

# Luola-aapa

186–1056

---

Happamien sulfaattimaiden selvitys  
2.9.2024

**Raporttiluonnos**

## SISÄLLYSLUETTELO

<b>1</b>	<b>JOHDANTO.....</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>HAPPAMAT SULFAATTIMAAT .....</b>	<b>2</b>
2.1	Taustaa.....	2
2.2	Sulfaattimaiden luokittelu.....	2
2.3	Sulfaattimaiden tunnistaminen.....	3
2.3.1	Kenttähavainnot .....	3
2.3.2	Laboratoriotutkimukset .....	3
2.4	Sulfaattimaiden vaikutukset.....	4
<b>3</b>	<b>KOHTEEN KUVAUS .....</b>	<b>5</b>
3.1	Sijainti ja laajuus .....	5
<b>4</b>	<b>ALUEEN MAAPERÄOLOSUHTEET.....</b>	<b>7</b>
4.1	Pinta- ja pohjasuhteet.....	7
4.2	Vesiolosuhteet .....	8
<b>5</b>	<b>TUTKIMUKSET .....</b>	<b>9</b>
5.1	Näytteenotto.....	9
5.2	Tulokset.....	9
<b>6</b>	<b>Toimenpidesuosituksset .....</b>	<b>9</b>
6.1	Pohjaveden pinnan taso .....	9
6.2	Alueen tasaus .....	10
6.3	Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely.....	10
6.4	Stabilointi .....	11
6.5	Neutralointi.....	11
6.6	Maastonmuotoilu.....	11
<b>7</b>	<b>Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet.....</b>	<b>12</b>
<b>8</b>	<b>Lähdeluettelo .....</b>	<b>13</b>

## LIITTEET:

1. Tutkimuspisteiden sijainnit
2. Kooste kenttähavainnoista

# Happamien sulfaattimaiden selvitys

## 1 JOHDANTO

Työn lähtökohtana oli selvittää, esiintyykö Luola S SPC Oy:n Luola-aavan aurinkovoimahankkeen alueella todellisia tai potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Sulfidimaaselvitystä varten näytteitä otettiin yhteensä neljästätoista (14) pisteestä tutkimusohjelman mukaisesti.

Selvitysalue sijaitsee Pohjois-Pohjanmaalla noin 22 kilometriä Kuivaniemen kylästä koilliseen ja noin yhden kilometrin päässä Simon kunnasta. Selvitysalueen eteläpuolella noin 2 kilometrin päässä virtaa Kuivajoki.

Rakentamistoimet happamilla tai potentiaalisesti happamilla sulfaattimaa-alueilla voivat aiheuttaa maaperän happamoitumista ja happaman valunnan muodostumista, jonka vuoksi sulfaattimaat tulee huomioida alueiden rakentamista ja toteuttamista suunniteltaessa.

## 2 HAPPAMAT SULFAATTIMAAT

### 2.1 Taustaa

Happamat sulfaattimaat ovat maaperässä luonnollisesti esiintyviä rikkiä sisältäviä sedimenttejä, jotka ovat muodostuneet viimeisimmän jääkauden jälkeen. Sulfidisedimentit ovat kerrostuneet Itämeren Litorina-merivaiheessa, hapettomissa olosuhteissa, jolloin meriveden sulfaatti on pelkistynyt mikrobitoiminnan seurauksena sulfideiksi sedimentteihin. Maankohoamisen seurauksena pelkistyneitä sulfidisia esiintyy nykyään Suomen rannikkoalueilla. Litorina-meri on ulottunut noin 8 000 vuotta sitten ylimmillään Perämeren seudulla yli 100 metrin, Pohjanmaalla hieman alle 100 metrin ja Etelä-Suomessa noin 50 metrin korkeudelle nykyisen merenpinnan yläpuolelle.

Sulfidisavet tuottavat hapettuessaan rikkihappoa, joka alentaa maan pH:ta ja liottaa haitallisia metalleja (esim. Al, Cd, Co, Cu, Ni, Zn, U) maaperästä. Liukoiset metallit voivat happamana pintavaluntana aiheuttaa ympäristöriskejä, esim. kalakuolemia vesistöissä. Maaperän happamoitumiseen vaikuttavat sekä luonnolliset tekijät että ihmistoiminta (pohjavedenpinnan alentaminen). Happamien sulfaattimaiden esiintyminen alueella tulisi ottaa huomioon rakentamisessa sekä korroosio-ominaisuuksien että ympäristövaikutusten takia.

Sulfidisedimentit ovat yleensä pääasiassa liejuista silttiä tai savea ja esiintyvät rannikkoseudun alavilla mailla. Väriältään ne ovat usein mustia tai tumman harmaita. 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.

Luola-aavan alueella on GTK:n karttapalvelussa (Happamat sulfaattimaat, <https://gtkdata.gtk.fi/Hasu/>) merkintä sulfidisavista kahdessa näytepisteessä. Näytepisteen tulosten perusteella ko. kohta on luokiteltu sulfidisaveksi.

