

Pitääkö kaikkein happamimmat sulfaattimaat poistaa viljelystä?

Should the cultivation of the most acidic sulphate soils be stopped?

Markku Yli-Halla

Markku Yli-Halla, MTT Agrifood Research Finland, Environmental research, FIN-31600 Jokioinen, Finland (e-mail: markku.yli-halla@mtt.fi)

Estimates of the area of cultivated acid sulphate soils in Finland range from 50,000 ha to 336,000 ha. In these soils, sulfides are oxidized to sulphuric acid upon aeration, which is promoted by drainage. Agricultural use of these soils requires abundant liming. Acidic drainage waters impact the aquatic life negatively. Early research concentrated on the agricultural utilization of acid sulphate soils while more recently environmental aspects have been emphasized. Controlled drainage, aiming at a high water table, is considered an option for the management of acidity. Owing to evapotranspiration, however, sulfidic layers may be exposed to oxidation every summer in spite of controlled drainage. Successful submerging of sulfidic layers may require pumping of water to the field from outside sources. Abandoning the most acidic sulphate soils and stop draining them would prevent further oxidation of sulfides. This is a sensitive issue, because the farmland is private property. Moreover, it is not exactly known where the most acidic sulphate soils are located and how their abandonment would impact the quality of water in recipient rivers.

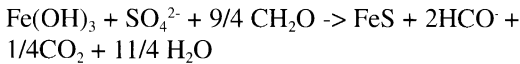
Keywords: acidity, agriculture, drainage, sulphur, sulphate soils

Johdanto

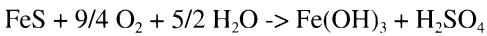
Paavo Purokoski (1959a) luonnehtii happamien sulfaattimaiden maanviljelyksellisiä mahdollisuuksia ja ongelmia seuraavaan tapaan: “Liejupitoiset maat ovat runsaasti orgaanista ainesta sisältäviä alavia maita, joita tavataan rannikkoseudulla. Varsinkin Pohjanlahden rannikkoseudulla tällaiset maat muodostavat laajoja alueita. Ne kuuluvat Litorinakauden aikaisiin kerrostumiin, jotka maan kohoamisen johdosta ovat jääneet kuiville. Usein ne ovat sangen runsasmultaisia ja kuohkeita ja siten fysikaalisen rakenteensa puolesta erinomaisia viljelysmaita. Lisäksi ne ovat tasaisuutensa ja kivettömyytensä vuoksi erittäin sopivia koneelliseen viljelyyn. Niiden käyt-

töä viljelytarkoituksiin rajoittaa kuitenkin suuresti paikoitellen erittäin runsaasta rikki- ja klooripitoisuudesta johtuva happamuus. Se aiheuttaa kasvillisuuden kitumista, saattaapa eräissä tapauksissa kokonaan ehkäistäkin kaiken kasvun.” Happamia sulfaattimaita on maailmassa yhteensä noin 12 miljoonaa hehtaaria, pääosin tropiikissa, erityisesti Kaakkois-Aasian ja Länsi-Afrikan rannikoilla. Itämeren alueelle sulfaattimaita on syntynyt etupäässä Litorina-vaiheen aikana 7500 - 1500 vuotta sitten. Suomessa näitä maita esiintyy etenkin Pohjanmaalla Närpiön seudulta aina Perämeren pohjukkaan saakka, Uudenkaupungin-Laitilan alueella, Salon-Perniön seudulla ja myös Uudenmaan rannikolla (Purokoski 1959b).

Happamiin sulfaattimaihin Litorinakaudella kertynyt rikki on pääosin peräisin meriveden sulfaateista. Mikrobit, etenkin *Desulfovibrio desulfuricans*, käyttävät anaerobisissa oloissa sulfaatin happea elektroniakseptorina hapettaessaan orgaanista ainesta. Syntynyt sulfidi saostuu pelkistyneissä oloissa yleisen rauta(II)-ionin kanssa rautasulfidiksi. Reaktiot voidaan tiivistää esimerkiksi seuraavasti:



Kun sulfidit joutuvat hapellisiin oloihin maan kohoamisen ja kuivatuksen seurauksena, sulfidit hapettuvat rikkihapoksi, ja myös rauta(II) hapettuu vähitellen saostuen ruskeana hydroksidina:



Tässä reaktiossa vapautuu happamuutta yhtä paljon kuin pelkistysreaktiossa on aikanaan syntynyt bikarbonaattia. Tämä happamuuden neutralointiin pystyvä ioni on kuitenkin kulkeutunut pois, ja niinpä maan pH voi sulfidien hapettua laskea jopa alle 3,0:n. Voimakas happamoituminen aiheuttaa ongelmia maataloudelle ja näiltä mailta valumavesiä vastaanottavien vesialueiden eliöille.

