

L1030

Vastaanottaja
Oulun kaupunki
Mirjam Larinkari

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
11/2017

KIIMINGIN YRITYSPUISTO SULFIDI MAASELVITYS

KIIHMINGIN YRITYSPUISTO
SULFIDI MAASELVITYS

Päivämäärä 3.11.2017
Laatija Sari Suvanto, Ville Parantala
Tarkastaja Sari Suvanto
Hyväksyjä Mirjam Larinkari

Viite 1510035290-005

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	1
2.	HAPPAMIEN SULFAATTIMAI DEN ESI INTYMI NEN JA TUNNI STAMI NEN	1
2.1	Taustaa	1
2.2	Sulfaattimaiden luokittelu	2
2.3	Sulfaattimaiden tunnistusmenetelmiä	3
2.4	Happaman valunnan muodostuminen	4
3.	SUUNNITTELUKOHDE	4
4.	NÄYTTEENOTTO	5
5.	TUTKIMUSMENETELMÄT	5
6.	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	5
6.1	Maalajit	6
6.2	pH ja nettohapontuottopotentiaali	6
6.3	Kokonaisrikkipitoisuus	7
6.4	Rauta-rikki-suhde	7
6.5	Puskurikapasiteetti	8
7.	TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO	8
8.	JATKOTOI MENPI TEET	9
8.1	Sulfidimaista aiheutuvien haittojen ehkäisy	9
8.1.1	Pohjaveden pinnan alin taso	9
8.1.2	Kaavoitus	9
8.1.3	Alueen tasauksen suunnittelu	9
8.1.4	Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely	10
8.1.5	Putkikaivannot	11
8.1.6	Paalutettavat kohteet yms. maanalaiset rakenteet	11
8.2	Happaman valunnan hallinta	11
8.2.1	Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut	11
8.2.2	Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut	12
9.	LÄHTEET	14

LIITTEET

1. Suunnittelualue ja tutkimuspisteiden sijainti
2. Sulfidimaa-alueet
3. Analyysitulokset
4. Analyysitodistus, maanäytteet

1. JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli selvittää Oulussa Kiimingin Yrityspuiston (liite 1) asemakaava-alueen maaperässä olevien happamien sulfaattimaiden esiintyvyyttä. Selvityksen avulla oli tarkoitus rajata alueet, joilla happamia sulfaattimaita esiintyy. Lisäksi oli tarkoitus rajata ne maakerrokset, joissa happamia sulfaattimaita esiintyy.

Tutkimus ulotettiin mahdollisen kaivu- ja massanvaihtotasojen alapuolelle, jotta saatiin tietoa mahdollisesti hapellisiin olosuhteisiin joutuvista happamista sulfaattimaita. Näytteenotto ulotettiin 4,0 metrin syvyyteen nykyisestä maanpinnasta.

Happamat sulfaattimaat tulee huomioida alueen rakentamista suunniteltaessa niiden happamoitavan vaikutuksen vuoksi. Hapan vesi liuottaa maa-aineksesta metalleja, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle, erityisesti kaloille.

Tämän selvityksen myötä havaittiin, että asemakaava-alueella on maakerros, jolla voi mahdollisesti olla happamoiva vaikutus. Maakerros on savea/silttiä ja sijaitsee asemakaava-alueen pohjois- ja koillisosassa, turvekerroksen alapuolella. Sijainti on esitetty liitteessä 2. Tässä raportissa esitetty ohjeistus on otettava huomioon Kiimingin yrityspuiston kaavoituksessa, katu- ja kuivatussuunnittelussa, hulevesien hallinnan suunnittelussa, materiaalivalinnoissa sekä rakennustyön suorittamisessa. Lisäksi kaivumaiden läjitys-/loppupaikkaa ratkaistaessa on huomioitava happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vaikutukset.

Työ on tehty Oulun kaupungin toimeksiannosta, jossa yhteyshenkilönä on toiminut Mirjam Larinkari. Tutkimukset on tehty Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työstä ovat vastanneet:

- projektipäällikkö Sari Suvanto
- laboratoriotyön ohjaus ja raportointi Merja Autiola
- raportointi Ville Parantala
- näytteenotto Anne Jokiniemi

2. HAPPAMIEN SULFAATTIMAI DEN ESIINTYMI NEN JA TUNNI STAMI NEN

Seuraavassa esitetään happamiin sulfaattimaih in liittyvän ympäristöongelman taustaa ja sulfaattimaiden tunnistusmenetelmiä.

Yrityspuiston asemakaava-alueen maanäytteiden luokittelu on esitetty tarkemmin kappaleissa 6 ja 7.

2.1 Taustaa

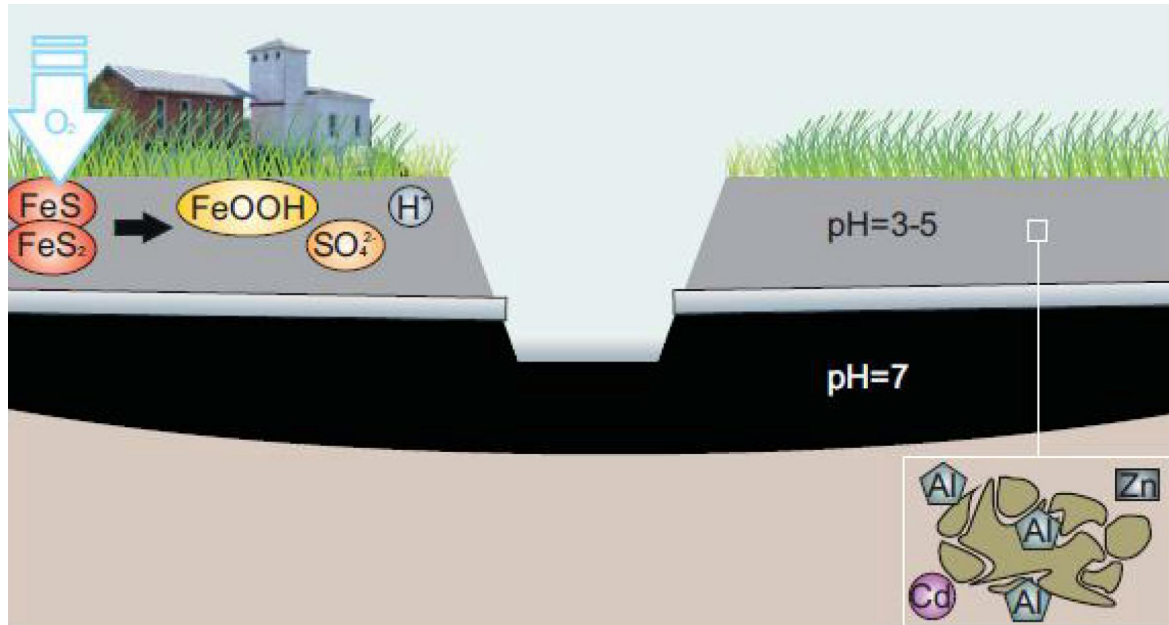
Noin 8 000–4 000 vuotta sitten Suomen rannikkoseudut olivat Litorina-meren peitossa ja lämpimässä ilmastossa kasvillisuus oli runsas. Veteen kuolleet ja maatuneet kasvinosat rehevöittivät veden ja merenpohjan hapettomissa osissa mikrobitoiminta pelkisti sulfaatin sulfidiksi. Näin syntyi rikkipitoista sulfidimaata. Sulfidimaata tavataan itäiseltä Uudeltamaalta Perämeren rannikolle saakka. Oulun alueella sulfaattimaat esiintyvät korkeuskäyrän 90 m alapuolella.

Sulfaattimaat ovat usein väriltään tummia, liejuisia ja hienorakeisia lajittuneita maalajeja, joita esiintyy tyypillisesti alavilla viljelys- ja metsämailla sekä suomail la. Luonnontilassa matalat, taasisen kosteat sulfidimaat eivät aiheuta välttämättä haittaa ympäröivälle luonnolle. Tilanne muuttuu, kun pohjaveden pinta laskee esimerkiksi ojituksen seurauksena, tai mikäli sulfidimaata kaivetaan kasalle esimerkiksi rakentamisen tai ruoppauksen yhteydessä. Hapan kanssa tekemisiin joutuvan sulfidimaan sisältämät rikkipitoiset mineraalit hapettuvat ja muodostava rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja (Kuva 1).

Hienorakeisten maaperäkerrosten lisäksi monin paikoin myös karkearakeiset kerrokset (hiekkä, karkea hieta ja moreeni) tuottavat hapettuessaan haitallisia määriä happamuutta maaperän heikon puskurikyvyn ja korkean vedenläpäisykyvyn takia. Näissä kerrostumissa rikkipitoisuus on tyypillisesti alhainen (0,1... 0,01 %). Turpeen rikkipitoisuus nousee paikoin, myös sisämaassa,

useaan prosenttiin, jolloin hapettumistilanteessa saattaa syntyä sulfidiperäistä happamoitumis-kuormitusta. Turvemaileda on yleensä matala pH ja siten huono puskurikyky.

