

Elina Vertanen

Sulfaattimaiden tunnistaminen, riskienhallinta ja käsittely väylähankkeissa



Elina Vertanen

Sulfaattimaiden tunnistaminen,
riskienhallinta ja käsittely
väylähankkeissa

Opinnäytetyö 7/2016

Liikennevirasto
Helsinki 2016

Kannen kuva: Elina Vertanen

Verkojulkaisu pdf (www.liikennevirasto.fi)

ISSN 2343-1741
ISBN 978-952-317-259-3

Liikennevirasto
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelin 0295 34 3000

Elina Vertanen: Sulfaattimaiden tunnistaminen, riskienhallinta ja käsittely väylähankkeissa. Liikennevirasto, tekniikka ja ympäristö -osasto. Helsinki 2016. Opinnäytetyö 7/2016. 71 sivua ja 4 liitettä. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-259-3.

Avainsanat: sulfaattimaat, sulfidit, savi, happamoituminen, neutralointi, riskienhallinta, väylät

Tiivistelmä

Tässä diplomityössä on selvitetty sulfaattimaiden tunnistamista ja hallintaa väylä-rakennushankkeissa. Sulfaattimaiden olemassaolo on huomioitava väylähankkeissa, kun maata on pohjarakentamisen vuoksi kaivettava. Kaivamisessa maaperä tulee alttiiksi ilmakehän hapelle ja siinä olevat sulfidit hapettuvat sulfaateiksi ja muodostavat rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä metalleja. Näin ollen ympäröiviin vesistöihin aiheutuu sateiden mukana hapanta ja metallipitoista valuntaa. Työssä tarkastellaan tämän hetkisiä sulfaattimaiden tunnistamis- ja luokitusmenetelmiä sekä sitä, miten eri pohjanvahvistustoimenpiteet soveltuvat sulfaattimaille. Tavoitteena on laatia ohjeistus siitä, miten sulfaattimaat tulee huomioida väylähankkeen eri suunnittelu-vaiheissa. Työ on tehty tutustumalla aiheeseen liittyvään nykyiseen lainsäädäntöön ja ohjeistukseen sekä tehtyihin tutkimuksiin. Sulfaattimaiden käsittelyä käytännössä on seurattu E18 Hamina-Vaalimaa moottoritiehankkeella.

Maaperän sulfaattimaaksi tunnistamiseen on olemassa perinteisiä keinoja, kuten inkubaatio, mutta se on usein liian hidas menetelmä. Kenttäkokeina voidaan hyödyntää aistinvaraisen havainnoinnin ja pH-mittauksen yhdistämistä. Näillä keinoin voidaan todeta onko maa sulfidipitoista. Varsinaisten jatkotoimenpiteiden suunnitteluun tarvitaan kuitenkin tarkempia tietoja esimerkiksi maan happamoitumispotentialista. Happamoitumispotentialin arviointiin on kehitetty useita menetelmiä, mutta silti tunnistaminen on vaikeaa ja epävarmaa. Työssä tehdyn tutkimuksen perusteella varmimpana luokitusmenetelmänä voidaan pitää ruotsalaisten luokitusmenetelmää, joka perustuu pääasiassa liukoisuuskokeeseen sekä rikkipitoisuuden selvittämiseen. Menetelmän perusteella voidaan antaa hyvä arvio maan happamoitumispotentialista, happamoittamisvaikutuksesta sekä happamoitumisnopeudesta. Muut läpikäytyt menetelmät eivät anna yhtä laajaa kuvaa maan happamoitumisolosuhteista. Sulfaattimaiden käsittelymenetelmän valinnassa tulisi ensisijaisesti pyrkiä välttämään maiden häiritseminen. Aina tämä ei kuitenkaan ole mahdollista ja useimmiten pohjanvahvistustavan määrittävät kustannukset.

Suurimmat riskit, mitä sulfaattimaiden esiintyminen väylähankkeen alueella aiheuttaa, ovat aikataulullisia ja taloudellisia riskejä. Hankkeen onnistumisen kannalta olennaista onkin sulfaattimaiden mahdolliseen olemassaoloon varautuminen heti hankkeen alusta alkaen. Näin asia voidaan huomioida aikataulutuksessa eikä se tule yllätyksenä. Ajoissa havaittu sulfaattimaiden esiintyminen myös antaa aikaa käsittelyn suunnittelulle ja ns. ylilyönneiltä vältytään. Tärkeää on myös avoin vuoropuhelu viranomaisten kanssa liittyen sulfaattimaiden käsittelyn vaatimuksiin ja ratkaisuihin.

Elina Vertanen: Identifiering, riskhantering och hantering av sulfidjordar i trafikledsprojekt.
Trafikverket, teknik och miljö. Helsingfors 2016. Lärdomsprov 7/2016. 71 sidor och 4 bilagor.
ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-259-3.

Sammanfattning

I detta diplomarbete har behandlats identifieringen och hanteringen av sulfidjordar i trafikledsbyggnadsprojekt. Förekomsten av sulfatjordar måste beaktas när jorden ska grävas upp till följd av grundbyggnad. När jorden grävs upp utsätts den för syre i luften varvid sulfiter oxideras till sulfater och svavelsyra bildas. Svavelsyran kan lösa upp metaller ur jorden och det är möjligt att sur och metallhaltig avrinning hamnar med regnvatten i omgivande vattendrag. I detta diplomarbete har undersökts olika metoder för identifiering och klassificering av sulfatjordar och hur olika grundförstärkningsmetoder lämpar sig för sulfidjordar. Målsättningen är att ge instruktioner hur sulfidjordar borde beaktas i olika skeden av planeringen av trafikledsbyggnadsprojekt. Som en del av arbetet har man bekantat sig med lagstiftningen, instruktionerna och undersökningarna som gäller sulfidjordar. Den praktiska hanteringen av sulfidjordar har uppmärksammats i E18 motorvägsprojektet mellan Fredrikshamn och Vaalimaa.

Det finns traditionella metoder, såsom inkubation, för att identifiera jord som sulfidjord, men metoderna är ofta för långsamma. Sammanställningen av sensorisk bedömning och pH-mättning kan användas som ett fältförsök för att identifiera sulfidhaltig jord. För planeringen av de fortsatta åtgärderna behövs ändå närmare information om försurningspotential av jord. Många metoder har utvecklats för att uppskatta försurningspotentialen men det är i alla fall svårt och osäkert. Enligt undersökningen i detta arbete kan den svenska klassificeringsmetoden som baserar sig på lakningsförsök och svavelhalt uppfattas som den säkraste metoden. Metoden kan ge en bra bedömning av jordens försurningspotential, försurningseffekt och försurningshastighet. Andra metoder som har genomgått kan inte lika omfattande beskriva jordens försurningsförhållanden. Sulfidjordar borde inte störas och det borde vara målet när hanteringen av sulfidjord planeras. Alltid är det inte möjligt och kostnaderna bestämmer oftast grundförstärkningsmetoden.

De största riskerna som sulfidjordar orsakar trafikledsbyggnadsprojekt anknyter sig till tidsplanen och kostnaderna. Det mest relevanta för att lyckas med projektet är att man måste förbereda sig på en eventuell förekomst av sulfidjordar från första början i projekt. På så sätt kan den beaktas i planeringen av tidsplanen och det blir inga överraskningar. När sulfidjordar har observerats i god tid har man mer tid att planera hanteringen och överdrifter kan undvikas. Det är också viktigt att öppet diskutera kraven och lösningarna för hanteringen av sulfidjordar med myndigheterna.

Elina Vertanen: Identification, risk management and treatment of sulphate soils in transport infrastructure construction. Finnish Transport Agency, Technology and Environment. Helsinki 2016. Thesis 7/2016. 71 pages and 4 appendices. ISSN 2343-1741, ISBN 978-952-317-259-3.

Summary

This thesis examines the identification and management of sulphate soils in transport infrastructure construction. Acid sulphate soils become a problem in transport infrastructure construction, when soil is excavated for foundation purposes. During the excavation process, the soil is exposed to oxygen in the air. The sulphides in the soil oxidize into sulphates, which forms sulphuric acid. Release of this sulphuric acid from the soil can in its turn release metals from the soil, causing acidic and metalliferous run-off into the surrounding water system. This thesis examines the current methods for identifying and classifying sulphate soils and the impact of different subgrade reinforcement actions on sulphate soils. The main goal is to draw up instructions on how sulphate soils should be taken into account at the different stages of transport infrastructure construction. For this thesis, the present legislation and instructions and also earlier research projects were studied. A practical example has been the treatment of sulphate soils in the E18 Hamina-Vaalimaa motorway construction project.

One of the traditional methods for identifying sulphate soils is incubation. Unfortunately, this method is often too slow. Sensory observation and pH-measurements can be used as field tests to examine if the soil contains sulphides. For planning further action, more accurate information about, for example, the acidifying potential of the soil is needed. There are several methods for assessing the acidifying potential of sulphide soils, but identification is still difficult and uncertain. The research done in this thesis shows that the most reliable identification method is the Swedish classification method based on a leakage test and an analysis of the sulphuric content. In this method, it is possible to make a reliable estimation of the acidification potential, acidification effect and acidification speed. Other studied methods do not provide an as extensive description of the acidification circumstances of the soil. When choosing the treatment method for sulphate soils, the primary objective should be to avoid disturbing the soils. This is not always possible, and in most cases the treatment or type of foundation is determined by the cost.

The greatest risks caused by sulphate soils at the site concern the schedule or the economy. It is essential to prepare for the possibility of sulphate soils from day one of the transport infrastructure project. This way it is possible to take the sulphate soil problem into account when scheduling the project in order to avoid unpleasant surprises. If a problem is noticed early enough, there is time to plan the treatment and avoid too heavy treatment methods. It is also important to have an open dialogue with the authorities about the requirements and solutions for treating sulphate soils.

Esipuhe

Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat ympäristövaikutukset tulee huomioida väylärakentamisessa etenkin Suomen rannikkoseuduilla. Ongelmaksi muodostuu kaivamisen seurauksena maaperän sisältämien sulfidien hapettuminen sulfaateiksi ja näin ollen vesistöihin päätyvä hapan sekä mahdollisesti metallipitoinen valunta.

Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää tämän hetken tilanne sulfaattimaihin liittyvistä käsitteistä, lainsäädännöstä, ohjeistuksesta sekä sulfaattimaiden tunnistus-, luokitus- ja käsittelymenetelmistä. Tutkimuksessa keskityttiin kuvaamaan tunnetut sulfaattimaan tunnistamis- ja käsittelymenetelmät ja arvioimaan niiden soveltuvuus väylähankkeisiin. Tutkimuksen tuloksena syntyi yhteenveto siitä, kuinka happamat sulfaattimaat tulisi ottaa huomioon väylähankkeen eri vaiheissa yleissuunnitelmasta ylläpitovaiheeseen. Tutkimuksen tuloksia tullaan hyödyntämään Liikenneviraston ohjeissa.

Tutkimus oli Oulun Yliopiston Teknillisen tiedekunnan opiskelija Elina Vertasen diplomityö, ja sen rahoittajana toimi Liikennevirasto. Diplomityön ohjausryhmässä toimivat seuraavat henkilöt:

- Kauko Kujala, Oulun Yliopisto (työn valvoja)
- Antti Junnila, Innogeo Oy (työn ohjaaja)
- Kari-Matti Malmivaara, YIT Rakennus Oy
- Esa Patjas, SITO Oy
- Veli-Matti Uotinen, Liikennevirasto
- Juha Sillanpää, Liikennevirasto
- Lars Westermark, Liikennevirasto

Helsingissä huhtikuussa 2016

Liikennevirasto
Tekniikka ja ympäristö -osasto

Sisällysluettelo

1	JOHDANTO	9
2	SULFAATTIMAAT	10
2.1	Sulfaattimaiden synty ja esiintyminen.....	10
2.2	Käsitteistö.....	11
2.3	Ympäristövaikutukset.....	12
2.4	Happamat sulfaattimaat rakentamisessa	12
3	NYKYINEN LAINSÄÄDÄNTÖ JA OHJEISTUS.....	14
3.1	Nykytilanne.....	14
3.2	Viranomaisohjaus.....	14
3.2.1	Laki vesien- ja merenhoidon järjestämisestä sekä valtioneuvoston asetukset vesienhoidon sekä merenhoidon järjestämisestä	14
3.2.2	ELY-keskusten vesienhoitosuunnitelmat	15
3.2.3	Valtioneuvoston asetus vesitalousasioista	15
3.2.4	Vesilaki.....	15
3.2.5	Ympäristönsuojelulaki	15
3.2.6	Jätelaki	15
3.3	Liikenneviraston ohjeet.....	16
3.3.1	Massanvaihdon suunnittelu –ohje	16
3.3.2	Sillan geotekninen suunnittelu –ohje	16
3.4	Muut ohjeet ja julkaisut.....	17
3.4.1	Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseen	17
3.4.2	Metsätalouden vesiensuojeluopas.....	18
3.4.3	Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje	18
3.4.4	Massastabilointikäsi kirja.....	18
3.4.5	Ruotsin liikenneviraston ohjekausi	18
4	SULFAATTIMAIDEN TUNNISTAMINEN.....	20
4.1	Tutkimusmenetelmien taustaa	20
4.2	Geologian tutkimuskeskuksen kartoitus.....	21
4.3	Aistinvarainen tunnistaminen.....	21
4.4	Pikatesti vetyperoksidilla.....	22
4.5	Pikatesti pH-mittauksella ja suolahapolla	22
4.6	Inkubaatio-pH	23
4.7	Suomalainen riskiluokitus	24
4.8	Ruotsalaisten luokitusmenetelmä.....	25
4.9	Nettoneutraloimispotentiaali ja neutraloimispotentiaalisuhde	27
4.10	Nettophosphoruottu	29
4.11	Mácsikin luokittelumenetelmä.....	29
4.12	Rikkispesifointimenetelmä.....	30
4.13	Asiditeetti-menetelmä.....	30
4.14	Menetelmien yhteenveto.....	31
4.15	Hapettumisnopeus	32
5	SULFAATTIMAIDEN YMPÄRISTÖRISKIEN HALLINTA.....	34
5.1	Peruseriaatteet	34
5.2	Paalutus.....	35
5.3	Esikuormitus ja pystyjoitus	35

5.4	Kevennysrakenteet	35
5.5	Stabilointi.....	36
5.6	Massanvaihto.....	37
5.7	Neutralointi.....	39
5.8	Menetelmien vertailu	41
5.9	Esimerkkikohteita	43
5.9.1	Vt 8 Sepänkylän ohikulun sulfaattimaiden käsittely stabiloimalla.....	43
5.9.2	Kokkola-Ylivieska kaksoisraidehankkeen läjitettävien sulfaatti- maamassojen kalkitus.....	44
6	SULFIDISAVET E18 HAMINA-VAALIMAA HANKKEELLA.....	46
6.1	Hankkeen kuvaus	46
6.2	Sulfidisavien havaitseminen.....	46
6.3	Laboratoriotutkimukset.....	47
6.3.1	Lelun-Kattilaisten alue	48
6.3.2	Lapinsuon-Haaviston pohjavesialueen välinen alue.....	48
6.3.3	Saarasjärven eritasoliittymän alue	49
6.3.4	Virojoen eritasoliittymän ja Vaalimaanjoen välinen alue	49
6.4	Sulfidisavien käsittelyrakenteet	49
6.5	Työskentelyperiaatteet.....	51
6.6	Seuranta	51
6.7	Kustannukset.....	54
7	TOIMENPIDEOHJEET SULFAATTIMAAN AIHEUTTAMIEN VAIKUTUSTEN HALLINTAAN VÄYLÄHANKKEEN ERI VAIHEISSA	57
7.1	Johdanto	57
7.2	Yleissuunnitteluvaihe	57
7.3	Näytteenotto ja tutkimukset.....	59
7.4	Tie- / ratasuunnitteluvaihe	59
7.5	Rakennussuunnitteluvaihe	61
7.6	Rakentamisvaihe.....	61
7.7	Ylläpitovaihe.....	61
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	63
9	YHTEENVETO	65
	LÄHDELUETTELO	67
LIITTEET		
Liite 1	Hamina–Vaalimaa-hankkeelle suunnitellut läjitysalueet, joille läjitetään sulfidisavea	
Liite 2	Pato–allas–pato-rakenteen pituusleikkaus läjitysalueelta L22	
Liite 3	Kaivuutyöt tunnistetun sulfidisaven alueella -ohje	
Liite 4	Sulfidisaven tunnistusohje puhtaille alueille	

1 Johdanto

Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat ympäristövaikutukset tulee huomioida väylärakentamisessa etenkin Suomen rannikkoseuduilla. Ongelmaksi muodostuu kaivamisen seurauksena maaperän sisältämien sulfidien hapettuminen sulfaateiksi ja näin ollen vesistöihin päätyvä hapan sekä mahdollisesti metallipitoinen valunta. Suomessa sulfaattimaa-asioihin on etsitty ratkaisua lähinnä maa- ja metsätalouden näkökulmasta. Väyliä rakentamisen osalta kattavia tutkimuksia on tehty muun muassa Ruotsissa ja Australiassa.

Sulfaattimaita on karkeasti kahdenlaisia todellisia happamia sulfaattimaita, jotka ovat jo hapettuneet ja näin ollen happamia sekä potentiaalisia happamia sulfaattimaita, jotka eivät vielä ole happamia ja joiden rikki on vielä sulfidimuodossa, mutta esimerkiksi kaivamisen seurauksena tapahtuvan hapettumisen vaikutuksesta se muuttuu sulfaatiksi ja maa happamoituu. Potentiaalisia happamia sulfaattimaita nimitetään usein myös sulfidimaiksi.

Liikenneviraston vuonna 2014 tekemän esiselvityksen perusteella väylärakentamiseen liittyvissä toiminnoissa työskentelevät ihmiset kokevat, että sulfaattimaihinkin liittyvälle ohjeistukselle on tarve ja tietoisuutta sulfaattimaihinkin liittyen tulisi lisätä. Tavoitteena onkin tehdä yhteenveto tunnetuista tunnistamis- ja käsittelymenetelmistä sekä yhteenveto siitä, kuinka happamat sulfaattimaat tulisi ottaa huomioon väylähankkeen eri vaiheissa.

Tässä työssä käydään läpi, miten nykyinen lainsäädäntö ja muut olemassa olevat ohjeet ottavat kantaa sulfaattimaihinkin, esitellään olemassa olevia tunnistamis- ja luokitusmenetelmiä, käydään läpi sulfaattimaille soveltuvia käsittelyvaihtoehtoja sekä tarkastellaan tarkemmin sulfaattimaiden käsittelyä E18 Hamina-Vaalimaa moottoritiehankkeella.

Sulfaattimaalla on vaikutuksia sekä hankkeen ympäristöön että mahdollisia korrosio-vaikutuksia teräs- ja betonirakenteille. Tässä työssä keskitytään pääasiassa sulfaattimaiden ympäristövaikutuksiin, kuten happamoitumisen ja metallipitoisen valunnan ehkäisemiseen. Alueellisesti työ on rajattu koskemaan pääasiassa Litorinameren peittämällä alueilla esiintyviä sulfaattimaita, vaikka tällaisia maita esiintyy myös satunnaisesti muualla Suomessa.

Työssä tehty tarkastelu on rajattu siten, että sen antamat ohjeet ovat lähinnä laatuvaatimuksia. Ohjeistusta pyritään tuottamaan yleisen tietoisuuden lisäämiseksi ja suunnittelun apuvälineeksi. Tarkempaa määrällistä ohjeistusta varten olisi syytä tehdä esimerkiksi laboratoriotutkimuksia, joita ei tämän työn puitteissa tehty.

Suositteluvien tunnistamis- ja luokitusmenetelmien löytämiseksi on vertailtu olemassa olevia menetelmiä sekä niistä aikaisemmin tehtyjä tutkimuksia. Myös käytännön kokemuksia on pyritty hakemaan. Käsittelymenetelmien vertailua on tehty hyvin pitkälle käytännössä toteutettujen hankkeiden antamien kokemusten perusteella. Jatko-tutkimusta on syytä tehdä uusien ja täsmällisempien tunnistamis- ja luokitusmenetelmien sekä maastossa käyttökelpoisen nopean tarkistusmenetelmän kehittämiseksi.

2 Sulfaattimaat

2.1 Sulfaattimaiden synty ja esiintyminen

Happamat sulfaattimaat ovat syntyneet 8000–4000 vuotta sitten muinaisen Litorinameren pohjassa. Vesi rehevöityi kuolleista ja maatuvista kasvinosista ja merenpohjan hapettomissa osissa muodostui rikkiyhdisteitä. (Heikkinen 2009:14) Sulfaattimaita esiintyy pääasiassa Litorinameren peittämällä alueella Suomen rannikkoseuduilla (kuva 1.). Maankohoamisen myötä Litorinameren pohjassa muodostuneet kerrostumat ovat nousseet kuivalle maalle. Perämeren rannikolla sulfaattimaat ylettyvät noin 100 metrin tasoon ja Etelä-Suomen rannikolla 20–40 metrin tasoon merenpinnan yläpuolelle. (Heikkinen 2009:14).



Kuva 1. Litorinameren peittämä alue (Kuva: Geologian tutkimuskeskus 2010).

Suurimmat esiintymät ovat Pohjanmaalla Kristiinankaupungin ja Oulun välisellä alueella, ja Suomen esiintymät (n. 100 000–300 000 hehtaaria) ovatkin Euroopan suurimmat (Heikkinen 2009:14). Litorinameren peittämien alueiden lisäksi sulfaattimaita esiintyy satunnaisesti myös rannikon ja sisämaan järvi- ja järvialueilla, etenkin mustalieskeleiden alueilla (Geologian tutkimuskeskus 2012). Maailmanlaajuisesti sulfaattimaita esiintyy yli 24 miljoonan hehtaarin alueella. Eniten esiintymiä on Aasiassa, Kaukoidässä, Australiassa, Länsi-Afrikassa ja Latinalaisessa Amerikassa. Huomioitavaa on, että maan sulfaattimaaksi luokittelun kriteerit vaihtelevat suuresti ympäri maailmaa, joten myös arviot sulfaattimaiden määrästä ja levinneisyydestä vaihtelevat suuresti. (Kangas 2010:13)

Sulfaattimaiden suurta määrää selittää se, että Suomessa sulfaattimaiksi luokitellaan syvemmällä olevia maita kuin ulkomailla, sillä meillä kuivatussyvyys on lämpimiä maita suurempi, ja näin ollen sulfideja voi hapettua syvemmällä kuin kansainvälisillä kriteereillä tarkastellessa (Kangas 2010:15). Geologian tutkimuskeskuksen on tarkoitus systemaattisesti kartoittaa Suomen happamien sulfaattimaiden riskialueet vuoden 2015 loppuun mennessä, mikä on ensiarvoisen tärkeää maankäytön suunnittelulle ympäristöhaittojen vähentämiseksi. (Öster 2012:8)

Happamat sulfaattimaat ovat usein liejusavia sisältäviä hienojakoisia maita, joiden rikkipitoisuus on korkea. Maa koostuu hapettuneesta maakerroksesta (todellinen hapan sulfaattimaa) ja/tai hapettumattomasta sulfidipitoisesta maakerroksesta (potentiaalinen hapan sulfaattimaa). (Edén et al. 2012a:30)

2.2 Käsitteistö

Happamien sulfaattimaiden käsitteistö vaihtelee suuresti. Suomessa ja Australiassa käytetään pääasiassa termiä sulfaattimaa ja Ruotsissa useimmin käytössä on termi sulfidimaa (Edén et al. 2012a:30, Dear et al. 2002:2, Pousette 2007). Hapan sulfaattimaa on yleisnimitys, joka pitää sisällään sekä todellisen happaman sulfaattimaan sekä potentiaalisen happaman sulfaattimaan käsitteet (Harmanen 2007:9).

Todellinen hapan sulfaattimaa syntyy, kun pohjaveden pinta laskee esimerkiksi ojituksen, ruoppauksen tai maan kaivamisen seurauksena ja sulfidimaan sisältämät rikkipitoiset mineraalit joutuvat kosketuksiin ilmakehän hapen kanssa. Ajan saatossa **sulfidit hapettuvat rikiksi ja rikki edelleen sulfaateiksi**. Sulfaateista muodostuu edelleen rikkihappoa, joka muun muassa liottaa maaperästä sen sisältämiä metalleja. Todellinen hapan sulfaattimaa on usein väriltään ruskeaa johtuen muun muassa hapettumisen seurauksena syntyneiden raudan oksidien muodostumisesta. (Heikkinen 2009:14) **Todellisen happaman sulfaattimaan pH on maastossa näytteestä mitattuna yleensä alle 4,0**. Mikäli pH on 4,0 - 4,4 eli lähellä raja-arvoa eikä sulfideja voida selvästi havaita, tarvitaan lisämäärityksiä, kuten inkubaatio tai rikkipitoisuusanalyysi. Tällöin maa voi olla esimerkiksi osittain hapettunut. (Edén et al. 2012a:30)

Potentiaalisen happaman sulfaattimaan (= sulfidimaan) rikki on vielä pelkistyneessä, ei hapettuneessa, sulfidimuodossa. Maa on veden kyllästämä, pohjaveden pinnan alapuolella eikä näin ollen ole kosketuksissa ilmakehän hapen kanssa ja hapettuminen ei ole alkanut. **pH on yleensä yli 6,0 ja kokonaisrikkipitoisuus on yli 0,2 %**. Inkuboitu pH on alle 4,0 ja vähintään 0,5 yksikköä pienempi kuin maastossa mitattu pH. (Edén et al. 2012a:30) Potentiaaliset happamat sulfaattimaat ovat usein väriltään mustia tai hyvin tummia ja rikki aiheuttaa maahan mädäntyneen kananmunan hajun. **Potentiaalisia happamia sulfaattimaita kutsutaan usein (esimerkiksi Ruotsissa aina) sulfidimaiksi** (Pousette 2007).

Rakentamisen kannalta olemassa olevat todelliset happamat eli jo hapettuneet sulfaattimaat eivät aiheuta samanlaista hapettumisreaktiota esimerkiksi maata kaivettaessa kuin vielä pelkistyneessä tilassa olevan sulfidipitoisen potentiaalisesti happaman sulfaattimaan kaivaminen. Todellisessa happamassa sulfaattimaassa maa siis on jo hapanta ja sen aiheuttamat ympäristövaikutukset ovat käynnissä maassa jatkuvasti jo ennen minkäänlaisten toimenpiteiden aloittamista. Todellisen happaman sulfaattimaakerroksen alla on kuitenkin hyvin suurella todennäköisyydellä hapettumatonta sulfidimaata, jonka kaivaminen aiheuttaa maan hapettumista. Usein hapettunut pin-

takerros on niin ohut, että kaivu ylettyy myös hapettumattomiin kerroksiin, jolloin mahdollinen happamoituminen tulee kuitenkin huomioida. Todellinen hapan sulfaattimaa aiheuttaa kuitenkin korroosiota teräs- ja betonirakenteisiin, joten täysin ongelmatonta sen olemassa olo ei rakentamisen kannalta kuitenkaan ole.

Tässä työssä käytetään myös termiä sulfidisavi, joka kuvaa potentiaalisesti happamia savimaita. Sulfidisavet vaativat huomioimista erityisesti rakentamisessa, sillä savi usein vaatii pohjanvahvistustoimenpiteitä, joiden seurauksena maata saatetaan joutua häiritsemään ja näin ollen maa pääsee hapettumaan.

2.3 Ympäristövaikutukset

Happamien sulfaattimaiden aiheuttama happamuus ja metallikuormitus vesistöihin ovat Suomen suurimpia ympäristöongelmia (Öster 2012:8). Luonnontilaiset sulfaattimaat ovat usein matalia, turpeen peittämiä kosteita maita. Pohjaveden kyllästämät sulfaattimaat ovat harmittomia ympäristölle. Pohjaveden pinnan laskiessa esimerkiksi ojituksen, ruoppauksen tai maan kaivamisen seurauksena sulfidisavien sisältämät rikkipitoiset mineraalit joutuvat kosketuksiin ilmakehän sisältämän hapen kanssa, hajoavat ja muodostavat rikkihappoa. Rikkihappo on voimakas syövyttäjä ja se liottaa maaperän luontaisesti sisältämiä metalleja. Kuivana aikana haposuolat ja metallit pysyvät maaperässä, mutta sateiden tai sulamisvesien mukana sulfaattimaiden vedet huuhtoutuvat vesistöihin. Valumien pH voi olla jopa 3, mikä on tuhat kertaa niin matala kuin suomalaisten vesien normaali pH. Esimerkiksi herkimmät kalat kuolevat vesistön pH:n laskiessa alle 5,5:n. (Heikkinen 2009:15) Vertailukohtana esimerkiksi sadeveden pH Suomessa on keskimäärin 5,6 (Karppinen et al. 2012:5).

Rikkihappo liottaa maaperästä esimerkiksi alumiinia, mangaania, kadmiumia, kobolttia, kuparia, sinkkiä ja nikkeliä. Näiden metallien päästöt vesistöihin ovat vuosina 1978–2002 tehdyn seurannan mukaan korkeammat kuin Suomen koko teollisuuden aiheuttamat päästöt. (Heikkinen 2009:15)

EU:n vesipuitedirektiivissä edellytetään Suomen pintavesien saavuttavan hyvän kemiallisen ja ekologisen tilan vuoden 2015 loppuun mennessä. Geologian tutkimuskeskuksen mukaan happamien sulfaattimaiden alueella tavoitteeseen ei päästä, mutta riskialueista ja niiden aiheuttamasta kuormituksesta valmistuu yhtenäisin menetelmin tehty yleiskartoitus vuoden 2015 loppuun mennessä. (Öster 2012:8)

2.4 Happamat sulfaattimaat rakentamisessa

Sulfaattimaat aiheuttavat haasteita rakentamisessa. Suuren vesipitoisuutensa ja orgaanisen aineksen määrän vuoksi maa on heikosti kantavaa ja runsaasti kokoonpuristuvaa. Rakennettaessa väyliä sulfaattimaa-alueille, jotka tarvitsevat pohjanvahvistusta, maa voidaan vahvistaa joko paikallaan, jolloin sulfaattimaita ei häiritä tai vaihtoehtoisesti maa on kaivettava pois ja sen jälkeen käsiteltävä ja läjitettävä asianmukaisesti. Poiskaivamisessa on otettava huomioon, että kaivettava vielä potentiaalisessa tilassa oleva sulfaattimaa päätyy kosketuksiin ilmakehän hapen kanssa, sulfidit hapettuvat sulfaateiksi ja maasta tulee todellista hapanta sulfaattimaata, jonka pH on todella alhainen ja metalleja alkaa liueta. Joillakin alueilla savi voi olla myös niin kovaa, ettei pohjanvahvistustoimenpiteitä vaadita.

