen salaoitus. Säätösalojitetulla lohkollla saatiin pohjaveden pinta pidettyä sulfidikerroksen yläpuolella, kun lisävetä pumpattiin ojaan muutaman kerran kasvukaudella. Pellon reunassa sulfidikerrostumaan ulottuva muovikalvo esti veden virtaamisen pelloilta takaisin ojaan.

Raportissa tarkastellaan myös lyhyesti happamien sulfaattimaiden sijaintia, tunnistamista ja niistä aiheutuvia ympäristöhaittoja. Loppuosassa esitetään demonstraatiokentän tuloksia vuosilta 2010–2012. Tuloksiin voi tutustua myös Internetissä CATERMASS-sivuston kautta (www.catermass.fi).

Avainsanat: *Hapan sulfaattimaa, pH, pohjavedenkorkeus, huuhoutuminen, tyyppi, metallit, kasvihuonekaasut, vesistökuormitus, salaoitus*

Rannikkoalueen happamista sulfaattimaista vapautuu maaveteen runsaasti metalleja, jotka huuhtoutuvat pellon valumavesien mukana vesistöihin. Tämän alueen pintavesien hyvää huonompi kemiallinen tila johtuu pääosin happamien sulfaattimaiden kadmiumpäästöistä (Rautio ym. 2010). Happamuus- ja metallikuormitusta voidaan välttää pitämällä pohjaveden pinta 1,5–2 metrin syvyydestä alkavien sulfidikerrosten yläpuolella. Näin estyy sulfidirikkaiden maakerrosten hapettuminen ja happamuusongelma pienenee. Tähän oppaaseen on koottu tutkimustietoa pohjaveden pinnan nostamisesta.

Pohjaveden tason säätelyä viljelysmaalla ja siitä aiheutuvia ympäristövaikutuksia on selvitetty ohra- ja vehnäkasvustoilla Vaasan lähelle perustetulla Söderfjärdenin demonstraatiokentällä sekä nurmikasvustoilla Pietarsaaren lähellä olevalla Pedersören kentällä. Helsingin yliopistossa on tutkittu maapatsailla kontrolloiduissa olosuhteissa pohjaveden korkeuden vaikutuksia maahan, maaveteen ja ruokohelpikasvustoon. Tutkimustulokset ovat osa hanketta ”Ilmastonmuutoksen aiheuttamien ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla” (Climate Change Adaptation Tools for Environmental Risk Mitigation of Acid Sulphate Soils – CATERMASS). Osahankkeessa 3 ”Haittojen vähentämismenetelmien kehittäminen ja sopeuttaminen maa- ja metsätalouden tuotantojärjestelmään muuttuvissa ilmasto-olosuhteissa” on koottu opas pohjaveden tason säätämisestä niin, että happamien maiden sulfidikerrokset saadaan pidettyä veden kyllästäminä erilaisissa ilmasto-olosuhteissa ympäri vuoden, myös kesäaikana. Ilmastonmuutoksen seurauksena riskin kuivien kesien tai rankkasateiden esiintymisestä on ennustettu kasvavan samoin kuin syksyn ja talven sademäärien. Juuri kuivan kesäkauden jälkeen runsaat vesisateet saattavat kasvattaa pelloilta vesiin tulevaa happamuus- ja metallikuormitusta. Demonstraatiokentällä saatujen tulosten mukaan tasaisilla pelloilla pohjaveden tasoa voidaan nostaa säätösalojituksella yhdessä lisäveden pumppaamisella salaojastoon sekä pellonreunaan asennetulla muovikalvolla, jonka tarkoituksena on estää veden poisvalumista. Tavoitteena on sulfidikerrosten hapettumisen väheneminen ja siten koko happamuusongelman pieneminen. Oppaan lopussa esitetään lyhyesti demonstraatiokentältä saatuja tuloksia. Loppuun on myös koottu lista muutamista julkaisuista, joissa on esitelty edellä mainittujen tutkimusten tuloksia tarkemmin, sekä muuta aiheeseen liittyvää kirjallisuutta. Osahankkeen tuloksista julkaistaan myöhemmässä vaiheessa laajempi yhteenveto.

CATERMASS-hankkeen pääkoordinoijana toimii Suomen ympäristökeskus (SYKE). Osahanketta 3 koordinoi Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskus (MTT) ja sen toteutukseen ovat osallistuneet MTT, Helsingin yliopisto, Åbo Akademi, Etelä-Pohjanmaan elinkeino-, liikenne- ja ympäristökeskus (ELY), ProAgria Österbotten Svenska Lantbrukssällskap sekä Geologian tutkimuskeskus (GTK). Osahanketta ovat rahoittaneet Life+-ohjelma, maa- ja metsätalousministeriö, Pohjanmaan, Etelä-Pohjanmaan ja Keski-Pohjanmaan liitot, Salaojituksen Tukisäätiö, Oiva Kuusisto Säätiö sekä omarahoitusosuudellaan osahankkeeseen osallistuneet laitokset.

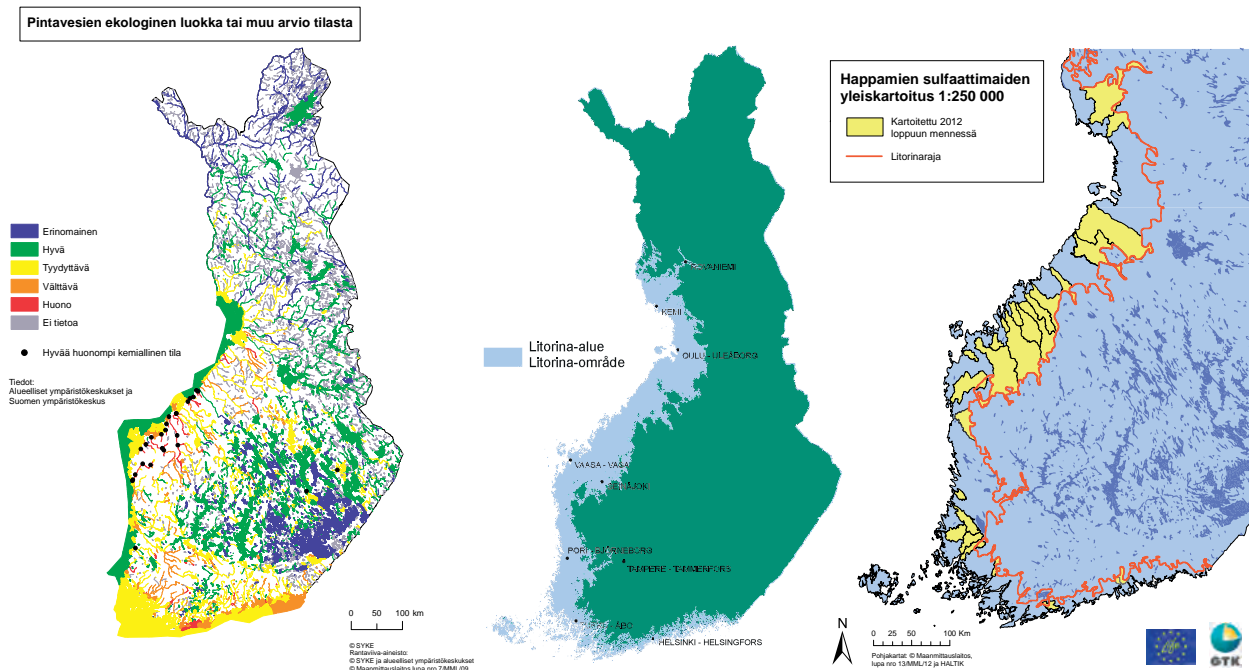
Sisällys

| | | |
|-------|---|----|
| 1 | Happamat sulfaattimaat ja niiden päästöriskit | 6 |
| 1.1 | Happamuuden synty | 6 |
| 1.2 | Pohjaveden korkeus ja sulfidien hapettuminen..... | 7 |
| 1.3 | Millaisia ympäristövaikutuksia aiheutuu happamista sulfaattimaista? | 7 |
| 1.3.1 | Maaperän ja vesistöjen happamoituminen ja metallikuormitus..... | 7 |
| 1.3.2 | Typpipäästöjä ilmaan ja veteen | 7 |
| 1.4 | Missä happamia sulfaattimaita esiintyy? | 8 |
| 1.5 | Miten happaman sulfaattimaan tunnistaa? | 9 |
| 2 | Pohjaveden korkeuden säätötavat | 11 |
| 2.1 | Säätösalaajitus..... | 12 |
| 2.2 | Lisäveden pumppaaminen | 14 |
| 2.3 | Muovikalvon asennus | 16 |
| 3 | CATERMASS-hankkeen tuloksia | 18 |
| 3.1 | Valumaveden laatu..... | 20 |
| 3.2 | Kasvihuonekaasut | 21 |
| 3.3 | Maan pH ja ravinteet sekä satotulokset | 21 |
| 3.4 | Kustannukset | 21 |
| 4 | Kirjallisuus..... | 23 |
| 5 | Lisätietoa | 24 |

1 Happamat sulfaattimaat ja niiden päästöriskit

1.1 Happamuuden synty

Jääkauden jälkeen, noin 8000 vuotta sitten, alkoi rikkipitoisten sedimenttien kerrostuminen nykyistä Itämeren edeltäneen Litorinameren ja sitä seuranneiden merivaiheiden pohjiin (kuva 1). Rikki on sedimenteissä rautasulfideina. Rautasulfidit ovat tavallisesti pyriittiä (FeS_2), ja sen lisäksi ne voivat sisältää monosulfideja (FeS). Juuri monosulfidit antavat maalle niille tyypillisen mustan värin, jonka perusteella ne voidaan helposti tunnistaa. Kuitenkin myös vaalea savi voi olla hyvin sulfidipitoista; silloin monosulfidien määrä niissä on hyvin vähäinen.



Kuva 1. Vasemmalla Suomen pintavesien ekologinen ja kemiallinen tila (Lähde: Alueelliset ympäristökeskukset ja SYKE), keskellä Litorinameren peittämät alueet Suomen rannikolla noin 7200 vuotta sitten (Lähde: Tikkanen ja Oksanen 2002, Kuva: Anna Bonde, ELY-keskus) ja oikealla happamien sulfaattimaiden kartoitustilanne vuoden 2012 loppuun mennessä (Kuva: GTK).

