

Saimaan ammattikorkeakoulu  
Tekniikka Lappeenranta  
Insinööri  
Rakentaminen YAMK

Katariina Hämäläinen

## **Sulfidisavitutkimukset Espoossa – tulosten koon- ti ja vertailu tavanomaisiin maanäytetutkimustu- loksiin**

Opinnäytetyö 17.3.2018

## Tiivistelmä

Katariina Hämäläinen

Sulfidisavitutkimukset Espoossa – tulosten koonti ja vertailu tavanomaisiin maanäytetutkimustuloksiin, 88 sivua, 4 liitettä

Saimaan ammattikorkeakoulu

Tekniikka Lappeenranta

Insinööri YAMK

Rakentaminen

Opinnäytetyö 17.3.2018

Ohjaajat: lehtori Sami Kurkela Saimaan ammattikorkeakoulu

geotekniikkapäällikkö Matti Kaurila Geotekniikkayksikkö Espoon kaupunki

Tässä opinnäytetyössä oli tarkoitus koota, käydä läpi ja tilastoida Espoon alueella tehdyt yksittäiset sulfidi- ja/tai korroosiotutkimukset ja viedä ne kaupungin yhteiseen paikkatietojärjestelmään. Näistä yksittäisistä maanäytetutkimuksista oli tarkoitus tutkia, löytyykö niiden avulla maanäytteen vesi- ja humuspitoisuuden raja-arvoja, joilla voitaisiin arvioida Espoon alueella olevien Litorinamerivaiheen savisedimenttien maanäytteistä, onko niissä riskiä sille, että ne olisivat hapanta sulfaattimaata. Lisäksi tavoitteena oli laatia karttatulkinta luotuun riskitulkintaan perustuen. Tämä opinnäytetyö laadittiin Espoon geotekniikkayksikön tarpeesta.

Espoon alueella tehdyt yksittäiset sulfidi- ja/tai korroosiotutkimukset koottiin yhteen ja tilastoitiin kaavioiden ja taulukoiden avulla Excel-taulukkoon, sekä yksittäiset maanäytepisteet tallennettiin kaupungin yhteiseen paikkatietojärjestelmään. Olemassa olevasta tutkimus- ja teoria-aineistosta selvitettiin happaman sulfaattimaan määritelmää, tutkimustapoja ja -ohjeistusta, sekä happaman sulfaattimaan esiintymisen vaikutuksia.

Espoon alueelta tehdyissä korroosio- ja sulfiditutkimuksissa analysoiduista maanäytteistä etsittiin ja osittain havaittiin happaman sulfaattimaan esiintymisen riskin tunnistamiseksi vesi- ja humuspitoisuuden raja-arvot sellaisille luonnontilaisille maanäytteille, jotka sijaitsevat Espoon Litorinamerivaiheen savisedimentissä. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden riskitulkinnasta luotiin kolmiportainen maanäytteen vesipitoisuuteen, humuspitoisuuteen ja maalajiin pohjautuen. Lisäksi opinnäytetyön yhteydessä luotiin pilottialueena yhdestä tutkimusalueesta happaman sulfaattimaan esiintymisen riskitulkintakartta. Riskitulkintaa tulisi jatkossa tarkastaa ja täydentää uusilla tutkimustuloksilla ja lisäksi luotua riskitulkintakarttaa tarkentaa mm. arvioimalla kuinka isoa aluetta yksittäinen maanäyte voi edustaa. Laadittua riskitulkintaa ja riskitulkintakarttaa tulisi käyttää harkiten. Valtakunnallista ohjeistusta happaman sulfaattimaan tutkimiselle ja sen huomioon ottamiselle tulisi tarkentaa ja koulutusta lisätä.

Asiasanat: hapanta sulfaattimaata, sulfidisavi, korroosiotutkimus, maanäyte, indikaattori, raja-arvot, todennäköinen esiintyvyysalue, paikkatieto

## **Abstract**

Katariina Hämäläinen

Sulfide clay studies in Espoo – collection of results and comparison to ordinary soil sample parameter values, Number of Pages 85, Number of Appendices 5

Saimaa University of Applied Sciences, Lappeenranta

Technology, Civil and Construction engineering

Master's Thesis 17.3.2018

Instructors: Mr Sami Kurkela lecturer, Saimaa University of Applied Sciences

Mr Matti Kaurila manager of Geotechnical Unit at City of Espoo

The intent of this thesis was to put together, go through and make statistics from individual sulphite and/or corrosion studies in the Espoo area and take them to the city's common geographic information program. The intent was to study if these individual soil samples could be used to find such limiting values for water and humus quantities that could be used to estimate if there is a risk for sulphate clay in the Espoo area Litorina sea clay sediment soil samples. In addition to that another goal was to create a map, based on the created risk assessment. This thesis was made on a need from the Geotechnical unit at City of Espoo.

The individual sulphite and/or corrosion studies were put together and made into charts using Excel, in addition the individual soil samples were saved to the city's common geographic information program. Theory was studied to determine the definition of sulphate clay, ways to conduct studies and instructions and the effects of sulphite clay.

To determine if a sample is potentially sulphate clay, limiting values for water and humus quantities were searched for and partially found from corrosion and sulphite studies made from soil samples in the Espoo area Litorina sea clay sediment. Based on the quantity of water and humus in the sample and the soil type a three-step risk analysis chart was created to determine the risk of sulphate clay in a soil sample. In addition, one area was selected and piloted as a risk assessment map for sulphate clay. The risk analysis chart should be updated and re-evaluated as new studies are conducted, also the risk assessment map should be made more precise for example by determining how large of an area can one single study represent. The created risk analysis and the risk assessment map should be used with caution. The national instructions on how to study sulphate clay should be made more precise and training should be increased.

Keywords: sulphate clay, soil sample, corrosion scrutiny, sulphate soil scrutiny, indicator, limiting value, probable occurring area, geographic information

## Sisältö

Termit.....	6
1 Johdanto.....	8
2 Suomen maaperän muodostuminen.....	10
2.1 Itämeren eri vaiheiden aikana muodostuneet savisedimentit.....	11
2.2 Happaman sulfaattimaan savisedimenttikerroksien muodostuminen ..	13
2.2.1 Sulfidipitoisten sedimenttien sijainti Suomessa .....	16
2.2.2 Sulfidipitoisten sedimenttien sijainti Espoossa .....	18
3 Happamat sulfaattimaat.....	20
3.1 Happaman sulfaattimaan määritelmä .....	21
3.2 Sulfaattimaan esiintymisen vaikutuksia.....	23
3.2.1 Maaperän korroosio-ominaisuuksiin.....	24
3.2.2 Maan kaivuun ja läjitykseen .....	26
3.2.3 Stabiloitavuus .....	26
3.2.4 Ympäristövaikutukset .....	28
3.3 Sulfaattimaan tunnistaminen maanäytteistä .....	29
3.3.1 Maalaji, humuspitoisuus ja vesipitoisuus.....	30
3.3.2 Sähkönjohtavuus tai ominaisvastus .....	32
3.3.3 Maanäytteen pH.....	33
3.3.4 Sulfaatti $\text{SO}_4^{2-}$ .....	33
3.3.5 Kloridit $\text{Cl}^-$ .....	33
3.3.6 Redox-potentiaali, sulfaattia pelkistävät bakteerit (SRB).....	34
3.3.7 Kokonaisrikkipitoisuus.....	34
4 Tutkimusalueet ja tutkimuksen rajaus.....	35
4.1 Sulfidi- ja korroosiotutkimukset Espoossa.....	35
4.2 Tutkimuspisteiden vienti paikkatietokantaan.....	37
4.3 Tutkimusalueiden rajaus maaperäkartan avulla.....	38
5 Espoon alueelta tehtyjen korroosio- ja/tai sulfidimaatutkimusten tulokset .	41
5.1 Vertailtavat happaman sulfaattimaan indikaattorit .....	42
5.2 Maanäytteistä tehdyt analyysit.....	42
5.2.1 Maanäytteiden maalajit .....	45
5.2.2 Maanäytteiden humus- ja vesipitoisuudet .....	48
5.2.3 Maanäytteiden sulfaatti $\text{SO}_4^{2-}$ pitoisuudet.....	50
5.2.4 Maanäytteiden rikkipitoisuudet.....	53
5.2.5 Maanäytteiden pH:n arvot .....	55
5.3 Happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävien maanäytteiden tulokset .....	56
5.3.1 Maalajeittain .....	58
5.3.2 Humus- ja vesipitoisuuden suhteen.....	61
6 Tutkimuksen perusteella luotu riskiluokitus happaman sulfaattimaan esiintymiselle.....	66
6.1 Riskiluokitus maanäytteen humus- ja vesipitoisuuteen perustuen.....	68
6.2 Riskiluokitus maanäytteen maalajiin perustuen .....	70
7 Karttatulkinta luodun riskiluokituksen perusteella .....	72
7.1 Karttatulkinta tutkimusalueelle F .....	73
8 Yhteenvedo ja pohdinta .....	78
Kuvat.....	80
Taulukot.....	83
Lähteet.....	85



## LIITTEET

Liite 1 Tutkimuspisteiden sijoittuminen Espoon kaupungin maaperäkartan savialueille ja muodostetuille tutkimusrajauksille, yhteensä 1 sivu A3- kokoista paperia

Liite 2 Sulfidi- ja-/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden kaikki analyysitulokset, yhteensä 7 kpl A4- kokoisia papereita

Liite 3 Sulfidi- ja-/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden analyysitulokset pelkästään vertailuun valituista parametreista, yhteensä 4 kpl A4-kokoisia papereita

Liite 4 Happaman sulfaattimaan esiintymisen riskitulkintakartta tutkimusalue F, 1 kpl A3 kokoinen paperi, 1:5000 mittakaavassa

## Termit

**Happamat sulfaattimaat** ovat maaperässä luontaisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä, joista vapautuu hapettumisen seurauksena haitallisia määriä happamuutta maaperään ja vesistöihin (Auri, J. 2015). Ne ovat yleisesti hienorakeisia liejuisia maalajeja, jonka ominaisuuksilla on vaikutuksia niin maa- ja pohjarakentamisen, metsätalouden, maatalouden, että ympäristöllisistä näkökulmista katsottuna. (Eden, P. 2012)

**Humuspitoisuus** ilmoittaa maaperässä olevan orgaanisen aineksen kokonaispitoisuuden maa-aineksesta painoprosenteina. (Salonen, V-P. 2002)

**Hehkutushäviö** on maanäytteen palamisprosessissa syntyvä painonkehvenemä, joka vastaa suunnilleen maanäytteen humuspitoisuutta. (Salonen, V-P. 2002)

**Korroosio** on sähkökemiallinen tapahtuma. Korroosiolla tarkoitetaan metallien syöpymistä ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Syöpyessään metalli hapetuu. (Laitinen, K. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Teräsrakenneyhdistys. 2012.)

**Maanäyte** on pohjamaasta erityisellä näytteenottimella kuten kierrekairalla tai mäntänäytteenottimella otettu häiriintynyt tai häiriintymätön maanäyte, josta voidaan määrittää geoteknisiin laboratoriotutkimuksiin mm. rakeisuus, humuspitoisuus, vesipitoisuus, routivuus, sekä lujuus- ja muodonmuutosominaisuuksia.

**Paikkatieto** tarkoittaa tietoa kohteista, joiden paikka Maan suhteen tunnetaan. Paikkatieto kuvaa usein luonnon tai rakennetun ympäristön kohteita, mutta voi kuvata mitä tahansa toimintaa tai ilmiötä, jonka sijainti tunnetaan. (Maanmittauslaitos 2014, 22.)

**Potentiaalinen hapan sulfaattimaa** on luonnontilassa olevaa sulfidipitoista savea, joka ei ole päässyt hapen kanssa tekemisiin ja muodostamaan haitallista rikkihappoa. (Eden, P. 2012)

**Redox-potentiaali eli hapetus-pelkistys-potentiaali** on yksi monista sedimenttien kerrostumisympäristön kemiallis-minerologisista parametreista. Rau-

tamineraalit reagoivat herkästi redox-potentiaalin muutokseen, joka indikoi hapettavaa tai pelkistävää ja happiköyhää ympäristöä. (Uusinoka, R. 1984)

**Sedimentti** on *maaperän kerrostuma*. (Salonen, V-P. ym. 2002)

**Sulfidisavi** on saven sedimenttikerrostuma, joka sisältää sulfidipitoisia rautarikkimineraaleja  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{FeS}$  (Eden, P. 2012)

**Todellinen hapan sulfaattimaa** on hapen kanssa reagoinutta rikkiä sisältävää potentiaalista sulfaattimaata, joka on hapen kanssa reagoidessaan muodostanut mm. rikkihappoa, joka taas liuottaa metalleja maaperästä. (Eden, P. 2012)

**Vesipitoisuus** kertoo maa-aineksessa olevan veden määrän painoprosentteina. (Salonen, V-P. ym. 2002)

# 1 Johdanto

Happaman sulfaattimaan esiintyminen on maailmanlaajuista ja Euroopan suurimmat sulfidisaviesiintymät sijoittuvat Suomen rannikkoalueille. Sulfidisedimentteille parhaimmat muodostumisolosuhteet ovat olleet muinaisen Litorinamerivaiheen aikana. Litorinamerialueen aikana muodostuneita savisedimenttejä esiintyy myös laajasti Espoon alueella. Happaman sulfaattimaan esiintymistä on tarve tutkia sen mahdollisen esiintymisen aiheuttamien ympäristöllisten haittojen ja rakentamisessa erityisesti aggressiivisempien korroosio-olosuhteiden vuoksi. Happaman sulfaattimaan ja sulfidisavien esiintyminen voi myös lisätä välillisesti ja osin myös suoraan yksittäisen rakennushankkeen kustannuksia varsinkin, jos niiden esiintyminen tulee ilmi vasta työmaavaiheessa.

Happaman sulfaattimaan esiintyminen voidaan luotettavasti todentaa vain ottamalla sedimentistä maanäyte ja selvittämällä maanäytteelle laboratorioolosuhteissa erityisiä analyysejä. Näiden erityislaboratorioanalyysien teettäminen on verrattain hidasta ja melko kallista ja saattavat viivästyttää hankkeita. Viime vuosina Espoon kaupungin rakennushankkeissa, erityisesti katu- ja puisto- ja puistohankkeiden yhteydessä, on teetetty hankekohtaisesti tutkimuksia happaman sulfaattimaan esiintymisen todentamiseen. Laboratoriossa näiden erityislaboratorioanalyysien lisäksi maanäytteestä on usein määritetty myös ns. tavanomaisia parametreja kuten sen vesipitoisuus- ja humuspitoisuus. Näitä yksittäisiä hankekohtaisia tutkimuksia ei kuitenkaan ole viety kaupungin yhteiseen paikkatietojärjestelmään, vaan ne ovat olleet arkistoituna yksittäisinä raporteina hankkeessa mukana olleiden henkilöiden omissa arkistoissa. Näin ollen tieto tehdyistä tutkimuksista ei ole ollut kaikkien käytössä ja tieto tutkimuksista ei ole välttämättä aina siirtynyt eteenpäin. Tämän opinnäytetyön yhteydessä kootaan ja tallennetaan Espoon kaupungin alueella tehdyt yksittäiset sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuspisteet yhteiseen paikkatietojärjestelmään.

Tässä opinnäytetyössäni selvitän happaman sulfaattimaan esiintyvyyttä ja esiintymisalueita Espoon kaupungin alueella tehtyjen sulfidi- ja korroosiotutkimustulosten ja yleisen teoria-aineiston avulla. Tarve tälle opinnäytetyölle on lähtöisin siitä, että tällä hetkellä ei ole riittävän tarkkaa tietoa tai välineitä riskitason arvioimiseen siitä missä hapanta sulfaattimaata Espoon alueella esiintyy ja toisaalta

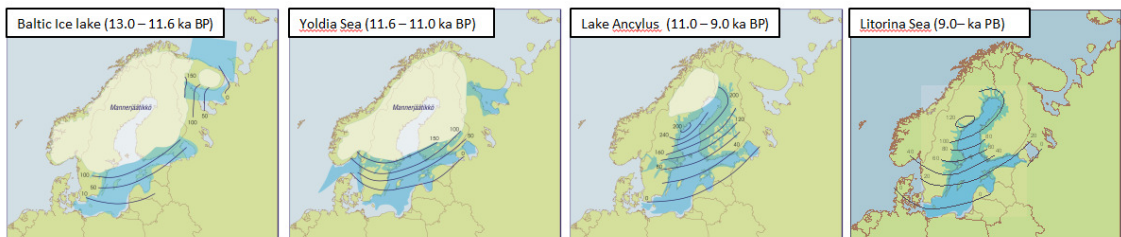
opinnäytetyössä halutaan tutkia, voidaanko happaman sulfaattimaan esiintymisalueiden todennäköisyyttä arvioida myös tavanomaisten maanäytetutkimusten avulla eli maanäytteen vesi- ja humuspitoisuuden avulla. Tämä tehdään keräämällä yhteen ja taulukoimalla, sekä tilastoimalla Espoossa tehtyjen sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusnäytteissä analysoitujen tavanomaisten maanäyteanalyysien, eli vesi- ja humuspitoisuuksien tuloksia ja tutkitaan löytyykö happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävien maanäytteiden vesi- ja humuspitoisuuksista raja-arvot missä sulfidisavien esiintyminen olisi todennäköistä ja toisaalta löytyykö happaman sulfaattimaan raja-arvot alittavien maanäytteiden vesi- ja humuspitoisuuksista raja-arvot missä sulfidisavien esiintyminen olisi epätodennäköistä. Jos sulfidi- ja korroosiotutkimuksien vesi- ja humuspitoisuuksista tällaiset raja-arvot vesi- ja humuspitoisuuksille löytyy, voidaan tämän opinnäytetyön yhteydessä luoda happaman sulfaattimaan esiintymisen riskitasoluokitus, sekä riskitulkintakartta jollekin tutkimusalueista hyödyntäen Espoon geotekniikkayksikön pohjatutkimusarkistoa.

Tämän opinnäytetyön alkuun on koottu tietoa maaperän muodostumisesta ja eri aikoina muodostuneiden savisedimenttien erityispiirteistä ja niiden tunnistamisesta. Lisäksi on käyty läpi olemassa olevan tutkimus- ja teoria-aineiston perusteella karttatulkinta-arviot missä hapanta sulfaattimaata voi esiintyä ja avattu happaman sulfaattimaan käsitettä ja määritelmää, sekä sen esiintymisen vaikutuksia tarkemmin. Lisäksi kerrotaan happaman sulfaattimaan tunnistamiseksi tällä hetkellä käytetyistä erityisistä laboratorio-analyyseistä. Seuraavat neljä kappaletta käsittelevät tämän opinnäytetyöt tutkimusosuutta, tilastoja, tutkimuksen tekemistä ja tutkimuksen perusteella luotua riskitulkintaa maanäytteiden vesi- ja humuspitoisuuteen perustuen, sekä loppupäätelmiä.

## 2 Suomen maaperän muodostuminen

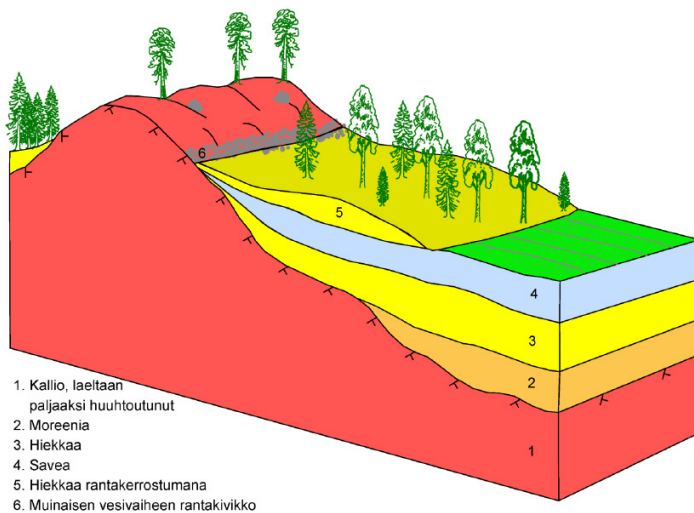
Suomen maaperä on muodostunut eri jäätikköalueiden jäätyminen, sulamisen ja jään liikkumisen seurauksena. Näistä merkittävin on viimeisin jääkausi ja siitä johtuneet olosuhteet, kuten jään paine ja maan kohoaminen. (Ronkainen 2012; Rautiainen)

Viimeisimmässä jäätikkövaiheessa maankamara oli jään painosta painunut lommolle. Kun jää alkoi sulaa, alkoi myös maankamaran hidaskohoaminen, joka jatkuu edelleen. Jään vaiheittaisen vetäytymisen ja sulamisen aikana Itämeren on todettu olleen neljässä eri muutosvaiheessa. Vanhimmasta uusimpaan nämä kehitysvaiheet on nimetty Baltian jääjärven, Yoldia-meren, Ancyclusjärven ja Litorinameren vaiheiksi. (Rautiainen). Kuvassa 1 on nähtävissä nämä neljä eri muutosvaihetta ja Itämeren peittämät alueet.



Kuva 1. Itämeren vaiheet (Ojala, A. 2017)

Mannerjäätikkö on hävinnyt lopullisesti Suomesta 10 200 vuotta sitten. Jää on liukunut alustaa pitkin ja kuljettanut mukanaan kallioperästä irronnutta kiviainesta, joka on sekoittunut jääkautta edeltäneisiin maalajeihin. Samalla kun jää on liukunut eteenpäin, on se kuluttanut myös sen alla olevaa maakerrosta. Eteenpäin kulkeutunut maa-aines on muodostunut moreeniksi jään pohjaosien puristuksessa. Jäätikön sulamisen seurauksena irtoaines on lajittunut ja kerrostunut ja muodostanut harjuja ja jäätikön reunamuodostumia. Saviaines on kulkeutunut ja kerrostunut kauemmas jäätikön ulkopuolelle veden mukana. Rantakerrostumat ja turpeet ovat kerrostuneet myöhemmin näiden jäätikkösyntyisten maalojien päälle. (Ronkainen 2012; Rautiainen.) Kuvassa 2 on nähtävissä periaatteellinen piirros Etelä-Suomen tyypillisestä rantakerrostumasta, jossa on nähtävissä maaperän eri kerrostumien väliset suhteet.

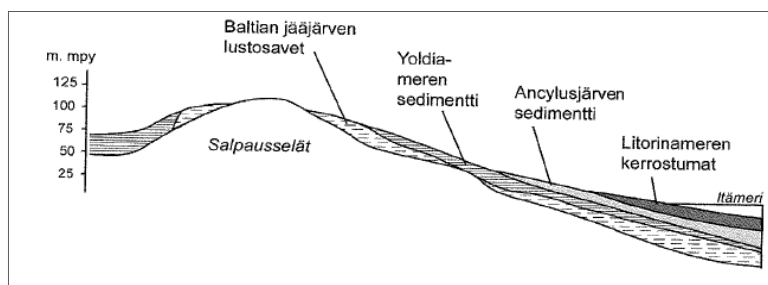


Kuva 2. Etelä-Suomen rantakerrostuman periaate (Jääskeläinen 2009)

## 2.1 Itämeren eri vaiheiden aikana muodostuneet savisedimentit

Eri Itämeren muutosvaiheiden aikana kehittyneet savisedimentit ovat kerrostuneet toistensa päälle ja ovat koostumukseltaan ja rakenteeltaan hieman erityyppisiä (Ronkainen 2012). Maaperän kerrosrajojen määrittämiseen käytetyissä menetelmissä ei oteta huomioon eri postglasiaalisten savisedimenttien kerroksien ympäristöllisiä olosuhteita ja tämä muodostaa riskin väärille tulkinnoille (Ojala, A. & ym. 2016). On siis hyvä muistaa, että maaperän savikerros ei siis ole pelkästään yksi samoilla ominaisuuksilla oleva savikerros, vaan saven ominaisuudet vaihtelevat kerroksittain.

Alla olevassa kuvassa on esitettyä Itämeren pohjasedimenttien tyypillinen kerrosjärjestys.



Kuva 3. Itämeren savien tyypikerrossarja (Salonen, V-P ym. 2002, 57)

Alimmaisena tyypillisessä savisedimenttijärjestyksessä on Baltia jääjärven aikana makean järven pohjaan muodostuneet kerralliset lustosavet ja -siltit. (Ronkainen 2012). Baltian jääjärven aikaan muodostuneiden lustosavien paksuus on harvoin yli 5 metriä. (Salonen, V-P ym. 2002, 54) Yoldiameren aikainen savisedimenttikerros on muodostunut, kun makean veden aikainen Baltian jääjärvi sekoittui Atlantin suolaisen veden kanssa. (Ronkainen 2012). Kun maa jatkoi kohoamistaan, yhteys Atlantiin katkesi ja muodostui Ancylysjärvi. Yoldiameren ja Ancylysjärven aikana kerrostuneet savisedimentit ovat lähes tasarakeisia tai heikosti kerrallisia. Litorinamerivaihe muodostui, kun mannerjäätikkö jatkoi voimakkainta sulamistaan ja valtamerien pinta nousi. Litorinamerivaiheen aikana vesi oli nykyistä Itämeren suolaisempaa. (Ronkainen 2012). Litorinamerivaiheen aikana kerrostuneet savisedimentit sisältävät paljon humusta ja ovat tyypillisimmin liejuisia savia (Heikkinen 2012 ja Salonen ym. 2002).

#### **Eri aikana kerrostuneisiin savisedimentteihin vaikuttaneet tekijät**

Savisedimenttien ominaisuuksiin ovat siis vaikuttaneet mm. sulamisvedet, mineraaliaineksen määrä, muinaisen veden syvyys, virtaama ja aallot, veden suolapitoisuus (makea, murtovesi, suolainen), ilmasto-olosuhteista johtuvan orgaanisen aineksen määrä, sekä eroosion ja sedimenttikerrostumien nopeus (Ojala, A. 2017). Eri vaiheissa kerrostuneita savikerroksia voidaan näin ollen tunnistaa niissä tunnistettujen olevien kerrostumisjärjestyksen, kemiallisten ja mineralogisten ominaisuuksien perusteella, sekä niiden tyypillisen ulkonäön perusteella. Kuvassa 4 on esitetty eri Itämeren kehitysvaiheissa muodostuneen savikerroksen koostumus ja rakenne maanäytteestä tehdyssä poikkileikkauksessa.

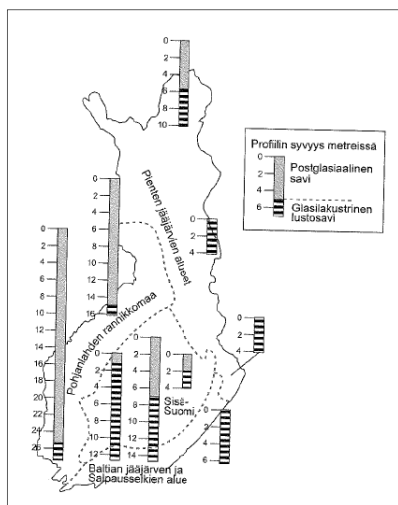


Kuva 4. Itämeren muutosvaiheiden savisedimenttien tyypillinen ulkonäkö (Ojala 2017)



## 2.2 Happaman sulfaattimaan savisedimenttikerroksien muodostuminen

Happamat sulfaattimaat ja sulfidipitoiset savisedimentit ovat postglasiaalisia savia, jotka ovat muodostuneet Yoldia-merivaiheen, Ancylus järvivaiheen ja Litorinamerivaiheen aikana, sekä nykyisen Itämeren aikana (s. 2 Auri, J. 2015.). Kuvassa 5 on esitetty Itämeren eri kehitysvaiheissa muodostuneiden savisedimenttien tyypilliset esiintymisalueet ja niiden paksuus. Espoon alueella postglasiaalisen saven, eli jääkauden jään vetäytymisen jälkeen muodostuneiden koostumukseltaan tasaisten ja hienorakeisien kerrostumien paksuus vaihtelee kartan mukaan noin 0-7 m välillä. (s. 151 Salonen, V-P ym. 2002)



Kuva 5. Itämeren eri kehitysvaiheiden aikana muodostuneiden savikoiden tyypilliset esiintymisalueet ja -paksuudet Suomessa (s. 151 Salonen, V-P ym. 2002)

Sulfidipitoiset savisedimentit sisältävät paljon humusta ja ovat tyypillisimmin liejuisia savia tai silttejä Etelä-Suomessa, mutta Pohjanmaalla happamia sulfaattimaita on katsottu esiintyvän myös turve- ja hiekkamailla. (Heikkinen 2012 ja Salonen ym. 2002). Tutkimusten mukaan on todettu, että rannikkoseudun ja myös sisämaan järvien pohjissa voi esiintyä sulfidipitoisia kerrostumia, joiden kasviaineksissa esiintyy rikkiä niihin sitoutuneena. Lisäksi kallioperässä olevilla musteliuskealueilla, joita voi sijaita myös postglasiaalisten meri- ja järvivaiheiden korkeimpien rantojen yläpuolella, on havaittu rikkipitosidia sedimenttejä. (Auri, J. 2015.)

Eri aikoina muodostuneista sulfidipitoisista savisedimenttikerroksista *ongelmallisimpia ovat Litorina-merivaiheessa ja sen jälkeen kerrostuneet sedimentit,*

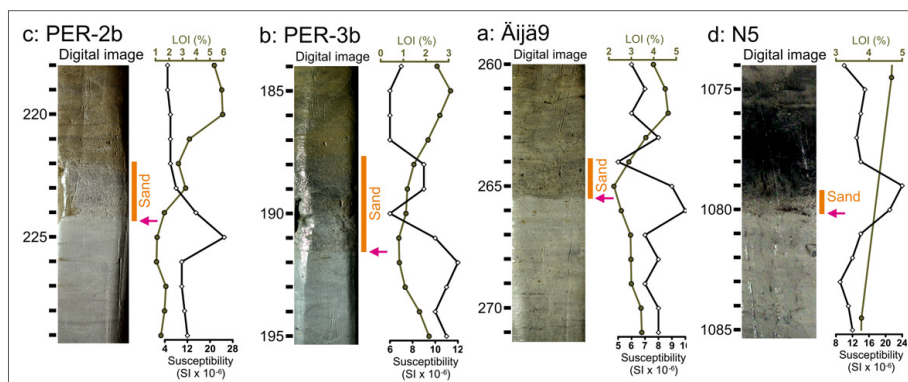
*koska tällöin ympäristöolot ovat olleet suotuisimmat rikkiptoisten kerrostumien muodostumiselle (Auri, J. 2015.).* Tämän katsotaan johtuneen siitä, että Litorinamerivaiheessa sulamisveden määrän vähentyessä alkoi samalla orgaanisen aineksen määrä lisääntyä ja hapen määrä väheni. Tällöin muodostui rikkiptoista sulfidisavea, kun veteen kuolleet kasvit maatuivat ja rehevöittivät sulfaattipitoisen veden ja samalla veteen on sekoittunut mantereen sedimenttien rautaoksideja. Tämä puolestaan aiheutti hapettomassa merenpohjassa bakteeritoimintaa, jotka hajottavat anaerobisissa olosuhteissa orgaanista ainesta pelkistämällä sulfaattia sulfidiksi. Merenpohjansedimentin sulfidit saostuvat myöhemmin raudan kanssa reagoidessaan rautasulfideiksi. (Heikkinen 2012, s.1 Auri, J. 2015). Litorinamerivaihetta edeltäneessä Anculysjärvivaiheessa saven yläosissa on sulfidipitoisia *pistemäisiä/kerroksellisia sulfidihorizontteja*, mutta sulfidit ovat pelkistyneessä tilassa ja niiden rikkiptoisuus on tyypillisesti pieni (s.3 Auri, J. 2015.).

### **Anculys ja Litorinamerivaiheen savisedimenttien välisen kerrosrajan tunnistaminen**

Anculysjärven sedimenttikerrostuman yläosa on väriltään harmaata, jossa orgaanisen aineksen määrä on 2-4 % ja sen yläpuolinen Litorinamerivaiheen sedimenttikerrostuma on taas väriltään vihertävän harmaata, jossa orgaanisen aineksen määrä on ollut noin 10-15 %, mutta orgaanisen aineksen määrä on ajan kuluessa laskenut ja nykyään pintakerrossavien orgaanisen aineksen määrä on noin 5-6 %. (Salonen ym. 2002). Tämä kerrosraja on havaittavissa kuvassa 6.

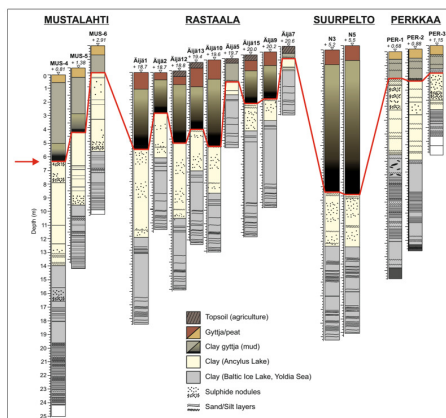
Anculysjärvivaiheen ja Litorinamerivaiheen savisedimenttien kerrosrajan tunnistamiseen on Geologian tutkimuskeskuksen tutkimuksessa havaittu tarkentava välikerros. Antti Ojala, Maarit Saresma, Joonas J. Virtasalo ja Taija Huotari-Halkosaari ovat tutkineet vuonna 2016 julkaistussa tutkimuksessa hienorakeisten sedimenttien kerroksien välistä rajapintaa. Tutkimuksen mukaan savisedimenttien ulkonäkö ja ominaisuudet osoittavat, että harmaat Anculysjärven aikana kerrostuneet silttiset savikerrostumat katkeavat epäjatkuvuuskohtaan, aaltoilevaan eroosiopintaan, jota peittää muutaman senttimetrin paksu kerros silttiä tai hiekkaa. Tässä siltti- tai savikerroksessa on havaittavissa asteittaista biotur-

baatiota, joka on yhteydessä sen yläpuolella olevaan Litorinamerivaiheen murtoveden vihertävän harmaaseen mutakerrokseen. Tämän epäjatkuvuuskohdan ylä- ja alapuolisissa kerroksissa bioturbaatio on ollut voimakasta ja mustia rautamonosulfidipilkkuja on havaittavissa Litorinamerivaiheen murtoveden mutakerroksessa. (Ojala, A. & ym. 2016) Alla olevassa kuvassa on esitetty tämä edellä mainittu epäjatkuvuuskohta Espoossa otetuista neljässä eri näytteessä. Näytteistä kaksi vasemmanpuoleista on otettu Espoon Perkkaalta alueelta, kolmas vasemmalta Espoon Rastaalasta ja oikeanpuolimmainen näyte on Espoon Suurpellostä. (Ojala, A. & ym. 2016).



Kuva 6. Epäjatkuvuuskohta Espoossa otetuista jatkuvista savinäytteistä (Ojala, A. & ym. 2016).

Epäjatkuvuuskohdan paksuus ja tyyppi vaihtelevat alueiden ja yksittäisen sedimentaatioaltaan sisällä. Tämä johtuu esimerkiksi ympäröivien alueiden maanpinnan muodoista, muodostumiseltaan muinaisista hydrologisista olosuhteista ja kvartäärikauden sedimenttien esiintymisestä. (Ojala, A. & ym. 2016).



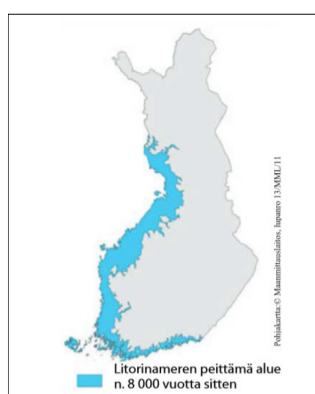
Kuva 7. Maanäytteisiin tulkitut Itämeren erivaiheissa kerrostuneet savisedimenttikerrokset (Ojala, A. & ym. 2016).

