



Luonnonvara- ja  
biotalouden  
tutkimus 66/2015

# Happamat sulfaattimaat Perämerenkaaren alueella ja niiden haittojen ehkäiseminen maa- ja metsätaloudessa

Antti Hannukkala, Hannu Hirvasniemi, Hannu Hökkä, Pentti Kouri  
ja Pauliina Liwata-Kenttälä

Luonnonvara- ja biotalouden tutkimus 66/2015

# **Happamat sulfaattimaat Perämerenkaaren alueella ja niiden haittojen ehkäiseminen maa- ja metsätaloudessa**

Antti Hannukkala, Hannu Hirvasniemi, Hannu Hökkä, Pentti Kouri  
ja Pauliina Liwata-Kenttälä

Vipuvoimaa  
EU:lta  
2007–2013



ISBN: 978-952-326-137-2 (Painettu)

ISBN: 978-952-326-138-9 (Verkkajulkaisu)

ISSN 2342-7647 (Painettu)

ISSN 2342-7639 (Verkkajulkaisu)

URN: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-326-138-9>

Copyright: Luonnonvarakeskus (Luke)

Kirjoittajat: Antti Hannukkala, Hannu Hirvasniemi, Hannu Hökkä, Pentti Kouri ja Pauliina Liwata-Kenttälä

Julkaisija ja kustantaja: Luonnonvarakeskus (Luke), Helsinki 2015

Julkaisuvuosi: 2015

Kannen kuva: Pauliina Liwata-Kenttälä

Painopaikka ja julkaisumyynti: Juvenes Print, <http://luke.juvenesprint.fi>

## Tiivistelmä

Antti Hannukkala<sup>1</sup>, Hannu Hirvasniemi<sup>3</sup>, Hannu Hökkä<sup>2</sup>, Pentti Kouri<sup>3</sup>, Pauliina Liwata-Kenttälä<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Luonnonvarakeskus, Uudet liiketoimintamahdollisuudet, Eteläranta 55, 96300 Rovaniemi

<sup>2</sup> Luonnonvarakeskus, Luonnonvarat ja Biotuotanto, Eteläranta 55, 96300 Rovaniemi

<sup>3</sup> Geologian tutkimuskeskus, PL 77, Lähteentie 2, 96101 Rovaniemi

Hankkeessa koottujen kartoitustulosten perusteella happamia sulfaattimaita esiintyy melko yleisesti, pääasiassa jokiuomien varrella aina 90 metrin korkeustasoon saakka. Paikoin happamat sulfaattimaat levittäytyvät laajoiksi yhtenäisiksi alueiksi topografialtaan alaville maille. Esiintymisessä voi olla kuitenkin suurta vaihtelua pienelläkin alueella. Kartoitetusta alueesta Tornionjoella n. 40 % on happamia sulfaattimaita, Kemijoella 35 %, Kaakamojoella 40 %, Simojoella 20 % ja Perämeren rannikkoalueella 10 %. Suurin osa (87 %) sulfidikerroksista alkaa 1–2 metrin syvyydellä. Simojoella ja Perämeren rannikkoalueella sulfidikerrostumia esiintyy lähempänä maanpintaa kuin muilla valuma-alueilla. Perinteisten hienorakeisten happamien sulfaattimaiden lisäksi esiintyy myös karkeampia happamia hietoja ja hiekkoja, lähinnä Simojokilaaksossa, Kemijoen suistoalueella sekä mahdollisesti mustaliuskeisiin liittyen Tornion ja Ylitornion rajalla Martimossa.

Laadittaessa kunnostusojitusuunnitelmaa Litorina-alueella on tärkeää selvittää happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys esim. Geologian tutkimuskeskuksen kartta-aineiston avulla. Karttaselvityksen ohella riskialueilla on aina syytä tarkistaa maastossa sulfidikerrosten esiintyminen ja esiintymissyvyys. Esiintymien syvyyden perusteella päätetään, voidaanko kunnostusojitus toteuttaa normaalisti vai vaaditaanko kaivutyössä ja vesiensuojelussa lisätoimia. Jos muuttumattomat sulfidikerrokset ovat alle 1 metrin syvyydessä, tulee ojien kunnostus tehdä erityisen huolella ja jättää ojat selvästi tavoitesyvyyttä matalemmiksi (0,5 – 0,8 m). Vesiensuojelu toteutetaan pintavalutusken-  
tillä. Mikäli sulfidikerrostumat ovat yli 1,5 metrin syvyydessä, voidaan ojien kunnostus toteuttaa muutoin normaalisti, mutta lasketusaltaita ei tule kaivaa. Kaivun aikana voidaan kuormitusta vähentää jättämällä kaivukatkoja ja säätämällä tarvittaessa kaivussyvyyttä matalammaksi. Myös metsänuudistamisen yhteydessä tehtävän maanmuokkauksen suunnittelussa tulee selvittää, onko muokkauskohte riskialueella. Soistuneiden kankaiden mätästyksessä tai säätöaurauksessa pintaan nostettu kivennäismaa kuivuu ja hapettuu. Tällaisten uudistusalojen osalta on syytä arvioida kuormitusriskit samalla tavalla kuin kunnostusojituksissa.

Asiasanat: hapan sulfaattimaa, vesistökuormitus, sulfaattimaiden kartoittaminen, ojitusmenetelmät, maanmuokkaus

# Sisällys

<b>1.</b>	<b>Happamien sulfaattimaiden kartoitus (1:250 000) ja ominaisuudet</b>	<b>5</b>
1.1.	Johdanto	5
1.1.1.	Aluekuvaus ja geologinen tausta	5
1.1.2.	Happamat sulfaattimaat	6
1.1.3.	Happamien sulfaattimaiden määreet ja luokitus	7
1.2.	Kartoitusaineistot ja -menetelmät	8
1.2.1.	Lähtöaineisto	8
1.2.2.	Maastokartoitus ja -mittaukset	9
1.2.3.	Laboratorioanalyysit	10
1.2.4.	pH-inkubaatio	10
1.2.5.	Kartta ja pistetiedot	10
1.3.	Tulokset ja tulosten tarkastelu	12
1.3.1.	Happamien sulfaattimaiden esiintyminen	12
1.3.2.	Sulfidin esiintymissyvyys havaintopisteillä	22
1.3.3.	pH-mittaukset ja rikkianalyysit	23
<b>2.</b>	<b>Toimenpidesuosituksat maataloudelle</b>	<b>25</b>
<b>3.</b>	<b>Maaomistajakyselyn tulokset</b>	<b>27</b>
<b>4.</b>	<b>Toimenpidesuosituksat metsätaloudelle</b>	<b>29</b>
4.1.	Kunnostusojitus	29
4.2.	Maanmuokkaus	30
4.3.	Muut metsätalouden toimenpiteet	30
<b>5.</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>31</b>
<b>6.</b>	<b>Viitteet</b>	<b>33</b>
	<b>Liitteet</b>	<b>34</b>



# 1. Happamien sulfaattimaiden kartoitus (1:250 000) ja ominaisuudet

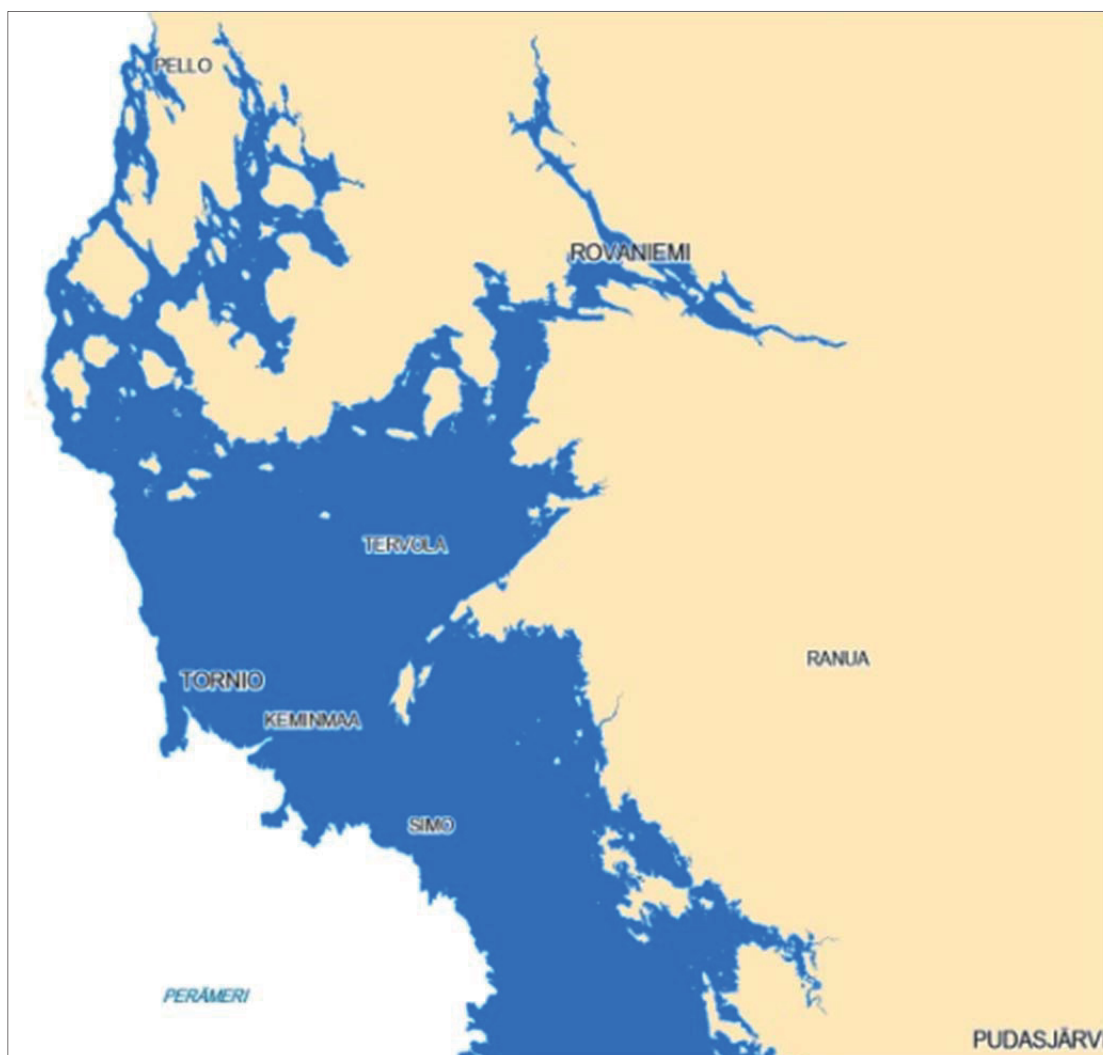
Pauliina Liwata-Kenttälä, Hannu Hirvasniemi ja Pentti Kouri

## 1.1. Johdanto

### 1.1.1. Aluekuvaus ja geologinen tausta

Tutkimusalue käsittää Perämerenkaaren alueella muinaisen Litorinameren (kuva 1) peittämän osan Lapin maakunnasta. Tutkimusalue on pinta-alaltaan noin 5 600 km<sup>2</sup> ja siihen kuuluu osa Kemi-, Tornion-, Kaakamo- ja Simojoen valuma-alueista sekä niiden välinen rannikkoalue.

Tutkimusalue voidaan jakaa kallioperältään kolmeen laajaan kokonaisuuteen. Pohjoisosa (Rovaniemen pohjois- ja keskiosa, Pello, Ylitornio) kuuluu Keski-Lapin graniittialueeseen, keskiosa (Rovaniemen eteläosa, Tervola, Keminmaa, Kemi, Tornio) Peräpohjan liuskealueeseen ja eteläosa (Simo) arkeiseen pohjagneissialueeseen. Peräpohjan liuskealueella esiintyy hiilipitoisia mustaliuskeita itä-länsi-suuntaisissa vyöhykkeissä Martimo – Sihtuuna- sekä Karunki – Tervola -välisillä alueilla.



**Kuva 1.** Litorina-meren peittämä alue noin 8 000 vuotta sitten. Kartta: © Geologian tutkimuskeskus. Pohjakartat: ©Maanmittauslaitos.

Mannerjää perääntyi tutkimusalueelta noin 10 000 vuotta sitten. Vetäytyvä jää päättyi syvään veteen, makeaveteeseen Ancylusjärveen, ja jäätikön sulamisvesien vaikutuksesta Kemi- ja Tornionjoki-laaksoihin kerrostui lustosavea (Manner ja Tervo 1988). Ancylus-järvivaihetta seurasi Litorinamerivaihe, kun Itämerelle avautui meriyhteys Tanskan salmien kautta noin 9 000 vuotta sitten. Perämeren alueelle suolaista vettä virtasi noin 7 800 vuotta sitten. Tuolloin veden suolapitoisuus (8 ‰) oli selvästi nykyistä (2 ‰) korkeampi. Litorinameren alkuvaiheessa meri ulottui Tornionjokilaaksossa Pellon kirkonkylän tienoille ja Ounas- ja Kemijokivarressa ohi Sinetän ja Oikaraisen. Pellossa ja Rovaniemellä ylin Litorinaranta on nykyään noin 90 m merenpinnasta. Litorinameren korkein ranta ei erotu maastossa yhtä selkeästi kuin Ancylusjärven huuhtomat kalliot ja kivikot (esim. Vammavaara 220 m, Ounasvaaran Isorakka 213 m), vaan meren ylin taso erotetaan suolaisen murtoveden kerrostumien avulla (Salonen et al. 2002). Litorinamerivaiheen aikana ilmasto oli nykyistä lämpimämpää ja kasvillisuus nykyistä rehevämpää, joten kerrostuvan sedimentin orgaanisen aineksen määrä kohosi ja siihen alkoi samalla muodostua sulfidiaineksen tummaksi värjäämiä raitoja (Johansson ja Kujansuu 2005).

Perämeren kohdalla mannerjäätikön paksuus oli noin 2,6 kilometriä (Siegert ym. 2001), minkä vaikutuksesta maankuori painui alaspäin noin kilometrin (Balling 1980). Ensimmäisen tuhannen vuoden aikana jääkauden päättymisen jälkeen maankohoaminen oli yli 10 metriä 100 vuodessa. Kohoamisvauhti kuitenkin hidastui nopeasti, ja viimeisen neljäntuhannen vuoden aikana maankohoamista on ollut enää keskimäärin 1 metri 1 000 vuodessa. Nykyisin maankohoamista on Perämeren rannikolla 7–7,5 mm/vuosi ja Rovaniemen alueella 6–6,5 mm/vuosi (Kakkuri 1991).

Tutkimusalueen maaperä koostuu suurelta osin moreenista ja paksuista turvekerroksista. Hienorakeisia maalajeja esiintyy Perämeren rannikon tuntumassa ja jokilaaksoja myötäillen, ja niitä voi esiintyä laajojen turvealueiden pohjalla. Hienorakeiset kerrostumat ovat jäänteitä jääkauden loppumisen ajalta, jolloin perääntynvä jään reuna päättyi syvään veteen. Hitaasta rannansiirtymisestä merkkinä ovat hyvin kehittyneet muinaisrannat Vammavaarassa, Ounasvaaralla ja Pisavaarassa. Tornion koillispuolella lähellä Tervolan rajaa kulkee pieni drumliinikenttä ja Tervolan Sihtuunan alueella kumpuorenikenttä. Akkunusjoen länsipuolella Kivaloilla esiintyy kallioalueita. Karkearakeisia lajittuneita hiekkakerroksia esiintyy jokisuistoissa ja jokilaaksoissa ja ne voivat peittää hienorakeisia sedimenttejä. (Manner ja Tervo 1988, Johansson ja Kujansuu 2005).

### 1.1.2. Happamat sulfaattimaat

Happamat sulfaattimaat ovat luontaisesti rikkipitoisia sedimenttejä, joita alkoi muodostua Perämerenkaaren alueelle noin 8 500 vuotta sitten Litorinamerivaiheen aikana. Merenpohjaan kerrostui kuollutta kasvinjätettä, jota pieneliöstö käytti ravinnokseen. Vähähappisessa pohjasedimentissä meriveden sulfaatti pelkistyi mikrobien toiminnan tuloksena sulfidiksi, joka saostui edelleen rautasulfidiksi. Merenpinta oli noin 100 metriä nykyistä korkeammalla, mutta maankohoamisen seurauksena pohjaan kerrostuneet sedimentit ovat nykyään merenpinnan yläpuolella. Happamia sulfaattimaita esiintyy tyypillisesti muinaisen Litorinameren peittämällä alueilla, merenlahdissa ja jokisuistoissa, tasaisilla ja alavilla pelto- ja suoalueilla sekä soistuneiden metsien pohjalla.

