



TEKNILLINEN TIEDEKUNTA

Happamalla sulfaattimailla sijaitsevien maatalousalueiden happamuuden hallintamenetelmät

Heidi Parviainen

Ympäristötekniikka

Kandidaatintyö

Tammikuu 2022

TIIVISTELMÄ

Happamilla sulfaattimailla sijaitsevien maatalousalueiden happamuuden hallintamenetelmät

Heidi Parviainen

Oulun yliopisto, Ympäristötekniikan tutkinto-ohjelma

Kandidaatintyö 2021, 36 s.

Työn ohjaaja yliopistolla: Heini Postila

Työn tavoitteena oli perehtyä happamien sulfaattimaiden hallintamenetelmiin maatalousalueilla kirjallisuuskatsauksen avulla. Työssä pyrittiin selvittämään happamien sulfaattimaiden haittojen hallinta- ja ehkäisymenetelmien toimivuutta käymällä läpi teoriaa sekä toteutuneita pilot-hankkeita. Työn alussa käydään määritellen läpi happamien sulfaattimaiden muodostuminen ja vaikutukset ympäristöön sekä mitä edellytyksiä tehokas ja tuottoisa maatalouden peltoviljely vaatii maaperältä. Työn toisessa osassa keskitytään itse happamuuden haittojen ehkäisy- ja torjuntamenetelmiin, sekä kuinka ne soveltuvat toteutettaviksi peltoviljelyssä. Työn toisessa osassa on myös esitetty muutama käytännön tutkimus eri menetelmistä.

Tuloksena todettiin, että vallitsevan alueen olosuhteet tulee tuntea, jotta voidaan valita käyttökelpoisin haittojen ehkäisy- tai torjuntakeino. Valintaan vaikuttavat maa-alueella olevan happaman sulfaattimaan etäisyys maanpinnasta, peltoalueen pinnanmuodot, ympäristön olosuhteet sekä pellolla olemassa oleva kuivatusmenetelmä. Monissa tehokkaimmissa happamien sulfaattimaiden ehkäisykeinoissa kustannukset nousevat usein rajoittavaksi tekijäksi, jolloin alueilla ei pystytä käyttämään parhaimpia menetelmiä. Pääasiassa pyritään ehkäisemään sulfidisedimentin happamoituminen ehkäisevillä keinoilla, kuten säätösalaajituksella, mutta joskus joudutaan lisäksi turvautumaan haittoja torjuviin keinoihin, kuten kalkitsemiseen. Niiden teho saattaa olla lyhytaikainen, jolloin alueen käsittely tulisi toistaa tietyn ajan kuluessa, mikä taas nostaa kustannuksia. Tulevaisuudessa tulisi tehdä enemmän pitkäkestoisia hankekokeiluja erilaisilla alueilla ja hallintamenetelmillä, jotta voitaisiin selvittää eri menetelmien tehokkuutta tuotannollisesti sekä kustannuksellisesti.

Asiasanat: happamat sulfaattimaat, maatalous, kuivatusmenetelmät, hallinta

ABSTRACT

Acidity management methods for agricultural areas in acid sulfate soils

Heidi Parviainen

University of Oulu, Degree Programme of Environmental Engineering

Bachelor's thesis 2021, 36 pp.

Supervisor at the university: Heini Postila

The aim of the work was to get familiarize with the control methods of acid sulfate soils in agricultural areas with the help of a literature review. This work aimed to find effective techniques to manage and prevent the disadvantages of acid sulfate soils by reviewing the theory and the implemented pilot projects. At the beginning of the work, acid sulfate soils formation and its effects to the environment were reviewed. And the condition of the soil to preserve efficient and profitable field cultivation. The second part of the work focuses on techniques to prevent and control the disadvantages of acidity and how they are suitable for implementation in arable farming. The second part of the thesis also presents a few practical studies of different methods.

As a result, it was concluded that the conditions in the area should be known to be able to choose the right and best acidity control method. The choice is affected by the distance of the acid sulfate soil from the ground, topography, the environmental conditions, and the drying method existing in the field. In many of the most effective means of preventing acid sulfate soils, costs often become a limiting factor, making it impossible to use the best methods. The main aim is to prevent the acidification of sulfide clay using preventive measures as controlled drainage, but sometimes it is also necessary to control the effects of the harm as liming. Harm controls effectiveness may be short-lived, and that's why treatment should be repeated over time, and it raises costs. In the future, more long-lasting project experiments with different ground areas and management methods should be researched to determine the efficiency of various techniques in terms of production and cost.

Keywords: acid sulfate soils, agriculture, drainage methods, control

SISÄLLYSLUETTELO

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1 Johdanto	4
2 Happamat sulfaattimaat.....	5
3 Maatalous Suomessa	8
4 Happamuuden hallintamenetelmät.....	10
4.1 Haittojen ehkäisy.....	10
4.1.1 Kuivatusmenetelmän muutos.....	10
4.1.2 Säätosalaojitus ja säätökastelu.....	11
4.1.3 Pohja- ja putkipadot.....	12
4.1.4 Maankäyttö ja viljelykasvin vaihtaminen.....	13
4.1.5 Haittojen ehkäisyn vesiensuojelutoimenpiteet	13
4.2 Haittojen torjunta	14
4.2.1 Kalkitus.....	14
4.2.2 Pumppaamoiden käyttö sekä juoksutusjärjestelyt	16
5 Käytännön esimerkkejä ja kokemuksia.....	18
5.1 Rintalan pengerrysalueen SAPS-järjestelmä (anaerobiset kalkkipadot).....	18
5.2 Säätekastelu, säätosalaojitus ja normaali salaojitus Pohjois-Pohjanmaalla.....	21
5.3 Putkipadot Sanginjoen valuma-alueella.....	24
5.4 Pintavesien neutralointi.....	25
6 Johtopäätökset.....	27
7 Yhteenveto	28

LÄHDELUETTELO

1 JOHDANTO

Happamat sulfaattimaat ovat syntyneet maankohoamisen seurauksena, kun rikkipitoinen sulfidisedimentti paljastui veden alta hapettuen ilman kanssa. Sulfidisedimentit ovat syntyneet Suomen rannikkoseuduilla 8 000–4 000 vuotta sitten, jolloin vesistön runsaan kasvuston maatumisen aiheutti rehevöitymistä, joka kulutti pohjasedimentistä kaiken hapen. Hapettomissa olosuhteissa rikkipitoinen sulfidia muodostui bakteeritoiminnan seurauksena. (Heikkinen 2009, s. 14)

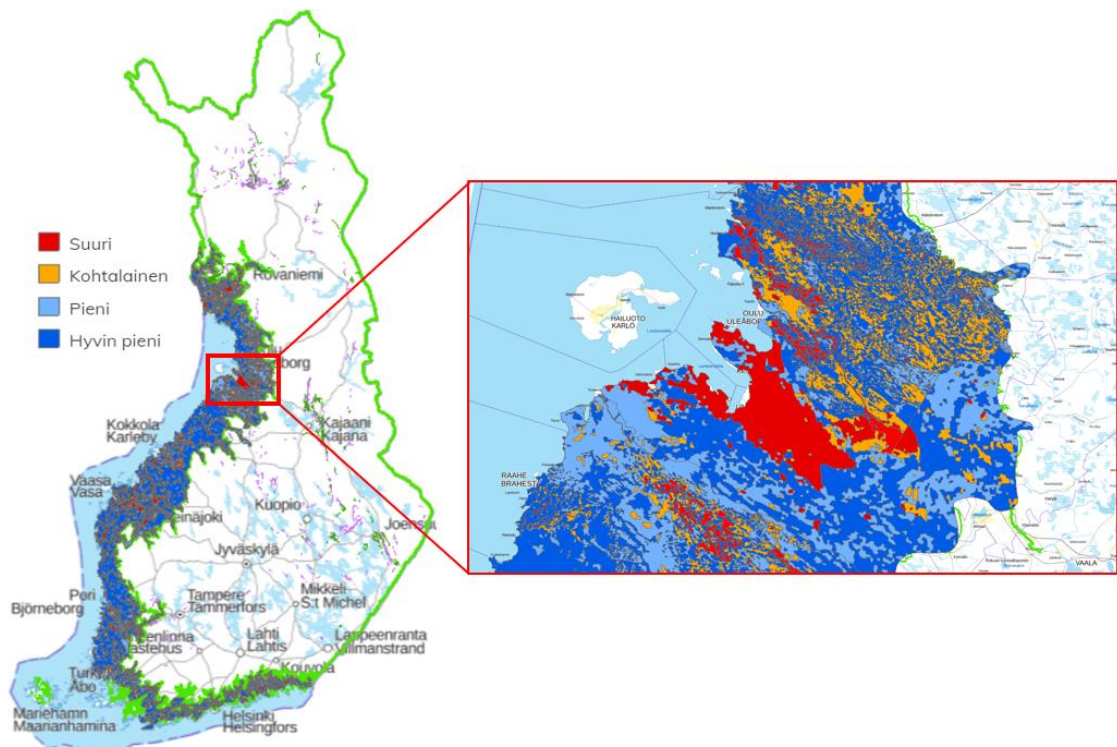
Sulfidisedimenttien ollessa pohjaveden peittämänä, ne eivät aiheuta haittaa ympäristölle. Maan muokkaamisen seurauksena pohjavedenpinta voi laskea ja altistaa sulfidisedimentin hapettumiselle. Hapettumisessa muodostuu rikkihappoa, joka on voimakkaasti syövyttävää ja laskee maan pH-arvoa. Sateet huuhtovat happaman valuman läheisiin vesistöihin, joissa pH-arvon lasku aiheuttaa ekosysteemin muuttumista sekä kalakuolemia. Itse pellolla happamuus heikentää kasvuolosuhteita pienentämällä satoa. (Sutela et al. 2012, s.40; Heikkinen 2009, s. 14)

Maatalouden peltoviljelyssä on tärkeää huolehtia maan ominaisuuksista, jotta voidaan saavuttaa mahdollisimman hyvä laatuinen ja runsas sato. Peltoviljelyssä kuivatusmenetelmien valinta on tärkeää, koska liian kostea pelto on epädullinen kasvupaikka. Pellon kuivatuksessa vaarana on sulfidisedimenttien paljastuminen pohjaveden alta, jolloin ne hapettuvat laskien maaperän pH-arvoa. Happamien sulfaattimaiden syntymistä voidaan ehkäistä valitsemalla alueelle sopivin kuivatusmenetelmä tai vähentää jo syntyneiden haittojen vaikutusta esimerkiksi kalkituksilla.

Työn aiheeksi on valittu happamilla sulfaattimailla sijaitsevien maatalousalueiden happamuuden hallintamenetelmät. Aihe valikoitui, koska se vaikutti mielenkiintoiselta ja siihen haluttiin perehtyä pintaraapaisua syvemmin. Työn tavoitteena on tuoda esille erilaisia sulfaattimaiden aiheuttamia haittoja maatalousalueilla sekä millaisia hallintakeinoja on olemassa estää tai vähentää niistä syntyviä haittoja. Työ rajattiin erilaisten haittojen ehkäisy- ja torjuntakeinoihin, joita voitaisiin käyttää maataloudessa happamien sulfaattimaiden alueilla. Työssä myös tuodaan muutamien menetelmien vahvuuksia ja heikkouksia esille esimerkkiprojektien kautta.