Kuivana ajanjaksona liuenneet happosulfaatit ja metallit pidättyvät maaperään. Sateiden tai sulamisvesien mukana sulfaattimaiden vedet huuhtoutuvat vesistöihin. Valumien pH voi olla alle 3. Herkimmät kalat voivat kuolla, jos vesistön pH laskee alle 5,5:n. Lisäksi hapan vesi liuottaa maaperästä ja veden kiintoaineksesta alumiinia pintavesiin. Vesistöissä alumiini saostuu kalan kiduksissa aiheuttaen kalojen tukehtumista. Happamien vesien vaikutuksesta myös mangaanin, kadmiumin, kobolttin, kuparin, sinkin ja nikkelin päästöt vesiin lisääntyvät (GTK 2009, GTK 2016).



Kuva 1. Harmaa kerros kuvaa hapettunutta hapanta sulfaattimaata ja musta kerros pelkistyneessä tlassa olevaa sulfidimaata (GTK 2009).

2.2 Sulfaattimaiden luokittelu

Happamien sulfaattimaiden ja potentiaalisten happamien sulfaattimaiden (eli sulfidimaiden) aiheuttamat vaikutukset on tiedostettu Suomessa etenkin sen maataloudelle aiheuttamien ongelmien vuoksi. Nykyään tiedon lisääntyessä ymmärrys happamien sulfaattimaiden aiheuttamista haasteista tavanomaiselle infrarakentamiselle on kasvanut. Etenkin happamien sulfaattimaiden aiheuttamat ongelmat kohdistuvat maanalaisiin rakenteisiin (putki- ja perustusrakenteet) ja niiden aiheuttamiin vesistö vaikutuksiin. Seuraavassa on esitetty GTK:n käyttämää happamien sulfaattimaiden luokitusta.

Todellinen hapan sulfaattimaa (THS):

Todellisen happaman sulfaattimaan tärkein tunnusmerkki on pohjavedenpinnan yläpuolinen maakerros, joka on happamoitunut sulfidien hapettumisen seurauksena. Tämän maakerroksen pH-arvo on yleensä <4. Maaperän pH-arvo voi olla joskus hieman korkeampi, jos maaperän puskurikyky on hyvä tai syntynyt happamuus on ehtinyt huuhtoutua pois. Maakerroksissa on usein ruosteenvärisiä rautasaostumia ja kellertävää jarsiittia.

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (PHS):

Pohjavedenpinnan alapuolella voi olla potentiaalisia happamia sulfaattimaakerroksia (kutsutaan myös sulfidimaaksi). Maakerroksessa voi näkyä tumman harmaa hapettumaton sulfidipitoinen maa-aines. Hapettomassa tilassa maakerroksen pH on yleensä alle 6, mutta laskee hapetuksessa alle 4 ja pH:n muutos on yli 0,5 pH-yksikköä verrattuna maastossa mitattuun pH-tulokseen. Rikin haju voi olla aistittavissa, sillä rikki esiintyy sulfidimuodossa. Hienorakeisissa maalajeissa ja liejuissa rikkipitoisuus yleensä yli 0,2 % ja karkearakeisissa maalajiessa rikkipitoisuus voi olla niinkin alhainen kuin 0,01 %. Turpeessa rikkiä voi olla useita prosentteja, mutta osa siitä on orgaanista rikkiä. (GTK 2012)

2.3 Sulfaattimaiden tunnistusmenetelmiä

Edellä on esitetty GTK:n käyttämään happamien sulfaattimaiden tunnistus. GTK:n menetelmä ei kuitenkaan ota kantaa onko maa-aines vähän vai paljon happoatuottava ja siten kuinka merkittävä ongelma ympäristössään. Tämä arviointi on erittäin tärkeä kunkin suunnittelukohteen kannalta.

Ruotsalaiset (Pousette ym. 2008) ovat kehittäneet sulfaattimaiden tunnistusmenetelmän, joka perustuu liukoisuuskokeeseen. Kokeessa selvitetään kuinka monta liuotus-kuivatuskertaa tarvitaan siihen, että näytteen pH on laskenut alle 4 ja mikä on näytteen minimi-pH. Tunnistuksessa on apuna lisäksi maa-aineksen rikkipitoisuus sekä raudan ja rikin kokonaispitoisuuksien suhde.

Raudan ja rikin suhde indikoi maa-aineksen happamoittamispotentiaalia; maa-aineksella on hyvin suuri happamoittava vaikutus, mikäli Fe/S-suhde on <3 ja puolestaan hyvin alhainen happamoittava vaikutus, mikäli Fe/S-suhde on >60. Fe/S-suhteen ollessa välillä 3–60 happamoittavasta vaikutuksesta ei voi tehdä luotettavia tulkintoja ilman lisäselvityksiä.

Ruotsalaisessa menetelmässä huomioidaan lisäksi maan läpäisevyys ja hehkutushäviön vaikutusta puskurikapasiteettiin. Mikäli näytteen hehkutushäviö on suuri, maa-aineksella on todennäköisesti hyvä puskurikapasiteetti, mikä vähentää sen happamoittavaa vaikutusta. Kuva 2 on esitetty ruotsalaiset parametrin happamien sulfaattimaiden luokitukseen.

S [mg/kg kuiva-ainetta]	Happamoitumispotentiaali	Hehkutus-häviö [%]	Puskurivaikutus
> 10 000	erittäin korkea	0–3	ei puskurivaikutusta
5 000–10 000	korkea	3–5	ei puskurivaikutusta
600–5 000	kohtalainen	5–8	mahdollinen puskurivaikutus
< 600	pieni	> 8	todennäköinen puskurivaikutus
Fe/S	Happamoittamisvaikutus	Maan läpäisevyys [m/s]	Happamoitumisnopeus
< 3	erittäin korkea	> 10 ⁻⁷	nopea
3–60	vaikea arvioida	10 ⁻⁸ –10 ⁻⁷	
		10 ⁻⁹ –10 ⁻⁸	
> 60	pieni	< 10 ⁻⁹	hidas
pH min	Happamoittamisvaikutus	Maan määrä [m ³]	
< 3	erittäin korkea	> 5000	erittäin suuri määrä
3–4	korkea	500–5000	suuri määrä
4–5	kohtalainen	50–500	kohtuullinen määrä
> 5	pieni	< 50	pieni määrä
Liuotus-kuivatuskertojen määrä kunnes pH < 4	Happamoitumisnopeus		
< 5	nopea		
5–10			
10–15			
> 15	hidas		

Kuva 2: Ruotsalainen happamien sulfaattimaiden tunnistus

Ruotsalaisessa artikkelissa (Pousette. 2007) on esitetty arvio siitä kuinka suuret määrät happamaa sulfaattimaata ovat haitallisia ympäristölle. Mikäli kaivettavan happamoittavan maa-aineksen määrä ylittää 500 m³, massa vaatii toimenpiteitä ympäristöhaittojen ehkäisemiseksi.

Pienempien määrien haitat ovat todennäköisesti riippuvaisia kohdekohtaisista olosuhteista. Herkissä luonnonympäristöissä happokuormituksella voi olla vakavat seuraukset kalastolle ja yleisesti vesistölle. Happamilla sulfaattimailla on merkitystä myös kunnallisteknisille ja muille rakenteille korroosion muodossa.

