

Vastaanottaja  
**Saija Räinen**  
**Oulun kaupunki**

Asiakirjatyyppi  
**Selvitys**

Päivämäärä  
**01/2019**

# OULUN KAUPUNKI

# HARTAANSELÄN ALUEEN

# SULFIDIMAASELVITYS



## **OULUN KAUPUNKI**

### **HARTAANSELÄN ALUEEN SULFIDIMAASELVITYS**

Projekti **Hartaanselän alueen sulfidimaaselvitys**  
Projekti nro **1510044273**  
Vastaanottaja **Oulun kaupunki**  
Asiakirjatyyppi **Selvitys**  
Versio **01**  
Päivämäärä **31.1.2019**  
Laatija **Enni Suonperä, Ramboll Finland Oy**  
Tarkastaja **Sari Suvanto, Ramboll Finland Oy**  
Hyväksyjä **Saija Räinen, Oulun kaupunki**  
Kuvaus **Hartaanselän alueen sulfidimaaselvitys**

## SISÄLTÖ

<b>1.</b>	<b>Johdanto</b>	<b>3</b>
<b>2.</b>	<b>Happamat sulfaattimaat</b>	<b>4</b>
2.1	Tausta	4
2.2	Luokittelu	5
2.3	Sulfaattimaiden tunnistaminen	6
2.3.1	Kenttähavainnot	6
2.3.2	Laboratoriotutkimukset	7
2.4	Vaikutukset	8
2.4.1	Korroosio	8
2.4.2	Vesistövaikutukset	9
<b>3.</b>	<b>Näytteenotto</b>	<b>9</b>
<b>4.</b>	<b>Tulokset</b>	<b>11</b>
4.1	Maaperäolosuhteet	11
4.2	pH, nettohapontuotto ja kokonaisrikkipitoisuus	11
4.3	Puskurikapasiteetti	12
<b>5.</b>	<b>Tulosten yhteenveto ja tunnistetut sulfidimaat</b>	<b>13</b>
<b>6.</b>	<b>Johtopäätökset</b>	<b>13</b>
<b>7.</b>	<b>Lyhenteet</b>	<b>14</b>
<b>8.</b>	<b>Kirjallisuusviitteet</b>	<b>14</b>

## LIITTEET

### Liite 1

Näytteenotto-ohje

### Liite 2

Tutkimustulosten yhteenveto

### Liite 3

Kenttähavaintojen yhteenveto

### Liite 4

Tutkimustodistukset

### Liite 5

Valokuvia näytteenotosta

## 1. JOHDANTO

Työn lähtökohtana oli selvittää, esiintyykö Hartaanselän asemakaavan suunnittelualueella todellisia tai potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Sulfidimaaselvitystä varten yhteensä seitsemästä pisteestä otettiin näytteitä tutkimusohjelman mukaisesti. Tutkimuspisteet sijoitettiin aiempien pohjatutkimusten perusteella todennäköisimmille happamien sulfaattimaiden esiintymisalueille siten, että näytteenotolla voitiin saada kattava käsitys koko suunnittelualueen maaperän tilasta. Tässä raportissa on esitetty kootusti sulfidimaaselvityksen tulokset. Tutkimuskohteen sijainti on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 1-1).

Oulun kaupunki on aloittanut hakuprosessin, jonka tavoitteena on, että asuntomessut järjestettäisiin Oulussa vuonna 2025. Alustavasti asuntomessut on suunniteltu järjestettäväksi Hartaanselän alueella Oulujoen suistossa. Hartaanselän alue on nykyisin tärkeä virkistysalue. Suunnittelualue sijoittuu Oulujoen suistoon kaupunkikeskustan pohjoispuolelle, Tuiran ja Hietasaaren kaupunginosaan, Toppilansalmen suulle. Suunnittelualue rajoittuu idässä Lipporannantie, pohjoisessa ja lännessä Hietasaarentie. Alueen halkaisee Hartaanselkä, joka kapenee pohjoiseen päin Toppilansalmeksi ja laskee lopulta mereen Pitkänmöljällä. Suunnittelualue on kooltaan noin 21 hehtaaria. Alue on kokonaisuudessaan Oulun kaupungin omistuksessa.

Sulfaatti- ja sulfidimaat tulee huomioida alueiden rakentamisesta suunniteltaessa niiden happamoittavan vaikutuksen vuoksi. Hapan vesi liuottaa maa-aineksesta metalleja, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle, erityisesti kaloille.

Työ on tehty Oulun kaupungin toimeksiannosta, jossa yhteyshenkilönä on toiminut Saija Räinen. Sulfidimaaselvitys on laadittu Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työstä ovat vastanneet:

<b>Projektipäällikkö</b>	DI Sari Suvanto
<b>Tutkimusohjelma ja sulfidimaaselvitys</b>	FM Enni Suonperä
<b>Näytteenotto</b>	Antti Eskelinen
<b>Laboratoriotyöt</b>	FM Tuomas Suikkanen



Kuva 1-1. Selvityskohteen sijainti Oulun kaupungissa.

## 2. HAPPAMAT SULFAATTIMAAT

### 2.1 Tausta

Happamilla sulfaattimailla tarkoitetaan maaperässä luontaisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä, joista vapautuu hapettumisen seurauksena haitallisia määriä happamuutta maaperään ja vesistöihin. Happamoitumisen seurauksena liukenee maaperästä myös haitallisia metalleja (esim. Al, Cd, Co, Cu, Ni, Zn, U), jotka kulkeutuvat edelleen vesistöihin. Maaperän happamoitumiseen on synnä juuri rautasulfidien hapettuminen sedimenttien joutuessa pohjavedenpinnan yläpuolelle maankohoamisen ja maankäyttöön liittyvän kuivatustoiminnan seurauksena. Hapettumisen seurauksena sulfideista muodostuu maaperässä rikkihappoa, joka alentaa maan pH-tasoa.

Rikkipitoiset sedimentit ovat pääasiassa veteen kerrostuneita sedimenttejä, jotka ovat syntyneet ympäristössä, jossa sulfaattipitoiseen veteen, pääasiassa meriveteen, on kerrostunut orgaanista ainesta ja sekoittunut mantereelta kulkeutuneita sedimenttien rautaoksideja. Hapettomissa olosuhteissa bakteerit hajottavat orgaanista ainesta pohjan sedimentissä pelkistäen sulfaatin sulfidiksi, joka saostuu edelleen raudan kanssa rautasulfideiksi (Boman, et al., 2008).

Sulfidisedimentit ovat tyypillisesti liejuista silttiä tai savea ja esiintyvät rannikkoseudun alavilla mailla. Ne ovat usein väriltään mustia tai tumman harmaita. Paikoin rikkiä saattaa esiintyä kuitenkin haitallisia määriä myös karkeammassa maalajeissa kuten hiekassa ja hiekkaisessa siltissä. Näille maalajeille on tyypillistä heikko puskurikyky happamoitumista vastaan, jolloin jo pienikin määrä hapettuvaa sulfidia voi alentaa maaperän pH:ta voimakkaasti.

Suomessa sulfidisedimentit ovat kerrostuneet pääasiassa viime jääkauden jälkeisten meri- ja järvivaiheiden aikana ja esiintymien arvioidaan olevan Euroopan laajimmat. Ongelmallisimpia ovat Litorina-merivaiheessa ja sen jälkeen kerrostuneet sedimentit, koska tällöin ympäristöolot ovat olleet suotuisimmat rikkipitoisten kerrostumien muodostumiselle. Litorina-meri on ulottunut noin 9 800 vuotta sitten ylimmillään Perämeren seudulla yli 100 metrin, Pohjanmaalla hieman alle 100 metrin ja Etelä-Suomessa noin 50 metrin korkeudelle nykyisen merenpinnan yläpuolelle.