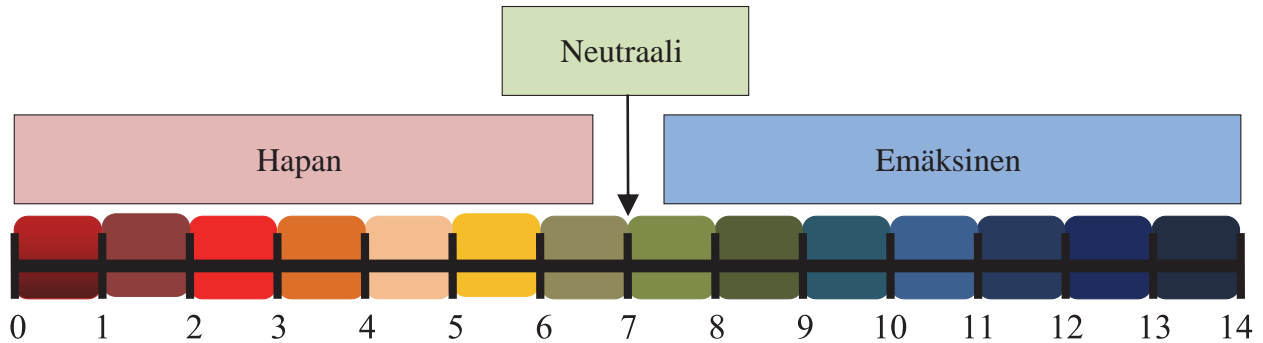
Jos sulfidikerros altistuu ilman hapelle, käynnistyy pitkä ketju kemiallisia ja biokemiallisia reaktioita, jotka johtavat happamuuden syntyyn (kuva 2). Sulfidien sisältämä rikki ja rauta hapettuvat rautahydroksidiksi, $\text{Fe}(\text{OH})_3$, ja rikkihapoksi, H_2SO_4 . Koska maaperässämme ei yleensä ole happoa neutraloivaa kalkkikiveä, maan luontainen haponneutralointikyky on vähäinen ja maa happamoituu voimakkaasti. Syntyy hapanta sulfaattimaata, jossa maan pH laskee tasolle 4,5 tai sen alle. Usein tällaisten maiden happamimpien kerrosten pH on noin 3,5. Koska näin happamissa olosuhteissa monet metallit ovat liukoisia, niitä vapautuu maa-aineksesta maaveteen ja huuhtoutuu vesistöihin runsaammin kuin normaaleissa oloissa. Jos sulfidisavet pysyvät veden kyllästäminä, niin happamuusongelmia ei esiinny.



Kuva 2. Happamoitusreaktion kulku maassa

1.2 Pohjaveden korkeus ja sulfidien hapettuminen

Happamat sulfaattimaat ovat syntyneet, kun aikaisemmin meren pohjassa olleet maakerrokset ovat hapettuneet maan kohoamisen, viljelykseen otton ja kuivatuksen myötä. Muokkauskerroksen alla olevat maakerrokset ovatkin hyvin happamia ja vasta pysyvästi pohjaveden pinnan alapuolella olevissa kerroksissa maan pH on neutraali (Kuva 3).



Kuva 3. Maan ja veden happamuus sekä emäksisyys ilmoitetaan pH-arvon avulla.

Pohjaveden korkeus vaihtelee vuodenaikojen ja sääolojen mukaan. Alimmillaan se on yleensä kesän kuivimpina aikoina. Vaikka maanpinta kohoaa yhä hitaasti, tämän luonnollisen prosessin vaikutus pohjaveden syvyyteen on pieni. Eniten pohjaveden pinnan laskua nopeuttaa ojitus, jonka tarkoituksena on parantaa maan kuivatus-ta niin, että maata voidaan viljellä.

Salaojitetussa maassa hapettuminen ulottuu usein noin 2 metrin syvyyteen, vaikka ojat ovatkin vain reilun metrin syvyydessä (Joukainen ja Yli-Halla 2003). Sarkaojituksessa kuivavara on salaojitusta pienempi, jolloin keväällä pohjavedenpinta ei laske niin syvälle kuin salaojitetussa pellossa. Kesän aikana pohjavesi voi kuitenkin laskea suunnitellun kuivatussyvyyden alapuolelle pohjavesivirtauksen ja kasvien haihdutuksen aiheuttaman veden kapillaarisen nousun vuoksi.

Happamuus- ja metallikuormitusta voidaan välttää, kun pohjaveden pinta pidetään sulfidikerrosten yläpuolella. Näin estetään kerrosten altistuminen ilmalle ja sulfidien hapettuminen.

1.3 Millaisia ympäristövaikutuksia aiheutuu happamista sulfaattimaista?

1.3.1 Maaperän ja vesistöjen happamoituminen ja metallikuormitus

Sulfidien hapettumisessa syntynyt rikkihappo happamoittaa maaperää ja huuhtoutuessaan myös vesistöjä. Maan happamoitumisesta aiheutuu ongelmia kasvinviljelylle, jos pH laskee alle 5–6. Pohjanmaan happamat sulfaattimaat ovat perinteisesti olleet hyviä viljelysmaita, kunhan on huolehdittu muokkauskerroksen kalkituksesta. Pintamaan kalkitus ei kuitenkaan vaikuta pohjamaan happamuuteen eikä vesistöihin huuhtoutuvan salaojaveden happamuuteen. Hapan vesi myös liuottaa maasta eliöille haitallista alumiinia (Bärlund ym. 2005) ja raskasmetalleja (Österholm ja Åström 2004), joiden myrkyllisyysvaikutukset ovat moninaisia. Tutkimusten mukaan happamien sulfaattimaiden raskasmetallipäästöt (Sundström ym. 2002) vesistöihin ovat merkittävämmät kuin teollisuuden raskasmetallipäästöt. Vesissä lyhytaikainen happamuus voi aiheuttaa paikallisesti kalakuolemia sekä pitkään jatkuessaan muuttaa vesien eliöyhteisöjä ja aiheuttaa esimerkiksi kalkkikuoristen eläinten, kuten rapujen, simpukoiden ja kotiloiden häviämisen vesistöistä. Pintavesien ekologinen sekä kemiallinen luokittelu (kuva 1) tehtiin 2009 vesienhoidon suunnittelun puitteissa. Happamat sulfaattimaat muodostavat Pohjanmaalla pintavesien kemiallisen tilan suurimman haasteen (Rautio ym. 2010). Vesienhoidon toisen suunnittelukauden luokittelu toteutetaan talvella 2013.

1.3.2 Typpipäästöjä ilmaan ja veteen

Happamilla sulfaattimailla muokkauskerroksessa mikrobit vapauttavat maasta orgaanisen aineksen sisältämää tyyppiä epäorgaaniseen muotoon ammonium- ja nitraattitypeksi ($\text{NH}_4^+\text{-N}$ ja $\text{NO}_3^-\text{-N}$) kuten muillakin mailla. Tämä tyyppi voi karata maasta ilmaan (typpioksiduulina, N_2O , tai molekyyliarisena tyyppinä, N_2) tai huuhtoutua vesistöön (pääasiassa nitraattina). Happamilta sulfaattimailta vapautuu kasvihuonekaasuna tunnettua typpioksiduulia vähintään saman verran kuin turvemailta, joita yleisesti pidetään sen suurena päästölähteenä. Vaasan lä-

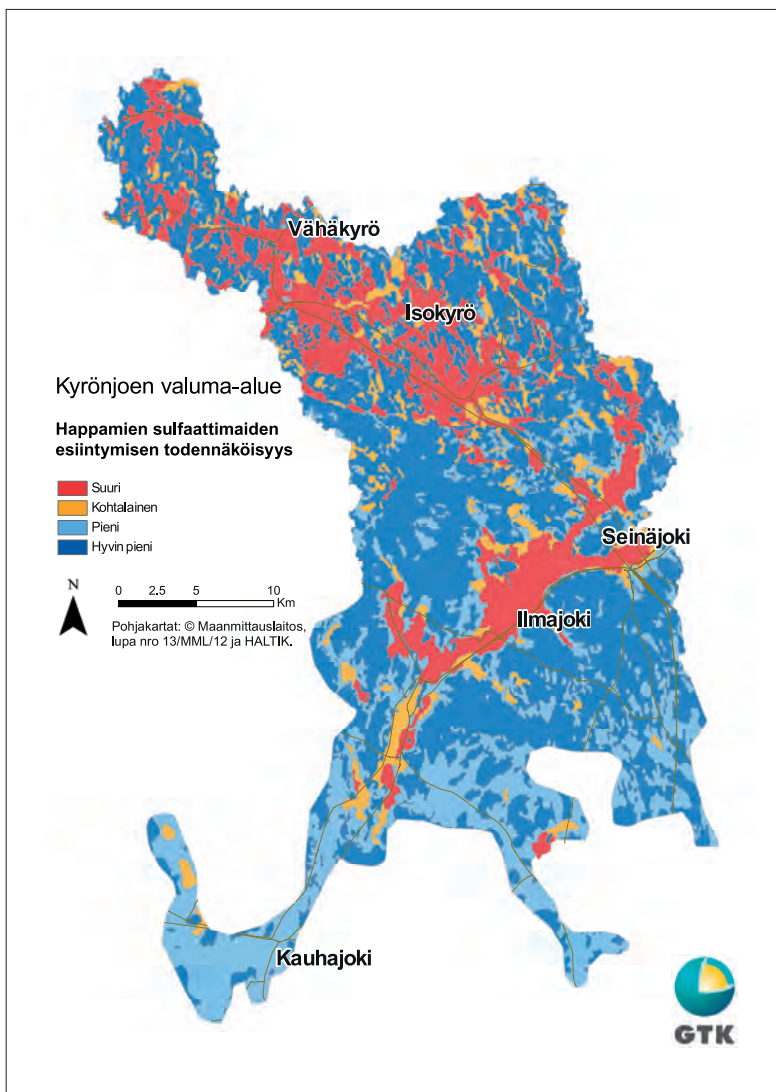
hellä Sulvalla sijaitsevalla Söderfjärdenin koekentällä vuosittaisen typpioksiduulikuormituksen arvioitiin olevan jopa kaksin- tai kolminkertainen verrattuna suomalaisiin turvemaihin.

