

Vastaanottaja

Taina Koivisto
Porin kaupunki
taina.koivisto@pori.fi

Päivämäärä

9.2.2021

LOTSKERINMÄEN ASEMAKAAVAMUUTOSALUE

SULFIDISELVITYS

LOTSKERINMÄEN ASEMAKAAVAMUUTOSALUE SULFIDISELVITYS

Asiakirjatyyppi **Loppuraportti**
Laatija **Sanna Vienonen, Ramboll Finland Oy**
Tarkastaja **Sari Suvanto, Ramboll Finland Oy**

Ramboll
Kiviharjunlenkki 1 A
90220 OULU

P +358 20 755 611
<https://fi.ramboll.com>

SISÄLTÖ

1.	Johdanto	3
2.	Happamat sulfaattimaat	4
2.1	Tausta	4
2.2	Luokittelu	5
2.3	VAIKUTUKSET	5
2.4	tunnistaminen	6
2.4.1	Kenttähavainnot	6
2.4.2	Laboratoriotutkimukset	7
3.	Näytteenotto ja kenttähavainnot	8
4.	Tulokset	9
4.1	Alku-pH, NAG-pH ja inkuboitu pH	11
4.2	Kokonaisrikkipitoisuus ja nettohapontuotto	11
4.3	Puskurikapasiteetti	11
5.	Tulosten yhteenveto ja tunnistetut potentiaaliset happamat sulfidimaat	12
6.	Toimenpidesuositukset jatkosuunnitteluun	12
6.1.1	Pohjaveden pinnan alin taso ja alin sallittu kuivatustaso	12
6.1.2	Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely	13
6.1.3	Putkikaivannot	14
6.1.4	Maanalaiset rakenteet ja paalutus	14
7.	Happaman valunnan hallinta	14
7.1	Työnaikaisen kaivannon kuivatus ja väliaikaiset käsittelyratkaisut	15
7.2	Pysyvät kuivatusvesien käsittelyratkaisut	15
8.	Yhteenveto ja jatkotoimenpiteet	17
9.	Lyhenteet	17
10.	Kirjallisuusviitteet	18
	Liitteet	19

LIITTEET

Liite 1

Tutkimusohjelma

Liite 2

Laboratoriotutkimustulosten yhteenveto

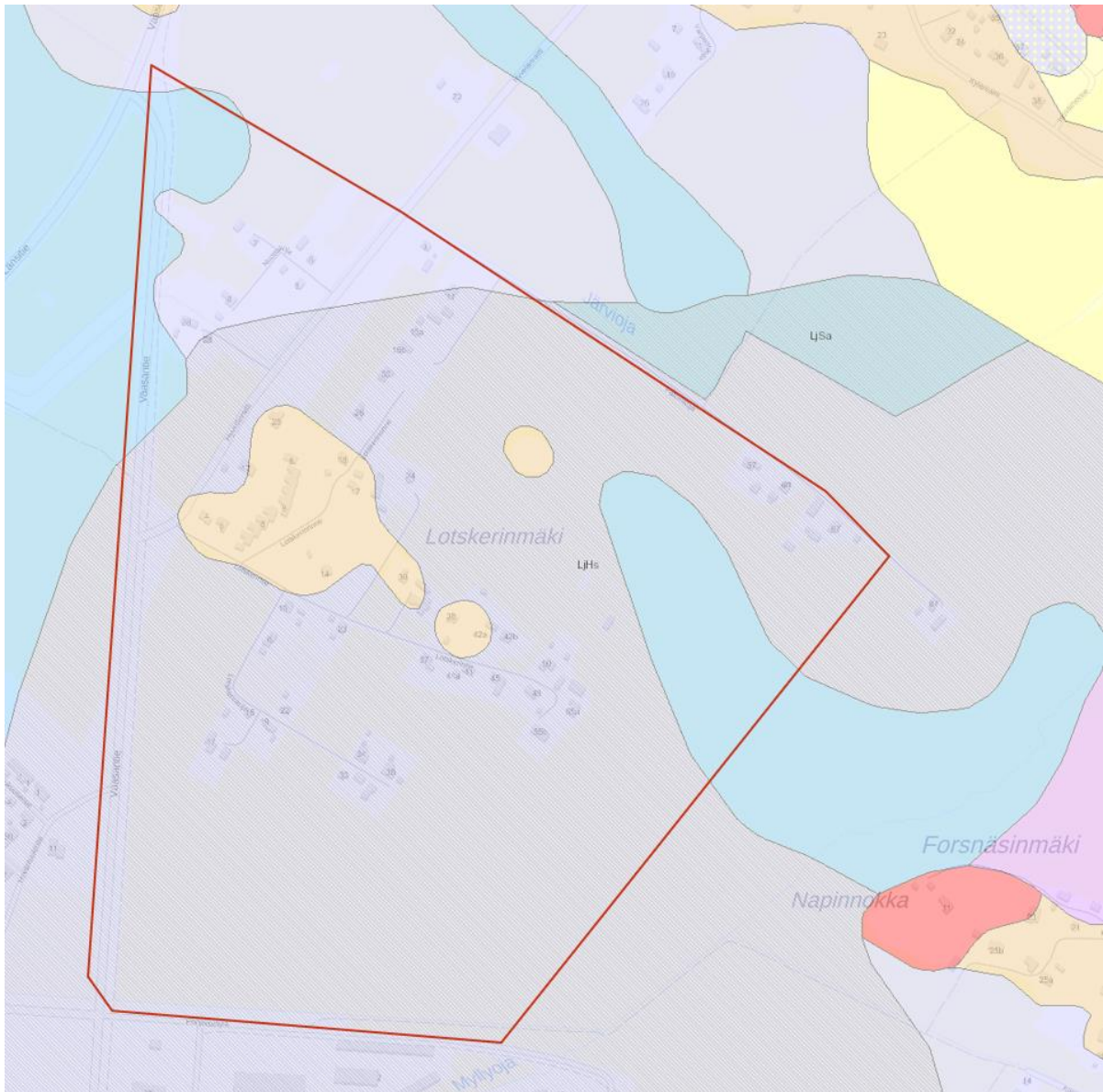
1. JOHDANTO

Porin kaupungissa Lotskerinmäen kaupunginosassa on käynnissä asemakaavamuutos, minkä johdosta alueelle (Kuva 1-1) tehtiin sulfidimaatutkimuksia. Tulokset esitetään tässä raportissa.