Kuivana ajanjaksona happamoitumisen seurauksena liuenneet happosuolat ja metallit pidättäytyvät maaperään. Sateiden tai sulamisvesien mukana sulfaattimaiden vedet huuhtoutuvat vesistöihin ja valumien pH voi olla alle 3. Herkimmät kalat voivat kuolla, jos vesistön pH laskee tason 5,5 alle. Happaman veden liuottama alumiini saostuu vesistöissä kalan kiduksissa aiheuttaen kalojen tukehtumista.

## 2.2 Luokittelu

Happamalla sulfaattimaalla tarkoitetaan sulfidirikkipitoista maaperää, jossa on sekä hapettunut hapan maakerros, että hapettumaton sulfidirikkipitoinen maakerros, tai vain toinen näistä. Maaperä määritellään happamaksi sulfaattimaaksi maastohavaintojen ja laboratorioanalyysien perusteella, mikäli vähintään yksi seuraavista kriteereistä täyttyy:

- pH < 4,0 mineraalimaassa tai liejussa sulfidien hapettumisen seurauksena; ja/tai
- näytteen pH inkubaation (hapettunut kosteana 9–19 viikkoa huoneenlämmössä) jälkeen on pH < 4,0

Happamat sulfaattimaat ovat yleisesti liejuisia ja hienorakeisia maalajeja (savi ja siltti), mutta myös karkearakeiset maalajit (silttinen hiekka ja hiekka), joissa kokonaisrikkipitoisuus on alhainen (< 0,2 %, jopa 0,01%) voivat hapettuessaan tuottaa happamuutta huonon puskurikapasiteetin takia (Nieminen, et al., 2016).

Happamat sulfaattimaat voidaan luokitella kahteen ryhmään: 1. Todelliset happamat sulfaattimaat (THS) ja 2. Potentiaaliset happamat sulfaattimaat (PHS).

### 1. Todellinen hapan sulfaattimaa (THS)

- pH < 4,0 maastossa suoraan näytteestä mitattuna hapettuneessa mineraalimaassa tai liejuissa (ei turpeessa) sulfidien hapettumisen seurauksena.
- mikäli savi-/silttinäytteen maastossa mitattu pH on 4,0 – 4,4 eikä alemmasta maakerroksesta ole tehty sulfidisavihavaintoja, jatkotutkimukset ovat tarpeen. Jatkotutkimuksissa tehdään esimerkiksi pH:n määrittäminen inkuboidusta näytteestä (vetyperoksidihapetus) ja/tai kokonaisrikkipitoisuusmäärittäminen.

Happaman maakerroksen ja sulfidirikkipitoisen maakerroksen välillä on tyypillisesti kapea vaihtumisvyöhyke (noin 0–50 cm) missä pH:n vaihtelu voi olla erittäin suurta (noin 4,0–7,0).

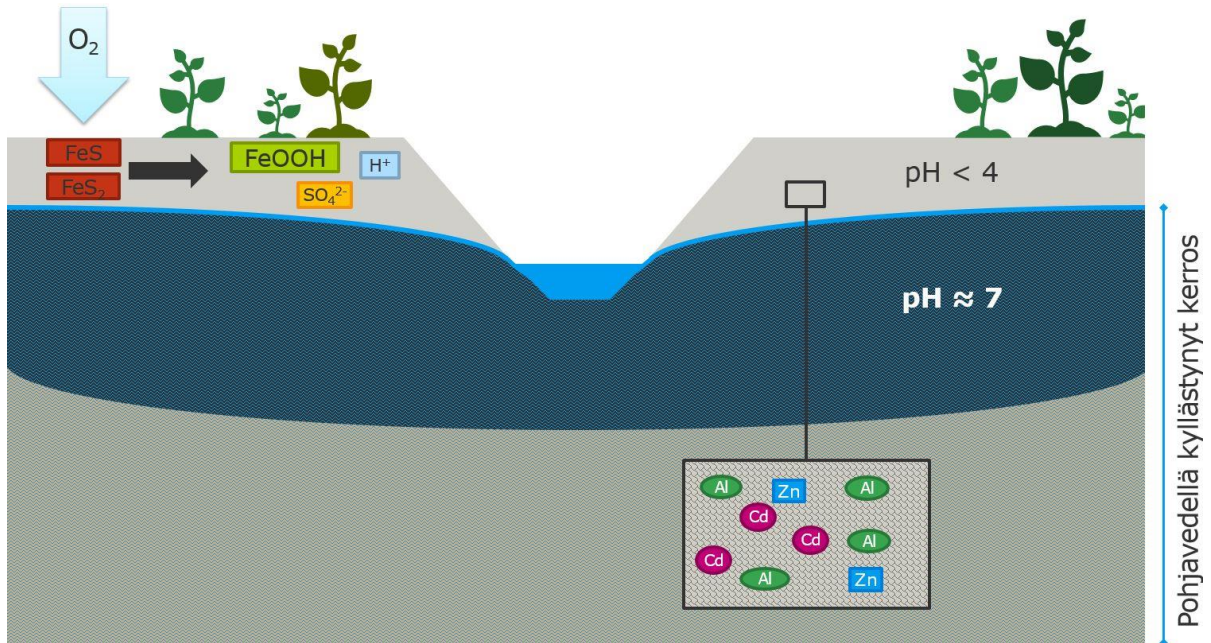
### 2. Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (PHS)

Potentiaalisella happamalla sulfaattimaalla tarkoitetaan sulfidirikkipitoista maaperää, jolla on potentiaalia muuttua todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi, mikäli maaperä pääsee hapettumaan. Sulfidirikkipitoisen maakerroksen pääpiirteet ovat:

- rikki esiintyy sulfidimuodossa (pelkistyneenä, ei hapettuneena)
- yleensä pH > 6.0
- rikin pitoisuus,  $S_{\text{tot}} \geq 0,2 \%$



- inkuboidun näytteen pH < 4,0 (vetyperoksidihapetetun) ja pH:n muutos on yli 0,5 yksikköä verrattuna maastossa mitattuun pH-tulokseen



Kuva 2-1. Ylin harmaa maakerros kuvaa jo hapettuneessa tilassa olevaa hapanta sulfaattimaata, joka on vallitsevan pohjavesipinnan yläpuolella. Musta kerros kuvaa pelkistyneessä tilassa pohjavesipinnan alapuolella olevaa sulfidimaata. Sulfidimaahan on sitoutuneena metalleja, jotka hapettuneessa sulfaattimaassa pääsevät liukenemaan ja kulkeutumaan vesistöön.

## 2.3 Sulfaattimaiden tunnistaminen

Tässä luvussa on kuvattu tässä selvityksessä käytettyjä tunnistusmenetelmiä. Myös muita menetelmiä on kehitetty, mutta ne ovat vähemmän käytettyjä, eikä niitä ole tässä tarkemmin kuvattu.

### 2.3.1 Kenttähavainnot

#### *pH-mittaus*

Maaperän pH mittaus on yksi tärkeimmistä happamien sulfaattimaiden tunnistusmenetelmistä. Eri syvyydeltä tehdyn pH mittauksen avulla voidaan maaperästä määrittää syvyysuuntainen profiili, jonka perusteella voidaan arvioida pintamaan hapettumista. Happamien sulfaattimaiden tapauksessa hapettuneen pintamaan pH laskee yleensä alle 4, jolloin kyseessä on todellinen hapan sulfaattimaa (THS).

#### *Pohjavedenpinnan taso*

Pohjaveden pinnan korkeus (tai sen painetaso) sekä kuivatustaso ovat hyödyllisiä tietoja happamien sulfaattimaiden kartoituksessa ja sitä voidaan käyttää apuna yhdessä silmämääräisen tarkastelun kanssa. Pohjaveden pinnan alapuolella huokostilavuuden ollessa veden täyttämä vallitsee hapettomat olosuhteet, jotka estävät sulfidimineraalien hapettumisen.