Ongelmia voi aiheuttaa myös rautahydroksidien saostuminen salaojaputkiin sekä alhaisen pH:n aiheuttama korroosio teräs- ja betonirakenteissa (esim. silloissa, paalu-laatoissa ja muissa taitorakenteissa). (Pousette 2007:3) Korroosio voi olla myös mikrobiologista, jolloin sen taustalla on sulfaatteja pelkistävät bakteerit (SRB). Nämä bakteerit pelkistävät sulfaatin takaisin sulfidiksi, joka reagoi vedyn kanssa muodostaen syövyttävää rikkivetyä tai rautapitoisilla alueilla ferrosulfidia. Myös SRB-bakteerien muodostamien happipitoisuuserojen, liukenemattomien sulfidien tuottamisen sekä katodisen depolarisaation uskotaan kiihdyttävän korroosiota. (Liikennevirasto 2012:60) Toisaalta SRB-bakteereita on käytetty onnistuneesti kaivospuolella sulfaattipitoisten rikastushiekkojen käsittelyssä ja näin ollen happamien valuntojen ehkäisemiseen. (Vestola & Mroueh 2008:3).

3 Nykyinen lainsäädäntö ja ohjeistus

3.1 Nykytilanne

Happamia sulfaattimaita koskevia tutkimuksia ja ohjeistuksia ovat jonkin verran tehneet esimerkiksi Geologian tutkimuskeskus (GTK) ja maa- ja metsätalousministeriö. Nämä on kuitenkin tehty maatalouden tai metsätalouden näkökulmasta, jolloin annetut ohjeet soveltuvat vain osin käytettäväksi väylähankkeissa. *Sulfaattimaat väylähankkeissa*, esiselvitys, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2014 sisältää yleiskatsauksen happamiin sulfaattimaihin ja tietämykseen niistä. Selvitykseen on koottu, miten ja missä jo olemassa olevissa ohjeistuksissa sulfaattimaat huomioidaan jollain tapaa ja miten nykyinen lainsäädäntö ohjaa sulfaattimaiden käsittelyä. Virallisia kokonaisvaltaisesti sulfaattimaita käsitteleviä viranomaisohjeita ei esiselvityksessä tehdyn kirjallisuuskatsauksen mukaan tullut esille. (Kerko et al. 2014:26)

Esiselvityksen yhteydessä on myös tehty internet-kysely syyskuussa 2013 henkilöille, joiden toimiala oli joko suoraan sulfaattimaiden tutkimukseen liittyvää tai he työskentelivät potentiaalisesti sulfaattipitoisten maiden alueella (esimerkiksi viranomaiset, suunnittelijat ja urakoitsijat). Kyselyssä kysyttiin muun muassa, mikä on yleinen tuntemus liittyen sulfaattimaihin, mitä tunnistamistapoja projekteissa on käytetty, kuinka sulfaattimaat otetaan huomioon suunnittelussa ja toteutuksessa, merkittävimmät sulfaattimaiden aiheuttamat ongelmat sekä mielipide nykyisen ohjeistuksen riittävydestä. Kyselytutkimuksen tuloksena kävi ilmi, että sulfaattimaiden olemassaolo huomioidaan liian vähäisesti hankkeiden suunnittelussa ja toteutuksessa (kaksi kolmasosaa vastaajista). Myös sulfaattimaita koskevalle yhtenäiselle ja kattavalle ohjeistukselle todetaan olevan selkeä tarve (yli puolet vastaajista toivoi parempaa ohjeistusta). (Kerko et al. 2014:11, 24 - 26)

Lokakuussa 2013 järjestettiin aiheen pohjalta keskustelutilaisuus, jossa eri tahojen asiantuntijat esittelivät esimerkkihankkeita, joissa sulfaattimaat ovat olleet osallisina, ja kerrottiin, miten esimerkiksi maiden käsittely oli pyritty ratkaisemaan. Myös keskustelutilaisuuden tuloksena tuli ilmi, että sulfaattimaita koskevien toimenpiteiden määrittely on ongelmallista, mikä kuvastaa lisätiedon tarvetta ja puoltaa ohjeistuksen laadintaa. (Kerko et al. 2014:11, 26)

3.2 Viranomaisohjaus

3.2.1 Laki vesien- ja merenhoidon järjestämisestä sekä valtioneuvoston asetukset vesienhoidon sekä merenhoidon järjestämisestä

Laki vesien ja merenhoidon järjestämisestä (1299/2004) sekä valtioneuvoston asetukset vesienhoidon (1040/2006) sekä merienhoidon (272/2011) järjestämisestä toteuttavat Suomessa EU:n vesipuitedirektiiviä ja meristrategiadirektiiviä. Lain tavoitteena on suojella, parantaa ja ennallistaa vesiä ja Itämerta niin, ettei pinta- ja pohjavesien tai Itämeren tila heikkene ja että niiden tila on vähintään hyvä. Asetuksissa säädetään Elinkeino- liikenne- ja ympäristökeskusten (ELY-keskus) laatimiin vesienhoitosuunnitelmiin sisällytettävistä selvityksistä, vesien tilan arvioimisesta ja seurannasta sekä yleisesti vesienhoitosuunnitelman laatimisesta.

3.2.2 ELY-keskusten vesienhoitosuunnitelmat

Valtioneuvosto on hyväksynyt joulukuussa 2009 ELY-keskusten tekemät vesienhoitosuunnitelmat vuosille 2010–2015. ELY-keskusten vesienhoitoalueille tekemien vesienhoitosuunnitelmien koosteeseen on kirjattu vesiensuojelun keskeisiksi ohjauskeinoiksi happamuuden hallintaan: (Mäenpää & Tolonen 2011:88)

- *Lisätään happamiin sulfaattimaihin liittyvää tiedotusta ja neuvontaa kaikilla sektoreilla*
- *Kartoitetaan happamat sulfaattimaat ja näiden maiden aiheuttamat kuormitusriskit yhtenäisin menetelmin vuoteen 2015 mennessä.*
- *Kehitetään ja otetaan käyttöön kustannustehokkaita menetelmiä happamien sulfaattimaiden haittojen vähentämiseksi.*
- *Pyritään sisällyttämään happamilla sulfaattimailla tarvittavia vesiensuojelutoimenpiteitä maatalouden, metsätalouden ja kuivatuksen tukijärjestelmiin.*
- *Otetaan happamat sulfaattimaat huomioon maankäytön suunnittelussa.*
- *Varmistetaan lainsäädännön muutoksilla tai nykyistä lainsäädäntöä täydentävällä ohjeistuksella, että happamat sulfaattimaat otetaan huomioon jo hankkeiden suunnittelussa. (Mäenpää & Tolonen 2011)*

3.2.3 Valtioneuvoston asetus vesitalousasioista

Valtioneuvoston vesitalousasioista antaman asetuksen (1560/2011, 3:26§) mukaan ojitussuunnitelmassa on tarpeellisessa laajuudessa esitettävä muun muassa selvitys ojitettavan alueen maalajeista ja happamien sulfaattimaiden esiintymisestä.

3.2.4 Vesilaki

Vesilain (587/2011) mukaan ojittaminen edellyttää vesilain mukaisen luvan, mikäli ojituksesta, ojan käyttämisestä tai kunnossapidosta johtuen voi aiheutua ympäristönsuojelulain mukaista pilaantumista vesialueilla (VL 5:3§) Ojittaminen alueilla, joilla sulfaattimaita esiintyy, aiheuttaa merkittävän riskin vesialueiden pilaantumiseen.

3.2.5 Ympäristönsuojelulaki

Ympäristönsuojelulaissa (527/2014, 4:27§) ympäristölupa edellytetään muun muassa toiminnalle, joka aiheuttaa ympäristön pilaantumisen vaaraa, saattaa aiheuttaa vesistön pilaantumista sekä jätevesien johtamiseen, josta saattaa aiheutua ojan, lähteen tai noron pilaantumista. Liikennevirasto on vuonna 2014 tehnyt sulfaattimaa-aiheesta esiselvityksen, jonka puitteissa järjestetyssä keskustelutilaisuudessa tuli ilmi muun muassa, että käytännön tasolla ympäristöluvan vaatiminen sulfaattimaihin liittyville kaivu- tai muille töille vaihtelee suuresti alueittain. ELY-keskusten vaatimukset eroavat toisistaan eikä selkeää linjausta ole olemassa. (Malmivuori 2013)

3.2.6 Jätelaki

Jätelain (646/2011, 1:5§) mukaan jätteellä tarkoitetaan *ainetta tai esinettä, jonka sen haltija on poistanut tai aikoo poistaa käytöstä taikka on velvollinen poistamaan käytöstä.* Yleisesti tätä määritelmää on sovellettu myös kaivettaviin maa-aineksiin. Jätettä ei kuitenkaan ole rakentamistoimen aikana kaivettu pilaantumaton maa-aines, joka

hyödynnetään varmasti ja suunnitelmallisesti ilman merkittäviä muuntamistoimia ja se ei näin ollen vaadi hyödyntämiseen ympäristönsuojelulain mukaista hyväksymismenettelyä. Maa-ainesta ei pidetä jätelain tarkoittamana jätteenä, mikäli kokonaisarvioinnin kaikki arviointikriteerit täyttyvät. (YM 2014:11)

Kriteerit ovat:

- Maa-ainesta on pilaantumaton (YM 2014:11)
- Maa-aineksen jatkokäyttö on varmaa, jolloin maa-ainesta toimitetaan kaivupaikalta suoraan kohteeseen eikä sitä varastoida välissä pitkiä aikoja. (YM 2014:11)
- Maa-aineksen jatkokäyttö on suunnitelmallista eli maa-aineksen käytölle on olemassa todellinen tarve ja käytön tekniset edellytykset on määritelty. Käytännössä maa-aineksen käyttö perustuu esimerkiksi hyväksytyyn tie- tai ratasuunnitelmaan. (YM 2014:12)
- Maa-ainesta voidaan jatkokäyttää sellaisenaan ilman muuntamistoimia. Muuntamistoimina ei kuitenkaan pidetä maan mekaanista käsittelyä tai maa-aineksen rakennettavuusominaisuuksien parantamista esimerkiksi stabiloimalla. Kemiallinen käsittely, kuten neutraloivien kemikaalien käyttö on joissakin tapauksissa katsottu muuntamistoimenpiteeksi. (YM 2014:12)

Sulfaattimaiden luokittelu jätteenä vaihtelee siis tapauskohtaisesti. Läjitettäviä sulfaattimaita voidaan arviointikriteereiden puitteissa pitää pilaantumattomina, mutta esimerkiksi maiden neutralointi ennen läjittämistä on joskus muuttanut sulfaattimaan statuksen jätteenä.

3.3 Liikenneviraston ohjeet

3.3.1 Massanvaihdon suunnittelu -ohje

Liikenneviraston Massanvaihdon suunnittelu -ohjeessa kehoitetaan savimaita kaivettaessa ottamaan huomioon sulfaattia sisältävän maa-aineksen aiheuttama hapanta valunta. Ohjeessa kerrotaan, että kun sulfidisia kaivetaan pohjaveden pinnan alapuolelta, ne hapettuvat ja saavat aikaan veden happamoitumista. Asia on huomioitava läjitysalueiden suunnittelussa, jotta happaman valunnan pääsy vesistöihin voidaan estää. Varsinaisia suunnitteluohjeita tai menetelmiä valunnan estämiseksi ei anneta. (Liikennevirasto 2011a:37)

3.3.2 Sillan geotekninen suunnittelu -ohje

Liikenneviraston *Sillan geotekninen suunnittelu* -ohjeessa keskitytään sulfaattipitoisen maan aiheuttamaan korroosioon teräs- ja betonirakenteissa. Ohjeessa ongelmallisimpana pidetään rikkiä sisältävissä maissa esiintyviä sulfaatteja pelkistäviä bakteereita, jotka pelkistävät sulfaatin sulfidiksi, joka edelleen reagoi vedyn kanssa syövyttäväksi rikkivedyksi tai ferrosulfidiksi. Mikrobiologisen korroosion mahdollisuutta voidaan selvittää määrittämällä sulfidipitoisuus ja redox-potentiaali. Ohjeessa sulfidipitoisuus todetaan maastossa lisäämällä maanäytteeseen muutama tippa laimeaa suolahappoa, jolloin sulfidipitoisessa näytteessä muodostuu happamissa olosuhteissa pahanhajuista rikkihappoa. Redox-potentiaali puolestaan mitataan maas-

tossa maavedestä esim. kairareikästä. Mikäli redox-potentiaali on < 200 mV (NHE), maan olosuhteet ovat pelkistävät ja mikrobiologinen korrosio on mahdollista. Voimakasta se on redox-potentiaalin ollessa < 100 mV (NHE). (Liikennevirasto 2012:60)

Kemiallisen rasituksen ympäristöluokissa XA2 ja XA3 tulee käyttää sulfaatin kestävää sementtiä betonista tehtävissä pohjarakenteissa. Sulfaattipitoisuus määritetään EN 196-2 standardin mukaisella suolahappouuttamisella. Raja-arvot sulfaattipitoisuuksille on esitetty taulukossa 1.

Taulukko 1. Kemiallisen rasituksen ympäristöluokkien sulfaattipitoisuuden raja-arvot.

	XA2	XA3
Pohjavesi SO_4^{2-} , [mg/l]	> 600 ja ≤ 3000	> 3000 ja ≤ 6000
Maaperä SO_4^{2-} , [mg/l]	> 3000 ja ≤ 12000	> 12000 ja ≤ 24000

Kemiallisen rasituksen ympäristöluokkien lisäksi ohjeessa annetaan korrosio-tutkimusohjelman raja-arvot, joiden perusteella maapohja voidaan tulkita tavanomaisesta poikkeavaksi tai jopa aggressiiviseksi. Maanäytteistä sulfaattipitoisuus tutkitaan SFS-EN 196-2 standardin mukaisella menetelmällä eri syvyyksiltä otetuista näytteistä ja mikäli sulfaattia on yli 500 mg/kg, kyseessä on siltä osin tavallisesta poikkeava maaperä. Pohja- ja maaveden korrosiotutkimusohjelmassa vesinäytteestä tutkitaan sulfaattipitoisuus SFS-EN ISO 10304-1 ionikromatografialla ja sulfaatin raja-arvona pidetään SO_4^{2-} > 250 mg/l. (Liikennevirasto 2012:37, 61)

3.4 Muut ohjeet ja julkaisut

Sulfaattimaita on tutkittu esimerkiksi GTK:n, ja erilaisten maa- ja metsätalouden alan keskusten toimesta. Nämä julkaisut painottuvat yleensä maa- ja metsätalouden tarpeisiin, mutta ovat osittain sovellettavissa myös väylärakentamiseen. Ruotsissa sulfaattimaiden tutkimusta on tehty melko paljon ja Ruotsin liikennevirasto Trafikverket on julkaissut ohjeita ja käsikirjoja sulfaattimailla tehtävään väylärakentamiseen liittyen.

3.4.1 Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseen

Maa- ja elintarviketalouden tutkimuskeskuksen julkaisusarjassa ilmestynyt opas perehtyy pohjaveden tason säätämiseen haitallisen hapettumisen vähentämiseksi. Opas on tehty peltoviljelyn tarpeisiin ja perustuu Söderfjärdenin koekentän tuloksiin. Kentällä selvitettiin kolmen erilaisen salaojitustavan vaikutuksia pohjaveden tasoon sekä veteen ja ilmaan tulevaan kuormitukseen sekä viljasatoon. Oppaassa on myös yleisesti kerrottu sulfaattimaista sekä niiden aiheuttamista vaikutuksista, mikä lisää asian tiedostettavuutta. (Uusi-Kämpä et al. 2013:3)

3.4.2 Metsätalouden vesiensuojeluopas

Metsätalouden kehittämiskeskus Tapion vesiensuojeluoppaassa käsitellään metsätalouden aiheuttamien vesistökuormituksen syitä ja keinoja kuormituksen vähentämiseen ja ehkäisemiseen. Happamat sulfaattimaat ovat mukana yhtenä vesistökuormitusta aiheuttavana tekijänä. Opas on suositus metsäalalla työskentelyn periaatteiksi ja se on tarkoitettu yhtenäistämään metsäalan ja ympäristöhallinnon ammattilaisten työtä. Oppaassa todetaan, että olennaista on potentiaalisen happaman sulfaattimaan hapettumisen estäminen. Ohjeistuksena on myös, että mikäli vesialueen pilaantumisuuhkaa ei voida estää, tulee hankkeelle hakea vesitalouslupa. Hapettumisen estämiseksi ehdotetaan muun muassa:

- Vältetään kuivatussyvyyden lisäämistä, perattavat kuivatusojat ja täydennysojat kaivetaan enintään vanhojen uudisojien pohjien syvyyteen
- Pidättyäytään kunnostusojituksesta ja täydennysojituksesta kokonaan
- Pohja-, putki- ja kalkkirouhepatoratkaisut
- Sarkaojien perkaus- ja kaivukatkot
- Laskuojien pintavalutuskentät ja perkauskatkot

Oppaassa on myös yleisesti kerrottu sulfaattimaista sekä niiden aiheuttamista vaikutuksista, mikä lisää asian tiedostettavuutta. (Joensuu et al. 2012:10-12)

3.4.3 Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje

Ympäristöministeriön *Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje* huomioin sulfidisavi-sedimentit haitallisina sedimentteinä. Ohje muistuttaa sulfaattimaiden maalle läjittämisen haittavaikutuksista ja ehdottaa toimenpiteeksi maalle läjitettävien sedimenttien kalkitsemista. Seikkaperäisempiä työskentelyohjeita ohje ei anna. (YM 2015:24)

3.4.4 Massastabilointikäsikirja

Massastabilointikäsikirja on UUMA 2 -hankkeen yhteydessä tehty opas massastabilointiin. Oppaassa käsitellään myös sulfaattimaiden stabilointia. Oppaassa kerrotaan, kuinka sulfaattimaiden stabiloinnilla voidaan vähentää niiden aiheuttamia ympäristövaikutuksia ja esimerkiksi, että sulfaattimaiden on todettu lujittuvan sementtiä, kalkkia, kipsiä ja lentotuhkaa sisältävillä sideaineseoksilla, mikäli stabilointi tehdään ennen hapettumista. Pelkillä lentotuhkilla stabilointi onnistuu, mikäli sulfaattimaa halutaan käsitellä vain happamoitumisriskin pienentämiseksi eikä erityisiä lujuusvaatimuksia ole asetettu.

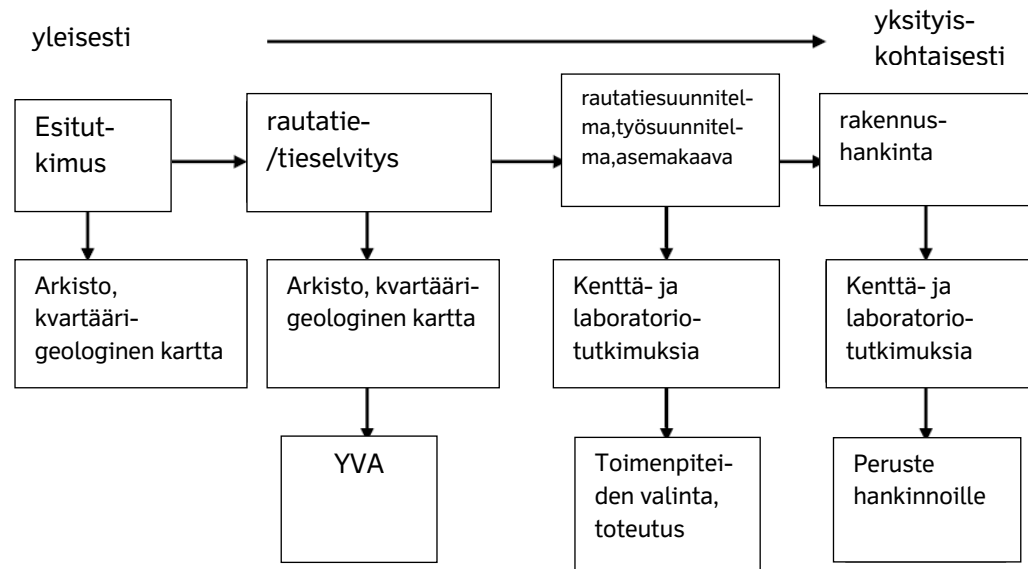
3.4.5 Ruotsin liikenneviraston ohjejulkaisu

Ruotsin liikenneviraston (Trafikverket) julkaisu *Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordmassor* on käsikirja sulfaattimaiden tunnistamiseen ja käsittelyyn erityisesti väylärakentamisessa.

Ohjeessa on kuvattu yleisellä tasolla sulfaattimaita, niiden syntyä, sijaintia ja ympäristövaikutuksia erityisesti huomioiden niiden happamoittamisominaisuudet. Ohjeessa on esitelty myös myöhemmin tässä työssä tarkemmin läpikäytävän liukoisuuskokeeseen perustuvan luokitusmenetelmän vanhempi versio. Ohjeessa esitetään myös sulfaattimaatyypeittäin ja -määrittäin periaatteet suojaustoimenpiteiden, kaivettujen massojen sijoittamisen ja toteutettavan tarkkailun valintaan. Julkaisussa esitetään esimerkiksi seuraavanlainen suositus käsittelyperiaatteen valintajärjestykseksi.

1. Paikallaan tehtävä käsittely
2. Massanvaihto, läjitys pohjaveden pinnan alapuolelle
3. Massanvaihto, läjitys kokonaan tai osittain pohjaveden pinnan yläpuolelle
4. Massanvaihto ja toimittaminen kaatopaikalle (Pousette 2007:27)

Edellä mainittuja käsittelytoimenpiteitä on esitelty tarkemmin kappaleessa 5. Lisäksi ohjeessa otetaan jonkin verran kantaa siihen, millaisia tutkimuksia tulisi tehdä projektin eri vaiheissa (kuva 2) ja milloin ja miten ympäristöviranomaisia tulisi informoida sulfaattimaista.



Kuva 2. Sulfaattimaatutkimusten huomioiminen hankkeen eri vaiheissa Ruotsissa (mukaillen Pousette 2007:11).

Kaiken kaikkiaan ohje on melko hyvä pohja sulfaattimaa-asian tarkastelulle väylähankeissa.

4 Sulfaattimaiden tunnistaminen

4.1 Tutkimusmenetelmien taustaa

Sulfaattimaiden tunnistaminen ei ole yksiselitteistä, koska pelkät pH-arvot ja rikki-pitoisuudet eivät välttämättä ole riittävän luotettavia parametreja maan happamoitumisen arvioimiseksi. Kangas (2010) on tutkinut diplomityössään sulfaattimaiden tunnistus- ja luokitusmenetelmiä ja todennut tulosten riippuvan hyvin paljon käytetävästä menetelmästä. Perinteisesti potentiaalisen sulfaattimaan hapettumista todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi on tutkittu inkuboimalla (ks. kpl 4.4) maanäytteitä. Sulfaattimaiden tunnistamiseen ja luokitteluun on kuitenkin kehitetty joitakin uusia ja erilaisia menetelmiä. Etenkin väyläpuolelle soveltuvaa sulfaattimaatutkimusta tutkimusta on tehty Suomea enemmän Ruotsissa Luulajan teknillisessä yliopistossa, missä on kehitetty myös oma menetelmänsä maiden tunnistamiseen ja luokitteluun.

Selvää on, että yksittäistä testiä, joka antaa varman tuloksen, ei ole tällä hetkellä olemassa. Ruotsalaiset Mácsik et al. (2016) ovat todenneet, että sulfaattimaita sisältävien väylähankkeiden projektikustannukset voivat jopa kaksinkertaistua, mikäli maat käsitellään massanvaihoilla. Yhdeksi syyksi tälle mainitaan nopean ja selkeän sulfaattimaiden happamoitumispotentiaalın arviointimenetelmän puute. Tällaisen menetelmän kehittämiseksi tehdään edelleen tutkimusta Luulajan teknillisessä yliopistossa. Täysin puuttuvan tunnistamismenetelmän syytä kustannusten kaksinkertaistuminen ei ole, sillä osaltaan ruotsalaisten arviota kustannusten noususta nostaa Ruotsissa käytössä olevat rajoitukset liittyen sulfaattimaiden käsittelyyn ja varastointiin. Ruotsissa on tiukemmat säännökset läjitysalueiden valinnalle ja sulfaattimaille sopivia läjitysalueita on vaikea löytää, jolloin maita saatetaan joutua kuljettamaan pitkiäkin matkoja. Osaltaan tiukat käsittelyvaatimukset tulevat siitä, että Ruotsissa sulfaattimaat rinnastetaan varovaisuusperiaatteen mukaisesti pyriittipitoiseen kaivosjätteeseen.

Seuraavaksi on esitelty joitakin käytössä tai kehitteillä olevia menetelmiä, jotka soveltuvat sulfaattimaiden tunnistamiseen ja/tai luokitteluun. Karkeasti menetelmät voidaan jakaa kahteen ryhmään: menetelmiin, joilla tunnistetaan yksinkertaisesti, onko maa sulfidipitoista vai ei, ja menetelmiin, joilla voidaan arvioida maan ominaisuuksia, kuten hapontuottopotentiaalia tarkemmin. Hankkeen alkuvaiheessa voi riittää pelkkä ”on/ei ole” -muotoinen tunnistus. Hankkeen jatkosuunnittelua varten alueilta, joilla sulfaattimaata esiintyy, tarvitaan kuitenkin tarkempaa tietoa maan happamoitumisominaisuuksista. Happamoitumispotentiaaliin voitaisiin myös jatkossa rinnastaa vaatimukset eriasteisille käsittelytoimenpiteille, sillä happamien sulfaattimaiden ominaisuudet vaihtelevat suuresti alueittain eivätkä kaikki maat välttämättä vaadi yhtä voimakasta käsittelyä.

4.2 Geologian tutkimuskeskuksen kartoitus

Geologian tutkimuskeskus (GTK) on vuosina 2009–2015 kartoittanut Suomen rannikkoseudun sulfaattimaa-alueita. Kartoitus on tehty hyödyntäen olemassa olevia maaperä-, kallioperä-, lentogeofysiikka- ja korkeusaineistoja. Lisäksi on tehty maaperäkairauksia, joiden avulla saadaan tietoa maalajeista, kerrosjärjestyksestä ja sulfidikerroksista. Maaperästä on myös mitattu pH:ta sekä otettu näytteitä laboratoriotutkimuksia varten. Näytteet on pääasiassa tutkittu inkuboimalla ja havainnoimalla pH:n mahdollista laskua. (Eden et al. 2012b:32)

Kartoituksen perusteella on laadittu muun muassa yleiskartta happamien sulfaattimaiden todennäköisestä esiintymisestä. Kartta on saatavilla GTK:n ylläpitämässä avoimessa karttapalvelussa. (Eden et al. 2012b:33)

Kartoitusta voidaan pitää hyvänä lähtökohtana sille, tarvitseeko hankkeen toteutuksessa ylipäänsä miettiä sulfaattimaihin liittyvien tutkimusten tekemistä. Jokaisella kartan osoittamalla mahdollisella sulfaattimaa-alueella ei tietenkään ole sulfaattimaita ja näin ollen sulfaattimaiden todellinen esiintyminen on syytä aina varmistaa muilla tutkimuksilla. Toisaalta sulfaattimaita voi esiintyä myös kartoituksessa puhtaaksi merkityllä alueella, mikäli esimerkiksi alueen korkeustason (Perämeren rannikolla sulfaattimaat ylettyvät noin 100 metrin tasoon ja Etelä-Suomen rannikolla 20–40 metrin tasoon merenpinnan yläpuolelle) perusteella ei voida poissulkea sulfaattimaiden mahdollista esiintymistä.

4.3 Aistinvarainen tunnistaminen

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa on usein väriltään mustaa ja siinä on rikin aiheuttama mädäntyneen kananmunan haju. Maa on usein liejupitoista savea tai silttiä. Todellinen hapan sulfaattimaa puolestaan on vaaleanruskeaa tai vaaleanharmaata ja siinä näkyy hapettumisessa muodostuneiden rautaoksidien vuoksi ruosteen väriä ja mahdollisesti kellertävää jarosiittia. Myös todellinen hapan sulfaattimaa on usein liejupitoista savea tai silttiä. Usein maaprofiilissa näkyy päällä hapettunut kerros ruskeaa sulfaattimaata, jonka alla on pohjaveden kyllästämänä musta tai hyvin tumman harmaa hapettumaton sulfidipitoinen maa. Kuvassa 3 näkyy selkeästi pinnalla hapettunut sulfaattimaa ja pohjaveden pinnan alapuolella hapettumaton sulfidimaa. (Geologian tutkimuskeskus 2012)



Kuva 3. Todellinen hapan sulfaattimaa ja potentiaalinen hapansulfaattimaa (Kuva: Rainer Rosendahl, Geologian tutkimuskeskus 2012).

Mikäli maa on mustaa ja haisee selkeästi rikkivedylle, tilanne on melko selkeä ja voidaan olettaa maan olevan sulfidipitoista. Aina potentiaalinen hapan sulfaattimaa ei kuitenkaan haise tai muuten ilmennä sille tyypillisiä ominaisuuksia, joten aistinvarainen tunnistaminen ei missään nimessä ole aukoton tunnistamismenetelmä.

