

Vastaanottaja

Oulun kaupunki
Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut
Erkki Martikainen

Asiakirjatyyppi

Selvitys

Päivämäärä

02/2019

OULUN KAUPUNKI

RITAHARJUN KORTTELEIDEN 100 JA 101 ASEMAKAAVAN MUUTOKSEEN LIITTYVÄ SULFIDIMAASELVITYS



OULUN KAUPUNKI

RITAHARJUN KORTTELEIDEN 100 JA 101 ASEMAKAAVAN MUUTOKSEEN LIITTYVÄ SULFIDIMAASELVITYS

Projekti **Ritaharjun alueen sulfidimaaselvitys**
Projekti nro **1510044500-003**
Vastaanottaja **Oulun kaupunki**
Asiakirjatyyppi **Selvitys**
Versio **01**
Päivämäärä **19.2.2019**
Laatija **Enni Suonperä, Ramboll Finland Oy**
Tarkastaja **Sari Suvanto, Ramboll Finland Oy**
Hyväksyjä **Erkki Martikainen, Oulun kaupunki**
Kuvaus **Ritaharjun kortteleita 100 ja 101 koskevaan asemakaavan muutokseen
liittyvä sulfidimaaselvitys**

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	4
2.	Happamat sulfaattimaat	5
2.1	Tausta	5
2.2	Luokittelu	6
2.3	Sulfaattimaiden tunnistaminen	7
2.3.1	Kenttähavainnot	7
2.3.2	Laboratoriotutkimukset	8
2.4	Vaikutukset	9
2.4.1	Korroosio	9
2.4.2	Vesistövaikutukset	10
3.	Näytteenotto	10
4.	Tulokset	12
4.1	Maaperäolosuhteet	12
4.2	pH, rikkipitoisuus ja nettohapontuotto	12
4.3	Puskurikapasiteetti	13
5.	Tulosten yhteenveto ja tunnistetut sulfidimaat	13
6.	Happaman valunnan muodostuminen	14
7.	Toimenpidesuositukset	15
7.1.1	Pohjaveden pinnan alin taso	15
7.1.2	Alueen tasauksen suunnittelu	15
7.1.3	Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely	15
7.1.4	Putkikaivannot	16
7.1.5	Maanalaiset rakenteet ja paalutus	16
8.	Happaman valunnan hallinta	16
8.1	Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut	16
8.2	Pysyvät käsittelyratkaisut	17
9.	Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet	17
10.	Lyhenteet	18
11.	Kirjallisuusviitteet	19

LIITTEET

Liite 1

Tutkimusohjelma ja näytteenotto-ohje

Liite 2

Kenttähavaintojen yhteenveto

Liite 3

Tutkimustulosten yhteenveto

Liite 4

Sulfidimaa-alueen rajaus

Liite 5

Tutkimustodistukset

1. JOHDANTO

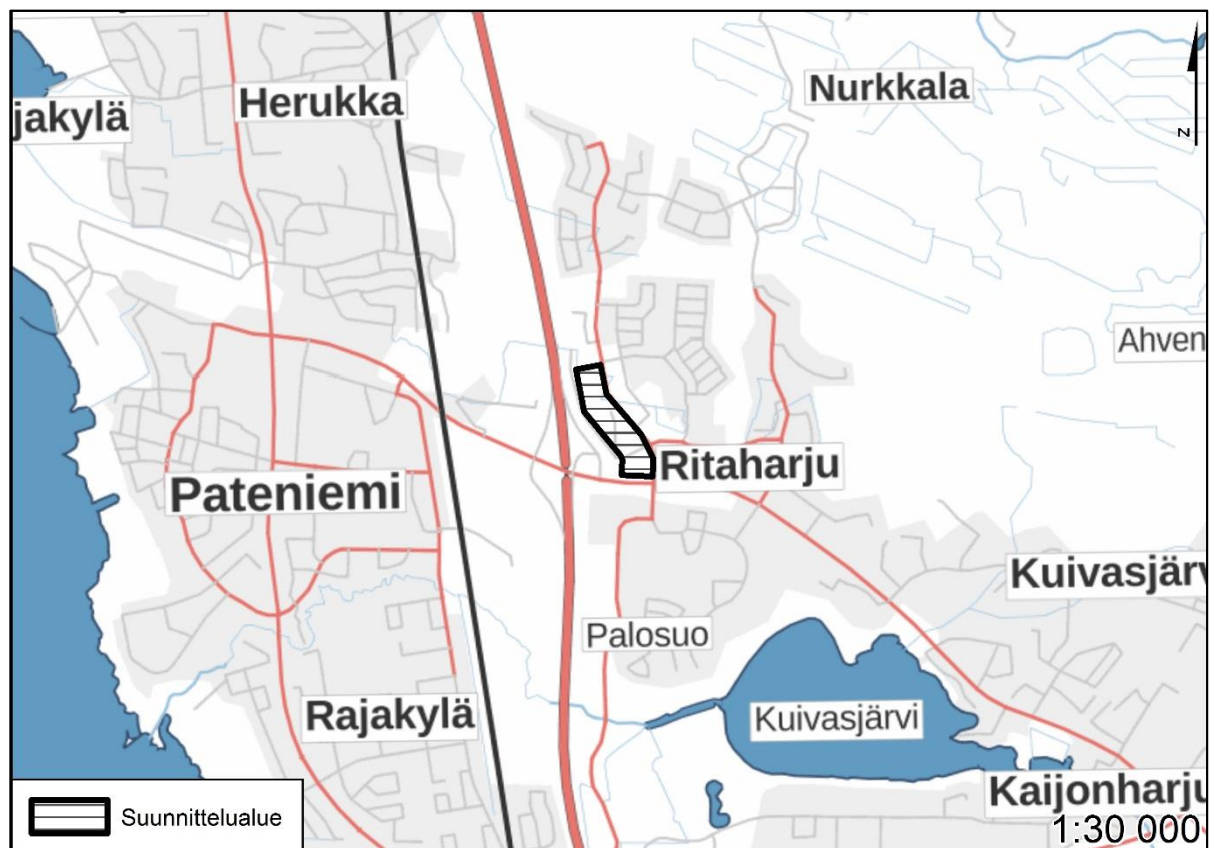
Työn lähtökohtana oli selvittää, esiintyykö Ritaharjun asemakaavan muutoksen suunnittelualueella todellisia tai potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Sulfidimaaselvitystä varten yhteensä neljästä pisteestä otettiin näytteitä tutkimusohjelman mukaisesti. Tutkimuspisteet sijoitettiin aiempien pohjatutkimusten 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).