#### *Silmämääräinen maalajin arviointi*

Happamien sulfaattimaiden ja erityisesti sulfidisavien tunnistamiseen on useasti käytetty kentällä tehtävää silmämääräistä arviointia maalajin ja maaperän värin avulla. Sulfidisavet ovat usein

mustia, mikä helpottaa niiden visuaalista tunnistamista. Visuaalinen tarkastelu on hyvä apukeino happamien sulfaattimaiden tunnistamisessa, mutta sitä ei tule käyttää ainoana tutkimusmenetelmänä.

### 2.3.2 Laboratoriotutkimukset

#### ***Kokonaisrikki***

Maaperän kokonaisrikkipitoisuutta on käytetty sulfidipitoisten maiden tunnistamiseen ja mahdollisen hapontuoton arviointiin laajalti. Kokonaisrikkipitoisuus antaa hyvän kuvan maaperän happamoitumispotentiaalista. Suomessa yli 0,2 m-% kokonaisrikkipitoisuutta on pidetty rajana happamille sulfaattimaille, mutta karkeampien maalajien yhteydessä jo pienemmät rikkipitoisuudet voivat laskea pH:n hyvinkin matalaksi maaperän heikon puskurikyvyn vuoksi. Kokonaisrikki määritetään yleensä polttomenetelmällä esim. LECO uunissa tai kuningasvesiuutto-liuoksesta ICP:llä (esim. SFS-EN ISO 11885).

#### ***Inkuboitu pH***

pH-inkubaation perusteella voidaan tunnistaa sulfaattimaa ja arvioida sekä ennustaa maaperässä tapahtuvaa happamoitumista. Inkubaatio vastaa kutakuinkin maaperässä luonnossa hapettumisen aikana tapahtuvaa pH-muutosta, ottaen huomioon maaperän luonnollisen puskurikapasiteetin. Inkubaation perusteella ei kuitenkaan voida arvioida suoraan maaperästä lähtevän happamuuskuormituksen määrää.

Inkubaatiossa maaperänäytteiden annetaan hapettua huoneilmassa 9 – 19 viikon ajan (tavallisesti 10 viikkoa). Näytteet pidetään inkubaation ajan ”luonnonkosteina”. Näytteen pH mitataan alkutilanteessa ja hapetusjakson jälkeen. Inkubaation kesto on joko:

- I. Kunnes pH on < 4 ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä maastossa mitattuun pH-arvoon verrattaessa ja/tai
- II. kunnes pH (< 4) stabiloituu vähintään yhdeksän viikon ja korkeintaan 19 viikon jälkeen

Mikäli näytteen pH on yhdeksän viikon inkubaation jälkeen yli 6,5, voidaan todeta, että näytteessä ei esiinny merkittävästi sulfideja ja inkubaatio voidaan lopettaa. Mikäli näytteen pH on 9 viikon inkubaation jälkeen välillä 4,0 - 6,5, jatketaan inkubaatiota vielä 10 viikkoa. Mikäli tämän jälkeen näytteen pH on < 4, voidaan näytteessä todeta esiintyvän sulfideja ja maaperä luokitella sulfaattimaaksi.

#### ***NAG-pH ja nettohapontuotto***

NAG-pH:n mittausta tehdään vetyperoksidilla hapetetusta maaperänäytteestä. Vetyperoksidin avulla maaperän hapettumista voidaan nopeuttaa verrattuna luonnolliseen hapettumiseen (vrt. inkubointi). Vetyperoksidihapetus voidaan tehdä joko kertalisäyksenä tai useampana eri lisäyksenä, joiden välissä näytettä keitetään 2 tuntia. Hapetuksen jälkeen jäädytetystä näytteestä mitataan hapetetun näytteen pH (NAG-pH). Suomessa happaman sulfaattimaan rajana on yleisesti käytetty pH-tasoa 4,5. Jos näytteen pH on laskenut alle raja-arvon, on näyte happoa tuottavaa. NAG-pH:n avulla voidaan arvioida maaperän happamoitumisesta aiheutuvaa riskiä.

NAG-pH määrittelyn etuna on luonnollista hapettumista nopeampi hapettumisreaktio, joka on eduksi kaikissa rakennusprojekteissa joissa aikataulut ovat yleensä tiukat eikä esimerkiksi 9-19 viikon inkubointiin ole aikaa. Vetyperoksidihapetus on yleensä luonnonolosuhteita voimakkaampi reaktio, jonka vuoksi NAG-pH arvo yleensä kuvaa ääritapausta, jossa lähes kaikki maaperässä oleva rikki pääsee hapettumaan. Luonnonolosuhteissa hapettuminen ei välttämättä ole näin täydellistä ja hapettuneen maaperän pH voi jäädä korkeammaksi kuin NAG-pH. Tämän vuoksi NAG-pH



määrittystä ei suositella käytettäväksi ainoana menetelmänä sulfaattimaiden aiheuttaman happamoitumisriskin arvioinnissa.

Nettohaponpuntuotto määritetään hapetetusta näytteestä titraamalla pH arvoon 4,5 ja laskemalla titrauskulutuksesta hapontuotto. Nettohaponpuntuoton avulla voidaan arvioida maaperän happamoitumisesta aiheutuvaa riskiä. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1) on esitetty nettohaponpuntuoton avulla tehtävä hapontuottopotentiaalin arviointi.

**Taulukko 2-1. NAG-pH:n ja nettohaponpuntuoton avulla tehtävä hapontuottopotentiaalin arviointi (GTK, 2015).**

NAG-pH	NAG (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /t)	Näytteen hapontuottopotentiaali
4,5	0	Ei happoa tuottava
alle 4,5	0 – 5	Potentiaalisesti happoa tuottavaa, alhainen kapasiteetti
alle 4,5	yli 5	Potentiaalisesti happoa tuottavaa

### Maalajimääritys

Pelkän maalajin perusteella ei voida arvioida onko maaperä hapanta sulfaattimaata vai ei. Maalajimääritys antaa kuitenkin happamien sulfaattimaiden osalta tärkeää tietoa maaperän puskurikapasiteetista ja hapettumisnopeudesta. Karkeampirakeisilla maalajeilla vedenläpäisevyys on suurta, jolloin huuhtoutuva vesi pääsee leviämään maaperässä nopeasti ja pH voi laskea jo pienillä rikkipitoisuuksilla alhaisiksi olemattoman puskurikapasiteetin vuoksi. Riskinarviointia varten maaperän vedenläpäisevyyttä voidaan arvioida maaperän rakeisuuden perusteella. Maaperän tarkempi vedenläpäisevyys voidaan tarvittaessa todentaa erillisellä laboratoriokokeella.

### Vesipitoisuus ja hehikutushäviö

Hehikutushäviön avulla saadaan määritettyä näytteen sisältämän palavan aineksen osuus. Happamien sulfaattimaiden osalta hehikutushäviön avulla voidaan arvioida maaperän puskurikapasiteettia, koska humuksella on tunnetusti pH:ta puskuroivia ominaisuuksia.

Rikkipitoiselle happamalle sulfaattimaalle on havaittu olevan ominaista myös korkea vesipitoisuus. Vesipitoisuus ei yksinään kerro maaperän rikkipitoisuudesta, koska myös humuspitoisuus ja rakeisuus vaikuttavat siihen suuresti, mutta se voi olla yksi indikaattori korkealle rikkipitoisuudelle.

## 2.4 Vaikutukset

### 2.4.1 Korroosio

Todellinen hapan sulfaattimaa (THS) on hapettunut ympäristö, jonka pH on laskenut hapettumisen myötä alle 4,0. Hapan ympäristö lisää merkittävästi korroosionopeutta useilla metalleilla – myös teräksillä. Todellisilla happamilla sulfaattimailla maanalaisten rakenteiden korroosio aiheutuukin suurelta osin matalan pH:n ja paikallisten happikonsentraatioerojen seurauksena. Korroosionopeutta lisää sähköjohtavuus, jonka edellytyksiä ovat riittävä vesipitoisuus ja liukoisten ionien määrä.