2 HAPPAMAT SULFAATTIMAAT

Happamat sulfaattimaat ovat syntyneet maankohoamisen vaikutuksesta rikkipitoisista sulfidisedimenteistä. Rikkipitoiset sulfidisedimentit ovat syntyneet Litorinameren peittäessä Suomen rannikkoseutuja 8 000–4 000 vuotta sitten. Sulfidisedimenttiä muodostuu myös nykyisin ja yleisimpiä muodostumispaikkoja ovat matalat merenlahdet, merenpohjan sedimentaatioalueet sekä jokisuistot (Auri et al. 2018, s. 3). Muodostumisajankohtana (8 000–4 000 vuotta sitten) vesistöjen kasvillisuus oli runsasta lämpimän ilmaston vuoksi. Runsas kasvillisuus ja sen maatumisen vesistössä aiheutti Litorinameren rehevöitymisen, jolloin aerobinen mikrobitoiminta kulutti hapen loppuun pohjasedimentissä. Näissä hapettomissa olosuhteissa bakteeritoiminta muodosti rikkiyhdisteitä synnyttäen rikkipitoista sulfidia. Sulfidisedimenttejä löytyy Suomesta länsi- ja etelärannikoilta maankohoamisen seurauksen. Oulun korkeudella happamien sulfaattimaiden esiintymistodennäköisyys on suuri (kuva 1). Suomen sulfidisesiintymät ovat suurimpia Euroopassa, mutta niitä löytyy myös Kaakkois-Aasiasta ja Australiasta. (Heikkinen 2009, s. 14)



Kuva 1. Happamat sulfaattimaat (GTK 2021)

Luonnontilaiset, pohjaveden peittämät, sulfidisedimentti, eli potentiaaliset happamat sulfaattimaat eivät aiheuta sellaisinaan ongelmia ympäristölle. Maan muokkaaminen, kuten ojitukset ja ruoppaukset, aiheuttavat pohjavedenpinnan laskemista. Tämän seurauksena sulfidisedimentit päätyvät kosketuksiin hapen kanssa, jolloin rikkihappoiset mineraalit hajoavat muodostaen rikkihappoa. Rikkihappo on voimakkaasti syövyttävä ja se liuottaa maaperässä luonnollisesti löytyviä metalleja, kuten alumiinia, kadmiumia, kobolttia, kuparia, nikkeliä sekä sinkkiä. Liuenneet metallit sekä happosuolat varastoituvat maaperään, jota tässä vaiheessa kutsutaan todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi. Seuraava sade tai tulva huuhtoo happamat sulfaattimaan yhdisteet läheisiin vesistöihin. Maaperän sekä valumavesien pH-arvo happamilla sulfaattimailla vaihtelee, mutta yleisimmin se on alle 4. Tämä on huomattavasti alhaisempi, kuin esimerkiksi sadeveden pH-arvo. (Heikkinen 2009, s.14) Herkimpien kalojen alimpana selviytymisrajana pidetään pH arvoa 5,5 (Heikkinen 2009, s. 14).

Kalakuolemat ovat yksi huomattavimmista happamien sulfaattimaiden aiheuttamista ongelmista vesistöissä. Pitkäkestoiset tai erittäin äkilliset muutokset vesistön happamuustasapainossa ovat kohtalokkaita varsinkin herkille kalakannoille sekä vastakuoriutuneille kalanpoikasille. (Sutela et al. 2012, s. 35) Tästä syystä Suomen länsirannikon joissa ja niiden suistoissa esiintyy kalakuolemia, koska alueella on runsaasti happamia sulfaattimaita, jotka vaikuttavat negatiivisesti ympäristön happamuustasapainoon (Sutela et al. 2012, s. 40).

Sulfaattimaita voidaan tunnistaa laboratoriotutkimuksilla tai maastotutkimuksilla. Potentiaalinen hapan sulfaattimaa on usein väriltään mustaa tai tumman harmaata, koska maassa esiintyy runsaasti rikkiä. Toisena helppona tunnistuskeinona voidaan käyttää maan hajua, koska rikki haisee vahvasti mädäntyneeltä kananmunalta. Todellinen hapan sulfaattimaa on ruskeaa, koska hapettumisen seurauksena on syntynyt myös raudan oksideja. Maaperän värin sekä hajun tutkiminen riittävät tunnistamisessa vain ideaalitapauksissa, ja usein potentiaalisen sulfaattimaan tunnistamiseen käytetäänkin rikkihappoanalyysiä tai maanäytteen inkubointia. (Hadzic et al. 2014, s. 18–20)

Todellinen hapan sulfaattimaa ei ole otollinen esimerkiksi viljelylle sen happamuuden takia ja ainut keino pH:n laskemiseksi on kalkitus, joka vaikuttaa hetkellisesti muokattuun pintakerrokseen (Heikkinen 2009, s.15). Happamat sulfaattimaat aiheuttavat myös infraröntgenanalyysille omat haasteensa. Maaperänä sulfidisedimentti on liejupitoista ja

tämän vuoksi sen geotekniset ominaisuudet ovat huonot. Geoteknisiin ominaisuuksiin kuuluvat esimerkiksi lujuusominaisuudet sekä painumis- ja muodonmuutosominaisuudet. Korroosion kannalta erittäin aggressiivisiksi olosuhteiksi luetaan runsaasti rikkiä sisältävät maakerrokset, eli sulfidimaakerrokset. Happaman valuman ja huokosveden aiheuttaman korroosion lisäksi sulfaatteja pelkistävät bakteerit aiheuttavat korroosiota. Näiden bakteerien vaikutuksesta sulfaatit pelkistyvät sulfideiksi, joidenka reagoidessa vedyn kanssa raudan läsnäollessa syntyy ferrosulfidia. Syntyneillä metallisulfideilla on taipumus hapettua ja muodostaa metallisulfaatteja, jotka voivat muodostaa saostumia ja tukkia näin ollen esimerkiksi salaojaputkia. Tällaisilla alueilla rakenteiden suojauksen tarve on runsasta. (Liikennevirasto 2017, s. 2–4)

3 MAATALOUS SUOMESSA

Maatalouteen kuuluu peltoviljely sekä karjatalous. Tässä työssä maatalouden osa-alueista perehdytään erityisesti peltoviljelyyn. Suomessa käytössä olevaa maatalousmaata oli viljelysalana vuonna 2020 yhteensä 2,27 miljoonaa hehtaaria (Luke 2020). Maankuivatus on yksi tärkeimmistä keinoista hallita pellon vesihallintaa. Suomessa maaperä on tiivistä, jonka vuoksi varsinkin keväällä ja syksyllä kuivatusta tarvitaan, jotta vesi ei pääse kertymään pelloille lätäköiksi. Maan kosteuden säädön tarkoituksena on parantaa maan kantavuutta sekä sen rakennetta. (Hägglom et al. 2020, s. 21) Ilmastonmuutos tuo uusia ongelmia peltoviljelylle. Varsinkin savimailla routa on tärkeässä osassa maan rakenteen muodostumisessa ja routaisen ajan väheneminen heikentää maan rakennetta sekä aiheuttaa maan tiivistymistä. Lisäksi lumeton aika ja talvisateiden yleistyminen aiheuttaa pelloilla eroosiota sekä lisää kasvitautien riskiä. Vesitaloudesta huolehtiminen on erittäin tärkeää, koska sen avulla voidaan vähentää kasvitautientorjunta-aineiden käyttöä ja täten niiden huuhtoutumista läheisiin vesistöihin. (Hägglom et al. 2020, s. 28)

Kuivausmenetelmiä on kahdenlaisia eli perus- ja paikalliskuivatus menetelmiä. Peruskuivatusmenetelmissä valtaojien keräämä kuivatusvesi johdetaan pois pellolta. Peruskuivatukseen voidaan yhdistää myös paikalliskuivatus, jonka tarkoituksena on johtaa sala- tai avo-ojituksen avulla vedet valtaojaan. Avo-ojitusta ei käytetä nykyään yleisesti, koska se pilkkoo pellot pieniin osiin sekä haittaa suurien peltokoneiden liikkumista peltoalueilla. Salaojitukset eivät haittaa peltotöiden tekemistä, joten ne ovat nykyisin suosituimpia. Salaojitettua peltoa on noin 60 % Suomen peltoalasta ja 15 % Suomen peltoalasta on mahdollista viljellä ilman salaojitusta. (Hägglom et al. 2020, s. 21–23)

Maatalous, joka koostuu peltoviljelystä sekä karjataloudesta, on yksi suurimmista hajakuormituksen lähteistä vesistöihin. Pelloilta tulevia kuormittajia ovat kiintoaines, typpi sekä fosfori. Kiintoaineksen määrä vaihtelee riippuen pellon kaltevuudesta sekä maanmuokkausasteesta. Eroosion vähentämisellä saadaan myös vähennettyä suoraan kiintoainekuormitusta. Maatalouden fosforikuormitus on 2 200 tonnia vuodessa ja typpikuormitus 36 000 tonnia vuodessa. (Suomen ympäristökeskus 2020) Suurin osa kuormituksesta tapahtuu silloin, kun pellon pinta on paljas ja muokattu. Kasvipeitteisyydellä voidaan vähentää selvästi ravinnekuormitusta. Lisäksi suojavyöhykkeillä peltujen ja uomien välillä voidaan vähentää syntynyttä kiintoaines- ja ravinnekuormaa vesistöille. (Tattari et al. 2015, s. 30, 42)

Peltoviljelyn muutokset, koneistuminen ja avo-ojituksesta salaojitukseen siirtyminen, ovat tapahtuneet viimeiset 70 vuoden aikana. Peltojen salaojitus on muuttanut veden luontaista virtausta verrattuna normaalitilaan, ja sitä myötä vesistöihin päätyy avo-ojitusta runsaammin ravinteita, mikä heikentää vesistöjen tilaa. Säätäsalaojituksella ja patoamalla laskuojaa pohjaveden korkeutta pystytään säätelemään. Sulfaattimaita viljellessä on tärkeä huolehtia peltoalan riittävän korkeasta pohjavedenpinnan tasosta, jotta viljelyala ei muutu liian happamaksi ja aiheuta tällöin hapanta metallipitoista kuormaa vesistöihin (Sutela et al. 2012, s. 8; Häggblom et al. 2020 s. 23) Joillain alueilla sulfidisedimenttikerrokset ovat niin lähellä maanpintaa, ettei viljeleminen ole mahdollista, koska pellot vaativat lähes aina kuivatusta ja kuivatus taas aiheuttaa maan pH:n happamoitumista, jonka seurauksena kasvit eivät enää menesty. Vaikka sulfidisedimenttikerrokset sijaitsisivat syvemmillä, on oltava tarkkoina kuivatussyvyyden kanssa.

4 HAPPAMUUDEN HALLINTAMENETELMÄT

Suurin osa Suomessa esitetyistä happamuuden hallintamenetelmistä liittyy maatalouden toimintaan, koska Suomen läntinen rannikko on erittäin maatalousvaltaista aluetta sen viljelyyn otollisten olosuhteiden vuoksi. Happamien sulfaattimaiden haittoja voidaan ehkäistä pitämällä pohjaveden pinta korkealla jatkuvasti. Muita ennalta ehkäiseviä keinoja on muuttaa alueen maankäyttöä, toteuttaa haittojen ehkäisyn vesiensuojelutoimenpiteitä ja säätösalaajituksia sekä säätökasteluja tai tehdä vesistöihin pohjapatoja. Jo syntyneen happamoitumisen haittoja voidaan vähentää maaperän ja vesistöjen kalkituksella, kalkkisuodinojilla ja juoksutusjärjestelyillä sekä pumppaamoiden käytöllä. (Maa- ja metsätalousministeriö 2018, s. 16–17; Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 41–54) Hallintamenetelmät voidaan jakaa sulfidihapettumisen vähentämiseen, maaperän happamuuden neutralointiin sekä happaman veden käsittelyyn, joista kaksi viimeisintä ovat haittojen torjuntaa (Karppinen et al. 2016, s. 10).