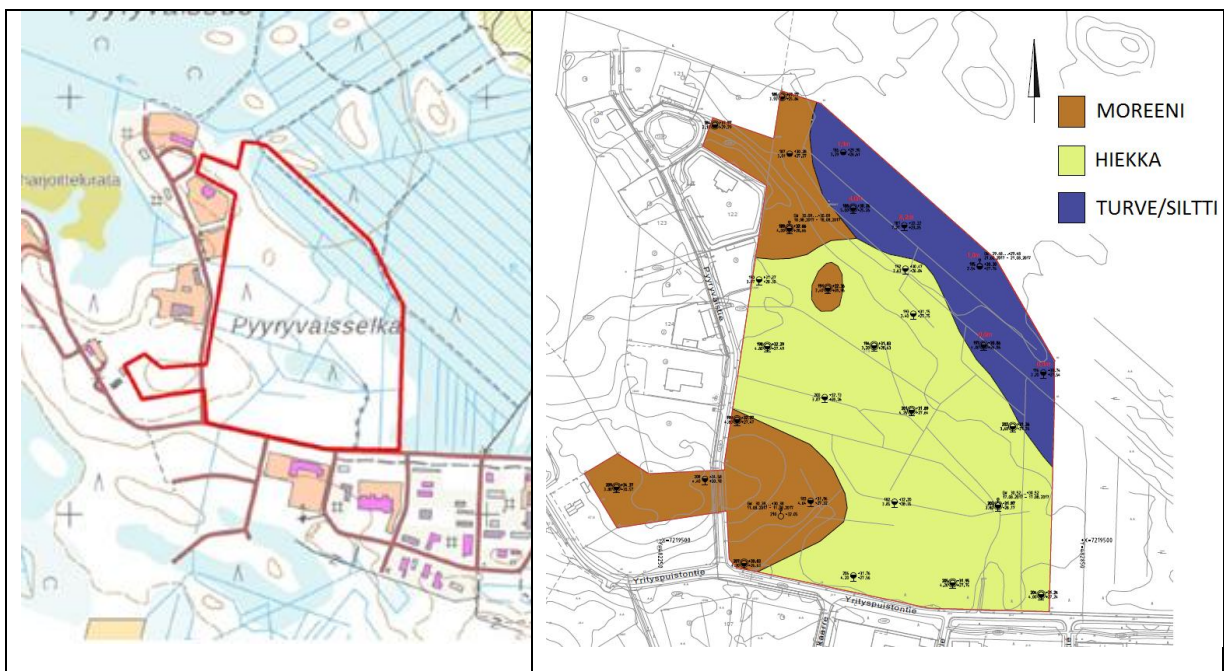
Menetelmän avulla happamat maat luokitellaan Ruotsissa neljään ryhmään heikosti happamoittavista todella voimakkaasti happamoittaviin sulfaattimaihin.

2.4 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 puskuroidut yhdisteet, jotka ovat liunneet veteen. Maaperän ollessa pohjavedenpinnan alapuolella, on maaperän happipitoisuus hyvin matala ja rikkihappoa ei pääse muodostumaan. Rakennustöiden yhteydessä tehtävien pohjaveden alennusten myötä happea pääsee maaperään pohjaveden laskiessa ja rikkihappoa muodostuu. Sadannasta tai sulannasta suotautuva vesi taas huuhtoo hapot mukaansa. Mikäli pohjaveden pinta lasketaan alemmas pysyvästi voi happaman valunnan muodostuminen jatkua pitkäänkin.

3. SUUNNITTELUKOHDE

Suunnittelualue sijaitsee Oulun kaupungissa Välikylän Yrityspuistossa Kuusamontien (VT20) itäpuolella. Yrityspuiston uusi asemakaava-alue sijaitsee nykyisen osittain rakentuneen asemakaava-alueen pohjoispuolelle jääden nykyisen kaavassa olevan pohjoisen haaran länsipuolelle. Asemakaava-alueelle on tarkoitus kaavoittaa teollisuuskiinteistöjä.



Kuva 3. Selvitysalueen rajaus peruskartalla (pohjakartta © MML 2017) sekä suunnittelualueen maaperäkarta ja kairauspisteet

Suunnittelualueen luontoarvot on selvitetty maastokäynnillä. Alue on tasaista tavanomaista taosmetsää, jolla on enimmäkseen tuoretta kangasta, mutta paikoin myös kuivahkoa kangasta. Osa tuoreesta kankaasta on soistunutta. Metsä on pääosin suhteellisen nuorta puustoa (alle 50 v.), jossa on paikoin taimikkoa ja nuorta kasvumetsää. Maastokäynnin aikana ei havaittu erikoisia huomioitavia tai direktiivilajeja.

Pesimälinnusto selvitettiin myös maastokäynnillä. Suunnittelualueella ei havaittu erityisesti huomioon otettavia uhanalaisia lintulajeja tai petolintujen pesäpaikkoja. Selvityksen perusteella suunnittelualueella ei ole linnustollisesti arvokkaita paikkoja.

Suunnittelualueen kuivatusvedet purkautuvat kolmea eri kautta läheiseen Kalimenojaan. Kalimenojan vedenlaatu on turvatta rakennustöiden aiheuttamilta haitoilta, erityisesti pH:n muutosten osalta.

4. NÄYTTEENOTTO

Näytteenotto suoritettiin kairaamalla 22. ja 24.8.2017. Näytteenotosta vastasi Ramboll Finland Oy.

Näytteitä otettiin tutkimusohjelman mukaisesti kolmesta näytepisteestä (P1, P2 ja P3) puolen metrin välein tai vähintään jokaisesta silmämääräisesti eri maalajista tai ulkoasultaan poikkeavista kerroksista. Näytteenotto ulotettiin jokaisessa näytepisteessä 4 metrin syvyyteen, jonka oletetaan olevat putkikaivantojen syvyys alueella.

Näytteenoton yhteydessä tehtiin silmämääräinen maalajimääritys sekä mitattiin pH kenttämittarilla. Näytteenoton yhteydessä tarkasteltiin maaperän hajua sekä väriä.

Tutkimuspisteiden sijainnit on esitetty liitteessä 1.

5. TUTKIMUSMENETELMÄT

Maanäytteet tutkittiin Rambollin ympäristögeotekniikan laboratoriossa Luopioisissa ja Eurofinns Oy:n ympäristölaboratoriossa Vantaalla.

Käytetyt menetelmät olivat:

- Vesipitoisuuden määrittäminen: SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-1:FI
- Hehikutushäviön määrittäminen: SFS-EN 1997-2 5.6
- NAG-pH, (näytteen pH:n määrittäminen vetyperoksidilla hapetuksen jälkeen): Näytteeseen lisättiin 15 %:sta vetyperoksidia ja näytettä keitettiin vähintään kahden tunnin ajan, tai kunnes reagointi loppui. Näytteen jäähtyttyä huoneenlämpöön mitattiin pH (NAG pH, net acid generation)
- Hapontuotto: Määritetään vetyperoksidilla hapetetusta näytteestä. Näytteet titrataan 0,1 M natriumhydroksidiliuoksella pH-arvoon 4,5. NaOH-kulutuksen perusteella laskettiin näytteen hapontuotto yksikössä H_2SO_4 kg / t maata.
- Kokonaisriikki määritettiin laboratorion omalla menetelmällä, jossa näyte (tarvittaessa kuivattu) poltetaan putkiuunissa (Leco SC-144DR) puhtaassa hapessa ja korkeassa lämpötilassa. Muodostuneen SO_2 -kaasumäärän perusteella lasketaan näytteen kokonaisriikkipitoisuus. Tulokset ilmoitetaan näytteen kuivamassaa kohden. Määritysraja analyysille on 0,01-0,03 m-%
- Kokonaisrauta määritettiin soveltaen standardia SFS-EN ISO 11885 (mod.)

6. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Analyysitulokset on esitetty kootusti liitteen 3 taulukossa ja analyysitodistus liitteessä 4. Maanäytteitä otettiin 24 kpl. Näistä kaikista mitattiin pH kentällä sekä kirjattiin havainnot maalajista, väristä ja hajusta. Laboratoriossa tehdyn maastoa tarkemman silmämääräisen maalajiarvion ja maastossa mitatun pH:n perusteella valittiin jatkotutkimuksiin 13 näytettä. Jatkotutkimuksissa määritettiin vesipitoisuus, hehikutushäviö (Hh 800 °C), rikki- ja rautapitoisuudet sekä hapetettu pH (NAG-pH). Rakeisuus määritettiin 8 näytteestä. Lisäksi rikkipitoisuuksien ja NAG-pH:n perusteella valittiin yksi näyte, joista määritettiin nettohapontuotto.

6.1 Maalajit

Tutkimuspisteiden P2 ja P3 perusteella tutkimusalueen pintakerros muodostui pääosin hiekasta (0,5...0,9 m). Pohjamaa puolestaan on pääosin hiekkamoreenia tai keskitiivistä...tiivistä hiekkaa / silttistä hiekkaa. Tutkimuspiste P1 sijaitsee alueella, jossa pintakerros on turvetta. Turvekerroksen paksuus on kairausten perusteella 0,6...1,0 m, ja sen alapuolella esiintyy ohut hiekkakerros (n 0,5 m) ja löyhiä silttikerroksia (saSi) 1,0...6,0 m syvyyteen asti. Pehmeikköalueen tutkimuspisteessä P1 oli myös ohut kerrostuma laihaa savea syvyydellä 1,0...1,5. Savi ja silttikerrokset olivat pääasiassa väriltään harmaita, ja seassa oli ruostetta.



Kuva 4. Näytteenottopisteen P1 näyte 1,0 – 1,5 m syvyydestä. Maalaji on laihaa savea, jonka seassa on ruostetta.

6.2 pH ja nettohapontuottopotentiaali

Näytteenoton yhteydessä mitattiin pH kenttämittarilla. Maastossa pH vaihteli välillä 5,3...6,8. Alhaisimmat pH:t mitattiin tutkimuspisteen P1 pintakerroksista, joissa pH oli 5,3...5,5. Muissa tutkimuspisteissä pH oli alimmillaan kentällä mitattuna 5,5 ja kaikkien näytteiden keskiarvo oli 6,1.

