

Vastaanottaja
Oulun kaupunki
Jorma Heikkinen
Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut
Katu- ja viherpalvelut

Asiakirjatyyppe
Raportti

Päivämäärä
14.9.2016

OULUN KAUPUNKI RUSKONSELÄN KAAVA- ALUEEN SULFIDI- MAASELVITYS

OULUN KAUPUNKI
RUSKONSELÄN KAAVA-ALUEEN SULFIDI MAASELVITYS

Päivämäärä 14.9.2015
Laatija Sari Suvanto, Virve Kupiainen, Merja Autiola Antti Eskelinen
Tarkastaja Sari Suvanto
Hyväksyjä Jorma Heikkinen

Viite 1510028190

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	2
2.	HAPPAMIEN SULFAATTIMAI DEN ESIINTYMINEN JA TUNNI STAMI NEN	2
2.1	Taustaa	2
2.2	Sulfaattimaiden tunnistaminen	3
2.3	Muita sulfaattimaiden tunnistusmenetelmiä	4
3.	NÄYTTEENOTTO	4
4.	TUTKIMUSMENETELMÄT	4
5.	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	5
5.1	Maalajit	5
5.2	Kokonaisrikkipitoisuus laboratoriossa ja kenttämittarilla:	5
5.3	pH	5
5.4	Puskurikapasiteetti	6
5.5	Yhteenvedo tuloksista ja tunnistetut happamat sulfaattimaat	6
6.	TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO	7
7.	HAPPAMAN VALUNNAN MUODOSTUMINEN	8
8.	TOIMENPIDESUOSITUKSET	8
8.1	Sulfidimaista aiheutuvien haittojen ehkäisy	8
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	9
8.1.5	Putkikaivannot	10
8.1.6	Paalutettavat kohteet yms. maanalaiset rakenteet	10
8.2	Happaman valunnan hallinta	10
8.2.1	Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut	10
8.2.2	Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut	11
9.	YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET	12
10.	LÄHTEET	13

LIITTEET

1. Asemakaavuluonnos 17.5.2016
2. Tutkimuspisteiden sijainti
3. Sulfidialueiden raja
4. Kenttähavainnot
5. Tulostaulukko
6. Analyysitodistus

RAPORTISSA KÄYTETYT LYHENTEET

AASS Actual Acid Sulfate Soil
Varsinainen hapan sulfaattimaa
Suomessa käytetty myös lyhennettä THS (todellinen hapan sulfaattimaa)
Sulfidirikkipitoinen maakerros, jossa pH on sulfidien hapettumisen seurauksena < 4

PASS Potential Acid Sulfate Soil
Potentiaalinen hapan sulfaattimaa
Suomessa käytetty myös lyhennettä PHS (potentiaalinen hapan sulfaattimaa)
Hapettumaton sulfidipitoinen maakerros, joka hapettumisen myötä pystyy tuottamaan sulfaatteja ja rikkihappoa, niin että maaperä happamoituu merkittävästi (pH < 4)

1. JOHDANTO

Työn tarkoituksena oli selvittää esiintyykö Oulun Ruskonselän kaava-alueella (Liite 2) happamia sulfaattimaita.

Happamia maita tutkittiin kaivu- ja massanvaihtotasojen syvyydelle, jotta saatiin tietoa mahdollisesti hapellisiin olosuhteisiin joutuvista sulfidimaista. Alueelle laadittujen rakennettavuuskarttojen mukaan suurin suositeltu massanvaihdon syvyys on noin 3 metriä. Putkilinjat tulevat sijaitsemaan noin 2,5...3 m syvyydessä. Tutkimuspisteet ulottuivat 3 metrin syvyyteen.

Sulfaattimaat tulee huomioida alueen rakentamista suunniteltaessa niiden happamoittavan vaikutuksen vuoksi. Hapan vesi liuottaa maa-aineksesta metalleja, jotka voivat aiheuttaa haittaa ympäristölle, erityisesti kaloille. Kaava-alueen itäosan vedet valuvat kohti Kalimeenojaa, joka on lähes luonnontilainen pikkujoki. Kalimeenoja on määritelty arvokkaaksi pienvesistöksi, mutta sen tila on huono korkeiden fosforipitoisuuksien ja ajoittaisen happamuuden vuoksi. Joen vettä ei saisi entisestään heikentää. Ruskonselän ja Kalikkalammen välisen alueen vedet valuvat kohti Kuivasjärveä. Kuivasjärvi on rehevöitynyt ja sen tilaa on pyritty parantamaan mm. hapettamalla 80-luvulta lähtien.

Tämän raportin tulokset tulee huomioida kaivumaiden läjitys-/loppusijoituspaikkaa ratkaistaessa sekä alueen kuivatustasoja suunniteltaessa. Kartoitustulos tulee huomioida myös mahdollisessa pysyvissä pohjavedenpinnan alentamistoimissa.

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

- projektipäällikkö Sari Suvanto
- laboratoriotyön ohjaus ja raportointi Merja Autiola
- raportointi ja kuivatus Sari Suvanto, Virve Kupiainen
- näytteenotto Antti Eskelinen

2. HAPPAMIEN SULFAATTIMAI DEN ESIINTYMINEN JA TUNNISTAMINEN

Seuraavassa esitetään sulfaattimaihin liittyvän ympäristöongelman taustaa ja sulfaattimaiden tunnistusmenetelmiä.

Ruskonselän kaava-alueen maanäytteiden luokittelu on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.