Kuva 1-1. Selvitysalueen sijainti Lotskerinmäellä.

Selvitysalue on nykyään valtaosin peltoa, mutta alueella on myös rakennettuja pientalotontteja. Alueelle on tulossa pääasiassa AO/AP-tontteja ja katuja sekä viheralueita. Alueen maaperä on GTK:n kartta-aineiston mukaan pääosin liejuhiesua; paikoin savea, hiesua tai hiekkamoreenia (Kuva 1-2). Tutkimuspisteet keskitettiin tämän GTK:n aineiston ja kaupungin maanomistusaineiston mukaan liejuhiesun alueelle (Liite 1).



Kuva 1-2. Maaperä selvitysalueella GTK:n maaperäkartan perusteella pääosin liejuhiesua. Savealuoteis- ja koilliskulmissa. Hiekkamoreenia alueen keskellä pieninä esiintyminä. Hiesua alueen luoteisosassa (selvitysalueen raja suuntaa-antava).

2. HAPPAMAT SULFAATTIMAAT

2.1 TAUSTA

Happamilla sulfaattimailla tarkoitetaan maaperässä luontaisesti esiintyviä rikkipitoisia sedimenttejä, joista vapautuu hapettumisen seurauksena haitallisia määriä happamuutta maaperään ja vesistöihin. Happamoitumisen seurauksena liukenee maaperästä myös haitallisia metalleja (esim. Al, Cd, Co, Cu, Ni, Zn, U), jotka kulkeutuvat edelleen vesistöihin. Happamista sulfaattimaista on Suomessa arvioitu huuhtoutuvan vesistöihin jopa enemmän haitallisia metalleja, kuten mangaania, sinkkiä, alumiinia, kuin yhteensä kaikista Suomen teollisuuden jätevesistä.

Sulfidisedimentit ovat tyypillisesti liejuista silttiä tai savea ja esiintyvät rannikkoseudun alavilla mailla. Ne ovat usein väriltään mustia tai tumman harmaita. Paikoin rikkiä saattaa esiintyä kuitenkin haitallisia määriä myös karkeammissa maalajeissa kuten hiekassa ja hiekkaisessa siltissä. Näille maalajeille on tyypillistä heikko puskurikyky happamoitumista vastaan, jolloin jo pienikin määrä hapettuvaa sulfidia voi alentaa maaperän pH:ta voimakkaasti.

Suomessa sulfidisedimentit ovat kerrostuneet pääasiassa viime jääkauden jälkeisten meri- ja järvivaiheiden aikana ja esiintymien arvioidaan olevan Euroopan laajimmat. Ongelmallisimpia ovat Litorina-merivaiheessa ja sen jälkeen kerrostuneet sedimentit, koska tällöin ympäristöolot ovat olleet suotuisimmat rikkipitoisten kerrostumien muodostumiselle. Litorina-meri on ulottunut noin 9800 vuotta sitten ylimmillään Perämeren seudulla yli 100 metrin, Pohjanmaalla hieman alle 100 metrin ja Etelä-Suomessa noin 50 metrin korkeudelle nykyisen merenpinnan yläpuolelle.

2.2 LUOKITTELU

Happamalla sulfaattimaalla tarkoitetaan sulfidirikkipitoista maaperää, jossa on sekä hapettunut hapan maakerros, että hapettumaton sulfidirikkipitoinen maakerros, tai vain toinen näistä. Happamat sulfaattimaat ovat yleisesti liejuisia ja hienorakeisia maalajeja (savi ja siltti), mutta myös karkearakeiset maalajit (silttinen hiekka ja hiekka), joissa kokonaisrikkipitoisuus on alhainen (< 0,2 %, jopa 0,01%) voivat hapettuessaan tuottaa happamuutta huonon puskurikapasiteetin takia (Nieminen, et al., 2016).

Happamat sulfaattimaat voidaan luokitella kahteen ryhmään: 1. Todelliset happamat sulfaattimaat (THS) ja 2. Potentiaaliset happamat sulfidimaat (PHS).

- Todellinen hapan sulfaattimaa (THS) on hapettunut ympäristö, jonka pH on laskenut hapettumisen myötä alle 4,0.
- Potentiaalinen hapan sulfidimaa (PHS) on anaerobisessa tilassa oleva, happamuudeltaan neutraali, rikkipitoinen ympäristö, joka hapettuessaan tuottaa rikkihappoa muuttuen todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi. Potentiaalisella happamalla sulfidimaalla tarkoitetaan sulfidirikkipitoista maaperää, jolla on potentiaalia muuttua todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi, mikäli maaperä pääsee hapettumaan.

2.3 VAIKUTUKSET

Kuivana ajanjaksona happamoitumisen seurauksena lienneet happosulfaatit ja metallit pidättäytyvät maaperään. Sateiden tai sulamisvesien mukana sulfaattimaiden vedet huuhtoutuvat vesistöihin ja valumien pH voi olla alle 3. Happamissa vesissä sekä eliöstön että kasvillisuuden monimuotoisuus vähenee voimakkaasti, koska harvat lajit pystyvät elämään ja lisääntymään happamoituneissa vesissä. Herkimmät kalat voivat kuolla jo, kun vesistön pH laskee tason 5,5 alle. Happaman veden liuottama alumiini saostuu vesistöissä kalan kiduksissa aiheuttaen kalojen tukehtumista.

Hapan ympäristö myös lisää merkittävästi korroosionopeutta useilla metalleilla – myös teräksillä, mikä vaikuttaa rakentamissuunnitelmiin ja käytettäviin materiaaleihin.