4.4 Pikatesti vetyperoksidilla

Eryityisesti Australiassa on käytössä menetelmä, joka perustuu vetyperoksidin (H_2O_2) aiheuttamaan nopeaan hapettumiseen.

Menetelmässä 10 g maata annetaan reagoida 50 ml 30 % H_2O_2 kanssa voimakkaasti lämpöä tuottavan ja kuohuvan reaktion kestävässä astiassa. Reaktion jälkeen pH mitataan ja mikäli se on $\leq 2,5$, on kyseessä potentiaalinen hapan sulfaattimaa. Epäselvissä tapauksissa tulos on kuitenkin hyvä varmistaa muilla keinoin, kuten laboratoriossa inkuboimalla. (FAO 2014:74)

Menetelmä on todella nopea ja helposti tehtävissä suoraan kohteessa. Pelkkään pH:n laskuun perustuva menetelmä ei kuitenkaan huomioi esimerkiksi maan omaa puskurointikykyä ja näin ollen maan hapontuottopotentiaali jää selviämättä. (Liikennevirasto 2015a:91) Myös se on syytä huomioida, että vetyperoksidin pH on jo alussa alhainen (4-4,5), mikä aiheuttaa sen, että maa happamoituu enemmän kuin se luonnossa happamoituisi (Boman 2015). Menetelmän käyttöä Suomessa ei ole selvitetty, mutta lisäselvityksillä menetelmä voisi soveltua maastossa käytettäväksi pikatestiksi. (Liikennevirasto 2015a:92)

4.5 Pikatesti pH-mittauksella ja suolahapolla

Tässä menetelmässä pH-mittaria käytetään sähköisenä tunnistimena. Menetelmän käyttökelpoisuuden edellytyksenä on tarkkaan tehty alkukartoitus, joka perustuu käytävissä olevaan tietoon alueesta. Näitä ovat esimerkiksi Geologian Tutkimuskeskuksen kartoitus, geologiset kartat, topografia sekä alueen korkeusasema. (Törnqvist 2016)

Lähtötietojen perusteella sulfaattimaaksi arvioidulta alueelta otetaan näytteitä arvioidun kaivutason yläpuolelta esimerkiksi kierrekairalla tai tarvittaessa konekäyttöisellä kairalla. Näytteenottoa suunniteltaessa on syytä huomioida maakerrosten liettymisen ja sekoittumisen riski. Tiettyä maakerrosta edustavan näytteen saaminen voi olla vaikeaa sulfaattimaille usein tyypillisen korkean vesipitoisuuden vuoksi. Näytteenoton yhteydessä maata arvioidaan silmämääräisesti (ks. kpl 4.3). Ensimmäisenä indikaattorina sulfaattimaiden esiintymisestä voidaan pitää sitä, että näyte alkaa välittömästi muuttua vaaleammaksi. Tämä kertoo siitä, että näyte on ilman kanssa kosketuksiin tultuaan alkanut välittömästi hapettua. (Törnqvist 2016)

Lisäksi näytteenoton yhteydessä määritetään suoraan näytteestä sen happamuus sähköisellä pH-anturilla. Aggressiivisissa maakerroksissa sähköinen pH-mittaus ei heti alussa ole luotettava johtuen nopeasta hapettumisesta. Mittaustulos elää voimakkaasti ja jopa merkittävän emäksisiä tuloksia voidaan hetkellisesti mitata, mutta jo muutaman minuutin kuluttua suoritettavat uusintamittaukset osoittavat näytteen happamoituvan. Useimmat laboratoriokäyttöön tarkoitetut pH-mittarit edellyttävät toimiakseen, että näytteessä on tarpeeksi huokosvettä ja näyte on tarpeeksi pehmeä. Kenttämittauksiin paremmin soveltuvat vapaat elektrodit. Mittausten välissä elektrodien puhdistamisesta de-ionisoidulla vedellä tulee huolehtia. Jatkotutkimuksien kannalta voi olla myös tarpeellista, että näytteestä määritetään myös sen sähkönjohtavuus ja mahdollisesti redoxpotentiaali. (Törnqvist 2016)

Rikin olemassa olo voidaan varmistaa lisäksi pipetoimalla näytteen pinnalle laimeaa suolahappoa. Mikäli maa on sulfidipitoista, irtoaa hapetetusta pinnasta rikkivetyä, jolle tyypillinen haju paljastaa sulfidien olemassaolon. Reaktiossa muodostuva rikkivety on ihmiselle myrkyllistä, joten sen muodostuminen on huomioitava koetta suorittaessa. (Törnqvist 2016)

Menetelmä voi soveltua maastossa tehtäväksi kenttämittaukseksi, jonka antamien on/ei ole sulfaattimaata -vastausten perusteella voidaan valita jatkotutkimuksiin laboratorioon lähetettävät näytteet tarkempien ominaisuuksien selvittämiseksi. (Törnqvist 2016)

Ideaalitilanteessa karttojen ym. lähtötietojen ja mahdollisten jo tehtyjen pohjatutkimusten perusteella saadaan rajattua potentiaalinen sulfaattimaita sisältävä alue, jonka reunoilta lähdetään tekemään näytteenottoa ja kenttämittauksia. Mikäli reunimaiset kenttämittaukset eivät osoita sulfaattimaiden olemassaoloa siirretään näytestä kohti ongelma-alueen todennäköisempää esiintymisaluetta. (Törnqvist 2016)

4.6 Inkubaatio-pH

Inkubaatiossa maanäytteen pH mitataan maastossa, minkä jälkeen näytteen annetaan olla tekemisissä hapen kanssa 9-19 viikkoa eli menetelmä on hidas. (Boman 2015) Tämän jälkeen pH mitataan uudestaan ja mikäli pH on alle 4 ja vähintään 0,5 yksikköä pienempi kuin maastossa mitattu pH, voidaan näytteen todeta sisältävän sulfidia. Inkubaation lisäksi on usein syytä määrittää vähintään kokonaisrikkipitoisuus laboratoriossa. Usein lisäksi tehdään monialkuainemääritys ICP-OES tekniikalla, jonka tuloksena saadaan rikin ja 30 muun alkuaineen pitoisuudet (Auri et al. 2012:8). Esimerkiksi GTK:n kartoitusta varten tehdyissä kokeissa näytteen pH mitataan näytteenoton yhteydessä maastossa suoraan kairanäytteen pinnalta. pH mitataan yhden

desimaalin tarkkuudella näytteen pinnalta tai vaihtoehtoisesti de-ionistoituu veteen lietetystä näytteestä. Näytteen pinnalta mitattaessa on varmistettava, että näyte on riittävän kostea. Tarvittaessa näytteen pintaa voidaan kostuttaa de-ionisoidulla vedellä. (Auri et al. 2012:7)

Näytteitä otetaan 0,2 metrin välein 3 metrin syvyyteen asti. Väyläkohteilla näytteiden otto syvemmälle on usein tarpeen. Näytemäärän on oltava riittävä jatkomäärityksiä varten. Näytteet pakataan ilmatiiviisti esimerkiksi useampaan minigrip-pussiin siten, ettei pussiin jää ylimääräistä ilmaa. (Auri et al. 2012:7)

Inkubaatiossa näytteiden annetaan hapettua huoneilmassa 9–19 viikon ajan. Näytteet tulee pitää kosteina lisäämällä de-ionisoitua vettä. Vettä ei tule kuitenkaan lisätä niin paljon, että näyte vettyy, jolloin hapettuminen ei tapahdu toivotulla tavalla. Näytteet saattavat kuivua ajoittain, mikä ei ole ongelma. Näytteiden pH mitataan inkuboinnin jälkeen samoin kuin lähtö-pH mitattiin maastossa. Osa näytteistä voidaan laittaa tarkempaan seurantaan, jolloin pH:ta seurataan viikottain. Tämän avulla voidaan arvioida inkuboimiseen tarvittavaa aikaa, kun huomataan, milloin pH:ssa ei enää tapahdu muutoksia. (Auri et al. 2012:8) Mikäli tiheämpää seurantaa ei tehdä, mitataan pH n. 9 viikon inkubaation jälkeen ja jos se on 4,1–6,4, jatketaan inkubaatiota vielä 10 viikkoa (Eklund 2014).

Inkubaatio pH on tällä hetkellä eniten käytetty keino happamien sulfaattimaiden luokittelamiseen/tunnistamiseen. Hienorakeisille maille menetelmä soveltuukin melko hyvin ja sitä voidaan pitää luotettavana kertomaan onko maa sulfidimaata vai ei. Ongelma on kuitenkin siinä, että alhainen inkubaatio-pH ei automaattisesti tarkoita, että maan happamoitumispotentiaali on suuri ja näin ollen uusien menetelmien kehittämiselle on tarve. Toisin sanoen maan luokitteluun inkubaatio-pH riittää sellaisenaan, mutta varsinaisen happamoitumisen arvioimiseen se ei riitä. (Boman 2015)

4.7 Suomalainen riskiluokitus

Suomessa on käytetty (mm. GTK) riskiluokittelua, jossa happamien sulfaattimaiden luokittelu perustuu kahteen tai kolmeen tekijään. Nämä tekijät ovat: Sulfidipitoisen maakerroksen alkamissyvyys (taulukko 2), maastossa mitatun pH:n minimi (taulukko 3) ja rikkipitoisuus (taulukko 4) niissä tapauksissa joissa se on analysoitu. (Eden 2012a:30)

Taulukko2. Sulfidimaakerroksen alkamissyvyys.

Luokka 1	Sulfidipitoisen maan alkamissyvyys (m)
1	0–0,1
2	1,0–1,5
3	1,5–2,0
4	2,0–3,0
5	sulfidi täysin hapettunut
6	ei sulfidia

Taulukko 3. *Potentiaalisesti happaman sulfaattimaan minimi pH maastossa mitattuna.*

Luokka 2	Minimi-pH 0-3 metrin syvyydellä
A	< 3,5
B	3,5–3,9
C	4,0–4,4
D	≥ 4,5

Taulukko 4. *Potentiaalisesti happaman sulfaattimaanäytteen rikkipitoisuus.*

Täydentävä luokka	Sulfidikerroksen ylimmän 40 cm kokonaisrikkipitoisuuden keskiarvo (%)
I	≥ 1,0
II	0,6–0,99
III	0,2–0,59
IV	< 0,2

Riskiluokka ilmoitetaan muodossa sulfidipitoisen maakerroksen alkamissyvyys/ $\text{pH}_{\text{min}}/\text{S}(\text{tot})$. Esimerkiksi 3 / A / II. Tämä luokittelu ylettyy vain 3 metrin syvyyteen maanpinnasta. (Eden 2012a:30) Väylärakennushankkeissa savikerrosten paksuudet voivat kuitenkin olla useita kymmeniä metrejä. Näin ollen tällainen maan pintaosille tehty luokituskriteeristö ei sellaisenaan sovellu väylähankkeilla käytettäväksi. Luokitus ei myöskään ota kantaa maan haponmuodostumispotentiaaliin. Luokittelun yhteydessä ei ole kerrottu, mitkä luokat edustavat ns. haitallista sulfaattimaata ja, mitkä luokat eivät vaadi toimenpiteitä ja näin ollen luokittelu ei vaikuta kovin toimivalta arviointimenetelmältä.

4.8 Ruotsalaisten luokitusmenetelmä

Koska pelkkä rikkipitoisuus (S_{kok}) tai raudan ja rikin suhde (Fe/S) eivät anna luotettavaa kuvaa maan happamoitumisesta, ruotsalaiset Pousette et al. (2008) ovat kehittäneet sulfaattimaiden luokitusmenetelmän, jonka pohjana on ruotsalaisen konsulttiryitys Mark Radon Miljö Konsult AB:n kehittämä liukoisuuskoe sekä tulokset 102 erillisestä liukoisuuskokeesta. Liukoisuuskokeen peruseräteenä on selvittää kuinka monta liuotus-kuivauskertaa tarvitaan siihen, että näytteen pH on laskenut alle 4 ja mikä on näytteen minimi-pH:n laskun pysähdyttyä. (Pousette et al. 2008:2)

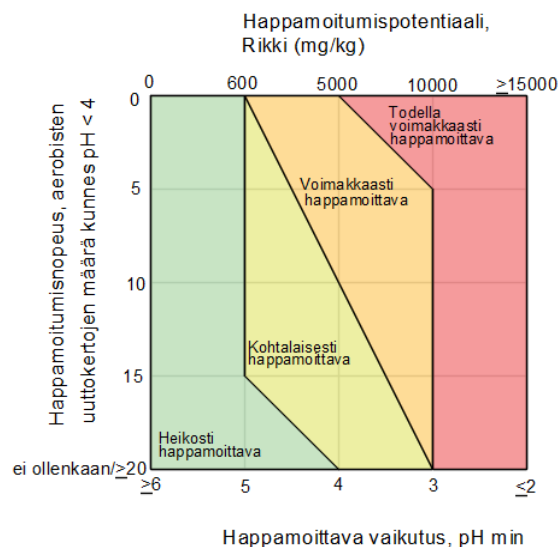
Luokitusmenetelmä perustuu ensisijaisesti minimi-pH:n saavuttavaan liuotus-kuivauskertojen lukumäärään, rikkipitoisuuteen ja raudan ja rikin määrien suhteeseen. Se huomioi lisäksi heikutushäviön, maan läpäisevyyden sekä maan määrän. Nämä tekijät on koottu taulukkoon 5, jonka avulla sulfaattimaat voidaan jakaa neljään ryhmään heikosti happamoittavista todella voimakkaasti happamoittaviin. (Pousette et al. 2008:6)

Menetelmän luotettavuutta lisää se, että hehikutushäviö otetaan huomioon. Sen avulla arvioidaan maan sisältämän orgaanisen aineksen aikaansaamaa puskurointikykyä. Myös maan läpäisevyys huomioidaan, jonka avulla voidaan ottaa kantaa maan happamoitumisnopeuteen. Myös sulfidipitoisen maan määrä on hyvä huomioida, sillä se vaikuttaa käsittelymenetelmän valintaan. (Pousette et al. 2008:6)

Taulukko 5. Ruotsalaisten luokitusmenetelmän parametrit (Pousette et al. 2008:6).

S [mg/kg kuiva-ainetta]	Happamoitumispotentiaali	Hehkutus-häviö [%]	Puskurivaikutus
> 10 000	erittäin korkea	0–3	ei puskurivaikutusta
5 000–10 000	korkea	3–5	ei puskurivaikutusta
600–5 000	kohtalainen	5–8	mahdollinen puskurivaikutus
< 600	pieni	> 8	todennäköinen puskurivaikutus
Fe/S	Happamoittamisvaikutus	Maan läpäisevyys [m/s]	Happamoitumisnopeus
< 3	erittäin korkea	> 10 ⁻⁷	nopea
3–60	vaikea arvioida	10 ⁻⁸ –10 ⁻⁷	
> 60	pieni	10 ⁻⁹ –10 ⁻⁸	
		< 10 ⁻⁹	hidas
pH min	Happamoittamisvaikutus	Maan määrä [m ³]	
< 3	erittäin korkea	> 5000	erittäin suuri määrä
3–4	korkea	500–5000	suuri määrä
4–5	kohtalainen	50–500	kohtuullinen määrä
> 5	pieni	< 50	pieni määrä
Liutus-kuivatuskertojen määrä kunnes pH < 4	Happamoitumisnopeus		
< 5	nopea		
5–10			
10–15			
> 15	hidas		

Yksinkertaistettu kuvaajamuotoinen arviointi (kuva 4) arvioi happamoitumispotentiaalın rikin määrän perusteella, happamoitumisvaikutuksen liukoisuuskokeen minimi-pH:n perusteella ja happamoitumisnopeuden liutus-kuivatuskertojen perusteella. (Pousette et al. 2008:7)



Kuva 4. Maan happamoittavuus liukoisuuskokeen perusteella (mukaillen Pousette 2007:20).

Kangas (2010) on todennut diplomityössään tekemissään tutkimuksissa kyseisen liukoisuuskokeen luotettavaksi ja helpoksi suorittaa. Kokeen suorittaminen kestää noin kuukauden ja on hitaampaa kuin esimerkiksi seuraavana esitetyt titrausmenetelmät. Toisaalta inkubaatio-pH:n mittaamiseen voi mennä jopa 4 kuukautta eikä siitä saatu tulos ole läheskään yhtä kuvaava. Ongelmaksi voi muodostua, että erilaisia parametreja on todella monta, jolloin voi syntyä ristiriitoja tulosten välille.

Åbo Akademiassa kehitetään tällä hetkellä tästä menetelmästä kevennettyä versiota, joka tulevaisuudessa on toivottavasti käyttökelpoinen ja hyvä menetelmä. (Boman 2015).

4.9 Nettoreutraloimispotentiaali ja neutraloimispotentiaalisuhde

Nettoneutraloimispotentiaali NNP ja neutraloimispotentiaalisuhde NPR tulevat hapon ja emäksen tasapainon laskentamenetelmästä (ABA), joka on laadittu pääasiassa kaimosten happaman valunnan selvittämiseen. (Kangas 2010:28)

ABA-menetelmässä AP eli maksimi hapontuottopotentiaali lasketaan kokonais- tai sulfidirikistä. Sulfidirikki määritetään kokonais-rikkimäärän ja sulfaattirikin erotuksena. AP:n laskukaava vaihtelee lähteestä riippuen, mutta esimerkiksi Mills (2008) laskee sen kaavalla. (Kangas 2010)

$$AP = 31,25S^{2-}, \quad (1)$$

missä AP on hapontuottopotentiaali [kg CaCO₃/t]
 S²⁻ näytteen sulfidirikkipitoisuus
 31,25 sisältää yksikkömuunnoksia.

Neutraloimispotentiaali NP lasketaan näytteen karbonaattihiilen pitoisuudesta (C-CO_3) siten, että sen määrä muunnetaan vastaamaan kalsiumkarbonaatin (CaCO_3) määrää.

NNP ja NPR lasketaan AP:n ja NP:n avulla

$$\text{NNP} = \text{NP} - \text{AP} \quad (2)$$

$$\text{NPR} = \frac{\text{NP}}{\text{AP}} \quad (3)$$

Stenvallin (2007) mukaan materiaali on happoa tuottavaa, mikäli hapontuottopotentiaali on neutralointipotentiaalia suurempi, kun taas Fey (2003) pitää materiaalia happoa tuottavana vasta, kun ero AP:n ja NP:n välillä on yli 20 kg. (Kangas 2010:28)

NPR:n määrittämä hapontuottopotentiaali Räisänen (2009) mukaan on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Maan hapontuotto NPR:n perusteella (Räisänen 2009).

NPR	
> 4	maa ei happoa tuottavaa
1–4	pitkällä aikavälillä maan haponmuodostus todennäköistä
< 1	maa happoa tuottavaa

Envitop Oy:n (2014) tekemissä Hamina–Vaalimaa-hankkeen sulfaattimaiden laboratoriotutkimuksissa AP on laskettu kokonaisrikin pitoisuudesta.

Maanäytteestä tutkitaan sen kyky neutraloida happoa eli neutralointipotentiaali (ANC) sekä kyky neutraloida emästä eli happotuottopotentiaali (BNC). NP lasketaan ANC:n (tietyissä pH:ssa) ja BNC:n (tietyissä pH:ssa) summasta

$$\text{NP} [\text{mol/kg}] = \text{ANC}(\text{pH}) + \text{BNC}(\text{pH}), \quad (4)$$

missä ANC(pH) on maa-aineksen kyky neutraloida happoa tietyissä pH:ssa
BNC(pH) maa-aineksen kyky neutraloida emästä tietyissä pH:ssa

Tällöin NNP:n avulla maan hapontuottopotentiaalia arvioitaessa negatiivinen erotus NP:n ja AP:n välillä osoittaa, että maa on todennäköisesti happoa tuottavaa. NPR:ään perustuva arviointi voidaan kuitenkin tällöinkin tehdä taulukon 6 mukaan.

Kankaan (2010) mukaan NPR:n tulosten luotettavuus riippuu hyvin paljon esimerkiksi tavasta, jolla NP on määritetty. Usein luotettavan tuloksen saamiseksi täytyy määrittäytapaa testata useilla rinnakkaismäärittäyksillä.

4.10 Nettohapontuotto

Myös NAG eli nettohapontuotto ja siihen liittyvä minimi pH eli NAG-pH on kaivosteollisuuden tarpeisiin kehitetty menetelmä, mutta se soveltuu hyvin myös maaperän hapontuoton arviointiin esimerkiksi väylähankkeissa. NAG ja NAG-pH mitataan siten, että näyte ensin hapetetaan vetyperoksidilla, niin kauan, ettei pH enää laske (tämä on NAG-pH) ja tämän jälkeen näyte titrataan emäksellä, kuten natriumhydroksidilla (NaOH) pisteeseen, jossa pH on 4,5 tai 7. NaOH:n kulutuksesta lasketaan nettohapontuotto Millsin (2008) kaavalla.

$$\text{NAG} = \frac{49VM}{W}, \quad (5)$$

missä	NAG on	hapon nettomuodostuminen [kg H ₂ SO ₄ /t]
	V	NaOH-kulutus titrauksessa [ml]
	M	NaOH:n molaarisuus [mol/l]
	W	näytteen paino [g]

Maanäytteen hapontuotto NAG:n ja NAG-pH:n perusteella on esitetty taulukossa 7. (Kangas 2010:29)

Taulukko 7. Maan hapontuotto NAG:n perusteella (Liao et al. 2007).

NAG pH	NAG [kgH ₂ SO ₄ /t]	
≥ 5	0–2	maa tuottaa vähän tai ei ollenkaan happoa
2,5–5	2–50	maa tuottaa kohtalaisesti happoa
≤ 2,5	> 50	maa tuottaa voimakkaasti happoa

NAG on todella yksinkertainen menetelmä jopa kenttätutkimuksiin. Se on halpa ja nopea, mutta se ei sovellu yksistään luotettavaksi menetelmäksi arvioimaan hapontuottopotentiaalia. Vetyperoksidilla hapettaminen nimittäin saattaa liottaa kivistä sulfideja, jolloin tulos vääristyy. Menetelmän on myös sanottu aliarvioivan vähän sulfidia sisältävien materiaalien haponneutralisointikykyä. On myös huomioitava, että mikäli maanäytteen sisältämä orgaaninen aines ei hapetu vetyperoksidia lisätessä täydellisesti, testin tulokset eivät kuvaa sulfidien hapettumista. (Kangas 2010:44)

4.11 Mácsikin luokittelumenetelmä

Muista tässä työssä esitellyistä luokittelumenetelmistä poiketen Mácsik huomioi luokittelussaan maan redox-potentiaalin eli pelkistymispotentialin. Redox-potentiaali mittaa kemiallisen aineen taipumusta ottaa vastaan ioneja ja näin ollen pelkistyy. Happamoitumispotentialin lisäksi Mácsikin luokittelussa on tehty päätelmiä maa-aineksen happamoitusmisnopeudesta. Luokitteluperusteet on esitetty taulukossa 8. Sekä anaerobeja että aerobeja näytteitä liuotetaan aerobisti ja anaerobisti. Eh ja pH mitataan 4, 24 ja 96 tunnin päästä liuotusvedestä ja rikki- ja rautapitoisuudet liuotuksen lopuksi näytteestä. (Mácsik 2000:10)

Taulukossa sulfaattimaa on jaettu viiteen eri maatyypin perustuen hapettumistaipumukseen. Taulukko on tehty vain tutkittujen maanäytteiden perusteella. Jotta menetelmää ja luokitusta voitaisiin vahvistaa ja tarkentaa, pitäisi tutkia sulfaattimaita vielä useammilta alueilta. Menetelmä voitaisiin mahdollisesti kehittää kenttäkokeeksi, mutta kokeen suorittaminen kestää noin viikon. (Mácsik 2000:21)

Taulukko 8. Mácsikin luokitteluperiaatteet tutkituille maanäytteille (Mácsik 2000:21).

Maa- tyyp- pi	w [%]	kuiva- tiheys ρ [t/m ³]	S [mg/kg kuiva- ainetta]	Fe/S	Eh [mV]	pH	Happamoi- tumispoten- tiaal/-nopeus
1	65–>120	< 1,5	> 9000 6000	< 3,5 -	< 0	> 6	korkea/hidas
2	40–90	1,5–1,6	9000 3800	3,5–4 -	0–500	3–6	korkea/hidas kor-
3	40–55	1,5–1,6	6000	4–4,5	100–400 100–	3–6	kea/keskiverto
4	< 50	1,5–1,6	< 3800	4,5–16	>500	4–6	keskiverto/nopea
5	< 50	> 1,6	< 900	16–46	0–200	> 6	pieni/-

4.12 Rikkispesifointimenetelmä

Boman (2008) on kehittänyt rikkispesifointimenetelmän, jonka avulla voidaan määrittellä erilaiset rikkipitoisuudet maaperässä. Menetelmässä määritellään ferrosulfidi (FeS), pyriitti (FeS₂), alkuaine rikki (S⁰), sulfaatti-rikki (SO₄²⁻) sekä orgaaninen rikki (OrgS). Näiden spesifointien perusteella maan haitallisuudesta pystytään tekemään jonkinlaisia päätelmiä.

Boman itse pitää menetelmää hyvänä, mutta esimerkiksi happamoitumisriskin arviointiin hän suosittelee asiditeetti-mittauksia. Menetelmä vaatii tietynlaista asiantuntemusta ja laboratorion eikä sitä tällä hetkellä tehdä muualla kuin Åbo Akademiassa. Menetelmää parannellaan parhaillaan ja sen käyttömahdollisuuksia tulevaisuudessa kannattaa tutkia. (Boman 2015)

4.13 Asiditeetti-menetelmä

Åbo Akademiassa on kehitteillä uusi menetelmä, joka perustuu näytteen asiditeetin (= happoisuus (H⁺ mmol/l) eli kyky neutraloida emäs tiettyyn pH-arvoon) mittaamiseen inkubaation jälkeen. Menetelmää voidaan pitää lupaavana, sillä sen uskotaan antavan paremman ja luotettavamman arvion näytteen todellisesta asiditeetista. (Boman 2015)

Menetelmä on kuitenkin vasta kehitteillä eikä sitä ole vielä julkaistu, joten sen käytännön työhön saaminen vie vielä aikaa. Menetelmä ei myöskään poista inkubaation, joka hitautensa vuoksi on ongelmallinen menetelmä, tarvetta eikä näin ollen nopeuta perinteisiä inkubaatioon perustuvia laboratoriotutkimuksia.

4.14 Menetelmien yhteenveto

Olemassa olevia tunnistamismenetelmiä on hieman hankalaa vertailla, sillä ne ovat melko erilaisia, ja kaikkien osalta ei ole saatavilla tietoa käytännön soveltuvuudesta.

Luotettavin ja kattavin menetelmä on kuitenkin selkeästi ruotsalaisten liukoisuuskokeeseen perustuva menetelmä. Sen suorittaminen vie noin yhden kuukauden, mutta hyvällä aikataulutuksella tämä ei ole ongelma ja perinteiseen inkubaatioon verrattuna menetelmä on jopa 2–4 kertaa nopeampi ja tulos huomattavasti kattavampi. Aiheellista voi kuitenkin olla käyttää pikatestejä ja aistinvaraista tunnistamista sen hahmottamiseen, miltä alueilta on syytä tehdä tarkempia tutkimuksia.

Taulukkoihin 9 ja 10 on koottu tässä kappaleessa esiteltyjen tunnistamis- ja luokittelumenetelmien perusteet ja arvioitu niiden luotettavuutta ja käyttöä väylähankkeissa. Taulukoista on jätetty pois menetelmät, jotka eivät suoritustapansa, kriteeristönsä tai vielä kehitysvaiheessa olemisen vuoksi sovellu lainkaan tai toistaiseksi käytäntöön tässä tarkoituksessa.

Taulukko 9. Menetelmät sulfaattimaiden esiintymisen tunnistamiseen.

