

Lektio / Seija Virtanen 2.10.2015

Arvoisa kustos, kunnioitettu vastaväittäjä, hyvät kuulijat,

Happamat sulfaattimaat, joita työni käsittelee, ovat syntyneet tuhansia vuosia sitten viimeisen jääkauden jälkeen Itämeren pohjalle kertyneestä aineksesta. Kuten kaikki hyvin tiedämme, mannerjää ja sen sulaminen ovat muokanneet maaston muodot sellaiseksi kuin me ne näemme, tyypillisenä suomalaisena maisemana harjumuodostelmineen ja lukuisine järvineen. Maanpinnan alle syntyneet maakerrokset ovat kuitenkin suurimmilta osiltaan näkymättömissä. Emme myöskään näe merenpohjalle kerrostuneita sedimenttejä, ellemmme tutki maata pintaa syvemmältä.

Nykyinen Itämeremme sai alkunsa, kun Mannerjää alkoi sulaa noin 11 500 vuotta sitten. Ensin muodostui Baltian jääjärvi, joka muuttui Yoldiamereksi, kun yhteys Pohjanmereen avautui. Myöhemmin maan kohoamisen seurauksena yhteys valtameriin katkesi ja vuorossa oli Ancylusjärven vaihe. Kun ilmaston lämpenemisen aiheuttama valtamerien pinnan nousu avasi taas yhteyden valtameriin, makean veden allas muuttui välivaiheena olleen murtovesivaiheen jälkeen suolaiseksi Litorina mereksi, päätyen viimein nykyiseen Itämeren vaiheeseen. Näissä vaiheissa Itämeren pohjaan on kerrostunut erityyppistä sedimenttiainesta. Niiden ominaisuudet kuvastavat kulloinkin vallinneita olosuhteita, veden suolapitoisuutta, lämpötilaa, maalta kulkeutuneen aineksen laatua ja meren rehevyyttä.

Tutkimukseni kannalta mielenkiintoisin Itämeren vaihe on Litorina meren aika. Tuolloin Itämeren vesi oli nykyistä suolaisempaa ja ilmasto oli noin 3 °C nykyistä lämpimämpää. Lämpimän ilman lisäksi meren perustuotantoa lisäsivät valtamerestä tulevien ”suolapulssien” aiheuttama ravinteikkaan syvän veden kumpuaminen pintaan<sup>1</sup>. Sinileväkukinnot, jotka nykyisin ovat suuri huolenaihe ja aina

---

<sup>1</sup> Sohlenius, G., Sternbeck, J., Andren, E. & Westman, P. 1996. Holocene history of the Baltic Sea as recorded in a sediment core from the Gotland Deep. *Marine Geology* 134: 183-201.

uutiskynnyksen ylittävä kesäinen harmi, olivat Litorina meressä tyypillisiä.<sup>2</sup> Silloin vain ei ollut uimareita harmittelemassa rantaan ajautunutta leväpuuroa.

Runsaan perustuotannon vuoksi orgaanista ainesta laskeutui meren pohjaan mikrobien hajotettavaksi. Hajotustoiminta kulutti pohjakerroksien vedestä hapen ja synnytti sinne hapettomat suorastaan pelkistyneet olot. Ne olivat otolliset valumavesien mukanaan tuoman ja altaan pohjalle laskeutuneen maa-aineksen raudan sekä meriveden sulfaatin pelkistymiselle. Näin alkoivat sulfidisedimentit muodostua. Maanpinnan kohoaminen kuitenkin jatkui, mikä huononsi yhteyttä valtameriin. Myös valtamerien pinnan nousu pysähtyi ilmaston viilenemisen vuoksi, ja Litorina meri muuttui murtovedeksi. Itämeren altaan rehevä kausi päättyi alkaakseen jälleen myöhemmin ihmistoiminnan vaikuttaessa omalta osaltaan asiaan.