Näytteiden (13 kpl) pH:n muutosta tutkittiin NAG pH-määrityksellä, jossa näytteet hapetettiin kemikaalilla. Näytteiden pH laski kaikissa näytteissä enemmän kuin 0,5 yksikköä ja alle pH arvon 4,0. Näytteiden pH:n muutokset vaihtelivat välillä 2,1...3,7 keskiarvon ollessa 2,9 yksikköä.

NAG-pH:n perusteella kaikki näytteet voidaan luokitella potentiaalisesti happamaksi sulfaatti- maaksi. Huomattavaa kuitenkin on, että näytteet ovat hapetettu kemiallisesti, eikä tilanne korreloi täydellisesti luontaisen hapettumisen kanssa.

Yhdestä näytteestä tutkittiin nettohapontuottopotentiaali. Nettohapontuottopotentiaali kuvaa ympäristöön vapautuvaa happokuormitusta, kun tietty määrä potentiaalista hapanta sulfaattimaata pääsee hapellisiin olosuhteisiin. Tutkimuksessa näytteet titrattiin 0,1 M natriumhydroksidiliuoksella (NaOH) pH-arvoon 4,5. Tutkittavaksi näytteeksi valittiin laihaa savikerrosta edustava näyte

tutkimuspisteestä P1. Muissa näytteenotuspisteissä rikkipitoisuudet olivat niin alhaisia, ettei niistä ollut tarvetta määrittää nettohapontuottoa. Näytteenotuspisteen P1 savikerroksen nettohapontuottopotentiaali oli 1,7 H₂SO₄/tonni. Tämän perusteella maa-aines on ehkä heikosti happoatuttavaa maa-aineista. Taulukossa 1 on esitetty alku-pH, NAG-pH ja pH:n muutos maakerroksittain kaikissa näytteissä.

Taulukko 1: pH kentällä mitattuna, hapetettu pH sekä nettohapontuotto maakerroksittain näytteissä

	Maalaji	pH maastossa (min-max, keskiarvo)	NAG-pH (min-max, keskiarvo)	pH:n muutos (min-max, keskiarvo)	Nettohapontuotto (kg H ₂ SO ₄ /t)	Keittokerat
P1	saSi / laSa	5.55-6.48, 6.0	3.6- 3.99, 3.78	2.07- 2.88, 2.34	1.7*	3
P2 ja P3, pintamaa	Hk	5.6-6.1, 5.9	2.8*	3.2 *	--	3
P2 ja P3, pohjamaa	siHk/ hkSi/ siHkMr	5.5-6.8, 6.3	2.95- 3.15, 3,04	2.41- 3.73, 3.68	--	3
GTK:n raja-arvo PHS:lle		--	<4.0	>0.5	--	--
ruotsalaisten luokitus, erittäin korkea happamoitusvaikutus Liao et al. (2007)		--	<3.0	--	--	--
kohtalaisesti happoatuttava		--	--	--	2-50	--

*vain yksi tutkittu näyte

6.3 Kokonaisrikkipitoisuus

Laboratoriossa mitattujen pH-tulosten ja maalajihavaintojen perusteella kaikista otetuista näytteistä valittiin yhteensä 13 näytettä laboratorioanalyysiin kokonaisrikkipitoisuuden määrittämiseksi. Analyysinäytteiden esikäsittelyyn kuului kuivaus ja jauhatus ennen rikkipitoisuuden määrittämistä. Kokonaisrikkipitoisuustulokset on esitetty taulukossa 2.

Potentiaalisiksi happamiksi sulfaattimaiksi luokiteltavista näytteissä kokonaisrikkipitoisuus on hienorakeisissa näytteissä $\geq 0,2\%$ (kuiva-aineesta). Tutkituista 13 näytteestä yhdenkään näytteen rikkipitoisuus ei ylittänyt tätä raja-arvoa. Suurimmat rikkipitoisuudet löytyivät pehmeikön silttikerroksista, jossa rikkipitoisuus vaihteli välillä 0,048...0,16 m-%. Muualla rikkipitoisuudet olivat alle määrittämiskrajan, joka on 0,03 m-%

6.4 Rauta-rikki-suhde

Pousetten mukaan rauta-rikki-suhde kuvaa happamoittamisvaikutusta. Rauta-rikki-suhde määritettiin 13 näytteestä. Näistä näytteistä yhdenkään rauta-rikki-suhde ei ollut alle 3, jolloin maa-aineksella luokitellaan olevan korkea happamoittamisvaikutus. Kahdessa näytteessä rauta-rikki-suhde oli ≥ 60 , jolloin näytteen happamoittamisvaikutuksen voidaan luokitella olevan pieni. Yhden näytteen rauta-rikki-suhde jäi välille 3 – 60, jolloin ei voida rauta-rikki-suhteen perusteella määrittää happamoittamisvaikutusta. Taulukossa 2 on esitetty maakerroksittain rauta-rikki-suhde.

Taulukko 2: Kokonaisrikkipitoisuudet sekä rauta/rikki-suhde maakerroksittain näytteissä.

	Maalaji	Kerrospaksuus	kokonaisrikkipitoisuus (m-%) (min-max, keskiarvo)	Rauta/rikki-suhde (min-max, keskiarvo)
P1	saSi / laSa	3.0 m	0.048 - 0.16, 0.08	20.6-75, 55.7
P2 ja P3, pintamaa	Hk	0.5 – 1.0 m	< 0.03 *	>60*
P2 ja P3, pohjamaa	siHk/ hkSi/ siHkMr	3.0 – 3.5 m	< 0.03	>60
GTK:n raja-arvo rikkipitoisuudelle			> 0,2	--
Ruotsalaisten raja-arvo korkealle happamoittamisvaikutukselle			--	<3

*vain yksi tutkittu näyte

6.5 Puskurikapasiteetti

Kaikkiaan 13 näytteestä määritettiin hehketushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Ruotsissa (Pousette. 2008) hehketushäviötä on käytetty saven puskurikapasiteetin arvioimiseen. Mitä suurempi hehketushäviö ja orgaanisen aineksen määrä, sitä suurempi on saven puskuroiva vaikutus, joka puolestaan pienentää happamoittavaa vaikutusta. Hehketushäviön ylittäessä 8 %, savella on puskuroiva vaikutus ja saven happamoittava vaikutus pienenee suhteessa vähemmän orgaanista ainesta sisältävään saveen. Hehketushäviön ollessa 5-8 % voi maaperällä olla jonkinlaista puskurivaikutusta.

Tutkituissa maanäytteissä hehketushäviö vaihteli välillä 0,4...3,8 %. Hiekka ja moreeni kerrkosisa hehketushäviö oli odotetusti alhainen vaihdellen välillä 0,4...1,4 %, poikkeuksena ohut hiekkakerros pehmeiköllä turve ja savikerroksen välissä, jossa hehketushäviö oli 3.0 %. Savisissa siltti-kerroksissa hehketushäviö vaihteli puolestaan välillä 3,2...3,8. Tulosten perusteella millään maakerroksella ei voida olettaa olevan mahdollista puskurivaikutusta hehketushäviön suhteen. Taulukossa 3 on esitetty maakerroksittain hehketushäviö.

Taulukko 3: Puskurikapasiteetti maakerroksittain näytteissä

	Maalaji	Kerrospaksuus	Hehketushäviö (800°C) [%] (min-max, keskiarvo)
P1	saSi / laSa	3.0 m	3.2 – 3.8, 3.4
P2 ja P3, pintamaa	Hk	0.5 – 1.0 m	1.4 - 3.0, 2.2
P2 ja P3, pohjamaa	siHk/ hkSi/ siHkMr	3.0 – 3.5 m	0.4 - 1.1, 0.7
Mahdollinen puskurivaikutus			5-8

7. TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO

Kenttähavaintojen ja laboratoriotutkimusten perusteella kiimingin yrityspuiston asemakaava-alueella ei esiinny todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi luokiteltavia maakerroksia. Alueella ei myöskään esiinny GTK:n raja-arvoihin perustuvan luokittelun mukaisia potentiaalisia happamia sulfaattimaita.

Raja-arvot ylittyvät pH:n muutoksen ja hapetetun näytteen minimi pH:n tapauksessa, mutta tuloksia luettaessa on huomioitava, että näytteet ovat hapetettu kemiallisesti, eikä se vastaa täysin

luontaista prosessia. Lisäksi alueen rikkipitoisuudet jäävät suurilta osin reilusti alle raja-arvon, jolloin rikkihapon muodostuminen on erittäin vähäistä maaperän hapettuessa.