Tässä katsauksessa käsitellään suomalaisten happamien sulfaattimaiden tutkimuksen historiaa ja nykyisiä painotuksia. Kirjoitus on laadittu Helsingin yliopiston rehtorin, professori Erkki Kivisen 100-vuotisjuhlaseminaarissa pidetyn esitelmän pohjalta. Erkki Kivinen tutki happamia sulfaattimaita ollessaan Maatalouskoelaitoksen agrogeologina vuosina 1932-1942 ja julkaisi myöhemminkin tuona aikana saamiaan tuloksia. Vaikka happamilla sulfaattimaille ei enää ole varsinaisia maanviljelyksellisiä pulmakysymyksiä, näiltä mailta tulevien happamien kuivatusvesien aiheuttamia ympäristöongelmia ei ole vielä saatu tyydyttävästi ratkaistuksi.

Happamien sulfaattimaiden tutkimus 1900-luvun alkupuolella

Happamista sulfaattimaista on käytetty monenlaisia nimiä. 1900-luvun alkupuolella, kun kapil-

laariveden mukana nousevien happamien alumiinisuolojen todettiin tietyillä alueilla haittaavan maanviljelyä, näitä maita sanottiin suolamaiksi tai alunamaiksi (*Salzböden, Alaunböden*, Aarnio 1922, 1937). Niitä on myös kutsuttu yleisesti liejumaiksi (*Gyttjaböden*, Aarnio 1937, Kivinen 1938a, b, c), joiden erityisominaisuus happamuus on. Kivinen käytti näistä maista myöhemmin (1944) nimitystä *aluna- eli sulfaattimaat*. Purokoski on 1950-luvulla käyttänyt nimeä *rikkipitoiset maat* tai *sulfidimaat* (Purokoski 1959a, b). Englanninkieliseksi termiksi on nytemmin vakiintunut *acid sulphate soils/ sulfate soils*, suomennettuna *happamat sulfaattimaat*, jota tässäkin kirjoituksessa käytetään.

Aarnio (1922, 1937) tutki happamien sulfaattimaiden pintaan nousevien suolojen koostumusta, mutta hän ei ottanut kantaa suolojen syntyyn. Kivinen (1938a, b) esitteli ensimmäisenä tutkijana Suomessa omiin tutkimuksiinsa pohjautuen happamien sulfaattimaiden tärkeimmät prosessit. Hän totesi veden kyllästämän sulfidipitoisen pohjamaan pH:n olevan neutraali, mutta kun pohjamaassa olevat rautasulfidit joutuvat tekemisiin vapaan hapen kanssa, ne hapettuvat rikkihapoksi. Kivinen totesi myös, että nopeasti kuivattaessa sulfidipitoisen maanäytteen pH laskee vain vähän, ja että täysimittainen pH:n lasku edellyttää maan kostuttamista ja kuivaamista useaan kertaan tai pitämistä kosteana hapellisissa oloissa pitkään. Tällainen aerobinen inkubointi ja sen jälkeen tapahtuva pH-määritys ovat edelleen pätevä tapa sulfidipitoisen sedimentin tunnistamiseen. Tämä menetelmä sisältyy mm. amerikkalaisen Soil Taxonomy -luokitusjärjestelmän analyysimenetelmiin.

Kivinen (1944, 1950) teki myös kokeen, jossa hän huuhtoi Laitilan Valkojärveltä ottamaansa erittäin hapanta maata vedellä. Maan määrä oli 50 g, ja sitä huuhdottiin litran suuruisilla vesierillä. Maan pH oli aluksi 2,9, ja ensimmäinen vesilitra huuhtoi maasta lähes kaikki liukoiset suolat ja vapaan rikkihapon. Huuhtominen vedellä nosti maan pH:ta 3,7:ään. Myöhemmissä tutkimuksissa (Hartikainen & Yli-Halla 1986) on havaittu, että tällaisen vaihtuvan alumiinin kylästämän maan pH ei pelkällä huuhtomisella nouse, vaan se vakiintuu 3,5:n ja 4,0:n välille.

