

Mustaliuskeiden huomioiminen kaavoituksessa Tampereella

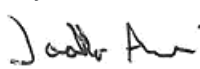
Jaakko Auri, Hilkka Kallio, Jouni Lerssi, Kirsti Loukola-Ruskeeniemi, Kristiina
Nuottimäki, Lauri Rinne

28.4.2025

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

28.4.2025 / GTK/5/03.02/2025

Tekijät Jaakko Auri, Hilka Kallio, Jouni Lerssi, Kirsti Loukola-Ruskeeniemi, Kristiina Nuottimäki, Lauri Rinne		Raportin laji Tilaustyö raportti	
		Toimeksiantaja Tampereen kaupunki	
Raportin nimi Mustaliuskeiden huomioiminen kaavoituksessa Tampereella			
Tiivistelmä Mustaliuskeiden huomioimisesta kaavoituksessa ei ole ollut olemassa yksityiskohtaisia ohjeita, joiden pohjalta mustaliuskeiden aiheuttamia riskejä rakentamisessa voi arvioida ja hallita. Tässä työssä tuotettiin taustatietoa mustaliuskeista, kallioperästä ja maaperästä Tampereen kaupungin alueella hyödyntämällä seuraavia aineistoja: GTK:n kallioperäkartoitustiedot, lentogeofysiikan aineistot ja pohjatutkimusrekisterin maaperätiedot. Lisäksi työssä laadittiin tutkimustarpeen arviointimalli ja ohjeita mustaliuskeiden huomioimiseen kaavoituksen eri vaiheissa. Mustaliuskealueiden tarkennettuja tutkimuksia varten luotiin alustava ohjeistus. Tarkennettujen tutkimusten perusteella voidaan suunnitella mustaliuskeiden haittavaikutukset ehkäisevät toimenpiteet. Mustaliuskevyöhykkeiden sijaintia tarkennettiin lentogeofysikaalisten aineistojen uudelleen tulkinnalla. Työn tuloksena kaupungin alueelta poistettiin useita vyöhykkeitä ja joidenkin sijaintia tarkennettiin. Lentogeofysikaalisen aineiston haaste on paitsi mittakaava 1: 100 000 myös GPS-tiedon puuttuminen, koska matalalennot tehtiin jo 1970- ja 1980-luvulla. Tuotettu vyöhykekartta on yleismittakaavainen ja korvaa valtakunnallisesti tuotetun ja julkaistun mustaliusketietokannan Tampereen alueelta. Tulkitut mustaliuskevyöhykkeet eivät ota yksikäsitteisesti kantaa mustaliuskeaineksen esiintymiseen maaperässä, vaan ne kuvaavat ensisijaisesti rikkipitoisen kallioperän esiintymistä. Tarkennettua tietoa mustaliuskeiden esiintymisestä hyödynnetään tutkimustarpeen arvioinnissa. Selvityksessä olemme huomioineet myös käytettävissä olleet tiedot maaperän ominaisuuksista ja ympäristön, esimerkiksi pinta- ja pohjavesien, herkkyydestä happamoitumiselle. Niiden perusteella on mahdollista arvioida, tarvitaanko kaavaan mustaliuskeita koskevia määräyksiä ja tarkennettuja tutkimuksia. Tarkennettuihin tutkimuksiin kuuluu hapontuotto-ominaisuuksien selvittäminen maa- ja kiviaineksesta sekä tarvittaessa mustaliuskeen tarkempi paikannus geofysikaalisten maastomittausten avulla, erityisesti kohteilla, joilla suunnitellaan louhintaa tai maanalaista rakentamista.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Mustaliuskeet, ympäristöhaitat, kallioperä, maaperä, pintavedet, riskinarvio, tutkimusmenetelmät			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Pirkanmaa, Tampere			
Kokonaissivumäärä 47		Kieli suomi	
Yksikkö Ympäristöratkaisut	Projektinnumero 50401-10888	Hinta -	Julkisuus julkinen
Allekirjoitus/nimen selvennys  Matti Laatikainen Ryhmäpäällikkö		Allekirjoitus/nimen selvennys  Jaakko Auri Projektipäällikkö	

28.4.2025

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Tampereen alueen kallioperä ja mustaliuskeiden esiintyminen	1
2.1	Tulkitut mustaliuskevyöhykkeet/lentogeofysiikan aineiston kuvaus	1
2.2	Tampereen alueen maaperä ja pohjatutkimukset mustaliuskevyöhykkeiden läheisyydessä	2
2.2.1	Maaperän geologiset yleispiirteet	2
2.2.2	Mustaliuskealueiden maaperätarkastelu ja tuotetut paikkatietoaineistot	3
2.2.3	Maaperäaineiston epävarmuudesta	1
3	Mustaliuskeet kaavoituksessa	1
4	Esikartoitus ja tutkimustarpeen arviointi	2
5	Maastotutkimukset yleis- ja asemakaavavaiheissa	4
5.1	GEM-2	5
5.2	Näytteenottosuunnitelma ja näytteenotto	6
5.2.1	Näytepisteiden määrä ja sijoittelu	6
5.2.2	Näytteenotto	7
5.2.3	Näyteanalyysit ja tulosten tulkinta	8
6	Haittavaikutusten hallinta mustaliuskekohteella	9
6.1	Hapettumisen ehkäiseminen	10
6.2	Kaivettujen massojen neutralointi	10
6.3	Vesien käsittely	11
6.4	Kulkeutumisen ehkäiseminen	11
7	Johtopäätökset	17
8	Kirjallisuus	20
9	Liitteet	21

28.4.2025

1 JOHDANTO

Tampereen kaupunki tilasi GTK:lta 21.1.2025 päivätyllä ostotilauksella selvityksen mustaliuskeiden huomioimisesta kaavoituksessa Tampereen kaupungin alueella. Kaupungin alueella on useita tulkittuja kallioperän mustaliuskevyöhykkeitä, jotka muodostavat potentiaalisen riskin ympäristölle maankäytön yhteydessä. Mustaliuskeiden riskinarvioon ja tutkimiseen kaavoituksen yhteydessä ei kuitenkaan ole yleisesti käytössä olevia ohjeita, joiden perusteella maankäyttö mustaliuskealueilla voitaisiin suunnitella ympäristövaikutukset minimoiden.

Tässä selvityksessä tuotettiin taustatietoa mustaliuskeista, kallioperästä ja maaperästä Tampereen kaupungin alueella sekä laadittiin ohjeet mustaliuskeiden huomioimiseen kaavoituksen eri vaiheissa. Selvityksessä tarkennettiin olemassa olevien aineistojen pohjalta mustaliuskevyöhykkeiden sijaintitietoa ja laadittiin kansallisen HaSu-oppaan (Autiola ym. 2022) pohjalta esikartoitus-/tutkimustarpeen arvioinnin malli, jonka avulla voidaan tehdä päätös tarkempien tutkimusten tarpeellisuudesta ja mahdollisista kaavamääräyksistä.

Mustaliuskeiden kohteellisiin tutkimuksiin ei ole ollut olemassa yksityiskohtaisia ohjeita (vertaa Autiola ym. 2022 ja Loukola-Ruskeeniemi ym. 2023b) ja niiden suunnittelu on lähtökohtaisesti haastavampaa kuin tyypillisten happamien sulfaattimaiden (HaSu), jotka ovat Itämeren Litorinameri-vaiheessa kerrostuneita sedimenttejä. HaSu-maita on nykyisin näkyvissä rannikkoalueilla, koska Itämeren pinta on sen jälkeen laskenut. Tässä työssä laadittiin mustaliuskealueiden tarkennettuja tutkimuksia varten ohjeistus, jonka perusteella voidaan laatia kohteellinen riskihallintasuunnitelma. Ohjeistus käsittää tutkimussuunnitelman laatimisen, maastotyöt ja näyteanalyysit sekä riskihallintamenetelmät tiivistetysti. Menetelmien osalta kuvataan myös mahdolliset puutteet ja kehitystarpeet.

2 TAMPEREEN ALUEEN KALLIOPERÄ JA MUSTALIUSKEIDEN ESIINTYMINEN

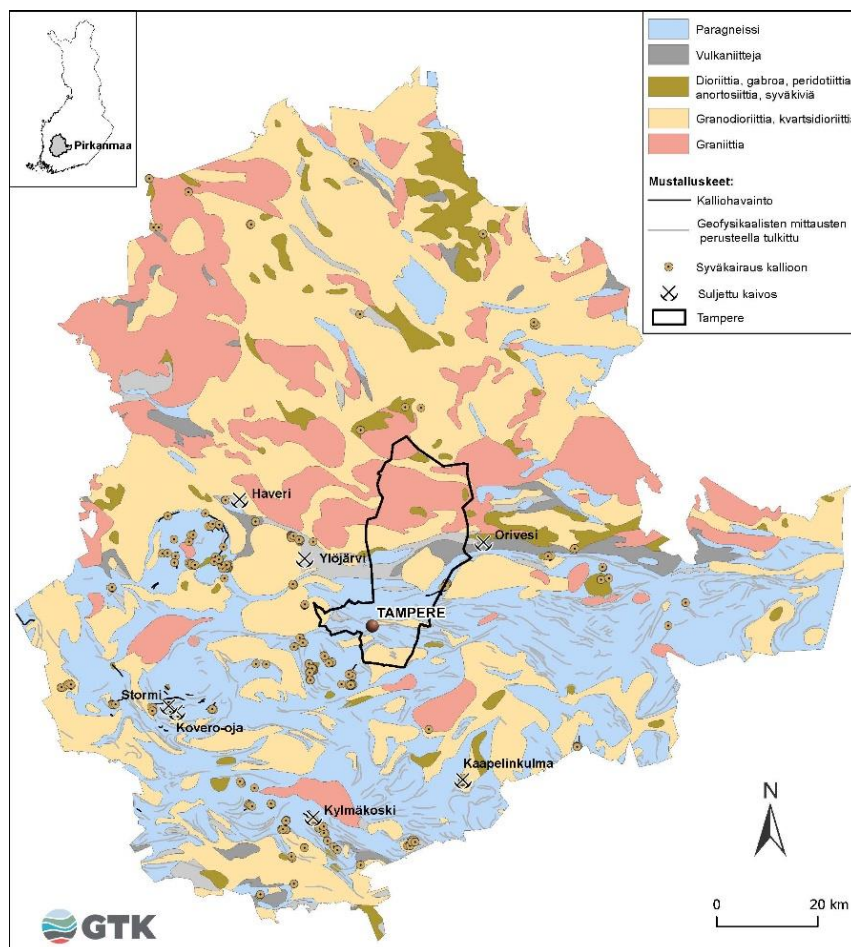
Tampereen alueen kallioperä jakautuu kahteen päätyyppiin. Teiskon alueella pohjoisessa on granitoideja (kuva 1), eli koostumukseltaan graniitin kaltaisia kivilajeja. Ne ovat syväkiviä ja kiteytyneet alun perin kivilajasta syvällä maankuoressa yli 1800 miljoonaa vuotta sitten. Näillä alueilla ei ole mustaliuskeita. Sen sijaan kaupungin kohdalla on itä-länsi-suunnassa Tampereen liuskevyöhyke, joka ulottuu Kankaanpäästä Luhangalle ja on enimmillään 20 km leveä (esim. Kähkönen 1989, Kuivamäki 2009).

