

Vastaanottaja
Oulun kaupunki
Mikko Ukkola
Yhdyskunta- ja ympäristöpalvelut
Katu- ja viherpalvelut

Asiakirjatyyppi
Raportti

Päivämäärä
9.6.2015

OULUN KAUPUNKI HIETA-AHON KAAVA- ALUEEN SULFIDI- MAASELVITYS, OSA II

OULUN KAUPUNKI
HI ETA-AHON KAAVA-ALUEEN SULFIDI MAASELVITYS

Päivämäärä 9.6.2015
Laatija Merja Autiola, Kari Koivisto, Sari Suvanto, Tomi Jutila,
Noora Lindroos, Olli Kiviniemi
Tarkastaja Jari Heiskari
Hyväksyjä Mikko Ukkola

Viite 1510018087

SISÄLTÖ

1.	JOHDANTO	2
2.	HAPPAMIEN SULFAATTIMAI DEN ESIINTYMINEN JA LUOKITTELU SUOMESSA	2
2.1	Taustaa	2
2.2	Luokittelussa käytetyt kriteerit	3
2.3	Riskiluokittelu suomalaisille happamille sulfaattimaille	4
2.4	Muita sulfidimaan luokitusparametreja	4
3.	NÄYTTEENOTTO	4
4.	TUTKIMUSMENETELMÄT	5
5.	TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU	5
5.1	Maalajit	5
5.2	Kokonaisrikkipitoisuus laboratoriossa ja kenttämittarilla:	5
5.3	Inkuboitu pH (NAG-pH)	6
5.4	Nettophosphatit (NAG)	7
5.5	Puskurikapasiteetti	7
5.6	Rauta/ rikki-suhde	7
5.7	Yhteenveto tuloksista ja GTK:n luokitusohjeen mukainen luokitus	7
6.	VUODEN 2014 JA 2015 TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO	8
7.	NEUTRALOITUVUUSTUTKIMUKSET	9
8.	HAPPAMAN VALUNNAN MUODOSTUMINEN	10
9.	JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET	11
9.1	Sulfidimaista aiheutuvien haittojen ehkäisy	11
9.1.1	Pohjaveden pinnan alin taso	11
9.1.2	Kaavoitus	11
9.1.3	Alueen tasauksen suunnittelu	12
9.1.4	Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely	12
9.1.5	Alikulut	13
9.1.6	Putkikaivannot	13
9.1.7	Paalutettavat kohteet yms. maanalaiset rakenteet	13
9.2	Happaman valunnan hallinta	13
9.2.1	Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut	13
9.2.2	Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut	15
10.	YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET	16
11.	LÄHTEET	17

LIITTEET

- Liite 1. Ruotsalaiset kriteerit sulfidimaiden happamoittavan vaikutuksen arvioimiseksi
- Liite 2. Alueen sijainti
- Liite 3. Tutkimuspisteiden sijainti
- Liite 4. Sulfidialueiden rajaus
- Liite 5. Rakennettavuuskartta
- Liite 6. Kenttähavainnot
- Liite 7. Tulostaulukko
- Liite 8. Analyysitodistus
- Liite 9. Neutraloitumistutkimuksen tulokset
- Liite 10. Valokuvia alueelta

RAPORTISSA KÄYTETYT LYHENTEET

AASS	Actual Acid Sulfate Soil Varsinainen hapan sulfaattimaa Hapettunut savi-/silttikerros, jossa rikki esiintyy sulfaattina eli sulfaattimaakerros Suomessa käytetty myös lyhennettä THS (todellien hapan sulfaattimaa)
PASS	Potential Acid Sulfate Soil Potentiaalinen hapan sulfaattimaa Pelkistyneessä tilassa oleva savi-/silttikerros, jossa rikki esiintyy sulfidina eli sulfidimaakerros Suomessa käytetty myös lyhennettä PHS (potentiaalinen hapan sulfaattimaa)

1. JOHDANTO

Työn lähtökohtana oli selvittää esiintyykö Oulun Kiimingissä sijaitsevan Hieta-ahon kaavarungon alueella happamia sulfidi- tai sulfaattimaita. Tutkimuksen laatu oli tarkentava, sillä alueella tehtiin alustava sulfidi- tai sulfaattimaaselvitys vuonna 2014. Tutkimuksia tarkennettiin II-vaiheessa tiealueille sekä turve-moreenialueiden vaihettumisalueille helmikuussa 2015 tehdyillä kairauksilla. Tässä raportissa on esitetty kootusti molempien tutkimusvaiheiden tulokset.

Hieta-ahon kaavarunkoalue sijaitsee Kiimingin keskustan ja Ylikiimingintien (848) eteläpuolella, rajoittuen luoteisosaltaan Kuusamontiehen (20). Kaavarunkoalueen pinta-ala on noin 236 ha. Kaavarungon suunnittelualueen sisään jäävät Isoahonkankaan ja Kaista-ahon asemakaavoitetut alueet. Lisäksi suunnittelualueella on yksi erillispientalo. Muilta osin alue on rakentamaton (Airix. 2014).

Sulfaatti- ja sulfidimaat tulee huomioida alueen 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 Mikko Ukkola. Tutkimukset on tehty Ramboll Finland Oy:ssä, jossa työstä ovat vastanneet:

- näytteenoton ohjaus ja raportointi, projektipäällikkö Jari Heiskari.
- laboratoriotyön ohjaus ja raportointi, Merja Autiola
- hulevesiasiat ja kuivatus, Kari Koivisto, Sari Suvanto
- rakennettavuusasiat, Mikko Sivonen

2. HAPPAMIEN SULFAATTIMAI DEN ESIINTYMINEN JA LUOKITTELU SUOMESSA

Seuraavassa esitetään sulfaattimaihien liittyvän ympäristöongelman taustaa ja luokittelua. Ohjeistus ottaa huomioon myös mm. osittain hapettuneen maan pintakerroksen ja siinä jo tapahtuneet pH-muutokset.

Hieta-ahon kaava-alueen maanäytteiden luokittelu on esitetty tarkemmin kappaleessa 5.

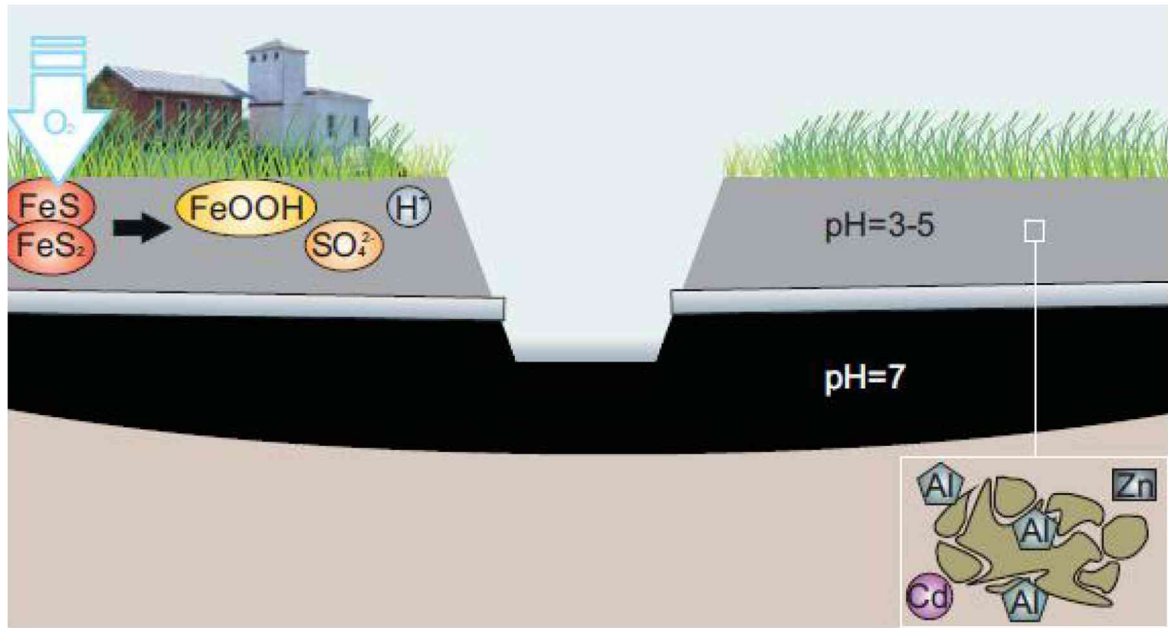
2.1 Taustaa

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.

Sulfidimaa-alueet ovat luonnontilassa matalia, turpeen peittämiä ja tasaisen kosteita maita, eivätkä tällöin aiheuta haittaa ympäröivälle luonnolle. Tilanne muuttuu, kun pohjaveden pinta laskee esimerkiksi ojituksen seurauksena, tai mikäli sulfidimaata kaivetaan kasalle esimerkiksi ruoppauksen yhteydessä. Hapan kanssa tekemisiin joutuvan sulfidimaan sisältämät rikkipitoiset mineraalit hapettuvat ja muodostava rikkihappoa, joka liuottaa maaperästä sen luontaisesti sisältämiä metalleja (Kuva 2-1).

Kuivana ajanjaksona lienneet happosuolet ja metallit pidättäytyvät maaperään. Sateiden tai sulamisvesien mukana sulfaattimaiden vedet huuhtoutuvat vesistöihin. Valumien pH voi olla alle 3. Herkimvät 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).



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

2.2 Luokittelussa käytetyt kriteerit

Happamien sulfaattimaiden ja potentiaalisten happamien sulfaattimaiden (eli sulfidimaiden) aiheuttamat vaikutukset on tiedostettu Suomessa etenkin sen maataloudelle aiheuttamien ongelmien vuoksi. Systemaattinen työ happamien sulfaattimaiden kartoittamiseksi ja luokittelukriteerien määrittämiseksi Suomessa alkoi vuonna 2009 GTK:n johdolla (Edén et al. 2012). Maa- ja metsätalousministeriö julkaisi vuonna 2011 strategiansa haittojen vähentämisen suuntaviivoiksi vuoteen 2020 (Maa- ja metsätalousministeriö, 2011).