Jo varhaisessa vaiheessa todettiin, että hap-

pamat sulfaattimaat vaativat runsasta kalkitusta ennen kuin niillä voidaan harjoittaa kasvinviljelyä menestyksellisesti. Suomen pitkäaikaisin kalkituskoelohje, joka oli käynnissä vuodesta 1928 vuoteen 1967, on ollut juuri happamalla sulfaattimaalla. Tämä Laihialla Tarkkasen tilalla tehty koelohje on ollut Maatalouden tutkimuskeskuksen Etelä-Pohjanmaan koeaseman hoidossa, ja siitä ovat julkaisseet tuloksia ainakin Kivinen (1944), Keränen & Honkavaara (1972) ja Sillanpää (1978). Laajan koesarjan happamien sulfaattimaiden kalkituksesta on tehnyt Purokoski (1959a). Kunnollinen ojitus on ollut toinen perusparannustoimi, jonka avulla Suomen sulfaattimaat on saatu tuotettavaan maatalouskäyttöön. Kivinen (1938c) varoitti aiheellisesti Viipurin Papulanlahden aluetta käsitellessä tutkimuksessaan tällaisille maille tehtyjen ojien kaivuumassojen levittämisestä pellolle, koska ne ovat kasveille suorastaan myrkyllisiä.

Happamista sulfaattimaista johtuvat ympäristöongelmat

Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat ympäristöongelmat nousivat lehtien palstoille 1970-luvulla, kun Etelä-Pohjanmaalla tehtyjen tulvasuojelutöiden ja tehostuneen maankuivatukseen myötä alkoi esiintyä suuria kalakuolemia. Myös vuoden 1996 keväällä Kyrönjoen suulla kuoli ainakin 60 tonnia kalaa (Teppo ym. 1999). Ongelmia on ollut myös ainakin Uudenkaupungin makeavesialtaassa, johon Sirppujoki tuo happamia vesiä, ja Luodon-Öjanjärvässä, joka on pengerrytetty Pietarsaaren ja Kokkolan väliin. Kalakuolemat yhdistettiin sulfaattimailta tuleviin happamiin kuivatusvesiin. Kun vasta hapettuneessa sulfidisedimentissä on todettu olevan kasveille letaali koostumus, ei olekaan ihme, että samanlainen vaikutus kohdistuu myös eliöihin, jotka joutuvat tekemisiin sulfaattimailta tulevan kuivatusveden kanssa. Vaikka varsinaisia kalakuolemia ei esiintyisikään, happamuus heikentää kalojen lisääntymistä. Nytemmin useissa julkaisuissa on osoitettu yhteys kalakantojen koon vaihtelujen ja happaman huuhtoutuman välillä (esim. Vuori 1995, Myllynen ym. 1997, Hudd & Leskelä 1998, Hudd 2000). Happamuuteen liittyy kiinteästi metallien runsas liukeneminen ja vesien korkea metallipitoisuus

(Åström & Björklund 1995, Edén ym. 1999, Åström & Corin 2000).

1970-luvulta lähtien sulfaattimaiden sijaintia on selvitetty yksityiskohtaisesti monilla valuma-alueilla (esim. Erviö 1975, Palko ym. 1985, Palko & Saari 1987, Palko & Alasaarela 1988). Tällä perusteella on laadittu arvioita maankuivatukseen vaikutuksesta vesistöjen happamuuteen (lukuissa Jukka Palkon Vaasan vesi- ja ympäristöpiirille laatimat raportit ja Palko & Weppling 1995) ja rakennettu sulfaattimaiden prosesseja ja ainevirtoja kuvaava simulointimalli (Hutka ym. 1996). Limingan Tupokseen perustetulla koekentällä verrattiin 1980-luvulla avo-ojitusta ja sala-ojitusta sulfaattimaan kuivatustapana ja tutkittiin sala- ja avo-ojitussuorityydyden ja pintakalkituksen vaikutusta kuivatusvesien laatuun (Palko 1988).