Tampereen liuskevyöhykkeen kivet ovat alun perin pääosin kerrostuneet mereen. Kivilajiseurueeseen kuuluu saviainesta sisältäviä hiekka- ja silttikiviä, savikiviä ja soraainesta sisältäviä kiviä. Niiden lisäksi on saman verran erityyppisiä tulivuoriperäisiä kivilajeja eli vulkaniitteja (esim. Pihlaja 1974). Jotta asia ei olisi liian yksinkertainen, vyöhykkeen sisällä on näiden sedimenttikivien ja vulkaniittien lisäksi syväkiviä, granitoideja, jotka ovat kivilajiltaan tai kidepuurona aikoinaan tunkeutuneet liuskeisiin. Kaikki nämä ovat myös yhtenä pakettina kärsineet korkeaa lämpötilaa ja painetta

28.4.2025

(Näsijärven seudulla noin 450°C ja 3 kbar) syvällä maankuoressa ja metamorfoituneet, jolloin mineraalit ovat paikoin muuttuneet. Lisäksi on siirros-, murros- ja hiertovyöhykkeitä ja poimuttumista. Kuitenkin alkuperäisiä vulkaanisia ja kerrostumiseen liittyviä rakenteita on aika hyvin näkyvissä edelleen kalliopaljastumilla. Näsijärven seudulla Tampereen liuskevyöhyke koostuu vähintään 6 km paksusta pinkasta näitä kiviä. Mustaliuskeet ovat alkujaan kerrostuneet merenpohjan hapettomiin syvänteisiin ja niitä esiintyy Tampereen liuskevyöhykkeellä, mutta ei granitoidialueilla (kuva 1). Koska mustaliuskeita ei esiinny Tampereen kaupungin pohjoisosissa, aiemmin Teiskoon kuulunut pohjoisosa rajattiin tästä selvityksestä pois (kuva 2).

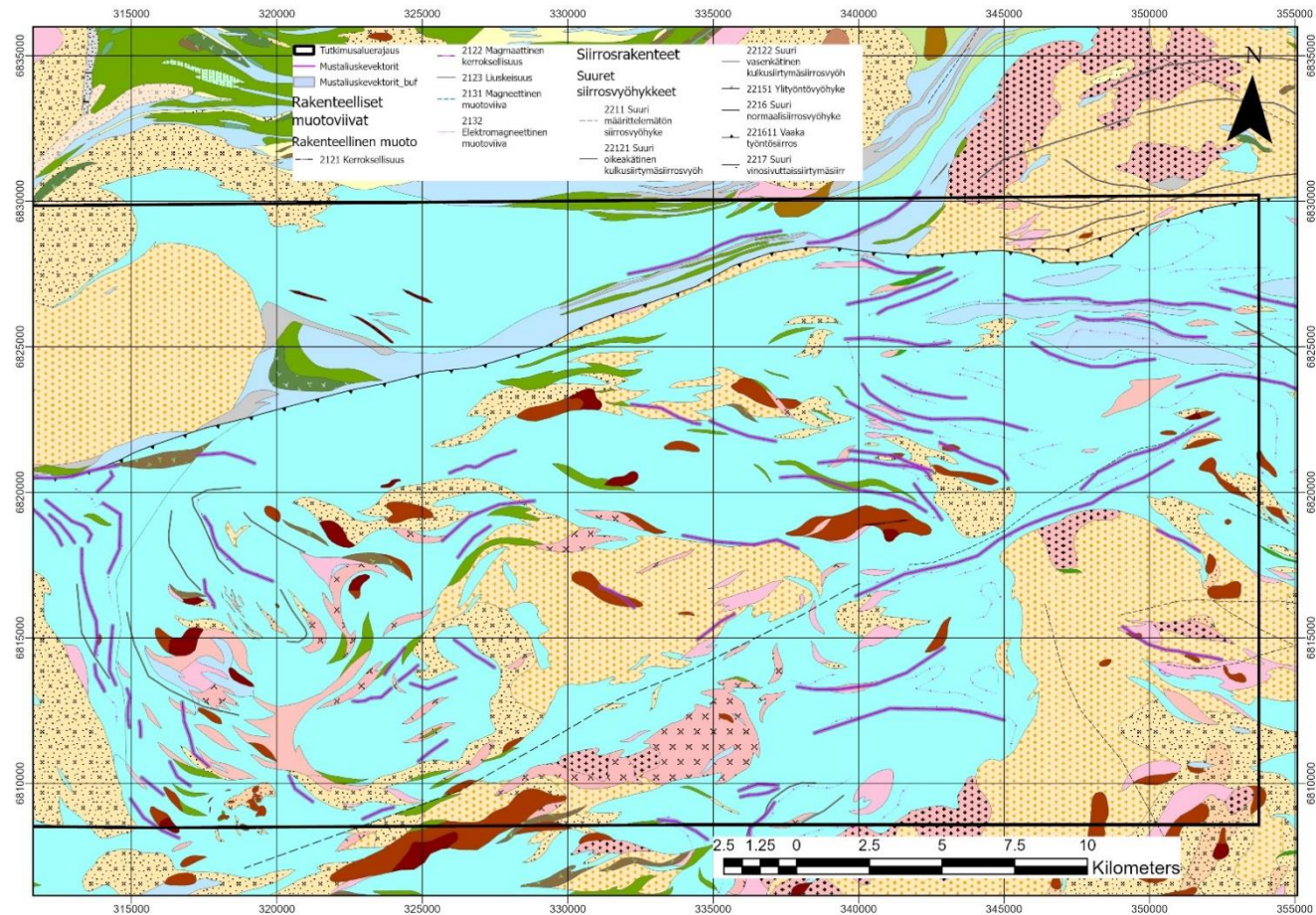
Mustaliuskeita on yleisesti Suomen kallioperässä, mutta niiden ominaisuudet vaihtelevat. Mikäli mustaliuskemuodostuman paksuus on yli 3 metriä ja se sisältää yli 1 % rikkiä, se voi aiheuttaa ympäristöriskiä, jos kiveä rikotaan tai paljastetaan hapettumiselle alttiiksi (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2023b). Tampereen seudulla mustaliuskeet ovat tavallisesti viimeisen jäätiköitymisen aikana ja jälkeen muodostuneen maaperän peitossa. GTK:lla on Tampereen kaupungin alueen mustaliuskeista vain muutama kemiallinen analyysitulos, eikä alueelta ole syvien kalliokairauksien kairansydämiä GTK:n arkistoissa (kuva 1). Mustaliuskeiden sijaintitiedot perustuvat sen vuoksi pääosin geofysikaalisiin tutkimuksiin (ks. seuraava kappale 1.2).



28.4.2025

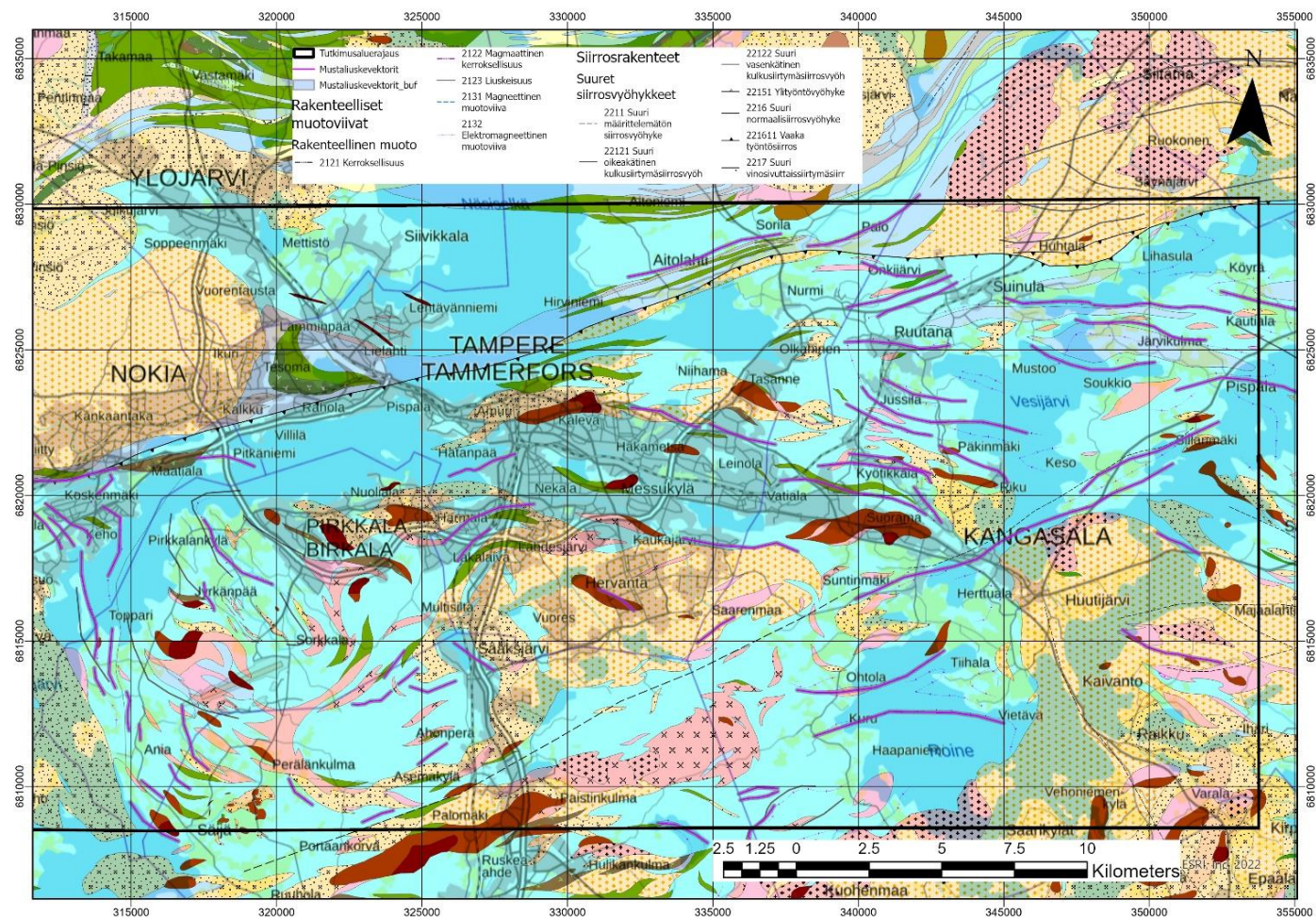
Kuva 1. Tampereen kaupungin alue kallioperäkartalla. Pohjoisosassa on granitoideja (graniittia, granodioriittia ja kvartsidioriittia), eikä lainkaan mustaliuskevyöhykkeitä, minkä vuoksi tutkimusalue rajattiin eteläosaan (kuva 2). Keltaiset ja punaiset sävyt kuvaavat granitoideja. Tulivuoriperäiset kivet on esitetty harmaalla värillä ja mereen kerrostuneet sedimenttikivet sinisellä. Tampereen kaupungin alueelta ei ole GTK:n arkistoissa syväkairanreikiä. Kallioperätiedot perustuvat GTK:n DigiKP-aineistoon (www.hakku.fi; https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/kalliopera_100k.html).

28.4.2025



Kuva 2. Tulkitut (tarkennettu tulkinta) mustaliuskeet kallioperäkartalla ja tutkimusalueen raja. Mustaliuskeet on esitetty violeteilla viivoilla. Kallioperätiedot ja tiedot kallioperän rakenteista perustuvat GTK:n DigiKP-aineistoon ([www.hakku.fi: https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/kalliopera_100k.html](http://www.hakku.fi/https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/kalliopera_100k.html)).

28.4.2025



Kuva 3. Tulkitut (tarkennettu tulkinta) mustaliuskeet kallioperäkartalla ja peruskartalla (yleistetty) sekä tutkimusalueen raja. Mustaliuskeet on esitetty violeteilla viivoilla. Kallioperätiedot perustuvat GTK:n DigiKP-aineistoon ([www.hakku.fi; https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/kalliopera_100k.html](https://tupa.gtk.fi/paikkatieto/meta/kalliopera_100k.html)).