### 2.2 Sulfaattimaiden luokittelu

Sulfaattimaakerroksien pinnalla esiintyy usein vaihtelevan paksuisina kerroksia multamaata, turvetta tai esimerkiksi karkeaa silttiä tai hiekkaa. Hapettumattomat rikkiä sisältävät kerrostumat esiintyvät keskimäärin 1–2 metrin syvyydellä maanpinnasta ja niiden paksuus vaihtelee alle puolesta metrillä useisiin metreihin (Geologian tutkimuskeskus, 2013).

Sulfaattimaissa voi olla sekä hapettunut maakerros (todellinen hapan sulfaattimaa) että hapettumaton sulfidirikkipitoinen maakerros (potentiaalinen hapan sulfaattimaa) tai vain toinen näistä (Edén ym., 2012). Hapettunut maakerros syntyy potentiaalisesti happaman sulfaattimaan joutessa kosketuksiin ilmakehän hapen kanssa, jolloin sulfidit alkavat hapettua ja todellinen hapan sulfaattimaa syntyy.

### **Todellinen hapan sulfaattimaa**

Todellisessa happamassa sulfaattimaassa (THS) pH on maastossa suoraan näytteestä mitattuna alle 4,0 sulfidien hapettumisen seurauksena silloin, kun kyseessä on hapettunut mineraalimaa tai lieju (ei turve). Jos pH on 4,0–4,4 eikä ole selvää havaintoa sulfidien läsnäolosta, täytyy asiaa selvittää lisämäärytyksillä (inkubaatio tai rikkipitoisuus) (Edén ym., 2012).

Väriältään todellinen hapan sulfaattimaa on yleensä (ruskean) harmaata savea ja silttiä, yleensä se on myös liejupitoista. Maa saattaa sisältää runsaasti oransseja ja mahdollisesti myös kellertäviä (jarsiitti) rautasaostumia (Geologian tutkimuskeskus, 2013).

### **Potentiaalinen hapan sulfaattimaa**

Potentiaalisessa happamassa sulfaattimaassa (PHS) rikki on sulfidimuodossa (pelkistynyt, ei hapettunut) ja pH on yleensä yli 6,0. Rikkipitoisuus (S(tot)) on  $\geq 0,2$  % kuivapainosta eli  $\geq 2\ 000$  mg S/kg, hiekassa rikkipitoisuus on yli 0,01 % kuivapainosta eli yli 100 mg S/kg. Inkuboitu pH on  $\leq 4,0$  ja pudotusta on vähintään 0,5 yksikköä maastossa mitattuun pH-arvoon verrattuna (Edén ym., 2012).

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa on usein väriältään mustaa tai tumman (likaisen) harmaata. Tosin myös väriältään vaalea savi voi olla hyvin sulfidipitoista. Maalaji on yleensä savea tai silttiä, usein myös liejupitoista, harvoin hienoa hiekkaa. Maassa on yleensä selvä rikin haju (Geologian tutkimuskeskus, 2013).

## **2.3 Sulfaattimaiden tunnistaminen**

### **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).

#### **Silmämääräinen maalajin arviointi ja aistin varaiset havainnot**

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 (Stot) on käytetty sulfaattimaiden tunnistamiseen ja mahdollisen hapontuoton arviointiin laajalti, sillä maanäytteen kokonaisrikkipitoisuus vastaa yleisesti melko hyvin hapontuottopotentiaalia. Suomessa yli 0,2 m-% kokonaisrikkipitoisuutta on pidetty rajana happamille sulfaattimaille, mutta karkeampien maalajien yhteydessä pienemmätkin rikkipitoisuudet voivat laskea pH:n hyvinkin matalaksi maaperän heikon puskurikyvyn vuoksi.

### **Inkuboitu pH**

Inkubaatio-pH perusteella on yksinkertainen ja luotettava menetelmä, jolla voidaan tunnistaa sulfaattimaa ja arvioida sekä ennustaa maaperässä tapahtuvaa happamoitumista. Inkubaatio jäljittelee kutakuinkin maaperässä luonnossa hapettumisen aikana tapahtuvaa pH-muutosta, ottaen huomioon maaperän luonnollisen puskurikapasiteetin. Inkubaation perusteella ei kuitenkaan voida arvioida suoraan arvioida maaperässä muodostuvaa happomäärää.

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

Perinteisen 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) stabiiloituu 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.

### **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.

## **2.4 Sulfaattimaiden vaikutukset**

Veden kyllästäminä sulfaattimaat eivät aiheuta ongelmia ympäröivälle luonnolle. Kun sulfidipitoiset kerrokset joutuvat vedenpinnan yläpuolelle ja pääsevät kosketuksiin ilmakehän hapen kanssa alkavat sulfidit hapettua ja happamoituminen käynnistyy.

Pohjavedenpinnan aleneminen voi seurata esimerkiksi maankohoamisesta, ojituksesta (etenkin salaojituksesta), maankaivamisesta tai rakenteiden kuivatusjärjestelyistä. Myös kaivutöiden yhteydessä ja massojen läjityksessä aiemmin hapettomissa olosuhteissa olleet sulfidipitoiset maa-ainekset joutuvat usein hapellisiin olosuhteisiin (Kerko ym., 2014). Rikkihappoa syntyy hapettumisen seurauksena. Rikkihappo on tehokas syövyttäjä ja liottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja.