	GTK:n kartoitus	Aistinvarainen tunnistaminen	Pikatestit	Inkubaatio
Luokitusperuste	maaperä-, kallioperä-, lentogeo-fysiikka- ja korkeus-aineistot, maanäytteid ⁿ pH	Väri, haju sekä maan koostumus	pH:n muutos, haju	maanäytteen pH:n muutos, usein lisäksi maanäytteen kokonaisrikkipitoisuus
Nopeus	Nopea	Nopea, maastossa havainnoitava	Nopea, maastossa tehtävissä	Hidas, jopa 9–19 viikkoa
Luotettavuus/tarkkuus	Ei tarpeeksi tarkka tai luotettava ainoaksi tunnistusmenetelmäksi	Ei luotettava ainoaksi tunnistusmenetelmäksi	Ei kovin luotettava ainoaksi tunnistusmenetelmäksi, testien avulla voidaan määrittää, miltä alueilta on tarpeen tehdä tarkempia tutkimuksia	Luotettava menetelmä hienojakoisen maan luokitteluun, ei kuitenkaan anna vastausta maan hapontuotopotentiaaliin.
Käyttö	Lähtötilanteen tarkastaminen	Lähtötilanteen tarkistaminen, työnaikainen havainnointi ja tarkastus	Lähtötilanteen kartoittaminen. Voisi myös soveltaa maastossa tehtävään tarkistusmuotoiseen havainnointiin	Hitautensa vuoksi ongelmallinen väylähankkeilla, soveltuu alkuvaiheen on/ei ole sulfaattimaata tyyppiin tarkasteluun

Taulukko 10. Sulfaattimaan happamoitumispotentialin arviointiin soveltuvat luokitusmenetelmät.

	ruotsalaisten luokitusmenetelmä	NNP ja NPR	NAG	Mácksikin luokittelu
Luokituspe- ruste	Rikkipitoisuus, raudan ja rikin suhde, liukoisuuskokeen minimi pH, liuotuskuivatuskertojen määrä, hehkutushäviö, maan läpäisevyys sekä maan määrä	Maa materiaalin hapontuotto- potentialin ja neutraloimis- potentialin avulla lasketut nettoneutraloi- mispotentiaali ja neutraloimis- potentialisuhde	Minimi pH, nettohapon- tuotto	maatyyppi, vesi- pitoisuus, kuiva- tiheys, rikkipitoi- suus, raudan ja rikin suhde, redox- potentialiaali, pH
Nopeus	n. 1 kk	Melko nopea	Nopea, jopa maastossa teh- tävissä	n. 1 viikko
Luotet- tavuus/ tarkkuus	Läpikäydyistä menetelmistä luotettavin. Ottaa kantaa maan hapontuotopotentialiin, happamoittamisvaikutukseen sekä happamoitumisnopeuteen	Tulosten luotetta- vuus riippuu suu- resti käytetystä laskenta ja neut- raloimispoten- tiaalin määrittä- mistä, vaatii useita rinnak- kaismäärittämi- sistä luotettavan tulok- sen varmistami- seksi	Vetyperoksidin käyttö saattaa vääristää tulosta, aliarvioi maan neutralisointi- kykyä	luokituskriteeris- tö rakennettu melko suppean näyttemäärän perusteella, joten ollakseen luotet- tava/yleistet- tävissä tarvisi lisätutkimuksia
Käyttö	todettujen sulfaattimaiden tarkempi analyysi	Ei ainoaksi menetelmäksi	mahdollinen tar- kistusmenetel- mä, ei ainoaksi menetelmäksi	

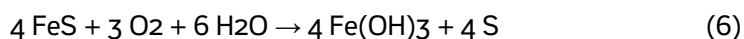
4.15 Hapettumisnopeus

Sulfaattimaiden hapettumisnopeudella on suuri merkitys maiden käsittelyn kannalta. Esimerkiksi Ruotsissa on käytäntönä että urakoitsijoilla on 24 tuntia aikaa käsitellä happamat sulfaattimaat sen jälkeen kun ne on kaivettu ylös. Pettersson (2016) on tutkinut sulfaattimaan hapettumisnopeutta todistaakseen, että maan käsittelyyn on aikaa enemmän kuin viranomaisten säätämä 24 tuntia. Hän on todennut, että hapettumisnopeuteen vaikuttaa merkittävästi maan alku-pH. Mitä matalampi pH hapettumisen alussa on, sitä nopeammin se tapahtuu. Mikäli maa on kyllästynyt vedellä ja pH on yli 7, on aikaa käsittelyyn yli 24 tuntia ilman, että minkäänlaista vaaraa aiheutuu.

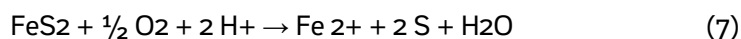
Turhaan maiden käsittelyn kanssa ei kuitenkaan kannata aikailla, sillä Petterson toteaa sulfaattimaan hapettumisprosessin olevan palautuva. Tässä tapauksessa se tarkoittaa sitä, että mikäli sulfaattimaan käsittely ei ole kestänyt liian pitkään ja maa sisältää orgaanista ainesta, tulee sen pH nousemaan, kun se jälleen kyllästyy vedellä. Maita, joilla on matala alku-pH, tulee aina käsitellä varoen.

Sulfaattimaa hapettuu kaksivaiheisesti. Ensimmäinen vaihe on nopea ja siinä maan sulfidit muuntuvat rikiksi. Toinen vaihe on paljon hitaampi ja hapettuminen jatkuu rikin hapettumisella sulfaateiksi. Tutkimuksissa on osoitettu, että 330 päivän aikana 73% rikistä hapettui sulfaatiksi 3 mm paksuisessa sulfidikerroksessa. Kuten aiemmin on todettu sulfaattimaan happamoituminen voi olla palautuva reaktio. Ferrosulfidin (FeS) hapettuminen on nopeampaa kuin pyriitin (FeS₂). Ferrosulfidi palautuu jälleen hapettomissa olosuhteissa, mutta pyriitti ei palaudu. Pyriitin hapettuminen johtaa jopa 4 kertaa suurempaan happamoitumisefektiin kuin ferrosulfidin. (Mácsik et al. 2016:69)

Ferrosulfidin nopea ensimmäisen asteen hapettumisreaktio rautahydroksidiksi ja rikiksi



Pyriitin hidask ensimmäisen asteen hapettumisreaktio rikiksi



Pyriitin reaktionopeus kuitenkin kasvaa pH:n laskiessa, sillä reaktiota katalysoiva *Thiobacillus ferrooxidans* muuttuu aktiiviseksi pH:n laskiessa.

Rikki hapettuu sulfaatiksi hitaasti tai autotrofisten bakteerien katalysoimana nopeammin



(Kangas 2010:17)

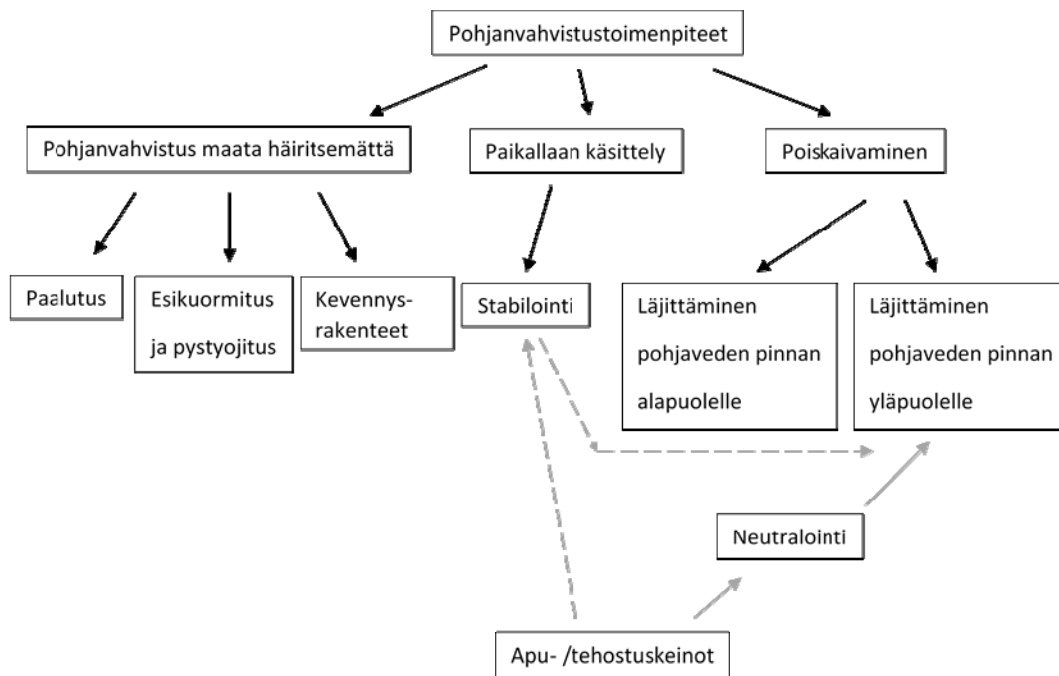
Petterson tekee tällä hetkellä tutkimusta Luulajan Teknillisessä yliopistossa, jotta saataisiin kehitettyä menetelmä, jolla voitaisiin reaaliaikaisesti seurata ja ennustaa välivarastoitujen sulfaattimaiden pH:ta ja näin ollen happamoitumista. (Mácsik et al. 2016:70)

5 Sulfaattimaiden ympäristöriskien hallinta

5.1 Perusperiaatteet

Paras keino sulfaattimaan aiheuttamien ympäristövaikutusten välttämiseen on estää sen altistuminen ilmakehän hapelle. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että maata ei kaiveta eikä pohjaveden pintaa alenneta. Pousette et al. (2008) esittävät, että mikäli maan kaivamisen tai pohjaveden alentamisen välttäminen on mahdotonta, on paras vaihtoehto sijoittaa kaivetut maat veteen tai pohjaveden pinnan alapuolelle. Mikäli tämä ei ole mahdollista, altistuminen ilmakehän hapelle tulee minimoida ja maa tulisi pitää vedellä kyllästettynä. Tämä onnistuu parhaiten peittämällä sulfaattimaa asianmukaisesti maalla, jolla on pieni ilmanläpäisevyys. Vaihtoehtona maan kaivamiselle Pousette (2007) esittää maan stabiloinnin, paalutuksen tai esikuormituksen yhdistettynä pystyjoitukseen. Käsittelyvaihtoehdot on esitetty kuvassa 5.

Myös Australian ympäristönsuojeluviranomainen (EPA) suosittelee ensisijaisesti välttämään happamien sulfaattimaiden häiritsemistä, mikä tarkoittaa sitä, ettei happamien sulfaattimaiden alueille rakenneta tai tehdä mitään, mikä vaatii esimerkiksi maan kaivamista. Tämä ei tietenkään aina ole mahdollista, jolloin tulee ehkäistä ja minimoida kaikki happamien sulfaattimaiden aiheuttamat ympäristövaikutukset käyttäen mahdollisimman taloudellisia ja ympäristön kannalta kestäviä menetelmiä. (EPA 2007:7)



Kuva 5. Pohjanvahvistusvaihtoehdot happamille sulfaattimaille (mukaillen Pousette 2007:22).

5.2 Paalutus

Paalutuksessa huonosti kantavan pohjamaan läpi asennetaan lyömällä teräsbetoni- tai teräspaaluja, jotka tukeutuvat joko kallioon tai kantavaan kitkamaakerrokseen ja kantavat osan tai koko kuormituksen ja näin ollen estävät painumisen. Tie- ja rautatiepenkereet perustetaan huonosti kantavalla pohjamaalla usein paalulaattojen vaaraan. Sulfidimaata paalutettaessa on materiaalivalinnoissa huomioitava mahdollisen sulfaatin terästä ja betonia syövyttävä vaikutus. (Pousette 2007:22) Paalutus on kuitenkin kalliimpaa verrattuna esimerkiksi massanvaihtoon, joten sen käyttö ja laajoilla sulfidisavialueilla voi muodostua epätaloudelliseksi.

5.3 Esikuormitus ja pystyjoitus

Esikuormituksessa maata kuormitetaan maan pinnalle pengerrettävillä maamassoilla, jotta kaikki tai suurin osa painumisesta tapahtuisi ennen rakentamista ja jotta esikuormituksen jälkeinen painuma ei ylittäisi rakenteelle asetettuja painumakriteerejä. Esikuormitus voi sopia ohuille sulfaattimaamassoille, mutta paksuilla maamassoilla esikuormituksella saavutettava painuminen on todella hidasta. Savisen maan painuminen on hidasta, koska tilavuuden pieneneminen johtuu huokosveden poistumisesta, mikä tiiviistä savimaasta on hidasta. Painumista voidaan nopeuttaa pystyjoituksella. Siinä maahan upotetaan pystyyn muovisia salaojanauhoja, jotka toimivat lyhempiinä poistumiskanavina huokosvedelle ja näin ollen nopeuttavat veden poistumista. Huokosvesi poistuu pääosin hapettumattomasta sulfidimaasta, siinä on matalat rikki- ja rautapitoisuudet eikä se ole hapanta. Se osa huokosvedestä, joka tulee hapettumattoman ja hapettuneen maakerroksen välimaasta sisältää enemmän rikkiä ja voi olla hapanta. (Pousette 2007:22-23)

Tätä menetelmää voidaan kuitenkin pitää melko epävarmana ja vanhaan huomattavasti hitaampaan rakennustapaan sopivana. Teoriassa käyttö voi onnistua maksimissaan 10–15 metrin pehmeiköillä, missä savikerroksen paksuus ei vaihtele paljon, rakentamiseen voidaan varata aikaa ja kyseessä on alempiluokkainen tie, joiden painumakriteerit eivät ole tiukkoja. Onnistuessaan menetelmä on edullinen ja sitä käyttäessä sulfaattimaita ei tarvitse häiritä lainkaan. Esikuormituspenkereitä on käytetty Vaasassa Sepänkylän ohikulkutien (Vt 8) hankealueella olleiden sulfidimaiden käsittelyssä stabiloinnin lisäksi (kpl 6.1).

5.4 Kevennysrakenteet

Kevennysrakenteiden käyttö perustuu siihen, että rakennettavaa tie- tai ratapengertä kevennetään käyttämällä penkereessä kevennysmateriaaleja, kuten kevytsoraa, kevytsorabetonia, EPS-solumuovia, rengaskeventeitä, kuten rengasrouhetta, vaahtolasia, kivihiilituhkia tai terästeollisuuden kuonia. Pengertä keventämällä maarakenteista aiheutuvat kuormat jäävät pienemmiksi ja vakavuus paranee. Kevennysrakenteiden käyttö yksistään voi riittää esimerkiksi kovilla savikoilla tai se voidaan yhdistää muihin pohjarakennustoimenpiteisiin, kuten stabilointiin. (Liikennevirasto 2011b:8)

Menetelmä on nopea, joustava ja soveltuu erityyppisiin kohteisiin (Liikennevirasto 2011b:10). Sulfaattimaiden kannalta kevennysrakenteiden käytöllä voidaan välttää maan häiritseminen. Sulfaattimaat ovat kuitenkin usein pehmeitä ja voimakkaasti kokoonpuristuvia, mikä rajoittaa mahdollisuuksia päästä korkealuokkaisilla teillä riittävän pieniin painumiin.

5.5 Stabilointi

Stabiloinnissa maahan sekoitetaan sideainetta, mikä parantaa maan lujuutta ja ehkäisee painumista. Sulfidimaita stabiloitaessa on tavoitteena ensisijaisesti mahdollisuus maan paikalleen jättämiseen tai mikäli stabiloinnilla ei saavuteta haluttua lujuutta, vähentää maan hapettumista ja näin ollen tehdä sen läjittämistä helpompaa. (Autiola et al. 2012:16) Stabilointi voidaan tehdä pilaristabilointina, massastabilointina tai näiden yhdistelmänä. Pilaristabiloinnissa stabilointikoneen sekoitinkärki painetaan pyörittämällä maahan, jonka jälkeen sekoitinkärkeä nostetaan ja perinteisesti kalkki- ja sementtipohjaista sideainetta syötetään maahan samalla sekoittaen. Sideaine reagoi maan kosteuden sekä saven kanssa ja näin muodostuu lujittuvia sylinterimäisiä pilareita. Massastabilointi soveltuu maalajeille, joiden stabiloituvuus on huono sekä läjitettäväksi menevien maiden stabilointiin hyötykäyttökelpoiseksi. Sideainetta syötetään maahan sekoitinlaitteistolla lamelleittain pysty- ja vaakasuunnassa, jolloin maahan syntyy tasaisesti lujittunut homogeeninen vyöhyke. Pilaristabiloinnin ja massastabiloinnin yhdistelmässä massastabilointi sijaitsee pilaristabiloinnin yläpuolella. (Finnsementti 2015)

Ruotsissa Andersson & Norrman (2004) ovat tutkineet sulfaattimaiden stabilointia. He ovat todenneet, että sulfaattimaiden stabilointi perinteisillä sideaineilla, kuten kalkilla ja sementillä, ei ole välttämättä riittävän tehokasta. Sekoittamalla sopivassa suhteessa perinteisiä ja muita (esimerkiksi masuunikuona, kipsi ja lentotuhka) sideaineita voidaan kuitenkin saavuttaa parempia stabilointituloksia.

Autiola et al. (2012) ovat todenneet, että stabiloitavan maan pH:lla on todella suuri merkitys stabiloinnilla saavutettavaan lujuuteen. Mitä matalampi maan pH, sitä huonompi lujuus stabiloinnilla saavutetaan. Näin ollen onkin olennaista, että sulfidimaan stabilointi tehdään ennen sen hapettumista. Tällä aikaansaadaan myös se, ettei maan pH enää nouse ja näin ollen ei aiheuta happamoitumisriskiä ympäristölle. Lindroos et al. (2012) ovat todenneet tutkimuksissaan vuonna 2011, että sulfidisavien massa- ja pilaristabilointi on mahdollista silloin, kun maa on vedellä kyllästytneenä hapettomissa olosuhteissa. Stabiloimiseen tarvittava sideaineen määrä kasvaa huomattavasti sen jälkeen, kun maa hapettuu. Ennen hapettumista sulfidisavet lujittuvat sementtiä, kalkkia, kipsiä ja lentotuhkaa sisältävillä sideaineseoksilla. Näistä lentotuhkat soveltuvat käytettäväksi vain happamoitumisriskin pienentämiseen, kun erityistä lujuusvaatimusta ei ole asetettu. Stabiloinnin sideaineena käytettävän sementin valinnassa on muistettava huomioida, että sementtilaatu on sulfaatinkestävää. (Forsman et al. 2014:28)

Mikäli stabiloituja sulfidisavia ei ole mahdollista jättää paikalleen, niitä voidaan käyttää esimerkiksi meluvalleissa tai maisemointitöissä, sillä stabiloidulla sulfidisavella ei ole enää merkittävää happamoittamispotentiaalia. (Forsman et al. 2014:28)

Stabilointia on käytetty menestyksekkäästi Vaasan seudulla valtatie kahdeksan ohi-tustien rakentamishankkeessa löytyneiden sulfaattimaiden käsittelyyn. Kyseisestä projektista on kerrottu enemmän kappaleessa 6.1.

5.6 Massanvaihto

Rakentamisessa massanvaihto on savimaille usein tehtävä pohjarakennustoimenpide, jolla pohjamaana huonosti kantava savi korvataan paremmalla maalla. Savella on huono kantavuus ja kaivuluiskilla on taipumus sortua tai syöpyä. Kun kyseessä on sulfidipitoinen savi, poiskaivettujen massojen läjittäminen aiheuttaa omat hankaluutensa. Sulfaattimaa-alueella massanvaihto tulisi tehdä siten, että sen vaikutus pohjaveden tasoon on mahdollisimman pieni (Pousette 2010:72). Poikkeustapauksessa pohjaveden pinta voi laskea, mikäli täyttöön ei ole tehty katkoja esimerkiksi moreenista. Riski on tunnistettava ja otettava huomioon massanvaihdon suunnittelussa ja tarvittaessa pohjaveden pintaa on seurattava mittauksin.

Tärkeintä läjittämisessä on estää hapettuminen ja hapan metallipitoinen valunta ympäröiviin vesistöihin. Hapettumisen ehkäiseminen on yksinkertaisimmillaan sitä, että estetään sulfidisaven pääsy kosketuksiin ilmakehän hapen kanssa sekä maan kuivuminen. Poiskaivetut sulfaattimaamassat voidaan läjittää pohjaveden pinnan ylä- tai alapuolelle tai näiden yhdistelmänä. (Pousette 2010:72)

Läjittämisessä on huomioitava myös, että sulfaattimaamassojen kantavuus on huono ja niiden päällä on mahdotonta ajaa (Pousette 2010:72). Toisaalta sulfaattimaan löyisyys helpottaa maan läjittämistä, sillä massa leviää itsekseen läjitysalueelle jo hyvin loivalla pinnan kaltevuudella eikä erillistä levitystä välttämättä tarvita. Ajan kuluessa savi lujittuu ja tällöin esimerkiksi läjitysalueen verhoilu on mahdollista. (Malmivaara 2015) Lisäksi läjitysalueen luiskien kaltevuuksien tulee olla sellaisia, etteivät luiskat pääse sortumaan tai syöpyämään (Pousette 2010:72).

Läjitettävien sulfaattimaiden käsittely helpottuu esimerkiksi talviaikaan, kun maamassat jäätyvät. Paljon vettä sisältävän sulfaattimaan jäätyminen tosin vie paljon aikaa, mutta vastaavasti jäätyneen sulfaattimaan sulaminen kestää myös kauan. Luiskien varmuutta parantamaan voidaan rakentaa myös penkereet läjitysalueen ympärille. (Pousette 2010:73)

Pohjaveden pinnan alapuolelle läjitettäessä sulfaattimaa kaivetaan hapettomiin vedellä kyllästyneisiin olosuhteisiin. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että läjitys tehdään alimman pohjavesipinnan alapuolelle. Tällä tavoin menetellessä hapettuminen ja siitä seuraava happamoituminen sekä metallien ja rikin valunta saadaan minimoitua. Näin ollen pohjaveden pinnan alapuolelle läjitettyä sulfaattimaata voidaan pitää inerttinä eikä happamoittavaa vaikutusta ympäristölle ole. (Pousette 2010:73) Tämä vaihtoehto on kuitenkin melko hankalasti toteutettavissa, sillä läjitysalueiden löytäminen on vaikeaa ja tällaisten alueiden olosuhteet voivat olla hankalat läjittämisen kannalta. Periaatteet pätevät kuitenkin muuhunkin vedellä kyllästyneisiin olosuhteisiin läjittämiseksi.

Pohjaveden pinnan yläpuolelle läjitettäessä sulfaattimaat pääsevät kuivumaan ja hapettumaan, mikä johtaa siihen, että hapettumistuotteet kanavoituvat ulos maasta sadaveden mukana. Sulfidimaasta valuvalla vedellä on matala pH ja muun muassa korkeat rikki- ja metallipitoisuudet. Tämä valunta happamoittaa ja lisää lähialueen vesis-

töjen metallipitoisuuksia. Läjitetessä pohjaveden pinnan yläpuolelle on sulfaattimaan oikeanlaisella peittämisellä ja eristämällä merkittävä rooli negatiivisten ympäristövaikutusten ehkäisemisessä. (Pousette 2010:73)

Läjitetessä sulfaattimaita esimerkiksi vetiselle suomaalle ei kaikkea läjitettävää maata saada välttämättä painettua pohjaveden pinnan alle. Tällöin on kyseessä edellä mainittujen kahden läjitystavan yhdistelmä. Myös tällä tavoin läjitettäessä peittoeroksen tulee olla oikeanlainen, jotta hapettuminen voidaan välttää. (Pousette 2010:73)

Taulukossa 11 on vertailtu pohjaveden pinnan ylä- ja alapuolelle läjittämisen hyviä ja huonoja puolia.

Taulukko 11. Hyvät ja huonot puolet sulfidisavien läjittämisessä pohjaveden pinnan ylä- ja alapuolelle (mukaillen Pousette 2007:24).

Läjitys pohjavedenpinnan alapuolelle	Läjitys pohjavedenpinnan yläpuolelle
+ marginaaliset ympäristövaikutukset	+ massoja voidaan käyttää maaston muotoiluun
+ yksinkertainen ja halpa, jos läjitysalue helposti saavutettavissa	+ voi olla helpompi löytää sopiva läjityspaikka
- sopivan läjityspaikan löytäminen voi olla vaikeaa	- voi aiheutua happamoitumista
- kaivettuja massoja voi olla vaikea käsitellä niiden pienen kantavuuden vuoksi	- voi pitkällä aikavälillä vaikuttaa ympäristöön
	- kaivettuja massoja voi olla vaikea käsitellä niiden heikon kantavuuden vuoksi, myös luiskan vakavuus on huono

Erityisesti pohjaveden pinnan yläpuolelle läjitettäessä sulfaattimaan päälle tulevan peittoeroksen ominaisuuksilla on suuri merkitys läjitysalueen onnistumisessa. Peittoeroksella on useita tehtäviä: se estää hapettumisen ja maan kuivumisen, se estää veden pääsyn maahan, se estää luiskien eroosion, se on esteettien ja hyvä kasvualusta kasveille, joiden avulla läjitysalue saadaan maisemoiduksi sekä on ajokelpoinen. (Pousette 2010:74)

Sulfidimaan erikoisuutena on, että hapettunut maa voi palautua pelkistyneeseen muotoon, jos se kyllästetään vedellä ja maassa oleva happi kuluu loppuun eli toisin sanoen maa tulee jälleen anaerobiseksi. Kun sulfidimaa läjitetään, siihen voi jäädä onkaloita ja halkeamia, joiden kautta maa altistuu hapelle ja hapettuu. Monesti sulfaattimaa on kuitenkin löysää ja valmiiksi vetistä, jolloin maa luonnollisestikin tiivistyy läjitettäessä hyvin. Tilanteessa, jossa maahan jää halkeamia tai onkaloita, ne toimivat myös salaojina sadevedelle, joka tulee pinnalla olevan peittoeroksen läpi, ja näin maa pikkuhiljaa kyllästyy vedellä, minkä seurauksena maa tulee anaerobiseksi. (Pousette 2010:74) Nopeasti hapettava FeS palautuu pelkistyneeseen muotoon, mutta hitaammin hapettava FeS₂ ei palaudu. (Mácsik et al. 2016:70).

Peittokerroksen ei näin ollen tarvitse olla täysin tiivis, vaan se on pikemminkin etu, että jonkin verran vettä menee sen läpi ja päätyy läjitettyyn sulfidimaahan. Hiekka ja muut karkeammat materiaalit päästävät kuitenkin liian paljon läpi ilmaa ja vettä, joten ne eivät sovellu peittokerrosmateriaaleiksi. Peittokerroksen ei tule myöskään olla materiaalia, jolla on taipumus syöpyä suurilla sademäärillä. Näin ollen siltti ei ole sovelias materiaali, sillä se voi helposti muuttua juoksevaksi ja valua pois. (Pousette 2010:74)

Peittokerroksen etuna on myös se, että se kuormittaa läjitettyä sulfidimaata, jolloin maa painuu ja vahvistuu. Onkalot ja halkeamat, joita läjitetyssä maassa väistämättä on, muuttuvat ajan kanssa pienemmiksi ja lopulta häviävät kokonaan ja näin ollen vesi liikkuu maassa paljon hitaammin. (Pousette 2010:74)

Peittokerroksen pinnan tulee olla hyvä kasvupohja kasvillisuudelle. Jotta läjitysalue saadaan hyvin maisemoiduksi, on huolehdittava, että alueelle istutettava kasvillisuus on samanlaista kuin muualla ympäristössä. Istutettavan lajiston ominaisuudet voivat myös vaikuttaa esimerkiksi peittokerroksen paksuuteen. Esimerkiksi metsän istuttamisessa on perusteltua, että peittokerros on paksumpi kuin esimerkiksi pelkkää nurmetusta käytettäessä. Joka tapauksessa on suositeltavaa, etteivät istutettavien lajien juuret läpäisisi peittokerrosta. (Pousette 2010:74)

Yleistäen voidaan ajatella, että paksumpi peittokerros on aina parempi. Paksulla peittokerroksella sulfidimaan kuivuminen vähenee, maa painuu paremmin ja kasvit saavat paremman kasvualustan. Todella vahvasti happamoittaville sulfidimaille ja suurille läjitysmäärille on peittokerroksen minimipaksuus 1 m. (Pousette 2010:74)

Läjitettäviä sulfaattimaamassoja voidaan myös esikäsitellä esimerkiksi stabiloimalla tai neutraloimalla. Esikäsitteilyksi soveltuvia käsitteilymenetelmiä on esitelty omissa kappaleissaan.

Massanvaihtoon olennaisena osana liittyy myös läjitettävien sulfidimaiden kuljetaminen kaivupaikalta läjitysalueelle. Usein todella löysä, jopa vetinen sulfidimaa on taipuvainen valumaan sitä kuljettavan ajoneuvon lavalta tai roiskumaan lavan reunojen yli. Läjitysalueen sijainnin valinnalla pystytään vaikuttamaan kuljetusmatkojen pituuksiin. Lisäksi työmaatiet on pyrittävä rakentamaan mahdollisimman tasaiseksi sekä kuljetuskaluston lavojen on oltava tiiviitä, jottei löysä sulfidimaa pääsisi valumaan lavalta kuljetuksen aikana. (Liikennevirasto 2015b:17)

5.7 Neutralointi

Neutraloida voidaan joko suoraan esimerkiksi läjitettäväksi meneviä maamassoja tai vaihtoehtoisesti läjitysalueelta tulevia vesiä. Pousette (2008) käyttäisi neutralointia kalkilla vain läjityksen apukeinona ja tehostamaan happamoitumisen ehkäisyä. Kalkitus ei itsessään estä sulfaattimaan hapettumista, mutta sitä voidaan käyttää pH-puskurina jo hapettuneille sulfidimaille. Parhaiten se toimii maille, joiden rikkipitoisuus on matala.