Happamissa sulfaattimaissa on todettu suuria epäorgaanisen typen pitoisuuksia (etenkin ammoniumtyppeä) myös syvemmissä maakerroksissa (Paasonen-Kivekäs ja Yli-Halla 2005, Simek ym. 2011), ja tässä suhteessa ne poikkeavat muista viljelysmaista. Koska maassa on runsaasti orgaanista ainesta myös pohjamaassa, saattaa tämä olla syynä suuriin kasvihuonekaasupäästöihin. Salaojavesissä myös nitraattitypen pitoisuudet olivat Söderfjärdenin koekentällä suuria aiheuttaen typpikuormitusta vastaanottavissa vesissä (katso tarkemmin CATERMASS-hankkeen tulokset, luku 3).

1.4 Missä happamia sulfaattimaita esiintyy?

Happamia sulfaattimaita esiintyy Suomessa muinaisen Litorinameren korkeimman rannan alapuolella (kuva 1), joka Pohjois-Pohjanmaalla on noin 100 m, Etelä-Pohjanmaalla 80–90 m, Lounais-Suomessa 40 m ja Etelä-Suomessa noin 30 m merenpinnan yläpuolella. Eniten happamia sulfaattimaita esiintyy Oulun seudulta Vaasan eteläpuolelle sekä esim. Sirppujoella, ja näillä alueilla niistä aiheutuu myös eniten ympäristöhaittoja kuten pintavesien kemiallisen tilan huononemista.

Geologian tutkimuskeskus GTK on vuodesta 2009 vastannut happamien sulfaattimaiden systemaattisesta yleiskartoituksesta yhdessä Åbo Akademin ja Helsingin yliopiston kanssa (Edén ym. 2012) ja pyrkii kartoittamaan koko potentiaalisen rannikkoalueen vuoden 2015 loppuun mennessä (kuva 1). Valmiit kartat löytyvät GTK:n uudistetuilta verkkosivuilta (www.gtk.fi) vuoden 2013 alusta lähtien sitä mukaa, kun ne valmistuvat. Kuvassa 4 on esimerkki Kyrönjoen valuma-alueen kartasta. Palvelimeen tulee myös muuta aiheeseen liittyvää materiaalia.



Kuva 4. Happamien sulfaattimaiden todennäköinen esiintyminen Kyrönjoen valuma-alueella. HUOM! Yleiskartan mittakaava on 1:250 000, jota ei ole tarkoitettu tilakohtaiseen tarkasteluun. (Kuva: GTK)

1.5 Miten happaman sulfaattimaan tunnistaa?

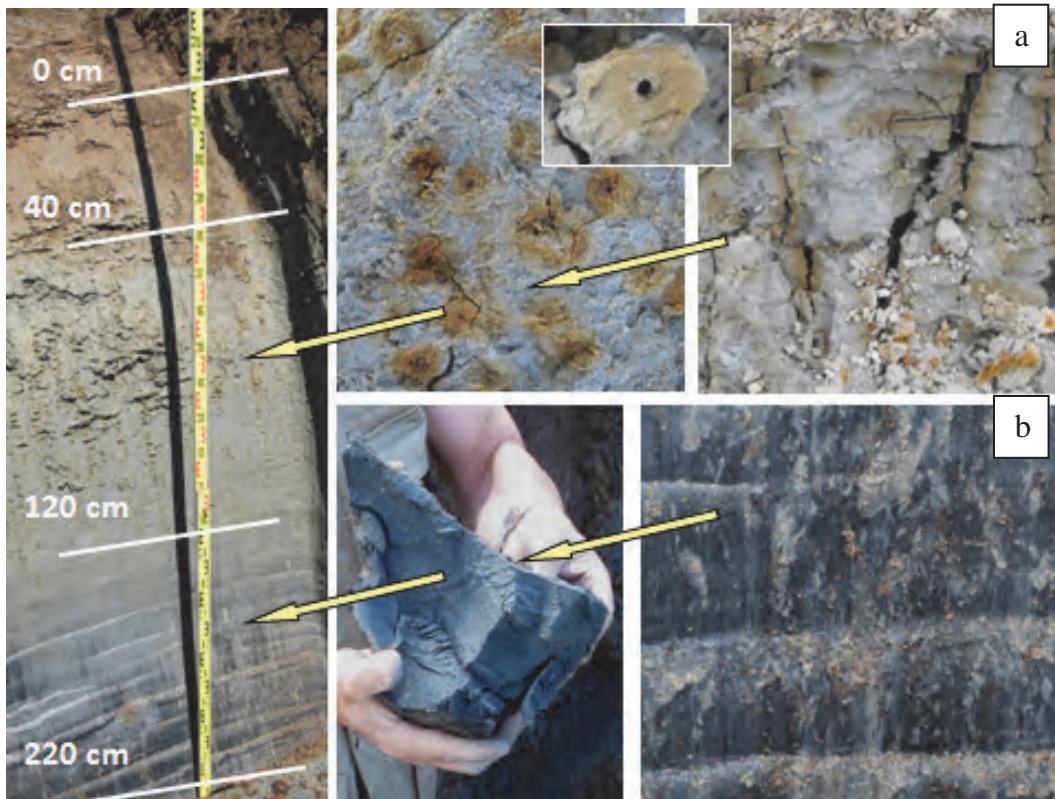
Muokkauskerroksen pH ei yleensä anna viitteitä happamien sulfaattimaiden esiintymisestä, koska niiden päälle on usein kerrostunut tavanomaista maata tai kasvanut vaihtelevan paksuinen turvekerros. Tämän lisäksi viljelysmaaksi raivaamisen jälkeen peltoon on levitetty kalkkia kasveille suotuisien kasvuolosuhteiden aikaansaamiseksi. Tämän takia happamat maakerrokset alkavat vasta muokkauskerroksen alta, ja runsaasti sulfideja sisältävät kerrokset ovat näiden happamien maakerrosten alla, 1,5–2 metrin syvyydessä. Happamat kerrokset (pH < 4,5) ovat varsinaisia happamia sulfaattimaita, sillä niiden sisältämä sulfidi on jo muuttunut rikkihapoksi ja raudan oksideiksi. Jos maakerros sisältää sulfideja eikä happamuutta ole vielä ehtinyt syntyä, kutsutaan maata potentiaaliseksi happamaksi sulfaattimaaksi. Kuvassa 5 on happamalta sulfaattimaalta kaivettuja maamassoja: taaimaisena on muokkauskerroksen maata, keskellä potentiaalista hapanta sulfaattimaata ja oikealla varsinaista hapanta sulfaattimaata, jossa maakokkareiden pinnoilla näkyy punertavan ruskeita rautaoksidipintoja. Happamat sulfaattimaat ovat yleensä liejupitoisia savi-, hiesu- tai hietamaita. Hyvin kehittyneen rakenteen perusteella niitä voidaan kutsua urpasaviksi.

Happamat sulfaattimaakerrokset (varsinaiset) tunnistaa siitä, että maakokkareiden pinnat ovat värittyneet osittain punaisenruskeiksi tai oranssin värisiksi raudan hapettumistuotteista, ja kaikkein happamimmissa kerroksissa saattaa esiintyä keltaista mineraalia (jarosiittia). Maassa juurten reiät ja maan kuivumisen aiheuttamat halkeamapinnat erottuvat selvästi rautaoksidien värjäiminä (kuva 6a.)

Pysyvästi veden alla olleet sulfideja sisältävät maakerrokset (potentiaaliset happamat sulfaattimaat) ovat rakenteeltaan massiivisia, eli maassa ei ole erillisiä kokkareita ja maa on väritykseltään mustaa tai tummanharmaata (kuva 6b). Maalle on tyypillistä myös selvästi havaittavissa oleva mädän kananmunan haju, jonka aiheuttaa maan sisältämä rikkivety (H_2S). Jos on mahdollisuus mitata maan pH, voi sulfidien esiintymisen varmistaa sillä. Tuoreen sulfidikerroksen pH on noin seitsemän, mutta hapettumisen seurauksena pH-arvo laskee voimakkaasti muutamassa viikossa.



Kuva 5. Happaman sulfaattimaan kaivumassoista erottuvat erilaiset maakerrokset selvästi toisistaan (katso myös kuvaa 6). (Kuva: Rainer Rosendahl)



Kuva 6. Vaalea hapettunut (a) ja tumma ei-hapettunut maaprofiili (b) Pedersören kentällä. Maan kuivattamisen johdosta maahan muodostuu halkeamia sekä suuria huokosia, jotka edesauttavat merkittävästi veden ja hapen kulkeutumista maaprofiilissa. (Kuvat: Rainer Rosendahl)

Happamien sulfaattimaiden esiintymisen voi havaita myös laskuojista tai puroista, joiden pohjalla näkyy runsaasti punaruskeaa rautasaostumaa (kuva 7).



Kuva 7. Rautasaostuma erottuu hyvin punasen värinsä takia uomien pohjalta. Runsaas saostuma voi tietyissä tapauksissa merkitä happamia sulfaattimaita uoman valuma-alueella. (Kuva: Rainer Rosendahl).