2.1 Taustaa

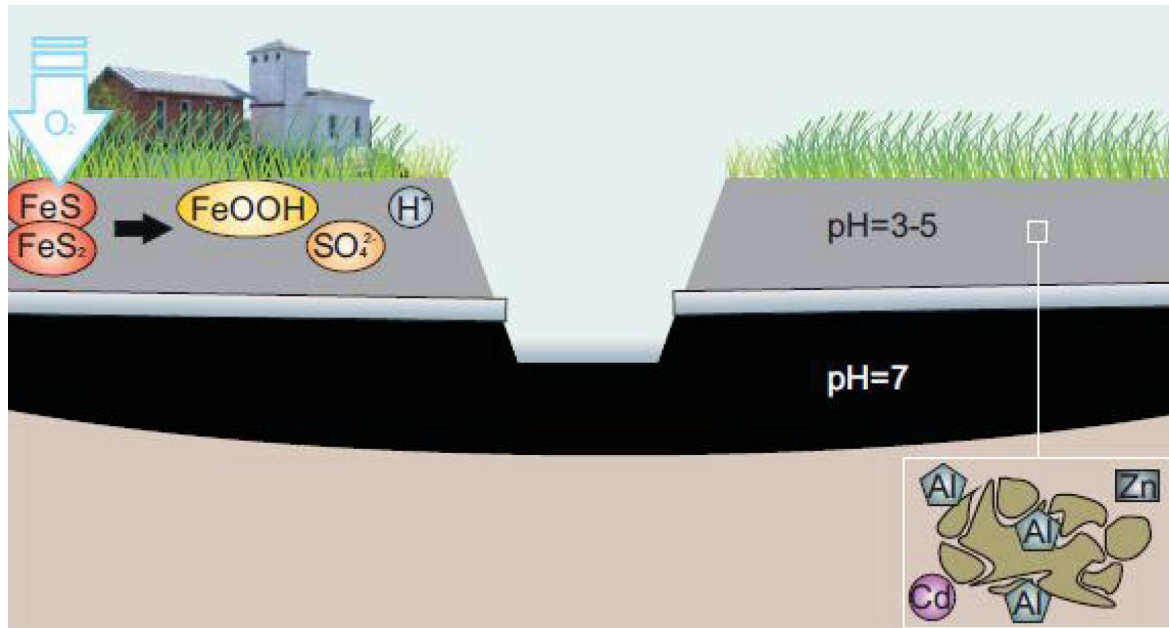
Noin 8 000–4 000 vuotta sitten Suomen rannikkoseudut olivat Litorina-meren peitossa ja lämpimässä ilmastossa kasvillisuus oli runsas. Veteen kuolleet ja maatuneet kasvinosat rehevöittivät veden ja merenpohjan hapettomissa osissa mikrobitoiminta pelkisti sulfaatin sulfidiksi. Näin syntyi rikkipitoista sulfidimaata. Sulfidimaata tavataan itäiseltä Uudeltamaalta Perämeren rannikolle saakka. Yleisimpiä sulfidimaat ovat Pohjanmaalla. Suurin osa sulfaattimaista esiintyy rannikolla alle 60 m korkeuskäyrän alapuolella, mutta paikoin niitä on havaittu myös 80–100 m korkeudella.

Sulfaattimaat ovat yleensä väriltään tummia, liejuisia ja hienorakeisia lajittuneita maalajeja ja liejua, joita esiintyy tyypillisesti alavilla viljelys- ja metsämailla sekä suomaille. Luonnontilassa matalat, tasaisen kosteat sulfidimaat eivät aiheuta välttämättä haittaa ympäröivälle luonnolle. Tilanne muuttuu, kun pohjaveden pinta laskee esimerkiksi ojituksen seurauksena, tai mikäli sulfidimaata kaivetaan kasalle esimerkiksi ruoppauksen yhteydessä. Hapen kanssa tekemisiin joutuvan sulfidimaan sisältämät rikkipitoiset mineraalit hapettuvat ja muodostava rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja (Kuva 2-1).

Hienorakeisten maaperäkerrosten lisäksi monin paikoin myös karkearakeiset kerrokset (hiekkä, karkea hieta ja moreeni) tuottavat hapettuessaan haitallisia määriä happamuutta maaperän hei-

kon puskurikyvyn ja korkean läpäisykyvyn takia. Näissä kerrostumissa rikkipitoisuus on tyypillisesti alhainen (0,1... 0,01 %). Turpeen rikkipitoisuus nousee paikoin, myös sisämaassa, useaan prosenttiin, jolloin hapettumistilanteesta saattaa syntyä sulfidiperäistä happamoitumiskuormitusta. Turvemaidella on yleensä matala pH ja siten huono puskurikyky.

Kuivana ajanjaksona liuenneet happosulfaatit ja metallit pidäytyvät 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, koboltin, kuparin, sinkin ja nikkelin päästöt vesiin lisääntyvät (GTK 2009, GTK 2016).



Kuva 2-1. Harmaa kerros kuvaa hapettunutta hapanta sulfaattimaata ja musta kerros pelkistyneessä tilassa olevaa sulfidimaata (GTK 2009).

2.2 Sulfaattimaiden tunnistaminen

Happamien sulfaattimaiden ja potentiaalisten happamien sulfaattimaiden (eli sulfidimaiden) aiheuttamat vaikutukset on tiedostettu Suomessa etenkin sen maataloudelle aiheuttamien ongelmien vuoksi.

Varsinainen hapan sulfaattimaa (AASS):

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 ruostevärisiä rautasaostumia ja kellertävää jarosiittia.

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (PASS):

Pohjavedenpinnan alapuolella voi olla potentiaalisia happamia sulfaattimaakerroksia. Maakerroksessa voi näkyä tumman harmaa hapettumaton sulfidipitoinen maa-ainesta. 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 maalajeissa rikkipitoisuus voi olla niinkin alhainen kuin 0,01 %. Turpeessa rikkiä voi olla useita prosentteja, mutta osa siitä on orgaanista rikkiä. (GTK 2012)

2.3 Muita sulfaattimaiden tunnistusmenetelmiä

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. Tässä tutkimuksessa rikin ja raudan suhdetta ei tarkasteltu.

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.

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

3. NÄYTTEENOTTO

Näytteenotto suoritettiin kairaamalla 14.7.2016. Näytteenotosta vastasi Ramboll Finland Oy. Kairaukset suoritettiin Oulun kaupungin teknisen liikelaitoksen kevyellä porakonekairauskalustolla (GM 50 GT) käyttämällä kierrekairaa.