On siis jo tiedossa, että myös sedimentaatioaltaan muoto vaikuttaa siihen kuinka todennäköistä on, että ko. sedimentaatioaltaassa esiintyisi sulfidisavia. Geologian tutkimuskeskuksen erikoistutkijan Antti Ojalan mukaan voidaan myös todeta, että *mitä paksumpia savikot joillain alueella ovat, sitä todennäköisemmin maakerroksista löytyy sulfidisavea. Tällaisia paksuja savikkoja löytyy varsinkin kallioperän suurista ja kohtalaisen syvistä murrosaltaista. Sitä vastoin savikot ovat yleensä ohuita alueilla, joissa kallioperän paljastumat ovat yleisiä ja topografia pienipiirteisempää. Näistä paikoista sulfidisavet ovat Itämeren viimeisen kehitysvaiheen aikana huuhtoutuneet pääosin pois.* (Hämäläinen, T. 2017) Tulkitkaa tai luokittele eri sedimentaatioaltaan muodoille ei ole vielä Espoon alueelta olemassa. Aiheesta on parhaillaan tekeillä väitöskirja Geologian tutkimuskeskuksen Maarit Saresman toimesta.

### 2.2.1 Sulfidipitoisten sedimenttien sijainti Suomessa

Ongelmallisimmat sulfidipitoiset sedimentit ovat siis muodostuneet pääsääntöisesti Litorinameren aikaan muodostuneissa ja sen jälkeen kerrostuneiden sedimenttien alueella. (Kangas 2010; Auri, J. 2015).

Suomessa Litorinamerivaiheen sedimenttikerrostumat ovat muodostuneet 8000–4000 vuotta sitten (Geologian tutkimuskeskus 2010). Kuvassa 1 on nähtävissä sinisellä väritettynä Litorinamerialueen peittämät alueet, jotka sijoittuvat pääasiallisesti Suomen rannikkoalueelle.

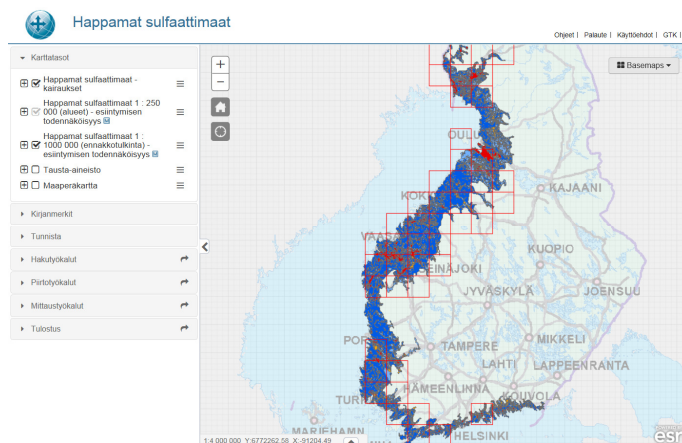


Kuva 8. Litorinameren peittämä alue Suomessa (Geologian tutkimuskeskus, 2010)

*Litorinameri on ulottunut korkeimmillaan Perämeren seudulla yli 100 metrin, Pohjanmaalla hieman alle 100 metrin ja Etelä-Suomessa noin 50 metrin kor-*

keudelle nykyisen merenpinnan yläpuolelle. *Ancylus-järven kerrostumat ulottuvat tätäkin korkeammalle merenpinnasta.* (Auri, J. 2015.)

Geologian tutkimuskeskus on julkaissut Suomen rannikkoalueiden happamien sulfaattimaiden todennäköisten esiintyvyyalueiden tulkintakartat neljään todennäköisyyttä kuvaavaan luokkaan (suuri, kohtalainen, pieni ja hyvin pieni) 1:1 000 000 mittakaavassa ja osalta alueesta myös 1:250 000 mittakaavassa. 1:1 000 000 mittakaavassa oleva kartta on tarkoitettu antamaan arvio ja yleispiirteinen kuva Suomen rannikkoalueen happamien sulfaattimaiden esiintymisestä. Kartat on julkaistu internetissä Geologian tutkimuskeskuksen Happamat sulfaattimaa-karttapalvelussa, jossa kartat ovat maksutta tarkasteltavissa. Alla olevassa kuvassa on esitetty kuvakaappaus tästä kyseisestä karttapalvelusta.



Kuva 9. Happamat sulfaattimaa karttapalvelu (Geologian tutkimuskeskus)

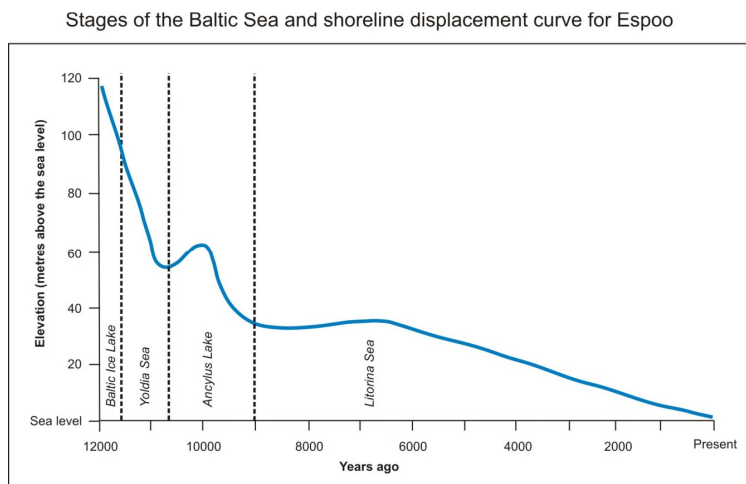
Potentiaalisten happamien sulfaattimaa-alueiden todennäköisten esiintymisaluiden kartta-aineisto on luotu Geologian tutkimuskeskuksen mukaan *monimuuttuja-analyysillä ja niiden tekemisessä on hyödynnetty maaperä- ja lentogeofyysikaalisia aineistoja sekä Maanmittauslaitoksen korkeusaineistoja. Varsinaista happamien sulfaattimaiden havaintoaineistoa on analyysissä ollut käytettävissä vain paikoin.* Osalla rannikkoalueesta kattava 1:250 000 mittakaavassa olevaan kartta on luotu samalla tavalla, mutta maaston korkeusaineistossa on hyödynnetty lisäksi maastokartoitusaineistoa, jota on luotu valuma-aluekohtaisesti. Lisäksi karttapalvelussa on esitetty geologian tutkimuskeskuksen tietokannoissa olevat sulfaattimaa-tutkimuspisteet. Molemmat karttapalvelussa esitetyt kartat on tarkoitettu käytettäväksi vain niiden mittakaavan mukaisessa tarkastelussa, sillä

*kartassa olevia kuvioita on huomattavasti yleistetty tai osin liioiteltu* ja aineisto ei sovellu näin ollen suurempimittakaavaiseen tarkasteluun tai hankekohtaiseen tarkasteluun esimerkiksi tiloittain. (Geologian tutkimuskeskus.)

Suomessa happamia sulfaattimaita on arvioitu olevan noin 336 000 hehtaaria ja niiden on arvioitu olevan Euroopan alueen laajimmat. (Yli-Halla, M. Puustinen, M. Koskiahho, J. 1999; Auri, J. 2015)

## 2.2.2 Sulfidipitoisten sedimenttien sijainti Espoossa

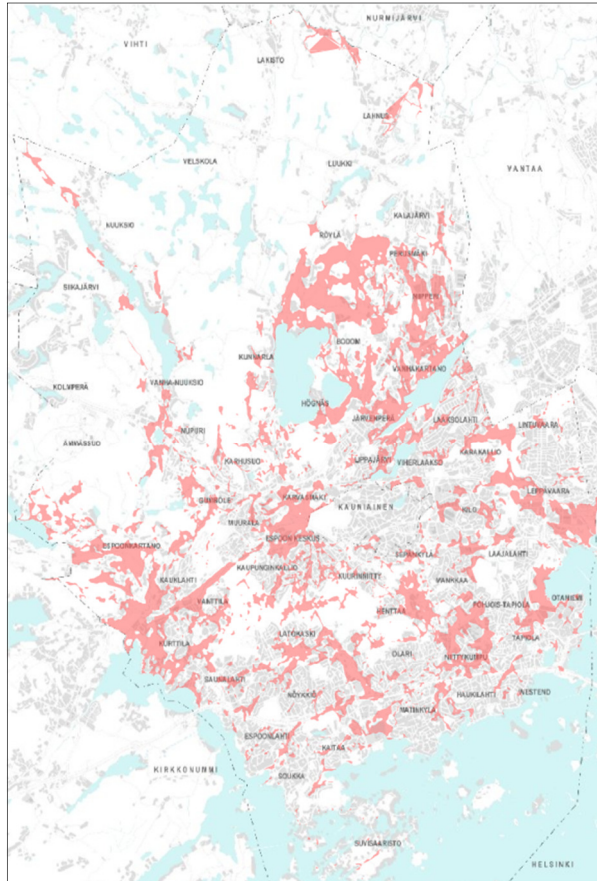
Espoon alueella sijaitsevien sulfidipitoisten sedimenttien tarkkaa sijaintia ei ole tiedossa. Tässä kappaleessa on kerrottu millaisia arvioita niiden esiintymisen laajuudesta on tehty ja on käytettävissä.



Kuva 10. Itämeren eri vaiheiden sedimenttien korkeustaso nykyisen merenpinnan yläpuolella Espoossa (Ojala, A. 2017).

Geologian tutkimuskeskuksen erikoistutkijan Antti Ojalan tutkimuksessa mukana olleesta kuvaajasta, kuva 10, on nähtävissä, että Litorinamerivaiheessa kerrostuneita sedimenttejä tavataan Espoon kaupungin alueella korkeimmillaan karkeasti arvioiden noin 40 metrin korkeustasolla nykyisestä merenpinnannasta.

Espoon ympäristökeskus on tehnyt paikkatietokartta-analyysin Litorinamerivaiheen savisedimenttien sijoittumisesta Espoon kaupungin alueelle vuoden 2016 lopussa.



Kuva 11. Potentiaaliset happamat sulfaattimaa-alueet, eli Litorinamerivaiheen korkeimman tason alapuoliset alueet, Espoon kaupungin ympäristökeskuksen tulkinnan mukaan esitettynä punaisella

Yllä olevassa kuvassa on esitetty kartalla punaiseksi väritetyillä alueilla Espoon kaupungin ympäristökeskuksen tulkinnan mukaiset Litorinamerivaiheen savikkoalueet. Tulkinta on tehty Espoon Geotekniikkayksikön laatimaan maaperäkartaan ja kantakartan korkeustietoihin perustuen siten, että yli 3 metriä paksujen savialueiden, jotka ovat nykyisen maanpinnan tason +40 alapuolella, on tulkittu olevan Litorinamerivaiheen aikana muodostuneita savisedimenttejä ja siten potentiaalisia happamia sulfaattimaa -alueita.

Espoon kaupungin maa-alueen pinta-ala on noin 312 km<sup>2</sup>, josta maaperäkartaan on tulkittu pohjamaaltaan savialueiksi noin 67 km<sup>2</sup>, eli noin 22 % Espoon maa-alueista on pohjamaatyypiltään savea. Litorinamerivaiheen savikoiksi on tulkittu olevan 54 km<sup>2</sup>, eli noin 81 % Espoon kaupungin kaikista pohjamaaltaan saveksi luokitelluista alueista.



### 3 Happamat sulfaattimaat

Suomessa kansallinen ohjeistus happaman sulfaattimaan tunnistamiseen, korrosio-ominaisuuksien tutkimiseen ja niiden raja-arvojen määrittämiseen perustuu keräämieni lähdetietojen mukaan pääasiallisesti Geologian tutkimuskeskuksen ja Liikenneviraston ohjeisiin. Sulfidisavien tunnistamiseksi on olemassa maailmanlaajuisesti myös muita tunnistustapoja ja laboratorioissa tehtäviä maanäyteanalyysijä, kuin mitä Liikenneviraston ja Geologian tutkimuskeskuksen ohjeissa on mainittu. Tutkimusta siitä, mikä analyysitapa olisi täysin varma ja luotettavin happamien sulfaattimaisen esiintymisen todentamiseen ei ole olemassa (Vertanen, E. 2016). Parhailaan on käynnissä pääkaupunkiseudun yhteinen sulfidisavitutkimushanke, joka on osa UUMA 2 Uusiomateriaalit maarakentamisessa –ohjelmaa. Tässä pääkaupunkiseudun tutkimushankkeessa selvitetään mm. laboratorioanalyysistä soveltuvimmat Suomessa käytettäviin sulfidisavien tunnistamistekijöihin ja yhtenäistetään kansallista tutkimusoheistusta. Tämä kehityshanke on vielä tätä opinnäytetyötä laadittaessa kesken.

Kuten aiemmin on todettu niin, sulfidikerrostumat ovat tyypillisesti ohuita vaakaraitakerrostumia tai pistemäisiä kerrostumia ja niiden muodostumiseen on vaikuttanut mm. sedimenttialtaan olosuhteet ja jääkausien kuluttamisefekti. Sulfaattimaiden tunnistamiskeinona on myös sen poikkeukselliset väri ja hajuoimaisuudet. Riippuen mm. siitä kuinka paljon maanäytteessä on humusta ja mikä sulfidimineraali on maanäytteessä dominoivin, ovat sulfidipitoiset maanäytteet sen mukaan eri värisiä (Pousette, K. 2007,3).



Kuva 12. Espoosta Finnoon alueella olevaa potentiaalista hapanta sulfaattimaata (Ojala, A. 2017)



Sulfidipitoiset sedimentit voivat myös haista rikiltä. Rikin hajun on kuvailtu muistuttavan mädäntyneen kananmunan hajua. (Auri, J. 2015)

### 3.1 Happaman sulfaattimaan määritelmä

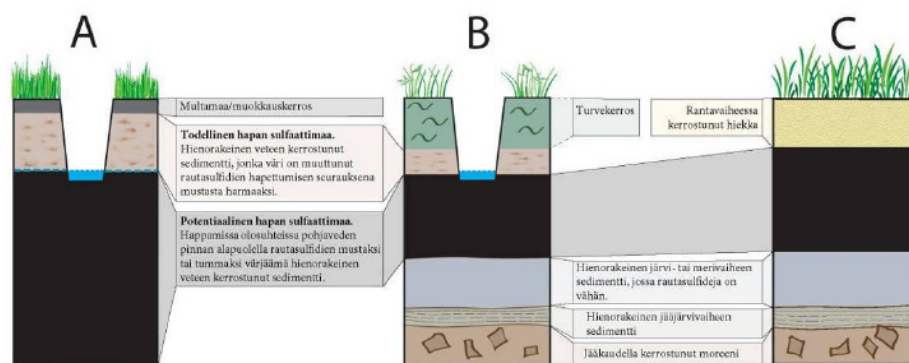
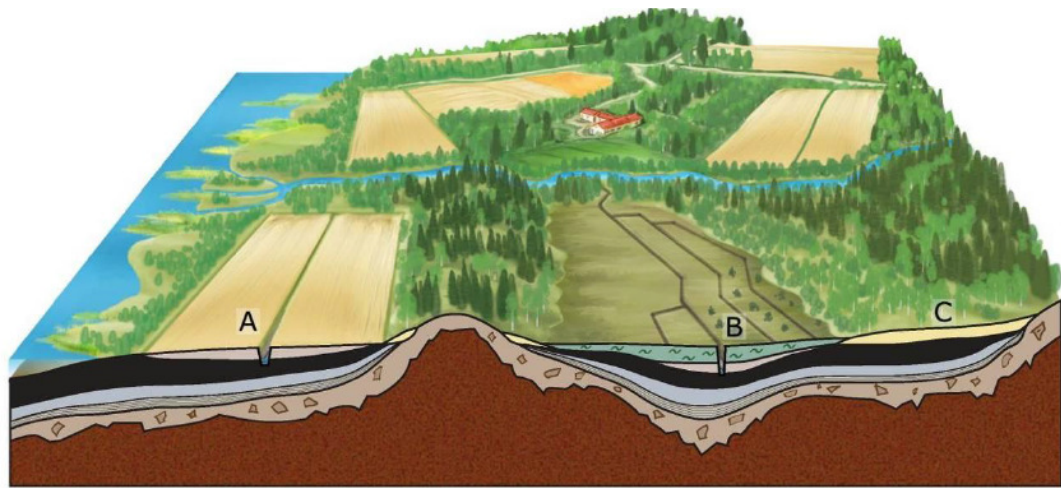
Geologian tutkimuskeskus on julkaissut ohjeen happamien sulfaattimaiden määrittelyyn ja tunnistamiseen Suomessa. (Eden, P. 2012, s. 29-30) Tässä julkaisussa esitetyn määritelmän mukaan happamaksi sulfaattimaaksi todetaan sellainen maanäyte, jossa maastohavaintojen ja laboratoriossa tehtyjen analyysien perusteella vähintään yksi seuraavista tekijöistä täyttyy:

- *pH < 4,0 mineraalimaassa (ei turpeessa) sulfidien hapettumisen seurauksena; ja/tai*
- *näytteen pH on inkubaation (hapettunut kosteana 9–19 viikkoa huoneenlämmössä) jälkeen < 4,0 ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä maastossa mitattuun pH-arvoon verrattaessa; ja/tai*
- *kokonaisrikkipitoisuus (Stot) on  $\geq 0,2$  %; ja/tai*
- *aistinvarainen havainto sulfidista (musta tai harmaanmusta väri) (Auri, J. 2015)*

Happamat sulfaattimaat luokitellaan vielä niiden ominaisuuksien mukaan kahteen eri luokkaan, potentiaalisesti happamiin sulfaattimaihin ja todellisiin happamiin sulfaattimaihin. Seuraavassa kappaleessa on kerrottu näistä luokituksista tarkemmin.

#### **Potentiaalinen hapan sulfaattimaa ja todellinen hapan sulfaattimaa**

Geologian tutkimuskeskuksen ohjeessa luokitellaan happamat sulfaattimaat kahteen luokkaan seuraavasti: potentiaaliseen happamaan sulfaattimaahan ja todelliseen happamaan sulfaattimaahan. Potentiaalinen hapan sulfaattimaa on luonnontilassa olevaa sulfidirikkipitoista savea, joka ei ole päässyt hapen kanssa tekemisiin ja muodostamaan haitallista rikkihappoa. Todellinen hapan sulfaattimaa on hapen kanssa reagoinutta rikkipitoista potentiaalista sulfaattimaa, joka on jo hapen kanssa reagoidessaan muodostanut mm. rikkihappoa, joka taas liuottaa metalleja maaperästä. (Eden, P. 2012, s. 29-30) Kuvassa 13 on esitettyinä eri sedimentaatioaltaissa esiintyvän potentiaalisen ja todellisen happaman sulfaattimaan kerroksien sijainteja toisiinsa nähden.



Kuva 13. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen (Eden, P. 2009)

Happaman sulfaattimaan yläpuolella on usein paksuudeltaan vaihteleva tavanomainen maakerros esim. hiekkaa, riippuen sedimentaatioaltaan tyypistä ja kerrostumisolosuhteista. Todellinen hapan sulfaattimaa on väriltään yleensä (ruskean) harmaata, mutta saattaa sisältää runsaasti oransseja ja mahdollisesti myös kellertäviä (jarosiitti) rautasaostumia. Potentiaalinen hapan sulfaattimaa on usein väriltään mustaa tai tumman (likaisen) harmaata. Tosin myös väriltään vaalea savi voi olla hyvin sulfidipitoista. (Kerko, E. Vikiö, J. 2015, 2-3)

Tarkemmin todellinen hapan sulfaattimaa ja potentiaalinen hapan sulfaattimaa todetaan Geologian tutkimuskeskuksen määritelmän mukaan seuraavasti:

Todellinen hapan sulfaattimaa:

- Maasto-olosuhteissa mitattu  $\text{pH} < 4.0$  mineraalipitoisessa maassa, ei turpeessa sulfidien hapettumisen seurauksena
- Jos maasto-olosuhteissa mitattu  $\text{pH}$  on 4.0-4.4, eikä ole havaittavissa alemmassa maakerroksessa piilevää sulfidia tulee näytteelle tehdä jatko-tutkimuksia, joko inkuboimalla näyte, eli mittaamalla sen  $\text{pH}$ :n arvo vety-

peroksidihapetuksen jälkeen ja/tai määrittämällä näytteen kokonaisrikkipitoisuus. (Eden, P. 2012, s. 30)

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa:

- Rikki sulfidimuodossa (pelkistynyt, ei hapettunut)
- pH tyypillisesti > 6.0
- Kokonaisrikkipitoisuus eli  $S_{(tot)} \geq 0,2\%$
- Inkuboidun, eli hapetetun näytteen pH  $\leq 4.0$  ja pH:n arvo on laskenut yli 0.5 yksikköä verrattuna maasto-olosuhteissa mitattuun pH:n arvoon (Eden, P. 2012, s. 30)

### 3.2 Sulfaattimaan esiintymisen vaikutuksia

Happaman sulfaattimaan esiintymisellä on vaikutuksia niin maa- ja pohjarakentamisen, metsätalouden, maatalouden, kaivosteollisuuden, että ympäristöllisten näkökulmista katsottuna. Näiden lisäksi ja osin niistä johtuen happaman sulfaattimaan esiintyminen vaikuttaa rakennushankkeen kustannuksiin nostavasti.

Happaman sulfaattimaan haitalliset vaikutukset muodostuvat usein vasta maanmuokkaustoimenpiteiden yhteydessä, kun maaperässä hapettomissa olosuhteissa olevat sulfidirikkipitoiset maakerrokset hapettuvat ja happamoituvat. *Sulfidien hapettuminen on monivaiheinen prosessi, jossa on mukana bakteeritoimintaa samoin kuin sulfaatin pelkistymisessä. Hapettumisen seurauksena sulfideista muodostuu maaperässä rikkihappoa, joka alentaa maan pH arvoa. Happamuus liuottaa maaperästä edelleen raskasmetalleja, jotka kulkeutuvat pohjavesien mukana pintavesistöihin aiheuttaen ongelmia kasvistossa ja eliöstössä.* (Auri, J. 2015)

Maa- ja pohjarakentamisessa tärkeimpiä huomioitavia asioita happaman sulfaattimaan mahdollisen esiintymisen kannalta on mm. sen aggressiiviset korroosio-olosuhteet, joka tulee huomioida materiaalivalinnoissa ja rakenneosien korroosiovaroissa. Merkittävimpiä ympäristöllisiä vaikutuksia happaman sulfaattimaan esiintymisellä on sen happo-emästasapainosta johtuen, sekä lisäksi merkittäviä ympäristöllisiä haittoja syntyy sulfaattimaan hapen kanssa reagointi joka muodostaa mm. rikkihappoa, joka taas liuottaa metalleja maaperästä, joista aiheutuu kasveille ja eliöstölle haittaa.

Erikoisrakenteiden ja -materiaalien käyttämisestä, sekä erityisjärjestelyiden happaman valunnan pääsyn estämiseksi ympäristöön aiheutuu lisäkustannuksia rakentamishankkeisiin. Esimerkiksi Betoniyhdistyksen vuonna 2016 julkaistun *Betoni* lehden artikkelin mukaan yksittäisen sulfaatinkestävä teräsbetonipaalun hinta arvioidaan olevan tavanomaiseen teräsbetonipaaluun verrattuna noin 10 % kalliimpi ja taas korkean kloridipitoisuuden keston mitoitettujen E-paalut ovat noin 20 % kalliimpia, kuin tavanomaiset teräsbetonipaalut (Punkki, J. 2016).

On huomioitava, että Suomessa rakentamistoimenpiteitä ohjaa maankäyttö- ja rakennuslaki ja Suomen rakentamismääräyskokoelmat sekä muut lait ja asetukset, kuten vesilaki, ympäristönsuojelulaki ja jätelaki. Happaman sulfaattimaan alueella suunniteltaessa ja rakentaessa tulee erityisesti huomioida juuri jätelain ja ympäristönsuojelulaissa mainitut rajoitteet ja velvoitteet mm. maanläjitykseen ja maan käyttökelpoisuuden arvioimiseen. Seuraavissa alakappaleissa on selostettu miten hapen sulfaattimaa vaikuttaa juuri otsikon mukaiseen ominaisuuteen. Alla olevissa kappaleissa mainittujen seikkojen lisäksi on olemassa myös muita rakenneosia ja tilanteita, joihin happaman sulfaattimaan esiintyminen voi vaikuttaa. Lisäksi monien rakenneosien ja uusiomateriaalien yhteiskäytön vaikutuksia tulee arvioida erikseen. Ohjeistusta löytyy mm. materiaalitointajien omista ohjeista, että myös suunnitteluohjeista.

### **3.2.1 Maaperän korroosio-ominaisuuksiin**

*Korroosio on sähkökemiallinen tapahtuma ja korroosiolla tarkoitetaan metallien syöpymistä ympäristöolosuhteiden vaikutuksesta. Syöpyessään metalli hapettuu. Korroosion eteneminen tarvitsee nestettä, esimerkiksi kostean maaperän ja se on nopeampaa lämpötilan noustessa. Sähkökemiallisen reaktion lisäksi korroosion seurauksena tapahtuu usein kemiallisia reaktioita. (Laitinen, K. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Teräsrakenneyhdistys. 2012.)*

VTT:n julkaisun mukaan korroosio-ominaisuuksiin vaikuttavat maaperän pH, vesi- ja happipitoisuus, maan ominaisvastus, mikrobitoiminta, hapen läpäisykyky, redox-potentiaali, hajavirrat ja syövyttävät yhdisteet, esim. veteen liuenneet suolat ja happoa muodostavat aineet. Maaperän korroosio-ominaisuudet vaihte-

levat suuresti ja tavallisesti luonnontilaisessa maaperässä korroosio on hidasta. Eri maalajeissa esiintyvän hapen määrä vaihtelee ja riskialueita korroosion aggressiivisuudelle ovat näin ollen mm. eri maalajien välinen kerrosraja ja pohjantai orsiveden rajapinta. Maaperän syvemmissä kerroksissa happipitoisuus on luonnollisesti pienempi, mutta näissä kerroksissa korroosioriskiä lisää puolestaan anaerobisessa ympäristössä elävät sulfaatteja pelkistävät bakteerit SRB:t, eli sulphate reducing bacteria. *Bakteerit pelkistävät sulfaatin sulfidiksi, joka edelleen reagoi vedyn kanssa rikkivedyksi tai raudan läsnä ollessa ferrosulfidiksi.* (Talja, A. Törnqvist, J. Kiviskoski, H. Carpén, L. Nippala, E. 2006, 22; Laitinen ym. 2012)

Maaperässä olevien kloridi-ionien (Cl<sup>-</sup>) pitoisuus ja maan vesipitoisuus on VTT:n julkaisun mukaan tärkein korroosiota aiheuttava tekijä ruostumattomien terästen maa-asennuksissa. *Kloridi-ionit saavat alulle ruostumattoman teräksen pistekorrosion, ja niiden olemassaolo pienentää maaperän ominaisvastusta. Kloridi-ioneja esiintyy myös Suomen rannikkoalueiden hienorakeisilla maapohjilla.* (Talja ym. 2006, 22)



*Kuva 6. Yläkuvassa ruostumattoman teräksen hitsissä olevia paikallisia pistesyöpymiä (lähde: VTT). Alakuvissa laajempialaista pistekorrosiota (lähde: <http://www.outokumpu.com>).*

Kuva 14. Pistekorrosion esiintymisen esimerkkejä ruostumattomassa teräksessä (Talja ym. 2006, 19)

Korroosiolle alttiita maa- ja pohjarakentamisen materiaaleja ja rakennusosia ovat mm. betoniset rakenteet ja paalut, teräsrakenteet, -tukiseinät ja -paalut, kunnallistekniikan putket. Teräksestä, ruostumattomasta teräksestä, valuraudasta, kuparimetalleista, sinkistä ja alumiinista valmistetut vesijohtoverkostot ovat alttiita myös mikrobiologiselle korroosiolle happaman sulfaattimaan alueilla. Vesijohtoverkoston ulkopuolista mikrobiologistakorroosiota aiheuttavat myös mm. sulfaattia pelkistävät bakteerit. (Kekki, T ym. 2008, 25-26)

Maaperän aiheuttamalla metallien yleisellä korroosiolla on harvoin vaikutusta nykyisin Suomessa rakenneosiin käytettäviin metalleihin, niin paljon etteivät ne kestäisi niille suunniteltua käyttöikä. Yleensä korroosion muoto on paikallinen pistesyöpyminen, jolla on vaikutuksia rakenteen tekniseen käyttäytymiseen. (Kekki, ym. 2008, 37) Pistekorroosion esimerkkejä on esitetty yllä olevassa kuvassa 14.

### **3.2.2 Maan kaivuun ja läjitykseen**

Happaman sulfaattimaan haitalliset ympäristövaikutukset alkavat, kun sulfidisaven sisältämät rikkipitoiset mineraalit pääsevät hapen kanssa tekemisiin ne *hajoavat ja muodostavat rikkihappoa*, joka alentaa maan pH:n arvoa. Rikkihapo on tehokas syövyttäjä ja liottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja (Geologian tutkimuskeskus. 2009,2). Näin tapahtuu, kun hapanta sulfaattimaata kaivetaan ja läjitetään. Happaman maan sisältämät metallit kuten *sinkin Zn, raudan Fe, alumiinin Al, kadmiumin Cd, nikkelin Ni ja kuparin Cu liukoisuudet kasvavat. Sijoittamisessa täytyy tällöin ottaa huomioon kaatopaikalle sijoitettavan jätteen liukoisuusrajat. Maata ei voida käyttää ympäristörakentamiseenkaan maan ollessa liian hapen kasvien kasvualustaksi.* (Kangas, J. 2010, 21)

### **3.2.3 Stabiloitavuus**

Koska sulfidipitoisilla sedimenteillä on usein korkea humus- ja vesipitoisuus, ovat ne siten myös kuormituksesta helposti painuvia (Pousette, K. 2007,3). Lisäksi myös osin korkeasta humuspitoisuudesta johtuen niiden stabiloitavuus on usein huonompi (Pätsi, K. 2009). Heikosti kantavan maan kuormituskestävyyttä voidaan parantaa pohjanvahvistustoimenpiteillä, joista yksi tapa on stabilointi. Stabilointia on kahdenlaista, massastabilointia ja pilaristabilointia. Molemmissa

tavoissa pehmeään maakerrokseen sekoitetaan sideainetta, yleisimmin sementtiä ja/tai kalkkia. Tarkoituksena on muuttaa pehmeän maakerroksen *tekniisiä ja ympäristöllisiä olosuhteita* esimerkiksi rakentamisen mahdollistamiseksi (Forsman, J. Jyrävä, H. Lahtinen, P. Niemelin, T. & Hyvönen, I 2014,28).

Espoon Suurpellon alueella on tehty diplomityönä stabiloitavuuskoetutkimus vuonna 2009 Geologian tutkimuskeskuksen teettämin tutkimuksin todennetuille sulfidisavialueille Kirsi Pätsin toimesta Teknilliselle korkeakoululle. Tutkimuksessa havaittiin, että sulfidisavikerroksessa saavutettiin huonommat leikkauslujuudet verrattuna tavanomaiseen savikerrokseen. Lisäksi tutkimuksen seuranta-jaksolla havaittiin, että 11 kuukauden kuluttua stabiloinnista liejuisen kerroksen stabiloidun pilarin leikkauslujuus oli heikentynyt. Huonommat leikkauslujuustulokset pitkäaikaisella tarkastelulla johtuivat sulfidipitoisessa maakerroksessa olevan korkean humuspitoisuuden aiheuttamasta humushappojen vaikutuksesta. Tutkimuksen lähtöaineistona oli käytetty Ruotsissa tehtyjä tutkimuksia. Ruotsalaisessa tutkimuksessa on todettu, että sulfidipitoinen savi lujittuu stabiloinnista hitaammin kuin tavanomainen savi, koska humushapot alentavat maan pH:ta, reagoivat kalsiumhydroxidin kanssa ja *muodostavat liukenemattomia reaktiotuotteita, jotka saostuvat savipartikkelien päälle.* (Pätsi, K. 2009.) Kuitenkin Rambollin toimesta laaditussa massastabilointikäsikirjassa todetaan, että *sulfidisavia voidaan menestyksekkäästi sekä massastabiloida, että pilaristabiloida silloin, kun ko. materiaalit ovat pohjaveden pinnan alapuolella hapettomissa olosuhteissa. Hapettumisen jälkeen sulfidisavien stabiloimiseen tarvittava sideainemäärä kasvaa merkittävästi.* (Forsman, J. ym. 2014, 28)

Ruotsalaisessa tutkimuksessa on todettu, että homogeenisimmän lopputuloksen saavuttamiseksi tulisi stabiloinnin sideaineena käyttää kalkin, sementin ja kipsin sekoitusta. Lisäksi erilaiset teollisuuden ylijäämätuotteet sekoitettuna sementin kanssa voivat tuottaa paremmat lujuudet sulfidisavien stabiloinnissa. Suomessa valtatie numero 8 liittyvässä tutkimuksessa on todettu, että pelkästään käyttämällä teollisuuden ylijäämätuotteita saadaan säädettyä sulfidisaven pH:ta haitattomaksi. Tutkimuksen mukaan myös pelkästään lentotuhkan käyttö maamassojen stabilointiin massanvaihtotarkoituksissa on taloudellisesti kannattavaa. (Pätsi, K. 2009; Autiola, M. Hakanen, T. Kaarakainen, V. Lindroos, N.

Mäkelä, A. & Ratia, K. 2012, 16) Kuten aina stabiloinnin reseptointia mitoitettaessa tulee muistaa myös stabiloinnilta vaadittava lujuus, ei pelkästään sideaineyhdistelmä.

Happaman sulfaattimaan stabiloiminen myös nostaa maan pH arvoa ja ympäristön happamoitumisriski tällöin pienenee ja niillä ei ole enää stabiloinnin jälkeä *merkittävää happamoittamispotentiaalia*. (Forsman, J. ym. 2014, 28)

### **3.2.4 Ympäristövaikutukset**

Happaman sulfaattimaan haitalliset ympäristövaikutukset alkavat, kun sulfidisaven sisältämät rikkihappoiset mineraalit pääsevät hapen kanssa tekemisiin ne *hajoavat ja muodostavat rikkihappoa*, joka alentaa maan pH:n arvoa. Rikkihappo *on tehokas syövyttäjä ja liottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja*. (Geologian tutkimuskeskus. 2009,2) Ympäristöllisiä haittoja muodostuu happamista valumavesistä ja metallikuormituksesta, jotka voivat kulkeutua pintavesiin ja aiheuttaa kalakantoihin ja vesistön monimuotoisuuteen haitallisia vaikutuksia. Jos happamat valumavedet pääsevät pohjavesialueilla imeytymään harjukerroksiin voi myös pohjavesi happamoitua. (Auri, J. 2015)

*Sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen ajallinen kesto riippuu paljon kuivatuksen tehokkuudesta ja maaperän ominaisuuksista, kuten maalajista. Österholmin ja Åströmin (2004) mukaan tyypillisellä sulfaattimaalla rikkivarasto puoliintuu noin 30 vuodessa, kun sulfidikerros altistuu hapettumiselle kuivatuksen seurauksena. Tämän ajanjakson jälkeen valumavesien rikki- ja metallikuorma vähenee, mutta voi jatkua ympäristölle haitallisena selvästi pidempään.* (Auri, J. 2015)



### 3.3 Sulfaattimaan tunnistaminen maanäytteistä

Happaman sulfaattimaan tunnistamiseksi tehdään maanäytteille laboratorioanalyysyjä, jotta voidaan varmistua siitä, onko maanäyte todellista hapanta sulfaattimaata vai potentiaalista hapanta sulfaattimaata. Lisäksi rakentamisen kannalta maanäytteistä tulee tehdä myös analyysyjä sen korroosioominaisuuksista. Espoossa tehdyissä korroosio- ja sulfidimaatutkimuksissa on käytetty Geologian tutkimuskeskuksen ohjetta (Edén, P. Rankonen, E. Auri, J. Yli-Halla, M. Österholm, P. Beucher, A. & Rosendahl, R. 2012, 29-30) ja Liikenneviraston sillan geoteknisen suunnitteluoppaan ohjeita (Liikennevirasto, 2012)

Ohje	Maanäytteestä tutkittava ominaisuus	Raja-arvo
Liikennevirasto 2012	Maalaji	Hienorakeiset maalajit ja eloperäiset maalajit
Liikennevirasto 2012	Vesipitoisuus, w [%]	jos $w > w_L$ on korroosio hidasta
Liikennevirasto 2012	Sähkönjohtavuus tai ominaisvastus	$> 50 \text{ mS/m}$ tai $\rho < 20 \text{ }\Omega\text{m}$ hienorakeisessa maassa tai $\rho < 50 \text{ }\Omega\text{m}$ karkearakeisessa maassa
Liikennevirasto 2012	Humuspitoisuus, hehkutushäviö LOI [%]	$> 6 \%$
Liikennevirasto 2012 ja GTK (Auri, J. 2015)	pH	$< 4,5$ tai $> 9$ ja GTK:n ohje $< 4$ tai $> 6$
Liikennevirasto 2012	Sulfaatti $\text{SO}_4^{2-}$	$> 500 \text{ mg/kg}$
Liikennevirasto 2012	Kloridi $\text{Cl}^-$	$> 500 \text{ mg/kg}$
Liikennevirasto 2012	Sulfidipitoisuus, $\text{H}_2\text{S}$ [ppm] (tai ferrosulfidi)	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)
Liikennevirasto 2012	Redox potentiaali	$< 200 \text{ mV}$ (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista $< 100 \text{ mV}$ (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta
GTK (Auri, J. 2015)	Kokonaisrikipitoisuus	$> 0,2$
GTK (Auri, J. 2015)	Maasto-olosuhteissa mitattu pH	$< 4$ tai $> 6$
GTK (Auri, J. 2015)	Inkuboidun, eli hapetetun näytteen pH	$\leq 4$ ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maasto-olosuhteissa mitattuun pH:n arvoon

Taulukko 1. Kooste maanäytteistä laboratoriossa ja maastossa tutkittaville ominaisuuksille

Yllä olevaan taulukkoon on koottu Liikenneviraston sillan geoteknisessä suunnitteluoppaassa ja Geologian tutkimuskeskuksen julkaisussa listatut maaperän ominaisuudet, jotka ovat tunnistettuja ominaisuuksia sulfaattimaan esiintymisestä ja maaperän korroosio-ominaisuuksista, sekä niille määritettyjä raja-arvoja.