Todellisilla happamilla sulfaattimailla maanalaisten rakenteiden korroosio aiheutuu suurelta osin matalan pH:n ja paikallisten happikonsentraatioerojen seurauksena. Korroosionopeutta lisää sähköjohtavuus, jonka edellytyksiä ovat riittävä vesipitoisuus ja liukoisten ionien määrä.

Korroosioympäristönä *potentiaalisesti hapan sulfaattimaa* on ongelmallinen metalleilla, etenkin teräkselle, sulfaatinpelkistäjäbakteerien mahdollisen vaikutuksen vuoksi. SRB mikrobit käyttävät hengittämiseen hapen sijaan sulfaattia tuottaen muun muassa sulfideja ja rikkivetyä (H₂S), vettä ja hiilidioksidia. Raudan ja orgaanisen aineksen läsnäolo (myös ihmisen rakentamat teräsrakenteet) lisäävät SRB mikrobien aktiivisuutta.

Kahden erilaisen korroosioympäristön rajavyöhyke on yleisesti ottaen voimakkaammin syövyttävä kuin kumpikaan korroosioympäristö yksin. Veden pinnan muutokset rajavyöhykkeellä voivat aiheuttaa aikaisempaa syövyttävämmät olosuhteet mm. hapontuoton sekä elektrolyysiveden läsnäolon seurauksesta.

2.4 TUNNISTAMINEN

Tässä luvussa on kuvattu tässä selvityksessä käytettyjä tunnistusmenetelmiä. Myös muita menetelmiä on kehitetty, mutta ne ovat vähemmän käytettyjä, eikä niitä ole tässä tarkemmin kuvattu.

2.4.1 Kenttähavainnot

pH-mittaus

Maaperän pH mittaus on yksi tärkeimmistä happamien sulfaattimaiden tunnistusmenetelmistä. Eri syvyydeltä tehdyn pH mittauksen avulla voidaan maaperästä määrittää syvyysuuntainen profiili, jonka perusteella voidaan arvioida pintamaan hapettumista. Happamien sulfaattimaiden tapauksessa hapettuneen pintamaan pH laskee yleensä alle 4, jolloin kyseessä on todellinen hapan sulfaattimaa (THS).

Pohjavedenpinnan taso

Pohjaveden pinnan korkeus (tai sen painetaso) sekä kuivatustaso ovat hyödyllisiä tietoja happamien sulfaattimaiden kartoituksessa ja sitä voidaan käyttää apuna yhdessä silmämääräisen tarkastelun kanssa. Pohjaveden pinnan alapuolella huokostilavuuden ollessa veden täyttämä vallitsee hapettomat olosuhteet, jotka estävät sulfidimineraalien hapettumisen.

Silmämääräinen maalajin arviointi

Happamien sulfaattimaiden ja erityisesti sulfidisavien tunnistamiseen on useasti käytetty kentällä tehtävää silmämääräistä arviointia maalajin ja maaperän värin avulla. Sulfidisavet ovat usein mustia, mikä helpottaa niiden visuaalista tunnistamista. Visuaalinen tarkastelu on hyvä apukeino happamien sulfaattimaiden tunnistamisessa, mutta sitä ei tule käyttää ainoana tutkimusmenetelmänä.

2.4.2 Laboratoriotutkimukset

Kokonaisriikki

Maaperän kokonaisrikkipitoisuutta on käytetty sulfidipitoisten maiden tunnistamiseen ja mahdollisen hapontuoton arviointiin laajalti. Kokonaisrikkipitoisuus antaa hyvän kuvan maaperän happamoitumispotentiaalista. Suomessa yli 0,2 m-% kokonaisrikkipitoisuutta on pidetty rajana happamille sulfaattimaille, mutta karkeampien maalajien yhteydessä jo pienemmät rikkipitoisuudet voivat laskea pH:n hyvinkin matalaksi maaperän heikon puskurikyvyn vuoksi. Kokonaisriikki määritetään yleensä polttomenetelmällä esim. LECO-uunissa tai kuningasvesiuutto-liuoksesta ICP:llä (esim. SFS-EN ISO 11885).

Inkuboitu pH

pH-inkubaation perusteella voidaan tunnistaa sulfaattimaa ja arvioida sekä ennustaa maaperässä tapahtuvaa happamoitumista. Inkubaatio vastaa kutakuinkin maaperässä luonnossa hapettumisen aikana tapahtuvaa pH-muutosta, ottaen huomioon maaperän luonnollisen puskurikapasiteetin. Inkubaation perusteella ei kuitenkaan voida arvioida suoraan maaperästä lähtevän happamuuskuormituksen määrää.

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

- I. Kunnes pH on < 4 ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä maastossa mitattuun pH-arvoon verrattaessa ja/tai
- II. kunnes pH (< 4) stabiloituu vähintään yhdeksän viikon ja korkeintaan 19 viikon jälkeen

Mikäli näytteen pH on yhdeksän viikon inkubaation jälkeen yli 6,5, voidaan todeta, että näytteessä ei esiinny merkittävästi sulfideja ja inkubaatio voidaan lopettaa. Mikäli näytteen pH on 9 viikon inkubaation jälkeen välillä 4,0 - 6,5, jatketaan inkubaatiota vielä 10 viikkoa. Mikäli tämän jälkeen näytteen pH on < 4, voidaan näytteessä todeta esiintyvän sulfideja ja maaperä luokitella sulfaattimaaksi.

NAG-pH ja nettohapontuotto

NAG-pH:n mittausta tehdään vetyperoksidilla hapetetusta maaperänäytteestä. Vetyperoksidin avulla maaperän hapettumista voidaan nopeuttaa verrattuna luonnolliseen hapettumiseen (vrt. inkubointi). Vetyperoksidihapetus voidaan tehdä joko kertalisäyksenä tai useampana eri lisäyksenä, joiden välissä näytettä keitetään 2 tuntia. Hapetuksen jälkeen jäähdetytystä näytteestä mitataan hapetetun näytteen pH (NAG-pH). Suomessa happaman sulfaattimaan rajana on yleisesti käytetty pH-tasoa 4,5. Jos näytteen pH on laskenut alle raja-arvon, on näyte happoa tuottavaa. NAG-pH:n avulla voidaan arvioida maaperän happamoitumisesta aiheutuvaa riskiä.

