

Oulun alueen maaperä ja happamien sulfaattimaiden esiintyminen Case Heikkilänkangas, Kaista-aho & Ritaportti

Jukka Räisänen, Jaakko Auri, Anton Boman ja Hilikka Kallio

1.6.2023

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS**KUVAILULEHTI**

Diaarinro GTK/289/03.01/2021

Tekijät Jukka Räisänen, Jaakko Auri, Anton Boman ja Hilikka Kallio	Raportin laji Työraportti
	Toimeksiantaja
Raportin nimi Oulun alueen maaperä ja happamien sulfaattimaiden esiintyminen Case Heikkilänkangas, Kaista-aho & Ritaportti	
Tiivistelmä Raportti liittyy EAKR HASUdigi - happamat sulfaattimaat hallintaan -hankkeeseen ja sen osakokonaisuuteen, jonka päämääränä oli tuottaa tarkennettuja sulfaattimaa-aineistoja Oulun kaupungin alueelta sujuvoittamaan maarakentamisen hankkeiden etenemistä. Lisäksi raportissa tarkastellaan yleisellä tasolla Oulun alueen maaperää ja happamien sulfaattimaiden esiintymistä eri maalajiryhmissä. Happamien sulfaattimaiden esiintymisen ja ominaisuuksien tarkempaan tarkasteluun valittiin Ritaportin ja Heikkilänkankaan suunnittelualueet. Lisäksi tarkasteltiin suppeasti Kiimingin Kaista-ahon kaava-alueita, jonka turvekerrostumissa havaittiin suunnitteluvaiheessa poikkeuksellisen korkeita rikkipitoisuuksia. Pilottialueet edustivat maaperägeologisesti selkeästi toisistaan erottuvia happamien sulfaattimaiden esiintymisympäristöjä. Kairaustiheys pilottialueilla oli 1 piste/ noin 1,5 ha. Näytteitä otettiin kaikkiaan 604 kpl. Happamien sulfaattimaiden ominaisuuksia näytteissä tarkasteltiin useilla eri menetelmillä; maasto-pH, inkubaatio-pH, kokonaisrikkianalyysi, asiditeetti, kalkintarpeen arvio ja rikkispesiaatio. Kaikilla hankkeen pilottikohteilla esiintyi tutkimustulosten perusteella yleisesti happamia sulfaattimaita. Sulfaattimaamateriaalien ominaisuuksissa oli kuitenkin suuria eroja erityisesti kohteiden välillä, mutta jonkin verran myös kohteiden sisällä. Merkittävin eroja selittävä tekijä on maalaji, joista hienorakeiset maalajit ja turpeet erottuvat voimakkaasti happoa tuottavina ja joiden rikkipitoisuudet ja asiditeettiarvot olivat paikoin hyvin suuria. Kalkitustarpeen laskeminen inkuboitujen näytteiden asiditeettianalyysin perusteella (TIA) antoi hyvän kuvan maamassojen kalkitustarpeesta, ja toi hyvin esille aluekohtaiset erot. Ritaportin karkearakeisen maaperän kalkitustarve oli huomattavasti pienempi kuin maaperältään hienorakeisen Heikkilänkankaan, sekä turvepitoisen Kaista-Ahon.	
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Happamat sulfaattimaat, maaperä, pilottialueet, laboratorioanalyysit	
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Pohjois-Pohjanmaa, Oulu, Kiiminki	
Karttalehdet	
Muut tiedot (Hankekoodi, Projektin virallinen nimi) EAKR A77834 HASUdigi – Happamat sulfaattimaat hallintaan	

1.6.2023

Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus 25/2023	
Kokonaissivumäärä	Kieli Suomi	Hinta	Julkisuus Julkinen
Yksikkö YMR		Projektinumero	
Allekirjoitus/nimen selvennys		Allekirjoitus/nimen selvennys	

1.6.2023

Sisällysluettelo

Kuvailulehti

1.Johdanto	1
1 Oulun alueen geologiaa	3
1.1 Kallioperä	3
1.2 Oulun alueen maankamaran kehitys	5
2 Happaman sulfaattimaamateriaalin esiintyminen eri maalajiryhmissä	8
2.1 Rannikkoseudun happamien sulfaattimaiden yleispiirteitä	8
2.2 Happamat sulfaattimaat Oulun alueen maalajiryhmissä	10
4. Tutkimukset pilottialueilla	13
4.1 Näytteenotto ja maastohavainnot	15
4.2 Maasto-pH ja inkuboitu-pH	15
4.4 Hapontuotto / asiditeettimäärittäminen	16
5 Heikkilänkangas	17
5.1 Maaperä ja kerrosjärjestys	18
5.2 Maasto-pH ja inkuboitu pH	20
5.3 Kokonaisrikkipitoisuus	21
5.4 Hapontuotto / asiditeettimäärittäminen	22
5.5 Kalkitustarve	23
6 Ritaportti	24
6.1 Maaperä ja kerrosjärjestys	24
6.2 Maasto-pH ja inkuboitu pH	26
6.3 Kokonaisrikkipitoisuus	27
6.4 Hapontuotto/asiditeettimäärittäminen	28
6.5 Kalkitustarve	28
7 Kiimingin Kaista-aho	29
7.1 Maasto-pH ja Inkubaatio-pH	31
7.2 Kokonaisrikkipitoisuus	31
7.3 Hapontuotto/asiditeettimäärittäminen	31
7.4 Kalkitustarve	32
7.5 Rikkispesiaatio	32

1.6.2023

8 Johtopäätökset

32

Lähdeluettelo

1.6.2023

1. JOHDANTO

Tämä työraportti liittyy EAKR HASUdigi - happamat sulfaattimaat hallintaan -hankkeeseen ja sen osakokonaisuuteen, jonka päämääränä oli tuottaa tarkennettuja sulfaattimaa-aineistoja Oulun kaupungin alueelta sujuvoittamaan maarakentamisen hankkeiden etenemistä. Työraportissa tarkastellaan myös yleisesti Oulun taajama-alueen ja sen lähiympäristön maaperää ja annetaan tätä kautta pohjatietoa esimerkiksi eri toimijoiden rakennettavuusselvityksiä varten. Tämän työn rinnalla on HASUdigi-projektissa valmistunut työraportti Oulun hienorakeisten sulfidimaiden todennäköisistä esiintymisalueista (Hornborg ym., 2023).

Suomen suurimmat sulfaattimaaesiintymät sijaitsevat Pohjanmaalla, erityisesti Kristiinankaupungin ja Oulun välisellä alueella. Perämeren alueen erikoispiirteisiin kuuluu esimerkiksi se, että sulfidia esiintyy yleisesti myös karkealajitteisissa maakerroksissa, kuten hiekoissa, moreeneissa ja jokisuistojen sedimenteissä. Eteläisen Suomen alueella sulfidin määrä karkearakeisissa kerroksissa on selvästi vähäisempää. Oulun alueella varsinkin laajojen rantakerrostumahiekköjen ainekseen on sekoittunut yleisesti merellistä alkuperää olevaa sulfidia.

Happamien sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys kartoituspisteineen Oulun alueella on esitetty kuvassa 1. Oulun seutu on kartoitettu GTK:n tekemän valtakunnallisen happamien sulfaattimaiden yleiskartoituksen (1:250 000) yhteydessä. Kartta valmistui vuonna 2021 ja sen selitysosa 2022 (Auri ym., 2022). Ennen valtakunnallisen kartoituksen ulottumista Oulun alueelle, GTK laati happamista sulfaattimaista alustavan esiselvityksen Uuden Oulun yleiskaavaa varten vuonna 2015 (Auri, 2015). Kartoituksen perusteella Oulun seudulla havaittiin esiintyvän runsaasti happamia sulfaattimaita. Yleiskartat on kuitenkin laadittu niin, että ne toimivat yleismittakaavaisessa maankäytön suunnittelussa, eikä niiden tietosisältö ole riittävä rakennushankkeille. Yksityiskohtaisempien karttojen ja tiheimmän kairausverkoston avulla happamat sulfaattimaat voidaan ottaa huomioon jo maankäytön tai rakennushankkeiden suunnittelu- ja luvitusvaiheessa, jolloin pystytään välttämään mahdolliset ympäristö- ja rakennustekniset riskit tehokkaasti (katso Autiola ym., 2022). HASUdigi-projektin detaljikartoituksissa tarkasteltiin perinteisten tunnistusmenetelmien (inkubaatio-pH & kokonaisrikkianalyysi) lisäksi myös pilottialueiden maaperän hapontuottopotentiaalia, joka on tärkeä huomioida arvioitaessa happamista sulfaattimaista aiheutuvaa todellista riskiä. Hapontuottopotentiaalın ja kokonaisrikkipitoisuuden avulla voitiin arvioida kalkitustarvetta pilottialueilla. Rikkispesiaatiomenetelmällä selvitettiin totaalisulfidin osuutta turvenäytteiden kokonaisrikkimäärästä.

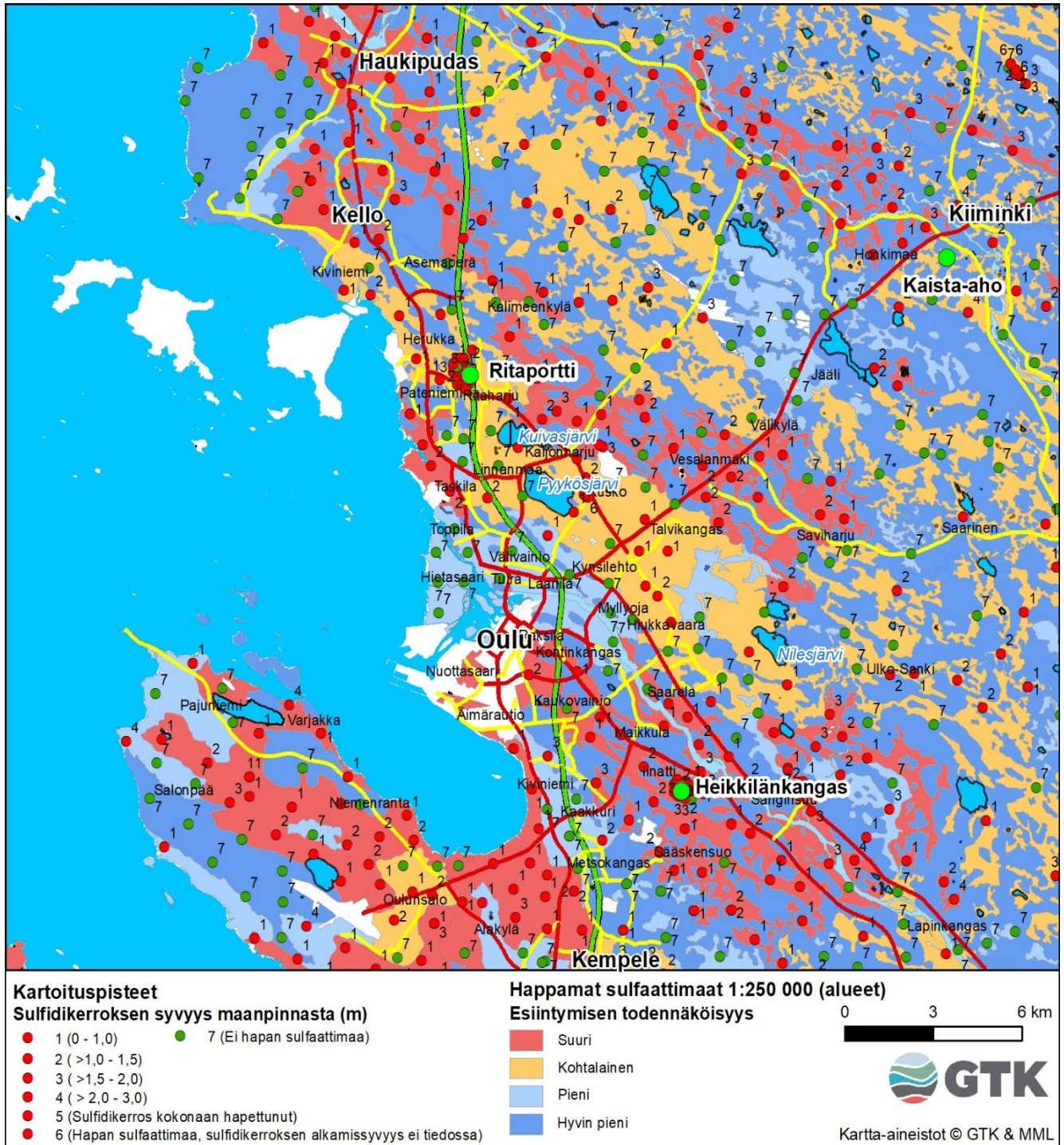
Happamien sulfaattimaiden esiintymisen ja ominaisuuksien tarkempaan tarkasteluun valittiin kaupungin ehdotuksesta pilottialueiksi Ritaportin ja Heikkilänkankaan suunnittelualueet. Lisäksi tarkasteltiin suppeasti Kiimingin Kaista-ahon kaava-alueita, jonka turvekerrostumissa havaittiin suunnitteluvaiheessa poikkeuksellisen korkeita rikkipitoisuuksia.

Lisää tietoa happamista sulfaattimaista ja niiden vaihtoehtoisista tutkimusmenetelmistä löytyy esimerkiksi julkaisuista:

- Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin (Autiola ym., 2022)
- Maastokäyttöisten tunnistusmenetelmien kehittäminen happamille sulfaattimaille (Visuri ym., 2021)

1.6.2023

HASUdigi-hankkeen päärahoittaja oli Euroopan Aluekehitysrahasto, jonka lisäksi rahoittajina toimivat Oulun kaupunki, Geologian tutkimuskeskus ja Suomen ympäristökeskus. Tässä raportoitavan osakokonaisuuden työhön osallistuivat raportin kirjoittajien lisäksi geologi Staffan Nylund laboratorioitoiden ja tutkimusassistentti Hannu Hirvasniemi maastotöiden osalta. Oulun kaupungin henkilökunta oli suurena apuna töiden ja aluevalintojen suunnittelussa.



Kuva 1. Happamien sulfaattimaiden esiintyminen Oulun alueella valtakunnallisen yleiskartan mukaan

1.6.2023

1 OULUN ALUEEN GEOLOGIASTA

1.1 Kallioperä

Happamien sulfaattimaiden esiintyminen liittyy yleensä rannikkoalueen Litorinamerivaiheen aikana kerrostuneisiin sedimentteihin, mutta myös kallioperällä on merkitystä sulfaattimaiden alueelliseen esiintymiseen. Tiedyt kivilajit ja mineraalit voivat lisätä maaperäkerrostumien rikkipitoisuutta (mm. mustaliuske, rikkikiisu, magneettikiisu ja vulkaniitit). Toisaalta osa kivilajeista on happamoitumista neutraloivia (mm. dolomiitti ja karbonaatit).

Oulun taajama-alueen kallioperä on esitetty kuvassa 2. Alueen pohjois- ja koillisosat kuuluvat Pohjois-Pohjanmaan liuskevyöhykkeeseen liittyvään Kiimingin liuskejaksoon, jossa kivilajeina esiintyy vulkaniitteja, kiilleliusketta, grauvakkaa, kvartsiittia ja rikkipitoista mustaliusketta. Kallioperäkartassa mukana oleva GTK:n mustaliuskekartoitusaineisto perustuu pääasiassa aerogeofysikaalisen (aerosähkö- ja magneettinen) aineiston tulkintaan ja kuvaa mustaliuskeiden esiintymisen melko karkeasti. Kartasta nähdään mustaliuskevyöhykkeiden tiheä esiintyminen Oulun ja Kiimingin välisellä alueella. Mustaliuskeet ovat metamorfoituneita kivilajeja, jotka esiintyvät tyypillisesti kallioperän liuskejaksoissa ohuina ja pitkänomaisina vyöhykkeinä. Mustaliuskeiden alkuperä on liejupitoisissa merikerrostumissa ja siten ne sisältävät tyypillisesti runsaasti hiiltä ja rikkiä sekä myös monia muita alkuaineita, kuten arseenia, kobolttia, nikkeliä, kuparia, sinkkiä, lyijyä ja uraania. Mustaliuskeet rapautuvat helposti ja voivat aiheuttaa paikallisesti mm. happamoitumiseen liittyviä ympäristöhaittoja. Mustaliuskeita esiintyy Suomessa melko yleisesti ja nykyisin ne pyritään huomioimaan myös erityyppisissä maankäyttöön liittyvissä selvityksissä. Mustaliuske muodostaa suurimman riskin esiintyessään yhdessä vulkaniittien kanssa (Loukola-Ruskeeniemi ym., 2022). Kiimingin alueella esiintyy tällaisia mustaliuskeen ja vulkaniittien kivilajiseurueita (Kuva 2).

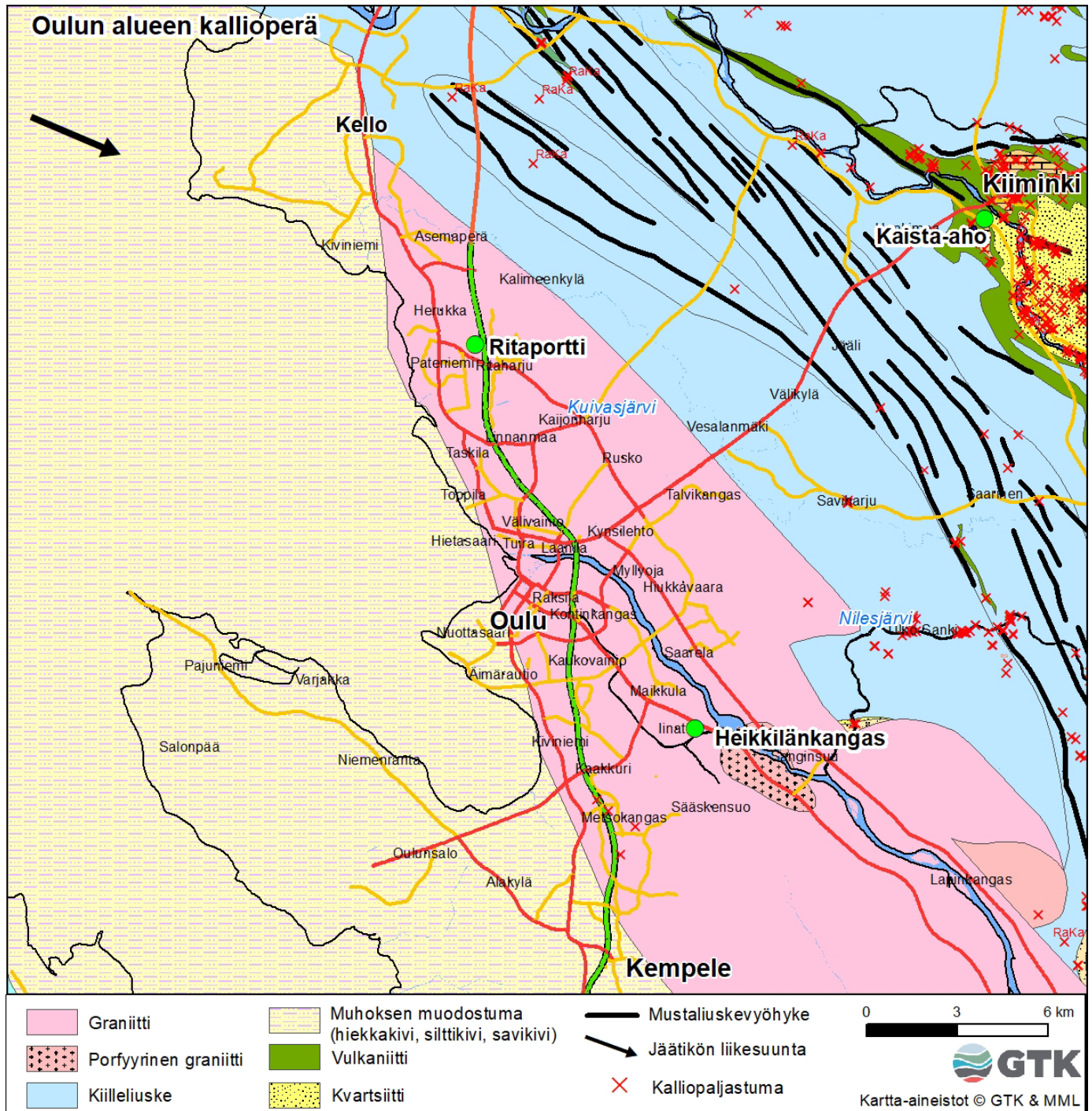
Kiimingin kirkon itäpuolella sijaitseva kvartsiittialue kuuluu Koitelin kvartsiitti-konglomeraattimuodostumaan. Kvartsiittinen kallioperä on edustavasti esillä tunnetun Koitelin kosken alueella (Kananoja 2004). Kiimingin jakson vulkaaniset kivet ovat pääosin massiivisia emäksisiä laavoja ja tyyntylaavoja. Vulkaanisten kivilajien yhteydessä esiintyy yleisesti kalkkipitoista dolomiittia ohuina linssimäisinä välikerroksina.