Vanhat sedimentit eivät ole kuitenkaan jääneet merenpohjaan. Syynä tähän on se, että paksuimmillaan muutaman kilometrin jääkansi painoi maankuoren allaan kuopalle, mutta painon poistuttua eli jään sulettua maanpinta alkoi palautua entiseen tasoonsa. Vanhaa merenpohjaa onkin paljastunut 50 000 km<sup>2</sup><sup>3</sup> eli Suomen pinta-ala on kasvanut noin 15 % Litorina meren ajoista. Tästä merestä nousseesta alueesta arviolta ehkä noin 10 %:lla tavataan sulfidisedimenttejä. Maan kohoamisen mutta varsinkin ihmistoiminnan, kuten kuivatuksen, vuoksi ne ovat muuttuneet todellisiksi happamiksi sulfaattimaiksi. Happamia sulfaattimaapeltoja on viljelyksessä vähintään 5 % Suomen peltopinta-alasta. Tutkimukseni on rajautunut koskemaan juuri näitä viljelyksessä olevia happamia sulfaattimaita.

Mitä erikoista on happamissa sulfaattimaissa? Erikoista on se, että kun sulfidikerrokset altistuvat hapelle, rautasulfidien hapettuminen ja rikkihapon sekä raudanoksidien muodostuminen alkaa. Tästä taas seuraa ongelmia sekä maanviljelykselle että ympäristölle. Maa happamoituu ja vastaanottavan vesistön

---

<sup>2</sup> Bianchi, T.S., Engelhaupt, E., Westman, P., Andren, T., Rolff, C. & Bianchi, R.E. 2000. Cyanobacterial blooms in the Baltic Sea: Natural or human-induced? *Limnology and Oceanography*, 45: 716-726

<sup>3</sup> Beucher, A. 2015, Spatial modeling techniques for mapping and characterization of acid sulfate soils. Åbo Akademi University, Turku.

ekosysteemi kärsii happamesta valumavedestä. Pellon happamuutta voidaan vähentää kalkituksella, ja kalkitseamalla näistä pelloista saadaankin hyvin viljavia.

Valitettavasti pintamaan kalkitus ei aiempien tutkimusten mukaan lievitä paljonkaan pohjamaan happamuutta, vaan pelloilta purkautuvat valumavedet pysyvät happamina ja tämän lisäksi saattavat sisältää raskasmetalleja haitallisen korkeina pitoisuuksina. Pohjanmaalla, jossa happamia sulfaattimaita on runsaasti, virtavesistöjä on luokiteltu kemialliselta tilaltaan hyvää huonommiksi tai ekologiselta tilaltaan huonoiksi. Syynä ei ole niiden rehevöityminen vaan juuri happamuus ja kohonneet raskasmetallipitoisuudet. Kärjistäen vastakkain ovat siis hyvin tuottoisat viljavat pellot ja niiden aiheuttamat ongelmat vesistöille ja niiden kalataloudelle.

Mitä asialle voidaan tehdä? Eikö yksinkertaisesti voida vain estää rautasulfidien hapettuminen? Vastaus on kyllä ja ei. Kyllä siihen, että rautasulfidien hapettumisen estäminen estää uuden happamuuden syntymisen ja ei, siihen, että se olisi yksinkertaista. Ihminen on asuttanut Suomen niemeä jo kauan ja muokannut maata rakentamisen, metsätalouden tai maatalouden tarkoituksiin paremmin hänelle soveltuvaksi. Happamia sulfaattimaita on otettu viljelykseen ja kuivatettu, mikä on aiheuttanut sulfidien hapettumista. Ongelmallista onkin, että kerran alettuaan kuormituksen on todettu jatkuvan pitkään. Tiedossa on kirjoitus jo vuodelta 1834, jossa kerrotaan kalakuolemista Pohjanmaan joessa, todennäköisenä syynä hapan vesi. Laajoja kalakuolemia sattui myös vuonna 2006 poikkeuksellisen kuivan kesän jälkeen.

Peltojen kuivatus on tehostunut sitten viime vuosisadan. Suuria peruskuivatushankkeita toteutettiin Pohjanmaalla 1950 - 70 luvuilla ja paikalliskuivatus on muuttunut avo-ojituksesta salaojitukseksi. Vuonna 1978 Pohjanmaan pelloista oli salaojitettu 25 %<sup>4</sup>, kun vastaava luku on nyt 56 %<sup>5</sup>. Vaikka happamien sulfaattimaiden ympäristövaikutuksia alettiin selvittää jo 1970 luvulla,

---

<sup>4</sup> SARA-2000. Salaojitusohjelma 1980–2000. Kerava 1980.