NAG-pH määrittelyn etuna on luonnollista hapettumista nopeampi hapettumisreaktio, joka on eduksi kaikissa rakennusprojekteissa, joissa aikataulut ovat yleensä tiukat eikä esimerkiksi 9-19 viikon inkubointiin ole aikaa. Vetyperoksidihapetus on yleensä luonnonolosuhteita voimakkaampi

reaktio, jonka vuoksi NAG-pH arvo yleensä kuvaa ääritapausta, jossa lähes kaikki maaperässä oleva rikki pääsee hapettumaan. Luonnonolosuhteissa hapettuminen ei välttämättä ole näin täydellistä ja hapettuneen maaperän pH voi jäädä korkeammaksi kuin NAG-pH. Tämän vuoksi NAG-pH määrittystä ei suositella käytettäväksi ainoana menetelmänä sulfaattimaiden aiheuttaman happamoitumisriskin arvioinnissa.

Nettophapon tuotto määritetään hapetetusta näytteestä titraamalla pH arvoon 4,5 ja laskemalla titrauskulutuksesta hapontuotto. Nettophapon tuoton avulla voidaan arvioida maaperän happamoitumisesta aiheutuvaa riskiä. Seuraavassa taulukossa (Taulukko 2-1) on esitetty nettophapon tuoton avulla tehtävä hapontuottopotentiaalin arviointi.

Taulukko 2-1. NAG-pH:n ja nettophapon tuoton avulla tehtävä hapontuottopotentiaalin arviointi.

NAG-pH	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	Näytteen hapontuottopotentiaali
4,5	0	Ei happoa tuottava
alle 4,5	0 – 5	Potentiaalisesti happoa tuottavaa, alhainen kapasiteetti
alle 4,5	yli 5	Potentiaalisesti happoa tuottavaa

Maalajimääritys

Pelkän maalajin perusteella ei voida arvioida, onko maaperä hapanta sulfaattimaata vai ei. Maalajimääritys antaa kuitenkin happamien sulfaattimaiden osalta tärkeää tietoa maaperän puskurikapasiteetista ja hapettumisnopeudesta. Karkeampirakeisilla maalajeilla vedenläpäisevyys on suurta, jolloin huuhtoutuva vesi pääsee leviämään maaperässä nopeasti ja pH voi laskea jo pienillä rikkipitoisuuksilla alhaisiksi olemattoman puskurikapasiteetin vuoksi. Riskinarviointia varten maaperän vedenläpäisevyyttä voidaan arvioida maaperän rakeisuuden perusteella. Maaperän tarkempi vedenläpäisevyys voidaan tarvittaessa todentaa erillisellä laboratoriokokeella.

Vesipitoisuus ja hehkutushäviö

Hehkutushäviön avulla saadaan määritettyä näytteen sisältämän palavan aineksen osuus. Happamien sulfaattimaiden osalta hehkutushäviön avulla voidaan arvioida maaperän puskurikapasiteettia, koska humuksella on tunnetusti pH:ta puskuroivia ominaisuuksia. Rikkipitoiselle happamalle sulfaattimaalle on havaittu olevan ominaista myös korkea vesipitoisuus. Vesipitoisuus ei yksinään kerro maaperän rikkipitoisuudesta, koska myös humuspitoisuus ja rakeisuus vaikuttavat siihen suuresti, mutta se voi olla yksi indikaattori korkealle rikkipitoisuudelle.

3. NÄYTTEENOTTO JA KENTTÄHAVAINNOT

Näytteenotto suoritettiin 9.11.2020 neljästä pisteestä (Liite 1). Kenttähavaintojen perusteella maaperä on savea; pinnalla multaa. Pisteissä P1, P3 ja P4 havaittiin syvemmissä näytteenottokerroksissa mustaa väriä (Kuva 3-1) sekä pisteissä P3 ja P4 hajua näytesyvyyksillä 3-

3,5 (P3) ja 2,5-3,5 (P4), mikä antoi viitteitä happamista sulfaattimaista. Lisäksi pisteessä P4 havaittiin oransseja ruostejuovia pintamaakerroksissa 0-1 m syvyydellä.



Kuva 3-1. Kuvia näytteenotosta P3 (2,5...3,0 m) ja P4 (3,5...4,0 m).

4. TULOKSET

Tässä luvussa on esitetty analyysien tulokset. Yhteenveto tuloksista on esitetty taulukossa 4-1. Kosteusmäärityksen tuloksia ei ole alla taulukoitu, mutta niiden sekä kenttähavaintojen perusteella pohjavesi alueella alkaa noin 1 metrissä.

Taulukko 4-1. Yhteenveto tutkimustuloksista. Ne näytepisteiden syvyytiedot on lihavoitu, joista voidaan todeta alkavan potentiaalisia happoa tuottavia maakerroksia eli tätä syvemmälle ei kyseisellä alueella tulisi kaivaa ilman happaman valunnan vaaraa.