Tutkimuspisteen P1 maakerrokset syvyydellä 1,0...2,0 voivat olla ehkä heikosti happoa tuottavaa maa-ainesta, joka tulee huomioida alueelle suunniteltavissa toimenpiteissä. Kyseinen maakerros sijaitsee turve- ja hiekkakerroksen alapuolella. Alueen sijainti ja laajuus on esitetty liitteessä 2. Turve- ja hiekkakerrosten kuivuminen voi aiheuttaa lievää happamoitumista, koska tämä mahdollistaa alapuolisten maakerrosten hapettumisen. Koska alueen kuivatusvedet laskevat laskuojien kautta Kalimenojaan, alueelta ei saa muodostua hapanta valumaa Kalimenojan vedenlaadun turvaamiseksi.

Tässä tutkimuksessa arvioitiin mahdollisesti happamoittavan maakerroksen laajuudeksi n. 21 000 m³, joten toimenpiteitä haittojen ehkäisemiseksi on suositeltavaa tehdä.

8. JATKOTOIMENPITEET

Tutkitulla Kiimingin yrityspuiston asemakaava alueella ei havaittu todellisia happamia sulfaattimaita, mutta turvekerroksen alapuoleinen savi/silttikerros voi ehkä aiheuttaa lievää happamoitumista. Tämän maakerroksen vaikutukset tulee huomioida alueen suunnittelussa ja rakentamisessa, jotta vältytään happamilta valunnoilta ympäröiviin vesistöihin. On suositeltavaa, että rakennusvaiheessa tutkitaan turvekerroksen alapuolisten savi/silttikerrosten rikkipitoisuutta tarkempien kairausten yhteydessä. Lisäksi suosittelemme kuivatusvesien laadun tarkkailua ainakin rakentamisen ajalle. Tällöin saadaan tietoa vesienkäsittelyn tarpeesta ja mahdollisen vesien käsittelyn toimivuudesta. Alla on esitetty menetelmiä happamien valuntojen syntyminen ehkäisemiseksi.

8.1 Sulfidimaista aiheutuvien haittojen ehkäisy

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.

8.1.1 Pohjaveden pinnan alin taso

Ensisijainen toimenpide, jolla happamien vesien syntyä voidaan ehkäistä, on pohjavedenpinnan tason pitäminen nykyisellä tasolla. Pohjavedenpintaa voidaan laskea happamia vesiä tuottavalla alueella, eli sulfidimaa-alueella, enintään turvekerroksen alla olevan hiekkakerroksen alapinnan tasoon. Liitteessä 2 on esitetty mahdollisesti happamia vesiä tuottavat alueet.

8.1.2 Kaavoitus

Kaavoituksella voidaan ohjata rakentamista sulfidimaa-alueilla siten, että vältytään happamien vesien muodostumiselta rakentamisen aikana ja sen jälkeen. Käytännössä tämä tarkoittaa maanalaisten rakentamisen välttämistä. Kun ei sallita kellarillisten talojen rakentamista, saadaan pidettyä kuivatustasot lähellä sallittua alinta kuivatustasoa. Samalla myös vältytään liiallisilta kaivuutoimilta ja massanvaihdolta.

Tontteja sulfidimaa-alueilla, etenkin lievealueilla, tulee välttää mikäli mahdollista. Mikäli tontteja sulfidimaa-alueelle halutaan, tulee tontit perustaa pengerryksille, jotta kuivatustaso pysyy sallitun alimman kuivatustason yläpuolella. Eräänä vaihtoehtona on tarjota sulfidimaa-alueilla olevat tontit ammattirakentajille, joilla on paremmat edellytykset ottaa alueen haastavat rakentamisolosuhteet huomioon.

8.1.3 Alueen tasauksen suunnittelu

Kuivatustasolla on merkitystä etenkin alueen korkeusmaailman suunnitteluun. Sulfidimaa-alueella katujen ja tonttien tasot tulee määritellä siten, että kaivutoimenpiteet ja kuivatuksen taso on esitettyä alinta kuivatustasoa ylempänä etenkin lievealueilla. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennusten ja katujen kuivatustaso (taso, jolla salaojat ovat) on turpeen alapuolisen hiekkakerroksen alapinnan tasolla.

Pohjanvahvistusten ja katurakenteiden suunnittelun yhteydessä on huomioitava tarvittava kaivusvyvyys verrattuna sallittuun kuivatustasoon. Katujen tasaus tulee nostaa nykyistä maanpintaa korkeammalle, jolloin alueelle tulee pengerryksiä tai pohjamaa massastabiloidaan. Lopullinen pohjanvahvistustapa määritellään rakennussuunnittelun yhteydessä tulevan tasauksen ja vaatimusten perusteella.

8.1.4 Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely

Massanvaihtoja toteutettaessa on varauduttava kaivannon kuivatusvesien käsittelyyn. Pienissä kohteissa massanvaihto voidaan suorittaa kuitenkin ilman erillistä kuivatusvesien käsittelyä, mikäli kaivanto pystytään täyttämään välittömästi/saman työvuoron aikana yli kuivatustason. Tällöin sulfidimaa ei ehdi hapettumaan, eikä riskiä happamista valunnoista tule, kun kaivanto täytetään yli alimman kuivatustason saman työvuoron aikana.

Esitämme sulfidimaiden kaivuumassojen käsittelyn keskitettävän kaupungin toimesta, jolloin rakentajille voidaan osoittaa sijoituspaikka läjityspaikka sulfidipitoisille maa-aineksille. Samalla käsittelyn kustannukset pystytään jyvittämään rakentajille vastaanottomaksujen muodossa.

Ylijäämämassojen vastaanottopisteella tulee olla valmiudet käsitellä massat asianmukaisesti, ettei vastaanottoalueelta tule happamia valuntoja luontoon. Suosittelemme vastaanottoalueen kuivatusvesien käsittelyyn varautumista kohdan 8.2 mukaisilla toimenpiteillä.

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 alueen 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 m³ 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.

Lisätietoa massastabiloinnista löytyy uusiomaarakentamisen ja Lahden seudun kehityksen sivuilta

- <http://www.uusiomaarakentaminen.fi/rakentaminen>
- <http://www.ladec.fi/massstabilisation/massstabilisation-downloadables>.

Mahdolliset massanvaihdot ulottuisivat vähintään turpeen alapinnan tasoon, pehmeän saven ja siltin alueilla syvemmälle.

Lentotuhkan käyttö vaatii neutralointi- ja stabilointitarkoituksiin ympäristöluvan, sillä kyseinen käyttömuoto ei ole toistaiseksi MARA-asetuksen (591/2006) piirissä. Alle 20 000 t lentotuhkan hyötykäyttökohde on kunnan ympäristöluvalla toteutettavissa oleva rakennuskohde, jolloin lupahakemuksen käsittely on usein nopeampaa kuin AVI:n luvittamat suuremmat hyötykäyttökohteet. Koska vastaavia rakenteita ei ole toistaiseksi Suomessa tehty, voidaan hyötykäytössä edetä myös koetoimintaluvalla.

8.1.5 Putkikaivannot

Putkikaivannot suositellaan perustettavaksi sulfidipitoisten maiden yläpuolelle ja jäätyminen estetään routasuojauksilla, sekä tarvittaessa saattolämmityksillä tai sulfidimaakerroksen alapuolelle. 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.

8.1.6 Paalutettavat kohteet yms. maanalaiset rakenteet

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

8.2 Happaman valunnan hallinta

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 alapuoliseen vesistöön. Happoa muodostavien kaivuumassojen käsittely on esitetty kohdassa 8.1.4. Mikäli lopullinen kuivatustaso tai työnaikainen kuivatustaso tulee esitetyn alimman kuivatustason alapuolelle happoa muodostavien maiden alueella, tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn ennen vesistöön johtamista.