Happamien sulfaattimaiden pinta-ala

Sulfidikerrosten syvyys ja rikkipitoisuus vaihtelee paikasta toiseen. Purokosken (1959b) mukaan rikkipitoisuus on keskimäärin suurin Keski- ja Pohjois-Pohjanmaan rannikolla, vaikka sulfaattimaita on eniten Etelä-Pohjanmaalla. Sulfaattimaat voidaan jakaa ryhmiin sen mukaan, kuinka syvällä sulfidikerrokset ovat ja mikä näiden kerrosten rikkipitoisuus on. Nämä ovat myös kansainvälisten luokitusjärjestelmien kriteerejä (Yli-Halla 1997). Voidaan helposti ymmärtää, että maat, joissa on runsaasti sulfidia lähellä pintaa, tuottavat valumavesiin suuremman happamuuden kuin sellaiset maat, joissa rikkipitoisuus on pienempi ja kerrokset ovat syvällä.

Purokoski esitti vuonna 1959 sulfaattimaiden pinta-ala-arvioksi 51 000 ha. On todennäköistä, että tämä ala edustaa sellaisia sulfaattimaita, joissa 1950-luvulla tai miesmuistin mukaan oli esiintynyt alunaongelmaa. Avo-ojitetulla maalla voidaan olettaa vain melko lähellä maan pintaa olevien sulfidikerrosten hapettuvan. Vuonna 1994 ilmestyneessä viljelymaiden kuivatustilatutkimuksessa (Puustinen ym. 1994) Jukka Palko päätyi paljon suurempaan pinta-ala-arvioon. Hän esitti sulfaattimaita olevan peräti 336 000 ha, kun maaprofiilia tarkasteltiin kahden metrin syvyyteen saakka. Tässä arvioissa on mukana ilmeisesti paljon sellaisia maita, joiden viljelyä sulfidikerrokset eivät mitenkään haittaa. Samasta aineis-

tosta tehdyn toisen arvion mukaan Suomessa on noin 50 000 ha sellaisia peltoja, joissa on pH < 3,5 jossain kohtaa maaprofiilia maan pinnan ja 125 cm:n syvyyden välillä (Yli-Halla ym. 1999). Näiden voidaan katsoa edustavan happamimpia sulfaattimaitamme. Tämä arvio on siis samansuuruinen, jonka Purokoski esitti 44 vuotta sitten.

Keinoja happamuuden torjuntaan

Kalkituksella voidaan tehokkaasti torjua muokauskerroksen happamuutta, mutta pellon pinta-kalkituksella ei ole sanottavaa vaikutusta pohjamaahan eikä pelloilta tulevien kuivatusvesien happamuuteen. Kuivatusvesiä voidaan neutraloida, mitä tapahtuu ainakin Sirppujoen valuma-alueella Uudenkaupungin lähellä. Toimiva neutralointimenetelmä on hienojakoisen kalkin annostelu veteen. Sen sijaan esimerkiksi kalkkikivirouheesta tehdyt padot ovat varsin heikkotehoisia, koska kalkkihiukkasten pinnalle saostuu ruostetta, joka aikaa myöden estää veden ja neutraloivan aineen kontaktin.

Sulfidikerroksista ei aiheudu ympäristön happamoitumista, jos ne pysyvät pohjaveden pinnan alapuolella. Sulfidien pitäminen vedellä kyllästyneessä tilassa onkin ainoa kestävä keino näiltä mailta tulevan happaman huuhtoutuman torjumiseksi. Valtaosa maailman maatalouskäytössä olevista sulfaattimaista on riisinviljelyssä, jossa sulfidikerrokset voidaan pitää huomattavan osan vuotta veden alla. Suomen viljelykasvit vaativat kunnollista kuivatusta, mutta säätösalaajituksella pohjaveden pintaa voidaan jonkin verran säädellä. Kun salaajakaivantoon pannaan kalkkia, saadaan myös neutraloiduksi happamuutta.

Säätösalaajituksen ja kalkkisuodinoituksen vaikutusta happamimmilta sulfaattimailta tulevien kuivatusvesien laatuun tutkittiin Suomen ympäristökeskuksen vetämässä hankkeessa vuosina 1998–2001 Ilmajoella ja Mustasaarella (Bärlund ym. 2002, Joukainen & Yli-Halla 2003). Mustasaaren pelto oli pengerrysalue, jossa sulfidikerrokset olivat 110 cm:n syvyydessä. Ilmajoella sulfidia oli vasta yli kahden metrin syvyydestä alkaen. Mustasaarella kuivatusvesien happamuus oli asiditeettina ilmaistuna lähes nelinkertainen Ilmajoen peltoon verrattuna. Tämän kokeen ehkä merkittävin havainto liittyy pohja-