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (PHS) on anaerobisessa tilassa oleva, happamuudeltaan neutraali, rikkipitoinen ympäristö, joka hapettuessaan tuottaa rikkihappoa muuttuen todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi. Korroosioympäristönä potentiaalisesti hapan sulfaattimaa on ongelmallinen metalleilla etenkin teräkselle sulfaatinpelkistäjäbakteerien mahdollisen vaikutuksen vuoksi. SRB mikrobit käyttävät hengittämiseen hapen sijaan sulfaattia tuottaen muun muassa

sulfideja ja rikkivetyä (H<sub>2</sub>S), vettä ja hiilidioksidia. Raudan ja orgaanisen aineksen läsnäolo (myös ihmisen rakentamat teräsrakenteet) lisäävät SRB mikrobien aktiivisuutta.

Kahden erilaisen korroosioympäristön rajavyöhyke on yleisesti ottaen voimakkaammin syövyttävä kuin kumpikaan korroosioympäristö yksin. Veden pinnan muutokset rajavyöhykkeellä voivat aiheuttaa aikaisempaa syövyttävämmät olosuhteet mm. hapontuoton sekä elektrolyysiveden läsnäolon seurauksesta.

#### 2.4.2 Vesistövaikutukset

Happamilta sulfaattimailta syntyvä valumavesi sisältää yleensä runsaasti sulfidimineraalien hapettumisesta peräisin olevia sulfaatteja sekä liukoisia metalleja, jotka nostavat veden sähkönjohtavuutta. Happamista sulfaattimaista on Suomessa arvioitu huuhtoutuvan vesistöihin jopa enemmän haitallisia metalleja, kuten mangaania, sinkkiä, alumiinia, kuin yhteensä kaikista Suomen teollisuuden jätevesistä (Sutela, et al., 2012; Sundström, et al., 2002). Veden happamuuden laskiessa alle 5,5 voidaan vesistön happamuustilaa pitää kriittisenä.

Vesieliöstölle ja useimmille kalalajeille erityisen haitallisia vaikutuksia syntyy silloin, jos happamia sulfaattimaiden esiintymisalueilla tehdään maankäsittelyä, esimerkiksi ojitusta, kuivan kauden aikana. Kuivan kauden jälkeen esimerkiksi syyssateiden aiheuttama runsas huuhtoutuminen aiheuttaa happaman ja metallirikkaan pulssin vastaanottavaan vesistöön. Hapan pulssi voi aiheuttaa laajoja kalakuolemia, joita on raportoitu rannikkoalueiden vesistöissä ympäri Suomen. Veden laadun seurannassa on tärkeää huomioida vuositasolla mitatut alimmat pH-tasot eikä seurata pelkästään veden keskimääräistä pH:ta.

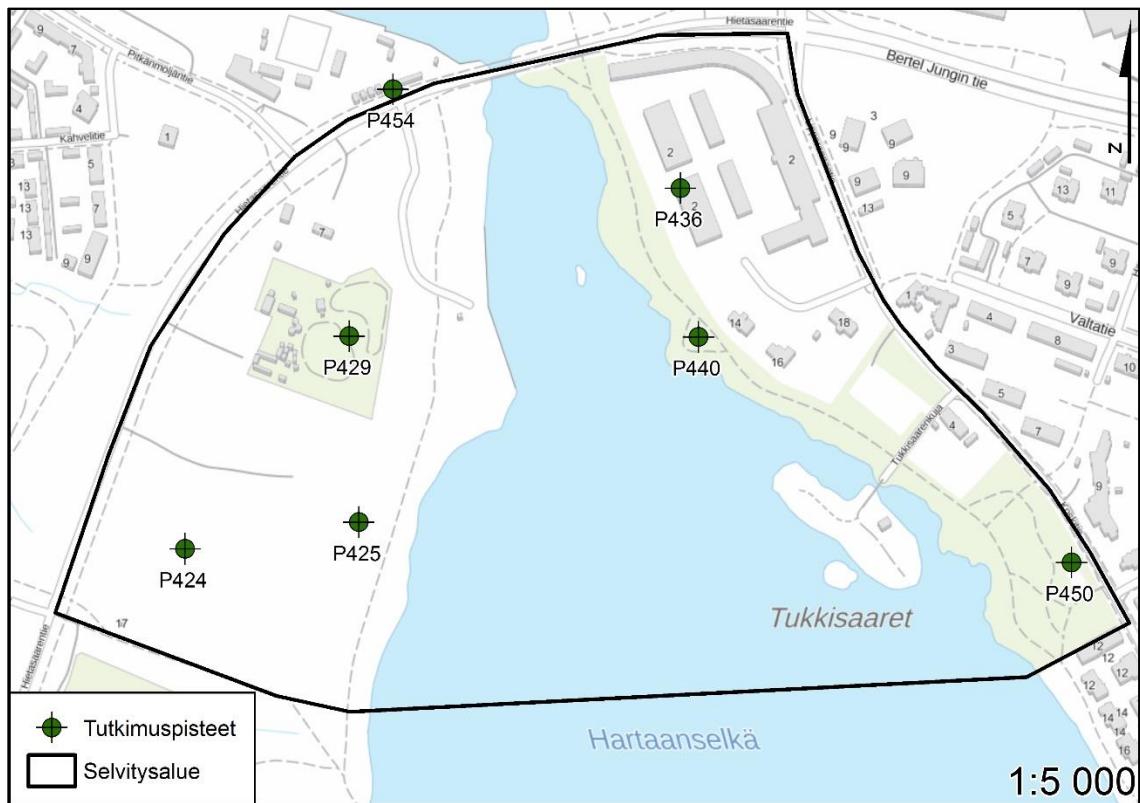
Happamien sulfaattimaiden synnyttämä happaman valunnan vaikutus on erityisen voimakasta pahimpien sulfaattimaa-alueiden pienissä puroissa ja joissa, joissa veden virtaus on hidasta. Hitaan virtaaman vuoksi pienten purojen veden pH voi pysyä matalana pitkään, toisin kuin isommissa joissa, joissa happamuus pääsee laimenemaan suureen vesimäärään. Happamissa vesissä sekä eliöstön että kasvillisuuden monimuotoisuus vähenee voimakkaasti, koska harvat lajit pystyvät elämään ja lisääntymään happamoituneissa vesissä.

### 3. NÄYTTEENOTTO

Hartaanselän alueen näytteenotto suoritettiin kairamenetelmällä 26.11.2018. Näytteenotosta vastasi Ramboll Finland Oy. Näytteitä otettiin näytteenotto-ohjeen (liite 1) mukaisesti puolen metrin välein määräsyyvyteen saakka.

Hartaanselän selvitysalueelta suoritettiin seitsemästä tutkimuspisteestä (P424, P425, P429, P436, P440, P450 ja P454) sulfidimaatutkimukseen soveltuva näytteenotto. Näytteitä otettiin noin 3,5 metrin syvyyteen saakka.

Yksittäisiä näytteitä otettiin yhteensä 48 kpl. Kullekin näytteelle tehty analyysit on esitetty liitteessä 2. Kaikista näytteistä määritettiin näytteenoton yhteydessä maalaji ja pH. Näytteet pakattiin kaasutiiviisiin muovipusseihin (Rilsa), joista puristeltiin ilmat pois, suljettiin tiiviisti ja säilytettiin viileässä laboratorioon toimittamiseen saakka. Kenttähavainnot on esitetty liitteessä 3 ja valokuvia alueelta liitteessä 5.



Kuva 3-1. Sulfidimaaselvityksen tutkimuspisteiden sijainti Hartaanselän selvitysalueella.



Kuva 3-2. Tutkimuspisteen P249 syvyydeltä 1,5...2,0 m ja P440 syvyydeltä 2...2,5 m otetut näytteet näytteenottimessa.