Suunnittelualue sijaitsee Ritaharjussa n. 8,6 km etäisyydellä kaupungin keskustasta Valtatie 4 liittymän tuntumassa. Alue rajautuu pohjoisessa katualueeseen, koillisessa asuinkortteleihin, idässä päivittäistavarakauppaan, etelässä Raitotiehen ja lännessä valtatiehen. Raitotien eteläpuolella on erikoistavarakaupan kauppakeskus. Suunnittelualueen pinta-ala on noin 10 ha. Asemakaavan muutoksen tavoitteena on vahvistaa Ritaharjua aluekeskuksena monipuolistamalla sen palvelutarjontaa ja lisätä alueen työpaikkoja. Suunnittelualueella on laadittu luonto- ja maisemaselvitys, hulevesiselvitys ja selvitetty alueen meluolosuhteet. Suunnittelutyön edetessä suunnittelualueesta laaditaan muut tarvittavat selvitykset, kuten tämä sulfidimaaselvitys.

Sulfaatti- ja sulfidimaat tulee huomioida alueiden rakentamista 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 Erkki Martikainen. Sulfidimaaselvitys on laadittu Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työstä ovat vastanneet:

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



Kuva 1-1. Selvityskohteen sijainti Oulun kaupungissa.

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 juuri rautasulfidien hapettuminen sedimenttien joutuessa pohjavedenpinnan yläpuolelle maankohoamisen ja maankäyttöön liittyvän kuivatustoiminnan seurauksena. Hapettumisen seurauksena sulfideista muodostuu maaperässä rikkihappoa, joka alentaa maan pH-tasoa.

Rikkiä sisältävät sedimentit ovat pääasiassa veden kerrostuneita sedimenttejä, jotka ovat syntyneet ympäristössä, jossa sulfaattipitoiseen veteen, pääasiassa meriveteen, on kerrostunut orgaanista ainesta ja sekoittunut mantereelta kulkeutuneita sedimenttien rautaoksidaaleja. 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 maalajissa kuten hiekassa ja hiekkaisessa silissä. 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.

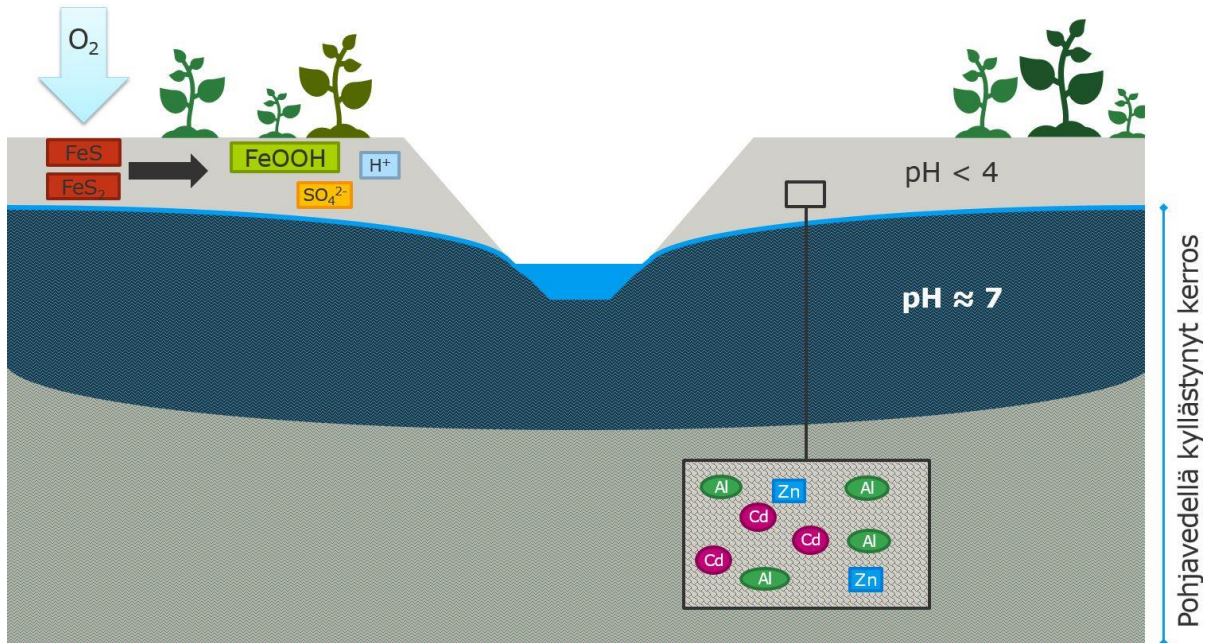
Happaman maakerroksen ja sulfidirikkipitoisen maakerroksen välillä on tyypillisesti kapea vaihtumisvyöhyke (noin 0–50 cm) missä pH:n vaihtelu voi olla erittäin suurta (noin 4,0–7,0).

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 jäähdetyt 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 ₂ SO ₄ /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 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 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 (H₂S), 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.

Vesielióstölle 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. NÄYTTEENOTTO

Ritaharjun alueen näytteenotto suoritettiin koekuoppamenetelmällä 27.11.2018. Näytteenotosta vastasi Ramboll Finland Oy. Näytteitä otettiin näytteenotto-ohjeen (liite 1) mukaisesti puolen metrin välein määräsyyvyteen saakka.

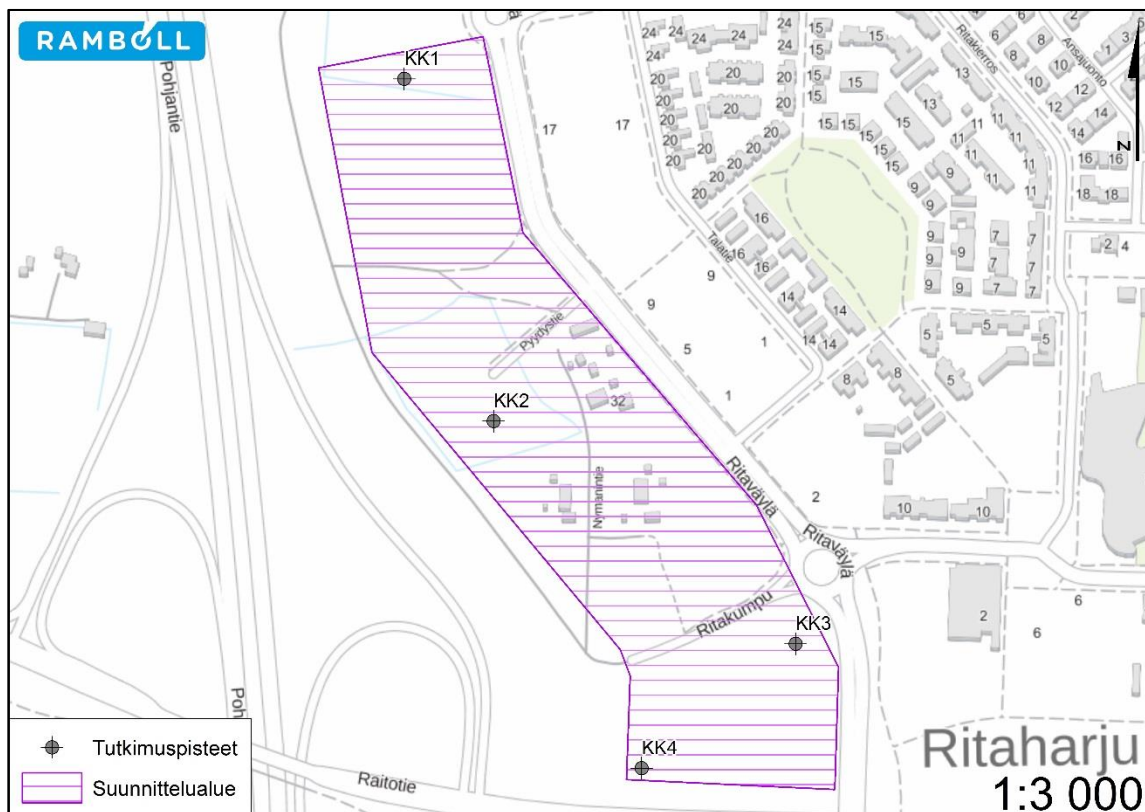
Ritaharjun selvitysalueelta suoritettiin neljästä tutkimuspisteestä (KK1 - KK4) sulfidimaatutkimukseen soveltuva näytteenotto. Näytteitä otettiin noin 3,0 metrin syvyyteen saakka lukuun ottamatta pistettä KK4, jossa näytteenotto ulotettiin 4,0 metriin.