veden pinnan ja sulfidikerrosten välisiin suhteisiin. Ilmajoen syvällä olevat sulfidikerrokset olivat märkinä kesänä 1998 koko ajan veden alla. Kuivana vuonna 1999 ne olivat säätösalaajitettuna osassa kuivillaan 130 päivää ja tavanomaisesti salaajitetulla osalla 200 päivää. Vuonna 2000 sulfidikerrokset olivat kuivillaan kuukauden ajan. Säätösalaajitus pystyi Ilmajoen pelloilla vähentämään sulfidien hapettumista ja paransi kuivatusvesien laatua. Näin sen sijaan ei käynyt Mustasaarella. Tällä maalla sulfidikerrokset olivat kuivillaan pitkiä aikoja kaikkina mittausvuosina (1999, 2000, 2001).

On ilmeistä, että säätösalaajituksellakaan ei pystytä pitämään ainakaan Mustasaaren kaltaisten maiden sulfidikerroksia veden alla. Kesällä haihdunta on niin runsasta, että pohjaveden pinta laskee ja jättää sulfidikerrokset kuivilleen joka vuosi. Pohjaveden pinnan pysyminen korkealla myös kesän kuivana kautena edellyttäisi sitä, että ojaan johdetaan kesällä vettä pellon ulkopuolelta. Tällaista vettä ei läheskään aina ole saatavilla, ja vedenhankinnan kustannus olisi melkoinen.

Poistaminen viljelystä?

Ympäristöön ja sen käyttöön kohdistuu monia intressejä. Happamimpien sulfaattimaiden alueella ammattikalastuksen ja vesien virkistyskäytön intressi ja maatalouden intressi voivat olla ristiriidassa keskenään. Miten löydetään tasapaino näiden välillä? Australiassa viljeltyjä sulfaattimaita esiintyy korkean elintason tiheään asutuilla alueilla, joissa maan viljelykäyttö ei ole yhtä ensisijaista kuin kehitysmaissa. Australiasta on viime vuosina tullut julkaisuja, joissa kerrotaan happamien sulfaattimaiden käyttöön liittyvistä ristiriidoista ja siitä, miten niitä on yritetty paikallisyyteisöissä ratkaista (Woodhead ym. 2000). Jos happamimmilta sulfaattimailta tulevien valumavesien laatua ei pystytä kohtuukustannuksin parantamaan, tulee epäilemättä ennen pitkää pohdittavaksi tällaisten maiden ”ennallistaminen” eli poistaminen viljelystä. Tällöin myös niiden kuivatus lopetettaisiin, ja happamien kuivatusvesien tulo lakkaisi. Keskusteltaessa happamimpien maiden viljelyn lopettamisesta on kuitenkin painokkaasti muistettava, että nämäkin pellot ovat

valtaosin yksityisessä omistuksessa, eikä niiden viljelyä ja kuivattamista voi noin vain määrätä lopetettavaksi. Tällainen menettely ei myöskään sisälly nykyisen maatalouden ympäristötukiohjelman keinovalikoimaan. Tietopohja tällaisen toimenpiteen toteuttamiseksi on niin ikään vajavaainen. Happamimpien sulfaattimaiden sijaintia ei tunneta, koska sulfaattimaiden kartoitusta on tehty yksityiskohtaisesti vain osalla sulfaattimaa-alueita. Ei ole tietoa siitäkään, missä määrin vesiä happamoitava kuormitus tulee nimenomaan happamimmilta sulfaattimailta, eikä sen takia tiedetä, minkä verran tällaisten maiden viljelyn lopettaminen parantaisi kuivatusvesiä vastaanottavien vesistöjen veden laatua. Näistä asioista pitää saada selkeitä tutkimustuloksia, ennen kuin happamimpien maiden viljelyn lopettamista voidaan perustellusti vaatia.

Vielä ei kaikkia muitakaan keinoja sulfaattimaihien liittyvien ongelmien ratkaisemiseksi ole tutkittu. Olisi syytä selvittää, onko veden pumpaaminen/johtaminen sulfaattimaille kesän kuivana kautena epärealistinen vaihtoehto happamuuden torjuntaan ja millä tavalla tällainen menettely vaikuttaisi kuivatusvesien laatuun erilaisilla mailla. Lisäksi kannattane selvittää, voidaanko näillä mailla harjoittaa jatkuvaa nurmi-tiljelyä tai kasvattaa esimerkiksi ruokohelpeä, niin että pohjaveden pintaa pidettäisiin selvästi lähempänä maan pintaa kuin esimerkiksi viljan tai perunan viljely edellyttää.

