

Vastaanottaja

**Saija Räinen**  
**Oulun kaupunki**

Asiakirjatyyppi

**Selvitys**

Päivämäärä

**25.2.2021**

# **SULFIDIMAASELVITYS**

## **KAIJONHARJUN KESKUS JA SIIHEN LIITTYVÄT ASEMAKAAVAT SEKÄ KNUUTILAN, MAIKKULAN JA HEIKKILÄNKANKAAN TÄYDENNYSRAKENTAMINEN**

**SULFIDIMAASELVITYS  
KAIJONHARJUN KESKUS JA SIIHEN LIITTYVÄT  
ASEMAKAAVAT SEKÄ KNUUTILAN, MAIKKULAN JA  
HEIKKILÄNKANKAAN TÄYDENNYSRAKENTAMINEN**

Projekti nro **1510056030**  
Laatija **Sanna Vienonen**  
Tarkastaja **Sari Suvanto**

Ramboll  
Kiviharjunlenkki 1 A  
90220 OULU

P +358 20 755 611  
<https://fi.ramboll.com>

## 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	4
2.3	Sulfaattimaiden tunnistaminen	6
2.3.1	Kenttähavainnot	6
2.3.2	Laboratoriotutkimukset	7
2.4	Vaikutukset	9
2.4.1	Korroosio	9
2.4.2	Vesistövaikutukset	9
<b>3.</b>	<b>Näytteenotto</b>	<b>10</b>
<b>4.</b>	<b>Tulokset</b>	<b>10</b>
4.1	Maalajit ja vesipitoisuus	13
4.2	pH-tasot ja nettohapontuotto	13
4.3	Kokonaisrikkipitoisuus	13
4.4	Puskurikapasiteetti	14
<b>5.</b>	<b>Tulosten yhteenveto ja jatkotoimenpiteet</b>	<b>14</b>
<b>6.</b>	<b>Happaman valunnan ehkäisytoimenpiteitä</b>	<b>17</b>
6.1	Pohjaveden pinnan alin taso	17
6.2	Alueen tasauksen suunnittelu	17
6.3	Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely	17
6.4	Putkikaivannot	18
6.5	Maanalaiset rakenteet ja paalutus	19
<b>7.</b>	<b>Happamien kaivantovesien hallintakeinoja</b>	<b>19</b>
7.1	Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut	19
7.2	Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut	20
<b>8.</b>	<b>Lyhenteet</b>	<b>21</b>
<b>9.</b>	<b>Kirjallisuusviitteet</b>	<b>23</b>
<b>LIITTEET</b>		<b>24</b>

## **LIITTEET**

### **Liite 1**

Tutkimusohjelma

### **Liite 2**

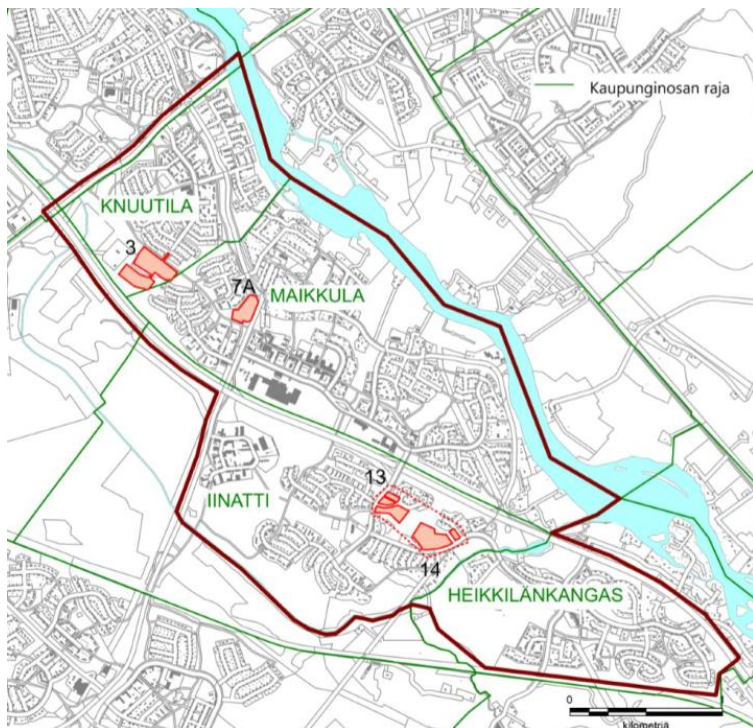
Tutkimustulosten yhteenveto sulfidinäytteet

# 1. JOHDANTO

Tässä hankkeessa selvitettiin happamien sulfidimaakerrosten esiintyvyyttä Kaijonharjun keskuksen (jatkossa suunnittelualue A) sekä Knuutilan, Maikkulan, Heikkilänkankaan (jatkossa suunnittelualue B) asemakaavoitettavilla alueilla Oulussa. Kaijonharjun keskuksen suunnittelualue on pääosin metsää jo rakennetun infran keskellä (Kuva 1-1). Knuutilan alue on osin peltoa ja osin metsää, Maikkulan alue metsää, Heikkilänkankaan 13 alueet osin nuorta pusikkoista metsää ja osin ojitettua metsämaata, Heikkilänkangas 14 alueet ojitettua metsää (Kuva 1-2).



Kuva 1-1. Selvitysalueen sijainti Kaijonharjun keskus (1a) ja Kaijonlahdentie-Alakyläntie (1b).



Kuva 1-2. Selvitysalueen sijainti Knuutilan, Maikkulan ja Heikkilänkankaan alueet.

## 2. HAPPAMAT SULFAATTIMAAT

### 2.1 TAUSTA

Happamilla sulfaattimailla tarkoitetaan maaperässä luontaisesti esiintyviä rikkiä sisältäviä 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 syynä rautasulfidien hapettuminen sedimenttien joutuessa pohjavedenpinnan yläpuolelle maankohoamisen ja maankäyttöön liittyvän kuivatustoiminnan tai rakentamistoimien seurauksena. Hapettumisen seurauksena sulfideista muodostuu maaperässä rikkihappoa, joka alentaa maan pH-tasoa. Rikkiä sisältävät 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 karkeammissa 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 rikkiä sisältävien kerrostumien muodostumiselle. Litorina-meri on ulottunut noin 9800 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 lienneet happosuolet 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 sulfidirikkiä sisältäviä maaperää, jossa on sekä hapettunut hapan maakerros, että hapettumaton sulfidirikkiä sisältävä 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 < 4,0 inkubaation (hapettunut kosteana 8–19 viikkoa huoneenlämmössä) jälkeen

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 sulfidimaat (PHS).

### **1. Todellinen hapan sulfaattimaa (THS)**

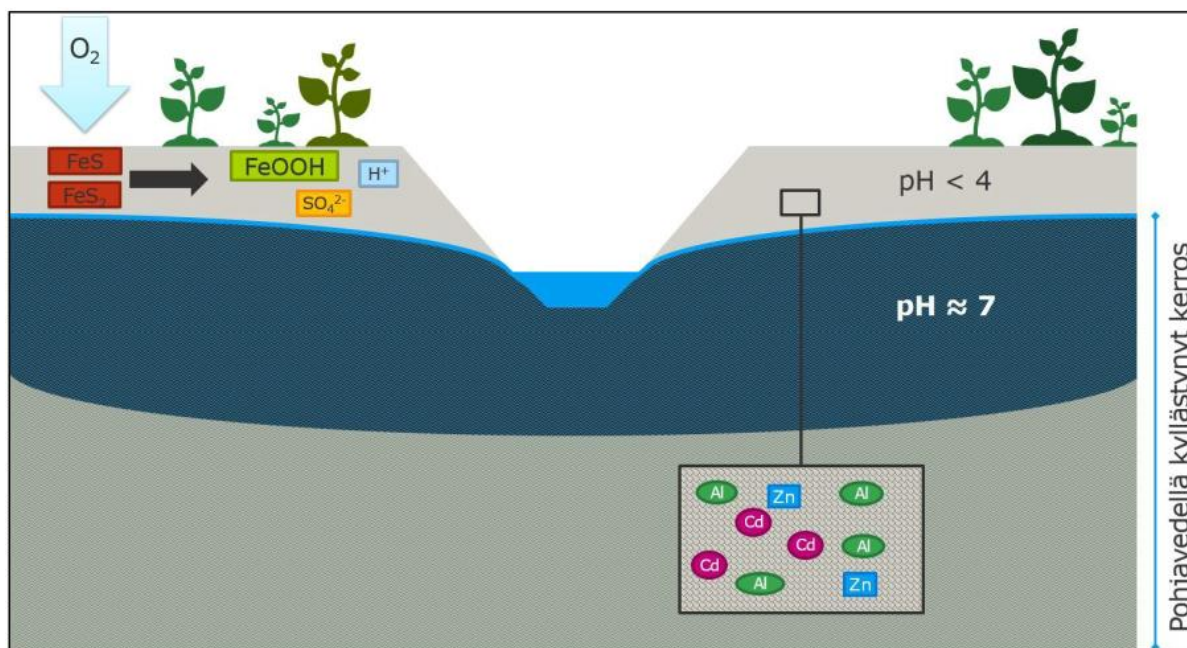
- pH < 4,0 maastossa suoraan näytteestä mitattuna hapettuneessa mineraalimaassa tai liejuissa (ei turpeessa) sulfidien hapettumisen seurauksena.
- mikäli savi-/silttinäytteen maastossa mitattu pH on 4,0 – 4,4 eikä alemmasta maakerroksesta ole tehty sulfidisavivahaintoja, jatkotutkimukset ovat tarpeen. 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 sulfidimaa (PHS)**

Potentiaalisella happamalla sulfidimaalla 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,  $S_{\text{tot}} \geq 0,2 \%$  (tai  $\geq 0,01\%$  karkeassa maalajissa)
- inkuboidun näytteen pH < 4,0 (vetyperoksidihapetettuna) 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 SULFAATTIMOIDEN 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

#### **Kokonaisriikki**

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 (jopa jo 0,01 m-%) voivat laskea pH:n hyvinkin matalaksi maaperän heikon puskurikyvyn vuoksi. Kokonaisriikki 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 8 – 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 määrittelyä ei suositella käytettäväksi ainoana menetelmänä sulfaattimaiden aiheuttaman happamoitumisriskin arvioinnissa.