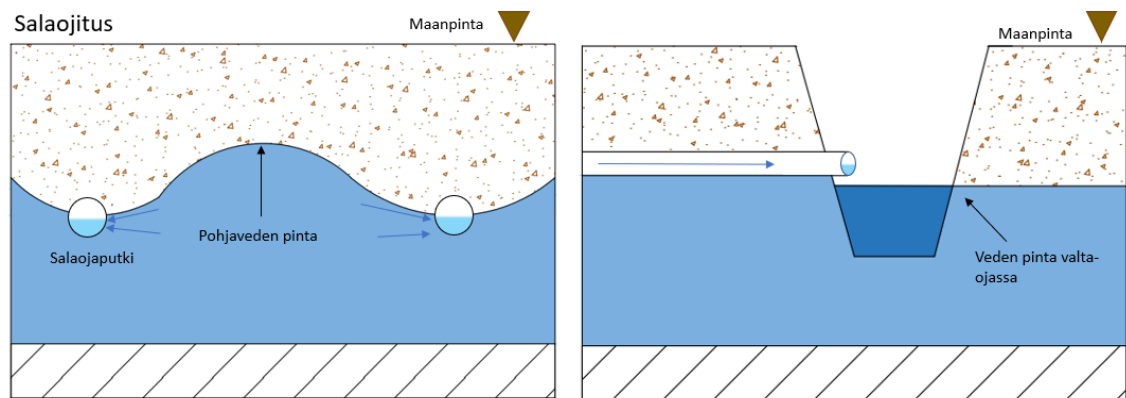
4.1 Haittojen ehkäisy

Haittojen ehkäisy keskittyy eritoten sulfidihapettumisen vähentämiseen eri keinoilla. Pääteemana on pitää pohjaveden pinta riittävän korkealla, jotta sulfidikerrokset eivät pääse hapettumaan. Muihin hallintamenetelmiin happamilla sulfaattimailla kuuluvat esimerkiksi pientä kuivatussyvyvyyttä vaativien kasvien viljely sekä erilaiset säätösalaajitus ja -kastelu järjestelmät.

4.1.1 Kuivatusmenetelmän muutos

Ennen nykyaikaista taloudellista viljelyä peltojen kuivatuksessa on käytetty avo-ojitusta. Avo-ojituksessa pelloille kaivettiin ojia, jotka jakoivat pellon pienempiin osiin. Ojituksen tarkoituksena on johtaa ylimääräinen vesi pois pellolta. Nykyaikainen viljelytekniikka vaatii salaajitusta sen kuivatustehokkuuden sekä huomaamattomuuden vuoksi, ja jotta työkoneet voivat helpommin liikkua peltoalueilla. Salaajituksella toteutettujen peltojen ravinne- ja kiintoainekuorma on pienempi verrattuna avo-ojitukseen. Tämä johtuu siitä, että salaajitetuilla pelloilla pintavalunta ei ole yhtä suurta. Mutta sulfaattimailla tehokkaammasta peltojen kuivattamisesta voi tulla ongelma. Huonosti toteutettu salaajitus voi lisätä metalli- ja happamuuskuormitusta vesistöihin sulfidisedimenttien hapettuessa. (ELY-keskukset 2021; Salaajayhdistys 2021)

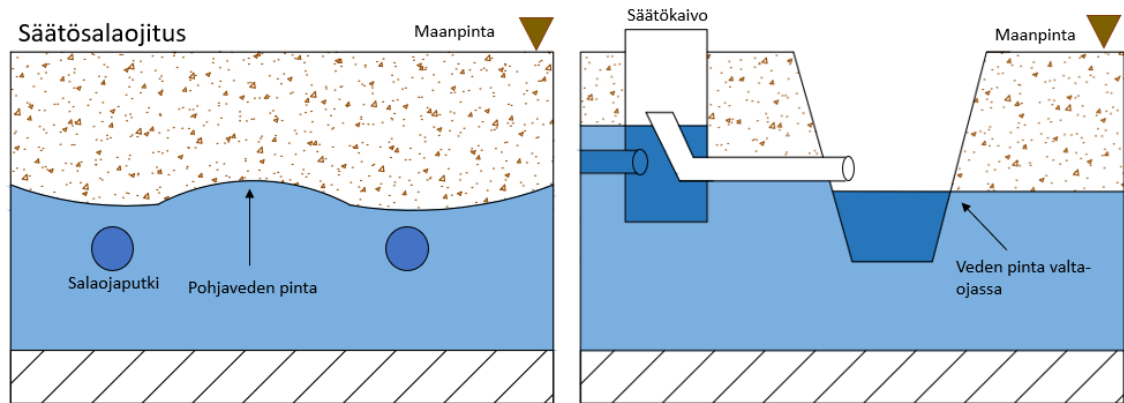
Maanviljelijöillä on nykyään runsaasti eri keinoja hallita pohjavedenpinnan korkeutta. Perinteisessä salaojituksessa ylimääräinen vesi johdetaan pois peltoalueilta salaojaputkia pitkin valtaojaan (kuva 2). Tässä tekniikassa salaojaputkien sijoitussyvyydellä on suuri merkitys pohjavedenpinnan korkeudelle. Kun kyseessä on happamat sulfaattimaat, on maa pidettävä mahdollisimman kosteana, mutta kuitenkin viljelyn kannalta otollisena. Tämä ehkäisisi tai ainakin hidastaisi happamien yhdisteiden muodostumista. (Salaojayhdistys ry 2017) Täten salaojien tarkka sijainti on tärkeää määrittellä mahdollisimman hyvin happamien sulfaattimaiden alueella.



Kuva 2. Salaojituksen periaatekuva (muokattu Salaojayhdistys ry 2017, s. 22)

4.1.2 Säätsalaojitus ja säätokastelu

Säätsalaojitus on mukautuvampi kuivatuskeino, kuin perinteinen salaojitus. Säätsalaojituksen tarkoituksena on pitää pohjavedenpinta optimaalisella korkeudella viljelyn ja sulfidimaiden näkökulmasta (kuva 3). Säätsalaojituksessa säätökaivojen veden annetaan nousta korkeammalla ojasyvyyteen nähden aina, kuin se on mahdollista. Kasvukauden kuivia aikoja varten voidaan varastoida vettä nostamalla padotuskorkeutta ja näin ollen suurentaa vesivarastoja. Parhaiten säätsalaojitus sopii tasaisille pelloille ja säätökaivojen määrä riippuu peltoalueen kaltevuudesta. Säätsalaojitettua peltoa voidaan myös kastella altapäin kuivina ajanjaksoina (säätokastelu), jos lähistöllä on saatavilla kasteluvettä. Vesi voidaan pumpata säätökaivoon ja jakaa sieltä eteenpäin. Tätä kyseistä toimintaa kutsutaan säätokasteluksi. (Salaojayhdistys ry 2017, s. 21–22)

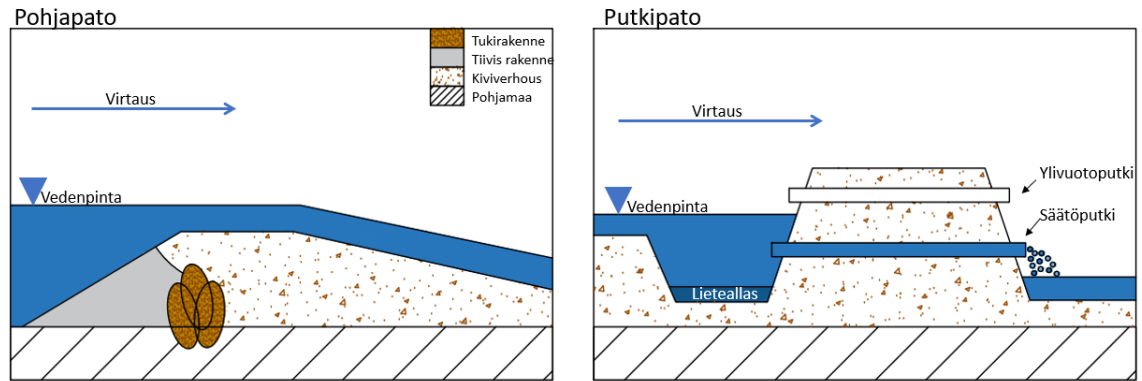


Kuva 3. Säätösalaajituksen periaatekuva (muokattu Salaojayhdistys ry 2017, s. 22)

Normaalissa salaajituksessa ongelmana on ruosteen runsas saostuminen salaajiin, mikä tukkii ojat. Tämän vuoksi säätösalaajituksen hyviin puoliin kuuluukin se, että rauta pysyy pääosin liuenneessa muodossa, jolloin saostumia ei muodostu yhtä paljon. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009) Säätösalaajitus myös vähentää ravinnehuuhtoutumia verrattuna perinteiseen salaajitukseen. Säätösalaajitus on erittäin tehokas keino ehkäistä sulfidisedimenttien hapettumista, jos ne sijaitsevat melko syvällä maanpinnan alla (yli 2 m). Lähempänä maanpintaa (0–1 m) olevien sulfidisedimenttien hapettumista ei tällä kyseisellä tekniikalla voida estää, koska kasvien runsas vedenkäyttö kuivina aikana laskee pohjavedenpinnan syvemmälle. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 45–46; Karppinen et al. 2016, s. 11)

4.1.3 Pohja- ja putkipadot

Pohjapato on kiinteä rakenne, jolla pidetään vedenpinta ojassa halutulla korkeudella ja sen avulla voidaan muodostaa esimerkiksi laskeutusaltaita ja kosteikoita (Granholm et al. 2017). Pohjapadon tarkoituksena on ohjata vesi virtaamaan rakennetun esteen yli, mikä hidastaa veden virtaamaa (kuva 4). Putkipato on kehittyneempi, kuin pohjapato. Putkipadossa säätöputki ja ylivuotoputki kulkevat maapadon lävitse (kuva 4). Veden tulosuunnassa on lieteallas, johon kiintoaines laskeutuu ennen virtaaman kulkemista maapadon putkien lävitse. Pohja- ja putkipatojen kyky säädellä vedenpinnan korkeutta ojissa on tärkeää etenkin tulvahuippujen aikana, koska silloin ravinne- ja happamuuspiikit nousisivat liian korkeiksi. Pohja- ja putkipatojen avulla voidaan myös ehkäistä kuivatuksesta johtuvaa eroosiota hidastamalla virtaamaa ja lisäämällä veden viipymää ojissa. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 46–47; Karppinen et al. 2016, s. 13) Tämän vuoksi laskuojiin happamilla sulfaattimailloja olisi hyvä tehdä mahdollisuuksien mukaan pohja- tai putkipatoja hallitsemaan eroosiota (Maa- ja metsätalousministeriö 2009).



Kuva 4. Pohjapadon periaatekuva (muokattu Suomen ympäristökeskus 2014; muokattu Kostel et al. 2014) ja putkipadon periaatekuva (muokattu Jämsén et al. 2017)

4.1.4 Maankäyttö ja viljelykasvin vaihtaminen

Peltojen maankäyttö riippuu siitä kuinka syvällä sulfidisedimentit sijaitsevat. Riskialueilla, joissa sulfidisedimenttikerros on erittäin lähellä maanpintaa, tulisi lisäkuivatuksesta luopua kokonaan. Hankalimmilla alueilla peltoviljelyssä tulisi suosia pienempää kuivatussyvyvyyttä vaativia kasveja, kuten nurmikasveja ja energiakasveja, jotta pohjaveden pintaa ei tarvitsisi laskea niin matalalle. Lisäksi tietyillä ongelmallisilla alueilla voidaan joutua luopumaan kokonaan peltoviljelystä, jos mitkään keinot eivät auta. Usein kuivatuksen tehostamisen tarve on ristiriidassa happamuushaittojen vähentämisen kanssa. (Hägglom et al. 2020, s. 49; Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 42)