Pohjaveden pinnan alapuolella hapettomissa olosuhteissa happamat sulfaattimaat ovat kemiallisesti vakaita ja neutraaleja (pH 6–7), jolloin ne eivät aiheuta haittaa ympäristölleen. Maankohoamisen ja maan kuivatuksen (pelto-, metsä- ja suo-ojitus, turvetuotanto, ruoppaukset, rakentaminen, ym.) myötä sulfidimuotoinen rikki hapettuu rikkihapoksi, jolloin maan pH laskee alle 4, ja maaperän metallit (mm. alumiini, nikkeli ja sinkki) liukenevat vesiliukoiseen muotoon. Hapettumista tapahtuu lähinnä kesäisin pohjaveden pinnan laskun myötä. Syksyisin ja keväisin happamuus ja liuenneet metallit pääsevät huuhtoutumaan syysateiden ja kevätkuivun mukana ympäristöön ja vesistöihin heikentäen pintavesien kemiallista ja ekologista tilaa ja aiheuttaen mm. kalakuolemia. Maan happamuudesta aiheutuu myös haittaa maatalouden tuottavuuteen. Lisäksi happamilla sulfaattimailla on

heikot geotekniset ominaisuudet, ja ongelmia kuten kaivantojen reunojen sortumista, betonirakenteiden rapautumista ja teräsrakenteiden syöpymistä.

Maalajiltaan happamat sulfaattimaat ovat pääsääntöisesti hienojakoista savea, hiesua tai hienoa hietaa, mutta pH:n on todettu laskevan alle neljän myös karkeammissa lajittuneissa materiaaleissa, kuten hiedassa ja hiekassa. Usein sulfaattimaakerrosten päällä esiintyy vaihtelevan paksuisia kerroksia multamaata, turvetta tai esimerkiksi jokisedimentteinä kerrostunutta karkeaa silttiä tai hiekkaa. Hapettomassa tilassa pohjavedenpinnan alapuolella hapan sulfaattimaa on tyypillisesti väriltään mustaa tai tummanharmaata ja siinä voi olla selvä rikin haju. Se voi olla massiivista eli rakenteetonta tai siinä voi olla mustia raitoja, kerroksia tai linssejä. Hapettuneessa tilassa pohjavedenpinnan yläpuolella sulfidimaalajin tumma väri muuttuu vaaleanharmaaksi ja rikin haju haihtuu. Hapettunut sedimentti saattaa sisältää runsaasti punaruskeita tai kellertäviä rautasaostumia.

Suomessa on tehty happamien sulfaattimaiden kartoitusta vaihtelevin menetelmin 1950-luvulta lähtien. Vuonna 2011 päättyneessä 'Happaman vesistökuormituksen ehkäisy Siikajoki-Pyhäjoki - alueella 2009–2011 (HaKu)' -hankkeessa (Suomela 2011) kehitettiin yhtenäiset kartoitusmenetelmät sekä erilaisia vesiensuojelutoimia ja -tekniikoita. Perämerenkaaren Haku -hanke liittyy kiinteästi ja on alueellista jatkumoa edellä mainitulle hankkeelle. Kartoitus kattaa esiselvitystyön, maastokartoituksen (mm. maaprofiilin kuvaus, pH:n mittaus, näytteenotto), laboratorioanalyyssejä sekä sulfaattimaiden esiintymistä kuvaavien karttojen laadinnan ja sulfidin esiintymissyvyyden luokittelun hankkeen kohdealueella.

### 1.1.3. Happamien sulfaattimaiden määreet ja luokitus

Aikaisempien tutkimusten ja hankkeiden (Soil Survey Staff 2010, World Reference Base, Suomela 2011, Edén ym. 2012, Uusi-Kämpä ym. 2013) sekä nykyisen hankkeen kartoituskokemusten perusteella on laadittu suomalaisiin oloihin soveltuvat määritelmät ja luokitukset happamille sulfaattimaille. Tässä raportissa käytämme maalajeista rakennusteknistä RT-luokitusta (taulukko 1).

**Taulukko 1.** Raportissa käytetyn rakennusteknisen RT-luokituksen vertailu geologiseen GEO-luokitukseen.

Raekoko (mm)	RT-luokitus	GEO-luokitus
< 0,002	savi	savi
0,002 – 0,06	hiesu, hieno hietä	siltti
0,06 - 2	hietä, hieno hiekka, hiekka	hiekka

Maastossa ja laboratoriomääritysten perusteella havaintopiste luokitellaan happamaksi sulfaattimaaksi, mikäli jokin seuraavista kriteereistä täyttyy alle kolmen metrin syvyydellä maanpinnasta:

#### 1. Maaperänäytteen maastossa mitattu pH ≤ 4

Turvetta ei voida kuitenkaan tämän perusteella luokitella sulfaattimaaksi, koska esimerkiksi rahkaturve on usein luonnostaan orgaanisten happojen vaikutuksesta hyvin hapanta. Lisäksi tulee muistaa, että havaintopiste voidaan kuitenkin luokitella sulfaattimaaksi, vaikka maaperän pH-arvo ei olisi alle neljän. Eryteisesti hiekka- ja hietamailla pH-arvot ovat lähes poikkeuksetta yli neljän vaikka maaperässä esiintyy sulfidipitoinen (voimakkaasti happamoituva) kerros.

#### 2. Maaperänäytteen inkuboitu pH ≤ 4

pH-inkubaatiossa maaperänäytteiden annetaan hapettua 9–19 viikkoa, jonka jälkeen maastossa mitattuja pH-arvoja verrataan hapetuksen jälkeisiin arvoihin. Mikäli pH-arvo on laske-



nut neljään tai alle ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä, voidaan näytteessä todeta esiintyvän sulfideja ja maaperä luokitella happamaksi sulfaattimaaksi.

### 3. Sulfidien esiintyminen on todettu maaperänäytteestä aistinvaraisesti

Väri, haju tai tekstuuri, ks. luku 1.1.2.

Projektin alkaessa yleinen käsitys oli, että Suomessa esiintyvät happamat sulfaattimaat ovat aina hienorakeisia sedimenttejä eli savea, hiesua, hienoa hietaa tai liejua (esim. Yli-Halla 1997). Näin ollen ensimmäisenä kartoitusvuonna keskityttiin hienorakeisten maalajien alueiden kartoitukseen ja karkeammat hieta- ja hiekka-alueet jätettiin vähemmälle tutkimukselle ja pH-mittauksille. Projektin edessä ilmeni, että pH-inkubaatioissa myös karkeampien maalajien pH voi laskea voimakkaasti, ja alhaisesta rikkipitoisuudesta huolimatta ne voivat aiheuttaa huomattavaa happamoitumista. Karttaa tullaan jatkossa tarkentamaan karkearakeisten lajittuneiden maalajien alueella.

Happamien sulfaattimaiden yleiskartoituksessa havaintopisteet (profiili- ja piikityspisteet, taulukot 2 ja 3) luokitellaan sulfidin esiintymissyvyyden mukaan. Esiintymissyvyydellä tarkoitetaan hapettumattoman sulfidikerroksen alkamissyvyyttä maanpinnasta mitattuna. Mitä lähempänä maanpintaa sulfidikerros on, sitä suurempi riski on maan kuivatuksesta johtuvalle happamoitumiselle, ja sitä todennäköisemmin alueelle suositellaan toimenpiteitä happamuuden torjumiseksi.

**Taulukko 2.** Profiilipisteiden riskiluokitus.

Luokka	Sulfidikerroksen alkamissyvyys (m)	Selite
1	0 – 1	Sulfidia esiintyy 0–1 m syvyydellä
2	1 – 1,5	Sulfidia esiintyy 1–1,5 m syvyydellä
3	1,5 – 2	Sulfidia esiintyy 1,5–2 m syvyydellä
4	2 – 3	Sulfidia esiintyy 2–3 m syvyydellä
5		Sulfidikerros kokonaan hapettunut
6		Ei hapan sulfaattimaa

**Taulukko 3.** Piikityspisteiden riskiluokitus.

Luokka	Sulfidikerroksen alkamissyvyys (m)	Selite
1	0 – 1	Sulfidia esiintyy 0–1 m syvyydellä
2	1 – 1,5	Sulfidia esiintyy 1–1,5 m syvyydellä
3	1,5 – 2	Sulfidia esiintyy 1,5–2 m syvyydellä
4	2 – 3	Sulfidia esiintyy 2–3 m syvyydellä
5		Sulfidikerros kokonaan hapettunut
6		Sulfidikerroksen alkamissyvyys ei tiedossa, ei määritetty
7		Ei hapan sulfaattimaa

## 1.2. Kartoitusaineistot ja -menetelmät

### 1.2.1. Lähtöaineisto

Tutkimuksen lähtöaineistona ja kartoituksen suunnittelun pohjatietoina käytettiin Maanmittauslaitoksen korkeusaineistoja (mm. laserkeilausaineistoja) sekä Geologian tutkimuskeskuksen maaperäkartoja (1:20 000 ja 1:250 000), turvetutkimusaineistoa ja sähkömagneettista matalalentoaineistoa

(aerosähkömagneettinen aineisto). Maastotarkastuksia keskitettiin maaperäkartan hienorakeisten ja liejupitoisten sedimenttien alueelle, ja toisaalta kallio-, moreeni- ja harjualueita voitiin sulkea pois kartoitettavan alueen ulkopuolelle. Geologian tutkimuskeskuksen turvetutkimusaineistosta hyödynnettiin turpeen paksuus ja pohjamaalajitietoja. Aerosähkömagneettisilta kartoilta tulkittiin alustavasti happamien sulfaattimaiden mahdollista esiintymistä, sillä sulfaattimaat ovat yleisesti hyviä sähköjohteita ja erottuvat siten melko hyvin maaperän sähköjohtavuutta kuvaavilta kartoilta.

### 1.2.2. Maastokartoitus ja -mittaukset

Happamien sulfaattimaiden maastokartoitus perustuu maaperäprofiilien yksityiskohtaiseen kuvaamiseen (litostratigrafia), pH-mittauksiin sekä näytteenottoon kairauspisteillä. Maaperätutkimuksia tehdään sekä maaperäpiikillä (piikityspisteet) että käsikäyttöisellä moottoritärkykairalla (profiilipisteet) (kuva 2). Yleiskartoituksessa havaintopisteitä pyrittiin tekemään kattavasti koko kartoitettavalle alueelle. Potentiaalisille happamien sulfaattimaiden esiintymisalueille (pelto-, metsä- ja suoalueet) keskitettiin enemmän havaintopisteitä.



**Kuva 2.** Vasemmalla pH-näytteenottoa maaperäpiikin näytteenottourasta. Oikealla meneillään profiilinäytteen kairaus. Kuvat: Pauliina Liwata-Kenttälä

Maaperän piikityshavainnot tehtiin pidennetyllä (2 m) maaperäkartoituspiikillä, jonka näytteenottouran pituus on 50 cm. Piikityspisteiltä kuvattiin maaperän tekstuuri, rakenteet ja väri, sekä kerrosjärjestys ja mahdollisuuksien mukaan pohjavedenpinnan taso. Maalajit määritettiin aistinvaraisesti ja nimettiin RT-luokituksen mukaisesti. Lisäksi mitattiin pH ja otettiin ja näyte pH-inkubaatiota varten. Mikäli näytemateriaalia jäi riittävästi inkubaationäytteen jälkeen, otettiin maaperänäytteitä myös alkuaineanalyysjä varten.

Profiilipisteet tehtiin käsikäyttöisellä Cobra-moottoritärkykairalla, jonka näytteenottimen halkaisija on noin 3 cm. Näytteet otettiin kolmen metrin syvyyteen asti metrin pituisissa osissa. Kairaprofiilit

valokuvattiin ja alueesta otettiin yleiskuva. Myös profiilipisteiltä kuvattiin maaperän tekstuuri, rakenteet, väri, kerrosjärjestys ja mahdollisuuksien mukaan pohjavedenpinnan taso. Maalajit määritettiin aistinvaraisesti ja nimettiin RT-luokituksen mukaisesti. pH mitattiin ja näytteet inkubaatiota ja alkuaianalyysijä varten otettiin 20 cm:n pituisissa osissa tai selkeitä maalajikerrosyksiköiden rajapintoja noudattaen.

### 1.2.3. Laboratorioanalyysit

Maaperänäytteet analysoitiin Labtium Oy:ssä (FINAS akkreditoitu laboratorio). Laboratoriossa näytteet kuivattiin, murskattiin ja liuotettiin kuningasvedessä. Sen jälkeen niistä määritettiin ICP-OES tekniikalla 31 metallia (mm. kokonaisrikkipitoisuus S(tot)%, alumiini, rauta, nikkeli). Laboratorioanalyysin perusteella pyrittiin osaltaan vahvistamaan ja täydentämään maastohavaintoja. Profiilipisteiltä valittiin keskimäärin noin kuusi näytettä analyysiin.

### 1.2.4. pH-inkubaatio

Maastossa kerätyt pH-näytteet inkuboihin Geologian tutkimuskeskuksen tiloissa (kuva 3). Inkubaatioissa maaperänäytteiden annetaan hapettua 9-19 viikkoa, välillä kostuttaen tislattulla vedellä. Hapetusjakson jälkeen näytteiden pH-arvot mitataan uudelleen ja niitä verrataan maastossa mitattuihin pH-arvoihin. Mikäli pH on laskenut neljään tai alle ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä, voidaan näytteessä todeta esiintyvän sulfideja. Inkuboitu pH osoittaa miten happamaksi maaperä voi muuttua mahdollisessa kuivatustilanteessa.



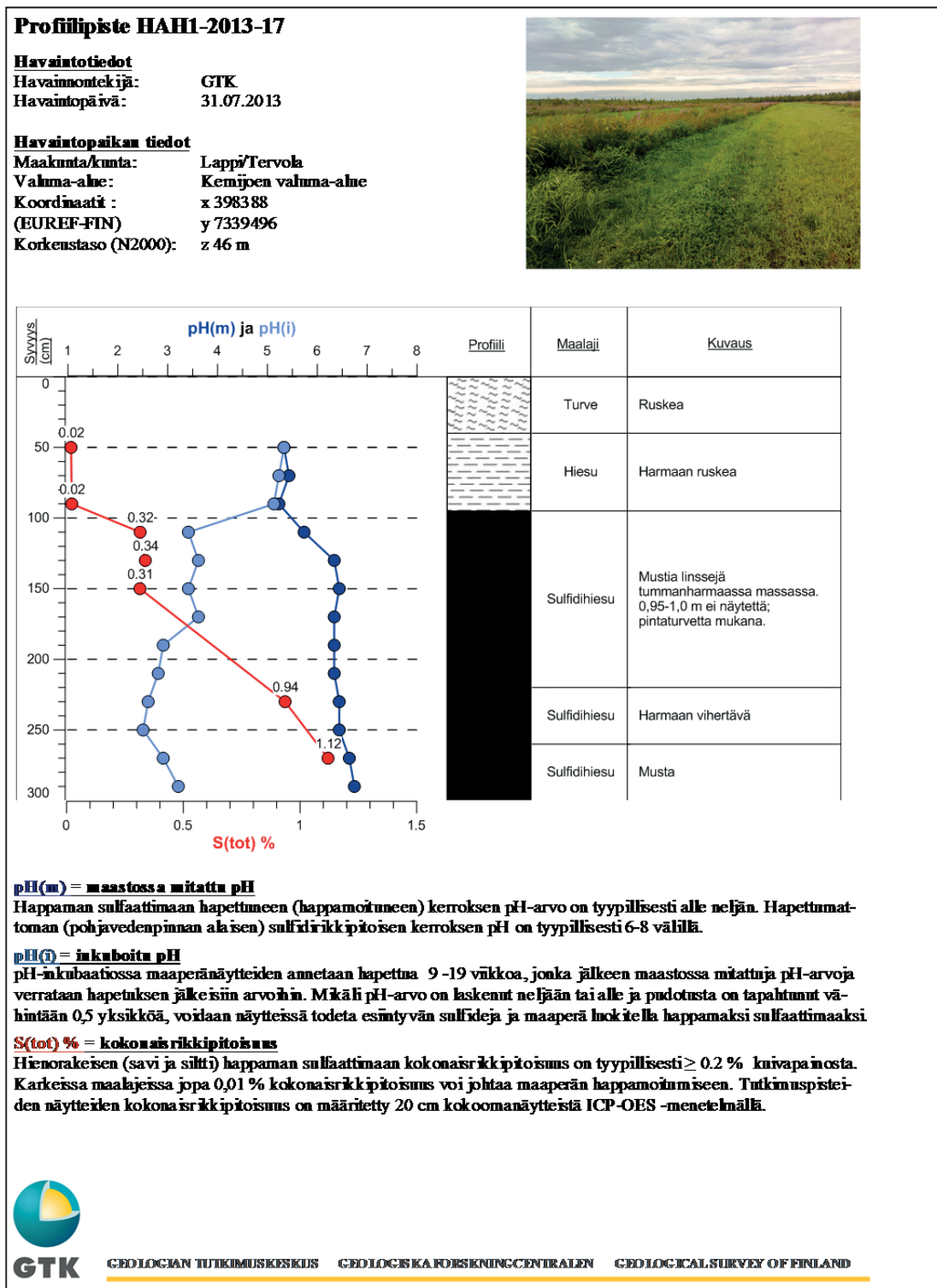
**Kuva 3.** Profiilipistenäytteiden inkubointi laboratoriossa. Kuva: Hannu Hirvasniemi

### 1.2.5. Kartta ja pistetiedot

Happamien sulfaattimaiden yleiskartan laatiminen perustuu manuaaliseen piirtoon paikkatieto-ohjelmistolla (ArcGIS). Maastohavaintojen ja analyysitietojen lisäksi hyödynnettiin aerosähkömagneettista imaginaarikomponenttia, maaperä- ja turveaineistoja sekä MML:n laserkeilausaineistoa ja korkeusaineistoa. Lopputuloksena saadaan happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyksinä.