Raja-arvon ylittäminen tarkoittaa sitä, että maanäytepisteen on todettu olevan sulfidisavea ja korroosio-ominaisuuksiltaan aggressiivinen ja taas raja-arvon alittaminen tarkoittaa sitä, että maanäytepisteen ei ole todettu olevan sulfidisavea ja on korroosio-ominaisuuksiltaan tavanomainen.

Laboratoriotutkimusten lisäksi Liikenneviraston ohjeen mukaan maanäytteelle tehdään maastossa aistinvaraisia havaintoja sulfidimaan ulkonäön ja hajun suhteen. Myös monissa GTK:n ohjeen mukaan tehdyissä tutkimusten loppuraporteissa on kirjattu ylös havaintoja maanäytteen hajusta ja poikkeamista sen värisä.

Alla olevissa kappaleissa kerrotaan tarkemmin laboratoriossa tehtävistä määrittämisistä ja myös perusteluja siitä miksi kyseistä ominaisuutta tutkitaan.

### 3.3.1 Maalaji, humuspitoisuus ja vesipitoisuus

Maalajit, jotka ovat merkittävimpiä maaperän indikaattoreita tavanomaisesta poikkeavaan olosuhteeseen, ovat siis hienorakeiset maalajit ja eloperäiset maalajit. Geoteknisessä maalajiluokituksessa hienorakeisia maalajeja ovat savi sekä siltti ja eloperäisiä maalajeja ovat turve sekä lieju.

Maalajiryhmä	Maalajinimitys	Lyhenne	Savipitoisuus, paino-%
<b>Eloperäiset maalajit</b>	Turve	Tv	
	Lieju	Lj	
<b>Hienorakeiset maalajit</b>	Savi	Sa	≥ 30
	Siltti	Si	< 30

Taulukko 2. Eloperäiset ja hienorakeiset maalajit (Korhonen ym. 1974)

Tätä maalajinimitystä tarkennetaan maalajien humuspitoisuuden perusteella Purokosken 1959 ja Heikkisen 2012 julkaisuissa, joissa todetaan, että Etelä-Suomessa sulfaattimaita ovat pääasiassa lieju ja liejuinen savi, mutta Pohjanmaalla sulfaattimaita on katsottu esiintyvän myös turve- ja hiekkamailla. (Purokoski 1959; Heikkinen 2012).

Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan hienorakeisille maalajeille tulee sen humuspitoisuuden perusteella antaa lisänimi alla olevan taulukon mukaisesti.

Esimerkiksi, jos siltin kivennäisaineksen painoprosentista on yli 2-6 humusta, saa siltti tällöin nimeen täydennysosaksi lieju, eli tällöin siltti on liejuista silttiä.

Maalaji	Humuspitoisuus, paino-% kivennäisaineksesta	Maalajinimitys	Lyhenne
savi, siltti	≤ 2	savi, siltti	Sa, Si
savi	> 2...6	liejuinen savi	ljSa
siltti	> 2...6	liejuinen siltti	ljSi
savi	> 6...20	savinen lieju	saLj
siltti	> 6...20	silttinen lieju	siLj
lieju	> 20	lieju	Lj

Taulukko 3. Hienorakeisten maalajien kuvaus humuspitoisuuden perusteella (Korhonen ym. 1974)

Yhdistämällä yllä olevat taulukot saadaan listattua geoteknisen maalajiluokituksen perusteella ne maalajit, jotka ovat merkittävimpiä maaperän indikaattoreita tavanomaisesta poikkeaviin olosuhteeseen ja sulfidipitoisuuden esiintymiseen.

Maalajiryhmä	Maalajinimitys	Lyhenne	Humuspitoisuus, paino-% kivennäisaineksesta
<b>Eloperäiset maalajit</b>		E	
	Humus (kasvukerros)	Hm	> 20
	Muta	Mu	> 20
	Turve	Tv	> 40
	Lieju	Lj	> 20
	Savinen lieju	saLj	> 6...20
	Silttinen lieju	siLj	> 6...20
<b>Hienorakeiset maalajit</b>		H	
	liejuinen savi	ljSa	> 2...6
	liejuinen siltti	ljSi	> 2...6

Taulukko 4. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan listatut happaman sulfaattimaan indikaattori maalajit. (Korhonen ym. 1974. Purokoski. 1959 ja Heikkinen. 2012)

### Humuspitoisuus

Humuspitoisuuden määrittämisen perustana käytetään hehkutushäviötä, englanniksi loss-on-ignition, josta käytetään lyhennystä LOI. Humuspitoisuus ilmoittaa maaperässä olevan orgaanisen aineksen kokonaispitoisuuden maaineksesta painoprosentteina. Hehkutushäviö ilmoitetaan painoprosentteina kuiva-aineen painosta. Humuspitoisuuden ja hehkutushäviön arvot ovat suurin piirtein samat. (Salonen, V-P. 2002, 70)

Sulfaattimailla on todettu ruotsalaisen tutkimuksen mukaan olevan usein korkea humuspitoisuus. Myöskin toisaalta, jos orgaanisen aineksen määrä on yli 8%, savella voidaan katsoa olevan puskuroiva vaikutus sulfidimaan happamoittamaan vaikutukseen (Pousette, K. 2007,3)

### Vesipitoisuus

Vesipitoisuus kuvaa maa-aineksessa olevan veden määrää painoprosentteina, eli maa-aineksessa olevan kiinteän aineksen painon suhdetta siinä olevan veden painoon. Yli 100 % vesipitoisuus tarkoittaa sitä, että maa-aineksessa oleva veden massa on saman suuruinen siinä olevan kiinteän aineksen massan kanssa. Turpeen vesipitoisuus voi olla jopa 1100 %. (Salonen, ym. 2002, 85-86)

Maalaji	Vesipitoisuus %
Turve	500 - 1100
Lieju	120 - 400
Liejusavi	55 - 130
Lihava savi	60 - 110
Laiha savi	35 - 70
Siltti	25 - 40
Hiekka	5 - 25
Sora	5 - 15
Hiekkamoreeni	10 - 15

Taulukko 5. Erityyppisten luonnontilaisten maiden vesipitoisuuden vaihteluja (Salonen, ym. 2002, 86)

Sulfaattimailla on ruotsalaisen tutkimuksen mukaan todettu olevan korkea vesipitoisuus (Pousette, K. 2007,3). Lisäksi maaperän korkea vesipitoisuus on yksi korroosion kannalta merkittävimmistä tekijöistä (Talja ym. 2006, 22).

### 3.3.2 Sähkönjohtavuus tai ominaisvastus

*Sähkönjohtavuus riippuu veden suolapitoisuudesta eli lähinnä kloridien ja sulfaattien pitoisuudesta. Pehmeässä ja vähän suoloja sisältävässä vedessä syöpyminen on tasaisempaa kuin paljon suoloja sisältävässä vedessä.* (Kekki, ym. 2008, 41)

Maalajien tyypillisiä ominaisvastusarvoja on esitetty alla olevassa kuvassa esitettyssä taulukossa 2 ja arvio ominaisvastuksen vaikutuksesta syövyttävyyteen taulukossa 3. (Kekki, ym. 2008, 28)

**Taulukko 2.** Maalajien ominaisvastuksen arvoja (VTT 1997).

Maalaji	Ominaisvastus ( $\Omega\text{m}$ )
savi (ei kuiva kuori)	2-50
lieju, muta	5-30
humusmaa	10-40
siltti	10-100
turve	20-120
hiekkä	100-5000
liuskepohjaiset maalajit	300-700
sora	400-5000

**Taulukko 3.** Maaperän ominaisvastuksen ja syövyttävyyden yhteys (Borenstein 1994).

Ominaisvastus ( $\Omega\text{m}$ )	Syövyttävyys
<5	erittäin syövyttävä
5-10	syövyttävä
10-20	melko syövyttävä
20-100	lievästi syövyttävä
>100	hieman syövyttävä

Kuva 15. Maalajien ominaisvastuksien arvoja ja niiden yhteys maaperän syövyttävyyteen (Kekki, ym. 2008, 29)

Maaperän ominaisvastus ja sähkönjohtavuus ei ole varsinaisesti sulfidimaan tunnistustekijä, vaan on maaperän korroosio-olosuhteisiin ja -nopeuteen vaikuttava tekijä.

### 3.3.3 Maanäytteen pH

Luonnontilaisen maaperän pH Suomessa on hieman hapanta. Maaperän pH on keskimäärin yli 5,0. Maaperässä esiintyvät sulfidit alentavat maaperän pH:ta, jos ne pääsevät reagoimaan hapen kanssa. (Auri, J. 2015, 2)

### 3.3.4 Sulfaatti $\text{SO}_4^{2-}$

Maaperässä esiintyvän rikin olomuoto on riippuvainen maaperän pH:sta, lämpötilasta ja hapetus-pelkistysolosuhteista. Aerobisissa olosuhteissa maaperässä muodostuu rikistä sulfaatti-ioneja  $\text{SO}_4^{2-}$ , jotka kulkeutuvat maaperässä hyvin. (<https://www.ttl.fi/ova/rikki.html>, luettu 8.9.2017)

Sulfidit ovat taas maaperässä esiintyviä rauta-rikkimineraaleja,  $\text{FeS}_2$ ,  $\text{FeS}$ .

### 3.3.5 Kloridit $\text{Cl}^-$

Kloridi on muodostunut maaperään kosteissa olosuhteissa vesiliukoisen klooridioksidin liukenemisesta, kun se on hajonnut valon vaikutuksesta ensin kloorivedyksi ja kloorihapoksi. Tämän seurauksena maaperään on muodostunut klo-

rideja ja kloraatteja. Maaperän ominaisuudet vaikuttavat kloridin ja kloraaatin muodostumisnopeuteen ja käyttäytymiseen. (<http://www.ttl.fi/ova/kloordio.html>, luettu 8.9.2017)

Maaperän kloridipitoisuus ei ole varsinaisesti sulfidimaan tunnistustekijä, vaan maaperässä olevan kloridin arvo on maaperän korroosio-olosuhteisiin vaikuttava tekijä. *Tavallisimmin paikallista korroosiota aiheuttavat syövyttävät ionit, joista yleisin on kloridi Cl<sup>-</sup>.* (Laitinen ym. 2012, 2)

### **3.3.6 Redox-potentiaali, sulfaattia pelkistävät bakteerit (SRB)**

Redox-potentiaali kuvaa syvemmillä maaperässä hapettomissa olosuhteissa esiintyvien sulfaattia pelkistävien bakteerien määrää, englanniksi käytetään termiä SRB eli sulfate reducing bacteria. *SRB:t toimivat pelkistämällä rikin hapettuneita yhdisteitä kuten sulfaattia sulfidiksi, joka puolestaan voi reagoida vedyn kanssa vetysulfidiksi. Vetysulfidi reagoi metallin liuotessa rautasulfideiksi tai suoraan rikkihapoksi, joka aiheuttaa korroosiota.* (Kekki, ym. 2008, 39-40)

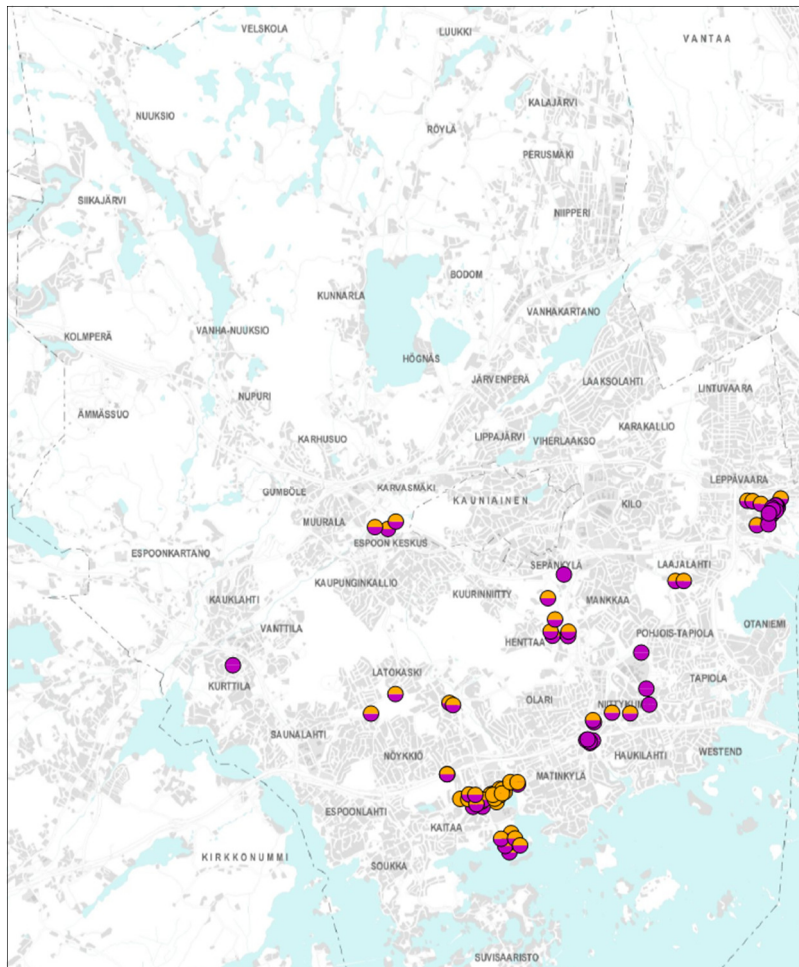
### **3.3.7 Kokonaisrikkipitoisuus**

Kokonaisrikkipitoisuuden arvo kuvaa maaperän hapettumattoman, eli potentiaalisen happaman sulfaattimaan, sulfidikerroksen sulfidipitoisuutta ja kuvaa maaperän happamoitumispotentiaalia. (Eden, P. & ym. 2009)

## 4 Tutkimusalueet ja tutkimuksen rajausta

### 4.1 Sulfidi- ja korroosiotutkimukset Espoossa

Sulfidi- ja korroosiotutkimuksia on tehty Espoon kaupungin hankkeissa, jotka sijoittuvat pääasiassa Espoon eteläosaan. Alla olevassa kuvassa on esitetty korroosio- ja sulfidisavitutkimuspisteiden sijoittuminen Espoon kaupungin alueella.



Kuva 16. Sulfidi- ja korroosiotutkimuspisteiden sijoittuminen Espoon kaupungin alueella. Karttakuva ei ole mittakaavassa.

Pääasiassa sulfidi- ja korroosiotutkimuksia on tehty vuosien 2014-2017 välisenä aikana, poikkeuksen tekee Espoon Suurpellon alueella tehty laaja tutkimus, joka on tehty jo vuonna 2007.

Tähän opinnäytetyöhön otettiin mukaan sulfidi- ja korroosiotutkimuksia Espoon kaupungin maa-alueilta 19 eri hankkeesta, joissa maanäytteitä on otettu sulfidi-

ja/tai korroosiotutkimuksia varten 73 näytestä. Pääasiallisesti hankkeet, joihin sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuksia on tehty ovat Espoon kaupungin katu- ja kunnallistekniikan hankkeita. Alla olevaan taulukkoon on listattu tähän opinnäytetyöhön mukaan otettujen sulfidi- ja korroosiotutkimusten näytestä määritettyjen hankkeiden, tutkimuksen sisältö ja tutkimusraportin päivämäärä.

Raportin nro	Korroosio- ja /tai Sulfidimaa - tutkimus	Näytestä määritettyjen määrittäminen	Pvm	Nimi
1.	K	9	31.5.2016	Sulfidimaatutkimus Perkkää (Vermo 2016)
2.	K&S	3	13.1.2014	Sulfidimaa- ja korroosiotutkimus Perkkää, (Vermo 2014)
3.	K	1	18.5.2015	Happaman sulfaattimaan määrityksen lausuntoSuurpelto (IV- ja V- kaava-alueet)
4.	K&S	6	1.10.2007	Espoon Suurpellon alueen maaperän ominaispiirteet
5.	K&S	3	9.6.2016	Sulfidimaa- ja korroosiotutkimus Monikonpuro,Perkkaantie (Raide-Jokeri Perkkää)
6.	K	5	30.8.2016	Mattilideninsilta, korroosiotutkimus (Matinsilta)
7.	K	1	18.5.2015	Maa, 9282, LM Pystykuilu
8.	K&S	2	25.5.2016	Sulfaattimaatutkimus, Latokaskenniitty
9.	K	3	23.1.2014	Koivumankaantie Maalajien korroosiotutkimukset yhteenveto
10.	K&S	3	14.12.2015	Kirkkojärvenpuiston sulfidisavikartoitus..
11.	K&S	2	27.5.2014	Hannuksenpelto II KS, Espoo
13.	K&S	2	30.11.2015	Sulfidimaa- ja korroosiotut Espoonväylä, Puolarmetsä
14.	K&S	6	31.3.2015	Finnoo, Djupsundbäcken (korroosio ja sulfiditutk) pv.tut
15.	K&S	2	28.11.2016	Korroosiotutkimus, Riittonen ja Tonttumuori
16.	K&S	2	22.2.2017	Sulfidisavikartoitus Niitykummunpuiston hulevesikosteikon alueella
17.	K	1	16.3.2017	Maa, korroosiotutkimus, Kungsgårdsskola och daghem
18.	K&S	2	12.5.2017	Sulfidi- ja korroosiotutkimus Turvesuolla Espoossa
19.	S	15	12.3.2013	Finnoo alueen sulfidisavikartoitus
21.	S	5	16.8.2017	Sulfaattimaakartoitus, Nässelkäriojan siirto ja putkitus
yht. 19 kpl raportteja ja näytestä		73	kpl	

## Taulukko 6. Espoon alueella tehdyt korroosio- ja/tai sulfidimaatutkimukset

Hankkeita, joissa on tutkittu pelkästään maaperän korroosio-ominaisuuksia, on kuusi kappaletta, kahdessa hankkeessa maanäytteistä on tehty pelkästään sulfidimaa-tutkimuksia ja 11 hankkeessa on tutkittu maanäytteistä sekä happaman sulfaattimaan esiintymisen indikaattoreita, että sen korroosio-ominaisuuksia. Tutkimuksia on tehty Liikenneviraston ja Geologian tutkimuskeskuksen tutkimusohjeiden mukaan. Osassa tutkimuksia on sovellettu molempia ohjeistuksia ja tehty myös konsulttitoimistojen toimesta omia ylimääräisiä laboratorio tutkimuksia. Vaihtelevasti eri tutkimuksissa on analysoitu myös tavanomaisia maanäyteanalyyskejä kuten maalaji, vesipitoisuus ja humuspitoisuus.

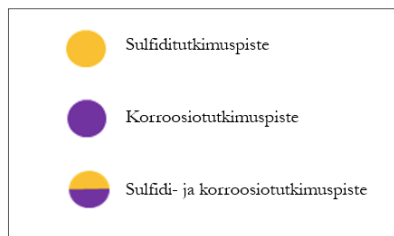
Yllä olevasta taulukosta on poissuljettu raportin juoksevalla numerolla 12 ja 20 olevat tutkimushankkeet. Poissuljetuista hankkeista toinen sijoittui merialueelle sen pohjasedimentin tutkimuksiin ja toisen hankkeen yksityiskohtaisia tietoja niissä tehdyistä tutkimuksista ei ollut saatavilla. Lisäksi tutkimuksesta poissuljet-



tiin näiden 19 mukaan otettujen hankkeiden tutkimuksissa olleet mahdolliset pohjavedestä tehdyt tutkimukset.

## 4.2 Tutkimuspisteiden vienti paikkatietokantaan

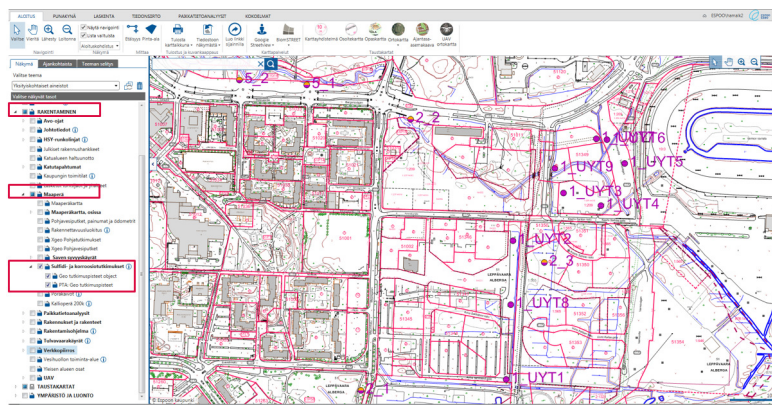
Tutkimushankkeissa tehdyt sulfidi ja/tai korroosiotutkimuspisteet käytiin läpi ja tallennettiin Espoon kaupungin käytössä olevaan paikkatietojärjestelmään Trimble Locukseen. Sulfidi- ja korroosiotutkimuspisteille luotiin uusi karttatietotaso, tutkimuslajikoodi ja kolme erilaista symbolia, joiden ulkomuoto vastaa tavanomaista painokairauksen pohjatutkimussymbolia, mutta värien avulla on erotettavissa mitä tutkimuksia ko. pisteeseen liittyy.



Kuva 17. Sulfidi- ja korroosiotutkimuspisteiden symbolit ja selitteet

Jokaiseen tutkimuspisteeseen tallennettiin internet linkki kyseessä olevaan pisteeseen liittyvään tutkimusraporttiin.

Alla olevassa kuvassa on esitetty kuvakaappaus Espoon kaupungin paikkatietojärjestelmän internetselainpohjaisesta katseluohjelmasta Webmapista, missä on esitetty Vermon alueella olevien sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuspisteitä kantakartalla. Kuvassa oleva karttaote ei ole mittakaavassa.

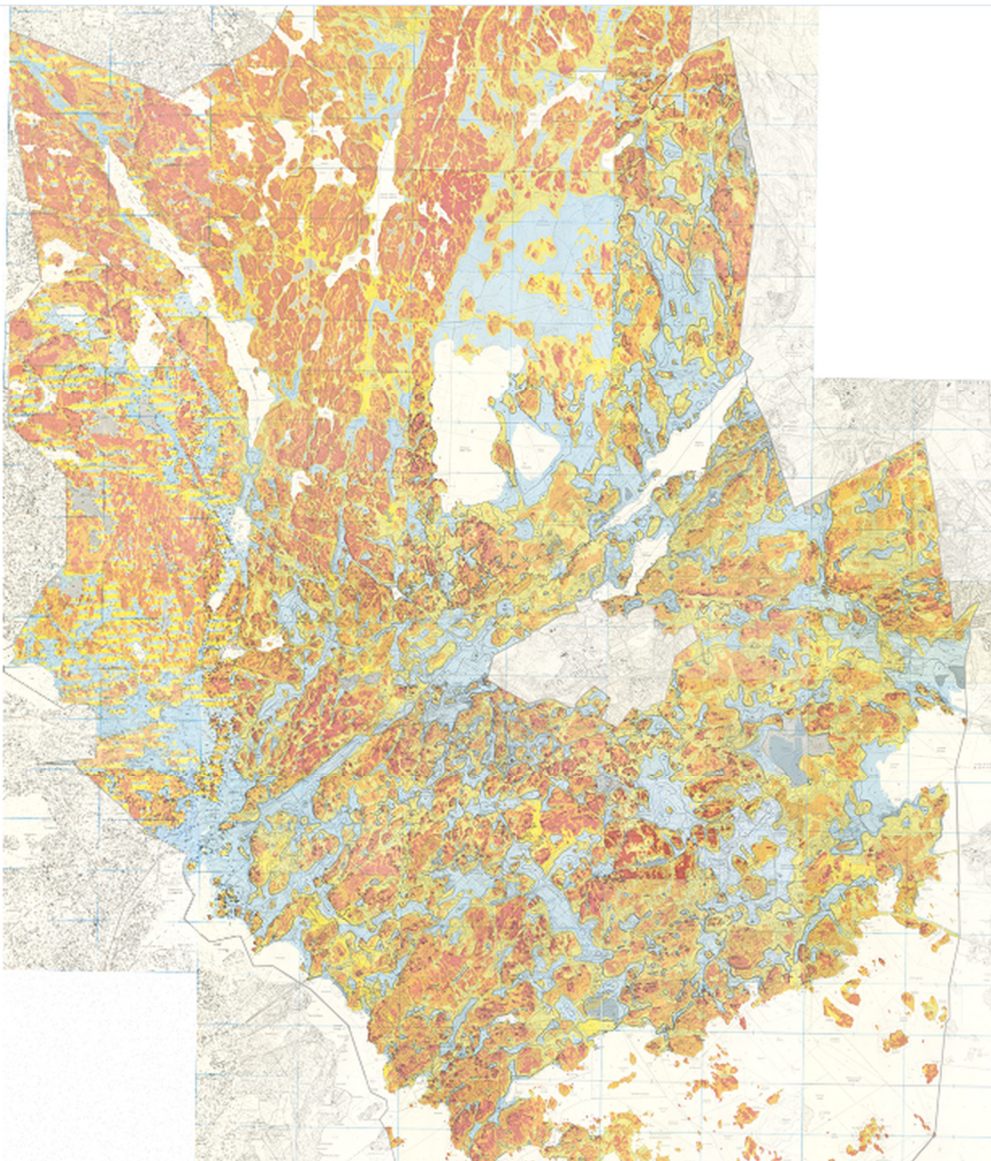


Kuva 18. Sulfidi- ja korroosiotutkimuksia esitettynä Espoon kaupungin paikkatietokannan selausnäkyessä nimeltä Webmap

### 4.3 Tutkimusalueiden rajaaminen maaperäkartan avulla

Espoon kaupungin Geotekniikkayksikössä on käytössä koko Espoon kaupungin alueen kattava maaperäkartta. Maaperäkartan laatiminen on aloitettu jo 60-luvulla ja sitä päivitetään jatkuvasti uusien pohjatutkimustulosten avulla. (Tompuri, 2006)

Espoon kaupungin maa-alueen pinta-ala on noin 312 km<sup>2</sup>, josta Espoon kaupungin maaperäkartaan on noin 67 km<sup>2</sup> tulkittu olevan pohjamaaltaan savea. Eli noin 22 % Espoon maa-alueen pinta-alasta on pohjamaaltaan savea.



Kuva 19. Espoon kaupungin maaperäkarta

Yllä olevassa kuvassa on pienennös Espoon kaupungin internetissä avoimessa karttapalvelussa olevasta maaperäkartasta. Maaperäkartassa olevat eri väriset alueet ovat saaneet pohjaväriensä sen mukaan mitä vallitsevaa pohjamaatyyppiä kullakin alueella on yli 3 metrin paksuudelta. Poikkeuksen tähän tekee punaisella väritetyt alueet, jossa kyseisellä alueella on kallionpinta alle 0,5 m etäisyydellä maanpinnasta. Maaperäkartan värikytket ovat alla olevan kuvan mukaiset.

MAALAJIT		VÄRIT
KALLIO Maakerroksen paksuus 0..0.5m		
TURVE	Tv	
SAVI	Sa	
SILTTI	Si	
HIEKKA	Hk	
SORA	Sr	
MOREENI	Mr	
Värin osoittaman maalajin päällä täytettä alle 3m		
Värin osoittaman maalajin päällä täytettä yli 3m		
Kitkamaalajin (esim. moreeni) päällä viivoituksen osoittamaa (esim. silttiä ja savea) maalajia alle 3 m.		

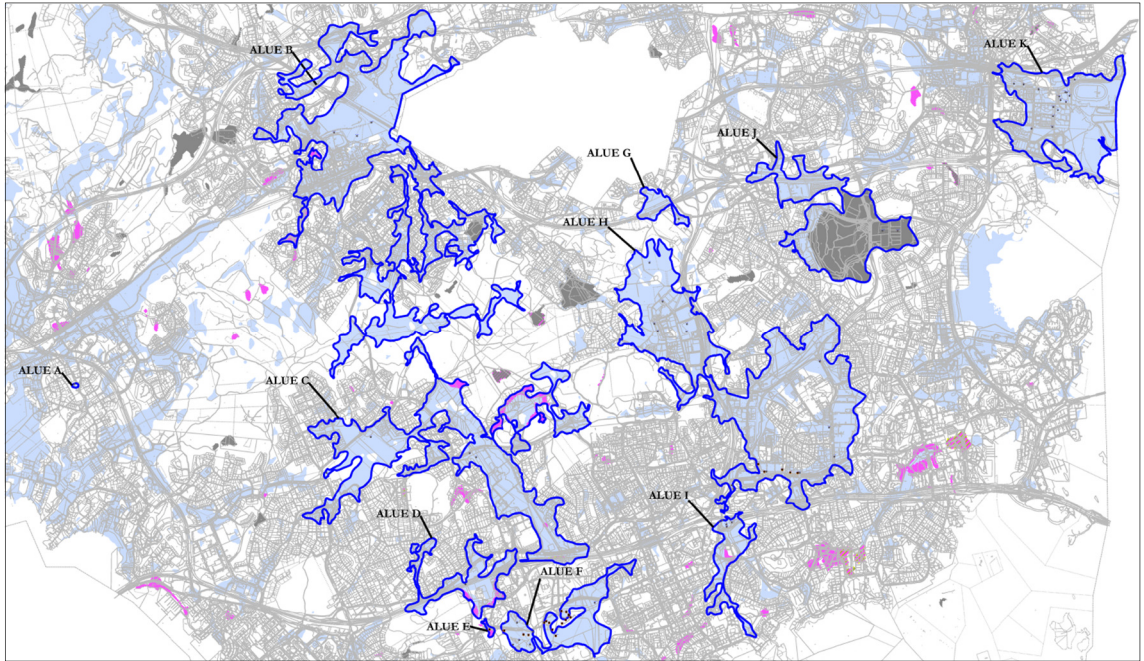
#### Kuva 20. Espoon maaperäkartan väriselitteet

Maaperätyypeistä valittiin tämän tutkimuksen savidementtien aluerajauksiksi seuraavat tarkemmat savi tai turvepohjaiset maaperäkartan kuvaustasot:

- savi
- turve
- IV\_5 (kuvaustaso, jolla esitetty savialueet, jonka päällä on turvetta)
- V\_4 (kuvaustaso, jolla esitetty turvealueet, jonka päällä on savea)
- IV\_2 (kuvaustaso, jolla esitetty savialueet, jonka päällä on soraa ja hiekkaa)
- IV\_2\_3 (kuvaustaso, jolla esitetty savialueet, jonka päällä on soraa, hiekkaa tai silttiä)
- IV\_3 (kuvaustaso, jolla esitetty savialueet, jonka päällä on silttiä)
- IV\_3\_5 (kuvaustaso, jolla esitetty savialueet, jonka päällä on silttiä ja turvetta)



Alla olevaan kuvaan on sijoitettu sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuspisteiden sijainti maaperäkartaan, jossa on värillä esitetty pelkästään edellä luetellut savi tai turvepohjaiset maa-alueet. Lisäksi kartan taustalla on karsittu kantakartta. Oheinen kuva ilman kantakarttaa taustalla on myös suuremmassa koossa esitettyä tämän opinnäytetyön liitteessä 1.



Kuva 21. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten tutkimuspisteiden sijoittuminen Espoon kaupungin maaperäkartan savialueille ja muodostetuille tutkimusrajauksille

Yllä olevassa kuvassa on esitetty myös muodostetut tutkimusalue-rajaukset. Tutkimusalue-rajaukset muodostettiin niin, että rajattiin maaperäkartan luokituksen mukaan pohjamaaltaan edellä luetelluin tarkennuksin joko savea tai turvetta olevat yhtenäiset maaperä-alueet mihin tutkimushankkeissa tehdyt sulfidi- ja korroosiotutkimukset sijoituivat. Alueita muodostui näin ollen 11 kappaletta. Alueet nimettiin kirjaimin A:sta K:hon.

Tutkimusalue	Pinta-ala [ha]	Korroosio- ja /tai Sulfidimaa - tutkimusraportin numero	Korroosio- ja/tai sulfidimaa maanäytetutkimuspisteitä [kpl]	Yksittäisiä korroosio- ja/tai sulfidimaa maanäytetutkimuksia [kpl]
A	~0,4	17	1	3
B	~385	10	3	12
C	~260	8,13	4	20
D	~51	11	2	2
E	~1	19	1	3
F	~65	19, 14, 7	21	53
G	~14	3	1	1
H	~418	4, 9, 21, 16, 15	15	64
I	~35	6	5	12
J	~150	18	2	6
K	~160	5, 2, 1	15	45

Taulukko 7. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten sijoittumisen perusteella luotujen tutkimusalueiden listaus

Eniten sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuksia on tehty tutkimukseen rajatuilla tutkimusalueilla F, H ja K. Tämän opinnäytetyön happaman sulfaattimaan riskialueiden karttatulkinnan koealueeksi valittiin tutkimusalue F, jolle oli sijoittunut tutkimusalueista eniten korroosio- ja maanäytetutkimuspisteitä kaikista tutkimusalueista.

## 5 Espoon alueelta tehtyjen korroosio- ja/tai sulfidimaatutkimusten tulokset

Korroosio- ja/tai sulfidimaatutkimusraporteissa olevat tutkimustulokset koottiin Excel taulukkoon. Tutkimustuloksista kirjattiin ylös ja tilastoitiin maanäytteistä analysoidut ominaisuudet. Espoon kaupungin alueelta on korroosio- ja/tai sulfiditutkimuksiin otettuja maanäytteitä kirjattu raporteihin olevan yhteensä 70 kappaletta maanäytepisteitä, joissa yksittäisiä maanäytteitä on yhteensä 221 kappaletta. Liitteessä 2 on esitetty taulukko mihin on listattu sulfidi- ja korroosiotutkimusten maanäytteiden kaikki niistä tutkitut Liikenneviraston tutkimusohjeen ja Geologian tutkimuskeskuksen happaman sulfaattimaan määrittelyohjeen mukaiset analyysitulokset. Mahdolliset konsulttitoimistojen ylimääräiset omat lisätutkimukset on jätetty taulukon selkeyden ja tulosten keskinäisen vertailtavuuden vuoksi siihen kirjaamatta.