## 4. TULOKSET

### 4.1 Maaperäolosuhteet

Suunnittelualueella maanpinnan korkeus (N2000) vaihtelee länsipuolella välillä +0,4...+4,6 ja itäpuolella +0,7...+7,8. Hartaanselän asemakaava-alueella laaditun rakennettavuusselvityksen perusteella valtaosa alueen pohjamaasta on kantavaa hiekkamoreenia (HkMr) ja hiekkaa (Hk). Selvitysalueen lounaisosassa ja suppeammin Hartaanselän itärannalla esiintyy maanpinnassa 1,2...5,9 m löyhää hiekkaa ja silttistä hiekkaa (SiHk), jonka alapuolella on keskitiivistä...tiivistä hiekkaa ja moreenia (Mr). Alueen pohjois- ja eteläosassa, pääosin Hartaanselän länsipuolella esiintyy maanpinnassa 1,4...8,2 m paksu löyhä maakerros, joka on pääosin silttiä (Si), hiekaista silttiä (HkSi) ja silttistä hiekkaa (SiHk) sekä savista silttiä (SaSi). Myös näillä alueilla esiintyy pohjamaana hiekkaa ja moreenia. (Ramboll Finland Oy, 2018)

Sulfidimaaselvityksen näytteenoton yhteydessä tehdyt silmämääräiset havainnot maalajeista ovat yhtenevät rakennettavuusselvityksen tulosten kanssa.

Pohjavedenpinta on havaittu alueen länsiosassa noin tasolla +0,4...+0,7 eli noin 1,5...3,0 m syvyydessä maanpinnasta ja itäosassa noin tasolla +1,6...+3,2 eli noin 1,5...2,8 m syvyydessä maanpinnasta (Ramboll Finland Oy, 2018). Sulfidimaaselvityksen näytteenoton yhteydessä havaintoja pohjavedestä tehtiin kaikissa tutkituissa pisteissä lukuun ottamatta pistettä P436. Havainnot tehtiin syvyydellä 0,8...2,0 m maanpinnasta.

Näytteiden vesipitoisuus vaihteli välillä 3,3...29,2 %. Korkeimmat vesipitoisuudet määritettiin pisteissä P424, P425 ja P429, joissa vesipitoisuus vaihteli välillä 13,1...29,2 %, ollen keskimäärin 18,0 %. Näissä pisteissä havaittiin rakennettavuusselvityksessä sulfidiselvityksen paksuimmat (1,4...4,4 m) löyhän maan kerrokset (Ramboll Finland Oy, 2018).

### 4.2 pH, nettohapontuotto ja kokonaisrikkipitoisuus

Kaikista tässä selvityksessä tutkituista näytteistä määritettiin maastossa pH-taso. Lisäksi näytteistä 10 kpl valittiin NAG-pH määrittelyyn ja 20 kpl inkubointiin. NAG-pH määrittelyyn valituista näytteistä yhdestä määritettiin myös nettohapontuotto. Kaikkien inkubointiin valittujen osanäytteiden pH-tasot on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 4-1).

Hartaanselän NAG-pH määrittelyyn toimitetuista näytteistä kuudessa havaittiin pH-tason 4,5 alittava pH. Näytteistä yhdestä määritettiin myös nettohapontuotto, joka oli kuitenkin alhainen indikoiden alhaista hapontuottokapasiteettia (vrt. Taulukko 2-1).

Inkuboinnin jälkeen missään näytteistä ei havaittu pH-tason 4 alituksia. Useissa näytteissä pH-taso jopa nousi maastossa mitattuun verrattuna. Alhaisin inkuboitu pH havaittiin pisteessä P440 syvyydellä 1...1,5 m maanpinnasta.

**Taulukko 4-1. Hartaanselän selvitysalueen näytteiden pH, nettohapontuotto ja kokonaisrikkipitoisuus. Huomionarvoiset tulokset on korostettu punaisella värillä.**

Piste	Syvyys (m)	Maalaji*	Maasto-pH	NAG-pH	inkuboitu pH	S <sub>tot</sub>	NAG
P454	1 - 1,5	SiHk	6,5		8,5	<0,01	
	2 - 2,5	SiHk	6,6		8,2	<0,01	
	3 - 3,5	SiHk	6,6	4,8	8,6	0,03	
P429	1,5 - 2	Hk	5,9		4,9	0,02	
	2 - 2,5	Hk	5,9	4,1	5,1	0,03	
	3 - 3,5	SiHk	5,8	4,4	6,3	0,02	
P424	1 - 1,5	Si	6,3		6	0,05	
	2 - 2,5	Si	7	4,3	6,8	0,08	
	3 - 3,5	Si	6,4	4,7	7,4	0,05	
P425	1,5 - 2	Hk	5,4		6,1	<0,01	
	2,5 - 3	Si	5,6	4,7	5	0,02	
P436	2 - 2,5	Hk	5		5,8	0,01	
	3 - 3,5	SiHk	5,6		6,4	<0,01	
P440	1 - 1,5	SiHk	5,4	3,5	4,6	0,11	1,5
	1,5 - 2	HkSi	5,8	4,7	5,8	0,04	
	2 - 2,5	SiHkMr	5,8	4,2	6,8	0,02	
	2,5 - 3	SiHkMr	5,8			0,04	
P450	2 - 2,5	Hk	6,3		6,6	0,03	
	2,5 - 3	SiHk	6,3	4,4	6,7	0,05	
	3 - 3,5	SiHk	6,7		6,8	0,03	

\*maalaji on näytteenoton yhteydessä määritetty

S<sub>tot</sub> = kokonaisrikkipitoisuus

NAG = nettohapontuotto

NAG-pH = vetyperoksidihapetettu pH

Laboratoriossa tutkittujen näytteiden kokonaisrikkipitoisuudet on esitetty edellisessä taulukossa (Taulukko 4-1). Näytteet kuivattiin ennen määrittystä 60 °C lämpötilassa. Potentiaalisiksi happamiksi sulfaattimaisiksi luokiteltavista näytteistä kokonaisrikkipitoisuus on yli 0,2 % (kuiva-aineesta).

Hartaanselän selvitysalueelta kokonaisrikkipitoisuus-määrittämiseen toimitetuista näytteistä yhdessäkään ei havaittu tason 0,2 % ylittävää rikkipitoisuutta. Korkein rikkipitoisuus 0,11 % havaittiin pisteessä P440 syvyydellä 1...1,5 m maanpinnasta. Muilta osin rikkipitoisuudet olivat alle 0,1 %, usean tuloksen alittaessa analyysin määrittämissä rajan.

Tutkimustodistukset on esitetty liitteessä 4.

### 4.3 Puskurikapasiteetti

Kaikista osanäytteistä määritettiin hehikutushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Hehikutushäviötä voidaan käyttää hienojakoisen maa-aineen (savi, siltti) puskurikapasiteetin arvioimiseen (Pousette 2007). Mitä suurempi hehikutushäviö ja orgaanisen aineksen määrä, sitä suurempi on puskuroiva vaikutus, joka puolestaan pienentää

happamoittavaa vaikutusta. Aiempien tutkimusten perusteella hehkutushäviön ylittäessä 8 % on puskuroiva vaikutus merkityksellinen ja happamoittava vaikutus pienenee suhteessa vähemmän orgaanista ainesta sisältävään maa-ainekseen. Hartaanselän selvitysalueen näytteissä hehkutushäviö vaihteli välillä 0,1...2,8 %, minkä vuoksi alueen maaperän puskurikapasiteettia voidaan pitää merkityksettömänä.

## 5. TULOSTEN YHTEENVETO JA TUNNISTETUT SULFIDIMAAT

Hartaanselän maastossa mitattujen pH-tasojen perusteella **todellisia happamia sulfaattimaita (THS) ei havaittu**. Maastossa mitatut pH-tasot vaihtelivat välillä 5,0...7,4.