28.4.2025

2.1 Tulkitut mustaliuskevyöhykkeet/lentogeofysiikan aineiston kuvaus

GTK toteutti vuosina 1972–2007 koko maan kattavan geofysikaalisen matalalentomittauksen, joka sisälsi magneettisen, sähkömagneettisen ja luonnon gammasäteilymittauksen. Mustaliuskeiden esiintymiseen tulkinnassa (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2023a) käytettiin sähkömagneettista (mittaustaajuus 3,2 kHz) ja magneettista aineistoa, jotka on interpoloitu 50 metrin pikselikokoon. Tulkinnassa hyödynnettiin lisäksi geologisia paljastuma- ja kairaustietoja, valtakunnallista petrofysiikan rekisteriä ja Maanmittauslaitoksen (MML) maastotietokantaa. GTK:n matalalentomittauksen tekniset toteutukset ja mittausaineistojen käsittely ja tulkintaa on käsitelty laajasti julkaisussa Airo (toim.), 2005.

Tutkimusalueen matalalentomittaukset on tehty vuosina 1977 ja 1985 (kuva 4). Lentoalueet ovat: Teisko (ID 250) lentovuosi 1977 NS (pohjois-eteläinen lentosuunta), Toijala (ID 254) lentovuosi 1985 NS (pohjois-eteläinen lentosuunta) ja Kangasala (ID 53) lentovuosi 1985 NS (pohjois-eteläinen lentosuunta). Lentoaineiston laatu on keskinkertainen. Syynä tähän on GPS-paikannuksen puuttuminen sekä osin vanhemmat mittauslaitteet, varsinkin Teiskon lentoalueella.

Tutkimusalueen mustaliuskeiden tarkennettu paikannus tehtiin käyttäen hyväksi alueelle skaalattuja ja prosessoituja magneettisia ja sähkömagneettisia aineistoja. Tarkennetut mustaliuskevektorit bufferoitiin 100 metrin bufferilla, joka kuvaa karkeasti matalalentoaineiston spatiaalista tarkkuutta (50–100 m). Alkuperäisestä aineistosta poistettiin suurimmille vesialueille ja taajaan rakennetuille kaupunkialueille, alkuperäiseen mustaliuskeaineistoon tulkittuja, mahdollisia mustaliuskevyöhykkeitä. Myös joitakin geologisen kartan kanssa ristiriidassa olevia mustaliusketulkintoja poistettiin. Lisäksi tarkennettiin alueelle skaalattujen ja prosessoitujen magneettisten ja sähkömagneettisten aineistojen perusteella joitakin alkuperäisessä mustaliusketulkinta kartassa esitettyjä tulkintoja.

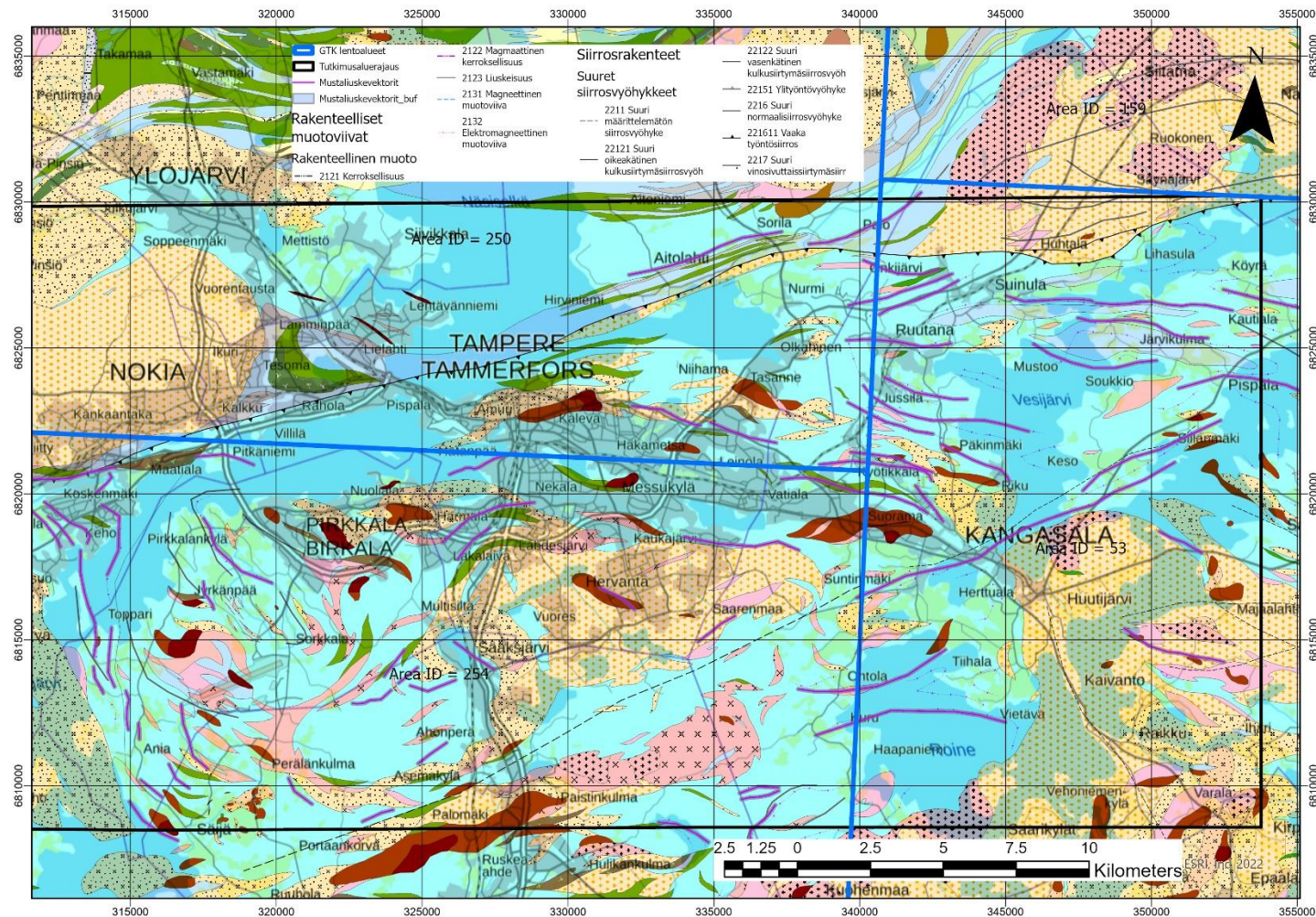
Muutamilla alueilla mustaliuskevyöhyke on poistettu kokonaan tarkennetun geofysikaalisen tarkastelun tulosten perusteella. Mustaliuskevyöhykkeiden sijaintien tarkennukset perustuvat lentogeofysikaalisen aineiston uudelleentulkintaan. Muutosten taustalla ovat muun muassa seuraavat tekijät:

- Tampereen seutu priorisoitiin lentogeofysiikan mittauksissa korkealle, kun GTK aloitti geofysikaaliset matalalentomittaukset 1970-luvulla. Se oli yksi ensimmäisistä lentokohteista, ja aineisto on siten hyvin vanhaa (1970- ja 1980-luvulla tehty). Vanhoissa mittauksissa ei ole muun muassa ollut käytössä GPS-paikannusta. Menetelmäkehitystä ja uudempien alueiden tulkinnasta opittuja tietoja hyödynnettiin Tampereen kaupungille vastikään tehdyssä uudelleentulkinnassa.
- Myös Tampereen alueen kallioperäkartoitustiedot ovat vanhoja, samasta syystä. Kallioperäkartat eivät ole yhtä luotettavia kuin uudemmat kartoitukset muualla maassa.

28.4.2025

Vanha lentogeofysikaalinen aineisto on tuotettu mittakaavassa 1:100 000, eikä se sovellu sellaisenaan sitä tarkempaan tarkasteluun. Kaava-alueen mittakaavassa ainoa keino saada mustaliuskevyöhykkeen sijainti tarkennettua on tehdä maastogeofysikaalisia mittauksia.

28.4.2025

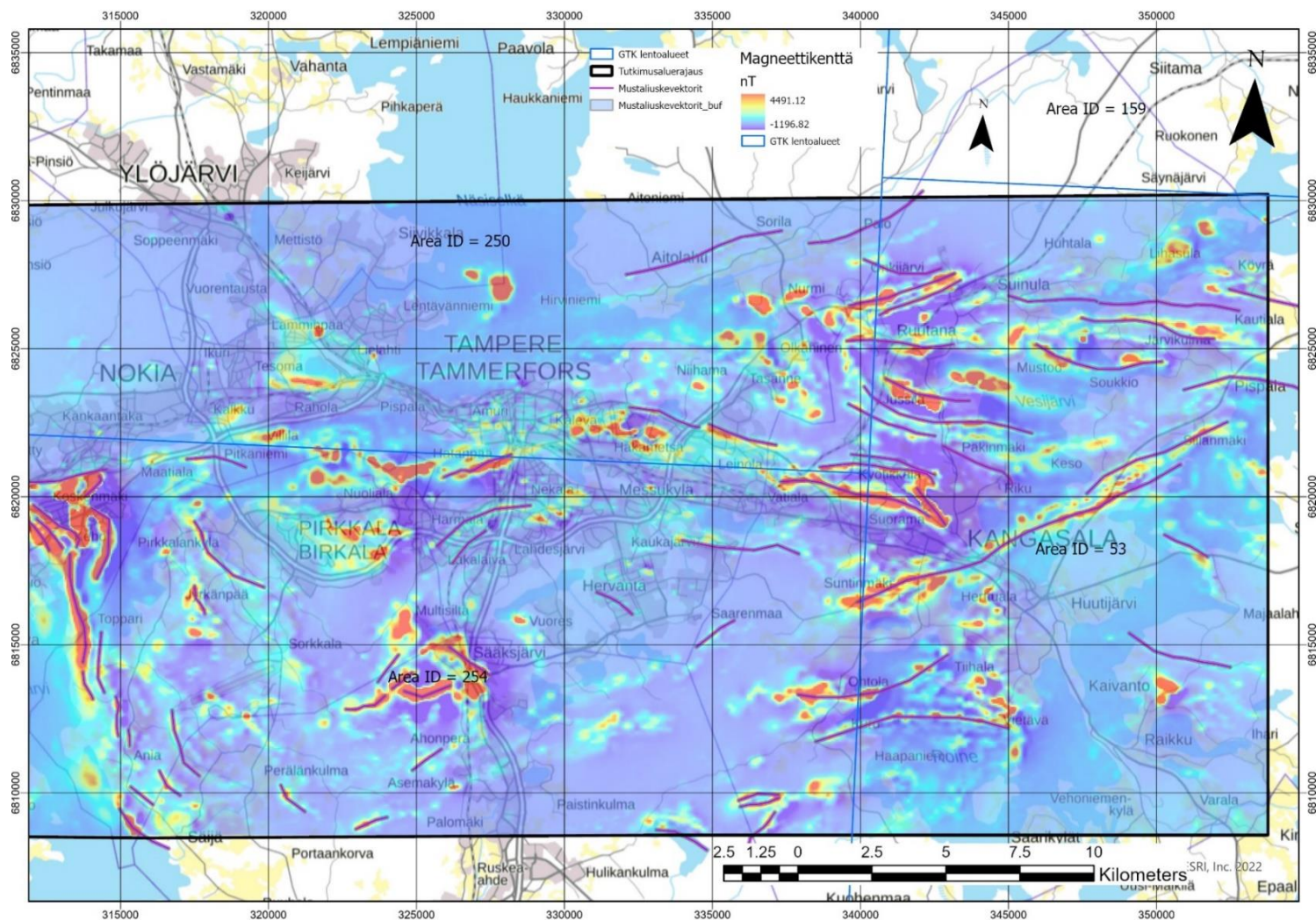


Kuva 4. Mustaliuskevyöhykkeet (tarkennettu tulkinta, violetti), tutkimusalueen raja ja lentoalueiden rajat (siniset viivat) kallioperäkartalla.