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

**Taulukko 2-1. NAG-pH:n ja nettophosphonituoton avulla tehtävä hapontuottopotentiaalin arviointi.**

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

### **Maalajimäärittely**

Pelkän maalajin perusteella ei voida arvioida, onko maaperä hapanta sulfaattimaata vai ei. Maalajimäärittely 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 laboratorionkokeella.

### **Vesipitoisuus ja hehkutushäviö**

Hehkutushäviön avulla saadaan määritettyä näytteen sisältämän palavan aineksen osuus. Happamien sulfaattimaiden osalta hehkutushäviön 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 japaikallisten happikonsentraatioerojen seurauksena. Korroosionopeutta lisää sähköjohtavuus, jonka edellytyksiä ovat riittävä vesipitoisuus ja liukoisten ionien määrä.

Potentiaalinen hapan sulfidimaa (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 ( $H_2S$ ), 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.

Vesielistöille ja useimmille kalalajeille erityisen haitallisia vaikutuksia syntyy silloin, jos happamien 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**

Näytteenotto suoritettiin painokairaamalla 1.12.2020 (suunnittelualue A, kuva 1-1) ja 9.12.2020 (suunnittelualue B, kuva 1-2). Häiriintyneet näytteet otettiin 0,5 m välein 3 metriin saakka liitteen 1 mukaisista pohjatutkimusohjelman pisteistä 1, 5, 9, 12, 17, 19 suunnittelualueelta A ja pohjatutkimusohjelman pisteistä 20, 28, 30, 34-36 suunnittelualueelta B. Yhteensä näytteitä otettiin 36 kpl kummaltakin suunnittelualueelta eli yhteensä 72 kpl.

### **4. TULOKSET**

Tässä luvussa esitellään kenttähavaintojen ja laboratorioanalyysien perusteella tehtyjä päätelmiä happamien sulfidimaiden esiintyvyydestä suunnittelualueilla A ja B (Kuvat 1-1 ja 1-2). Tulokset on esitetty koostettuina taulukoissa 4-1 ja 4-2 sekä liitteessä 2.

Taulukko 4-1. Analyysitulokset Alue A Kaijonharju.

Kenttähavainnot						Laboratoriotulokset	
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH
P1	0-0,5	Hk	5,05	Ru	1	<0,05	
	0,5-1	Hk	5,3	Ru	1		
	1-1,5	Hk	5,05	Ru/Ha	3	<0,05	
	1,5-2	Hk	5,5	Ha	3	<0,05	4,6
	2-2,5	Hk	5,54	Ha	3		
	2,5-3	Hk	5,37	Ha	3	<0,05	5,1
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH
P5	0-0,5	Hk	5,9	Ru	1	<0,05	
	0,5-1	Hk	5,2	Ru	1		
	1-1,5	Hk	6,8	Ha	2	<0,05	5,1
	1,5-2	Hk	6,5	Ha	2	<0,05	
	2-2,5	Hk	6,7	Ha	3		
	2,5-3	Hk	6,76	Ha	3	<0,05	4,9
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH
P9	0-0,5	Hk	4,95	Ru	1	<0,05	
	0,5-1	Hk	5,66	Ru	1		
	1-1,5	Hk	5,73	Ru	1		
	1,5-2	Hk	6,03	Ru	2	<0,05	5,2
	2-2,5	Hk	6,27	Ru	2	<0,05	
	2,5-3	Hk	6,09	Ru/Ha	3	<0,05	5,0
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH
P12	0-0,5	Hk	4,6	Ru	1	<0,05	
	0,5-1	Hk	6,08	Ru	1		
	1-1,5	Hk	6,6	Ru	1		
	1,5-2	Hk	6,28	Ru	1	<0,05	
	2-2,5	Hk	6,4	Ru	2	<0,05	5,1
	2,5-3	Hk	5,61	Ru	3	<0,05	5,2
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH
P17	0-0,5	Hk	5,21	Ru	1		
	0,5-1	Hk	6,44	Ru	1	<0,05	
	1-1,5	Hk	6,19	Ru	1		
	1,5-2	Hk	6,3	Ru	1	<0,05	5,1
	2-2,5	Hk	6,84	Ru	1		
	2,5-3	Hk	6,79	Ru	1	<0,05	4,9
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH
P19	0-0,5	Hk	5,79	Ru	1		
	0,5-1	Hk	5,33	Ru	1		
	1-1,5	Hk	5,9	Ru	2	<0,05	
	1,5-2	Hk	5,37	Ha	2	<0,05	5,0
	2-2,5	Hk	6,86	Ha	3		
	2,5-3	Hk	6,74	Ha	3	<0,05	4,7

Taulukko 4-2. Analyysitulokset Alue B Knuutila, Maikkula, Heikkilänkangas.

Kenttähavainnot						Laboratoriotulokset		
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH	Nettohapon-tuotto (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tn)
P20	0-0,5	Hk	4,09	Ru	1	<0,05		
Knuutila	0,5-1	Hk	4,37	Ru	1			
	1-1,5	HkSi	5,75	Ha	1	<0,05		
	1,5-2	HkSi	6,15	Ha	3	<0,05	4,4	0,5
	2-2,5	HkSi	6,45	Ha	3			
	2,5-3	HkSi	6,2	Ha	3	<0,05	4,4	
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH	Nettohapon-tuotto (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tn)
P28	0-0,5	Hk	4,85	Ru	2			
Knuutila	0,5-1	HkSi	5,95	Ru/Ha	2	0,10	5,2	
	1-1,5	HkSi	6,82	Ha	3	0,07	3,5	2
	1,5-2	HkSi	6,58	Ha	3			
	2-2,5	Si	6,4	Ha	3	0,66	2,8	14,6
	2,5-3	Si	6,57	Ha	3			
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH	Nettohapon-tuotto (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tn)
P30	0-0,5	HkMr	4,89	Ru	2			
Maikkula	0,5-1	HkSi	5,68	Ru/Ha	2	<0,05		
	1-1,5	Si	5,78	Ha	3	<0,05	5,2	
	1,5-2	Si/Sa	6,5	Ha	3	<0,05		
	2-2,5	HkSi	6,49	Ha	3			
	2,5-3	HkSi	5,69	Ha	3	<0,05	4,9	
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH	Nettohapon-tuotto (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tn)
P34	0-0,5	Hk/Sa	5,07	Ru/Ha	2	<0,05		
H.kangas 13	0,5-1	HkSi	5,5	Ha	3	<0,05		
	1-1,5	Si	5,74	Ha	3	<0,05	5,0	
	1,5-2	HkSi	6,51	Ha	3	<0,05		
	2-2,5	HkSi	6,58	Ha	3			
	2,5-3	HkSi	6,89	Ha	3	<0,05	4,5	
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH	Nettohapon-tuotto (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tn)
P35	0-0,5	Hk	6,62	Ru	1			
H.kangas 14	0,5-1	HkSi	6,21	Ha	1			
	1-1,5	HkSi	6,18	Ha	2	<0,05	4,8	
	1,5-2	Hk	6,29	Ha	3	<0,05		
	2-2,5	Hk	6,56	Ha	3		3,3	2,2
	2,5-3	Hksi	6,44	Ha	3	0,26	3,1	4,6
Piste	Syvyys (m)	Maalaji	pH	Väri	Kosteus	Rikki (m-%)	NAG-pH	Nettohapon-tuotto (kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tn)
P36	0-0,5	Tur/Si	4,48	Ru	1			
H.kangas 14	0,5-1	Si	4,08	Ha	1	<0,05	3,9	2,8
	1-1,5	Si	6,28	Ha	3	<0,05		
	1,5-2	Si	6,13	Ha	3		3,2	2,6
	2-2,5	Sa	6,32	Ha	3			
	2,5-3	Sa	6,6	Ha	3	0,20	4,2	1,2

#### **4.1 MAALAJIT JA VESIPITOISUUS**

Kenttähavaintojen perusteella maaperä suunnittelualueella A on hiekkaa ja suunnittelualueella B pääosin hiekkaa tai hiekkaista silttiä. Jokaiselta suunnittelualueen B alueelta löytyi myös silttiä sekä Heikkilänkangas 14 alueelta (P36) pohjakerroksista savea.

Vesipitoisuus-analyyseihin, maastohavaintojen ja rakennettavuusselvityksen perusteella pohjavesi alkaa noin syvyydeltä 1...2 m suunnittelualueella A ja noin syvyydeltä 0...1 m suunnittelualueella B.