Länsiosa kuuluu sedimenttikivilajien vyöhykkeeseen ja on paremmin tunnettu Muhoksen muodostumana. Sen iäksi on arvioitu noin 1 300–1 400 miljoona vuotta (Simonen, 1990). Se on syntynyt peruskallion vajoamaan eli suureen siirrosvyöhykkeeseen, joka on täytynyt sedimenttikivillä. Muhoksen muodostuman kivilaji on pääasiassa saviliusketta, jossa on välikerroksina hiekkakiveä. Syvemmillä esiintyy myös muinaisesta sorasta muodostunutta konglomeraattia. Savi- ja hiekkakivessä on runsaasti rautahydroksidia, joka antaa kivilajeille punertavan sävyn. Myös kalsiittia esiintyy. Pehmeästä kiviaineksesta johtuen on Muhos-muodostuma kulunut enemmän kuin ympärillä olevat kestävämmät kivilajit.

Paikallisen kallioperän kemiallinen koostumus ja mineralogia näkyy selkeästi alueen maaperässä, varsinkin moreenissa ja harjuaineksessa. Näissä maalajeissa korkeat rikkipitoisuudet johtuvat usein mustaliuskeen ja vulkaniittien esiintymisestä. Muhoksen muodostuman kivilajien korkeasta rautapitoisuudesta johtuva punertava sävy näkyy usein myös alueen maaperässä. Muhos-muodostuman merkitys happamien sulfaattimaiden esiintymisen kannalta on kompleksinen. Sen kivilajeista peräisin

1.6.2023

oleva aines voi olla mm. kalsiitista johtuen maaperän happamuutta neutraloivaa. Toisaalta sen syvään kulutusaltaseen on voinut kerrostua maaperän happamuutta lisäävää aikaisempien merisedimenttien sulfidiainesta sekä mustaliuskepitoista sedimenttiä. Jäätikön virtaussuunnalla on oleellinen merkitys siihen, millä alueella kallioperästä johtuva happamuus tai emäksisyys heijastuu maaperässä.

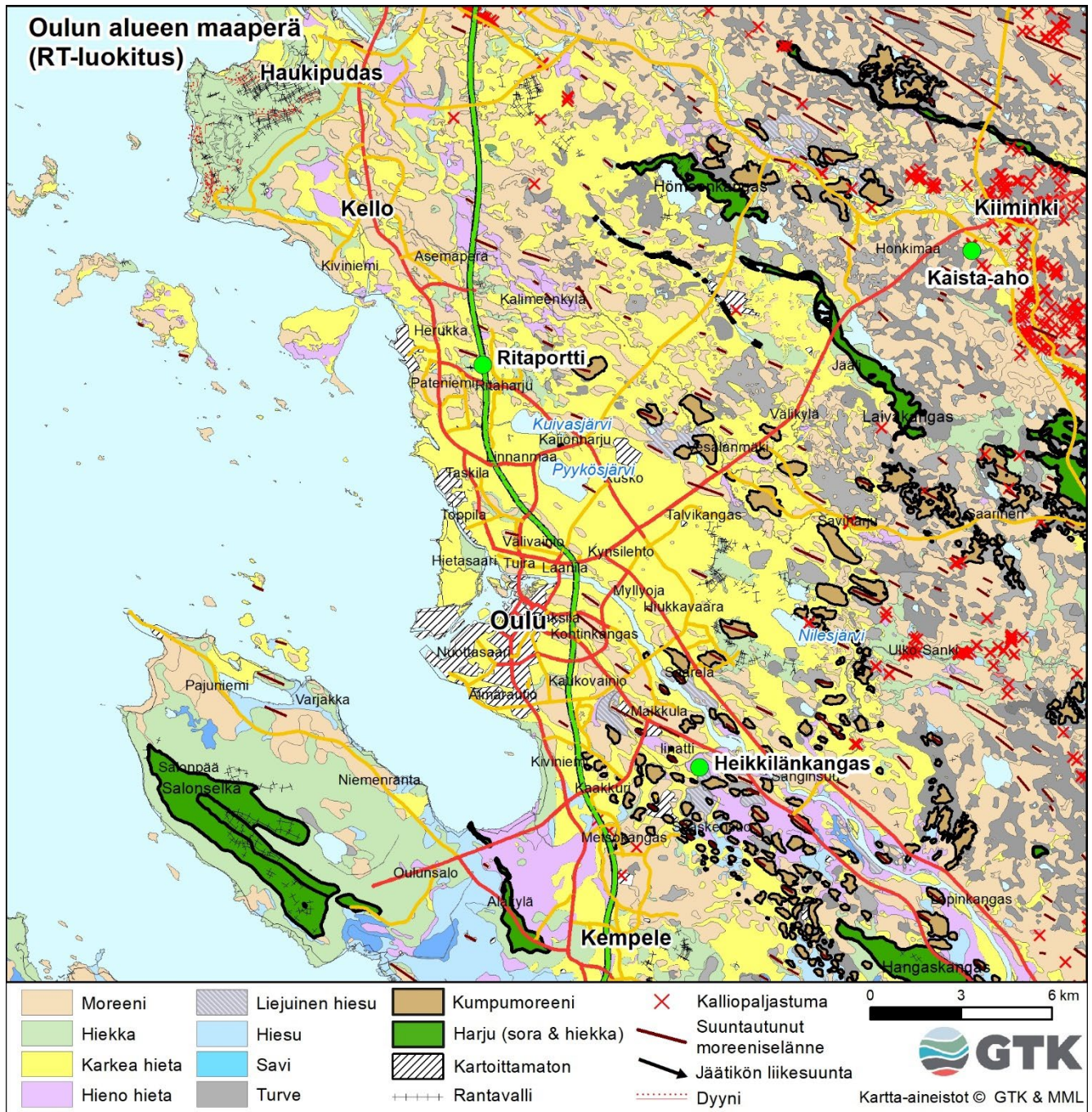


Kuva 2. Oulun alueen kallioperäkartta

1.6.2023

1.2 Oulun alueen maankamaran kehitys

Viimeisin jääkausi, jota kutsutaan Veiksel-jääkaudeksi, alkoi noin 120 000 vuotta sitten ja päättyi noin 10 000 vuotta sitten. Se koostui kolmesta eri jäätiköitymisvaiheesta. Oulun alueen maaperä on syntynyt pääosin viimeisen jäätiköitymisen aikana ja sen jälkeen. Oulun taajama-alueen ja sen lähiympäristön maaperäkartta on esitetty kuvassa 3. Kartta on laadittu GTK:n 1:20 000 mittakaavaisten maaperäkartojen sekä jäätikkösyntyiset maaperämuodostumat -karttatietokannan pohjalta.



Kuva 3. Oulun alueen maaperä

1.6.2023

Viimeisen jäätiköitymisen aikana mannerjäätikkö virtasi Oulun alueella länsiluoteesta itäkaakkoon eli suunnasta 280 - 300° (Johansson ym., 2002). Mannerjään reuna perääntyi Oulun kaupungin alueelta länsiluoteeseen noin 10 400 vuotta sitten (Mäkinen 2001). Jäätikön vetäytyessä alueelta oli veden syvyys jään reunan lähellä enimmillään noin 200 metriä (Kujansuu & Johansson 2005). Mannerjäätikön toiminnan seurauksena, pääosin sen reunaosan alla, syntyi sekalajitteista moreenia. Se esiintyy kallioperää myötäilevänä, vaihtelevan paksuisena pohjamoreenina ja erilaisina moreenimuodostumina. Mannerjäätikön sulaessa valtavat vesivirrat eli jäätikköjoet koversivat erilaisia uomia. Ne myös kerrostivat lajittelemaansa soraa ja hiekkaa jäätikön tunneli- tai railokohtiin harjuiksi tai jäätikön eteen harjudeltoiksi. Selvitysalueen eteläosassa on leveitä harjudeltoja (Salonselkä, Kempeleenharju ja Hangaskangas), jotka kuuluvat laajempaan Oulunsalon-Rokuan harjujaksoon. Harjudeltojen kerrospaksuus on paikoin hyvin suuri, esimerkiksi Kempeleenharjun kaakkoisosissa on havaittu yli 100 metrin kerrospaksuuksia. (Breilin ym., 2006). Toinen, merkittävä harjujakso alkaa Haukiputaalta, ulottuen lopulta aina Kuhmoon saakka (Pihlaja ym., 2002). Tähän jaksoon liittyvät esimerkiksi Hämeenkaan ja Laivakankaan harjunosat. Jäätikön sulamisvesivirrat kerrostivat myös hienorakeisia kerrostumia alueille, jotka olivat veden peitossa. Näitä kerrostumia kutsutaan usein glasiaalisaviksi tai glasiaalililteiksi.

Mannerjään vetäydyttyä, oli koko Oulun seutu Ancyclusjärven pohjaa. Ancyclusjärven ranta ulottui idässä aina Puolangalle saakka. Noin 9 000 vuotta sitten Itämeren altaassa alkoi Litorinamerivaihe. Tuona aikana tiedetään ilmaston olleen pari astetta nykyistä lämpimämpää ja veden olleen nykyistä suolaisempaa. Kaiken kaikkiaan olosuhteet olivat sellaiset, että ne johtivat meren rehevöitymiseen ja biologisen tuotannon kasvuun. Litorinavaiheen aikana kerrostuneissa sedimenteissä esiintyy yleisesti runsaasti sulfidiainesta. Eri merivaiheiden aikana Oulun alueelle kerrostuneet sedimentit ovat lähinnä hiesua tai hienoa hietaa, harvemmin savea. Ne ovat lisäksi usein liejuisia, eli orgaanisen aineksen osuus on yli 2 %.

Litorinamerivaiheen lopussa noin 4 000 vuotta sitten Oulujoki virtasi nykyistä reittiään etelämpää Limingasta ja Tyrnävältä Muhokselle ulottuneeseen merenlahteen (Ylimannila 1970). Joki kuljetti runsaasti maa-aineksia mukanaan, jotka kerrostuivat laajaksi deltamuodostumaksi joen edustalle. Esimerkiksi useiden jääkausien syvälle kuluttama Muhos-muodostuman alue on täyttynyt nykyiselleen pitkälti tämän vaiheen jokikerrostumista Oulujoen varhaisen reitin alueella. Vanhat jokideltat tasoittuivat myöhemmin rantavoimien toiminnan seurauksena, eikä deltamuodostumia pystytä rajamaan rantakerrostumista (Kuva 3). Harjuaines ja sitä vanhemmat maa-ainekset, kuten ennen viimeistä jäätiköitymistä syntyneet merikerrostumat, täyttävät Muhos-muodostuman laakson syvempiä osia. Muhos-muodostuman alueella on tehty havainto jopa 140 metrin syvyyteen jatkuvasta irtomaapeitteestä Limingan Vesikarissa (Breilin & Putkinen 2012). Kyse on poikkeuksellisesta kerrospaksuudesta, kun ottaa huomioon, että maapeitteen paksuuden keskiarvo on Suomessa 7 m. Kuvassa 4 on esitetty kartta maapeitteen paksuudesta GTK:n 1:1 000 000 mittakaavaisen maapeiteaineiston pohjalta.

Nykyiseen uomaansa Oulujoen alajuoksu siirtyi noin 2 500 vuotta sitten (Ylimannila 1970). Joen mukanaan tuomaa ainesta kerrostui myös tässä vaiheessa laajalle alueelle Oulujoen alajuoksun ympäristöön. Jokikerrostumat ovat Oulun alueella pääosin karkeaa- tai hienoa hietaa, mutta niiden raekoko voi vaihdella aina hiesusta soraan. Koska jokikerrostumat ovat kerrostuneet suurelta osin maankohoamisen takia etenevään jokisuistoon hieman merenpinnan alapuolelle, on niihin usein

1.6.2023

sekoittunut Litorinavaiheen yhteydessä syntynyttä sulfidiainesta. Oulujoen kuluttava ja kerrostava toiminta jatkuu edelleenkin.

Maaperäkartta-alueen korkeimmat kohdat ovat karttarajauksen itäreunassa, jossa maanpinnan korkeustaso on hieman yli 70 m mpy. Nämä alueet ovat maankohoamisen seurauksena paljastuneet vedestä noin 5 500 vuotta sitten (Vrt. Räsänen 2015). Noin 3 500 vuotta sitten vedenpinta oli 40 metrin korkeudella, samalla tasolla on myös Hangaskankaan tasainen laki. Korkeustason 20 m/mpy vetäytyvä merenranta saavutti noin 2 000 vuotta sitten. Maankohoaminen jatkuu nykyisinkin ja on Oulun alueella noin 7 millimetriä vuodessa.



Kuva 4. Maapeitepaksuudet Oulun alueella

1.6.2023

Merenrannan vetäytyessä huuhtoivat rantavoimat voimakkaasti aikaisemmin syntyneitä kerrostumia, kuten harjuja ja moreenikumpuja. Maaperäkartan rannikon puoleisen osan (Kuva 3) hallitsevana piirteenä ovatkin laajat ja topografialtaan tasaiset hiekka- ja karkeahieta-alueet, jotka ovat syntyneet aallokon levittämänä rantakerrostumina ja/tai jokikerrostumina, joita rantavoimat ovat levittäneet entisestään. Harjujen tasaisuutta selittää myös niiden kerrostuminen jäänreunan edessä olleeseen Ancylusjärven syvään veteen, jolloin harjuaines on levinnyt laajalle jo kerrostumisvaiheessaan. Esimerkiksi Haukiputaan Kellokankaan harjudelta on tasoittunut voimakkaasti eikä sitä ole voitu rajata harjumuodostumaksi maaperäkartalle (Kuva 3). Myös Salonselän harjudeltan ympäristössä Oulun salossa on hyvin laajalla alueella tasaisia lievehiekköjä.

Maaperäkartan alueella esiintyy monin paikoin rantavalleja, jotka ovat aallokon huuhteluvirtausten kasaamista hiekasta syntyneitä, muinaisen rannan suuntaisia valleja tai penkereitä. Niitä kutsutaan Oulun alueella yleensä kaarroiksi. Rantavalleja esiintyy runsaasti varsinkin Salonselässä, Haukiputaan ranta-alueella tai Hiukkavaaran itäpuolella. Merenrannan vetäydyttyä, maan ollessa vielä vailla kasvillisuutta, syntyivät tuulen kerrostamat dyynit. Niitä esiintyy eniten Haukiputaan ranta-alueella.

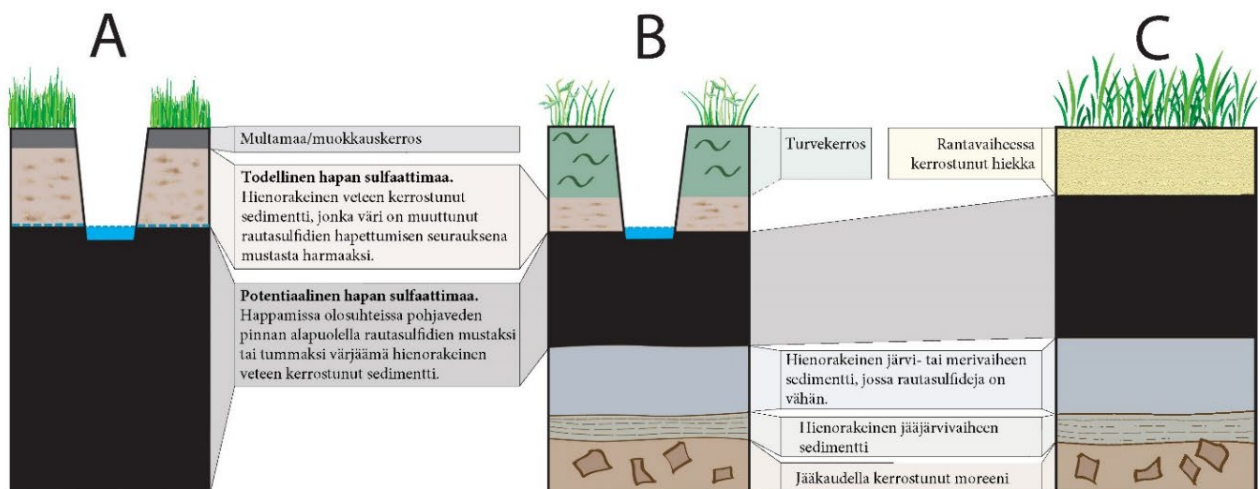
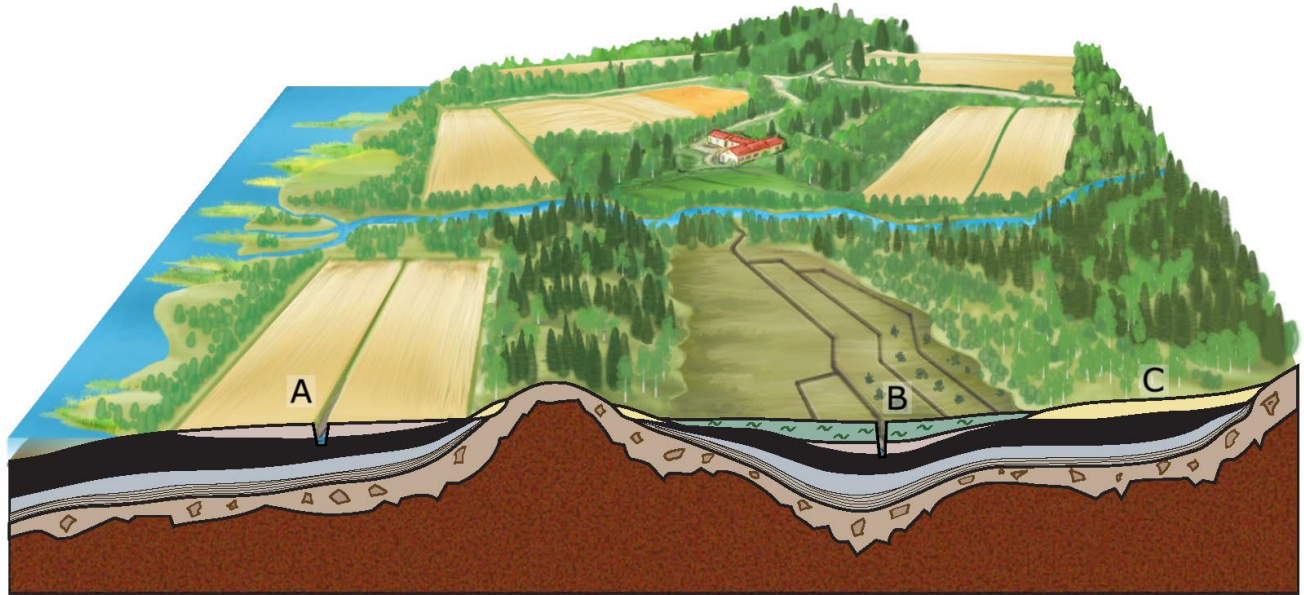
Varsinkin kaupungin keskusta-alueella maanpintaa on muokattu jopa vuosisatojen ajan, joten pintamaa ei useinkaan edusta paikalla kerrostuneita luonnonmaalajeja, vaan on ihmisen muokkaamaa tai paikalle tuomaa. Tämä ihmistoiminta poissulkien, viimeisin alueen maaperään vaikuttanut geologinen prosessi on ollut soistuminen. Koska Oulun alue on ollut varsin vähän aikaa merenpinnan yläpuolelle, turvekerrostumat eivät ole ehtineet muodostua kovin paksuiksi. Taajama-alueella turvetta esiintyy lähinnä muutaman kymmenen sentin paksuisina peittävinä kerroksia kivennäismaalajien päällä maaston painannekohdissa. Rannikolta sisämaahan päin turvepaksuudet kasvavat ja esimerkiksi Kiimingin ympäristössä on runsaasti 2–3 metrin syvyisiä suoalueita. Turvekerrostumien ja mineraalimaan välissä esiintyy paikoin liejukerroksia. Turvekerrostumien alapuolinen maalaji on yleensä hiesua tai hienoa hietaa. Harjualueiden lähistöllä turpeen alla esiintyy lähinnä hiekkaa tai karkeaa hietaa.

2 HAPPAMAN SULFAATTIMAAMATERIAALIN ESIINTYMINEN ERI MAALAJIRYHMISSÄ

2.1 Rannikkoseudun happamien sulfaattimaiden yleispiirteitä

Rannikkoseudun happamat sulfaattimaat ovat tyypillisimmin syvään veteen tai jokien suistoihin kerrostuneita hienojakoisia sedimenttejä. Toisaalta myös karkeammassa, tyypillisesti matalamman veden rantakerrostumissa, saattaa olla sedimentoitunutta sulfidia. Eryteisesti hienojakoisia sulfidipitoisia sedimenttejä tavataan korostuneesti laajoissa maaston painanteissa, sillä sedimentaatio on ollut vesistön pohjan kohouma-alueilla yleisesti vähäisempää tai sitten sedimentit ovat kuluneet kyseisiltä alueilta pois pohjavirtausten ja aallokkotoiminnan vaikutuksesta. (Visuri ym., 2021).