Kirjallisuus

- Aarnio, B. 1922. Über Salzböden (Alaunböden) des humiden Klimas in Finnland. *Comptes Rendus de la Conference Extraordinaire Agropedologique á Prague*, pp. 186-192.
- Aarnio, B. 1937. Über Gytjåböden. *Bodenkunde und Pflanzenernährung* 2: 186-192.
- Åström, M. & Björklund, A. 1995. Impact of acid sulfate soils on stream water geochemistry in western Finland. *Journal of Geochemical Exploration* 55: 160-170.
- Åström, M. & Corin, N. 2000. Abundance, sources and speciation of trace elements in humus-rich streams affected by acid sulphate soils. *Aquatic Geochemistry* 6: 367-383.
- Bärlund, I., Tattari, S., Yli-Halla, M. & Åström, M. 2002. Effect of intensified surface liming, control drainage and lime filter drainage on groundwater level and drainage water quality on acid sulphate soils at research fields in Ilmajoki and Mustasaari. Internet-julkaisu, toukokuu 2002. <http://www.ymparisto.fi/eng/research/projects/hapsu/hapsufinal.doc>. Viitattu 5.4.2003.
- Edén, P., Weppling, K. & Jokela, S. 1999. Natural and land-use induced load of acidity, metals, humus and suspended matter in Lestijoki, a river in western Finland. *Boreal Environmental Research* 4: 31-43.
- Ervio, R. 1975. Kyrönjoen vesistöalueen rikkipitoiset viljelysmaat. Abstract: Cultivated sulphate soils in the drainage basin of river Kyrönjoki. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 47: 550-561.
- Hartikainen, H. & Yli-Halla, M. 1986. Oxidation-induced leaching of sulphate and cations from acid sulphate soils. *Water, Air and Soil Pollution* 27: 1-13.
- Hudd, R. 2000. Springtime episodic acidification as a regulatory factor of estuary fish recruitment. *Helsingin yliopiston verkkojulkaisu. Väitöskirja*.
- Hudd, R. & Leskelä, A. 1998. Acidification-induced species shifts in coastal fisheries of the river Kyrönjoki, Finland: a case study. *Ambio* 27: 535-538.
- Hutka, R., Laitinen, T., Holmberg, M., Maunula, M. & Schultz, T. 1996. Happamien sulfaattimaiden ionivirtausmalli HAPSU. Suomen ympäristö 8. 154 p.
- 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.
- Keränen, T. & Honkavaara, T. 1972. Kalkituskoeläimillä 1928-67. Referat: Kalkningsförsök i Laihia 1928-67. *Kehittyvä maatalous* 6: 15-39.
- Kivinen, E. 1938a. Über die Eigenschaften der Gytjåböden. *Bodenkunde und Pflanzenernährung* 9/10: 122-134.
- Kivinen, E. 1938b. Untersuchungen über die Eigenschaften der Gytjåböden. *Agrogeologia julkaisuja* 48. 36 p.
- Kivinen, E. 1938c. Papulanlahden liejualet Viipurissa. Referat: Ein Gytjågebiet der Bucht Papulanlahti in der Stadt Viipuri. *Agrogeologia julkaisuja* 49. 14 p.
- Kivinen, E. 1944. Aluna- eli sulfaattimaista. Referat: Über Alaun- oder Sulfatböden. *Journal of the Scientific Agricultural Society of Finland* 16: 147-161.
- Kivinen, E. 1950. Sulphate soils and their management in Finland. *Fourth International Congress of Soil Science, Amsterdam. Transactions* 11: 259-265.
- Myllynen, K., Ojutkangas, E. & Nikinmaa, M. 1997. River water with high iron concentration and low pH causes mortality of lamprey roe and newly hatched larvae. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 36: 43-48.
- Palko, J. 1988. Happamien sulfaattimaiden kuivatus ja kalkitus Limingan koekentällä 1984-1987. Summary: Drainage and liming of acid sulphate soils in the polder in Liminka, Finland 1984-1987. *Publications of the Water and Environment Administration* 19. 88 p.
- Palko, J. & Alasaarela, E. 1988. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen ja niiden vaikutus veden happamuuteen Luodon-Ojanjärven vesistöalueella. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Rakennuslaboratorio, Oulu. 43 p.
- Palko, J. & Saari, M. 1987. Lapväärtin-Isojoen vesistö-