Kartoissa esitetään happamien sulfaattimaiden esiintyminen luokiteltuna neljään esiintymisen todennäköisyyttä kuvaavaan luokkaan: suuri, kohtalainen, pieni ja hyvin pieni. Todennäköisyysluokat kuvataan aluemuotoisena tasona ja luokat erotetaan toisistaan värien perusteella. Aluetason lisäksi kartalla esitetään profiili- ja piikityspisteet luokiteltuna sulfidin esiintymissyvyyden mukaan. Lisäksi Geologian tutkimuskeskuksen www-karttapalvelussa (<http://gtkdata.gtk.fi/Hasu/>) profiilipisteisiin on linkitetty myös pdf-muotoinen pistekortti (kuva 4), jossa kuvataan pisteen taustatiedot sekä tehdyt maastohavainnot ja laboratorioanalyyseiden tulokset.



Kuva 4. Esimerkki pistekortin ensimmäisestä sivusta.

### 1.3. Tulokset ja tulosten tarkastelu

Tutkimusalueen yleiskartoituksessa tehtiin havaintoja yhteensä 1629 pisteessä. Näistä 69 oli profiilipisteitä ja 1560 piikityspisteitä. Havainnointitiheys oli noin kolme pistettä neliökilometriä kohden. pH mitattiin 1719 näytteestä ja monimetallianalyysiin lähetettiin 438 näytettä. Taulukossa 4 on esitetty valuma-aluekohtaiset havaintopistemäärät ja havainnointitiheydet.

**Taulukko 4.** Havaintopisteet ja havainnointitiheydet valuma-alueittain.

Valuma-alue	Pinta-ala (km <sup>2</sup> )	Pisteitä / km <sup>2</sup>	Profiilipisteet	Piikityspisteet
Tornionjoki	1 642	3,2	22	499
Kemijoki	2 352	3,5	27	646
Kaakamojoki	470	3,2	9	139
Simojoki	654	3,6	6	177
Perämeren rannikkoalue	455	4,4	5	99
<b>Yhteensä</b>	<b>5 573</b>	<b>3,4</b>	<b>69</b>	<b>1560</b>

Raportissa esitetään muutamia eri valuma-alueille tyypillisiä havaintopisteitä. Yksityiskohtaiset kuvaukset kaikista 69 profiilipisteestä pistekortteina, havaintopisteiden sijainti sekä happamien sulfaattimaiden levinneisyyttä kuvaava kartta ovat tarkasteltavissa Geologian tutkimuskeskuksen karttapalvelussa <http://gtkdata.gtk.fi/Hasu/>. Kartta on laadittu mittakaavassa 1:250 000.

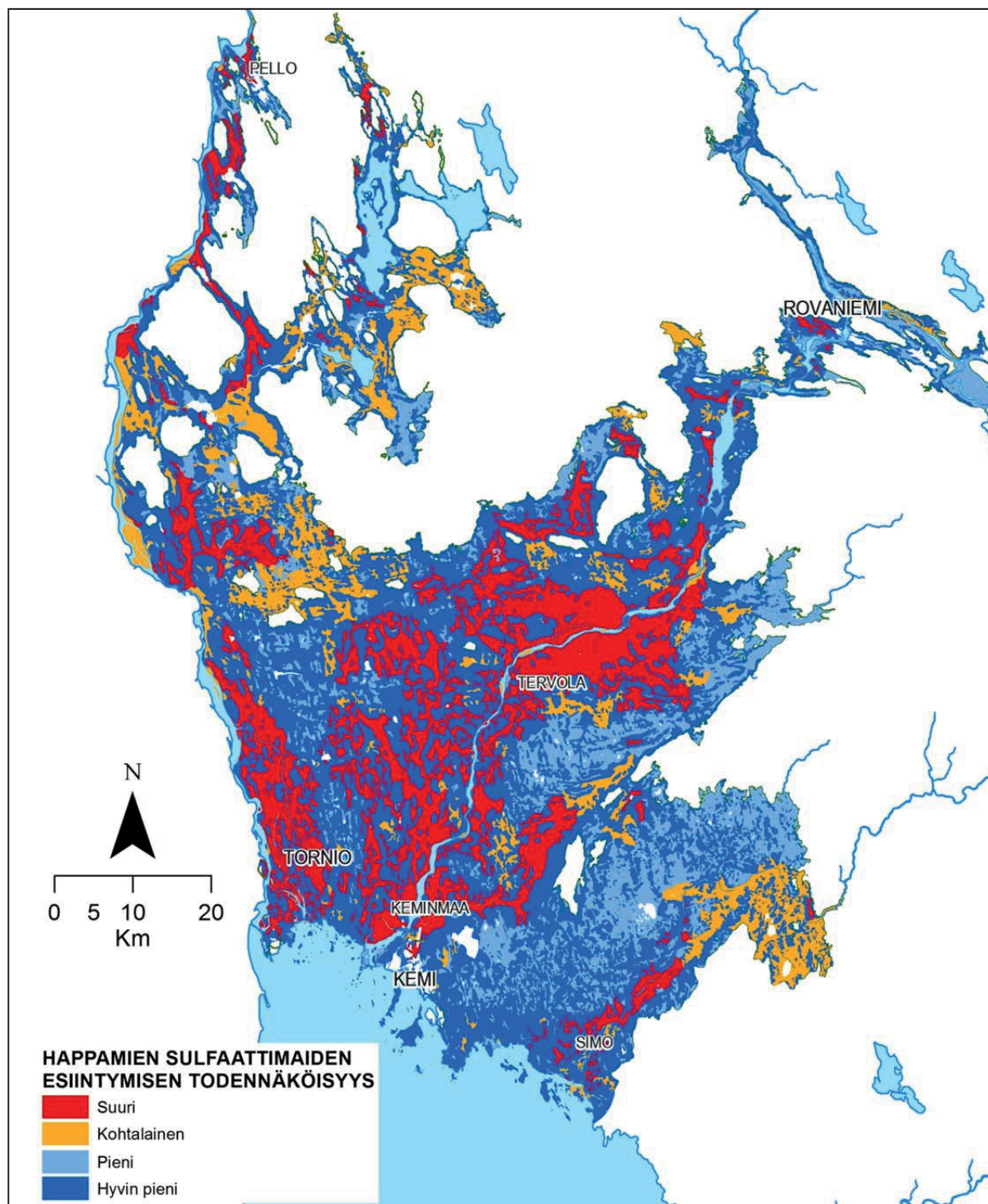
#### 1.3.1. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen

Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys ilmenee kuvan 5 kartasta. Yleiskatsauksena voidaan todeta, että happamia sulfaattimaita esiintyy eniten suurissa jokilaaksoissa sekä niiden sivuomien varrella. Tervolan Louen alueella on laaja yhtenäinen suuren riskin alue, jota tullaan jatkossa tutkimaan lisää. Alueella on laajoja suoalueita, joiden pohjasedimenttien sulfidipitoisuudesta ei ole täyttä varmuutta. Jokilaaksossa Louelta etelään on paikoin useiden metrien paksuisia lähes mustia sulfidisedimenttejä.

Toinen lisätutkimuksia vaativa alue on Perämereen laskeva Viantienjokivarsi Simon ja Kemin kunnanrajan läheisyydessä. Alue kartoitettiin projektin alkuvaiheessa, jolloin karkearakeiset lajittuneet alueet jätettiin huomioimatta (ks. kappale 1.1.3.). Nykyisen kartoitusmenetelmän mukaan myös hiekka-alueilta otetaan näytteitä pH:n määrittämistä varten.

Rikkipitoiset sedimentit ovat tutkimusalueella usein rakenteeltaan massiivista ja väriltään tasaisen mustaa tai tummanharmaata hiesua tai hienohietaa (kuva 6). Paikoin sulfidi esiintyy myös kerroksellisina tai linssimäisinä saostumina (kuvat 7 ja 8). Musta tai tummanharmaa väri johtuu sedimentissä esiintyvistä rautasulfideista (FeS ja FeS<sub>2</sub>). Sulfaattimaa-alueilla kairaukset päättyivät yleensä kolmen metrin syvyydellä tummaan sulfidihiesuun. Paikoin sulfidisedimenttien alapuolella, alle kolmen metrin syvyydellä, tavattiin karkeampia kerrosyksiköitä (hieta, hiekka, moreeni). Monin paikoin sulfaattimaita peittivät vaihtelevan paksuiset turvekerrokset tai karkeammat lajittuneet maakerrokset. Sulfidisedimenttien kokonaispaksuutta ei voida arvioida, sillä kolmen metrin kairausyvydellä ei useinkaan saavutettu sulfidikerroksen alarajaa. Useimmiten sulfidisedimentit ovat kuitenkin vähintään 1,5 metrin paksuisia.





**Kuva 5.** Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys tutkimusalueella. Kartta: © Geologian tutkimuskeskus. Pohjakartat: ©Maanmittauslaitos.



**Kuva 6.** Esimerkki massiivisesta eli rakenteettomasta sulfidihiesusta tietyömaaleikkauksessa Rovaniemellä. Maakerroksen pinta on hapettunut harmaaksi, mutta lapiolla kaivettaessa alta paljastuu musta hapettumaton sulfidi. Kuva: Pauliina Liwata-Kenttälä



**Kuva 7.** Raidallista sulfidihiesua vesijohtokaivannon pohjalla Simossa. Kuva: Pentti Kouri





**Kuva 8.** Sulfidiraitoja kairanäytteissä. Kuva: Pentti Kouri

Taulukossa 5 on listattuna sulfidin esiintymistodennäköisyysluokkien prosentuaaliset osuudet kartoitetusta pinta-alasta valuma-alueittain. Happamien sulfaattimaiden pinta-ala arvioidaan laskemalla suuren ja kohtalaisen esiintymisen todennäköisyyden luokat yhteen ja jättämällä pienen ja hyvin pienen esiintymisen todennäköisyysluokat huomioimatta.

**Taulukko 5.** Happamien sulfaattimaiden esiintymistodennäköisyysluokkien prosentuaaliset osuudet kartoitetulla alueella ja arvio happamien sulfaattimaiden määrästä valuma-alueittain.

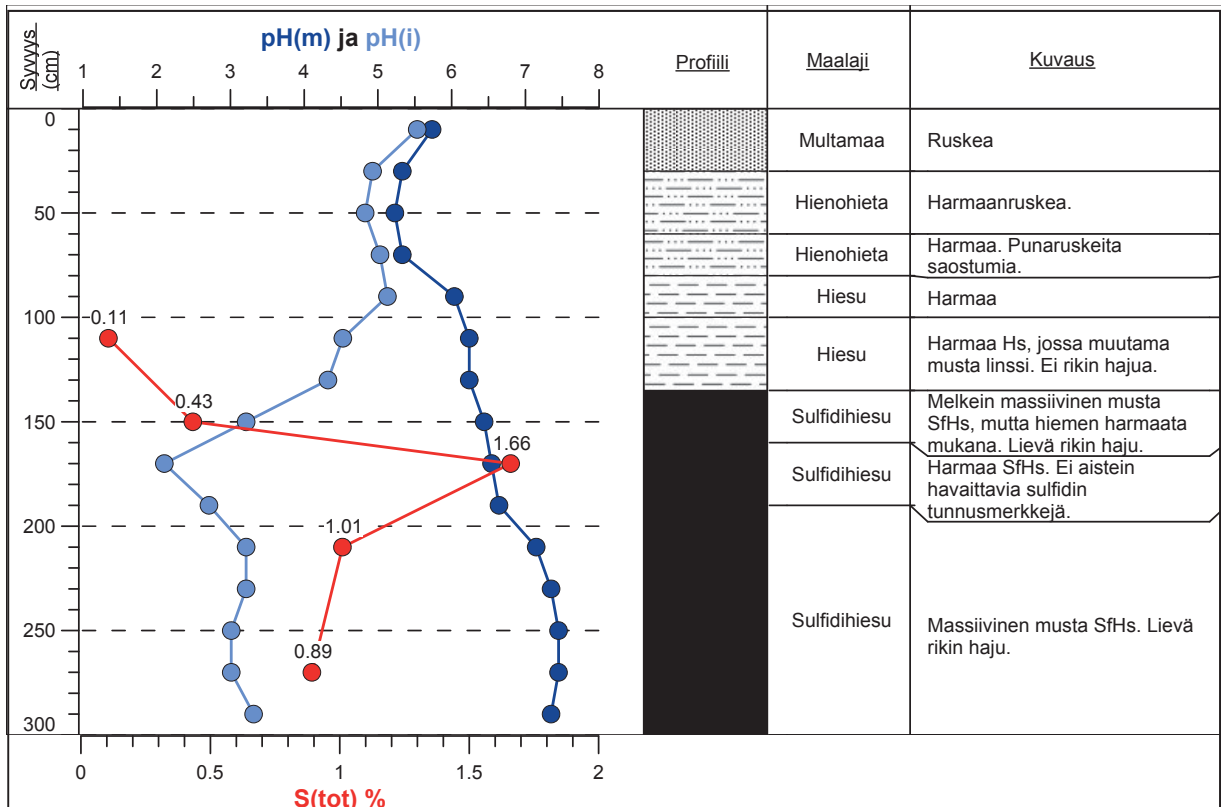
Valuma-alue	Tornionjoki	Kemijoki	Kaakamojo- ki	Simojoki	Perämeren rannikkoalue
	<b>1 642 km<sup>2</sup></b>	<b>2 352 km<sup>2</sup></b>	<b>470 km<sup>2</sup></b>	<b>654 km<sup>2</sup></b>	<b>455 km<sup>2</sup></b>
	%-osuus pinta-alasta	%-osuus pinta-alasta	%-osuus pinta-alasta	%-osuus pinta-alasta	%-osuus pinta-alasta
<b>Suuri</b>	20,5	27,5	35,8	5,6	6,9
<b>Kohtalainen</b>	18,2	7,1	5,0	17,2	2,2
<b>Pieni</b>	9,7	16,1	4,4	33,1	18,5
<b>Hyvin pieni</b>	51,6	49,4	54,8	44,1	72,5
<b>Sulfaattimaiden osuus kartoitetulla alueella (arvio)</b>	38,7	34,5	40,8	22,8	9,1

Seuraavassa käydään läpi sulfaattimaiden esiintymistä ja esitetään yleiskuva maalajien kerrosjärjestyksestä valuma-alueittain.

### Tornionjoen valuma-alue

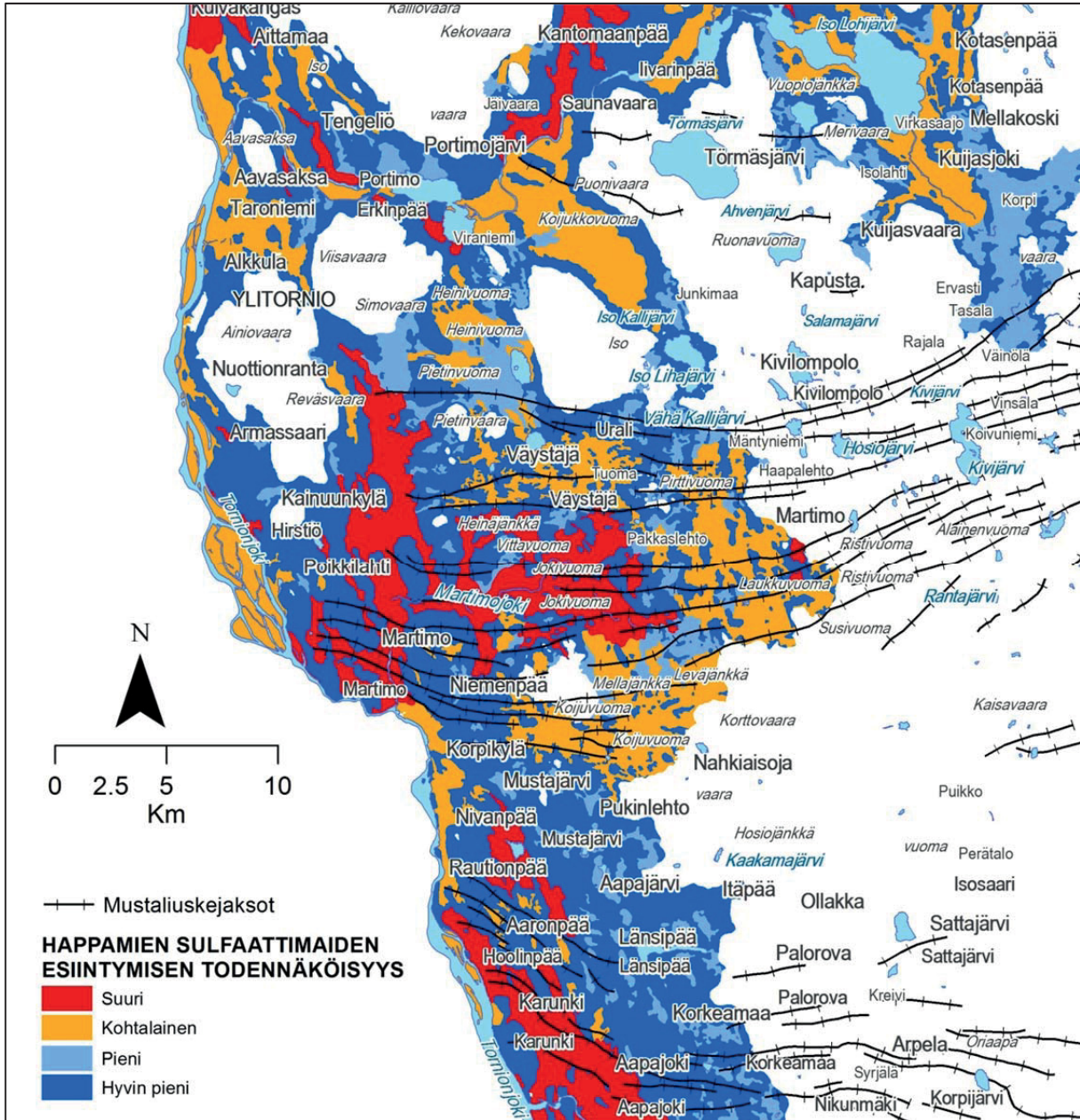
Tornionjoen valuma-alueella happamia sulfaattimaita esiintyy laajimmin Tornionjoen ja Liakanjoen jokilaaksossa jokisuulta Karunkiin noin 40 metrin korkeustasoon saakka. Sulfidihiesujen päällä voi esiintyä karkeampia jokikerrostumia. Kuvassa 9 on esimerkki tyypillisestä alajuoksun profiilipisteestä. Aavasaksan pohjoispuolella happamia sulfaattimaita esiintyy lähinnä yksittäisillä alueilla vaarojen välisissä painanteissa 85 m korkeustasolla saakka. Pohjoisimmillaan sulfidipitoisia sedimenttejä tavattiin Pellon alueella, jopa lähes 90 m korkeustasolta saakka (88,8 m).