1.6.2023



Kuva 5. Esimerkkejä tyypillisistä rannikkoseudun sulfaattimaiden esiintymisalueista ja sulfaattimaa-profiileista (piirrokset H. Kutvonen / GTK).

Sulfidipitoiset sedimentit ovat tyypillisesti maaperän kerrossarjan ylimmissä osissa (0–3 m) ja syvemmälle mentäessä sulfidien esiintymisen todennäköisyys pienenee. Sulfidipitoiset kerrokset, erityisesti liejukerrokset, saattavat joskus olla hyvin ohuita (vain joitain senttimetrejä). Joskus taas kerrokset voivat olla useiden metrien paksuisia. Kuvassa 5 esitetään esimerkkejä tyypillisistä rannikkoseudun happamista sulfaattimaa-profiileista. Tyypillisessä kerrossarjassa tavataan ylempänä kerrosyksikkönä Litorinamereen kerrostunutta liejua tai liejusavea-/hiesua. Tämä liejuinen maa-aines on usein sulfidipitoista ja väriltään vihertävän harmaasta mustaan. Tämän alapuolella on Ancylusjärveen kerrostunutta savea, jonka väri on harmaa. Ancylus-savessa on tyypillisesti mustia monosulfidi-laikkuja tai raitoja. Litorina- ja Ancylus-sedimenttien välillä on usein terävä rajapinta (epäjatkuvuuspinna) tai niitä erottaa

1.6.2023

ohut karkeampi sedimenttikerros. Ancyclus-saven alapuolella on usein savikerroksia, joiden väri vaihtelee punertavan harmaasta ruskean harmaaseen (glasiaalisavi), ja niissä sulfidipitoisuudet ovat pieniä.

2.2 Happamat sulfaattimaat Oulun alueen maalajiryhmissä

Moreeni

Oulun alueen ja lähiympäristön pohjamoreeni on tyypillisesti piilossa myöhemmin kerrostuneiden maalajien alla. Maan pinnalle paljastuvaa moreenia näkee lähinnä kumpumoreenimuodostumisissa, esimerkiksi Oulujoen ympäristössä. Rannikolta sisämaahan siirryttäessä pohjamoreenia esiintyy maaston kohomuodoilla, joskin se voi olla pintaosastaan rantavoimien huuhtomaa. Alueella esiintyy myös jäätikön liikkeen suuntaisia moreeniselänteitä, jotka ovat kehittyneet Kiimingin alueella selkeästi maastossa erottuviksi drumliineiksi.

Pohjamoreeni on Oulun taajaman ja sen eteläpuolisella alueella varsin vähäkivistä ja sitä voi olla haastava erottaa karkeasta siltistä ilman raekokoanalyysiä. Pohjamoreeni on muodostunut mannerjäätikön pohjalla pohjajään kuljettamasta kiviaineksesta tai jään pohjan alla olleen, jo aikaisemmin kerrostuneen aineksen deformaation kautta. Geoteknisen luokituksen mukaan pohjamoreeniaines on yleensä silttistä hiekkamoreenia.

Pohjamoreeniaineksessa oleva rikki on yleensä peräisin jäätikön tulosuunnassa olevista mustaliuskevyyhykkeistä. Valtakunnallisen sulfaattimaakartoituksen yhteydessä, sekä esimerkiksi tässä tutkimuksessa, havaittiin Oulun alueella sulfidista johtuvaa pH:n alenemaa inkubaatiossa alle riskirajan (pH 4) usein myös sellaisissa moreeninäytteissä, jotka eivät sijoittuneet lähellekään mustaliuskevyyhykkeitä. Tämä havainto johtuu todennäköisesti siitä, että moreeniaines on osittain peräisin ennen viimeistä jäätiköitymistä edeltäneiden merivaiheiden sulfidipitoisista sedimenteistä, jotka olivat kerrostuneet Muhos-muodostuman altaaseen. Oulun alueen pohjamoreenille tyypillinen vähäkivisyyskin selittyy Muhos-muodostuman laaksossa olleen lajittuneen aineksen morenisoitumisella viimeisimmän jäätiköitymisen aikana. Yleensä pH:n aleneminen moreenissa johtuu kuitenkin sulfidiaineksen suotautumisella moreenin yläpuolisesta sulfidipitoisesta sedimentistä moreeniainekseen. On huomattava, että yleisesti moreeniaineksen rikkipitoisuus on ollut Oulun alueen tutkituissa näytteissä verrattain alhainen, huolimatta toisinaan alentuneista inkubaatio-pH arvoista.

Kumpumoreenien ja yleensä myös jäätikön liikesuuntaisten moreenimaiden, kuten drumliinien, aines on Oulun alueella lähes aina hyvin vähärikkistä. Kumpumoreenimuodostumien ja toisinaan jäätikön liikesuuntaistenkin moreeniselänteiden aines on pohjamoreeniin verrattuna karkeampaa ja löyhempää. Rantavoimat ovat voineet huuhtoa niiden pintakivisyyttä esille paikoin voimakkaastikin.

Moreenialueet on luokiteltu valtakunnallisessa yleiskartassa happamien sulfaattimaiden esiintymisen suhteen hyvin pieneen tai vähäisemmässä määrin pieneen todennäköisyysluokkaan (Kuva 1). On kuitenkin oletettavaa, että mahdollisten detaljikartoitusten yhteydessä jotkin pohjamoreenialueet voivat sijoittua kohtalaiseen tai jopa suureen todennäköisyysluokkaan. Oulun alueella on suositeltavaa ottaa sulfaattiselvityksen yhteydessä oma näytteensä moreenista, varsinkin vähäkivisestä pohjamoreenista. Samoin moreeni kannattaa tutkia, jos ollaan mustaliuskealueella.

1.6.2023

Karkeat lajittuneet maalajit

Karkearakeiset sulfidisedimentit (karkeahieta, hiekka ja moreeni) sisältävät tyypillisesti huomattavasti vähemmän rikkiä kuin vastaavat hienorakeiset sedimentit. Alhaisesta rikkipitoisuudesta huolimatta karkearakeiset maalajit happamoituvat voimakkaasti inkubaatioissa. Tämä johtuu karkearakeisten maiden luontaisesti heikosta puskurikyvystä pH-muutosta vastaan. Tämän takia jo pienikin määrä sulfidia voi alentaa maaperän pH:ta voimakkaasti.

Harjumuodostumien hiekassa ja sorassa sekä rantakaartojen hiekassa ei yleensä esiinny sulfidiainesta. Myöskään raekooltaan lähinnä karkeaa hietaa olevissa dyyneissä ei ole happamoitumisriskiä, lukuun ottamatta matalien dyynien alakerroksia. Nämä alueet on rajattu valtakunnallisessa sulfaattikartassa (Kuva 1) hyvin pieneen esiintymisen todennäköisyysluokkaan. Rantakerrostumahiekassa ja -hiedassa sitä vastoin vaikuttaa yleiskarttatulosten sekä muiden tutkimusten perusteella esiintyvän Oulun alueella sulfidiainesta yleisesti, kuten myös Oulujoen vanhoissa deltakerrostumissa. Nykyisten jokien lähialueiden karkearakeisissa tulvakerrostumissa on sulfidiaineksen määrä kuitenkin todennäköisesti melko vähäinen. Sulfidiaines on usein värjännyt karkearakeista ainesta tummemmaksi ja myös rikin hajua voi esiintyä lievänä. Aivan ranta-alueen läheisyydessä voi esiintyä sulfidiaineksen lähes mustaksi värjäämää hiekkaa tai karkeaa hietaa. Näitä on havaittu esimerkiksi Hietasaaressa (Räisänen ym., 2022). Pohjavedenpinnan yläpuoliset hapettuneet karkearakeiset kerrostumat sisältävät usein runsaasti rautaa, mikä ilmenee punaruskean värinä saostumina maa-aineksessa. Rautasaostumia esiintyy vastaavasti myös hienorakeisissakin sedimenteissä sekä moreenissa. Ranta- ja jokikerrostumat on luokiteltu valtakunnallisessa sulfaattikartassa yleensä kohtalaiseen todennäköisyysluokkaan. Oulunsalon harjumuodostuman pohjoispuolisen rantakerrostuma-alueen on arvioitu kuuluvan korkean todennäköisyyden luokkaan.

Hienorakeiset lajittuneet maalajit

Hienorakeiset maalajit savi, hiesu ja hieno hieta ovat syntyneet pääasiassa Litorinamerivaiheen tai Ancyclusjärven aikana. Myös jokikerrostumissa voi olla hienorakeisia kerroksia, lähinnä hienoa hietaa. Maaperäkartta-alueella hienojakoisia sedimenttejä esiintyy pintamaana lähinnä Oulunsalon ja Kempeleen välisellä alueella sekä Oulujoen ympäristössä. Niitä esiintyy lisäksi usein ranta- ja jokikerrostumien sekä turpeen alla.

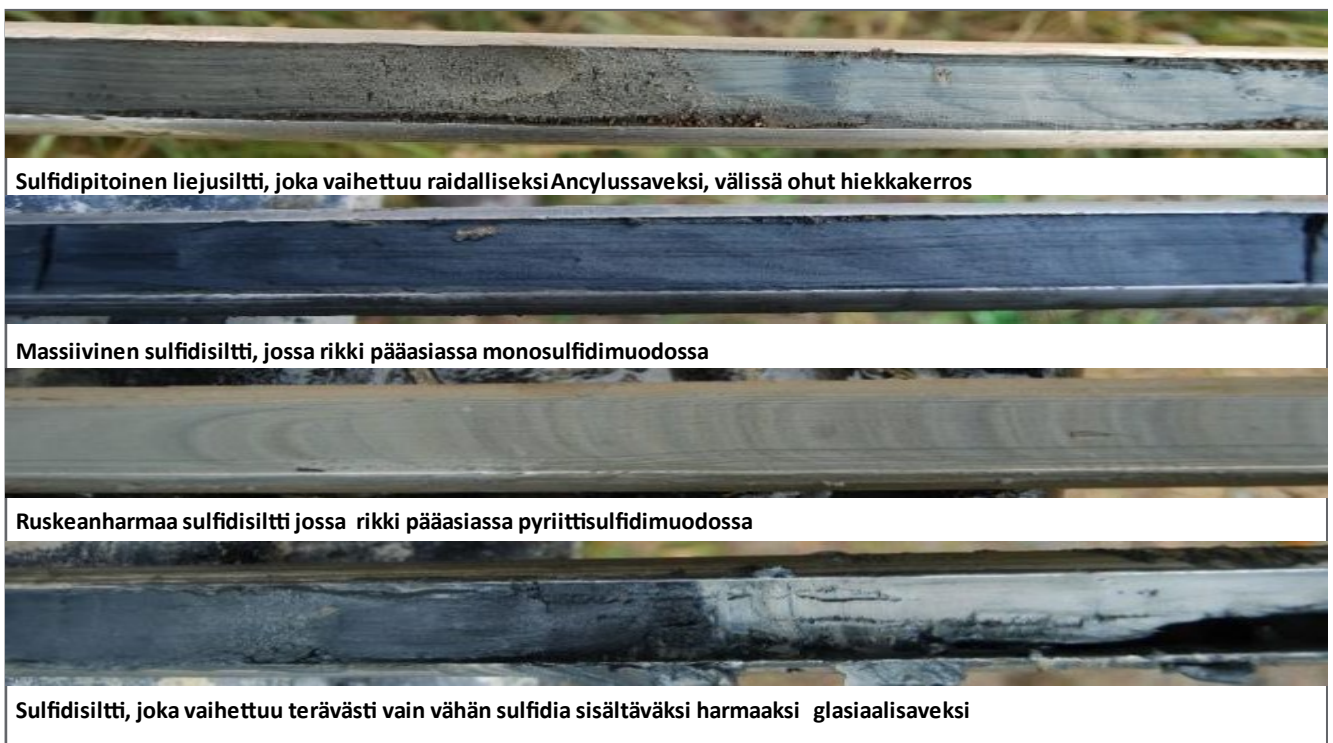
Litorinameren aikaiset kerrostumat ovat usein tasaisen mustan- tai tummanharmaansävyisiä ja toisinaan raidallisia, sulfidiaineksen erottuessa selkeästi värin lisäksi rikinhajun perusteella. Jos sulfidi on pyriittimuodossa, ei happaman sulfaattimaan aistinvaraisia viitteitä välttämättä ole havaittavissa. Esimerkiksi hienorakeinen vihertävän/ruskean harmaa sedimenttikerros voi mittauksissa osoittautua selkeästi happamuutta aiheuttavaksi sulfaattimaamateriaaliksi. Oulun eteläpuolisen alueen hienorakeisten sedimenttien peltojen hapettuneessa pintakerroksessa esiintyy paikoin kellertävää jarosiittia (Kuva 6), joka merkitsee yleensä maa-aineksen maasto-pH:n olevan alle 4. Litorinasedimenttien alla voi esiintyä Ancyclusjärven kerrostuneita savi- tai hiesusedimenttejä, joissa aineksen väri on harmaata. Aineksessa esiintyy kuitenkin usein selkeitä sulfidiraitoja tai -laikkuja. Litorina- ja Ancylussedimenttien välissä on usein ohut kerros karkeampaa maalajia. Alimpana kerroksena ennen moreenia voi esiintyä glasiaalisavea, joka on Oulun seudulla yleensä hieman punertavaa, Muhos-muodostumasta peräisin olevasta aineksesta johtuen. Glasiaalisavet eivät yleensä sisällä happamuutta aiheuttavaa sulfidimateriaalia, samoin liejuisuus eli orgaanisen aineksen määrä on olematon. Ancyclusjärven kerrostumien

1.6.2023

sulfidipitoisuus on selvästi pienempi kuin Litorinakerrostumissa, kuten myös liejuisuus. Kuvassa 7 on esitetty erityyppisten sulfidipitoisten kerrostumien rakenneprofileja.



Kuva 6. Jarosiittia hapettuneessa maa-aineksessa.



Kuva 7. Sulfidipitoisten kerrostumien rakenneprofileja

Oulun alueen hienorakeiset kerrostumat on luokiteltu pääsääntöisesti suureen todennäköisyysluokkaan happaman sulfaattimaan esiintymisen suhteen. Oulunsalon ja Kempeleen alueilla on

1.6.2023

kuitenkin useita kartoituspisteitä, joissa ei todettu esiintyvän happamia sulfaattimaita, hienorakeisesta maaperästä huolimatta. Hienorakeiset kerrostumat ovat yleensä maatalouskäytössä, kuten usein myös karkeaa hietaa olevat alueet.

Turve ja lieju

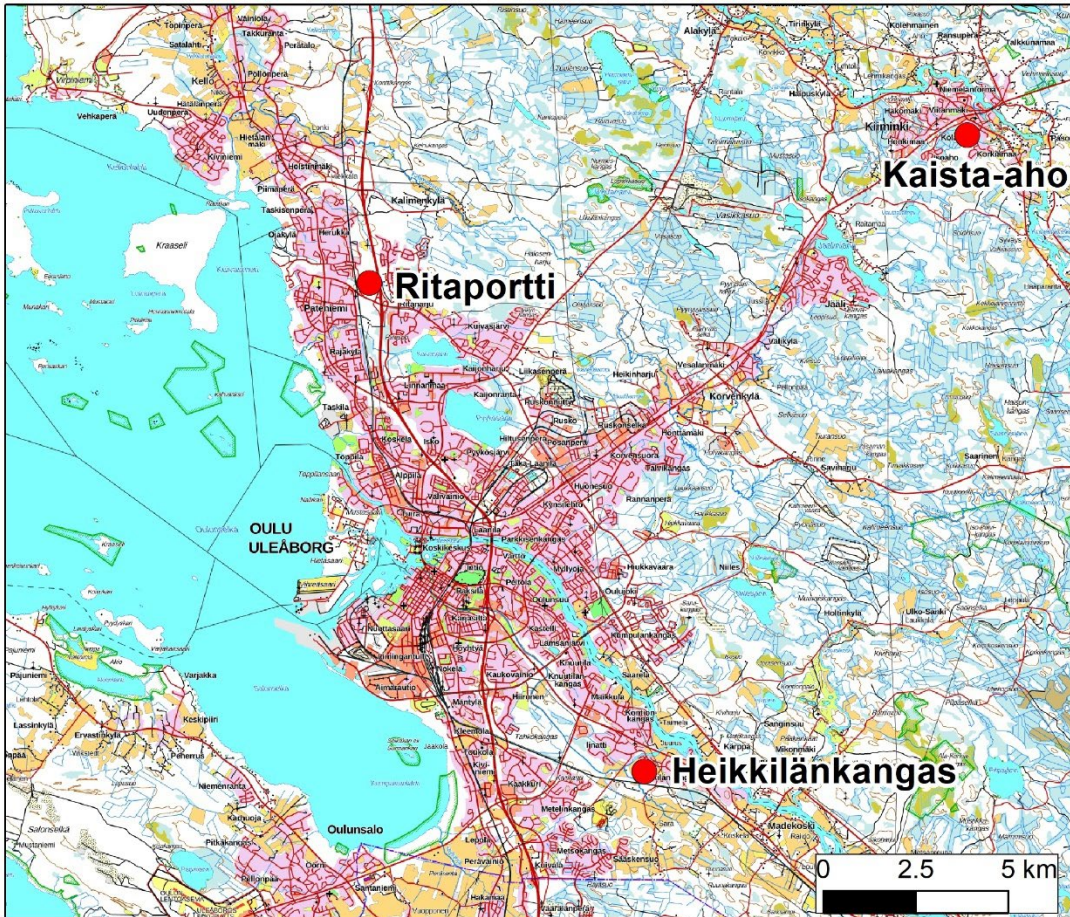
Oulun alueen turpeet eivät valtakunnallisen sulfaattikartoituksen perusteella sisällä yleensä haitallisia pitoisuuksia rikkiä. Paikallista riskiä voi kuitenkin esiintyä pohjaturpeissa, jos turpeen alla on voimakkaasti hapanta sulfaattimaata tai jos suo sijoittuu mustaliuskevyöhykkeelle. Esimerkiksi Kiimingin keskustaajaman lähistöltä on havaittu turpeessa huomattavan korkeita rikkipitoisuuksia (vrt. case Kaista-aho). Jos suot ovat muodostuneet vesialtaan umpeenkasvun kautta, voi turpeen alla esiintyä hyvinkin rikkipitoisia liejukerrostumia, huolimatta siitä, että liejut ovat voineet kerrostua makean veden altaisiin. Esimerkiksi Kiimingin Välimaan kiertotalousalueelta on löytynyt liejukerroksia, joiden pH laski inkubaatiossa jopa alle 2.

4. TUTKIMUKSET PILOTTIALUEILLA

Pilottialueiden tutkimuksilla pyrittiin tarkentamaan happamien sulfaattimaiden yleiskartta-aineistoa. Yksityiskohtaisempien tutkimusten ja detaljikarttojen avulla voidaan paremmin suunnitella kohdekohtaiset happamoitumista ehkäisevät toimenpiteet, sujuvoittaa maarakentamisen hankkeiden etenemistä sekä huomioida paremmin happamien sulfaattimaiden aiheuttamia rakennusteknisiä haittoja. Pilottialueiden näytteille tehtiin perinteisten maasto- ja inkubaatio-pH mittausten sekä kokonaisrikkimääritysten lisäksi uudempana menetelmänä asiditeettianalyysi, jonka avulla voitiin arvioida neutralisointiin tarvittavaa kalkin määrää. Lisäksi turvenäytteille ja liejuisille näytteille tehtiin rikkispesiaatiomääritykset. Kaikki analyysitulokset sekä näytteiden yleistiedot on esitetty liitteessä 1.

Pilottialueiksi valittiin Oulun kaupungin ehdotuksesta Heikkilänkankaan ja Ritaportin suunnittelualueet. Lisäksi ylimääräisenä tutkimuskohteena otettiin mukaan osa Kiimingin Kaista-ahon suunnittelualueesta, jonka turvekerrostumiin liittyi epäily haitallisen korkeista sulfidipitoisuuksista. Kairaustiheys oli 1 piste/ noin 1,5 ha. Tiheys on hieman harvempi kuin Kansallisessa HaSu-oppaassa (Autiola ym., 2022) esitetyn tarkennetun rakennuspaikkakohtaisen tutkimuksen tiheys, mutta tiheämpi kuin esikartoituksen tiheys. Pilottialueiden sijainnit on esitetty kuvassa 8. Lisäksi ne on merkitty karttakuviin 1–4. GTK:n maaperäkartoituksissa ja happamien sulfaattimaiden yleiskartoituksessa on käytetty rakennusteknistä (RT) luokittelua. Pilottialueiden kuvauksessa käytettiin geoteknistä (GEO) luokittelua. Maalajinimien vertailu geoteknisen luokittelun ja rakennusteknisen luokittelun välillä on esitetty taulukossa 1. Maalajin nimen edessä käytettiin sulfidi -etuliitettä, jos aineksessa voitiin havaita selkeitä aistinvaraisia sulfidin tunnusmerkkejä, kuten mustaa väriä tai rikinhajua.