<sup>5</sup> Salaojatilanne 2013 ELY-keskuksittain /Helena Äijö kirjallinen tiedonanto

niin vasta 1980-luvun lopussa tutkittiin eri kuivatustapojen vaikutusta happamaan kuormitukseen. Haittojen lieventämiseksi otettiin 1990-luvun lopulla käyttöön säätösalaajitus, johon nykyisin on mahdollista saada ympäristökorvausta.

Happamat sulfaattimaat eivät rajoitu vain Suomeen. Suurin osa niistä sijaitsee lämpimillä alueilla Aasiassa, Länsi-Afrikassa, Etelä-Amerikassa ja Australiassa. Meillä Suomessa on vain 1 %<sup>6</sup> maailman happamista sulfaattimaista, vaikkakin esiintymä on Euroopan laajin. Ongelmat lämpimissä maissa ovat samankaltaisia. Ongelmien lieventämiseksi muun muassa Australian rannikolla olevien alueiden kuivattamiseksi tehtyjä patorakennelmia on muutettu niin, että vuorovesi pääsee alueelle ja hapettuneet kerrokset jäävät kokonaan tai osittain veden alle.

Pitkäaikaisissa kokeissa maan pH on noussut ja maahan on alkanut muodostua uudelleen rautasulfideja ja kasvillisuus on palannut alueelle.

Miten vastaavanlainen keino mahtaisi toimia meidän erilaisissa oloissamme?

Voitaisiinko haitallista hapanta valumaa vähentää enemmän, jos pohjavesi nostettaisiin korkealle tai jopa padotettaisiin vesi pelloille ja siirryttäisiin, ei nyt riisin viljelyyn, mutta esimerkiksi märissä oloissa viihtyvän energiakasvin, esimerkiksi ruokohelven viljelyyn. Mitä tapahtuu maassa, joka on jo hapettunut ja happamoitunut, jos pellon vesitalous järjestetään niin, että nämä kerrokset jäävät pysyvästi veden alle? Voidaanko kelloa siirtää taaksepäin, voidaanko palata lähtötilanteeseen? Tässä on joukko tutkimuskysymyksiäni.

Maan kyllästyminen vedellä käynnistää pelkistysreaktiot, joita ei ole tutkittu aiemmin Suomen happamilla sulfaattimailla, sillä tutkimus on keskittynyt hapettumiseen. Väitöstutkimuksessani selvitin, miten jo happamaksi sulfaattimaaksi muuttuneet kerrokset käyttäytyvät joutuessaan pysyvästi veden alle, ja jos maassa viljeltäisiinkin ruokohelpeä. Tarkoituksena ei ollut kuitenkaan vain testata muualla hyväksi koettua

---

<sup>6</sup> Andriessse, W. & van Mensvoort, M. E. F. 2006. Acid sulfate soils: Distribution and extent. In: Encyclopaedia of Soil Science, Lal, R. (Ed), CRC: Taylor and Francis, Boca Raton, FL. pp.14-16.

menetelmää Suomen oloissa, vaan pureutua maassa tapahtuviin prosesseihin, jotka pohjaveden säätö maassa aiheuttaa.

Koska maassa tapahtuvien reaktioiden kulkua ei voida seurata kuten sokerin liukenemista vesilasissa, piti kehittää menetelmä, jolla maan pelkistymistä voitaisiin seurata jatkuvasti. Hapetus-pelkistysreaktioissa tapahtuu elektronien siirtymistä ja maassa saatavilla olevien elektronien runsaus kertoo maan hapetus-pelkistystilan. Tätä voidaan mitata jännitemittauksen avulla, mittaamalla ns. maan redox-potentiaalia. Redox-mittaukset muodostavatkin suurimman mittausaineistoni, sillä sitä mitattiin 2 ½ vuoden ajan 10 minuutin välein lysimetrikokeessa. Siinä seurattiin sekä pohjaveden korkeuden nostamisen että tehostetun kuivatuksen vaikutuksia maan hapetus-pelkistystilaan. Samanaikaisesti seurattiin myös maaveden ja valumaveden pH:ta ja alkuainepitoisuuksia. Maan fysikaalisista muutoksista saatiin tietoa ennen ja jälkeen koetta tehdyistä mittauksista. Tätä metodia ei ole aiemmin käytetty Suomessa.