4.1.5 Haittojen ehkäisyn vesiensuojelutoimenpiteet

Erilaisille haittojen ehkäisyn vesiensuojelutoimenpiteille yhteistä on se, että ravinteet ja kiintoaines yritetään pitää pelloilla tai ainakin niiden pääsyä läheisiin vesistöihin pyritään estämään. Tärkeimpiä keinoja ovat maan kasvikunnosta huolehtiminen eli sekä kasvien tarpeenmukainen lannoitus. Maan kasvikunnosta huolehtimista voi olla esimerkiksi orgaanisen aineksen tai kalkin lisääminen. Lisäksi monivuotiset nurmet lisäävät maan orgaanista massaa sekä kasvit nostavat syvemmälle maahan huuhtoutuneita ravinteita pintamaahan. Myös salaojittaminen kuuluu maan kunnosta huolehtimiseen. (Varsinais-Suomen ELY-keskus 2017) Kun maa voi hyvin, eli se pidättää juuri sopivasti vettä kasveille, pystyy kasvit käyttämään niille annostellun ravinnemäärän tehokkaasti. Lisäksi peltojen talviaikainen kasvipeitteisyys vähentää eroosiota ja täten ravinteiden huuhtoutumista. Tämä on tärkeää varsinkin eteläisessä Suomessa, jossa ilmastonmuutoksen seurauksena lumipeitteen paksuus on ohentunut ja peittoaika lyhentynyt. (Kulmala 2021)

Happamalla sulfaattimaa-alueilla vesiensuojelutoimenpiteet ovat lähes välttämättömiä, koska ne vähentävät maan happamoitumista. Viljelyssä eräänä vesiensuojelutoimenpiteenä voidaan vähentää syyskynnön intensiivisyyttä käyttämällä talviaikaista sänkeä tai suorakylvöä pelloilla. Tämä vähentää valuman ravinnekuormaa ja erityisesti kiintoaineen mukana kulkeutuvan fosforin määrää. (Tattari et al. 2015, s. 41) Pelloilta kerätty kuivatusvesi voidaan johtaa pintavalutuskentän tai kosteikon kautta läheiseen vesistöön tai suoraan kierrätykseen esimerkiksi säätökastelun avulla. Näin ravinteita ei päädy liikaa vesistöihin. Varsinkin happamalla sulfaattimailla kunnostustoimien yhteydessä suositellaan laskuojiin pienimuotoisia pintavalutuskenttiä sekä perkauskatkoja. Nämä ovat hyviä keinoja, koska ne eivät edellytä syvempiin maakerrokseen kajoamista. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 44–45)

4.2 Haittojen torjunta

Kaikkia happamien sulfaattimaiden haittoja ei voida ehkäistä kokonaan. Torjuntakeinojen päämääränä on neutralisoida happamuus emäksellä. Haittojen torjuntakeinoja tulee käyttää vain ja ainoastaan arvaamattomien haittojen korjaamiseen. Niiden ei tule olla ensisijaisia keinoja, koska ne ovat kalliita sekä niiden vaikutusaika on suhteellisen lyhyt.

4.2.1 Kalkitus

Maaperän kalkitus

Maaperä happamuutta voidaan vähentää kalkituksella, ja se on yleinen keino, jolla saadaan alue viljelykuntoon. Muokkauskerrokseen lisätty kalkki ei vaikuta valuman happamuuteen, eikä se pääse kulkeutumaan syvempiin maakerrokseen nykyisten viljelytekniikoiden avulla. Maan pintakerros on myös epäedullinen kalkin levitykseen kerroksen matalasta kosteuspitoisuudesta johtuen, sillä se heikentää kalkkikivijauheen liukenemistä. Pintakerroksen orgaaninen aines kuluttaa myös kalkin neutraloivaa vaikutusta, koska se kuluttaa kalkkia kemiallisten reaktioiden kautta, jolloin itse sulfaattimaan happamuuden neutralisointiin jää kalkkia vähemmän. Jos rautaa esiintyy runsaasti maakerroksessa liuenneessa muodossa, heikentää se kalkin liukenemistä saostumalla kalkkihiukkasten pinnalle. Kaiken tämän vuoksi kalkki tulisi sijoittaa syvemmälle maakerrokseen, jossa itse hapettuminen tapahtuu, jotta se vaikuttaisi myös vesien happamaan valumaan. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 48; Weppling 1998, s. 15)

Vesistöjen kalkitus

Myös vesistöjä kalkitaan, mutta menetelmää tulisi käyttää vain erikoitapauksissa, koska menetelmä ei ole täysin riskitön. Vesistöjä voidaan kalkita suorakalkituksella, jossa kalkkikivijauhetta tai kalkkilietettä johdetaan yleensä pumppuaseman kautta vesistöön. Toinen vaihtoehto on levittää jään päälle kalkkia kevättalvella, mutta tämä ei sekoita kalkkia niin tehokkaasti vesistöön kuin pumpput. Jos vedet ovat metallipitoisia, kalkitus aiheuttaa sakan kertymistä vesistön pohjaan. Erittäin metallipitoiset ja samalla happamat vedet tarvitsevat runsaasti kalkin neutralointivaikutusta ja tällöin kalkin kulutus on huomattavasti suurempi. Metallien saostuminen on toisaalta hyvä asia, koska tällöin veden metallipitoisuudet pienenevät, mutta kalkitusaseman läheisyyteen olisi tärkeä rakentaa laskeutusallas metalli- sekä kalkkisakalle. Eritäin happamien vesistöiden kalkitseminen ei ole hyödyllistä, koska happamat olosuhteet pienentävät kalkin liukenemista veteen, jolloin menetelmän tehokkuus jää pieneksi. Kalkitus on myös kallista, ja se on usein hankala saada toteutettua yllättävissä tilanteissa nopeasti. Vesistöjen kalkitusta suositellaankin vain pieniin sivu-uomiin, jotka ovat erittäin merkittäviä luonnontaloudellisesti. Vesistöalkitusta ei pystytä käyttämään suurissa vesistöissä, koska tarvittavat kalkkimäärät olisivat aivan liian suuria. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 49–50)

Anaerobiset kalkkipadot

Vesistöjä voidaan myös kalkita anaerobisilla kalkkipadoilla. Tämä menetelmä on kehitetty kaivosten happamien vesien neutraloimiseen suuressa mittakaavassa, mutta koska happamien sulfaattimaiden vesien laatu ja sen aiheuttamat haitat ovat hyvin samanlaisia, voitaisiin tätä menetelmää soveltaa myös maataloudessa. Menetelmässä mikrobien avulla kuivatusvesien sulfaatti pelkistyy, ja näin ollen valumavedet neutraloituvat (Maa- ja metsätalousministeriö 2011, s. 25). Anaerobisen kalkkipadon tarkoituksena neutraloimisen lisäksi on saostaa mukana olevat metallit. Anaerobinen kalkkipato koostuu eloperäisestä suodattimesta, kalkkikivikerroksesta sekä aerobisesta selkeytysaltaasta. Tätä menetelmää on testattu Suomen talviolosuhteissa ja sen haasteeksi muodostuvat mikrobitoiminnan hidastuminen lähes olemattomiin. Menetelmä on teoreettisesti toimintakykyinen, mutta se vaatii kehittämistä, jotta se toimisi Suomen olosuhteissa tehokkaasti. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 51–52)

Kalkkirouhepadot ja -pohjat

Kalkkirouhepadot ja -pohjat eivät ole yleisiä keinoja maatalouden happamuuden torjunnassa. Niitä on pääasiallisesti käytetty varsinkin pienten purojen kunnostuksessa kalataloudessa. Menetelmässä kalkkikivimurskeella vuorataan avoimien uomien reunat ja pohja tai murskeesta voidaan rakentaa vettäläpäisevä pato. (Karppinen et al. 2016, s. 16) Tarkoituksena on tällöin ollut nostaa hieman veden pH arvoa sekä vedenpintaa. Jotta menetelmien toimivuutta maatalouden puolella voitaisiin arvioida, menetelmää tulisi kehittää, sekä tehdä enemmän käyttökokeita. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 52)

Kalkkisuodinojat

Kalkkisuodinojissa emäksinen vyöhyke saavutetaan sekoittamalla salaojan kaivannon täyttömaahan 3–10 % poltettua kalkkia. Kun happamat valumavedet kulkeutuvat salaojaan, ne neutraloituvat matkalla. Neutraloitu vesi voidaan tämän jälkeen johtaa suoraan vesistöön, eikä se aiheuta tällöin hapanta kuormitusta vesistöille. Tätä menetelmää on käytetty happamilla sulfaattimailla toimivasti, mutta sen teho laskee nopeasti kalkin neutralointitehon kuluessa. Uuden ja toimivan säätösalojituksen kanssa menetelmän teho kestää pidempään. Suomessa vuonna 2000 kalkkisuodinojitusta on ollut yhteensä 1018 ha alueella. Suurin osa näistä alueista on sijainnut Pohjanmaalla (299 ha), Varsinais-Suomessa (285 ha) sekä Satakunnassa (255 ha). (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 52–53)

4.2.2 Pumppaamoiden käyttö sekä juoksutusjärjestelyt

Pumppaamoiden käytön sekä juoksutusjärjestelyiden tarkoituksena on säädellä veden virtausta. Juoksutusjärjestelyt kattavat happamien vesien porrastetun laskemisen, laimentamisen sekä johtamisen alueille, jossa happamuus aiheuttaa mahdollisimman vähän haittaa ympäristölle sekä vesistöille. Sulfaattimailla pumppaamoiden käyttö olisi suotavaa yhtenä vesiensuojelutoimenpiteenä. Säätelemällä kuivatuspumppujen virtaamaa sekä käynnistys- ja pysähtymisaikoja voidaan säätää pohjavedenpinnan korkeutta pelloilla, ja täten vähentää happaman kuormituksen syntymistä. Sadonkorjuun sekä kylvökauden aikana vedenpinta pidetään niin matalalla, kuin se on mahdollista, jotta pelloilla voidaan kulkea raskailla koneilla, mutta kasvukauden aikana pohjaveden pinta tulee pitää mahdollisimman korkealla viljelykasvien saatavilla. Tämä korkeusero toteutetaan käytännössä käyttämällä kahta eritehoista pumppua. (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 52) Juoksutusjärjestelyt ja

pumppaamojen käyttö on melko edullinen ja tehokas happamuuden hallintakeino, mutta se soveltuu vain harvoille kohteille, koska happamilla alueilla tehokaan pumppauksen seurauksena voi tulla paikallisia happamuusongelmia. (Maa- ja metsätalousministeriö 2011, s. 13).

5 KÄYTÄNNÖN ESIMERKKEJÄ JA KOKEMUKSIA

Suomessa on tehty useita pilot-kokeita ja tutkimuksia koskien happamuuden hallintamenetelmiä. Tässä työssä perehdytään 1) Rintalan-pengerialueella toteutettuun SAPS-järjestelmään (Successive Alkalinity Producing System), 2) eri salaojitustyyppien vertailuun Ruukin tutkimuskeskuksella, 3) Sanginjoella toteutettuihin putkipatoihin sekä 4) pintavesien neutralointiin.