Maan neutraloinnissa maahan fyysisesti sekoitetaan emäksistä ainetta niin paljon, että se riittää neutraloimaan kaiken olemassa olevan happamuuden sekä kaiken maan hapettumisen seurauksena syntyvän happamuuden. Neutraloinnin jälkeen maan pH:n tulisi olla n. 5,5–8,5. (Dear et al. 2002:18,22)

Neutraloivan aineen tulee olla hieman emäksinen (pH 7-9) sekä huonosti liukeneva, kuten kalsiumkarbonaatti (CaCO_3), dolomiitti ($(\text{Ca}, \text{Mg})\text{CO}_3$), magnesiitti (MgCO_3) tai poltettu magnesiitti (MgO). Magnesiumyhdisteiden ongelma on kuitenkin se, että ne voivat sulfidien kanssa reagoidessaan muodostaa magnesiumsulfaattia, joka liukenee herkästi veteen ja näin ollen heikentää veden laatua. Kalsiumsulfaatin muodostuminen ei aiheuta tällaista ongelmaa. Se voi kuitenkin raudan ja alumiinin yhdisteiden ohella muodostaa liukenemattoman pinnan neutraloitavan aineen pinnalle, jolloin sen neutralointikapasiteetti laskee huomattavasti. Tätä voidaan ehkäistä valitsemalla neutraloivaksi aineeksi pienirakeinen korkean neutralointipotentiaalin omaava aine. (Dear et al. 2002:20)

Australiassa sulfaattimaiden läjitystä ei saa tehdä ilman maiden neutralointia (Pousette 2010:75). Läjitysalueen pohjalle tehdään 30–50 cm paksu kerros tiivistetystä savesta (ei sulfidipitoisesta) ja tämän päälle levitetään suojakerrokseksi neutraloivaa ainetta kuten kalkkia. Suojakerroksen paksuus riippuu läjitettävän sulfidimaakerroksen paksuudesta sekä maan hapontuottopotentiaalista. Näiden kerrosten avulla estetään happaman valunnan pääsy pohjaveteen. (Dear et al. 2002:23)

Suojakerroksen päälle laitetaan kerrallaan 15 - 30 cm paksu kerros sulfidimaata, jonka annetaan kuivua. Kun sulfidimaakerros on täysin kuiva, sekoitetaan maahan oikea määrä neutraloivaa ainetta. Ennen seuraavan sulfidimaakerroksen levittämistä testataan vielä laboratorioanalyysillä, että levitetty kalkkimäärä on ollut riittävä. (Dear et al. 2002:24) Neutralointiin käytettävän kalkin määrää arvioidaan laskukaavalla:

$$\text{kg}(\text{CaCO}_3)/\text{t}(\text{maa}) = \%S \times 30,59 \times 1,02 \times 1,5, \quad (9)$$

missä	% S on	sulfidimaan kokonaisrikkipitoisuus,
	30,59	muunnetaan rikin määrä rikkihapon määräksi,
	1,02	muunnetaan rikkihapon määrä kalkin määräksi
	1,5	varmuuskerroin. (Dear et al. 2002:21)

Tämä australialainen neutralointimentelmä ei kuitenkaan sellaisenaan sovellu käyttöön ruotsalaisille märille sulfaattimaille eikä Ruotsin ilmastoon, sillä maakerrosten kuivumiseen kuluisi aivan liian kauan aikaa ja läjittämisestä tulisi todella hidasta. Suomen ilmasto ja sulfaattimaat ovat hyvin samankaltaisia ruotsalaisten kanssa, joten saman voidaan olettaa pätevän myös täällä. (Pousette 2010:76)

Suomessa maan neutralointia on tehty kalkituksella lähinnä happamien sulfaattimaiden saattamiseksi viljelykelpoiseksi. Tässä tapauksessa kalkitaan vain lähinnä maan pintakerroksia. On kuitenkin todettu, että maan kalkitseminen vaikuttaa valitettavan vähän alueelta tulevien valumavesien laatuun. Jotta maan kalkituksella voitaisiin vaikuttaa myös vesien laatuun, tulisi kalkki sekoittaa syvälle maahan ja sitä tarvittaisiin todella suuria määriä. (MMM 2011:25)

Laskennallisesti onkin todettu, että 0,5 paino-% rikkiä sisältävän maan neutralointiin tarvitaan kalkkia 16 kg neutraloitavaa maakuutiota kohden. Käytännön tutkimuksissa on kuitenkin huomattu, että todellinen kalkin tarve on noin kaksinkertainen teoreettisesti laskettuun määrään verrattuna. Tätä selittää se, että kaikki käytettävä kalkki ei pysty olemaa osallisena puskurointireaktioissa esimerkiksi siksi, että kalkin pinnalle voi muodostua hapettumistuotteista pinta, joka estää sen aktiivisuuden. (Pousette 2010:75)

Tarvittavan kalkin suuri määrä yhdistettynä siihen, että kalkin tehokas sekoittaminen märkään, paakkuiseen ja tiiviiseen savimaahan on melko vaikeaa, tekee maaperän neutraloinnista kalliin ja tehottoman keinon sulfaattimaiden ympäristövaikutusten hallintaan. (MMM 2011:13)

Myös suora vesistöjen neutralointi kalkitseamalla on todettu kalliiksi ja vaikeaksi toteuttaa ja sitä suositellaankin vain merkittävän happamuushaitan nopeaan korjaamiseen erityisen herkillä alueilla sekä poikkeustilanteissa hätäkeinona jo sattuneen vahingon haittojen minimoimiseksi. (MMM 2011:25).

Läjityksen yhteydessä kalkkia voidaan kuitenkin käyttää neutraloimaan läjitettävän maan ja ennen kaikkea läjitysalueen vesien happamuutta. Suurilla läjitysalueilla on järkevämpää ohjata alueelta tulevat pintavedet luonnon vesistä erillisiin ojiin ja neutraloida vedet ennen niiden päätymistä vesistöihin. Tähän tarkoitukseen voidaan rakentaa altaita, joiden välissä on esimerkiksi kalkkimurskepatoja neutraloimassa läpi virtaavaa vettä. Tämän menetelmän yhteyteen tulee toteuttaa pH:n mittaus, jotta kalkkimurskeen toimivuus voidaan varmistaa. (Liikennevirasto 2015b) Kalkitus aiheuttaa myös metallien sakkautumista, jotka voivat tarttua ja tukkia kalkkimurskepaton, jolloin neutralointiteho laskee ja vesi jää liian happamaksi. Tämä voidaan havaita pH-mittauksilla ja kalkkimurske voidaan vaihtaa uuteen. (Pousette 2010:75)

Tällaisen menetelmän käyttöä testataan E18 Hamina-Vaalimaa hankkeella ja se on kuvattu tarkemmin myöhemmin tässä työssä.

Kalkkikivipatojen ja altaiden rakentaminen on kuitenkin kallista ja mikäli läjitysalue on rakennettu hyvin ja vaatimusten mukaisesti, niiden käyttöä ei tarvitse jatkaa loputtomiin, jolloin ne jäävät pois käytöstä. Kustannustehokkaampaa olisikin panostaa läjitysalueen laadukkaaseen rakentamiseen ja neutraloida läjityksen aikana alueelle kerääntyvät vedet jo läjitysalueella ennen niiden päästämistä luontoon. Kun läjitysalue on eristetty ympäristöstään ja peitetty asianmukaisesti läpäisemättömällä materiaalilla ei alueelta enää peittämisen jälkeen tule hapanta valuntaa, joka vaatisi neutralointia. (Malmivaara 2015) Malmivaaran ajattelutapaa tukee myös Pousette (2010), joka on todennut sulfidimaiden oikein läjitettynä voivan palautua anaerobiseen inerttiin tilaan (ks. kpl 5.5).

5.8 Menetelmien vertailu

Paras vaihtoehto sulfaattimaa-alueiden pohjanvahvistukseen on sellainen, missä maaperää ei tarvitse häiritä ja näin sulfaattimaa ei pääse hapettumaan eikä happamoitumaan.

Sulfaattimaan kannalta selkeimpänä ja kustannustehokkaimpana pohjarakennusvaihtoehtona voidaan kuitenkin pitää massanvaihtoa. Toisaalta siihen liittyvät myös suurimmat riskit ja epäonnistunut läjittäminen voi johtaa merkittäviin ympäristövaikutuksiin. Käytännössä pohjanvahvistustavan ratkaisevat kokonaiskustannukset. Esimerkiksi kaupunkiympäristössä sopivien läjitysalueiden löytäminen voi olla haastavaa, jolloin paikallaan käsittely muodostuu edullisimmaksi vaihtoehdoksi. Maasto-kohteilla puolestaan tilaa läjittämiseksi on usein hyvin, jolloin massanvaihto on usein edullisin vaihtoehto.

Toinen pohjarakennuskeino, jonka käyttäminen yksistään tulee kysymykseen, on stabilointi. Stabiloinnin ehdottomana etuna verrattuna massanvaihtoon on se, että onnistuneen stabiloinnin ansiosta sulfaattimaamassat voidaan jättää paikalleen eikä niitä tarvitse kaivaa, jolloin ne eivät pääse hapettumaan ja happamoitumista ei synny. Sulfaattimaan sisältämä orgaaninen aines asettaa omat vaatimuksensa stabiloinnin sideaineelle ja ongelma muodostuu, jos stabiloinnilla ei saavutetakaan tarvittavia lujuuksia. Tällöin avuksi voidaan ottaa esikuormitus, penkereen keventäminen, lisä-stabilointipilareiden tekeminen tai jokin yhdistelmä edellä mainituista. Myös muodonmuutoksia ja stabiliteettia hieman parantavia geolujitteita voidaan käyttää apuna.

Neutralointi ei yksinään riitä ainoaksi happamien sulfaattimaiden käsittelymenetelmäksi. Sen käyttö tukee läjittämistä ja pienentää esimerkiksi läjitysalueen vesien happamuutta. Neutraloinnilla voidaan myös korjata jo syntymään päässyttä happamuutta läheisissä vesistöissä, mutta on korostettava, että tämä on vain hätäkeino poikkeuksellisia tilanteita varten. Oikeanlaisilla työskentelytavoilla tilanteita, joissa vesistöjen neutralointia joudutaan tekemään, ei pitäisi syntyä.

Taulukossa 12 on vertailtu paikallaan tehtävän pohjanvahvistuksen hyviä ja huonoja puolia ja taulukossa 13 massanvaihdon ja sen tehostamiseen käytettävien neutralointimenetelmien hyviä ja huonoja puolia

Taulukko 12. Vertailu paikallaan tehtävien pohjanvahvistustoimenpiteiden soveltuvuudesta sulfaattimaille.

Paalutus	Stabilointi	Esikuormitus/ pystyjoitus	Kevennysrakenteet
+ vältetään sulfaattimaiden kaivaminen	+ voidaan käyttää joko parantamaan maan rakennettavuutta tai massanvaihdon yhteydessä helpottamaan muualle läjittämistä	- edullinen menetelmä	+ vältetään sulfaattimaiden kaivaminen
- korkeat kustannukset	- sulfaattimaat stabiloituvat huonohkosti -> sideainemäärät kasvavat -> kustannukset kasvavat	- sopii vain ohuille sulfaattimaakerroksille	+ nopea ja joustava menetelmä
- sulfaattimaa voi syövyttää teräs- ja betonirakenteita	- vaatii huolellista tutkimusta, mikä sideaine toimii juuri tietyn kohteen sulfidimaalle - epävarmuus voi aiheuttaa yllättäviä kustannuksia	- savimaassa hidasta	- ei yksistään kovin usein riitä pehmeille savimaille

Taulukko 13. Sulfaattimaille tehtävän massanvaihdon ja sen tehostamismenetelmien hyviä ja huonoja puolia.

Massanvaihto	Maamassojen neutralointi	Vesien neutralointi
+ perinteinen, paljon käytetty menetelmä savimaille rakennettaessa	-/+ sellaisenaan tehoton menetelmä, voidaan kuitenkin käyttää parantamaan läjityksen onnistumismahdollisuuksia	+ ympäristön vesistöjen nopea korjaustoimenpide
+ oikeaoppisen peittämisen jälkeen maa voi palata pelkistyneeseen muotoon, jolloin happamuus häviää	- vaikuttaa vain vähän alueelta tulevien vesien happamuuteen	+ läjitysalueelle kerääntyvien vesien neutralointi järkevää ennen ympäristöön päästämistä
- läjitysalueen valinta ja rakentaminen tehtävä todella huolellisesti	- sekoittaminen syvälle märkään, paakkuiseen ja tiiviiseen maahan vaikeaa	+ sopii massanvaihdon lisäksi parantamaan toimivuutta
- poiskaivettujen maamassojen kuljettamiseen kiinnitettävä erityishuomiota		- neutralointi-laitteistot jäävät turhiksi happamoitumisen loputtua, turhan raskaita rakenteita tulee välttää

5.9 Esimerkkikohteita

5.9.1 Vt 8 Sepänkylän ohikulun sulfaattimaiden käsittely stabiloimalla

Vaasan kaupungin ja Mustasaaren kunnan alueille sijoittunut hanke toteutettiin rakentamisen osalta vuosina 2011–2014. Pohjatutkimuksia oli tehty tie- ja rakennussuunnitteluvaiheessa, mutta niitä täydennettiin vuosina 2011–2012 muun muassa koekuoppatutkimuksilla. Alueen pehmeiköt Bölen ja Karperön alueilla ovat jopa 12–16 metriä syviä, koostuvat pääasiassa siltistä, liejusta tai savesta ja sisältävät runsaasti sulfideja. Hankkeen ympäristölupaehdoissa edellytettiin sulfaattimaiden stabilointia ennen massanvaihtojen tekemistä. (Pasanen 2014:2)

Alkuperäisessä tiesuunnitelmassa sulfidisavet oli suunniteltu pääosin paikallaan massastabiloitaviksi ja tämän jälkeen pois kuljetettaviksi. Näin ollen massanvaihtojen määrä olisi kaiken kaikkiaan ollut 393 000 m³_{tr}. Urakoitsija Skanska Infra Oy teetti kuitenkin useita tutkimuksia sulfidimaiden stabilointiin liittyen ja lopulta massanvaihtoja pystyttiin vähentämään hyvin merkittäviä määriä. (Pasanen 2014:28)

Stabiloinnin sideaineista tutkittiin Finnsementin yleissementti, Finnsementin sulfaatinkestävä SR-sementti, Finnsementin masuunikuonajauhe, Nordkalkin poltettu kalkki, Nordkalkin kipsin, sammutetun kalkin ja sementin seos, Vaasan Vaskiluodon voiman lentotuhka sekä Alholmens Kraftin lentotuhka. (Pasanen 2014:29)

Tutkimuksissa oli tavoitteena löytää sideaineresepti, jolla saavutettaisiin 180 vuorokauden iässä 200–300 kPa:n puristuslujuus. Parhaat tulokset saavutettiin Nordkalkin kipsin, sammutetun kalkin ja sementin seoksella, Alholmens Kraftin lentotuhkalla sekä näiden kahden seoksella. Koestabilointien perusteella pilaristabiloinnissa käytettävän sideaineen määräksi tuli 160 kg/m³ maan pintaosissa ja 120 kg/m³ tämän alapuolella. Ero pintaosien ja syvällä olevien osien sideainemäärästä johtuu maan pH-profiilista. Maa on pinnassa happamampaa, joten sideainetta tarvitaan enemmän vaadittujen lujuuksien saavuttamiseen. Massastabiloinneissa sideainemäärät vaihtelivat välillä 120 kg/m³ – 150 kg/m³. Poiskaivettavien ja meluvalliin käytettävien savien stabilointiin käytettiin sideainetta 60 kg/m³ – 80 kg/m³. Koestabiloinneilla saatiin myös varmuus siihen, että väylähankkeilla vaaditut tavoitelujuudet saavutetaan. (Pasanen 2014:29,37)

Tässä yhteydessä tutkittiin myös stabiloinnin vaikutusta rikkihapon muodostukseen. Stabiloidun sulfidisaven pH-muutokset olivat stabiloimattomia hitaampia ja pH vakiintui tasolle 8. Stabiloimattomilla savilla pH vakiintui tasolla 4 noin 1–2 kk kuluessa. (L-S AVI 2011:6)

Ympäristölupa haettiin sulfidisavimaiden stabiloinnille lentotuhkalla, kaupallisilla sideaineilla sekä näiden sekoituksilla. Lupa haettiin siten, että stabiloinneissa lentotuhkan käytön osuus on enintään 120 000 t ja kaupallisten sideaineiden määrä 30 000 t – 64 000 t. (L-S AVI 2011:9) Lopulta lentotuhkaa ei stabiloinneissa käytetty lainkaan, sillä sen sekoittaminen kaupallisen sideaineen kanssa osoittautui hankalaksi. (Pasanen 2014:45).

Lopullinen pohjanvahvistusratkaisu sisälsi pilaristabilointia, massastabilointia ja esikuormituspenkereitä, jolloin sulfidimaat voitiin jättää paikoilleen. Sulfidimaita kaivettiin ainoastaan Bölessä sijaitsevan sillan kaivannossa, rumpukaivannoissa sekä leikkausmassoissa. Nämä massat kuljetettiin stabiloituina Stormossenin jätteenkäsittelyalueelle, jossa ne käytetään hyväksi maisemavallin rakentamisessa. Kaivutöiden määrän vähentämisellä saatiin vähennettyä myös kuljetus- ja materiaalin hankintatarpeita. (Pasanen 2014:37)

Ympäristöluvassa edellytetään pohjaveden laadun tarkkailua pohjavesialueella vähintään kaksi kertaa ennen rakentamisen aloittamista, kerran kuukaudessa rakentamisen aikana ja rakentamisen jälkeen kaksi kertaa vuodessa kolmen vuoden ajan. Stabiloinnin osalta seurataan lujuuden kehittymistä ja tehdään sideainemäärien mittauksia stabiloidusta rakenteesta. (L-S AVI 2011:13-14)

5.9.2 Kokkola–Ylivieska kaksoisraidehankkeen läjitettävien sulfaattimaamassojen kalkitus

Kokkola–Ylivieska välin kaksoisraiteen rakentaminen ja radan oikaisu vaativat Vähäjoen uoman siirtoa Kälviällä. Uoma oikaistiin 180 metrin matkalta ja uuden uoman keskikohta siirtyi enintään 20 metriä pohjoisemmaksi kuin vanha uoma. (L-S AVI 2012:2)

Jo tarjousvaiheessa oli tiedossa, että alueella esiintyy mahdollisesti sulfaattimaita. Uoman siirron vesilain mukaisessa luvassa happamien päästöjen riskiä on todettu vähentävän uuden uoman kaivaminen etukäteen työpatojen suojassa. Uoman paikalta kaivettavat maat läjitetään työkohteen ulkopuolelle siten, ettei niistä aiheudu valumia Vähäjokeen. Luvassa edellytettiin vedenlaadun tarkkailua kahdessa pisteessä, ennen Vähäjoen uutta rakennettavaa uomaa sekä uoman jälkeen. Vesinäytteet otettiin keran ennen töiden aloittamista, kaksi viikkoa töiden päättymisen jälkeen sekä ensimmäisten syys- ja kevättulvien aikana. Näytteistä analysoitiin sameus, kiintoainepitoisuus, kokonaisfosfori, fosfaattifosfori sekä pH. (L-S AVI 2012:3)

Etelä-Pohjanmaan ELY-keskus edellytti lausunnossaan, että mikäli ei varmasti voida varmistaa, että kaivettavat massat eivät ole sulfaattimaita, tulee massat kalkkita käyttäen noin 25 kg kalkkia neutraloitavaa maakuutiota kohti. Kalkki tulee sekoittaa mahdollisimman tasaisesti koko läjitettävään massaan, eikä massoja tule läjittää luontoarvoltaan merkittävillä alueilla. (L-S AVI 2012:4)

Liikenneviraston teetti kaivumassoista happamuusanalyysin, jossa paljastui, että alueella todella sijaitsee sulfaattimaita. Läjitettävien kaivumaiden laatua seurasi Liikenneviraston hankkima ympäristötekniikan asiantuntija. (L-S AVI 2012:5) Kalkitseminen toteutettiin kaksoisrakenteena, jossa maakerroksia ja kalkin sekoittamista tehtiin kahdessa osassa. Läjitysalueille läjitettiin myös puhtaita maita. (Malmivuori 2013)

Töiden aikana havaittiin, että tällä kohteella maan väri oli todella selkeä merkki sulfaattimaiden olemassa olost. Kaivukohteilla maa oli noin kahteen metriin asti harmaata peltosavea ja sen alapuolella mustaa savea. Hankkeessa törmättiin myös tyyppilliseen, sulfaattimainiin liittyvään ristiriitaan: suhteellisuuden taju saisi tällaisissa hankkeissa olla parempi, sillä joskus sulfaattimaat todella ovat haitallisia ja joskus taas pienen sulfaattimaamäärän vuoksi tehdään kohtuuttoman suuria toimenpiteitä. (Malmivuori 2013)

Massanvaihtoon päädyttiin muun muassa siksi, että stabilointi olisi nostanut kustannuksia kohtuuttomasti. Vesistön tilan seuranta vaadittiin uoman siirron vuoksi vesiluvassa, mutta massanvaihdon kalkituksella tehostetulle läjitykselle ei määrätty seurantavelvoitetta. (Malmivuori 2013)

6 Sulfidisavet E18 Hamina–Vaalimaa-hankkeella

6.1 Hankkeen kuvaus

Haminan ja Vaalimaan välinen osuus valtatie 7:stä (E18) rakennetaan moottoritieksi. Hanke sisältää 32 kilometriä moottoritietä ja 64 kilometriä muita tie- ja katuuyhteyksiä. Rakennustyöt on aloitettu loppukesästä 2015 ja hanke valmistuu vuonna 2018. (Liikennevirasto 2015b:6)

Hanke toteutetaan elinkaarimallilla (PPP), jossa palveluntuottaja vastaa hankkeen rahoittamisesta, suunnittelusta, rakentamisesta sekä tien kunnossapidosta 17 vuoden kunnossapitajakson ajan. Hankkeen rakentamiskustannusarvio on 265 miljoona euroa. (Liikennevirasto 2015b:6)

Länsipäästään moottoritie liittyy vuonna 2014 avattuun Haminan ohikulkutiehen ja itäpäässä moottoritie päättyy Vaalimaan raja-aseman läheisyyteen rakennettavaan Vaalimaan kiertoliittymään. Moottoritie sijoittuu Haminan kaupungin sekä Virolahden ja Miehikkälän kuntien alueelle. Elinkeino-, liikenne ja ympäristökeskuksena (ELY-keskus) alueella on Kaakkois-Suomen ELY-keskus. (Liikennevirasto 2015b:6)

Hankkeella on havaittu sulfidisavia neljällä eri alueella. Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen kanssa on kuitenkin todettu, että alueen sulfidipitoisia maita voidaan tällä alueella pitää maana, joten kaivumassojen sijoittamiseen ei katsota olevan ympäristöluvan tarvetta. (Liikennevirasto 2015b:12)

6.2 Sulfidisavien havaitseminen

Tiesuunnitelmavaiheessa, vuonna 2013 mahdolliset sulfidisaviesiintymät kartoitettiin vain siltojen ja paalulaattojen osalta, jotta voitaisiin arvioida saven aggressiivisuutta ja vaikutusta teräs- ja betonirakenteiden mitoitukseen.

Tiesuunnitelman täydentämisen vaiheessa tietoisuus mahdollisten sulfidisavien aiheuttamista vaikutuksista oli lisääntynyt ja näin ollen keväällä 2014 tehtiin aistinvaraisia sulfidisavitutkimuksia yhteensä 55 näytepisteestä, joista 19 epäilyttävimmässä pisteessä tehtiin lisäksi laboratoriotutkimuksia. Sulfidisavia ei tässä vaiheessa havaittu. (Liikennevirasto 2015b:12)

Kuitenkin loppukesästä 2014 huomattiin, että tehtyjen sulfidisavitutkimusten tulosten käsittelyssä oli tapahtunut virhe. Tietoja tutkimustodistuksesta laboratoriotuloslausuntoon siirrettäessä tuloksen yksikkö oli muutettu, mutta numeroarvon muutos oli jäänyt tekemättä. Tuloksien tarkistaminen johti siihen, että Lelun eritasoliittymän alueella havaittiin paikoin niin korkeita rikkipitoisuuksia, että tiedettiin varmuudella kyseessä olevan sulfidisavia. (Liikennevirasto 2015b:12)

Myöhemmin, lokakuussa 2014 Lelun eritasoliittymän alueella tehtiin Liikenneviraston toimesta kaksi varmistavaa tutkimusta, joiden tulokset vahvistivat aiempia tuloksia, joiden mukaan alueella esiintyy sulfidisavea ainakin savikerroksen pintaosissa. Lisäksi tehtiin tutkimuksia 23 näytepisteestä Lelun sulfidisavialueen laajuuden määrittämiseksi ja sen riskin pienentämiseksi, että muilta alueilta löytyisi sulfidisavia. (Liikennevirasto 2015b:12)

Yhteensä sulfidisavitutkimuksia on siis tehty 80 näytepisteestä, joista 44:stä on tehty laboratoriotutkimuksia ja 36:sta aistinvaraisia määrittämiä. Lisäksi marraskuussa 2014 on tiedetyillä sulfidisavialueilla tehty ojavesien laatumittauksia 38 näytepisteestä. (Liikennevirasto 2015b:12)

Tutkimusten perusteella sulfidisavia on todettu esiintyvän neljällä alueella. Esiintymät on esitetty kartalla kuvassa 6.



Kuva 6. Sulfidisavien esiintymisalueet Hamina–Vaalimaa-hankkeen alueella (Liikennevirasto 2015b).

Tutkimustulokset menevät yksiin myös alueen geologisen syntyhistorian kanssa. Litorinasavet ovat kerrostuneet aikaisempien Itämerien kehitysvaiheiden savikoiden päälle, jolloin happamat savet esiintyvät lähellä maanpintaa. (Liikennevirasto 2015b:16)

6.3 Laboratoriotutkimukset

Näytteistä on laboratorioanalyseissä määritetty vesipitoisuus (w %), hehkutushäviö (LOI), redox-potentiaali, pH suoraan näytteestä ja vedestä, titrauksen jälkeinen minimi pH (NAG-pH), nettohapontuottopotentiaali (NAG), kokonaiskalsiumpitoisuus (Ca_{kok}), kokonaisrautapitoisuus (Fe_{kok}), kokonaisrikipitoisuus (S_{kok}), sulfaattirikkipitoisuus (SO_4^{2-}), neutralointipotentiaali (ANC), happotuottopotentiaali (BNC), haponneutraloimispotentiaali (NP) ja maksimi hapontuottopotentiaali (AP). Tutkimusten tavoitteena oli luokitella maanäytteet käytössä olevien sulfidimaiden luokitusperusteiden mukaisesti. (Envitop Oy 2014a)

Näytteet analysoinut Envitop Oy muodosti oman luokituskriteeristönsä olemassa olevien luokituskriteereiden (Pousette 2008, Mácsik 2000 & Räsänen 2009) pohjalta. Lopputuloksena oli taulukoiden 14 ja 15 mukainen kriteeristö, jonka mukaan maa luokitellaan sulfaattimaaksi, mikäli vähintään kaksi taulukossa 14 esitetyistä kriteereistä toteutuu. Rajatapauksissa luokitusta voidaan tarkistaa taulukon 15 kriteereiden avulla.

Taulukko 14. Ensisijaiset luokituskriteerit Hamina-Vaalimaa hankkeen sulfidisaville.

Johtopäätös	1. kriteerit				NAG-pH (saavutettu minimi-pH)
	S _{kok} [mg/kg ka]	Fe/S	NAG [kgH ₂ SO ₄ /t]	SO ₄ ^S (NAG) [mg/kg]	
vähän tai ei ollenkaan happoa tuottava materiaali	<600	>60	0–2	<334	>5,0
kohtalaisesti happoa tuottava materiaali	600–10000	3–60	2–50	335–6676	2,5–5,0
voimakkaasti happoa tuottava materiaali	>10000	<3	>50	>6676	<2,5

Taulukko 15. Täydentävät luokituskriteerit Hamina-Vaalimaa-hankkeen sulfidisaville.

Johtopäätös	2. kriteerit				
	Eh/pH (1:5)	LOI (800 °C)	w %	NPR	NNP
vähän tai ei ollenkaan happoa tuottava materiaali	Eh >0, pH >6	<5	<40	>4	>0
kohtalaisesti happoa tuottava materiaali	Eh <0, pH >6	5–8		1–4	<0
voimakkaasti happoa tuottava materiaali	Eh >0, pH <6	>8		<1	

6.3.1 Lelun–Kattilaisten alue

Alueella tehtiin tutkimuksia seitsemästä näytepisteestä. Sulfidisavet sijaitsevat pääosin 1–2 metrin syvyydessä maanpinnasta. Kahdessa pisteessä sulfidisavia havaittiin myös syvemmällä, toisessa yli 3 metrin ja toisessa yli 8 metrin syvyydellä.

Tutkimuspisteissä pH (laimennussuhde 1:5) oli alimmillaan 3,7 ja suurin kokonaisrikkipitoisuus S_{kok} oli 34300 mg/kg. Raudan ja rikin suhde oli alimmillaan 1,8 ja sulfidinen rikkipitoisuus korkeimmillaan 18074 mg/kg kuiva-ainetta. Maanäytteiden nettohaponpöytäpotentiaalia kuvaava NAG-arvo oli korkeimmillaan 93 kgH₂SO₄/t. Minimi pH:ta kuvaava NAG-pH oli alimmillaan 1,8. Kahden metrin syvyydestä otetuista näytteistä laskettu nettoneutralointipotentiaalisuhde (NPR) oli 0,3–1,2, mikä viittaa siihen, että pintaosan savi on happoa tuottavaa. Pintavesitutkimukset osoittivat alueen ohjavesien olevan hyvin happamia, pH 3,5–6,4. (Liikennevirasto 2015b:15)

6.3.2 Lapinsuon–Haaviston pohjavesialueen välinen alue

Alueella tehtiin tutkimuksia kolmesta näytepisteestä, joiden perusteella sulfidisavia todettiin esiintyvän 1–3 metrin syvyydessä maanpinnasta. Lisäksi yhdessä pisteessä havaittiin sulfidisavia olevan myös syvemmällä 7 metrin syvyydessä.

Tutkimuspisteissä pH (laimennussuhde 1:5) oli alimmillaan 5,3 ja suurin kokonaisrikkipitoisuus S_{kok} oli 3080 mg/kg. Raudan ja rikin suhde oli alimmillaan 2,0 ja sulfidinen rikkipitoisuus korkeimmillaan 8445 mg/kg kuiva-ainetta. Maanäytteiden nettohapontuottopotentiaalia kuvaava NAG-arvo oli korkeimmillaan 190 kgH₂SO₄/t. Minimi pH:ta kuvaava NAG-pH oli alimmillaan 2,5. Kahden metrin syvyydestä otetuista näytteistä laskettu nettoneutralointipotentiaalisuhde (NPR) oli 116, mikä ei viittaa siihen, että näytteen savi olisi happoa tuottavaa. Pintavesitutkimukset osoittivat alueen oja-vesien olevan hyvin happamia, pH 4,0–4,9. (Liikennevirasto 2015b:15)

6.3.3 Saarasjärven eritasoliittymän alue

Alueella tehtiin tutkimuksia kolmesta näytepisteestä, joiden perusteella sulfidisavia todettiin esiintyvän pääosin 1–3 metrin syvyydessä maanpinnasta.