28.4.2025

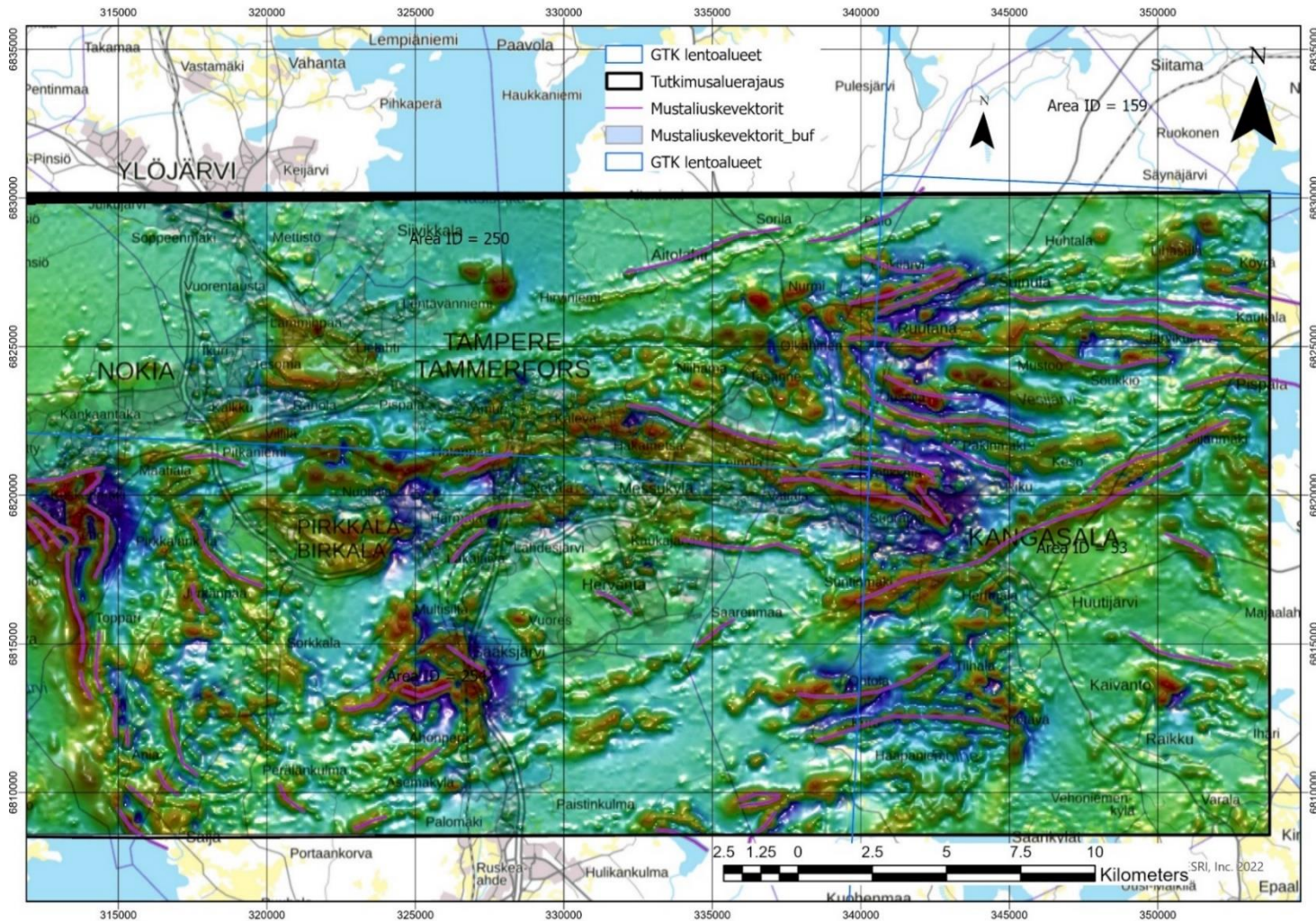
Seuraavissa kuvissa (kuvat 5–8) on esitetty tulkitut mustaliuskeet, aerogeofysikaalisten tutkimusalueelle skaalattujen ja prosessoitujen magneettisten ja sähkömagneettisten aineistojen perusteella. Magneettinen aineisto kuvaa kallioperän magneettisuuden muutoksia. Johtuen potentiaalikenttien (magneettisuus) luonteesta syvyyssulottuvuus on suuri. Sähkömagneettisessa mittauksessa syvyyssulottuvuus rajautuu, mm. sähkömagneettisen kentän luonteesta sekä käytetystä mittauskonfiguraatiosta johtuen, 30–70 metriin. Rakennetusta ympäristöstä, sivilisaatiosta, aiheutuvat anomalias (häiriöt) näkyvät sähkömagneettisessa aineistossa voimakkaammin kuin magneettisessa aineistossa. Tällä tutkimusalueella sivilisaation aiheuttamat anomalias (häiriöt) ovat merkittäviä.

28.4.2025



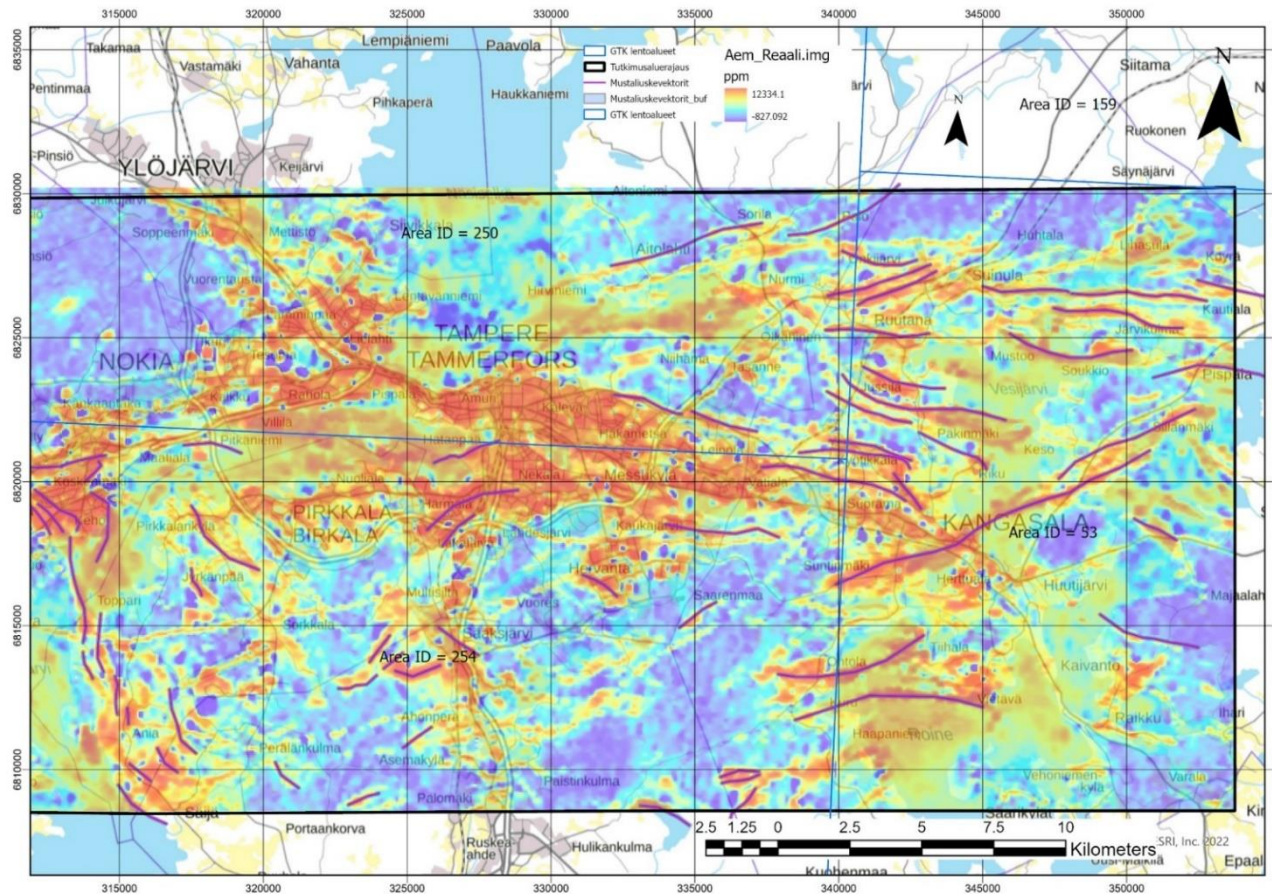
Kuva 5. Mustaliuskevyöhykkeet, tutkimusalueen rajausta ja tutkimusalueen magneettinen anomaliakartta peruskarttapohjalla (yleistetty).

28.4.2025



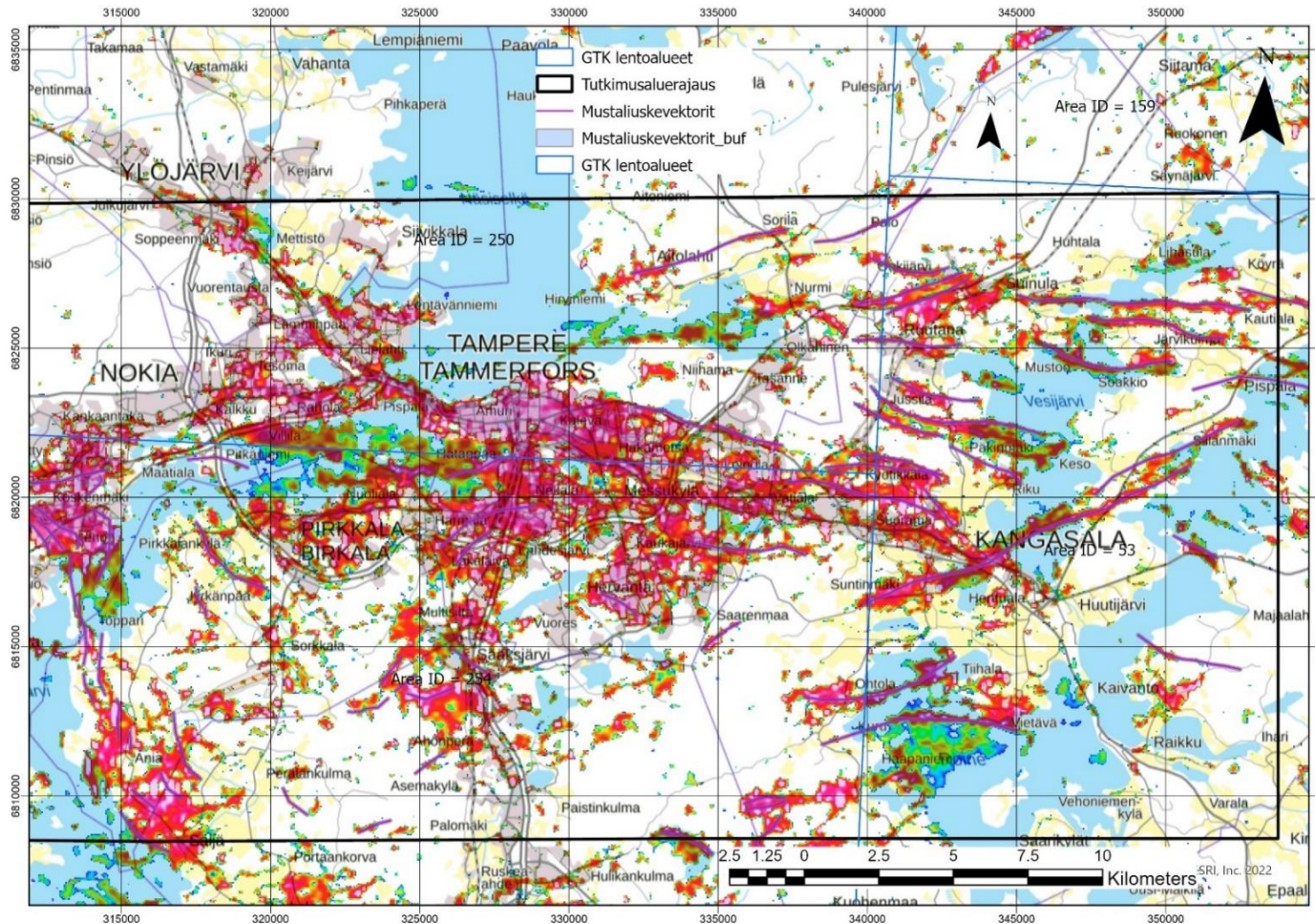
Kuva 6. Mustaliuskevyöhykkeet, tutkimusalueen raja- ja tutkimusalueen magneettinen vinovalaistus (N) anomaliakartta peruskarttapohjalla (yleistetty).