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 sulfaattimilla 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, rikki pitoinen ympäristö, joka hapettuessaan tuottaa rikkihappoa muuttuen todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi. Korroosioympäristönä potentiaalisesti hapan sulfaattimaa on ongelmallinen metalleilla etenkin teräkselle sulfaatinpelkistäjäbakteerien mahdollisen vaikutuksen vuoksi. Sulfaatinpelkistäjäbakteerit (SRB) käyttävät hengittämiseen hapen sijaan sulfaattia tuottaen muun muassa sulfideja ja rikkivetyä, 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.

Happamien sulfaattimaiden merkittävimmät vaikutukset liittyvät yleensä pintavesien laadun heikkenemiseen (pH:n muutokset ja haitallisten alkuainepitoisuuksien kasvu), joka puolestaan aiheuttaa vaikutuksia vesistön eliöstöön ja/tai kalastoon.

Happamilta sulfaattimailta syntyvä valumavesi sisältää yleensä runsaasti sulfidimineraalien hapettumisesta peräisin olevia sulfaatteja sekä liukoisia metalleja, jotka nostavat veden sähkönjohtavuutta. Veden happamuuden laskiessa alle 5,5 voidaan vesistön happamuustilaa pitää kriittisenä.

Vesielistöille ja useimmille kalalajeille erityisen haitallisia vaikutuksia syntyy silloin, jos happamia sulfaattimaiden esiintymisalueilla tehdään maankäsittelyä, esimerkiksi ojitusta, kuivan kauden aikana. Kuivan kauden jälkeen esimerkiksi syysateiden 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.