Näytteitä otettiin tutkimusohjelman mukaisesti kuudesta näytepisteestä (RS1, RS2, RS3, RS4, RS5 ja RS6) puolen metrin välein tai vähintään jokaisesta silmämääräisesti eri maalajista tai ulkoasultaan poikkeavista kerroksista. Näytteenotto pyrittiin ulottamaan jokaisessa näytepisteessä noin 3 metrin syvyyteen, koska Ruskonselän kaava-alueelta laadittujen rakennettavuuskarttojen (Geobotnia 2012, Geobotnia 2015) mukaan massanvaihdon syvin suositeltu syvyys on 3 m.

Pohjaveden pinnankorkeus oli näytteidenottopäivänä 1,2...2,2 metrin syvyydellä maanpinnasta.

Näytteet pakattiin kaasutiiviisiin muovipusseihin (Rilsa), joista puristeltiin ilmat pois. Pussit suljettiin tiivisti ja säilytettiin viileässä laboratorioon toimittamiseen saakka.

Tutkimuspisteiden sijainti on esitetty liitteissä 2 ja kenttähavainnot on esitetty liitteessä 4.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT

Maanäytteet tutkittiin Rambollin ympäristögeotekniikan laboratoriossa Luopioisissa ja Ramboll Analyticsin ympäristölaboratoriossa Vantaalla.

Käytetyt menetelmät olivat

- Vesipitoisuuden määrittäminen: SFS 179-2 – CEN ISO/TS 17892-1:FI
- Hehkutushäviön määrittäminen: SFS-EN 1997-2 5.6
- pH-määrittäminen: SFS-EN 1997-2 5.6
- Inkuboidun näytteen pH:n määrittäminen vetyperoksidilla hapetetusta näytteestä: 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)
- Kokonaisriikki määritettiin laboratorion omalla menetelmällä, jossa näyte (tarvittaessa kuivattu) poltetaan putkiuunissa (Leco SC-144DR) puhtaassa hapessa ja korkeassa lämpötilassa. Muodostuneen SO₂-kaasumäärän perusteella lasketaan näytteen kokonaisrikkipitoisuus. Tulokset ilmoitetaan näytteen kuivamassaa kohden. Määritysraja analyysille on 0,01 m-%. Ennen kokonaisrikkipitoisuuden mittausta näyte on kuivattu 105 °C lämpötilassa ja hienonnettu jauheeksi.

5. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Analyysitulokset on esitetty kootusti liitteen 5 taulukossa ja analyysitodistus liitteessä 6. Maanäytteitä otettiin 37 kpl ja näistä 22 näytteestä tehtiin laboratoriotutkimuksia. Seuraavassa esitään tehdyistä tutkimuksista lyhyet yhteenvedot.

5.1 Maalajit

Ohuiden turvekerrosten alla havaittiin pääosin vettä pidättäviä siltin ja hiekkaisen siltin kerroksia. Yksi näytepiste sijoitettiin myös hiekkamoreenikerrostumaan. Maastossa havaitun maalajin lisäksi laboratoriossa tehtiin silmämääräisiä maalajitarkasteluita.

5.2 Kokonaisrikkipitoisuus laboratoriossa ja kenttämittarilla:

Kentällä mitattujen pH-tulosten ja pohjavesipintahavaintojen perusteella kaikista otetuista näytteistä valittiin yhteensä 16 näytettä laboratorioanalyysiin kokonaisrikkipitoisuuden määrittämiseksi. Analyysinäytteiden esikäsittelyyn kuului kuivaus ennen mittausta/määrittystä. Kokonaisrikkipitoisuustulokset on esitetty liitteen 5 taulukossa.

Potentiaalisiksi happamiksi sulfaattimaiksi luokiteltavista näytteissä kokonaisrikkipitoisuus on hienorakeisissa näytteissä $\geq 0,2 \%$ (kuiva-aineesta). Laboratoriomäärittämisestä rikkipitoisuus oli yli $0,2 \%$ kolmessa näytteessä.

	näyte	maalaji	Kokonaisrikkipitoisuus m-%
-	RS1 0,5-0,7 m	turve	0,28 %
-	RS1 0,7-1,0 m	liejuinen siltti	0,39 %
-	RS1 1,5-2,0 m	liejuinen siltti	0,23 %

Tuloksista voi päätellä, että alueen turve sisältää ainakin maatumuneissa pohjakerroksissa rikkiä korkeina pitoisuuksina. Myös turvealuetta ojitettaessa tulee varautua happamien vesien ajoittaiseen purkautumiseen. Kaikki happoa tuottava aines ei ole peräisin kivennäismaasta. Sulfaattimaassakin korkean rikkipitoisuuden kanssa korreloi hyvin korkea orgaanisen aineksen määrä. Rikki on tässä tapauksessa peräisin kasviperäisestä aineksestä.

Karkearakeiset maaperäkerrokset voivat tuottaa hapeuttuessaan haitallisia määriä happamuutta heikon puskurikyvyn ja korkean läpäisykyvyn vuoksi. Näissä kerrostumissa rikkipitoisuus on tyypillisesti $0,1...0,01 \%$. Laboratoriomäärittämisissä karkearakeisten näytteiden (RS4) rikkipitoisuus oli välillä $0,04...0,09 \%$.

5.3 pH

Laboratoriossa selvitettiin kolmen näytteen nettohapontuotto vetyperoksidihapetuksella (NAG pH). Menetelmällä saadaan selville näytteen minimi-pH nopeasti.

Inkubointiin valittiin kolme näytettä, joissa oli todettu kohonneita kokonaisrikkipitoisuuksia. Maatalin rikkipitoisuus inkuboiduissa näytteissä oli $0,059 \text{ m-}\%$. Näyte otettiin mukaan vertailunäytteeksi.