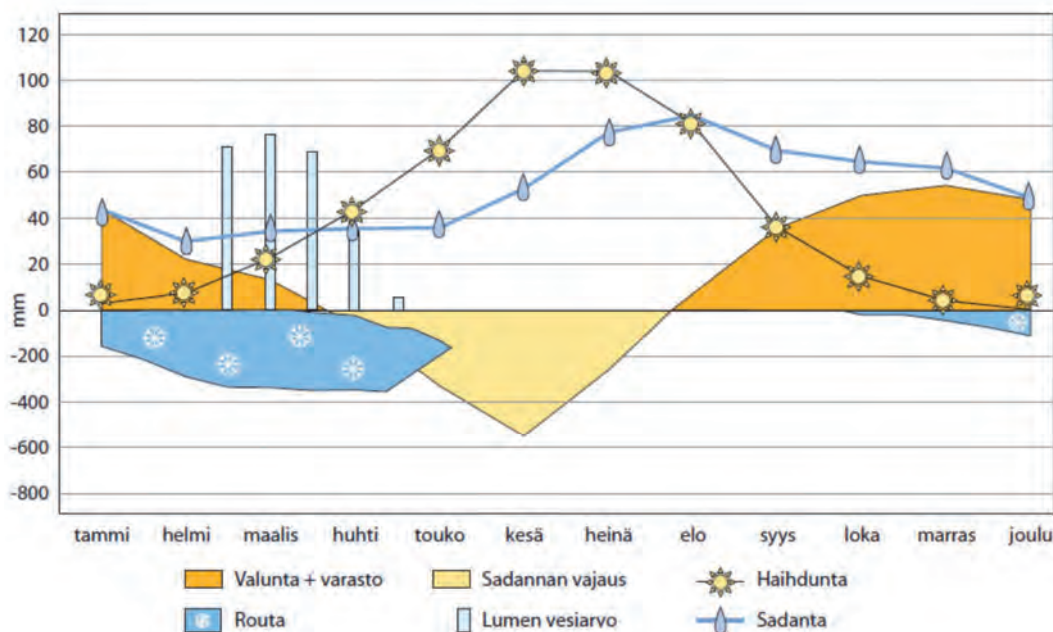
2 Pohjaveden korkeuden säätötavat

Suomessa vuosittainen sadanta on haihduntaa suurempi (kuva 8). Tästä syystä erityisesti keväällä ja syksyllä on tarvetta johtaa liiallinen vesi pois niin taajama-alueilta kuin myös metsä- ja viljelyalueilta. Paikalliskuivatus hoidetaan taajama-alueilla hulevesiverkostolla, metsäalueilla avo-ojilla ja viljelyalueilla pääosin salaojituksella. Vesi johdetaan valtaojien ja perattujen luonnonuomien kautta jokiin ja järviin sekä edelleen mereen. Vettä varastoituu valuma-alueelle luonnostaan järviin ja maaperään. Veden varastoitumista voidaan lisätä esim. tekoaltailla tai padottamalla.

Maan kohoamisen seurauksena entinen merenpohja on muuttunut maaksi, jota käytetään erilaisiin tarkoituksiin. Myös yhteiskuntarakentamisessa, kuten rakennus-, tie-, rautatie- ja kaapelityömailla sekä vesiväylien ruoppausten yhteydessä sulfidikerrokset voivat hapettua. Ympäristövaikutusten vähentämiseksi tulee rakentamisessa käyttää tähän kehitettyjä keinoja, kuten kaivumassojen kalkitseminen ja niiden asianmukaista sijoittamista. Maanviljely, metsänkasvatus ja turpeenotto edellyttävät maan kuivattamista sekä altistavat sulfidikerrokset hapettumiselle, varsinkin erityisen pitkien kuivien kausien aikana, joiden jälkeen tulevat valumavedet ovat kaikkein happamimpia.

Maanviljelyksessä olevien happamien sulfaattimaiden ympäristölle haitallisia vaikutuksia voidaan vähentää pitämällä pohjavedenpinta sulfidikerrosten yläpuolella niin, ettei sulfidien hapettumista tapahdu. Tavallisella salaojitetulla pellolla pohjavedenpinta laskee keväällä ja syksyllä salaojasyvyyteen, jolloin saavutetaan maanviljelyskoneiden ja kasvien tarvitsema kuivavara. Haihdunnan ja pohjavesivirtauksen vuoksi pohjavedenpinta voi kuitenkin laskea salaojien alapuolelle aina sulfidikerrokseen asti, jolloin niiden hapettuminen alkaa. Tätä voidaan estää sääätösalojituksella ja sääätösalojitusta voidaan vielä tehostaa pumpaamalla ojastoon lisää vettä, silloin kun pohjavedenpinta säädöstä huolimatta uhkaa laskea sulfidikerroksen alapuolelle (altakastelu). Molemmissa tapauksissa veden karkaamista valtaojiin voidaan vähentää pellon ja valtaojan väliin asennetulla muovikalvolla. Sääätösalojitus ja altakastelu ovat alun perin kehitetty viljelykasvien vedentarpeen turvaamiseksi ja ravinnehuuhtoumien vähentämiseksi. Tässä tarkoituksessa ne yleistyivät Suomessa 1990-luvun puolivälissä, jolloin niihin alkoi saada ympäristötukea. Niitä voidaan käyttää myös happamuusongelman vähentämisessä. Menetelmät soveltuvat taaisille ja vettä hyvin läpäiseville maille.

SADANTA, HAIHDUNTA JA KUIVATUSTARVE



Kuva 8. Vuosittainen sadanta on haihduntaa suurempi, mikä näkyy erityisesti keväällä ja syksyllä liiallisena märkyytenä. Kesällä voi haihdunta kuitenkin olla niin suuri, että myös kastelulle on tarvetta. Sulfidit hapettuvat, kun pohjavesi laskee kesäisin sulfidikerrokseen saakka. Kuva perustuu Jokioisissa mitattuihin pitkäaikaisiin keskiarvoihin. (Kuva: Salaojakeskus 2002).

2.1 Säättösalojitus

Keväällä lumen ja roudan sulaessa sekä sateisina ajanjaksoina säättösalojitus toimii kuten tavanomainen salaojitus. Muina ajankohtina salaojien kautta tapahtuvaa ulosvirtausta rajoitetaan säättökaivojen avulla. Säättökaivoissa on ylivirtausputki, jonka avulla vedenpinta kaivossa säädetään halutulle tasolle (kuva 9). Kun pohjavesi nousee tämän säättötason yläpuolelle, vettä alkaa purkautua ojastosta, kunnes vedenpinta on laskenut säädettyyn tasoon. Kun säättö poistetaan kokonaan, ojitus toimii tavanomaisena salaojituksena.

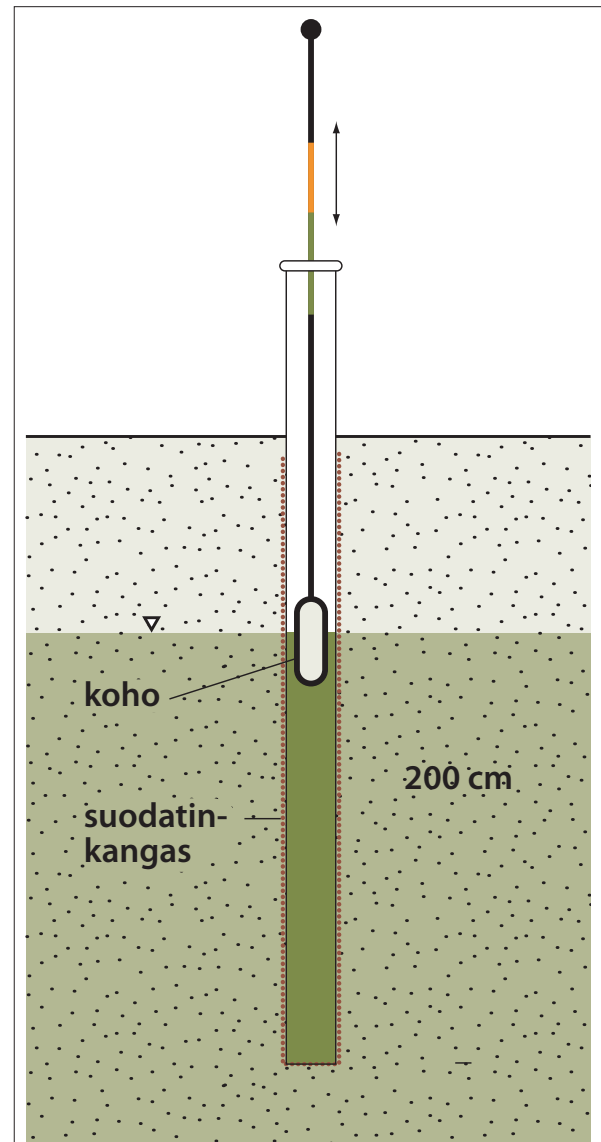


Kuva 9. Säättökaivo (Kuva: Rainer Rosendahl) ja sen periaatekuva (Lähde: Paasonen-Kivekäs 2009)

Säättösalojitus soveltuu parhaiten pelloille, joiden kaltevuus on pieni, enintään 2 %. Uuteen ojitukseen salaojakaivot suunnitellaan rakennettavaksi ojituksen yhteydessä, mutta ne voidaan myös rakentaa jo olemassa olevaan salaojaverkostoon. Tarvittava säättökaivojen määrä määräytyy maanpinnan kaltevuuden ja ojaston rakenteen mukaan. Säättöojitus onnistuu happamilla sulfaattimailla parhaiten, jos pellon ja valtaojan väliin asennetaan muovikalvo estämään veden suotautuminen suoraan maasta valtaojaan (kappale 2.3). Säättöojituksen suunnittelu on syytä teettää salaojasuunnittelijalla. Lisää tietoa säättöojituksen suunnittelusta löytyy Maaseutuverkoston sivuilta, www.maaseutu.fi, löytyvästä oppaasta Säättösalojitus.

Säättösalojitetulla pellolla pohjaveden korkeutta seurataan pohjavesiputkien avulla (kuva 10). Kunkin säättökaivon alueelle asennetaan oma pohjavesiputki salaojien puoliväliin lohkon alavaan kohtaan. Pohjavesiputki on 2,5 metriä pitkä ja halkaisijaltaan 50 mm. Putken alaosassa on noin 1,0 metrin pituudelta reikiä, joiden halkaisija on 0,3 mm. Putken pohja on suljettu muovitulpalla. Putki asennetaan maakairalla tehtyyn reikään niin, että noin metri siitä jää maanpinnalle. Maa putken ympäriltä tiivistetään huolellisesti 30–50 cm:n syvyyteen asti, ettei pintavesiä pääse virtaamaan putkeen.

Vedenpinnan korkeuden voi lukea kellukkeella varustetusta antennista. Antenniin on merkitty punaisella kriittinen korkeus, jossa säättö pitää poistaa, jotta kasvustolle ei aiheutuisi märkyshaittoja (etäisyys maanpinnasta vähemmän kuin 0,5 m).