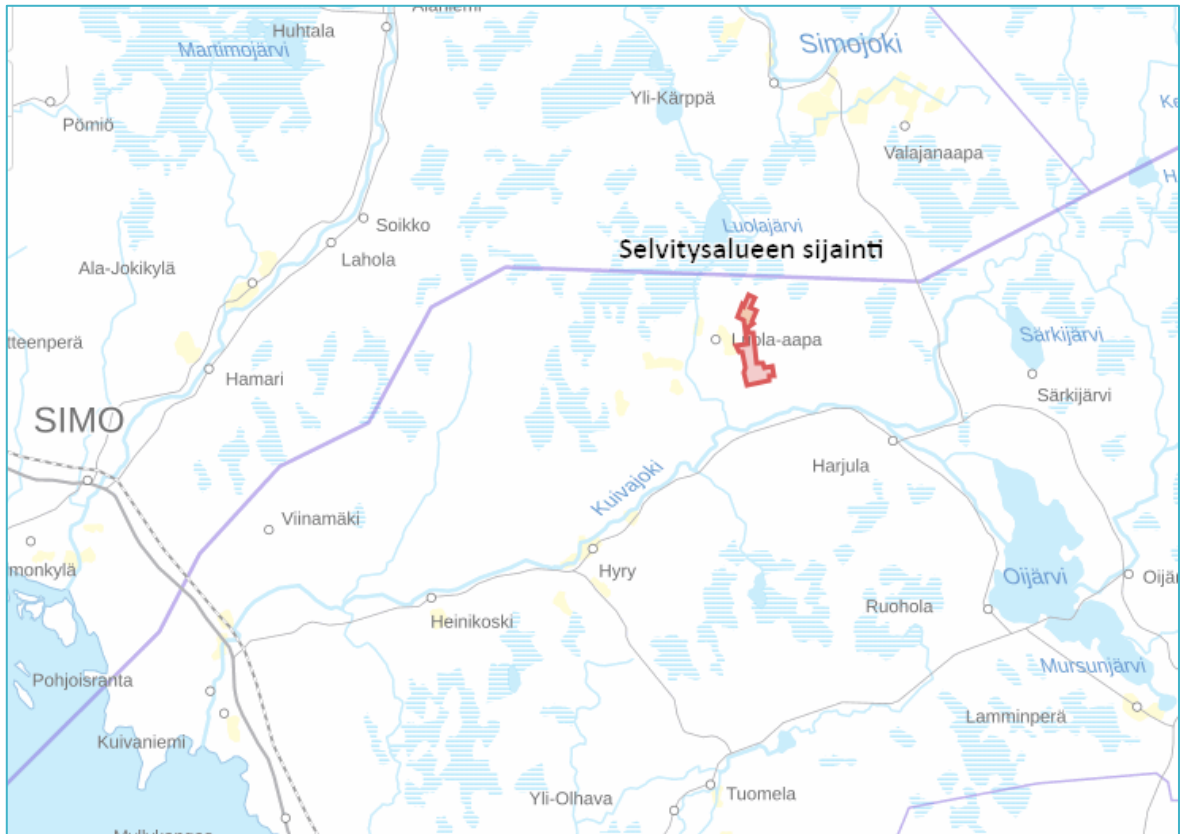
## 3 KOHTEEN KUVAUS

### 3.1 Sijainti ja laajuus

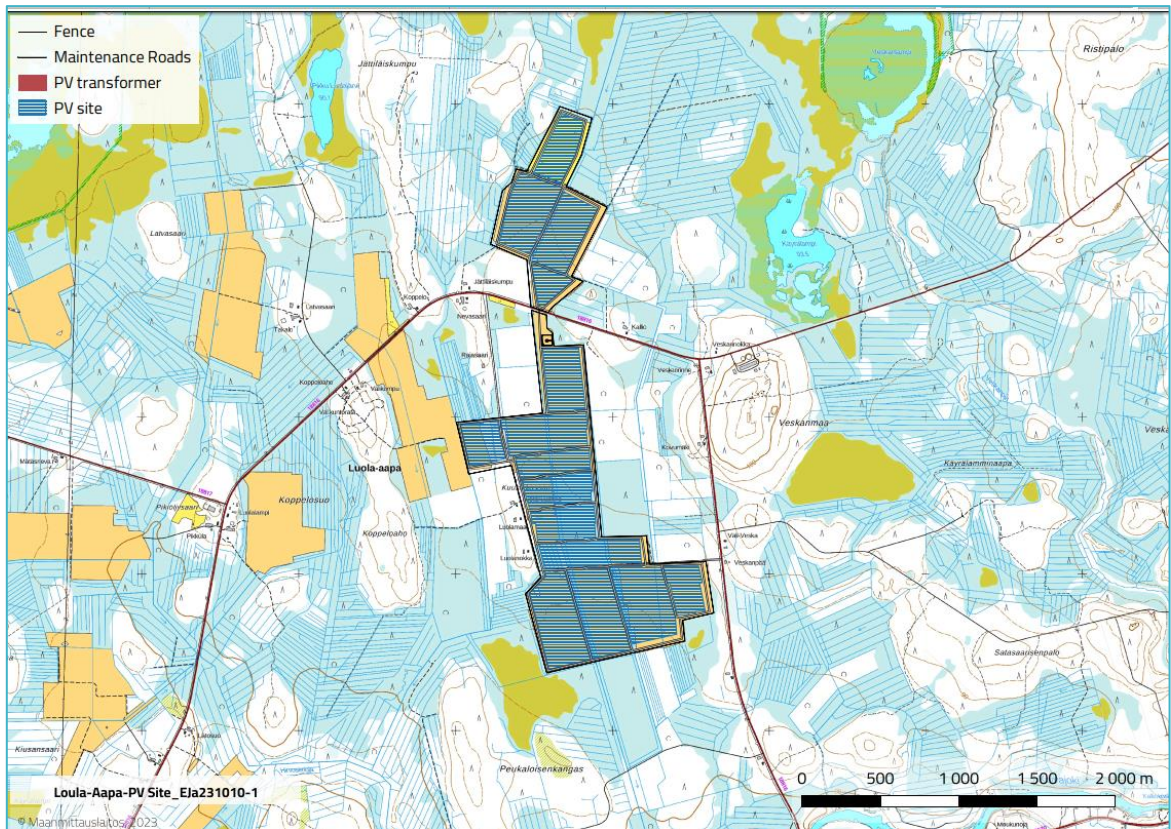
Hankealueen laajuus on noin 190 ha. Alue on pääasiassa ihmisen muokkaamaa avointa peltoaluetta. Pohjoisosassa on myös metsäistä aluetta, ja keskiosassa metsäistä suoaluetta. Pelloista noin 15 % on varsinaisessa viljelykäytössä. Osalla pelloista kasvatetaan heinää, tai ne pidetään avoimina taimikoista. Suoalueet ovat osittain ojitettuja. Hankealueen puustoa on harvennettu ja alueelle ei sijoitu erityisiä ns. luonnonmukaisia ympäristöjä.

Alue rajautuu suurimmalta osalta viereisiin metsäisiin alueisiin sekä metsäisiin suoalueisiin. Alueen itäpuolella kulkee pohjois-eteläsuunnassa Luola-aavantie, joka kääntyy itä-länsisuuntaiseksi lävistäen alueen. Lännessä hankealue rajautuu Kuusikkosaarentiehen, joka lävistää alueen kahdesta kohdasta. Lähiympäristö on harvaan asuttua ja itse hankealueella ei sijaitse asuinrakennuksia.

Selvitysalueen sijainti on esitetty liitteessä 1.



**Kuva 1. Selvitysalueen sijainti seudullisella tasolla.**



**Kuva 2. Selvitysalueen maastokartta.**

## 4 ALUEEN MAAPERÄOLOSUHTEET

Hankealueen pohjaolosuhteiden kuvaus perustuu Maveplan Oy:n vuonna 2023 alueelta tekemään selvitykseen *Energiantuotantoon soveltuvien alueiden selvitys*.