#### **4.2 pH-TASOT JA NETTOHAPONTUOTTO**

Kaikista tässä selvityksessä tutkituista näytteistä määritettiin maastossa pH-taso. Maastossa mitatut pH-tasot vaihtelivat suunnittelualueella A välillä 5,05...6,86 (pisteissä P12 ja 9 aivan pintakerroksessa 4,6...4,95). Suunnittelualueen B kenttä-pH vaihteli välillä 5,5...6,89 (pisteissä P20, 36, 28, 30 pintakerroksissa 4,09...4,89). Kenttä-pH:n perusteella selvitysalueista ei voida puhua todellisena happamana sulfaattimaana. Heikkilänkangas 14 alueella (P36) pintamaa oli turpeista silttiä; turve vaikuttaa maaperän happamuuteen.

Näytteistä osa valittiin NAG-pH määrittämiseen. NAG-pH määrittämiseen lähetetyistä näytteistä suunnittelualueella A ei havaittu yhdessäkään alle 4,5 pH:ta, mikä ei anna viitettä happamasta sulfaattimaasta. Suunnittelualueella A ei ollut tarpeellista määrittää nettohaponpitoisuutta.

Suunnittelualueella B jokaisessa pisteessä (paitsi P30 ja 34) todettiin NAG-pH määrittämässä 4,5 alittavia pH-lukemia, mutta ei yhdessäkään alle 2,5. Näytteistä osa valittiin nettohaponpitoisuusmäärittämiseen. Tason 5 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/tonni ylittävää nettohaponpitoisuutta todettiin vain Knuutilan (piste P28) pohjamaakerroksessa (14,6 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/tonni), mikä viittaa potentiaalisesti happoa tuottaviin maakerroksiin. Heikkilänkangas 14 alueella nettohaponpitoisuus melkein ylitti raja-arvon 5 (4,6 kg H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/tonni) pisteessä P35.

pH-tasojen ja nettohaponpitoisuuden perusteella potentiaalisia happamia maakerroksia on siten Knuutilassa sekä pienemmällä potentiaalilla Heikkilänkangas 14 alueella pohjamaakerroksissa.

#### **4.3 KOKONAISSULFIDIPITOISUUS**

Potentiaalisiksi happamiksi sulfidimaiksi luokiteltavista näytteistä kokonaisrikkipitoisuus on yli tyypillisesti 0,2 m-% kuiva-aineesta mineraalimaassa. Yhdessäkään suunnittelualueen A näytteessä ei havaittu tason 0,2 m-% ylittävää rikkipitoisuuksia.

Suunnittelualueen B pisteissä P30 ja 34 Maikkula ja Heikkilänkangas 13 ei myöskään todettu yli 0,2 m-% rikkipitoisuuksia. Suunnittelualueella B todettiin yli 0,2 m-% rikkipitoisuuksia pisteissä P28, 35 ja 36 Knuutilan (0,66 m-%) ja Heikkilänkangas 14 (0,20...0,26 m-%) alueilla pohjamaakerroksissa, mikä viittaa happoa tuottaviin maakerroksiin.

#### 4.4 PUSKURIKAPASITEETTI

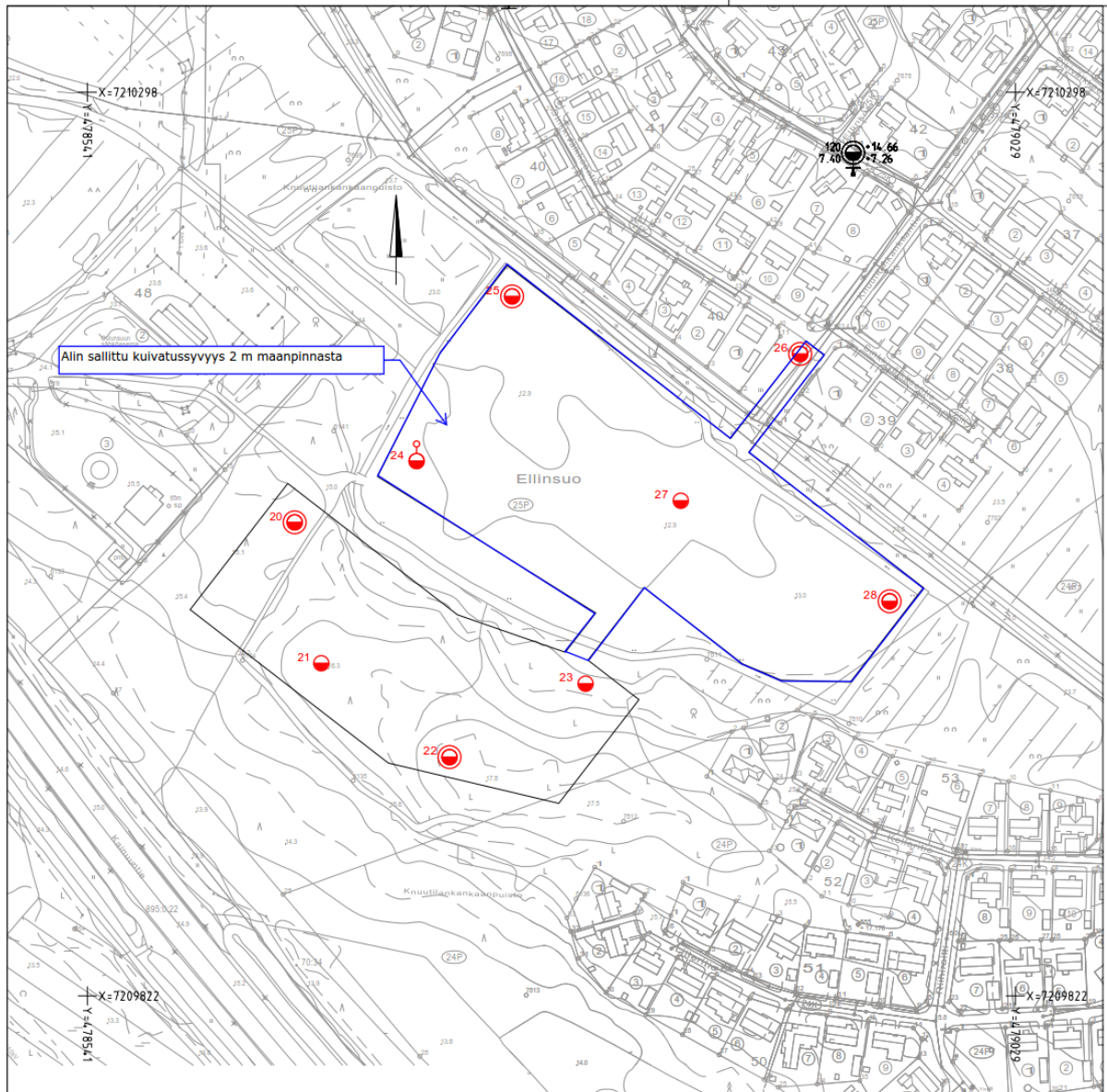
Osasta näytteistä määritettiin hehkutushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Hehkutushäviötä voidaan käyttää hienojakoisen maa-aineksen (savi, siltti) puskurikapasiteetin arvioimiseen (Pousette 2007). Mitä suurempi hehkutushäviö ja orgaanisen aineksen määrä, sitä 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. Tutkittujen näytteiden hehkutushäviöt vaihtelivat välillä 0,1...0,8 % suunnittelualueella A ja välillä 0,1...4,9 % suunnittelualueella B (korkeimmat lukemat pintakerroksissa), joten maaperän puskurikapasiteetti on matala joka alueella.

## 5. TULOSTEN YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Todellisia happamia sulfaattimaita (THS) ei esiintynyt millään alueella. **Potentiaalisia happamia sulfaattimaita (PHS) todettiin suunnittelualueella B Knuutilan pohjois-itäosassa (Kuva 5-1) ja Heikkilänkangas 14 alueella (Kuva 5-2), ja niillä on noudatettava tässä luvussa määritettyjä toimenpiteitä. Muilla alueilla ei ollut viitteitä happamista sulfidimaista.**