28.4.2025



Kuva 7. Mustaliuskevyöhykkeet, tutkimusalueen rajausta ja tutkimusalueen sähkömagneettinen reaalikomponentti anomaliakartta peruskarttapohjalla (yleistetty).

28.4.2025



Kuva 8. Mustaliuskevyöhykkeet, tutkimusalueen raja ja tutkimusalueen sähkömagneettisista mittauksista laskettu sähkönjohtavuuden anomaliakartta peruskarttapohjalla (yleistetty).

28.4.2025

Tässä tutkimuksessa esitetty tarkennettu mustaliusketulkinta on, tarkennuksista huolimatta, yleismittakaavainen. Aerogeofysikaalinen aineisto ei sovellu yksityiskohtaisempaan tarkasteluun. Käytetty 100 metrin bufferointi kuvaa suurelta osin tulkinnan spatiaalista epävarmuutta.

Kohteellisessa tarkastelussa suositellaan geofysikaalisia maanpintamittauksia tulkittujen mustaliuskeiden paikannuksen tarkentamiseksi. Sähkömagneettiset GEM-2 mittaukset ovat osoittautuneet tehokkaiksi mm. GTK:n grafiitti- sekä ympäristö(mustaliuske) tutkimuksissa. Myös sähköiset ja magneettiset menetelmät soveltuvat tarkennettuun paikantamiseen, mutta ne ovat kalliimpia.

Aerogeofysikaaliset geokoodatut kartat sekä raportin tulkintakuvat ja tarkennettu mustaliusketulkinta paikkatietoformaattissa (.shp) toimitetaan raportin liitteenä (Geofysikaaliset_tuloskartat). Tarkennetun mustaliusketietokannan nimi on: GTK_MustaliuskeetKaavoituksessa_Mustaliuskevyohykkeet_02042025_ETRS_GK24Koordinaattijärjestelmä: EUREF FIN TM35FIN. Toimitettuun (.shp) -muotoiseen mustaliusketulkinta tiedostoon liittyy attribuuttitaulu (Attribute Table), jonka kentässä **slinebased** on numerokoodilla esitetty kunkin mustaliuskeviivan tulkintaperuste sekä kommenttikentässä joitakin kommentteja. Tämä taulu "periytyy" alkuperäisestä mustaliuske tietokannasta, joka on saatavissa karttapalveluista (taulukko 1).

Taulukko 1. Mustaliuskemuodostumien tulkintaperusteet.

SLINEBASED	Kuvaus
4	Kallioperähavainto, josta löytynyt grafiittimustaliusketta
5	Tulkittu magneettiselta kartalta
6	Tulkittu sähkömagneettiselta kartalta
13	Kairauksessa löytynyt mustaliusketta. Kairansydännäytteestä kemialliset analyysit ja petrofysikaaliset mittaukset
14	Kairauksessa löytynyt grafiittiliusketta. Kairansydännäytteestä kemialliset analyysit ja petrofysikaaliset mittaukset
15	Kairauksessa löytynyt mustaliusketta. Kairansydännäytteestä kemialliset analyysit
16	Kairauksessa löytynyt grafiittiliusketta. Kairansydännäytteestä kemialliset analyysit
17	Kairauksessa löytynyt mustaliusketta. Kairansydännäytteestä petrofysikaaliset mittaukset
18	Kairauksessa löytynyt grafiittiliusketta. Kairansydännäytteestä petrofysikaaliset mittaukset
19	Kairauksessa löytynyt mustaliusketta. Tulkittu sähkömagneettisista ja magneettisista aineistoista
20	Kairauksessa löytynyt grafiittiliusketta. Tulkittu sähkömagneettisista ja magneettisista aineistoista

28.4.2025

2.2 Tampereen alueen maaperä ja pohjatutkimukset mustaliuskevyöhykkeiden läheisyydessä

Maaperätarkastelu kallioperän mustaliuskevyöhykkeiden läheisyydessä on tärkeää, sillä mustaliuskekallioperää peittää lähes aina maaperä, jossa voi olla mustaliuskekallioperästä irronnutta kiviainesta. Suot ovat mustaliuskealueilla erityistapausta, sillä niihin on voinut rikastua valumavesien mukana kulkeutunutta rikkiä ja metalleja.

Mustaliuskepitoinen aines voi olla levinnyt maaperässä melko laajalle riippuen muun muassa mustaliuskevyöhykkeen paksuudesta ja jäätiköitymisen aikaisista kerrostumisprosesseista. Maaperässä mustaliuskepitoinen aines aiheuttaa vastaavan ongelman kuin happamat sulfaattimaat. Eli maaperän hapettuminen kuivatuksen (esim. ojitukset ja kaivettujen massojen läjitys) yhteydessä aiheuttaa happamoitumista ja haitallisten metallien liukoisuuden lisääntymistä.

2.2.1 Maaperän geologiset yleispiirteet

Savi ja kalliomaat ovat pinta-alan perusteella Tampereen alueen merkittävimmät maalajit (Kukkonen ym. 2003). Alueen maaperäkarta on esitetty kuvassa 12. Maalajien yleisyys on esitetty alla olevassa taulukossa 2.

Taulukko 2. Tampereen maalajit ja niiden osuus maaperäkartalla.

Maalajit Tampereella	Osuus maaperäkartalla %
Savi sekä savi, jonka päällä alle 1 m muuta maalajitetta	22,7
Kalliomaat (kallio < m syvyydellä maanpinnasta)	22,5
Hiekka- tai soravaltainen harju tai muu hiekkamuodostuma	12
Karkea hieta (rantakerrostuma)	10,5
Hiekkamoreeni	10,1
Turve	3,2
Muut maalajitteet	3,4
Kartoittamaton	15,6

Tampereen mustaliuskealueilta on tehty kalliovarmistettuja porakonekairauksia, joiden perusteella maapeitteen paksuuden mediaani on 5,6 m (kuva 11). Tampereen keskustan halki kulkee itä-länsisuuntainen merkittävä hiekkavaltainen harju, joka on aikoinaan kerrostunut kahden jäätikkökielekevirran saumakohtaan (Kukkonen ym. 2003). Pyynikin ja Pispalan jyrkkärinteisen harjun kohdalla irtomaata on paikoin yli 70 metriä kallion päällä.

Muut karkearakeiset kerrostumat (hiekkamoret ja karkea hieta) ovat alueella lähinnä rantakerrostumia, jotka ovat kerrostuneet harjumuodostumien liepeille ja voivat peittää ohuena kerroksena hienoaineskerrostumia eli savea ja hiesua.

Alueen moreenit ovat maaperäkartan selitteen mukaan normaalikivistä hiekkamoreenia, jonka pintaosista hienoainekset ovat huuhtoutuneet muualle eri rantavaiheiden aikana.

28.4.2025

Savien savespitoisuus on kartta-alueella 40–50 %. Laajimmat savikot ovat Ryydynpohjan ja Ilmarinjärven ympäristössä. (Kukkonen ym. 2003)

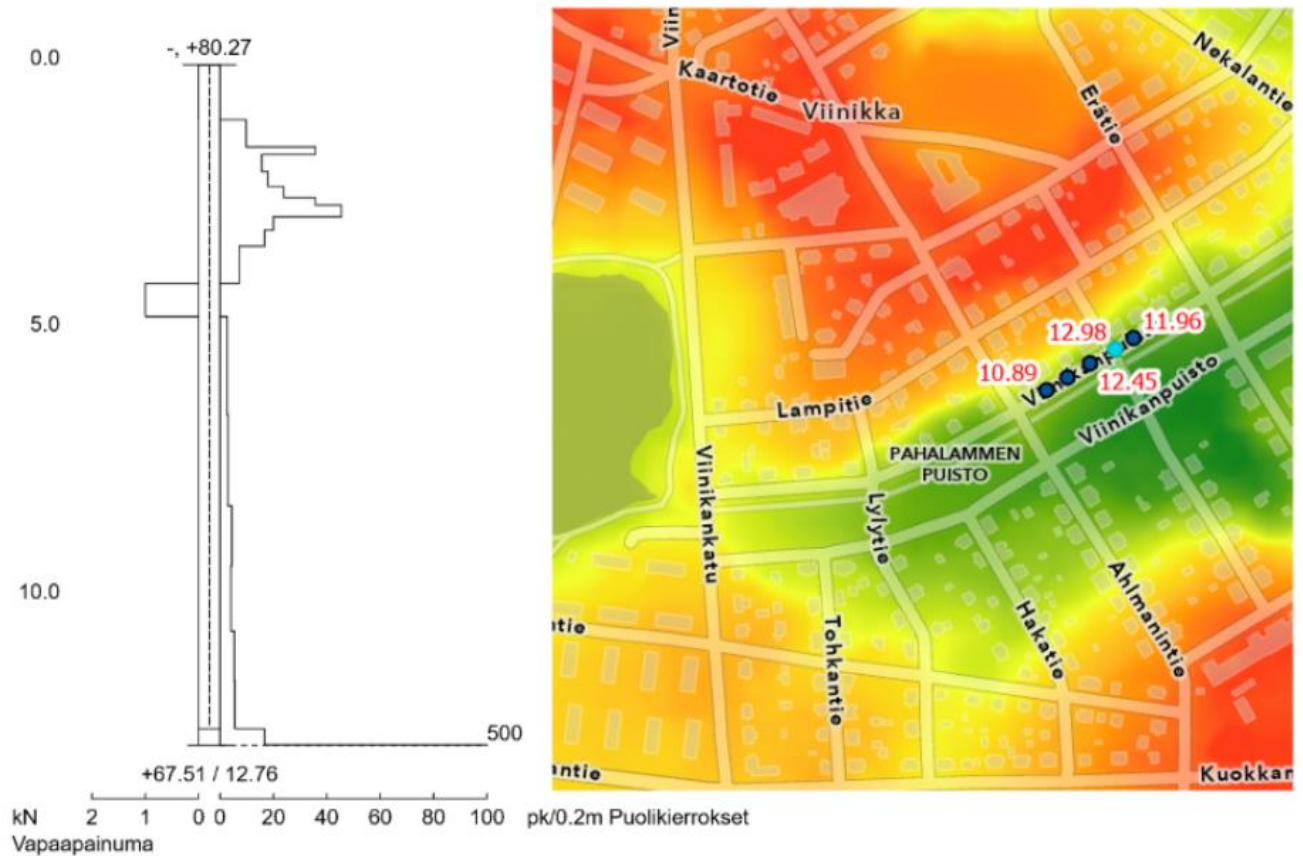
2.2.2 Mustaliuskealueiden maaperätarkastelu ja tuotetut paikkatietoaineistot

Paikallisen mustaliuskeaineuksen esiintyminen haitallisen korkeina pitoisuuksina on todennäköisintä moreenissa ja toisaalta melko epätodennäköistä siltti- ja saviaineuksessa, johtuen siitä, että hienoainepartikkelit ovat kulkeutuneet nykyiselle paikalleen laajalta alueelta. Lisäksi paksu savikerros suojaa hyvin sen alla olevaa mustaliusketta hapettumiselta ja happamoitumiselta. Myös yleisesti paksun maapeitteen arvioidaan pienentävän riskiä. Siksi tässä työssä kartoitettiin mustaliuskeiden kohdilta saven esiintyminen. Moreenikerroksen paksuudesta on vain vähän suoraa tietoa, sillä sellaiset kairaustyytit, joilla on mahdollista tunnistaa maakerrosrajoja, usein päättyvät siihen, mistä tiivis moreenikerros alkaa.