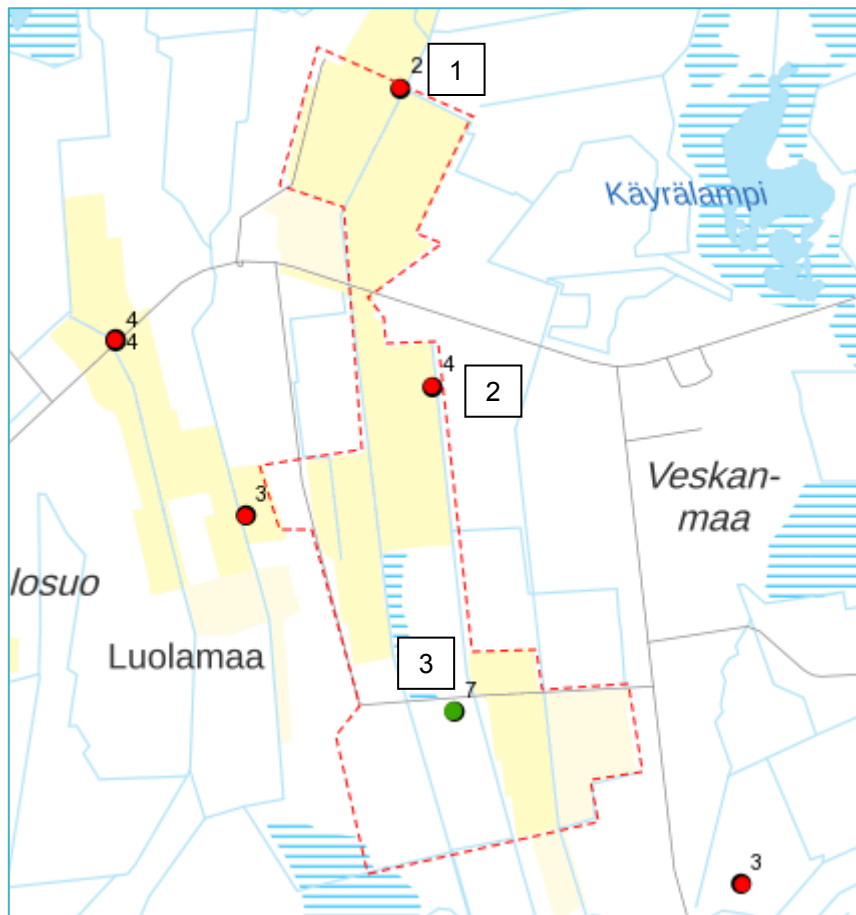
### 4.1 Pinta- ja pohjasuhteet

Tutkimusten perusteella hankealueen pintakerros koostuu saraturpeesta ja pinnassa ei esiinny kivennäismaita. Alueen länsiosan turvepaksuus vaihtelee pääosin noin 0,5–1,5 m välillä. Itäosan turvepaksuus vaihtelee pääosin noin 1,5– 2,0 m välillä.

Maanpinnan korkeus hankealueella vaihtelee pohjoisen +95,00 ja etelän+81,50 välillä.

Maaperäkartojen perusteella alueen pohjoisosassa ja Luola-aavantien eteläpuolisen osan länsipuolen keskiosalla on pintamaana sekalajitteinen maalaji. Osa turvepaksuuden mittauksista sijoittuu näille alueille, ja turvepaksuus on ollut näillä osin alle metrin. Aistinvaraiset maalajiarviot viittaavat siihen, että turvekerroksen alapuolinen maakerros on kitkamaata. Alueella voi kuitenkin olla koheesiomaakerroksia. Pehmeistä koheesiomaista ei saatu havaintoja tutkimusten aikana. Paikoitellen havaittiin kiviä ojien luiskissa.

Happamien sulfaattimaiden aineistojen perusteella selvitysalue kuuluu kohtalaisen esiintymistodennäköisyyden alueeseen poikkeuksena alueen pohjoisosassa oleva alue ja Luola-aavantien eteläpuolisen osan länsipuolella oleva alue. Geologian tutkimuskeskuksen happamien sulfaattimaa- tietokannan mukaan alueelle sijoittuu kolme happaman sulfaattimaan kartoituspistettä. Näistä kahdessa pohjoisimmassa kartoituspisteessä on havaittu happamia sulfaattimaita.





**Kuva 4. Selvitysalueella ja läheisyydessä olevat happamien sulfaattimaiden kairauspisteet (<https://gtkdata.gtk.fi/hasu/>).**

Selvitysalueella olevat kairauspisteet:

Piste 1: sulfidikerroksen alkamissyvyys > 1,0–1,5 m syvyydellä

- Pinnalla 130 cm turvetta
- 130–150 cm harmaa hiekka, tummia linssejä/kerroksia ja lievä rikin haju, maasto-pH 5,7 ja inkuboitu pH 3,3 (hapan sulfaattimaamateriaali)
- 150–200 cm harmaa, hiekka, maasto-pH 5,9 ja inkuboitu-pH 4,1
- 200–230 cm harmaa hiekka
- 230–300 cm harmaa hiekkamoreeni

Piste 2: sulfidikerroksen alkamissyvyys > 2,0–3,0 m syvyydellä

- Pinnalla 180 cm turvetta
- 180–200 cm harmaa hiekka, maasto-pH 6,1 ja inkuboitu-pH 4,2
- 200–235 cm harmaa hiekka, maasto-pH 6,1 ja inkuboitu-pH 2,7 (hapan sulfaattimaamateriaali)
- 235–250 cm harmaa hieno hieta, jossa tummia linssejä, maasto-pH 6,5 ja inkuboitu-pH 4,5

Piste 3: Ei hapanta sulfaattimaata

- Pinnalla 130 cm turvetta
- 130–165 cm harmaa karkea hiekka, maasto-pH 5,9 ja inkuboitu-pH 4,5
- 165–200 cm harmaa hiekkamoreeni

## 4.2 Vesiolosuhteet

Hankealue kuuluu Kuivajoen päävesistöalueeseen sekä Hyryn vesistöalueeseen, ja valuma-alueen koko on yhteensä noin 600 ha. Vedet laskevat hankealueelta 1,5 km alueen eteläpuolella virtaavaan Kuivajokeen. Hankealue ei sijaitse luokitellulla pohjavesialueella. Lähin vedenhankintaan tärkeä pohjavesialue on noin 3,1 kilometrin päässä koillisessa oleva Haarakoski (Tunnus 11292005). Pohjaveden pinnan korkeudesta alueella ei ole tarkkaa tietoa.