Piste	Syvyys (m)	Maalaji kenttä-havaintojen perusteella	Värihavainnot kentällä	Värihavainnot laboratoriossa	Alku-pH	S _{tot} (m-%)	NAG-pH	NAG (kg H ₂ SO ₄ /t)	pH-inkubaatio (10 vko)
P1	0-0,5	Sa (multa)	Ha		5,9		4,4		5,6
	0,5-1	Sa	Ha		4,3	0,13			
	1-1,5	Sa (Hk)	Ha	ruosteen väriä	3,8	0,22			3,5
	1,5-2	Sa	Ha	ruosteen väriä, tummaa sisällä	5,6	0,89	2,8	15,9	3,3
	2-2,5	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	7,6	0,82			4,3
	2,5-3	Sa	Ha Mu	ruosteen väriä, tummaa sisällä	7,7	0,73	3,0	8,3	
	3-3,5	Sa	Ha Mu	ruosteen väriä, tummaa sisällä	7,8	0,76			4,2
	3,5-4	Sa	Ha Mu	ruosteen väriä, vähän tummaa sisällä	7,8	0,75	2,9	10,6	4,2
P2	0-0,5	Sa (multa)	Ha	ruosteen väriä	6,2				
	0,5-1	Sa	Ha	vähän ruosteen väriä	6,9	<0,05			
	1-1,5	Sa	Ha		6,9				
	1,5-2	Sa	Ha	ruosteen väriä	7,3	<0,05	6,8		6,8
	2-2,5	Sa	Ha		7,9				
	2,5-3	Sa	Ha		7,9	0,083	7,2		7,2
	3-3,5	Sa	Ha		7,9				
3,5-4	Sa	Ha		7,9	0,086	7,0		7,0	
P3	0-0,5	Sa (multa)	Ha	ruosteen väriä	4,8				
	0,5-1	Sa	Ha	ruosteen väriä	4,1	0,18	4,1	2,5	4,1
	1-1,5	Sa	Ha	ruosteen väriä	4,1	0,23			
	1,5-2	Sa	Ha Mu		6,7	0,97	3,5	11,3	3,5
	2-2,5	Sa	Ha	vähän tummaa sisällä	8,0	0,72	3,9		3,9
	2,5-3	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	7,8	0,70		9,8	
	3-3,5	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	8,1	0,59	4,2		4,2
3,5-4	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	7,8	0,38	4,2	4,3	4,2	
P4	0-0,5	Sa (multa)	Ha	ruosteen väriä	6,6		4,7		6,2
	0,5-1	Sa	Ha	ruosteen väriä	4,3	0,18			
	1-1,5	Sa	Ha	ruosteen väriä	4,0	0,15			
	1,5-2	Sa	Ha Mu	ruosteen väriä, tummaa sisällä	5,6	0,78	2,8	15,3	3,3
	2-2,5	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	7,5	0,7			3,9
	2,5-3	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	7,6	0,68			
	3-3,5	Sa	Ha Mu	tummaa sisällä	7,9	0,74			3,9
	3,5-4	Sa	Ha	vähän ruosteen väriä, tummaa sisällä	7,9	0,83	2,9	11,6	3,8

4.1 Alku-pH, NAG-pH ja inkuboitu pH

Kaikista tässä selvityksessä tutkituista näytteistä määritettiin alussa pH-taso, joka vaihteli välillä 3,8...8,1. Alku-pH:n perusteella selvitysalueesta ei voida puhua todellisena happamana sulfaattimaana lukuunottamatta pistettä P1 näytesyvyydellä 1,0...1,5 m. Näytteistä 11 kpl valittiin kenttähavaintojen perusteella NAG-pH määrittelyyn ja 19 kpl pH-inkubointiin.

NAG-pH määrittelyyn lähetetyistä 11 näytteistä 10 havaittiin tason 4,5 alittava pH, mutta ei yhdessäkään alle 2,5. Pisteestä P2 ei katsottu tarpeelliseksi määrittellä NAG-pH:ta. NAG-pH:n perusteella alueen maaperässä on tätä pistettä lukuunottamatta maakerroksia, joissa pH laskee voimakkaasti hapettuessaan.

Inkuboinnin tuloksena havaittiin pH:n laskevan merkittävästi, ja alle raja-arvon 4, näytepisteissä P1, P3 ja P4. Näissä pisteissä pH:n lasku on merkittävä syvyydeltä 1,5m alkaen, ja niissä voidaan inkuboinnin perusteella todeta olevan happoa tuottavia savikerroksia alkaen em. syvyyksiltä.

4.2 Kokonaisrikkipitoisuus ja nettohapontuotto

Potentiaalisiksi happamiksi sulfidimaiksi luokiteltavista näytteissä kokonaisrikkipitoisuus on yli tyypillisesti 0,2 % kuiva-aineesta. Kokonaisrikkipitoisuusmäärittelyyn toimitettiin 25 näytettä ja niistä 17 näytteessä havaittiin tason 0,2 % ylittävä rikkipitoisuus. Yhdessäkään pisteen P2 näytteessä ei ylityksiä havaittu.

Nettohapontuottoa tutkittiin 9 näytteestä. Pisteestä P2 ei katsottu tarpeelliseksi tutkia nettohapontuottoa. Kaikissa näytteissä havaittiin tason 8 kg H₂SO₄/tonni ylittävä nettohapontuotto (paitsi pisteen P3 ylimmässä ja alimmassa tutkitussa näytteessä), mikä kertoo voimakkaasta potentiaalisesta hapontuotosta, ja maaperä on luokiteltavissa happamaksi sulfaattimaaksi. Merkittävää hapontuottoa oli syvyyksiltä 1,5 m lähtien pisteissä P1, P3 ja P4.

4.3 Puskurikapasiteetti

Inkubaatioissa näytteen annetaan hapettua imitoiden luonnonolosuhteita, joissa maa-aines altistuu ilman hapelle säilyttäen luontaisen kosteutensa. Tällöin myös maa-aineksen mahdollinen puskurikyky ehtii vaikuttaa pH-muutokseen. Erotuksena on, että luonnonoloissa maa-aineksen pinnalle muodostuu helposti hapettunut ja kuiva suojaava kerros, joka hidastaa alempien maakerrosten hapettumista, mikäli maa-ainesta ei esimerkiksi kaivuun yhteydessä sekoiteta. NAG-pH määrittelyssä hapetus on huomattavasti aggressiivisempi, eikä tällöin mahdollinen puskurikyky näy selkeästi lopullisessa pH-mittauksessa, kun puskuroivat reaktiot eivät ehdi käynnistyä.