Mustaliuskealueilla on tehty vuosikymmenten aikana yhteensä 2 411 paino- ja 258 puristinheijarikairautta. Niissä 65 % oli tunnistettu yli metrin paksuinen savi- tai silttikerros (kuva 12).

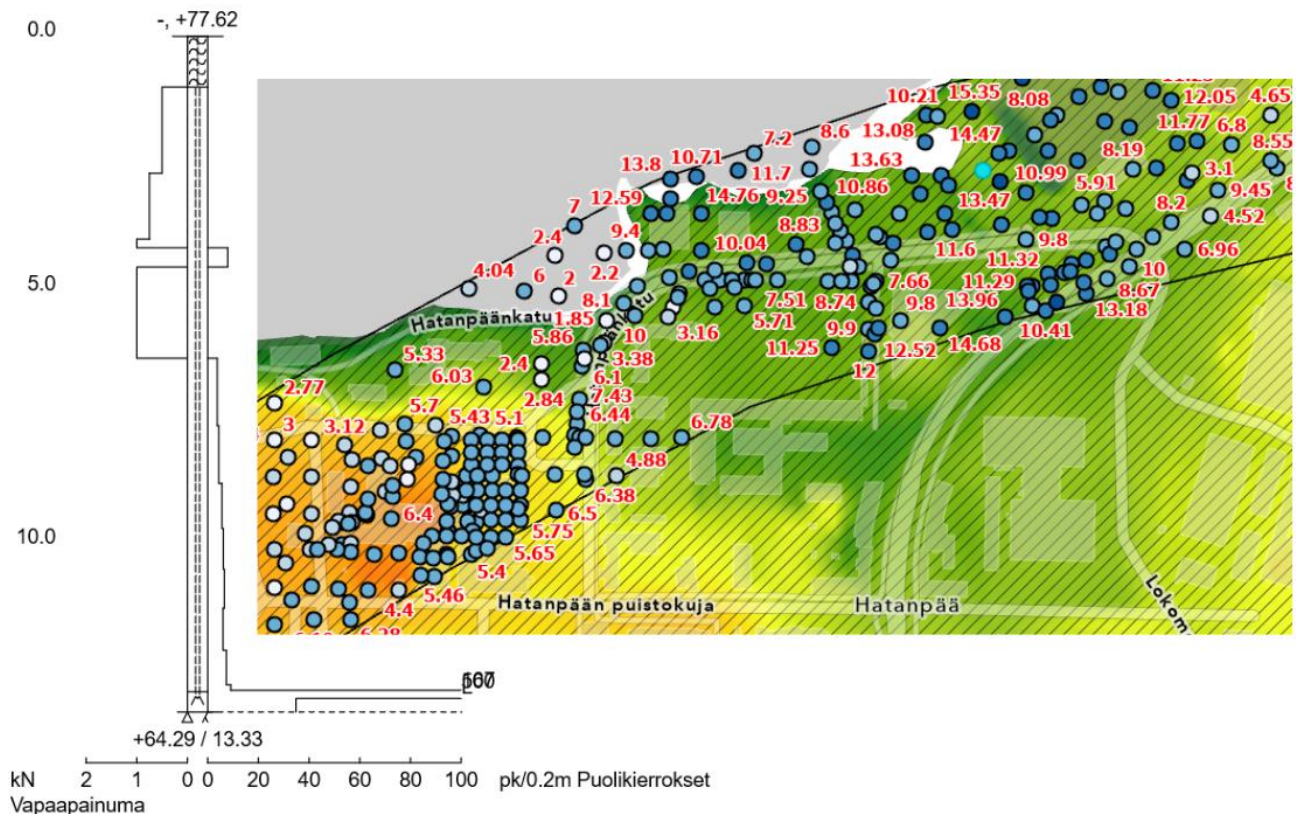
Tutkimusalueiden savi- ja silttikerrosten mediaanipaksuus on 3,7 metriä, paksuimpien ollessa yli 15 m. Paksuimmat savikerrostumat sijaitsevat Lielahdessa, Viinikanpuiston alueella, Hatanpäässä, Vihiojan varrella ja keskustassa Rongankadun alueella. Yhteistä näille alueille on se, että ne ovat maaston painannekohtia, jotka on helppo erottaa alustavasti korkeusmallitarkastelun perusteella (kuvat 9–12).

28.4.2025



Kuva 9. Vasemmalla esimerkikairaus Viinikanpuistosta. Maalaji on tulkittu saveksi aina kairauksen päättymissyvyyteen eli 12,76 m asti. Oikealla kairauspisteiden sijainti ja tulkitun savikerroksen paksuus metreinä sekä korkeusmalli (vihreä matalampi korkeustaso, punainen korkeampi).

28.4.2025



Kuva 10. Esimerkkikairaus Hatanpään ranta-alueelta. Maalaji on tulkittu siltiksi 13 metrin syvyyteen asti. Siltin alta alkaa moreenikerros. Kairaus on päättynyt joko kiveen tai kallioon. Karttakuvassa korkeusmalli (vihreä matalampaa aluetta), kairauspisteiden sijainti ja tulkitun savi/silttikerroksen päättymissyvyys metreinä (punainen arvo). Hienoaineskerros on paksuimmillaan maaston painannekohdassa.

Kuvassa 13 on esitetty mustaliuskealueiden rajausta sen jälkeen, kun savikkojen ja harjun alle jäävät mustaliuskeet poistettiin kuvasta. Uudet rajaukset kuvaavat alueita, missä on tulkittu esiintyvän moreenia lähellä maanpintaa. Jos alueelta ei ollut saatavilla kairautietoa, oletettiin, että savikerroksen paksuus on alle 2 m. Näiden alueiden maaperässä mustaliuskeen esiintyminen on todennäköisempää kuin muilla alueilla. Huomionarvoista on, että mustaliuskepitoista maaperää saattaa olla myös huomattavasti laajemmalla alueella mitä nyt tuotettu rajausta osoittaa, sillä jäätikkö on voinut kuljettaa mustaliuskeainesta tulkittua mustaliuskeen esiintymisen 100 metrin "bufferia" kauemmas.

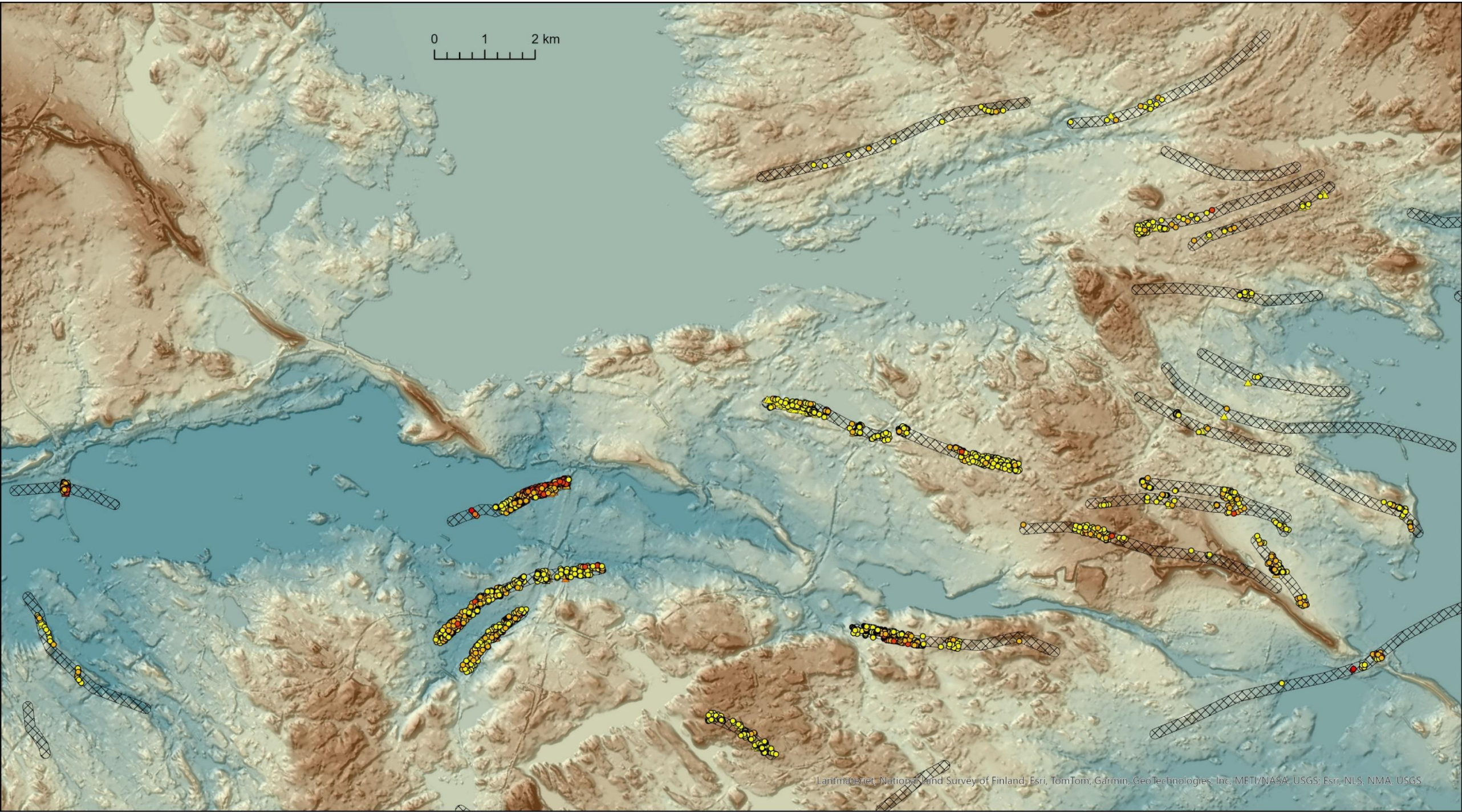
Tämä tarkastelu perustuu vain kartta- ja kairautulkintaan, ei geokemiallisiin analyysihin. Kyseinen rajausta ei siis poista tulkintaa mustaliuskevyöhykkeen esiintymisestä tulkittua alueelta, mutta sitä voidaan hyödyntää lisätutkimustarpeen-/riskinarvioinnissa.