Tässä raportissa esitetty happamien sulfaattimaiden luokittelu perustuu artikkeliin "Definition and Classification of Finnish Acid Sulfate Soils" (Edén et al. 2012). Artikkelissa esitettyjen luokittelukriteerien mukaan sulfaattimaissa on kohonnut rikkipitoisuus ja ne ovat joko happamia kerrostumia (varsinainen hapan sulfaattimaa) tai pelkistyneessä tilassa olevia sulfidipitoisia kerrostumia (potentiaalinen hapan sulfaattimaa). Sulfaattimaat ovat tyypillisesti orgaanista ainesta sisältävää savea tai silttiä.

Seuraavassa on esitetty sulfaattimaiden luokitusta helpottavat tunnusomaiset piirteet varsinaiselle happamalle sulfaattimaalle (AASS) sekä potentiaaliselle happamalle sulfaattimaalle (PASS).

Varsinainen hapan sulfaattimaa (AASS):

- maastossa mitattu $pH < 4,0$, johtuen sulfidien hapettumisesta
- 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

Potentiaalinen hapan sulfaattimaa (PASS):

- rikki esiintyy sulfidimuodossa (pelkistyneenä, ei hapettuneena)
- yleensä $pH > 6,0$
- rikin pitoisuus, S (tot) 0,2 %
- inkuboidun näytteen $pH \leq 4,0$ (vetyperoksidihapetus) ja pH :n muutos on yli 0.5 pH -yksikköä verrattuna maastossa mitattuun pH -tulokseen

2.3 Riskiluokittelu suomalaisille happamille sulfaattimaille

Edén et al. 2012 esittämässä riskiluokittelussa yleiskartoituksen tarkastelusyvyytenä käytetään 0–3 m syvyyttä maanpinnasta (luonnontilainen maaperä). Tarkasteltavia parametreja on kaikkiaan kolme:

- sulfidikerroksen (PASS) alkamissyvyys
- maastossa mitattu minimi pH
- kokonaisrikkipitoisuus

Sulfidin esiintyminen:

Luokka 1	Potentiaalinen sulfaattimaan alkamissyvyys (m)
1	0-1,0
2	1,0-1,5
3	1,5-2,0
4	2,0-3,0
5	sulfidit ovat kokonaan hapettuneet
6	ei sulfideja 0-3 m syvyydellä

Maastossa mitattu minimi pH:

Luokka 2	pH _{min} (0-3 m syvyydellä)
A	< 3,5
B	3,5-3,9
C	4,0-4,4
D	≥ 4,5

Rikkipitoisuus:

Lisäluokitus	S(tot) %
I	≥ 1,0
II	0,6 – 1,0
III	0,2-0,6
IV	<0,2

Näytteen luokittelu annetaan muodossa: sulfidien esiintymisen alkamissyvyys / pH_{min} / S(tot).

2.4 Muita sulfidimaan luokitusparametreja

Liitteessä 1 on esitetty ruotsalaisia luokituskriteerejä happamille sulfaattimaille (Pousette. 2007). Ruotsalaisessa artikkelissa maa-aineksen rikkipitoisuuden ja minimi-pH:n lisäksi luokituksessa voidaan tarkastella raudan ja rikin kokonaispitoisuuksien suhdetta. 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.

Artikkelissa tarkastellaan myös näytteen hehkutushäviön vaikutusta puskurikapasiteettiin. Mikäli näytteen hehkutushäviö on suuri, maa-aineksella on todennäköisesti hyvä puskurikapasiteetti, mikä vähentää sen happamoittavaa vaikutusta.

3. NÄYTTEENOTTO

Toisen vaiheen näytteenotto suoritettiin kairaamalla 23-25.2.2015. Näytteenotosta vastasi Ramboll Finland Oy. Kairaukset suoritettiin Destia Oy:n keskiraskaalla porakonekairauskalustolla (GM 75 GT) putkinäytteenottimeen.

Näytteitä otettiin tutkimusohjelman (Ramboll. 2015) mukaisesti kahdeksasta näytepisteestä (HA11, HA12, HA13, HA14, HA16, HA17, HA18, HA21) puolen metrin välein tai vähintään jokaisesta silmämääräisesti eri maalajista tai ulkoasultaan poikkeavista kerroksista. Turvekerroksesta

ei otettu näytteitä. Näytteenotto pyrittiin ulottamaan jokaisessa näytepisteessä noin 4 metrin syvyyteen, koska Hieta-ahon kaava-alueelta laaditun rakennettavuuskartan (Ramboll, 2012) mukaan massanvaihdon syvin suositeltu syvyys on 4 m. Pisteiden HA16 kohdalla näytteenotto onnistui syvimmillään noin 2,5 metristä kivisen moreenin vuoksi.

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

Tutkimusalueen ja tutkimuspisteiden sijainti on esitetty liitteissä 2 ja 3. Tutkimuksen perusteella tehty sulfidialueen rajausta liitteessä 4 ja rakennettavuus selvitys liitteessä 5. Kenttähavainnot on esitetty liitteessä 6 ja valokuvia alueelta liitteessä 10.

4. TUTKIMUSMENETELMÄT

Maanäytteet tutkittiin Rambollin ympäristögeotekniikan laboratorioissa Luopioisissa ja Ramboll Analytysin 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)
- Hapontuotto määritettiin vetyperoksidilla hapetetusta näytteestä. Näytteet titrattiin 0,1 M natriumhydroksidiliuoksella pH-arvoon 4,5. NaOH-kulutuksen perusteella laskettiin näytteen hapontuotto yksikössä H_2SO_4 kg / t maata
- Kokonaisrikin määrittäminen kenttämittarilla: Niton XL3 on röntgenfluoresenssi-analysaattori, jolla voidaan määrittää materiaalin alkuaineiden kokonaispitoisuuksia. Nitonia käytetään mm. kalsiumin ja metallien kokonaispitoisuuden määrittämisessä. Mittaus tulos on kolmen erillisen mittauksen keskiarvo. Ennen kokonaisrikipitoisuuden mittausta näyte on kuivattu 105 °C lämpötilassa ja hienonnettu jauheeksi.
- Kokonaisrikin määrittäminen laboratorioissa omalla menetelmällä, jossa näyte (tarvittaessa kuivattu) poltetaan putkiuunissa (Leco SC-144DR) puhtaassa hapessa ja korkeassa lämpötilassa. Muodostuneen SO_2 -kaasumäärän perusteella lasketaan näytteen kokonaisrikipitoisuus. tulokset ilmoitetaan näytteen kuivamassaa kohden. Määrittämissuhteet on 0,01 m-%

5. TULOKSET JA TULOSTEN TARKASTELU

Analyysitulokset on esitetty kootusti liitteen 7 taulukossa ja analyysitodistus liitteessä 8.

Näytteitä tutkittiin 28 kappaletta. Seuraavassa esitetään tehdyistä tutkimuksista lyhyet yhteenvedot ja taustaa luokitukselle.

5.1 Maalajit

Turvekerroksen alla oleva maaperä on laboratorioissa tehtyjen silmämääräisten maalajarvioiden perusteella pääosin hiekkamoreenia ja silttimoreenia. Paikoin turvekerroksen alla on liejuista silttiä ja liejuista savea.

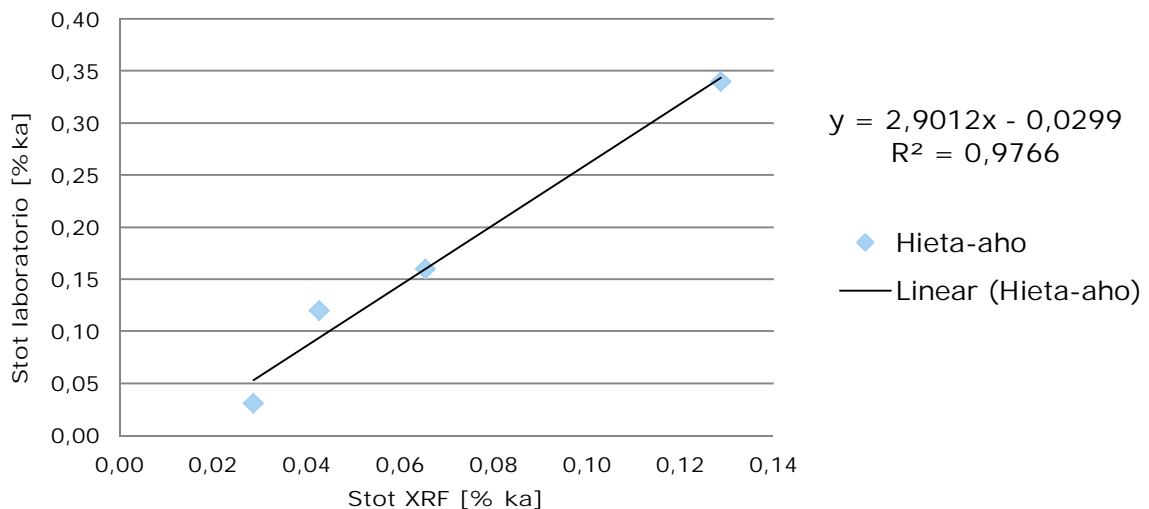
5.2 Kokonaisrikipitoisuus laboratorioissa ja kenttämittarilla:

Niton XRF:llä analysoitiin 28 näytteestä kokonaisrikipitoisuudet. Tulosten perusteella viisi näytettä valittiin laboratorioanalyysiin tarkempiin kokonaisrikipitoisuuden määrittämiin. Sekä XRF-näytteiden että analyysinäytteiden esikäsittelyyn kuului kuivaus ennen mittausta/määrittäystä. XRF:llä määritetyt pitoisuudet olivat alhaisempia kuin laboratorioanalyysissä määritetyt. Kenttämittausten ja laboratorioanalyysien välinen korrelaatio on esitetty kuvassa 5-1. Sekä XRF-mittausten, että laboratorioanalyysien kokonaisrikipitoisuustulokset on koottu liitteen 7 tauluk-

koon. Taulukossa on ilmoitettu myös osalle näytteistä kalibrintisuoran perusteella korjatut kokonaisrikkipitoisuudet.

Piste	Syvyys	S _{tot} [m-%] laboratoriomääritys	S _{tot} [m-%] keskiarvo kenttäanalyysointimääritys
HA12	1,5-2,0	0,031	0,028
HA13	2,5-3,0	0,12	0,042
HA14	0,9-1,5	0,16	0,065
HA16	2,0-2,5	0,34	0,129
HA21	2,6-3,0	0,030	0,034

XRF-mittausten ja laboratorioanalyysien kokonaisrikkipitoisuustulosten vertailu



Kuva 5-1. XRF-mittausten ja laboratorioanalyysien kokonaisrikkipitoisuustulosten vertailu.