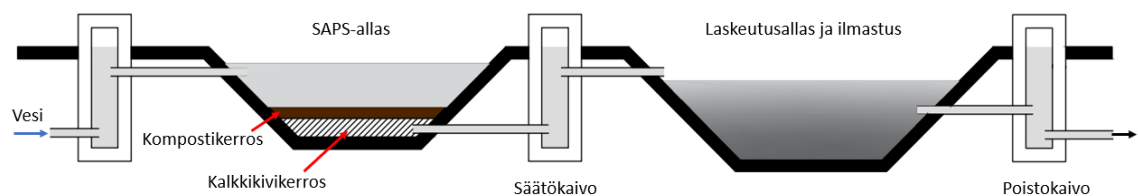
5.1 Rintalan pengerrysalueen SAPS-järjestelmä (anaerobiset kalkkipadot)

Vuosina 1997–2004 Rintalan alueella toteutettiin Länsi-Suomen ympäristökeskuksen aloitteesta happamien valumavesien käsittelyyn liittyvää tutkimusta laboratoriossa sekä pilot-laitoskokeella SAPS-laitosjärjestelmällä, joka luokitellaan anaerobiseksi kalkkipadoksi. Laboratoriotutkimuksissa selvitettiin biologisen sulfaattipelkistykseen toimivuutta sekä erilaisten suodatinmateriaalien tehokkuutta eri olosuhteissa, kuten pakkasessa ja virtaaman muuttuessa. Suodatinmateriaalina testattiin sienikompostia, biokompostia sekä lietekompostia. Analyysien mukaan sienikompostissa sulfaatti pelkistyi nopeammin (1vk), kuin biokompostissa (1kk). Lietekomposti ei osoittanut ollenkaan sulfaatinpelkistysreaktion käynnistymistä. Sulfaatin pelkistystä tutkittiin aistinvaraisesti rikkivedyn kautta, koska sulfaatin pelkistyessä vapautuu voimakkaasti haisevaa rikkivetyä. Käsittelymenetelmänä biologista sulfaatinpelkistystä on käytetty happamien kaivosjätevesien ja prosessijätevesien käsittelyssä. Näissä virtaamat ovat kuitenkin melko tasaisia. Happamien sulfaattimaiden valumat vaihtelevat runsaasti eri vuodenaikojen sekä vuosien välillä, mikä aiheuttaa ongelmia optimoinnissa. Laboratoriokokeissa kompostimateriaalit toimivat melko hyvin alhaisissa lämpötiloissa ja substraattien pelkistyskyky palautui myös jäätyneen jälkeen. Sienikompostia päätettiin käyttää kyseisessä pilot-laitoskokeessa alustavasti, mutta rakennusvaiheessa sen huonon saatavuuden sekä korkeaksi nousseen hinnan vuoksi korvaavaksi suodatinmateriaaliksi kompostikerrokseen haettiin korvaajaa. (Kustula et al. 2005)

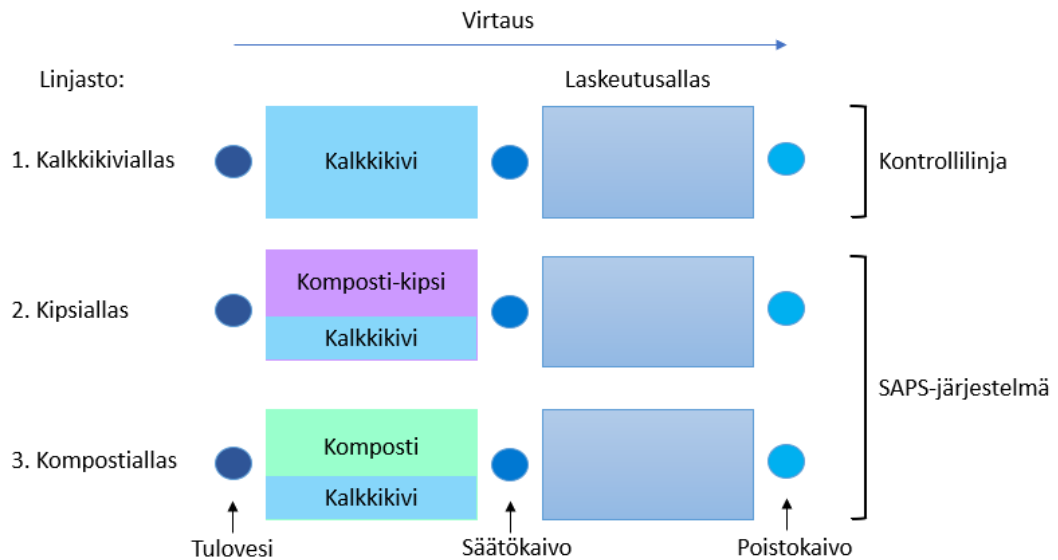
Jatkotutkimuksissa selvitettiin muiden materiaalien soveltuvuutta orgaaniseksi kerrokseksi. Valittavat materiaalit olivat sienikompostin kanssa samankaltaisia, eli ne olivat pitkälle kompostoituvia, vapaita patogeeneistä ja muista epäpuhtauksista, eivätkä

ne sisällä liukenevia ravinteita. Valittavat materiaalit astiakokeisiin olivat vaalea rahkaturve, maatunut tumma turve, kompostoitu karjasuojajäte ja vertailukohtana sienikomposti. Kaikki substraatit nostivat pH-arvon yli 6, mutta mikään muu sienikompostin lisäksi ei tukenut sulfaatinpelkistystä ollenkaan, mutta turvemateriaalit valittiin kolonnijatkokokeisiin. Kolonnikokeissa tupeiden käsittelykapasiteetti oli suhteellisen samalla tasolla raudan ja alumiinin osalta kuin sienikompostin ja pH-arvo pysyi korkeana, eikä niistä liennut käsiteltävään veteen ravinteita merkittävästi. Substraattitutkimusten jälkeen todettiin, että sulfaatinpelkistysprosessi ei ole tärkeintä, vaan se, että substraatti kykenee poistamaan veteen liuenneen hapen ennen sen kulkeutumista kalkkikerrokseen. Sienikompostin korvaavaksi materiaaliksi tutkijat valitsivat kompostoidun asumajätevesilietteen, koska sen ominaisuudet katsottiin olevan riittävän lähellä sienikompostin kykyä poistaa liennut happi johdetusta vedestä. (Kustula et al. 2005)

Kenttäkoetta varten testattiin kompostikosteikon eli orgaanisen suodattimen (SAPS-allas), anaerobisen kalkkikivikerroksen ja aerobisen kosteikon (laskeutusallas ja ilmastus) yhdistelmiä (kuva 5). Aerobisessa kosteikossa eli laskeutusaltaassa saostumista voidaan tehostaa ilmastuksella. Tässä menetelmässä vesi johdettiin pystysuorasti kompostisubstraatin ja kalkkikiven läpi. SAPS-neutralointilaitostyyppi kuuluu anaerobisiin kalkkikivipatoihin. Syksyllä 2001 käynnistettiin pilot-laitoksen rakentaminen. Laitos koostui kolmesta rinnakkaisesta linjastosta, joista ensimmäinen toimi kontrollilinjana ja kahdessa muussa oli varsinaiset SAPS-altaat (kuva 6). (Kustula et al. 2005)



Kuva 5. SAPS-järjestelmän periaatekuva (muokattu Kustula et al. 2005)



Kuva 6. Pilot-laitoksen kolme rinnakkaista linjastoa (muokattu Kustula et al. 2005)

Tutkimusjakson aikana oli kaksi kuivaa kesää ja yksi erittäin sateinen ja virtaukseltaan voimakas kesä. Parhaimmillaan voimakkainten happamuusjaksojen aikana (pH alle 5) kalkkiallaslinjastolta poistuva vesi oli kaksi pH-yksikköä korkeampi verrattuna tuloveteen. Kompostialtaissa vastaavien happamuusjaksojen aikana pH-arvo nousi yhdellä yksiköllä. Kun tarkastellaan pH:ta keskiarvallisesti, huomataan, että poistokaivoissa pH-arvot eivät eroa suuresti tuloveden arvosta (0,3–0,4 yksikköä) (taulukko 1). Käsittelylinjastot nostivat pH-arvoa verrattuna lähtötilanteeseen sekä lisäsivät veden puskurikykyä. Mittauksissa selvisi, että ennen laskeutus- ja ilmastusallasta SAPS-linjastoissa (2 ja 3) pH oli lähes neutraali ja se aleni ilmastuksen jälkeen lähelle tuloveden arvoa laskeutusaltaassa, jossa metallien saostus tapahtuu. Tämä voi johtua metallihydroksidien muodostumisesta laskeutusaltaassa, koska ne lisäävät happamuutta ilmastuksen jälkeen, mutta todennäköisesti muualta tuleva valunta vaikutti mittauksiin heikkojen suojausten vuoksi. Pilot-laitoksella ongelmia aiheuttivat muun muassa pumppujen ja putkien tukkeutuminen metallisakalla ja virtaamien runsas vaihtelu sekä itse pumppujen rikkoutuminen. (Kustula et al. 2005)

		Linja 1 kalkkikiviallas	Linja 2 komposti-kipsiallas		Linja 3 kompostiallas	
	Tulovesi	Poistokaivo	Säätökaivo	Poistokaivo	Säätökaivo	Poistokaivo
pH	4,1–7,1	4,6–7,3	6,3–6,8	4,5–7,2	6,3–7,1	4,4–7,3
ka	5,6	6,0	6,6	5,9	6,7	5,9

Taulukko 1. Pilot-laitoksen pH-arvojen vaihteluväli ja keskiarvo linjastoilla vuoden 2002 keväästä vuoden 2004 syksyyn (muokattu Kustula et al. 2005, Liite 10 (3/20))

SAPS-järjestelmän tehokkuus ei ollut aivan niin hyvä, kuin laboratoriokokeet olivat ennustaneet, mutta menetelmä kuitenkin paransi käsiteltyjen vesien laatua. Biologisen suodattimen todellista sulfaattipelkistymisen tehoa oli hankala määrittää, mutta se poisti vedestä tehokkaasti happea, jolloin rauta pysyy liukoisessa muodossa, eikä päällystännyt kalkkikiveä. Suunnittelussa ja toteutuksessa ei ollut huomioitu kaikkia ongelmia aiheuttaneita asioita. Tuloksia olisi voitu parantaa käyttämällä laboratoriokokeissa määriteltyä parasta suodatinmateriaalia, sienikompostia, asumajätevesilietteen sijaan. Laskeutusaltaiden olisi pitänyt olla suurempia ja eristettyjä, jotta valumana muualta tuleva happamuus ei olisi haitannut analyysyjä. Tämän lisäksi kalkkikiven raekoko olisi voinut olla pienempää, jotta neutralointikapasiteetti olisi saatu maksimoitua. Myös näytteenotto olisi voitu automatisoida mittaamaan muutoksia jatkuvasti vedenlaadun nopeiden muutosten vuoksi. Käytännössä SAPS-järjestelmä toimi ja kokeessa esiintyneet ongelmat olivat lähinnä teknisiä, eikä menetelmän periaatteesta johtuvia. SAPS-käsittelyä voidaan pitää tehokkaampana ja ympäristölle turvallisempänä, kuin suoraa vesistöjen kalkitusta. (Kustula et al. 2005)

5.2 Säätökastelu, säätösalaajitus ja normaali salaajitus Pohjois-Pohjanmaalla

Siika- ja Pyhäjoen valuma-alueet ovat happamia sulfaattimaita. Ruukin tutkimusasema perustettiin 2009 syksyllä, ja alueella testattiin säätökastelua, säätösalaajitusta sekä normaalia salaajitusta ja niiden vaikutusta pelloilta poistuvan vedenlaatuun. Lisäksi peltoalueet jaettiin kahtia ja toinen puoli alueesta käsiteltiin kalkkikuonalla ja tutkittiin kalkkikuonakäsittelyn vaikutusta sadontuottokykyyn. Ojitussyvyys oli tarkoituksellisesti keskimääräistä ojitussyvyyttä matalammalla, koska haluttiin tutkia ongelmallista pohjamaata. Peltoalueella oli kaltevuuseroja eri palstojen välillä. Testialueiden välillä oli vain ojittamaton vyöhyke, joka ei kokonaan estänyt muualta tulevaa virtaamaa. Alueilta testattiin veden laatua, poistuvan virtauksen määrää ja sadon suuruutta sekä laatua. (Suomela et al. 2014)

Säätökastelualueella ojitussyvyudeksi määriteltiin 120 cm, ja pohjaveden pinta säädettiin 80–90 cm etäisyydelle maanpinnasta. Kasteluvesi pumpattiin Siikajoesta, ja kesällä varsinkin rankkasateiden aikana kerättyä kuivatusvettä voitiin kierrättää pellolla. Säätosalaoja-alueella ojasyvyys oli 120–130 cm ja pohjavedenpintaa säädettiin säätökaivoilla noin 80 cm maanpinnasta. Padotus pidettiin samoilla säädöillä koko talven ajan, jotta padotus ei myöhästyisi tai unohtuisi kevään sulamisvirtaamien lisääntyessä. Normaalilla salaojitusalueella ojitussyvyudeksi määriteltiin 110–120 cm. Tällä alueella sulfaattiesiintymät olivat pienemmät, kuin kahdella muulla testialueella. (Suomela et al. 2014; Suomela 2012)