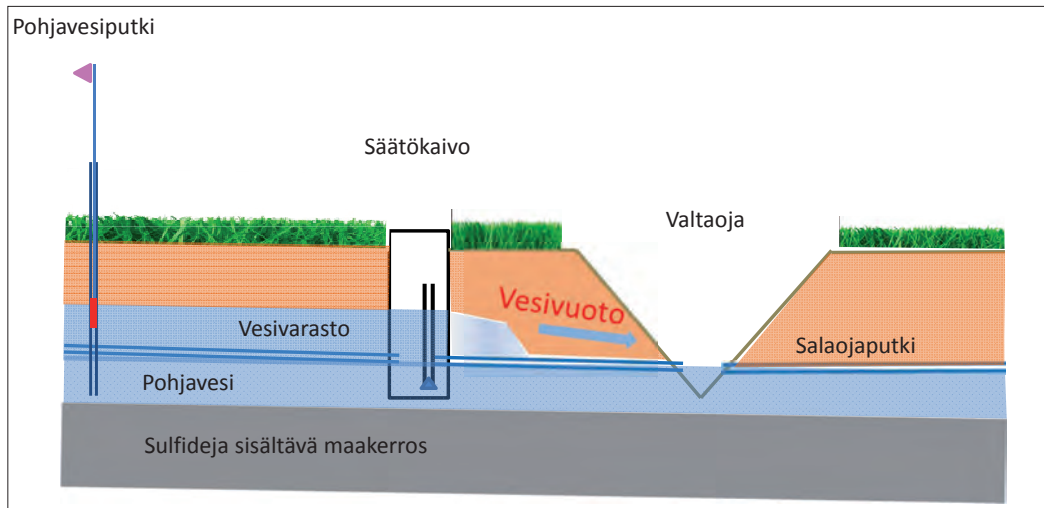


Kuva 10. Vasemmalla pohjavesiputki kelluvalla antennilla näyttää pohjavedenpinnan etäisyyden maan pinnasta (Kuva: Rainer Rosendahl). Oikealla pohjavesiputken periaatekuva (Lähde: Paasonen-Kivekäs 2009).

Koska säätojoituksen tavoitteena on, etteivät sulfidikerrokset pääse hapettumaan kesällä kuivan kauden aikana, on vettä varastoitava peltoon mahdollisimman paljon kasvukauden varalle. Tämän varmistamiseksi padotuskorkeutta nostetaan keväällä heti, kun pellolla on saavutettu riittävä kuivatus maataloustöiden tekemistä varten (kuva 11). Näin estetään pohjaveden painuminen tarpeettoman syväälle, kevät kosteutta varastoituu peltoon ja sulfidikerrokset pysyvät veden alla mahdollisimman pitkään.

Kasvukauden aikana seurataan pohjavesiputkien ja säätoikaivon vedenpinnan korkeutta sekä sääennusteita. Kun pohjaveden pinta on korkealla, padotuskorkeutta on laskettava hyvissä ajoin ennen runsaita sateita. Näin vältytään maan vettymishaitoilta. Säätoin yleisohje on, että pohjaveden pinta on kasvukaudella vähintään 0,5 m maanpinnan alapuolella. Sateisina vuosina voidaan pohjavedenpintaa laskea kasvukauden lopussa, kun haihdunta on pienentynyt. Näin maaperään saadaan varastotilavuutta syysateita varten, sillä kuivavaran on oltava riittävä sadonkorjuu- ja muokkauskoneille.

Heti syystöiden jälkeen sääto asennetaan uudelleen, jotta vedenpinta pysyisi koko talven sulfidikerrosten yläpuolella. Jos salaojaputkiin on kerääntynyt lietettä, esimerkiksi ruostesakkaa, säätoikaivot on hyvä avata pariiksi päiväksi, jotta liete huuhtoutuu putkista. Talven ajaksi säädetään padotuskorkeus mahdollisimman korkealle, niin että salaojaputket pysyvät veden peitossa, mutta ei 60 cm lähemmäksi maanpintaa. Jäätymisherkillä alueilla kaivot kannattaa eristää niiden sisään asennettavalla styrox-levyllä, tyhjentää talven ajaksi tai eristää kaivon ympäristö suursäkeillä, ettei sulamisvesiä pääse valumaan kaivon ja maan väliin. Näin estetään kaivon liikkuminen ja vaurioituminen roudan vaikutuksesta.



Kuva 11. Periaatekuva säätösalojituksesta uoman vasemmalla ja tavanomaisesta salaojituksesta uoman oikealla puolella. (Kuva: Rainer Rosendahl)

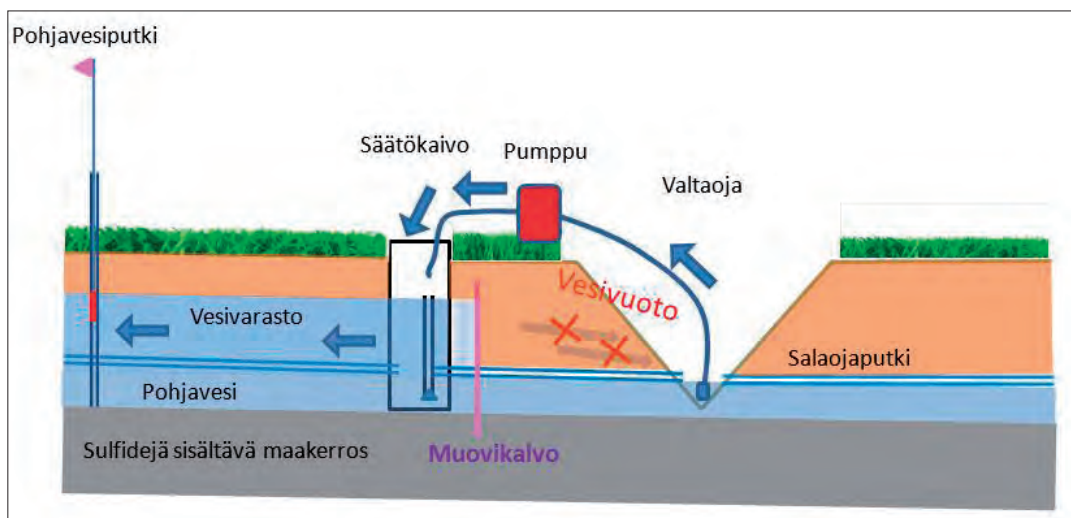
2.2 Lisäveden pumppaaminen

Säätöojituksia seurattaessa on huomattu, että pohjavedenpinta painuu kesällä usein niin syväälle, ettei pelkällä säätösalojituksella saada pohjavettä pysymään sulfidikerroksien yläpuolella (Joukainen ja Yli-Halla 2003). Silloin sulfidien hapettuminen voidaan estää vain pumppaamalla lisävettä ojastoon (kuva 12).

Lisäveden pumppaaminen edellyttää, että vettä on saatavissa valtaojasta, läheisestä joesta, lammesta tai järvestä (kuva 13) ja pellolle on asennettu muovikalvo (kappale 2.3), joka estää veden ulosvirtauksen pellolta. Jos kalvoa ei asenneta, ojastoon pumpattu vesi valuu helposti takaisin valtaojaan. Lisäksi tarvitaan tehokas pumppu (0,5 m³/min), jolla vettä saadaan pumpattua nopeasti säätökaivon kautta salaojaverkostoon (kuva 13). Usein vuorokauden tai kahden pumpaus riittää nostamaan pohjavedenpinnan halutulle tasolle. Pumpauksen ei tarvitse olla jatkuvaa, vaan se voidaan toteuttaa useampana eri ajankohtana. Söderfjärdenin koekentällä sulfidikerrokset pysyivät koko kesän 2012 pohjavedenpinnan alla neljällä erillisellä pumppauskerralla, mikä vastasi yhteensä 48 mm:n sadevesimäärää (katso CATERMASS-hankkeen tulokset, luku 3).

Pohjaveden pinnan nostaminen pumpatun lisäveden avulla onnistuu parhaiten, jos pellon kaltevuus on alle 1 % ja pumppaaminen aloitetaan mahdollisimman varhain, kuitenkin viimeistään silloin, kun vesi on laskenut salaojien tasolle.

Lisävesi toimii kasteluna. Se voi vähentää satotappioita kuivina kesinä sekä parantaa sadon laatua.



Kuva 12. Periaatekuva lisäveden pumppaamisesta ja muovikalvon sijoittamisesta säätösalojitetulle happamalle sulfaattimaalle. (Kuva: Rainer Rosendahl)



Kuva 13. Lisäveden pumpaus käynnissä läheisestä avo-ojasta salaojakaivon kautta ojastoon. Valtaojaan asennettu imuletku (a). Pumppu (b), joka toimii keskeytyksettä vuorokauden siihen liitetyn lisäpolttoainekanisterin avulla. Lisävettä virtaa säätökaivoon (c). (Kuvat: Rainer Rosendahl)

2.3 Muovikalvon asennus

Pellon alareunan ja ojan väliin voidaan asentaa muovikalvo estämään veden valumista pellolta ojaan. Kalvo tulee asentaa niin syväälle, että se ulottuu hyvin tiiviiseen sulfidikerrostumaan. Tällöin muovin alapuolelta ei pääse karkaamaan vettä, ja sulfidikerrostuma säilyy paremmin vedenpinnan alapuolella. Muovin asentaminen onnistuu salaojituskoneella, jossa on lisävarusteena muovin asentamiseen kehitetty ohjainlevy (kuva 14). Kun ensin poistetaan 0,3 m:n ruokamultakerros, salaojakoneella päästään 1,5 m:n syvyyteen, jolloin muovin alareuna saadaan asennettua jopa 1,8 m:n syvyyteen maanpinnasta.