Tornionjoen valuma-alueen kartoitetusta pinta-alasta lähes 40 % on happamia sulfaattimaita (taulukko 5). Niistä 20 % sijaitsee Corine maanpeiteluokituksen 2012 (CLC2012) mukaisilla maatalousalueilla, 70 % metsät, avoimet kankaat ja kalliomaat -luokan alueilla ja 7 % kosteikot ja avoimet suot -luokan alueilla. Rakennetut alueet -luokan alueista noin 2 % on happamia sulfaattimaita.



**Kuva 9.** Tyypillinen havaintopiste Tornionjokivarren alajuoksulta. Ohuen multamaakerroksen alla on harmaata hienoahiettaa ja hiesua. Puolentoista metrin syvyydeltä alkaa mustanharmaa sulfidihiesu, joka vaihtuu kahdessa metrissä massiiviseen mustaan lievästi rikiltä haisevaan sulfidihiesuun. Sulfidikerroksen rikkipitoisuus vaihtelee välillä 0,4 – 1,7 %.

Ylitornion ja Tornion rajalla tutkimusalueelta halkoo itä-länsi-suuntainen mustaliskejakso (kuva 10). Martimon seudulla vaihtelevan paksuisen turvekerroksen alla esiintyy hiekköjä, joiden pH laskee inkubaatiossa jopa alle kolmen ( $\text{pH} = 2,6$ ). Näiden hiekköjen sulfidi voi olla peräisin mustaliuskeista. Suomen mustaliuskeet ovat noin kaksi miljardia vuotta vanhoja hiiltä ja rikkiä sisältäviä kiviä, jotka ovat alun perin syntyneet merenpohjaan kerrostuneista mätäliejuista. Mustaliuskeet rapautuvat muita kivilajeja helpommin, ja rapautumisen seurauksena ympäristöön vapautuu metalleja ja rikkihappoa. (Loukola-Ruskeeniemi 1999, Räisänen ja Nikkarinen 2000, Virtanen ja Lerssi 2006, Lavergren ym. 2009)



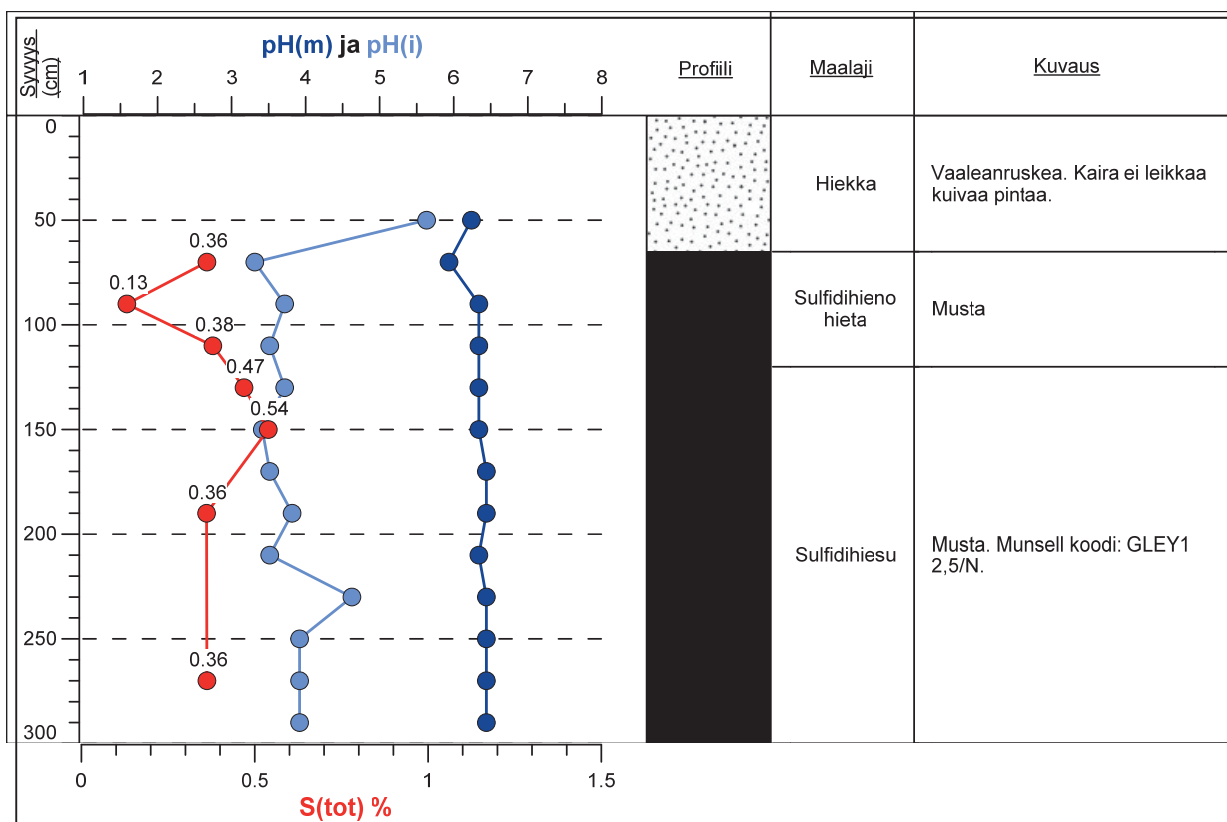
**Kuva 10.** Mustaliuskejaksojen sijainti Tornionjoen valuma-alueen tutkimusalueella. Kartta: © Geologian tutkimuskeskus. Pohjakartat: ©Maanmittauslaitos.



## Kemijoen valuma-alue

Kemijoen valuma-alueella happamia sulfaattimaita esiintyy laajimmin Akkunus- ja Kemijokilaaksossa sekä Kemijoen sivujokien varrella noin 60 m korkeustasolle saakka. Kemin ja Keminmaan alueella jokikerrostumien alla tummat massiiviset sulfidikerrostumat ovat maalajiltaan hiesua tai hienoa hietaa (kuva 11). Jokivartta pohjoiseen Louen alueella sulfidihiesuja voi olla usean metrin paksuudelta (Johansson ja Kujansuu 2005). Louen alueen sulfidien kerrostumisallas rajautuu pohjoisessa kumpumoreenikenttään. Tervolan pohjoispuolella suuren todennäköisyyden luokkia esiintyy yksittäisinä alueina vaarojen välisissä painanteissa noin 60 – 90 metrin korkeustasolla.

Kemijoen valuma-alueen kartoitetusta pinta-alasta arviolta 35 % on happamia sulfaattimaita. Niistä 11 % sijaitsee Corine maanpeiteluokituksen 2012 (CLC2012) mukaisilla maatalousalueilla, 78 % metsät, avoimet kankaat ja kalliomaat -luokan alueilla ja 8 % kosteikot ja avoimet suot -luokan alueilla. Rakennetut alueet -luokan alueista noin 2 % on happamia sulfaattimaita.

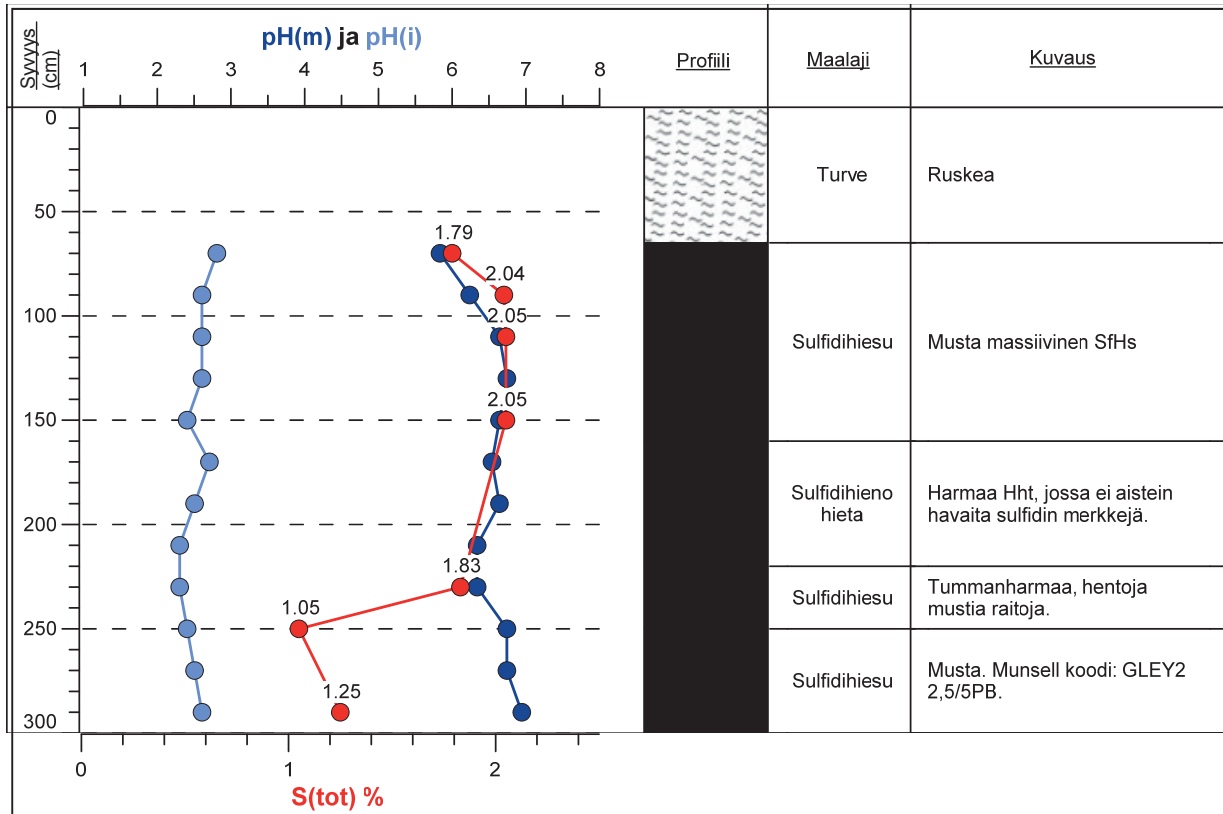


**Kuva 11.** Havaintopiste Kemijokivarresta. Pinnassa on puolen metrin vahvuudelta jokihiekkaa, jonka alla on mustaa massiivista sulfidihiesua.

## Kaakamojoen valuma-alue

Kaakamojoen valuma-alueella happamia sulfaattimaita esiintyy yleisesti Kaakamo- ja Tieksonjoen varrella noin 40 metrin korkeustasolle saakka. Arpelan seudulla tutkimusalueetta halkoo itä-länsisuuntainen mustaliuskejakso. Vyöhykkeen pohjoispuolella happamia sulfaattimaita esiintyy myös yli 50 metrin korkeustasolla. Vaihtelevan paksuisten turvekerrosten alla esiintyy sekä massiivisia että raidallisia sulfidihiesuja (kuva 12).

Kaakamojoen valuma-alueen kartoitetusta pinta-alasta noin 40 % on happamia sulfaattimaita. Niistä 14 % sijaitsee Corine maanpeiteluokituksen 2012 (CLC2012) mukaisilla maatalousalueilla, 77 % metsät, avoimet kankaat ja kalliomaat -luokan alueilla ja 8 % kosteikot ja avoimet suot -luokan alueilla. Rakennetut alueet -luokan alueista noin 1 % on happamia sulfaattimaita.



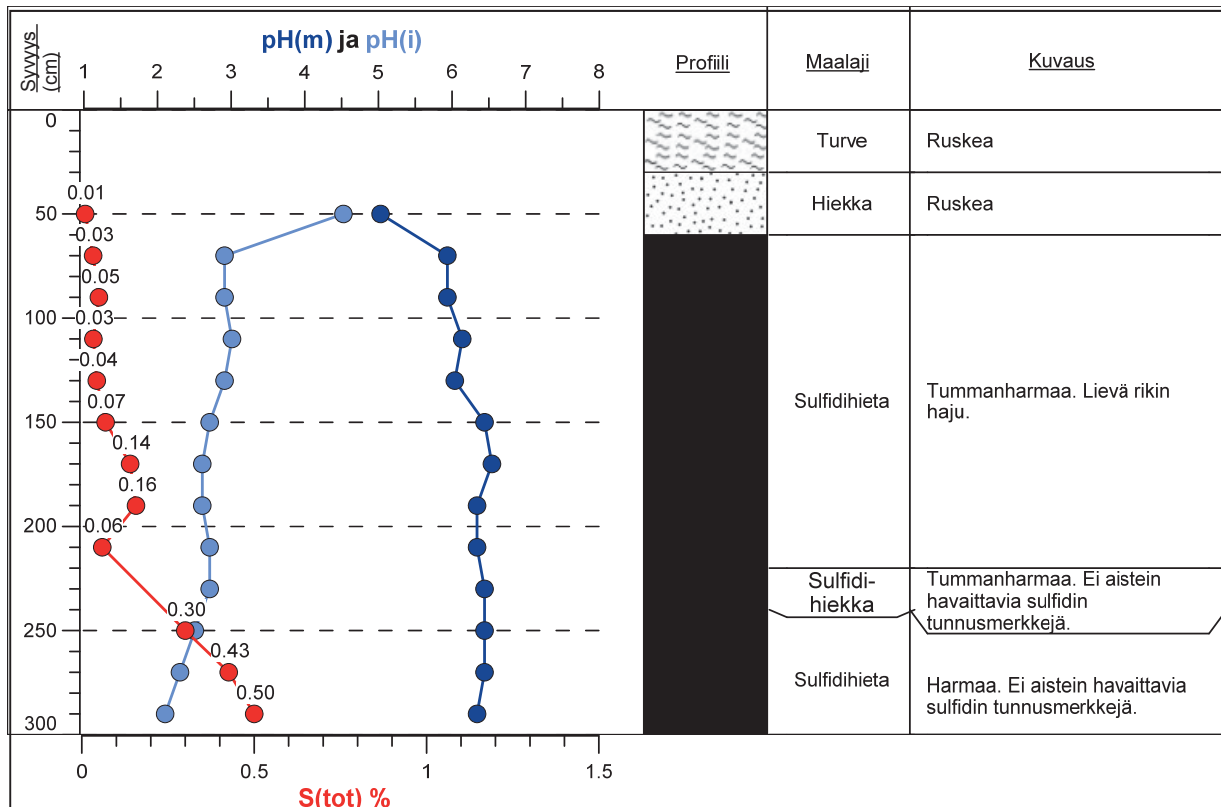
**Kuva 12.** Tyypillinen havaintopiste Kaakamojokivarresta. Ohuen turvekerroksen alla on sekä mustia massiivisia että tummanharmaaraidallisia sulfidihiesuja. Rikkipitoisuus on useassa kerroksessa yli 2 %.