Potentiaalisiksi happamiksi sulfaattimaiksi luokiteltavista näytteissä kokonaisrikkipitoisuus on $\geq 0,2$ % (kuiva-aineesta). Laboratoriomäärityksistä tähän kategoriaan kuuluu kaksi näytettä (HA14 0,9–1,5 m (0,16 % (~0,2%)), HA16 2,0-2,5 m (0,34 %)). Lisäksi XRF:llä tehtyjen mittausten perusteella *arvioitu* kokonaisrikkipitoisuus oli $\geq 0,2$ % (kuiva-aineesta) kuudessa näytteessä sisältäen edellä mainitut kaksi näytettä:

Piste	Syvyys	S _{tot} [m-%]
HA13	1,85-2,5 m	--
HA14	0,9-1,5 m	0,16%
HA16	1,5-2,0 m	--
HA16	2,0-2,5 m	--
HA16	2,5-2,7 m	0,34%
HA18	2,7-3,4	--

5.3 Inkuboitu pH (NAG-pH)

GTK:n ohjeessa esitetään, että kokonaisrikkipitoisuudeltaan $\geq 0,2$ % näytteet, joissa pH on inkuboinnin (vetyperoksidihapetus nk. NAG pH) jälkeen $\text{pH} \leq 4,0$ ja laskee yli 0,5 pH-yksikköä kentällä mitattuun pH-arvoon verrattuna, ovat potentiaalisia sulfaattimaita.

Kaikissa Hieta-ahon kahdessa toista inkuboiduissa maanäytteissä pH:n lasku oli yli 0,5 pH-yksikköä ja yhtä näytettä lukuun ottamatta inkuboitu $\text{pH} \leq 4$. pH:n lasku todettiin myös näytteissä, joissa kokonaisrikkipitoisuus oli Niton-XRF-mittauksen perusteella pieni ($\text{Stot} \leq 0,2$ %).

Tämä tarkoittaa, että silttimoreenin ja hiekkamoreenin täydellisesti hapettuessa pH laskee happamaksi.

5.4 Nettohapontuotto (NAG)

Kahdelle rikkiä sisältävälle maanäytteelle määritettiin nettohapontuotto (NAG) titraamalla vetyperoksidilla hapetettu maanäyte 0,1 M NaOH:lla pH-arvoon 4,5. Vetyperoksidi hapettaa näytteen sisältämän sulfidin sulfaattiksi. Samalla myös näytteen sisältämä orgaaninen aines hapettuu. Titraamalla sulfaattipitoinen näyte emäksellä pH-tasolle 4,5, voidaan määrittää teoreettinen rikkihappomäärä, jonka kyseisen kaltainen maa-aines voi enintään vapauttaa ympäristöön. Tulosten perusteella potentiaalisten sulfaattimaanäytteiden hapontuotto on noin 2-3 kg rikkihappoa maa-ainestonnia kohden.

Testin tulosta voidaan hyödyntää riskitarkastelussa arvioitaessa ympäristöön kohdistuvaa happokuormitusta, kun tietty määrä potentiaalista hapanta sulfaattimaata (PASS) kaivetaan kasalle hapellisiin olosuhteisiin. Näytteiden hapontuotto kuvaa vakavinta skenaariota eli tilannetta, jossa kaikki näytteen sisältämä sulfidirikki vapautuu hapettuessaan rikkihappona. Testi todennäköisesti yliarvioi pH:n alentumista ja hapontuottoa, sillä luonnossa voi tapahtua myös puskurireaktioita eli maa-aines voi sisältää neutraloivaa mineraaliainesta ja humusta, jolloin pH ei todellisuudessa laske niin alhaiseksi kuin laboratoriossa. Lisäksi rikin esiintymismuoto voi myös palautua takaisin sulfaatista sulfidiksi, jos olosuhteet muuttuvat takaisin hapettavista pelkistäviksi.

5.5 Puskurikapasiteetti

Kaikkiaan 28 näytteestä määritettiin hehikutushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Ruotsalaisessa artikkelissa (Pousette. 2007) hehikutushäviötä on käytetty saven puskurikapasiteetin arvioimiseen. Mitä suurempi hehikutushäviö ja orgaanisen aineksen määrä, sitä suurempi on saven puskuroiva vaikutus, joka puolestaan pienentää happamoittavaa vaikutusta. Artikkelin perusteella hehikutushäviön ylittäessä 8 %, savella on puskuroiva vaikutus ja saven happamoittava vaikutus pienenee suhteessa vähemmän orgaanista ainesta sisältävään saveen.

Hieta-ahon tutkituissa maanäytteissä hehikutushäviö oli pääsääntöisesti alle 5 % eli puskurikapasiteetti ei ole merkittävää. Näytteiden keskimääräinen hehikutushäviö oli 2,0 % (0,8-8,5 %).

5.6 Rauta/ rikki-suhde

Maa-aineksen rikkipitoisuuden ja minimi-pH:n lisäksi luokituksessa voidaan tarkastella raudan ja rikin kokonaispitoisuuksien suhdetta. 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.

Rauta- ja rikkipitoisuuksien suhde laskettiin Niton-kenttäanalyysointilaitteen mittaustulosten avulla. Selkeästi pieni happamoittava vaikutus oli kymmenellä näytteellä (Fe/S-suhde on >60). Lopuissa näytteissä happamoittamispotentiaalia ei voitu päätellä rauta/riikki-suhteen perusteella, sillä näytteiden Fe/S-suhde oli välillä 3-60.

5.7 Yhteenveto tuloksista ja GTK:n luokitusohjeen mukainen luokitus

Kaikkien tutkittujen näytteiden pH oli $\geq 5,4$ (5,4–7,9), joten yhtään näytteistä ei luokiteltu varsinaiseksi happamaksi sulfaattimaaksi (AASS) (pH < 4,0).

Potentiaalisesti happamaksi sulfaattimaaksi (PASS) luokiteltiin 6 näytettä seuraavissa kairauspisteissä ja syvyyksissä. Luokituksessa tulee toteutua sekä korkea rikkipitoisuus että pH-tason lasku hapetuksen yhteydessä. Alueen maanäytteissä pH-taso alenee kaikissa testatuissa näytteissä enemmän kuin 0,5 yksikköä. Riskiluokitus Edén et al. 2012 ohjetta soveltaen on mainittu näytepisteen perässä:

Näytepiste	Syvyys (m)	Luokka
HA13	1,85-2,5	3/D/III
HA14	0,9-1,5	1/D/III
HA16	1,5-2,0	2/D/III
HA16	2,0-2,5	2/D/III
HA16	2,5-2,7	2/D/III
HA18	2,7-3,4	4/D/III

Tutkimuspisteiden sijainti on esitetty liitteessä 3. Pisteet, joiden maanäytteissä havaittiin happamoittavaa vaikutusta sijaitsevat alueen laajimman turvealueen laidoilla. Ohuimmillaan kairauksiin pintaosan turvekerros oli 0,9 m pisteessä HA14.

Kolmessa kairauspisteessä HA13, HA14 JA HA18 potentiaalinen sulfidimaa (liejuinen hiekkamoreeni/ liejuinen siltti/ liejuinen hiekka) esiintyy noin 60–70 cm paksuisena kerroksena turpeen alla. Tätä syvemmällä hiekkamoreeni/silttimoreeni/silttimaassa rikkipitoisuudet olivat jo matalia. Näiden tulosten perusteella turvealueen laidoilla myös sulfidimaakerrokset ovat varsin ohuita.

Poikkeuksen kartoitustuloksiin muodosti piste HA16, jossa korkea rikkipitoisuus todettiin hiekkamoreenissa/soramoreenissa. Pistein pintaosassa ei ollut juurikaan turvetta ja pintaosa vaikutti tulosten perusteella jo hapettuneelta. On mahdollista, että tutkimuspisteessä moreeni heijastaa lähialueen kallioperän rikkipitoisia kiisumineraaleja, eikä kyseessä näin ollen ole luokitukseen sovelia Litorina-meren kerrostama kerros. Kiimingin alueen kallioperä kuuluu Pohjois-Pohjanmaan liuskevyöhykkeeseen, jonka tyypillisenä kivilajina tavataan mm. fylliittiä. Kirjallisuudessa on todettu, että suurimmat moreenin rikkipitoisuudet Suomessa ovat liuskealueilla ja Pohjanmaan rannikkoalueilla, joilla tavataan sulfidi- ja sulfaattipitoisia savia (Herranen, 2009).

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

- HA11
- HA12
- HA17
- HA21

Näissä pisteissä rikkipitoisuus on Niton-XRF:n perusteella alhainen. Pisteet sijoittuvat kartoitusalueen pohjois- ja eteläpään, alueille joissa turvepeite on hyvin ohut tai sitä ei ole lainkaan.

6. VUODEN 2014 JA 2015 TUTKIMUSTULOSTEN YHTEENVETO

Hieta-ahon kaavarungon alueelle tehdyssä sulfidimaaselvityksessä todettiin potentiaalisia happamia sulfaattimaita turpeen alaisissa maakerroksissa.

Viitteitä moreenin sisältämään rikkipitoisuuteen, löytyy kairauspisteistä HA2, HA5, HA6, HA16. Näissä pisteissä rikkipitoisuus kohoaa vasta alemmissa kerroksissa eikä rikkiä tavata heti turvekerroksen alla.

Näytepisteissä HA8, HA9 ja HA10, HA11, HA12, HA17 ja HA21 varsinaisia tai potentiaalisia happamia sulfaattimaaluokituksia ei todettu.

Liitteessä 4 on esitetty näiden tulosten perusteella arvioitu mahdollisesti happamia vesiä tuottava alue. Tämä aluerajaus noudattelee turvekerroksen paksuutta. Alueen eteläosasta ei ole kattavia tuloksia, joten arvioissa aluerajauksen laajuudessa on epävarmuuksia siltä osin.

Ruotsalaisessa artikkelissa (Pousette. 2007) on esitetty (liite 1) 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 kunnallisteknisille ja muille rakenteille korroosion muodossa. Happokuormitusta voidaan vähentää kalkitsemalla tai stabiloimalla kaivettavat happoa tuottavat maa-ainekset.