8.2.1 Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut

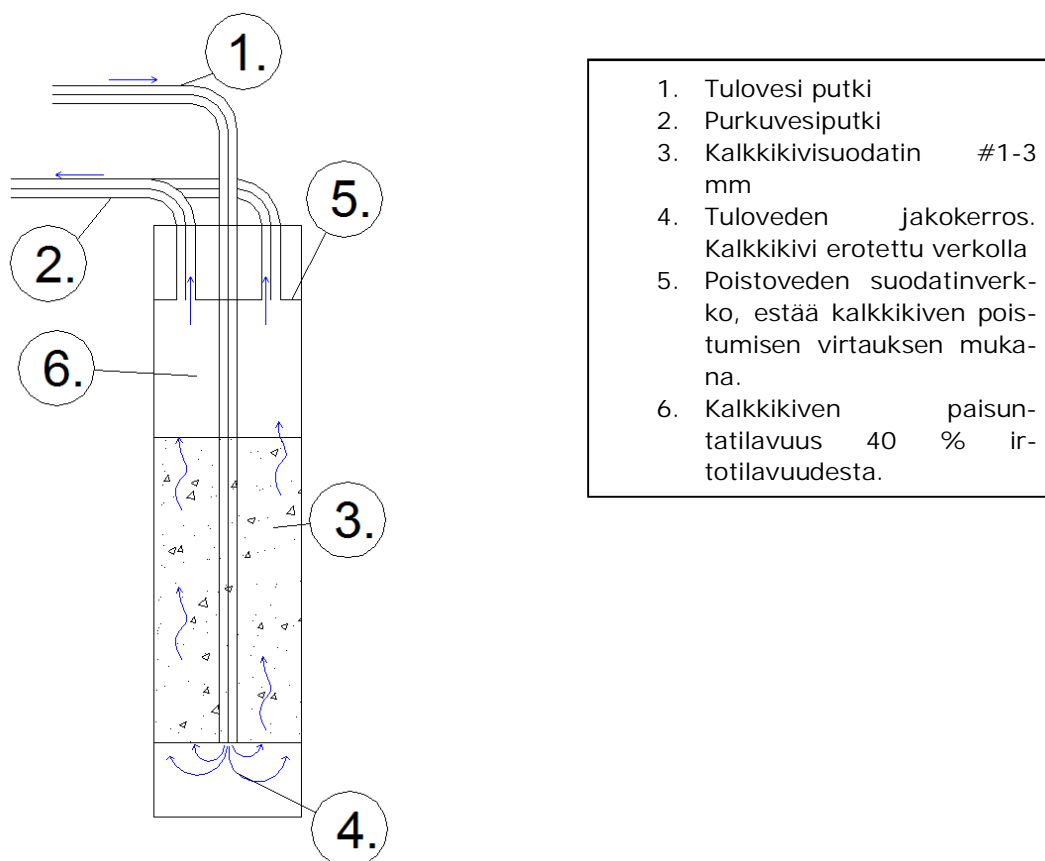
Määritellyillä sulfidimaa-alueilla tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn, mikäli kuivatustaso ulottuu turvekerroksen alapuolisen hiekkakerroksen alapuolelle.

Työnaikainen kuivatus tapahtuu kaivannoista pumppaamalla, jolloin kontti- tai kaivomallinen suodatin on helposti toteutettavissa ja tarvittaessa siirrettävissä eri kohtaan tai toiselle työmaalle. Oheisessa kuvassa (Kuva 5) on esitetty periaatekuva kaivon toteutettavasta kalkkikivisuodattimesta. Suodattimessa tulovesi syötetään kaivon pohjalle, josta vesi leviää tasaisesti suodatinmateriaaliin. Vesi virtaa suodatinmateriaalin läpi ja neutraloituu reagoitessaan kalkkikiven kanssa. Vesi purkautuu suodattimen yläosasta ja suositellaan johdettavaksi vielä laskeutusalttaan 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 rikotua mahdolliset pintasaostumat, jotka estäisivät neutraloinnin tapahtumisen.

Lisäksi kalkkikivi tulee erottaa verkolla purkuputkista, jottei kalkkikivi pääse huuhtoutumaan purkuputkiin tai muilla keinoilla estää hienoaikaisen kulkeutumisen 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.



Kuva 5. Kaivossa toteutettava happamien vesien neutralointi.

Markkinoilta löytyy useita erilaisia kalkin neutralointiin perustuvia kalkkikivituotteita, joiden erilaiset ominaisuudet tulee ottaa huomioon neutralointiprosessia mitoitettaessa ja suunniteltaessa.

Kalkki kuluu neutralointireaktiossa ja tämä tulee huomoida laitteiden mitoituksessa. Pienellä laitteella saavutetaan matalammat investointikustannukset ja laitteisto on helpommin siirrettävissä. Tällöin tulee varautua tiheämpään kalkkikiven lisäykseen. Kalkin lisäyksen tarve vaihtelee voimakkaasti tulevan veden asiditeetistä, joka kuvaa neutraloitavissa olevaa happamuuden määrää vedessä. Kalkin lisäystarve esimerkin laitteistossa voi olla muutamasta kilosta sataan kiloon vuorokaudessa. Erittäin happamilla vesillä neutralointiaineena tulee käyttää kalsiumhydroksia tai vastaavaa.

8.2.2 Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut

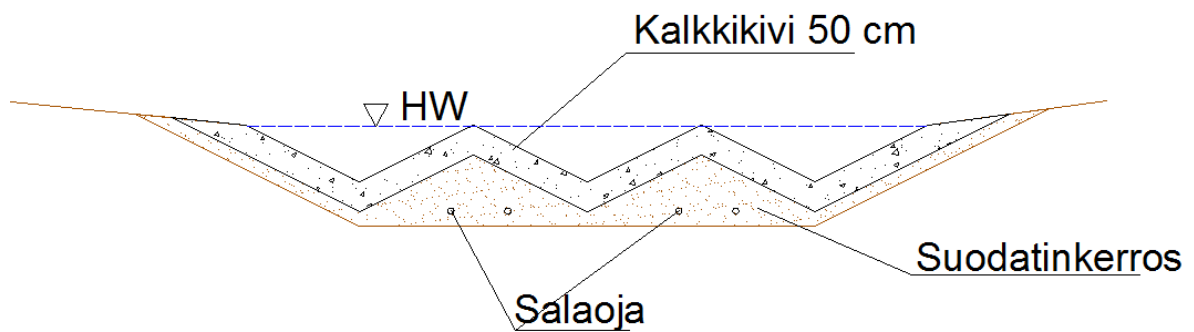
Mikäli rakentaminen ja perustusten kuivatus tulee ulottumaan sulfidimaakerrokseen, tulee varautua pitkäaikaiseen kuivatusvesien käsittelyyn. Järjestelmän toteuttamisen kannalta on tärkeintä pitää happamat vedet erillään ns. neutraaleista vesistä ennen käsittelyä. Tällöin saadaan pidettyä neutralointilaitteen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

Pysyvissä kuivatuskohteissa voidaan käyttää vastaavaa kaivoratkaisua kuin työaikaisissakin järjestelyissä. Rakenteissa ja materiaalivalinnoissa tulee tällöin kiinnittää erityistä huomiota 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). Tällöin suotovedet ohjataan maanpäälliseen avoaltaaseen, josta vesi suotautuu kalkkikivimurskeen läpi ja kerätään murskeen alla olevassa salaajakerroksessa putkistoon, josta vesi johdetaan laskuojaan tms. vesistöön. Myös tässä rakenteessa tulee huomoida, että rakenteeseen johdetaan vain happamoitumisriskin alueilta tulevia vesiä ja muut pintavaluntana syntyvät neutraalit vedet johdetaan suoda-

tinkentän ohi. Tällöin päästään käsittelemään pienempiä vesimääriä ja suuremman väkevyyden omaavaa vettä, jolloin neutralointiprosessi toimii tehokkaammin.

Sulfidimaa sisältää määrätyn verran rikkihappoa tuottavaa rikkisulfaattia ja tästä voidaan laske-
nallisesti määrittää tarvittavan kalkkisuodatuksen koko ja kalkkimäärä. Tällöin pyrittäisiin toteut-
tamaan kalkkisuodatin kertatoimisena, jolloin suodatinrakenne pystyisi neutraloimaan kaiken
kuivatusalueelta syntyvän valunnan ja tämän jälkeen alueelta ei tulisi enää happamia valun-
toja. 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.



Kuva 6. Periaatepiirros neutraloivan suodatinkentän rakenteesta.

Oulussa 3.11.6.2017

RAMBOLL FINLAND OY

9. LÄHTEET

Edén et al. 2012. Edén, P., Rankonen, E., Auri, J., Yli-Halla, M., Österholm, P., Beucher, A. and Rosendahl, R. 2012. – Definition and Classification of Finnish Acid Sulfate Soiles. 7th International Acid Sulfate Soil Conference in Vaasa, Finland 2012 Towards Harmony between Land Use and the Environment. Geological Survey of Finland. Guide 56. Opas ladattavissa GTK:n verkkosivuilta:

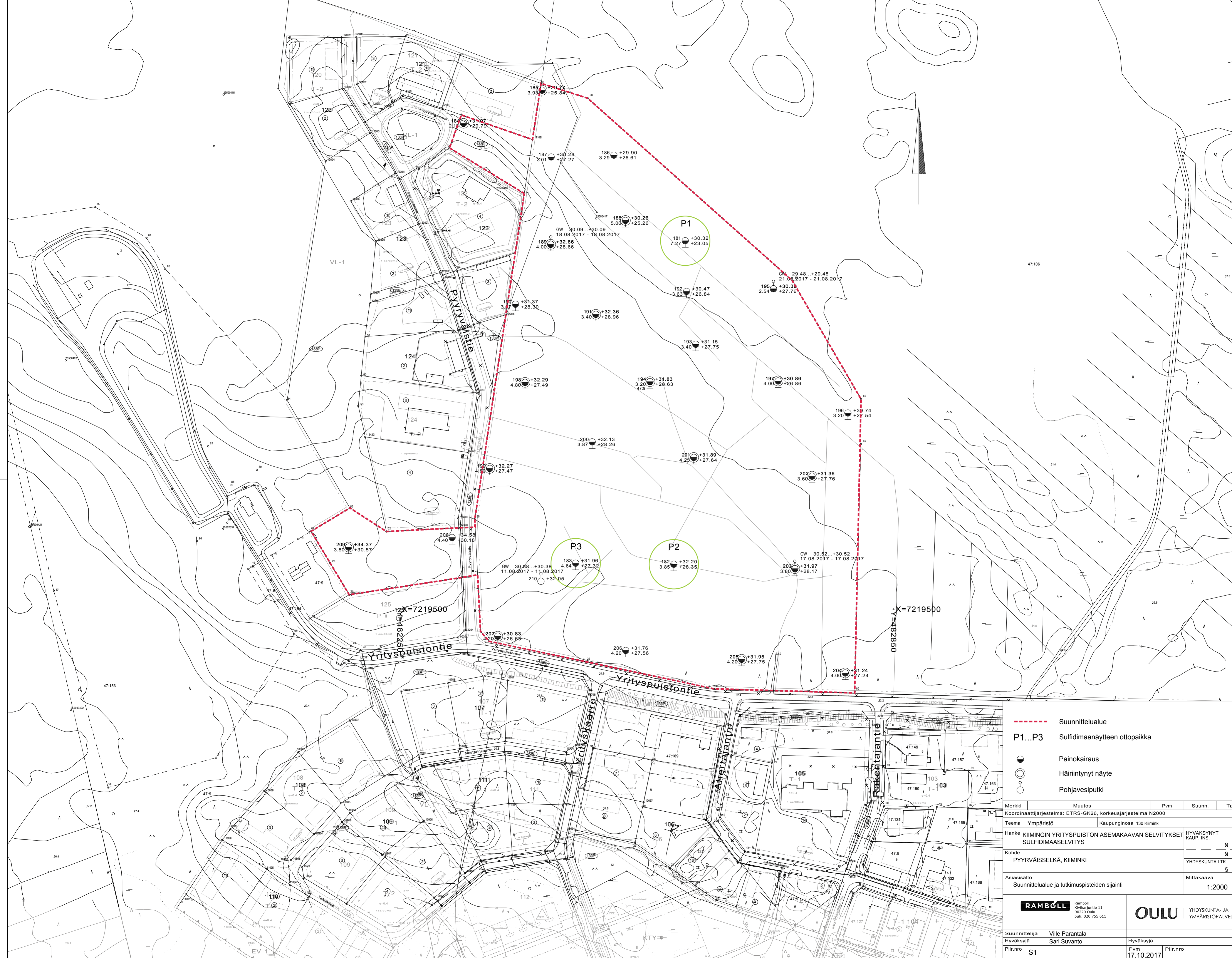
<http://en.gtk.fi/informationsservices/publications/publications/latest/publication/Opas56.html>

GTK. 2009. Happamien sulfaattimaiden haitat hallintaan, Geofoorumi 2/2009 (Geologian tutkimuskeskuksen asiakaslehti).

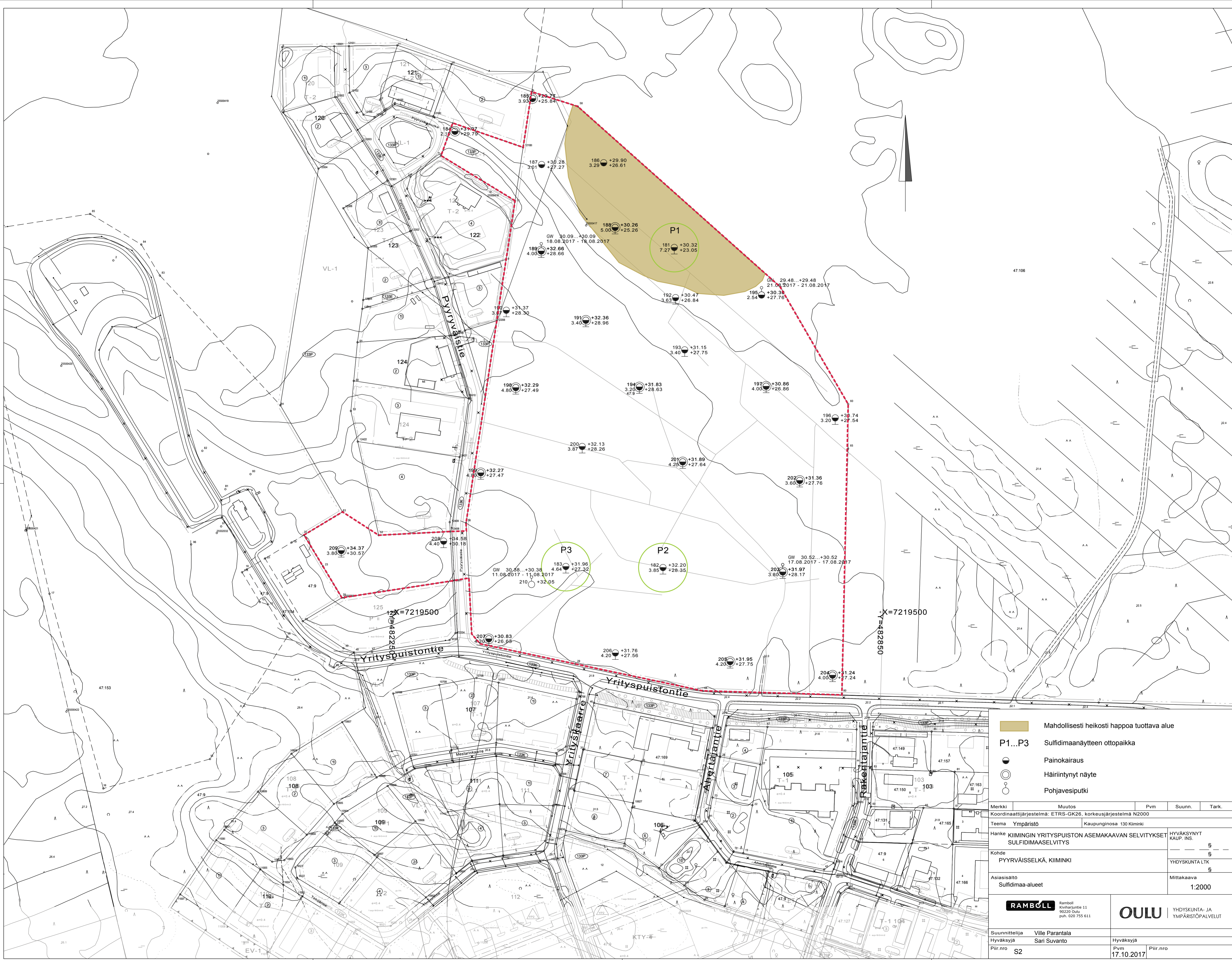
Hadzic et al. 2014. Mirka Hadzic, Heini Postila, Peter Österholm, Miriam Nystrand, Salla Pahkakangas, Anssi Karppinen, Minna Arola, Ritva Nilivaara-Koskela, Kati Häkkinen, Jaakko Saukkoriipi, Susan Kunnas ja Raimo Ihme. Sulfaattimailla syntyvän happaman kuormituksen ennakointi- ja hallintamenetelmät. SuHe –hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 17/2014.

Maa- ja metsätalousministeriö. 2011. Happamien sulfaattimaiden aiheuttamien haittojen vähentämisen suuntaviivat vuoteen 2020. Maa- ja metsätalousministeriö 2/2011.

Pousette, K. 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, Teknisk rapport, Luleå tekniska universitet, 2007:13.