### Simojoen valuma-alue

Simojokivarresta ohuen turvekerroksen alla sulfidisedimentit ovat maalajiltaan tyypillisesti karkeita jokikerrostumia (hieta, hiekka) jopa kolmen metrin syvyyteen saakka (kuva 13). Happamat hiekat ja hiedat ovat usein haastavia tunnistaa maastossa aistinvaraisesti, sillä niiden väri tai muut fysikaaliset ominaisuudet eivät välttämättä poikkea tavallisista hiekoista tai hiedoista lainkaan. Ne voivat olla väriltään tummia tai mustia, mutta tyypillisimmin ne ovat vaalean harmaita tai tavallisen ruskeita. Rikin hajua ei useinkaan erota alhaisen rikkipitoisuuden vuoksi. Happamissa hiekkakerroksissa esiintyy usein kovia punaruskeita rautasaostumia.

Happamien sulfaattimaiden suuren todennäköisyyden alue on rajautunut Simojokivarteen Onkalon ja Soikon väliselle alueelle noin 50 metrin korkeustason alapuolelle. Yksittäisiä suuren riskin alueita on jokivartta hieman pohjoiseen, sekä tutkimusalueen koilliskulmassa Yli-Kärpän Maaninkalehdossa, jossa hapanta sulfaattimaata esiintyy jopa 90 metrin korkeustasolla. Yli-Kärpän laajan kohtalaisen riskin alueen luokitus johtuu siitä, että soiden pohjalla on todennäköisesti happamia hiekkokkoja.

Simojoen valuma-alueen kartoitetusta pinta-alasta noin 20 % on happamia sulfaattimaita. Niistä 9 % sijaitsee Corine maanpeiteluokituksen 2012 (CLC2012) mukaisilla maatalousalueilla, 65 % metsät, avoimet kankaat ja kalliomaat -luokan alueilla ja 25 % kosteikot ja avoimet suot -luokan alueilla. Rakennetut alueet -luokan alueista vain 0,1 % on happamia sulfaattimaita.

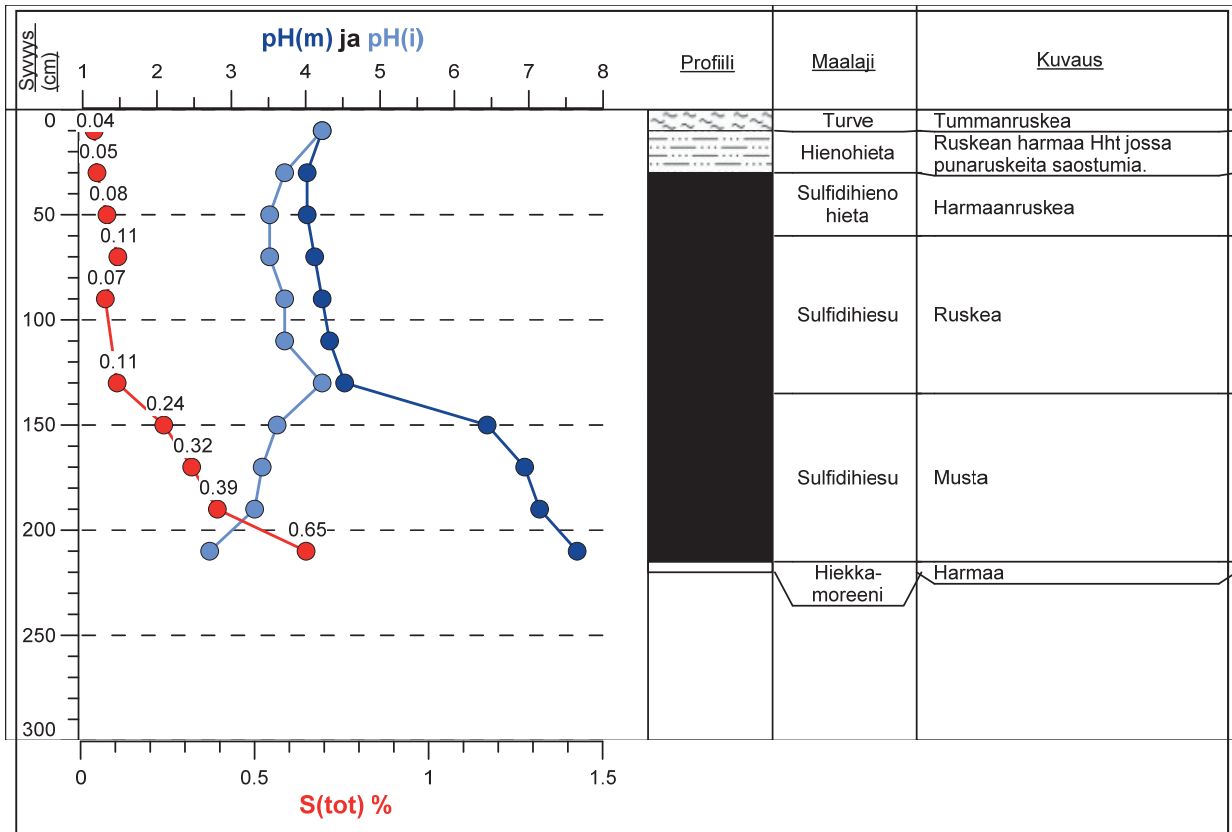


**Kuva 13.** Tyypillinen havaintopiste Simojokivarresta. Ohuen turvekerroksen alla on karkeita jokisedimenteitä. Hiekka- ja hietakerrokset vuorottelevat, ja kairaus on päättynyt 3 metrin syvyydellä harmaaseen sulfidihietaan. Sulfidia ei ole tunnistettu aistinvaraisesti, mutta pH-inkubaatioissa näytteen pH on laskenut alle kolmen. Sulfidihiedan ja -hiekkan rikkipitoisuus on alhainen ja ylittää 0,2 %:n raja-arvon vasta 2,5 metrin alapuolella.

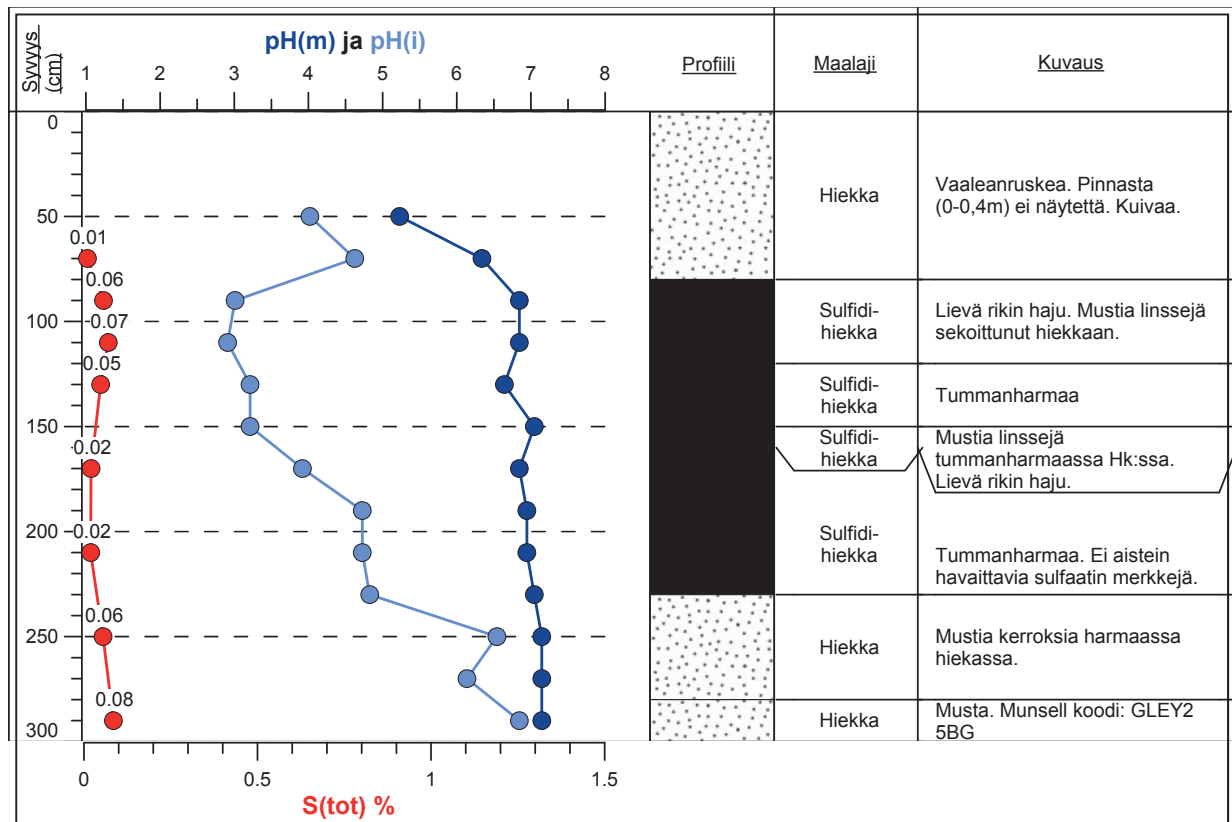
### Perämeren rannikkoalue

Perämeren rannikkoalueella happamia sulfaattimaita esiintyy jokisuistoissa 20 metrin korkeustason alapuolella. Tornionjoen suistossa sulfidimaalajit ovat pääasiassa hiesua ja hienohietaa (kuva 14) kun taas Kemi- ja Simojokien suistoissa myös pinnan karkeat jokikerrostumat (hiekat ja hiedat) sisältävät sulfidia (kuva 15).

Perämeren rannikkoalueen kartoitetusta pinta-alasta noin 10 % on happamia sulfaattimaita. Niistä 13 % sijaitsee Corine maanpeiteluokituksen 2012 (CLC2012) mukaisilla maatalousalueilla, 71 % metsät, avoimet kankaat ja kalliomaat -luokan alueilla ja 3 % kosteikot ja avoimet suot -luokan alueilla. Rakennetut alueet -luokan alueista 11 % on happamia sulfaattimaita.



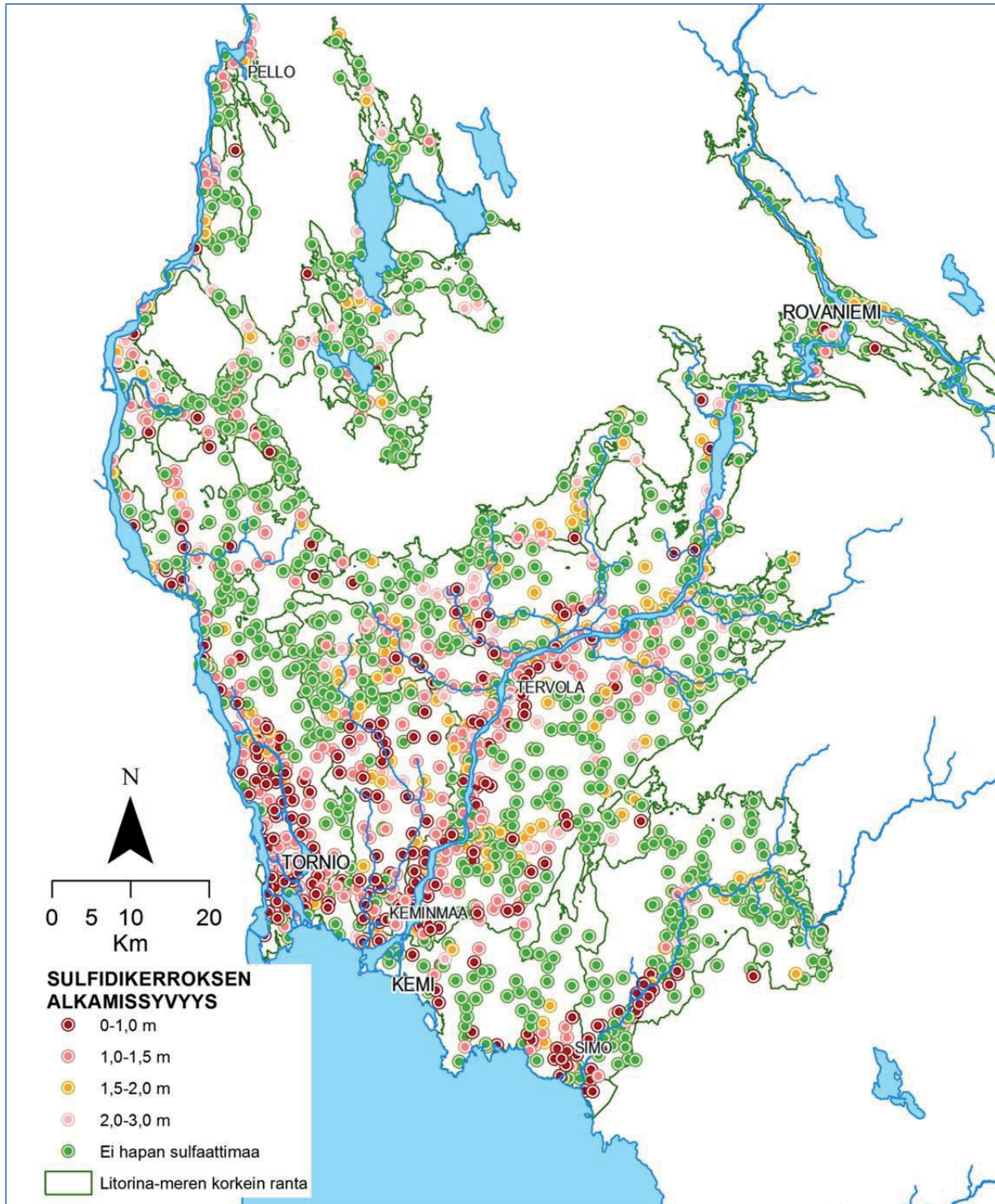
**Kuva 14.** Tyypillinen havaintopiste Tornionjoen suistosta. Sulfidisedimentit ovat hienorakeisia syvänveden sedimenttejä (hiesu, hienohieta). Havaintopisteen maastossa mitattu pH on lähellä arvoa 4 aina 1,3 metrin syvyydelle saakka, minkä alapuolella pH nousee yli kuuden. Tällä kohden on sulfidisedimentin hapettumisraja.



**Kuva 15.** Tyypillinen havaintopiste Kemijoen suistosta. Sulfidisedimentti ovat maalajiltaan hiekkaa, jonka rikkipitoisuus on pieni (alle 0,1%), mutta jonka pH on laskenut inkubaatiossa noin kolmeen.

### 1.3.2. Sulfidin esiintymissyvyys havaintopisteillä

Havaintopisteet luokiteltiin sulfidin esiintymissyvyyden mukaan. Luokitteluperusteet on esitelty taulukoissa 2 ja 3 luvussa 1.1.3. Tutkimusalueen luokitellut havaintopisteet on esitetty kartalla kuvassa 16. Mitä lähempänä maanpintaa sulfidikerros on (punaiset pisteet), sitä suurempi riski on maan kuituksesta johtuvalle happamoitumiselle, ja sitä todennäköisemmin alueelle suositellaan toimenpiteitä happamuuden torjumiseksi.



**Kuva 16.** Sulfidikerroksen alkamissyvyys havaintopisteillä. Kartta: © Geologian tutkimuskeskus. Pohjakartat: ©Maanmittauslaitos.



Havaintopisteitä kartoitettiin yhteensä 1629 kappaletta ja niistä lähes puolessa (46 %) esiintyi sulfideja. Taulukossa 6 on esitetty sulfidihavaintopisteet syvyyden mukaan luokiteltuna valuma-alueittain. Samassa taulukossa on myös niiden havaintopisteiden lukumäärät, joilla ei havaittu sulfidimaalajeja.

Sulfideja esiintyi lähellä maan pintaa (luokka 1) koko tutkimusalueella. Tornionjoen valuma-alueella 33 % sulfidihavaintopisteistä oli alle metrin syvyydellä maanpinnasta, Kemijoen valuma-alueella 24 % ja Kaakamojoen valuma-alueella 36 %. Eniten luokan 1 sulfidihavaintoja oli Simojoen valuma-alueella (51 %) ja Perämeren rannikkoalueella (53 %). Muihin valuma-alueisiin verrattuna Simojoen luokan 1 suuri suhteellinen osuus voi selittyä ohuen turvekerroksen alla laajalti esiintyvistä karkeista jokikerrostumista, jotka ovat alueella tyypillisesti happamia. Perämeren rannikko puolestaan on kuroutunut jääkauden jälkeen merestä viimeisimpänä, joten maan pinnan turvekerrokset eivät ole ehtineet kehittyä yhtä paksuiksi kuin kauempana merenrannasta.

Luokan 1 pisteillä sulfidikerros sijaitsee selvästi viljelys- ja metsätalousmaiden keskimääräisen kuivatussyvyyden yläpuolella. Luokka kertoo näillä kohteilla merkittävästä maankäyttöön ja kuivatukseen liittyvästä happamoitumisriskistä mikäli mahdollista kuivatusta ei kontrolloida.

Luokan 2 havaintopisteillä sulfidia esiintyy 1–1,5 metrin syvyydellä, ja valuma-alueittain tähän luokkaan kuuluvia kohteita oli seuraavasti: Tornionjoki 43 %, Kemijoki 34 %, Kaakamojoki 33 %, Simojoki 22 % ja Perämeren rannikko 32 %. Nämä kohteet ovat osittain keskimääräisen kuivatussyvyyden yläpuolella ja siten melko korkean happamoitumisriskin alueilla.