Tutkimuspisteissä pH (laimennussuhde 1:5) oli alimmillaan 5,0 ja suurin kokonaisrikkipitoisuus S_{kok} oli 2630 mg/kg. Raudan ja rikin suhde oli alimmillaan 2,0 ja sulfidinen rikkipitoisuus korkeimmillaan 4240 mg/kg kuiva-ainetta. Maanäytteiden nettohapontuottopotentiaalia kuvaava NAG-arvo oli korkeimmillaan 251 kgH₂SO₄/t. Minimi pH:ta kuvaava NAG-pH oli alimmillaan 2,3. Kahden metrin syvyydestä otetuista näytteistä laskettu nettoneutralointipotentiaalisuhde (NPR) oli 143, mikä ei viittaa siihen, että näytteen savi olisi happoa tuottavaa. Pintavesitutkimukset osoittivat alueen oja-vesien olevan hyvin happamia, pH 4,3–5,6. (Liikennevirasto 2015b:15)

6.3.4 Virojoen eritasoliittymän ja Vaalimaanjoen välinen alue

Alueella tehtiin tutkimuksia kahdesta näytepisteestä, joiden perusteella sulfidisavia todettiin esiintyvän maan pinta osissa noin 1 metrin syvyydessä maanpinnasta.

Tutkimuspisteissä pH (laimennussuhde 1:5) oli alimmillaan 4,4 ja suurin kokonaisrikkipitoisuus S_{kok} oli 20400 mg/kg. Raudan ja rikin suhde oli alimmillaan 1,8 ja sulfidinen rikkipitoisuus korkeimmillaan 14039 mg/kg kuiva-ainetta. Maanäytteiden nettohapontuottopotentiaalia kuvaava NAG-arvo oli korkeimmillaan 132 kgH₂SO₄/t. Minimi pH:ta kuvaava NAG-pH oli alimmillaan 2,1. Maan pintaosasta otetusta näytteestä laskettu nettoneutralointipotentiaalisuhde (NPR) oli 108, mikä ei viittaa siihen, että maan pintaosan savi olisi happoa tuottavaa. Pintavesitutkimukset osoittavat alueen oja-vesien olevan hyvin happamia, pH 3,7–5,9. (Liikennevirasto 2015b:16)

6.4 Sulfidisavien käsittelyrakenteet

Alueen sulfidisavet sijoitetaan ennalta määrätyille tiesuunnitelman mukaisille läjitysalueille L2, L22, L16A, L17, L18, L21 ja L108 siten, etteivät ne lopputilanteessa ole alttiina hapelle tai ulkopuolisille vesille. Läjitysalueet näkyvät karttakuvissa liitteessä 1. Sulfidisavien läjitysalueet ovat mahdollisimman lähellä niiden kaivupaikkoja, jolloin kuljetusmatkat pysyvät lyhyinä. Sulfidisavia ei myöskään sijoiteta alueille, joilla ei luonnostaan esiinny sulfidisavia. Sulfidimaita ei myöskään sijoiteta vesistöjen läheisyyteen eikä pohjavesialueille. (Liikennevirasto 2015b:18)

Saven leviäminen läjitysalueen ulkopuolelle estetään rakentamalla reunavallit kantavan pohjamaan varaan vettä pidättävästä materiaalista, kuten moreenista tai vaihtoehtoisesti rakentamalla reunapenger murskeesta sekä verhoilemalla reunavallin sisäreuna vettä pidättävällä materiaalilla, kuten savella ja moreenilla, läpivirtauksen estämiseksi. Kuvassa 7 näkyy läjitysalue L22 reunavalli. Läjitysalueen pinta tasataan siten, että kallistukset suuntautuvat keskeltä ulospäin eikä alueelle jää vettä kerääviä painanteita. Läjityksen päätyttyä ja pintaosien kuivuttua sulfidisaven päälle levitetään puolen metrin kerros heikosti vettä läpäisevää materiaalia, jonka tehtävänä on estää sadeveden pääsy kosketuksiin sulfidisaven kanssa. Lisäksi läjitysalueelle levitetään 0,5–2,0 m kerros ennen läjitystä paikalta poistettuja raivaus- ja muita massoja, jotka tiivistetään siten, että metsitys on mahdollista. (Liikennevirasto 2015b:20)



Kuva 7. Hamina–Vaalimaa-hankkeen läjitysalue L22:n reunavalli ja alueelle läjitettyä sulfidisavea (Kuva: Vertanen 2015).

Näiltä läjitysalueilta tulevat vedet johdetaan hallitusti purkuojien kautta viivytyksrakenteisiin ja mahdolliseen neutralointiin. Ensin vesi johdetaan viivytyksaltaaseen, josta sen pääsyä säännellään sulkukaivolla selkeytsaltaaseen. Selkeytsaltaasta vesi virtaa kalkkikiviainespädon läpi neutralointialtaaseen, minkä jälkeen toisen kalkkikiviainespädon ja sulkukaivon jälkeen laskuojaan. (Liikennevirasto 2015b:20)

Liikenneviraston tekemien tutkimusten perusteella sulfidisavia sisältäviltä massanvaihtoalueilta laskevissa ojissa on myös pato–allas–pato-rakenteet (pituusleikkaus liitteessä 2) neutraloimassa mahdollisen kaivun aikaisen valunnan happamuutta. (Malmivaara 2015)

Läjitys- ja massanvaihtoalueilta tulevien vesien neutralointi toteutetaan kalkkikiviainespadoilla. Kalkkikiven käyttö neutralointimateriaalina ei aiheuta pH-arvon nousua vesistöjen luontaisen vaihteluvälin (pH 6–8) yläpuolelle. Mikäli poikkeustilanteessa kalkkikivipatojen neutralointikyky ei riitä, sulkukaivot suljetaan ja selkeytys- ja neutralointialtaissa olevaa vettä voidaan neutraloida esimerkiksi kalkkikivijauheella tai kalkkimaidolla. Jos pH nousee käsittelyssä yli neutraalin (pH 7), voidaan pH-arvoa laskea laimentamalla neutraloitua vettä viivytyksaltaan happamalla vedellä. Kalkkikiviruohon käyttöä neutraloinnissa testattiin ennakkokokeilla. (Liikennevirasto 2015c:3)

Massanvaihtoon pohjanvahvistustapana päädyttiin, sillä se on varmatoiminen ja selkeästi toteutettava pohjanvahvistustapa, jolla saavutetaan väylille asetetut tekniset vaatimukset. Verrattuna tarkasteltuihin stabilointi- ja paalulaattaratkaisuihin massanvaihto oli kokonaiskustannuksiltaan edullisin pohjanvahvistustapa. Sulfidisavien kannalta on huomioitu, että savet läjitetään hallitusti samoihin paikkoihin, mikä mahdollistaa tehokkaan valumavesien seurannan. (Liikennevirasto 2015c:3)

6.5 Työskentelyperiaatteet

Töiden aikana kaivettavia savia tarkkaillaan aistinvaraisesti ja mikäli epäilyksiä sulfidisavien esiintymisestä muualla kuin ennalta kartoitetuilla alueilla herää, toimitaan niiden osalta samoin kuin muidenkin sulfidisavien. Sulfidisavien tunnistamiseksi on laadittu Työvaiheen työ-, laatu- ja turvallisuussuunnitelmaan liitteeksi *Kaivuutyöt tunnistetun sulfidisaven alueella* -ohje (Liite 3), joka liitetään kaikkiin tunnistetun sulfidisaven alueella tehtäviä kaivuutöitä koskeviin työvaihesuunnitelmiin. Lisäksi on tehty *Sulfidisaven tunnistusohje puhtaille alueille* (Liite 4), joka opastaa asianmukaiseen toimintaan, mikäli tunnistetun sulfidisaven alueen ulkopuolella havaitaan sulfidisavia. (Liikennevirasto 2015c:1)

Sulfidisavia kaivaessa kiinnitetään erityisesti huomiota työvaihesuunnitteluun. Ennen kaivuun aloittamista sekä sen aikana kiinnitetään huomiota siihen, etteivät ympäriltä tulevat sadevedet pääse valumaan massanvaihtokaivantoihin. Käytännössä tämä tehdään maanpinnan kaltevuuksien muotoilulla, ojien tilapäisellä patoamisella ja tarvittaessa tilapäisten ojien kaivamisella. (Liikennevirasto 2015b:17)

Sulfidisavien kaivamisessa ja kuormaamisessa huomioidaan se, että kuljetusvälineen lavalle päätyvän veden määrä on mahdollisimman pieni. Tavoiteltavaa on, että vesi jäisi kokonaan kaivukohteeseen. Sulfidisavien kuljettaminen tapahtuu tielinjaa ja työmaateitä pitkin siten, että sulfidisavien tai happamien vesien pääsy ympäröiviin vesistöihin on minimoitu myös kuljetuksen aikana. Tämä mahdollistetaan käyttämällä tiivislavarakenteisia kuljetusvälineitä sekä kiinnittämällä huomiota työmaateiden sijaintiin ja kuntoon ja rakentamalla tiet pituuskaltevuudeltaan sellaisiksi, että saven valuminen kuljetusvälineen perälaudan yli on minimoitu. Lisäksi työmaahenkilöstö koulutetaan toimimaan oikein sulfidisavien kanssa esimerkiksi kuorman lastaamiseen liittyen. (Liikennevirasto 2015b:17)

6.6 Seuranta

Toteutettavalla seurannalla halutaan varmistaa tehtyjen toimenpiteiden riittävyys ja ennakoida poikkeustilanteita, jotta korjaavat toimenpiteet voidaan käynnistää. Seuranta on merkittävässä osassa varmistamassa, ettei kohteen sulfidisavien läjittämisellä aiheuteta haitallisia vaikutuksia ympäristöön. (Liikennevirasto 2015b:24)

Sulfidisavien läjitysalueiden rakenteen peittokerrosta tarkkaillaan rakentamisen jälkeen, jotta nähdään että rakenne on säilynyt yhtenäisenä eikä siihen ole tullut merkittäviä painumia tai halkeamia. Myöskään lammikoitumista ei sallita. Nämä tarkistukset tehdään silmämääräisesti ensimmäisen kahden vuoden aikana kaksi kertaa vuodessa, syksyllä ja keväällä ja sen jälkeen viiden vuoden kuluttua rakentamisesta. (Liikennevirasto 2015b:26)

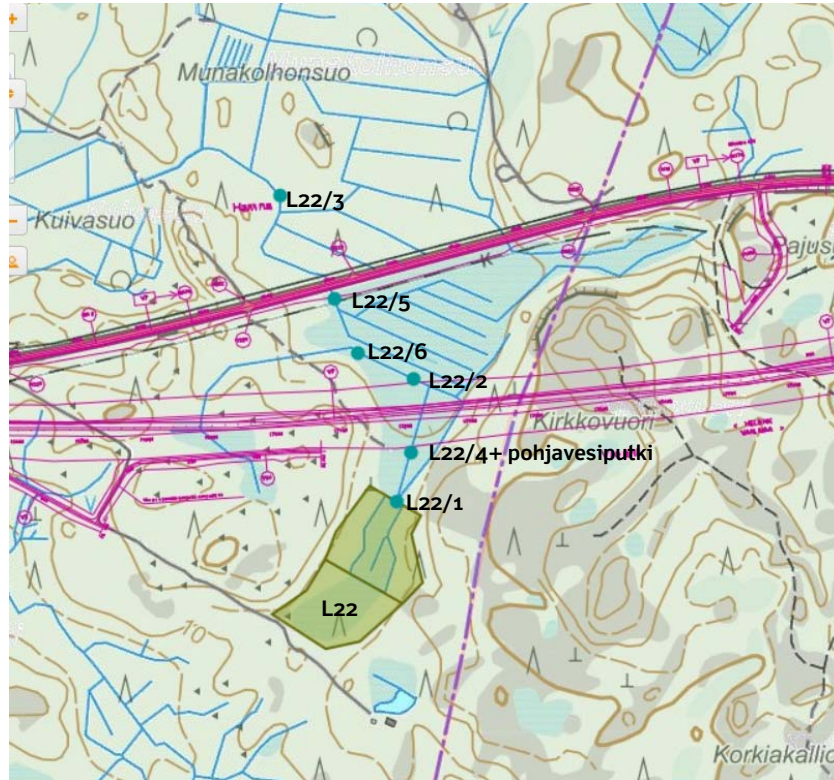
Pintavesien laatua seurataan läjitysalueiden purkuojissa sekä Saarasjärvenojaan laskevissa sivu- ja laskuojissa. Jokaiselta läjitysalueelta lähtevästä laskuojasta otetaan 3 pisteestä kenttämittaukset ja 3 laboratorionäytettä. Mittaukset otetaan noin kerran kuukaudessa läjityksen alusta lähtien pois lukien läjitysalue L22:n mittaukset, joita tehtiin alkuperäisen aikataulun mukaan ensimmäisellä ja toisella läjitysviikolla päivittäin ja tämän jälkeen kaksi kuukautta kerran viikossa ja vasta sitten kuukausittain. Seuranta-aikataulusta neuvoteltiin Kaakkois-Suomen ELY-keskuksen ja Liikenneviraston kanssa ja sitä voitiin hieman harventaa alkuperäisestä ja näin ollen vain läjitysalue L22 ehdittiin toteuttaa tiukemmalla seurannalla. (Multanen 2016)

Mittaukset sisältävät pH:n, sähkönjohtokyvyn, Eh-potentiaalin, hapen ja lämpötilan mittaukset. Lisäksi arvioidaan vesimäärä ja mitataan virtausnopeus sekä kirjataan ylös säätila ja sateisuus edellisen näytteenoton jälkeen. Laboratorionäytteistä määritetään kiintoaine, sameus, väri, sähkönjohtavuus, COD Mn, kokonaistyyppi, ammoniumtyppi, kokonaisfosfori, kloridi, sulfaatti, alkaliteetti ja 19 eri alkuaineen pitoisuudet. (Multanen 2016)

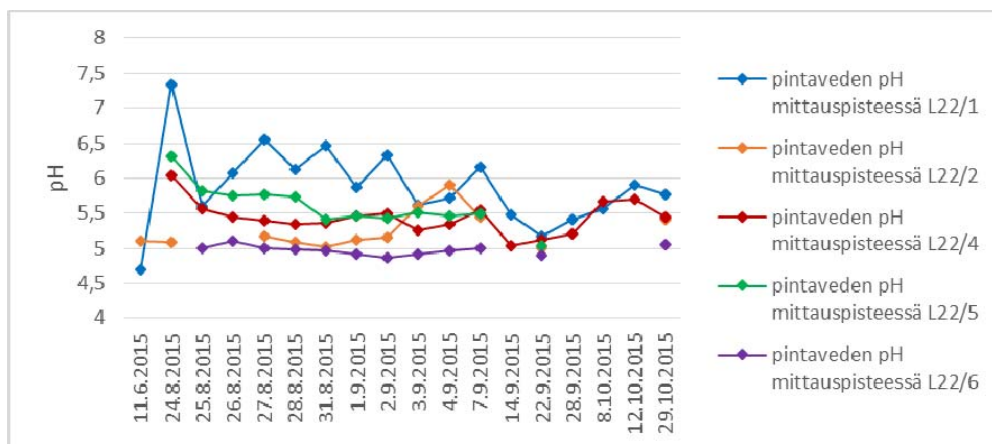
Saarasjärven laskuojissa pH:ta ja sameutta tarkkaillaan jatkuvatoimisella kenttämittarilla. Lisäksi noin kerran kuukaudessa otetaan samanlaiset kenttämittaukset ja laboratorionäytteet kuin läjitysalueiden laskuojista. (Multanen 2016)

Pintavesiseurannan lisäksi myös pohjavettä seurataan kenttämittauksin ja laboratorionäyttein noin kerran kuukaudessa.

Läjitysalueen L22 laskuojan pintaveden mittauspisteet sekä pohjavesiputki on esitetty kuvassa 8. Kuvassa 9 on esitetty pH-mittausten tuloksia elo-lokakuulta 2015. Kuvasta voidaan nähdä, ettei läjityksen aloittamisella elokuussa ole ollut merkittävää vaikutusta laskuojan pH-tasoon. Alhaisimmillaan pH on ollut kesäkuussa 2015 otetussa 0-näytteessä, jolloin pH on ollut 4,7. Muiden läjitysalueiden osalta läjitystä ja seurantaa ei ole vielä ehditty toteuttaa, mutta läjitysalueen L22 osalta rakenteen voidaan olettaa toimivan. Pintavesiä läjitysalueelta ei vielä ole laskettu ojaan. (Multanen 2016)

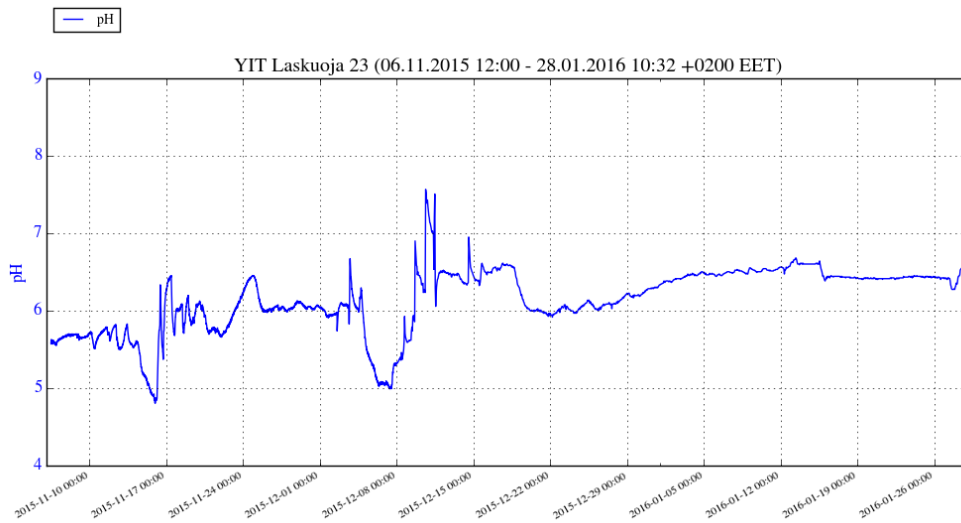


Kuva 8. Läjitysalueelta L22 laskevien ojavesien ja pohjaveden seurantapisteeet (Liikennevirasto 2016).

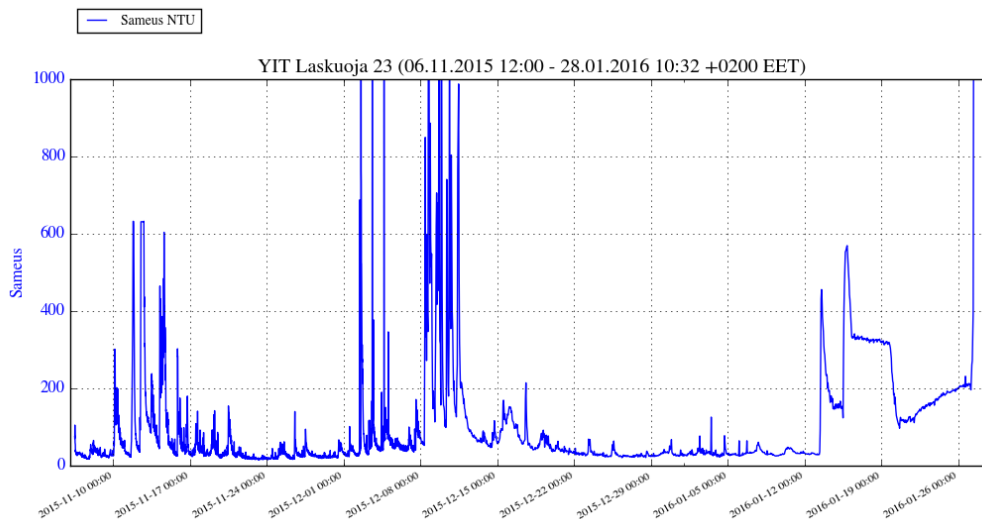


Kuva 9. Pintaveden pH läjitysalueen L22 mittauspisteissä (Liikennevirasto 2016).

Saarasjärvenojan laskuojassa olevan jatkuvatoimisen pH- ja sameusmittarin mittaukset kertovat, että pH pysyttelee yli 5. Notkahdukset pH:ssa seuraavat usein sameuden nousua, joka puolestaan seurailee sademääriä. Kun sataa, ojavesi samenee hetkellisesti ja myös pH laskee hetkellisesti. pH-vaihtelu Saarasjärvenojan laskuojassa aikavälillä 6.11.2015–28.1.2016 on esitetty kuvassa 10 ja sameuden vaihtelu kuvassa 11. Kesäkuussa 2015 otetuissa 0-näytteissä Saarasjärvenojan pH on ollut 6,3–6,6.



Kuva 10. pH Saarasjärven laskuojassa 6.11.2015–28.1.2016.



Kuva 11. Sameus Saarasjärven laskuojassa 6.11.2015–28.1.2016.

6.7 Kustannukset

Sulfaattimaiden esiintyminen hankealueella aiheuttaa väistämättä lisäkustannuksia. Kustannusriskit kasvavat suuremmiksi, mikäli asiaan ei ole varauduttu ajoissa. Mikäli sulfaattimaiden esiintymiseen varaudutaan hyvissä ajoin, voidaan näytteenotto suorittaa normaaleiden pehmeikkötutkimusten yhteydessä, jolloin kustannukset jäävät pienemmiksi.

Hamina–Vaalimaa-hankkeella näytteenottoa jouduttiin tekemään lisää, koska ongelman laajuus paljastui virheellisten tulosten vuoksi melko myöhään.

Kappaleessa 6.2 mainitut varmistavat tutkimukset tehtiin lokakuussa 2014. Lelun eritasoliittymän alueella tehdyt 2 tutkimusta maksoivat näytteenoton osalta 5000 € (Geopalvelu Oy 2014a). Näytteistä (15 kpl) määritettiin 1. vaiheessa pH-arvo, redox-potentiaali, kokonaisriikki- ja rautapitoisuudet, kuiva-ainepitoisuus sekä hehikutushäviö. Näiden tutkimusten hinta oli 3100 €. Koska 1. vaiheen tutkimuksissa kokonaisrikkipitoisuudeksi tuli yli 0,1 % tehtiin 2. vaiheessa sulfidirikkimääritykset sekä ANC ja BNC. Näiden tutkimusten hinta oli 2650 €. (Envitop Oy 2014b)

Sulfidisavialueen laajuuden määrittämiseksi tehdyt tutkimukset 23 näytepisteestä maksoivat näytteenoton osalta 20 000 € (Geopalvelu Oy 2014b). Näytteistä määritettiin pH, redoxpotentiaali, NAG-pH, NAG, sulfidirikki, kokonaisriikki-, rauta- ja kalsiumpitoisuudet, kuiva-ainepitoisuus sekä hehikutushäviö. Osasta näytteistä määritettiin ANC ja BNC. Tutkimusten hinta oli 9850 €. (Envitop Oy 2014c)

Näytteenoton ja laboratoriotutkimusten tarkemmat näytekohtaiset hinnat on esitetty taulukossa 16.

Taulukko 16. Sulfaattimaatutkimusten kustannukset Hamina–Vaalimaa-hankkeella.

Näytteenoton kustannukset				
	Näyte- pisteiden määrä	Kokonais- kustannus	Kustan- nus/näyte- piste	
Ensimmäiset tutkimukset	2	5 000,00 €	2 500,00 €	
Lisätutkimukset	23	20 000,00 €	869,57 €	
Laboratoriotutkimusten kustannukset				
	Näytteiden lukumäärä	Kokonais- kustannus	Kustan- nus/näyte	Analyysit
Ensimmäisten tutkimusten 1. vaihe	15	3 100,00 €	206,67 €	15 x pH/Eh, 15 x kuiva-ainepitoisuus, 15 x hehikutushäviö, 15 x kokonaisriikki- ja rautapitoisuus
Ensimmäisten tutkimusten 2. vaihe	15	2 650,00 €	176,67 €	15 x sulfidirikki, 4 x ANC+BNC
Lisätutkimukset	30	9 850,00 €	328,33 €	30x pH/Eh, 30 x NAG-pH, 30 x NAG, 30 x sulfidirikki, 30 x kokonaisriikki, -rauta ja -kalsium, 30 x kuiva-ainepitoisuus, 30 x hehikutushäviö, 8 x ANC+BNC

Yhteensä näistä lisätutkimuksista tuli siis noin 40 000 € lisäkustannukset. Tutkimusten avulla kuitenkin vältettiin suuret riskit hankkeen aikataulun ja urakan aikaisten lisäkustannusten suhteen.

Seuranta varten vesinäytteistä tehtävien analyysien kappalehinta on 193€. Läjitysaluekohtaiset seurantakustannukset ovat hyvin korkeat pinta- ja pohjavesinäytteistä tehtävien analyysikustannusten lisäksi ne muodostuvat näytteenottokäyntien näytteenottokustannuksista. Läjitysaluekohtaisia kokonaiskustannuksia seurannalle on kuitenkin vaikea arvioida, sillä näytteenottoaikataulut limittyvät toisiinsa ja näytteenottaja saattaa vesinäytteiden oton yhteydessä ottaa muita sulfaattimaihin liittyviä tarkkailunäytteitä. (Multanen 2016)

7 Toimenpideohjeet sulfaattimaan aiheuttamien vaikutusten hallintaan väylähankkeen eri vaiheissa

7.1 Johdanto

Tässä kappaleessa esitetään, kuinka sulfaattimaiden esiintyminen väylähankkeella on otettava huomioon eri suunnitteluvaiheissa. Suunnitteluvaiheittain käydään läpi, millaisia asioita on otettava huomioon ja toimenpiteitä tehtävä, jotta hanke onnistuu taoudellisesti, aikataulullisesti ja teknisesti mahdollisimman hyvin.

Väylähankkeissa, joiden alueella sulfaattimaita esiintyy, suurimmat riskit ovat usein aikataulullisia, hallinnollisia sekä taloudellisia riskejä. Teknisiä riskejä on olemassa, mutta niiden suuruus kasvaa merkittäväksi vasta, mikäli aikataululliset riskit toteutuvat.

7.2 Yleissuunnitteluvaihe

Lähtökohtaisesti sulfaattimaiden esiintymistä hankealueella voi arvioida maantieteellisesti ja apuna voi käyttää Geologian Tutkimuskeskuksen tekemää kartoitusta happamista sulfaattimaista (hakku.gtk.fi). Mikäli alue selkeästi on sulfaattimaa-alueeksi kartoitetulla alueella, tulee alueella suoritettaviin pehmeikkötutkimuksiin liittää sulfaattimaatutkimukset. Hankealueella tai sen läheisyydessä voi olla tehty aiemmin mahdollisia pohjatutkimuksia tai ympäristöseurantoja. Näiden tuloksia voidaan myös hyödyntää lähtötilanteen arvioinnissa.

Pohjatutkimusten tekijät ohjeistetaan kuvaamaan näytteet ja aistinvaraisesti arvioimaan näytteitä sulfaattimaiden varalta. Tässä yhteydessä näytteille on hyvä tehdä kenttämittaukset heti maastossa. Alueilta, jotka aistinvaraisen havainnoinnin ja pikatestin perusteella vaikuttaa olevan sulfaattimaita, otetaan näytettä enemmän laboratorioissa tehtävää tarkempaa analysointia varten. Laboratorioissa selvitetään esimerkiksi ruotsalaisten liukoisuuskokeeseen perustuvaa menetelmää hyödyntäen maan hapontuottopotentiaali, jonka perusteella voidaan arvioida sulfaattimaan aiheuttamia vaikutuksia tarkemmin. Mikäli kenttämittaukset osoittavat, että sulfaattimaita on alueella hyvin vähän, voidaan tapauskohtaisesti harkita laajempien laboratorioanalyysien tekemättä jättämistä.

Eri tie- tai ratalinjausvaihtoehtoja suunniteltaessa on hyvä olla yleispiirteinen kuva sulfaattimaiden sijoittumisesta hankealueella, jotta suunnittelussa voidaan huomioida riskialttiit paikat.

Laboratoriokokeet on syytä suorittaa viimeistään yleissuunnitteluvaiheen loppuvaiheessa eri tie- ja ratalinjausvaihtoehtojen alueilla niiltä osin kun kenttämittaukset ovat antaneet vihjettä sulfaattimaiden olemassaolosta. Ruotsalaisten liukoisuuskoetta voidaan pitää luotettavana ja kattavana menetelmänä kertomaan maan hapontuottopotentiaalista. Menetelmän toteuttaminen kestää noin kuukauden ja tämä on syytä

huomioida hankkeen aikataulutuksessa. Muita menetelmiä käytettäessä analyysiajat on syytä tarkistaa hyvissä ajoin.

Myös paikalliseen ELY-keskukseen on syytä olla yhteydessä heti, mikäli hanke sijaitsee GTK:n kartoituksen mukaan sulfaattimaa-alueella. Näin mahdolliset vaatimukset ja lupa-asiat voidaan huomioida suunnittelussa hankkeen alusta lähtien. Aiempien projektien perusteella voidaan todeta, että mitä aiemmin sulfaattimaiden esiintyminen alueella tiedostetaan, sitä paremmin siihen pystytään varautumaan ja yllättäen esiin tulevan huomioon otettavan asian aiheuttamat ylilyönnit käsittelyvaatimuksissa voidaan välttää. Aikaisella huomioimisella voidaan välttyä myös ikäviltä aikatauluvaiikutuksilta. Mikäli hankealue siis sijaitsee sulfaattimaariskialueella, tulee ELY-keskukselle ehdottaa hankkeen olosuhteisiin soveltuvia menetelmiä sulfaattimaiden olemassa olon varmistamiseen ja suunnitelmiin liittyen.

Taulukkoon 17 on kerätty hankkeen yleissuunnitteluvaiheessa huomioitavia asioita.

Taulukko 17. Sulfaattimaiden huomioiminen yleissuunnitteluvaiheessa.