Kuivajoen vedenlaadusta on laadittu Eurofins Ahma Oy:n toimesta vuonna 2020 raportti *Kuivajoen yhteistarkkailu vuonna 2020: päästö-, vesistö-, kalatalous- ja biologinen tarkkailu*. Raportissa vuoden 2020 pH- ja typpitulokset ovat linjassa ympäristöhallinnon kokonaistilaluokituksen kanssa, jossa Kuivajoki on ekologiselta tilaltaan hyviä, mutta riskissä laskea tyydyttäväksi. Fosforipitoisuuksien osalta Kuivajoen yläosa oli vuoden 2020 aineistossa vain tyydyttävää tai hyvää/tyydyttävää luokittelutasoa. Vesistöalueen turvetuotannosta aiheutuvan kokonaiskuormituksen (brutto) osuus Kuivajoen alaosan ainevirtaamista vuonna 2020 oli noin 0,7–1,5 %.

Ympäristöhallinnon nykyisen kokonaistilaluokituksen mukaan Kuivajoen ekologinen tila on edelleen hyvä. Luonnonvarakeskuksen ylläpitämän kalahavainnot palvelun mukaan Kuivajoessa esiintyy uhanalaisista kalalajeista lohi, harjus ja siika.

## 5 TUTKIMUKSET

### 5.1 Näytteenotto

Luola-aavan alueen näytteenotto suoritettiin kairakoneavusteisesti 19.-21.8.2024. Näytteenotosta vastasi Raksainssit Oy. Näytteitä otettiin näytteenotto-ohjeen (liite 1) mukaisesti puolen metrin välein määräsyyvyteen saakka.

Näytteitä otettiin yhteensä neljästätoista (14) tutkimuspisteestä (TP1 – TP14). Näytteitä otettiin noin 4,0 metrin syvyyteen saakka (Kuva x). Yksittäisiä näytteitä otettiin yhteensä 96 kpl. Kaikista näytteistä määritettiin näytteenoton yhteydessä maalaji ja pH sekä kirjattiin ylös aistinvaraiset havainnot. Näytteet pakattiin kaasutiiviisiin muovipusseihin (Rilsan) joista puristeltiin ilmat pois, pussit suljettiin tiiviisti ja säilytettiin viileässä ja valolta suojattuna laboratorioon toimittamiseen saakka. Kenttähavainnot on esitetty liitteessä 2.

### 5.2 Tulokset

Kaikista tässä selvityksessä tutkituista näytteistä määritettiin maastossa pH-taso. Lisäksi maanäytteistä valittiin näytteet 13 kpl maasto- pH:n sekä maalaji-, väri- ja hajuhavaintojen perusteella inkubointiin ja kokonaisrikin määrittämiseen laboratorioon.

Kenttähavaintojen perusteella hankealueen maaperän pintaosa on turvatta 1,0- 1,5 metriin saakka. Turpeen alla on 1,6- 3,6 metrin syvyyteen ulottuva karkea hiekka, jonka alla siltimoreeni.

Kaikista näytteistä määritettiin maastossa pH-taso. Maastossa mitatut pH-tasot vaihtelivat välillä 4,5...7,95. kenttähavaintojen perusteella alueella ei esiinny todellisia happamia sulfaattimaita.

Potentiaalisesti happamien sulfaattimaiden esiintyminen alueella on mahdollista ja selviää laboratoriotulosten valmistuttua.

## 6 Toimenpidesuosituksukset

Rakentamisen, massanvaihtojen ja muiden kaivutöiden aiheuttama pohjavedenpinnan lasku voi aiheuttaa sulfidimaa-alueella haittoja ympäristölle. Näitä toimintoja suunniteltaessa, voidaan sulfidimaiden haitallista vaikutusta ehkäistä ja vähentää erityyppisillä toimenpiteillä.

### 6.1 Pohjaveden pinnan taso

Rakentamisalueiden kuivatustasojen muutos on tyypillisimpiä rakentamisen aiheuttamia toimia sulfaattimaila. 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 liukenemistä ja huuhtoutumista vesistöön.

Ensisijainen toimenpide, jolla happamien vesien syntyä voidaan ehkäistä, on pohjavedenpinnan tason pitäminen nykyisellä tasolla Luola-aavan suunnittelualueella. Mikäli tämä ei ole mahdollista, alituminen ilmakehän hapelle tulee minimoida ja maa tulisi pitää vedellä kyllästettynä. Parhaiten tämä onnistuu peittämällä sulfaattimaa asianmukaisesti maalla, jolla on pieni ilmanläpäisevyys. Mikäli kuivatustasoa joudutaan laskemaan, tulee kuivatusvesien pH:ta tarkkailla ja valumavedet tarvittaessa neutraloida ennen johtamista alueen ojaistoihin.