Pohjatutkimusaineistojen perusteella tuotettiin alla listatut paikkatietoaineistot tässä työssä päivitettyjen mustaliuskevyöhykkeiden alueilta. Aineistoja voidaan hyödyntää esikartoituksessa- ja tutkimustarpeen arvioinnissa (kappale 3). Tuotettujen paikkatietoaineistojen osalta on huomioitava, että ne ovat suuntaa antavia, sillä maalajien paksuushavainnot ovat osin kairaajien tulkintoja ja niihin voi liittyä virhelähteitä.

28.4.2025

- GTK_mustaliuske_irtomaa_16042025_GK24
 - Irtomaanpeitteen paksuus metreinä
- GTK_mustaliuske_savi-silttikerros_16042025_GK24
 - Savi-/silttikerroksen paksuus metreinä
- GTK_mustaliuske_moreenipitoinen_irtomaa_riskialue_16042025_GK24
 - Vyöhykealueet, joissa moreeni on lähellä pintaa (poistettu savikoiden ja harjun alle jäävät mustaliuskeet) ja mustaliuskeaineksen esiintyminen on todennäköisintä. Mustaliuskeainesta voi olla laajemmalla alueella kuin raja-osa osoittaa.

28.4.2025



Muista kairauksista
tulkittu maanpeite /m

- 0,0 - 5,0
- 5,1 - 10,0
- 10,1 - 15,0
- 15,1 - 20,0
- 20,1 - 35,0

Porakonekairauksista
tulkittu maanpeite /m

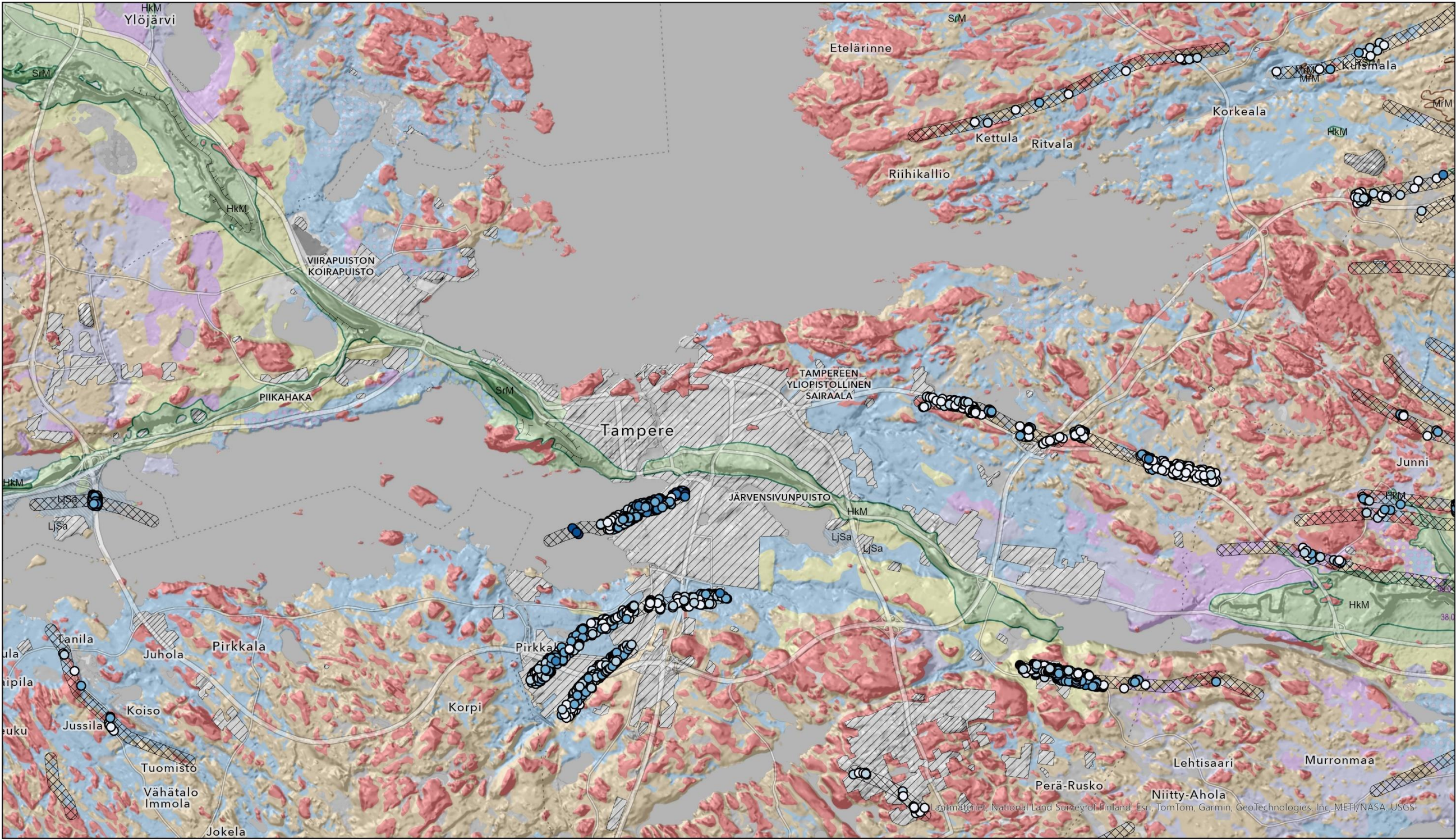
- 0,0 - 5,0
- 5,1 - 10,0
- 10,1 - 15,0
- 15,1 - 20,0
- 20,1 - 21,9

Mustaliuske
Mustaliuske

Korkeusmalli /m
178,71
74,24

- Kuva 11.** Maanpeitepaksuus on suurimmillaan Pispalassa harjulla. Myös Tampereen keskustassa on paikoin paksuja hiekkaisia irtomaapeitteitä. Keskustan ulkopuolelta kairausaineistoja on vähemmän. (paikkatietoaineisto: GTK_mustaliuske_irtomaa_16042025_GK24).

28.4.2025



Savi- ja
silttikerroksen
paksuus /m

- 0,0 - 3,0
- 3,1 - 5,0
- 5,1 - 10,0

- 10,1 - 15,0
- 15,1 - 24,1
- ▨ Mustaliuskealue

Pohjamaalajit
Maaperä 1:20 000

- Kallioma, maanpeite enintään 1 m (yleensä moreenia) (Ka)
- Rapakallio (RpKa)
- Rakka (RaKa)

- Lohkareita (Lo)
- Kiviä (Ki)
- Hiekkamoreeni (Mr), Soramoreeni (SrMr)
- Hienoainesmoreeni (HMr)
- Sora (Sr)

- Hiekka (Hk)
- liejuinen Hiekka, humuspitoisuus 2-6 % (LjHk)
- karkea Hieta (KHt)
- liejuinen Hieta (karkea), humuspitoisuus 2-6 % (LjHt)

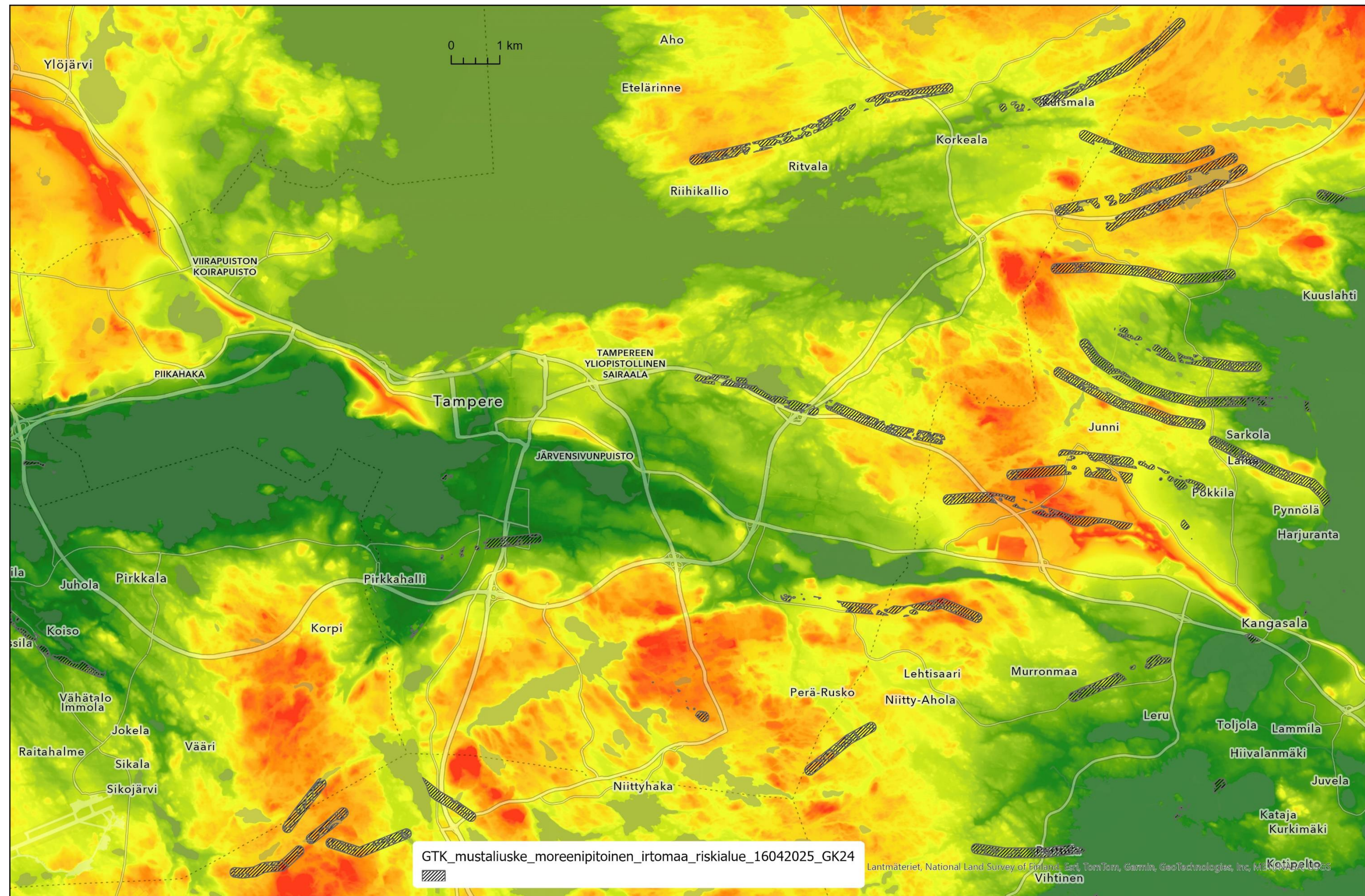
- hieno Hieta (HHt)
- liejuinen hieno Hieta, humuspitoisuus 2-6 % (LjHHt)
- Hiesu (Hs)
- Liejuhiesu, humuspitoisuus 2-6 % (LjHs)

- Savi (Sa)
- Liejusavi, humuspitoisuus 2-6 % (LjSa)
- Lieju, humuspitoisuus yli 6 % (Lj)
- Rahkaturve (St)
- Saraturve (Ct)

- Turvetuotantoalue (Tu)
- Täytemaa (Ta)
- Kartoittamaton (0)
- Vesi (Ve)

- Kuva 12.** Saven paksuus tulkittuna paino- ja puristinheijarikairauksista Tampereen mustaliuskealueilla (paikkatietoaineisto: GTK_mustaliuske_savi-silttikerros_16042025_GK24)

28.4.2025



- **Kuva 13.** Mustaliuskealueet, kun saven ja harjun alla sijaitsevat mustaliuskeet on jätetty rajauksesta pois. Nämä alueet ovat potentiaalisimpia kohonneiden mustaliuskepitaisuuksien alueita. Kyseistä rajausta voidaan hyödyntää tutkimustarpeen arvioinnissa, mutta sen perusteella ei voi rajata kokonaan pois mustaliuskeriskiä rajattujen alueiden ulkopuolella. Eli tapauskohtaisesti esimerkiksi myös harjukerrokset ja niiden alla olevat mustaliuskeet voi olla syytä huomioida kaavoituksessa. (paikkatietoaineisto: GTK_mustaliuske_moreenipitoinen_irtomaa_riskialue_16042025_GK24)

28.4.2025

2.2.3 Maaperäaineiston epävarmuudesta

Tässä työssä tarkasteltiin Tampereen kaupungin pohjatutkimusrekisteristä kerättyjä pohjatutkimuksia 100 m säteellä kartalle piirretystä mustaliuskeviivamerkinnästä. Pohjatutkimuksista luettiin automaattisella menetelmällä savi- ja/tai silttikerroksen paksuus. Koska pohjatutkimusmerkinnät ovat kulloisenkin kairaajan omia tulkintoja kyseisestä maalajitteesta, liittyy niihin epävarmuutta ja tulkinnanvaraisuutta. Tässä työssä tulkittu pisteaineisto on siis lähinnä suuntaa antava tieto hienoaineskerroksen paksuudesta. Silloin kun tehdään tarkempaa selvitystä tietyllä kohteella, tulee kairausten profiilit tulkita vielä erikseen.