Yksittäisiä näytteitä otettiin yhteensä 27 kpl. 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.

Tutkimuksen perusteella tehty sulfidialueen rajausta on esitetty liitteessä 4 ja tutkimustulosten yhteenveto liitteessä 3. Kenttähavainnot on esitetty liitteessä 2 ja tutkimustodistukset liitteessä 5.



Kuva 3-1. Valokuvia koekuopasta KK4. Hienojakoisen maa-aineksen tummat juovat viittaavat rikkiyhdisteiden olemassa oloon.



Kuva 3-2. Tutkimuspisteiden sijainti Ritaharjun selvitysalueella.

4. TULOKSET

4.1 Maaperäolosuhteet

Ritaharjun alueelle on vuonna 2007 laadittu koko kaupunginosan kattava ympäristön ja kunnallistekniikan yleissuunnitelma. Yleissuunnitelmaan sisältyi rakennettavuusselvitys, jonka perusteella lähes koko Ritaharjun keskuksen alueella maaperä on pintaosaltaan turvetta. Selvityksen perusteella turvekerroksen paksuus vaihtelee välillä 0,3...1,0 m. Turvekerroksen alapuolella on 0,5...1,0 m paksu kerros hiekkaa. Suunnittelualueen lounaisreunalla maaperä on hiekkamoreenia ja hiekkaa. Maatutkatutkimuksissa on paikoin havaittu ohuita silttikerrostumia. (Oulun kaupunki, 2007)

Koekuoppatutkimuksen yhteydessä tehdyt havainnot maaperän laadusta ovat pääosin yhteneviä edellä mainitun rakennettavuusselvityksen kanssa, lukuun ottamatta maan pintaosan turvekerrosta, joka havaittiin ainoastaan tutkimuspisteessä KK1 selvitysalueen pohjoisosissa. Pääosin alueella havaittiin hiekkaa (Hk) ja silttistä hiekkaa (SiHk) sekä hiekkamoreenia (HkMr). Pisteessä KK4 noin 2,5 m syvyydessä maanpinnasta havaittiin savikerrostuma (Kuva 3-1). Pohjavesipinta havaittiin syvyydellä 1,0...1,7 m maanpinnasta.

Näytteiden vesipitoisuus vaihteli välillä 5,5...55,8 %. Korkeimmat vesipitoisuudet määritettiin pisteessä KK4 savisissa maakerroksissa, joissa vesipitoisuus vaihteli välillä 42,1...55,8 %.

4.2 pH, rikkipitoisuus ja nettohapontuotto

Kaikista tässä selvityksessä tutkituista näytteistä määritettiin maastossa pH-taso. Lisäksi näytteistä 4 kpl valittiin NAG-pH määrittelyyn ja 13 kpl inkubointiin. NAG-pH määrittelyyn valituista näytteistä yhdestä määritettiin myös nettohapontuotto. Kaikkien inkubointiin valittujen osanäytteiden pH-tasot ja kokonaisrikkipitoisuudet on esitetty seuraavassa taulukossa (Taulukko 4-1).

Ritaharjun NAG-pH määrittelyyn toimitetuista näytteistä kahdessa havaittiin pH-tason 4,5 alittava pH. Syvyydeltä 0,5...1,0 m otetusta näytteestä määritettiin nettohapontuotto, joka oli 4,8 kg H₂SO₄/t viitaten maa-aineksen alhaiseen hapontuottokapasiteettiin (vrt. Taulukko 2-1). Samassa näytteessä havaittiin myös inkuboitu pH 3,6, joka alittaa raja-arvona pidetyn pH-tason 4. Ko. näytteessä kokonaisrikkipitoisuus ylitti tason 0,2 %, mikä viittaa potentiaalsiin happamiin sulfaattimaihiniin.

Taulukko 4-1. Ritaharjun selvitysalueen näytteiden pH ja nettohapontuotto. Huomionarvoiset tulokset on korostettu punaisella värillä.

Piste	Syvyys (m)	pH	NAG-pH	Inkuboitu pH	S _{tot}
KK1	1...1,5	4,7	-	4,6	0,01
	2...2,5	5,2	-	4,8	<0,01
	2,5...3	5,6	-	4,7	<0,01
	3...3,5	5,3	-	4,7	<0,01
KK2	0,5...1	4,2	3,0	3,6	0,25
	1...1,5	4,9	3,5	4,1	0,06
	2...2,5	5,8	-	5,3	0,04
KK3	1,5...2	4,3	-	4,5	0,02
	2,5...3	5,8	-	5,2	0,02
KK4	1,5...2	6,0	-	5,7	<0,01
	2...2,5	5,9	-	6,0	0,01
	2,5...3	6,8	5,2	6,9	0,09
	3,5...4	7,0	6,1	6,1	0,08

S_{tot} = kokonaisrikkipitoisuus

NAG-pH = vetyperoksidihapetettu pH

4.3 Puskurikapasiteetti

Kaikista osanäytteistä määritettiin hehikutushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Hehikutushäviötä voidaan käyttää hienojakoisen maa-aineksen (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 hehikutushäviön ylittäessä 8 % on puskuroiva vaikutus merkityksellinen ja happamoittava vaikutus pienenee suhteessa vähemmän orgaanista ainesta sisältävään maa-ainekseen. Ritaharjun selvitysalueen näytteissä hehikutushäviö vaihteli välillä 0,1...2,5 %, minkä vuoksi alueen maaperän puskurikapasiteettia voidaan pitää merkityksettömänä.

5. TULOSTEN YHTEENVETO JA TUNNISTETUT SULFIDIMAAT

Ritaharjun selvitysalueella ei havaittu maastossa mitattujen pH-tasojen perusteella todellisia happamia sulfaattimaita (THS). Pisteessä KK2 syvyydellä 0,5...1,0 m havaittiin maastossa pH-taso 4,2, joka on lähellä raja-arvona pidettyä pH-tasoa 4,0. Tässä pisteessä pohjavesihavainto tehtiin syvyydellä 1,2 m maanpinnasta. Muilta osin maastossa mitatut pH-tasot vaihtelivat välillä 4,3...7,3.