Tunnistamisen tavoite		
minimitavoite: on/ei ole, alustava alueellinen rajaus		suositeltava tavoite: sulfaattimaiden alustava luokittelu
Lähtötiedot		
GTK:n kartoitus	mahdolliset aiemmat pohjatutkimukset ja ympäristöseurannat	ELY-keskuksilta saatavat tiedot
Tutkimukset		
Pehmeikkötutkimukset yleissuunnitelma-tarkkuudella	Näytteiden aistinvarainen havainnointi	Kenttämittaukset
Kenttämittausten perusteella todetuilta sulfaattimaa-alueilta riittävä näytteenotto laboratoriotutkimuksia varten, harkinnan mukaan laboratoriotutkimukset käyntiin		
Linjavaihtoehtojen sijoittumisen perusteella mahdolliset ensimmäiset ympäristöseurannat (ympäristön pintavesien pH yms.)		
Mahdolliset vaikutukset suunnitteluun ja ratkaisuihin		
sulfaattimaiden huomioiminen alustavissa pohjanvahvistusratkaisuissa	sulfaattimaiden aiheuttamien mahdollisten lisäkustannusten huomioiminen	vuoropuhelu ELY-keskuksen kanssa käyntiin
Raportointi/dokumentointi		
Sulfaattimaiden vaikutukset osa YVA-raporttia	Sulfaattimaiden karttarajaukset	Osa yleissuunnitelma-raporttia
Kenttämittausten ja laboratoriotutkimusten tulokset pohjatutkimusraporttiin		Ohjeet/suositukset jatko-suunnittelua ja seuraavan vaiheen tutkimuksia varten

7.3 Näytteenotto ja tutkimukset

Laboratoriokokeisiin liittyvässä näytteenotossa on joitakin huomioonotettavia seikkoja. Maanäyte on välittömästi ottamisen jälkeen suljettava ilmatiiviisiin pusseihin, jotta sen hapettuminen minimoitaisiin. Koemenetelmät tulee huomioida pohjatutkimusohjelmassa, missä määritetään maanäytteiden käsittelyohjeet yksityiskohtaisesti. Kokeet täytyy myös päästä suorittamaan mahdollisimman pian näytteenoton jälkeen. Maanäytteen on oltava riittävän suuri, jotta lopullinen koenäyte saadaan otettua mahdollisimman hapettomasta osasta näytettä esimerkiksi halkaistun ison maapaa-kun keskeltä. Lisäksi edustavan koenäytteen saamiseksi se tulisi kerätä useammasta kohdasta maanäytettä, jolloin maanäytettä on pilkkottava useasta kohtaa pieneksi. Pieneksi pilkkominen nopeuttaa näytteen happamoitumista ja näin ollen maanäytettä tarvitaan paljon. (Kangas 2010)

7.4 Tie- / ratasuunnitteluvaihe

Laboratoriokokeiden perusteella voidaan tarkemmin rajata alueet, joilla happoa tuottavat sulfidisavet sijaitsevat. Näiden tulosten on syytä olla valmiina tie-/ratasuunnitteluvaiheen alussa, jossa lopulliset päätökset linjauksesta tehdään. Mikäli valitulla linjauksella esiintyy happoa tuottavia sulfaattimaa-alueita, tulee ne suunnittelussa ottaa huomioon siten, että ko. maat tulevat asianmukaisesti huomioituksi eikä ympäristölle aiheudu happamoitumisvaaraa.

Laboratoriokokeiden tulosten perusteella voidaan arvioida sulfaattimaiden huomioimistarpeiden laajuutta ja näin ollen myös ELY-keskus osaa paremmin ottaa kantaa aiemmin esitettyjen periaatteiden riittävyteen. Tarkoilla laboratoriokokeilla voidaan myös osaltaan välttää suhteettoman kovia vaatimuksia asian vakavuuteen nähden.

Kun kokein on varmistettu, että hankealueella esiintyy happoa tuottavia sulfidimaita sekä esiintymien laajuus, tulee suunnittelulla varmistaa, että sulfidisavien esiintymisen aiheuttamat mahdolliset ympäristöhaitat minimoidaan. Hankkeen luonteesta (kaupunkihanke/maastohanke) ja sulfaattimaa-alueiden laajuudesta riippuu melko paljon, onko näiden alueiden pohjanvahvistus mahdollista tehdä sulfaattimaita häiritsemättä vai joudutaanko sulfaattimaita häiritsemään kaivamalla. Maastohankkeilla massanvaihto onkin usein kokonaistaloudellisesti edullisin vaihtoehto ja siihen päädytään, vaikka siten joudutaankin häiritsemään sulfaattimaita. Huolellisella suunnittelulla ja tarvittaessa läjitettäviä massoja neutraloimalla tai massastabiloimalla massanvaihdon aiheuttamat riskit pystytään kuitenkin ehkäisemään. Sulfaattimaa-alueiden pohjanvahvistuksen periaatteen suunnittelussa on huomioitava ELY-keskuksen ohjeistus käsittelylle ja suunnitellut ratkaisut on myös hyväksyttävä sielä.

Tie- ja ratasuunnitelmavaiheessa selvitetään myös hankealueen potentiaaliset läjitysalueet. Niiden tulisi sijaita lähellä massanvaihtokaivantoja ja mielellään sulfaattimaa-alueella. Mikäli hankkeella arvioidaan tehtävän massanvaihtoa, johon liittyy sulfaattimaiden läjittäminen, on läjitysalueita selvittäessä tämä otettava huomioon. Tämä voi edellyttää ympäristönäytteiden ottoa pinta- ja pohjavesistä jo tässä vaiheessa suunnittelua.

Taulukkoon 18 on kerätty hankkeen tie-/ratasuunnitteluvaiheessa huomioitavia asioita.

Taulukko 18. Sulfaattimaiden huomioiminen tie-/ratasuunnitteluvaiheessa.

Tunnistamisen tavoite		
Sulfaattimaa-alueiden rajaaminen, myös syvyys-suunnassa		Sulfaattimaiden luokittelu happamoittavuuden mukaan
Lähtötiedot		
edellisessä vaiheessa hankittu ja tehdyillä tutkimuksilla tuotettu tieto		
Tutkimukset		
Pehmeikkötutkimukset tie-suunnitelmatarkkuudella	Näytteiden aistinvarainen havainnointi	korroosiotutkimukset siltapaikoilla
Mahdollisesti lisää kenttämittauksia ja laboratorio-tutkimuksia	Ympäristön nykytilan selvittäminen sulfaattimaa-alueilla	Avoin keskustelu tutkimuksista ELY-keskuksen kanssa
Kaikissa tutkimuksissa huomioitava mahdolliset läjitysalueet		
Mahdolliset vaikutukset suunnitteluun ja ratkaisuihin		
Geometrian suunnitteleminen mahdollisuuksien mukaan siten, että sulfaattimaiden häirintä voitaisiin välttää (välttyään esimerkiksi massanvaihdolta)		
sulfaattimaiden vaikutus pohjanvahvistusratkaisuihin	sulfaattimaiden aiheuttamien mahdollisten lisäkustannusten huomioiminen	vuoropuhelu ELY-keskuksen kanssa ja periaateratkaisujen hyväksyttäminen ELY-keskuksella
Potentiaalisten läjitysalueiden selvittäminen	Alustavat ratkaisut sulfaattimaiden käsitteilyyn läjitysalueilla	Ympäristöseurannan suunnittelu ja aloittaminen
Raportointi/dokumentointi		
Sulfaattimaiden vaikutukset osa tie-/rata-suunnitelmaselostusta	Sulfaattimaiden karttarajaukset	Periaateratkaisuvaihtoehdot sulfaattimaiden käsittelystä ja ympäristöseurannasta
Kenttämittausten ja laboratoriotutkimusten tulokset pohjatutkimusraporttiin	Mahdollinen ympäristöviranomaisen lupa/vaatus/lausunto	Ohjeet/suositukset jatko-suunnittelua ja seuraavan vaiheen tutkimuksia varten

7.5 Rakennussuunnitteluvaihe

Rakennussuunnitteluvaiheessa pohjanvahvistuksen suunnittelua tarkennetaan. Tässä vaiheessa suunnitellaan, kuinka valittu pohjanvahvistustapa toteutetaan. Mikäli on päädytty massanvaihtoon, tulee läjitysalueiden lopulliset paikat valita sekä massojen kuljetusreitit suunnitella. Samalla tulee suunnitella läjitysalueiden rakenteet ja alueelta mahdollisesti tulevien suoto- tai valumavesien käsittelytoimet. Usein ELY-keskukset vaativat seuraamaan esimerkiksi läheisten vesistöjen pH-arvoja rakentamisen aikana ja sen jälkeen, jotta rakenteiden toimivuudesta saadaan varmuus. Seurannan toteutus tulee ottaa huomioon suunnittelussa siten, että esimerkiksi näytteiden ottaminen suunnitelluilta alueilta on mahdollista. Seurantaohjelma on myös suunniteltava valmiiksi ennen rakentamisen aloittamista.

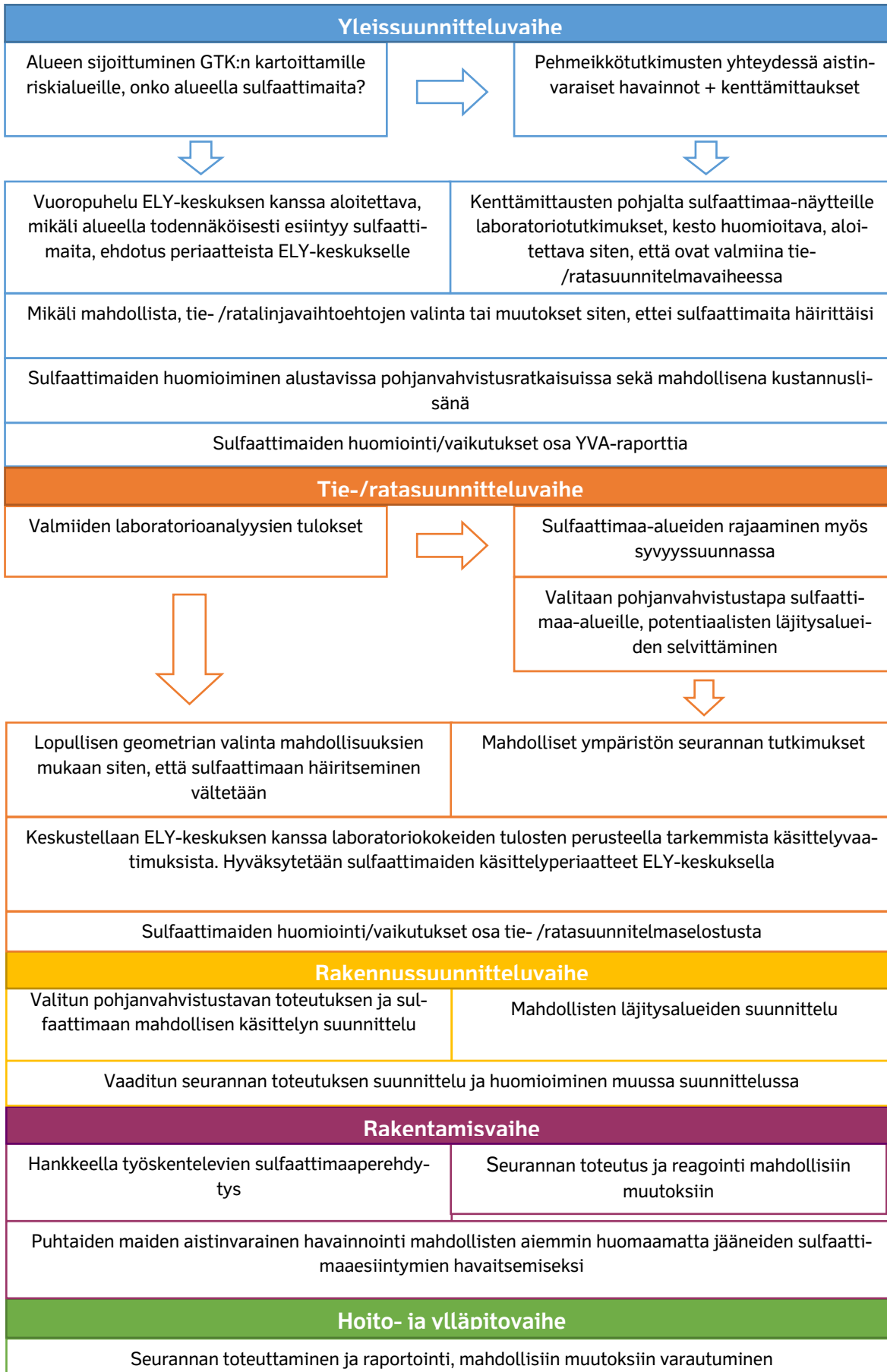
7.6 Rakentamisvaihe

Rakentamisvaiheessa on tärkeää, että kaikki hankkeella työskentelevät tietävät sulfaattimaiden esiintymisestä alueella ja osaavat toimia niiden kanssa oikein. Esimerkiksi koneenkuljettajille on syytä järjestää perehdyttämistilaisuus sulfaattimaiden kuormaamiseen ja kuljettamiseen liittyvistä vaatimuksista. Aistinvaraisen tunnistamisen ohjeet on syytä käydä läpi alueella työskentelevien henkilöiden kanssa, sillä heidän on hyvä tarkkailla ympäristöään siltä varalta, että puhtaina pidetyillä alueilla havaitaan sulfaattimailta vaikuttavia maita. Rakentamisvaiheessa tehdään seurantaa esimerkiksi läheisten vesistöjen pH-arvoista ja valmius reagoida muutoksiin on oltava olemassa

7.7 Ylläpitovaihe

Usein rakenteen toimivuuden varmistavien seurantamittausten vaaditaan jatkuvan vielä hankkeen valmistumisen jälkeen. Tämä on huomioitava, jotta tulee sovituksi, kuka seurannan suorittaa ja miten toimitaan, mikäli negatiivisia muutoksia alkaa tapahtua.

Tärkeimpinä tekijöinä sulfaattimaiden hallinnan kannalta voidaan pitää onnistuneita ja hyvin ajoitettuja laboratoriotestejä sekä avointa vuoropuhelua paikallisen ELY-keskuksen kanssa. Näiden avulla välttyään yllätyksiltä suunnittelun myöhäisemmissä vaiheissa ja käsittelyrakenteista ei tehdä turhan raskaita sulfaattimaan aiheuttaman huomioimistarpeen kokoon ja vakavuuteen nähden. Kuvassa 12 on esitetty miten sulfaattimaat tulisi huomioida väylähankkeen eri vaiheissa.



Kuva 12. Sulfaattimaan huomioiminen väylähankkeen eri vaiheissa.

8 Johtopäätökset ja suositukset

Tässä työssä tehdyn tutkimuksen perusteella voidaan todeta tärkeimpänä johtopäätöksenä, että sulfaattimaita sisältävän hankkeen onnistumisen kannalta olennaisinta on sulfaattimaiden mahdollisen olemassaolon tiedostaminen hankkeen alusta asti sekä mahdollisten toimenpidetarpeiden huomioiminen aikataulutuksessa ja kustannusarvioissa.

Tehdyn tutkimuksen perusteella parhaalta ja luotettavimmalta tunnistamismenetelmältä vaikuttaa ruotsalaisten kehittämä liukoisuuskokeeseen perustuva menetelmä, joka antaa kattavan kuvan maan hapontuottopotentialista. Toisinaan hankkeen alueella toimiva ELY-keskus saattaa kuitenkin edellyttää heidän valitsemaansa tunnistusmenettelyä. Ruotsalaisten menetelmä perustuu maanäynteille tehtävään liukoisuuskokeeseen, maan rikkipitoisuuteen, raudan ja rikin suhteeseen, hehkutushäviöön, maan läpäisevyyteen sekä sulfidipitoisen maan määrään. Tarvittavien laboratorionkokeiden suorittaminen kestää noin yhden kuukauden, mikä on huomioitava suunnitteluajataulussa.

Sulfaattimaiden aiheuttaman riskin hallinnan onnistumisen kannalta merkittävintä on aikataulutus sekä avoin vuoropuhelu viranomaisten kanssa. Käytännön hankkeissa on havaittu, että avoimella vuoropuhelulla ja tiedottamisella vältytään usein ns. ylilyönneiltä käsittelyvaatimuksien kohdalla. Tieto mahdollisista sulfaattimaesiintymistä on siis syytä saattaa ELY-keskuksen tietoon mahdollisimman aikaisessa vaiheessa. Näin siellä pystytään varautumaan sulfaattimaiden olemassaoloon ja alusta asti keskustelemaan vaatimuksista ja olemaan muuten mukana suunnittelussa. Kun asiaan varaudutaan hyvissä ajoin, sen vakavuutta voidaan arvioida pidempään ja näin ollen käsittelyrakenteista ei tehdä turhan raskaita sulfaattimaesiintymien kokoon ja vakavuuteen nähden.

Jatkotutkimusta olisi syytä tehdä vielä paremman, väyläkohteille soveltuvan tunnistamis- ja luokitusmenetelmien kehittämiseksi sekä maastossa käyttökelpoisen nopean tarkastusmenetelmän kehittämiseksi. Luotettava kenttätesti nopeuttaisi sulfaattimaa-alueiden rajaamista sekä sen avulla voitaisiin tarkistaa esimerkiksi massanvaihdon yhteydessä läjitettävät maat, jolloin ns. puhtaiden maiden käsittelyltä sulfaattimaina vältyttäisiin. Edellä mainittuja tutkimuksia voitaisiin toteuttaa esimerkiksi oikealla rakennushankkeella eri kenttäkokeiden ja laboratoriotutkimusten vertailemalla sekä osallistumalla kehitteillä olevien menetelmien kehittämistyöhön sekä tekemällä yhteistyötä Ruotsissa tehtävän tutkimustyön kanssa.

Myös sulfaattimaiden aiheuttamien lisäkustannusten arviointi jäi tässä työssä hyvin alustavalle ja hankekohtaiselle tasolle. Tällainen yleisellä tasolla tehty arviointi mahdollisista lisäkustannuksista olisi hyödyllinen hankkeen taloudellisten riskien minimoimiseksi. Erityisesti sulfaattimaiden vaikutuksia rakentamiskustannuksiin tulisi tutkia lisää.

Käsittelymenetelmien osalta jatkotutkimusta voisi tehdä lentotuhkan soveltuvuudelta vesien neutralointiin ja sen neutraloimiskyvyn selvittämiseksi.

Jatkoa varten olisi myös hyödyllistä pyrkiä määrittämään jonkinlaiset esimerkiksi hapontuottopotentiaaliin perustuvat raja-arvot sille, milloin maat vaativat tietynlaisen vähimmäiskäsittelyn. Todellisten happamien sulfaattimaiden ympäristövaikutus eroaa potentiaalisten happamien sulfaattimaiden ympäristövaikutuksesta ja potentiaalisten happamien sulfaattimaiden ympäristövaikutukset vaihtelevat paljon alueittain. Näin ollen ei ole tarkoituksenmukaista käsitellä kaikkia maita välttämättä samalla tavalla. Toimenpiderajojen asettamista varten olisi myös hyödyllistä selvittää vielä tarkemmin maan hapontuottoa. Kuinka monta kiloa happoa tulee esimerkiksi tietyn kokoisen läjitysalueen pinnan happamoitumisen seurauksena ja missä ajassa?

Tämän tutkimuksen ja tarkempien jatkotutkimusten perusteella tulisi laatia Liikenneviraston ohje, miten sulfaattimaat huomioidaan väylähankkeissa suunnittelusta ylläpitoon.

9 Yhteenveto

Happamat sulfaattimaat on huomioitava väylärakentamisessa, kun ne maan kaivamisen myötä tulevat alttiiksi ilmakehän hapelle ja maan sisältämät sulfidit hapettuvat sulfaateiksi. Hapettumisen seurauksena muodostuu rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä siinä luontaisesti esiintyviä metalleja. Sateen mukana hapant rikkihappo sekä liuenneet metallit valuvat ympäröiviin vesistöihin aiheuttaen vesistöjen pH:n laskua ja metallikuormituksen lisääntymistä.

Väylähankkeissa tärkeää on sulfaattimaiden havaitseminen ja happamoittavan vaikutuksen arvioiminen luotettavasti ja suunnittelun kannalta tarpeeksi aikaisessa vaiheessa. Perinteisesti käytetyt menetelmät ovat aikaa vieviä mutta toisaalta ns. pikamenetelmät eivät välttämättä ole luotettavia.

Happamat sulfaattimaat ovat usein savia, mikä väylärakentamisen näkökulmasta tarkoittaa, että maapohjaa on vahvistettava jotenkin, jotta sille rakentaminen on mahdollista. Juuri pohjanvahvistuksen suunnittelu ja toteutus onkin ratkaisevassa asemassa ehkäisemässä sulfaattimaan aiheuttamia ympäristövaikutuksia. Ensisijaisesti suunnittelussa tulee pyrkiä siihen, ettei sulfaattimaita tarvitse häiritä kaivamalla. Tällöin pohjanvahvistuksessa käytetään pääasiassa paalutusta tai stabilointia. Sulfaattimaita stabiloidessa on otettava huomioon, että sideainetta tarvitaan yleensä tavannomaista enemmän, jotta vaaditut lujuudet saavutettaisiin. Myös sideaineen valintaan on kiinnitettävä huomiota, sillä sementin ja kalkin lisäksi voidaan tarvita lisäseosaineita, kuten lentotuhkaa, kipsiä tai masuunikuonaa. Paalutusta käytettäessä on otettava huomioon sulfaattimaiden korroosiovaikutukset teräspaalujen korroosiovaroissa ja teräsbetonipaalujen betonin rasitusluokassa.

Mikäli nämä eivät ole mahdollisia tai kustannukset nousevat liian korkeiksi, on alueelle tehtävä massanvaihto. Massanvaihdon toteutuksessa kriittistä on poiskaivettavien massojen läjityksen onnistuminen siten, ettei läjitysalueelta tule hapanta tai metallipitoista valuntaa ympäristön vesistöihin. Ratkaisuna voidaan käyttää esimerkiksi läjitysalueen vesien neutralointia kalkilla. Läjitysmaiden suora neutralointi puolestaan vaikuttaa Suomen olosuhteisiin sopimattomalta ja tehottomalta menetelmältä.

Aikaisemmin saatavilla ei ole ollut kattavaa sulfaattimaihin liittyvää ohjeistusta. Työn tavoitteena olikin tutkia ja vertailla olemassa olevia tunnistamis- ja luokittelu- sekä käsittelymenetelmiä ja niiden pohjalta luoda suositus siitä, kuinka sulfaattimaat tulisi huomioida väylähankkeen eri suunnitteluvaiheissa. Myös yleisen tietoisuuden lisääminen sulfaattimaihien liittyen on koettu tarpeelliseksi.

Suurimpana haasteena sulfaattimaihien liittyen on niiden luotettava ja tehokas tunnistamistapa. Ns. turhaa työtä voi aiheuttaa myös ongelman mahdollinen liioittelu. Tekniset ratkaisut sulfaattimaiden hallintaan ovat usein toimivia eikä niiden suunnittelu itsessään aiheuta ongelmia.

Suurimmat riskit sulfaattimaa-alueilla sijaitsevilla hankkeilla ovatkin siis usein aika- ja taloudellisia. Mikäli sulfaattimaiden esiintymistä ei havaita tarpeeksi ajoissa, voi projektin aikataulu venyä todella paljon. Sulfaattimaiden esiintyminen hankealueella aiheuttaa käsittelyn ja aikataulun kautta hankkeelle myös taloudellisia riskejä.

Sulfaattimaiden käsittelymenetelmän valinnalle ei voida antaa yleistä ohjeistusta, sillä valittava menetelmä riippuu hyvin paljon hankkeen muista olosuhteista ja muun muassa paikallisen ELY-keskuksen vaatimuksista. Käsittelymenetelmän ratkaisevat usein kokonaiskustannukset.

Olenneisinta on siis sulfaattimaiden mahdollisen olemassaolon tiedostaminen tarpeeksi ajoissa, mahdollisiin kenttä- ja laboratoriotutkimuksiin varautuminen aikataullisesti ja taloudellisesti sekä avoin vuoropuhelu viranomaisten kanssa liittyen sulfaattimaiden käsittelyyn käytettäviin vaatimuksiin ja ratkaisuihin.

Lähdeluettelo

Andersson, M. & Norrman, T. (2004). Stabilisering av sulfidjord, arbetsrapport 33, Linköping: Svensk Djupstabilisering.

Auri, J., Edén, P., Martinkauppi, A. & Rankonen, E. (2014). Työohje happamien sulfaattimaiden kartoitukseen. Kokkola: Geologian tutkimuskeskus. Verkkojulkaisu saatavissa: <http://www.syke.fi/download/noname/%7B26BE0934-7257-4F8F-B102-394CE72EF69F%7D/59200> [19.1.2016].

Autiola, M., Hakanen, T., Kaarankainen, V., Lindroos, N., Mäkelä, A. & Ratia, K. (2012). Excavation practises in sulfide clay areas, in project highway no. 8 Sepänkylä bypass Vaasa-Mustasaari. Julkaisusta: Österholm P, Yli-Halla, M ja Edén P (toim.) 7th International Acid Sulfate Conference in Vaasa, Finland 2012, Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceeding volume. Vaasa, Geologian tutkimuskeskus: 16.

Boman, A. (2008). Sulphur Dynamics in Boreal Potential and Actual Acid Sulphate Soils Rich in Metastable Iron Sulphide. 2008 Turku: Åbo Akademi. ISBN: 978-952-12-2214-6.

Boman, A. (2015) Tohtori, Geologian tutkimuskeskus, sähköpostinvaihto 10-11/2015.

Dear, SE., Moore, NG., Dobos, SK., Watling, KM. & Ahern, CR. (2002). Soil Management Guidelines. Julkaisusta: Queensland Acid Sulfate Soil Technical Manual. Department of Natural Resources and Mines, Indooroopilly, Queensland, Australia.

Edén, P., Rankonen, E., Auri, J., Yli-Halla, M., Österholm, P., Beucher, A. & Rosendahl, R. (2012). Definition and classification on Finnish acid sulfate soils. Julkaisusta: Österholm, P., Yli-Halla, M. ja Edén, P. (toim.) 7th International Acid Sulfate Conference in Vaasa, Finland 2012, Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceeding volume. Vaasa, Geologian tutkimuskeskus: 29-30.

Edén, P., Auri, J., Rankonen, E., Martinkauppi, A., Österholm, P., Beucher, A. & Yli-Halla, M. (2012) Mapping Acid Sulfate Solids in Finland: Methods and Results. Julkaisusta: Österholm, P., Yli-Halla, M. ja Edén, P. (toim.) 7th International Acid Sulfate Conference in Vaasa, Finland 2012, Towards Harmony between Land Use and the Environment, Proceeding volume. Geologian tutkimuskeskus. Opas 56:31–33.

Eklund, M. (2014). Sulfidisavien tutkiminen, ympäristö- ja pohjatutkimuspäivä 29.10.2014, Geologian tutkimuskeskus. Verkkojulkaisu saatavissa <http://www.getunderground.fi/getfile.ashx?cid=506666&cc=3&refid=14> [19.1.2016].

Environment Protection Authority (2007). Site contamination – acid sulfate soil materials, EPA Guidelines 638/07 Verkkojulkaisu saatavissa: www.epa.sa.gov.au/files/8371_guide_sc_acid.pdf [3.6.2015].

Envitop Oy (2014). Tutkimusraportti, 3.11.2014 Oulu: Envitop Oy.

Envitop Oy (2014). VT 7 Hamina-Vaalimaa, maanäytteiden happotuottopotentialin tutkiminen. Tarjous 2.10.2014 Oulu: Envitop Oy.

Envitop Oy (2014). VT 7 Hamina-Vaalimaa, maanäytteiden happotuottopotentiaalin tutkiminen, jatkotutkimus. Tarjous 24.10.2014 Oulu: Envitop Oy.

Fey, D. (2003). Acid-Base Accounting. Billings Symposium/ASMR Annual Meeting. Assessing the Toxicity Potential of Mine-Waste Piles Work-shop. US. Geologian Survey. Verkkojulkaisu saatavissa:
http://www.swrcb.ca.gov/academy/courses/acid/supporting_material/usgs_acidbaseacct.pdf.

Finnsementti (2015). Stabilointiesite. Verkkojulkaisu saatavissa:
<http://www.finnsementti.fi/index.php?id=275> [5.1.2016].

Food and Agriculture Organization of The United Nations (2014). World reference base for soil resources 2014, International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps, World soil resources reports 106. Rooma: FAO/YK.

Forsman, J., Jyrävä, H., Lahtinen, P., Niemelin, T. & Hyvönen, I. (2014). Massastabilointikäsikirja. Espoo: Ramboll Finland Oy. Verkkojulkaisu saatavissa:
http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf [1.10.2015].

Geologian tutkimuskeskus (2012). Happamat sulfaattimaat, esiintyminen ja tunnistaminen –esite. Kokkola: Geologian tutkimuskeskus. Verkkojulkaisu saatavissa:
http://www.gtk.fi/export/sites/fi/tutkimus/tutkimusohjelmat/yhdyskuntarakentaminen/HaSu_suo.pdf [5.1.2016].

Geopalvelu Oy (2014). VT 7 Ha-Va, pohjatutkimukset, näytteenotto. Tarjouskustannusarvio 1.10.2014 Tampere: Geopalvelu Oy.

Geopalvelu Oy (2014). VT 7 Ha-Va, pohjatutkimukset, näytteenotto 2. vaihe. Tarjouskustannusarvio 24.10.2014 Tampere: Geopalvelu Oy.

Harmanen, H. (2007). Sulfaattimaat ja seleeni. Helsinki: Helsingin yliopisto, Maa-talous-metsätieteellinen tiedekunta, soveltavan biologian laitos, julkaisu n:o33. Verkkojulkaisu saatavissa:
<https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/1975/7633/Acr36.tmp.pdf?sequence=4> [23.9.2015].

Heikkinen, S. (toim.) (2009). Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan. Geofoorum 2/2009:14–15.