Kaikissa Ruskonselän kolmessa inkuboiduissa maanäytteessä pH laski alle 4. Keittokertojen lukumäärä oli näytteellä RS1 0,7-1,0 m 1 ja muilla näytteillä 4 kertaa. Tämä indikoi sitä, että näytteiden hapontuottokyky on voimakas. Menetelmä ei kuitenkaan yksin riitä näytteiden tunnistamiseen, sillä menetelmä aliarvio maa-aineuksen puskurointikykyä.

Näytteiden pH muutos tutkittiin ilmastetuista näytteistä. Näytteet olivat 6 viikkoa hapellisissa olosuhteissa, jonka jälkeen niitä ilmastettiin vielä noin viikon ajan.

Ilmastusvaiheessa näytteiden annettiin olla hapellisissa olosuhteissa kostutettuina ja lopuksi näytteiden pH tarkistettiin. Osassa näytteitä pH nousi ilmastuksen aikana. Näissä näytteissä kyseessä voi olla kenttämittarin antama hieman virheellinen pH-mittaustulos, joka voi syntyä esimerkiksi siitä, että kenttämittari on alun perin kalibroitu mittaamaan happamia tasoja, jolloin mittaustulos on hieman happamampi kuin todellisuudessa. Syynä voi olla myös näytteiden korkeampi puskurointikyky. Joka tapauksessa kyseisten näytteiden osalta ei saatu viitteitä hapontuotosta.

Niiden näytteiden, joiden pH laski ilmastuksen aikana, pH laski yli 0,5 yksikköä oli kolme kappaletta. pH laski varsin lyhyessä ajassa tasolle 3.5-4.7. Näiden näytteiden osalta on syytä olettaa materiaalin olevan ainakin jonkin verran happoa tuottavaa. Näytteissä RS1 1,5-2,0 ja RS4 1,5-2,0 happontuotto näyttäisi selkeältä.

Näytepiste	Syvyys	Maalaji	lähtö pH	ilmastus pH	Muutos %
RS1	1,5-2,0	ljSi	6.0	4.1	-32 %
RS1	2,0-2,5	SiSa (kentällä arvioitu)	5.9	6.8	15 %
RS2	0-0,5	Tv	3.9	4.9	26 %
RS2	1,5-2,0	Si (kentällä arvioitu)	5.0	6.5	30 %
RS3	1,0-1,5	hkSi	5.7	6.1	7 %
RS3	2,5-3,0	SiMr	6.3	6.8	8 %
RS4	1,0-1,5	Hk (kentällä arvioitu)	5.9	4.7	-20 %
RS4	1,5-2,0	siHk	5.9	3.5	-41 %
RS5	2,0-2,5	SiMr	6.0	7.2	20 %

5.4 Puskurikapasiteetti

Kaikkiaan 20 näytteestä määritettiin hehikutushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Ruotsissa (Pousette. 2008) hehikutushäviötä on käytetty saven puskurikapasiteetin arvioimiseen. Mitä suurempi hehikutushäviö ja orgaanisen aineksen määrä, sitä suurempi on saven puskuroiva vaikutus, joka puolestaan pienentää happamoittavaa vaikutusta. Hehikutushäviön ylittäessä 8 %, savella on puskuroiva vaikutus ja saven happamoittava vaikutus pienenee suhteessa vähemmän orgaanista ainesta sisältävään saveen.

Ruskonselän tutkituissa maanäytteissä hehikutushäviö oli 3,5 % tai sen alle eli puskurikapasiteetti ei ole merkittävää. Näytteiden hehikutushäviön keskiarvo oli 1,0 % (0,5-3,5 %).

5.5 Yhteenveto tuloksista ja tunnistetut happamat sulfaattimaat

Lyhyen ilmastuksen, rikkipitoisuuden ja puskurikapasiteetin perusteella tunnistettiin potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Tutkimuspisteiden sijainti on esitetty liitteessä 2.

Kaikkien tutkittujen näytteiden pH:n keskiarvo tuoresta näytteestä mitattuna maastossa oli $\geq 5,5$ (3,9–6,6), joten yhtään näytteistä ei luokiteltu varsinaiseksi happamaksi sulfaattimaaksi (AASS) (pH < 4,0). Alin mitattu pH-taso 3,9 mitattiin turvenäytteestä.

Potentiaalisiksi happamaksi sulfaattimaaksi (PASS) tunnistettiin tutkimuspisteen RS1 maakerrokset 0..2,0 metrin syvyydeltä. Näytteissä oli korkea rikkipitoisuus ($\geq 0,2$ m-%) ja niiden pH laski hapetuksen yhteydessä yli 0,5–yksikköä alle pH-tason 4. Piste RS1, jonka maanäytteissä havaittiin happamoittavaa vaikutusta, sijaitsee alueella, jossa havaittiin paksuin n. 0,7 m turvekerros. Happoa tuottavat kerrokset sijaitsevat turvekerroksen alapuolella.

Muissa kairauspisteissä rikkipitoisuudet jäivät kauttaaltaan alhaiseksi. Myös orgaanisen aineksen määrä viittaa siihen, että happoa tuottavaa ainesta ei esiinny niin paljoa. Näytteissä oli kuitenkin myös karkeampien maalajien kerrostumia, joissa yleensä hapontuottoa indikoiva kokonaisrikkipitoisuus voi olla selkeästi alhaisempi kuin 0,2 %.

Tutkimuspisteessä RS2 pohjavedenpinnan yläpuoliset kerrokset olivat maastossa happamia. Turvekerroksen pH oli <4. Ylemmissä kerroksissa voi esiintyä lievää happamuutta, joka on lähtöisin turvekerroksesta. Näytepisteiden alemmat kerrokset eivät ole potentiaalista hapanta sulfaattimaata.

Tutkimuspisteessä RS4 näytteiden pH laski yli 0,5 yksikköä ja laski tasolle 3.5...4.7. Tutkimuspisteessä on näin ollen happamuutta tuottavaa hiekkaa. Näytteiden rikkipitoisuus oli happoatuottavalle karkeammille maalajeille tyypillinen 0,1...0,01 %. Nämä maaperäkerrokset tuottavat haapentuessaan haitallisia määriä happamuutta heikon puskurikyvyn ja korkean läpäisykyvyn vuoksi ja ne voivat aiheuttaa happamia valumia kuivatustoiminnan yhteydessä.