Edellä mainitussa tutkimuspisteessä KK2 havaittiin potentiaalisia happamia sulfaattimaita (PHS) syvyydellä 0,5...1,0. Tällä syvyydellä nettohapontuotto oli 4,8 kg H₂SO₄/t, mikä viittaa alhaisella kapasiteetilla happoa tuottavaan maa-ainekseen. Myös syvyydellä 1,0...1,5 m havaittiin alhainen NAG-pH, mutta osanäytteen kokonaisrikkipitoisuus oli matala (0,06 %). Em. syvyydellä inkuboitu pH ei alittanut pH-tasoa 4,0, eikä muutos maastossa mitattuun pH-tasoon ollut ≥ 1 pH-yksikköä. Ritaharjun alueen sulfidimaiden rajausta on esitetty liitteessä 4. Rajausta perustuu paitsi havaintoon potentiaalisista sulfaattimaita, myös alueella aiemmin tehtyihin pohjatutkimustuloksiin, sekä geologian tutkimuskeskuksen aineistoon alueen maaperän laatuun liittyen.



Kuva 5-1. Pisteessä KK2 havaittu rikkipitoinen maakerros näkyy kuvassa harmaalla. Kaivantoon purkautuu pohjavettä noin 1,2 m syvyydellä maanpinnasta.

6. HAPPAMAN VALUNNAN MUODOSTUMINEN

Sulfidimaiden rikkiyhdisteet muodostavat hapettuessaan rikkihappoa (H_2SO_4). Maaperässä liikkuva vesi huuhtoo rikkihapon mukaansa ja vesi happamoituu. Happamoitumisen voimakkuuteen vaikuttaa muodostuneen rikkihapon määrä ja muut mahdollisesti puskuroivat yhdisteet, jotka ovat lienneet veteen. Maaperän ollessa pohjavedenpinnan alapuolella, on maaperän happipitoisuus hyvin matala ja rikkihappo ei pääse muodostumaan. Rakennustöiden yhteydessä tehtävien pohjaveden alennusten myötä happi pääsee maaperään pohjaveden laskiessa ja rikkihapon muodostuminen alkaa. Sadannasta tai sulamisvesistä suotautuva vesi taas huuhtoo hapot mukanaan vastaanottaviin vesistöihin.

Ritaharjun näytteenottopisteen KK2 tapauksessa voidaan olettaa, että maaperän hapettuessa rikkihapon muodostuminen alkaa melko hitaasti johtuen alhaisesta nettohapontuotosta ko. pisteessä. Tällöin massanvaihtoja tai muita kaivantoja tehtäessä voidaan ensimmäinen kuivatus yleensä tehdä ilman happamia valuntoja. Mikäli kaivannossa annetaan vedenpinnan nousta, ei ole vaaraa happamoitumisesta. Tämä toteutuu, mikäli kaivanto täytetään välittömästi korvattavalla massalla. Mikäli massat läjitetään pohjavedenpinnan yläpuolelle hapelle alttiina, tulee sadevedet huuhtomaan pidemmällä aikavälillä muodostuvan rikkihapon, ja näin syntyy hapanta valuntaa. Hapanta valuntaa muodostuu myös, mikäli kaivanto on pitkään avoinna ja kuivatusta jatketaan.

7. TOIMENPIDESUOSITUKSET

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.

7.1.1 Pohjaveden pinnan alin taso

Rakentamisalueiden kuivatustasojen muutos on tyypillisimpiä rakentamisen aiheuttamia toimia sulfaattimailla. 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 liukenemista ja huuhtoutumista vesistöön.

Ensisijainen toimenpide, jolla happamien vesien syntyä voidaan ehkäistä, on pohjavedenpinnan tason pitäminen nykyisellä tasolla Ritaharjun suunnittelualueella. Mikäli kuivatustasoa joudutaan laskemaan, tulee kuivatusvesien pH:ta tarkkailla ja valumavedet tarvittaessa neutraloida ennen johtamista hulevesiviemäriin tai ojastoihin.

7.1.2 Alueen tasauksen suunnittelu

Kuivatustasolla on merkitystä etenkin alueen korkeusmaailman suunnitteluun. Sulfidimaa-alueella katujen, tonttien yms. tasot tulee määritellä siten, että kaivutoimenpiteet ja kuivatuksen taso ovat esitettyä alinta kuivatustasoa ylempänä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennusten ja katujen kuivatustaso (taso, jolla salaojat ovat) on Ritaharjun alueella noin 1,0 m syvyydellä maanpinnasta (keskimäärin taso +11,3 N2000). Rikkiä sisältäviä maa-aineksia havaittiin näytteenottohetkellä hieman vallitsevan pohjavesipinnan yläpuolella, minkä vuoksi happamien sulfaattimaiden esiintymiseen on syytä varautua keskimäärin tason +11,6 alapuolella (liite 3).

7.1.3 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.

Tutkimuksissa savisia maalajeja havaittiin Ritaharjun näytepisteissä KK2 ja KK4. Sulfidipitoisten massojen kaivaminen aiheuttaa niiden hapettumisen ja rikkihapon muodostumisen, jos massat altistuvat tarpeeksi kauan hapelle. Kaivutoimenpiteet avaavat potentiaalisen sulfaattimaan kerroksia alttiiksi hapettumiselle.

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 kireys on riippuvainen alapuolisen vesistön herkkyydestä ja sulfidisaven hapettumisen nopeudesta. Mitä isompi vesistö, sitä suurempi sietokyky sillä on mahdollisille happamille pulsseille. Ritaharjun

alueella havaittujen potentiaalisten happamien sulfaattimaiden hapontuottokapasiteetin havaittiin olevan suhteellisen matala, jolloin happaman valunnan muodostuminen vie aikaa arviolta joitakin päiviä.

Ylijäämämassojen vastaanotto paikalla 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.

Ritaharjun selvitysalueella happamia sulfaattimaita havaittiin yhdessä pisteessä noin 0,5 m paksuisena kerroksena. Suhteellisen vähäisen arvioidun massamäärän vuoksi ns. massastabilointia menetelmänä ei tässä kohteessa ole syytä tarkastella.

7.1.4 Putkikaivannot

Putkikaivannot suositellaan perustettavaksi sulfidipitoisten maiden yläpuolelle ja jäätyminen estetään routasuojuuksilla, 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 sitä myöten happamien vesien purkautumisen kaivannon alueelta.

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

7.1.5 Maanalaiset rakenteet ja paalutus

Mikäli sulfidipitoisilla alueilla perustusrakenteita kuten paalutuksia tulee sulfidimaakerrokseen, tulee huomioida maaperän potentiaalinen happamuus perustusmateriaaleja valittaessa. Lisäksi tulee huolehtia, ettei perustusrakenteet mahdollista pohjaveden purkautumista hallitsemattomasti alueelta. Mikäli perustusalue kuivatetaan, tulee varautua happamiin olosuhteisiin ja korroosiokestävyyteen materiaaleja valittaessa.