1.6.2023



Kuva 8. Pilottialueiden sijainnit

Taulukko 1. Geoteknisen luokittelun ja rakennusteknisen luokittelun vertailu.

RT-luokitus	GEO-luokitus	Ryhmitys / humuspitoisuus paino-%
pienet kivet, sora	sora	Karkearakeiset maalajit
hiekkä	karkea- ja keskihiekka	
karkea hietä	hieno hiekka	
hieno hietä	karkea siltti	Hienorakeiset maalajit
hiesu	keski- ja hienosiltti	
savi (30 %)	savi	
liejuinen hieno hietä	liejuinen siltti	2–6
liejuhiesu		
liejusavi		
lieju	silttinen lieju	6–20
	savinen lieju	
lieju	lieju	>20

1.6.2023

4.1 Näytteenotto ja maastohavainnot

Kairaukset ja näytteenotto suoritettiin kesä- ja elokuun 2022 aikana GTK:n henkilökunnan toimesta. Näytteenottajalla oli ympäristönäytteenoton sertifiikaatti.

Näytteet otettiin raskaaseen, iskevään akkuporakoneeseen (Milwaukee) kiinnitetyllä maaperä-näytteenottomella, jolla saatiin jatkuvat näytesarjat 100 cm:n osissa. Näytteenottimeen jäi n. 3 cm halkaisijaltaan oleva, lähes häiriintymätön näyte. Kiimingin Kaista-ahon turvenäytteet otettiin ns. venäläisellä turvekairalla. Kairaukset pyrittiin ulottamaan 3 metrin syvyyteen. Kairaukset jouduttiin lopettamaan toisinaan jo aikaisemmin, jos vastaan tuli moreeni tai maalaji oli liian vaikea läpäistä.

Näyte puhdistettiin mahdollisesta häiriintyneestä osasta tai näytteen pintaan tarttuneesta orgaanisesta aineksestä. Näyte kerättiin metallilastalla tai lusikalla minigrip-pussiin, jossa se homogenisoitiin puristelemalla. Pieni osa homogenisoidusta näytteestä siirrettiin muoviseen ChipTray-laatikkoon maasto- ja inkubaatio-pH:n mittauksia varten. Laatikkoon lisättiin hieman deionisoitua vettä, jonka jälkeen näyte sekoitettiin. Maasto-pH mitattiin heti näytteenoton jälkeen maanäytteen mittaukseen soveltuvalla elektrodilla.

Jatkoanalyysiin kerätty minigrip-pussissa oleva näyte pyrittiin toimittamaan mahdollisimman nopeasti kylmiöön tai pakastimeen. Minigrip-pussista puristeltiin ilmat pois ja pussiin tehtiin asianmukaiset näytemerkinnät. Näytteenoton paikannuksessa käytettiin maastotallenninta (Panasonic cf-20), jossa on sisäänrakennettu gps. Näytteenoton aikana tehdyt havainnot ja mittaustiedot syötettiin maastotallentimen sovellusohjelman havainnointilomakkeelle. Näytteistä arvioitiin silmämääräisesti maalaji, liejuisuus, maalajin väri, rakenne ja haju. Pohjavedenpinnan taso pyrittiin myös arvioimaan kairauksen yhteydessä.

Näytteet otettiin pääsääntöisesti 20–30 cm osissa. Jos maalajikerros oli ohuempi tai samassa kerroksessa oli vaihtelua esim. värin suhteen, otettiin näyte lyhyemmässä osassa. Yksi näyte sisälsi vain yhtä maalajia. Pinnan häiriintyneestä multamaasta tai täytemaasta ei aina otettu näytteitä. Kaista-ahon turvekerrostumista otettiin näytteet 50 cm mittaisina, lukuun ottamatta pohjaturvetta, joka otettiin lyhyemmässä osassa. Pohjaturpeen näytteenotto pyrittiin tekemään niin, ettei turpeeseen sekoittunut alapuolista mineraalainesta.

4.2 Maasto-pH ja inkubaatio-pH

Maasto-pH:t mitattiin näytteenoton yhteydessä suoraan maanäytteiden pinnalta soveltuvalla pH-elektrodilla kaikista otetuista näytteistä. Näytteen pintaa kostutettiin tarpeen mukaan deionisoidulla vedellä riittävän kontaktin varmistamiseksi. Maasto-pH:ta voidaan hyödyntää happaman sulfaattimaan tunnistamisessa. Mikäli mineraalimaan pH on alle 4 tai turpeen/liejun pH alle 3, ja alhaisen pH:n voidaan todeta johtuvan sulfidien hapettumisesta, voidaan maaperä luokitella **aktiiviseksi eli todelliseksi happamaksi sulfaattimaaksi**.

pH-inkubaatiossa näytteiden annettiin hapettua Chip Tray -näyterasioissa yli 19 viikon ajan (Creper ym., 2012). Näytteet pidettiin huonelämpötilassa ja luonnonkosteana lisäämällä niihin tarvittaessa deionisoitua vettä. Näytteitä sekoitettiin kolme kertaa inkubaation aikana. Mikäli pH on inkubaation päättyessä alle 4 mineraalimaassa ja alle 3 turpeessa/liejussa, ja pudotusta on tapahtunut vähintään 0,5 yksikköä, luokitellaan maaperä **potentiaaliseksi happamaksi sulfaattimaaksi**. Myös inkubaatio-pH:t mitattiin kaikista otetuista näytteistä.

1.6.2023

Maaperä luokitellaan **para-happamaksi sulfaattimaamateriaaliksi**, mikäli alin maasto-/inkubaatio-pH-taso on mineraalimaissa välillä 4,0–4,5 ja orgaanisessa materiaalissa välillä 3,0–3,5. Para-hapan sulfaattimaa on uusi termi sulfaattimaiden luokituksessa, mutta sen käyttöönotto on katsottu tärkeäksi, sillä esimerkiksi alumiinin liukoisuus lisääntyy jo huomattavasti maan pH ollessa välillä 4–4,5, ja tällä voi olla huomattavia ympäristövaikutuksia. Lisäksi hienorakeisissa mineraalimaissa happamuuskuormitus (asiditeetti) voi olla huomattava, vaikka pH-tasot olisivatkin yli neljän (Visuri ym., 2021). Termi para-hapan sulfaattimaa korvaa termiä pseudohapan sulfaattimaa, jota on käytetty aiemmissa raporteissa (mm. Autiola ym., 2022, Visuri ym., 2021).

4.3 kokonaisrikkipitoisuus

Kokonaisrikkipitoisuus analysoitiin maanäytteistä ICP-OES tekniikalla (kuningasvesiliuotus) ja turveäytteistä rikkianalysointorilla. Analyysit tehtiin Eurofins Labtium Oy:n laboratorioissa Oulussa ja Jyväskylässä.

Kokonaisrikkipitoisuus korreloi hapettumattomassa maaperässä tyypillisesti hyvin sulfidipitoisuuden kanssa ja kokonaisrikkipitoisuutta on Suomessa käytettykin happaman sulfaattimaan tunnistamismenetelmänä. Kokonaisrikkipitoisuus ei yksin anna luotettavaa kuvaa maan happamoitumisesta. Esimerkiksi tietyissä maalajeissa, kuten liejuissa ja turpeessa, kokonaisrikki saattaa esiintyä pääosin orgaanisessa muodossa, joka ei aiheuta vastaavaa happamoitumista. Myös karkearakeisissa maalajeissa rikkipitoisuuden käyttäminen happaman sulfaattimaan määrittämisessä voi olla vaikeaa, sillä karkearakeisten maalajien puskuriokyky on tyypillisesti alhainen, ja jo alhainenkin sulfidipitoisuus voi johtaa merkittävään happamoitumiseen (Mattbäck ym., 2017). Kokonaisrikkipitoisuus on kuitenkin tärkeä tieto arvioitaessa maaperästä mahdollisesti lähtevän happamuuskuormituksen määrää etenkin yhdessä asiditeettimäärityksen kanssa. Tunnistusprojektissa (Visuri ym., 2021) määritettiin kokonaisrikkipitoisuuden happaman sulfaattimaamateriaalin tunnistamisrajoiksi 0,06 % karkeilla maalajeilla ja moreenilla, 0,2 % hienoilla maalajeilla, 0,5 % liejulla (> 20 % LOI) ja 1 % turpeella.

Kokonaisrikkipitoisuus mitattiin 98 näytteestä. Joidenkin kairauspisteiden näytteille ei tehty kokonaisrikkianalyysiä ollenkaan. Enimmillään yksittäisen kairauspisteen kokonaisrikkianalyysit tehtiin neljästä näytteestä. Poikkeuksena olivat Kiimingin näytteet, joista kaikista selvitettiin kokonaisrikkipitoisuudet. Näytteitä valittiin kokonaisrikkianalyysiin kaikista maalajiluokista.

4.4 Hapontuotto / asiditeettimääritys

Näytteiden hapontuottopotentiaali määritettiin inkuboiduista näytteistä asiditeetti-analyysillä GTK:n Kokkolan laboratoriossa. Inkubaation jälkeen mitattu asiditeetti kuvaa luotettavasti maanäytteen luontaista potentiaalista hapontuottokykyä hapetustilanteessa ja korreloi yleisesti hyvin metallien liukoisuuksien kanssa (vertaa Visuri ym., 2021). Asiditeetti määritettiin titraamalla näytteestä tehty vesiliuos natriumhydroksidilla pH-arvoihin 5,5 ja 6,5. Hapon määrä lasketaan emäksen kulutuksen perusteella ja ilmoitetaan yksikössä mmol H+/kg.

Asiditeetti-tulosten tulkinnassa on oleellista huomioida näytteiden orgaanisen aineksen määrä (hehkutushäviön (LOI) perusteella), joka voi aiheuttaa näytteille korkean asiditeetin tausta-arvon, joka ei liity sulfidien hapettumiseen. Orgaanisen aineksen asiditeettiin vaikuttavat erityisesti orgaaniset hapot ja korkea kationinvaihtokyky. Taulukossa 2 kuvataan Tunnistus-projektissa (Visuri ym., 2021) ehdotettujen toimenpiderajojen (rikkipitoisuus) lähtökohtana olevat maalajikohtaiset asiditeetti-arvot.

1.6.2023

Maalaji	Hapontuottopotentiaali (mmol H+/kg, pH 6,5)		
	Pieni	Kohtalainen	Suuri
Turve	<250	250–600	>600
Lieju	<100	100–200	>200
Hienorakeinen materiaali	<20	20–100	>100
Karkearakeinen materiaali	<6	6–20	>20

Taulukko 2. Asiditeettiarvot, joiden perusteella on laadittu rikkipitoisuuksiin perustuvat toimenpiderajat.

4.5 Rikkispesiaatio

Näytteiden sulfidipitoisuus määritettiin tislamalla soveltaen työssä rikkispesiaatiomenetelmää (Dalhem 2016 ja Dalhem ym., 2021). Näytteet laitettiin ilmatiiviiseen pussiin ja pakastettiin hapettumisen ehkäisemiseksi. Hapettumisen välttäminen on tärkeää, sillä hapettuminen saattaa alentaa näytteiden sulfidipitoisuutta. Näytteet sulatettiin GTK:n Kokkolan laboratoriossa ennen siirtoa reaktoriin. Reaktoriin lisättiin 1 g kromijauhetta ja se kytkettiin analyysilaitteeseen. Tämän jälkeen typrikaasun annettiin virrata reaktorin läpi, samalla muodostui hapeton olosuhde. Seuraavaksi lisättiin 10 ml 6 M HCl reaktoriin ja lämpötila säädettiin noin 60 asteiseksi vesihauteen avulla. Suolahappo (HCl) ja kromijauhe reagoivat epäorgaanisten sulfidien (rautasulfidit, alkuainerikki) kanssa, jolloin muodostuu rikkivetyä. Rikkivety saostettiin sinkkisulfidimuotoon alkalisella sinkkiasetaattiliuoksella ja tislauksen jälkeen määritettiin sinkkisulfidin määrä jodometrisesti. Tämä menetelmä antaa totaalisulfidin määrän (total reduced sulfur; TRS). Rikkispesiaatio tehtiin vain Kaista-ahon näytteille.

5 HEIKKILÄNKANGAS

Heikkilänkankaan tutkimusalue sijoittuu Oulujoen eteläpuolelle, Hirosenojan ja Juurusojan yhtymiskohdan kulmaukseen. Alue on pääosin Oulun kaupungin omistamaa peltoaluetta, joka on tällä hetkellä osittain viljelykäytössä (Kuva 9). Alueen pohjois- ja länsiosa rajautuu rakennettuihin asuin-alueisiin. Maanpinnan korkeus vaihtelee välillä 12,5–15 m mpy ja maa viettää loivasti pohjoisesta etelään päin. Heikkilänkankaan tutkimusalueen koko on 41 hehtaaria ja kairauksia tehtiin 26 pisteellä. Näytteitä otettiin kaikkiaan 276 kpl, joista kaikista mitattiin maasto- ja inkubaatio-pH:t. Kokonaisrikki analysoitiin 44 näytteestä ja asiditeetti 142 näytteestä. Kaikki analyysitulokset on esitetty liitteessä 1.

Sitowise Oy on laatinut rakennettavuusselvityksen (Konttinen ym., 2021) Heikkilänkankaan peltojen asemakaava-alueelta. Tähän työhön liittyi sulfaattimaatutkimukset kuudesta kairauspisteestä. GTK:n valtakunnallisen happamien sulfaattimaiden kartoitukseen liittyen alueelle on tehty kaksi kairaus (KADA-2015-4 ja JMAU-2015-38), joissa molemmissa todettiin esiintyvän potentiaalisia happamia sulfaattimaakerroksia. Tutkimusalue on rajattu 1:250 000 kartassa kokonaisuudessaan happamien

1.6.2023

sulfaattimaiden esiintymisessä suuren todennäköisyyden luokkaan. Heikkilänkangas sijaitsee Madekosken karttalehdellä, josta laadittiin maaperäkartta GTK:n toimesta vuonna 2007. Kartta on julkaistu vain digitaalisena ja se voidaan nähdä esimerkiksi GTK:n maankamara-palvelimesta <https://gtdata.gtk.fi/maankamara/>. Kartalle ei ole laadittu selitysosaa.



Kuva 9. Heikkilänkankaan peltoalue

5.1 Maaperä ja kerrosjärjestys

Heikkilänkangas on osa laajempaa hienorakeisten sedimenttien allasta, joita esiintyy yleisesti Oulujoen lähiympäristössä. Allasta ympäröivät melko jyrkkäreunaiset moreenimäet, jotka on tulkittu maaperäkartoituksessa osittain kumpumoreenimuodostumiksi. Heikkilänkankaan länsi- ja pohjoisreuna rajautuu suoraan moreenikumpuihin. Tutkimusalueen ympäristön tasaisten alueiden pinta-kerroksena esiintyy myös laajalti hienoa hiekkaa.

Kairauspisteillä oli peltomaille tyypillisesti pintamaana lähes kauttaaltaan multamaata. Alueen luoteisosassa multamaa oli hyvin turvepitoista ja kahdella pisteellä saravaltainen turve esiintyi multamaan alla omana kerroksenaan. Multamaan paksuus oli pääasiassa noin 0,2–0,4 metriä ja turvekerroksen paksuus oli enimmillään 0,3 metriä. Kahdella pisteellä esiintyi pinnassa hyvin ohut kerros lähes maatumatonta kangasturvetta. Eri maalajien vaihtelevuus oli kairausprofiileissa varsin suurta. Yleensä multamaan alla esiintyi ruskeanharmaita tai rautasaostumia sisältäviä punaruskean harmaita silttikerroksia, jotka vaihtuivat pohjavedenpinnan alapuolella tumman- tai mustanharmiksi sulfidisilteiksi. Vaihtuminen saattoi olla hyvinkin terävarajainen (Kuva 10) Punaruskea väri aiheutuu rautasaostumista. Alueen keskiosien hapettuneessa kerroksessa esiintyi myös kellertävää jarosiittia. Sulfidisiltti oli usein raidallista ja siinä erottui selkeä rikinhaju. Silttikierrostumien välissä esiintyi paikoin ohuehkoja hienohiekkakerroksia. Alimmaisena kerroksena esiintyi paikoitellen harmaita tai punaharmaita savi- tai silttikerroksia. Kairaus päättyi moreeniin vain yhdellä pisteellä (JMAU-2022-57).

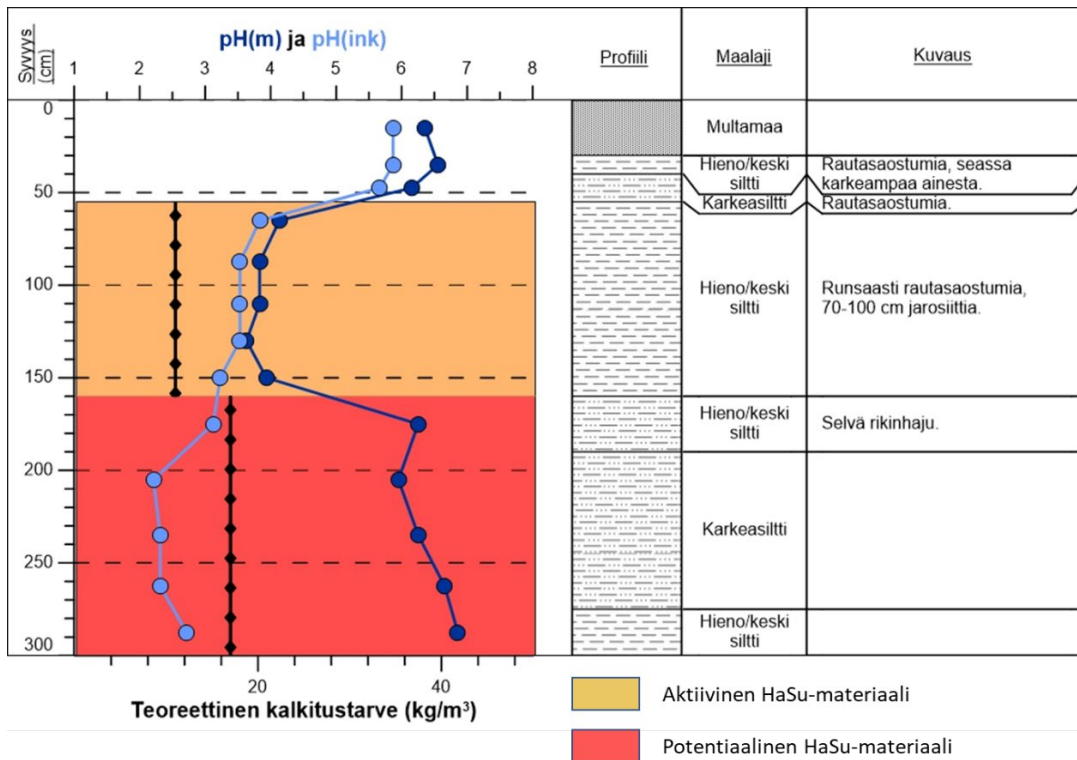
1.6.2023

Alueen itäosan kerrosprofiili oli hieman erilainen kuin muualla alueella. Siellä multamaan alla oli karkeampaa ainesta, eli keski- tai hienohiekkaa noin puolen metrin kerroksena. Tämän karkearakeisen kerroksen alapuolella esiintyi siltti- tai sulfidisilttikerroksia 3 metriin saakka, lukuun ottamatta pisteitä JMAU-2022-51 ja 53, joissa pohjakerroksena oli savea. Kartta Heikkilänkankaan kairausten maalajikerroksista on esitetty liitteessä 2. Maalajien lyhenteiden selitykset ovat liitteessä 6. Kuvassa 11 esitetään profiilipiirros Heikkilänkankaan alueelle tyypillisestä maaprofiilista.



Kuva 10. Hapettuneen punaruskean silttikerroksen terävä vaihtuminen lähes mustaan pelkistyneeseen silttikerrokseen pisteellä JMAU-2022-60

1.6.2023



Kuva 11. Heikkilänkankaan alueelle tyypillinen maaprofiili.