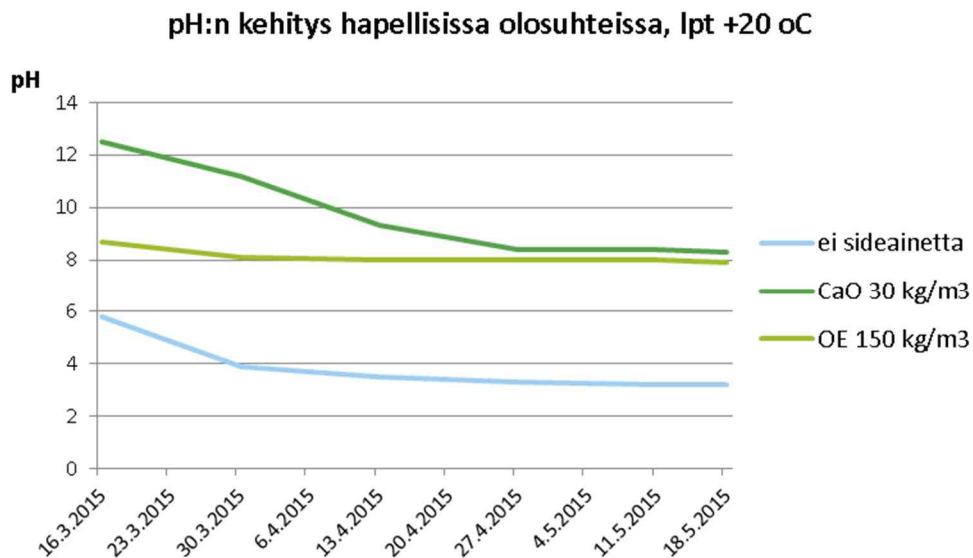
7. NEUTRALOITUVUUSTUTKIMUKSET

Laboratoriossa määritettiin kahdelle erilaiselle maanäytteelle niiden hapontuottopotentiaali sekä selvitettiin suppealla testisarjalla Oulun Energian lentotuhkan neutraloivaa vaikutusta verrattuna kalkkiin ja käsittelemättömään sulfidimaahan. Lentotuhka on vuodelta 2013, jolloin polttoainees-ta turpeen osuus on ollut 62 % ja puun 38 %.

Testisarjan mittaustulokset on esitetty kokonaisina liitteessä 9. pH-tason muutokset testin aikana on esitetty kuvissa 7-1 ja 7-2. Ensimmäisessä kuvassa esitetään mitä tapahtuu maanäytteelle huoneen lämpötilassa, kun näyte on sekoitettu pieneen määrään vettä ja rikkipitoinen maa pää-see reagoimaan esteettä hapen kanssa. Testisarjassa on mukana kolme maanäytettä, joista yh-teen ei ole sekoitettu lainkaan neutraloivaa ainetta. Kahteen muuhun näytteeseen on sekoitettu ennen veden lisäämistä neutraloivaksi aineeksi joko kalkkia (CaO) reseptillä 30 kg/m³ tai Oulun Energian lentotuhkaa (OE) reseptillä 150 kg/m³.

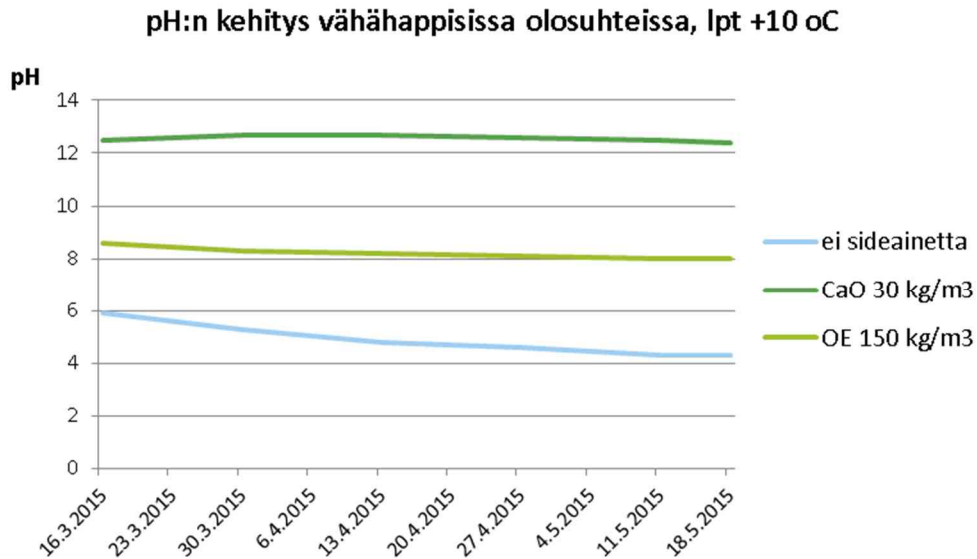
Kalkin neutralointikyky on korkea ja vastaavan neutraloimistuloksen saamiseksi lentotuhkaa tar- vitataan huomattavasti enemmän. Tämä nähdään myös mittaustuloksissa. Pienenkö määrä kalkkia nostaa seoksen pH tason yli 12 kun vastaavasti kohtuullisella määrällä lentotuhkaa seoksen pH- taso on lähtötilanteessa noin 9.

Jo kahden viikon kuluttua testin aloittamisesta havaitaan pH-tason alenemista kaikilla näytteillä. Voimakkainta pH-tason lasku on alkuperäisellä maanäytteellä, johon ei ole sekoitettu neutra- loivaa sideainetta.



Kuva 7-1. pH-lukemat rikkipitoiselle maalle. Näytesarja on säilytetty huoneen lämmössä hapellisiss olo- suhteissa.

Edelliselle sarjalle rinnakkainen testisarja pidettiin jääkaappilämpötilassa ja suljetuissa astioissa, jolloin näytteet eivät olleet esteettömästi yhteydessä ilman kanssa. Näytteet olivat hapellisissa olosuhteissa mittaushetkien aikana, mutta demonstraation tuloksen kannalta tällä ei ollut suurta merkitystä.



Kuva 7-2. pH-lukemat rikkipitoiselle maalle. Näytesarja on säilytetty jääkaappiolosuhteissa vähähappisissa olosuhteissa.

Vähähappisissa ja viileissä olosuhteissa rikkihapon muodostus ja tätä kautta pH-tason muutokset ovat selkeästi hitaampia sekä ilman neutraloivaa ainetta olevalla maanäytteellä että kalkkia ja lentotuhkaa sisältävissä näytteissä.

Tulokset antavat viitteitä siitä, että alueen happamoitumista aiheuttavia maa-aineksia voidaan sekoittaa mm. Oulun Energian lentotuhkaan ja hyötykäyttää syntyvää materiaalia esimerkiksi viheralueiden muotoiluissa. pH-tasot pysyvät varsin turvallisilla tasoilla, kun happamoittavaan materiaaliin on sekoitettu neutraloivaa ainetta. Jos rakenne peitetään vielä kohtuullisesti vettä pidättävällä maa-aineksella tai humuspitoisella maalla, estetään hapen kulkeutuminen rakenteeseen ja liiallinen ja yhtäkkinen rikkihapon muodostuminen. pH-tasot peitettyssä rakenteessa tulevat luonnon olosuhteissa, jotka suurimman osan vuodesta maanpinnan alapuolella vastaavat "jääkaappilämpötiloja", noudattamaan testeissä esitettyjen hapellisten ja vähähappisten testitulosten välimaastoa. Reaktioiden ollessa peitettyissä rakenteissa varsin hitaita, ne eivät aiheuta yhtäkkisiä happamoitusvaikutuksia, jotka voitaisiin nähdä luonnossa esim. kalakuolemina.

8. HAPPAMAN VALUNNAN MUODOSTUMI NEN

Sulfidimaiden rikkijyhdisteet 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 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 rikkijyhdisteet eivät pääse hapettumaan. Mikäli massat läjitetään pohjavedenpinnan yläpuolelle, tulee sadevedet huuhtomaan rikkihapot, ja näin syntyy hapanta valuntaa.

9. JOHTOPÄÄTÖKSET JA SUOSITUKSET

Tutkitulla Hieta-ahon kaavarungon alueella on havaittu sulfidipitoisia maakerroksia eli potentiaalisia happamia sulfaattimaita. Nämä tulee huomoida alueen suunnittelussa ja rakentamisessa, jotta vältytään 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.

Suosittelimme 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 suosittelimme 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.

9.1 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.

9.1.1 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 turpeen alapinnan tasoon. Liitteessä 4 on esitetty happamia vesiä tuottavat alueet sekä taso, jolle pohjaveden pinta voidaan laskea eli kuivatustaso.

9.1.2 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.

9.1.3 Alueen tasauksen suunnittelu

Kuivatustasolla on merkitystä etenkin alueen korkeusmaailman suunnitteluun. Sulfidimaa-alueella katujen ja tonttien tasot tulee määrittellä 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 alapinnan tasolla.

Pohjanvahvistusten ja katurakenteiden suunnittelun yhteydessä on huomioitava tarvittava kasvivyvyys 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.

9.1.4 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 vastaanottoalueella tulee olla valmiudet käsitellä massat asianmukaisesti, ettei vastaanottoalueelta tule happamia valuntoja luontoon. Suosittelemme vastaanottoalueen kuivatusvesien käsittelyyn varautumista kohdan 9.2 mukaisilla toimenpiteillä.

Pelkkää lentotuhkaa käyttäen ei saada aikaan merkittävää lujuuskehitystä materiaaliin eikä tätä ole tässä vaiheessa vielä tutkittu. Perinteiset sulfidisaviksi luokiteltavat materiaalit sisältävät orgaanista ainesta ja ovat hienorakeisina hyvin vettä pidättäviä. Lentotuhkan lisääminen helpottaa materiaalin käsiteltävyyttä, sillä neutralointireaktio on vettä kuluttava.

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.

9.1.5 Alikulut

Tätä selvitystä laadittaessa kaavarunkoluonnoksessa on Kuusamontien liittymiin suunniteltu alikuluja. Osa näistä alikuluista sijaitsee sulfidimaa-alueella, jonne on ehdotettu alinta kuivatustasoa. Alikulut tulisivat tämän tason alapuolelle. Lisäksi alikuluista joudutaan pumppaamaan kuivatusvesiä koko sen olemassa olon aikana. Näiden seikkojen myötä suositellaan, että alikulut muutetaan ylikuluiksi tai siirretään alueelle, jossa ei ole riskiä happamien vesien muodostukselle. Mikäli päädytään siirtämään alikulut toiseen paikkaan, tulee uuden sijainnin maaperän happamointitapa potentiaali selvittää ja määrittää tarvittaessa alin sallittu kuivatustaso.