8. HAPPAMAN VALUNNAN HALLINTA

Ritaharjun alueen rakentamisen yhteydessä ei 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 kaivuumassojen käsittely on esitetty kohdassa 7.1.3. Mikäli lopullinen kuivatustaso tai työnaikainen kuivatustaso tulee esitetyn alimman kuivatustason alapuolelle happoa muodostavien maiden alueella, tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn ennen vesistöön johtamista.

8.1 Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut

Määritellyillä sulfidimaa-alueilla tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn, mikäli kuivatustaso ulottuu pohjavesipinnan alapuolelle. Käsittelytarvetta voidaan tarkkailla kuivatusvesien pH-

mittauksilla. Työnaikainen kuivatus tapahtuu kaivannoista pumpaamalla, jolloin kontti- tai kaivomallinen suodatin on helposti toteutettavissa ja tarvittaessa siirrettävissä. Kaivoon on toteutettavissa kalkkikivisuodatin, jossa tulovesi syötetään kaivon pohjalle, josta vesi leviää tasaisesti suodatinmateriaaliin. Vesi virtaa suodatinmateriaalin läpi ja neutraloituu reagoidessaan kalkkikiven kanssa. Vesi purkautuu suodattimen yläosasta. Mikäli vesiä muodostuu paljon, suositellaan kuivatusvedet 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 pintaosaostumat, 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.

8.2 Pysyvät käsittelyratkaisut

Ritaharjun suunnittelualueella havaittiin potentiaalisia happamia sulfaattimaita noin 0,5 m paksuisena kerroksena noin 13 500 m² alalla, jolloin hapanta valuntaa potentiaalisesti aiheuttava massamäärä on enimmillään noin 6 800 m³. Tämän havaitun sulfaattimaan hapontuottokapasiteetti todettiin alhaiseksi. Sulfidipitoisen maa-aineksen suhteellisen vähäinen määrä ja alhainen hapontuottokapasiteetti huomioiden alueelle ei lähtökohtaisesti arvioida tarvittavan pysyviä happaman valunnan käsittelyratkaisuja. Rakennustoimien aikana ja soveltuvan aikajakson ajan rakentamisen päättymisen jälkeen, alueen kuivatusvesien pH-tasoa tulee kuitenkin tarkkailla. Mikäli havaitaan hapanta valuntaa muodostuvan rakentamisen päättymisen jälkeenkin merkittävässä määrin, on syytä harkita kuivatusvesien pysyvämpää käsittelyratkaisua ennen hulevesiverkostoon/ojastoihin johtamista.

9. YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Tutkitulla Ritaharjun selvitysalueella havaittiin sulfidipitoisia maakerroksia eli potentiaalisia happamia sulfaattimaita yhdessä tutkimuspisteessä. Alueella ongelmilta voidaan välttyä pitämällä alueen kuivatustaso potentiaalisten happamien sulfaattimaiden yläpuolella, jolloin sulfidipitoiset maakerrokset eivät pääse hapettumaan. Lähtökohtaisesti alin kuivatustaso tulee siis huomioida jo alueen korkeusmaailman suunnittelussa.

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

Ritaharjun kortteleita 100 ja 101 koskevan asemakaavan muutoksen yhteydessä on syytä lisätä seuraava kaavamääräys:

Hienoainespitoisten (saviset ja silttiset maalajit) maalajien alueella tulee pohjatutkimusten yhteydessä tarkemmin selvittää sulfaattimaiden esiintyminen, mikäli alueelle suunnitellaan edellä mainittuihin maalajeihin asti ulottuvia kaivutöitä tai pohjaveden alentamista. Happamoitumisriski on otettava huomioon rakenteiden suunnittelussa, kaivutöissä, massanvaihdossa ja maa-aineksen läjityksessä happamoitumishaittojen ennaltaehkäisemiseksi.

10. LYHENTEET

NAG	Nettohaponpantuotto (net acid generation), ilmoitetaan yleensä yksikössä kg H ₂ SO ₄ /tonni
NAG-pH	Vetyperoksidihapetetusta näytteestä mitattu pH
H₂SO₄	Rikkihappo
PHS	Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (rikki pelkistyneenä sulfidimuodossa)
THS	Todellinen hapan sulfaattimaa (rikki hapettuneena sulfaattimuodossa)
Hh (LOI)	Hehkutushäviö (Loss on Ignition). Massaprosenttiosuus, joka uunikuivatusta (105 °C) näytteestä häviää hehkutuksen aikana. Hehkutuksen lämpötila on tyypillisesti 550 °C tai 800 °C
Inkuboitu pH	Huoneilmassa 9 – 19 viikon ajan hapetetusta näytteestä mitattu pH. Näytteet pidetään hapetuksen aikana kosteana
TOC	Orgaanisen hiilen (Total Organic Carbon) kokonaispitoisuus, m-%
HCl	Suolahappo
H₂O₂	Vetyperoksidi, kemikaali, jota käytetään mm. näytteiden hapetuksessa
S_{tot}	Kokonaisrikkipitoisuus, ilmoitetaan yleensä m-% tai ppm

11. 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*.
- Oulun kaupunki, 2007. Ritaharjun keskuksen asemakaava, ympäristön ja kunnallistekniikan yleissuunnitelma.
- 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.

LIITE 1

TUTKIMUSOHJELMA JA NÄYTTEENOTTO-OHJE

TUTKIMUSOHJELMA JA NÄYTTEENOTTO-OHJE

Projekti **Ritaharjun asemakaavan muutokseen liittyvä sulfidimaaselvitys**
Asiakas **Oulun kaupunki**
Versio **01**
Laatija **Enni Suonperä, Ramboll Finland Oy**
Tarkastaja **Sari Suvanto, Ramboll Finland Oy**

Päivämäärä 15.11.2018

Tausta

Työssä laaditaan Ritaharjun asemakaavan muutokseen (korttelit 100 ja 101) liittyvä sulfidimaaselvitys, jonka tuloksena esitetään alueet ja maakerrokset, joissa esiintyy happamia sulfaattimaakerroksia. Sulfidimaaselvitykseen sisältyy näytteiden laboratoriotutkimukset. Työssä tehdään tiivistä yhteistyötä laboratorion kanssa, jotta pystytään valitsemaan tutkimuksiin vain oleelliset näytteet. Selvityksen tuloksena laaditaan raportti, jossa esitetään tutkimusmenetelmät ja -tulokset. Lisäksi raportin liitteenä toimitetaan kartta, jossa on esitetty sulfidimaa-alue sekä kuivatustaso, joka voidaan alueella sallia ilman happaman valunnan muodostumisen vaaraa. Raportissa esitetään myös toimenpiteet, joilla estetään happaman valunnan muodostuminen tai hallitaan mahdollista hapanta valuntaa. Raportissa esitetään rakentamiselle aiheutuvat rajoitteet.

Ramboll Finland Oy

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

Tutkimusohjelma

Työn aluksi on laadittu happamien sulfaattimaiden tutkimiseksi tämä tutkimusohjelma, jonka perusteella näytteenotto suoritetaan.