## 5.1 Vertailtavat happaman sulfaattimaan indikaattorit

Sulfidi- ja korroosiotutkimusraporteista valittiin arvoiksi happaman sulfaattimaan esiintymisen tunnistetuiksi indikaattoreiksi todetut maanäytteiden seuraavat ominaisuudet:

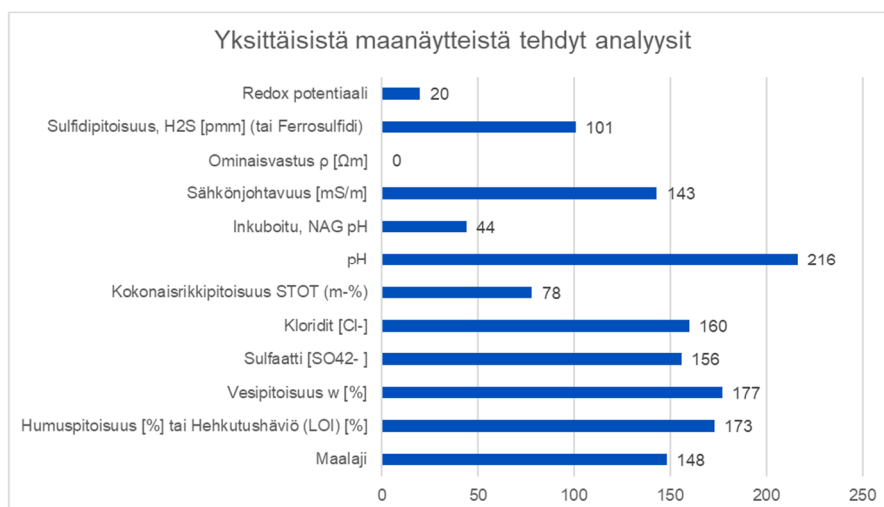
- Sulfaattipitoisuus  $\text{SO}_4^{2-}$ , jonka pitoisuuden raja-arvo on yli 500 mg/kg
- Kokonaisrikkipitoisuus, jonka pitoisuuden raja-arvo on yli 0,2 %

Lisäksi tutkimuksissa maanäytteistä analysoidut pH:n arvot tilastoitiin ja niitä verrattiin erillisillä taulukoilla. PH:n raja-arvoista vertailut tehtiin erikseen, sekä Liikenneviraston ohjeen mukaisilla arvoilla (pH < 4,5 tai pH >9), että Geologian tutkimuskeskuksen ohjeen mukaisilla raja-arvoilla (pH < 4 tai >6).

Maanäytteistä laboratoriossa analysoitujen sulfaattipitoisuuksien ja kokonaisrikkipitoisuuksien, sekä erikseen pH:n arvoja, verrataan samoista näytteistä analysoituihin vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden arvoihin. Lisäksi sulfaatin ja rikkipitoisuuksien raja-arvojen ylittävien ja alittavien maanäytteiden vertailut tehdään maanäytteistä analysoidun maalajin suhteen.

## 5.2 Maanäytteistä tehdyt analyysit

Yksittäisiä maanäytteitä on Espoon sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuksissa ollut kaikkiaan 221 kappaletta. Tutkimuksissa olevista yksittäisistä sulfidi- ja/tai korroosiomaanäytteistä on analysoitu vaihtelevasti eri ominaisuuksia.

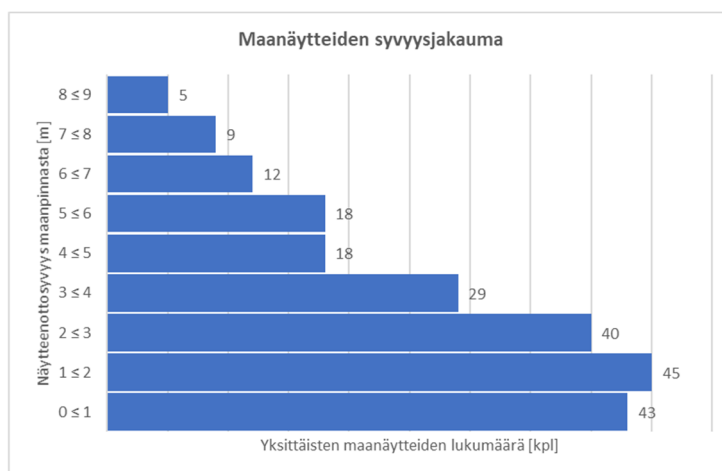


Kuva 22. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten yksittäisistä maanäytteistä tehdyt analyysit

Yllä olevassa kuvassa on esitetty maanäytteistä tehdyt analyysit kappalemäärittäin. Maanäytteistä tehtyjen analyysien kappalemääräistä jakaumaa selittää se, että selvästi eniten Espoon kaupungin alueella tehdyistä korroosio- ja/tai sulfidisavinäytteistä, on tehty tutkimuksia Liikenneviraston sillan geoteknisen suunnitteluohjeen maaperän korroosio-ominaisuuksien tutkimusohjeen mukaisesti. (Liikennevirasto, 2012) Eli suurimmasta osasta tutkimuksessa mukana olleista maanäytteistä on selvitetty sen sähkönjohtavuuden, pH:n, kloridin- ja sulfaattipitoisuuden arvot. Melkein jokaisesta maanäytteestä on analysoitu pH:n arvo, mikä selittyy sillä, että sekä GTK:n ohjeessa, että Liikenneviraston ohjeessa pH:n määrittäminen tulee tehdä. Yhdestäkään maanäytteestä ei ole analysoitu sen ominaisvastusta, mikä voi johtua siitä, että ominaisvastuksen tutkiminen on ollut vaihtoehto maaperän sähkönjohtavuuden tutkimiselle Liikenneviraston ohjeessa.

Tavanomaisia maanäytteille tehtäviä analyysejä vesipitoisuuden, humuspitoisuuden ja maalajimäärityksen osalta on tehty vaihtelevia määriä. Osittain näiden kolmen parametrin määrää selittää se, että osassa sulfidi- ja korroosiotutkimusraportteja ei oltu eritelty näytekohtaisesti niiden tietoja ja myös se, että tutkimusohjeistus ei ole ollut yhtenäinen kaikkien tutkimusten kesken.

Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuksissa maanäytteistä 219 kappaletta yksittäisiä näytteitä on sellaisia mistä on tiedossa näytteenottosyvyys. Maanäytteitä on otettu 0-9 metrin syvyydeltä maanpinnasta. Alla olevassa kuvassa on esitetty tutkimuksissa olleiden maanäytteiden määrä eri jaoteltuna syvyyden mukaan.



Kuva 23. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden syvyysjakauma

Tutkimuksissa olleiden maanäytteiden määrä laskee melko tasaisesti mentäessä syvemmälle maanpinnasta. Yksittäisiä maanäytteitä on tutkimuksissa ollut eniten 0-3 metrin syvyydeltä maanpinnasta ja vähiten yli 8 metrin syvyydeltä. Maanäytteiden tuloksia vertailtaessa niissä tutkittujen parametrien mukaan tulee huomioida, että määrällisesti maanäytteitä on suhteellisesti enemmän 0-3 metrin syvyydeltä kuin seuraavilta kolmen metrin syvyysväleiltä.

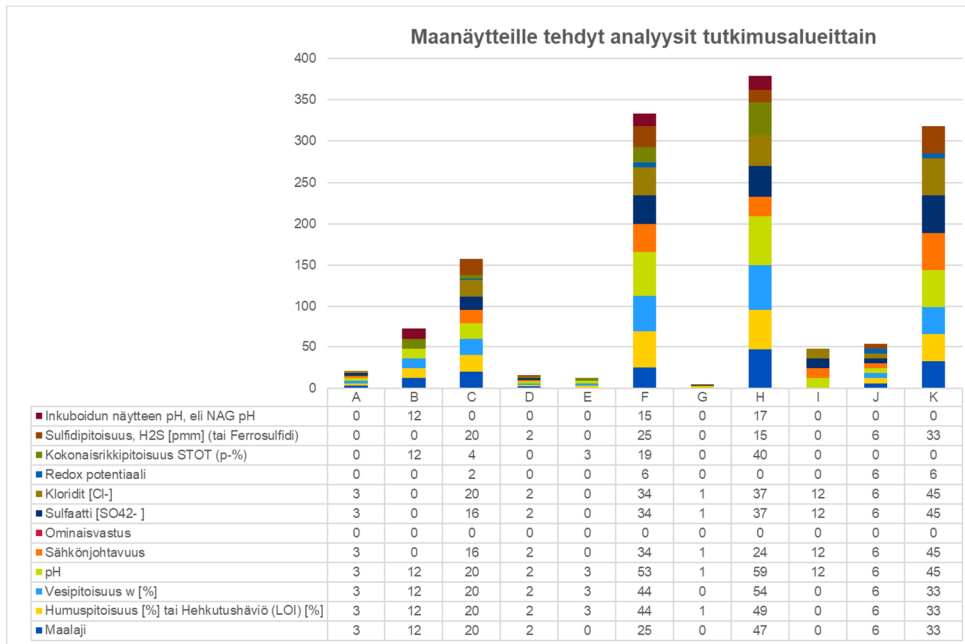
Alla olevaan taulukkoon on lajiteltu kaikki sulfidi- ja/tai korroosiomaanäytteistä tehdyt analyysit tämän tutkimusalueittain. Tutkimusalueista F-, H- ja K- alueille on tehty määrällisesti eniten yksittäisiä maanäyteanalyysijä. Näille kolmelle tutkimusalueelle onkin sijoittunut eniten sulfidi- ja korroosiotutkimushankkeita verrattuna muihin tutkimusalueisiin. Tutkimusalueet ovat listattuna tämä kappaleessa 4.3 Tutkimusalueiden rajaus.

Alue	Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kloridit [Cl-]	Sähkönjohtavuus	Ominaisvastus	Sulfidipitoisuus , H <sub>2</sub> S [pmm] (tai Ferrosulfidi)	Redox potentiaali	pH	Inkuboidun näytteen pH, eli NAG pH	Kokonaisriikki pitoisuus S <sub>TOT</sub> (p-%)	Yht.
A	3	3	3	3	3	3	0	0	0	3	0	0	21
B	12	12	12	0	0	0	0	0	0	12	12	12	72
C	20	20	20	16	20	16	0	20	2	20	0	4	158
D	2	2	2	2	2	2	0	2	0	2	0	0	16
E	0	3	3	0	0	0	0	0	0	3	0	3	12
F	25	44	44	34	34	34	0	25	6	53	15	19	333
G	0	1	0	1	1	1	0	0	0	1	0	0	5
H	47	49	54	37	37	24	0	15	0	59	17	40	379
I	0	0	0	12	12	12	0	0	0	12	0	0	48
J	6	6	6	6	6	6	0	6	6	6	0	0	54
K	33	33	33	45	45	45	0	33	6	45	0	0	318
Yht.	148	173	177	156	160	143	0	101	20	216	44	78	1416

Taulukko 8. Espoossa tehtyjen sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteistä tehdyt analyysit tutkimusalueittain taulukkomuodossa

Alla olevassa kuvassa esitetty kaaviomuodossa yllä olevan taulukon tiedot tutkimusalueittain jaoteltuna.

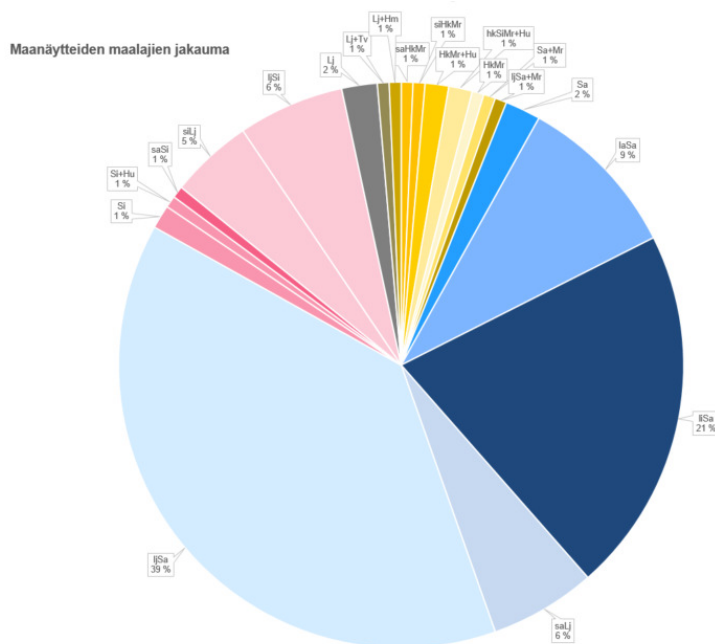




Kuva 24. Espoossa tehtyjen sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteistä tehdyt analyysit tutkimusalueittain kuvaajamuodossa

### 5.2.1 Maanäytteiden maalajit

Tutkimuksessa mukana olleista 221 yksittäisestä maanäytteestä on 148 kappa-  
leelle, eli noin 67 % tutkimuksissa mukana olleista maanäytteistä tehty maalaji-  
analyysi laboratoriossa.



Kuva 25. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteistä analysoidujen maala-  
jien jakautuminen kokonaisuutena

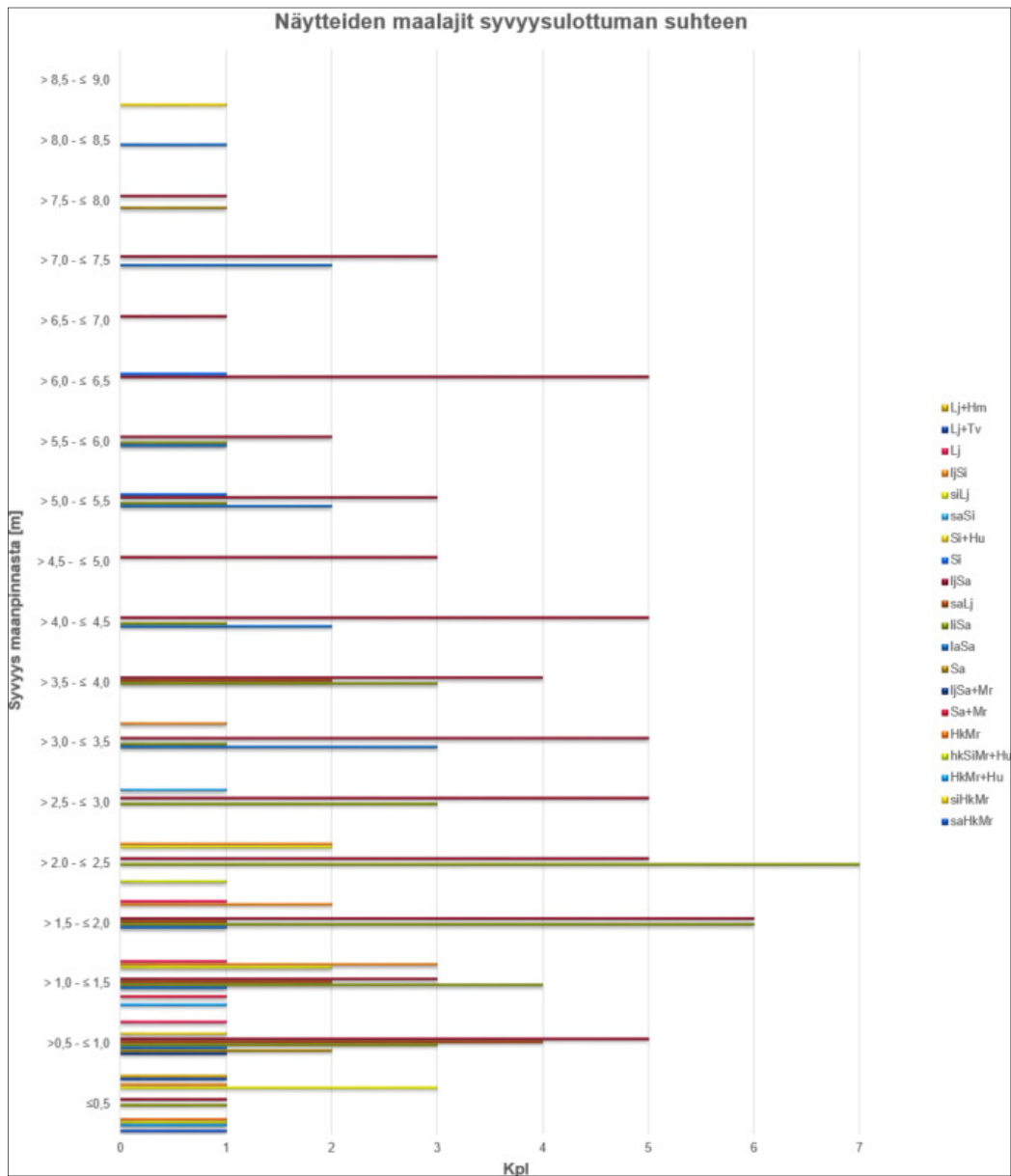
Eniten analyyskejä on tehty liejuisille eloperäisille maalajeille, joita on hieman yli puolet tutkimuksessa mukana olleista maanäytteistä, joista on määritetty maalaji. Tutkimuksessa mukana olleista maanäytteistä noin 15 % maanäytteistä on todettu olevan myös lihavaa ja laihaa savea. Noin kolmasosa tutkimuksessa mukana olleista maanäytteistä on moreenia.

Alla olevissa taulukoissa on nähtävissä näytteistä analysoitujen maalajien sijainti suhteessa niiden syvyyteen maanpinnasta. Maanäytteitä on eniten 0-2,5 metrin syvyysvälillä ja 2,5-4,5 metrin syvyysvälillä. Yli 4,5 metrin syvyydestä otettujen maanäytteiden määrä laskee melko tasaisesti.

Syvyys [m]	≤0,5	>0,5 - ≤1,0	>1,0 - ≤1,5	>1,5 - ≤2,0	>2,0 - ≤2,5	>2,5 - ≤3,0	>3,0 - ≤3,5	>3,5 - ≤4,0	>4,0 - ≤4,5	>4,5 - ≤5,0	>5,0 - ≤5,5	>5,5 - ≤6,0	>6,0 - ≤6,5	>6,5 - ≤7,0	>7,0 - ≤7,5	>7,5 - ≤8,0	>8,0 - ≤8,5	>8,5 - ≤9,0	YHT. [kpl]
saHkMr	1																		1
siHkMr																		1	1
HkMr+Hu	1		1																2
hkSiMr+Hu	1				1														2
HkMr	1																		1
Sa+Mr			1																1
ljSa+Mr		1																	1
Sa		2														1			3
laSa		1	1	1			3		2		2	1			2		1		14
liSa	1	3	4	6	7	3	1	3	1		1	1							31
saLj		4	2	1				2											9
ljSa	1	5	3	6	5	5	5	4	5	3	3	2	5	1	3	1			57
Si											1		1						2
Si+Hu		1																	1
saSi						1													1
siLj	3		2		2														7
ljSi	1		3	2	2		1												9
Lj		1	1	1															3
Lj+Tv	1																		1
Lj+Hm	1																		1
YHT. [kpl]	12	18	18	17	17	9	10	9	8	3	7	4	6	1	5	2	1	1	148

Taulukko 9. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden maalajijakauma näytteen syvyyden suhteen taulukkomuodossa

Liejupitoisia maanäytteitä on ollut eniten 0-3 metrin syvyysvälillä, mutta liejuisia näytteitä on tutkimuksissa esiintynyt myös 4,5-7 metrin syvyydellä maanpinnasta. Moreenipitoiset maanäytteet ovat suurimmalta osin pintamaasta 0-3 metrin syvyydeltä, joten niiden voidaan todeta olevan suurella todennäköisyydellä maanäytteitä täyttömaasta tai rakennekerroksista. Moreeninäyte, joka on otettu 8,5-9 metrin syvyydestä on todennäköisesti luonnontilainen maanäyte. Alla on esitetty maanäytteiden maalajit niiden syvyyssulottuman suhteen tarkemmin myös pylväsdiagrammimuodossa.

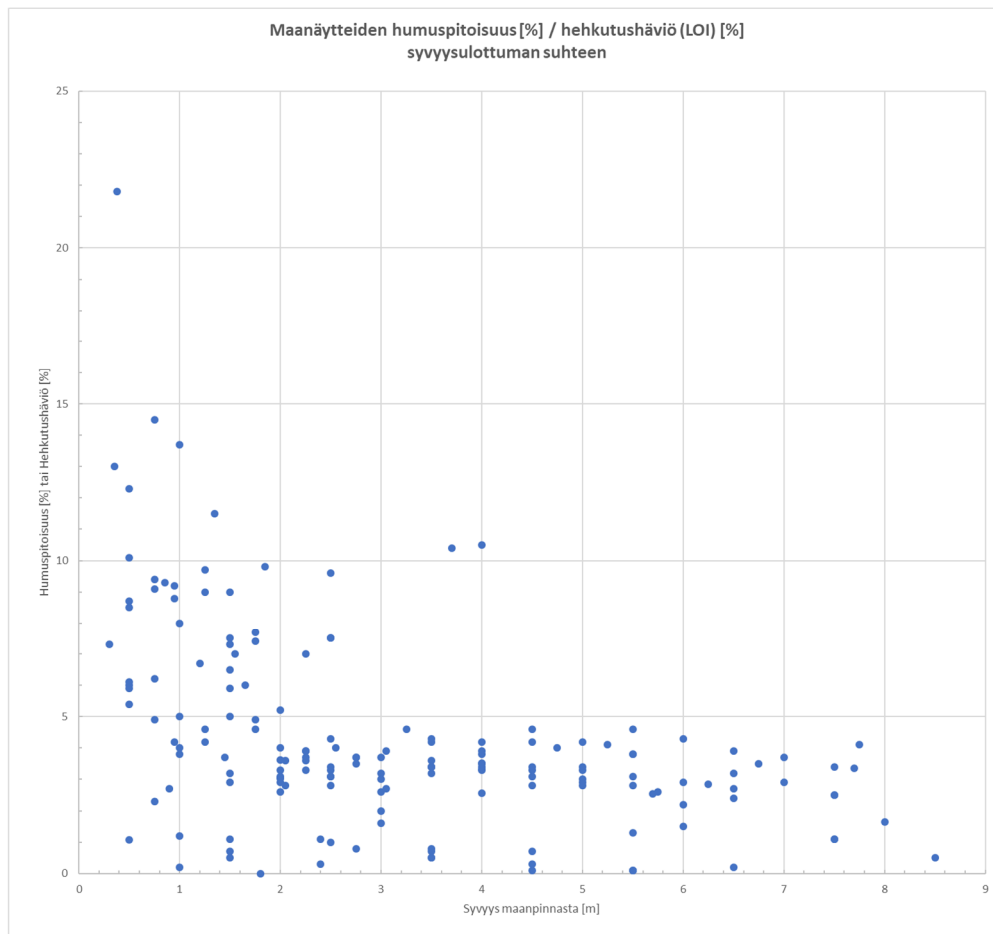


Kuva 26. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden maalajijakauma näytteen syvyyden suhteen kuvaajamuodossa

Yllä olevassa kuvassa olevasta kaaviosta on helposti havaittavissa, että tummanpunaisella pylväällä esitettyjä liejuisia savinäytteitä on suhteessa tutkittuihin näytteisiin kappalemääräisesti eniten miltei kaikilla syvyyksillä lukuun ottamatta alle 1,5 m, 2,0-2,5 ja yli seitsemän metrin syvyyttä. Huomattavaa on, että myös vihreällä pylväällä esitettyjä lihavia savinäytteitä on tutkimuksissa havaittu 0,5 – 4 metrin syvyydellä myös paljon.

## 5.2.2 Maanäytteiden humus- ja vesipitoisuudet

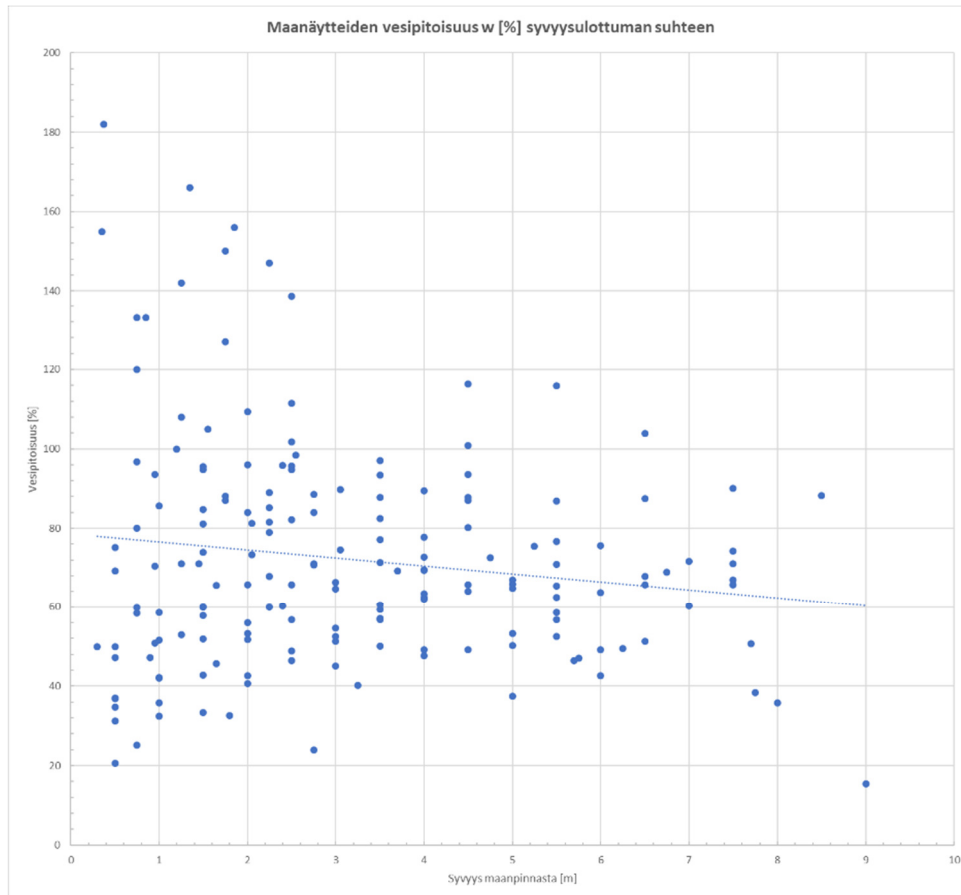
Sellaisia maanäytteitä, joista on tiedossa näytteenotto syvyys ja näytteestä on laboratoriossa analysoitu humuspitoisuus tai hehkutushäviö, on tutkimuksissa ollut yhteensä 171 kappaletta. Alla olevassa taulukossa on esitetty sinisellä pallolla maanäytteistä analysoidun humuspitoisuuden tai hehkutushäviön arvot suhteessa näytteen syvyyteen maanpinnasta maanäytteittäin.



Kuva 27. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden humuspitoisuuden tai hehkutushäviön arvot niiden syvyytulottuman suhteen maanpinnasta

Maanäytteiden humuspitoisuudet vaihtelivat 0-21,8 % välillä. Humuspitoisuuksien keskiarvo on noin 4,3 %. Maanäytteitä, joiden humuspitoisuuden arvo on yli 5 % on ollut ainoastaan näytteissä, jotka on otettu alle 4 metrin syvyydellä maanpinnasta. Alle 5 % humuspitoisuuden omaavia maanäytteitä on ollut tasaisesti kaikissa maanäyte syvyyksissä.

Sellaisia maanäytteitä, joista on tiedossa näytteenotto syvyys ja näytteestä on laboratoriossa analysoitu vesipitoisuus, on tutkimuksissa ollut yhteensä 176 kappaletta. Alla olevassa taulukossa on esitetty sinisin palloin maanäytteissä olleiden vesipitoisuuksien arvot suhteessa maanäytteen syvyyteen maanpinnasta maanäytteittäin.

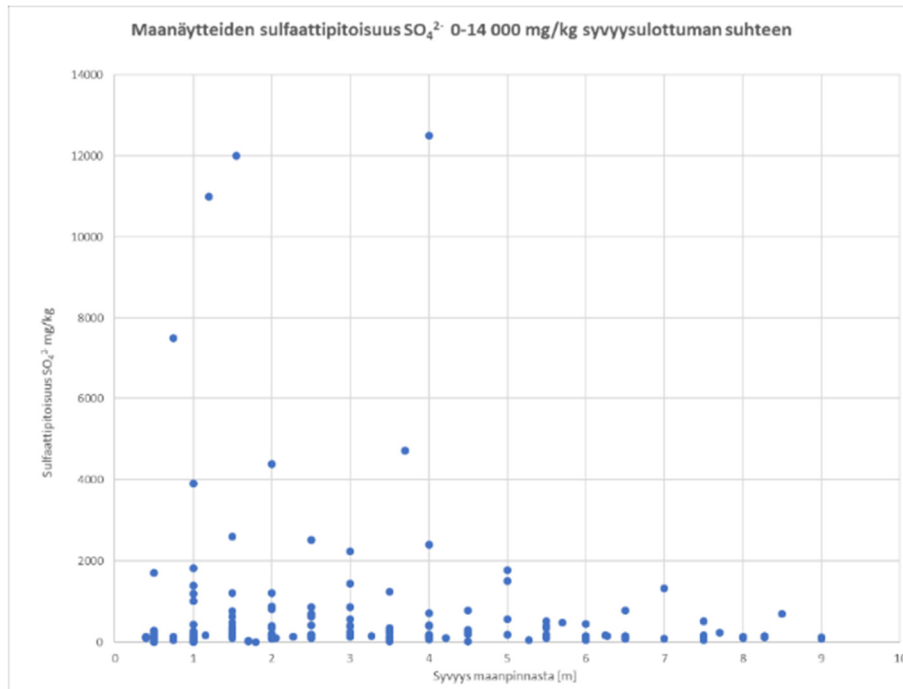


Kuva 28. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden vesipitoisuuksien arvot niiden syvyytulottuman suhteen maanpinnasta

Maanäytteiden vesipitoisuudet vaihtelivat 15,4-182 % välillä. Maanäytteiden vesipitoisuuksien keskiarvo on noin 72 %. Maanäytteitä, joiden vesipitoisuus on yli 100 %, on suurin osa otettu alle 3 metrin syvyydestä maanpinnasta. Kuitenkin yli 80 % vesipitoisuuksilla olevia näytteitä melko paljon syvemmistäkin maakerroksista. Maanäytteiden vesipitoisuus kuitenkin pääosin pienenee mentäessä syvempiin maakerroksiin.

### 5.2.3 Maanäytteiden sulfaatti SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> pitoisuudet

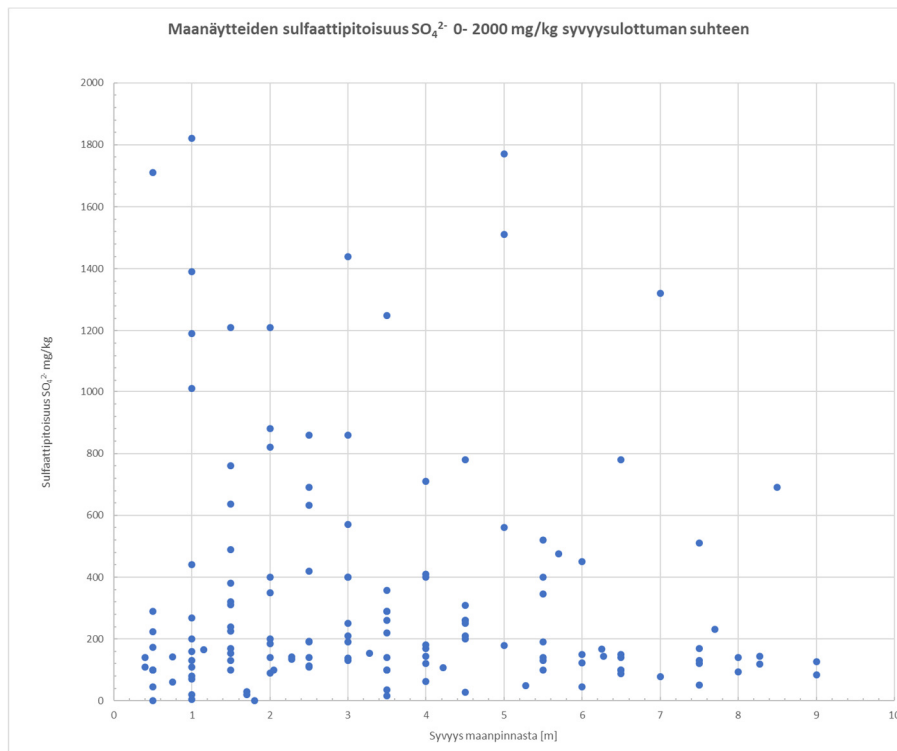
Sellaisia maanäytteitä, joista on tiedossa näytteenotto syvyys ja näytteestä on laboratoriossa analysoitu sulfaattipitoisuus SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> [mg/kg] on yhteensä 155 kappaletta. Alla olevassa taulukossa on esitetty sinisellä pallolla maanäytteistä olleet sulfaattipitoisuudet suhteessa näytteen syvyyteen maanpinnasta maanäytteittäin.



Kuva 29. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden sulfaattipitoisuuksien arvot niiden syvyyssulottuman suhteen maanpinnasta

Osassa tutkimuksista pieniä sulfaattipitoisuuksia oli ilmoitettu noin arvoina esim. alle 100, 400 ja 20 mg/kg. Tällaiset tulokset on muutettu tasaluvuksi 100, 200 ja 20 tilastoinnin vuoksi.

Maanäytteiden sulfaattipitoisuudet vaihtelivat 1,33-12500 mg/kg välillä. Yli 2000 mg/kg sulfaattia olevia näytteitä on ollut syvyysväleillä 0-4 metriä. Tutkimuksissa on ollut viisi maanäytettä missä sulfaattipitoisuus on ollut yli 4000 mg/kg, joista kolmessa maanäytteessä sulfaattipitoisuudet ovat olleet jopa yli 10 000 mg/kg. Koska yllä olevan kuvaajan mittakaava on suurimman ja pienimmän arvon välillä turhan iso, on alle tehty erikseen kuvaajaan tarkastelu maanäytteistä, joiden pitoisuudet ovat olleet 0-2000 mg/kg välillä.

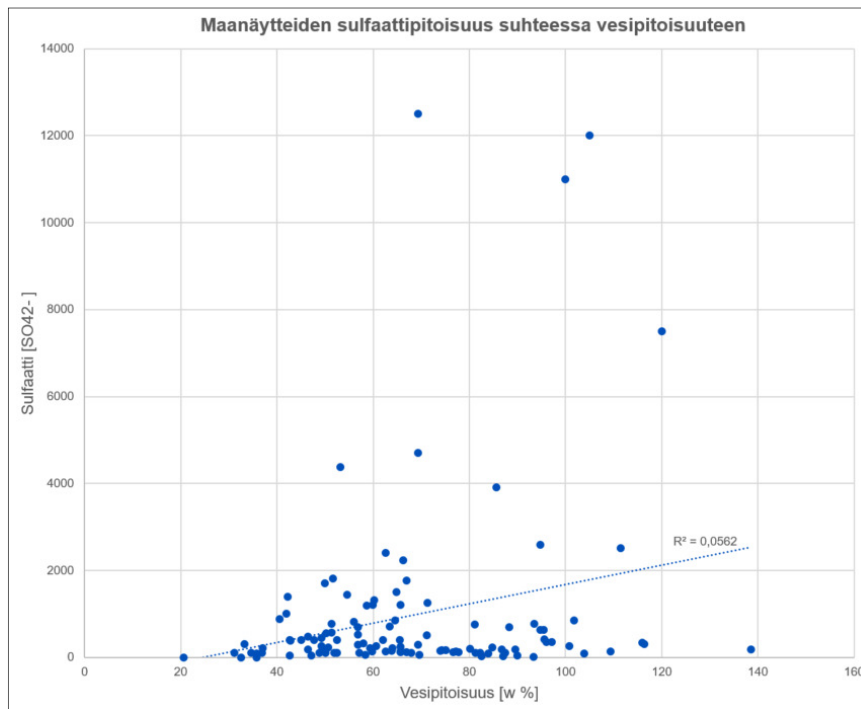


Kuva 30. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden sulfaattipitoisuuksien arvot, pitoisuuksien 0-2000 mg/kg välillä, niiden syvyyusulottuman suhteen maanpinnasta

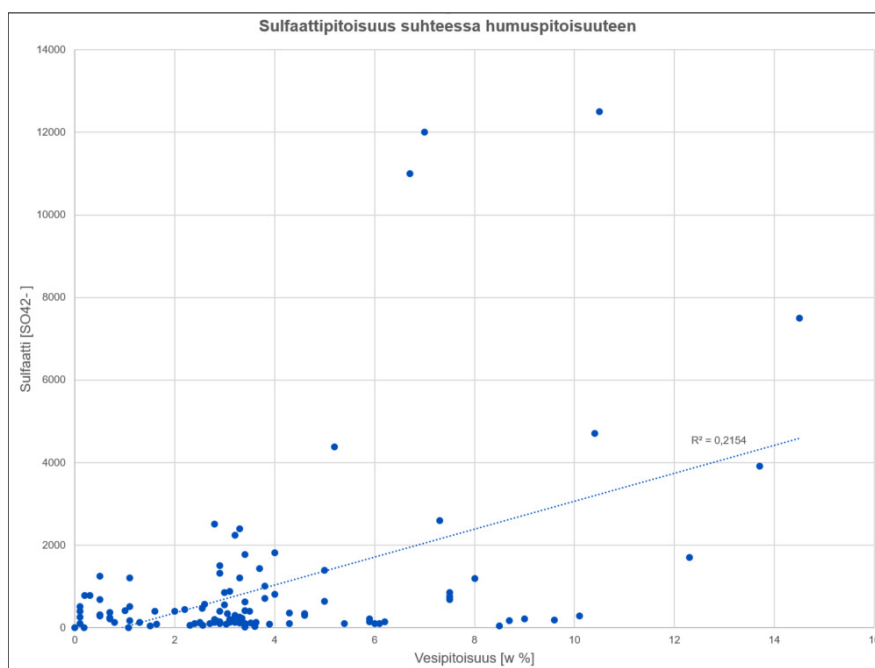
Alle 2000 mg/kg sulfaattipitoisuuksien välinen hajonta on suuri koko näytteen otto syvyyksillä. Yllä olevista kuvaajista voidaan huomata, että tutkimuksissa olleet maanäytteiden sulfaattipitoisuudet vaihtelevat tasaisesti miltei koko vaihteluvälillä kaikissa maanäytteiden syvyyksissä.