Koko tutkimusalueella sulfidia esiintyi 0 – 1,5 metrin syvyydellä yhteensä 506 kohteella eli 67 % sulfidihavaintopisteistä kuuluu luokkiin 1 tai 2. Nämä kohteet ovat keskittyneet suurimpiin jokilaaksoihin ja lähelle Perämeren rantaa. Syvemmällä (luokat 3 ja 4) sulfidia esiintyy kauempana pääuomista kuten Pello-Ylitornion järviolueella ja Kemijoen sivujokien latvoilla, jotka Litorina- ja Ancyclus-merivaiheen aikana olivat saarten suojissa (nykyään Vammavaara, Pisavaara, Kätkävaara).

**Taulukko 6.** Sulfidien esiintymissyvyys havaintopisteillä valuma-alueittain

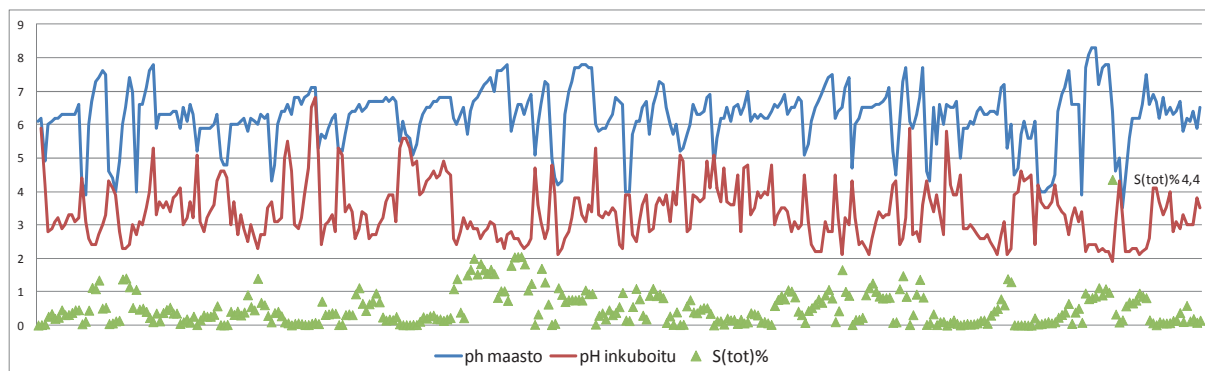
Luokka	Sulfidikerroksen alkamissyvyys	Tornionjoki		Kemijoki		Kaakamojoki		Simojoki		Perämeren rannikkoalue	
		kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%	kpl	%
1	0–1,0 m	74	32.9	79	23.8	33	35.9	26	51.0	28	52.8
2	1,0–1,5 m	96	42.7	112	33.7	30	32.6	11	21.6	17	32.1
3	1,5–2,0 m	28	12.4	86	25.9	19	20.7	10	19.6	5	9.4
4	2,0–3,0 m	27	12.0	55	16.6	10	10.9	4	7.8	3	5.7
	Ei hapan sulfaattimaa	296		341		56		132		51	

### 1.3.3. pH-mittaukset ja rikkianalyysit

Kuvan 17 kaaviossa on esitettynä havaintopisteistä otettujen näytteiden pH-arvot ja rikkipitoisuudet. Kaaviossa on kuvattuna vain ne näytteet, joista on määritetty rikkipitoisuus. Valtaosalla havaintopisteistä maastossa mitattu pH-arvo on suurempi tai yhtä suuri kuin 6, eli ne ovat toistaiseksi hapettumattomassa tilassa. Yhdeksän näytteen (7 havaintopisteessä) maasto-pH-arvo on pienempi tai yhtä suuri kuin neljä, eli näissä tapauksissa sulfidikerros on jo päässyt hapettumaan. Alimmillaan maasto-pH on profiilipisteellä HAH1-2014-45 (pH = 3,5) Tornionjokivarressa noin puolen metrin syvyydellä maanpinnasta (korkeustasolla 11 m mpy). Kaikista havaintopisteistä 23 kpl on sellaisia, joiden maasto pH ≤ 4.

Sulfidikerroksista otetuissa näytteissä pH laskee inkubaatiossa voimakkaasti, usein jopa lähelle arvoa 2. Inkuboitu pH-arvo antaa viitteitä miten alas maan pH voi mahdollisessa kuivatustilanteessa

laskea. Luonnontilassa lasku ei kuitenkaan ole aivan niin suuri johtuen maaperän luonnollisesta vaihtelusta (Suomela 2011). Kuvasta 17 voidaan todeta, että mitä enemmän näytteessä on rikkiä, sen alemmas pH inkubaation jälkeen laskee. Alimmillaan pH inkubaation jälkeen laskee piikityspisteellä HAH1-2014-33: 1-1,3 m syvyydellä maanpinnasta maasto-pH = 6,4, inkuboitu-pH = 1,9 ja S(tot)% = 4,4 %. Rikkipitoisuus tällä näytteellä on mitatuista ylivoimaisesti suurin.



**Kuva 17.** Havaintopisteistä otettujen näytteiden maastossa mitatut ja inkuboidut pH-arvot sekä rikkipitoisuudet.

## 2. Toimenpidesuosituksset maataloudelle

Antti Hannukkala

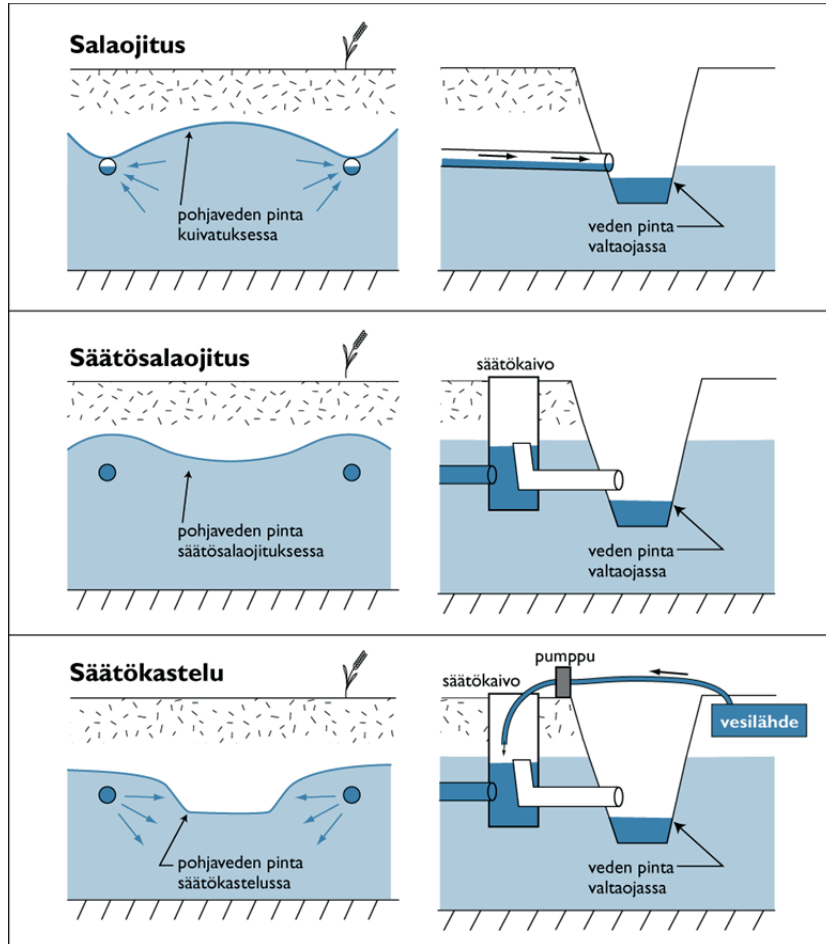
Happamalla sulfaattimailla kannattavan viljelyn ja pellolta tulevan happaman valumaveden estämisen yhteensovittaminen on haasteellista. Osa pelloista on ollut viljelyssä hyvin pitkään, osa on hiljattain raivattuja sekä mahdollisesti samalla salaojitettuja. Myös salaojitus peltojen peruskuivatuksessa on lisääntynyt. Lähellä maan pintaa olevan happaman maan lisäksi peltomaan viljelyhistoria pitää ottaa huomioon, minkälaisia ratkaisuja käytetään maatalouskäytön ja vesistöjen suojelun yhteensovittamisessa.

Happamat sulfaattimaat ovat periaatteessa hyviä viljelymaita, kunhan pintamaan kalkituksesta pidetään huolta. Kasvintuotannolle ongelmia syntyy pH:n laskiessa kasvilajista riippuen alle pH 5 – 6. Meri-Lappi on karjatalousaluetta, jossa pääviljelykasvi on nurmi. Pintamaan kalkituksella ei ole vaikutusta pohjamaan happamuuteen eikä vesistöihin valuvan salaoja- tai piiriojaveden happamuuteen. Haastateltujen viljelijöiden mukaan erityistä haittaa happamasta pohjamaasta tuli ojitusten kunnostustöiden yhteydessä. Esimerkiksi jos piiriojien perkauksessa pellolle nostetut pohjamaakasveja ei heti levitetty ja kalkittu, oli tuloksena täysin kasvamattomia läikkeitä sekä lohkon satotason lasku. Niinpä kunnostusojitusten yhteydessä olisikin huolehdittava maamassojen välittömästi levittämisestä, kalkitsemisesta ja muokkaamisesta pintamaahan. Toinen vaihtoehto on massojen siirtäminen pois pellolta, jotta peltolohkon kasvukunto säilyisi ennallaan. Tämä kuitenkin siirtää ympäristökuormitusriskin toiseen paikkaan.

Peltoviljelyssä valumavesien hallintaan voidaan käyttää säätösalojitusta ja säätökastelua. Näiden menetelmien tarkoituksena on pitää pohjamaa märkänä ja siten estää sitä hapettumasta. Säätösalojitus toimii lumen sulassa ja sateiden aikana kuten tavanomainen salaojitus. Muina aikoina ojustosta ulosvirtausta rajoitetaan säätökaivoilla. Kaivoissa olevan ylivirtausputken avulla vedenpinta kaivossa säädetään halutulle tasolle. Säätösalojitus toimii parhaiten maille, joiden kaltevuus on pieni, alle 2 %. Säätösalojitus toimii parhaiten happamalla sulfaattimailla parhaiten, jos valtaojan ja pellon väliin asetetaan muovikalvo, joka estää veden suodattumisen suoraan pellosto valtaojaan.

Säätösalojituksella saadaan seuraavat hyödyt verrattuna tavanomaiseen salaojitukseen. Kokonaisvalunta pienenee, jolloin ravinnehuuhtoutumat vähenevät, nitraattityppi muuttuu typpikaasuksi, happamuuden muodostuminen ja metalliyhdisteiden huuhtoutuminen happamalla sulfaattidimailla vähenee, ruostetta syntyy vähemmän, huuhtoutumisen ajankohtaa voidaan siirtää sekä sadon määrä lisääntyy, että sen laatu paranee.

Säätösalojituksella ei kuitenkaan voida kesän kuivuusjaksojen aikana estää pohjamaan sulfidikerrosten hapettumista. Ojastoihin voidaan tällöin pumpata vettä hapettumista estävän riittävän vesikorkeuden ylläpitämiseksi. Pumppaaminen edellyttää veden saantia joko valtaojista, lammista, joista tai järviestä, jotka ovat riittävän lähellä. Lisäveden pumppaamista kutsutaan säätökasteluksi. Säätökastelun toimiminen edellyttää muovikalvoa pellon ja valtaojan väliin estämään veden virtauksen pois pellolta. Laajasti valuma-alueella toteutettuna näillä toimenpiteillä voitaneen vesistöihin tulevia happamuuspiikkejä vähentää merkittävästi.



**Kuva 18.** Salaojituksen, säätösalaojituksen ja säätökastelun periaatteet. (Maaseutuverkosto 2009)

Korkeaa pohjavettä sietävien kasvien viljely, joihin useimmat Perämeren kaaren alueella yleisesti viljelyssä olevat nurmikasvit kuuluvat, auttaneen pohjamaan happamoitumisen ehkäisyssä. Kuitenkin on pidettävä huolta peltojen riittävästä kantavuudesta, jotta peltojen hyödyntäminen on mahdollista.

Jotta näitä vesiensuojeluun tähtäviä toimenpiteitä voidaan kattavasti toteuttaa, on tukijärjestelmiä kehitettävä siten, että viljelijöillä on edellytykset toteuttaa ne mahdollisimman suurilla pinta-aloilla. Samoin voisi olla harkitsemisen arvoista miettiä mahdollisia tilusvaihtoja ja luontoarvokaupan ulottamista kaikkein herkimmille alueille, jotta viljelijöille mahdollisesti tulevaisuudessa tulevia maan käytön rajoituksia voidaan kompensoida.



### 3. Maaomistajakyselyn tulokset

Antti Hannukkala

Maanomistajakysely tehtiin haastattelemalla GTK:n kartoituksen mukaisia riskialueilla sijaitsevia tiloja Simosta, Rovaniemeltä, Tervolasta, Keminmaalta ja Torniossa. Haastattelulomakkeen käytettiin samaa lomaketta, jota oli käytetty Siika- ja Pyhäjokialueen vastaavassa hankkeessa. Yhteensä kyselyssä oli mukana 16 tilaa, joista 12 täytti haastattelulomakkeen: tilojen peltopinta-alat vaihtelivat paljon, vaihteluväli oli 7–290 ha. Hallinnassa tiloilla oli peltoalaa yhteensä noin 1500 ha, josta omaa peltoa oli 900 hehtaaria. Tuotantosuuntina olivat pääasiassa nautakarjatalous ja siksi kasvilajeista ylivoimaisimmat viljelykasvit olivat nurmikasvit. Peltoalasta avo-ojissa oli 600 ha ja salaojitettuna 310 ha, sää- tösalaajitettua pinta-alaa ei ollut yhtään. Lopun peltoalan ojitusmuotoa viljelijät eivät ilmoittaneet. Valtaosa maatilojen ilmoittamista pelto-lohkoista, yhteensä lähes 800 ha, oli ojitettu ensimmäisen kerran yli 20 vuotta sitten. Uusia, alle 20 vuotta vanhoja lohkoja oli alle 100 ha. Suurin osa uusista peltoalueista oli avo-ojitettuna. Vanhojen peltojen sekä avo-ojia että salaojia on keskimäärin kunnostettu noin 10 vuotta sitten. Kuivatuksen toimivuutta yleensä pidettiin kohtalaisena tai hyvänä. Ruostetta esiintyi yleisesti ojissa. Peltojen happamuus vaihteli paljon, noin pH 5:stä lähes neutraaliin. Samoin peltolohkojen maalajit vaihtelivat paljon, pääosa oli joko turvemaita tai hietamoreenia. Metsäpinta-alaa ilmoitettiin tiloilla olevan yhteensä 750 ha, tosin kaikki eivät ilmoittaneet tilansa kokonaispinta-alaa. Pääosa ojitetusta metsämaasta oli ojitettu yli 10 vuotta sitten. Alle 10 vuotta sitten ojituksia ojituksia ilmoitettiin tehdyn noin 40 ha:n alalla. Ojitustarvetta nähtiin olevan noin 200 ha:n alalla. Kasvuolosuhteiltaan kasvullinen metsämaasta puolet oli kuivia kankaita ja loput joko tuoreita tai ilmoitusten perusteella suopohjaisia. Metsämaan kehitysluokissa neljännes oli taimikoita, samoin kuin varttuneen metsän osuus, uudistuskypsää metsämaata katsottiin olevan noin 15 prosenttia metsäalasta lopun ollessa nuorta metsää.