Lysimetrit olivat eräänlaisia pellon pienoismalleja. Siksi lysimetrien tuloksia verrattiin myös oikeaan happaman sulfaattimaan peltoon ja tulosten samankaltaisuutta, similariteettia, testattiin testimenetelmällä, jota ei ole maaperätieteessä aiemmin käytetty. Testauksen perusteella lysimetri-pienoismallin tulokset olivat samankaltaisia pellolla saatujen tulosten kanssa olosuhteiden ollessa samanlaisia.

Tutkimuksesta tehtyjen havaintojen perusteella meidän oloissamme padotuksen aiheuttamat muutokset maassa ovat erilaisia kuin lämpimissä oloissa. Lysimetreissä ei tapahtunut rautasulfidien muodostumista niin kuin lämpimimmissä oloissa, mutta kylläkin raudan muuttumista liukoiseen muotoon pelkistysreaktioiden seurauksena. Syynä eroon oli muun muassa kokeessa käytetyn maan hyvin happamat olosuhteet, mikä suosi raudan pelkistäjämikrobeja korkeammassa pH:ssa viihtyvien sulfaatin pelkistäjien kustannuksella. Lämpimimmissä olosuhteissa sulfaatin pelkistäjämikrobeilla oli suotuisimmat olosuhteet ja sen seurauksena myös sulfaattia

pelkistyi ja rautasulfideja muodostui. Syynä oli myös meidän maillemme tyypillinen heikosti kiteytyneiden rautayhdisteiden runsaus, matala lämpötila ja se, että kasteluun käytettiin sadevettä eikä merivettä kuten lämpimissä maissa tehdään. Myös liukoisen orgaanisen aineksen määrällä oli suuri vaikutus pelkistymiseen. Korkean pohjaveden seurauksena maan pH kuitenkin nousi ja huokos- ja valumaveden alumiinipitoisuus pieneni, mikä on hyvä asia. Mutta koska raudan pitoisuus kasvoi, se ylläpiti valumaveden happamuutta lähes entisellä tasollaan lysimetreissä, joissa ruokohelpi kasvoi. Lysimetreissä, joissa käytettiin tehostettua kuivatusta, haponmuodostus alkoi, vaikka kokeen maassa reaktiivisimpien sulfidien määrä oli vähäinen. Kuivatus edisti rakojen muodostumista maahan ja se helpotti mm. hapen ja nitraatin pääsyä pelkistyneeseen sulfidikerrokseen. Huomionarvoista on, että tehokkaasti kuivatetuissa lysimetreissä tavatut äkilliset happamuuspiikit puuttuivat korkean pohjaveden lysimetreistä, mikä vastaanottavien vesistöjen kannalta on positiivista. Koe osoitti, että pohjamaan pitäminen veden alla on tärkeää, ei vain hapen pääsyn estämiseksi, vaan myös maan fysikaalisten ominaisuuksien pitämiseksi muuttumattomina. Uutta oli myös se, että havaintojen mukaan myös nitraatti voi hapettaa sulfideja. Se puolestaan voi lisätä typpioksiduuliemissioita eli kasvihuonekaasupäästöjä.

Tutkimuksen lopputulemana voidaan sanoa, että rautasulfidikerrosten pitäminen pohjaveden alla on ensiarvoisen tärkeää. Täysin koskemattomat sulfidialueet tulee jättää silleen, mutta jo viljelykseen otettujen happamien sulfaattimaapeltojen padottaminen pintaan asti ei näytä järkevältä, sillä se voi aiheuttaa raudan huuhtoutumista. Rauta kuluttaa veden happea ja hapettumisen seurauksena lisää happamuutta vastaanottavissa vesistöissä. Tutkimus paljasti myös, että maakerrokseen on varastoitunut happamuutta, minkä vuoksi ympäristöhaittojen vähentämistoimien vaikutukset näkyvät vasta viipeellä. Suomalaisilla pelloilla on havaittu pohjaveden painuvan kuivina kesinä hyvin syvään salaojien alapuolelle, happamilla sulfaattimailla sulfidikerrokseen saakka. Käytännön menetelmät, joilla tätä voidaan

ehkäistä niin, että vaihettumiskerros ja sulfidikerros eivät pääse hapettumaan eikä maan rakenne pääse muuttumaan estävät myös happamuuden syntymistä. Tällaisia menetelmiä voidaan suositella mm. Pohjanmaan rannikolle, jossa reaktiivisten rautasulfidien määrä on suuri.