Tutkimuspisteet, joissa ei havaittu lainkaan sulfidimaata tai potentiaalisia sulfidimaata olivat pisteet:

- RS3
- RS5
- RS6

6. TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO

Ruskonselän asemakaava-alueelle tehdyssä sulfidimaaselvityksessä todettiin potentiaalisia happamia sulfaattimaita olevan turpeen alaisissa silttisissä maakerroksissa kaava-alueen koillisosan paksuhkon turpeen peittämällä alueella.

Lisäksi kaava-alueen ohuempien turvekerrosten alapuoliset hiekka- ja silttiset hiekkakerrokset voivat olla happoa tuottavia. Näissä maakerroksissa rikkipitoisuus jäi 0,03-0,09 m-% tasolle, mutta pH laski hapettaessa enemmän kuin 0,5 yksikköä. Näiden alueiden maakerrokset ovat voineet jo hapettua, sillä hiekassa reaktiot tapahtuvat nopeasti suuren vedenläpäisevyyden vuoksi.

Kaava-alueen keskellä ja lännessä olevalla turvealueella on todennäköisesti jo tehty kuivatustoimenpiteitä, joten ylemmissä maakerroksissa (0-1,0 m maan pinnasta) happamoitumista on jo oletettavasti tapahtunut. Syvemmissä maakerroksissa (1,0-2,0 m syvyydessä maanpinnasta) happamoitumista voi vielä kuivatuksen yhteydessä tapahtua.

Alueen kaakkoisreunan turvealueen alapuolisissa maakerroksissa ei tässä tutkimuksessa havaittu happamoitumisen mahdollisuutta. Alueen maakerrosten rikkipitoisuus oli erittäin alhainen.

Turpeen rikkipitoisuus on 0,2 m-% tasolla. Tämä kertoo sen, että turvealueilta tulevat vedet voivat olla happamia.

Tämän tutkimuksen perusteella alueen moreenissa ei ole rikkiä eikä moreenilla ole happamoittavaa vaikutusta.

Tämän tutkimuksen perusteella alueella maaperän liejuisuus korreloi rikkipitoisuuden kanssa, sillä rikkipitoisuus oli korkea näytteissä, joissa myös orgaanisen aineksen määrä on näytesarjan korkeimpia.

Liitteessä 3 on esitetty näiden tulosten perusteella arvioitu mahdollisesti happamia vesiä tuottavat alueet. Aluerajauksissa on huomioitu myös alueet, joilla ohuehkon turvekerroksen alapuoliset hiekat ja silttisen hiekat voivat aiheuttaa happamoitumista.

Ruotsalaisessa artikkelissa (Pousette. 2007) on esitetty arvio siitä kuinka suuret sulfidimaat 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. Sulfidimailla on merkitystä myös kunnallisteknisille ja muille rakenteille korroosion muodossa.

7. 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 rikkihappo ei pääse muodostumaan. Rakennustöiden yhteydessä tehtävissä pohjaveden alennusten myötä happi pääsee maaperään pohjaveden laskiessa ja rikkihappoa muodostumaan. Sadannasta tai sulannasta suotautuva vesi taas huuhtoo hapot mukaansa.

Kemialliset reaktiot ottavat aikansa ja tässä tapauksessa voidaan olettaa, ettei maaperän hapettuminen ole välitöntä ja rikkihapon muodostuminen vaatii aikaa muutamia päiviä. Tällöin massanvaihtoja tai muita kaivantoja tehtäessä voidaan ensimmäinen kuivatus yleensä tehdä ilman happamia valuntoja. Mikäli kaivannossa annetaan vedenpinnan nousta, ei ole vaaraa happamoitumisesta ja tämä toteutuu, mikäli kaivanto täytetään välittömästi korvattavalla massalla.

Samoin läjitettävät sulfidipitoiset maamassat suositellaan läjitettäväksi välittömästi pohjaveden pinnan alapuolelle, jolloin rikkiyhdisteet eivät pääse hapettumaan. Mikäli massat läjitetään pohjavedenpinnan yläpuolelle, sadevedet pääsevät huuhtomaan maa-ainesta, ja näin syntyy hapanta valuntaa. Ilmiö on sitä nopeampi ja helpommin havaittavissa, mitä karkeammasta maalajista on kysymys.

8. TOIMENPIDE SUOSITUKSET

Tutkitulla Ruskonselän asemakaava-alueella havaittiin sulfidipitoisia maakerroksia eli potentiaalisia happamia sulfaattimaita sekä maakerroksia, jotka voivat aiheuttaa happamia valuntoja. Nämä tulee huomoida alueen suunnittelussa ja rakentamisessa, jotta vältetään happamilta valunnoilta ympäröiviin vesistöihin.

Alla on esitetty ensisijaisina menetelminä happamien valuntojen syntymisen ehkäisy. Tämän jälkeen on käsitelty mitä voidaan tehdä, kun kaikissa kohteissa ei voida välttää happamien valuntojen syntymistä.

Suosittelomme laatimaan rakentamisen ajalle ja rakentamisen jälkeiselle ajalle seurantaohjelman, jolla voidaan seurata alueelta tulevaa vesien laatua ja tarvittaessa ryhtyä toimenpiteisiin, mikäli ennakoivista toimenpiteistä huolimatta alueelta purkautuu happamia valuntoja. Seurantaa tulisi toteuttaa koko alueen purkuvesille, sekä työmaakohtaista tarkkailua kuivatusvesien laadusta. Mikäli happamia valuntoja ei esiinny ennakkotiedoista poiketen, voidaan tällöin luopua käsittelyistä kyseisessä kohteessa.