## 6.2 Alueen tasaus

Kuivatustasolla on merkitystä etenkin alueen korkeusmaailman suunnitteluun. Sulfidimaa-alueella alueen pinnan tasot tulee määrittellä siten, että kaivutoimenpiteet ja kuivatuksen taso ovat esitettyä alinta kuivatustasoa ylempänä.

## 6.3 Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely

Rakentamista ajatellen yleisimmät sulfidipitoiset maalajit kuten savi ja siltti ovat kantavuutensa puolesta liian heikkolaatuisia useimmille rakennustoimenpiteille. Tämän vuoksi savi- ja siltti-vaatimat yleensä pohjanvahvistamista, joka toteutetaan usein massanvaihtona. Tutkimuksissa Luola-aavan alueella ei havaittu merkittäviä määriä savea. Hankealueella pintamaat ovat kuitenkin turvetta, joka vaatii jonkin asteista kantavuuden parantamista aurinkopaneelien perustamiseksi.

Sulfaattimaa-alueella massanvaihto tulisi tehdä siten, että sen vaikutus pohjaveden tasoon on mahdollisimman vähäinen. Poikkeustapauksessa pohjaveden pinta voi laskea, mikäli täyttöön ei ole tehty katkoja esimerkiksi moreenista. Riski on tunnistettava ja otettava huomioon massanvaihdon suunnittelussa ja tarvittaessa pohjaveden pintaa on seurattava mittauksin.

Kaivutoimenpiteet avaavat potentiaalisen sulfaattimaan kerroksia alttiiksi hapettumiselle ja rikkipon muodostumiselle, jos massat altistuvat tarpeeksi kauan hapelle.

Riskinhallintakeinoja massankaivukohteissa ovat mm.:

- kaivantovesien pH:n tarkkailu rakentamistoimien aikana
- mikäli happamoitumista havaitaan, tulee kyseeseen kaivantovesien mahdollinen käsittely ennen vesistöön ohjaamista
- kaivumassan esikäsittely ennen kaivua (stabilointi tai 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 kiireys on riippuvainen alapuolisen vesistön herkkyydestä ja sulfidisaven hapettumisen nopeudesta. Mitä isompi vesistö, sitä suurempi sietokyky sillä on mahdollisille happamille pulsseille.

Yleisesti sulfaattimaat ymmärretään hallinnollisesti ns. tavallisena maana eikä esimerkiksi pilaantuneena maana. Näin ollen kaivettuja sulfaattimaita voidaan myös käsitellä tavallisina kaivumassoina, jolloin niiden sijoittamisen reunaehdot ovat lähtökohtaisesti samat. Sulfaattimaiden sijoittamiseen tulee kuitenkin kiinnittää huomiota mahdollisten vaikutusten vuoksi.

Ylijäämämassojen vastaanottoaikalla tulee olla valmiudet käsitellä happamat sulfaattimaamassat asianmukaisesti, ettei vastaanottoalueelta synny happamia valuntia alapuolisiin vesistöihin. 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, meluvälleinä tai maisemointitoissa ja peittäminen esimerkiksi moreenilla tai turpeella hyvä tapa ehkäistä happamien vesien muodostumista

## 6.4 Stabilointi

Stabiloinnissa maahan sekoitetaan sideainetta, mikä parantaa maan lujuutta ja ehkäisee painumista. Sulfidimaita stabiloitaessa on tavoitteena ensisijaisesti mahdollisuus maan paikalleen jättämiseen tai mikäli stabiloinnilla ei saavuteta haluttua lujuutta, vähentää maan hapettumista ja näin ollen tehdä sen läjittämisestä helpompaa. Massastabilointi soveltuu maalajeille, joiden stabiloituvuus on huono sekä läjitettäväksi menevien maiden stabilointiin hyötykäyttökelpoiseksi. Sideainetta syötetään maahan sekoitinlaitteistolla lamelleittain pysty- ja vaakasuunnassa, jolloin maahan syntyy tasaisesti lujittunut homogeeninen vyöhyke.

Stabiloitavan maan pH:lla on suuri merkitys stabiloinnilla saavutettavaan lujuuteen. Mitä matalampi maan pH, sitä huonompi lujuus stabiloinnilla saavutetaan. Näin ollen on merkittävää, että sulfidimaan stabilointi tehdään ennen sen hapettumista, jolloin aikaansaadaan myös se, ettei maan pH enää nouse eikä näin ollen aiheuta happamoitumisriskiä ympäristölle.

Sulfidisavien stabilointi on mahdollista silloin, kun maa on vedellä kyllästyneenä hapettomissa olosuhteissa. Stabiloimiseen tarvittava sideaineen määrä kasvaa huomattavasti sen jälkeen, kun maa hapettuu. Ennen hapettumista sulfidisavet lujittuvat sementtiä, kalkkia, kipsiä ja lentotuhkaa sisältävillä sideaineseoksilla. Stabiloinnin sideaineena käytettävän sementin valinnassa on muistettava huomioida, että sementtilaatu on sulfaatinkestävää.