9.1.6 Putkikaivannot

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

9.1.7 Paalutettavat kohteet yms. maanalaiset rakenteet

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

9.2 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. Mikäli lopullinen kuivatustaso tai työnaikainen kuivatustaso tulee esitetyn alimman kuivatustason alapuolelle happoa muodostavien maiden alueella, tulee varautua kuivatusvesien käsittelyyn ennen vesistöön johtamista.

9.2.1 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 9-1) on esitetty periaatekuva kaivon toteutettavasta kalkkikivi-suodattimesta. 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 laskeutusalttaan kautta ennen vesistöön purkua.

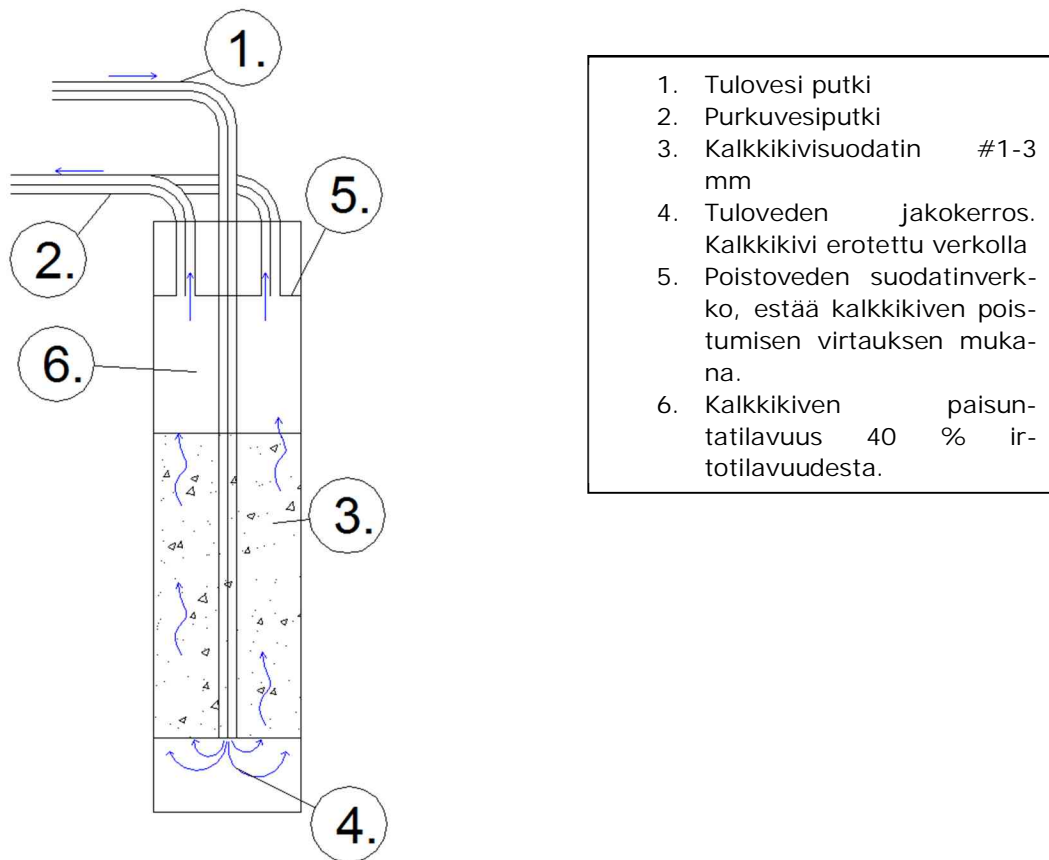
Suodattimen toiminnassa on huomioitava, että tulovirtaaman tulee olla riittävän suuri suodatinpinta-alan ja materiaalin suhteen, jotta suodatinmateriaali alkaa liikkua virtaavan veden mukana. Neutralointiprosessissa muodostuu kipsiä ja neutraloidusta vedestä voi saostua metalleja, jotka voivat peittää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

Esimerkiksi tulovirtaaman ollessa 5 l/s suodattimen mitat voisivat olla seuraavanlaiset:

Kaivon halkaisija 0,4 m
 Tuloputki D 50 mm
 Purkuputket 2* D 50 mm
 Suodatinmateriaali kalkkikivirouhe #1-3 mm
 Kalkkikivimateriaalin korkeus 1,2 m
 Paisuntatilavuus 0,5 m (40 % kalkkikiven korkeudesta)
 Alapuolinen jakotilan korkeus 20 cm

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.



Kuva 9-1. Kaivossa toteutettava happamien vesien neutralointi.

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

Kalkki kuuluu neutralointireaktiossa ja tämä tulee huomioida 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.

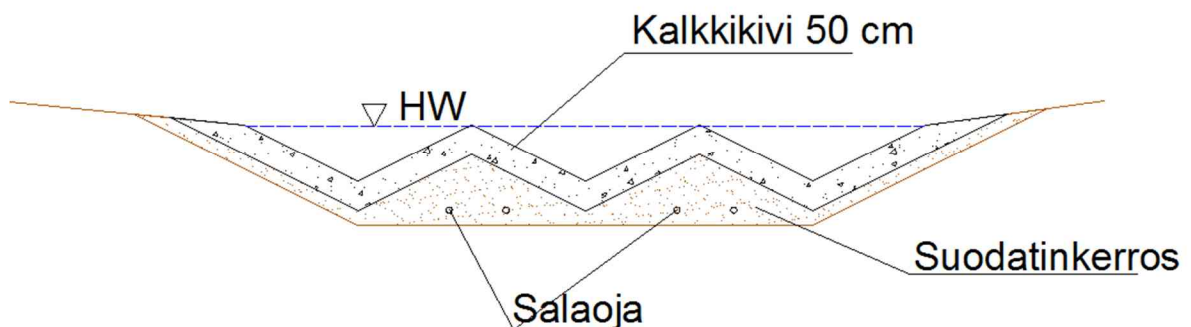
9.2.2 Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut

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 kalkkivirouheesta. Suotorakenteen periaatepiirros on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 9-2). Tällöin suotovedet ohjataan maanpäälliseen avoaltaaseen, josta vesi suotautuu kalkkivimurskeen läpi ja kerätään murskeen alla olevassa salaojakerroksessa putkistoon, josta vesi johdetaan laskuojaan tms. vesistöön. Myös tässä rakenteessa tulee huomioida, että rakenteeseen johdetaan vain happamoitumisriskin alueilta tulevia vesiä ja muut pintavaluntana syntyvät neutraalit vedet johdetaan suodatinkentän ohi. Tällöin päästään käsittelemään pienempiä vesimääriä ja suuremman väkevyyden omaavaa vettä, jolloin neutralointiprosessi toimii tehokkaammin.

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 valuntaja. 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 9-2. Periaatepiirros neutraloivan suodatinkentän rakenteesta.

10. YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Tutkitulla Hieta-ahon kaavarungon 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 kohteessa sulfidisavi ei ollut tunnistettavissa GTK:n tunnista sulfidisaviopas kairaajille op-
paassa esitellyllä tavalla, minkä vuoksi jatkossa tehtävien lisäkairausten yhteydessä yhteydessä on suositeltavaa ottaa vähintään yksi pohjavedenpinnan alapuolinen näyte, josta tutkitaan kokonaisrikkipitoisuus. Jos kokonaisrikkipitoisuus on suurempi kuin 0,2 massaprosenttia, massat sijoitetaan käsittelyyn, ja jos alle 0,2 massaprosenttia, ne voidaan läjittää normaalisti.

Tässä raportissa esitetty ohjeistus on otettava huomioon nyt tekeillä olevassa kaavoituksessa (kaavarunko) sekä tulevassa asemakaavoituksessa ja sen yhteydessä tehtävässä katusuunnittelussa, vh:n yleissuunnittelussa, hv-suunnittelussa sekä rakentamistapaohjeessa.

Oulussa 9.6.2015

RAMBOLL FINLAND OY



Jari Heiskari

Projektipäällikkö



Merja Autiola

Projektipäällikkö

11. LÄHTEET

Airix. 2014. Hieta-ahon kaavarunko ja ensimmäisen vaiheen asemakaava. viimeisin päivitys 24.3.2014.

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/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.

Ramboll. 2012. Hieta-ahon kaavarunko. Maaperäolosuhteet ja alueen rakennettavuus. 9.8.2012.

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

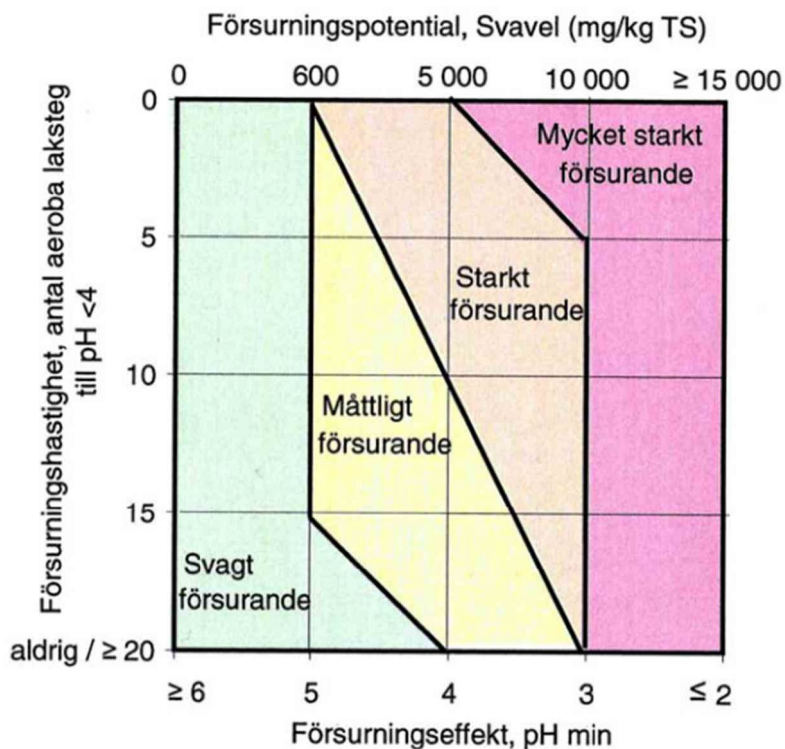
JAKELU

Mikko Ukkola, Oulun kaupunki, mikko.ukkola@ouka.fi
Tapio Siikaluoma, Oulun kaupunki, tapio.siikaluoma@ouka.fi
Merja Autiola, Ramboll Finland Oy, merja.autiola@ramboll.fi
Jari Heiskari, Ramboll Finland Oy, jari.heiskari@ramboll.fi