Veden pH arvoja mitattiin salaojakaivoista sähköisillä mittareilla tai käsin. Sähköisten mittareiden tulokset eivät olleet aina luotettavia veden erittäin matalan pH:n, korkean suola- ja metallipitoisuuden vuoksi. Sulan maan aikana otettiin vesinäytteitä salaojakaivoista ja voimakkaan virtaaman aikana mittauksia tehtiin tiheämmin. Maaperälle tehtiin myös kairauksia sekä näytteenottoja, joista analysoitiin maaperän pH-arvo, maalaji sekä muita maaperän ominaisuuksia. Koekenttäalueilla tehtiin satomittauksia ojitusmenetelmien eroista sekä kalkkikuonan vaikutuksesta satotuloksiin. Vuonna 2010 ohrasato puitiin puolen hehtaarin alueilta talouspuimurilla ja punnittiin kuormavaa’alla, kun taas vuonna 2011 koko viljasato ja vuonna 2012 nurmisato puitiin koeruutuniittokoneella. (Suomela et al. 2014)

Vuodet 2010 ja 2011 olivat kuivat, jolloin sulfidin hapettumiselle olosuhteet olivat otolliset. Vuonna 2012 sää oli kostea ja kylmä, jonka vuoksi maa ei kuivunut tarpeeksi optimaalisiin viljelyolosuhteisiin nähden. Vertailu sulfidin muodostumisesta oli hankalaa, koska tavanomaisesti salaojitetulla maa-alueella sulfidia esiintyi vähemmän tai ei ollenkaan ojitussyvyydellä verrattuna muiden menetelmien maa-alueisiin. Tämän vuoksi tavanomaisesti salaojitetulta maa-alueelta saatiin parhaimpia ulosvirtaaman vedenlaatutuloksia (taulukko 2). Lisäksi normaalisalaoja-alue päätyi pH:ltaan neutraalia vettä piiriojista, mikä aiheutti suurta poikkeamaa pH-arvon trendistä. Säätosalaojituksen alueella sulfidikerros sijaitti lähellä ojitussyvyyttä ja pH-arvot ovat olleet erittäin happamia (taulukko 2). Säätosalaojitus piti pH arvon tasaisimpana, eikä suurta vaihtelua tapahtunut. Säätökastelualueella pH oli hieman noussut. (Suomela et al. 2014; Suomela 2012)

pH\Menetelmä	Tulovesi	Säätökastelu	Säätösalaajitus	Normaali salaajitus
vaihteluväli	2,9–3,3	3,1–5,4	2,7–3,8	3,5–6,9
ka	3,1	3,8	3,0	4,2

Taulukko 2. Eri menetelmien pH-arvoja salaajakaivoista vuosilta 2010 ja 2011 (muokattu Suomela 2012)

Ojitusmenetelmä ei vaikuttanut vuonna 2010 saatuihin tuloksiin, vaan kuonakäsitteltyt alueet tuottivat suuremman sadon kaikilla koalueilla ja saadut sadot olivat keskiarvoisesti yhtä suuria. Seuraavina kahtena vuotena koalueen maaperän ominaisuudet vaikuttivat satoon kalkitusta enemmän. Suurimmat ohran kokoviljasadon tulokset (2011) ja nurmen satotulokset tulivat normaalin salaajituksen alueelta. Kuonakalkituksen teho näytti laskevan nopeasti yhden kasvukauden aikana, ja uudelleen kalkitus olisi voinut nostaa satoa seuraavina vuosina. (Suomela et al. 2014)

Tulosten vertailtavuutta Ruukin alueella heikensi peltolohkojen erilainen happamuustilanne ja kaltevuus. Koska sulfidia esiintyi osalla lohkoista runsaasti ojitusvyvydellä ja osassa hyvin vähän tai ei ollenkaan, ei lyhytaikaisen seurannan jälkeen voida todeta eri menetelmien hyödyllisyyttä jokivedenlaadulle. Jotta säätösalaajituksen tuomat hyödyt läheiselle jokivesialueelle voitaisiin todentaa, tulisi tutkimusalueen kattaa suurempi osa valuma-alueesta. Säätösalaajituksella voidaan ehkäistä kohtuullisen normaaleina vuosina sulfidien hapettumista, mutta erittäin kuivina vuosina siitä ei välttämättä ole apua jokialueiden happamuuden ehkäisemisessä. Normaali salaajitus on tehokas ja edullinen keino vesien hallintaan alueilla, joiden ojitusvyvydellä ei esiinny sulfidikerrosta. Jos normaalia salaajitusta käytetään sulfaattimaa-alueilla, on todennäköistä, että se lisää alueella happaman valunnan muodostusta. Säätösalaajituksen lisääminen ja ojitusvyvyden säilyttäminen ovat hyviä keinoja ratkaista yksittäisten peltoalueiden happamia kuormitusongelmia. Menetelmä tulee valita tarkkaan sopimaan käytettävälle alueelle. (Suomela et al. 2014)

5.3 Putkipadot Sanginjoen valuma-alueella

Sanginjoen koealueella tutkittiin valuma-alueelta tulevan happaman huuhtoutuman pienentämistä putkipadoilla (kts kpl 4.1.3 kuva 4). Valuma-alueella saattaa esiintyä happamia sulfaattimaita (GTK 2021). Sanginjoella sijaitsevan Karvasoja-puron valuma-alueilla verrattiin keskenään kahta ojitettua aluetta, joista toisessa ojitus oli toteutettu tavanomaisesti ja se pidettiin vertailualueena (A2), ja toisessa ojitetun alueen virtaama ohjattiin putkipato-rakenteen lävitse seurantapisteelelle (A1). Vertailualue oli ojitettu vuoden 2009 joulukuussa ja putkipato alue ojitettiin ja rakennettiin putkipato syksyllä 2010. (Tertsunen et al. 2012, s. 76–77)

Seuranta alueilla aloitettiin 2010 kesällä ja jatkettiin vuoden 2011 loppuun saakka. Alueella pH-mittaus, virtaama ja sadanta oli toteutettu jatkuvatoimisesti ja vesinäytteenotto tehtiin kerran kuukaudessa lähtevästä vedestä, josta analysoitiin veden kiintoainekuormaa, sähkönjohtavuutta kokonaisfosfori-, kokonaistyppi- ja rautapitoisuuksia, alkaliniteettia ja pH:ta. Veden happamuutta sekä virtauksen määrää mitattiin alueella A1 ennen putkipadon rakentamista kesällä 2010 ja syksystä 2010 vuoteen 2011 saakka tutkittiin putkipadon vaikutusta arvoihin. (Tertsunen et al. 2012, s. 75–78)

Alueille tulevan veden pH:n keskiarvo (A1 ennen putkipatorakenteita ja A2 vertailualue) olivat lähellä toisiaan tarkasteluajankana, joten voidaan todeta, että alueet olivat samankaltaisia. (taulukko 3). A1 alueella patorakenteen rakentamisen jälkeen keskimääräinen pH oli selvästi alhaisempi, kuin edellisenä kesänä ennen putkirakenteen rakentamista. Kevään tulvajaksona ja voimakkaiden sateiden aikana oli happamuuspiikkejä sekä virtauksen voimistumista. Verrattuna tavalliseen ojitukseen, putkipato tasoitti äkillisiä virtaamahuippuja, jolloin virtaama pidättyi alueen ojiin vähentäen kiintoaineen kulkeutumista. Tutkimuksien mukaan koeaikana ei tapahtunut sulfiittimaiden hapettumista, vaan happamuudet olivat pääsääntöisesti paikallisesta orgaanisesta aineksesta peräisin. Tuloksien myötä voitiin todeta, että putkipatorakenteet eivät vähentäneet alueen valuman happamuutta. (Tertsunen et al. 2012, 75–78)

	A1 ennen putkipatorakenteen rakentamista (kesä 2010)	A1 patorakenteen rakentamisen jälkeen (syksy 2010–2011 loppuun asti)	A2 vertailualue
pH vaihteluväli	4,5–6,1	3,0–6,2	3,8–7,2
ka	5,3	4,6	5,5

Taulukko 3. Putkipatoalueen (A1) ja vertailualueen (A2) pH-arvon vaihteluvälit ja keskiarvot (Tertsunen et al. 2012, s. 77)

Eri aikaan tapahtunut alueiden ojitus vaikutti valunnan kiintoainepitoisuuksiin. Putkipatoalueella kiintoainekuorma oli suurempi ja fosforipitoisuudet olivat korkeampia tavanomaisesti ojitetun alueen pitoisuuksiin verrattuna. Tämä todennäköisesti selittyy lisääntyneellä kiintoaineen kulkeutumisella. Putkipadon edessä olevaan laskeutusaltaaseen kertyi heti patoamisen jälkeen kiintoainesta ja seuraavan vuoden kevättulvan jälkeen varastotilavuudeksi kutsuttu laskeutusallas oli täyttynyt lähes kokonaan kiintoaineella ja sedimentillä. Tästä voidaan todeta, että putkipadolla on hyvä kyky hallita virtaaman mukana tulevan kiintoaineen kulkeumaa. Putkipadon tärkeimpiin tehtäviin kuuluukin ravinne-, kiintoaine- ja happamuuspiikkien tasoittaminen tulvahuippujen aikana. (Tertsunen et al. 2012, 75–78)

5.4 Pintavesien neutralointi

Pirttijärvi

Pirttijärvi kuivatettiin ja uudelleen vesitettiin vuosien 2005 ja 2006 aikana sen korkean ravinne- ja klorofyllipitoisuuden vuoksi. Ennen kuivatusta järven veden pH oli hieman alle 7 ja kuivatuksen jälkeen se laski matalimmillaan arvoon 3,4 (vuonna 2007) ja nousi vuoteen 2011 mennessä arvoon 4,2. Järvialueen kuivatuksesta seurannut nopea happamoituminen johtui alueen läheisyydessä havaitusta sulfidisedimenttiesiintymistä. Nämä havaittiin pohjan kaivuutöissä, joissa löytyi rikkipitoisia musteliuskealueita. Myös vesinäytteiden sulfaatti- ja alumiinipitoisuuksien perusteella pystyttiin todentamaan happamoitumisen syy. Kuivatuksen vuoksi sulfidi hapettui sulfaatiksi, joka uudelleen vesityksessä päästi happamoittavaa rikkihappoa sekä liuenneita metalleja vesistöön. (Tertsunen et al. 2012, s. 112–117)

Kuivatuksen jälkeen järven biologinen toiminta oli erittäin vähäistä, sillä esim. kalakannat selviä näin happamassa ja metallipitoisessa vedessä. Järvi päätettiin neutraloida kalkituksella, ja tavoitteelliseksi pH-arvoksi asetettiin 5,5–5,8. Tällä tasolla ahvenkalakannan selviäminen

on todennäköisempää, ja kasvuston perustuotanto ei aiheuttaisi ongelmia virkistyskäytölle. Järven kalkitsemiseen käytettiin 35 tonnia dolmiittikalkkia, joka levitettiin jäälle 2010 maaliskuussa. (Tertsunen et al. 2012, s. 112–117)

Kalkituksen jälkeisenä kesänä Pirttijärven pH nousi arvoon 6. Veden alumiinipitoisuus laski kymmenesosaan verrattuna kalkitusta edeltävään aikaan. 2011 kesällä levien määrä oli vähäinen, mutta muita rehevöitymisen merkkejä ei ollut havaittavissa. Kalkitus saavutti tavoitteensa, mutta veden puskurikyvyn ollessa heikko, aiheuttaa esimerkiksi lumen sulaminen voimakasta pH-arvon vaihtelua varsinkin ranta-alueilla. (Tertsunen et al. 2012, s. 112–117)