**Sulfaattipitoisuudet suhteessa niiden vesipitoisuuksiin ja humuspitoisuuksiin**

Alla olevissa kuvaajissa on esitetty maanäytteiden sulfaattipitoisuudet verrattuna niistä analysoituihin vesipitoisuuksiin ja humuspitoisuuksiin. Maanäytteiden sulfaattipitoisuuden lineaarinen korrelaatiokerroin, eli muuttujien välinen yhteys, vesipitoisuuden suhteen tutkituissa näytteissä on 0,0562, eli yhteys sulfaattipitoisuuden ja vesipitoisuuden välillä ei ole kovin merkittävä. Toisaalta lineaarista korrelaatiokertoimeen voi vaikuttaa sulfaattipitoisuuden suurimpien ja pienimpien arvojen välinen merkittävä hajonta.



Kuva 31. Maanäytteiden sulfaattipitoisuus suhteessa vesipitoisuuteen  
 Maanäytteiden sulfaattipitoisuuden suhde niissä analysoituihin humuspitoisuuksiin on lineaarisen korrelaation puolesta merkittävämpi korrelaatiokertoimen ollessa 0,2154. Humuspitoisuuden ja sulfaattipitoisuuden kohdalla vaikuttaisi olevan vesipitoisuuteen verrattuna suurempi yhteys.

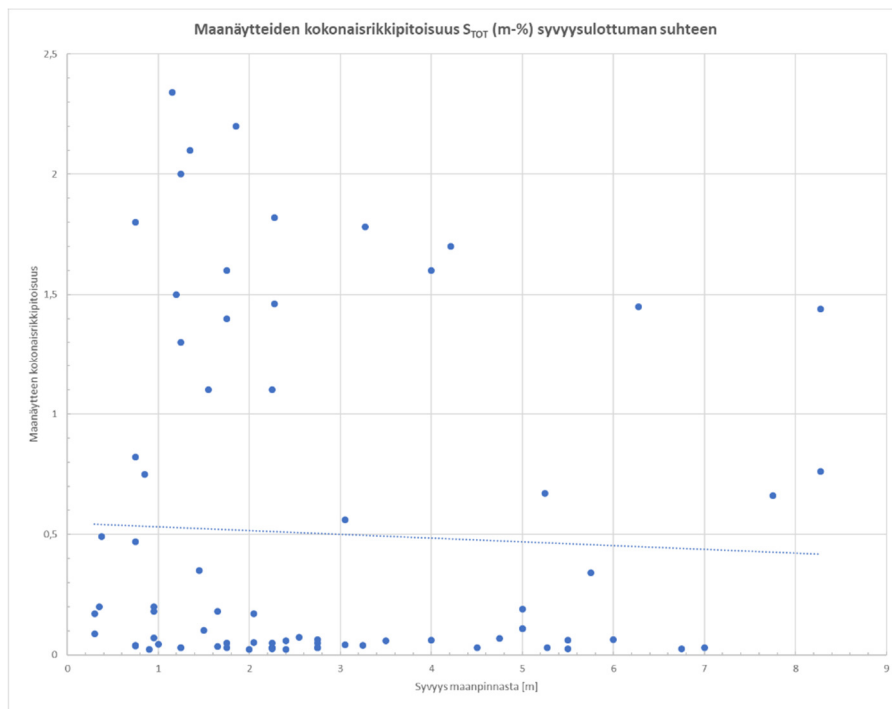


Kuva 32. Maanäytteiden sulfaattipitoisuus suhteessa humuspitoisuuteen



## 5.2.4 Maanäytteiden rikkipitoisuudet

Sellaisia maanäytteitä, joista on tiedossa näytteenotto syvyys ja näytteestä on laboratoriossa analysoitu rikkipitoisuus, on yhteensä 77 kappaletta. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty sinisellä pallolla maanäytteistä olleet rikkipitoisuudet suhteessa näytteen syvyyteen maanpinnasta maanäytteittäin.



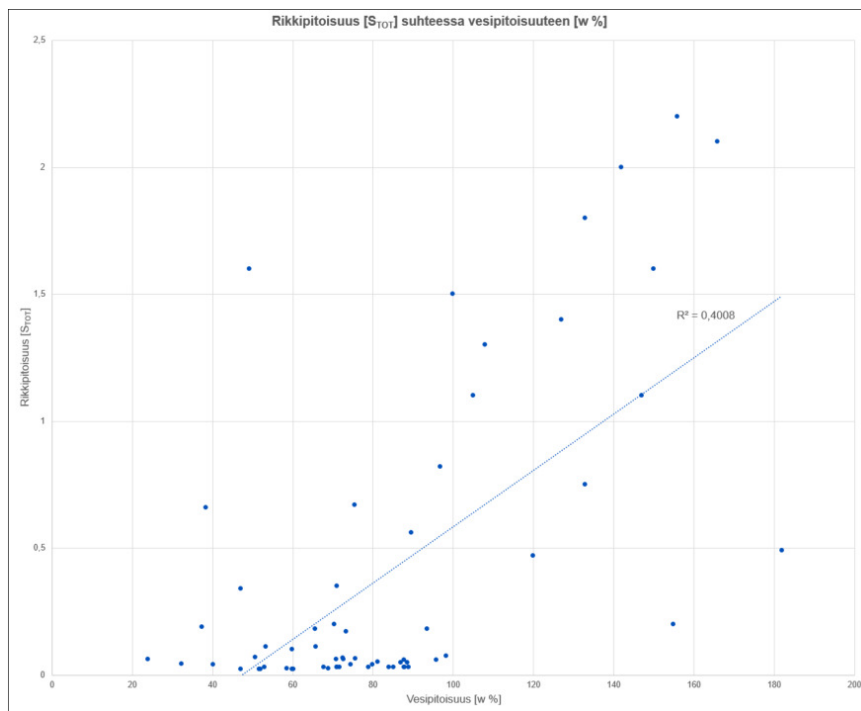
Kuva 33. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden kokonaisrikkipitoisuuksien arvot niiden syvyyden suhteen maanpinnasta

Osassa tutkimuksista oli ilmoitettu alle 0,03 rikkipitoisuudet pienempi kuin merkinnällä, tällaiset tulokset on pyöristetty tilastoinnin vuoksi tasan 0,03.

Maanäytteiden rikkipitoisuudet vaihtelivat 0,022-2,34 välillä. Suuria ja pieniä rikkipitoisuuden arvoja tavataan miltei kaikilta maanäytesyvyyksiltä. Rikkipitoisuudeltaan yli 1,5 olevia maanäytteitä on ollut vain alle 4,5 metrin syvyydessä. Vaikuttaisi siltä, että maanäytteen rikkipitoisuus ei välttämättä ole riippuvainen sen syvyydestä maanpintaan. Rikkipitoisuuden arvojen lineaarinen suuntaviiva on kuitenkin hieman laskeva mentäessä syvemmälle maanpinnasta.

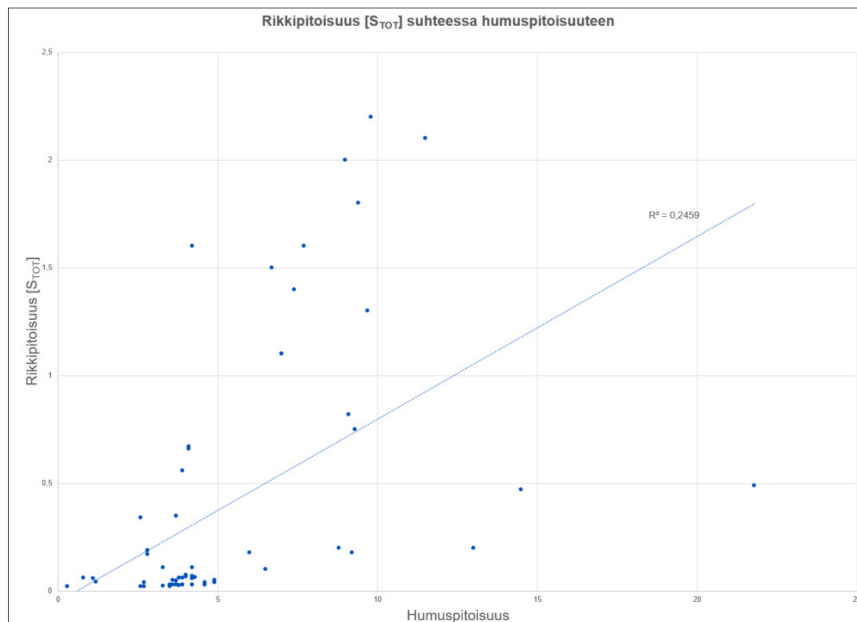
## Rikkipitoisuudet suhteessa niiden vesipitoisuuksiin ja humuspitoisuuksiin

Alla olevissa kuvaajissa on esitetty maanäytteiden rikkipitoisuudet verrattuna niistä analysoituihin vesipitoisuuksiin ja humuspitoisuuksiin. Maanäytteiden rikkipitoisuuden lineaarinen korrelaatiokerroin, eli muuttujien välinen yhteys, vesipitoisuuden suhteen tutkituissa näytteissä on 0,4008, eli yhteys rikkipitoisuuden ja vesipitoisuuden välillä on jo merkittävä. Suuria rikkipitoisuuksia tavataan kuvaajan mukaan enemmän suurilla vesipitoisuuksilla.



Kuva 34. Maanäytteiden rikkipitoisuus suhteessa vesipitoisuuteen

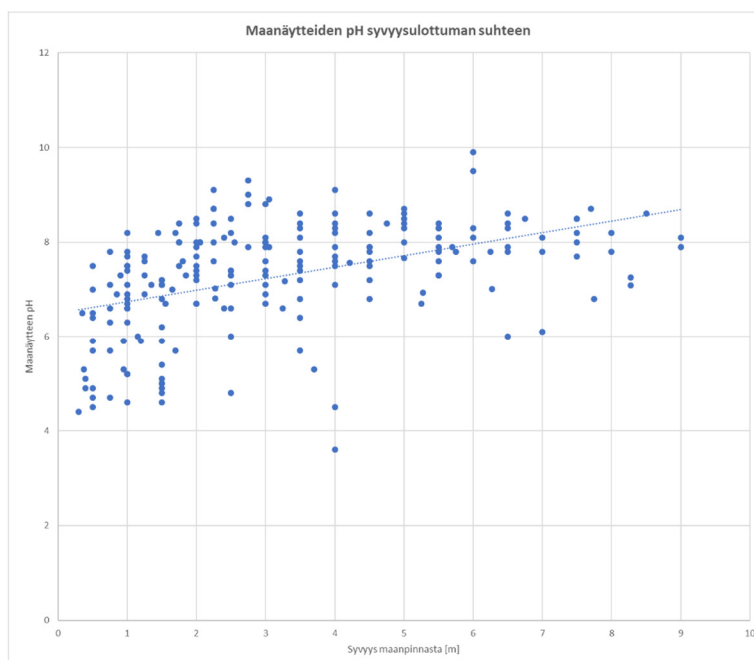
Maanäytteiden rikkipitoisuuden lineaarinen korrelaatiokerroin, eli muuttujien välinen yhteys, humuspitoisuuden suhteen tutkituissa näytteissä on 0,2459, eli yhteys rikkipitoisuuden ja humuspitoisuuden välillä voidaan sanoa olevan jonkin verran merkittävä. Toisaalta lineaariseen korrelaatiokertoimeen voi vaikuttaa tutkimuksessa mukana olleiden näytteiden rikki- ja humuspitoisuuksien suurimpien ja pienimpien arvojen välinen merkittävä hajonta.



Kuva 35. Maanäytteiden rikkiipitoisuudet suhteessa humuspitoisuuksiin

### 5.2.5 Maanäytteiden pH:n arvot

Sellaisia maanäytteitä, joista on tiedossa näytteenotto syvyys ja näytteestä on analysoitu sen pH, on yhteensä 214 kappaletta. Alla olevassa kuvaajassa on esitetty sinisellä pallolla maanäytteissä olleet pH:n arvot suhteessa näytteen syvyyteen maanpinnasta maanäytteittäin.



Kuva 36. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden pH:n arvot niiden syvyydellettoman suhteen maanpinnasta

Maanäytteiden pH:t vaihtelevat 3,6-9,9 välillä ja maanäytteiden pH:n keskiarvon on noin 7,3, eli hieman emäksisen puolella. Alle 6 pH:n arvolla, eli happaman puolella olevia näytteitä ei tutkimuksissa ole ollut yli 4 metrin syvyydellä ja toisaalta alle 5 pH:n arvolla olevista maanäytteistä suurin osa on ollut alle 2 metrin syvyydellä maanpinnasta. Maanäytteiden pH arvojen lineaarinen suuntaviiva on nouseva mentäessä syvemmälle maanpinnasta.

### 5.3 Happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävien maanäytteiden tulokset

Tämän opinnäytetyön tutkimukseen valittiin vertailtaviksi happaman sulfaattimaan indikaattoreiksi maanäytteen sulfaattipitoisuus ja rikkipitoisuus samoista maanäytteistä tehtyihin vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden arvoihin. Lisäksi erikseen vertailut tehtiin maanäytteiden pH:n arvojen, sekä vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden arvojen välillä. Liitteessä 3 on esitetty taulukko mihin on koottu sulfidi- ja korroosiotutkimusten maanäytteiden analyysitulokset pelkästään vertailuun valituista parametreista.

Tutkittuja yksittäisiä maanäytteitä, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikkipitoisuudet on tutkimuksissa ollut yhteensä 221 kappaletta.

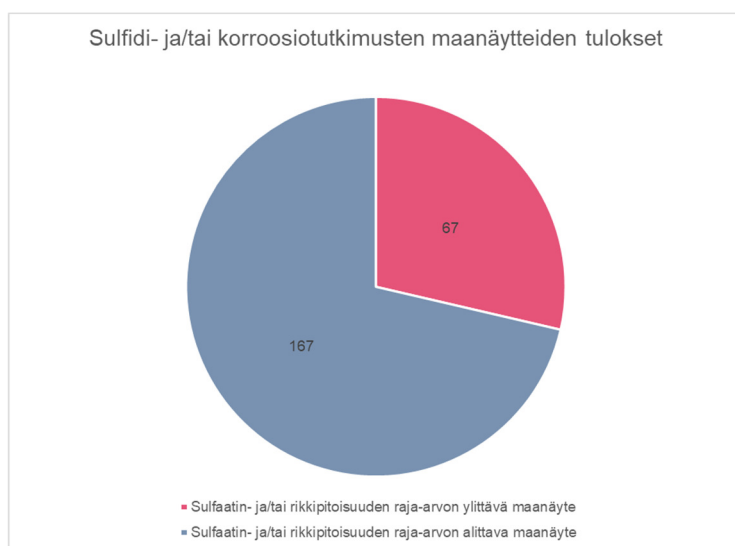
			Raja-arvot	GTK	Livi
	Analysoitu sulfaattipitoisuus [kpl]	Analysoitu rikkipitoisuus [kpl]	Analysoitu sekä sulfaatti-, että rikkipitoisuus [kpl]	Analysoitu pH	Analysoitu pH
Raja-arvojen ylittäviä [kpl]	39	28	3	182	8
Raja-arvojen alittavia [kpl]	117	50	10	34	208
<b>Yhteensä</b>	<b>156</b>	<b>78</b>	<b>13</b>	<b>216</b>	<b>216</b>

Taulukko 10. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten sulfaattipitoisuuksien, rikkipitoisuuksien ja pH:n analyysimäärät

Maanäytteitä, joista on tutkittu sulfaattipitoisuus, on yhteensä 156 kappaletta ja maanäytteitä, joista on analysoitu rikkipitoisuus, on yhteensä 78 kappaletta. Maanäytteitä, joista on analysoitu molemmat sekä sulfaattipitoisuus, että rikkipi-

toisuus on yhteensä 13 kappaletta. pH:n analyysejä on tehty yhteensä 216 maanäytteestä.

Tutkituista yksittäisistä maanäytteistä sulfaatin- tai rikkipitoisuuden raja-arvojen ylittäviä maanäytteitä on yhteensä 67 kappaletta ja em. pitoisuuksien raja-arvojen alittavia maanäytepisteitä on yhteensä 167 kappaletta.



Kuva 37. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden opinnäytetyön tutkimukseen valittujen indikaattorien raja-arvojen ylitykset ja alitukset

Raja-arvot							
GTK				Livi			
ylitys pH, mutta ei sulfaatissa ja rikissä	ylitys pH, sulfaatti ja rikki	ylitys pH ja sulfaatti	ylitys pH ja rikki	ylitys pH, mutta ei sulfaatissa ja rikissä	ylitys pH, sulfaatti ja rikki	ylitys pH ja sulfaatti	ylitys pH ja rikki
131	1	29	22	7	0	1	0
alitus pH:ssa, mutta ylitys sulfatissa	alitus pH:ssa, mutta ylitys rikissä	alitus pH:ssä, mutta ylitys sulfaatissa ja rikissä	pH, sulfaatti ja rikki pitoisuuden alittavat	alitus pH:ssa, mutta ylitys sulfatissa	alitus pH:ssa, mutta ylitys rikissä	alitus pH:ssä, mutta ylitys sulfaatissa ja rikissä	pH, sulfaatti ja rikki pitoisuuden alittavat
7	3	2	21	35	0	3	145

Taulukko 11. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden raja-arvojen ylitykset pH:n, sulfaatin ja rikki pitoisuuksien suhteen

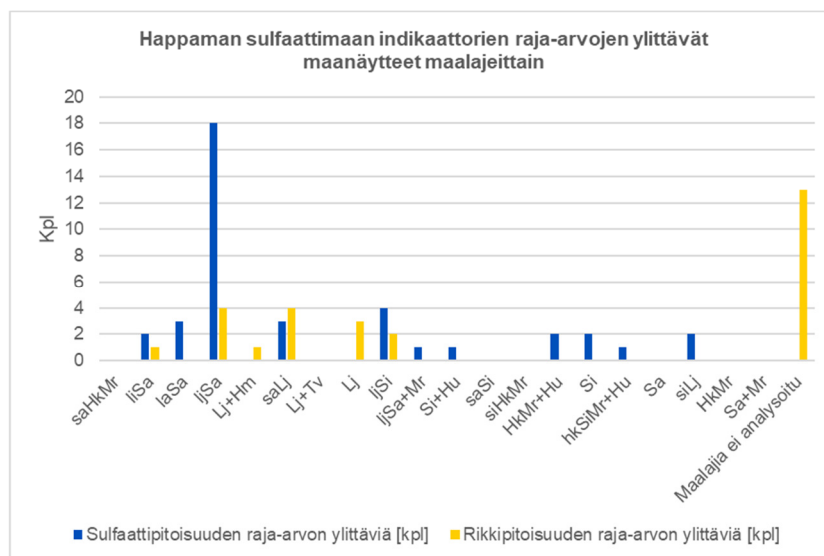
216 maanäytteestä on analysoitu pH, sulfaatti ja rikki pitoisuus. Huomattavan paljon näistä maanäytteistä on sellaisia missä pelkästään pH:n arvo on ylittynyt. GTK:n raja-arvoilla tarkasteltaessa sellaisia missä on ylitys sekä pH:n rajavossa, että sulfaatin tai rikki pitoisuuden raja-arvossa on yhteensä 52 kappa-

letta. Liikenneviraston raja-arvoilla tarkasteltaessa maanäytteitä tällaisia maanäytteitä on vain 1 kappale. Herääkin kysymys, onko pelkästään pH:n arvon ylityksellä saatavissa luotettava kuvaa happaman sulfaattimaan esiintymisestä? Osin myös tästä syystä pH:n arvo jätettiin pois tämän opinnäytetyön tutkimuksen varsinaisista vertailuarvoista happaman sulfaattimaan esiintymiseen.

### 5.3.1 Maalajeittain

Tutkimuksissa 148 kappaleelle yksittäisiä maanäytteitä oli määritetty maalaji.

Sulfaattipitoisuuden raja-arvon ylityksiä on ollut tutkituissa maanäytteissä eniten liejuisessa savessa. 13 kappaleessa maanäytteitä on todettu rikkipitoisuuden raja-arvojen ylitys, mutta maanäytteestä ei ole analysoitu maalajia. Happaman sulfaattimaan raja-arvojen ylittäviä maanäytteitä on ollut maalajiltaan liejuiseksi saveksi analysoiduissa yksittäisissä maanäytteissä.



Kuva 38. Sulfidi- ja korroosiotutkimusten maanäytteet happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain

Rikkipitoisuuksien raja-arvot ylittäviä maanäytteitä oli yhdet kappaleet liejussa + humuksessa ja lihavassa savessa. Eniten yksittäisiä maanäytteitä 13 kappaletta, joista oli määritetty sen rikkipitoisuus ei oltu kuitenkaan analysoitu sen maalajia. Sulfaattipitoisuudet tai rikkipitoisuuden raja-arvoja ylittäviä maanäytteitä ei tutkimuksissa todettu yhtään kappaletta olevan liejussa + turpeessa, savisessa siltissä, savessa tai moreenimaalajeissa.

Maalaji	Yhteensä. [kpl]	Sulfaattipitoisuuden raja-arvon ylittäviä [kpl]	Rikkipitoisuuden raja-arvon ylittäviä [kpl]
saHkMr	1	0	0
liSa	31	2	1
laSa	14	3	0
ljSa	57	18	4
Lj+Hm	1	0	1
saLj	9	3	4
Lj+Tv	1	0	0
Lj	3	0	3
ljSi	9	4	2
ljSa+Mr	1	1	0
Si+Hu	1	1	0
saSi	1	0	0
siHkMr	1	0	0
HkMr+Hu	2	2	0
Si	2	2	0
hkSiMr+Hu	2	1	0
Sa	3	0	0
siLj	7	2	0
HkMr	1	0	0
Sa+Mr	1	0	0
Maalajia ei analysoitu	73	0	13
<b>yhteensä</b>	<b>221</b>	<b>39</b>	<b>28</b>

Taulukko 12. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain taulukko muodossa

### Maalaji maanäytteiden pH:n raja-arvojen ylitysten suhteen

- **Geologian tutkimuskeskuksen ohjeen raja-arvoilla, pH <4 tai pH >6**

Geologian tutkimuskeskuksen ohjeen mukaisia pH:n raja-arvojen ylittäviä maanäytteitä, joista on analysoitu myös näytteen maalaji, on yhteensä 182 kappaletta. PH:n arvojen ylittäviä maanäytteitä on ollut eniten liejuisessa savessa, sekä maanäytteissä mistä ei ole analysoitu maalajia.

pH:n raja-arvot < 4 tai > 6		
Maalaji	Yhteensä [kpl]	pH:n raja-arvon ylittäviä
saHkMr	1	0
liSa	29	27
laSa	13	13
ljSa	57	55
Lj+Hm	1	0
saLj	9	4
Lj+Tv	1	1
Lj	3	3
ljSi	9	5
ljSa+Mr	1	1
Si+Hu	1	1
saSi	1	1
siHkMr	1	1
HkMr+Hu	2	0
Si	2	2
hkSiMr+Hu	2	0
Sa	3	3
siLj	7	2
HkMr	1	0
Sa+Mr	1	1
Maalajia ei analysoitu	71	62
<b>yhteensä</b>	<b>216</b>	<b>182</b>

Taulukko 13. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden pH:n GTK:n ohjeen raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain

- **Liikenneviraston ohjeen raja-arvoilla, pH <4,5 tai pH >9**

pH:n raja-arvot < 4,5 tai > 9		
Maalaji	Yhteensä [kpl]	pH:n raja-arvon ylittäviä
saHkMr	1	0
liSa	29	3
laSa	13	1
ljSa	57	0
Lj+Hm	1	0
saLj	9	1
Lj+Tv	1	0
Lj	3	0
ljSi	9	0
ljSa+Mr	1	0
Si+Hu	1	0
saSi	1	0
siHkMr	1	0
HkMr+Hu	2	0
Si	2	0
hkSiMr+Hu	2	0
Sa	3	0
siLj	7	0
HkMr	1	0
Sa+Mr	1	0
Maalajia ei analysoitu	71	3
<b>yhteensä</b>	<b>216</b>	<b>8</b>

Taulukko 14. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden pH:n Liikenneviraston ohjeen raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain



Liikenneviraston pH:n raja-arvojen ylittäviä maanäytteitä, joista on analysoitu myös näytteen maalaji, on yhteensä 8 kappaletta. PH arvojen ylittäviä maanäytteitä on ollut eniten lihavassa savessa, sekä maanäytteissä mistä ei ole analysoitu maalajia. Yksittäiset maanäytteet, joissa pH arvo on ylittynyt, on ollut laihassa savessa ja savisessa liejussa.

### 5.3.2 Humus- ja vesipitoisuuden suhteen

Tutkimuksissa mukana olleista näytteistä 171 kappaleessa yksittäisiä maanäytteitä oli analysoitu sen humuspitoisuus ja vesipitoisuus, sekä tehty analyyskejä niiden happaman sulfaattimaan todentamiseksi sulfaattipitoisuuden ja rikkipitoisuuden avulla. Maanäytepisteiden tulokset jakautuvat niissä olevien arvojen mukaan seuraavasti:

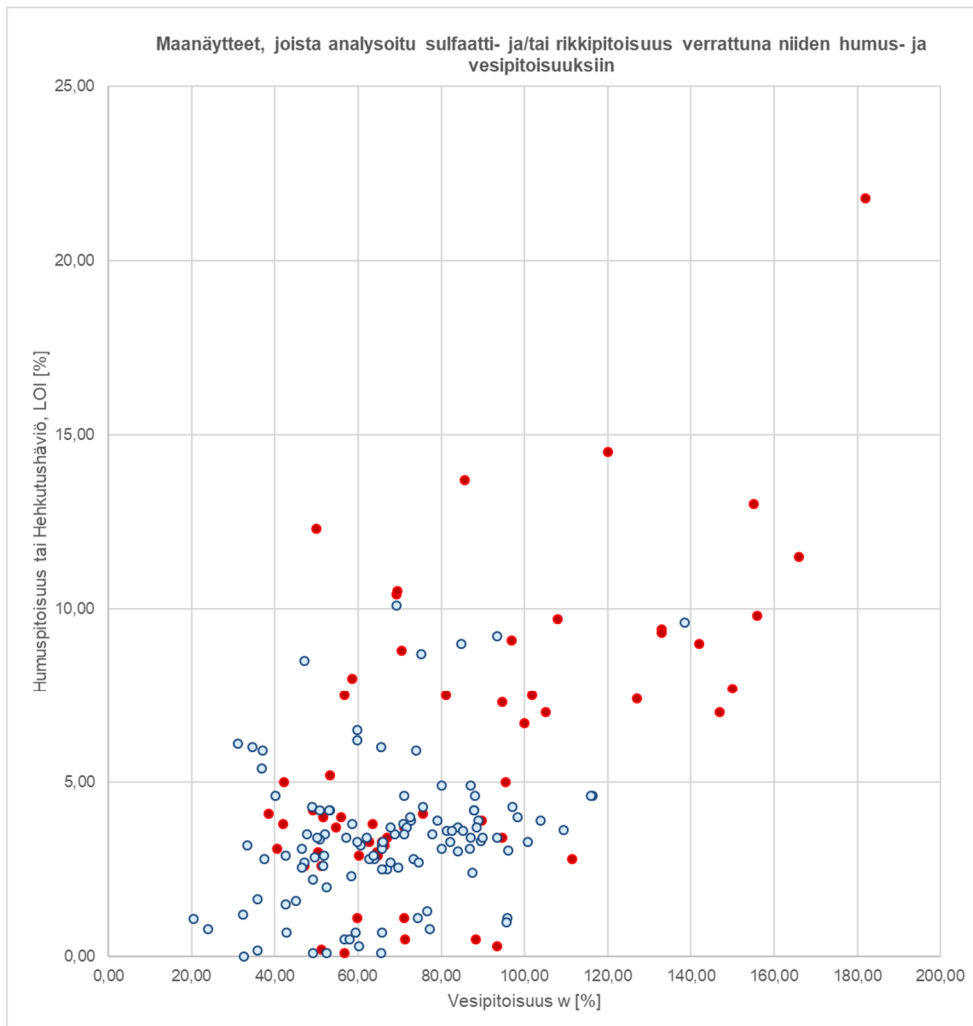
<b>Maanäytteet, joista analysoitu sulfaatti- ja/tai rikkipitoisuus</b>			
Humuspitoisuus, LOI	0-5	5-10	>10
Vesipitoisuus			
0-40	9	4	0
40-80	86	11	4
>80	35	17	5

Taulukko 15. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikkipitoisuus suhteessa niiden vesipitoisuuteen ja humuspitoisuuteen

Maanäytteistä noin puolet ovat olleet sellaisia missä yksittäisen maanäytteen humuspitoisuus on 0-5 % ja vesipitoisuus on välillä 40-80 %. Yksikään tutkituista maanäytteistä ei ole sellainen missä humuspitoisuus olisi yli 10% ja olisi vesipitoisuudeltaan 0-40 % välillä. Vähiten maanäytteitä, 4-5 kappaletta eli noin 2-3 % näytemäärästä, on sellaisia missä vesipitoisuus on alle 40 % ja humuspitoisuus on 5-10 % välillä tai missä vesipitoisuus on 40-80 % välillä ja humuspitoisuus on yli 10 % tai missä vesipitoisuus on yli 80 % ja humuspitoisuus on yli 10 %.

Alla olevassa kuvaajassa on esitetty maanäytteet sijoitettuna niistä analysoitujen humus- tai hehikutushäviön [LOI] arvojen ja vesipitoisuuden mukaan. Maanäytteet on väritetty kuvaajaan eri värein, riippuen siitä onko kyseisessä maanäytteessä analysoidun sulfidin- tai rikkipitoisuuden raja-arvoissa ollut yli-

tyksiä. Punaisella väritetyt maanäytteet ovat niitä missä raja-arvot ovat ylittyneet ja sinisellä esitetyt maanäytteet ovat niitä missä raja-arvot ovat alittuneet.



Kuva 39. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikki- ja vesipitoisuus verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen. Sulfaatti- ja/tai rikki- ja vesipitoisuuden raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja raja-arvot alittavat näytteet esitetty sinisellä

Enemmän on sellaisia yksittäisiä maanäytteitä, joissa happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvot ovat alittuneet. Sulfaatin- tai rikki- ja vesipitoisuuden raja-arvot alittavia yksittäisiä maanäytteitä on 113 kappaletta eli noin 66 % tutkimukseen mukaan otetuista maanäytteistä. Maanäytteet sijoittuvat niiden humus- ja vesipitoisuuden arvojen mukaan seuraavasti:

<b>Sulfaatin- ja/tai rikkipitoisuuden raja-arvon alittava maanäyte</b>			
Humuspitoisuus, LOI	0-5	5-10	>10
Vesipitoisuus			
0-40	8	4	0
40-80	62	6	1
>80	29	3	0

Taulukko 16. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikkipitoisuus suhteessa sen vesipitoisuuteen ja humuspitoisuuteen, jotka alittavat sulfaatin ja/tai rikkipitoisuuden raja-arvot

Maanäytteistä, jotka alittavat sulfaatin tai rikkipitoisuuden raja-arvot suurin osa, 62 kappaletta eli noin 55 % tutkimuksessa raja-arvot alittavien maanäytepisteiden määräst, on sellaisia missä humuspitoisuus on välillä 0-5 % ja vesipitoisuus on välillä 40-80 %. Vain yksi maanäyte raja-arvot alittavien maanäytepisteiden määräst, on sellainen missä humuspitoisuus on yli 10 % ja vesipitoisuus on 40-80%, muutoin kaikki maanäytteet, joissa humuspitoisuus on yli 10 % alittavat sulfaatin tai rikkipitoisuuden raja-arvot.

<b>Sulfaatin- ja/tai rikkipitoisuuden raja-arvon ylittävä maanäyte</b>			
Humuspitoisuus, LOI	0-5	5-10	>10
Vesipitoisuus			
0-40	1	0	0
40-80	24	5	3
>80	6	14	5

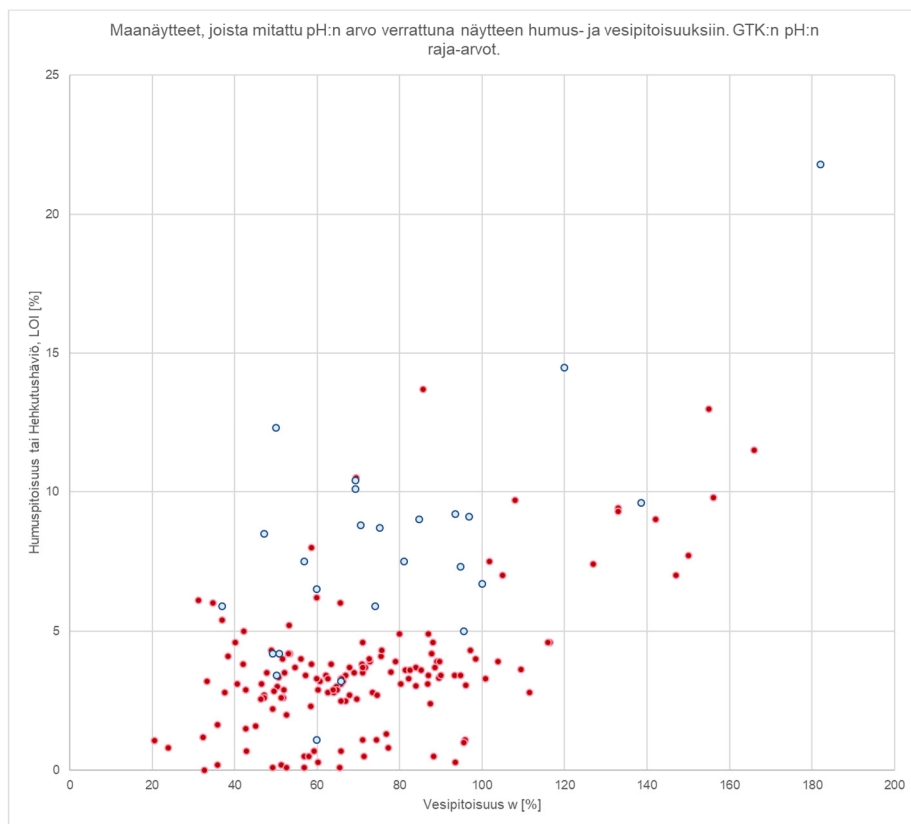
Taulukko 17. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikkipitoisuus suhteessa sen vesipitoisuuteen ja humuspitoisuuteen, jotka ylittävät sulfaatin ja/tai rikkipitoisuuden raja-arvot

Maanäytteistä, jotka ylittävät sulfaatin tai rikkipitoisuuden raja-arvot suurin osa 24 kappaletta eli noin 41 % tutkimuksessa raja-arvot alittavien maanäytepisteiden määräst on sellaisia missä humuspitoisuus on 0-5 % ja vesipitoisuus on 40-80 %. Yhtään raja-arvot ylittävä maanäytettä ei ole todettu olevan sellaisilla maanäytteillä missä humuspitoisuus on yli 5 % ja vesipitoisuus olisi alle 40 %.