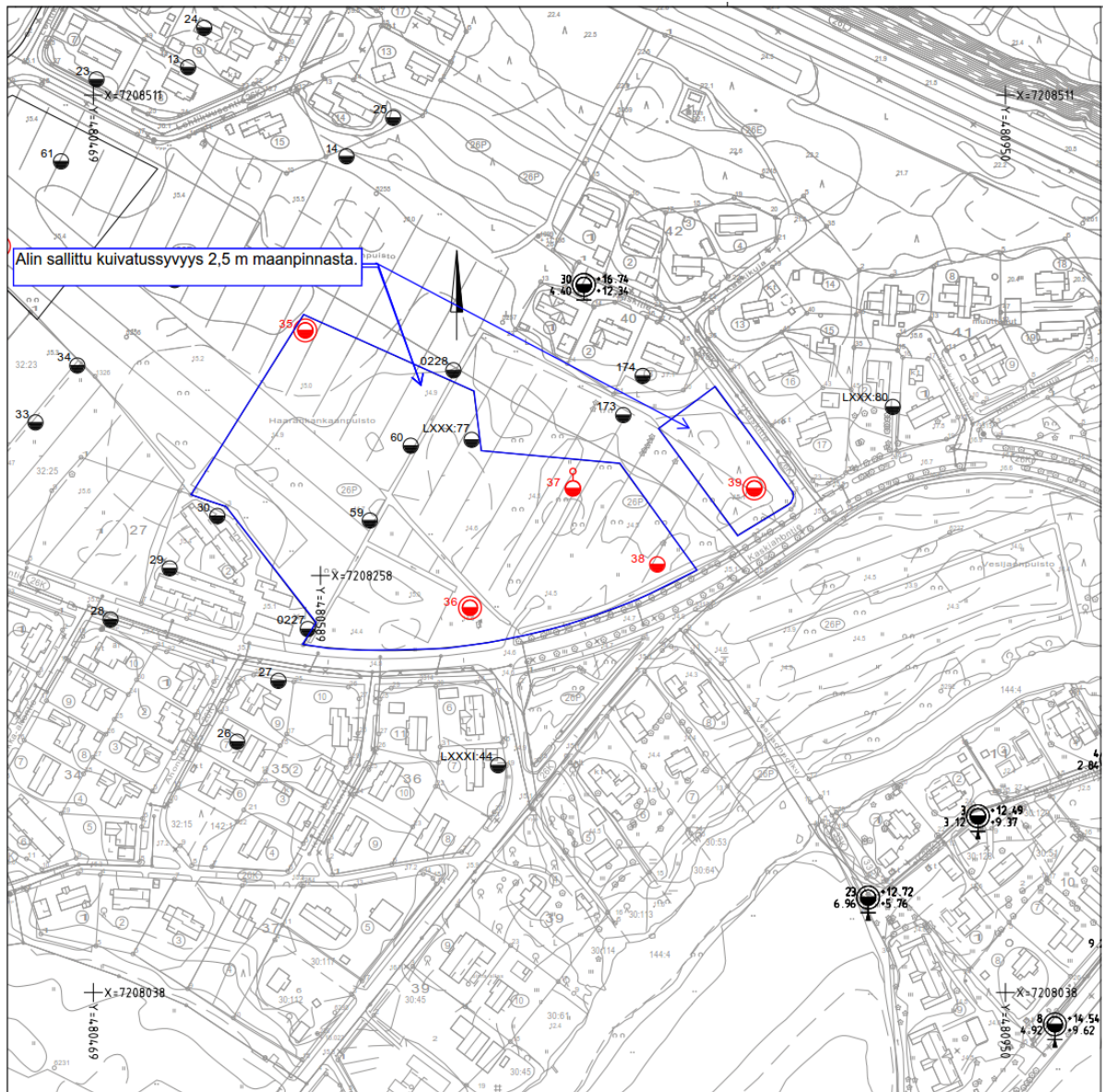
**Knuutilan pohjois-itäosassa potentiaalisesti happoa tuottavia sulfidimaakerroksia esiintyy syvyydellä 2...2,5 m (Kuva 5.1). Tällä alueella ei saa alentaa pohjavettä eikä ulottaa pysyviä kaivantoja yli 2 m syvyyteen ilman happamoittavien valumavesien muodostumisen vaaraa.** Tätä syvemmälle ulottuviin putkikaivantoihin tulee asentaa virtausesteet, kaivannot tulee täyttää mahdollisimman pian saman päivän aikana ja poiskaivettavat maamassat tulee stabiloida. Rakenteiden tulee olla haponkestäviä; esim PE-muovi tai haponkestävä HST-teräs. Myös mahdollisten betonirakenteiden tulee kestää happoja. Näitä toimenpiteitä on kuvattu tarkemmin luvussa 6. Kaikissa mahdollisissa pohjaveden alentamistoimissa ja kaivuutöissä tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn ennen niiden vesistöön johtamista luvun 7 mukaisesti. Tarpeen mukaan voidaan harkita myös pysyviä käsittelyratkaisuja, joita on esitelty samassa luvussa.





**Kuva 5-1. Knuutilan potentiaalisesti happoa tuottavien sulfidimaakerrosten esiintymisalue ja alin sallittu kuivatussyvyys.**

**Heikkilänkangas 14 alueella potentiaalisesti happoa tuottavia sulfidimaakerroksia esiintyy syvyydellä 2,5...3 m alhaisella hapontuottopotentiaalilla (Kuva 5-2). Alueella ei saa alentaa pohjavettä eikä ulottaa pysyviä kaivantoja siltti/savikerroksissa yli 2,5 m syvyyteen ilman happamoittavien valumavesien muodostumisen vaaraa. Tätä syvemmälle ulottuviin kaivantoihin ja rakenteisiin ja toimintatapoihin tulee noudattaa samoja menetelmiä kuin edellä Knuutilan osalta mainittu.**



Kuva 5-2. Heikkilänkangas 14 potentiaalisesti happoa tuottavien sulfidimaakerrosten esiintymisalue ja alin sallittu kuivatusyvyys.

**Knuutilan ja Heikkilänkankaan 14 alueilla on syytä varovaisuusperiaatteen mukaisesti tarkkailla rakennusaikaisia kaivumassoja, etenkin siltti-savikerroksia.** Jos rakennustöiden yhteydessä löytyy viitteitä happamista sulfaattimaista (kananmunan haju, musta väri) tulee kaivuutyöt keskeyttää ja tehdä rikkimääritykset kyseisistä kohteista, ja toteuttaa tarpeen mukaan lukujen 6 ja 7 mukaisia toimenpiteitä.

Muilla alueilla ei ole syytä erityistoimiin happamien maakerrosten esiintymistodennäköisyyden mukaan. Pohjaveden pinnan laskemista tulee silti välttää yleisesti suunnittelualueella B siltti/savi - esiintymien ja varovaisuusperiaatteen vuoksi. Tarvittaessa rakentamisaikaisia valumavesiä tulee tarkkailla, jos maankaivuun on yhteydessä viitteitä happaman valunnan muodostumisesta (mädäntyneen kananmunan haju, selkeästi musta maa-aines).

## 6. HAPPAMAN VALUNNAN EHKÄISYTOIMENPITEITÄ

Rakennustoiminta sulfidimaa-alueella voi aiheuttaa haittoja pohjavedenpinnan laskun seurauksena massanvaihtojen sekä muiden kaivuutöiden yhteydessä. Näitä toimintoja suunniteltaessa voidaan sulfidimaiden haitallista vaikutusta ehkäistä ja vähentää erityyppisillä toimenpiteillä, joita on kuvattu tässä kappaleessa.

Sulfidimaiden huomioiminen hankkeiden esiselvitysvaiheessa antaa mahdollisuuksia ohjata ajoissa rakentamistoimenpiteitä ympäristöä huomioivalla tavalla. Riskien tunnistamisen ja hallinnan ollessa suunnitelmallista, saavutetaan todennäköisimmin myös kustannustehokkaita ratkaisuja.

### 6.1 POHJAVEDEN PINNAN ALIN TASO

Rakentamisalueiden kuivatustasojen muutos on tyypillisimpiä rakentamisen aiheuttamia toimia sulfidimailla. Kuivatustason (eli pohjaveden pinnan alimman tason) alentaminen alueilla, joilla esiintyy happamia sulfidimaita aiheuttaa kuivatetun kerroksen hapettumista ja edelleen happamoitumista. pH:n lasku puolestaan aiheuttaa metallien merkittävää liukenemista ja huuhtoutumista vesistöön.

Ensisijainen toimenpide, jolla happamien vesien syntyä voidaan ehkäistä, on pohjavedenpinnan tason pitäminen potentiaalisen happaman maakerroksen yläpuolella.

### 6.2 ALUEEN TASAUKSEN SUUNNITTELU

Kuivatustasolla on merkitystä etenkin alueen korkeusmaailman suunnitteluun. Sulfidimaa-alueella väylien, altaiden ja ojien yms. pohjan tasot tulee määrittellä siten, että kaivutoimenpiteet ja kuivatuksen taso ovat esitettyjä alimpia kuivatustasoja ylempänä.

### 6.3 MASSANVAIHTO JA YLIJÄÄMÄMAIDEN KÄSITTELY

Rakentamista ajatellen yleisimmät sulfidipitoiset maalajit kuten savi ja siltti ovat liian heikkolaatuisia kantavuutensa puolesta useimmille rakennustoimenpiteille. Tämän vuoksi savi- ja silttimaat vaativat yleensä pohjanvahvistamista, joka voidaan toteuttaa mm. massanvaihtona. Sulfidipitoisten massojen kaivaminen aiheuttaa niiden hapettumisen ja rikkihapon muodostumisen, jos massat altistuvat tarpeeksi kauan hapelle. Kaivutoimenpiteet avaavat potentiaalisen sulfidimaan kerroksia alttiiksi hapettumiselle.

Riskinhallintakeinoja massankaivukohteissa ovat mm.:

- kaivantovesien mahdollinen käsittely ennen vesistöön ohjaamista
- kaivumassan esikäsittely ennen kaivua (stabilointi ja neutralointi) mikäli paljastuneet uudet leikkauspinnat jäävät hapellisiin olosuhteisiin
- työn vaiheistus, kaivannon sulkeminen ja koon mitoitus kohteeseen tarkoituksenmukaisella tavalla

Kaivanto, josta massat on nostettu ylös, tulee täyttää mahdollisimman nopeasti, ettei kaivannon reuna-alueilla mahdollisesti sijaitsevat sulfidipitoiset maamassat pääse hapettumaan. Aikataulun kireys on riippuvainen alapuolisen vesistön herkkyydestä ja sulfidisaven hapettumisen nopeudesta. Mitä isompi vesistö sitä suurempi sietokyky sillä on mahdollisille happamille pulseille. Pienemmät purot, joissa on pH-vaihteluita heikosti sietävää eliöstöä tai kasvillisuutta, tulee ottaa erityisesti huomioon kaivantovesien johtamista suunniteltaessa.