Jahvislampi

Jahvislampi on tekojärvi, joka kaivettiin vuonna 2010 Merijärvellä sijaitsevalle Jahvisnevan turvetuotantoalueelle. Pian tekojärven perustamisen jälkeen vesialueen vesi oli erittäin kirkasta, joka voi viitata happamuuteen. Koska Jahvislamelle oli tarkoitus luoda kalastoa, lammen happamuutta ja sen syitä ryhdyttiin tutkimaan. Vuonna 2011 tehdyissä tutkimuksissa pH oli 3,7, metallien pitoisuudet olivat suuria ja lammen vedellä ei ollut lainkaan puskurikykyä. Tutkimuksen tuloksena todettiin, että tekojärvi oli perustettu ainakin osittain sulfidipitoiselle alueella, ja kaivuun aikana sulfidit olivat päässeet hapettumaan. Veden arvot olivat erittäin huonot kalakantojen selviytymiselle, joten lampi päätettiin neutraloida ja tavoitearvoksi asetettiin 6,5 pH yksikköä. Kalkitus toteutettiin kalsiittisella kalsiumkarbonaatilla ja sen määräksi arvioitiin 4 470 kg. Kuljetusteknisten ongelmien ja epähuomiossa tehtyjen arvioiden vuoksi kalkkia levitettiin yli kaksinkertainen määrä lasketusta (noin 10 000 kg), josta suurin osa jäi liukenemattomaan muotoon. (Tertsunen 2014)

Jahvislammen pH nousi huomattavasti arvoon 7,2–8,2, eli noin yhden yksikön verran tavoitearvoa korkeammaksi. Alumiinipitoisuus laski myös huomattavasti aikaisemmasta tasosta sekä muiden metallien pitoisuudet pienenevät. Kalkituksen jälkeen veden kemialliset ominaisuudet olivat halutut, mutta pH:n liiallinen nousu saattaa haitata kalastoa. Tekojärven perustuotanto todettiin käynnistyneeksi seuraavina kesinä, mutta tarkkoja mittauksia klorofyllipitoisuuksista ei toteutettu. Todennäköisesti tekojärveä ei tarvitse kalkita lähitulevaisuudessa, koska valtaosa ajetusta kalkista jäi liukenemattomaan muotoon. Lisäksi lammessa on suuri viipymä sen umpilampi-muodon vuoksi. (Tertsunen 2014)

6 JOHTOPÄÄTÖKSET

Happamuuden hallintamenetelmiä on runsaasti erilaisia, ja kaikki eivät toimi jokaisessa tilanteessa. Happamia sulfaattimaa-alueita tulee tutkia ja valita tarkkaan niille parhaiten sopiva menetelmä, joka on tarpeeksi tehokas ja kustannuksiltaan sopiva. Esimerkiksi SAPS- järjestelmä ei sovellu pienimittaiseen toimintaan, vaan voisi toimia suuremmissa yksiköissä (Maa- ja metsätalousministeriö 2009, s. 51–52). Yleisimmin pienillä maatalousalueilla keinoksi valikoituu kuivatusmenetelmän vaihtaminen tavanomaisesta salaojituksesta säätösalaajitukseen tai säätökasteluun riippuen maa-alueen tavoitteista ja ominaisuuksista.

Useat käytännön kokeet on toteutettu hyvin pienellä alalla sekä lyhyellä aikaikkunalla, joten pitkäaikaisia tuloksia ei ole juurikaan saatavilla. Tulevaisuudessa tarvittaisiin enemmän pidempikestoisia tutkimuksia, koska useiden menetelmien tarkoituksena olisi olla pysyvämpiä ratkaisuja niiden suurien kustannuksien vuoksi. Lisäksi tutkimusten vertailtavuus oli melko heikkoa, koska maaolosuhteet vaihtelivat suuresti tutkimusalueilla. Lisäksi mittauksen yhdenmukaisuus toisi käytännön kokeista helpommin vertailtavia.

Toimenpiteistä vesistöjen tai maaperän kalkitus on nopeampi verrattuna esimerkiksi SAPS- järjestelmän rakentamiseen tai kuivatusmenetelmän vaihtamiseen. Joskus kalkitus on hyvä ja tehokas toimenpide, mutta ei välttämättä se pitkäikäisin ratkaisu. Kalkitus voidaan myös yhdistää kuivatusmenetelmiin ja näitä ovat esimerkiksi kalkkisuodinpato, anaerobiset kalkkipadot (SAPS-järjestelmä) sekä kalkkirouhepadot ja -pohjat. Muita tehokkaita hallintakeinoja ovat maankäytön tai viljelyskasvin vaihtaminen.

7 YHTEENVETO

Happamia sulfaattimaita esiintyy Suomessa länsi- ja etelärannikoilta. Ne ovat muodostuneet sulfidisedimenteistä, jotka eivät ole itsessään happamia, vaan happamuus muodostuu sulfidin hapettuessa ilman kanssa. Sulfidisedimentit ovat muodostuneet Litorinameren peittäessä Suomen rannikkoseutuja, ja muodostumisajankohtana meren kasvillisuus on ollut rehevää. Kasvillisuuden maatumisen seurauksena bakteeritoiminta aiheutti hapen loppuun kulumisen ja näin ollen hapettomat olot, joissa muodostui rikkipitoista sulfidia. Nämä maa-alueet nousivat esiin maankohoamisen seurauksena. Luonnontilaisina, veden peittäminä, ne eivät aiheuta ympäristölle haittaa, mutta kohdatessaan ilman maanmuokkauksen ja pohjavedenpinnan laskun myötä, muodostavat ne syövyttävää rikkihappoa. Tämä tekee maaperästä happaman, jolloin sateet tai tulvat voivat kuljettaa happamia yhdisteitä, kuten liuenneita metalleja läheisiin vesistöihin. Valumavesien ja maaperän pH on yleisesti alle 4. Happamuus aiheuttaa vesistöissä kalakuolemia sekä kasvuston vähenemistä. Peltoalueilla taas se heikentää saatavaa satoa epäotollisilla viljelyolosuhteilla.

Maatalous kattaa karjatalouden sekä peltoviljelyn, ja tässä työssä perehdyttiin peltoviljelyyn. Maankuivatus on yksi yleisimmistä toimista peltoalueiden vesienhallinnassa. Tämä on tärkeää, koska kevät- ja syysvalunnan aikana vesi pääsee kerääntymään lammikoiksi, jolloin maan kantavuus ja rakenne heikkenee. Hyvällä vesitalouden hallinnalla voidaan myös vähentää kasvitautien torjunta-aineiden käyttöä. Pelloilta tulevan kiintoaineksen hallinta on myös tärkeää, jotta voidaan vähentää vesistöihin tulevaa hajakuormitusta. Tärkeitä tekijöitä tässä on peltoalan pitäminen kasvipeitteisenä sekä suojavaiohykkeiden ja uomien rakentamisella.

Peltoviljelyssä on tapahtunut runsaasti muutoksia koneistumisen ja eri kuivatusmenetelmien myötä. Ennen avo-ojitus oli yleistä pelloilla sen helpon toteutuksen vuoksi, mutta sitä ei käytetä enää yleisesti, koska se haittaa peltotöiden tekemistä koneellisesti ja vie viljelyalaa. Pohjaveden pinnan tasoa voidaan säätää salaojituksella ja patoamalla sitä laskuosiin. Nämä ovat tärkeitä keinoja viljeltäessä sulfaattimaita, jotta voidaan taata riittävän korkea pohjaveden taso sulfaattimaille ja tarpeeksi matala, jotta pellon kantavuus on riittävä.

Happamuuden hallintamenetelmät voidaan jakaa haittoja ehkäiseviin sekä torjuviin. Sulfidimailla pohjaveden pinta voidaan pitää korkealla, mikä ehkäisee hapettumisen tapahtumista. Torjuvia toimenpiteitä eli jo syntyneen happamuuden haittojen torjuntaa ovat kalkitukset, juoksutusjärjestykset sekä pumppaamoiden käyttö ohjaamaan vesien kulkua.

Haittojen ehkäisymenetelmiä ovat kuivatusmenetelmän muutos avo-ojista salaojitukseen, säätösalaajitus ja säätökastelu, pohja- ja putkipadot, maankäytön ja viljelykasvin vaihtaminen sekä vesiensuojelutoimenpiteet. Salaojituksella toteutettujen peltojen ravinne- ja kiintoainekuorma on pienempi, koska pintavaluntaa ei tapahdu niin paljon, kuin avo-ojitetulla peltoalueella. On tärkeää tutkia tarkkaan, millä syvyydellä sulfidisedimentit esiintyvät, jottei salaojitus lisää metalli- ja happamuuskuormitusta sulfidien hapettuessa. Säätösalaajitus on joustavampi ja siinä pohjaveden pinnan taso voidaan optimoida vuodenaikaan ja tilanteeseen sopivaksi. Kuivina ajanjaksoina voidaan toteuttaa säätösalaajitetulla pellolla säätökastelua, jolloin pumpataan kasteluvettä säätökaivoon johdettavaksi peltoalueelle. Myös pohja- ja putkipatojen avulla voidaan säätää vedenpintaa ojissa. Patorakenteiden tarkoitus on hidastaa virtaamaa ja näin ollen vähentää kiintoaineen virtausta.

Haittoja voidaan myös ehkäistä vaihtamalla riskimaiden maankäyttöä tai siirtymällä kasvattamaan pienemmän kuivatussyvyyden vaativia viljelyskasveja, jolloin kuivatussyvyys voitaisiin minimoida. Myös maan kunnosta huolehtiminen auttaa ehkäisemään ravinteiden ja kiintoaineiden eroosiota. Happamilla sulfaattimailla vesiensuojelutoimenpiteet ovat tärkeitä.

Haittojen torjunnassa keskitytään jo syntyneiden haittojen minimoimiseen. Yleisin torjuntakeino on neutralisoida happo emäksellä, ja sitä voidaan soveltaa maaperässä sekä vesistöissä. Torjuntakeinot ovat toissijaisia keinoja ja päätavoitteena olisikin estää happamuuden syntyminen ehkäisevillä toimenpiteillä. Maaperän kalkituksessa pyritään saamaan muokkauskerroksen happamuus neutralisoitumaan, jotta peltoalueen olosuhteet viljelylle parantuisivat. Vesistöjen kalkituksen päätavoitteena on saada vesistön tila kaloille sekä kasvillisuudelle sopivaksi. Kalkitusta voidaan myös käyttää yhdistelmänä ehkäisymenetelmien kanssa. Tästä esimerkkeinä ovat kalkkirouhepadot ja -pohjat sekä kalkkisuodinojat. Näissä kalkkia lisätään vettäläpäiseviin esteisiin ja salaojiin, jotta läpivirtaavan veden pH neutralisoituisi. Muita haittojen torjuntakeinoja ovat

pumppaamoiden käyttö sekä juoksutusjärjestelyt, jossa veden virtausta säädellään ja mahdollisesti ohjataan alueille, jossa happamuus aiheuttaisi mahdollisimman vähän haittaa ympäristölle.

Käytännön esimerkeistä tässä työssä käytiin läpi SAPS-järjestelmä (anaerobiset kalkkipadot), salaojatyypin vertailu, putkipadot sekä pintavesien neutralointi. SAPS-järjestelmän suunnittelu- ja toteutusvaiheessa ei ollut huomioitu kaikkia mahdollisia ongelmia, joita esiintyi pilot-hankkeen aikana. Esimerkiksi alueen suojausta ei ollut toteutettu tarpeeksi hyvin, jolloin alueen ulkopuolelta tuleva valuma saattoi sotkea saatuja tuloksia. Pääosin kokeen ongelmat olivat teknisiä, eivätkä menetelmän periaatteesta johtuvia, joten tätä tekniikkaa olisi mahdollista kehittää toimivammaksi.