Rakentamisen ensimmäisessä vaiheessa tulee valmistella yleisten alueiden hulevesien hallintarakenteet ja kaupungin sulfidipitoisten maiden vastaanottopiste. Tällöin rakentajille on valmiina osoittaa minne he voivat toimittaa sulfidipitoiset maat. Hulevesien hallintarakenteiden avulla saadaan kerättyä valunta hallitusti ja voidaan tehdä keskitettyjä toimenpiteitä tarvittaessa (esim. pH:n säätö). Periaatteena suosittelomme hulevesien ja erityisesti happamien kuivatusvesien käsittelyä syntypisteellään. Tällöin käsittely-yksiköt voivat olla pienempiä ja siirrettäviä työmaalta toiselle. Hulevesien laadun suhteen on suositeltavaa toteuttaa lisätutkimus, jossa seurataan veden pH:n muutoksia rakentamista edeltävältä ajalta rakentamisen jälkeiseen aikaan sellaisesta paikasta, jossa potentiaalisten happamien sulfaattimaiden hapettumista mahdollisesti tapahtuu esimerkiksi kaivamisen tai pohjavedenpinnan aleneman seurauksena.

8.1 Sulfidimaista aiheutuvien haittojen ehkäisy

Rakennustoiminta sulfidimaa-alueella voi aiheuttaa haittoja pohjavedenpinnan laskun seurauksena massanvaihtojen sekä muiden kaivutöiden 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. Liitteessä 3 on esitetty happamia vesiä tuottavat alueet sekä taso, jolle pohjaveden pinta voidaan laskea eli kuivatustaso.

8.1.2 Kaavoitus

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

Tonttien sijoittamista sulfidimaa-alueelle tulee välttää. Mikäli tontteja sulfidimaa-alueelle halutaan, tulee tontit perustaa pengerryksille, jotta kuivatustaso pysyy sallitun alimman kuivatustason yläpuolella. Jos tontteja sulfidimaa-alueelle halutaan, niin tontteja luovutettaessa tulee rakentajalle tuoda esille alueen haasteet.

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. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että rakennusten ja katujen kuivatustaso (taso, jolla salaojat ovat) on turpeen alapinnan tasolla.

Pohjanvahvistusten ja katurakenteiden suunnittelun yhteydessä on huomioitava tarvittava kaivuvyvyys verrattuna sallittuun kuivatustasoon. Katujen tasaus tulee nostaa happamoitumista aiheuttavilla alueilla nykyistä maanpintaa korkeammalle, jolloin alueelle tulee pengerryksiä. 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.

Mikäli massanvaihtoja tulee paljon, esitämme sulfidimaiden kaivumassojen käsittelyn keskitettävän kaupungin toimesta, jolloin rakentajille voidaan osoittaa sijoituspaikka läjitysmaahan sulfidipitoisille maa-aineksille. Samalla käsittelyn kustannukset pystytään jyvittämään rakentajille vastaanottomaksujen muodossa.

Ylijäämämassojen vastaanottopisteella tulee olla valmiudet käsitellä massat asianmukaisesti, ettei vastaanottoalueelta tule happamia valunnoja 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 ja hyötykäyttö esimerkiksi maisemarakenteina, erilaisina penkereinä tai maiseman muotoiluelementteinä ja peittäminen esimerkiksi moreenilla tai turpeella hyvä tapa ehkäistä happamien vesien muodostumista. Mahdollinen hapon muodostus tapahtuu tässä tapauksessa hitaammin ja yhtäkkisiltä happopulsseilta välttyään.

8.1.5 Putkikaivannot

Putkikaivannot suositellaan perustettavaksi sulfidipitoisten maiden alapuolelle. Sulfidimaa-alueilla putkikaivantoon tulee asentaa virtausesteet sulfidialueen molempiin päihin. Virtausesteenä voidaan käyttää esimerkiksi 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 kiinnitys-tarvikkeissa ja toimilaitteissa happamia olosuhteita kestäviä materiaaleja, esim. HST. Rakennus-suunnittelussa 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 ja korrodoiva luonne 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

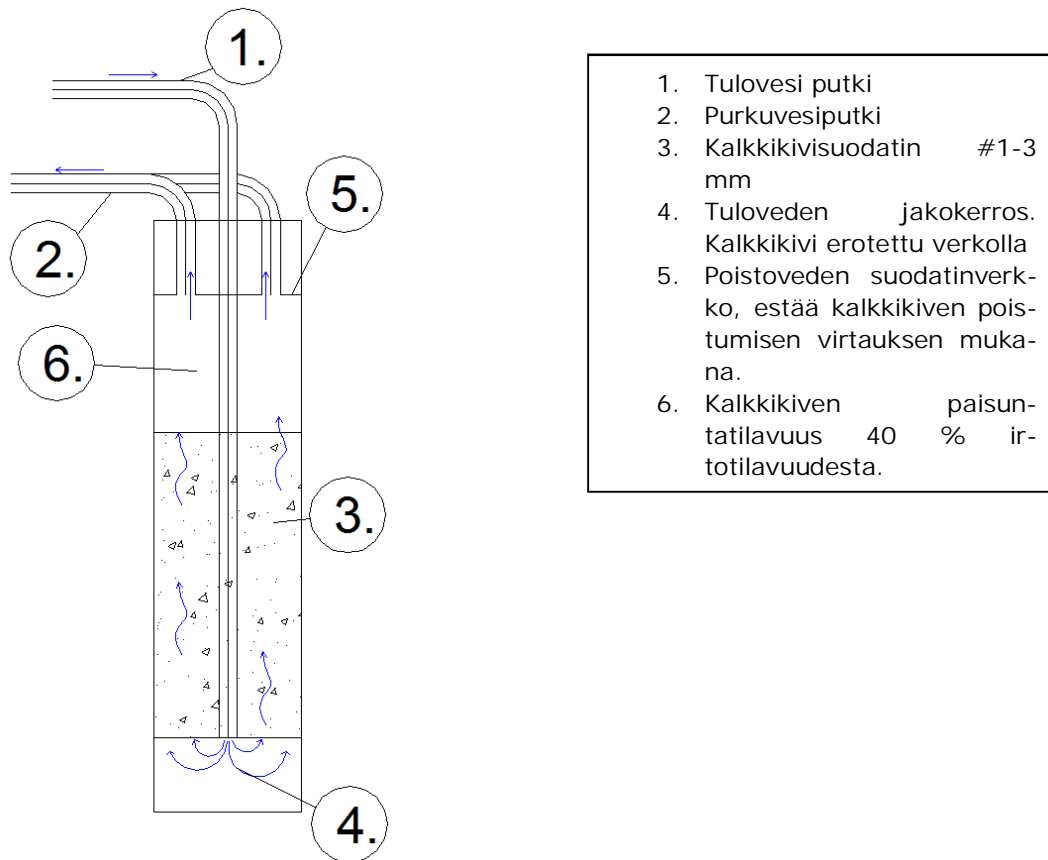
Määritellyillä sulfidimaa-alueilla tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn, mikäli kuivatustaso ulottuu turvekerroksen alapuolelle.