Hehikutushäviötä voidaan käyttää hienojakoisen maa-aineksen (savi, siltti) puskurikapasiteetin arvioimiseen (Pousette 2007). Mitä suurempi hehikutushäviö ja orgaanisen aineksen määrä, sitä suurempi on puskuroiva vaikutus, joka puolestaan pienentää happamoittavaa vaikutusta. Aiempien tutkimusten perusteella hehikutushäviön ylittäessä 8 % on puskuroiva vaikutus merkityksellinen ja happamoittava vaikutus pienenee suhteessa vähemmän orgaanista ainesta sisältävään maa-ainekseen.

Kaikkiaan 28 näytteestä määritettiin hehkutushäviö, joka korreloi näytteen sisältämän orgaanisen aineksen määrän kanssa. Tutkittujen näytteiden hehkutushäviöt vaihtelivat välillä 1,2...4,3 %, joten maaperän puskurikapasiteetti on matala.

5. TULOSTEN YHTEENVETO JA TUNNISTETUT POTENTIAALISET HAPPAMAT SULFIDIMAAT

Maastossa mitattujen pH-tasojen perusteella todellisia happamia sulfaattimaita (THS) löytyi pisteestä P1 (syvyydellä 1,0...1,5 m).

Laboratoriotulosten perusteella potentiaalisia happamia sulfidimaita (PHS) havaittiin kaikissa muissa tutkimuspisteissä alkaen syvyydeltä 1,5 m paitsi pisteessä P2. Koska maalajijaineiston tms. perusteella ei voida selkeärajaisesti sanoa missä P2 selkeästi eroaa muusta suunnittelualueesta, koskevat suositukset koko suunnittelualueetta.

Pohjavesi alueella on noin 1,0 metrissä; pohjaveden alentamista tulee välttää. Alueella ei tule ulottaa kaivuutöitä alle 1,5 metrin (alueen eteläosissa alle 1,0 m) syvyyteen maanpinnasta ilman, että kaivuutöillä aiheutetaan happamien valumavesien vaaraa. Jos kaivuutyöt ulotetaan syvemmälle, tulee toteuttaa happaman valunnan muodostumisen ehkäisemiseksi ja hallitsemiseksi toimenpiteitä, joita on esitelty luvussa 6 ja 7.

6. TOIMENPIDESUOSITUKSET JATKOSUUNNITTELUUN

Sulfidimaiden rikkiyhdisteet muodostavat hapettuessaan rikkihappoa (H_2SO_4). Maaperässä liikkuva vesi huuhtoo rikkihapon mukaansa ja vesi happamoituu. Happamoitumisen voimakkuuteen vaikuttaa muodostuneen rikkihapon määrä ja muut mahdollisesti puskuroivat yhdisteet, jotka ovat liuenneet veteen. Maaperän ollessa pohjavedenpinnan alapuolella, on maaperän happipitoisuus hyvin matala ja rikkihappoa ei pääse muodostumaan.

Rakennustöiden yhteydessä tehtävien pohjaveden alennusten myötä happi pääsee maaperään pohjaveden laskiessa ja rikkihapon muodostuminen alkaa. Sadannasta tai sulamisvesistä muodostuva valunta taas huuhtoo hapot mukanaan vastaanottaviin vesistöihin. Happamoitumista ehkäiseviin ja hallitseviin toimiin on syytä varautua jo maanmuokkaustoimia suunniteltaessa.

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, joita on kuvattu tässä kappaleessa.

6.1.1 Pohjaveden pinnan alin taso ja alin sallittu kuivatustaso

Rakentamisalueiden kuivatustasojen muutos on tyypillisimpiä rakentamisen aiheuttamia toimia sulfidimailla. Kuivatustason (eli pohjaveden pinnan alimman tason) alentaminen alueilla, joilla

esiintyy happamia sulfidimaita aiheuttaa kuivatetun kerroksen hapettumista ja edelleen happamoitumista. pH:n lasku puolestaan aiheuttaa metallien merkittävää liukenemista ja huuhtoutumista vesistöön.

Ensisijainen toimenpide, jolla happamien vesien syntyä voidaan ehkäistä, on pohjavedenpinnan tason pitäminen potentiaalisen happaman maakerroksen yläpuolella eli noin 1 metrissä.

Kuivatustasolla on merkitystä etenkin alueen korkeusmaailman suunnitteluun. Sulfidimaa-alueella kaivutoimenpiteet ja kuivatuksen taso ovat esitettyjä alimpia kuivatustasoja ylempänä. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että **kaivuutoimia, jotka ovat pysyviä, ei saa ulottaa 1,5 metriä syvemmälle, ellei toteuteta happaman valunnan muodostumisen ehkäisemiseksi luvuissa 6 ja 7 esitettyjä toimenpiteitä. Suunnittelualan eteläosissa tämä koskee kaivuutöitä alkaen jo 1,0 metrin syvyydeltä.**

6.1.2 Massanvaihto ja ylijäämämaiden käsittely

Rakentamista ajatellen yleisimmät sulfidipitoiset maalajit kuten savi ja siltti ovat liian heikkolaatuisia kantavuutensa puolesta useimmille rakennustoimenpiteille. Tämän vuoksi savi- ja silttimaat vaativat yleensä pohjanvahvistamista, joka voidaan toteuttaa mm. massanvaihtona. Sulfidipitoisten massojen kaivaminen aiheuttaa niiden hapettumisen ja rikkihapon muodostumisen, jos massat altistuvat tarpeeksi kauan hapelle. Kaivutoimenpiteet avaavat potentiaalisen sulfidimaan kerroksia alttiiksi hapettumiselle.

Riskinhallintakeinoja massankaivukohteissa ovat mm.:

- kaivantovesien mahdollinen käsittely ennen vesistöön ohjaamista
- kaivumassan esikäsittely ennen kaivua (stabilointi ja neutralointi) mikäli paljastuneet uudet leikkauspinnat jäävät hapellisiin olosuhteisiin
- työn vaiheistus, kaivannon sulkeminen ja koon mitoitus kohteeseen tarkoituksenmukaisella tavalla

Kaivanto, josta massat on nostettu ylös, tulee täyttää mahdollisimman nopeasti, ettei kaivannon reuna-alueilla mahdollisesti sijaitsevat sulfidipitoiset maamassat pääse hapettumaan. Aikataulun kireys on riippuvainen alapuolisen vesistön herkkyydestä ja sulfidisaven hapettumisen nopeudesta. Mitä isompi vesistö sitä suurempi sietokyky sillä on mahdollisille happamille pulseille. Pienemmät purot, joissa on pH-vaihteluita heikosti sietävää eliöstöä tai kasvillisuutta, tulee ottaa erityisesti huomioon kaivantovesien johtamista suunnitellessa.