## Tulokset vertailtuna pH:n suhteen

- **Geologian tutkimuskeskuksen raja-arvoilla, pH <4, tai pH >6**

Alla olevassa kuvaajassa on esitetty yksittäiset maanäytteet sijoitettuna niistä analysoitujen humus- tai hehkutushäviön [LOI] arvojen ja vesipitoisuuden mukaan. Maanäytteet on väritetty kuvaajaan eri värein, riippuen siitä onko kyseisessä maanäytteessä mitatun pH:n raja-arvoissa ollut ylityksiä. Punaisella väritetyt maanäytteet ovat niitä missä raja-arvot ovat ylittyneet ja sinisellä esitetyt maanäytteet ovat niitä missä raja-arvot ovat alittuneet.

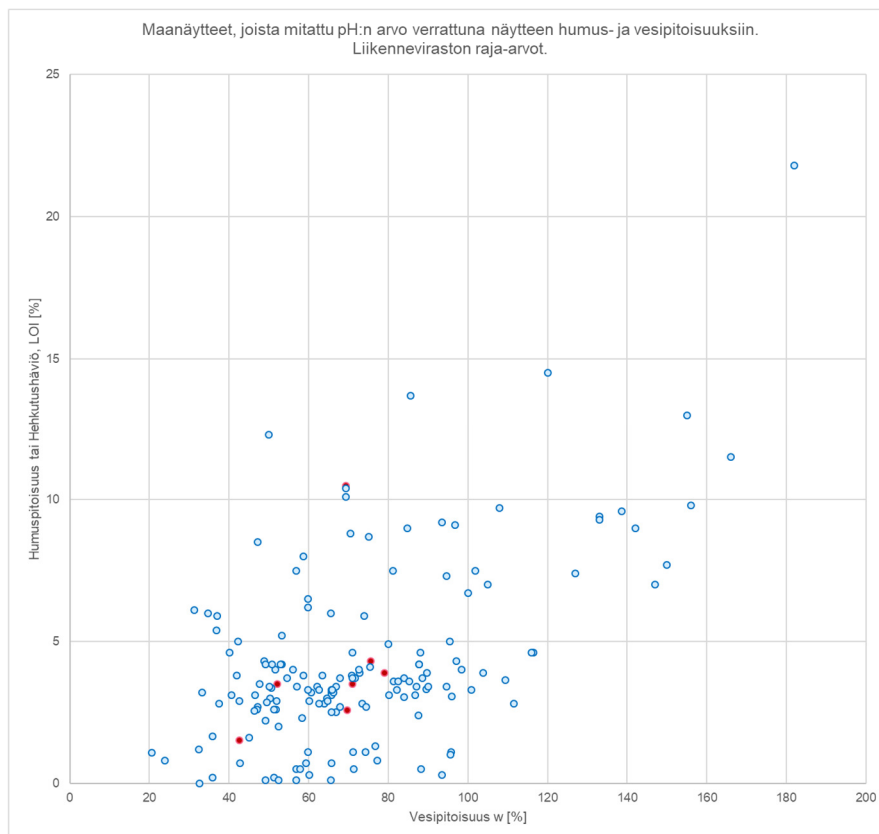


Kuva 40. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu pH verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen. pH:n GTK:n ohjeen raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja alittavat näytteet sinisellä

Yllä olevassa kuvaajassa pH:n raja-arvona on käytetty Geologian tutkimuskeskuksen määrittelemää pH:n raja-arvoa <4 tai >6 siihen onko tutkittu maanäyte hapanta sulfaattimaata. Kuvaajasta voidaan todeta, että eniten pH:n ylittäviä maanäytteitä on humuspitoisuuksissa 0-5, vesipitoisuus ei näyttäisi olevan merkittävä tekijä.

- **Liikenneviraston ohjeen raja-arvoilla, pH <4,5 tai pH >9**

Alla olevassa kuvaajassa on esitetty maanäytteet sijoitettuna niistä analysoitujen humus- tai hehkutushäviön [LOI] arvojen ja vesipitoisuuden mukaan. Maanäytteet on väritetty kuvaajaan eri värein, riippuen siitä onko kyseisessä maanäytteessä mitatun pH:n raja-arvoissa ollut ylityksiä. Punaisella väritetyt maanäytepisteet ovat niitä missä raja-arvot ovat ylittyneet ja sinisellä esitetyt maanäytepisteet ovat niitä missä raja-arvot ovat alittuneet.



Kuva 41. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu pH verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen. pH:n Liikenneviraston ohjeen raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja alittavat näytteet sinisellä

Yllä olevassa kuvaajassa pH:n raja-arvona on käytetty Liikenneviraston määrittelemää pH:n raja-arvoa <4,5 tai pH >9 siihen onko tutkittu maanäyte hapanta sulfaattimaata. Kuvaajasta voidaan todeta, että pH:n ylittäviä maanäytteitä on vain 5 kappaletta ja ne sijoittuvat kuvaajassa alle 5 humuspitoisuuksilla oleviin maanäytteisiin.

## **6 Tutkimuksen perusteella luotu riskiluokitus happaman sulfaattimaan esiintymiselle**

Opinnäytetyössä tutkittujen Espoon alueella tehtyjen sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten tulosten perustella ja teoria-aineiston tukemana luotiin kolmiportainen riskiluokitus happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyteen. Riskiluokituksesta luotiin kolmiportainen, matalan ja ei todennäköisen riskin alue, kohtalaisen riskin alue, sekä korkean ja todennäköisen riskin alue. Riskiluokitusta käytettäessä on huomioitava, että vain teettämällä maanäytteelle happaman sulfaattimaan erityisiä laboratorio-analyysejä, jotka on lueteltu kappaleessa 3.3 Happaman sulfaattimaan tunnistaminen maanäytteestä, voidaan varmasti todeta maanäytteen olevan hapanta sulfaattimaata. Tässä opinnäytetyössä luotu riskiluokitus on laadittu helpottamaan Espoon alueella olevien hankkeiden ennakkoarviointia siitä, onko jollakin alueella todennäköistä, että siellä esiintyisi hapanta sulfaattimaata. Riskiluokitukseen tulee suhtautua erityisellä varauksella.

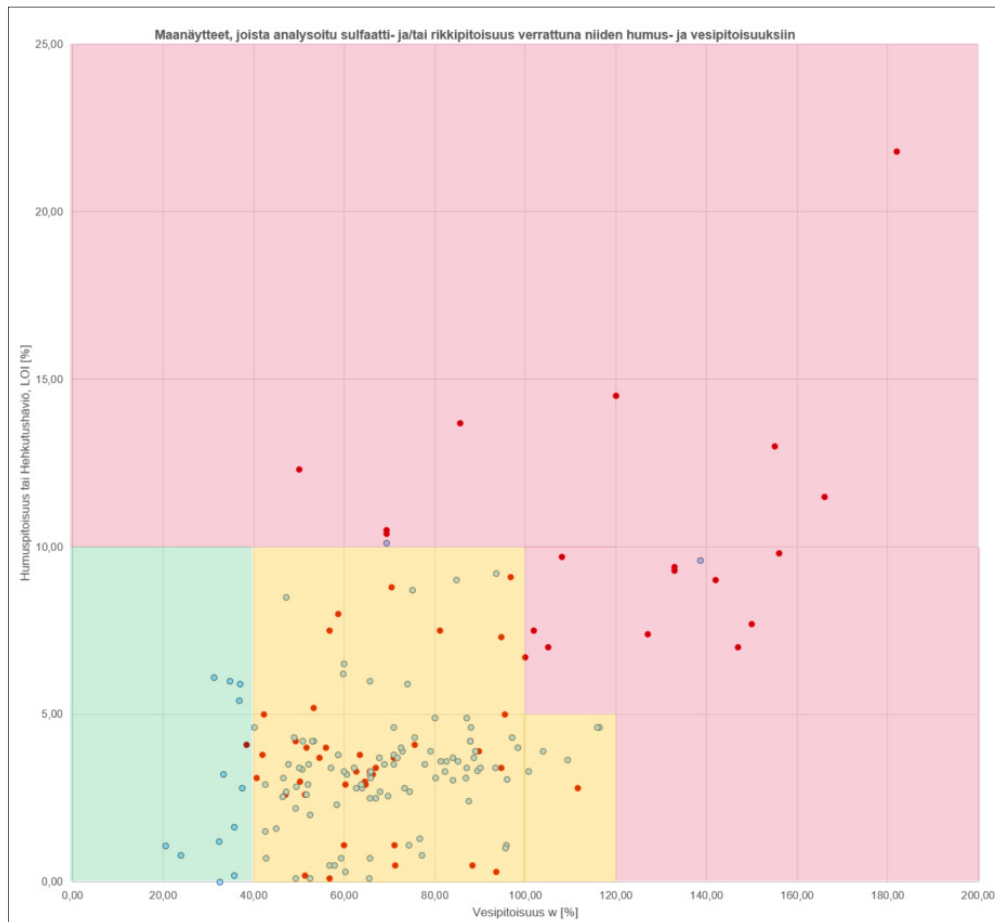
Opinnäytetyössä luotu happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden riskiluokitus perustuu tutkimuksessa raja-arvot ylittäneiden maanäytteiden vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden arvoihin, joita on verrattu niissä olleiden sulfaatin ja/tai rikkipitoisuuden ylityksiin. Tätä riskiluokitusta tehtiin myös maanäytteistä analysoituun maalajiin verrattuna, jolla humuspitoisuuden tai hehikutushäviön sekä vesipitoisuuden perusteella luotua riskiluokitusta voi täydentää. Luodussa riskiluokituksessa on oletuksena, että tulkittava maanäyte on otettu Espoon alueelta Litorinamerialueen sedimenttialtaasta, eli noin alle +40 korkeustasolla olevasta sedimenttialtaasta. Lähteistä on myös selvinnyt, että mitä syvempi savikerroksen paksuus on, sitä todennäköisemmin siinä esiintyy eri Itämeren vaiheissa kerrostuneita savia ja todennäköisyys happaman sulfaattimaan esiintymiseen myös kasvaa.

Tehtäessä uudelle maanäytteelle tulkintaa siitä, onko se mahdollisesti hapanta sulfaattimaata ja korroosio-ominaisuuksiltaan aggressiivista tulee selvittää vähintään seuraavat lähtötiedot:

- onko maanäyte Litorinamerialueen, eli alle noin +40 tasolla olevasta sedimenttialtaasta?
- onko maanäytteestä analysoitu humuspitoisuus tai hehkutushäviö?
- onko maanäytteestä analysoitu vesipitoisuus?
- onko maanäytteestä analysoitu maalaji?

Maanäytteen vesipitoisuus ja humuspitoisuuden tai hehkutushäviön sekä maalaji valittiin riskianalyysitekijöiksi, sillä monessa lähteessä on mainittu, että happanta sulfaattimaata esiintyy juuri liejupitoisissa silteissä ja savissa, sekä Litorinamerivaiheen aikana muodostuneet savisedimentit sisältävät paljon humusta ja vettä. Tätä näkemystä tuki myös Espoon alueelta otetut sulfidi- ja korroosiotutkimusten maanäytteiden analyysit, missä valituilla happaman sulfaattimaan indikaattoritekijöillä, sulfaatti- ja rikkipitoisuudella, havaittiin osin kohtalais-ta korrelaatiota niissä analysoituihin humus- ja vesipitoisuuksien arvoihin. Riskiluokitusta käytettäessä todennäköisyyden arviointiin on hyvä muistaa, että se perustuu kuitenkin melko pienestä maanäytemäärästä tehtyyn tutkimusanalyyysiin ja sisältää paljon epävarmuustekijöitä.

## 6.1 Riskiluokitus maanäytteen humus- ja vesipitoisuuteen perustuen



Kuva 42. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikki- ja vesipitoisuus verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutuslämpöön ja vesipitoisuuteen ja niiden. Sulfaatti- ja/tai rikki- ja vesipitoisuuden raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja alittavat sinisellä. Kuvaajassa esitetty ed. mainituin perustein luotu riskiluokitus happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyydestä eri värein.

Tutkimuksissa mukana olleiden maanäytteiden humuspitoisuudet tai hehkutuslämpöön arvot sijoitettiin yllä olevaan kaavioon niissä olleiden vesipitoisuuksien mukaisesti. Kaaviossa yksittäiset maanäytteet on esitetty pistesymbolilla eri väreillä riippuen siitä, onko maanäytteessä analysoiduissa rikki- ja tai sulfaattipitoisuuksissa ts. happaman sulfaattimaan indikaattoreissa todettu raja-arvojen ylityksiä vai alituksia. Sinisen värisellä pistesymbolilla on esitetty sellaiset maanäytteet, joissa raja-arvot ovat alittuneet ja punaisen värisellä pistesymbolilla sellaiset maanäytteet, joissa raja-arvot ovat ylittyneet.



Kaavioon luotiin kolmiportainen riskialuetulkinta eri väreillä happaman sulfaattimaan raja-arvot ylittävien ja alittavien maanäytteiden sijoittumisen niissä analysoitujen humuspitoisuuden tai hehkutushäviön ja vesipitoisuuden mukaan. Alla olevassa taulukossa on esitetty laskettu todennäköisyysprosentti happaman sulfaattimaan raja-arvojen ylittävälle näytepisteen esiintymiselle riskiportaikon kolmelle eri alueelle.

<b>Todennäköisyys % sille, että ko. riskialueen maanäyte on hapanta sulfaattimaata</b>	
Matalan ja ei todennäköisen riskin alue	8 %
Kohtalaisen riskin alue	28 %
Suuren ja todennäköisen riskin alue	85 %

Taulukko 18. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden prosentit eri riskialueilla

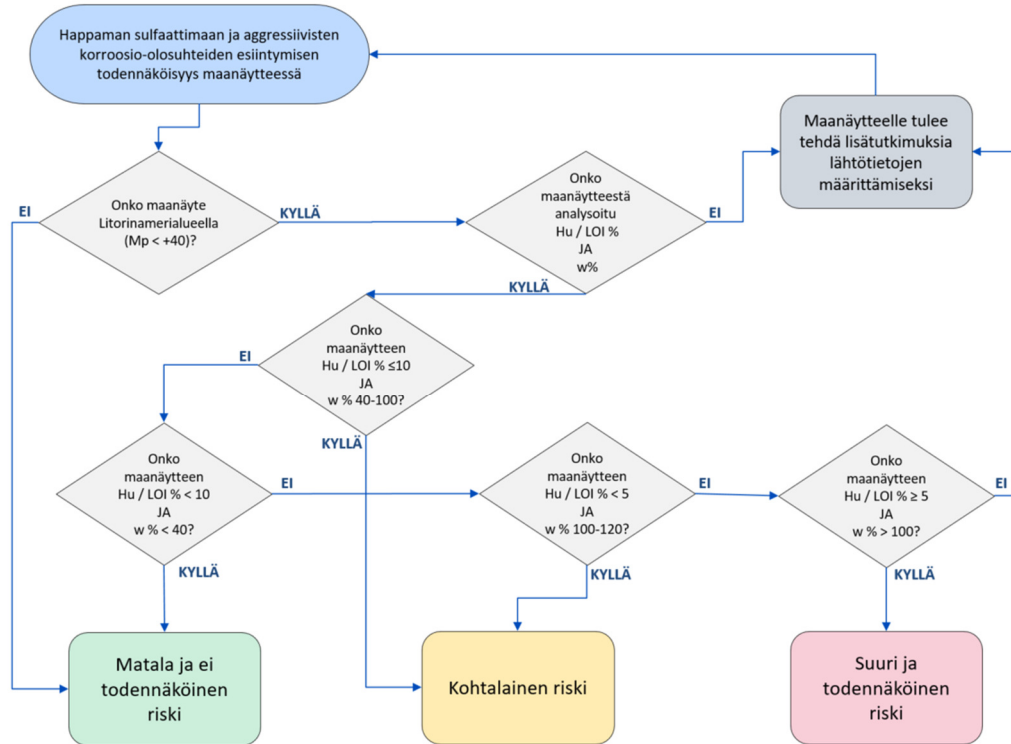
Alla olevassa taulukossa on esitetty myös todennäköisyysprosentti happaman sulfaattimaan esiintymiselle verrattuna humuspitoisuuden ja vesipitoisuuden rajaamalla alueella analysoituihin maanäytemääriin, mutta suoraviivaisemmilla humuspitoisuuksien ja vesipitoisuuksien raja-arvoilla.

<b>Todennäköisyys %</b>			
Humuspitoisuus, LOI %	0-5	5-10	>10
Vesipitoisuus w %			
0-40	11 %	0 %	0 %
40-80	28 %	45 %	75 %
>80	17 %	82 %	100 %

Taulukko 19. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden prosentit yksinkertaistetuilla vesipitoisuuksien ja humuspitoisuuksien arvoilla

Molempien taulukkojen todennäköisyysprosentit on laskettu niin, että taulukoissa olevien humuspitoisuuksien ja vesipitoisuuksien rajaamille alueille happaman sulfaattimaan raja-arvot ylittävien maanäytteiden määrä on jaettu saman alueen kokonaisnäytemäärällä. On huomattava, että vihreällä ja keltaisella riskialueella on suurempi todennäköisyys sille, että näyte ei ole hapanta sulfaattimaata, toisin kuin punaisella riskialueella.

Yllä esitystä taulukosta luotiin myös vuokaavio, jossa on esitetty kysymysten avulla päättelyketju, joka johdattaa yllä esitetyn riskikaavion mukaiseen tulkinnaan.



Kuva 43. Happaman sulfaattimaan esiintymisen riskin todennäköisyydestä luotu vuokaavio

Tätä vesi- ja humuspitoisuuksille luotua riskiluokitusta tukee teoria-aineisto mitä on selostettu tämän opinnäytetyön alkuosaan. Sulfidipitoiset savisedimentit sisältävät paljon humusta ja niillä on todettu olevan korkea vesipitoisuus (Heikkinen 2012 ja Salonen ym. 2002. Pousette, K. 2007,3). Lisäksi maaperän korkea vesipitoisuus on yksi korroosion kannalta merkittävimmistä tekijöistä. (Talja ym. 2006, 22) Toisaalta sulfaatti- ja rikkipitoisuuksien korrelaatio maanäytteiden humus- ja vesipitoisuuksiin ei osoittanut tämän opinnäytetyön otantajoukon mukaan kuin vahvimmillaan kohtalaista yhteyttä.

## 6.2 Riskiluokitus maanäytteen maalajiin perustuen

On huomioitava, että maalajiluokitukselle luotua riskiluokitusta tulee käyttää yhdessä maanäytteen humuspitoisuuden tai hehikutushäviön ja vesipitoisuuden

kanssa yhdessä. Lisäksi tulee varmistaa, että maanäyte on otettu Litorinameri-alueen savisedimenttialtaasta.

Maalaji	Yhteensä. [kpl]	Sulfaattipitoisuuden tai rikkipitoisuuden raja-arvon ylittäviä [kpl]	Todennäköisyys sulfaattipitoisuuden tai rikkipitoisuuden ylitykselle [kpl]
saHkMr	1	0	0 %
liSa	31	3	10 %
laSa	14	3	21 %
ljSa	57	22	39 %
Lj+Hm	1	1	100 %
saLj	9	7	78 %
Lj+Tv	1	0	0 %
Lj	3	3	100 %
ljSi	9	6	67 %
ljSa+Mr	1	1	100 %
Si+Hu	1	1	100 %
saSi	1	0	0 %
siHkMr	1	0	0 %
HkMr+Hu	2	2	100 %
Si	2	2	100 %
hkSiMr+Hu	2	1	50 %
Sa	3	0	0 %
siLj	7	2	29 %
HkMr	1	0	0 %
Sa+Mr	1	0	0 %
Maalajia ei analysoitu	73	13	-
<b>yhteensä</b>	<b>221</b>	<b>67</b>	<b>-</b>

Taulukko 20. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden riskitul- kinta maalajiin perustuen

Riskitul- kinta maanäytteissä analysoitujen maalajien osalta luotiin pelkästään kaksiportaisena. Korkean ja todennäköisen riskin maalajit on värjätty yllä ole- vaan taulukkoon punaisella ja kohtalaisen riskin maalajit on värjätty yllä olevaan taulukkoon keltaisella. Taulukosta voidaan huomata, että suhteellisesti eri maa- lajeista tehtyjä analyysyjä on vain vähän ja toisaalta tutkimuksissa on ollut myös sellaisia maanäytteitä, jotka voivat vaikuttaa luotuihin riskipäätelmiin virheelli- sesti.

Happaman sulfaattimaan esiintymisen ja aggressiivisen korroosioympäristön esiintymisen korkean todennäköisyyden maalajeja ovat liejuinen savi, savinen lieju, lieju ja liejuinen siltti. Näissä maalajeissa verrattuna niiden analysoituihin määriin on todennäköisyys happaman sulfaattimaan raja-arvojen ylitykselle ollut 39-100 %.

Happaman sulfaattimaan esiintymisen ja aggressiivisen korroosioympäristön esiintymisen kohtalaisen todennäköisyyden maalajeja ovat lihava savi, laiha

savi ja silttinen lieju. Näissä maalajeissa verrattuna niiden analysoituihin määriin on todennäköisyys happaman sulfaattimaan raja-arvojen ylitykselle ollut yli 10-29 %.

Tätä maalajeille luotua riskiluokitusta tukee teoria-aineisto mitä on selostettu tämän opinnäytetyön alkuosaan. Teoria-aineistossa on todettu, että todennäköisimpiä maalajeja, joissa hapanta sulfaattimaata esiintyy ovat humuspitoiset maalajit ja tyypillisimmin ne ovat liejuisia savia tai silttejä (Heikkinen 2012 ja Salonen ym. 2002). Laihan ja lihavan saven osuutta happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisissä maalajeissa Espoossa tutkituissa näytteissä selittää se, että ne edustavat mahdollisesti Litorinamerivaihetta edeltänyttä Anculysmerivaiheen sedimentikerrostumaa, jonka yläosissa esiintyy pistemäisiä sulfidihorisontteja (s.3 Auri, J. 2015.). Tätä havaintoa tukee myös lihaviin ja laihojen savien maanäytteiden ottosyvyys, josta on kerrottu tämän opinnäytetyön kappaleessa 5.3 Korroosio- ja/tai sulfidimaatutkimusten maanäytteiden maalajit.

## **7 Karttatulkinta luodun riskiluokituksen perusteella**

Koko Espoon kattavaa karttatulkintaa ei laadittu tämän opinnäytetyön yhteydessä. Sen sijaan tämän opinnäytetyön yhteydessä tehtiin tulkinta yhdelle tutkimusalueista, tutkimusalue F:lle, joka sijoittuu aivan eteläiseen Espooseen. Karttatulkinnan laatiminen maanäytteiden maalaji, vesipitoisuuden ja humuspitoisuuden tai hehikutushäviön perusteella ei ole aivan yksiselitteistä ja suoraviivaista ja siihen sisältyy virheellisen tulkinnan riskejä. Riskiluokituksen perusteella luotua karttatulkintaa tuleekin käyttää tietyin varauksin.

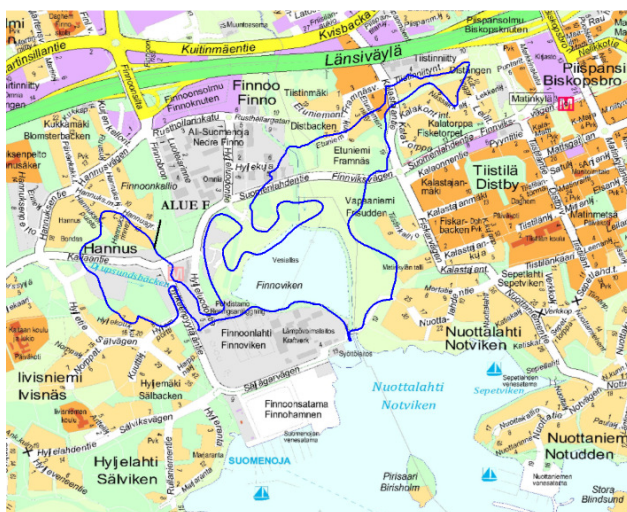
Ensinnäkin maanäytteet, joista tulkintaa tehdään, on tehty mahdollisesti jopa eri vuosikymmeninä ja rakentamistoimenpiteet ovat voineet jo vaikuttaa luonnontilaiseen maapohjaan. Alueille on esimerkiksi mahdollisesti jo tehty stabilointitöitä, maanpäälle on ajettu täyttömaata ja alueellinen kuivatustaso on voinut vaikuttaa esim. maan vesipitoisuuteen. Lisäksi tulkittava maanäyte ei välttämättä edusta koko saviprofiilia vaan voi olla, että juuri se hapanta sulfaattimaakerros on jäänyt tutkimatta koska se on sijainnut syvemmillä, kuin mistä näytteet on otettu ja siitä ei näin ollen ole analyysituloksia ja sitä kautta riskialueen tulkinta voi olla väärä. Karttatulkintaa ei suositellakaan käytettäväksi sellaisenaan, vaan

tarkastelun kohteena oleva alue tulee aina tarkastella juuri kyseiselle alueelle suunniteltavan rakentamistoimenpiteen kautta. Tällä tarkoitetaan esimerkiksi sitä, että tarkastellaan mille syvyydelle rakentamistoimenpiteet ulottuvat vs. millä syvyydellä tulkitusta maanäytteestä esiintyy karttatulkintaan riskiluokituksen saanutta hapanta sulfaattimaata tai onko savikerros esimerkiksi jo kokonaan pilaristabiloitu, jolloin mahdollisen happaman sulfaattimaan happamoittava vaikutus on saatu jo mahdollisesti hallintaan.

Korostettakoon tässä yhteydessä vielä erityisesti, että mikäli halutaan tietää, onko jollakin alueella varmasti hapanta sulfaattimaata, tulee maanäytteestä tehdä sen todentamiseksi erityisiä laboratoriotutkimuksia.

## 7.1 Karttatulkinta tutkimusalueelle F

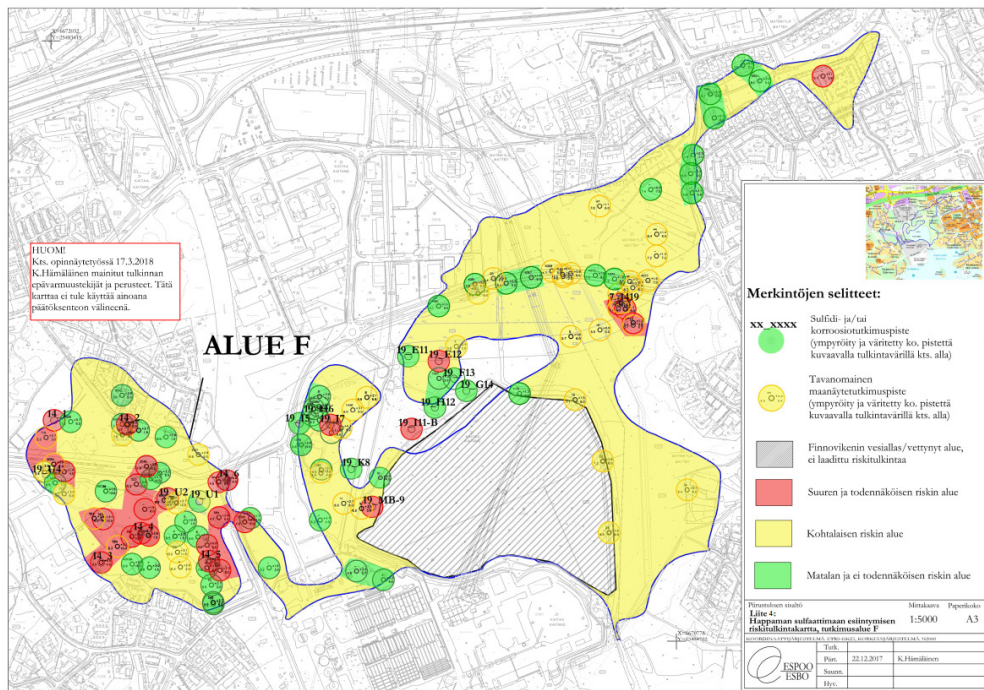
Tutkimusalueista valittiin alue F, jolle tehdään tässä opinnäytetyössä luodun riskiluokituksen perusteella karttatulkinta niin kutsuttuna pilottialueena. Tutkimusalue F valittiin siksi, että sille on sijoittunut kolme eri sulfidi- ja/tai korroosiotutkimushanketta ja alueelta on ainakin sen länsi- ja pohjoisosista jokseenkin kattavasti Espoon geotekniikkayksikön rekisterissä olevia maanäytetutkimuksia. Yhteensä tavanomaisia maanäytetutkimuspisteitä alueella on 109 kappaletta ja sulfidi- ja tai korroosiotutkimuspisteitä on tehty kolmessa eri hankkeessa (tutkimushankenumerot 7, 14 ja 19) ja näitä pisteitä on tutkimusalueella yhteensä 21 kappaletta.



Kuva 44. Tutkimusalue F sijoittuu Espoon kaupungin opaskartalla noin sinisellä rajatulle alueelle.

Tutkimusalue F sijoittuu eteläiseen Espooseen Finnoon kaupunginosan alueelle. Tutkimusalueen F savisedimenttialtaan koko on Espoon maaperäkartan mukaan noin 65 hehtaaria. Kun siitä vähennetään alueen keskiosassa oleva Finnovikenin vesiallas, on savisedimenttialtaan varsinainen maapinta-ala tällöin noin 50 hehtaaria. Alueen luonnollisen pohjamaan päälle on osin ajettu korkeitakin täyttömaakasoja ja alue on melko suurelta osin jo rakennettua aluetta. Alue rajautuu eteläosastaan mm. lämpövoimalaitoksen käytössä olevaan teollisuus alueeseen ja Finnoon satamaan. Alueen itä- ja länsipuolella on asuinalueita ja pohjoispuolella myös teollisuuskäytössä olevia alueita. Maanpinnan korkeustaso tutkimusalueella on kantakartan mukaan korkeimmillaan noin tasolla +5, eli tutkimusalue on täten Litorinamerivaiheen savikkoaluetta.

Karttatulkinta happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyyteen perustuen luotiin tämän opinnäytetyön kappaleessa 6.1 Riskiluokitus maanäytteen humus- ja vesipitoisuuteen perustuen selostetuin periaattein kolmiportaisena. Riskitulkintakartta on tämän opinnäytetyön liitteenä 4. Riskitulkintakartalla on esitetty sinisellä viivalla rajatulla tutkimusalueella F tehdyt tavanomaiset maanäytetutkimukset ja sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuspisteet. Alla on kuvakaappaus luodusta riskitulkintakartasta.



Kuva 45. Tutkimusalueelle F luotu riskitulkintakartta. Kuva ei ole mittakaavassa.

Riskitulkintakartan laatiminen aloitettiin siten, että aluksi käytiin läpi kaikki alueella olevat tavanomaiset maanäytteet ja pääteltiin näytteissä olevien vesi- ja humuspitoisuuksien, sekä maalajin perusteella mihin kolmesta luodusta happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden riskiluokituksista ne kuuluivat ja ympyröitiin ne kartalle sen mukaan eri värein n. 45 m halkaisijalla olevalla ympyrällä. Tutkimusalueella olevat sulfidi- ja korroosiotutkimusnäytepisteet tulkittiin niissä olevien sulfaatti- tai rikki- tai rikkipitoisuuksien perusteella samoihin riskiluokituksiin, lukuun ottamatta alueen itäosassa olevaa sulfidi- ja korroosiotutkimuspistettä 7\_1419. Tässä tutkimuspisteessä ei oltu määritetty sulfaattipitoisuutta tai rikkipitoisuutta, jotka oli valittu tämän opinnäytetyön tutkimuksen vertailuarvoiksi, mutta pisteestä oli tutkittu sen kloridipitoisuus ja siinä havaittu ylityksiä. Joten pisteelle tehtiin poikkeuksellisesti happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden tulkinta perustuen sen kloridipitoisuuteen, joka oli ko. pisteessä yli Liikenneviraston määrittelemien raja-arvojen.

Punaiseksi, eli suuren ja todennäköisen riskin alueeksi luokiteltiin seuraavanlaiset oletusarvoisesti luonnontilaisesta pohjamaasta olevien maanäytepisteiden muodostamat alueet, joissa olevista maanäyteanalyseistä jokin seuraavista ehdoista täyttyy:

- vesipitoisuus on noin yli 100% ja humuspitoisuus on noin yli 5
- vesipitoisuus on noin yli 100% ja maanäytteen maalajeja on joko lj, ljSi, saLj tai ljSa

Keltaiseksi, eli kohtalaisen riskin alueeksi luokiteltiin seuraavanlaiset oletusarvoisesti luonnontilaisesta pohjamaasta olevien maanäytepisteiden muodostamat alueet, joissa olevista maanäyteanalyseistä jokin seuraavista ehdoista täyttyy:

- vesipitoisuus on välillä noin 40-100 % ja humuspitoisuus on välillä noin 0-10
- vesipitoisuus on välillä noin 100-120 % ja humuspitoisuus on välillä noin 0-5
- vesipitoisuus on välillä noin 40-100 % tai noin 100-120 % ja maanäytteen maalajeja on joko liSa, laSa tai siLj

Lisäksi karttaan merkittiin keltaiseksi alueet joilla ei sen pinta-alaan nähden ollut riittävästi pohjatutkimuksia tarkemman karttatulkinnan tekemiseksi.

Vihreäksi, eli matalan ja ei todennäköisen riskin alueeksi luokiteltiin seuraavanlaiset oletusarvoisesti luonnontilaisesta pohjamaasta olevien maanäytepisteiden muodostamat alueet, joissa olevista maanäyteanalyyseistä jokin seuraavista ehdoista täyttyy:

- vesipitoisuus on välillä noin 0-40% ja humuspitoisuus on välillä noin 0-10
- vesipitoisuus on välillä noin 0-40% ja maalaji on jokin muu kuin lj, ljSi, saLj, ljSa, liSa, laSa tai siLj.
- maalaji on jokin muu kuin lj, ljSi, saLj, ljSa, liSa, laSa tai siLj.

Riskiluokituskarttaa tarkasteltaessa voidaan havaita, että maanäytteille luotu riskiluokitus vaikuttaisi osoittavan melko vahvaa korrelaatiota alueittain lähekkäisten maanäytepisteiden kanssa. Lisäksi tutkimusalueella olevat sulfidi- ja korroosiotutkimuspisteiden tulokset siitä onko niissä ollut ylityksiä vai alituksia happaman sulfaattimaan raja-arvoissa näyttäisivät tukevan samaa päätelmää.

Kuitenkaan koko tutkimusalueella F ei havaittu selviä suurempia alueita, jossa olisi pelkästään ylittäviä tai alittavia maanäytteitä vaan usein huomataan varsinkin alueen länsiosassa, että suuren ja todennäköisen riskin alueen läheisyydessä on myös matalan ja ei todennäköisen riskin maanäytteiden alueita. Happaman sulfaattimaan esiintyminen vaikuttaisi alueella olevan enemmänkin pisteistä. Kuitenkaan varsinkin tutkimusalueen F itäosassa ei sen kokoon nähden ollut tarpeeksi kattavasti maanäytetutkimuksia, joista tarkempaa karttanalyysiä olisi voinut tehdä. Tarkemman analyysin tekemiseksi alueelta tulisi laatia lisää tavanomaisia maanäytetutkimuksia sekä tarkempia sulfidi- ja korroosiotutkimuksia. Tarkemmassa karttatulkinnassa alueiden värityksiä voitaisiin rajata maan korkeuskäyrienkin avulla ja arvioida tarkemmin sitä, kuinka isoa aluetta yksittäinen maanäytepiste voi edustaa.

Korostettakoon vielä, että riskiluokituskarttaa tarkasteltaessa tulee huomioida se, että tulkinnassa käytetyt näytepisteet on mm. tehty eri aikoina ja osa näyteistä on otettu pelkästään pintakerroksista. Näin ollen karttatulkinnassa on vir-



heen mahdollisuutta täten myös sitä kautta, ettei karttatulkintaan käytetyssä maanäytteessä ole otettu havaintoja riittävän syvältä savikerroksesta ja näin ollen hapan sulfaattimaakerros on voinut jäädä tutkimatta ja karttatulkinta on tätä kautta virheellinen.