Työnaikainen kuivatus tapahtuu kaivannoista pumppaamalla, jolloin kontti- tai kaivomallinen suodatin on helposti toteutettavissa ja tarvittaessa siirrettävissä eri kohtaan tai toiselle työmaalle. Oheisessa kuvassa (Kuva 8-1) on esitetty periaatekuva kaivon toteutettavasta kalkkikivisuodattimesta. Suodattimessa tulovesi syötetään kaivon pohjalle, josta vesi leviää tasaisesti suodatinmateriaaliin. Vesi virtaa suodatinmateriaalin läpi ja neutraloituu reagoidessaan kalkkikiven kanssa. Vesi purkautuu suodattimen yläosasta ja suositellaan johdettavaksi vielä laskeutusaltaan kautta ennen vesistöön purkua.

Suodattimen toiminnassa on huomioitava, että tulovirtaaman tulee olla riittävän suuri suodatinpinta-alan ja materiaalin suhteen, jotta suodatinmateriaali alkaa liikkua virtaavan veden mukana. Neutralointiprosessissa muodostuu kipsiä ja neutraloidusta vedestä voi saostua metalleja, jotka voivat peittää kalkkikiven. Kalkkikiven liikkeessa virtaaman voimasta saadaan mekaanisesti 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 8-1. 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

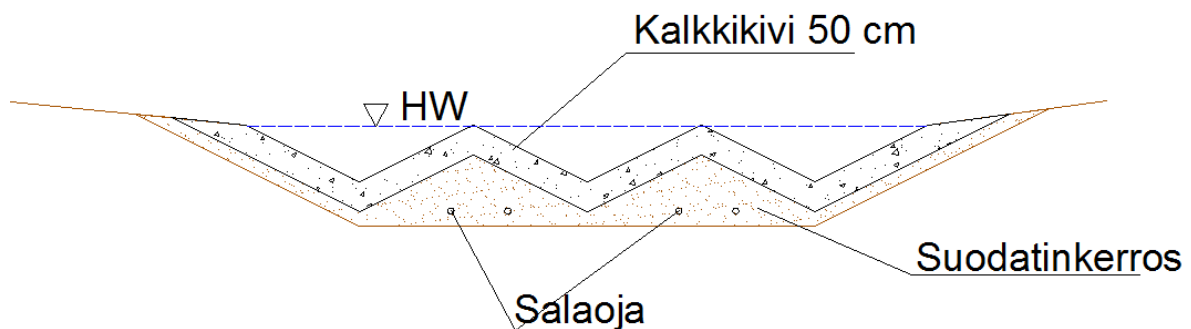
Mikäli rakentaminen ja perustusten kuivatus tulee ulottumaan sulfidimaakerrokseen, tulee varautua pitkäaikaiseen kuivatusvesien käsittelyyn. Järjestelmän toteuttamisen kannalta on tärkeintä pitää happamat vedet erillään ns. neutraaleista vesistä ennen käsittelyä. Tällöin saadaan pidettyä neutralointilaitteen 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 8-2). 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 laskennallisesti määrittää tarvittavan kalkkisuodatuksen koko ja kalkkimäärä. Tällöin pyrittäisiin toteuttamaan kalkkisuodatin kertatoimisena, jolloin suodatinrakenne pystyisi neutraloimaan kaiken kuivatusalueelta syntyvän valunnan ja tämän jälkeen alueelta ei tulisi enää happamia valuntoja. On kuitenkin mahdollista, että maaperän hapettuminen on hidasta ja suodatinkentän tekninen käyttöikä saavutetaan ennen kuin kaikki rikki on hapettunut rikkihapoksi maaperässä. Tällöin suodatinkenttä täytyy saneerata tarvittaessa. Suodatinkentän tekniseksi käyttöiäksi arvioidaan 5–10 vuotta.



Kuva 8-2. Periaatepiirros neutraloivan suodatinkentän rakenteesta.

9. YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Tutkitulla Ruskonselän asemakaava-alueella on havaittu sulfidipitoisia maakerroksia eli potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Ongelmilta voidaan välttyä tai ainakin vähentää pitämällä alueen 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 asiaankuuluvien toimenpitein. Rakentamisen ajalle ja rakentamisen jälkeiselle ajalle on suositeltavaa laatia seurantaohjelma, jonka avulla mahdollisiin happamiin valuntoihin voidaan reagoida tehokkaasti.

Tässä raportissa esitetty ohjeistus on otettava huomioon nyt tekeillä olevassa kaavoituksessa ja jatkossa tehtävässä katusuunnittelussa, vesihuollon yleissuunnittelussa, hulevesien hallintasuunnittelussa sekä rakentamistapaohjeessa.

Oulussa 14.9.2016

RAMBOLL FINLAND OY

Sari Suvanto

Merja Autiola

Projektipäällikkö

Projektipäällikkö

10. LÄHTEET

Oulun kaupunki. 2016. Ruskonselän asemakaava. viimeisin päivitys 17.5.2016.