Heikkilänkankaan silttikerrokset ovat muodostuneet pääosin Litorinamerivaiheen aikana. Alimmat raidalliset siltti- tai savikerrokset ovat voineet kerrostua jo Ancyclusjärvivaiheen aikana. Pohjakerroksena toisinaan tavattu harmaa- tai punaharmaa savikerros on todennäköisesti glasiaalisavea ja se on kerrostunut jäätikön sulamisvaiheessa. Itäosan pinnan karkeat kerrokset ovat levinneet Litorinavaiheen lopussa rantahuhtoumina aikaisemmin kerrostuneiden sedimenttien päälle. Aines on peräisin ympäröivien moreenimaiden pinnalta. Alueen luoteis- ja länsiosissa, lähellä Hirosenojaa tehdyissä kairauksissa havaittiin pintaosissa olevan epämääräisesti lajittunutta ja jonkin verran orgaanista ainesta sisältäviä karkeasilttikerroksia. Nämä ovat tulvakerrostumia ja syntyneet joki-toiminnan seurauksena. Ramboll Oy:n rakennettavuusselvityksessä havaittiin lajittuneiden kerrosten ulottuvan paikoin lähes 10 metrin syvyyteen, jossa kairaukset päättyivät tiiviiseen moreeniin. Kallionpinnasta ei ole havaintoja. Pohjavedenpinnan tasossa on todennäköisesti voimakasta kausittaista vaihtelua ja pohjavesi voi käydä keväisin lähellä pintaa. Pohjavedentasa hyvin kuvaava hapettumisyyvyys oli kairausten aikaan keskimäärin 0,8–1,2 metrin välillä. Keskiosassa tutkimusalueetta hapettumisyyvyys oli paikoin lähes kahdessa metrissä.

5.2 Maasto-pH ja inkuboitu pH

Multamaan maasto-pH vaihteli välillä 3,9–7,2 ja inkuboitu pH välillä 3,7–7,0. Multamaat sisältävät runsaasti kasviperäistä ainesta, joten luontaisten orgaanisten happojen vaikutuksesta pH voi tippua helposti alle neljän. Multamaa-ainekseen ei vaikuta liittyvän happamoitumisriskiä. Turvenäytteiden maasto-pH-arvot vaihtelivat välillä 3,5–5,5 ja inkubaatio-pH välillä 3,1–5,6. Alimmat arvot olivat kahden

1.6.2023

kairauksen pintaosan lähes maatumattomissa kangasturpeissa. Multamaan alla olevien saraturvekerrosten pH-arvot olivat kokonaisuudessaan yli viiden. Myöskään turvekerrostumiin ei voida katsoa liittyvän happamoitumisriskiä.

Hienojakoisten mineraalimaanäytteiden (siltit, sulfidisiltit, savi ja sulfidisavi) maasto-pH vaihteli välillä 3,6–7,8 ja inkuboitu pH välillä 2,0–7,3. Karkearakeisten mineraalimaanäytteiden (hieno- ja keskihiekka) maasto-pH vaihteli välillä 3,7–7,3 ja inkuboitu pH välillä 2,1–7,1. Näytteistä kolme oli moreenia. Näiden maasto-pH vaihteli välillä 5,5–6,3 ja inkuboitu pH välillä 3,7–5,6.

Todelliseen happamaan sulfaattimaanahan liittyviä, alle neljän olevia maasto-pH arvoja mitattiin pääasiassa hieno/keskisiltti-kerroksista. Karkeaa silttiä tai hienoa hiekkaa olevia näytteitä, joiden maasto-pH oli alle 4, oli yhteensä 4 kappaletta. Syvimmillään todellista hapanta sulfaattimaata tavattiin 1,6 metrissä pisteellä JMAU-2022-60. Hapettuneissa maakerroksissa, joissa oli alhainen maasto-pH, esiintyi lähes aina punaruskeita rautasaostumia ja toisinaan kellertävää jarosiittia.

Inkubaatioissa pH laski alle neljän peräti 184 mineraalimaanäytteessä, kun mineraalimaanäytteiden kokonaismäärä Heikkilänkankaalla oli 247. Lisäksi 21 näytteen inkuboitu pH-arvo oli välillä 4,0–4,4, joten nämä ainekset voidaan luokitella parahypersulfidimateriaaliksi. Alle neljän olevia inkubaatio-pH arvoja havaittiin varsin tasaisesti kaikissa maalajeissa, kuitenkin niin, että kaikkein alimpia, alle 2,5 olevia inkubaatio-pH arvoja oli lähinnä silteissä. Hieman erikoisesti alimpia arvoja ei esiintynyt maalajeissa, joissa käytettiin sulfidi- etuliitettä. Tämä viittaa sulfidin olevan alhaisimpien inkubaatio-pH:n näytteissä pääasiassa pyriittimuodossa. Joissakin raidallisissa sulfidisavissa inkubaatio-pH oli yli 4, joten aines on todennäköisesti kerrostunut Ancyclusjärvivaiheen aikana. Pohjaosissa esiintyneissä punertavissa glasiaalisavissa inkubaatio-pH oli yleensä yli 5, joten niissä happamoitumisriski on olematon. Myös alueen luoteisosan jokikerrostumia edustavien pintakerrosten pH-lukemat olivat varsin korkeita, eli niihin ei vaikuta liittyvän happamoitumisriskiä. Moreenissa inkubaatio-pH laski hieman alle neljän kahdessa näytteessä pisteellä JMAU-2022-57. On mahdollista, että moreeniin on suotautunut sulfidiainesta ylempänä olevista sulfidipitoisista silttikerroksista. Selkeästi hapettuneissa (maasto-pH < 4) kerroksissa pH:n lasku inkubaatioissa oli maalajista riippumatta hyvin vähäistä. Yleensä laskua tapahtui 0,1–0,2 yksikköä.

Heikkilänkankaan happamien sulfaattimaiden pH-arvoihin perustuva tarkennettu esiintymiskartta on liitteessä 3. Karttaan on merkitty esiintymisen todennäköisyysrajauksen lisäksi happaman sulfaattimaakerroksen alkamissyvyys 0,1 metrin tarkkuudella sekä aktiivisen happaman sulfaattimaan esiintymisalueet. Tarkennetusta esiintymiskartasta muodostui lähes identtinen verrattuna saman alueen leikkaukseen valtakunnallisesta happamien sulfaattimaiden yleiskartasta.

5.3 Kokonaisrikkipitoisuus

Kokonaisrikkipitoisuus määritettiin 44 näytteestä. Multamaista ja turpeista ei tehty määrytyksiä. Taulukossa 3 on esitetty hienorakeisten ja karkearakeisten maalajiryhmien rikkipitoisuuksien minimi ja maksimiarvot sekä keskiarvo sekä hapettuneille, että pelkistyneille näytteille. Taulukossa ovat mukana myös vastaavat arvot maasto-pH:lle ja inkubaatio-pH:lle niiden näytteiden osalta, jotka olivat mukana kokonaisrikkimäärityksessä. On huomattava, että otanta oli varsinkin karkearakeisten näytteiden osalta pieni, joten keskiarvolukemat ovat lähinnä suuntaa antavat. Moreeni on yhdistetty karkearakeisiin maalajeihin.

1.6.2023

Maalajiryhmä	Maasto-pH			Inkubaatio-pH			Kokonaisriikki (%)		
	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka
Hapettunut hienorakeinen maalaji (n=12)	3,6	7	4,5	2,3	6,9	4,2	0.01	0.39	0.12
Pelkistynyt hienorakeinen maalaji (n=25)	4,5	7,7	6,6	2	5,2	3,1	0.04	2.06	0.47
Hapettunut karkearakeinen maalaji (n=4)	4,2	5,5	4,6	3	5,6	4,3	0.003	0.06	0.02
Pelkistynyt karkearakeinen maalaji (n=2)	4,4	7	5,7	2,1	2,6	2,4	0.06	0.53	0.30

Taulukko 3. Rikkipitoisuusjakaumat eri maalajiryhmissä sekä rikkipitoisuuksia vastaavat pH-lukemat.

Hienorakeisten maalajien happaman sulfaattimaan tunnistusrajaksi on arvioitu 0,2 % (Visuri ym., 2021). Heikkilänkankaan hapettuneiden hienorakeisten kerrostumien kokonaisrikkipitoisuuden keskiarvo oli 0,12 %. Alle neljän olevia maasto-pH lukemia mitattiin yli puolesta näytteessä, joten sulfaattinesta on selkeästi huuhtoutunut pois hapettuneesta kerroksesta. Yli 0,2 % kokonaisrikkipitoisuuksia oli kolmessa näytteessä. Näissä havaittiin esiintyvän jarsiittisaostumia.

Pelkistyneiden hienorakeisten kerrostumien kokonaisrikkipitoisuuden keskiarvo oli 0,47 %, johon verrattuna on inkubaatio-pH lukemien keskiarvo 3,1 hyvin johdonmukainen. 25 analysoidusta näytteestä 21:ssä oli kokonaisrikin määrä yli 0,2 %. Näytteistä 21 oli silttejä ja 4 savea. Savinäytteissä vain yhdessä kokonaisrikkipitoisuus oli yli 0,2 % ja siinäkin niukasti.

Hapettuneiden karkearakeisten näytteiden (4 kpl) kokonaisrikkipitoisuudet olivat hyvin alhaisia, vaikka maasto-pH lukemat edustivat paramateriaalin lukemia. Piste JMAU-2022-55 hienohiekkänäyte oli poikkeus, siinä kokonaisrikin määrä oli selvästi muita suurempi ylittäen hieman tunnistusrajan 0,06 %. Tämän näytteen inkubaatio-pH oli 3,0.

Pelkistyneitä karkearakeisia näytteitä oli vain kaksi kappaletta. Molemmat olivat hienoa hiekkaa. Toisessa kokonaisrikin määrä oli hieman yli tunnistusrajan (0,06 %), mutta pisteen JMAU-2022-64 pohjaosan hienohiekkakerroksessa kokonaisrikin määrä oli 0,53 %, mikä on melko huomattava lukema karkearakeisille kerrostumille. Inkubaatioissa kyseisen näytteen pH laski 2.1:een.

5.4 Hapontuotto / asiditeettimääritys

Hapontuottopotentiaali (asiditeetti) määritettiin pääasiassa niistä näytteistä, jotka oli tunnistettu maasto-pH:n tai pH-inkubaation perusteella happamaksi sulfaattimaamateriaaliksi (myös para) ja/tai joista oli määritetty kokonaisrikkipitoisuus. Alueelta valikoitiin myös 4 profiilia, joista analysoitiin asiditeetit koko näytesarjasta. Asiditeetti määritettiin yhteensä 142 näytteestä, joista 121 oli hienorakeista maalajia, 17 karkearakeista maalajia, 1 turvetta ja 3 multamaata. Näytekohtaiset asiditeettitulokset esitetään liitteessä 1.

Hienorakeisten näytteiden asiditeettien keskiarvo oli 146 mmol H+/kg ja enimmäisarvo 781 mmol H+/kg. Kohtalaisen riskiluokitusrajan, 20 mmol H+/kg (katso taulukko 2), hienorakeisista näytteistä ylitti 109 näytettä ja vain kuudessa näytteessä hapontuottopotentiaali oli pieni (alle 20 mmol H+/kg). Kyseisiä näytteitä ei myöskään ollut tunnistettu HaSu-materiaaliksi pH-mittausten perusteella. Suureen hapontuottoluokkaan (yli 100 mmol H+/kg) luokittui hienorakeisista näytteistä yhteensä 57 näytettä ja ne olivat pääasiassa hienoa/keskisilttiä.

Karkearakeisten näytteiden asiditeettien keskiarvo oli 28 mmol H+/kg ja enimmäisarvo 165 mmol H+/kg. Vain yhden näytteen hapontuottopotentiaali oli pieni (alle 6 mmol H+/kg). Kyseinen näyte oli hienoa hiekkaa ja edusti hapettunutta kerrosta, josta happamuus on mahdollisesti osin jo

1.6.2023

huuhtoutunut pois. Kohtalaiseen hapontuottopotentiaalin luokkaan luokitettiin 11 näytettä ja suureen luokkaan 5 näytettä. Suurin arvo, 165 mmol H⁺/kg, on poikkeuksellisen korkea arvo karkearakeisille HaSu-maille. Näyte oli kuitenkin varsin ohuesta (20 cm) hienohiekkakerroksesta, jonka ylä- ja alapuolella oli voimakkaasti happamoituvaa hienorakeista maata (hieno/keskisiltti). Hienohiekkakerroksen happamuus voi olla osin peräisin näistä kerroksista suotautuneesta/kulkeutuneesta rikistä.

Multamaanäytteitä ei tunnistettu HaSu-materiaaleiksi ja niiden asiditeetti oli 13 ja 23 mmol H⁺/kg välillä. Kyseisten näytteiden hapontuottopotentiaali voidaan luokitella pieneksi. Myöskään turvenäytettä ei tunnistettu HaSu-materiaaliksi, mutta sen asiditeettiarvo (847 mmol H⁺/kg) ylitti selvästi suuren hapontuottoluokan raja-arvon (250 mmol H⁺/kg).

Hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen asiditeettien välillä ei ollut yleisesti suurta eroa. Usein hapettuneissa kerroksissa rikkipitoisuus ja jäljellä oleva happomäärä voivat olla pienempiä happamuuden huuhtoutumisen vuoksi. Heikkilänkankaalla hapettuneen ja hapettumattoman kerroksen erojen arvioimista vaikeuttaa tosin se että, profiileissa on tyypillisesti useita eri maalajikerroksia, joiden poikkeavat hapontuottopotentiaalit ovat todennäköisesti määräävä tekijä eroissa.

Heikkilänkankaan maaperän voidaan todeta olevan yleisesti voimakkaasti happoa tuottavaa ja luokituvan suurimpaan hapontuoton riskiluokkaan. Käytännössä kaikilla tutkimuspisteillä, lukuun ottamatta pistettä JMAU-2022-71, voidaan hapontuoton tulkita olevan suurta jollakin syvyydellä. Osalla pisteistä hapontuottopotentiaali määritettiin vain yksittäisistä näytteistä, mutta pH tulosten perusteella ja vertailemalla läheisten pisteiden tuloksiin, voidaan niilläkin tulkita olevan voimakkaasti happamoituvia kerroksia.

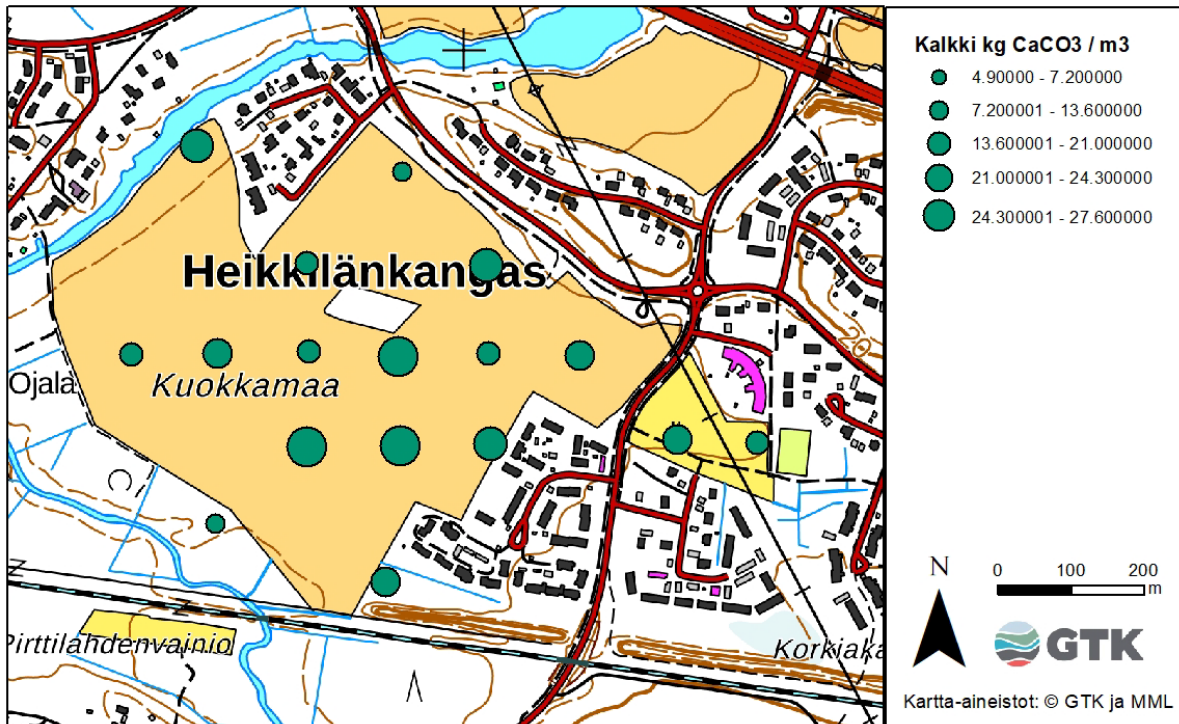
5.5 Kalkitustarve

Näytteiden neutralointiin vaadittava kalkkimäärä laskettiin asiditeettiarvojen perusteella. Kalkkimäärä laskettiin vain näytteille, joiden hapontuotto luokiteltiin kohtalaiseksi tai suureksi. Kalkin käytön tarpeellisuutta voitaisiin myös arvioida toimenpiderajojen perusteella (katso Visuri ym., 2021), mutta tässä työssä kaikista näytteistä ei määritetty kokonaisrikkipitoisuutta ja tarve arvioidaan hapontuottoluokkien perusteella. Kalkkimäärät ilmoitetaan yksikössä kg CaCO₃/m³ tuoretta maata ja laskennassa on käytetty turvakerrointa 2 epähomogeenisen sekoittumisen aiheuttaman epävarmuuden minimoimiseksi.

Näytekohtaiset kalkkimäärät esitetään liitteessä 1. Käytännössä kalkkimäärät voidaan laskea analysoitujen näytteiden keskiarvona kaivuusyvyydelle saakka tai kerroksittain, mikäli lajitteleva kaivuu on mahdollista. Kuvassa 11 esitettyssä Heikkilänkankaalle tyypillisen maaprofiilin yhteyteen on merkitty myös neutralointiin vaadittava kalkkimäärä.

Hienorakeisten näytteiden (106 kpl) neutralointiin vaaditaan keskimäärin 18,8 kg CaCO₃/m³ ja enimmillään 92,2 kg CaCO₃/m³. Karkearakeisten näytteiden (16 kpl) neutralointiin vaadittava kalkkimäärä oli keskimäärin huomattavasti pienempi (ka 4,2 CaCO₃/m³), mutta enimmäismäärä oli kuitenkin varsin suuri (23,4 CaCO₃/m³). Suurin kalkkimäärä liittyy kuitenkin yksittäiseen näytteeseen ja 20 cm paksuiseen hienohiekkakerrokseen, jota käytännössä ei voida kaivaa ja neutraloida erikseen. Multamaa- ja turvenäytteille ei laskettu kalkkimääriä, sillä niitä ei tunnistettu happamaksi sulfaattimaamateriaaliksi. Kuvassa 12 esitetään Heikkilänkankaan kairapistekohtainen kalkitustarve. Tarve on laskettu näytteiden kalkkimäärien keskiarvona (noin 0–3 m syvyysvälillä). Kartalla ei esitetä pisteitä, joista kalkkimäärä on laskettu vain yhdestä näytteestä.

1.6.2023



Kuva 12. Kairapistekohtaisesti lasketut kalkkimäärät Heikkilänkankaalla. Arvot ovat näytesarjojen keskiarvoja (noin 0–3 m)

6 RITAPORTTI

Ritaportin tutkimusalue sijaitsee Ritaharjun ja Pateniemen kaupunginosien välissä, Pohjantien länsipuolella. Alue on pääosin mäntyvaltaista metsikköä tai soistumaa, jossa kulkee runsaasti kävely- polkuja. Alueen luoteisosassa on harvaan rakennettu pientaloalue. Maanpinnan korkeus vaihtelee välillä 10–15 m mpy. Ritaportin tutkimusalueen koko on 57 hehtaaria ja kairauksia tehtiin 30 pisteellä. Kairauksissa ei päästy aina määräsyvyyteen (3 m) moreenin tai liian tiiviin hiekkakerroksen takia. Näytteitä otettiin kaikkiaan 307 kpl, joista kaikista mitattiin maasto- ja inkubaatio-pH:t. Kokonaisrikki analysoitiin 34 näytteestä ja asiditeetti 141 näytteestä. Kaikki analyysitulokset on esitetty liitteessä 1.

Oulun kaupunki on teettänyt lukuisia maaperäkairauksia alueelle. Nämä ulottuivat enimmillään 11 metrin syvyyteen maanpinnasta. GTK:n valtakunnallisen happamien sulfaattimaiden kartoitukseen liittyen alueelle on tehty yksi kairaus (SSMA-2015-403). Kyseisessä kairauksessa ei havaittu happamoituvia sulfidikerroksia. Ritaportti sijaitsee Kellon karttalehdellä, josta laadittiin maaperäkartta GTK:n toimesta vuonna 1981. Kartta on julkaistu digitaalisena ja paperisena (Häikiö 1981). Se voidaan nähdä esimerkiksi GTK:n maankamara-palvelusta <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>. Kartalle ei ole laadittu selitysosaa.