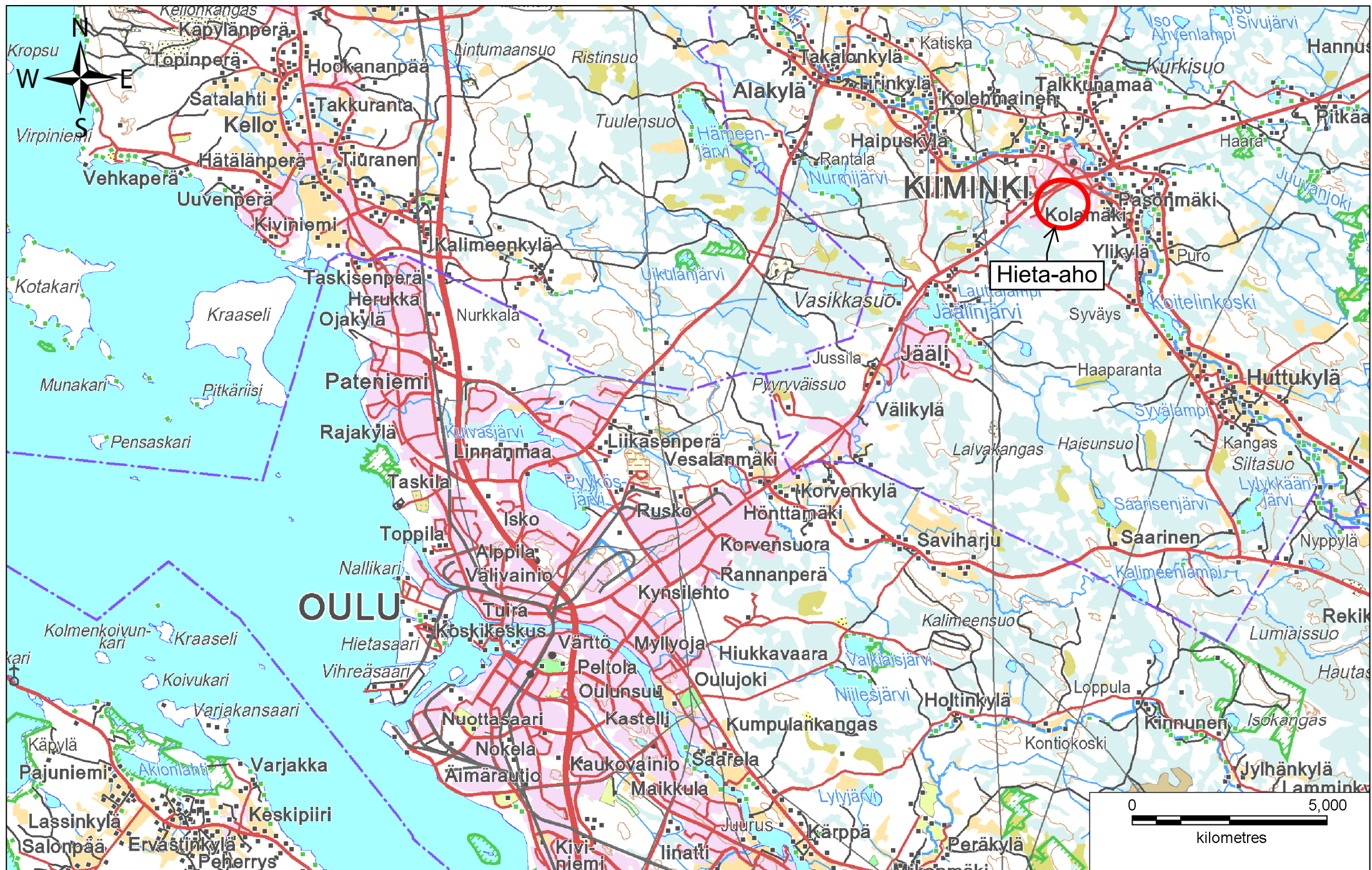
LIITE 1. Ruotsalaiset kriteerit sulfidimaiden happamoittavan vaikutuksen arvioimiseksi

S [mg/kg TS]	
> 10 000	mycket hög försurningspotential
5 000-10 000	hög försurningspotential
600-5 000	medelhög försurningspotential
< 600	låg försurningspotential
Fe/S	
< 3	mycket hög försurningseffekt
3-60	?
> 60	låg försurningseffekt
pH min	
< 3	mycket hög försurningseffekt
3-4	hög försurningseffekt
4-5	måttlig försurningseffekt
> 5	låg försurningseffekt
Antal aeroba laksteg till pH<4	
< 5	snabb försurningshastighet
5-10	
10-15	
> 15	långsam försurningshastighet

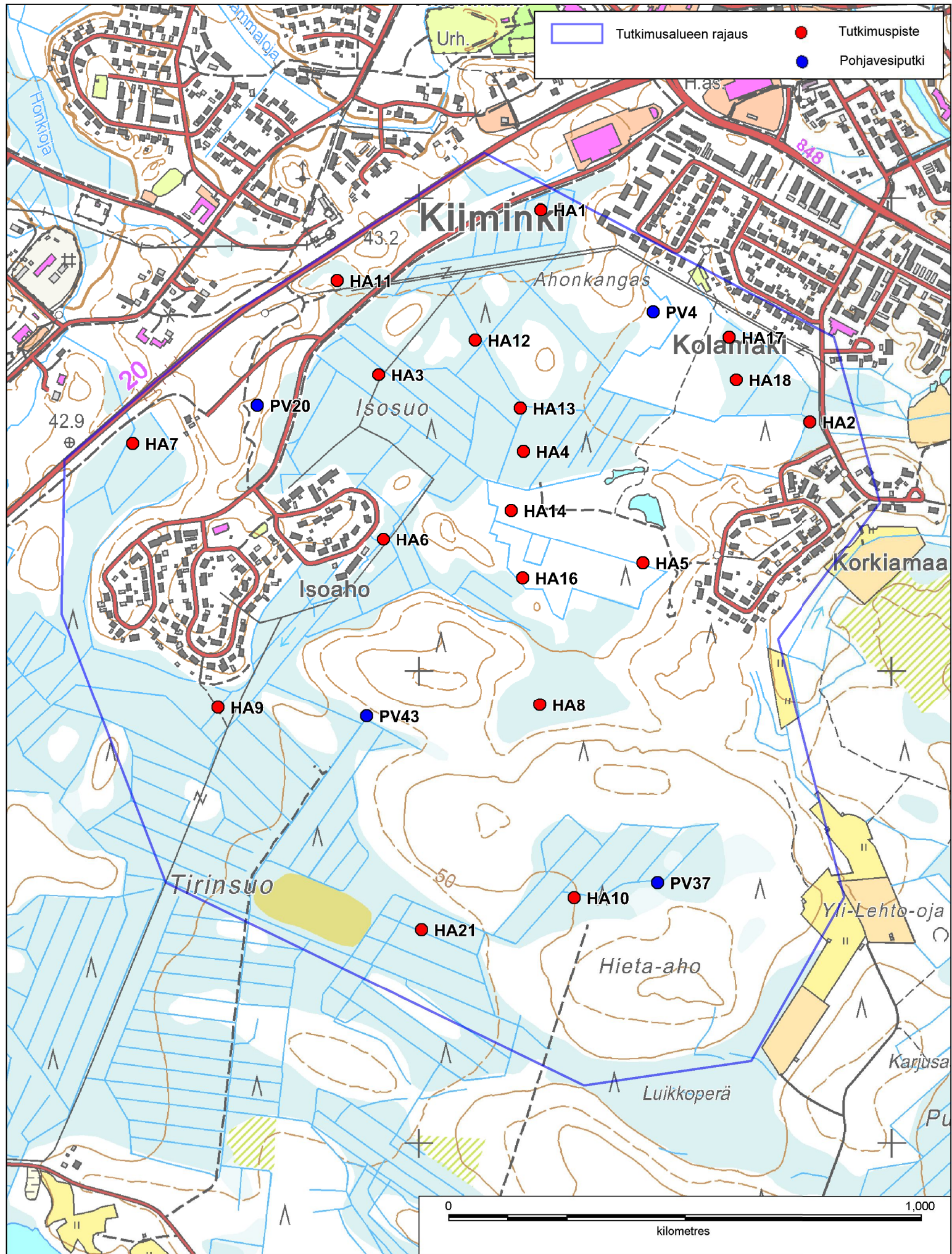
Glödgningsförlust	
0-3	
3-5	
5-8	tänkbar buffrande effekt
> 8	buffrande effekt
pH anaerobt laksteg	
< 6	provet oxiderat
6-7	
> 7	provet anaerobt
Redox anaerobt laksteg [mV]	
> 200	provet oxiderat
0-200	
< 0	provet anaerobt
Permeabilitet ostörd jord [m/s]	
$> 10^{-7}$ (Si)	snabb försurningshastighet
$10^{-8} - 10^{-7}$ (IeSi)	
$10^{-9} - 10^{-8}$ (siLe)	
$< 10^{-9}$ (Le)	långsam försurningshastighet
Volym jord (m ³)	
> 5 000	mycket stor
500-5 000	stor
50-500	måttlig
< 50	liten