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 Soils. 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/information/services/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.

Geobotnia. 2015. Rusko-Vesalanmäki kaava-alueen rakennettavuusselvitys. 20.1.2015.

Geobotnia. 2012. Rusko-Vesalanmäki kaava-alueen rakennettavuusselvitys. 4.12.2012.

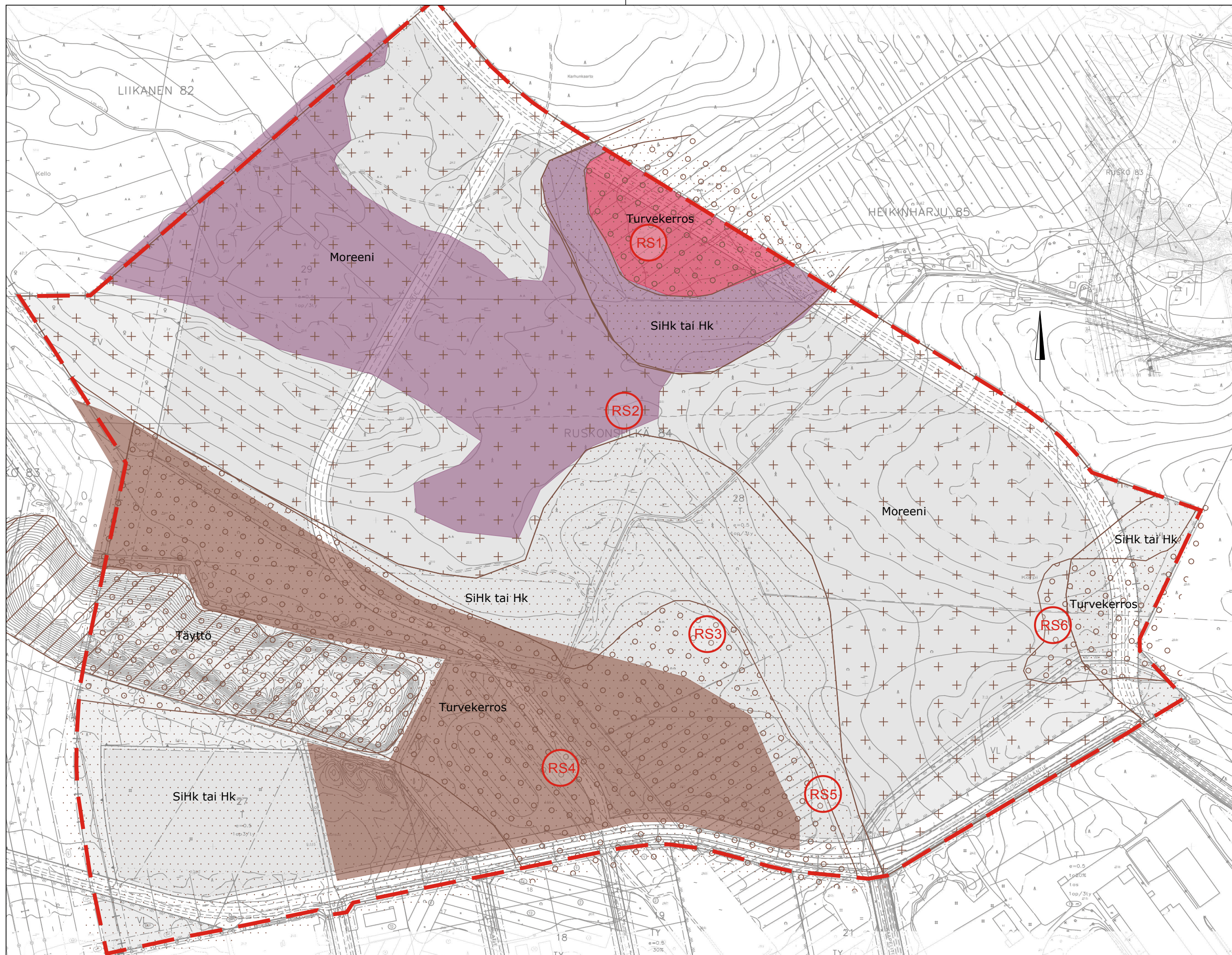
Ramboll. 2014. Tutkimusohjelma. Hieta-ahon kaava-alueen sulfidimaaselvitys. 22.5.2014.

JAKELU

Jorma Heikkinen, Oulun kaupunki, jorma.heikkinen@ouka.fi

Merja Autiola, Ramboll Finland Oy, merja.autiola@ramboll.fi

Sari Suvanto, Ramboll Finland Oy, sari.suvanto@ramboll.fi



- Potentiaalisesti hapan sulfaattimaa-alue
Alin suositeltava kuivatustaso +20.4

- Mahdollisesti lievää happamoitumista aiheuttava turvealue

- Happamoitumista aiheuttava hiekka- ja siltinen hiekka-alue
Alin suositeltava kuivatustaso +18.4

- RS6 Tutkimuspiste
- Täyttö
- Turve
- + Moreeni
- Hiekka

Merkki	Muutos	Pvm	Suunn.	Tark.
Koordinaattijärjestelmä: ETRS-GK26, korkeusjärjestelmä N2000				
Teema	Kaupunginosa RUSKONSELKÄ			
Hanke	RUSKONSELÄN SULFAATTIMAASELVITYS			HYVÄKSYNYT KAUP. INS.
Kohde	RUSKONSELKÄ			§
Asiasisältö	Asemapiirros			YHDYSKUNTA LTK §
	Mittakaava			1:4000
Ramboll Kiviharjunenki 1A 90220 Oulu puh. 020 755 611		YHDYSKUNTA- JA YMPÄRISTÖPALVELUT		
Suunnittelija	Sari Suvanto			Hyväksyjä
Hyväksyjä				Jorma Heikkinen
Piir.nro			Pvm	Piir.nro
		14.9.2016		Liite 3