Ylijäämämassojen vastaanottoaikalla tulee olla valmiudet käsitellä massat asianmukaisesti, ettei vastaanottoalueelta tule happamia valuntoja. Rikkipitoiset, happoa muodostavat maa-ainekset ovat ympäristön kannalta aina turvallisinta sijoittaa syntypaikkaansa vastaaviin olosuhteisiin eli vallitsevan maanpinnan tason alapuolelle, ja jos mahdollista, vesipinnan alapuolelle, jotta rikin hapettuminen ja hapon muodostus olisi mahdollisimman vähäistä. Mikäli näin ei voida toimia, on massan neutralointi, hyötykäyttö esimerkiksi maisemarakenteina, erilaisina penkereinä tai maiseman muotoiluelementteinä ja peittäminen esimerkiksi moreenilla tai turpeella hyvä tapa ehkäistä happamien vesien muodostumista.

Mikäli alueiden rakentaminen sisältää paljon potentiaalisia massanvaihtokohteita, kannattaa sulfidimaa-alueella harkita myös massastabilointia pehmeikköjen rakennettavuuden parantamiseen. Stabilointi vähentää merkittävästi massanvaihdon tarvetta (turve, lieju, savi, siltti) ja vähentää hankkeen välillisiä kustannuksia sekä ympäristövaikutuksia. Hankkeen kokonaisuuteen kuuluvat massanvaihdot, massojen kuljetukset soveltuville läjitysalueille sekä rakenteisiin sopivien useimmiten neutraalisten materiaalien kuljetus kohteeseen ovat kuluja, joista saadaan säästöjä, jos alueen sisäistä massataloutta voidaan suunnitella normaalia pidemmällä aikajänteellä.

Massastabilointi tulee usein kustannustehokkaaksi menetelmäksi jo 5 000 m<sup>3</sup> stabilointikohteissa. Katurakenteiden pohjanvahvistuksena massastabilointi toimii joko sellaisenaan tai sitten massanvaihdon yhteydessä, jolloin poiskaivettavan massan happamoituminen ja sen aiheuttamat ympäristöriskit pienenevät. Myös stabiloidun massan kuljetus- ja läjitystyö on helpompaa.

#### **6.4 PUTKIKAIVANNOT**

Putkikaivannot suositellaan perustettavaksi sulfidipitoisten maiden yläpuolelle ja jäätyminen estetään routasuojauksilla, sekä tarvittaessa saattolämmityksillä. Mikäli putkikaivanto joudutaan ulottamaan sulfidikerrokseen asti, tulee kaivantoon asentaa virtausesteet sulfidialueen molempiin päihin. Virtausesteenä voidaan käyttää 500 mm moreeni- tai savikerrosta, joka ulottuu kaivannon pohjalta 0,5 m sulfidikerroksen yläpuolelle. Virtauskatkolla estetään veden virtaus kaivantoa pitkin ja happamien vesien purkautuminen kaivannon alueelta.

Putkilinjoja perustettaessa sulfidimaille tulee putkimateriaalina käyttää muovia (PE) ja kiinnitystarvikkeissa ja toimilaitteissa happamia olosuhteita kestäviä materiaaleja, esim. hapon kestävästä terästä (HST). Rakennussuunnittelussa tulee varmistaa käytettävien materiaalien soveltuvuus sulfidimaille.

## 6.5 MAANALAISET RAKENTEET JA PAALUTUS

Mikäli sulfidipitoisilla alueilla perusrakenteita kuten paalutuksia tulee sulfidimaakerroksiin, tulee huomioida maaperän potentiaalinen happamuus perustusmateriaaleja valittaessa. Lisäksi tulee huolehtia, ettei perusrakenteet mahdollista pohjaveden purkautumista hallitsemattomasti alueelta. Mikäli perustusalue kuivatetaan, tulee varautua erittäin happamiin olosuhteisiin materiaaleja valittaessa.

## 7. HAPPAMIEN KAIVANTOVESIEN HALLINTAKEINOJA

Selvitysalueilla ei rakentamisen yhteydessä todennäköisesti voida täysin välttyä kaivamiselta tai pohjavedenpinnan alentamiselta sulfidipitoisen kerroksen alapuolelle. Kaivannon kuivatuksesta tulevat valunnat tulee hallita asianmukaisesti, ettei happamat valunnat pääse vesistöön. Happoa muodostavien kaivumassojen käsittely on esitetty kohdassa 6.3. Tässä luvussa esitellään kaivantovesien käsittelymenetelmiä rakentamisen aikana sekä pysyväluontoisesti.

### 7.1 TYÖNAIKAISEN KAIVANNON KUIVATUS JA VÄLIAIKAISET KÄSITTELYRATKAISUT

Määritellyillä potentiaalisilla sulfidimaa-alueilla tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn, mikäli kuivatustaso ulottuu alimman sallitun kuivatustason alapuolelle. Työnaikainen kuivatus tapahtuu kaivannoista pumppaamalla, jolloin kontti- tai kaivomallinen suodatin on helposti toteutettavissa ja tarvittaessa siirrettävissä eri kohtaan tai toiselle työmaalle. Kaivon voidaan toteuttaa kalkkikivisuodatin, jossa tulovesi syötetään kaivon pohjalle, josta vesi leviää tasaisesti suodatinmateriaaliin. Vesi virtaa suodatinmateriaalin läpi ja neutraloituu reagoidessaan kalkkikiven kanssa. Vesi purkautuu suodattimen yläosasta ja se suositellaan johdettavaksi vielä laskeutusaltaan kautta ennen vesistöön purkua.

Suodattimen toiminnassa on huomioitava, että tulovirtaaman tulee olla riittävän suuri suodatinpinta-alan ja materiaalin suhteen, jotta suodatinmateriaali alkaa liikkua virtaavan veden mukana. Neutralointiprosessissa muodostuu kipsiä ja neutraloidusta vedestä voi saostua metalleja, jotka voivat peittää kalkkikiven. Kalkkikiven liikkeessa virtaaman voimasta saadaan mekaanisesti rikottua mahdolliset pintasaostumat, jotka estäisivät neutraloinnin tapahtumisen.

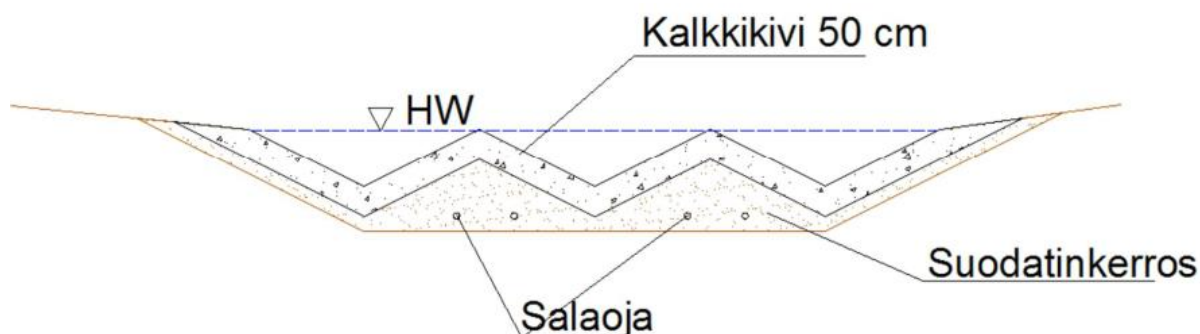
Lisäksi kalkkikivi tulee erottaa verkolla purkuputkista, jottei kalkkikivi pääse huuhtoutumaan purkuputkiin tai muilla keinoin estää hienoaineksen kulkeutuminen purkuveden mukana. Järjestelmään tulee liittää minimissään poistoveden pH seuranta, jolloin voidaan todeta neutraloinnin toimivan toivotulla tavalla. Kuivatusvesistä voidaan mitata pH:ta myös tulevasta vedestä ja ohjata vain happamat vedet käsittelyyn. Muut ei-happamat vedet voidaan johtaa suoraan vesistöön. Happamuuden raja-arvona voidaan pitää pH:ta 5,5. Mikäli valunnan pH on alle 5,5, tulee vedet neutraloida kalkkivisuodatuksella tai vastaavalla menetelmällä. Mikäli tuloveden pH on yli 5,5 voidaan valunta johtaa ilman neutralointikäsittelyä vesistöön.

## 7.2 PYSYVÄT KUIVATUSVESIEN KÄSITTELYRATKAISUT

Mikäli rakentaminen ja perustusten kuivatus tulee ulottumaan sulfidimaakerrokseen, tulee varautua pitkäaikaiseen kuivatusvesien käsittelyyn. Järjestelmän toteuttamisen kannalta on tärkeintä pitää happamat vedet erillään ns. neutraaleista vesistä ennen käsittelyä. Tällöin saadaan pidettyä neutralointilaitteen mitoitus kohtuullisena.