## 8 Yhteenveto ja pohdinta

Happaman sulfaattimaan esiintyminen on haitallista sekä rakennustoimenpiteille, että ympäristölle. Tieto siitä missä hapanta sulfaattimaata todennäköisesti esiintyy, on tärkeää mm. rakennushankkeita suunniteltaessa. Happaman sulfaattimaan esiintyminen tulee huomioida jo myös lainsäädännössä esitetyin määräyksiin ja rajoitteisiin perustuen.

Tämän opinnäytetyön tarve lähti siitä, ettei ollut käytettävissä tietoa missä Espoon kaupungin alueella todennäköisesti esiintyy hapanta sulfaattimaata, eikä myöskään työkaluja riskitason arvioimiseen. Tässä opinnäytetyössä koottiin ja käytiin läpi, sekä tilastoitiin Espoon alueella tehdyt yksittäiset sulfidi- ja/tai korroosiotutkimukset. Nämä yksittäiset maanäytteet koottiin ja tallennettiin kaupungin yhteiseen paikkatieto-ohjelmaan. Näissä tutkimuksissa analysoiduista maanäytteistä etsittiin ja osin havaittiin happaman sulfaattimaan esiintymisen riskin tunnistamiseksi vesi- ja humuspitoisuuden raja-arvot sellaisille luonnontilaisille maanäytteille, jotka sijaitsevat Espoon Litorinamerivaiheen savisedimentissä. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden riskitulkinnasta luotiin kolmiportainen maanäytteen vesipitoisuuteen, humuspitoisuuteen ja maalajiin pohjautuen. Tätä luotua riskitulkintaa tuki opinnäytetyön alkuun koottu teoria-aineisto, sekä opinnäytetyön yhteydessä luotu pilottimainen karttatulkinta tutkimusalueelle F, missä happaman sulfaattimaan sulfidi- ja korroosiotutkimusten sijoittuminen ja tulokset tukivat ympäröiville maanäytteille tässä opinnäytetyössä tehtyä kolmiportaista riskitulkintaa. Kuitenkin tutkimustyön edetessä korostettiin, että vain teettämällä maanäytteille erityisiä laboratorioanalyysyjä voidaan todeta varmaksi maanäytteen edustavan hapanta sulfaattimaata. Näin ollen laadittua karttatulkintaa tulisi käyttää harkiten ja tietyin varauksin.

Opinnäytetyössä laadittua riskitaulukkoa maanäytteen vesi- ja humuspitoisuuksiin perustuen tulisi jatkossa täydentää ja seurata sen paikkansapitävyyttä. Eri-tyisesti myös siksi, että maanäytteiden sulfaatti- ja/tai rikki- ja/tai rikkipitoisuuksien korrelaatio niissä analysoitujen vesi- tai humuspitoisuuksien kanssa ei ollut kuin korkeintaan kohtalaista. Jatkossa karttatulkintaa voisi tarkentaa käyttämällä apuna maanpinnan korkeuskäyriä ja kartanpiirto-ohjelmaa, sekä tulisi arvioida tarkemmin kuinka isoa aluetta yksittäinen maanäyte voi edustaa. Happaman sul-

faattimaan esiintyminen vaikuttaisin olevan myös teoria-aineistoon sekä tämän opinnäytetyön perusteella pirstaleista ja pistemäistä, joten pienempimittakaavaisen karttatulkinnan tekeminen voi olla haasteellista.

Opinnäytetyötä laadittaessa selvisi, että teoria-aineisto on hajanaista ja osin vaikeasti löydettävissä. Lisäksi tuli esiin, että Espoon sisällä tehdyt sulfidi- ja/tai korroosiotutkimukset eivät ole keskenään yhteneviä, joka johtuu suurelta osin varmasti siitä, ettei valtakunnallista selkeää ohjeistusta happaman sulfaattimaan toteamiseksi ole olemassa. Lisäksi yhtenäinen valtakunnallinen ohjeistus siitä, mitä tulee tehdä ja miten tulee toimia, jos hapanta sulfaattimaata esiintyy, puuttuu kokonaan tai se on pirstaleista. Opinnäytetyötä laadittaessa eri henkilöiden kanssa käydyissä keskusteluissa selvisi, että lisäksi eri viranomaisilla on erilainen käsitys siitä, milloin voidaan todeta jonkin alueen olevan happaman sulfaattimaan todennäköistä esiintymisaluetta ja heiltä yksittäisiin hankkeisiin saadut veloitteet ja vaatimukset eroavat keskenään. On näin ollen selvää, että koulutusta ja virallisia valtakunnallisia yhteneviä ohjeistuksia tulisi lisätä ja selkeyttää happaman sulfaattimaan osalta.

## Kuvat

- Kuva 1. Itämeren vaiheet (Ojala, A. 2017) 10
- Kuva 2. Etelä-Suomen rantakerrostuman periaate (Jääskeläinen 2009) 11
- Kuva 3. Itämeren savien tyyppikerrossarja (Salonen, V-P ym. 2002, 57) 11
- Kuva 4. Itämeren muutosvaiheiden savisedimenttien tyypillinen ulkonäkö (Ojala 2017) 12
- Kuva 5. Itämeren eri kehitysvaiheiden aikana muodostuneiden savikoiden tyyppialueet ja -paksuudet Suomessa (s. 151 Salonen, V-P ym. 2002) 13
- Kuva 6. Epäjatkuvuuskohta Espoossa otetuista jatkuvista savinäytteistä (Ojala, A. & ym. 2016). 15
- Kuva 7. Maanäytteisiin tulkitut Itämeren erivaiheissa kerrostuneet savisedimenttikerrokset (Ojala, A. & ym. 2016). 15
- Kuva 8. Litorinameren peittämä alue Suomessa (Geologian tutkimuskeskus, 2010) 16
- Kuva 9. Happamat sulfaattimaat karttapalvelu (Geologian tutkimuskeskus) 17
- Kuva 10. Itämeren eri vaiheiden sedimenttien korkeustaso nykyisen merenpinnan yläpuolella Espoossa (Ojala, A. 2017). 18
- Kuva 11. Potentiaaliset happamat sulfaattimaa-alueet, eli Litorinamerivaiheen korkeimman tason alapuoliset alueet, Espoon kaupungin ympäristökeskuksen tulkinnan mukaan esitettynä punaisella 19
- Kuva 12. Espoosta Finnoon alueella olevaa potentiaalista hapanta sulfaattimaata (Ojala, A. 2017) 20
- Kuva 13. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen (Eden, P. 2009) 22
- Kuva 14. Pistekorroosion esiintymisen esimerkkejä ruostumattomassa teräksessä (Talja ym. 2006, 19) 25
- Kuva 15. Maalajien ominaisvastuksien arvoja ja niiden yhteys maaperän syövyttävyyteen (Kekki, ym. 2008, 29) 33
- Kuva 16. Sulfidi- ja korroosiotutkimuspisteiden sijoittuminen Espoon kaupungin alueella. Karttakuva ei ole mittakaavassa. 35
- Kuva 17. Sulfidi- ja korroosiotutkimuspisteiden symbolit ja selitteet 37
- Kuva 18. Sulfidi- ja korroosiotutkimuksia esitettynä Espoon kaupungin paikkatietokannan selausnäkyssä nimeltä Webmap 37
- Kuva 19. Espoon kaupungin maaperäkarta 38

- Kuva 20. Espoon maaperäkartan väriselitteet 39
- Kuva 21. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten tutkimuspisteiden sijoittuminen Espoon kaupungin maaperäkartan savialueille ja muodostetuille tutkimusrajauksille 40
- Kuva 22. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten yksittäisistä maanäytteistä tehdyt analyysit 42
- Kuva 23. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden syvyysjakauma 43
- Kuva 24. Espoossa tehtyjen sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteistä tehdyt analyysit tutkimusalueittain kuvaajamuodossa 45
- Kuva 25. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteistä analysoitujen maalajien jakautuminen kokonaisuutena 45
- Kuva 26. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden maalajijakauma näytteen syvyyden suhteen kuvaajamuodossa 47
- Kuva 27. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden humuspitoisuuden tai hehkutushäviön arvot niiden syvyydulottuman suhteen maanpinnasta 48
- Kuva 28. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden vesipitoisuuksien arvot niiden syvyydulottuman suhteen maanpinnasta 49
- Kuva 29. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden sulfaattipitoisuuksien arvot niiden syvyydulottuman suhteen maanpinnasta 50
- Kuva 30. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden sulfaattipitoisuuksien arvot, pitoisuuksien 0-2000 mg/kg välillä, niiden syvyydulottuman suhteen maanpinnasta 51
- Kuva 31. Maanäytteiden sulfaattipitoisuus suhteessa vesipitoisuuteen 52
- Kuva 32. Maanäytteiden sulfaattipitoisuus suhteessa humuspitoisuuteen 52
- Kuva 33. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden kokonaisrikkipitoisuuksien arvot niiden syvyydulottuman suhteen maanpinnasta 53
- Kuva 34. Maanäytteiden rikkipitoisuus suhteessa vesipitoisuuteen 54
- Kuva 35. Maanäytteiden rikkipitoisuudet suhteessa humuspitoisuuksiin 55
- Kuva 36. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden pH:n arvot niiden syvyydulottuman suhteen maanpinnasta 55
- Kuva 37. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden opinnäytetyön tutkimukseen valittujen indikaattorien raja-arvojen ylitykset ja alitukset 57

Kuva 38. Sulfidi- ja korroosiotutkimusten maanäytteet happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain 58

Kuva 39. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikki-pitoisuus verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen. Sulfaatti- ja/tai rikki-pitoisuuden raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja raja-arvot alittavat näytteet esitetty sinisellä 62

Kuva 40. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu pH verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen. pH:n GTK:n ohjeen raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja alittavat näytteet sinisellä 64

Kuva 41. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu pH verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen. pH:n Liikenneviraston ohjeen raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja alittavat näytteet sinisellä 65

Kuva 42. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikki-pitoisuus verrattuna niiden humuspitoisuuteen tai hehkutushäviöön ja vesipitoisuuteen ja niiden. Sulfaatti- ja/tai rikki-pitoisuuden raja-arvot ylittävät näytteet esitetty punaisella ja alittavat sinisellä. Kuvaajassa esitetty ed. mainituin perustein luotu riskiluokitus happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyydestä eri värein. 68

Kuva 43. Happaman sulfaattimaan esiintymisen riskin todennäköisyydestä luotu vuokaavio 70

Kuva 44. Tutkimusalue F sijoittuu Espoon kaupungin opaskartalla noin sinisellä rajatulle alueelle. 73

Kuva 45. Tutkimusalueelle F luotu riskitulkintakartta. Kuva ei ole mittakaavassa. 74

## Taulukot

Taulukko 1. Kooste maanäytteistä laboratoriossa ja maastossa tutkittaville ominaisuuksille 29

Taulukko 2. Eloperäiset ja hienorakeiset maalajit (Korhonen ym. 1974) 30

Taulukko 3. Hienorakeisten maalajien kuvaus humuspitoisuuden perusteella (Korhonen ym. 1974) 31

Taulukko 4. Geoteknisen maalajiluokituksen mukaan listatut happaman sulfaattimaan indikaattori maalajit. (Korhonen ym. 1974. Purokoski. 1959 ja Heikkinen. 2012) 31

Taulukko 5. Erityyppisten luonnontilaisten maiden vesipitoisuuden vaihteluja (Salonen, ym. 2002, 86) 32

Taulukko 6. Espoon alueella tehdyt korroosio- ja/tai sulfidimaatutkimukset 36

Taulukko 7. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten sijoittumisen perusteella luotujen tutkimusalueiden listaus 41

Taulukko 8. Espoossa tehtyjen sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteistä tehdyt analyysit tutkimusalueittain taulukkomuodossa 44

Taulukko 9. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden maalajijakauma näytteen syvyyden suhteen taulukkomuodossa 46

Taulukko 10. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten sulfaattipitoisuuksien, rikkipitoisuuksien ja pH:n analyysimäärät 56

Taulukko 11. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden raja-arvojen ylitykset pH:n, sulfaatin ja rikkipitoisuuksien suhteen 57

Taulukko 12. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet happaman sulfaattimaan indikaattorien raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain taulukkomuodossa 59

Taulukko 13. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden pH:n GTK:n ohjeen raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain 60

Taulukko 14. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden pH:n Liikenneviraston ohjeen raja-arvojen ylittävät maanäytteet maalajeittain 60

Taulukko 15. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikkipitoisuus suhteessa niiden vesipitoisuuteen ja humuspitoisuuteen 61

Taulukko 16. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikki- ja rikkipitoisuus suhteessa sen vesipitoisuuteen ja humuspitoisuuteen, jotka alittavat sulfaatin ja/tai rikkipitoisuuden raja-arvot 63

Taulukko 17. Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteet, joista on analysoitu sulfaatti- ja/tai rikki- ja rikkipitoisuus suhteessa sen vesipitoisuuteen ja humuspitoisuuteen, jotka ylittävät sulfaatin ja/tai rikkipitoisuuden raja-arvot 63

Taulukko 18. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden prosentit eri riskialueilla 69

Taulukko 19. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden prosentit yksinkertaistetuilla vesipitoisuuksien ja humuspitoisuuksien arvoilla 69

Taulukko 20. Happaman sulfaattimaan esiintymisen todennäköisyyden riskitulkinta maalajiin perustuen 71



## Lähteet

Autiola, M. Hakanen, T. Kaarakainen, V. Lindroos, N. Mäkelä, A. & Ratia, K. 2012. Excavation practices in sulfide clay areas, in project highway no. 8 Sepänkylä bypass Vaasa-Mustasaari. Julkaisusta: 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012 Towards Harmony between Land Use and the Environment. Geological Survey of Finland. Guide 56. Sivu 16. <http://en.gtk.fi/informationsservices/publications/publications/latest/publication/Opas56.html>. Luettu 7.9.2017.

Auri, J. 2015. Happamien sulfaattimaiden esiselvitys Oulussa. Kokkola. Geologian tutkimuskeskus.

Auri, J. Edén, P. Martinkauppi, A. & Rankonen, E. 2009. Työohje happamien sulfaattimaiden kartoitukseen 1:250 000. Kokkola. Geologian tutkimuskeskus.

Forsman, J. Jyrävä, H. Lahtinen, P. Niemelin, T. & Hyvönen, I. 2014. Massastabilointikäsi kirja. Espoo. Ramboll Finland Oy. [http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014\\_06\\_24.pdf](http://www.uuma2.fi/sites/default/files/Massastabilointik%C3%A4sikirja%20YLEISVERSIO%20-%202014_06_24.pdf). Luettu 1.10.2017

Edén, P. Rankonen, E. Auri, J. Yli-Halla, M. Österholm, P. Beucher, A. & Rosendahl, R. 2012. Definition and Classification of Finnish Acid Sulfate Soils. Julkaisusta: 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012 Towards Harmony between Land Use and the Environment. Geological Survey of Finland. Guide 56. sivut 29-30 <http://en.gtk.fi/informationsservices/publications/publications/latest/publication/Opas56.html>. Luettu 7.9.2017.

Edén, P. Auri, J. Rankonen, E. Martinkauppi, A. & A. Boman, A. 2009. GTK. Sulfaattimaiden ominaisuudet ja kartoittaminen. <http://docplayer.fi/18348842-Sulfaattimaiden-ominaisuudet-ja-kartoittaminen.html>. Luettu 31.5.2017.

Geologian tutkimuskeskus. 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan – esite. <http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/viestintamateriaalit/esitteet/EsiteHappamatSulfaattimaat.pdf>. Luettu 1.10.2017

Geologian tutkimuskeskus. Happamat sulfaattimaat- karttapalvelu. [http://www.gtk.fi/tietopalvelut/palvelukuvaukset/happamat\\_sulfaattimaat.html](http://www.gtk.fi/tietopalvelut/palvelukuvaukset/happamat_sulfaattimaat.html). Luettu 13.9.2017

Geologian tutkimuskeskus. Hienorakeiset kerrostumat eli postglasiaaliset savet. <http://weppi.gtk.fi/aineistot/mp-opas/postsavikot.htm> Luettu 25.9.2017

Haalahti, O. 2015. Pohjaveden sisältämien aineiden vaikutus teräsbetonirakenteiden suunnittelussa. Metropolia ammattikorkeakoulu. Rakennustekniikka. Insinööriyö.

Heikkinen, S. 2012. Happamat sulfaattimaat, esiintyminen ja tunnistaminen - esite. Geologian tutkimuskeskus.  
<http://www.gtk.fi/export/sites/fi/ajankohtaista/viestintamateriaalit/esitteet/EsiteHappamatSulfaattimaat.pdf> Luettu 04.06.2017.

Hämäläinen, T. 2017. Tarkka tieto savikoista auttaa maankäytön ja rakentamisen suunnittelussa. Geofoorumi 1/2017. Geologian tutkimuskeskus.  
<http://verkkolehti.geofoorumi.fi/fi/2017/03/30/tarkka-tieto-savikoista-auttaa-maankayton-ja-rakentamisen-suunnittelussa/>. Luettu 30.9.2017.

Jääskeläinen, R. 2009. Geotekniikan perusteet.

Kangas, J. 2010. Happamien sulfaattimaiden luokitus. Oulun yliopisto. Teknillinen tiedekunta. Diplomityö.

Kekki, T. Kaunisto, T. Keinänen-Toivola, M. & Luntamo, M. 2008. Vesijohtomateriaalien vauriot ja käyttöikä Suomessa. Vesi-Instituutin julkaisuja 3. Turku.  
<http://www.samk.fi/wp-content/uploads/2016/06/Vesijohtomateriaalien-vauriot-ja-k%C3%A4ytt%C3%B6ik%C3%A4-Suomessa.pdf> Luettu 12.9.2017.

Korhonen, K-H. Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Tammirinne. Geotekninen maaluokitus. Valtion teknillinen tutkimuskeskus Geotekniikan laboratorio, tiedonanto 14. Otaniemi. ISBN 951-38-0096-2.

Laitinen, K. Metropolia Ammattikorkeakoulu. Teräsrakenneyhdistys. 2012. Korroosio.  
<http://www.terasrakenneyhdistys.fi/document/1/151/8ac778e/korroosio.pdf>. Luettu 10.9.2017.

Liikennevirasto. 2012. Pdf-julkaisu: Betonirakenteiden suunnittelu, NCCI 2, s. 32, 66-67. Eurokoodin soveltamisohje. Helsinki.

Liikennevirasto. 2012. Pdf-julkaisu: Sillan geotekninen suunnittelu/Sillat ja taitorakenteet. Helsinki

Maanmittauslaitos/Inspire-sihteeristö. 2014. Geoinformatiikan sanasto. s.22.  
<http://www.tsk.fi/tiedostot/pdf/GeoinformatiikanSanasto>. Luettu 30.12.2017.

Ojala, E. Saresma, M. Virtasalo & J. Huotari-Halkosaari, T. 2016. An allostratigraphic approach to subdivide fine-grained sediments for urban planning. DOI:10.1007/s10064-016-0981-4.

Ojala, E. 2017 Unconformable base of brackish-water mud aids stratigraphical subdivision of fine-grained sediments and urban planning - examples from Espoo. Luento-esitys.

Pousette, K. 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, Teknisk rapport, Luleå tekniska universitet.

Punkki, J. 2016. Paaluinfo - Teräsbetonipaalujuen säilyvyysuunnittelu. *Betoni* 3/2016, 98-99.

Purokoski, P. 1959. Rannikkoseudun rikkipitoisista maista.

Pätsi, K. 2009. Suurpellon syvästabiloidun koepenkeren analysointi. Teknillinen korkeakoulu. Insinööritieteiden ja arkkitehtuurin tiedekunta. Diplomityö.

Ramboll Oy. Mattila, J. Anttila, V. Heikkilä, E. Hietanen, T. Kovanen, T. Leivo, M. Matala, S. Oivo, P. Paukku, E. Petrow, S. Punkki, J. Räsänen, O. Vesikari, E. Virtanen, J. 2014. Massastabilointikäsikirja.

Rautiainen, J. Maaperän synty. Espoo.

<http://www.espoo.fi/download/noname/%7B2B0BBBE3-EB71-4278-B7AA-63F450E6D262%7D/78907>. Luettu 8.9.2017.

Ronkainen, N. 2012. Suomen maalajien ominaisuuksia. Helsinki. Suomen ympäristökeskus.

RIL 254-2011 Paalutusohje 2011

Salonen, V-P. Eronen & M. Saarnisto, M. 2002. Käytännön maaperägeologia. Turku. ISBN 951-29-2247-9

Sedimentti. <https://fi.wikipedia.org/wiki/Sedimentti>. Luettu 31.5.2017

SFS- EN 206, standardi. Vahvistettu 2014. *Betoni ja siihen liittyvät tuotteet*, s. 25, 82. Suomen standardisoimisliitto.

SFS-EN 1992-1-1, kansallinen liite. Vahvistettu 2009. *Betonirakenteiden suunnittelu, yleiset säännöt ja rakennuksia koskevat säännöt*, s. 5, 8. Suomen standardisoimisliitto.

Talja, A. Törnqvist, J. Kiviskoski, H. Carpén, L. Nippala, E. 2006. Espoo. VTT:n julkaisuja. Ruostumaton teräs maa- ja vesirakentamisessa. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/workingpapers/2006/W65.pdf>. Luettu 10.9.2017.

Tompuri, V. 2006. 40 vuotta Espoolaista geotekniikkaa. Espoo. Tekninen keskus Geotekniikkayksikkö.

Työterveyslaitos. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet- turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet). <https://www.ttl.fi/ova/rikki.html>, luettu 8.9.2017

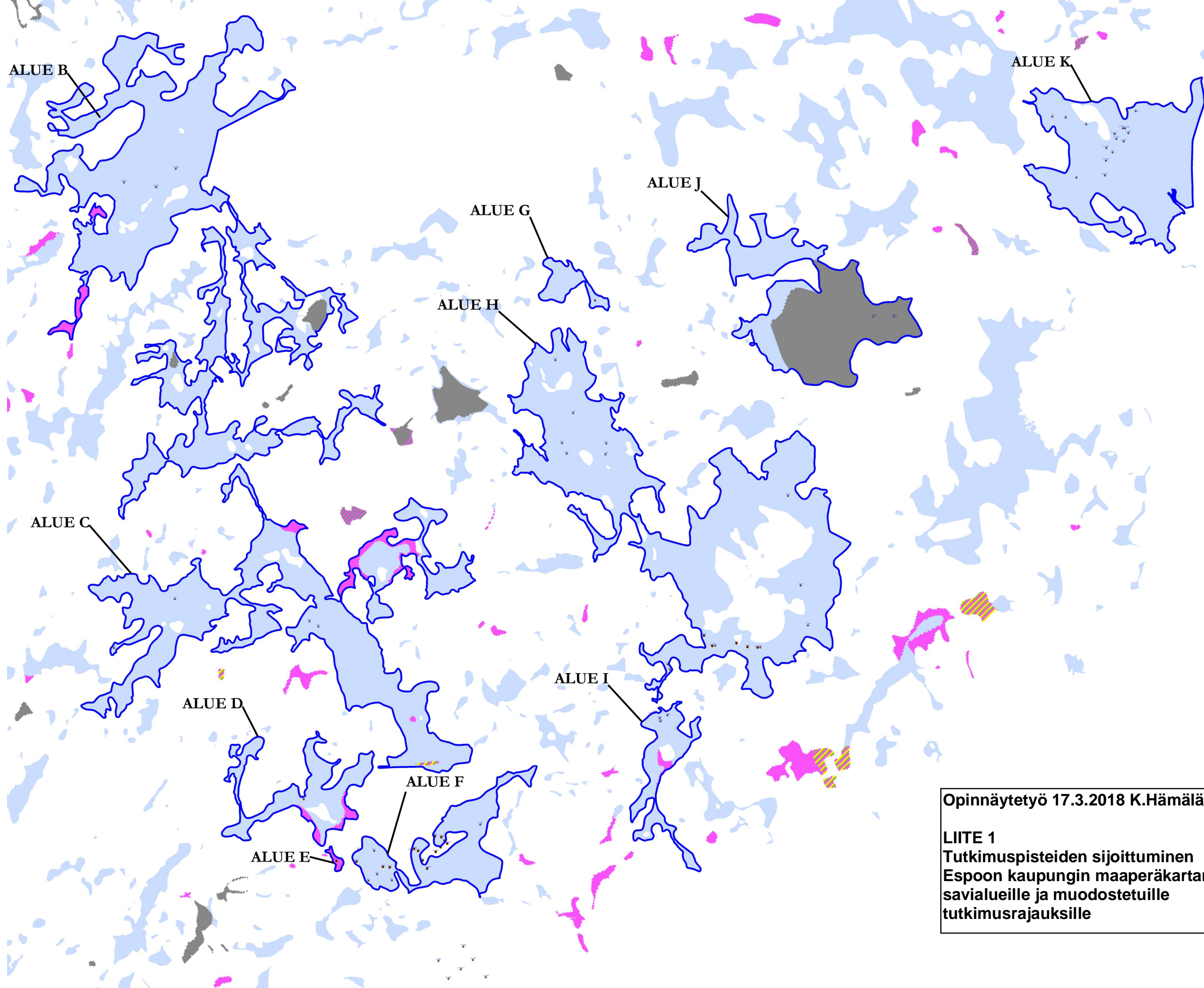
Työterveyslaitos. Onnettomuuden vaaraa aiheuttavat aineet- turvallisuusohjeet (OVA-ohjeet). <http://www.ttl.fi/ova/kloordio.html>, luettu 8.9.2017

Uusinoka, R. 2002. Yleinen maaperägeologia, 2. osa Sedimentit ja sedimentaatioprosessit. Helsingin yliopisto. Geologian laitos.

Vertanen, E. 2016. Sulfaattimaiden tunnistaminen, riskienhallinta ja käsittely väylähankkeissa. Helsinki. Liikennevirasto

Yli-Halla, M. Puustinen, M. Koskiaho, J. 1999. Area of cultivated acid sulfate soils in Finland. Julkaisussa: Soil Use and Management 1999, Vol.15(1), s.62-67. ISSN 0266-0032-1475-2743.

Ojala, E. Saresma, M. Virtasalo & J. Huotari-Halkosaari, T. 2016. An allostratigraphic approach to subdivide fine-grained sediments for urban planning. DOI:10.1007/s10064-016-0981-4.



Opinnäytetyö 17.3.2018 K.Hämäläinen  
**LIITE 1**  
Tutkimuspisteiden sijoittuminen  
Espoon kaupungin maaperäkartan  
savialueille ja muodostetuille  
tutkimusrajauksille

Alue	Näytepiste tunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi Maalaji	Livi Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Livi Vesipitoisuus w [%]	Livi Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Livi Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Livi Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Livi Ominaisvastus ρ [Ωm]	Livi Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Livi Redox potentiaali	Livi ja GTK pH	GTK Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	GTK Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, salj, silj, ljSa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>0</sub> on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maasto-olosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
A	17_11	0,5	saHkMr	1,08	20,56	1,33	3,7	0,0004				7,5		
A	17_11	1	liSa	0,19	35,78	4,46	3,7	0,0007				7,5		
A	17_11	1,8	laSa	0	32,57	1,39	2,6	0,0005				7,6		
B	10_TP1	0,5-1,0	ljSa	9,1	96,8							4,7	3,1	0,82
B	10_TP1	1,0-1,5	ljSa	9,7	108							6,9	2,7	1,3
B	10_TP1	1,5-2,0	ljSa	7,4	127							8	2,6	1,4
B	10_TP1	2,0-2,5	ljSa	7	147							8	3,2	1,1
B	10_TP2	0,25-0,5	Lj+Hm	21,8	182							5,3	6	0,49
B	10_TP2	0,5-1,0	saLj	9,4	133							6,3	2,3	1,8
B	10_TP2	1,0-1,5	saLj	9	142							7,3	2,3	2
B	10_TP2	1,5-2,0	saLj	7,7	150							7,5	2,3	1,6
B	10_TP3	0,1-0,6	Lj+Tv	13	155							6,5	6,4	0,2
B	10_TP3	0,6-1,1	Lj	9,3	133							6,9	3,3	0,75
B	10_TP3	1,1-1,6	Lj	11,5	166							7,1	2,5	2,1
B	10_TP3	1,6-2,1	Lj	9,8	156							7,3	2,4	2,2
C	8_S1	1,5	saLj	6,5	59,9		46			normaali näyte		5,9		0,101
C	8_S1	2,4	liSa	1,1	95,8		67			lievästi poik.		6,6		0,058
C	8_S2	0,9	ljSa	2,7	47,2		<40			normaali näyte		7,3		0,023
C	8_S2	2,4	liSa	0,3	60,2		50			normaali näyte		8,1		0,022
C	13_1	0,5	ljSi	6	34,7	100	<40	5,1		normaali näyte		7		
C	13_1	1,5	ljSa	2,9	51,9	<100	<40	8,3		normaali näyte	175,5	7,1		
C	13_1	2,5	ljSa	4,3	48,9	110	<40	11		normaali näyte		7,1		
C	13_1	3,5	ljSa	3,4	57,1	<100	<40	7		normaali näyte		7,2		
C	13_1	4,5	ljSa	3,1	80,2	200	<40	11,5		normaali näyte		7,8		
C	13_1	5,5	ljSa	3,1	86,8	190	<40	11,2		normaali näyte		7,6		
C	13_1	6,5	ljSa	3,2	65,7	140	<40	7,6		normaali näyte		6		
C	13_1	7,5	ljSa	2,5	66,9	130	<40	10,3		normaali näyte		7,7		
C	13_2	0,5	ljSa	5,4	36,9	<100	<40	9,1		lievä poik.		6,5		
C	13_2	1,5	ljSa	3,2	33,3	310	126	17,4		lievä poik.	155,5	7,1		
C	13_2	2,5	ljSa	3,1	65,8	140	77	14,5		normaali näyte		8,2		
C	13_2	3,5	ljSa	3,2	60,6	260	92	15,5		lievä poik.		7,8		
C	13_2	4,5	ljSa	2,8	64	210	77	14,4		normaali näyte		7,9		
C	13_2	5,5	ljSa	2,8	62,6	140	75	14,9		normaali näyte		8,3		

Alue	Näytepiste tunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi ja GTK	GTK	GTK	
			Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Ominaisvastus ρ [Ωm]	Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Redox potentiaali	pH	Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, salj, silj, ljSa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>0</sub> , on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maasto-olosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
C	13_2	6,5	ljSa	2,7	67,9	<100	50	11,3		normaali näyte		8,6		
C	13_2	7,5	ljSa	2,5	65,7	120	60	12,4		normaali näyte		8,2		
D	11_3013	0,5-1,0	Sa	6,2	59,8	142	293	23		normaali näyte		7,1		
D	11_3014	0,5-1,0	Sa	2,3	58,4	60	142	15		normaali näyte		7,8		
E	19_U7	0,5-1,5		1,2	32,4							7,8		0,044
E	19_U7	1,5-2,5		2,6	51,7							7,5		0,022
E	19_U7	2,5-3,0		0,8	23,9							7,9		0,063
F	14_1	3	ljSa	2,6	51,3	570	<40	9,5		normaali näyte	332,6	6,7		
F	14_1	4	ljSa	3,5	47,7	<400	<40	6,9		normaali näyte		7,1		
F	14_2	1	ljSa	4	51,6	1820	102	15,6		lievästi poikkeava	126,3	6,7		
F	14_2	2	ljSa	4	56	820	289	34,5		voimakas poikk.		8,4		
F	14_2	3	ljSa	2	52,5	<400	169	22,7		lievästi poikkeava		8,8		
F	14_2	4	ljSa	3,8	63,4	710	276	44,6		normaali näyte		7,6		
F	14_2	5	ljSa	3	50,3	560	217	30,6		lievästi poikkeava		8,7		
F	14_3	1	ljSa	3,8	42	1010	<40	7,8		lievästi poikkeava	54,6	7,4		
F	14_3	2	ljSa	3,1	40,6	880	<40	7,5		voimakas poikk.		7,2		
F	14_3	3	ljSa	3	64,6	860	53	13,7		voimakas poikk.		7,3		
F	14_4	1	ljSa	5	42,2	1390	70	6,1		voimakas poikk.	211,1	7,1		
F	14_4	2	ljSa	2,9	42,6	<400	53	10,2		voimakas poikk.		7,4		
F	14_4	3	ljSa	3,7	54,6	1440	178	17,9		lievästi poikkeava		7,4		
F	14_4	4	ljSa	3,4	62,1	410	195	28,4		normaali näyte		8,6		
F	14_4	5	ljSa	3,4	66,9	1770	205	28,3		normaali näyte		8		
F	14_4	6	ljSa	2,2	49,2	450	152	22,2		normaali näyte		8,1		
F	14_4	7	ljSa	2,9	60,2	1320	174	24,1		normaali näyte		7,8		
F	14_5	1	ljSa+Mr	8	58,6	1190	<40	4,8		voimakas poikk.	216,9	6,8		
F	14_5	2	ljSi	5,2	53,2	4380	150	16		voimakas poikk.		6,7		
F	14_5	3	ljSa	3,2	66,3	2240	425	41,3		voimakas poikk.		8,1		
F	14_5	4	ljSa	3,3	62,6	2400	464	50,4		normaali näyte		8,2		
F	14_5	5	ljSa	2,9	64,8	1510	503	50,4		normaali näyte		8,6		
F	14_6	1	Si+Hu	13,7	85,6	3910	246	14,2		normaali näyte	190	6,3		
F	14_6	2	ljSa	3,3	65,7	1210	131	24,2		normaali näyte		6,7		
F	14_6	3	saSi	1,6	45	<400	82	21		normaali näyte		7,6		
F	7_1419	1				269	670	57				7,5		



Alue	Näytepiste tunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi ja GTK	GTK	GTK	
			Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Ominaisvastus ρ [Ωm]	Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Redox potentiaali	pH	Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, salj, silj, ljsa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>l</sub> , on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maasto-olosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
F	7_1419	2				185	610	50				7,3		
F	7_1419	3				138	320	33				7,1		
F	7_1419	4				145	540	51				7,9		
F	7_1419	5				179	530	50				7,66		
F	7_1419	6				123	300	32				7,6		
F	7_1419	7				79	320	26				8,1		
F	7_1419	8				140	560	46				7,8		
F	7_1419	9				127	550	42				7,9		
F	19_U4	3-3,5		4,6	40,2							6,6		0,04
F	19_U4	3,5-4,5		3,9	72,8							7,7		0,062
F	19_U2	3,5-4,5		4,2	49,2							4,5	2,8	1,6
F	19_U2	4,5-5,5		3,3	65,9							8,4	5,8	0,11
F	19_U1	4,5-5		4	72,6							8,4		0,067
F	19_U1	5-6		3,8	70,9							8,4		0,061
F	19_U5	1,5-3		3,3	59,9							8,7	5,8	0,024
F	19_H6-B	5-6		3,8	58,6							7,9	5,9	0,026
F	19_U7	7,5-8		4,1	38,4							6,8	3,5	0,66
F	19_K8	-		3,5	52,1							9,4	6,2	0,023
F	19_M9-B	5-5,5		4,1	75,5							6,7	3,4	0,67
F	19_E11	3-4		4,2	87,8							6,8	6,2	0,059
F	19_E11	4-5		4,2	87,8							6,8	6	0,03
F	19_I11-B	5,5-6		2,6	47,1							7,8	4,8	0,34
F	19_E12	5		2,8	37,5							8,3	4	0,19
F	19_E12	5		4,2	53,3							8,5	5,9	0,11
F	19_F13	6-8		3,7	71,7							6,1	5,7	0,03
F	19_H12	5,5-6,5		4,3	75,6							9,9	6,9	0,064
F	19_G14	6,5-7,0		3,5	68,9							8,5	5,8	0,025
G	3_1	-		1,4		24	8	30				7,9		
H	4_N4	1,07-1,24				165	42					6,01		2,34
H	4_N4	2,19-2,36				143	118					7,02		1,82
H	4_N4	3,19-3,36				154	155					7,18		1,78
H	4_N4	6,19-6,36				145	183					7,01		1,45
H	4_N4	8,19-8,36				145	86					7,26		0,76