Ylijäämämassojen vastaanotto paikalla tulee olla valmiudet käsitellä massat asianmukaisesti, ettei vastaanottoalueelta tule happamia valuntoja. Rikkipitoiset, happoa muodostavat maa-ainekset ovat ympäristön kannalta aina turvallisinta sijoittaa syntypaikkaansa vastaaviin olosuhteisiin eli vallitsevan maanpinnan tason alapuolelle, ja jos mahdollista, vesipinnan alapuolelle, jotta rikin hapettuminen ja hapon muodostus olisi mahdollisimman vähäistä. Mikäli näin ei voida toimia, on massan neutralointi, hyötykäyttö esimerkiksi maisemarakenteina, erilaisina

penkereinä tai maiseman muotoiluelementteinä ja peittäminen esimerkiksi moreenilla tai turpeella hyvä tapa ehkäistä happamien vesien muodostumista.

Mikäli alueiden 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.

6.1.3 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 happamien vesien purkautuminen kaivannon alueelta.

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

6.1.4 Maanalaiset rakenteet ja paalutus

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

7. HAPPAMAN VALUNNAN HALLINTA

Selvitysalueella rakentamisen yhteydessä ei todennäköisesti voida täysin välttyä kaivamiselta tai pohjavedenpinnan alentamiselta sulfidipitoisen kerroksen alapuolelle. Kaivannon kuivatuksesta tulevat valunnat tulee hallita asianmukaisesti, ettei happamat valunnat pääse vesistöön, ellei

alueella suoriteta laajamittaista massanvaihtoa/neutralointia. Happoa muodostavien kaivumassojen käsittely on esitetty kohdassa 6.1.2. Selvitysalueella tulee kaikissa pohjaveden alentamistoimissa ja kaivuutöissä varautua kuivatusvesien käsittelyyn ennen niiden vesistöön johtamista.

7.1 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. Kaivoon voidaan toteuttaa kalkkikivisuodatin, jossa tulovesi syötetään kaivon pohjalle, josta vesi leviää tasaisesti suodatinmateriaaliin. Vesi virtaa suodatinmateriaalin läpi ja neutraloituu reagoidessaan kalkkikiven kanssa. Vesi purkautuu suodattimen yläosasta ja se 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 rikottua mahdolliset pintasaostumat, jotka estäisivät neutraloinnin tapahtumisen.

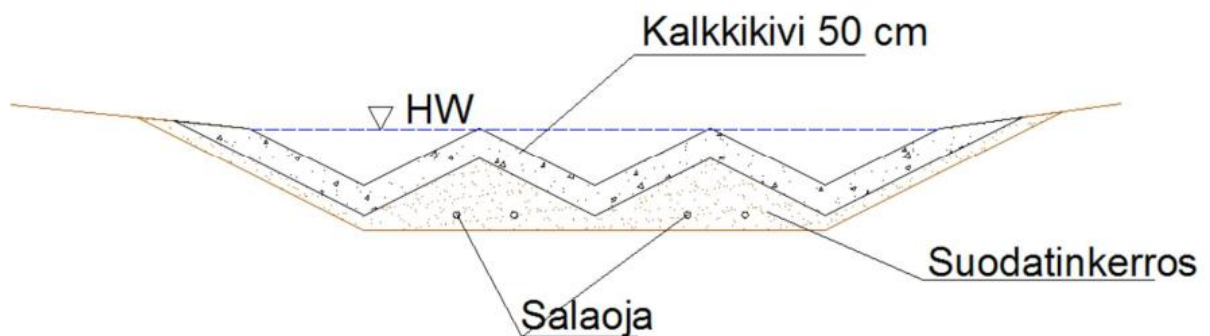
Lisäksi kalkkikivi tulee erottaa verkolla purkuputkista, jottei kalkkikivi pääse huuhtoutumaan purkuputkiin tai muilla keinoin estää hienoaineksen kulkeutuminen purkuveden mukana. Järjestelmään tulee liittää minimissään poistoveden pH seuranta, jolloin voidaan todeta neutraloinnin toimivan toivotulla tavalla. Kuivatusvesistä voidaan mitata pH:ta myös tulevasta vedestä ja ohjata vain happamat vedet käsittelyyn. Muut ei-happamat vedet voidaan johtaa suoraan vesistöön. Happamuuden raja-arvona voidaan pitää pH:ta 5,5. Mikäli valunnan pH on alle 5,5, tulee vedet neutraloida kalkkivisuodatuksella tai vastaavalla menetelmällä. Mikäli tuloveden pH on yli 5,5 voidaan valunta johtaa ilman neutralointikäsittelyä vesistöön.

7.2 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.