Näytteenotto suoritetaan neljästä eri pisteestä (KK1 – KK4, liitteen tutkimuskartta) ja näytteenottosyvyys ulotetaan pisteissä KK1 – KK3 noin 3,5 metriin ja pisteessä KK4 noin 4,0 metriin, tai niin syväälle kuin kaivinkonetta hyödyntäen on mahdollista turvallisia työmenetelmiä käyttäen. Näytepiste KK4 sijaitsee suunnitellun alikulun läheisyydessä, minkä vuoksi näytteenoton ulottaminen muita tutkimuspisteitä syvemmälle on tarpeen.

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 kasvosia tms. ei sisällytetä näytteeseen. Näytemäärä tulee olla vähintään noin 0,5 litraa / näyte.

Maastotöiden yhteydessä näytteistä kirjataan ylös aistinvaraiset havainnot (maalaji, haju, väri, kosteus). Kentällä mitataan myös näytteiden pH. Mahdolliset havainnot pohjavedenpinnan tasosta kirjataan tarkoin ylös. Kustakin tutkimuspisteestä otetaan riittävä määrä valokuvia, joista on tunnistettavissa, mistä tutkimuspisteestä on kyse.

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:

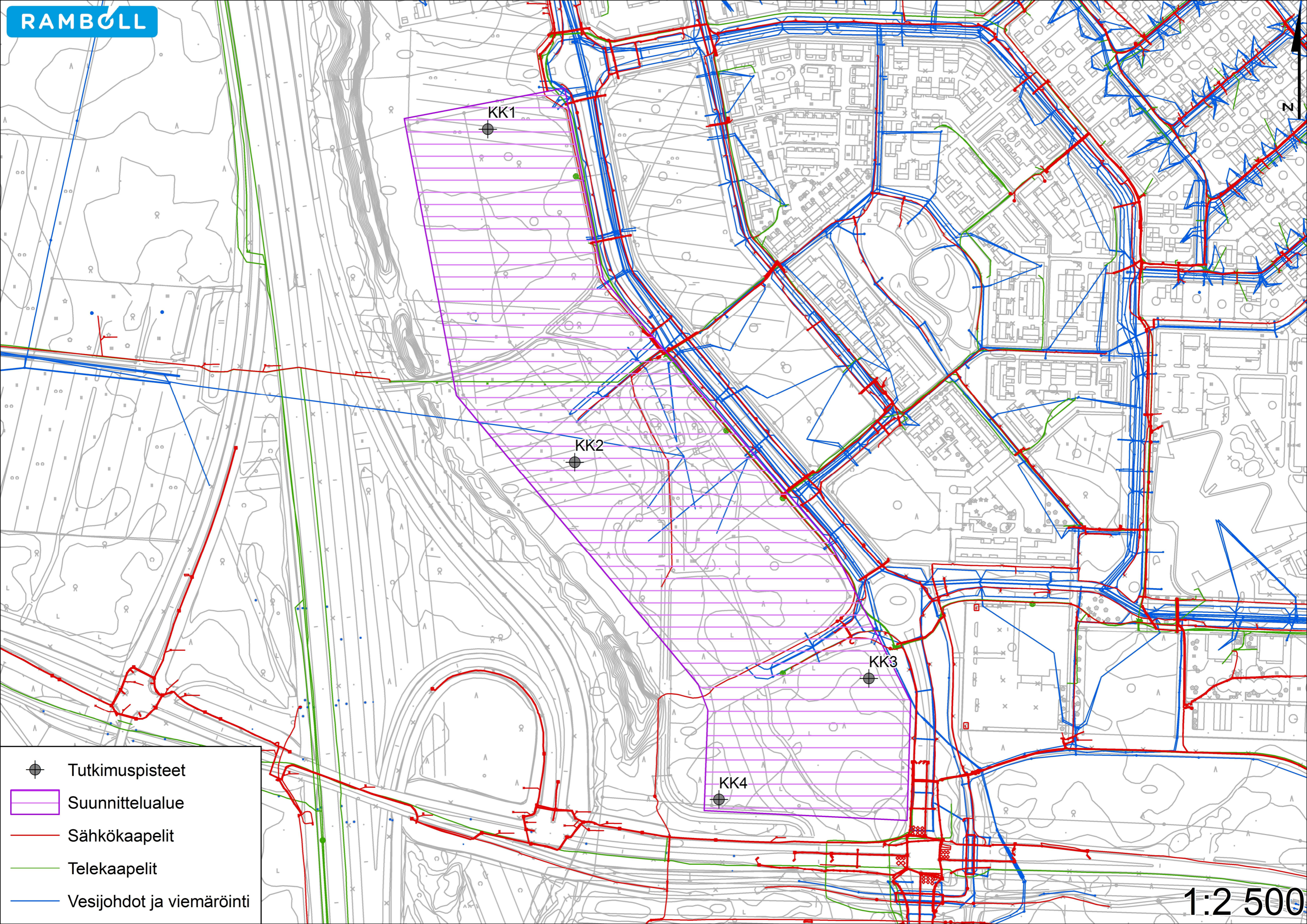
Ramboll Finland Oy
Vohlisaarentie 2B
36760 Luopioinen

Luopioisten laboratoriosta osa näytteistä lähetetään edelleen rikki- ja raskasmetallipitoisuusmäärityksiin.

Seuraavassa taulukossa (Taulukko 1) on esitetty näytepisteiden koordinaatit (ETRS-GK26FIN) ja tutkimussyvyudet. Näytepisteiden sijainnit ja maanalaiset rakenteet sekä suunnittelualue on esitetty liitekartassa.

Taulukko 1. Näytepisteiden koordinaatit (ETRS-GK26FIN) ja tutkimussyvyys.

Näytepiste	X	Y	Syvyys (m)
KK1	473855	7220789	3,5
KK2	473925	7220521	3,5
KK3	474161	7220347	3,5
KK4	474041	7220250	≥ 4,0



- ⊕ Tutkimuspisteet
- ▭ Suunnittelualue
- Sähkökaapelit
- Telekaapelit
- Vesijohdot ja viemärointi

1:2 500

LIITE 2

KENTTÄHAVAINTOJEN YHTEENVETO

1510044500-003 Ritaharjun kortteleita 100 ja 101 koskevaan asemakaavan muutokseen liittyvä sulfidimaaselvitys

Liite 2 Kenttähavaintojen yhteenveto

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
KK1	0 - 0,5	0	Mu	0	Ruskea	4,8	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ruskea	4,5	
	1 - 1,5	0	SiHk	0	Harmaa	4,7	
	1,5 - 2	0	SiHk	1	Harmaa	4,9	Pohjavesipinta n. 1,7 m
	2 - 2,5	0	SiHk	1	Harmaa	5,2	
	2,5 - 3	1	SiHk	2	Harmaa	5,6	
	3 - 3,5	0	SiHk	2	Harmaa	5,3	