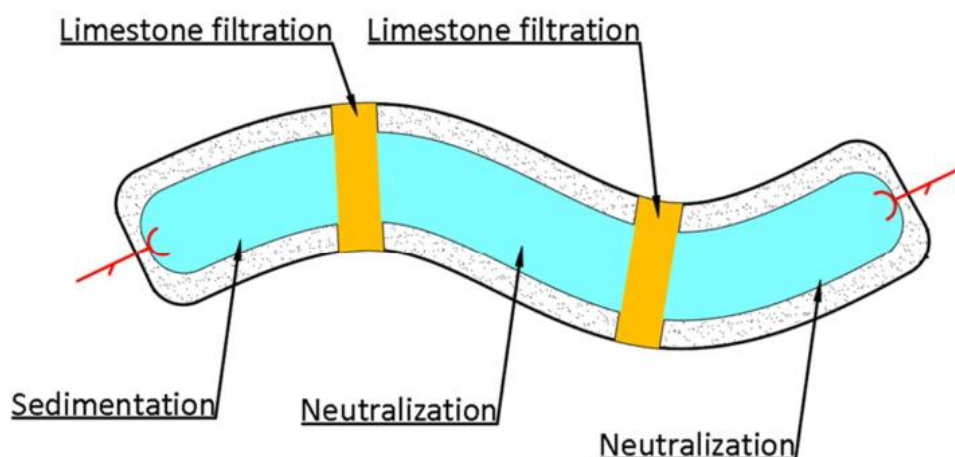
Pysyvissä kuivatuskohteissa voidaan käyttää vastaavaa kaivoratkaisua kuin työaikaisissakin järjestelyissä. Rakenteissa ja materiaalivalinnoissa tulee tällöin kiinnittää erityistä huomioita rakenteiden korroosion kestävyteen. Suosittelemme toimilaitteiden ja kiinnitystarvikkeiden materiaaliksi tällöin haponkestävää terästä (HST). Putki- ja kaivomateriaalit voidaan toteuttaa muovisina (PE).

Pysyvänä neutralointirakenteena voidaan toteuttaa maapohjainen suotopato kalkkikivirouheesta. Suotorakenteen periaatepiirros on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 7-1). Tällöin suotovedet ohjataan maanpäälliseen avoaltaaseen, josta vesi suotautuu kalkkikivimurskeen läpi ja kerätään murskeen alla olevassa salaojakerroksessa putkistoon, josta vesi johdetaan laskuojaan tms. vesistöön. Myös tässä rakenteessa tulee huomioida, että rakenteeseen johdetaan vain happamoitumisriskin alueilta tulevia vesiä ja muut pintavaluntana syntyvät neutraalit vedet johdetaan suodatinkentän ohi. Tällöin päästään käsittelemään pienempiä vesimääriä ja suuremman väkevyyden omaavaa vettä, jolloin neutralointiprosessi toimii tehokkaammin.



**Kuva 7-1. Periaatepiirros neutraloivan suodatinkentän rakenteesta.**

Kalkkisuotopato voidaan myös yhdistää laskeutusallasrakenteeseen, jolloin sedimentaatio saadaan keskitettyä helposti huollettaviin altaisiin, joiden yhteyteen asennettavat suotopadot neutraloivat hapanta valuntaa. Periaatekuva tällaisesta rakenteesta on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 7-2).



Kuva 7-2. Periaatepiirros laskeutusallas-suotopato -yhdistelmä rakenteesta.

Sulfidimaa sisältää määrätyn verran rikkihappoa tuottavaa rikkisulfaattia ja tästä voidaan laskennallisesti määrittää tarvittavan kalkkisuodatuksen koko ja kalkkimäärä. Tällöin pyrittäisiin toteuttamaan kalkkisuodatin kertatoimisena, jolloin suodatinrakenne pystyisi neutraloimaan kaiken kuivatusalueelta syntyvän valunnan ja tämän jälkeen alueelta ei tulisi enää happamia valuntoja. On kuitenkin mahdollista, että maaperän hapettuminen on hidasta ja suodatinkentän tekninen käyttöikä saavutetaan ennen kuin kaikki rikki on hapettunut rikkihapoksi maaperässä. Tällöin suodatinkenttä täytyy saneerata tarvittaessa. Suodatinkentän tekniseksi käyttöikäksi arvioidaan 5–10 vuotta.

## 8. LYHENTEET

<b>NAG</b>	Nettohapon 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 sulfidimaa (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



## 9. 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.
- Nieminen, T. M., Hölkkä, H., Ihalainen, A. & Finér, L., 2016. *Metsänhoito happamilla sulfaattimailla*, Helsinki: Luonnonvarakeskus.
- Pousette, K., 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, s.l.: Luleå tekniska universitet.
- Sutela, T. ym., 2012. *Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa*, Helsinki: Edita Prima Oy.

## LIITTEET

# NÄYTTEENOTTO-OHJE

Projekti	<b>KAIJONHARJUN KESKUS JA SIIHEN LIITTYVÄT ASEMAKAAVAT SEKÄ KNUUTILAN, MAIKKULAN JA HEIKKILÄNKANKAAN TÄYDENNSRAKENTAMINEN. RAKENNETTAVUUS- JA SULFIDISELVITYS</b>
Projekti nro	<b>1510056388</b>
Asiakas	<b>Oulun kaupunki, Saija Räinen</b>
Laatija	<b>Sanna Vienonen</b>
Tarkastaja	<b>Sari Suvanto</b>

## LITTEET

- 1 PTO 1 Kaijonharju alue 1a
- 2 PTO 1 Kaijonharju alue 1b
- 3 PTO 1 Maikkula alue 3
- 4 PTO 1 Maikkula alue 7a
- 5 PTO 1 Maikkula alue 13
- 6 PTO 1 Maikkula alue 14

Päivämäärä 15.5.2020

## 1 Tausta

Tässä työssä laaditaan Oulun kaupungissa sijaitsevan Kaijonharjun keskuksen sekä Knuutilan, Maikkulan ja Heikkilänkankaan asemakaavamuutosalueille sulfidimaaselvitys, jonka tuloksena esitetään ne alueet ja maakerrokset, joissa esiintyy happamia sulfaattimaakerroksia.

Ramboll  
Kiviharjunlenkki 1 A  
90220 OULU

P +358 20 755 611  
<https://fi.ramboll.com>

Sulfidimaaselvityksen avulla selvitetään, onko suunnittelualueen maaperä luokiteltavissa happamaksi sulfaattimaaksi. Hapen kanssa tekemiseen joutuessaan sulfidimaan sisältämät rikkiptoiset mineraalit hapettuvat ja muodostavat rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja. Sulfidimailla syntyvien valumavesien pH voi olla jopa alle 3. Happamilla valumavesillä on vaikutuksia sekä vesistöön ja infra-rakenteisiin. Ne mm. edistävät vesistön sisäistä kuormitusta ja vaikuttavat vesistön eliöstöön haitallisesti.

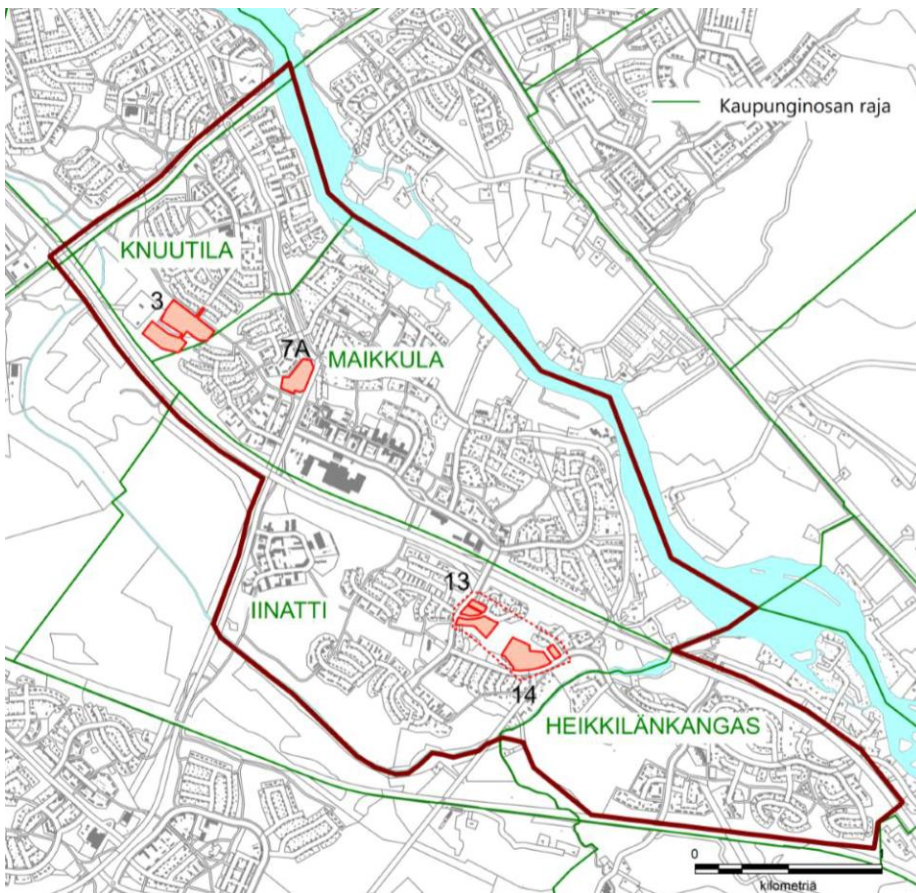
Sulfidimaaselvitys sisältää näytteiden kenttä- ja laboratoriotutkimukset. Työn aluksi on laadittu sulfidimaiden tutkimiseksi tämä tutkimusohjelma, jonka perusteella näytteenotto suoritetaan samassa yhteydessä rakennettavuus selvitystä varten toteutettavien pohjatutkimusten kanssa. Työssä tehdään tiivistä yhteistyötä laboratorion kanssa, jotta pystytään valitsemaan tutkimuksiin vain oleelliset näytteet. Kaikkia otettuja näytteitä ei ole tarkoitus tutkia, vaan valitaan oleellisimmat näytteet, joilla saavutetaan riittävä tarkkuus tulosten tulkinnan pohjaksi. Tällä menetelmällä saavutetaan kustannussäästöjä.