Alue	Näytepiste tunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi ja GTK	GTK	GTK	
			Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Ominaisvastus ρ [Ωm]	Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Redox potentiaali	pH	Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, salj, silj, ljsa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>l</sub> , on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maastolosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
H	4_N5	4,13-4,30				108	217					7,57		1,7
H	4_N5	8,19-8,36				119	268					7,09		1,44
H	4_TU163	2,19-2,36				135	62					6,81		1,46
H	4_TU163	5,19-5,36				49	62					6,93		0,03
H	9_S46	2	liSa	3,03	84	90	100	16,7				8,5		
H	9_S46	4	liSa	2,564	69,6	62	130	15,2				9,1		
H	9_S46	6	laSa	1,503	42,6	46	73	11				9,5		
H	9_S47	2	liSa	3,048	96	350	560	34,5				7,7		
H	9_S47	4	liSa	3,52	77,8	120	960	45				8,3		
H	9_S47	6	liSa	2,9	63,8	150	840	12,3				8,3		
H	9_S47	9	siHKMr		15,4	85	19	9,5				8,1		
H	9_S48	2	liSa	3,63	109,4	140	19	7,6				8		
H	9_S48	4	liSa	3,31	89,5	180	< 10	5,2				7,5		
H	15_P1	0-1	HkMr+Hu	12,3	50	1710	101	7,8		normaali näyte		4,9		
H	15_P1	1-2	HkMr+Hu	7,3	94,7	2600	183	8		normaali näyte		5,1		
H	15_P1	2-3	ljSa	2,8	111,5	2510	451	44,8		normaali näyte		7,3		
H	15_P1	3-4	laSa	0,5	71,3	1250	403	38,4		lievästi poikkeava		7,6		
H	15_P1	4-5	liSa	0,3	93,5	780	921	51,7		lievästi poikkeava		8,2		
H	15_P1	5-6	Si	0,1	56,8	520	665	40,9		normaali näyte		8,1		
H	15_P1	6-7	Si	0,2	51,3	780	676	43,1		lievästi poikkeava		7,9		
H	15_P1	7-8	laSa	1,1	71,1	510	827	57,2		normaali näyte		8,5		
H	15_P1	8-9	laSa	0,5	88,3	690	1130	62		normaali näyte		8,6		
H	15_P2	0-1	hkSiMr+Hu	10,1	69,3	290	42	7,9		normaali näyte		5,9		
H	15_P2	1-2	liSa	1,1	59,9	1210	46	10,1		normaali näyte		5,4		
H	15_P2	2-3	hkSiMr+Hu	7,5	56,8	690	117	15,7		lievästi poikkeava		4,8		
H	15_P2	3-4	liSa	0,5	56,8	290	< 40	11,1		lievästi poikkeava		6,4		
H	15_P2	4-5	laSa	0,1	49,2	260	48	11,9		normaali näyte		7,5		
H	15_P2	5-6	liSa	0,1	65,5	400	< 40	12,2		lievästi poikkeava		7,3		
H	16_S11	0,5-1	liSa	4,9	80							6,6		0,04
H	16_S11	1-1,5	liSa	4,6	71							7,6		<0,03
H	16_S11	1,5-2	liSa	4,6	88							8,4		<0,03
H	16_S11	2-2,5	liSa	3,9	79							9,1		<0,03
H	16_S11	2,5-3	liSa	3,5	71							9,3		<0,03

Alue	Näytepistetunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi Maalaji	Livi Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Livi Vesipitoisuus w [%]	Livi Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Livi Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Livi Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Livi Ominaisvastus ρ [Ωm]	Livi Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Livi Redox potentiaali	Livi ja GTK pH	GTK Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	GTK Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, saLj, silj, liSa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>l</sub> , on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuisia rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maastolosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
H	16_S12	0,5-1	saLj	14,5	120	7500	42					5,7	6,2	0,47
H	16_S12	1-1,4	ljSi	6,7	100	11000	64					5,9	2,6	1,5
H	16_S12	1,4-1,5	liSa	3,7	71							8,2	4	0,35
H	16_S12	1,5-2	liSa	4,9	87							8		0,05
H	16_S12	2-2,5	liSa	3,9	89							8,7		<0,03
H	16_S12	2,5-3	liSa	3,7	84							9		<0,03
H	21_S1	0,5-1	laSa		25,1									0,037
H	21_S1	1-1,5	liSa	4,2	53							7,7	4,9	< 0,03
H	21_S1	2-2,5		3,6	85,2							8,4	4,7	<0,03
H	21_S2	0-0,6		7,3								4,4		0,17
H	21_S2	0,6-1,3	saLj	9,2	93,5							5,3	4,8	0,18
H	21_S2	1,3-1,8	ljSi	7	105	12000	200					6,7	5,4	1,1
H	21_S2	1,8-2,3	liSa	2,8	73,4							8	2,9	0,17
H	21_S2	2,3-2,8		4	98,4							8	4	0,074
H	21_S2	2,8-3,3		3,9	89,7							7,9	5,2	0,56
H	21_S3	1,3-2	liSa		45,7									0,035
H	21_S3	2-2,5		3,7	67,8							7,6	4,5	< 0,03
H	21_S3	2,5-3			70,8									<0,03
H	21_S4	0-0,6	liSa		49,9									0,087
H	21_S4	0,6-1,3	liSa	4,2	50,8							5,9	4,2	0,07
H	21_S4	1,8-2,3	liSa	3,6	81,3	100	25					8	4,7	0,052
H	21_S4	2,8-3,3		2,7	74,5							8,9	4,4	0,041
H	21_S5	0,6-1,3	saLj	8,8	70,5							5,9	6,1	0,2
H	21_S5	1,3-2,0	ljSa	6	65,6							7	5,8	0,18
H	21_S5	2,0-2,5			81,6									0,05
H	21_S5	2,5-3,0	liSa	3,7	88,6							8,8	4,6	0,049
I	6_1359	1,5				170	8	4				7,2		
I	6_1359	3				130	47	7,9				8		
I	6_1360	1,5				490	43	10,2				6,2		
I	6_1360	3,5				290	570	33,3				8,4		
I	6_1360	6,5				150	880	29,1				8,3		
I	6_1349	3				210	43	11,5				6,9		
I	6_1350	1				200	86	10				7,7		

Alue	Näytetunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi	Livi ja GTK	GTK	GTK	
			Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Ominaisvastus ρ [Ωm]	Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Redox potentiaali	pH	Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, saLj, silJ, ljSa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>l</sub> , on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraikat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maastolosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
I	6_1350	2				200	190	33,7				7,9		
I	6_1350	3				190	170	11,8				7,9		
I	6_1354	1				440	290	20,8				8,2		
I	6_1354	3				250	680	43,5				8		
I	6_1354	4				170	480	34,2				8,4		
J	18_RS55	3,7	saLj	10,4	69,3	4710	291	99,2		normaali näyte	206	5,3		
J	18_RS55	5,7	ljSa	2,55	46,4	476	259	25,2		voimakas poikk.	193	7,9		
J	18_RS55	7,7	ljSa	3,35	50,7	232	446	28,1		normaali näyte	208	8,7		
J	18_RS57	4	saLj	10,5	69,4	12500	18,9	191		normaali näyte	263	3,6		
J	18_RS57	6,25	ljSa	2,85	49,5	168	3,75	9,3		normaali näyte	194	7,8		
J	18_RS57	8	Sa	1,64	35,8	94,5	8,56	5,7		normaali näyte	178	8,2		
K	2_1	0,5	silJ	8,7	75,1	173	7	7		normaali näyte		4,5		
K	2_1	1,5	silJ	9	84,8	225	19	12		normaali näyte	339,3	4,9		
K	2_1	2,5	silJ	9,6	138,6	192	625	45		normaali näyte		6		
K	2_1	3,5	ljSa	3,4	93,4	17	1130	84		normaali näyte		8,6		
K	2_1	4,5	ljSa	3,4	87	28	782	57		normaali näyte		8,6		
K	2_2	0,5	silJ	8,5	47,2	46	13	8		normaali näyte		5,7		
K	2_2	1,5	ljSi	5,9	74	153	70	15		normaali näyte	65,3	5		
K	2_2	2,5	ljSi	3,3	82,2	114	79	16		voimakas poikk.		7,4		
K	2_2	3,5	ljSa	3,6	82,5	36	66	10		voimakas poikk.		8,1		
K	2_3	0,5	HkMr	5,9	37	223	22	12		normaali näyte		4,7		
K	2_3	1,5	ljSi	5	95,5	637	309	54		normaali näyte	25	5		
K	2_3	2,5	ljSa	3,4	94,7	633	1410	72		lievästi poikkeava		7,4		
K	2_3	3,5	ljSa	4,3	97,1	358	1583	105		lievästi poikkeava		7,4		
K	2_3	4,5	ljSa	4,6	116,4	308	2560	154		voimakas poikk.		7,6		
K	2_3	5,5	ljSa	4,6	115,9	346	2682	148		voimakas poikk.		7,8		
K	2_3	6,5	ljSa	3,9	103,9	87	2838	149		voimakas poikk.		7,8		
K	2_3	7,5	ljSa	3,4	90	51	1755	110		voimakas poikk.		8		
K	5_1	1,5	silJ	7,5	81,1	760	<40	10		normaali näyte	358,9	4,6		
K	5_1	2,5	silJ	7,5	101,8	860	129	23,1		lievästi poikkeava		7,3		
K	5_1	3,5	laSa	0,8	77,2	140	89	20,1		voimakas poikk.		8,3		
K	5_1	4,5	ljSa	3,3	100,8	260	84	20,1		voimakas poikk.		7,9		
K	5_1	5,5	laSa	1,3	76,7	130	61	14,9		lievästi poikkeava		8,3		

Alue	Näytepiste tunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Livi Maalaji	Livi Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Livi Vesipitoisuus w [%]	Livi Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Livi Kloridit [Cl <sup>-</sup> ]	Livi Sähkönjohtavuus [mS/m] TAI ->	Livi Ominaisvastus ρ [Ωm]	Livi Sulfidipitoisuus, H <sub>2</sub> S [pmm] (tai ferrosulfidi)	Livi Redox potentiaali	Livi ja GTK pH	GTK Inkuboidun näytteen, (NAG) pH	GTK Kokonaisriikki pitoisuus STOT (m-%)
Raja-arvot			Hm, Mu, Tv, Lj, salj, silj, ljSa, ljSi	> 6 %	jos w > w <sub>l</sub> , on korroosio hidasta	> 500 mg/kg	> 500 mg/kg	> 50 mS/m tai	ρ < 20 Ωm hienorakeisessa maassa tai ρ < 50 Ωm karkearakeisessa maassa	Reagointi suolahappoon, jolloin muodostuu pahanhajuista rikkihappoa + sulfidiraidat (mustat raidat savessa)	< 200 mV (NHE) mikrobiologinen korroosio mahdollista < 100 mV (NHE) on mikrobiologinen korroosio voimakasta	< 4,5 tai > 9 ja GTK:n ohje < 4 tai > 6	≤ 4 ja on laskenut yli 0,5 yksikköä verrattuna maastolosuhteissa mitattuun pH:n arvoon	> 0,2
K	5_1	6,5	ljSa	2,4	87,5	100	115	18,2		normaali näyte		8,4		
K	5_1	7,5	laSa	1,1	74,3	170	92	18,5		lievästi poikkeava		8,5		
K	5_2	1,5	Sa+Mr	0,7	42,8	380	<40	13		normaali näyte	367,3	7,1		
K	2_2	2,5	ljSi	3,1	46,5	190	<40	9,6		normaali näyte		6,6		
K	5_2	3,5	ljSi	3,4	50,1	<100	<40	5,6		normaali näyte		5,7		
K	5_3	0,5	silj	6,1	31,2	<100	<40	6,6		normaali näyte		6,4		
K	5_3	1,5	laSa	0,5	57,9	320	<40	11,4		lievästi poikkeava	195,2	7,2		
K	5_3	2,5	liSa	1	95,6	420	50	15		voimakas poikk.		8,5		
K	5_3	3,5	laSa	0,7	59,3	220	<40	12,2		voimakas poikk.		7,5		
K	5_3	4,5	laSa	0,7	65,7	250	<40	11,4		voimakas poikk.		7,2		
K	5_3	5,5	laSa	0,1	52,5	<100	<40	10,4		voimakas poikk.		7,3		
K	1_UYT1	1,5				130	170	17				4,8		
K	1_UYT2	1				20	99	12				5,2		
K	1_UYT2	1,7				30	210	12				5,7		
K	1_UYT3	1				160	12	11				4,6		
K	1_UYT4	0,4				140	<10	7				4,9		
K	1_UYT5	1				130	71	20				6,6		
K	1_UYT6	0,4				110	14	12				5,1		
K	1_UYT6	1				80	20	17				6,6		
K	1_UYT7	1,5				240	76	21				6,8		
K	1_UYT8	1				70	140	13				5,2		
K	1_UYT9	1				110	30	11				6,9		
K	1_UYT9	1,7				<20	100	27				8,2		
Yhteensä [kpl]	221		148	173	177	156	160	143	0	101	20	216	44	78

## 17.3.2018 Opinnäytetyö K.Hämäläinen

LIITE 3 Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimusten maanäytteiden analyysitulokset  
pelkästään vertailuun valituista parametreista, yht. 4 sivua

Raportin juokseva nro	Alue	Näytepistetus	Näytteenotto syvyys [m]	Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kokonaisrikkipitoisuus S <sub>TOT</sub> (m-%)	pH
17	A	17_11	0,5	saHkMr	1,08	20,56	1,33	-	7,5
17	A	17_11	1	liSa	0,19	35,78	4,46	-	7,5
17	A	17_11	1,8	laSa	0	32,57	1,39	-	7,6
10	B	10_TP1	0,5-1,0	ljSa	9,1	96,8	-	0,82	4,7
10	B	10_TP1	1,0-1,5	ljSa	9,7	108	-	1,3	6,9
10	B	10_TP1	1,5-2,0	ljSa	7,4	127	-	1,4	8
10	B	10_TP1	2,0-2,5	ljSa	7	147	-	1,1	8
10	B	10_TP2	0,25-0,5	Lj+Hm	21,8	182	-	0,49	5,3
10	B	10_TP2	0,5-1,0	salj	9,4	133	-	1,8	6,3
10	B	10_TP2	1,0-1,5	salj	9	142	-	2	7,3
10	B	10_TP2	1,5-2,0	salj	7,7	150	-	1,6	7,5
10	B	10_TP3	0,1-0,6	Lj+Tv	13	155	-	0,2	6,5
10	B	10_TP3	0,6-1,1	Lj	9,3	133	-	0,75	6,9
10	B	10_TP3	1,1-1,6	Lj	11,5	166	-	2,1	7,1
10	B	10_TP3	1,6-2,1	Lj	9,8	156	-	2,2	7,3
8	C	8_S1	1,5	salj	6,5	59,9	-	0,101	5,9
8	C	8_S1	2,4	liSa	1,1	95,8	-	0,058	6,6
8	C	8_S2	0,9	ljSa	2,7	47,2	-	0,023	7,3
8	C	8_S2	2,4	liSa	0,3	60,2	-	0,022	8,1
13	C	13_1	0,5	ljSi	6	34,7	100	-	7
13	C	13_1	1,5	ljSa	2,9	51,9	<100	-	7,1
13	C	13_1	2,5	ljSa	4,3	48,9	110	-	7,1
13	C	13_1	3,5	ljSa	3,4	57,1	<100	-	7,2
13	C	13_1	4,5	ljSa	3,1	80,2	200	-	7,8
13	C	13_1	5,5	ljSa	3,1	86,8	190	-	7,6
13	C	13_1	6,5	ljSa	3,2	65,7	140	-	6
13	C	13_1	7,5	ljSa	2,5	66,9	130	-	7,7
13	C	13_2	0,5	ljSa	5,4	36,9	<100	-	6,5
13	C	13_2	1,5	ljSa	3,2	33,3	310	-	7,1
13	C	13_2	2,5	ljSa	3,1	65,8	140	-	8,2
13	C	13_2	3,5	ljSa	3,2	60,6	260	-	7,8
13	C	13_2	4,5	ljSa	2,8	64	210	-	7,9
13	C	13_2	5,5	ljSa	2,8	62,6	140	-	8,3
13	C	13_2	6,5	ljSa	2,7	67,9	<100	-	8,6
13	C	13_2	7,5	ljSa	2,5	65,7	120	-	8,2
11	D	11_3013	0,5-1,0	Sa	6,2	59,8	142	-	7,1
11	D	11_3014	0,5-1,0	Sa	2,3	58,4	60	-	7,8
19	E	19_U7	0,5-1,5	-	1,2	32,4	-	0,044	7,8
19	E	19_U7	1,5-2,5	-	2,6	51,7	-	0,022	7,5
19	E	19_U7	2,5-3,0	-	0,8	23,9	-	0,063	7,9
14	F	14_1	3	ljSa	2,6	51,3	570	-	6,7
14	F	14_1	4	ljSa	3,5	47,7	<400	-	7,1
14	F	14_2	1	ljSa	4	51,6	1820	-	6,7
14	F	14_2	2	ljSa	4	56	820	-	8,4
14	F	14_2	3	ljSa	2	52,5	<400	-	8,8
14	F	14_2	4	ljSa	3,8	63,4	710	-	7,6
14	F	14_2	5	ljSa	3	50,3	560	-	8,7
14	F	14_3	1	ljSa	3,8	42	1010	-	7,4
14	F	14_3	2	ljSa	3,1	40,6	880	-	7,2
14	F	14_3	3	ljSa	3	64,6	860	-	7,3
14	F	14_4	1	ljSa	5	42,2	1390	-	7,1
14	F	14_4	2	ljSa	2,9	42,6	<400	-	7,4
14	F	14_4	3	ljSa	3,7	54,6	1440	-	7,4
14	F	14_4	4	ljSa	3,4	62,1	410	-	8,6
14	F	14_4	5	ljSa	3,4	66,9	1770	-	8

Raportin juokseva nro	Alue	Näytepistetuunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kokonaisrikkipitoisuus S <sub>TOT</sub> (m-%)	pH
14	F	14_4	6	ljSa	2,2	49,2	450	-	8,1
14	F	14_4	7	ljSa	2,9	60,2	1320	-	7,8
14	F	14_5	1	ljSa+Mr	8	58,6	1190	-	6,8
14	F	14_5	2	ljSi	5,2	53,2	4380	-	6,7
14	F	14_5	3	ljSa	3,2	66,3	2240	-	8,1
14	F	14_5	4	ljSa	3,3	62,6	2400	-	8,2
14	F	14_5	5	ljSa	2,9	64,8	1510	-	8,6
14	F	14_6	1	Si+Hu	13,7	85,6	3910	-	6,3
14	F	14_6	2	LjSa	3,3	65,7	1210	-	6,7
14	F	14_6	3	saSi	1,6	45	<400	-	7,6
7	F	7_1419	1	-	-	-	269	-	7,5
7	F	7_1419	2	-	-	-	185	-	7,3
7	F	7_1419	3	-	-	-	138	-	7,1
7	F	7_1419	4	-	-	-	145	-	7,9
7	F	7_1419	5	-	-	-	179	-	7,66
7	F	7_1419	6	-	-	-	123	-	7,6
7	F	7_1419	7	-	-	-	79	-	8,1
7	F	7_1419	8	-	-	-	140	-	7,8
7	F	7_1419	9	-	-	-	127	-	7,9
19	F	19_U4	3-3,5	-	4,6	40,2	-	0,04	6,6
19	F	19_U4	3,5-4,5	-	3,9	72,8	-	0,062	7,7
19	F	19_U2	3,5-4,5	-	4,2	49,2	-	1,6	4,5
19	F	19_U2	4,5-5,5	-	3,3	65,9	-	0,11	8,4
19	F	19_U1	4,5-5	-	4	72,6	-	0,067	8,4
19	F	19_U1	5-6	-	3,8	70,9	-	0,061	8,4
19	F	19_I5	1,5-3	-	3,3	59,9	-	0,024	8,7
19	F	19_H6-B	5-6	-	3,8	58,6	-	0,026	7,9
19	F	19_I7	7,5-8	-	4,1	38,4	-	0,66	6,8
19	F	19_K8	-	-	3,5	52,1	-	0,023	9,4
19	F	19_M9-B	5-5,5	-	4,1	75,5	-	0,67	6,7
19	F	19_E11	3-4	-	4,2	87,8	-	0,059	6,8
19	F	19_E11	4-5	-	4,2	87,8	-	0,03	6,8
19	F	19_I11-B	5,5-6	-	2,6	47,1	-	0,34	7,8
19	F	19_E12	5	-	2,8	37,5	-	0,19	8,3
19	F	19_E12	5	-	4,2	53,3	-	0,11	8,5
19	F	19_F13	6-8	-	3,7	71,7	-	0,03	6,1
19	F	19_H12	5,5-6,5	-	4,3	75,6	-	0,064	9,9
19	F	19_G14	6,5-7,0	-	3,5	68,9	-	0,025	8,5
3	G	3_1	-	-	1,4	-	24	-	7,9
4	H	4_N4	1,07-1,24	-	-	-	165	2,34	6,01
4	H	4_N4	2,19-2,36	-	-	-	143	1,82	7,02
4	H	4_N4	3,19-3,36	-	-	-	154	1,78	7,18
4	H	4_N4	6,19-6,36	-	-	-	145	1,45	7,01
4	H	4_N4	8,19-8,36	-	-	-	145	0,76	7,26
4	H	4_N5	4,13-4,30	-	-	-	108	1,7	7,57
4	H	4_N5	8,19-8,36	-	-	-	119	1,44	7,09
4	H	4_TU163	2,19-2,36	-	-	-	135	1,46	6,81
4	H	4_TU163	5,19-5,36	-	-	-	49	0,03	6,93
9	H	9_S46	2	liSa	3,03	84	90	-	8,5
9	H	9_S46	4	liSa	2,564	69,6	62	-	9,1
9	H	9_S46	6	laSa	1,503	42,6	46	-	9,5
9	H	9_S47	2	liSa	3,048	96	350	-	7,7
9	H	9_S47	4	liSa	3,52	77,8	120	-	8,3
9	H	9_S47	6	liSa	2,9	63,8	150	-	8,3
9	H	9_S47	9	siHkMr	-	15,4	85	-	8,1

Raportin juokseva nro	Alue	Näytestetu nnu s	Näytteenotto syvyys [m]	Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehikutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kokonaisrikkipitoisuus S <sub>TOT</sub> (m-%)	pH
9	H	9_S48	2	liSa	3,63	109,4	140	-	8
9	H	9_S48	4	liSa	3,31	89,5	180	-	7,5
15	H	15_P1	0-1	HkMr+Hu	12,3	50	1710	-	4,9
15	H	15_P1	1-2	HkMr+Hu	7,3	94,7	2600	-	5,1
15	H	15_P1	2-3	ljSa	2,8	111,5	2510	-	7,3
15	H	15_P1	3-4	laSa	0,5	71,3	1250	-	7,6
15	H	15_P1	4-5	liSa	0,3	93,5	780	-	8,2
15	H	15_P1	5-6	Si	0,1	56,8	520	-	8,1
15	H	15_P1	6-7	Si	0,2	51,3	780	-	7,9
15	H	15_P1	7-8	laSa	1,1	71,1	510	-	8,5
15	H	15_P1	8-9	laSa	0,5	88,3	690	-	8,6
15	H	15_P2	0-1	hkSiMr+Hu	10,1	69,3	290	-	5,9
15	H	15_P2	1-2	liSa	1,1	59,9	1210	-	5,4
15	H	15_P2	2-3	hkSiMr+Hu	7,5	56,8	690	-	4,8
15	H	15_P2	3-4	liSa	0,5	56,8	290	-	6,4
15	H	15_P2	4-5	laSa	0,1	49,2	260	-	7,5
15	H	15_P2	5-6	liSa	0,1	65,5	400	-	7,3
16	H	16_S11	0,5-1	liSa	4,9	80	-	0,04	6,6
16	H	16_S11	1-1,5	liSa	4,6	71	-	<0,03	7,6
16	H	16_S11	1,5-2	liSa	4,6	88	-	<0,03	8,4
16	H	16_S11	2-2,5	liSa	3,9	79	-	<0,03	9,1
16	H	16_S11	2,5-3	liSa	3,5	71	-	<0,03	9,3
16	H	16_S12	0,5-1	salj	14,5	120	7500	0,47	5,7
16	H	16_S12	1-1,4	ljSi	6,7	100	11000	1,5	5,9
16	H	16_S12	1,4-1,5	liSa	3,7	71	-	0,35	8,2
16	H	16_S12	1,5-2	liSa	4,9	87	-	0,05	8
16	H	16_S12	2-2,5	liSa	3,9	89	-	<0,03	8,7
16	H	16_S12	2,5-3	liSa	3,7	84	-	<0,03	9
21	H	21_S1	0,5-1	laSa	-	25,1	-	0,037	
21	H	21_S1	1-1,5	liSa	4,2	53	-	<0,03	7,7
21	H	21_S1	2-2,5	-	3,6	85,2	-	<0,03	8,4
21	H	21_S2	0-0,6	-	7,3	-	-	0,17	4,4
21	H	21_S2	0,6-1,3	salj	9,2	93,5	-	0,18	5,3
21	H	21_S2	1,3-1,8	ljSi	7	105	12000	1,1	6,7
21	H	21_S2	1,8-2,3	liSa	2,8	73,4	-	0,17	8
21	H	21_S2	2,3-2,8	-	4	98,4	-	0,074	8
21	H	21_S2	2,8-3,3	-	3,9	89,7	-	0,56	7,9
21	H	21_S3	1,3-2	liSa	-	45,7	-	0,035	
21	H	21_S3	2-2,5	-	3,7	67,8	-	<0,03	7,6
21	H	21_S3	2,5-3	-	-	70,8	-	<0,03	
21	H	21_S4	0-0,6	liSa	-	49,9	-	0,087	
21	H	21_S4	0,6-1,3	liSa	4,2	50,8	-	0,07	5,9
21	H	21_S4	1,8-2,3	liSa	3,6	81,3	100	0,052	8
21	H	21_S4	2,8-3,3	-	2,7	74,5	-	0,041	8,9
21	H	21_S5	0,6-1,3	salj	8,8	70,5	-	0,2	5,9
21	H	21_S5	1,3-2,0	ljSa	6	65,6	-	0,18	7
21	H	21_S5	2,0-2,5	-	-	81,6	-	0,05	
21	H	21_S5	2,5-3,0	liSa	3,7	88,6	-	0,049	8,8
6	I	6_1359	1,5	-	-	-	170	-	7,2
6	I	6_1359	3	-	-	-	130	-	8
6	I	6_1360	1,5	-	-	-	490	-	6,2
6	I	6_1360	3,5	-	-	-	290	-	8,4
6	I	6_1360	6,5	-	-	-	150	-	8,3
6	I	6_1349	3	-	-	-	210	-	6,9
6	I	6_1350	1	-	-	-	200	-	7,7

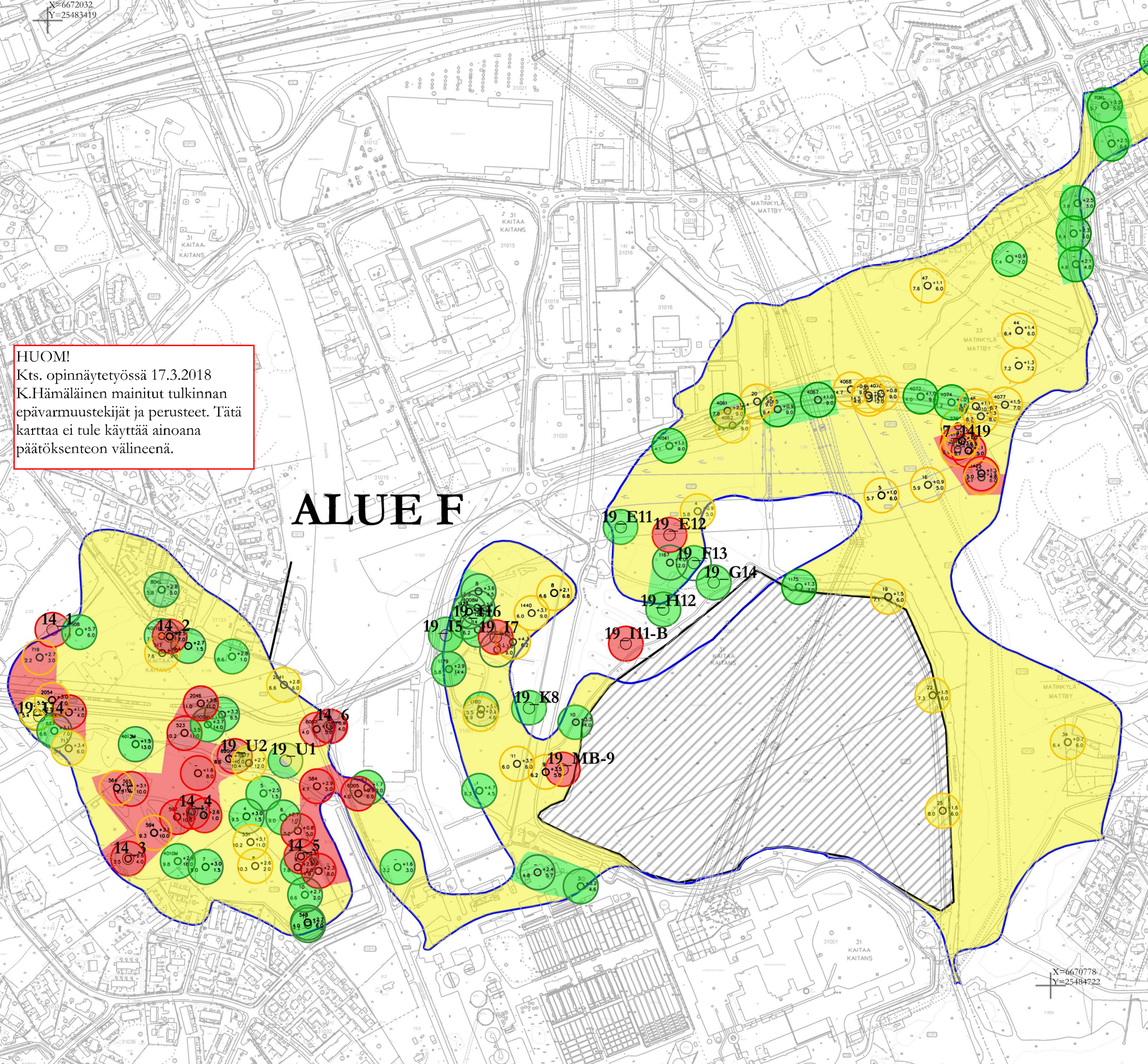
Raportin juokseva nro	Alue	Näytepistetunnus	Näytteenotto syvyys [m]	Maalaji	Humuspitoisuus [%] tai Hehkutushäviö (LOI) [%]	Vesipitoisuus w [%]	Sulfaatti [SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ]	Kokonaisrikkipitoisuus S <sub>TOT</sub> (m-%)	pH
6	I	6_1350	2	-	-	-	200	-	7,9
6	I	6_1350	3	-	-	-	190	-	7,9
6	I	6_1354	1	-	-	-	440	-	8,2
6	I	6_1354	3	-	-	-	250	-	8
6	I	6_1354	4	-	-	-	170	-	8,4
18	J	18_RS55	3,7	saLj	10,4	69,3	4710	-	5,3
18	J	18_RS55	5,7	ljSa	2,55	46,4	476	-	7,9
18	J	18_RS55	7,7	ljSa	3,35	50,7	232	-	8,7
18	J	18_RS57	4	saLj	10,5	69,4	12500	-	3,6
18	J	18_RS57	6,25	ljSa	2,85	49,5	168	-	7,8
18	J	18_RS57	8	Sa	1,64	35,8	94,5	-	8,2
2	K	2_1	0,5	silJ	8,7	75,1	173	-	4,5
2	K	2_1	1,5	silJ	9	84,8	225	-	4,9
2	K	2_1	2,5	silJ	9,6	138,6	192	-	6
2	K	2_1	3,5	ljSa	3,4	93,4	17	-	8,6
2	K	2_1	4,5	ljSa	3,4	87	28	-	8,6
2	K	2_2	0,5	silJ	8,5	47,2	46	-	5,7
2	K	2_2	1,5	ljSi	5,9	74	153	-	5
2	K	2_2	2,5	ljSi	3,3	82,2	114	-	7,4
2	K	2_2	3,5	ljSa	3,6	82,5	36	-	8,1
2	K	2_3	0,5	HkMr	5,9	37	223	-	4,7
2	K	2_3	1,5	ljSi	5	95,5	637	-	5
2	K	2_3	2,5	ljSa	3,4	94,7	633	-	7,4
2	K	2_3	3,5	ljSa	4,3	97,1	358	-	7,4
2	K	2_3	4,5	ljSa	4,6	116,4	308	-	7,6
2	K	2_3	5,5	ljSa	4,6	115,9	346	-	7,8
2	K	2_3	6,5	ljSa	3,9	103,9	87	-	7,8
2	K	2_3	7,5	ljSa	3,4	90	51	-	8
5	K	5_1	1,5	silJ	7,5	81,1	760	-	4,6
5	K	5_1	2,5	silJ	7,5	101,8	860	-	7,3
5	K	5_1	3,5	laSa	0,8	77,2	140	-	8,3
5	K	5_1	4,5	ljSa	3,3	100,8	260	-	7,9
5	K	5_1	5,5	laSa	1,3	76,7	130	-	8,3
5	K	5_1	6,5	ljSa	2,4	87,5	100	-	8,4
5	K	5_1	7,5	laSa	1,1	74,3	170	-	8,5
5	K	5_2	1,5	Sa+Mr	0,7	42,8	380	-	7,1
5	K	2_2	2,5	ljSi	3,1	46,5	190	-	6,6
5	K	5_2	3,5	ljSi	3,4	50,1	<100	-	5,7
5	K	5_3	0,5	silJ	6,1	31,2	<100	-	6,4
5	K	5_3	1,5	laSa	0,5	57,9	320	-	7,2
5	K	5_3	2,5	liSa	1	95,6	420	-	8,5
5	K	5_3	3,5	laSa	0,7	59,3	220	-	7,5
5	K	5_3	4,5	laSa	0,7	65,7	250	-	7,2
5	K	5_3	5,5	laSa	0,1	52,5	<100	-	7,3
1	K	1_UYT1	1,5	-	-	-	130	-	4,8
1	K	1_UYT2	1	-	-	-	20	-	5,2
1	K	1_UYT2	1,7	-	-	-	30	-	5,7
1	K	1_UYT3	1	-	-	-	160	-	4,6
1	K	1_UYT4	0,4	-	-	-	140	-	4,9
1	K	1_UYT5	1	-	-	-	130	-	6,6
1	K	1_UYT6	0,4	-	-	-	110	-	5,1
1	K	1_UYT6	1	-	-	-	80	-	6,6
1	K	1_UYT7	1,5	-	-	-	240	-	6,8
1	K	1_UYT8	1	-	-	-	70	-	5,2
1	K	1_UYT9	1	-	-	-	110	-	6,9
1	K	1_UYT9	1,7	-	-	-	<20	-	8,2
YHT		221		148	173	177	156	78	216



X=6672032  
Y=25483419

**HUOM!**  
Kts. opinnäytetyössä 17.3.2018  
K.Hämäläinen mainitut tulkinnan  
epävarmuustekijät ja perusteet. Tätä  
karttaa ei tule käyttää ainoana  
päätöksenteon välineenä.

# ALUE F



**Merkintöjen selitteet:**

- xx xxxx** Sulfidi- ja/tai korroosiotutkimuspiste (ympyröity ja väritetty ko. pistettä kuvaavalla tulkintavärillä kts. alla)
- xx xxxx** Tavanomainen maanäydetutkimuspiste (ympyröity ja väritetty ko. pistettä kuvaavalla tulkintavärillä kts. alla)
- Finnovikenin vesiallas/vettyntyt alue, ei laadittu riskitulkintaa
- Suuren ja todennäköisen riskin alue
- Kohtalaisen riskin alue
- Matalan ja ei todennäköisen riskin alue

Piirustuksen sisältö	Mittakaava	Paperikoko
<b>Liite 4:</b> Happaman sulfaattimaan esiintymisen riskitulkintakartta, tutkimusalue F	1:5000	A3
KOORDINAATTIJÄRJESTELMÄ: ETRS-GK25, KORKEUSJÄRJESTELMÄ: N2000		
	Tutk.	
	Piirt.	22.12.2017
	Suunn.	K.Hämäläinen
	Hyv.	

X=6670778  
Y=25484722