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
KK2	0 - 0,5	0	Hk	0	Ruskea	4,3	
	0,5 - 1	0	SiHk	1	Harmaa	4,2	
	1 - 1,5	0,5	SiHk	2	Harmaa	4,9	Pohjavesipinta n. 1,2 m
	1,5 - 2	0	HkMr	1	Ruskea	5,6	
	2 - 2,5	0	HkMr	1	Ruskea	5,8	
	2,5 - 3	0	HkMr	1	Ruskea	5,6	Ei päästy syvemmälle

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
KK3	0 - 0,5	0	Hk	0	Ruskea	5,3	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ruskea	6,5	
	1 - 1,5	0	Hk	1	Ruskea	6,4	Pohjavesipinta n. 1,0 m
	1,5 - 2	0	HkMr	2	Ruskea	4,3	
	2 - 2,5	0	HkMr	2	Ruskea	5,9	
	2,5 - 3	0	HkMr	2	Ruskea	5,8	

Piste	Syvyys (m)	Haju	Maalaji	Kosteus (0 - 3)	Väri	pH	Muuta
KK4	0 - 0,5	0	HkMr	0	Ruskea	4,5	
	0,5 - 1	0	Hk	0	Ruskea	5,2	
	1 - 1,5	0	Hk	0	Ruskea	4,7	
	1,5 - 2	0,5	SiHk	2	Harmaa	6,0	Pohjavesipinta n. 1,5 m
	2 - 2,5	1	SiHk	2	Harmaa	5,9	
	2,5 - 3	0	Sa	2	Harmaa	6,8	Raidallista
	3 - 3,5	0	Sa	3	Harmaa	7,3	Raidallista
	3,5 - 4	0	Sa	3	Harmaa	7,0	Raidallista

LIITE 3

TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO

1510044500-003 Ritaharjun kortteleita 100 ja 101 koskevaan asemakaavan muutokseen liittyvä sulfidimaaselvitys

Liite 3 Tutkimustulosten yhteenveto

Piste	Syvyys (m)	Maalaji	Hh [%]	W [%]	Maasto pH	NAG-pH	inkuboitu pH	S _{tot} [%]	NAG [kg H ₂ SO ₄ /t]	Muuta
KK1	0 - 0,5	Mu			4,8					
KK1	0,5 - 1	Hk	0,4	9,2	4,5					
KK1	1 - 1,5	SiHk	0,2	18,3	4,7		4,6	0,01		
KK1	1,5 - 2	SiHk	0,3	21,1	4,9					Pohjavesipinta n. 1,7 m
KK1	2 - 2,5	SiHk	0,2	20,8	5,2		4,8	<0.01		
KK1	2,5 - 3	SiHk	0,2	22,6	5,6		4,7	<0.01		
KK1	3 - 3,5	SiHk	0,1	20,5	5,3		4,7	<0.01		

Piste	Syvyys (m)	Maalaji	Hh [%]	W [%]	Maasto pH	NAG-pH	inkuboitu pH	S _{tot} [%]	NAG [kg H ₂ SO ₄ /t]	Muuta
KK2	0 - 0,5	Hk			4,3					
KK2	0,5 - 1	SiHk	0,7	29,5	4,2	3	3,6	0,25	4,8	
KK2	1 - 1,5	SiHk	0,2	20,9	4,9	3,5	4,1	0,06		Pohjavesipinta n. 1,2 m
KK2	1,5 - 2	HkMr	0,2	10,7	5,6					
KK2	2 - 2,5	HkMr			5,8		5,3	0,04		
KK2	2,5 - 3	HkMr	0,2	14,1	5,6					Ei päästy syvemmälle

Piste	Syvyys (m)	Maalaji	Hh [%]	W [%]	Maasto pH	NAG-pH	inkuboitu pH	S _{tot} [%]	NAG [kg H ₂ SO ₄ /t]	Muuta
KK3	0 - 0,5	Hk			5,3					
KK3	0,5 - 1	Hk	0,4	6,5	6,5					
KK3	1 - 1,5	Hk	0,2	5,5	6,4					Pohjavesipinta n. 1,0 m
KK3	1,5 - 2	HkMr	0,2	13,7	4,3		4,5	0,02		
KK3	2 - 2,5	HkMr			5,9					
KK3	2,5 - 3	HkMr	0,2	15,2	5,8		5,2	0,02		

Piste	Syvyys (m)	Maalaji	Hh [%]	W [%]	Maasto pH	NAG-pH	inkuboitu pH	S _{tot} [%]	NAG [kg H ₂ SO ₄ /t]	Muuta
KK4	0 - 0,5	HkMr			4,5					
KK4	0,5 - 1	Hk	0,1	6	5,2					
KK4	1 - 1,5	Hk	0,4	6,4	4,7					
KK4	1,5 - 2	SiHk	0,1	22,7	6,0		5,7	<0,01		Pohjavesipinta n. 1,5 m
KK4	2 - 2,5	SiHk	0,1	23,6	5,9		6	0,01		
KK4	2,5 - 3	Sa	2,4	53,1	6,8	5,2	6,9	0,09		Raidallista
KK4	3 - 3,5	Sa	2,1	42,1	7,3					Raidallista
KK4	3,5 - 4	Sa	2,5	55,8	7,0	6,1	6,1	0,08		Raidallista