Mikäli stabiloituja sulfidisavia ei ole mahdollista jättää paikalleen, niitä voidaan käyttää esimerkiksi meluvalleissa tai maisemointitoissa, sillä stabiloidulla sulfidisavella ei ole enää merkittävää happamoittamispotentiaalia.

## 6.5 Neutralointi

Neutralointia suositellaan tehtäväksi vasta loppusijoituksen yhteydessä. Neutralointi voidaan suorittaa joko suoraan esimerkiksi läjitettäväksi meneviä maamassoja tai vaihtoehtoisesti läjitys alueelta tulevia vesiä. Kalkitusta voidaan käyttää pH-puskurina jo hapettuneille sulfidimaille, mutta se ei itessään estä sulfaattimaan hapettumista. Parhaiten se toimii maille, joiden rikkipitoisuus on matala.

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

## 6.6 Maastonmuotoilu

Sulfaattimaiden hyödyntämiselle maastonmuotoilussa ei lähtökohtaisesti nähdä esteitä. Ympäristökuormitusta ehkäisevät tekijät tulee ottaa huomioon hyödyntämisen suunnittelun yhteydessä, kuten maiden peittäminen, kalkitseminen ja/tai hulevesien käsittely. Myös esimerkiksi pohjavedenpinnan taso ja pintavesiolosuhteet tulee ottaa huomioon.

## 7 Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet

Tutkitulla Luola-aavan alueella ei maastotutkimusten ja havaintojen perusteella esiinny todellisia happamia sulfaattimaita.

Aikaisempien tutkimusten mukaan hankealueella esiintyy potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Potentiaalisten sulfaattimaiden esiintymisen hankealueella selviää laboratoriotulosten valmistuttua.

Alueella voidaan välttyä ongelmilta pitämällä alueen kuivatustaso potentiaalisten happamien sulfaattimaiden yläpuolella, jolloin sulfidipitoiset maakerrokset eivät pääse hapettumaan. Lähtökohtaisesti alin kuivatustaso tulee huomioida jo alueen korkeusmallia suunniteltaessa.

Rakentamisen aikana on pyrittävä välttämään alimman kuivatustason alapuolelle suoritettavia kaivuja tai pohjavedenpinnan tason alentamista. Koska alueen rakentamisen yhteydessä ei todennäköisesti voida täysin välttyä kaivutyöltä tai pohjavedenpinnan alentamiselta, tulee kaivettujen sulfidipitoisten massojen ja alueella syntyvien happamien valuntojen käsittelyyn varautua asiaankuuluvien toimenpitein. Kuivatusvesien pH-tasoa tulee seurata mittauksin ja tarvittaessa vedet tulee johdattaa vasta käsittelyyn (neutralointi) kautta vesistöön.

Oulussa 2.9.2024

A-Insinöörit Suunnittelu Oy  
Geo- ja kalliotekniikka

Jarkko Kyrkkö  
Suunnittelija

Anna-Riikka Pehkonen-Ollila  
Suunnittelujohtaja

## 8 Lähdeluettelo

Edén, P., Rankonen, E., Auri, J., Yli-Halla, M., Osterholm, P., Beucher, A. ja Rosendahl, R. 2012. Definition and classification of Finnish Acid Sulfate Soils. Julkaisusta: Osterholm, P., Yli-Halla, M. ja Eden, P. (toim.) Towards Harmony between Land Use and the Environment, 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012, Proceeding volume. Geological Survey of Finland. Guide 56: 29–30.

Envitop 2014. Tutkimusraportti. Maanäytteiden haponmuodostuspotentiaalin tutkiminen vt7 Hamina-Vaalimaa kohteessa (KP20003-20027). 26.11.2014.

Geologian tutkimuskeskus 2013. Esiintyminen ja tunnistaminen (esite).

Kantanen, Johanna. 2021. Kuivajoen yhteistarkkailu vuonna 2020: päästö-, vesistö-, kalatalous- ja biologinen tarkkailu. Vuosiraportti, 8.6.2021 Oulu: Eurofins Ahma Oy.

Kerko, E., Rantanen, T., Patjas, E. ja Huhtonen, S. 2014. Sulfaattimaat väylähankkeissa. Esiselvitys. Liikenneviraston tutkimuksia ja selvityksiä 49/2014. Liikennevirasto, Helsinki 2014.

Liikennevirasto 2015. Sulfidisavien käsittely- ja sijoittaminen, Menettelyohje. E18 Hamina-Vaalimaa-elinkaarihankkeen (PPP) palvelusopimus. 1.12.2015. 12TTS/16–1, Rev B. Helsinki.

Luonnonvarakeskus. Kalahavainnot

<https://kalahavainnot.luke.fi/kartta?speciesId=37&layer=yl>

Pousette, K., 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, s.l.: Luleå tekniska universitet.

Ympäristöministeriö, 2022. Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin, Opas happamien sulfaattimaiden huomioimiseen ja vaikutusten hallintaan. Ympäristöministerion julkaisu 3/2022.