Haastattelussa maanomistaja sai arvioida halukkuuttaan ja mahdollisuuksiaan oman tuotannon puitteissa osallistua eri happamuuden torjuntamenetelmien käyttöön omistamallaan peltoalueilla. Lisäksi pyydettiin arvio, missä määrin viljelijä pystyisi soveltamaan menetelmiä vuokratelloille. Haastattelussa maanomistaja arvioi myös menetelmien synnyttämiä kustannuksia ja omaa tai yhteiskunnallisen tuen (tulevaisuudessa esimerkiksi erityinen sulfaattimaille suunnattu ympäristökorvaus) osuuksia kokonaiskustannuksiin. Haastattelulomakkeeseen oli pyritty laittamaan todennäköisesti yleisimmät ja toteutukseltaan keveimmät menetelmät kyselyn alkuun ja viimeiseksi tuotantoon radikaalisti vaikuttavat ja äärimmäiset toimenpiteet. Toimenpiteistä kysyttiin suhtautumista sulfaattimaiden kartoitukseen, vanhojen salaojien säätömahdollisuuden lisäämiseen, sää- tösalaajitukseen, sää- tösalaajitukseen, säätökasteluun, kuivatusveden kierrätykseen, kuivatusjärjestelmien hoito- ja huoltotöihin, kalkkisuodinojiin, pellon kuivatussyvyyden säilyttämiseen, matalaan kuivatussyvyyteen sopivien kasvien viljelemiseen, pellon kuivatuksesta luopumiseen, pellon maatalouskäytöstä luopumiseen vaihtamaan kautta vai pellon maatalouskäytöstä luopumiseen. Yleisesti ottaen viljelijät olivat valmiita sulfaattimaiden kartoitukseen, vain yksi oli kartoitusta vastaan. Lähes kaikki vastaajat tiesivät, että heillä oli ainakin pohjamaassa hapanta sulfiittimaata. Haittojen ehkäisemisessä käytettiin pääasiassa voimakasta kalkitusta pelto- ja metsänhoidossa ja neljännes vastaajista vähentänyt ojien kunnostusta. Vastauksissa peilautuivat nykyisin yleisesti alhaiset tuottajahinnat ja tuottajien tulotaso, sillä tuotannollisesti kannattamattomat lisäinvestoinnit tai -kustannukset nähtiin mahdollisiksi vain erittäin korkeasti tuettuina. Näin sää- tösalaajitusta ei oltu valmiita toteuttamaan. Samoin oli laita muutenkin investointeja vaativien toimenpiteiden kohdalla. Matalan kuivatussyvyyden kasveja, eli nurmea viljeltiin tiloilla. Ongelmana nähtiin kuivatussyvyyden mataluudessa peltojen kantavuus, jolloin viljelytyöt vaikeutuvat. Peltojen maatalouskäytöstä luopumiseen eri muodoissa aiheuttavan tuotantosuunnan muutokseen ei oltu valmiita. Mutta sen sijaan puolet vastanneista oli valmiita muihin vesiensuojelullisiin toimenpiteisiin, kuten pohjapatojen ja kosteikkojen tekoon. Vastaajat eivät olleet valmiita muuttamaan hallitsemillaan pelto-, metsä- tai muilla mailla suunnitelmiaan maankäytön



osalta happamien pohjamaiden aiheuttamien ongelmien torjunnan osalta. Kommenteissa todettiin, että haittojen ehkäisyn kannalta tarvittaviin toimenpiteisiin voitaisiin osallistua, jos ne joko imagon, tuottajahinnan tai korotetun tukitason myötä tuovat investointikustannukset takaisin, niin niihin voitaisiin mahdollisesti osallistua.

Tekemällä pohjapatoja ja säätämällä kaivussyvyyttä voidaan estää liian tehokasta kuivatusta metsäojien perkauksessa





## 4. Toimenpidesuosituksset metsätaloudelle

Hannu Hökkä

### 4.1. Kunnostusojitus

Kunnostusojituksella pyritään parantamaan metsäojitusalueen ojaverkoston vedenkuljetuskykyä, joka on perusojituksen jälkeen heikentynyt turpeen painumisen, eroosion, liettymisen, kasvillisuuden aiheuttaman umpeenkasvun tai muun syyn takia. Tavoitteena on estää pohjaveden nousu puiden juuristokerrokseen haittaamaan puiden kasvua. Koska kunnostusojitus on metsänkasvatuksen kustannus, niin niiden määrä tulisi rajoittaa yhteen tai enintään kahteen metsikön kasvatuksen kiertoaikana. Myös merkittävien vesistövaikutuksien vuoksi turhia kunnostusojituksia tulisi välttää. Kunnostusojitustarve on suurempi Pohjois-Suomessa kuin Etelä-Suomessa, koska pohjoisessa puuston kehitys on hitaampaa ja veden käyttö vähäisempää. Lisäksi lyhyemmän ja viileämmän kesäkauden aikana kasvillisuuden haihdunta ei siirrä vettä maasta ilmakehään samassa määrin kuin Etelä-Suomessa (Sarkkola ym. 2010). Puuston kehitys on siis Pohjois-Suomessa enemmän ojaverkoston toimivuuden varassa kuin etelämpänä.

Lapin läänissä on tehty metsäojituksia kaikkiaan n. 770 000 hehtaaria (Mattila ja Penttilä 1987). On arvioitu, että ojitusalueita ylläpitokelpoista olisi vajaa 300 000 hehtaaria, pääosin läänin eteläosissa. Lapin metsäohjelmassa 2013–2015 kunnostusojituksen tavoitteeksi esitettiin yhteensä 10 150 ha 3 vuodessa (Keskimölä ja Väisänen 2012), mikä tarkoittaisi 100 vuoden kiertoajalla hieman edellä mainittua suurempaa ylläpidettävää pinta-alaa tai useampaa kuin yhtä kunnostusojitusta osalla alueista. Asetettu kunnostusojitustavoite oli kuitenkin selkeästi alempi kuin edellisen metsäohjelman 2008 pinta-alatavoite, 12 650 ha. Kunnostusojitukset keskittyvät Lounais-Lapin alueelle, mikä on hyvin suovaltaista, mutta kasvupaikat viljavia ja kasvuolot edulliset. Samalla alueella esiintyy myös laajalti happamia sulfaattimaita.

Kunnostusojituksissa perataan pääsääntöisesti vanhoja kuivatusojia, mutta samassa yhteydessä voidaan kaivaa myös uusia täydennysojia parantamaan vanhan ojaverkoston kuivatustehoa. Kunnostusojituksen tavoitesyvyys on sarkaojissa 0,8 – 0,9 metriä ja valtaojissa 1,2 metriä. Kun mataloituneita ojia syvennetään, pohjavedenpinta alenee ja maan pintakerros kuivuu (Ahti ja Päivänen 1997). Happamilla sulfaattimailloilla kunnostusojitus voi kuivattaa myös aiemmin hapettumattomia turpeen alaisia kivennäismaakerroksia. Koska turvekerros on kuivatuksen seurauksena painunut ja tiivistynyt, alkuperäiseen ojasyvyyteen kunnostettavat ojat voivat ulottuvat aiemmin muuttumattomaan sulfidikerrokseen. Kunnostusojitus tulisikin pyrkiä toteuttamaan niin, ettei ojia kaiveta tarpeettoman syviksi. Mikäli vedenpinnan taso pysyy valtaosin turvekerroksen sisässä ulottumatta alla olevaan kivennäismaahan, on happaman kuormituksen riski huomattavasti vähäisempi.

Ojien kaivaminen sulfidipitoiseen kivennäismaahan tuottaa hapanta vesistökuormitusta suoraan ojaluiskista ja ojan pohjasta. Ylös ojan penkoille nostetut kivennäismaamassat kuivuvat ja hapettuvat, jolloin niiltä huuhtoutuva sadevesi muuttuu happamaksi. Näiden lisäksi ojien syventäminen lisää vedenpinnan syvyyttä saralla ojien välissä, jolloin aiempaa syvemmät maakerrokset hapettuvat. Kunnostuksen jälkeen pohjaveden korkeuden vuotuinen vaihtelu liuottaa maaperästä myrkyllisiä metalleja ja happamoittaa valuntavettä.

Laadittaessa kunnostusojitus suunnitelmaa Litorina-alueella selvitetään ensimmäiseksi happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys esim. GTK:n kartta-aineiston avulla. Karttaselvityksen ohella riskialueilla on aina syytä tarkistaa maastossa ainakin perattavilta ja uusilta ojalinjoilta mahdollisten sulfidikerrosten esiintyminen ja esiintymissyvyys. Esiintymien syvyyden perusteella päätetään, voidaanko kunnostusojitus toteuttaa normaalisti vai vaaditaanko kaivutyössä ja vesien suojelussa lisätoimia. Runsaspuustoisten kuvioiden osalta tulee harkita, onko huonokuntoistenkaan ojien perkaaminen tarpeen, sillä puuston veden käyttö voi riittää pitämään kasvupaikan kuivatuksen kunnossa (Sarkkola ym. 2013).

Riskikohteilla tavoitteena on, että ojitus ei alenna pohjavesipintaa niin, että uusia sulfidikerroksia hapettuu. Jos happamia sulfaattimaita esiintyy 1,5 – 1,0 m syvyydellä, sarkaojat jätetään normaalia matalammiksi (0,5 – 0,8 m), ja valtaojat kaivetaan enintään 1,0 metrin syvyisiksi. Mikäli matalan ojituksen kuivatustehoa ei pidetä riittävänä, voidaan kuivatusta tehostaa saran keskelle tehtävillä täydennysojilla, jos vanhan ojituksen sarkaleveys on tähän sopiva (esim. 40 m). Mikäli sulfideja on hyvin pinnassa (alle 1 m syvyydessä) ja riskien minimoimiseksi jouduttaisiin toteuttamaan hyvin matala ojitus (< 0,5 m), on harkittava kunnostusojituksesta kokonaan luopumista. Mikäli hapettumattomat sulfidikerrokset ovat yli 1,5 m:n syvyydellä, voidaan kunnostusojitus toteuttaa normaalisti.

Jos on olemassa riski, että kaivun aikana paljastuu happamia kerroksia, voidaan sitä pienentää suunnittelun lisäksi myös kaivun toteutuksella. Kuormitusta voidaan vähentää käyttämällä sarka- ja valtaojissa pohjapatoja ja perkauskatkoja estämään tarpeettoman tehokasta kuivatusta. Osuttaessa sulfidikerrokseen kaivussyvyyttä voidaan vähentää tai tehdä pohjapato. Ojan penkoille nostetut kivennäismaata sisältävät kaivumassat peitetään tarvittaessa turpeella. Ojien perkaus voidaan tehdä myös toispuoleisena perkaamalla vain ojan toinen luiska, jolloin paljastetaan vähemmän maata eroosiolle ja hapettumiselle.

Happamille sulfaattimaille soveltuvia vesiensuojelutoimenpiteitä ovat sarkaojien perkaus- ja kaivukatkot sekä kokooja- ja laskuojien pienimuotoiset pintavalutuskentät. Lietekuoppien ja laskeutuslaitaiden kaivussa tulee huomata, että niitäkään ei pidä kaivaa hapettumattomaan sulfidikerrokseen, eli pääsääntöisesti niitä ei voi käyttää. Kiintoaineen ja ravinteiden pidentäessä pintavalutuskenttä on laskeutusallasta tehokkaampi ja suositeltava vesiensuojelun menetelmä (Hynninen ym. 2010).

Hyvin keskeistä haittojen torjunnassa on urakoitsijoiden kouluttaminen toimimaan siten, että riskialueilla kaivussyvyys pidetään matalana ja tilanteen mukaan kaivun aikana kaivussyvyyttä voidaan muuttaa ja tehdä tarvittaessa pohjapatoja ja kaivukatkoja.

## 4.2. Maanmuokkaus

Litorina-alueilla myös metsänuudistamisen yhteydessä tehtävän maanmuokkauksen suunnittelussa tulee selvittää, onko muokkaukko kohde riskialueella. Ongelmallisia maanmuokkaukko kohteita ovat yleisesti mätästämällä muokattavat märät kivennäismaat ja ohutturpeiset suot, joilla hapettumattomia sulfideja esiintyy alle 1 metrin syvyydessä. Mätästyksessä pintaan nostettu kivennäismaa kuivuu ja hapettuu. Tällaisten uudistusalojen osalta on syytä arvioida kuormitusriskit samalla tavalla kuin kunnostusojituksissa.

Mätästysalueen mahdolliset kuivatusojat tulisi tehdä matalina navero-øjina, eikä niitä tulisi suoraan yhdistää ojiin, jotka kuljettavat vettä pois alueelta. Ojien kaivamisen tarve tulisi kuitenkin harkita tarkoin. Mikäli mahdollista, mätästä tulisi tehdä vain turpeesta. Kääntömätästyks on ojitusmätästyksistä turvallisempi muokkausmenetelmä, mikäli ei ole tarvetta paikallisen kuivatuksen tehostamiseen, sillä siinä kuormitus pysyy muokkauspaikalla.

Jos uudistusalan muokkaus toteutetaan säätöaurauksena, auran muodostamat kivennäismaapalteen ja vaot hapettuvat muokkauksen jälkeen. Pintavalunnan estämiseksi aurasvaot tulee sijoittaa kaltevuuteen nähden poikkisuuntaan. Vaihtoehtoisesti tulisi harkita mätästyksistä, koska se voidaan toteuttaa vähäisemmällä maakerrosten paljastamisella.

## 4.3. Muut metsätalouden toimenpiteet

Alueilla, missä sulfidipitoista maata on aivan pinnan tuntumassa, puunkorjuussa tulisi varoa maanpinnan rikkomista ja pintavesien kulkureittien muodostamista ajourille, tai puunkorjuu tulisi tehdä roudan aikaan. Happaman kuormituksen riski on olemassa myös metsäteiden rakentamisessa. Tie maiden kuivatus, läjitys ja vesien johtaminen voivat altistaa sulfidipitoisia kivennäismaakerroksia hapettumiselle.



## 5. Johtopäätökset

Tutkimustulokset osoittavat, että kartoitetulla alueella esiintyy happamia sulfaattimaita melko yleisesti. Esiintymät keskittyvät jokiuomien varrelle aina noin 90 metrin tasoon merenpinnan yläpuolelle. Paikoin happamat sulfaattimaat levittäytyvät laajoiksi yhtenäisiksi alueiksi topografialtaan alaville maille. Kartoitetusta alueesta Tornionjoella n. 40 % on happamia sulfaattimaita, Kemijoella 35 %, Kaakamojoella 40 %, Simojoella 20 % ja Perämeren rannikkoalueella 10 %.

Pohjaveden pinnan alapuolella hapettomissa olosuhteissa happamat sulfaattimaat ovat kemiallisesti vakaita ja neutraaleja, jolloin ne eivät aiheuta haittaa ympäristölleen. Happamien sulfaattimaiden altistuminen hapettumiselle ja sitä kautta happamoitumiselle maankohoamisen myötä on luonnollisena prosessina hidasta. Pääasiallinen syy happamoitumiselle onkin ihmisen toiminta (maan kuivatus viljely- ja metsätalouksikäyttöön, suo-ojitus, turvetuotanto, ruoppaukset, rakentaminen ym). Tieto riskialttiiden maiden sijainnista on tärkeä maankäytön ja kaavoituksen suunnittelijoille. Happamat sulfaattimaat tulisi huomioida kaikessa maankäytössä kun maata kuivatetaan tai kaivetaan laajemmin.

Suurin osa (87 %) sulfidikerroksista alkaa 1–2 metrin syvyydellä. Simojoella ja Perämeren rannikkoalueella niitä esiintyy lähempänä maanpintaa kuin muilla valuma-alueilla. Sulfidisedimentit ovat pääosin hiesua tai hienoahietta, ja niiden päälle on usein kerrostuneena turvetta sekä karkeampia jokisedimenttejä. Happamia hiekkoja esiintyy Simojokilaaksossa, Kemijoen suistoalueella sekä mahdollisesti mustaliuskeisiin liittyen Tornion ja Ylitornion rajalla Martimossa. Näille kerrostumille on tyypillistä, että ne alhaisesta rikkipitoisuudestaan huolimatta aiheuttavat huomattavaa happamoitumista huonon puskurointikykyä vuoksi. Happamien hiekkojen kohdalla pitäisi siten noudattaa samaa varovaisuutta kuin perinteisten happamien sulfaattimaiden kohdalla.

Lisäksi havaittiin, että usealla tutkituista pisteistä sulfidikerrokset sijaitsevat viljelys- ja metsätalouksien keskimääräisen kuivatussyvyyden yläpuolella. Mikäli kuivatussyvyyttä ei kontrolloida, on erittäin suurena vaarana, että nämä maakerrokset altistuvat hapettumiselle.

Hankkeessa laadittu kartta perustuu Geologian tutkimuskeskuksen maaperä- ja lentogeofysikaalisten aineistojen ja Maanmittauslaitoksen pohjakartta- ja korkeusaineistojen tulkintaan sekä valuma-aluekohtaisiin maastokartoituksiin (havaintotiheys noin 3 havaintoa / 1 km<sup>2</sup>). Kartta antaa yleiskuvan happamien sulfaattimaiden esiintymisestä tutkimusalueen valuma-alueilta muinaisen Litorina-meren korkeimpaan rantatasoon saakka. Tuotettu yleiskartta (1:250 000) kuvaa happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyttä jaoteltuna neljään eri luokkaan. Happamien sulfaattimaiden esiintymisen on paikoin todettu olevan hyvin vaihtelevaa jopa yksittäisessä sedimentaatioaltaassa. Tuotettu yleiskartta antaa siten vain yleispiirteisen kuvan sulfaattimaiden todennäköisistä esiintymisalueista. Kartan kuvioita on yleistetty tai osin liioiteltu. Sulfaattimaiden esiintymisen yksityiskohtainen selvittäminen vaatii lisäkairauksia, näytteenottoa ja laboratorioanalyysijä. Tuotettujen yleiskarttojen on tarkoitus palvella laajamittakaavaista maankäytön suunnittelua ja arviointityötä sekä toimia pohjana tarkemmille tutkimuksille. Aluemainen kartta-aineisto ei anna yksityiskohtaista tietoa sulfaattimaista eikä siten sovellu tilakohtaiseen tarkasteluun eikä pienimittakaavaiseen riskin arviointiin. Ainoastaan pistemäinen tieto sulfidin esiintymisestä havaintopisteellä on riittävän tarkkaa tilakohtaiseen suunnitteluun. Kartan käyttömittakaava on 1:250 000. Siksi maa- ja metsätalouden yrittäjiä pitäisi kannustaa pistenäytteiden ottoon tilasuunnittelun pohjaksi.