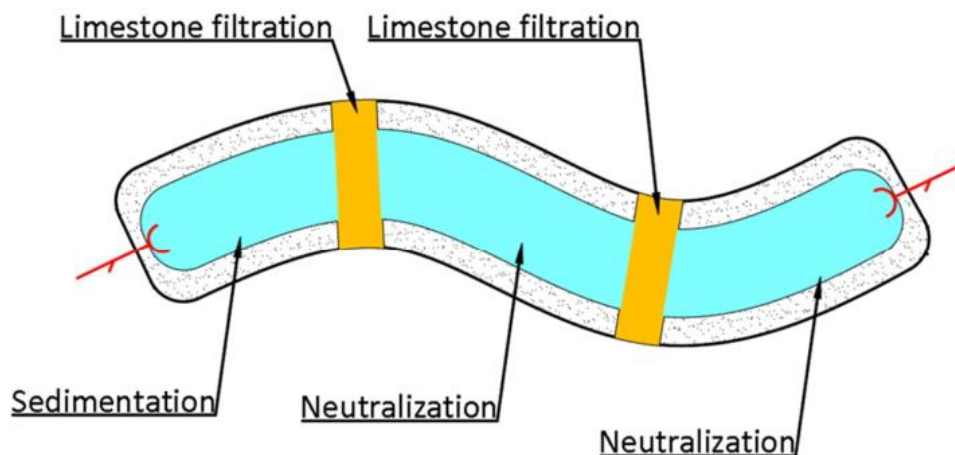
Pysyvissä kuivatuskohteissa voidaan käyttää vastaavaa kaivoratkaisua kuin työaikaisissakin järjestelyissä. Rakenteissa ja materiaalivalinnoissa tulee tällöin kiinnittää erityistä huomioita rakenteiden korroosion kestävyys. Suosittelemme toimilaitteiden ja kiinnitystarvikkeiden materiaaliksi tällöin haponkestävää terästä (HST). Putki- ja kaivomateriaalit voidaan toteuttaa muovisina (PE).

Pysyvänä neutralointirakenteena voidaan toteuttaa maapohjainen suotopato kalkkikivirouheesta. Suotorakenteen periaatepiirros on esitetty oheisessa kuvassa (Kuva 7-1). Tällöin suotovedet ohjataan maanpäälliseen avoaltaaseen, josta vesi suotautuu kalkkikivimurskeen 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.



Kuva 7-1. Periaatepiirros neutraloivan suodatinkentän rakenteesta.

Kalkkisuotopato voidaan myös yhdistää laskeutusallasrakenteeseen, jolloin sedimentaatio saadaan keskitettyä helposti huollettaviin altaisiin, joiden yhteyteen asennettavat suotopadot neutraloivat hapanta valuntaa. Periaatekuva tällaisesta rakenteesta on esitetty seuraavassa kuvassa (Kuva 7-2).



Kuva 7-2. Periaatepiirros laskeutusallas-suotopato -yhdistelmä rakenteesta.

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 käyttöikäksi arvioidaan 5–10 vuotta.

8. YHTEENVETO JA JATKOTOIMENPITEET

Porin kaupungissa Lotskerinmäen kaupunginosassa on käynnissä asemakaavamuutos, minkä johdosta alueelle tehtiin sulfidimaatutkimuksia. Tulokset esitetään tässä raportissa. Selvitysalue on nykyään valtaosin peltoa, mutta alueella on myös rakennettuja pientalotontteja. Alueelle on tulossa pääasiassa AO/AP-tontteja ja katuja sekä viheralueita. Alueen maaperä on GTK:n kartta-aineiston mukaan pääosin liejuhiesua; paikoin savea, hiesua tai hiekkamoreenia. Tutkimuspisteet keskitettiin tämän GTK:n aineiston ja kaupungin maanomistusaineiston mukaan liejuhiesun alueelle.

Työn lähtökohtana oli selvittää, esiintyykö suunnitellulla asemakaavamuutosalueella sulfidimaita sekä kerätä kaavoitushankkeiden kannalta oleellista tietoa maaperän laadusta ja mm. hapontuottopotentiaalista sekä esittää alin kuivatustaso, joka voidaan alueella sallia ilman happaman valunnan muodostumisen vaaraa. Lähtökohtana oli myös esittää rakentamiselle aiheutuvat rajoitteet sekä toimenpiteet, joilla estetään happaman valunnan muodostuminen tai hallitaan mahdollista hapanta valuntaa. Sulfiditutkimuksia tehtiin 4 tutkimuspisteestä.

Kenttähavaintojen perusteella todellisia happamia sulfaattimaita (THS), joiden pH-taso oli ≤ 4 löytyi pisteestä P1 (1,0...1,5 m), ja muutenkin oltiin hyvin lähellä raja-arvoa.

Laboratoriotulosten perusteella potentiaalisia happamia sulfidimaita (PHS) havaittiin kaikissa muissa tutkimuspisteissä alkaen syvyydeltä 1,5 m paitsi pisteessä P2. Koska maalajiaineiston tms. perusteella ei voida selkeärajaisesti sanoa missä P2 selkeästi eroaa muusta suunnittelualueesta, koskevat suositukset koko suunnittelualuetta.

Pohjavesi alueella on noin 1,0 metrissä; pohjaveden alentamista tulee välttää. Alueella ei tule ulottaa kaivuutöitä 1,5 metriä syvemmälle, ellei toteuteta happaman valunnan muodostumisen ehkäisemiseksi luvuissa 6 ja 7 esitettyjä toimenpiteitä. Suunnittelualan eteläosissa tämä koskee kaivuutöitä alkaen jo 1,0 metrin syvyydeltä.

9. LYHENTEET

NAG	Nettohapontuotto (net acid generation), ilmoitetaan yleensä yksikössä kg H ² SO ⁴ /tonni
NAG-pH	Vetyperoksidihapetetusta näytteestä mitattu pH
H₂SO₄	Rikkihappo

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

10. KIRJALLISUUSVIITTEET

- Boman, A., Astrom, M. & Frojdo, S., 2008. Sulfur dynamics in boreal acid sulfate soils rich in metastable iron sulfide - The role of artificial drainage. *Chemical Geology, Osa/vuosikerta* 255, pp. 68-77.
- Nieminen, T. M., Hölkkä, H., Ihalainen, A. & Finér, L., 2016. *Metsänhoito happamilla sulfaattimailla*, Helsinki: Luonnonvarakeskus.
- Pousette, K., 2007. Råd och rekommendationer för hantering av sulfidjordsmassor, s.l.: Luleå tekniska universitet.
- Sutela, T. ym., 2012. *Happamien sulfaattimaiden aiheuttamat vesistövaikutukset ja kalakuolemat Suomessa*, Helsinki: Edita Prima Oy.

LIITTEET