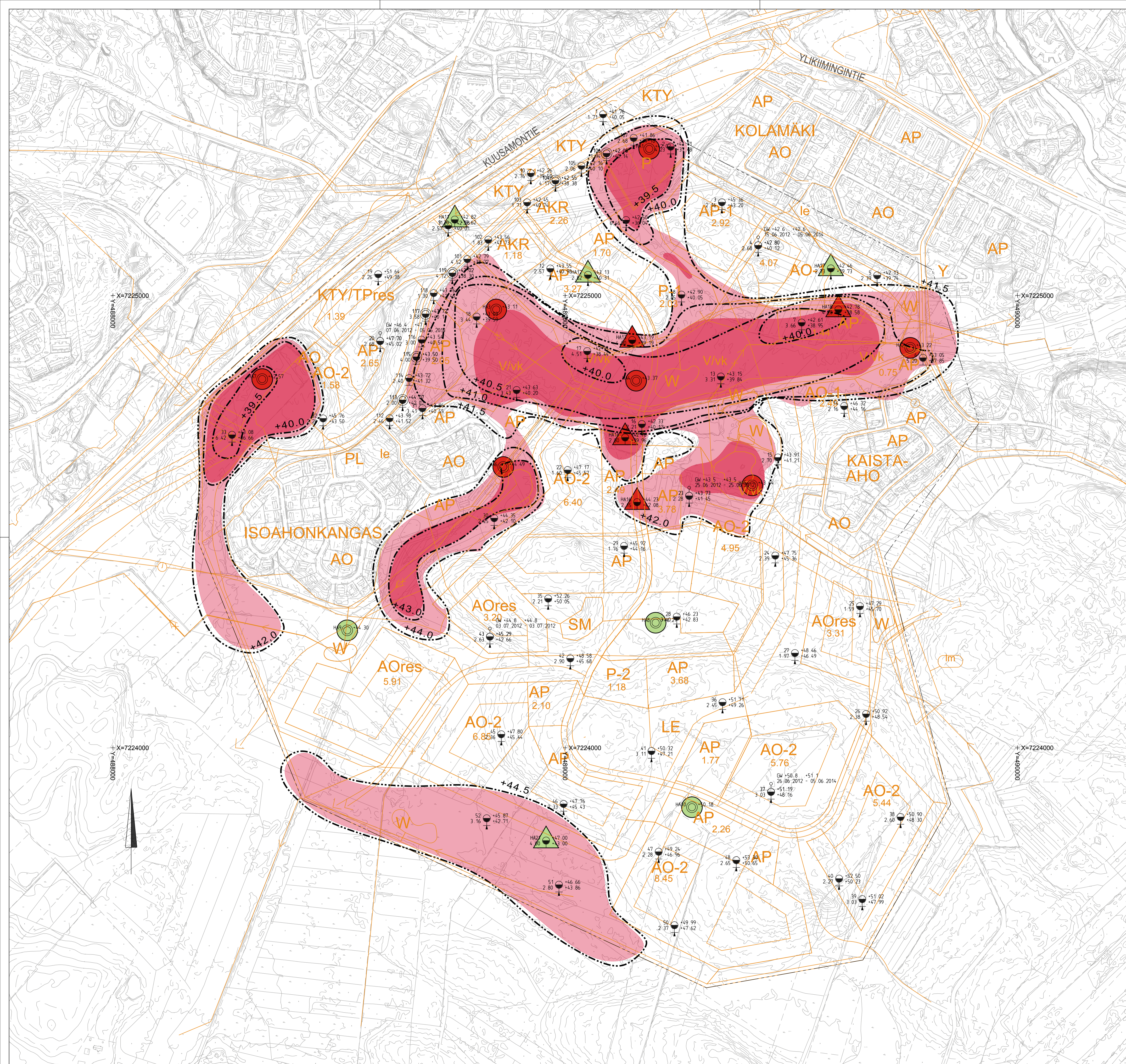
LIITE 2. Alueen sijainti



LIITE 3. Tutkimuspisteiden sijainti



LIITE 4. Sulfidialueiden rajaus



- Sulfidimaa-alue
- Sulfidimaa-alue, lievä
- +40.5
- Alin sallittu kuivatustaso
Tämän tason alapuolelle
sulfidimaa-alueilla ei pohjaveden
pintaa voi laskea
- Näytepiste, esiintyy happamia sulfaattimaita, vaihe 1 ja vaihe 2
- Näytepiste, ei esiinny happamia sulfaattimaita, vaihe 1 ja vaihe 2
- Painokairaus
- Häiriintynyt näyte
- Pohjavesiputki

LUONNOS 26.5.2015

Merkki	Muutos	Pvm	Suunn.	Tark.
Koordinaattijärjestelmä		ETRS-GK26, N2000		
Teema		Kaupunginosa		
Hanke	HIETA-AHON KAAVA-ALUEEN SULFIDIMAASELVITYS vaihe 2	HYVÄKSYNYT KAUP. INS.		\$
Kohde	Hieta-ahon kaava-alue	TEKNINEN LTK		\$
Asiasisältö	Suunnitelmapaketti, sulfidimaa-alue	Mittakaava		1:4000
RAMBOLL		Ramboll Kiviharjuntie 11 90220 Oulu puh. 020 755 611		OULU
Suunnittelija		Sari Suvanto		Hyväksyjä
Hyväksyjä		Jari Heiskari		Mikko Ukkola
Piir.nro	1510018087-001	Pvm	x.5.2015	Piir.nro
				xx-xx

LIITE 5. Rakennettavuuskartta

MAAPERÄOLOSUHTEET JA ALUEEN RAKENNETTAVUUS:

- MOREENI**
Pohjamaa on pääosin kantavaa hiekkamoreenia ja siltistä hiekkamoreenia. Moreeni on routivaa ja se kuuluu kelpoisuusluokkiin H3 ja H4. Paikoin pohjamaana esiintyy routimatonta soraa ja soraista hiekkää. Ohuen pintamaakerroksen alapuolella maaperä on tiiviissä tilassa eikä merkittäviä kokoonpuristuvia maakerroksia esiinny. Maaperä on paikoin hyvin kivistä.

- Moreenialueet soveltuvat hyvin rakentamiseen. Moreenialueilla rakennusten maanvarainen matalaperustus ja kunnallistekniikan rakentaminen on yleensä mahdollista ilman erityisiä pohjanvahvistustoimenpiteitä.

- SILTTI**
Pintamaakerroksena olevan turpeen paksuus on yleisesti alle 1.2 m. Pohjamaa on keskitiivissä... tiiviissä tilassa olevaa siltiä ja siltistä hiekkamoreenia. Maaperä on osin kivistä. Kairauspisteessä 28 on turvekerroksen alapuolella 0.6 m paksu löyhä moreenikerros ja sen alapuolella 1.0 m kerros löyhää siltiä.

- TURVE (paksuus alle 1.5 m)**
Pääosin tällä alueella on maanpinnassa turvetta, jonka kerrospaksuus on enimmillään 1.5 m. Turpeen alapuolella on maaperä on pääosin routivaa keskitiivissä...tiiviissä tilassa olevaa (siltistä) hiekkamoreenia. Paikoin turpeen alapuolella moreeni on löyhässä tilassa 0.5...1.0 m paksuudelta (Kairauspisteet 10, 30 ja HA17). Maaperä on osin kivistä.

- Siltialueet ja turvealueet, joissa turvepaksuus on alle 1.5 m soveltuvat kohtuullisen hyvin rakentamiseen. Löyhät hienojakoiset ja humusta sisältävät maakerrokset rakennusten perustusten alla on korvattava hyvin tiivistettävällä kittamaatäytöllä (massanvaihto). Katujen ja kunnallistekniikan rakentamisessa on varauduttava massanvaihtoon tasauksesta ja putkien korkeusasemasta riippuen. Myös tonttien piha-alueilla on varauduttava pohjanvahvistustoimenpiteisiin painumien estämiseksi.

- TURVE (paksuus 1.5...3.0 m)**
Maanpinnassa olevan turpeen paksuus on noin 1.5...3.0 m. Turpeen alapuolella on maaperä on routivaa keskitiivissä...tiiviissä tilassa olevaa siltiä ja moreenia. Turpeen alapuolella on kairauspisteiden 2, 6, 31, 34, 101, 104, 119 ja HA18 kohdalla havaittu korkeamman välikerroksen lisäksi löyhä siltikerros, joka ulottuu noin 3.0...4.4 m syyvyyteen maanpinnasta. Maaperä on löyhien kerrosten alapuolella kivistä.

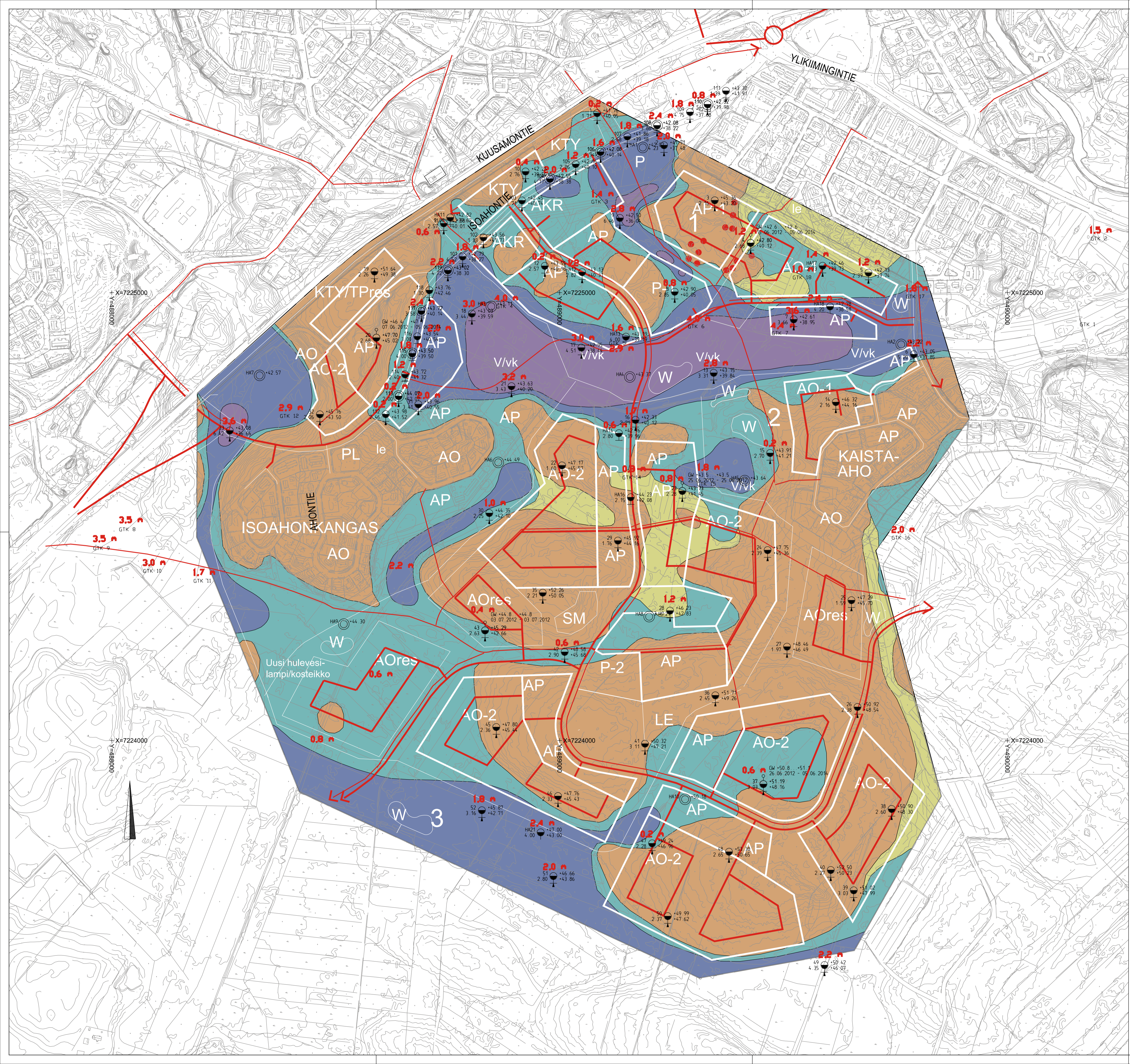
- TURVE (paksuus yli 3.0 m)**
Maanpinnassa olevan turpeen paksuus on yli 3.0 m. Turpeen alapuolella on maaperä on routivaa siltiä ja siltistä hiekkää. Pisteiden 9, 17 ja 33 kohdalla löyhän siltikerroksen paksuus ulottuu 4.4...6.0 m syyvyyteen maanpinnasta. Tämän kerroksen alapuolella maaperä on todennäköisesti (osin kivistä) moreenia.