Maanomistajilla ja neuvojilla ei välttämättä ole tarpeeksi tietoa sulfaattimaiden ympäristövaikutuksista. Sulfaattimaiden yleisyyden vuoksi metsätalouden vesiensuojelun merkitys on Perämerenkaaren alueella paljon aiemmin tiedettyä suurempi. Tehokas vesiensuojelu edellyttää, että happamiin sulfaattimaihinkin liittyvistä riskeistä tiedotetaan käytännön neuvonta- ja palveluorganisaatioita ja koulutetaan ne tunnistamaan riskikohteet ja käyttämään oikeita menetelmiä sekä maa- että metsätalouden kunnostusohjelmassa.

Sulfaattimaiden ominaisuuksista ja niiden huomioimisesta kuivatusratkaisuihin tulisi tiedottaa ja opastaa aiempaa perusteellisemmin Perämerenkaaren alueella. Maanomistajien mahdollisuudet

hoitaa happamuusongelmaa erilaisilla kuivatusratkaisuilla ovat riippuvaisia eri menetelmien tuomista suorista investointi-, hoito- ja ajankäytön kustannuksista, sillä viljelijätulot eivät riitä tuotannollisesti kannattamattomiin lisäkustannuksiin. Toimenpiteet, jotka aiheuttavat investointeja tai tuotannon rajoituksia, nähtiin erittäin vaikeiksi toteuttaa. Siksi tarvitaan uudenlaisia menetelmiä joko tulonmuodostukseen, esimerkiksi tukimuutoksien, tai imagolliseen, alueella tuotettavaan tuotteeseen tulevan bonuksen muodossa.

## 6. Viitteet

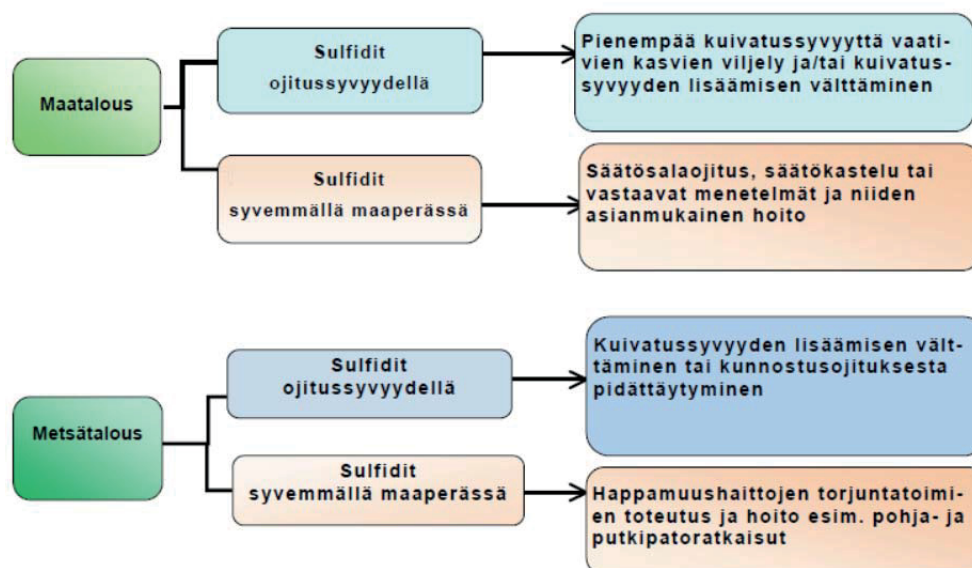
- Ahti, E. ja Päivänen, J. 1997. Response of stand growth and water table level to maintenance of ditch networks within forest drainage areas. Julkaisussa: Northern Forested Wetlands: Ecology and Management. Toim. Trettin, C., Jurgensen, M., Grigal, D. Gale, M. ja Jeglum, J. (toim.) CRC Press, Lewis Publishers. s. 449-457.
- Balling, N. 1980. The land uplift in Fennoscandia. Gravity field anomalies and isostasy. Julkaisussa: Mörner, N. A. (toim.) Earth Rheology, Isostasy and Eustasy. London – New York, s. 297–321.
- CLC2012. Corine maanpeite 2012. © SYKE (osittain © Metla, MAVI, LIVI, VRK, MML Maastotietokanta 05/2012)
- Edén, P., Rankonen, E., Auri, J., Yli-Halla, M., Österholm, P., Beucher, A. ja Rosendahl, R. 2012. Definition and classification of Finnish Acid Sulfate Soils. Julkaisussa: Österholm, P., Yli-Halla, M. & Edén, P. (toim.) 2012. 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*: 29-30.
- Hynninen, A., Saari, P., Nieminen, M. & Alm, J. 2010. Pintavalutus metsätaloustoimien valumavesien puhdistamisessa – kirjallisuustarkastelu. *Suo - Mires and Peat* 61(3-4): 77-85.
- Johansson, P. & Kujansuu, R. (toim) 2005. Pohjois-Suomen maaperä. Geologian tutkimuskeskus, Espoo. 236 s. ISBN 951-690-905-1.
- Kakkuri, J. 1991. Planeetta maa. *Helsinki: Tähtieteellinen yhdistys Ursan julkaisu* 42. 184 s.
- Keskimölo, A. ja Väisänen, R. 2012. Lapin metsäohjelma 2012–2015. Laatupaino Oy, Vihanti 2012. 37 s.
- Lavergren, U., Åström, M.E., Falk, H. & Bergbäck, B. 2009: Metal dispersion in groundwater in an area with natural and processed black shale – Nationwide perspective and comparison with acid sulfate soils. *Applied Geochemistry* 24: 359-369.
- Maaseutuverkosto 2009. Säättösalaajitus. Maaseutuverkoston esite. Helsinki. 12 p.
- Manner, R. & Tervo T. 1988. Lapin geologiaa. Lapin maakuntaliitto ry – Lapin lääninhallitus, Rovaniemi. 188 s. ISBN 951-47-1138-6.
- Mattila, E. ja Penttilä, T. 1987. Lapin ja Koillis-Suomen metsälautakuntien suometsät vuosina 1952-1984. *Folia Forestalia* 703. 1-49.
- Räisänen, M.-L. & Nikkarinen, M. 2000. Happamoitumisen seurausvaikutukset peltojen ravinnetilaan ja vesien laatuun mustaliuskekallioperäalueilla. *Vesitalous* 6/2000: 9–15.
- Salonen, V-P., Eronen, M. ja Saarnisto, M. 2002. Käytännön maaperägeologia. Kirja-Aurora, Turku. 237 s. ISBN 951-29-2247-9.
- Sarkkola, S., Hökkä, H., Koivusalo, H., Nieminen, M., Ahti, E., Päivänen, J. & Laine, J. 2010. Role of tree stand evapotranspiration in maintaining satisfactory drainage conditions in drained peatlands. *Canadian Journal of Forest Research* 40: 1485-1496.
- Sarkkola, S., Nieminen, M., Koivusalo, H., Laurén, A., Ahti, E., Launiainen, S., Nikinmaa, E., Marttila, H., Laine, J. & Hökkä, H. 2013. Domination of growing-season evapotranspiration over runoff makes ditch network maintenance in mature peatland forests questionable. *Mires and Peat* 11(2): 1-11.
- Siegert, M. J., Dowdeswell, J. A., Hald, M. & Svendsen, J.-I. 2001. Modelling the Eurasian Ice Sheet through a full (Weichselian) glacial cycle. *Global and Planetary Change* 31: 367–385.
- Soil Survey Staff. 2010. Keys to Soil Taxonomy. Eleventh Edition. United States Department of Agriculture, Natural Resources Conservation Service.
- Suomela, R. (toim) 2011. Happamat sulfaattimaat ja niistä aiheutuvan vesistökuormituksen hillitseminen Siika- ja Pyhäjoen valuma-alueilla. *MTT raportti* 132. 36 s.  
<http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti132.pdf>
- Uusi-Kämpä, J., Virtanen, S., Rosendahl, R., Österholm, P., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Edén, P. ja Turtola, E. 2013. Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi. *MTT raportti* 74. 24 s.
- Virtanen, K. & Lerssi, J. 2006. Mustaliuskevilajin vaikutus turpeen alkuainepitoisuuksiin. *Arkistoraportti*, GTK. 62 s.
- Yli-Halla, M. 1997. Classification of Acid Sulphate Soils of Finland According to Soil Taxonomy and the FAO/Unesco Legend. *Agricultural and Food Science in Finland* 6, 247-258.

# Liitteet

## Liite 1.

### MAANOMISTAJAKYSELY

#### POIMINTOJA MMM –TOIMENPIDE-EHDOTUKSISTA HAPPAMILLE SULFAATTIMAILLE



*Toimenpiteiden hyväksytyt suuntaviivat 18.3.2011*

Alustava ehdotus sulfaattimaiden luokitteluksi Suomessa (Markku Yli-Halla, 2010).

Luokka	Ominaisuudet
I: hyvin vakava	0-1,5 m syvyydessä sulfidia* ja/tai pH<3,5
II: vakava	0-2,5 m syvyydessä sulfidia* ja/tai pH <4,0
III: melko vakava	0-2,5 m syvyydessä sulfidia* ja/tai pH <4,5
IV: ei riskikohde	Ei sulfidia* 0-2,5 m:n syvyydessä, pH >4,5

Sulfidi = musta, yleensä savimainen maakerros

## Linkkejä

[www.mmm.fi/julkaisut](http://www.mmm.fi/julkaisut) (julkaisu 2:2011)

[www.mmm.fi/julkaisut](http://www.mmm.fi/julkaisut) --> työryhmämuistiot--> työryhmämuistio 8:2009

[www.ymparisto.fi/syke/catermass](http://www.ymparisto.fi/syke/catermass)

[www.mtt.fi/ruukki](http://www.mtt.fi/ruukki) --> HaKu -hanke



**MAANOMISTAJA- /VILJELIJÄKYSELY****SIVU 1**

Paikkakunta ja kylä:

Nimi (vapaaehtoinen):

Tuotantosuurta:

Tilan numero (vapaaehtoinen):

Tilan ikä:

**PELTOTUOTANTO:**

Peltopinta-ala (ha): omat pellot \_\_\_\_\_ vuokrapellot \_\_\_\_\_

Peruslohkojen ikäjakauma a) alle 10 v: \_\_\_ha b) 10-20v: \_\_\_ha c) yli 20v: \_\_\_ha

Ojitusmuoto	1. Avo-ojitus	2. Salaojitus	3. Säättöojitus	4. Säättökastelu
Ojitusala (ha) raiviopellot:				
Ojitusala (ha) 10-20 v pellot:				
Ojitusala (ha) vanhat pellot:				
Ojastojen ikä:				
Ojituksen toimivuus (arvio*)				
Ojitustarve (ha)**:				
Mistä ojitustarve johtuu:				
Pellon käyttömuoto 2013***:				
pH alueella:				
Sulfidi maks. 1,5 m syvyydessä				
Päämaalajit				

\*Esim. erinomainen/hyvä/välttävä/huono

\*\*Esim. seuraavan 10 v aikana

\*\*\*vilja, rypsi yms. / peruna, juurekset / nurmi /muu

Onko tilalla tietoa muokkauskerroksen alapuolella sijaitsevien kerrosten ominaisuuksista (pH, maalajit, rakenne...)

**METSÄTUOTANTO:****SIVU 2**

Metsäpinta-ala, ha:

Metsäojat	alle 5 v	5-10 v	yli 10 v
Ojitusala (ha)			
Kunnostusojitusalat (ha)			
Ojasyvyys: perus/kunnostus			
Ojituksen toimivuus			

Ojitustarve, ha (esim. seuraavat 10 vuotta):

Mistä ojitustarve johtuu?

Metsän kasvupaikat (suomaa /ha, kangas/ha jne):

Metsän kehitysluokkajakauma:

Taimikko (ha): \_\_\_\_\_

Nuori metsä (ha): \_\_\_\_\_

Varttunut kasv.metsä (ha): \_\_\_\_\_

Uudistuskypsämetsä (ha): \_\_\_\_\_

**MMM TOIMENPIDE-EHDOTUSTEN SOSIO-EKONOMINEN VAIKUTUS  
MAATALOUSTUOTANNOSSA**
**SIVU 3**

Toimenpide	Halukkuus osallistua toimenpiteeseen kyllä/ei	Halukkuus osallistua toimenpiteeseen vuokrapelloilla	Mahdollisuus toteuttaa tilalla ilman tuotannollisia ongelmia	Halukkuus osallistua kustannuksiin %/kok.kust	Toimenpiteestä aiheutuvat menetykset tuotannossa* %/e	Toimenpiteestä aiheutuva hyöty** %/e	Tukivaatimus %	Tukivaatimus e/ha	Perustelut Esim. Tuotannollinen vaikutus Ympäristövaikutus Sosiaalinen vaikutus
Sulfaattimaan kartoittaminen									
Vanhoihin salaajiin säätömahdollisuus									
Säätösalaajitus									
Säätökastelu									
Kasteluvesi vesistöistä									
Kuivatusveden kierrätys									
Kuivatusjärjestelmän hoito- ja huoltotyöt									
Kalkkisuodinoijat									
Pellon kuivatussyyvyyden säilyttäminen									
Matalaan kuivatukseseen soveltuvien kasvien viljely (esim. nurmi, energia- kasvit)									
Pellon kuivatuksesta luopuminen (esim. pengerrys + pumppauskuivaus)									
Pellon maatalouskäytöstä luopuminen Vaihtomaa tilusjärjestelyjen kautta									
Pellon maatalouskäytöstä luopuminen									

\* Taloudelliset menetykset tuotannossa (tuot, sato), kun toimenpiteeseen on ryhdytty

\*\* Toimenpiteen tuoma taloudellinen hyöty normaaliin viljelyyn verrattuna

**MMM TOIMENPIDE-EHDOTUSTEN SOSIO-EKONOMINEN VAIKUTUS  
METSÄTUOTANNOSSA**
**SIVU 4**

Toimenpide	Halukkuus osallistua toimenpiteeseen kyllä/ei	Mahdollisuus toteuttaa tilalla ilman tuotannollisia ongelmia ha	Halukkuus osallistua kustannuksiin % /kok.kust	Toimenpiteestä aiheutuvat menetykset tuotannossa* %/e	Toimenpiteestä aiheutuva hyöty** %/e	Tuki-vaatimus %	Tuki-vaatimus e/ha	Perustelut Esim. Tuotannollinen vaikutus Ympäristövaikutus Sosiaalinen vaikutus
Sulfaattimaan kartoittaminen								
Vesiensuojelun toimenpiteiden suunnittelu ja toteutus esim. pohjapadot								
Metsän kuivatussyvyyden säilyttäminen								
Kunnostusojituksista luopuminen								
Metsän kuivatuksesta luopuminen (ennallistaminen)								

\* Taloudelliset menetykset tuotannossa, kun toimenpiteeseen on ryhdytty

\*\* Toimenpiteen tuoma taloudellinen hyöty normaaliin viljelyyn verrattuna



**YLEISESTI**

**SIVU 5**

Tunnistatteko sulfidimaata (tai sulfaattimaa, alunamaa, pikileerimaa, suolamaa) maaperässä?  
Oletteko havainneet sulfaattimaata omilla maillanne (pelto, metsä, suo)? Missä (peltolohko tms)? Pinta-ala?

Kuinka syvällä maan pinnasta yleensä a) alle 1,5 m b) 1,5 - 2 m c) yli 2m d) en osaa sanoa

Onko sulfaattimaasta ollut selvää haittaa viljelyssä tai puuntuotannossa? Jos kyllä, miten olette haittoja ehkäisseet?

Muuttaisivatko kaavaillut toimenpiteet ja ehdotukset maankäytön suunnitelmiasi a) metsä-, b) maatalous- ja c) muilla mailla? Miten? Edellyttäisivätkö toimenpiteet tuotantosuunnan vaihtoa?

a)

b)

c)

Olisitko valmis toiminnallasi suojelemaan virtavesiä happamuudelta ja turvaamaan mm. kalojen ja muiden eliöiden säilymisen vesistöissä sekä alueen virkistyskäytön jos se lisäisi työtä tai kustannuksia? Jos kyllä, miten?

Millainen on lähialueesi vesistöjen yleinen kunto ja valuma-alueen ympäristön vetovoimaisuus nyt ja mahdollisesti tulevaisuudessa?

Voisiko veden laadun ja ympäristön tilan paraneminen tai ennallaan säilyminen olla hyödyllistä tilan a) taloudelle suoraan tai välillisesti tai b) asukkaille suoraan tai välillisesti? Miten?

Kommentteja ja toiveita koskien toimenpide-ehdotusten suunnittelua:



luke.fi

Luonnonvarakeskus  
Viikinkaari 4  
00790 Helsinki  
puh. 029 532 6000