Tarkasteltavat alueet:

- Alue 1
  - a: Kaijonharjun keskus (kuva 1)
  - b: Kaijonlahdentie-Alakyläntie (kuva 1)
- Alue 2
  - a: Knuutila (kuva 2, alue nro 3)
  - b: Maikkula (kuva 2, alue nro 7a)
  - c: Heikkilänkangas (kuva 2, alueet nro 13 ja 14)



Kuva 1. Suunnittelualue 1. Kaijoharjun keskus (1a) ja Kaijolahdentie-Alakyläntie (1b).



Kuva 2. Suunnittelualue 2. Knuutilan, Maikkulan ja Heikkilänkankaan alueet.

## 2 Näytteenotto

Sulfiditutkimuspisteitä alueella 1 ja 2 on kummallakin 6 kpl. Näytepisteiden tunnuksot ja koordinaatit on esitetty taulukossa 1 ja sijainnit kartalla liitteissä 1-6. Näytteet otetaan samoista pisteistä kuin osa pohjatutkimuksista. Näytteenottosyvyyttä jatketaan kussakin tutkimuspisteessä 3 metrin syvyydelle maanpinnasta (vrt. pohjatutkimusten näytteenottosyvyys 2,5 m). Osanäytteet otetaan häiriintyneinä, painokairaamalla 0,5 m välein tavoitenäytteenottosyvyyteen 3 m saakka; näytteitä otetaan 36 kpl kummaltakin alueelta eli yhteensä 72 kpl.

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.

Näytteet suljetaan ilmatiiviiseen pussiin, josta ilma puristetaan pois. Jokaiseen näytepussiin tulee kirjata mistä tutkimuspisteestä on kyse ja miltä syvyydeltä näyte on otettu.

Näytteet toimitetaan kylmässä säilyttäen mahdollisimman nopeasti Rambollin maaperälaboratorioon Luopioisiin analysoitavaksi. Luopioisten laboratorioista osa sulfidinäytteistä lähetetään edelleen rikkipitoisuusmäärittäisiin.

**Ramboll Finland Oy**  
**Vohlisaarentie 2B**  
**36760 Luopioinen**

Maastotöiden yhteydessä näytteistä kirjataan ylös aistinvaraiset havainnot (maalaji, haju, väri, kosteus). Mahdolliset havainnot pohjavedenpinnan tasosta kirjataan tarkoin ylös. Jokaisesta näytteestä tehdään kenttämittarilla pH-määrittys.

Kustakin tutkimuspisteestä ja niiden lähiympäristöstä, sekä osanäytteistä kairassa otetaan riittävä määrä valokuvia, joista on tunnistettavissa, mistä tutkimuspisteestä/osanäytteestä on kyse.



Taulukko 1. Sulfidinäytepisteiden koordinaatit. Käytettävä koordinaattijärjestelmä on ETRS-GK26 -koordinaattijärjestelmä ja N2000-korkeusjärjestelmä.

Näytepiste	Koordinaatit	
	X-koordinaatti	Y-koordinaatti
<b>ALUE 1 Kaijonharju</b>		
1	7218411.99	475318.06
5	7218267.78	475693.39
9	7218074.69	475306.88
12	7217924.19	475555.76
17	7217686.61	475293.58
19	7218160.89	476299.59
<b>ALUE 2 Knuutila, Maikkula, Heikkilänkangas</b>		
20	7210071.65	478649.70
28	7210030.07	478963.00
30	7209769.46	479451.12
34	7208431.60	480419.14
35	7208387.23	480580.82
36	7208240.98	480667.71

Projektin nimi		Projektin numero												
Kaijonharju		1510056030-002												
Näytepiste / pvm	Syvyys [ m ]	Silmämääräinen arvio		Määritetty	NAG-pH	inkubointi pH	Nettohapon-tuotanto [kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tonni]	S <sub>lot</sub> [mg/kg ka]	w [ % ]	H <sub>h</sub> 550 °C [ % ]	Rakeisuusmääritys			Muu tutkimus
		Maalaji*	Muut havainnot	Maalaji **							Pesuseul.	Kuivaseul.	Areom.	
P1 / 1.12.2020	0-0,5		Punaruskea hiekka					<500	8,3	0,8				
	1-1,5							<500	22,2	0,2				
	1,5-2,0				4,6			<500	22,6	0,2				
	2,5-3,0				5,1			<500	22,7	0,2				
P5 / 1.12.2020	0-0,5							<500	6,0	1,0				
	1-1,5				5,1			<500	8,2	0,2				
	1,5-2							<500	21,3	0,2				
	2,5-3,0				4,9			<500	22,7	0,1				
P9 / 1.12.2020	0-0,5		Punaruskea hiekka					<500	7,6	1,7				
	1,5-2				5,2			<500	19,0	0,2				
	2-2,5							<500	20,3	0,1				
	2,5-3		Harmaata kosteutta		5,0			<500	19,8	0,2				
P12 / 1.12.2020	0-0,5							<500	4,7	0,7				
	1,5-2							<500	4,1	0,2				
	2-2,5				5,1			<500	10,7	0,2				
	2,5-3		Ruosteen väriä		5,2			<500	19,1	0,2				
P17 / 1.12.2020	0,5-1,0		Tummia laikkuja					<500	4,6	0,6				
	1,5-2,0				5,1			<500	4,5	0,2				
	2,5-3,0				4,9			<500	13,0	0,2				
P19 / 1.12.2020	0,5-1								10,9					
	0,5-1 (1-1,5)				5,0			<500	17,7	0,3				
	1,5-2,0							<500	20,3	0,4				
	2,5-3,0				4,7			<500	20,7	0,3				

Huom! P19 toimitettu kaksi näytettä syvyysermällä 0,5-1 m, mutta 1-1,5m näyte puuttui. Molemmista määritettiin vesipitoisuus ja kosteampi näyte valittiin näytteeksi P19 1-1,5m.

Näytteistä vuotanut vettä kuljetuksen aikana.

* 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 sulussa).	 Emmi Ilonen/Terhi Aittokumpu	 Tuomas Suikkanen	23.12.2020
	Tutkija	Tark.	Pvm

Testit on suoritettu seuraavien standardien tai ohjeiden mukaisesti:	
Vesipitoisuuden määrittäminen	SFS-EN ISO 17892-1:2014
Hehkutushäviön määrittäminen	SFS-EN 1997-2 5.6
Pesu- ja kuivaseulonta	SFS-EN ISO 17892-4:2016
Areometrikoe	SFS-EN ISO 17892-4:2016
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



Tutkimustodistus AR-20-RZ-051673-01

Sivu 1/3

Päivämäärä 17.12.2020

Näyte saapui 11.12.2020

Tutkimusno EUAA56-00067109

Asiakasno RZ0000799

Näytteenottaja Asiakas

Asiakkaan viite 1510056030-002

Ramboll Finland Oy

Tuomas Suikkanen

Itsehallintokuja 3

02600 Espoo

FINLAND

s-posti: tuomas.suikkanen@ramboll.fi

Tutkimuksen yhteyshenkilö Salla Partio

## Kaijonharju

Näyttenumero	750-2020-00090145	750-2020-00090146	750-2020-00090147	750-2020-00090148	750-2020-00090149	
<b>Näytteen nimi</b>	P1 0-0,5m	P1 1-1,5m	P1 1,5-2m	P1 2,5-3m	P5 0-0,5m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	93	82	82	83	94
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	<500	<500
Näyttenumero	750-2020-00090150	750-2020-00090151	750-2020-00090152	750-2020-00090153	750-2020-00090154	
<b>Näytteen nimi</b>	P5 1-1,5m	P5 1,5-2m	P5 2,5-3m	P9 0-0,5m	P9 1,5-2m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	93	83	82	92	85
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	<500	<500
Näyttenumero	750-2020-00090155	750-2020-00090156	750-2020-00090157	750-2020-00090158	750-2020-00090159	
<b>Näytteen nimi</b>	P9 2-2,5m	P9 2,5-3m	P12 0-0,5m	P12 1,5-2m	P12 2-2,5m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	84	84	96	96	91
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	<500	<500
Näyttenumero	750-2020-00090160	750-2020-00090161	750-2020-00090162	750-2020-00090163	750-2020-00090164	
<b>Näytteen nimi</b>	P12 2,5-3m	P17 0,5-1m	P17 1,5-2m	P17 2,5-3m	P19 1-1,5m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	01.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	85	96	96	89	86
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	<500	<500





Tutkimustodistus AR-20-RZ-051673-01

Sivu 2/3

Päivämäärä 17.12.2020

Näyte saapui 11.12.2020

Näyttenumero 750-2020-00090165 750-2020-00090166

Näytteen nimi P19 1,5-2m P19 2,5-3m

Näytteen kuvaus MAAPERÄ MAAPERÄ

Näytteenottoaika 01.12.2020 01.12.2020

**Kuiva-aine**

Kuiva-ainepitoisuus RZDRY % 85 84

**Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS**

Mikroaaltohajotus RZE18 Tehty Tehty

kuningasvesi

Rikki (S) RZ0W5 mg/kg ka &lt;500 &lt;500

**Menetelmätiedot**

Testikoodi	Parametrin nimi, CAS	Menetelmän mittausepävarmuus	Menetelmän määrittäjä	Akkreditoitu	Menetelmä	Laboratorio
<b>Kuiva-aine</b>						
RZDRY	Kuiva-ainepitoisuus	5%(<30%) 1,5%(>30%)	3	Kyllä	SFS 3008; SFS-ISO 11465; SFS-EN 15934	RZ T039
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
RZE18	Mikroaaltohajotus kuningasvesi			Ei	SFS-EN 16174	RZ
RZ0W5	Rikki (S), 63705-05-5	25%	500	Ei	SFS-EN 16171	RZ

**Laboratorio**

RZ	Eurofins Environment Testing Finland (Lahti)	(Ei akkreditoitu)
RZ T039	Eurofins Environment Testing Finland (Lahti)	FINAS akkr. num. SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T039

**Jakelu** : sanna.vienonen@ramboll.fi, sari.suvanto@ramboll.fi, terhi.aittokumpu@ramboll.fi

**ALLEKIRJOITUS**

Salla Partio +358 44 742 1564  
Research Chemist SallaPartio@eurofins.fi

Tutkimustodistus on sähköisesti hyväksytty.