Kuva 14. Ylhäällä vasemmalla muovikalvon asentaminen 1,8 m:n syvyyteen. Ylhäällä oikealla kaivantoa täytetään happamalla kaivumaalla ja lopuksi kaivannon päälle levitetään siitä poistettu muokkauskerroksen maa. Näin vältetään happaman kaivumaan sekoittuminen muokkauskerrokseen. Alhaalla salaojituskone muovinasennuslaitteineen. (Kuvat: Rainer Rosendahl)

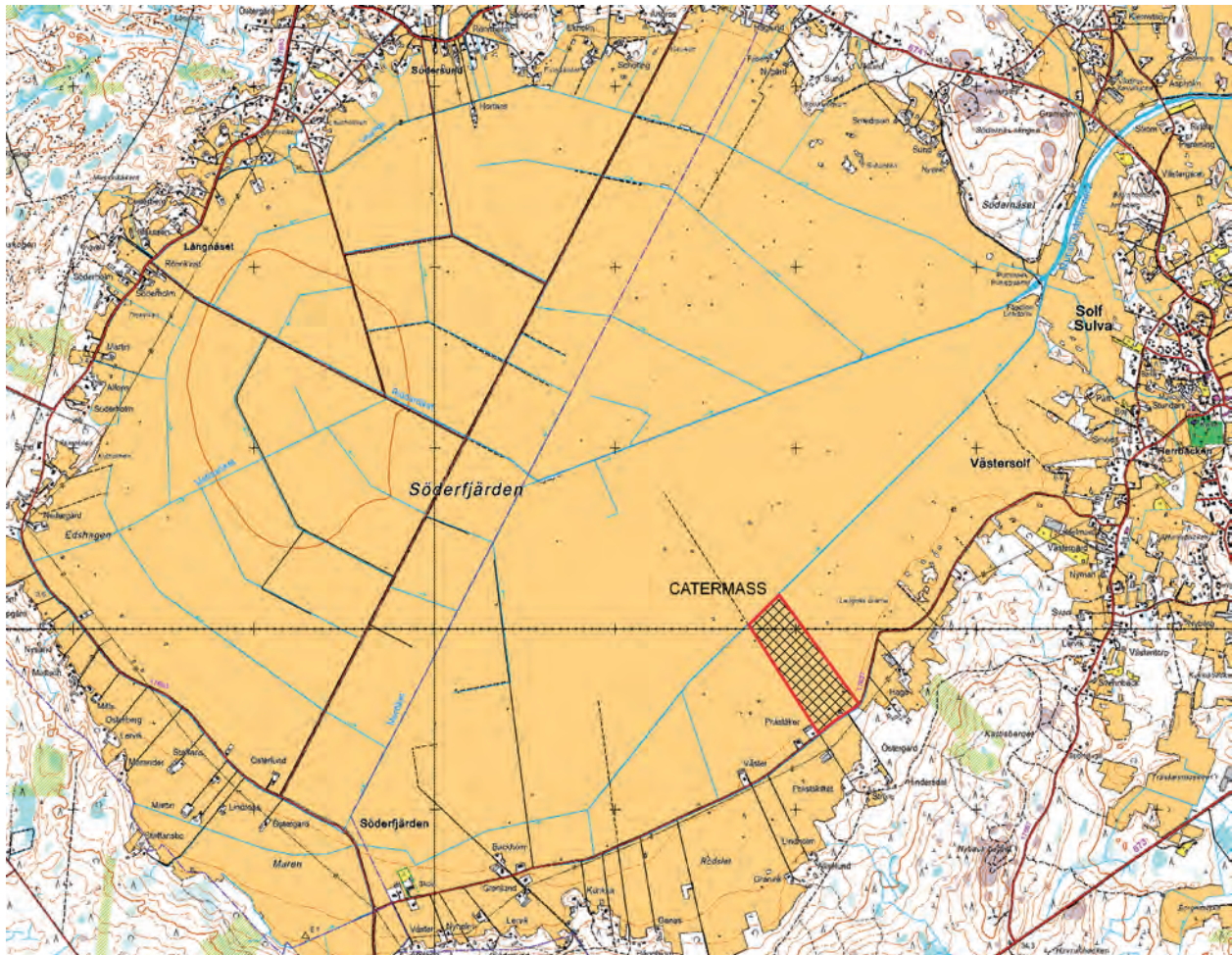


NYRKKISÄÄNNÖT PELTOKUIVATUKSEN SÄÄTÖÖN

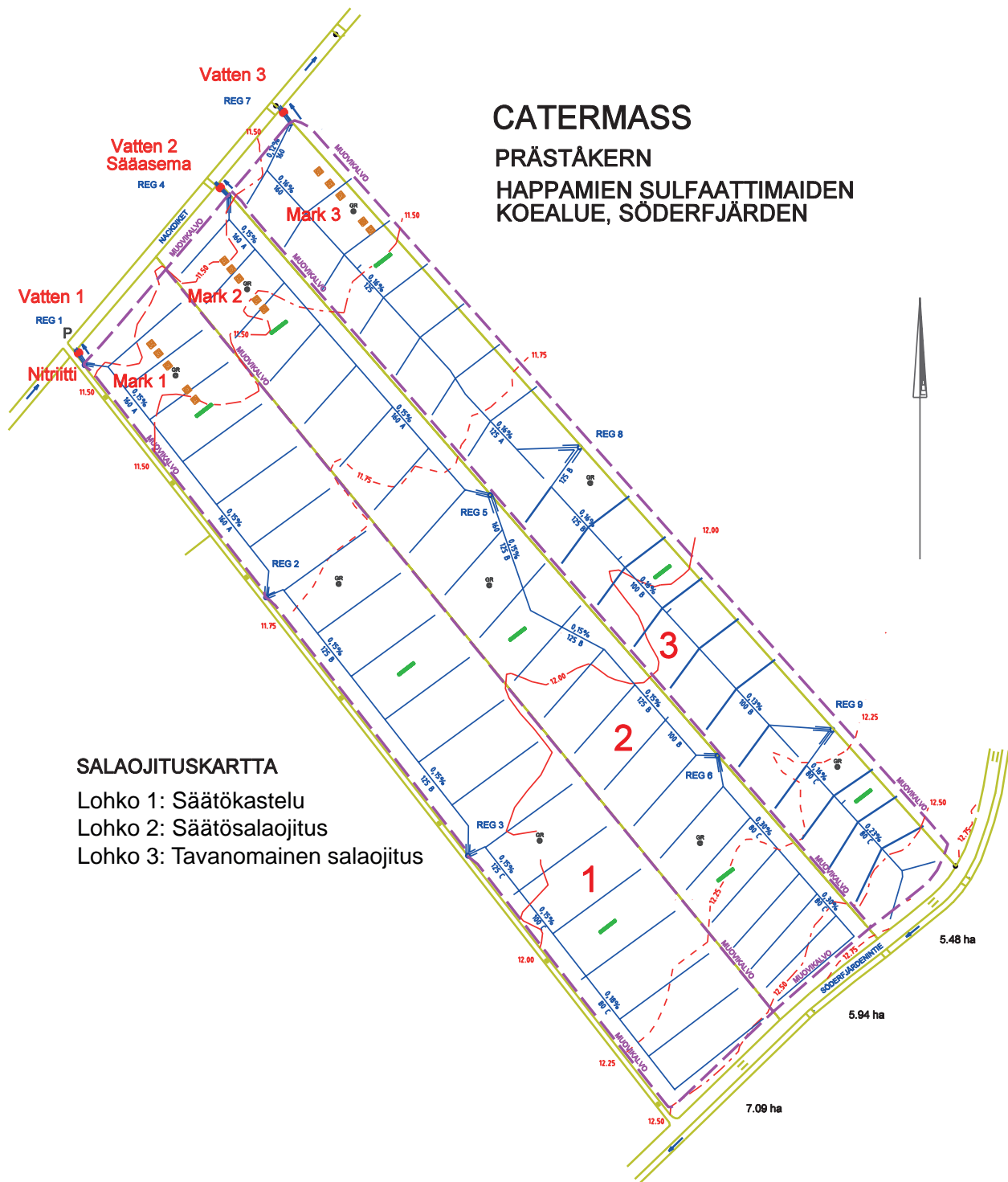
1. Tarkkaile virtaamaa keväällä. Aloita säätö ajoissa, jotta osa sulamisvesistä voidaan varastoida peltoon.
2. Käytä pohjavesiputkia pohjaveden tason tarkkailussa, vähintään yksi putki lohkoa kohden tai mieluiten yksi putki säätökaivoa kohden.
3. Pidä pohjavesi noin 60–70 cm:n syvyydellä maanpinnasta – näin edistät viljelykasvin juuriston kehittymistä.
4. Kasvukaudella pellon matalimmassa kohdassa pohjavedenpinta ei saisi olla 50 cm lähempänä maanpintaa kauemmin kuin kaksi päivää. Seuraa säätiedotuksia ja säädä padotuskorkeus tarpeen mukaan.
5. Jos pohjavesi laskee halutun tason alapuolelle ja lähitöällä on vettä saatavissa, altakastele peltoa 2–4 kertaa kesän aikana, 1–2 vuorokautta kerrallaan.
6. Laske tarvittaessa padotuskorkeutta ennen sadonkorjuuta ja syysateita – vilja valmistuu sekä maan kantokyky paranee ja veden varastointikapasiteetti kasvaa.
7. Jos salaojaputkistossa on rauta- tai muuta sakkaa, avaa säätö kokonaan loppusyksyllä pariiksi päiväksi, niin että sakka huuhtoutuu putkistosta.
8. Talveksi:
 - Lisäeristeet säänherkille kaivoille.
 - Säädä padotuskorkeus mahdollisimman korkealle, mutta ei 60 cm lähemmäksi maanpintaa.
9. Asenna vähintään yksi pohjavesiputki lohkoa kohden

3 CATERMASS-hankkeen tuloksia

CATERMASS-hankkeessa perustettiin vuonna 2010 Vaasan lähelle (kuva 15) Söderfjärdenin koekenttä, jossa selvitetään eri salaojitustapojen vaikutuksia pohjaveden tasoon ja happamuudesta aiheutuviin ongelmiin (Uusi-Kämppä ym. 2012). Salaojitustavat ovat 1. säätösalaajitus ja lisäveden pumppaus (säätökastelu eli altakastelu), 2. säätösalaajitus ilman lisäveden pumppaamista ja 3. tavanomainen salaajitus (kuva 16). Säätösalaajituksessa kaivojen padotuskorkeus säädettiin puoli metriä maan pinnan alapuolelle kevättöiden jälkeen. Säätökastelussa pohjaveden korkeutta ylläpidettiin pumppaamalla lisävetä salaajiin. Pohjaveden virtaus lohkolta toiselle on estetty maahan kaivetulla muovilla.