6.1 Maaperä ja kerrosjärjestys

Maaperäkartoituksen mukaan Ritaportin alueen pintakerros metrin syvyyteen on pääasiassa hienoa hiekkaa tai keskihiekkää. Alueen pohjoisosassa on drumliinityyppinen, suuntautunut moreenimuodostuma, joka kulkee mannerjäätikön liikesuunnan mukaisesti länsiluoteesta itäkaakkoon. Pienempi

1.6.2023

moreenialue sijoittuu alueen kakkoisosaan. Alueen itälaidalla esiintyy turvekerrostumia ohuena peittävänä kerroksena hienohiekka-alueiden pinnalla.

Tämän työn kairauksissa havaittiin pintamaan olevan turvetta tai toisinaan multamaata. Nämä kerrokset olivat kuitenkin hyvin ohuita ja turve oli yleensä lähes maatumatonta kangasturvetta/humusmaata. Pisteillä JMAU-2022-31 ja JMAU-2022-32 turvekerros oli jonkin verran paksumpi. Turve oli rahkavaltaista. Pinnan jälkeen maaperä oli tyypillisesti karkeaa tai hienoa hiekkaa niin, että karkeahiekka oli yleisempi pintaosissa. Pohjalla tuli monin paikoin vastaan moreeni, joka oli pääsääntöisesti hiekkamoreenia. Siltti- tai savikerroksia esiintyi vain muutamassa kairauksessa ohuena kerroksena moreenin päällä.

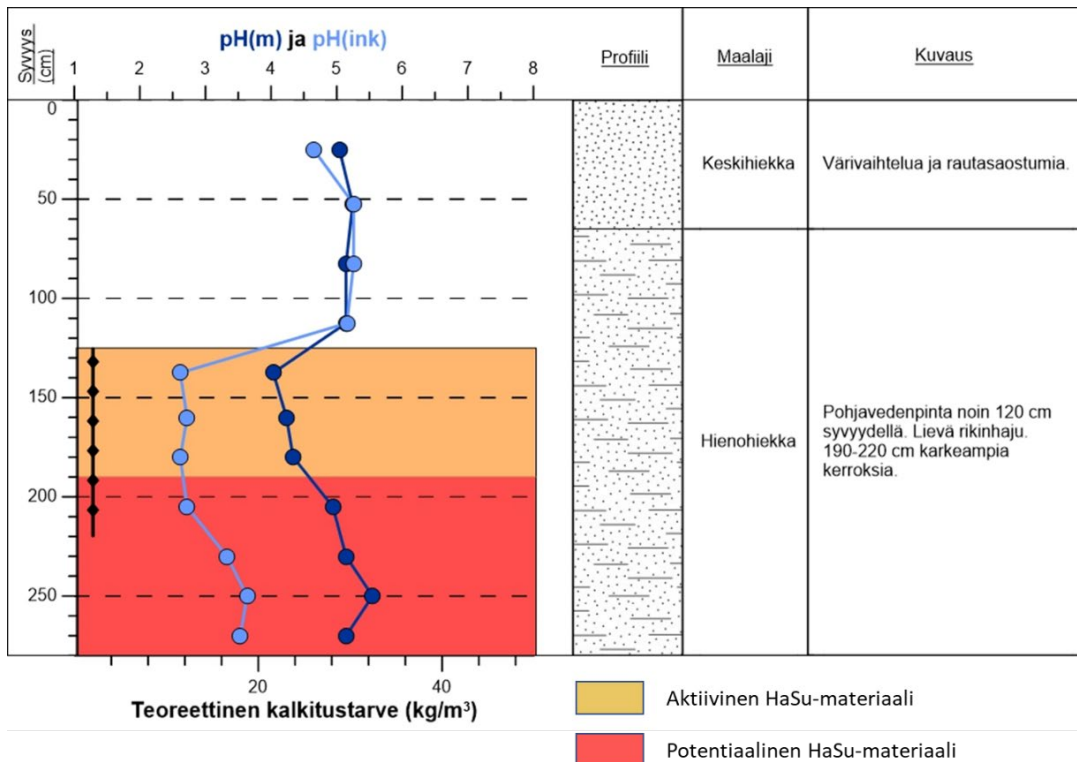
Kairausten perusteella todettiin maaperäkartan olevan paikoin virheellisen, lähinnä moreeni- ja turvekerrostumarajausten suhteen. Kuviot, jotka maaperäkartassa oli rajattu olevan pintamaaltaan moreenia, olivat todellisuudessa selvästi pienempiä. Pohjoisen suuntautuneen moreenialueen kumpumainen muoto näkyy kuitenkin selvästi maastossa ja kartalla, vaikkakin se on suurelta osin hiekkakerrosten verhoilema. Myös 0,4–0,9 metrin paksuiset, peittäviä turvekerrostumia esittävät alueet olivat myös aiemmin esitettyä pienempiä.

Pintaosien hapettuneissa hiekkakerroksissa esiintyi hyvin yleisesti punaruskeita rautasaostumia. Jarosiittia ei havaittu. Pelkistyneissä kerroksissa saostumat hävisivät ja aineksen väri muuttui harmaaksi tai ruskeanharmaaksi. Paikoitellen esiintyi sulfidiainekseen viittaavaa tummaa värisävyä, lievää rikinhajua, heikkoa raidallisuutta sekä tummia sulfidiläikkiä tai pirsteitä. Aistinvaraiset viitteet olivat kuitenkin selkeästi vähäisemmät kuin Heikkilänkankaan pilottialueella. Paikoin pelkistyneissä hiekkakerroksissa esiintyi punaista/viininpunaista värisävyä, joka todennäköisesti on peräisin Muhos-muodostuman sedimenttikivistä. (Kuva 13). Moreeniaines oli yleensä väriltään ruskean harmaata tai punertavan ruskeanharmaata. Moreeniaineksessa ei havaittu sulfidin tunnusmerkkejä. Kartta Ritaportin kairausten maalajikerroksista on esitetty liitteessä 4. Maalajien lyhenteiden selitykset ovat liitteessä 6. Kuvassa 14 esitetään piirretty profiili Ritaportin alueelle tyypillisestä maaprofiilista.



Kuva 13. Pelkistyneessä hiekkakerroksessa esiintyvää punasävyistä Muhos-muodostuman ainesta kairauspisteellä JMAU-2022-39

1.6.2023



Kuva 14. Ritaportin alueelle tyypillinen maaprofiili.

Ritaportin alueen pohjoisosassa kulkeva suuntautunut moreenimuodostuma on syntynyt virtaavan mannerjäätikön alla, aivan viimeisimmän jäätikkövaiheen lopussa. Muutoin lajittuneiden kerrostumien alla oleva moreeniaines on virtaavan jäätikön jonkin verran aikaisemmin kerrostamaa pohjamoreenia, joka vaikutti olevan varsin vähäkivistä. Pohjamoreenipatjan pintaosa saattoi olla paikoin huuhtoutunut muistuttaen ainekseltaan soraista hiekkaa. Maaperän pintaosa muodostuu pääasiassa Litorinavaiheen loppuvaiheessa syntyneistä hiekkaisista rantakerrostumista, joiden paksuus on kairausten perusteella paikoin yli kolme metriä. Rantakerrostumahiekkoihin on voinut sekoittua Litorinamerestä peräisin olevaa ainesta, mikä selittää hiekka-aineksesta tehdyt aistinvaraiset havainnot sulfidin olemassaolosta.

Alueen länsiosassa on joitakin pohjois–eteläsuuntaisia, kaarevia rantavalleja, joiden aines on pääasiassa keskihiekkaa. Kairauksissa havaitut hienorakeiset kerrostumat vaikuttivat olevan lähinnä jäätikköperäisiä tai ehkä Ancyclusjärveen kerrostuneita. Pohjatutkimusaineiston perusteella hienorakeisia sedimenttejä esiintyy kuitenkin paikoin tämän tutkimuksen kairausten päättymissyvyyden jälkeen (kts. Hornborg ym., 2023). Pohjavedenpinta vaihteli alueella keskimäärin 0,6–1,2 metrin välillä.

6.2 Maasto-pH ja inkuboitu pH

Multamaan maasto-pH vaihteli välillä 4,5–4,8 ja inkuboitu pH välillä 4,3–5,0. Multamaa-ainekseen ei voida katsoa liittyvän happamoitumisriskiä. Turvenäytteiden maasto-pH-arvot vaihtelivat välillä 3,3–4,6 ja inkubaatio-pH välillä 3,3–4,9. Myöskään turvekerrostumiin ei liity happamoitumisriskiä. Turvenäytteiden kohtalaisen alhaiset maasto-pH-arvot viittaavat lähinnä turpeen olevan rahkaturvevaltaista. Rahkaturpeella on eri pääturvelajeista kaikkein alhaisimmat luontaiset pH-arvot.

1.6.2023

Hienojakoisia mineraalimaanäytteitä oli vähän (8 kpl). Näiden maasto-pH vaihteli välillä 6,2–6,9 ja inkuboitu pH välillä 2,4–4,9. Karkearakeisten mineraalimaanäytteiden (hieno-, keski- ja karkeahiekka) maasto-pH vaihteli välillä 3,7–6,7 ja inkuboitu pH välillä 2,4–6,2. Näytteistä 12 oli moreenia. Näiden maasto-pH vaihteli välillä 4,4–7,2 ja inkuboitu pH välillä 3,3–7,4.

Todelliseen happamaan sulfaattimaahan liittyvä, alle neljän oleva mineraalimaan maasto-pH:n arvo mitattiin vain yhdestä, keskihiekkaa edustaneesta näytteestä pisteeltä JMAU-2022-27. Hapettuneissa maakerroksissa esiintyi hyvin usein punaruskeita rautasaostumia, vaikka maasto-pH lukemat jäivät korkeiksikin.

Inkubaatioissa pH laski alle neljän 131 mineraalimaanäytteessä, kun mineraalimaanäytteiden kokonaisuusmäärä Ritaportissa oli 293. Lisäksi 42 näytteen pH-arvo oli välillä 4,0–4,4, joten nämä ainekset voidaan luokitella parahypersulfidimateriaaliksi. Inkubaatioissa pH laski alle lukeman 4 hienorakeisista näytteistä 56 %, karkearakeisista näytteistä 44 % ja moreeninäytteistä 48 %. Hienorakeisissa näytteissä alhaisia inkubaatio-pH-arvoja oli lähinnä vain karkeassa siltissä. Karkearakeisissa maalajeissa suhteellisesti eniten alhaisia inkubaatio-pH-arvoja oli hienossa hiekassa. Karkeassa hiekassa inkubaatio-pH-arvot pysyivät kokonaisuudessaan yli neljän. Ritaportin happamien sulfaattimaiden tarkennettu esiintymiskartta on esitetty liitteessä 5. Karttaan on merkitty esiintymisen todennäköisyysrajausten lisäksi happaman sulfaattimaakerroksen alkamissyvyys 0,1 metrin tarkkuudella sekä aktiivisen happaman sulfaattimaan esiintymisalue. Tarkennetusta esiintymiskartasta muodostui selvästi erilainen verrattuna saman alueen leikkaukseen valtakunnallisesta happamien sulfaattimaiden yleiskartasta.

6.3 Kokonaisrikkipitoisuus

Kokonaisrikkipitoisuus määritettiin 34 näytteestä. Multamaista ja turpeista ei tehty määrytyksiä. Taulukossa 4 on esitetty hienorakeisten ja karkearakeisten maalajiryhmien sekä moreenin rikkipitoisuuksien minimi- ja maksimiarvot sekä keskiarvo sekä hapettuneille, että pelkistyneille näytteille. Taulukossa ovat mukana myös vastaavat arvot maasto-pH:lle ja inkubaatio-pH:lle, niille näytteille, jotka olivat mukana kokonaisrikkimäärityksessä. Otanta oli varsin pieni, esimerkiksi hapettuneista hienorakeisista maalajeista tai hapettuneesta moreenista ei ollut yhtään näytettä kokonaisrikkianalysissä. Moreenilaskelmissa ei huomioitu näytettä JMAU-2022-44.13, jonka kokonaisrikkimäärä (0,2 %) oli epäilyttävän suuri kahteen kertaan tarkistettuun inkubaatio-pH-lukemaan (7,4) verrattuna. Asia voi viitata virheeseen kokonaisrikin mittauksessa.

Taulukko 4. Rikkipitoisuusjakaumat eri maalajiryhmissä sekä rikkipitoisuuksia vastaavat pH-lukemat.

Maalajiryhmä	Maasto-pH			Inkubaatio-pH			Kokonaisrikki (%)		
	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka	Min	Max	Ka
Hapettunut hienorakeinen maalaji (n=0)									
Pelkistynyt hienorakeinen maalaji (n=3)	6,2	6,7	6,0	2,9	4,6	3,8	0,05	0,08	0,07
Hapettunut karkearakeinen maalaji (n=9)	4,3	5,9	5,2	3,9	5,4	4,7	0,003	0,01	0,006
Pelkistynyt karkearakeinen maalaji (n=16)	4,0	6,2	5,5	2,6	5,9	3,8	0,002	0,05	0,02
Hapettunut moreeni (n=0)									
Pelkistynyt moreeni(n=5)	5,8	6,8	6,0	3,5	5,9	4,3	0,002	0,03	0,02

Lukuun ottamatta moreeninäytettä JMAU-2022-44.13, olivat kokonaisrikkipitoisuudet hyvin alhaiset. Kokonaisrikkipitoisuuksien tunnistusrajat (hienorakeiset 0,2 % ja karkearakeiset + moreeni 0,06 %)

1.6.2023

eivät ylittyneet yhdessäkään näytteessä. Esimerkiksi näytteissä, joiden pH laski inkubaatiossa alle kolmeen, kokonaisrikin pitoisuuden keskiarvo oli vain 0,04 %. Alue kuuluu Inkubaatiotulosten perusteella lähes kokonaan esiintymisen suhteen suureen tai kohtalaiseen todennäköisyysluokkaan, mutta rikkipitoisuuksien perusteella luokkiin pieni tai hyvin pieni. On kuitenkin huomattava, että alueen maaperä on pääasiassa hiekkaa tai moreenia. Karkearakeinen maaperä voi happamoitua hyvin nopeasti hienorakeisia maalajeja paremman läpäisevyyden ja heikomman puskurikyvyn vuoksi, vaikka rikkipitoisuus ei kovin suuri olisikaan.

6.4 Hapontuotto/asiditeettimääritys

Hapontuottopotentiaali (asiditeetti) määritettiin näytteistä, jotka oli tunnistettu maasto-pH:n tai pH-inkubaation perusteella happamaksi sulfaattimaamateriaaliksi (myös para) ja/tai joista oli määritetty kokonaisrikkipitoisuus. Alueelta valikoitiin myös 4 profiilia, joista analysoitiin asiditeetit koko näytesarjasta. Asiditeetti määritettiin yhteensä 141 näytteestä, joista 135 oli karkearakeista maalajia (mukaan lukien moreenit), 4 hienorakeista maalajia, 1 turvetta ja yksi multamaata. Näytekohtaiset asiditeettitulokset esitetään liitteessä 1.

Karkearakeisten näytteiden asiditeettien keskiarvo oli 9 mmol H+/kg ja enimmäisarvo 38 mmol H+/kg. Kohtalaisen riskiluokitusrajan, 6 mmol H+/kg (katso taulukko 2), karkearakeisista näytteistä ylitti 82 näytettä. Siten varsin monessa karkearakeisessa näytteessä hapontuottopotentiaali voidaan todeta pieneksi, vaikka ne onkin tunnistettu HaSu-materiaaliksi. Karkearakeisille näytteille asetetun suuren hapontuottopotentiaalın raja-arvon (20 mmol H+/kg) ylitti 9 näytettä kuudesta eri profiilista. Korkein asiditeettiarvo mitattiin pisteellä JMAU-2022-31 turvekerroksen alapuolisesta keskihiekkakerroksesta. Muutoin suuren asiditeettipotentialin näytteet olivat hienoa hiekkaa.

Hienorakeisissa näytteissä asiditeettipotentiali vaihteli 12 ja 58 mmol H+/kg välillä, kahden näytteistä jääden pieneen hapontuottoluokkaan (alle 20 mmol H+/kg). Toiset kaksi näytettä olivat hieno/keskisilttiä tai karkeaa silttiä ja niiden hapontuottopotentiaali voidaan tulkita kohtalaiseksi.

Multamaanäytteen asiditeettiarvo pisteellä JMAU-2022-22 oli 115 mmol H+/kg. Kyseinen näyte ei kuitenkaan ollut pH-mittausten perusteella HaSu-materiaalia, joten sen hapontuottopotentiaali arvioidaan pieneksi. Turvenäytteen asiditeettiarvo pisteellä JMAU-2022-25 oli 147 mmol H+/kg, ja näytteen hapontuottopotentiaali voidaan arvioida pieneksi (raja-arvo 250 mmol H+/kg).

Aktiivista hapanta sulfaattimaamateriaalia edustavien näytteiden hapontuottopotentiaalissa ei ollut havaittavissa merkittävää eroa potentialista sulfaattimaamateriaalia edustaviin näytteisiin. Aktiivista HaSu-materiaalia (ja analysoituja näytteitä) oli profiileissa kuitenkin suhteellisen vähän, mikä on todettu varsin tyypilliseksi karkearakeisille HaSu-maille, kun happamuus huuhtoutuu niistä nopeasti pois.

Ritaportin alueen HaSu-materiaalien hapontuottopotentiaali oli yleisesti korkeintaan kohtalainen. Suuren hapontuoton näytteet edustivat useasti vain yhtä kerrosta tai kerroksen osaa maaprofiilissa ja tarkasteltaessa profiilia kokonaisuudessaan hapontuotto ei ole enää niin merkittävä.

6.5 Kalkitustarve

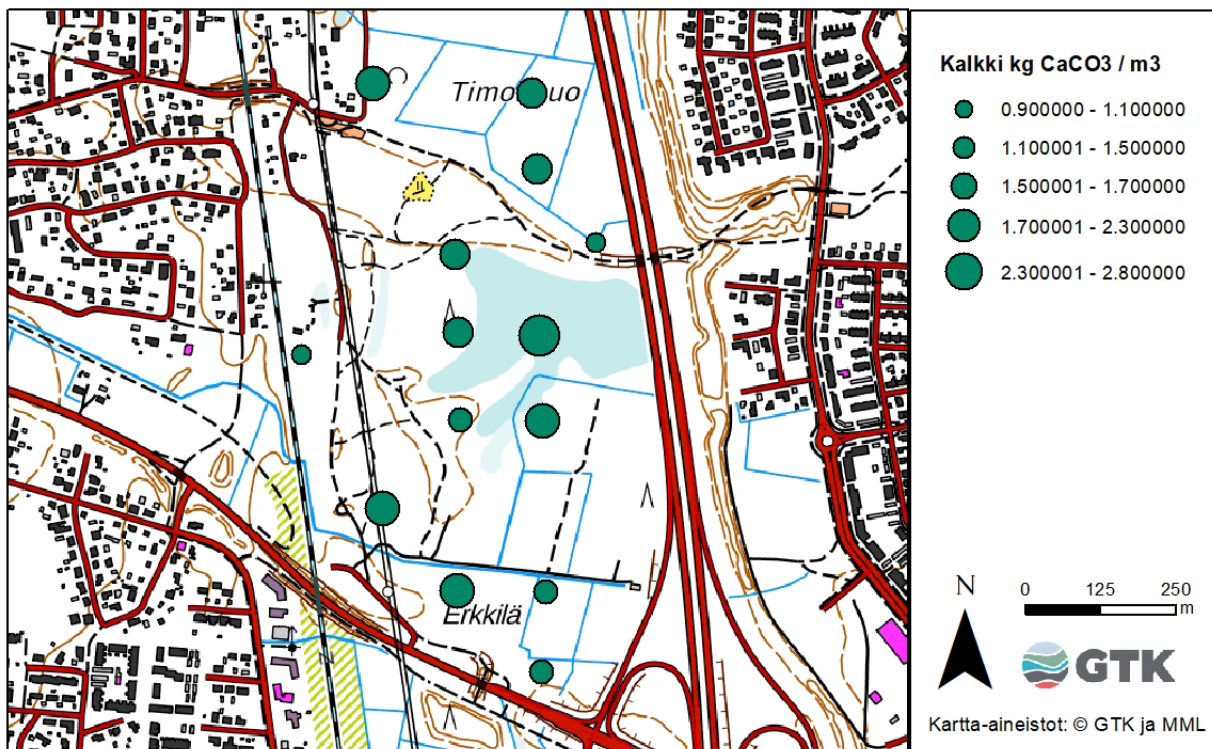
Näytteiden neutralointiin vaadittava kalkkimäärä laskettiin asiditeettiarvojen perusteella. Kalkkimäärä laskettiin vain näytteille, joiden hapontuotto luokiteltiin kohtalaiseksi tai suureksi. Kalkin käytön tarpeellisuutta voitaisiin myös arvioida toimenpiderajojen perusteella (katso Visuri ym., 2021), mutta

1.6.2023

tässä työssä kaikista näytteistä ei määritetty kokonaisrikkipitoisuutta ja tarve arvioidaan hapontuottoluokkien perusteella. Kalkkimäärät ilmoitetaan yksikössä $\text{kg CaCO}_3/\text{m}^3$ tuoretta maata ja laskennassa on käytetty turvakerrointa 2 epähomogeenisen sekoittumisen aiheuttaman epävarmuuden minimoimiseksi.