- alueella sijaitsevan Storsjön järvikuivion happamat sulfaattimaat. Vesi- ja ympäristöhallituksen julkaisuja 11: 3-21.
- Palko, J. & Weppling, K. 1995. Modelling the effects of acid sulphate soils on river acidity in Finland. *Nordic Hydrology* 26: 37-54.
- Palko, J., Räsänen, M. & Alasaarela, E. 1985. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen ja vaikutus veden laatuun Sirppujoen vesistöalueella. National Board of Waters. Report 260. 95 p.
- Purokoski, P. 1959a. Kalkituksen vaikutuksesta rannikkoseudun rikkipitoisissa maissa. Referat: Über Kalkungswirkung in schwefelhaltigen Böden an der Meeresküste Finnlands. *Agrogeologia* julkaisuja 72. 21 p.
- Purokoski, P. 1959b. Rannikkoseudun rikkipitoisista maista. Referat: Über die schwefelhaltigen Böden an der Küste Finnlands. *Agrogeologia* julkaisuja 74. 27 p.
- Puustinen, M., Merilä E., Palko, J. & Seuna, P. 1994. Kuitavustila, viljelykäytäntö ja vesistökuormitukseen vaikuttavat ominaisuudet Suomen pelloilla. Summary: Drainage level, cultivation practices and factors affecting load on waterways in Finnish farmland. National Board of Waters and Environment. Research Report A 198. 319 p.
- Sillanpää, M. 1978. Kalkituksen pitkäaikainen vaikutus maaprofiilin kemiallisiin ominaisuuksiin. Maatalouden tutkimuskeskus. Maantutkimuslaitos. Tiedote 1. 10 p.
- Teppo, A., Latvala, J. & Sivil, M. 1999. Kyrönjoen yläosan vesistöiden vaikutukset veden laatuun sekä kala-, rapu ja nahkiaiskantoihin vuosina 1996-1997. Abstract: The water construction works of upper part of river Kyrönjoki and its effects on water quality and fish, lamprey and creyfish populations. Länsi-Suomen ympäristökeskus. Julkaisuja 108. 80 p.
- Vuori, K. 1995. Species- and population-specific responses of translocated hydropsychid larvae (*Trichoptera, Hydropsychidae*) to runoff from acid sulphate soils in river Kyrönjoki, western Finland. *Freshwater Biology* 33: 305-318.
- Woodhead, A.C., Cornish, P.S. & Slavich, P.G. 2000. Multi-stakeholder benchmarking: clarifying attitudes and behaviour from complexity and ambiguity. *Australian Journal of Experimental Agriculture* 40: 595-607.
- 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.
- Yli-Halla, M., Puustinen, M. & Koskiahio, J. 1999. Area of cultivated acid sulfate soils in Finland. *Soil Use and Management* 15: 62-67.

Summary

Should the cultivation of the most acidic sulphate soils be stopped?

This paper reviews the studies of acid sulphate soils in Finland and presents new challenges for research. Acid sulphate soils contain sulfides, which are oxidized to sulphuric acid upon aeration. Oxidation is a consequence of post-glacial isostatic land uplift and intensified drainage of agricultural land. These soils can be successfully used for agriculture after deep drainage and abundant liming. Acidic drainage waters from these soils, containing also high concentrations of metals, cause mortality of fish and have a negative impact on fish recruitment. The area of acid sulphate soils, according to different surveys and various criteria, is 50,000 - 336,000 ha. Earlier research of acid sulphate soils concentrated on enhancing the agricultural utilization while towards the end of the last century, environmental aspects were emphasized. During the last few years, controlled drainage has been regarded as an option for the management of acidity. The at-

tempt of this method is to maintain a high water table, which retards oxidation of sulfides. However, field experiments show that, owing to evapotranspiration in summer, sulfidic layers may be exposed to aerobic environment every summer in spite of controlled drainage. This is the case particularly in soils where the sulfidic layers are close (1 m) to the soil surface. Successful submerging of the sulfidic layers probably requires pumping of water to the field from outside sources, which may be too expensive. An alternative approach might be to abandon the most acidic sulphate soils and stop draining them, which would prevent further oxidation of sulfides. This is a highly sensitive political issue, because the farmland is private property. Moreover, it is not exactly known where the most acidic sulphate soils are located and how their abandonment would impact the quality of water in the recipient rivers.