Paksimmat turvealueet soveltuvat heikosti rakentamiseen. Nämä alueet soveltuvat ensisijaisesti ammattirakentajien käyttöön, mutta huolellisella rakentamisella myös yksityisten rakentajien käyttöön. Näillä alueilla rakennukset on perustettava esirakennus- ja pohjanvahvistustoimenpiteiden avulla, jolloin kysymykseen tulevat perustuksilta pohjamaalle aiheutuvista kuormista riippuen massanvaihto ja paalutus. Massanvaihtoon suurin suositeltava syyvyys on 4 m. Myös tonttien piha-alueilla on varauduttava pohjanvahvistustoimenpiteisiin painumien estämiseksi. Katujen ja kunnallistekniikan rakentamisessa on varauduttava kaivantojen mahdolliseen tukemistarpeeseen ja pohjanvahvistustoimenpiteisiin, joita voivat olla esim. massanvaihto ja turpeen massastabiointi. Alueilla, joissa turvekerroksen alapuolella on lisäksi paksimmat löyhät kerrokset on varauduttava mittavampiin pohjanvahvistustoimenpiteisiin.

- 1.2 m Turvekerroksen paksuus tutkimuspisteiden kohdalla
- Pieni kalliopaljastuma (GTK:n aineiston perusteella)
- Painokairaus
- Häiriintynyt näyte
- Pohjavesiputki
- GTK 16 GTK:n tutkimuspiste

Kairauspisteet HA1...HA21 lisätty, joiden perusteella maalajaluiden rajoja muokattu

B	Kairauksia lisätty, maalajaluiden rajoja muokattu	2.4.2015	HRK		
A	Muutettu koordinaatio	3.11.2014	MiSi		
Merkki	Muutos	Pvm	Suunn.	Tark.	
Koordinaattijärjestelmä ETRS-GK26, N2000					
Teema	Kaupunginosa				
Hanke	HIETA-AHON KAAVARUNKO			HYVÄKSYNYT KAUP. INS.	
Kohde	HIETA-AHO, KIIMINKI			TEKNINEN LTK	
Asiaseläite	Rakennettavuuskartta			Mittakaava 1:4000	
RAMBOLL		Ramboll Kiviharjuntie 11 90220 Oulu puh. 020 755 7070 fax 020 755 7071		OULU	
Suunnittelija	Mikko Sivonen	Hyväksyjä			
Hyväksyjä	Markku Salo	Piir.nro	9158-G1		
Pvm	9.8.2012				



LIITE 6. Kenttähavainnot

1510018087 Hieta-ahon sulfidimaaselvitys osa II, 23-25.2.2015

Näytepiste	Syvyys	Maalajiarvio	Kosteus	Väri	Huomioita
HA11	0-1,0 1,0-1,5 1,5-2,0 2,0-2,6 2,6-3,0 3,0-3,5 3,5-4,0	Turve Mr Mr Mr Mr Mr Mr	 2 2 2 2 2 1		Kiviä
HA12	0,0-0,5 0,5-1,0 1,0-1,5 1,5-2,0 2,0-2,5 2,5-3,0 3,0-3,65	Turve Turve Mr Mr Mr Mr Mr	 3 2 2 1 1		Painokaira 0-2m
HA13	0,0-1,85 1,85-2,5 2,5-3,0 3,0-3,5 3,5-4,2	Turve Turve->Mr Mr Mr Mr	 3 3 3 2		
HA14	0,0-0,9 0,9-1,5 1,5-2,0 2,0-2,5 2,5-3,0 3,0-3,5 3,5-4,0	Turve HkMr HkMr HkMr HkMr HkMr HkMr	 3 3 3 3 3 3	Harmaa Harmaa Harmaa Harmaa Harmaa Harmaa	Pistettä siirretty, alkup. Kallio ~1,7m
HA16	0,0-0,1 0,1-1,2 1,2-1,5 1,5-2,0 2,0-2,5 2,5-2,7	Humus Mr Mr Mr Mr Mr	 1 3 3 3 3	Tumma Harmaa Harmaa Harmaa Harmaa Harmaa	Ei päässyt syvemmälle, kiviä
HA17	0,0-1,6 1,6-2,1 2,1-2,5 2,5-3,0 3,0-3,5 3,5-4,0	Turve LjSi Mr Mr Mr Mr	 3 2 2 2 2		Näyte todella vetinen
HA18	0-2,7 2,7-3,4 3,4-4,2	Turve Si Si	 2 2		
HA21	0-2,6 2,6-3,0 3,0-3,5 3,5-4,0	Turve Mr Mr Mr	 2 1 1	Harmaa Harmaa Harmaa	

LIITE 7. Tulostaulukko

LIITE 8. Analyysitodistus

Tutkimustodistus

Projekti: 1510018087/1

Ramboll Finland Oy / Luopioinen

Vohlisaarentie 2 B
36760 LUOPIOINEN

Tutkimuksen nimi:	Hieta-ahon kaava-alueen sulfidimaaselvitys, osa II	Näytteenottopvm:	9.3.2015
		Näyte saapui:	16.3.2015
Näytteenottaja:	Niemelin Tarja	Analysointi aloitettu:	16.3.2015

Maanäytteet

						Yksikkö	Menetelmä
Näytteenottpisteet	HA1- 2/1,5-- 2,0 m	HA1- 3/2,5-- 3,0 m	HA1- 4/0,9-- 1,5 m	HA1- 6/2,0-- 2,5 m	HA2- 1/2,6-- 3,0 m		
Näyttenumero	15MM 00584	15MM 00585	15MM 00586	15MM 00587	15MM 00588		
MÄÄRITYKSET							
Kuiva-aine	100	100	99	100	100	m-%	RA4016*
Rikki (S), vedetön	0,031	0,12	0,16	0,34	0,030	m-%	RA1039

* FINAS -akkreditoitu menetelmä. Mittausepävarmuus ilmoitetaan tarvittaessa. Akkreditointi ei koske lausuntoa.

Ramboll Analytics



Ilpo Lahdelma
FL, kemisti, +358 40 074 5295

Tämä tutkimustodistus on allekirjoitettu sähköisesti.

Lisätiedot Tulos prosentteina kuiva-aineesta?

Jakelu merja.autiola@ramboll.fi; tarja.niemelin@ramboll.fi; noora.lindroos@ramboll.fi;
jari.heiskari@ramboll.fi

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

LIITE 9. Neutraloitumistutkimuksen tulokset

Näyte HA14/0,9-1,5 m + HA16 1,5-2,0 m (50/50 p-%)
 Sideaine ja määrä ei sideainetta
 Kokonaisrikkipitoisuus ka 0,18 % HA pH 2a
 Vähähappiset olosuhteet, jääkaappilpt

Pvm	Ikä vrk	pH	T/°C	Redox /mV
16.3.2015	0	5,9	22	141
30.3.2015	14	5,3	21	183
13.4.2015	28	4,8	20	224
27.4.2015	42	4,6	20	305
11.5.2015	56	4,3	22	299
18.5.2015	63	4,3	22	325

Näyte HA14/0,9-1,5 m + HA16 1,5-2,0 m (50/50 p-%)
 Sideaine ja määrä CaO 30 kg/m3
 Kokonaisrikkipitoisuus ka 0,18 % HA pH 2b
 Vähähappiset olosuhteet, jääkaappilpt

Pvm	Ikä vrk	pH	T/°C	Redox /mV
16.3.2015	0	12,5	22	74
30.3.2015	14	12,7	21	-43
13.4.2015	28	12,7	20	-25
27.4.2015	42	12,6	20	6
11.5.2015	56	12,5	22	11
18.5.2015	63	12,4	22	46

Näyte HA14/0,9-1,5 m + HA16 1,5-2,0 m (50/50 p-%)
 Sideaine ja määrä OE 150 kg/m3
 Kokonaisrikkipitoisuus ka 0,18 % HA pH 2c
 Vähähappiset olosuhteet, jääkaappilpt

Pvm	Ikä vrk	pH	T/°C	Redox /mV
16.3.2015	0	8,6	22	104
30.3.2015	14	8,3	21	59
13.4.2015	28	8,2	20	80
27.4.2015	42	8,1	20	83
11.5.2015	56	8,0	22	82
18.5.2015	63	8,0	22	118

LIITE 10. Valokuvia alueelta



Kuva 1. Pisteen HA13 sijainti (25.2.2015)



Kuva 2. Pisteen HA21 sijainti (23.5.2015)



Kuva 3. Tutkimuspisteen HA12 kairaus (25.2.2015)



Kuva 4. Tutkimuspisteen HA14 kairaus (23.2.2015)