Säätökastelua, salaojitusta ja normaalia salaojitusta vertailtiin hieman hankalalla maa-alueella, koska kaikki alueet eivät olleet maaominaisuuksiltaan samanlaisia. Esimerkiksi normaalin salaojituksen alueella sulfidia esiintyi vähemmän ojitussyvyydellä verrattuna muihin testialueisiin. Lisäksi muualta tuleva neutraali valunta saattoi nostaa myös tavanomaisesti ojitetun alueen pH arvoja. Työssä todettiin, että säätösalojituksellakaan ei voida ehkäistä happamuuden syntymistä erittäin kuivina vuosina ja että kuivatusmenetelmä tulee valita tarkkaan sopivaksi maan ominaisuuksien mukaan. Putkipadot todettiin hyväksi keinoksi hillitä virtaamaa sekä kiintoaineen kulkeumaa. Menetelmä tasaakin ravinne-, kiintoaine- ja happamuuspiikkejä tulvahuippujen aikana. Vesistöjen neutralointi kalkituksella on hankalaa, jos ei tunneta vesialueen ominaisuuksia tarkasti. Pirttijärven ja Jahvislammen tapauksissa kalkin määrä oli vaikea arvioida, jolloin pH:n optimiarvoon ei päästy.

Toteutetuissa tutkimuksissa vertailtavuus oli heikkoa tutkimusajan lyhyiden, maa-alan vaihtelevuuden sekä mittausdatan vähyyden vuoksi. Tulevaisuudessa pitempiäaikaisia tutkimuksia olisi tehtävä, jotta eri menetelmien soveltuvuuksia maatalouden happamuuden hallintaan voitaisiin vertailla paremmin. Myös maaperä sekä alueen käyttötarkoitus tulee ottaa huomioon eri menetelmiä vertailtaessa.

LÄHDELUETTELO

Auri, J., Boman, A., Hadzic, M., Nystrand, M., 2018. Opas happamien sulfaattimaiden kartoitukseen turvetuotantoalueilla [verkkodokumentti]. Saatavissa: <https://www.syke.fi/download/noname/%7B24F8EF50-DB7D-40CE-9FD7-870C8494D937%7D/135567> [viitattu 10.9.2021]. 14 s.

ELY-keskukset, 2021. Maankuivatus ja ojitus [verkkosivu]. Ympäristöhallinto. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesien_kaytto/maankuivatus_ja_ojitus [viitattu 2.10.2021].

Granholm, K., Lundström, E., Äijö, H., Ortamala, M., Manninen-Johansen, S., Mäkelä, S., 2017. Menetelmiä ravinteiden ja veden pidättämiseksi osana kokonaisvaltaista pellonkuivatusta – soveltuvuus, vaikutus ja tietotarpeet [verkkodokumentti]. Helsinki: Ympäristöministeriö. Saatavissa: <https://www.ymparisto.fi/download/noname/%7B1AB267AE-809F-4F40-928A-26DC7058C4E3%7D/136111> [viitattu 5.10.2021]. 46 s.

GTK, 2021. Happamat sulfaattimaat [avoin kartta-aineisto]. Saatavissa: <https://gtkdata.gtk.fi/hasu/index.html#> [viitattu 10.9.2021].

Hadzic, M., Postila, H., Österholm, P., Nystrand, M., Pahkakangas, S., Karppinen, A., Arola, M., Nilivaara-Koskela, R., Häkkilä, K., Saukkoriipi, J., Kunnas, S., Ihme, R., 2014. Sulfaattimailla syntyvän happaman kuormituksen ennakointi- ja hallintamenetelmät – SuHE-hankkeen loppuraportti [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2014. Saatavissa: <https://helda.helsinki.fi/handle/10138/135520> [viitattu 10.9.2021]. 88 s.

Heikkinen, S., 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat halutaan kuriin . GEO foorumi (Geologian tutkimuskeskuksen sidosryhmälehti), 2/2009. S. 14–15

Häggbloom, O., Härkönen, L., Joensuu S., Keskisarja V., Äijö H., 2020. Maa- ja metsätalouden vesitalouden suuntaviivat muuttuvassa ympäristössä [verkkodokumentti]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön julkaisuja 2020:6. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-366-186-8> [viitattu 14.9.2021]. 70 s.

Jämsén, J., Selander, A., Kuula, E., 2017. Miten huolehdin vesiensuojelusta metsässäni? [verkkosivu]. Metsäkeskus. Metsään (Metsäkeskuksen asiakaslehti). Saatavissa: <https://www.metsaan-lehti.fi/uutiset/metsanhoito/miten-huolehdin-vesiensuojelusta-metsassani.html> [viitattu 14.10.2021].

Karppinen, A., Riihimäki, J., Nokela, T., Ihme, R., 2016. Sulfidimaiden hapettumisen estämis- ja happamien valumavesien neutralointimenetelmiä maankäyttömuodoittain – Maankäytön vaikutus valumaveden laatuun [verkkodokumentti]. Suomen ympäristökeskus. Saatavissa: <http://www.syke.fi/download/noname/%7B8F3DF364-6173-4757-B483-66EBE0829848%7D/119713> [viitattu 1.10.2021]. 27 s.

Kostel, J., Alhainen, M., Svendberg, M., Muuttola, M., Hepo-Oja, H., Nurmi, J., Orava, R., 2014. Patorakenteiden periaatekuvia [verkkodokumentti]. Suomen riistakeskus. Saatavissa: https://kosteikko.fi/wp-content/uploads/sites/2/2013/04/Patorakenteiden_periaatekuvia.pdf [viitattu 14.10.2021]. 24 s.

Kulmala, A., 2021. Maatalouden vesiensuojelu [verkkosivu]. MTK. Saatavissa: <https://www.mtk.fi/-/maatalouden-vesiensuojelu> [viitattu 9.10.2021].

Kustula, V., Witick, A., Meriläinen, J. 2005. Rintalan alueen happamien valumavesien käsittely – loppuraportti. Ympäristöntutkimuskeskuksen tiedonantoja 160. Jyväskylän yliopisto. 43 s.

Liikennevirasto, 2017. Eurokoodin soveltamisohje - Geotekninen suunnittelu - NCCI 7 [verkkodokumentti]. Helsinki: Liikennevirasto. Liikenneviraston ohjeita 13/2017. Liite 5. Saatavissa: https://julkaisut.vayla.fi/pdf8/lo_2017-13_ncci7_web.pdf [viitattu 1.10.2021]. 8 s.

Luke, 2020. Tilastotietokanta [verkkoaineisto]. Luonnonvarakeskus. Saatavissa: https://statdb.luke.fi/PXWeb/pxweb/fi/LUKE/LUKE__02%20Maatalous__04%20Tuotanto__22%20Kaytossa%20oleva%20maalousmaa/01_Kaytossa_oleva_maatalousmaa_ELY.px/table/tableViewLayout2/?rxid=2cb5889a-e2de-4176-832a-da45ce7fcf68 [viitattu 14.9.2021].

Maa- ja metsätalousministeriö, 2009. Kohti happamien sulfaattimaiden hallintaa - ehdotus happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivoiksi [verkkodokumentti]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Saatavissa: <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-453-494-9> [viitattu 18.9.2021]. 85 s.

Maa- ja metsätalousministeriö, 2011. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020 [verkkodokumentti]. Maa- ja metsätalousministeriö, Ympäristöministeriö. Maa- ja metsätalousministeriö 2/2011. Saatavissa: <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/80350/Happamien%20sulfaattimaiden%20aiheuttamien%20haittojen%20v%C3%A4hent%C3%A4misen%20suuntaviivat%20vuoteen%202020.pdf> [viitattu 9.10.2021]. 26 s.

Maa- ja metsätalousministeriö, 2018. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020 – väliraportti [verkkodokumentti]. Helsinki: Maa- ja metsätalousministeriö. Maa- ja metsätalousministeriön työryhmämuistio 1/2018. Saatavissa: https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/bitstream/handle/10024/160524/MMM_TR_1_2018_Happamat_sulfaattimaat.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 18.9.2021]. 48 s.

Salaojayhdistys, 2021. Salaojitus [verkkosivu]. Saatavissa: <https://www.salaojayhdistys.fi/fi/salaojitus/> [viitattu 2.10.2021].

Salaojayhdistys ry, 2017. Salaojaopas 2017 [verkkodokumentti]. Saatavissa: https://www.salaojayhdistys.fi/wp-content/uploads/2018/09/salaojitusopas_2017.pdf [viitattu 2.10.2021]. 23 s.

Suomela, R., 2012. Säätsalaojitus ja salaojakastelu happamuuden torjuntakeinoina Pohjois-Pohjanmaalla [verkkodokumentti]. Suomen maataloustieteellisen seuran tiedote nro 28. Saatavissa: <https://journal.fi/smst/article/view/75644> [viitattu 27.10.2021]. 7 s.

Suomela, R., Yli-Halla M., Auri J., Joki-Tokola E., Luoma S., Rankonen E., 2014. Säätokastelun ja säätsalaojituksen mahdollisuudet alunamailta tulevan happaman vesistökuormituksen hillitsemiseen Pohjois-Pohjanmaalla [verkkodokumentti]. Happamat sulfaattimaat ja niistä aiheutuvan vesistökuormituksen hillitseminen Siika- ja Pyhäjoen -valuma-alueilla MTT Raportti 132. s. 65–90. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti132.pdf> [viitattu 27.10.2021].

Suomen ympäristökeskus, 2014 (muokattu 2020). Pohjapadot ja -kynnykset [verkkosivu]. Ympäristöhallinto. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/vesi/vesien_kaytto/maankuivatus_ja_ojitus/luonnonmukainen_peruskuivatus/Pohjapadot_ja_kynnykset [viitattu 14.10.2021]

Suomen ympäristökeskus, 2020. Vesistöjen kuormitus ja luonnon huuhtouma [verkkosivu]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-fi/kartat_ja_tilastot/vesistöjen_kuormitus_ja_luonnon_huuhtouma [viitattu 1.10.2021].

Sutela, T., Vuori, K., Louhi, P., Hovila, K., Jokela, S., Karjalainen, S., Keinänen, M., Rask, M., Teppo, A., Urho, L., Vehanen, T., Vuorinen, P., Österholm, P., 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 14/2012. Saatavissa: <http://hdl.handle.net/10138/38771> [viitattu 18.9.2021]. 61 s.

Tattari, S., Puustinen, M., Koskiaho, J., Röman, E., Riihimäki, J., 2015. Vesistöjen ravinne kuormituksen lähteet ja vähentämismahdollisuudet [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 35|2015. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/159464/SYKEra_35_2015.pdf?sequence=1 [viitattu 5.10.2021]. 73 s.

Tertsunen, J., 2014. Pienvesien neutralointikokeet [verkkodokumentti]. Happamat sulfaattimaat ja niistä aiheutuvan vesistökuormituksen hillitseminen Siika- ja Pyhäjoen valuma-alueella MTT Raportti 132. s. 101–126. Saatavissa: <http://www.mtt.fi/mttraportti/pdf/mttraportti132.pdf> [viitattu 27.10.2021].

Tertsunen, J., Martinmäki, K., Heikkinen, K., Marttila, H., Saukkoriipi, J., Tammela, S., Saarinen, T., Tolkkinen, M., Hyvärinen, M., Ihme, R., Yrjänä, T., Klöve, B. 2012. Happamuuden aiheuttamat vesistöhaitat ja niiden torjuntakeinot Sanginjoella [verkkodokumentti]. Helsinki: Suomen ympäristökeskus. Suomen ympäristö 37/2012. Saatavissa: https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/38717/SY_37_2012.pdf?sequence=1&isAllowed=y [viitattu 28.11.2021]. 168 s.

Varsinais-Suomen ELY-keskus, 2017. Maan kasvukunnosta huolehtiminen – lisäosa vuokrasopimukseen [verkkosivu]. Saatavissa: https://www.ymparisto.fi/fi-FI/Ravinneneutraali_kunta/Toiminta_20152017/Teemat/Hyvat_viljelykaytannot [viitattu 15.10.2021].

Weppling, K., 1998. Menetelmät happamuushaittojen torjumiseksi happamilla sulfaattimailla. s. 14–18 julkaisussa Joukainen, S. (toim.). Happamien sulfaattimaiden ympäristöongelmat. Seminaari 30.9.1998. Suomen ympäristökeskuksen moniste 142.