Joensuu, S., Kauppila, M., Lindén, M. & Tenhola, T. (2012). Vesiensuojeluopas, Jyväskylä: Metsätalouden kehittämiskeskus Tapio, ISBN 978-952-257-515-9 (PDF). Jätelaki 646/2011. Helsinki: Ympäristöministeriö 17.6.2011.

Kangas, J. (2010) Happamien sulfaattimaiden luokitus, Oulu: Oulun yliopisto. Verkkojulkaisu saatavissa: <http://www oulu.fi/poves/pages/publ/dipl/jaanakangas.pdf> [15.8.2015].

Karppinen, H., Komulainen, H., Kousa, A., Nikkarinen, M. & Tornivaara, A. (2012). Haitalliset alkuaineet Kainuun kaivovesissä – Loppuraportti. Kajaani: Kainuun maakunta –kuntayhtymä. Verkkodokumentti saatavissa:
<https://www.ely-keskus.fi/documents/10191/1145691/Haitalliset+aineet+-loppuraportti.pdf/0a5f2c19-0504-4c9f-86fo-4fa6c2a0ad98> [2.2.2016].

Kerko, E., Rantanen, T., Patjas, E. & Huhtonen, S. (2014) Sulfaattimaat väylähankkeissa, esiselvitys, Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2014, Helsinki: Liikennevirasto.

Laki vesienhoidon ja merenhoidon järjestämisestä 1299/2004. Helsinki: Ympäristöministeriö 30.12.2004.

Liao, B., Huang, L.N., Ye, Z., Lan, C.Y. & Shu, W.S. (2007). Cut-off Net Acid Generation pH in Predicting Acid-Forming Potential in Mine Spoils. *Journal of Environmental Quality* vol. 36/2007: 887-891, Madison WI: ASA.

Liikennevirasto (2011). Kevennysrakenteiden suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 5/2011, Helsinki:Liikennevirasto. ISBN: 978-952-255-638-7.

Liikennevirasto (2011). Massanvaihdon suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 11/2011, Helsinki: Liikennevirasto. ISBN: 978-952-255-676-9.

Liikennevirasto (2012). Sillan geotekninen suunnittelu, Liikenneviraston ohjeita 11/2012, Helsinki: Liikennevirasto. ISBN: 978-952-255-143-6 (pdf).

Liikennevirasto (2015). Geotekniset tutkimukset ja mittaukset, suunnitteluvaiheen ohjaus, luonnos. Saatavissa: http://portal.liikennevirasto.fi/portal/page/portal/f/urakoitsijat_suunnittelijat/konsulteille/tekninen_osaaminen/Geotekniset_tutkimukset_ja_mittaukset_lausuntoversio%2012012015.pdf [18.6.2015].

Liikennevirasto (2015). Sulfidisavien käsittely ja sijoittaminen menettelyohje, E18 Hamina-Vaalimaa-elinkaarihankkeen (PPP) palvelusopimus, 12.1.2015, Helsinki: Liikennevirasto.

Liikennevirasto (2015). Tarkennus Sulfidisavien käsittely ja sijoittaminen, menettelyohjeeseen, 18.8.2015, Poitsila:YIT.

Lindroos, N., Autiola, Lahtinen, Kreft-Burman & Mäkelä (2012) Stabilisation as an alternative for mass exchange for clays with high sulphide content. Julkaisusta: Arm, M., Vandecasteele, C., Heynen, J., Suer, P. & Lind, P. (toim.) WASCON 2012, proceedings of the 8th International conference on Sustainable management of waste and recycled materials in construction. Göteborg: SGI.

Länsi- ja Sisä-Suomen Aluehallintovirasto (2011). Päätös nro 128/2011/1, annettu 21.10.2011, Vaasa: Aluehallintovirasto.

Länsi- ja Sisä-Suomen Aluehallintovirasto (2012). Päätös nro 120/2012/2, annettu 28.12.2012, Kokkola: Aluehallintovirasto.

Maa- ja metsätalousministeriö (2011). Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020, Tampere: Maa- ja metsätalousministeriö, Ympäristöministeriö. ISBN: 978-952-453-628-8.

Mácsik, J. (2000). Försurningspotential i sulfidjord – Metodutveckling/förstudie, Rapport till Botniabanan och banverket, 28.6.2000. Luulaja: Luulajan teknillinen yliopisto.

Mácsik, J., Fägerman, T., Petterson, J. (2016). Hantering av sulfidjord – några vanliga frågeställningar. Bygg & Teknik 1/16: 68-71.

Malmivaara, K-M. (2015). Suunnittelupäällikkö, YIT Rakennus Oy, keskustelu 8.10.2015.

Malmivuori, M. (2013). Henkilökohtainen puheenvuoro keskustelutilaisuudessa. (toim.) Huhtonen S. Sulfaattimaat ja väylähankkeet esiselvitys, keskustelutilaisuuden muistio, 30.10.2013, Helsinki: Liikennevirasto.

Mills, C. (2008). Acid Base Accounting (ABA) Test Procedures. Verkkojulkaisu saatavissa: <http://technology.infomine.com/enviromine/ard/Acid-Base%20Accounting/acidbase.htm> [26.1.2016].

Multanen, E. (2016) Ympäristöpäällikkö, YIT Rakennus Oy, sähköpostinvaihto 1-2/2016.

Mäenpää, M. & Tolonen, S. (toim.) (2011). Kooste vesienhoitoalueiden vesienhoito-suunnitelmista vuoteen 2015, Suomen ympäristö 23/2011, Helsinki: Suomen ympäristökeskus. ISBN: 978-952-11-3925-3 (pdf).

Pasanen, K. (2014) Sulfidimaiden käsittely tierakentamisessa - Case: vt 8 Sepänkylän ohikulku. 4/2014 Tampere: Tampereen ammattikorkeakoulu.

Petterson, J. (2016) Diplomityöntekijä, Luulajan teknillinen yliopisto, sähköpostinvaihto 1-2/2016.

Pousette, K., Knutsson, S. (2006). Hur ska uppgrävd sulfidjord hanteras? Bygg & Teknik vol. 06: nro. 2, 59-62.

Pousette, K. (2007). Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordmassor. Teknisk rapport 2007:13, Luulaja: Luulajan teknillinen yliopisto.

Pousette, K., Eriksson, L., Knutsson, S. (2008). Acidification properties of sulphide soil – a classification system based on leaching tests. Julkaisusta: Flate K, Frydenlund T-E, Prestegarden J & Senneset K (toim.) *Nordisk Geoteknikermøte i Sandefjord 4.-6. september 2008*. Norsk Geoteknisk Forening: 415-422.

Pousette, K. (2010). Miljöteknisk bedömning och hantering av sulfidjordsmassor, forskningsrapport. 6/2010 Luulaja: Luulajan teknillinen yliopisto.

Stenvall, M. (2007). Neutraloimispotentiaalain määrittäminen sulfidipitoisista kaivosjät-teistä. Julkaisusta: Salminen R (toim.) Kahdeksannet geokemian päivät 13.-14.2.2007. Sarja B No 86, 2007. ISBN 978-952-9618-56-9.

Törnqvist, J. (2016). Asiantuntija, Tmi Infrakehitys Törnqvist, puhelinkeskustelu 14.1.2016 ja sähköpostinvaihto 27.1.2016.

Uotinen, V-M. (2016). Geoasiantuntija, Liikennevirasto, keskustelu 14.1.2016.

Uusi-Kämppe, J., Virtanen, S., Rosendahl, R., Österholm, P., Mäensivu, M., Westberg, V., Regina, K., Ylivainio, K., Yli-Halla, M., Edén, P. & Turtola, E. (2013). Ympäristöriskien vähentäminen happamilla sulfaattimailla – Opas pohjaveden pinnan säätämiseksi, Jokioinen: MTT. ISBN: 978-952-487-421-2.

Ympäristöministeriö (2014). Maa-ainesten hyödyntäminen – opas kaivettujen maa-ainesten luokittelusta jätteeksi ja hyödyntämiskelpoisuuden arvioinnista, luonnos 20.3.2014. Verkkodokumentti saatavissa: <http://www.ymp.fi/download/noname/%7BB2D6384E-7F3D-42D4-AB3E-A009C242131C%7D/97783> [30.9.2015].

Ympäristöministeriö (2015). Sedimenttien ruoppaus- ja läjitysohje, ympäristöhallinnon ohjeita 1/2015, Helsinki: Ympäristöministeriö. ISBN: 978-952-11-4448-6.

Valtioneuvoston asetus vesienhoidon järjestämisestä 1040/2006. Helsinki: Ympäristöministeriö.

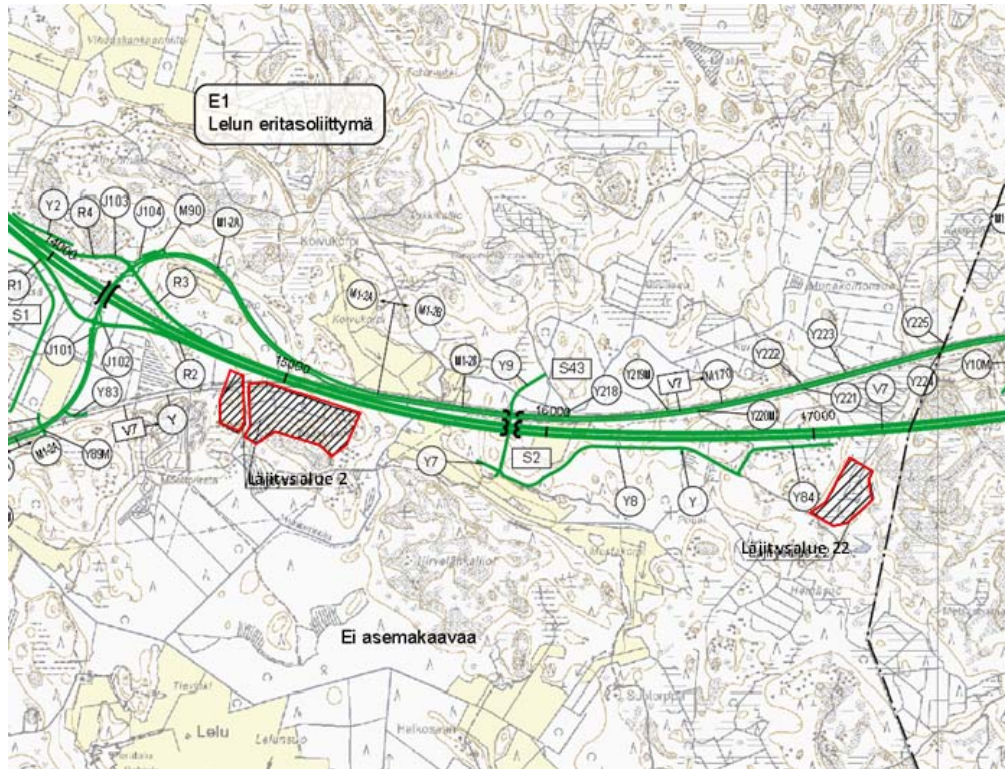
Valtioneuvoston asetus vesitalousasioista 1560/2011. Helsinki: Oikeusministeriö 29.12.2011.

Vesilaki 587/2011. Helsinki: Oikeusministeriö 27.5.2011.

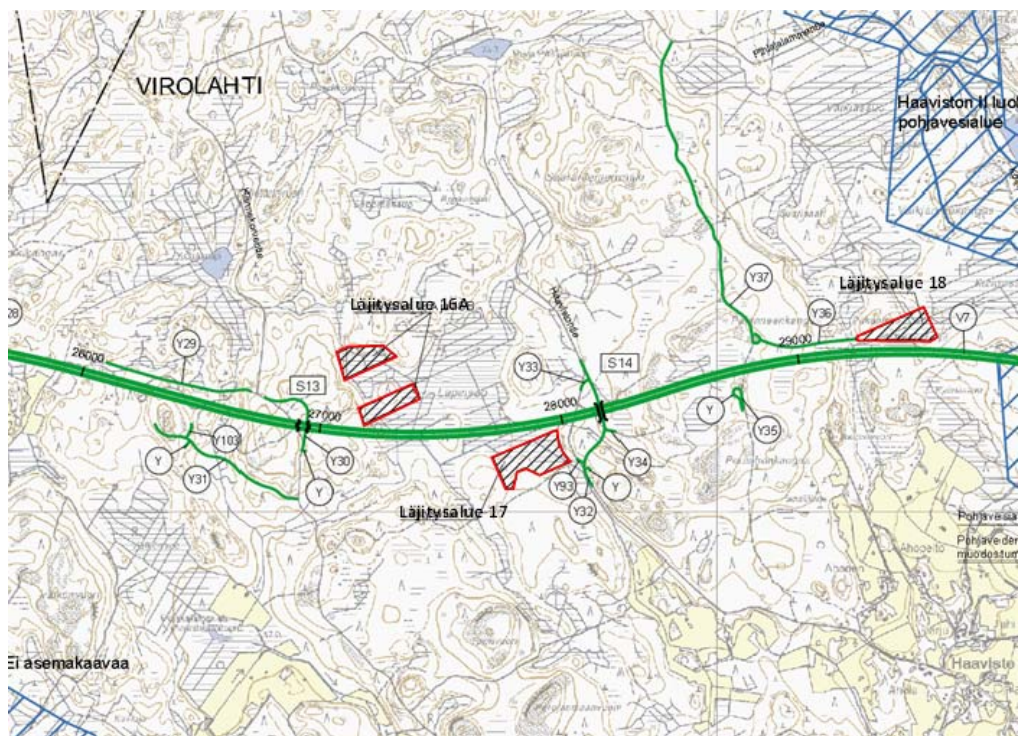
Vestola, E. & Mroueh, U-M. (2008). Sulfaatinpelkistyksen hyödyntäminen happamien kaivosvesien käsittelyssä, Opas louhoskäsittelyn hallintaan. Helsinki: VTT. ISBN: 978-951-38-6983-0.

Öster, H. (toim.) (2009). Rannikkoalueiden happamille sulfaattimailla tehdään yleiskartoitus. Geofoorumi 1/2012:8–10.

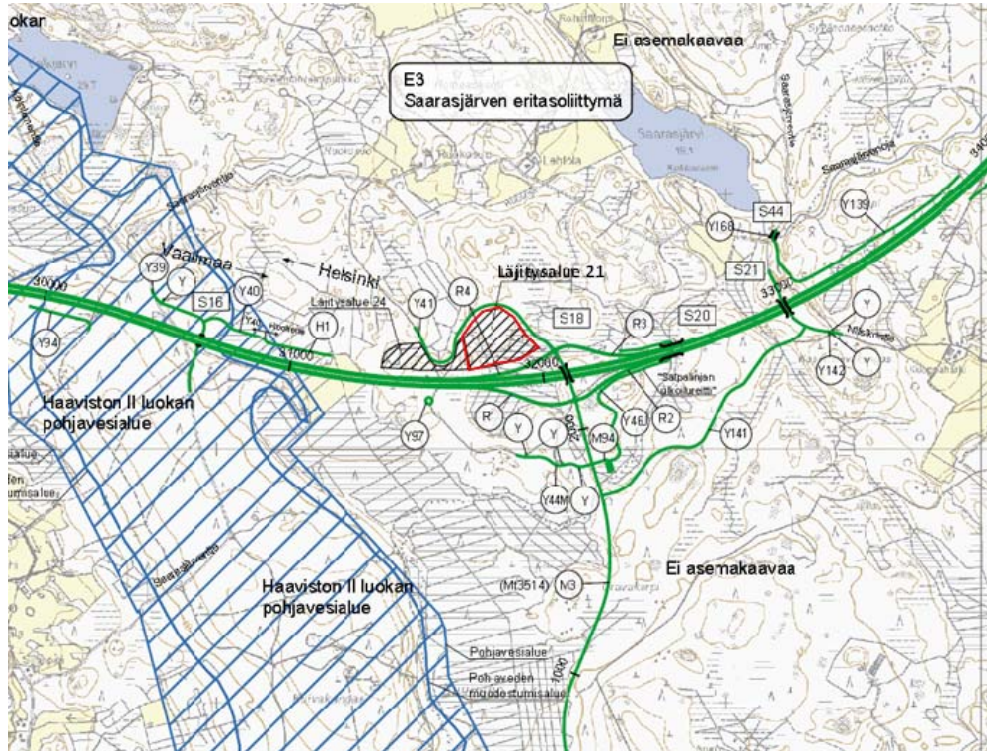
Hamina–Vaalimaa-hankkeelle suunnitellut lajitysalueet, joille läjitetään sulfidisavea



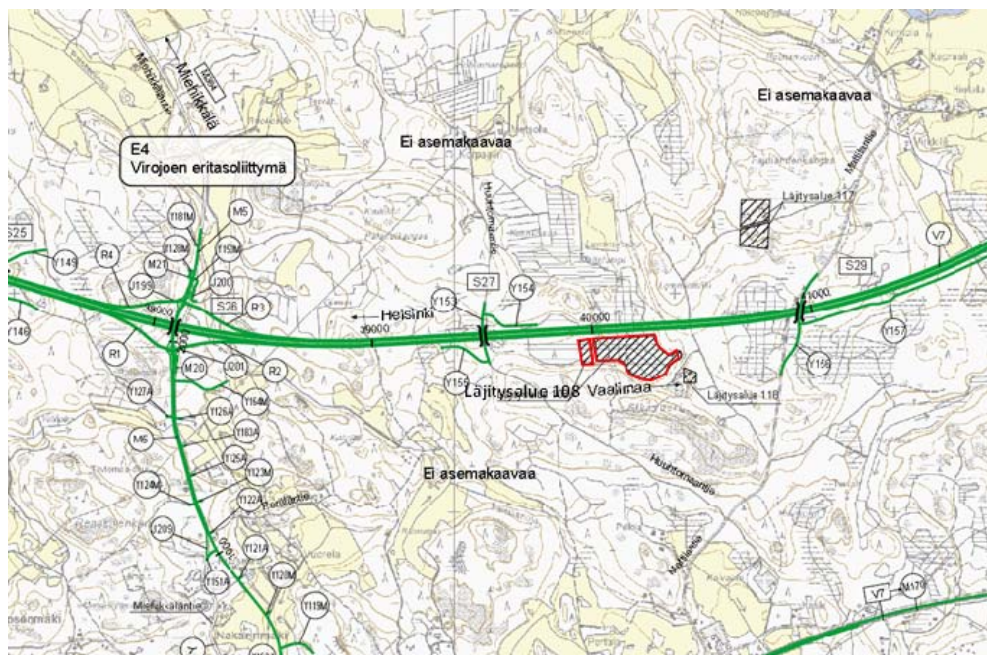
Kuva 1. Lajitysalueet L2 ja L22 Lelun eritasoliittymän alueella



Kuva 2. Lajitysalueet L16A, L17 ja L18

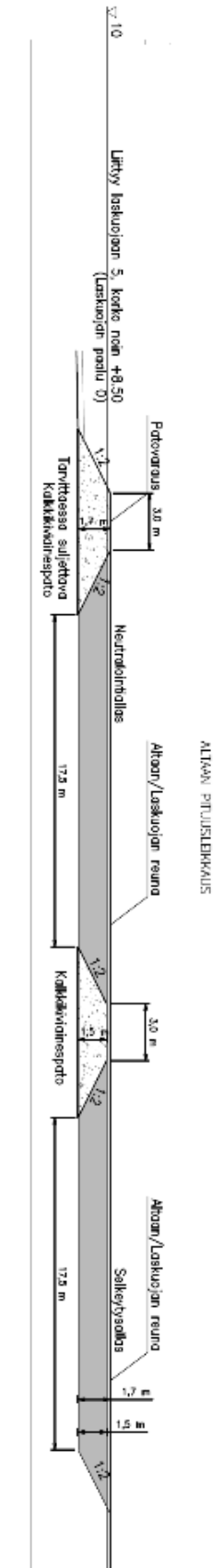


Kuva 3. Läjäytysalue L21 Saarasjärven eritasoliittymän alueella



Kuva 4. Läjäytysalue L108 Virojoen eritasoliittymän alueella

Pato-allas-pato-rakenteen pituusleikkaus läjitysalueelta L22



Kaivuutyöt tunnistetun sulfidisaven alueella -ohje

17.8.2015 YIT / EIJA MULTANEN



Kuva 1. Liikenneviraston ennakkotutkimuksissa tunnistetut sulfidisaven alueet hankealueella.

1. Hapan sulfaattimaa

Happamilla sulfaattimailta tarkoitetaan rikkipitoisia maita, joissa sulfidipitoisen maakerroksen päästessä kosketuksiin ilman hapen kanssa syntyy rikkihappoa, jonka seurauksena maaperä on happamoitunut. Sulfaattimaille ei ole olemassa yksiselitteistä määritelmää esim. rikkipitoisuuden perusteella. Suomessa happamat sulfidimaat liittyvät usein Itämeren aikaisemman vaiheen, Litorinameren, aikaisiin savikerrostumiin. Litorinameren aikaiset happamat sulfaattimaa ovat yleensä maalajiltaan **savea, silttiä tai liejua**.

Happamoitumisesta voi aiheutua haittaa esim. happamassa sulfaattimaassa / rikkipitoisessa maassa sijaitseville rakenteille. Happamien sulfaattimaiden merkittävimmät vaikutukset liittyvät yleensä pintavesien laadun heikkenemiseen (pH muutokset ja haitallisten alkuainepitoisuuksien kasvu) ja sen seurauksena vaikutukset vesistöjen eliöstöön tai kalastoon. Mikäli happamia pintavesiä pääsee imeytymään maaperään ja edelleen pohjaveteen voi seurauksena olla pohjaveden laadun heikkeneminen.

Tästä syystä sulfidisavia saa läjittää vain erikoisratkaisuin niiden käsittelyyn rakennetuille läjitysalueille. Sulfidisavia ei saa läjittää kaikille hankealueen läjitysalueille.

2. Sulfidisaven tunnistaminen

Työskentelyn aikana tehdään jatkuvaa tarkkailua sulfidisavien havaitsemiseksi. Havainnointi tehdään *Sulfidisavien käsittely ja sijoittaminen - Menettelyohje (12.1.2015)* -ohjeen mukaisesti:

Kaivettavia maita tarkkaillaan **aistinvaraisesti = silmillä ja nenällä**. Happamia sulfaattimaita on kahden tyyppisiä:

1) todellinen hapan sulfaattimaa

- hapettuneita, pohjaveden pinnan yläpuolella olevia sulfidipitoisia sedimenttejä
- on usein **ruskean värinen** johtuen mm. hapettumisen seurauksena syntyneiden raudan oksidien muodostumisesta

2) potentiaalinen hapan sulfaattimaa

- sulfidipitoinen maa, joka on veden kyllästämä ja pohjaveden pinnan alapuolella, minkä johdosta maakerroksen hapettuminen ei ole alkanut
- on yleensä väriltään **tumma/musta ja voi haista mädälle kananmunalle (vapautuvan rikin haju)**

Sulfidisavi-termiä käytetään kuvaamaan näitä molempia, sekä 1- ja 2-tyyppisiä happamia sulfaattimaita.

3. Työskentelyalue ja ohjeet

Liikenneviraston teettämien tutkimusten perusteella E18 hankealueella on *Tunnistetun sulfidisaven alueita* kuvan 1 mukaisesti.

1) Työskenteletkö nyt *Tunnistetun sulfidisaven alueella*?

Kyllä - jatka kysymykseen 2)

Ei - tarkkaile kaivumaita luvun 2 ohjeiden mukaisesti. Ilmoita mahdollisesta sulfidisaviepäilystä YIT:n työnjohdolle

2) Onko sulfidisavien käsittelyohjeet kirjattu työsuunnitelmaan?

Kyllä - ohjeet on kirjattu tähän liitteeseen

Kyllä - ohjeet on kirjattu lisäksi mihin? (suunnitelman nimi):

Ei/ En tiedä - pyydä ohjeet YIT työnjohdolta ennen töiden jatkamista

4. Työskentely

Tunnistetun sulfidisaven alueilla (Kuva 1), ei kaivutöitä saa suurten massanvaihtokaivantojen osalta tehdä, ennen kuin sulfidisavien läjitykseen tarkoitettu läjitysalue on valmis. Läjitysalueen käyttöön otosta ilmoitetaan erikseen.

Hankealueella saa suorittaa putki- ja johtosiirtojen kaivuutöitä, siltojen maarakennustöitä tai muita vastaavia pieniä kaivuutöitä.

Johto- ja putkisiirroissa kaivumassat nostetaan kaivannon rinnalle putken tai johdon asennustyön ajaksi. Kaivumassat nostetaan mahdollisuuksien mukaan kaivannon sille puolelle, joka on kauempana lähellä kulkevasta ojasta. Tarvittaessa kaivumassat voidaan peittää pressulla. Kaivumassat käytetään kokonaisuudessaan hyödyksi putkikaivannon täyttövaiheessa.

Kaivantoon kerääntyviä vesiä ei saa pumpata pois kaivannosta, ennen kuin ne on todettu saman laatuiseksi kuin ympäröivät luonnon vedet esim. läheisessä ojassa.

5. Veden laadun tarkkailu

Kaivannossa olevan veden laatu todetaan seuraavilla tavoilla:

1. Suoritetaan pH-vertailumittaus kaivantoon alueen läheisestä ojasta tai muusta lähistön vesistöstä.

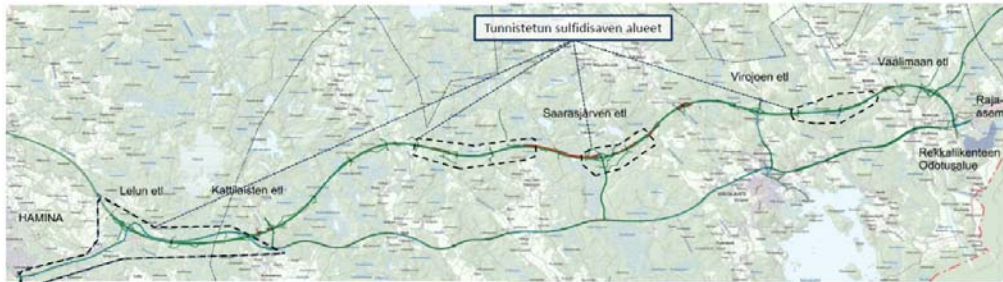
2. Suoritetaan pH-mittaus kaivantoon kertyneestä vedestä ennen pumppaamisen aloitusta ensimmäistä kertaa. Työn aikana kaivantoon kertyvien vesien määrää ja laatua tarkkaillaan aistinvaraisesti. Jos veden laadussa huomataan merkittävä muutos, pH-mittaus toistetaan. PH-mittaus toistetaan kaivantotöiden aikana kerran viikossa ennen pumppausta, mikäli pumppaustarvetta ilmenee.

3. Näytteiden tuloksia verrataan keskenään:

- Jos kaivannosta otettu näyte todetaan merkittävästi happamammaksi (pH-arvo merkittävästi pienempi) kuin lähistön vesistöstä otettu vertailunäyte, niin veden laatua parannetaan kaivannossa ennen pumppaamista.
- o Tarvittaessa kaivannossa olevan veden pH-tasoa nostetaan sekoittamalla kalkkikivijauhetta pumppauksen yhteydessä kaivantoon. Vesien pumppaus pois kaivannosta voidaan aloittaa, kun kaivannossa olevan veden happamuus on samaa tasoa, kuin yläjuoksulta otetun vertailunäytteen pH.
- Jos kaivannon vesi todetaan saman laatuiseksi (pH-arvo samaa luokkaa) kuin vertailunäytteen tulos, niin vesien pumppaaminen voidaan aloittaa heti.

Sulfidisaven tunnistusohje puhtaille alueille

29.7.2015 YIT / EIJA MULTANEN



Kuva 1. Liikenneviraston ennakkotutkimuksissa tunnistetut sulfidisaven alueet hankealueella.

Liikenneviraston teettämien tutkimusten perusteella E18 hankealueella on *Tunnistettujen sulfidisaven alueita* kuvan 1 mukaisesti.

1) Työskenteletkö nyt *Tunnistettujen sulfidisaven alueella*?

Kyllä - jatka kysymykseen 2)

Ei - siirry ohjeisiin tämän dokumentin lopussa

2) Onko sulfidisavien käsittelyohjeet kirjattu työsuunnitelmaan?

Kyllä - ohjeet on kirjattu mihin? (suunnitelman nimi):

Ei/ En tiedä - pyydä ohjeet YIT työnjohdolta ennen töiden jatkamista

Jos vastasit kysymykseen 1) Ei, toimi näiden ohjeiden mukaisesti:

Kaivettavia maita tarkkaillaan **aistinvaraisesti = silmillä ja nenällä**. Happamia sulfaattimaita on kahden tyyppisiä:

1) **todellinen hapan sulfaattimaa**

- hapettuneita, pohjaveden pinnan yläpuolella olevia sulfidipitoisia sedimenttejä
- on usein **ruskean värinen** johtuen mm. hapettumisen seurauksena syntyneiden raudan oksidien muodostumisesta.

2) **potentiaalinen hapan sulfaattimaa**

- sulfidipitoinen maa, joka on veden kyllästämä ja pohjaveden pinnan alapuolella, minkä johdosta maakerroksen hapettuminen ei ole alkanut
- on yleensä **tumma/musta ja voi haista mädälle kananmunalle (vapautuvan rikin haaju)**

Sulfidisavi-termiä käytetään kuvaamaan 1- ja 2-tyyppisiä happamia sulfaattimaita.

JOS HAVAITSET/EPÄILET HAVAINNEESI SULFIDIMAATA:

- pysäytä työt ko. kaivuukohteessa välittömästi
- ilmoita löydöstä/epäilystä heti
 - o YIT:n työnjohdolle sekä
 - o ympäristöpäällikkö Eija Multaselle puh. 0505376581

ISSN 2343-1741
ISBN 978-952-317-259-3
www.liikennevirasto.fi

Liik
enne
vira
sto