**Huomautukset**

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain vastaanotettua ja tutkittua näytettä. Mahdollinen lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin.

Projektin nimi				Projektin numero										
Maikkula, linatti, Heikkilänkangas				1510056030-004										
Näytepiste / pvm	Syvyys [ m ]	Silmämääräinen arvio		Määritetty	NAG-pH	inkubointi pH	Nettohapon-tuotanto [kg H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> /tonni]	S <sub>tot</sub> [mg/kg ka]	w [ % ]	H <sub>h</sub> 550 °C [ % ]	Rakeisuusmääritys			Muu tutkimus
		Maalaji*	Muut havainnot	Maalaji **							Pesuseul.	Kuivaseul.	Areom.	
P20 / 9.12.2020	0-0,5		vesi erottunut, ruosteen väriä ja tummia kohtia					<500	20,6	1,4				
	1-1,5		ruosteen väriä, hiekkaa seassa					<500	13,6	0,6				
	1,5-2				4,4		0,5	<500	12,7	0,2				
	2-2,5		vesi erottunut, ruosteen väriä											
	2,5-3		vesi erottunut		4,4			<500	12,9	0,1				
P28 / 9.12.2020	0,5-1		ruosteen väriä, tummia kohtia		5,2			1000	54,8	4,4				
	1-1,5		paikoin vähän rusehtava		3,5		2,0	730	20,1	0,3				
	2-2,5		ruosteen väriä		2,8		14,6	6600	39,4	2,1				
P30 / 9.12.2020	0,5-1		ruosteen väriä					<500	37,2	2,4				
	1-1,5		ruosteen väriä		5,2			<500	47,4	2,5				
	1,5-2		ruosteen väriä					<500	41,3	2,0				
	2,5-3		kasvin osia		4,9			<500	40,8	1,6				
P34 / 9.12.2020	0-0,5		ruosteen väriä					<500	39,9	4,8				
	0,5-1		tilien tms. pala, ruosteen väriä					<500	20,8	0,5				
	1-1,5		ruosteen väriä, kovaa seassa (kiviä?)		5,0			<500	41,3	1,9				
	1,5-2		vesi erottunut, ruosteen väriä					<500	21,2	0,7				
	2,5-3		ruosteen väriä		4,5			<500	18,4	1,1				
P35 / 9.12.2020	1-1,5		tummaa seassa (multa?), kasvin osia		4,8			<500	30,4	4,9				
	1,5-2		ruosteen väriä					<500	16,6	0,4				
	2-2,5				3,3		2,2							
	2,5-3		haaleaa ruosteen väriä, vesi erottunut		3,1		4,6	2600	25,5	0,7				
P36 / 9.12.2020	0,5-1		ruosteen väriä		3,9		2,8	<500	43,2	2,6				
	1-1,5		ruosteen väriä					<500	19,0	0,8				
	1,5-2				3,2		2,6							
	2,5-3		ruosteen väriä		4,2		1,2	2000	54,6	2,1				

\* Silmämääräisessä maalajimäärityksessä on käytetty GEO-luokitusta.

\*\* Rakeisuuden perusteella tehdyn maalajimäärityksen yhteydessä on esitetty sekä ISO- että GEO-luokituksen mukaiset tulokset (GEO-luokitus sulussa).

Ramboll Finland Oy, Luopioinen

Emmi Ilonen/Terhi Aittokumpu

Tutkija

Tuomas Suikkanen

Tark.

8.1.2021

Pvm

Testit on suoritettu seuraavien standardien tai ohjeiden mukaisesti:	
Vesipitoisuuden määrittäminen	SFS-EN ISO 17892-1:2014
Hehkutushävinnän määrittäminen	SFS-EN 1997-2 5.6
Pesu- ja kuivaseulonta	SFS-EN ISO 17892-4:2016
Areometrikoe	SFS-EN ISO 17892-4:2016
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



Tutkimustodistus AR-20-RZ-052388-01

Sivu 1/3

Päivämäärä 23.12.2020

Näyte saapui 15.12.2020

Tutkimusno EUAA56-00067321

Asiakasno RZ0000799

Näytteenottaja Asiakas

Asiakkaan viite 1510056030-004

Ramboll Finland Oy

Tuomas Suikkanen

Itsehallintokuja 3

02600 Espoo

FINLAND

s-posti: tuomas.suikkanen@ramboll.fi

Tutkimuksen yhteyshenkilö Salla Partio

## Maikkula, linatti, Heikkilänkangas

Näyttenumero	750-2020-00090802	750-2020-00090803	750-2020-00090804	750-2020-00090805	750-2020-00090806	
<b>Näytteen nimi</b>	P20, 1. 0-0,5 m	P20, 2. 1-1,5 m	P20, 3. 1,5-2 m	P20, 4. 2,5-3 m	P28, 5. 0,5-1 m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	83	88	89	89	65
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	<500	1000
Näyttenumero	750-2020-00090807	750-2020-00090808	750-2020-00090809	750-2020-00090810	750-2020-00090811	
<b>Näytteen nimi</b>	P28, 6. 1-1,5 m	P28, 7. 2-2,5 m	P30, 8. 0,5-1 m	P30, 9. 1-1,5 m	P30, 10. 1,5-2 m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	84	72	73	68	71
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	730	6600	<500	<500	<500
Näyttenumero	750-2020-00090812	750-2020-00090813	750-2020-00090814	750-2020-00090815	750-2020-00090816	
<b>Näytteen nimi</b>	P30, 11. 2,5-3 m	P34, 12. 0-0,5 m	P34, 13. 0,5-1 m	P34, 14. 1-1,5 m	P34, 15. 1,5-2 m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	71	72	83	71	82
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	<500	<500
Näyttenumero	750-2020-00090817	750-2020-00090818	750-2020-00090819	750-2020-00090820	750-2020-00090821	
<b>Näytteen nimi</b>	P34, 16. 2,5-3 m	P35, 17. 1-1,5 m	P35, 18. 1,5-2 m	P35, 19. 2,5-3 m	P36, 20. 0,5-1 m	
<b>Näytteen kuvaus</b>	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	MAAPERÄ	
<b>Näytteenottoaika</b>	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	09.12.2020	
<b>Kuiva-aine</b>						
Kuiva-ainepitoisuus	RZDRY %	85	76	86	80	70
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
Mikroaaltohajotus	RZE18	Tehty	Tehty	Tehty	Tehty	
kuningasvesi						
Rikki (S)	RZ0W5 mg/kg ka	<500	<500	<500	2600	<500



Tutkimustodistus AR-20-RZ-052388-01

Sivu 2/3

Päivämäärä 23.12.2020

Näyte saapui 15.12.2020

Näyttenumero 750-2020-00090822 750-2020-00090823

Näytteen nimi P36, 21. 1-1,5 m P36, 22. 2,5-3 m

Näytteen kuvaus MAAPERÄ MAAPERÄ

Näytteenottoaika 09.12.2020 09.12.2020

**Kuiva-aine**

Kuiva-ainepitoisuus RZDRY % 85 65

**Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS**

Mikroaaltohajotus RZE18 Tehty Tehty

kuningasvesi

Rikki (S) RZ0W5 mg/kg ka &lt;500 2000


**Menetelmätiedot**

Testikoodi	Parametrin nimi, CAS	Menetelmän mittausepävarmuus	Menetelmän määrittäjä	Akkreditoitu	Menetelmä	Laboratorio
<b>Kuiva-aine</b>						
RZDRY	Kuiva-ainepitoisuus	5%(<30%) 1,5%(>30%)	3	Kyllä	SFS 3008; SFS-ISO 11465; SFS-EN 15934	RZ T039
<b>Alkuaineet, kiinteä matriisi, pitoisuus kuiva-ainetta kohti, ICP-MS</b>						
RZE18	Mikroaaltohojotus kuningasvesi			Ei	SFS-EN 16174	RZ
RZ0W5	Rikki (S), 63705-05-5	25%	500	Ei	SFS-EN 16171	RZ

**Laboratorio**

RZ	Eurofins Environment Testing Finland (Lahti)	(Ei akkreditoitu)
RZ T039	Eurofins Environment Testing Finland (Lahti)	FINAS akkr. num. SFS-EN ISO/IEC 17025:2017 FINAS T039

**Jakelu :** sanna.vienonen@ramboll.fi, sari.suvanto@ramboll.fi, terhi.aittokumpu@ramboll.fi

**ALLEKIRJOITUS**


Noora Nurminen +358 445433186  
 Analyysipalvelupäällikkö NooraNurminen@eurofins.fi

Tutkimustodistus on sähköisesti hyväksytty.

**Huomautukset**

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain vastaanotettua ja tutkittua näytettä. Mahdollinen lausunto ei kuulu akkreditoinnin piiriin.