Näytekohtaiset kalkkimäärät esitetään liitteessä 1. Käytännössä kalkkimäärät voidaan laskea analysoitujen näytteiden keskiarvona kaivuusyvyydelle saakka tai kerroksittain, mikäli lajitteleva kaivu on mahdollista. Kuvassa 14 esitetään Ritaportin alueelle tyypillinen maaprofiili ja neutralointiin vaadittava kalkkimäärä.

Karkearakeisten näytteiden (79 kpl) neutralointiin vaaditaan keskimäärin $1.8 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^3$ ja enimmillään $5.4 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^3$. Myös hienorakeisten näytteiden neutralointiin vaadittavat kalkkimäärät ovat pieniä (enimmillään $6,8 \text{ kg CaCO}_3/\text{m}^3$). Kuvassa 15 esitetään Ritaportin kairapistekohtainen kalkitustarve. Tarve on laskettu näytteiden kalkkimäärien keskiarvona (noin 0–3 m syvyyvälillä). Kartalla ei esitetä pisteitä, joista kalkkimäärä on laskettu vain yhdestä näytteestä.



Kuva 15. Kairapistekohtaisesti lasketut kalkkimäärät Ritaportin alueella. Arvot ovat näytesarjojen keskiarvoja (noin 0–3 m).

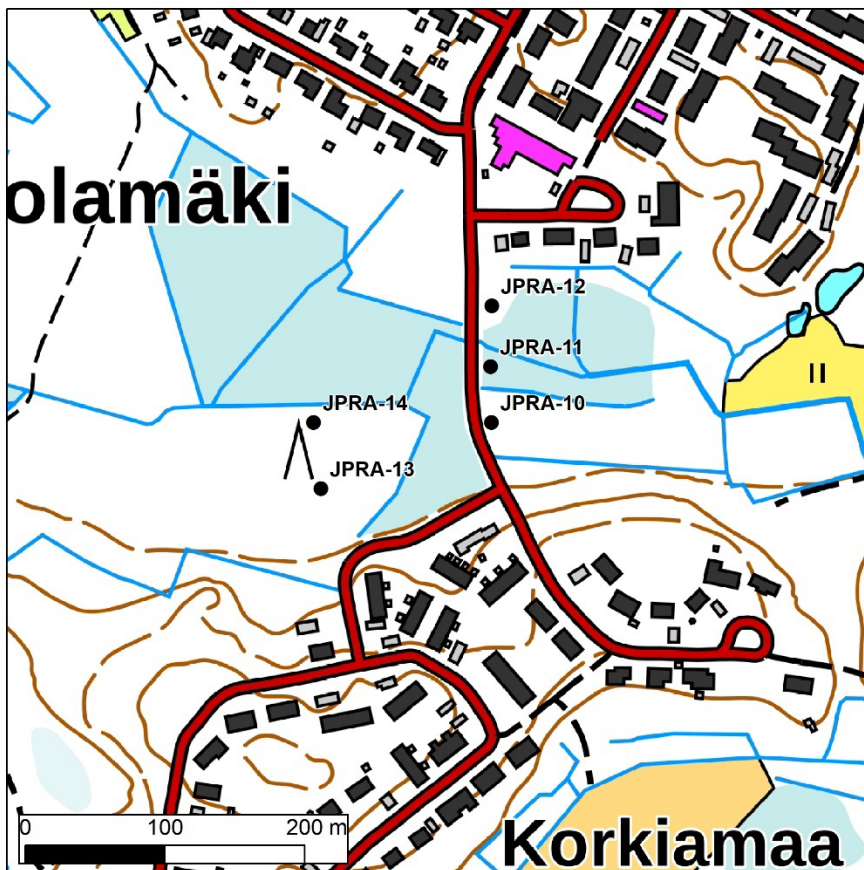
7 KIIMINGIN KAISTA-AHO

Kaista-ahon rakennussuunnitelma-alueen tutkimuskohde sijaitsee Kiimingin keskustaajaman eteläosassa, Kolamäen ja Korkiamaan asutusalueiden välisellä turvekangasalueella, joka kuuluu osana Iso-suohon. Alue on tällä hetkellä jo työvaiheessa. Suoalueen ympärillä on kumpumoreenimuodostumia. Myös suon sisällä on pieniä kumpumoreenisaarekkeita. Kairauspisteet sijaitsevat vulkaniittialueella ja jäätikön tulosuunnassa on useita mustaliuskevyyshyökkeitä. Kaista-aho ei alun perin kuulunut pilotti-aluevaihtoehtoihin. Alueelta Sitowise Oy:n kesällä 2022 ottamien turvenäytteiden erikoisen korkeiden

1.6.2023

rikkipitoisuuksien takia, päätettiin alue ottaa tämän projektin lisätutkimuskohteeksi. Kairauksia tehtiin viidellä pisteellä (Kuva 16).

Kairauspisteiden turvepaksuus vaihteli 1,1–1,6 metrin välillä. Turve oli puuainesta sisältävää keski-maatonutta saraturvetta, jossa oli pohjaosissa lisätekijöinä lisäksi ruskosammalen ja järviruo'on jäänteitä. Turpeen alapuolella oli ruskeanvihertävää liejuista hienosilttiä, tai mustanharmaata sulfidi-hienosilttiä muutaman kymmenen sentin paksuiset kerrokset ennen moreenia. Suotyyppinä esiintyi turvekangasta tien itäpuolella ja kytöheittoa, eli metsittynyttä vanhaa peltoa tien länsipuolen kairauspisteiden kohdilla.



Kuva 16. Kaista-ahon tutkimuspisteet

Turpeesta kerättiin 14 näytettä, hienosiltistä 6 ja moreenista 1 näyte. Kaikista näytteistä mitattiin maasto- ja inkubaatio-pH:t sekä kokonaisrikki. Asiditeetti ja kalkintarve määritettiin kahdeksasta näytteestä. Kokonaisrikkiä ei saatu määritettyä sulfidihienosiltinäytteelle JPRA-2022-10.5. Kaista-ahon näytteille tehtiin erikoistutkimuksena rikkispesiaatio, jolla pyrittiin selvittämään rikin olomuotoa varsinkin turvenäytteissä. Alueen pienuuden ja tutkimuspisteiden vähyyden takia Kaista-aholta ei laadittu happamien sulfaattimaiden esiintymiskarttaa.

1.6.2023

7.1 Maasto-pH ja Inkubaatio-pH

Turpeiden maasto-pH vaihteli välillä 3,6–6,1. Korkeimmat arvot esiintyivät pohjaturpeissa. Kuuden tietämällä olevat turpeen maasto-pH arvot viittaavat eutrofisen ruskosammalen mukanaoloon turveaineksessa. Inkuboitu pH-arvo vaihteli välillä 1,8–4,6. Alle turpeen määritysrajan (pH 3) olleet arvot kuuluivat kahdelle pohjaturvenäytteelle. Alinta mitattua arvoa (pH 1,8 näytteessä JPRA-2022-14.3) voidaan pitää turpeelle poikkeuksellisen alhaisena.

Hienosilttinäytteiden maasto-pH vaihteli välillä 5,9–6,6 ja inkuboitu pH-arvo välillä 2,5–3,8. Inkubaatiotulokset tarkoittavat hienosilttikerrosten olevan hapanta sulfaattimaamateriaalia kaikissa kairauspisteissä.

Ainoan moreeninäytteen maasto-pH oli 6,1 ja inkubaatio-pH 3,2. Inkubaatiotulos viittaa rikkipitoisen mustaliuskeaineuksen mukanaoloon moreeniaineksessa. Myös suotautuminen on mahdollista, sillä moreenin yläpuolinen liejuinen hienosilttikerros on selkeästi hapanta sulfaattimaata.

7.2 Kokonaisrikkipitoisuus

Turvenäytteiden kokonaisrikkipitoisuus vaihteli välillä 0,59–14,8 %. Saravaltaiten turpeiden rikkipitoisuuden valtakunnallinen keskiarvo on 0,27 % (Herranen 2009), joten Kaista-ahon turpeet sisältävät huomattavan suuret määrät rikkiä. Rikin määrä kasvoi jokaisessa kairauksessa niin, että pinnalla oli alhaisimmat lukemat ja pohjalla suurimmat. Pintaturpeen (0–50 cm) kokonaisrikki vaihteli välillä 0,59–1,17 %. Kokonaisrikkipitoisuuden tunnistusraja (1 %) ylittyy kahden kairauspisteen pintanäytteessä, mikä on melko harvinaista turvekerrostumien pintaosille. Pintaosan alapuolisissa turvekerroksissa kokonaisrikkipitoisuudet olivat yhtä poikkeusta lukuun ottamatta selvästi yli tunnistusrajan, enimmillään jopa 14,8 % näytteessä JPRA-2022-14.3, jossa oli myös hyvin alhainen inkubaatio-pH arvo. On huomattava, että turpeen rikki ei välttämättä ole haitallisessa sulfidimuodossa, vaan se voi esiintyä orgaanisina rikkijyhdisteinä, jotka eivät aiheuta happamoitumista. Sulfidimuotoisen rikin osuutta näytteissä on selvitetty tarkemmin tämän kappaleen luvussa 7.5 (Rikkispesiaatio).

Hienosilttinäytteiden kokonaisrikkipitoisuudet olivat selvästi yli tunnistusrajan (0,2 %), lukuunottamatta näytettä JPRA-2022-12.3, jonka rikkipitoisuus oli 0,12 %. Näytteen inkubaatio-pH oli kuitenkin 3,8, joten sekin luokitellaan happamaksi sulfaattimaamateriaaliksi. Alin kokonaisrikkiarvo oli 3,08, näytteessä JPRA-2022-14.4. Tämä näyte sijoittui rikkipitoisuudeltaan 14,8 % olleen turvenäytteen alapuolelle.

Ainoan moreeninäytteen kokonaisrikkipitoisuus oli 0,13 %, joten sekin oli yli tunnistusrajan 0,06 %.

7.3 Hapontuotto/asiditeettimääritys

Hapontuottopotentiaali määritettiin kaikista näytteistä (21 kpl), eli myös näytteistä, joita ei tunnistettu HaSu-materiaaliksi pH-inkubaation perusteella. Ei-HaSu-materiaaleissa hapontuottoa haluttiin verrata korkeisiin kokonaisrikki- ja sulfidipitoisuuksiin. Näytteistä 6 oli hienorakeista maalajia, 14 turvetta ja yksi moreenia.

Hienosilttinäytteiden asiditeettiarvot olivat 110 ja 1177 mmol H⁺/kg välillä (ka 552 mmol H⁺/kg). Arvot olivat siten hyvin suuria ja luokittuivat suurimpaan hapontuottoluokkaan (yli 100 mmol H⁺/kg). Turvenäytteiden asiditeetit olivat 187–3452 mmol H⁺/kg (ka 865) ja siten osin hyvin korkeita. Näytteistä kaksi luokittui pieneen, kaksi kohtalaiseen ja 10 suureen hapontuottoluokkaan (katso taulukko 2). Korkein

1.6.2023

asiditeettiarvo oli poikkeuksellisen suuri (3452,6 mmol H⁺/kg) ja korreloi myös näytteen poikkeuksellisen korkean rikki- ja sulfidipitoisuuden kanssa. Myös moreeninäytteen asiditeettiarvo (22 mmol H⁺/kg) ylittää karkearakeisille maille asetetun suuren hapontuottopotentiaalın raja-arvon (20 mmol H⁺/kg).

7.4 Kalkitustarve

Näytteiden neutralointiin vaadittava kalkkimäärä laskettiin asiditeettiarvojen perusteella. Kalkkimäärät ilmoitetaan yksikössä kg CaCO₃/m³ tuoretta maata ja laskennassa on käytetty turvakerrointa 2 epähomogeenisen sekoittumisen aiheuttaman epävarmuuden minimoimiseksi.

Näytekohtaiset kalkkimäärät esitetään liitteessä 1. Käytännössä kalkkimäärät voidaan laskea analysoitujen näytteiden keskiarvona kaivuusyvyydelle saakka tai kerroksittain, mikäli lajitteleva kaivu on mahdollista.

Hienorakeisten näytteiden (6 kpl) neutralointiin vaaditaan 13,0–139,0 kg (ka 65,2 kg CaCO₃/m³). Korkein kalkkimäärä laskettiin pisteellä JPRA-2022-14 turvekerroksen alla olevalle liejuiselle hienosiltille. Myös kerroksen yläpuolisen turvenäytteen asiditeetti ja kalkkimäärät olivat korkeat (40,8 kg CaCO₃/m³). Kaikkien analysoitujen turvenäytteiden kalkitustarpeen vaihteluväli oli 5,1–40,8 CaCO₃/m³. Moreeninäytteen neutralointiin vaadittava kalkkimäärä on varsin pieni (3,1 kg CaCO₃/m³).

Turvenäytteiden kalkitustarve arvioitiin tässä työssä kokonaisrikin ja sulfidipitoisuuden perusteella ja kalkitustarve laskettiin siten myös näytteille, joita ei ollut tunnistettu HaSu-materiaaliksi pH-inkubaation perusteella. Tutkimus osoittaa, että turvealueilla, joiden epäillään olevan mustaliuskeiden vaikutuspiirissä, on tunnistuksessa ja riskinarviossa syytä hyödyntää myös rikkipitoisuutta (kokonaisrikki/sulfidirikki) ja/tai asiditeettiarvoja (TIA).

7.5 Rikkispesiaatio

Kokonaissulfidipitoisuus (TRS) määritettiin kaikista näytteistä (21 kpl)) ja tulokset esitetään liitteessä 1. Sulfideja esiintyi kaikissa näytteissä ja maalajeissa, sulfidipitoisuuden vaihdella 0,04–13,74 % ja ollen suurin turpeessa. Mineraalimaamateriaaleissa (hienosiltti, hiekkamoreeni) suurin osa rikistä oli sulfidimuodossa. Turpeessa sulfidin osuus rikistä vaihtelee muutamista prosentista melkein 100 prosenttiin (JPRA-2022-14.3), jossa oli myös alhaisin inkubaatio-pH sekä korkein TIA (Liite 1). Turpeessa sulfidin osuus rikistä kasvaa syvyyden myötä kaikissa profiileissa. Huomionarvoista on, että osassa turvenäytteitä pH ei laskenut inkubaatioissa alle tunnistusrajan (pH 3,0) vaikka näytteiden sulfidipitoisuus oli yli 1 %.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET

Pilottialueet edustivat maaperägeologisesti selkeästi toisistaan erottuvia happamien sulfaattimaiden esiintymisympäristöjä. Heikkilänkankaan pilottialueen maaperä on lähinnä hienorakeisia, merivaiheiden synnyttämiä sedimenttejä. Ritaportin maaperä on vaihtelevampi ja koostuu lähinnä rantavoimien kerrostamista karkearakeisista maalajeista, jossa moreeni on lähempänä pintaa. Kaista-aho edustaa turvealuetta, jossa esiintyy myös liejuisia kerroksia.

Heikkilänkankaan ja Ritaportin suunnittelualueilta laadittiin tarkennetut maaperäkartat. Heikkilänkankaan tarkennettu kartta ei käytännössä tuonut muutoksia happamien sulfaattimaiden valtakunnallisen yleiskartoituksen aineiston vastaavan alueen karttaan. Ritaportin tarkennettu kartta sitä vastoin erosi selkeästi yleiskartan vastaavan alueen kartasta. Tarkennettuihin karttoihin on merkitty

1.6.2023

myös aktiivisen happaman sulfaattimaan alueet, joita ei voitu rajata yleiskartta-aineistoon liian harvan pisteverkon vuoksi.

Kaikilla hankkeen pilottikohteilla esiintyi tutkimustulosten perusteella yleisesti happamia sulfaattimaita. Sulfaattimaamateriaalien ominaisuuksissa oli kuitenkin suuria eroja erityisesti kohteiden välillä, mutta jonkin verran myös kohteiden sisällä. Suurin eroja selittävä tekijä maalajit, joista hienorakeiset maalajit ja turpeet erottuvat voimakkaasti happoa tuottavina ja joiden rikki-pitoisuudet ja asiditeetti-arvot olivat paikoin hyvin suuria.

Voimakkaasti happoa tuottavaa turvetta tavattiin lähinnä Kaista-Ahon kohteella, missä turpeessa oleva rikki on todennäköisesti peräisin kallioperästä (mustaliuske/vulkaaniset kivet) tai sen rapautumistuotteista moreenissa. Mustaliuskeperäisen rikin esiintymisen ennakoiminen ja arviointi on vaikeampaa kuin Litorinasedimenteissä olevan rikin, joka se noudattaa tyypillisesti muinaisen kerrostumistaan ja litologisen (maalaji) vaihtelun rajoja. Mustaliuskealueilla (moreenit ja turpeet) onkin usein tarve ottaa näytteitä tiheämmällä pistevälillä kuin Litorinasedimenttien alueilla HaSu-materiaalien esiintymisen todentamiseksi.

Kaista-Ahon turvenäytteistä tehty rikkispesiaatio osoitti, että alueen turvekerroksissa on yleisesti sulfidimuotoista rikkiä, mutta sen pitoisuudet ja osuus kokonaisrikistä voivat vaihdella huomattavasti. Pitoisuudet olivat kuitenkin aina suurempia pohjaturpeessa kuin pintaturpeessa. Huomionarvoista on, että pH ei laskenut inkubaatiossa kaikissa turvenäytteissä alle tunnistusrajan (pH 3,0), vaikka näytteiden sulfidipitoisuus oli yli 1 %. Sulfidimuotoisen rikin erottaminen orgaanisesta rikistä rikkispesiaatiolla voi kuitenkin olla ainoa luotettava menetelmä tunnistaa turvemaiden sulfidiperäinen hapontuottopotentiaali ilman pH-inkubaatiota, ja soveltuu siten erityisesti selvityksiin, joissa tietoa turvemaista tarvitaan nopeasti.

Ritaportissa maalajit olivat pääasiassa karkearakeisia ja niiden rikkipitoisuudet ja asiditeetit olivat yleisesti melko alhaisia, vaikka hapettumiseen liittyvä happamoituminen oli monin paikoin voimakasta. Voimakas happamoituminen liittyy karkearakeisten maalajien heikkoon kykyyn puskuroida syntynyttä happamuutta.

Heikkilänkankaan ja Ritaportin tutkimusalueiden kairauspistetiheydeksi suunniteltiin noin 1 kairaus / 1,5 ha. Tiheys on hieman harvempi kuin Kansallisessa HaSu-oppaassa (Autiola ym., 2022) esitetyn tarkennetun rakennuspaikkakohtaisen tutkimuksen tiheys, mutta tiheämpi kuin esikartoituksen tiheys. Oppaan mukaiset pistetiheydet on tarkoitettu suuntaa antaviksi ohjeiksi antamaan tarvittavat tiedot happamien sulfaattimaiden hallintaan rakennushankkeissa. Tutkimukset suunnitellaan aina tapauskohtaisesti huomioiden geologiset olosuhteet, maankäytön toimenpiteet, ja mahdollisesti ympäristön herkkyyks.

Heikkilänkankaan ja Ritaportin pistetiheyden voidaan todeta tuovan hyvin esiin kohteellisen maalajien vaihtelun, ja sillä voidaan arvioida happamien sulfaattimaiden esiintymisestä ja ominaisuuksien vaihtelua alueella. Tulosten perusteella voitaisiin vielä myös kohdentaa lisätutkimuksia esimerkiksi alueille, joilla HaSu-alueen tulkitaan vaihtuvan alueeksi, jolla hapanta sulfaattimaata ei ole. Kyseessä olisi kuitenkin suurimittakaavainen (kiinteistökohtainen) tarkennus kartoitukseen. Tulosten perusteella saadaan myös hyvä alueellinen käsitys korroosioon vaikuttavista pH-tasoista, hapettumissyvyydestä ja rikki-/sulfaattipitoisuuksista. Tuloksia voidaan myös hyödyntää kiinteistökohtaisessa korroosioriskin tutkimustarpeen arvioinnissa.

1.6.2023

Kalkitustarpeen laskeminen inkuboitujen näytteiden asiditeettianalyysin perusteella (TIA) antoi hyvän kuvan maamassojen kalkitustarpeesta, ja toi hyvin esille aluekohtaiset erot. Ritaportin karkearakeisen maaperän kalkitustarve oli huomattavasti pienempi kuin hienorakeisten maalajien neutralointitarve Heikkilänkankaalla, ja toisaalta pohjaturvekerroksen Kaista-Aholla. Kalkitustarve määritettiin keskimäärin 20–30 cm osanäytteistä, mutta kalkitustarve kannattaa laskea keskiarvona kaivuusyvyydelle, tai kerroskohtaisesti, mikäli erotteleva kaivu on mahdollista. Kalkitusta voidaan tehdä alueittain (pilottikohteiden sisällä) eri kalkkimäärillä, perustuen kairapisteiden tuloksiin, tai soveltamalla korkeinta pistekohtaisesti laskettua arvoa koko alueelle.