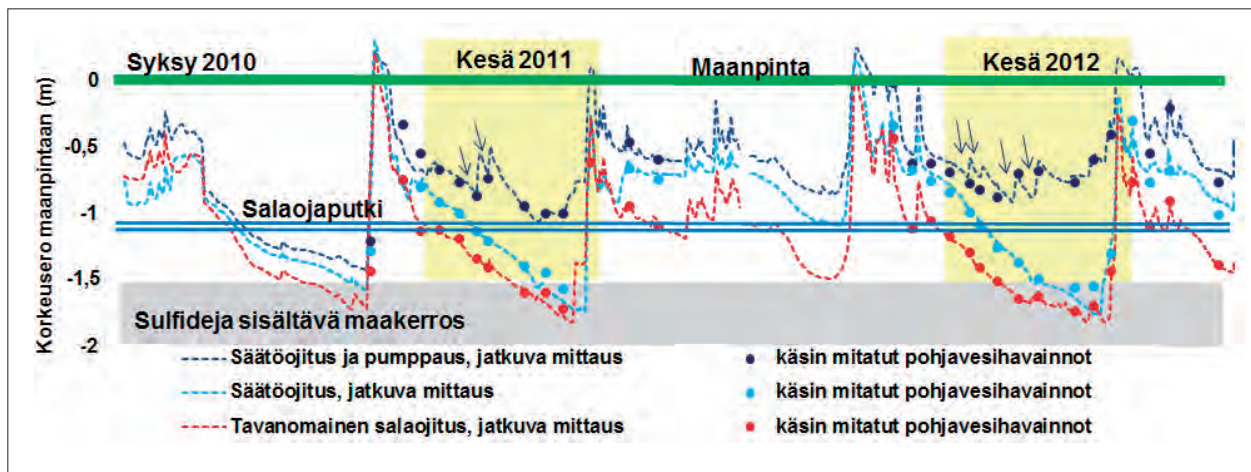


Kuva 15. Koekentän sijainti (rasteroitu alue) Söderfjärdenin meteoriittikraaterissa. (Kuva: Harri Lilja, MTT)



Kuva 16. Söderfjärdenin koekenttä. (Kartta: R. Rosendahl)

Ensimmäisenä vuonna valumavesien laatua seuraamalla tutkittiin, miten samankaltaiset alueet olivat. Varsinaiset koekäsittelyt aloitettiin vuonna 2011. Tällöin kasvukauden osui poikkeuksellisen vähäseinen jakso. Säätojoituksella ei pystytty pitämään pohjaveden pintaa sulfidikerrosten yläpuolella koko kasvukautta, mutta hapettumismahdollinen ajanjakso oli kuitenkin lyhyempi kuin tavanomaisella kuivatuksella (kuva 17). Säätokastelulla (31 mm, 310 m³/ha) sulfidikerros pysyi koko kasvukauden 2011 pohjaveden alapuolella lukuun ottamatta pellon yläreunaa. Vuonna 2012, joka oli huomattavasti sateisempi, lisäveden pumppauksella (48 mm, 480 m³/ha) pystyttiin sulfidikerrokset pitämään koko kasvukauden pohjaveden alapuolella. Kuvassa 17 on pohjaveden pinnan korkeusvaihtelut lohkojen alaosassa. Katkoviiva esittää jatkuvatoimisten mittareiden lukemia, jotka löytyvät netistä (<http://www.ehp-data.com>). Pisteet ovat manuaalisesti mitattuja pohjaveden korkeuksia. Kuvasta näkyy selvästi, että säädön asentaminen takaisin syystöiden jälkeen on pitänyt pohjaveden sulfidikerroksen yläpuolella myös talvella.



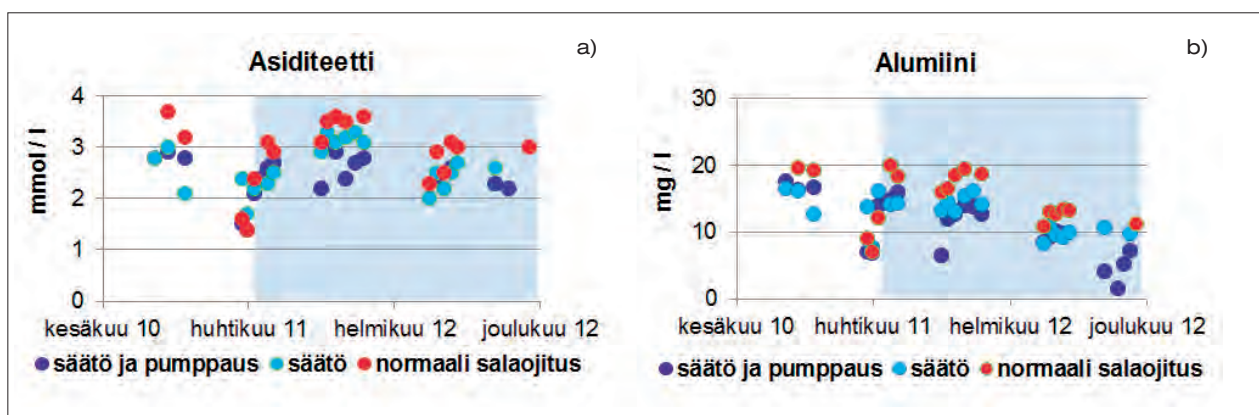
Kuva 17. Pohjavedenpinnan korkeudet Söderfjärdenin koekentällä eri salaojitustavoilla vuosina 2011–2012. Pumppausajankohdat on merkitty kuvaan nuolilla. (Kuva: Seija Virtanen)

3.1 Valumaveden laatu

Vuonna 2011 suuria eroja ei voitu havaita salaojavesien pH-arvoissa, mutta pienin asiditeetti oli säätökastelulohkolla ja suurin tavanomaisesti salaojitetulla lohkolla. Söderfjärdenissä mitatut asiditeetit ovat tyypillisiä hapan sulfaattimaan arvoja ja ylittävät selvästi jokivedelle asetetun raja-arvon, joka on alle 0,3 mmol/l (kuva 18a). Salaojavedestä mitatut alumiinipitoisuudet olivat korkeita ja ylittivät eliöille haitallisiksi todetut pitoisuudet (0,1–2,0 mg/l). Koekäsittelyiden aloittamisen jälkeen suurimmat pitoisuudet mitattiin tavanomaisesti salaojitetulla ja pienimmät säätökastelulohkolla (kuva 18 b).

Koekentältä saatujen kokemusten ja tulosten perusteella säätösalojitus ja varsinkin siihen yhdistetty lisäveden pumppaus antavat mahdollisuuden säädellä pohjavedenpintaa pellolla. Jos on tarvetta, pohjavesivirtaus valtaojaan voidaan estää muovikalvon avulla. Koska koe kesti vain kaksi vuotta, suuria eroja valumaveden laadussa ei voitu vielä todeta, mutta jo nyt saadut tulokset viittaavat siihen, että toimenpiteet vähentäisivät valumaveden asiditeettia ja alumiinipitoisuuksia.

Salaojaveden kokonaistyyppipitoisuudet olivat suuria (8–35 mg l⁻¹). Keskimäärin 90 % tyyppistä oli nitraattityyppiä. Kevätvalunnan ollessa suurimmillaan huhtikuussa 2012 nitraattityypipäästön arvioitiin olevan 25 kg/ha. Valumaveden kokonaisfosforipitoisuudet olivat kohtuullisia (0,014–0,065 mg/l) verrattuna lannoitettujen peltojen päästöihin.



Kuva 18. Valumaveden asiditeetti (happamuuden määrä) (a) ja alumiinipitoisuus (b) Söderfjärdenin koekentällä aikavälillä kesäkuu 2010–joulukuu 2012. Vaaleansininen tausta osoittaa ajankohdan, jolloin pohjaveden säätökoe oli käynnissä (Kuva: Virtanen ym. 2012).

3.2 Kasvihuonekaasut

Kentällä mitattiin kasvihuonekaasujen kuten typpioksiduulin (N_2O), metaanin (CH_4) ja hiilidioksidin (CO_2) päästöjä. Typpioksiduulipäästöt olivat 2–3-kertaiset verrattuna orgaanisten maiden vastaaviin päästöihin. Typeksi laskettuna vuosipäästö oli 20–30 kg/ha, kun se orgaanisilta mailta on 8 kg/ha ja kivennäismailta noin 3,5 kg/ha. Kesällä 2012 mitattiin N_2O -pitoisuuksia myös maassa. Mittauksen mukaan 70 cm:n syvyydessä pitoisuus oli suurempi kuin 30 cm:n syvyydessä ja säätösalaajitetulla ja altakastelulohkoilla mitattiin suurempia N_2O -pitoisuuksia kuin tavanomaisesti salaajitetulla lohkokolla. Osaltaan suuria typpipäästöjä ilmaan ja veteen selittävät maassa 120–160 cm:n syvyydessä olevat suuret orgaanisen aineksen ja kokonaistypen määrät. Orgaanisen aineksen hajotessa vapautuu typpeä. Hiilidioksidin ja metaanin päästöt eivät poikenneet muilta maalajeilta mitatuista päästöistä. Salaajitustekniikalla tai pohjaveden pinnan korkeudella ei ollut vaikutusta kasvihuonekaasupäästöjen suuruuteen.