Hh = hehkutushäviö




W = vesipitoisuus

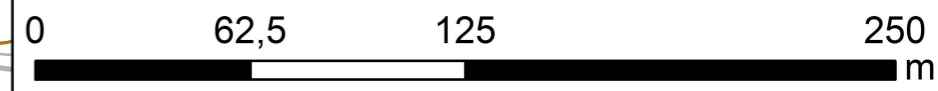
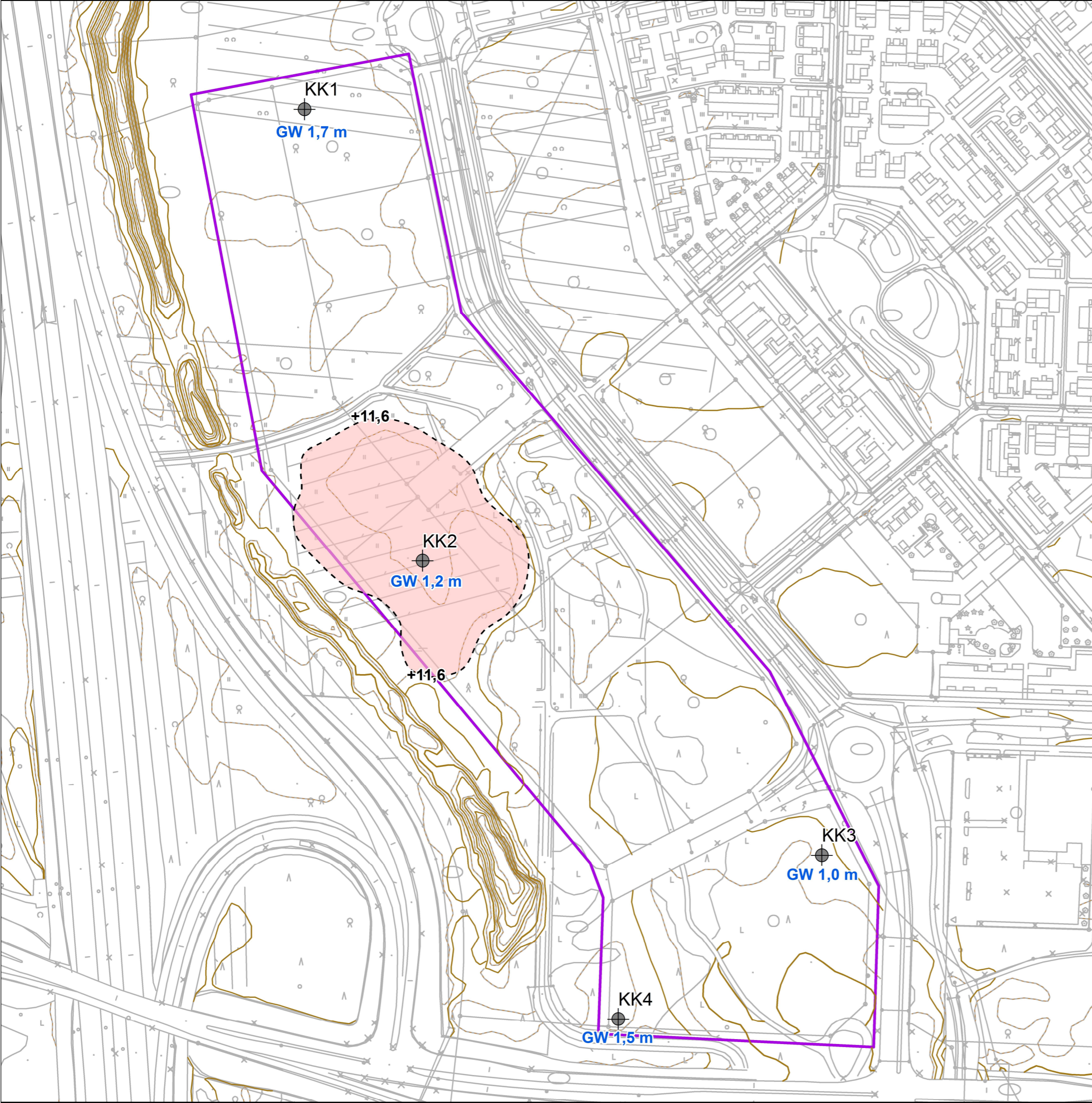
NAG-pH = vetyperoksidihapetettu pH

NAG = nettohapontuotto

Stot = kokonaisrikkipitoisuus

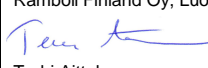
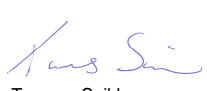
LIITE 4
SULFIDIMAA-ALUEEN RAJAUS

-  Tutkimuspisteet
-  Alue, jolla happamien sulfaattimaiden esiintyminen on todennäköistä
-  Suunnittelualue
- +11,6** Taso (N2000), jonka alapuolella happamien sulfaattimaiden esiintyminen on todennäköistä
- GW 1,0 m** 2018 sulfdimaanäytteenoton yhteydessä havaittu pohjavesipinta metreinä maanpinnan alapuolella



LIITE 5

TUTKIMUSTODISTUKSET

Projektin nimi				Projektin numero										
Ritaharju				1510044500-003										
Näytepiste / pvm	Syvyys [m]	Silmämääräinen arvio		Määritetty	NAG-pH	inkubointi pH	Nettohapon-tuotanto [kg H ₂ SO ₄ /tonni]	Stot [m-%]	w [%]	H _h 550 °C [%]	Rakeisuusmääritys			Huomioita
		Maalaji*	Muut havainnot	Maalaji **							Pesuseul.	Kuivaseul.	Areom.	
KK1 / 27.11.2018	0,5-1,0								9,2	0,4				
	1-1,5					4,6		0,01	18,3	0,2				
	1,5-2								21,1	0,3				
	2-2,5					4,8		<0,01	20,8	0,2				
	2,5-3					4,7		<0,01	22,6	0,2				
	3-3,5					4,7		<0,01	20,5	0,1				
KK2 / 27.11.2018	0,5-1				3,0	3,6	4,8	0,25	29,5	0,7				
	1-1,5				3,5	4,1		0,06	20,9	0,2				hieman ruosteen väriä
	1,5-2								10,7	0,2				
	2-2,5					5,3		0,04						
	2,5-3								14,1	0,2				
KK3 / 27.11.2018	0,5-1								6,6	0,4				
	1-1,5								5,5	0,2				
	1,5-2					4,5		0,02	13,7	0,2				
	2,5-3					5,2		0,02	15,2	0,2				
KK4 / 27.11.2018	0,5-1								6,0	0,1				
	1-1,5								6,4	0,4				
	1,5-2					5,7		<0,01	22,7	0,1				
	2-2,5					6,0		0,01	23,6	0,1				
	2,5-3				5,2	6,9		0,09	53,1	2,4				näytteessä mustia juovia ja hieman ruosteen väriä
	3-3,5								42,1	2,1				
	3,5-4				6,1	6,1		0,08	55,8	2,5				näytteessä mustia juovia
* 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).				 Terhi Aittokumpu Tutkija										
				 Tuomas Suikkanen Tark.										
				30.1.2019 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-määrittäminen	SFS-EN 1997-2 5.6
NAG pH-määrittäminen	ARD Test handbook, AMIRA International, single addition NAG test

Raporttinumero: 045169

17.12.2018

Ramboll Finland Oy
Tuomas Suikkanen
Vohlisaarentie 2 B
36760 Luopioinen

Tilaus: S18-13121
Asiakkaan viite: 1510044500-003
Tilausnumero: S18-13121
Vastaanottopvm: 4.12.2018

Esikäsittelysuoritteet

Suorite	Suoritteen kuvaus	Näytteiden lkm
11 *	Näytteen kuivaus <40°C:ssa	13 kpl
40	Jauhatus karkaistussa hiiliteräsjauhinpannussa	13 kpl

Testaustulokset

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

Analyysikoodi	810L *
Parametri	S *
Yksikkö	%
Määrittämiss raja	0.01
Näytetunnus	
KK1 1-1.5	0.01
KK1 1-1.5 (2)	0.01
KK1 2-2.5	<0.01
KK1 2.5-3	<0.01
KK1 3-3.5	<0.01
KK2 0.5-1	0.25
KK2 1-1.5	0.06
KK2 2-2.5	0.04
KK3 1.5-2	0.02
KK3 2.5-3	0.02
KK4 1.5-2	<0.01
KK4 2-2.5	0.01
KK4 2.5-3	0.09
KK4 3.5-4	0.08

* Akkreditoitu

Raporttinumero: 045169

17.12.2018

17.12.2018 Susanna Arvilommi
Laboratoriopäällikkö/Laboratory manager

Jakelu Ramboll Finland Oy
Suikkanen, Tuomas / Ramboll Finland Oy