Myöskään **potentiaalisia happamia sulfaattimaita (PHS) ei tutkimustulosten perusteella havaittu**. Korkein rikkipitoisuus 0,11% havaittiin pisteessä P440 syvyydellä 1...1,5 m. Tulos alittaa sulfaattimaiden rikkipitoisuuden rajana pidetyn 0,2 % selvästi. Samassa näytteessä havaittiin myös matalin NAG-pH ja inkuboitu pH. Inkuboitu pH ylitti kuitenkin tason pH 4, eikä näytettä siten voida luokitella potentiaaliseksi sulfaattimaaksi.

## 6. JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkitulla Hartaanselän selvitysalueella ei havaittu todellisia tai potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Sulfidimaaselvityksen perusteella alueella ei ole tarvetta happaman valunnan aiheuttamille riskintorjuntatoimenpiteille tai muille erityisille jatkotoimenpiteille.



## 7. LYHENTEET

<b>NAG</b>	Nettophapon tuotto (net acid generation), ilmoitetaan yleensä yksikössä kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tonni
<b>NAG-pH</b>	Vetyperoksidihapetetusta näytteestä mitattu pH
<b>H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub></b>	Rikkihappo
<b>PHS</b>	Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (rikki pelkistyneenä sulfidimuodossa)
<b>THS</b>	Todellinen hapan sulfaattimaa (rikki hapettuneena sulfaattimuodossa)
<b>Hh (LOI)</b>	Hehkutushäviö (Loss on Ignition). Massaprosenttiosuus, joka uunikuivatusta (105 °C) näytteestä häviää hehkutuksen aikana. Hehkutuksen lämpötila on tyypillisesti 550 °C tai 800 °C
<b>Inkuboitu pH</b>	Huoneilmassa 9 – 19 viikon ajan hapetetusta näytteestä mitattu pH. Näytteet pidetään hapetuksen aikana kosteana
<b>TOC</b>	Orgaanisen hiilen (Total Organic Carbon) kokonaispitoisuus, m-%
<b>HCl</b>	Suolahappo
<b>H<sub>2</sub>O<sub>2</sub></b>	Vetyperoksidi, kemikaali jota käytetään mm. näytteiden hapetuksessa
<b>S<sub>tot</sub></b>	Kokonaisrikkipitoisuus, ilmoitetaan yleensä m-% tai ppm

## 8. KIRJALLISUUSVIITTEET

- Boman, A., Astrom, M. & Frojdo, S., 2008. Sulfur dynamics in boreal acid sulfate soils rich in metastable iron sulfide - The role of artificial drainage. *Chemical Geology*, Osa/vuosikerta 255, pp. 68-77.
- GTK tiedonanto, 2018. Sähköinen ja suullinen tiedonvaihto happamista sulfaattimaista.
- GTK. 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan, *Geofoorumi 2/2009* (Geologian tutkimuskeskuksen asiakaslehti).
- Nieminen, T. M., Hölkä, H., Ihalainen, A. & Finér, L., 2016. Metsänhoito happamilla sulfaattimailla, Helsinki: Luonnonvarakeskus.
- Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. Maa- ja metsätalousministeriö 2/2011.
- Pousette, K., 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, s.l.: Luleå tekniska universitet.
- Ramboll Finland Oy, 2018. Hartaanselkä, Oulu: Rakennettavuus selvitys. Oulun kaupunki.
- Sutela, T. ym., 2012. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa, Helsinki: Edita Prima Oy.

**LIITE 1**  
**NÄYTTEENOTTO-OHJE**

# NÄYTTEENOTTO-OHJE

## HARTAANSELÄN ALUEEN

### SULFIDIMAASELVITYS

Sulfidimaaselvityksen avulla selvitetään, onko Hartaanselän suunnittelualueen maaperä luokiteltavissa happamaksi sulfaattimaaksi. Hapen kanssa tekemiseen joutuessaan sulfidimaan sisältämät rikkihappoiset mineraalit hapettuvat ja muodostavat rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja. Sulfidimailla syntyvien valumavesien pH voi olla alle 3, jolloin happamalla valunnalla on haitallisia vesistövaikutuksia.

#### Näytteenotto

Sulfidimaanäytteenotto suoritetaan pisteistä P424, P425, P429, P436, P440, P450 ja P454. Näytteet otetaan lähtökohtaisesti 0,5 m välein, jolloin näytteenottosyvyydet ovat 0,0 - 0,5 m, 0,5 - 1,0 m jne. Mikäli maalajit vaihtuvat selkeärajaisesti toisikseen, eri maalajeista otetaan omat osanäytteet ja maalajien vaihtuminen kirjataan näytteenottomuistioon. Yksittäisen osanäytteen on edustettava kattavasti koko 0,5 m paksuutta tai vaihtoehtoisesti maalajikerrosta. Kerrospaksuus on määritettävä mittaamalla. Maatumattomia kasvinosia tms. ei sisällytetä näytteeseen. Näytemäärä tulee olla vähintään noin 0,5 litraa / näyte. Määräsyvyys tässä hankkeessa on 3,5 metriä nykyisestä maanpinnasta.

Jokaisesta näytteestä tehdään kentällä pH-mittaus kenttämittarilla. Lisäksi kirjataan jokaisesta näytteestä kentällä havainnot väristä (musta, harmaa, ruskeita paakkuja/raitoja), hajusta sekä maalajista. Kustakin tutkimuspisteestä havainnoidaan pohjaveden pinnan taso sekä mitataan maan pinnan taso.

Näytteet suljetaan ilmatiiviiseen pussiin. Jokaiseen näytepussiin tulee kirjata mistä tutkimuspisteestä on kyse ja miltä syvyydeltä näyte on otettu. Näytteet toimitetaan kylmässä säilyttäen mahdollisimman nopeasti Rambollin maaperälaboratorioon Luopioisiin jatkotutkimuksiin osoitteeseen:

Ramboll Finland Oy  
Vohlisaarentie 2B  
36760 Luopioinen

Luopioisten laboratoriosta osa näytteistä lähetetään edelleen rikkihappoisuusmäärityksiin.

Näytteestä näytteenottimessa tulee myös ottaa valokuva jokaiselta tutkimuspisteeltä. Valokuvat on yksilöitävä siten, että niistä on tunnistettavissa miltä tutkimuspisteeltä kukin kuva on.

Päivämäärä 1.10.2018  
Päivitetty 23.11.2018

Ramboll  
Kiviharjunlenkki 1A  
90220 OULU

P +358 20 755 611  
F +358 20 755 6201  
www.ramboll.fi

Tutkimuspisteiden sijainnit ja näytteenottosyvyydet on esitetty pohjatutkimusohjelmassa.

**Lisätiedot**

Sari Suvanto  
[sari.suvanto@ramboll.fi](mailto:sari.suvanto@ramboll.fi)  
p. 040 136 6543

## **LIITE 2**

### **TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO**

1510044273 Hartaanselän selvitykset, sulfidimaanäytteenotto 26.11.2018

**Liite 2** Tutkimustulosten yhteenveto

Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	S <sub>tot</sub>	NAG	Muuta
P454	0 - 0,5	6,5							
P454	0,5 - 1	6,4	2,8	13,7					
P454	1 - 1,5	6,5	0,5	10,9		8,5	<0.01		
P454	1,5 - 2	6,6							Pohjavesipinta noin 1,5 m maanpinnasta
P454	2 - 2,5	6,6	0,3	13,9		8,2	<0.01		
P454	2,5 - 3	6,6	0,6	13,3					
P454	3 - 3,5	6,6	0,3	11,3	4,8	8,6	0,03		

Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	S <sub>tot</sub>	NAG	Muuta
P429	0 - 0,5	5,5							
P429	0,5 - 1	5	1,2	20,6					
P429	1 - 1,5	5,6							Pohjavesipinta noin 0,8 m maanpinnasta
P429	1,5 - 2	5,9	0,1	17,9		4,9	0,02		
P429	2 - 2,5	5,9	0,2	16,2	4,1	5,1	0,03		
P429	2,5 - 3	6	0,4	13,1					
P429	3 - 3,5	5,8	0,4	11,6	4,4	6,3	0,02		



Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	S <sub>tot</sub>	NAG	Muuta
P424	0 - 0,5	5,9							
P424	0,5 - 1	5,4	0,3	17					
P424	1 - 1,5	6,3	1,8	29,2		6	0,05		
P424	1,5 - 2	6,4							Pohjavesipinta noin 1,0 m maanpinnasta
P424	2 - 2,5	7,0	0,9	19	4,3	6,8	0,08		
P424	2,5 - 3	7,2	1,2	22					
P424	3 - 3,5	6,4	1,2	23,3	4,7	7,4	0,05		

Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	S <sub>tot</sub>	NAG	Muuta
P425	0 - 0,5	5,2							
P425	0,5 - 1	5,1	0,6	8,6					
P425	1 - 1,5	5,1							Pohjavesipinta noin 1,0 m maanpinnasta
P425	1,5 - 2	5,4	0,2	16,4		6,1	<0.01		
P425	2 - 2,5	5,8	0,2	17,2					
P425	2,5 - 3	5,6	0,8	21,9	4,7	5	0,02		
P425	3 - 3,5	5,4	0,3	16,5					

Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	S <sub>tot</sub>	NAG	Muuta
P436	0 - 0,5	5,4							
P436	0,5 - 1	6,0	1	8,2					
P436	1 - 1,5	5,5							
P436	1,5 - 2	5,6	1,2	9,4					
P436	2 - 2,5	5,0	1,1	7,5		5,8	0,01		
P436	2,5 - 3	5,5	0,4	8,4					
P436	3 - 3,5	5,6	0,6	7,9		6,4	<0.01		

Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	Stot	NAG	Muuta
P440	0 - 0,5	5,5							
P440	0,5 - 1	5,4							
P440	1 - 1,5	5,4	1,5	21,8	3,5	4,6	0,11	1,5	Pohjavesipinta noin 1,2 m maanpinnasta
P440	1,5 - 2	5,8	0,7	19,2	4,7	5,8	0,04		
P440	2 - 2,5	5,8	0,3	13,1	4,2	6,8	0,02		
P440	2,5 - 3	5,8	0,4	12,8			0,04		Syvennämälle kairaus ei mahdollista

Piste	Syvyys (m)	Maasto-pH	Hh [%]	W [%]	NAG-pH	Inkubointu pH	Stot	NAG	Muuta
P450	0 - 0,5	7,4							
P450	0,5 - 1	5,4	1,3	3,3					
P450	1 - 1,5	6,1							
P450	1,5 - 2	6,4	0,4	11,7					
P450	2 - 2,5	6,3	0,3	13,3		6,6	0,03		Pohjavesipinta noin 2,0 m maanpinnasta
P450	2,5 - 3	6,3	0,5	13,8	4,4	6,7	0,05		
P450	3 - 3,5	6,7	0,4	15,8		6,8	0,03		

Hh = hehkutushäviö, 550 °C

W = vesipitoisuus

NAG-pH = vetyperoksidihapetettu pH

Stot = kokonaisrikkipitoisuus

NAG = nettohapontuotto

## **LIITE 3**

### **KENTTÄHAVAINTOJEN YHTEENVETO**

1510044273 Hartaanselän selvitykset, sulfidimaanäytteenotto 26.11.2018

**Liite 3** Kenttähavaintojen yhteenveto

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P454	0 - 0,5	0	Hk	0	Ru	6,5	
	0,5 - 1	0	SiHk	0	Ru	6,4	
	1 - 1,5	1	SiHk	0	Ru	6,5	
	1,5 - 2	1	SiHk	0	Ru	6,6	Pohjavesipinta noin 1,5 m maanpinnasta
	2 - 2,5	2	SiHk	0	Ru	6,6	
	2,5 - 3	2	SiHk	0	Ru	6,6	
	3 - 3,5	2	SiHk	0	Ru	6,6	

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P429	0 - 0,5	0	Hk	0	Ru	5,5	
	0,5 - 1	0	SiHk	0,5	Ru	5	
	1 - 1,5	0	SiHk	1	Ru	5,6	Pohjavesipinta noin 0,8 m maanpinnasta
	1,5 - 2	0	Hk	3	Ru	5,9	
	2 - 2,5	0	Hk	3	Ru	5,9	
	2,5 - 3	0	SiHk	3	Ru	6	
	3 - 3,5	0	SiHk	3	Ru	5,8	

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P424	0 - 0,5	0	Hk	0	Ru	5,9	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ru	5,4	
	1 - 1,5	0	Si	2	Ha	6,3	
	1,5 - 2	0	Si	2	Ha	6,4	Pohjavesipinta noin 1,0 m maanpinnasta
	2 - 2,5	0	Si	3	Ha	7,0	
	2,5 - 3	0	Si	3	Ha	7,2	
	3 - 3,5	0	Si	3	Ha	6,4	

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P425	0 - 0,5	0	Hk	0	Ru	5,2	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ru	5,1	
	1 - 1,5	0	Hk	3	Ru	5,1	Pohjavesipinta noin 1,0 m maanpinnasta
	1,5 - 2	0	Hk	3	Ru	5,4	
	2 - 2,5	0	Hk	3	Ru	5,8	
	2,5 - 3	0	Si	3	Ru	5,6	
	3 - 3,5	0	SrHk	3	Ru	5,4	

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P436	0 - 0,5	0	Murske	0	Ha	5,4	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ru	6,0	
	1 - 1,5	0	Hk	0	Ru	5,5	
	1,5 - 2	0	Hk	0	Ru	5,6	
	2 - 2,5	0	Hk	0	Ru	5,0	
	2,5 - 3	0	SiHk	0	Ru	5,5	
	3 - 3,5	0	SiHk	0	Ru	5,6	



Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P440	0 - 0,5	0	MuHk	0	Ru	5,5	
	0,5 - 1	0	MuHk	0	Ru	5,4	
	1 - 1,5	0	SiHk	1	Ru	5,4	Pohjavesipinta noin 1,2 m maanpinnasta
	1,5 - 2	0	HkSi	3	Ru	5,8	
	2 - 2,5	0	SiHkMr	3	Ru	5,8	
	2,5 - 3	0	SiHkMr	3	Ru	5,8	Syvennälle kairaaminen ei mahdollista

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
P450	0 - 0,5	0	Hk	0	Ru	7,4	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ru	5,4	
	1 - 1,5	0	SiHk	0	Ru	6,1	
	1,5 - 2	0	SiHk	0	Ru	6,4	
	2 - 2,5	0	Hk	1	Ha	6,3	Pohjavesipinta noin 2,0 m maanpinnasta
	2,5 - 3	0	SiHk	2	Ru	6,3	
	3 - 3,5	0	SiHk	2	Ru	6,7	