LÄHDELUETTELO

- Auri, J. 2015. Happamien sulfaattimaiden esiselvitys Oulussa. Tilaustyö, Geologian tutkimuskeskus, Kokkola.
- Auri, J., Mattbäck, S., Boman, A., Liwata-Kenttälä, P., Räisänen, J., Hirvasniemi, H. 2022. Happamien sulfaattimaiden yleiskartta: loppuraportti. Geologian tutkimuskeskus
- Autiola, M., Suonperä, E., Suvanto, S., Napari, M., Nylund, M., Kupiainen, V., Vienonen, S., Forsman, J., Suikkanen, T., Auri, J., Boman, A. & Mattbäck, S. 2022. Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin. Opas happamien sulfaattimaiden huomioimiseen ja vaikutusten hallintaan. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022, 3. <https://julkaisut.valtioneuvosto.fi/handle/10024/163782>.
- Breilin, O., Paalijärvi, M., Valjus, T., Huotari T. ja Miettunen, A. 2006. Kempeleenharjun geologinen rakenneselvitys Pitkänaronkankaan ja Tuohinon välillä. Arkistoraportti 25/2017, Geologian tutkimuskeskus, Kokkola.
- Breilin, O., Putkinen, N. 2012. Limingan Vesikari – syvin maaperäkairaus Suomessa. *Geologi* 64 (2012).
- Dalhem, K., 2016. Bestämning av svavelspecies i sediment: En utvecklad destillationsmetod för reducerade svavelspecies. Pro gradu-avhandling i geologi och mineralogi, Åbo Akademi, 48 s + Bilaga: Analysschema för bestämning av svavelspecies i sediment, 15 s.
- Dalhem, K., Mattbäck, S., Boman, A. & Österholm, P. 2021. A simplified distillation-based sulfur speciation method for sul-fidic soil materials. *Bulletin of the Geological Society of Finland*.
- Herranen, T., 2009. Turpeen rikkipitoisuus Suomessa. The sulfur concentration of peat in Finland. Geologian tutkimuskeskus, Turvetutkimusraportti 398. Geological Survey of Finland, Peat Researches, Report of Peat Investigation 398, 55 pages, 19 figures and 27 tables. In Finnish with English abstract.
- Hornborg, N., Kosonen, E., Saresma, M., Kallio, H., Juvonen, K. 2023. Oulun hienorakeisten sulfidimaiden todennäköiset esiintymisalueet. Geologian tutkimuskeskus. Työraportti 24/2023.
- Johansson, P., Häikiö, J., Väisänen, U. 2002. Pikkaralan kartta-alueen maaperä. Maaperäkartan selitys 1 : 20 000, Lehti 3422 08 Pikkarala. Geologian tutkimuskeskus.
- Johansson, P. (toim.); Kujansuu, R. (toim.); Eriksson, B., Grönlund, T., Kejonen, A., Maunu, M., Mäkinen, K., Saarnisto, M., Virtanen, K., Väisänen, U., 2005. Pohjois-Suomen maaperä : maaperäkarttojen 1:400 000 selitys. Espoo: Geologian tutkimuskeskus, 236 s.

1.6.2023

Kananoja, T. 2004. Kallioperän suojelu- ja opetuskohteita Pohjois-Pohjanmaalla. Suomen ympäristökeskus.

Konttinen, S., Kaarakainen, V., Vaittinen, T. 2021. Heikkilänkankaan peltojen asemakaava-alueen rakennettavuusselvitys. Sitowise Oy. Oulun kaupunki.

Loukola-Ruskeeniemi, K., Hyvönen, E., Lerssi, J., Arkimaa, H., Auri, A. 2022. Maankäytön vaikutus pintavesien laatuun mustaliuskealueilla. Ympäristö ja Terveys 4/2022.

Mattbäck, S., Boman, A. and Österholm, P., 2017. Hydrogeochemical impact of coarse-grained post-glacial acid sulfate soil materials. *Geoderma*, 308, 291-301.

Mäkinen, K. 2001. Maaperäkartan selitys, Lehti 2444 08 Oulunsalo, Suomen geologinen kartta. Explanation to Maps of Superficial Deposits, 1:20 000, Sheet 2444 08. Geologian tutkimuskeskus.

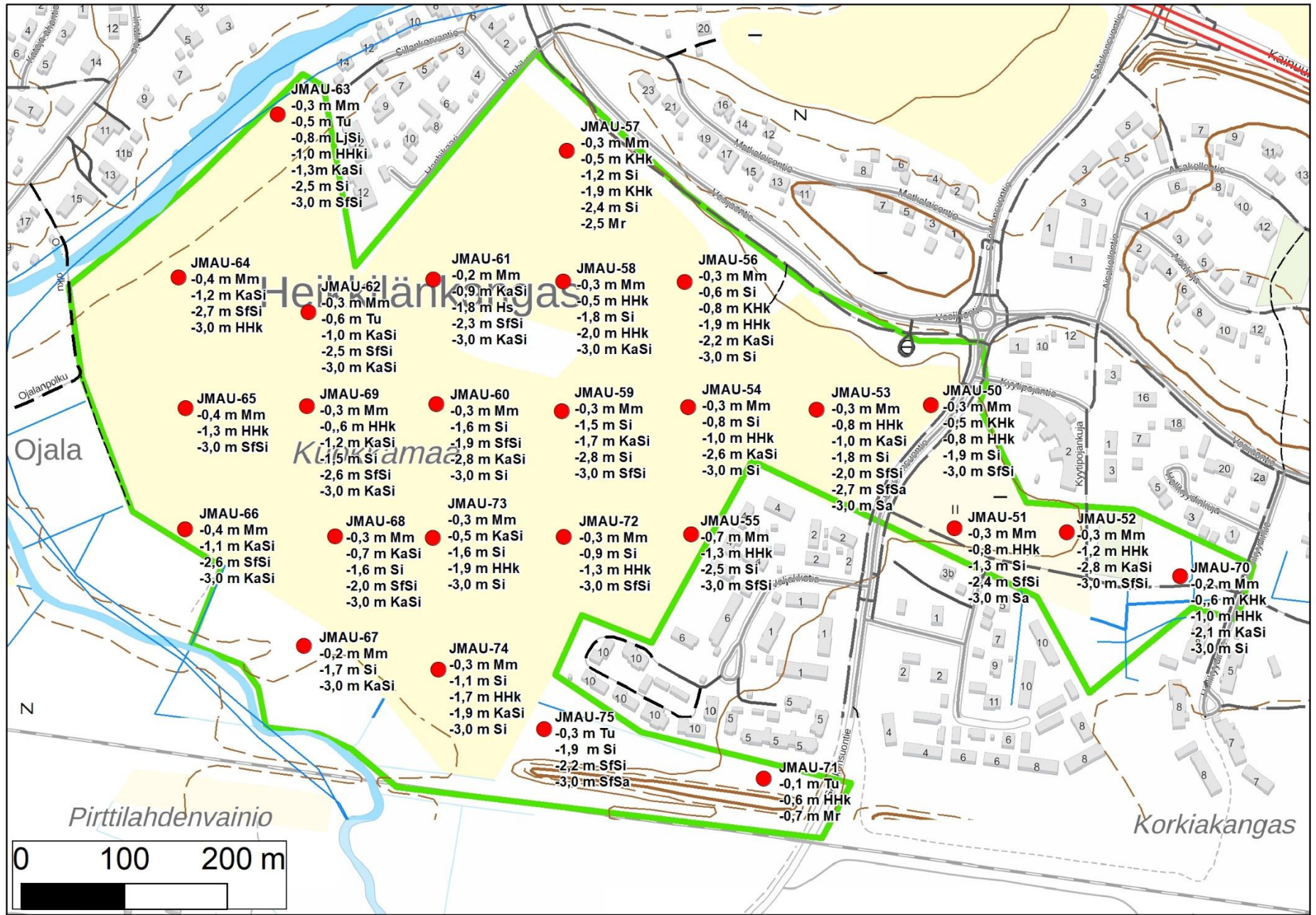
Räsänen, J., Nylund, S., Auri, J. 2022. Happamien sulfaattimaiden selvitys Hietasaassa. Julkaisematon tilaustyö. Oulun kaupunki.

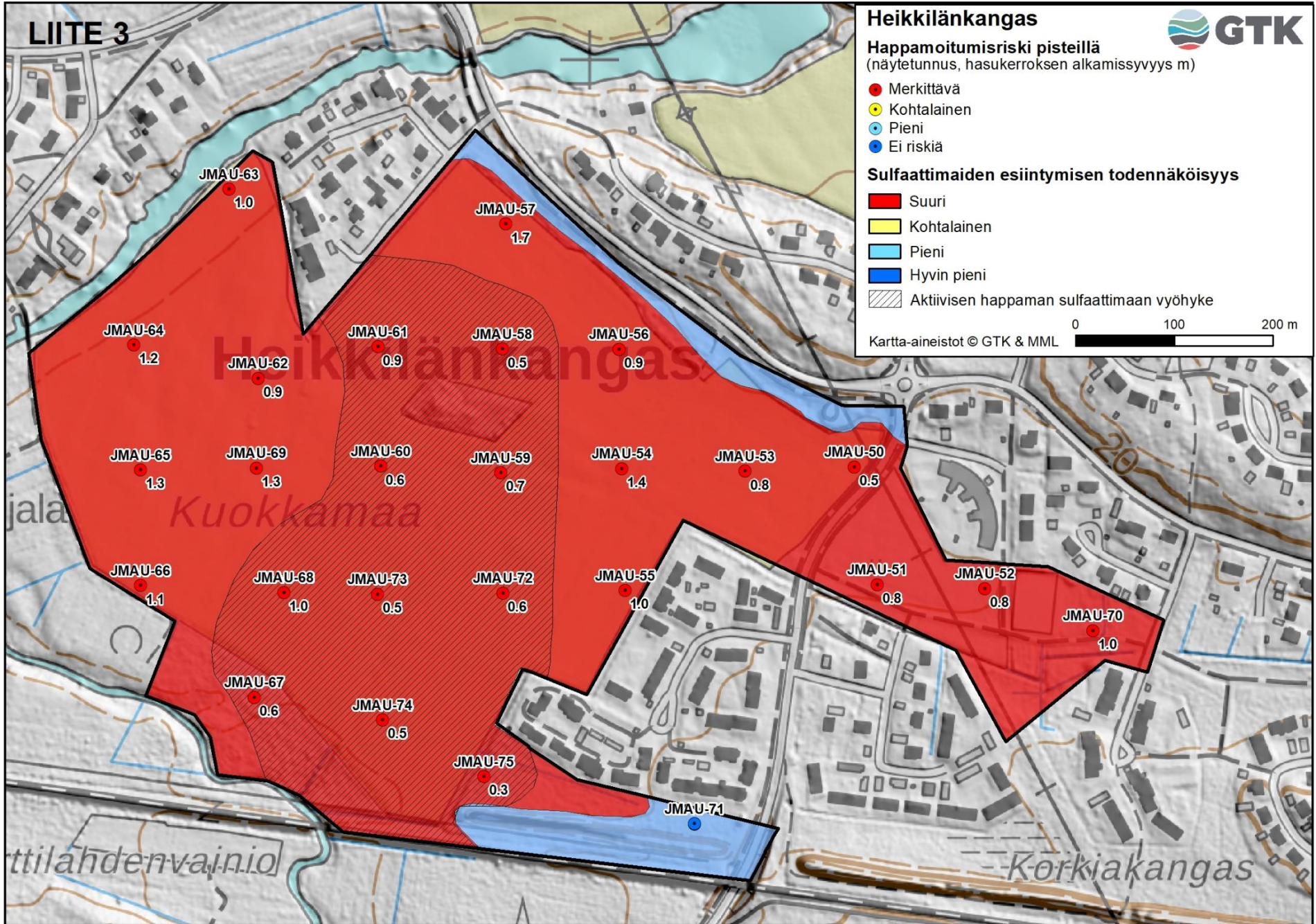
Räsänen, A. 2015. Rannansiirtyminen Oulun seudulla alkaen 6000 BP GIS-mallinnuksella kuvattuna. Oulun yliopisto, maantieteen laitos. Pro gradu –tutkielma. 43 s.

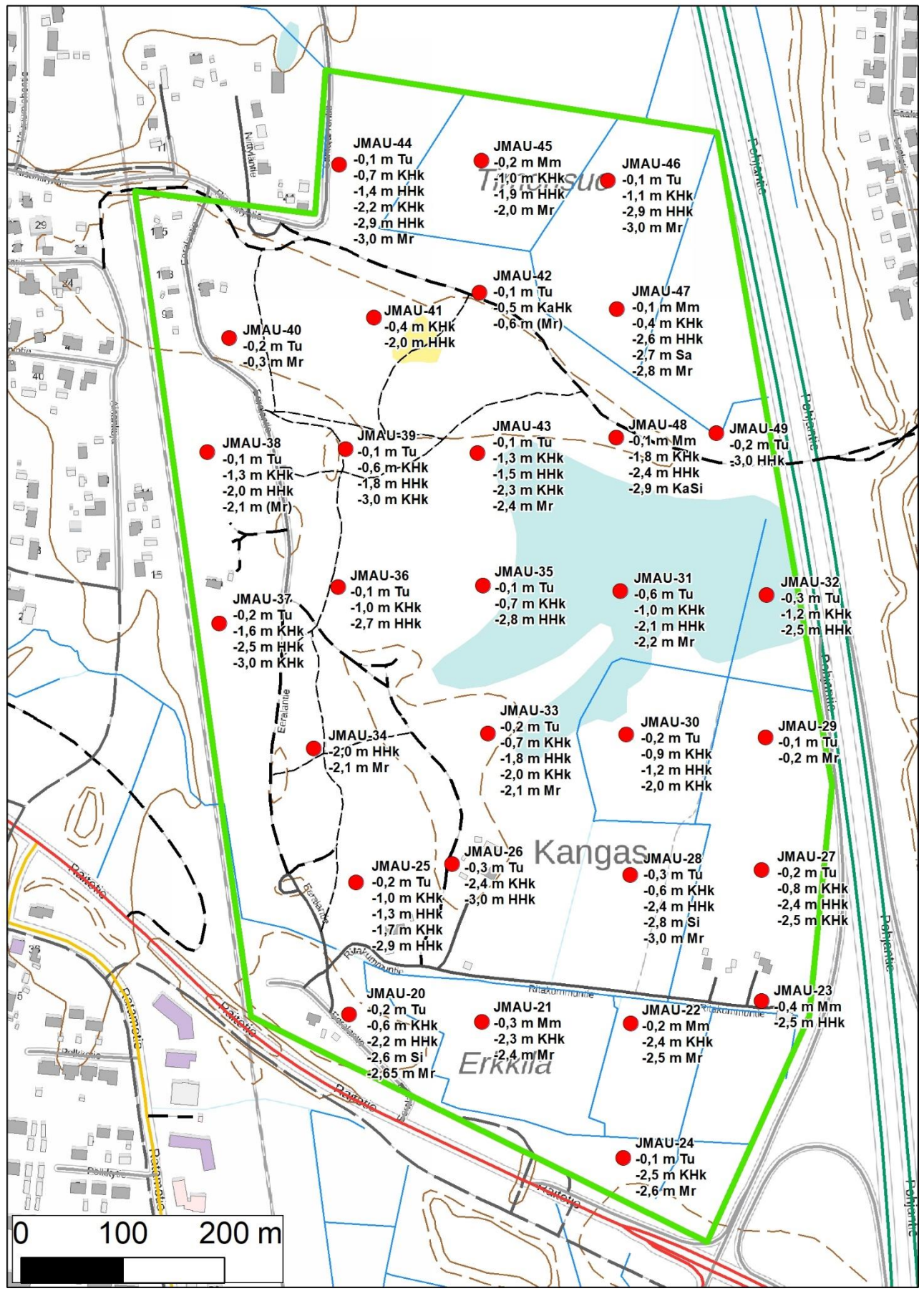
Simonen A., 1990 Suomen kallioperä. Suomen kartasto 123, Kallioperä. Maanmittaushallitus, Helsinki

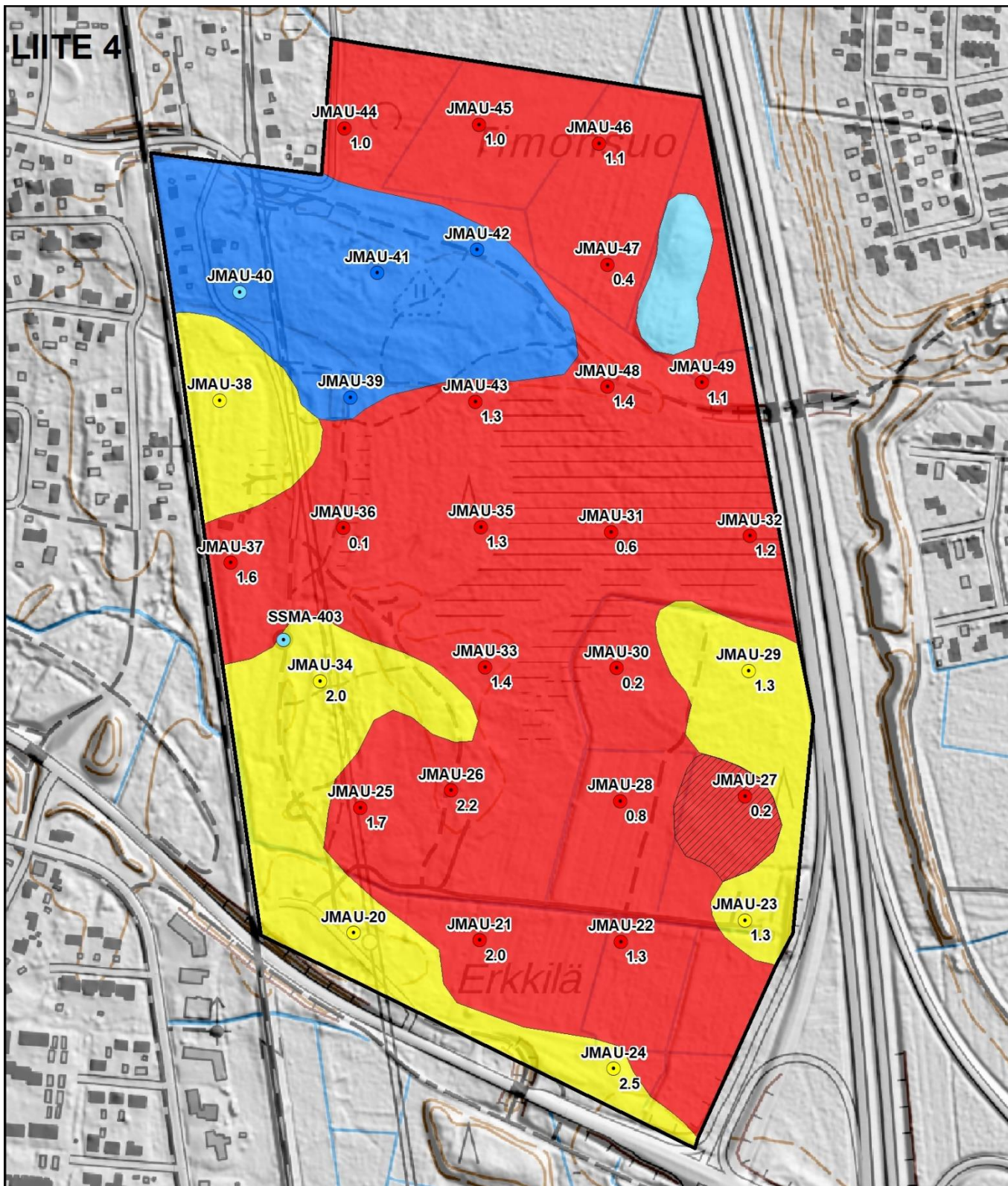
Visuri, M., Nystrand, M., Auri, J., Österholm, P., Nilivaara, R., Boman, A., Räsänen, J., Mattbäck, S., Korhonen, A. ja Ihme, R. 2021. Maastokäyttöisten tunnistusmenetelmien kehittäminen happamille sulfaattimaille. Tunnistus -hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 43/2021. Helsinki.

Ylimannila, S. 1970. Oulujoen alajuoksun kehityksestä. Pro gradu –tutkielma. Oulun yliopisto, maantieteen laitos.









Ritaportti

Happamoitumisriski pisteillä

(näytetunnus, hasukerroksen alkamissyvyys m)

- Merkittävä
- Kohtalainen
- Pieni
- Ei riskiä

Sulfaattimaiden esiintymisen todennäköisyys

- Suuri
- Kohtalainen
- Pieni
- Hyvin pieni
- ▨ Aktiivisen happaman sulfaattimaan vyöhyke