3.3 Maan pH ja ravinteet sekä satotulokset

Koekentän maalaji on multava hiue (savespitoisuus 21–28 %, hiesupitoisuus 26–34 % ja hieta- ja hiekkapitoisuus 39–53%). Muokkauskerroksen pH oli kalkituksen ansiosta 6,6–7,1, mutta jankon pH oli alhaisempi 5,4–6,5. Muokkauskerroksessa liukoisien typen pitoisuudet olivat suurempia kuin yleensä viljeltäessä ilman kotieläinlannan käyttöä. Pintamaan (0–25 cm) viljavuustutkimuksen fosforipitoisuudet olivat säätökastelu- ja säätösalaajituslohkoilla (lohkot 1 ja 2) 20–25 mg/l, mikä vastaa viljavuusluokkaa hyvä. Tavanomaisesti salaajitetulla lohkokolla (lohko 3) vastaava viljavuusluokka oli tyydyttävä (8–10 mg/l P). Muiden makroravinteiden (kalsium, kalium, magnesium ja rikki) viljavuusluokat olivat tasolla tyydyttävä/hyvä. Hivenravinteista helpoliukoisien kuparin pitoisuus oli viljavuusluokassa tyydyttävä kaikilla lohkoilla. Mangaanipitoisuus oli lohkoilla 1 ja 2 viljavuusluokassa tyydyttävä ja lohkokolla 3 viljavuusluokassa huononlainen. Sinkkipitoisuus oli säätökastelulohkokolla viljavuusluokassa välttävä, säätösalaajituslohkokolla huononlainen ja tavanomaisesti ojitetulla lohkokolla huono.

Kevätvehnän (5500–5900 kg/ha) ja ohran (5300–5700 kg/ha) sadot olivat yli keskimääräisten satojen. Koekentältä kerättyjen kasvustonäytteiden ja jyvien alkuainepitoisuuksissa ei havaittu poikkeavaa. Ainoastaan vuoden 2012 ohrasadossa jyvien mangaanipitoisuus oli pieni (8–9 mg kuiva-ainekiloa kohden), kun se normaalisti on noin 20 mg. Alustavien tulosten mukaan lohkojen välillä ei havaittu eroja hehtolitra- tai 1000 jyvän painoissa.

3.4 Kustannukset

Säätökaivon kokonaiskustannukset ovat noin 1000–1200 euroa (alv 0 %). Hintaan sisältyvät kaivo-, suunnittelu-, maastoon merkintä-, putki-, asennus-, ojitus- (20–30 m) sekä pohjavesiputkien ja pienosien kustannukset. Lisäveden pumppaamisesta aiheutunut vuosikustannus oli 95–195 €/ha riippuen pumppausmääristä. Oletuslaskelmassa 4 ha:n lohko on 5 km:n päässä ja kahden vuorokauden pituisia pumppauskertoja on 2–4 vuodessa. Kustannuksia syntyy bensasta, valvonnasta ja matkoista. Laskelmassa ei ole huomioitu pumpun hankintaa. Muovikalvon asentamiskustannus on noin 5 €/juoksumetri. Hintaan sisältyvät muovikalvo, kaivaminen, kalvon asentaminen ja kaivannon täyttö.



Söderfjärdenin kenttä keväällä ja kesällä.



Kuva 1.



Kuva 2.



Kuva 3.



Kuva 4.



Kuva 5.



Kuva 6.

Maamonoliittien kaivaminen Viikin kampuksen happamalta sulfaattimaalta (kuvat 1–2). Kasvihuoneessa monoliitteja, joissa kasvatettiin ruokohelpeä (kuvat 3–4). Maamonoliiteista tulevista kaasuista kerättiin ruiskulla kasvihuonekaasunäytteitä (kuvat 5–6). (Kuvat: Seija Virtanen)

4 Kirjallisuus

- Bärlund, I., Tattari, S., Yli-Halla, M., Åström, M. 2005. Measured and simulated effects of sophisticated drainage techniques on hydrology and runoff hydrochemistry in areas of boreal acid sulphate soils. *Agricultural and Food Science* 14: 98-111.
- Edén, P., Auri, J., Rankonen, E., Martinkauppi, A., Österholm, P., Beucher, A., Yli-Halla, M. 2012. Mapping Acid Sulfate Soils in Finland: Methods and Results. Teoksessa: Österholm, P., Yli-Halla, M. & Edén, P. (toim.). 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012. Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceedings volume. Geological Survey of Finland, Guide 56. ss. 31-33.
- Joukainen, S., Yli-Halla, M. 2003. Environmental impacts and acid loads from deep sulfidic layers of two well-drained acid sulfate soils in western Finland. *Agriculture, Ecosystems and Environment* 95: 297-309.
- Paasonen-Kivekäs, M. 2009. Säättösalaojitus. Kirjassa: Maan vesi- ja ravinnetalous - Ojitus, kastelu ja ympäristö (toim. Paasonen-Kivekäs ym.). Salaojayhdistys ry.
- Paasonen-Kivekäs, M., Yli-Halla, M. 2005. A comparison of nitrogen and carbon reserves in acid sulphate and non acid sulphate soils in western Finland. *Agricultural and Food Science* 14: 57-69.
- Rautio, L. M., Siiro, P., Haldin, L., Storberg, K-E., Nuotio, E., Westberg, V. 2010. Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen vesienhoitosuunnitelma vuoteen 2015. Yhteistyöllä parempaan vesienhoitoon. <http://www.ymparisto.fi> > Ympäristönsuojelu > Vesiensuojelu > Vesienhoitoalueet
- Salaojakeskus. 2002. Salaojituksen tavoiteohjelma 2020. <http://www.salaojayhdistys.fi/pdf/tavoiteohjelma.pdf>
- Šimek, M., Virtanen, S., Simojoki, A., Krištůfek, V., Yli-Halla, M. 2011. Evidence of rich microbial communities in the subsoil of a boreal acid sulphate soil conducive to greenhouse gas emissions, *Agriculture, Ecosystems & Environment* 140: 113-122.
- Sundström R., Åström M., Österholm P. 2002. Comparison of the metal content in acid sulfate soil runoff and industrial effluents in Finland. *Environmental Science and Technology* 36: 4269-4272.
- Tikkanen, M., Oksanen, J. 2002. Late Weichselian and Holocene shore displacement history of the Baltic Sea in Finland. *FENNIA International Journal of Geography* 180:1-2. <http://www.helsinki.fi/maantiede/geofi/fennia/demo/pages/oksanen.htm>
- Uusi-Kämppeä, J., Ylivainio, K., Regina, K., Österholm, P., Rosendahl, R., Westberg, V., Mäensivu, M., Virtanen, S., Yli-Halla, M., Turtola, E. 2012. Korkeampi pohjaveden pinta ratkaisu happamien sulfaattimaiden päästöille? Teoksessa: Hoppanen (toim.) Maataloustieteen Päivät 2012 : [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisuja no 28. http://www.smts.fi/Ymparisto/Uusi-Kamppa_Korkeampi.pdf
- Virtanen, S., Simojoki, A., Uusi-Kämppeä, J., Österholm, P., Yli-Halla, M. 2013. Happaman sulfaattimaan valumaveden asiditeetti ja alumiinipitoisuudet lysimetrikokeessa ja Söderjärdenin koekentällä. Teoksessa: Leppälammikujansuu, Soinne, Merilä, Rankinen, Salo, Hänninen (toim.). Maankäytön kestävyys, VII Maaperätieteiden päivien abstraktit. *Pro Terra* No. 61 / 2013. ss. 112-113.
- Österholm & Åström. 2004. Quantification of current and future leaching of sulfur and metals from Boreal acid sulfate soils, western Finland. *Australian Journal of Soil Research*. 42: 547-551.

5 Lisätietoa

CATERMASS.FI Happamien sulfaattimaiden ympäristöriskien vähentäminen. <http://www.catermass.fi>

Etone, E. K., Virtanen, S., Simojoki, A., Stoddard, F. 2012. High moisture acid sulphate soil effects on reed canary grass. Teoksessa: Schulman ja Kauppinen (toim.). Maataloustieteen Päivät 2012 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu no 28. http://www.smts.fi/Kasvintuotanto_jalostuu/Kenedy_High%20moisture.pdf

Happamat sulfaattimaat. Maaseutuverkoston julkaisu. 2009. http://www.maaseutu.fi/attachments/verkkostoyksikko/5HZoFCNKU/happamat_sulfaattimaat_B5_LOW.PDF

Säätösalaajitus. Maaseutuverkoston julkaisu. 2009. http://www.maaseutu.fi/attachments/verkkostoyksikko/5HZoCKgyN/saatosalaajitus_kevyt_resoluutio.pdf

Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. Maa- ja metsätalousministeriö, Ympäristöministeriö. 2011. http://www.mmm.fi/attachments/mmm/julkaisut/julkaisusarja/newfolder_62/5xB6L0P33/mmmjulkaisu2011_2.pdf

International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012. Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceedings volume. Geological Survey of Finland, Guide 56. http://arkisto.gtk.fi/op/op56/op_056.pdf

Peltoviljelyn ravinnehuhtoutumien vähentäminen pellon vesitaloutta säätämällä. 2000. Salaajituksen tutkimusyhdistys ry:n tiedote n:o 25.

Simojoki, A., Virtanen, S., Yli-Halla, M. 2012. Pohjaveden korkeuden vaikutus happaman sulfaattimaan dityppioksidiemissioihin lysimetrikokeessa. Teoksessa: Schulman ja Kauppinen (toim.). Maataloustieteen Päivät 2012 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu no 28. http://www.smts.fi/Ymparisto/Simojoki_Pohjaveden%20korkeuden.pdf

Sutela, T., Vuori, K.-M., Louhi, P. ym. 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemät Suomessa. Suomen ympäristö 14/2012. Suomen ympäristökeskus. <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=138242&lan=fi>

Virtanen, S., Simojoki, A., Yli-Halla, M. 2011. Korkean pohjaveden vaikutus happamalta sulfaattimaalta purkautuvan valumaveden happamuuteen lysimetrikokeessa. Teoksessa: Mieli maassa – maa mielessä 40 v, VI Maaperätieteiden päivien abstraktit. Pro Terra no 52 / 2011. ss. 27–28.

Yli-Halla, M. 2010. Happamien sulfaattimaiden luokittelu ja viljelyn vaihtoehdot. Teoksessa: Hoppanen (toim.). Maataloustieteen Päivät 2010 [verkkojulkaisu]. Suomen Maataloustieteellisen Seuran julkaisu no 26. <http://www.smts.fi/jul2010/esite2010/110.pdf>

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -julkaisusarjassa julkaistaan maatalous -ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