## **LIITE 4**

### **TUTKIMUSTODISTUKSET**

Projektin nimi		Projektin numero												
Hartaanselkä		1510044273												
Näytepiste / pvm	Syvyys [ m ]	Silmämääräinen arvio		Määritetty	NAG-pH	inkubointi pH	Nettohapon-tuotanto [kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tonni]	Stot [ m-% ]	w [ % ]	H <sub>h</sub> 550 °C [ % ]	Rakeisuusmääritys			Huomioita
		Maalaji*	Muut havainnot	Maalaji **							Pesuseul.	Kuivaseul.	Areom.	
P454 / 26.11.2018	0,5-1,0								13,7	2,8				valkoista ainesta joukossa
	1,0-1,5					8,5		<0,01	10,3	0,5				ruosteen väriä
	2,0-2,5					8,2		<0,01	13,9	0,3				ruosteen väriä
	2,5-3,0								13,3	0,6				ruosteen väriä
	3,0-3,5					4,8	8,6		0,03	11,3	0,3			ruosteen väriä
P429 / 26.11.2018	0,5-1,0								20,6	1,2				ruosteen väriä
	1,5-2,0					4,9		0,02	17,9	0,1				
	2,0-2,5					4,1	5,1		0,03	16,2	0,2			
	2,5-3,0								13,1	0,4				ruosteen väriä
	3,0-3,5					4,4	6,3		0,02	11,6	0,4			
P424 / 26.11.2018	0,5-1,0								17,0	0,3				
	1,0-1,5							0,05	29,2	1,8				
	2,0-2,5					4,3	6,8		0,08	19,0	0,9			
	2,5-3,0								22,0	1,2				
	3,0-3,5					4,7	7,4		0,05	23,3	1,2			
P425 / 26.11.2018	0,5-1,0								8,6	0,6				
	1,5-2,0							<0,01	16,4	0,2				
	2,0-2,5								17,2	0,2				
	2,5-3,0					4,7	5,0		0,02	21,9	0,8			Haju
	3,0-3,5								16,5	0,3				
* Silmämääräisessä maalajimäärityksessä on käytetty GEO-luokitusta.				Ramboll Finland Oy, Luopioinen										
** Rakeisuuden perusteella tehdyn maalajimäärityksen yhteydessä on esitetty sekä ISO- että GEO-luokituksen mukaiset tulokset (GEO-luokitus suluissa).				 Katja Liimatainen / Terhi Aittokumpu Tutkija										
				 Tuomas Suikkanen Tark.										
				25.1.2019 Pvm										

**Testit on suoritettu seuraavien standardien tai ohjeiden mukaisesti:**

Vesipitoisuuden määrittäminen	SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-1:fi
Hehkutushäviön määrittäminen	SFS-EN 1997-2 5.6
Pesu- ja kuivaseulonta	SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-4:fi
Areometrikoe	SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-4:fi
Maalajimääritys (ISO-luokitus)	SFS 2008 179-1 - EN ISO 14688-1
Maalajimääritys (GEO-luokitus)	Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tammirinne, M. 1974. Geotekninen maalajiluokitus. VTT.
pH-määritys	SFS-EN 1997-2 5.6
NAG pH-määritys	ARD Test handbook, AMIRA International, single addition NAG test

Projektin nimi				Projektin numero										
Hartaanselkä				1510044273										
Näytepiste / pvm	Syvyys [ m ]	Silmämääräinen arvio		Määritetty	NAG-pH	inkubointi pH	Nettohapon-tuotanto [kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tonni]	Stot [ m-% ]	w [ % ]	H <sub>h</sub> 550 °C [ % ]	Rakeisuusmääritys			Huomioita
		Maalaji*	Muut havainnot	Maalaji **							Pesuseul.	Kuivaseul.	Areom.	
P436 / 26.11.2018	0,5-1,0								8,2	1,0				
	1,5-2,0								9,4	1,2				
	2,0-2,5					5,8		0,01	7,5	1,1				hieman ruosteen väriä
	2,5-3,0								8,4	0,4				
	3,0-3,5					6,4		<0,01	7,9	0,6				
P440 / 26.11.2018	1,0-1,5				3,5	4,6	1,5	0,11	21,8	1,5				
	1,5-2,0				4,7	5,8		0,04	19,2	0,7				
	2,0-2,5				4,2	6,8		0,02	13,1	0,3				
	2,5-3,0							0,04	12,8	0,4				
P450 / 26.11.2018	0,5-1,0								3,3	1,3				punertava väri, seassa lasin paloja, tunkkainen haju
	1,5-2,0								11,7	0,4				
	2,0-2,5					6,6		0,03	13,3	0,3				
	2,5-3,0				4,4	6,7		0,05	13,8	0,5				
	3,0-3,5					6,8		0,03 / 0,04	15,8	0,4				
* Silmämääräisessä maalajimäärityksessä on käytetty GEO-luokitusta.				Ramboll Finland Oy, Luopioinen										
** Rakeisuuden perusteella tehdyn maalajimäärityksen yhteydessä on esitetty sekä ISO- että GEO-luokituksen mukaiset tulokset (GEO-luokitus suluissa).				 Katja Liimatainen/Terhi Aittokumpu Tutkija										
				 Tuomas Suikkanen Tark.										
				25.1.2019 Pvm										

Testit on suoritettu seuraavien standardien tai ohjeiden mukaisesti:	
Vesipitoisuuden määrittäminen	SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-1:fi
Hehkutushäviön määrittäminen	SFS-EN 1997-2 5.6
Pesu- ja kuivaseulonta	SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-4:fi
Areometrikoe	SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-4:fi
Maalajimääritys (ISO-luokitus)	SFS 2008 179-1 - EN ISO 14688-1
Maalajimääritys (GEO-luokitus)	Korhonen, K.-H., Gardemeister, R. & Tamminne, M. 1974. Geotekninen maalajiluokitus. VTT.
pH-määrittäminen	SFS-EN 1997-2 5.6
NAG pH-määrittäminen	ARD Test handbook, AMIRA International, single addition NAG test

Raporttinumero: 045168

17.12.2018

Ramboll Finland Oy  
Tuomas Suikkanen  
Vohlisaarentie 2 B  
36760 Luopioinen

Tilaus: S18-13055  
Asiakkaan viite: 1510044273  
Tilausnumero: S18-13055  
Vastaanottopvm: 3.12.2018

**Esikäsittelysuoritteet**

Suorite	Suoritteen kuvaus	Näytteiden lkm
11 *	Näytteen kuivaus <40°C:ssa	20 kpl
40	Jauhatus karkaistussa hiiliteräsjauhinpannussa	20 kpl

**Testaustulokset**

Suorite: 810L  
Suoritteen kuvaus: Rikin määrittäminen rikkianalysointilaitteella  
Analysointipaikka: Kuopio

Analyysikoodi	810L *
Parametri	S *
Yksikkö	%
Määrittämiss raja	0.01
Näytetunnus	
P454 1-1,5	<0.01
P454 1-1,5 (2)	<0.01
P454 2-2,5	<0.01
P454 3-3,5	0.03
P429 1,5-2	0.02
P429 2-2,5	0.03
P429 3-3,5	0.02
P424 1-1,5	0.05
P424 2-2,5	0.08
P424 3-3,5	0.05
P425 1,5-2	<0.01
P425 2,5-3	0.02
P436 2-2,5	0.01
P436 3-3,5	<0.01
P440 1-1,5	0.11
P440 1,5-2	0.04
P440 2-2,5	0.02
P440 2,5-3	0.04
P450 2-2,5	0.03
P450 2,5-3	0.05
P450 3-3,5	0.03
P450 3-3,5 (2)	0.04

Raporttinumero: 045168

17.12.2018

---

## \* Akkreditoitu

17.12.2018 Susanna Arvilommi  
Laboratoriopäällikkö/Laboratory manager

Jakelu Ramboll Finland Oy  
Suvanto, Sari / Ramboll Finland Oy  
Suikkanen, Tuomas / Ramboll Finland Oy

## **LIITE 5**

### **VALOKUVIA NÄYTTEENOTOSTA**

1510044273 Hartaanselän selvitykset, sulfidimaanäytteenotto 26.11.2018

**Liite 5** Valokuvia näytteenotosta



**Kuva 1.** Maa-aines näytepisteen P424 syvyydellä 0,5...1,0 m.



**Kuva 2.** Maa-aines näytepisteen P425 syvyydellä 2,0...2,5 m.





**Kuva 3. Maa-aines näytepisteeseen P429 syvyydellä 2,0...2,5 m.**



**Kuva 4. Näytteenottoa tutkimuspisteellä P436.**





Kuva 5. Maa-aines näytepisteeseen P440 syvyydellä 0,0...0,5 m.



Kuva 6. Maa-aines näytepisteeseen P450 syvyydellä 2,0...2,5 m.



Kuva 7. Maa-aines näytepisteen P454 syvyydellä 0,5...1,0 m.