- - - - - Suunnittelualue				
P1...P3 Sulfidimaanäytteen ottopaikka				
●	Painokairaus			
○	Häiriintynyt näyte			
○	Pohjavesiputki			
Merkki	Muutos	Pvm	Suunn.	Tark.
Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK26, korkeusjärjestelmä N2000				
Teema Ympäristö		Kaupunginosa 130 Kiminki		
Hanke KIIMINGIN YRITYSPUISTON ASEMAKAAVAN SELVITYKSET SULFIDIMAASELVITYS				HYVÄKSYNTY KAUP. INS.
Kohde PYYRVAISSELKÄ, KIIMINKI				YHDYSKUNTA LTK
Asiasisältö Suunnittelualue ja tutkimuspisteiden sijainti				Mittakaava 1:2000
RAMBOLL		Ramboll Kiviharjantie 11 90220 Oulu puh. 020 755 611		
OULU		YHDYSKUNTA- JA YMPÄRISTÖPALVELUT		
Suunnittelija Ville Parantala		Hyväksyjä		
Hyväksyjä Sari Suvanto		Pvm		
Piir.nro S1		Piir.nro		
		17.10.2017		



	Mahdollisesti heikosti happoa tuottava alue			
P1...P3	Sulfidimaanäytteen ottopaikka			
	Painokairaus			
	Häiriintynyt näyte			
	Pohjavesiputki			
Merkki	Muutos	Pvm	Suunn.	Tark.
Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK26, korkeusjärjestelmä N2000				
Teema Ympäristö		Kaupunginosa 130 Kiminki		
Hanke KIIMINGIN YRITYSPUISTON ASEMAKAAVAN SELVITYKSET SULFIDIMAASELVITYS				HYVÄKSYNYT KAUP. INS.
Kohde PYYRVÄISSELKÄ, KIIMINKI				YHDYSKUNTA LTK
Asiasisältö Sulfidimaa-alueet				Mittakaava 1:2000
RAMBOLL		Ramboll Kiviharjantie 11 90220 Oulu puh. 020 755 611		
OULU		YHDYSKUNTA- JA YMPÄRISTÖPALVELUT		
Suunnittelija	Ville Parantala	Hyväksyjä		
Hyväksyjä	Sari Suvanto	Pvm		
Piir.nro	S2	Piir.nro		
		17.10.2017		

Projektinro: 1510035290-005
 Asiakas: Oulun kaupunki
 Pp: Merja Autiola
 Projektin nimi: Yrityspuiston sulfaattimaatutkimus

Piste	Maanpinnan taso	Syvyys [m]	Haju	Väri R=ruskea H=harmaa M=musta	Kenttä pH	Muuta	Laboratoriotulokset											
							Luopionen							Vantaa				
							w	Hh 800°C	Silmäm. maalajiarvio	Väri / havainnot	Rakeisuus ISO (GEO)	NAG pH	pH:n muutos	Keitto- kerrat	Nettohapon-tuotanto	Fe	S _{tot}	Fe/S
[%]	[%]	[GEO]			[-]		kpl	[kg H ₂ SO ₄ /tonni]	mg/kg ka	[m-%]								
P1	+30.32...+29.72	0 - 0,6	ei	mustan ruskea	5.31													
	+29.72...+29.32	0,6 - 0,1	ei	ruskea	5.55		38.5	3.0	Hk		siSa(Hk)	3.06	2.49	3		8100	< 0.03	
	+29.32...+28.82	1,0 - 1,5	ei	harmaa	6.15				laSa	ha, ruostetta		3.65	2.5	3	1.7			
	+28.82...+28.32	1,5 - 2,0	ei	harmaa	6.07		39	3.8	saSi	ru, ruostetta	sasiCl(saSi)	3.92	2.15	3		33000	0.16	20.625
	+28.32...+27.82	2,0 - 2,5	ei	harmaa	5.86	Pohjavesi 2 m syvyydessä	34.5	3.2	saSi	ha, ruostetta		3.74	2.12	3		36000	0.053	67.9245283
	+27.82...+27.32	2,5 - 3,0	ei	harmaa	6.06		37.9	3.2	saSi	ha/si, ruostetta		3.99	2.07	3		35000	0.059	59.3220339
	+27.32...+26.82	3,0 - 3,5	ei	harmaa	6.17				saSi/siMr									
+26.82...+26.32	3,5 - 4,0	ei	harmaa	6.48			32.4	3.2	saSi	ha, ruostetta	siCl(saSi)	3.6	2.88	3		36000	0.048	75
P2	+32.20...+31.70	0 - 0,5	ei	ruskea	6.1													
	+31.70...+31.30	0,5 - 0,9	ei	ruskea	6		10.7	1.4	hkMr			2.8	3.2	3		8900	< 0.03	
	+31.30...+30.70	0,9 - 1,5	ei	harmaa	6				siHk									
	+30.70...+30.20	1,5 - 2,0	ei	harmaa	6.0		11.7	1.1	siHkMr		saciSi(siHkMr)	3	3	3		13000	< 0.03	
	+30.20...+29.90	2,0 - 2,3	ei	harmaa	6.1				siHkMr									
	+29.90...+29.20	2,3 - 3,0	ei	harmaa	6.4	Pohjavesi n. 2,5m	13.8	0.8	hkSi		saciSi(hkSi)	3.08	3.32	3		14000	< 0.03	
	+29.20...+28.70	3,0 - 3,5	ei	harmaa	6.3				hkSi									
+28.70...+28.20	3,5 - 4,0	ei	harmaa	6.4			11.2	0.5	hkSi		saciSi(hkSi)	2.95	3.45	3		14000	< 0.03	
P3	+31.96...+31.46	0 - 0,5	ei	ruskea	5.6													
	+31.46...+30.96	0,5 - 1,0	ei	ruskea	5.5		11.2	1	siHkMr			3.09	2.41	3		15000	< 0.03	
	+30.96...+30.46	1,0 - 1,5	ei	harmaa	5.9				siHk		saciSi(siHk)							
	+30.46...+29.96	1,5 - 2,0	ei	harmaa	6.2		13.1	0.5	siHk			3.03	3.17	3		11000	< 0.03	
	+29.96...+29.46	2,0 - 2,5	ei	harmaa	6.8	pohjavesi n. 2,3 m			siHkMr									
	+29.46...+28.96	2,5 - 3,0	ei	harmaa	6.6		16.5	0.4	siHkMr		siSa(siHkMr)	3.15	3.45	3		11000	< 0.03	
	+28.96...+28.46	3,0 - 3,5	ei	harmaa	6.5				siHk									
+28.46...+27.96	3,5 - 4,0	ei	harmaa	6.7			14.6	0.6	siHk		saciSi(siHk)	2.97	3.73	3		12000	< 0.03	

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

 Vohlisaarentie 2 B
 36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi: Kiimingin yrityspuisto

Näytteenottopvm:

Näyte saapui: 14.9.2017

Näytteenottaja:

Analysointi aloitettu: 14.9.2017

Maanäytteet

	P1, 0,6-- 1,0 m	P1, 1,5-- 2,0 m	P1, 2,0-- 2,5 m	P1, 2,5-- 3,0 m	P1, 3,5-- 4,0 m	Yksikkö	Menetelmä	
Näytteenottpisteet								
Näyttenumero	17YN 00164	17YN 00165	17YN 00166	17YN 00167	17YN 00168			
MÄÄRITYKSET								
Kuivaus ilmoitetussa lämpötilassa	105	105	105	105	105	°C	EF1040	V
Rikki (S), vedetön	<0,03	0,16	0,053	0,059	0,048	m-%	EF1039	V
Esikäsittely, mikroaltohajotus, kuningasvesi	ok	ok	ok	ok	ok		EF1068	V
Rauta (Fe)	8100	33000	36000	35000	36000	mg/kg ka	SFS-EN ISO 11885 mod.	V

Maanäytteet

	P2, 0,5-- 0,9 m	P2, 1,5-- 2,0 m	P2, 2,3-- 3,0 m	P2, 3,5-- 4,0 m	P3, 0,5-- 1,0 m	Yksikkö	Menetelmä	
Näytteenottpisteet								
Näyttenumero	17YN 00169	17YN 00170	17YN 00171	17YN 00172	17YN 00173			
MÄÄRITYKSET								
Kuivaus ilmoitetussa lämpötilassa	105	105	105	105	105	°C	EF1040	V
Rikki (S), vedetön	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	m-%	EF1039	V
Esikäsittely, mikroaltohajotus, kuningasvesi	ok	ok	ok	ok	ok		EF1068	V
Rauta (Fe)	8900	13000	14000	14000	15000	mg/kg ka	SFS-EN ISO 11885 mod.	V

Tutkimustodistuksen osittainen julkaiseminen on sallittu vain laboratorion kirjallisella luvalla. Testaustulokset koskevat vain tutkittua näytettä.

Tutkimustodistus

Projekti: 1510035290-005/1

	17YN 00174	17YN 00175	17YN 00176	Yksikkö	Menetelmä	
Näytteenottopisteet	P3, 1,5-- 2,0 m	P3, 2,5-- 3,0 m	P3, 3,5-- 4,0 m			
Näyttenumero	17YN 00174	17YN 00175	17YN 00176			
MÄÄRITYKSET						
Kuivaus ilmoitetussa lämpötilassa	105	105	105	°C	EF1040	V
Rikki (S), vedetön	<0,03	<0,03	<0,03	m-%	EF1039	V
Esikäsittely, mikroaaltohajotus, kuningasvesi	ok	ok	ok		EF1068	V
Rauta (Fe)	11000	11000	12000	mg/kg ka	SFS-EN ISO 11885 mod.	V

Eurofins Environment Testing Finland Oy



Eliisa Hatanpää

Tutkimuskemisti, FM, +358 40 075 9657

Lisätiedot Savi/siltti, puhdas maanäyte
Näytteenottopäivä: 22. ja 24.8.2017

Laboratoriot V Analysoitu Vantaalla

Jakelu merja.autiola@ramboll.fi; sari.suvanto@ramboll.fi