3 MUSTALIUSKEET KAAVOITUKSESSA

Mustaliuskeiden huomioiminen kaavoituksessa voidaan rinnastaa pitkälti happamiin sulfaattimaihin, joista on ohjeistettu Kansallisessa HaSu-oppaassa (Autiola ym. 2022). Tässä työssä ohjeistusta on joiltain osin tarkennettu vastaamaan paremmin mustaliuskeiden sekä Tampereen kaupungin erityispiirteitä.

Mustaliuskeiden huomioiminen alkaa jo maakuntakaavavaiheessa, jossa lähinnä tunnistetaan alueet, joilla esiintyy mustaliuskeita, ja jotka on syytä huomioida seuraavissa kaavavaiheissa. Mustaliuskeet tunnistetaan maakuntakaavassa GTK:n mustaliusketietokannasta (Hakku/karttapalvelut). Tampereen kaupungin alueelta käytetään tässä työssä tuotettua tarkennettua mustaliusketasoa (Oskari-karttapalvelu).

Yleiskaavavaiheessa tehdään mustaliuskeiden esikartoitus, jonka pohjana on tässä työssä tarkennettu tietoaaineisto mustaliuskeiden esiintymisestä Tampereella. Esiintymisellä tarkoitetaan mustaliuskeen esiintymistä kallioperässä. Olemassa olevien aineistojen perusteella ei voida ottaa kantaa mustaliuskepitöisen aineksen esiintymiseen maaperässä (pääasiassa moreeni ja turve) Tampereen alueella. Esikartoituksessa tarkastellaan kuitenkin myös tässä työssä kerättyjä tietoja maaperästä, sillä esimerkiksi mustaliusketta peittävät savi-/silttikerrokset voivat pienentää maankäyttöön liittyvää riskiä. Lisäksi esikartoituksessa kerätään tietoja ympäristön herkkyydestä (kuten vesistöt) ja suunnitelluista rakentamisen toimenpiteistä sekä tehdään tarpeen mukaan alustavia maastotutkimuksia. Ympäristön herkkyydestä saadaan tietoa erityisesti yleiskaavan tueksi laadittavista hulevesi- ja luontoarvoselvityksistä. Esikartoituksen tietojen perusteella arvioidaan tarkempien tutkimusten tarve asemakaavavaiheessa ja tehdään päätös tarvittavista kaavamääräyksistä. Esikartoitus ja tässä työssä tuotettujen paikkatietoaaineistojen hyödyntäminen kuvataan tarkemmin kappaleessa 4.

Asemakaavavaiheessa tehdään tarkennetut maastotutkimukset ja näytteenotot, mikäli esikartoitus on osoittanut, että maankäytöllä voi olla mustaliuskeista johtuvia haitallisia vaikutuksia ympäristöön. Mikäli kaava-alueelle ei ole tehty yleiskaavavaiheessa esikartoitusta, voidaan se tehdä myös asemakaavavaiheessa. Asemakaavavaiheen tutkimusten perusteella määräytyvät mahdolliset kaavamääräykset sekä mahdolliset haittojen hallintatoimenpiteet (katso kappale 6). Tarkempien tutkimusten perusteella

28.4.2025

määräytyy myös kallioaineksen tai kaivetun maa-aineksen hyödynnettävyys ja jatkosijoittaminen.

Yleiskaavassa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavaa määräystä, mikäli esikartoitus on osoittanut, että mustaliuskeilla voi olla vaikutusta maankäyttöön ja ympäristöön: **Mustaliuskeen vaikutukset tulee arvioida yksityiskohtaisemman suunnittelun, maa- ja kalliorakentamisen ja ojitusten sekä valumavesiratkaisujen suunnittelun ja toteutuksen yhteydessä.**

Asemakaavassa voidaan käyttää esimerkiksi seuraavaa määräystä, mikäli tarkennettu maastotutkimus ja näytteenotto on osoittanut, että kaava-alueella on mustaliuskeita ja/tai mustaliuskepitoista maaperää, joka voi muodostaa riskin maankäytössä: **Kallioperän mustaliuskealueilla tulee rakentamisessa rakentamisluvan yhteydessä selvittää happamuutta tuottavien maa- ja kalliokiviainesten esiintyminen sekä huomioida rakentamisen aikaiset ja rakentamisen jälkeen tarvittavat varotoimenpiteet.**

4 ESIKARTOITUS JA TUTKIMUSTARPEEN ARVIOINTI

Esikartoituksen lähtökohta Tampereen kaupungin alueella on tässä työssä päivitetty tietokanta mustaliuskeiden esiintymisestä ja kaikilla niillä kaava-alueilla, joilla on tämän mukaan mustaliuskevyöhyke tai -vyöhykkeitä, olisi hyvä tehdä esikartoitus. Esikartoituksessa kerätään tiedot kohdealueen savi/silttikerrosten paksuudesta, maanpeitteen paksuudesta, valumavesien kohteena olevasta vesistöstä ja rakentamisen toimenpiteistä.

Savi/silttikerrosten esiintyminen ja maapeitteen paksuus mustaliuskevyöhykkeillä tarkastetaan tässä työssä tuotetuista paikkatietoaineistoista, jotka perustuvat pohjatutkimusaineistoihin. Mustaliuskeaineksen esiintyminen siltti- ja saviaineksessa haitallisina pitoisuuksina Tampereen alueella on hyvin epätodennäköistä ja erityisesti paksu savikerros suojaa hyvin mahdollista mustaliusketta tai mustaliuskepeitoista maaperää sen alla hapettumiselta ja happamoitumiselta. Myös harjuaineksen esiintymisen ja yleisesti paksun maanpeitteen arvioidaan pienentävän riskiä. Harjuaines on tyypillisesti kulkeutunut pidemmän matkaa, eikä sen koostumus edusta suoraan sen alapuolista kallioperää.

Maaperän osalta tarkistetaan myös tässä työssä tuotettu tietoaineisto (GTK_mustaliuske_moreenipitoinen_irtomaa_riskialue_16042025_GK24), joka osoittaa ne vyöhykkeiden osa-alueet, joissa moreeni on lähellä maanpintaa, ja joilla mustaliuskeainesta on maaperässä todennäköisimmin. Tämä ei sulje mustaliuskeriskiä pois rajauksen ulkopuolisilta vyöhykkeiltä, mutta osoittaa maaperän osalta ne alueet, joilla todennäköisimmin voisi esiintyä mustaliuskeainesta maaperässä. Mustaliuskeainesta saattaa myös olla maaperässä huomattavasti nyt tehtyä rajausta laajemmalla alueella. Rajaus koskee tulkittua kallioperässä olevaa mustaliuskeen

28.4.2025

esiintymisvyöhykettä (100 m bufferi) ja jäätikkö on voinut kuljettaa mustaliuskeainesta tämän ulkopuolelle, erityisesti jäätikön tulkitussa virtaussuunnassa.

Maaperän osalta esikartoituksessa on syytä huomioida aina myös suunniteltu maankäyttö, sillä syvät ja laajat kaivuut/massanvaihdot voivat paljastaa myös syvemmällä (lähempänä kallionpintaa) olevat kerrokset hapettumiselle ja huuhtoutumiselle. Tämän vuoksi pelkkien tuotettujen maaperän paikkatietoaineistojen perusteella ei voida sulkea riskiä pois.

Savi- ja silttikerrosten osalta yli 2 m paksujen kerrosten katsotaan pienentävän riskiä merkittävästi. Maanpeitepaksuuden osalta vastaava arvo on 4 m. Suurin riski katsotaan olevan alueilla, joilla moreeni on lähellä maanpintaa (paikkatietoaineisto, kuva 13). Valumavesien kohteena olevat vesistöt ja niiden herkkyys voidaan tarkastella kohdassa 6.4 olevasta taulukosta 6. Vesien herkkyydestä saadaan tietoa myös kaavoituksen yhteydessä tehtävistä luontoselvityksistä.

Rakentamisen toimenpiteistä huomioidaan erityisesti kuivatuksen tarve ja sen syvyys sekä massojen kaivuut. Mikäli maanmuokkaukset kohdistuvat pintamaahan, joka on jo hapettunutta, on maankäytön aiheuttama riski pieni. Tarkastelussa on hyvä myös huomioida mahdolliset täyttömaat, joihin happamoitumisriskiä ei lähtökohtaisesti liity (puhtaus varmistettu). Paalutukseen ei liity lähtökohtaisesti merkittävää mustaliuskeperäistä ympäristöriskiä, mutta rikkipitoinen maa saattaa olla korroosioriski rakenteille. Maanalainen rakentaminen ja kallionlouhinta, sekä louheen jatkokäyttö ja kallioon porattavat kaivot huomioidaan erikseen näytteenotolla joko suunnittelu- tai toteutusvaiheessa. Näistä aiheutuvaa riskiä ei voida sulkea pois tässä tarkastelussa.

Esimerkiksi kohteella, jolla on paksu savikerros, valumavesien kohteena oleva vesistö ei ole herkkä ja maankäyttö kohdistuu vain pintamaahan, voidaan riski arvioida pieneksi ja jatkotutkimustarvetta ja tarvetta kaavamääräykselle ei ole. Jos taas maaperä on moreenia tai kaivuut/muokkaus ulottuu syvemmälle kuin tulkitut täyttömaa-, savi- ja silttikerrokset, on mustaliuskeriskiä syytä tutkia tarkemmin.

Mustaliuskeiden esikartoituksessa voidaan myös hyödyntää happamien sulfaattimaiden tutkimuksiin kehitettyä vaikutusten merkittävyyden arviointityökalua (<https://uusiomaarakentaminen.fi/aineisto/happamien-sulfaattimaiden-vaikutusten-merkittävyyden-arviointityokalua/>). Työkalulla arvioidaan hankealueen ympäristön herkkyyttä sekä rakentamistoimien aiheuttamien vaikutusten suuruutta.

Arviointityökalu on Excel-muotoinen ja siihen on listattu arviointikriteerejä, joiden on todettu vaikuttavan HaSu-maiden ja mustaliuskeiden aiheuttamaan riskiin. Arviointikriteerit on jaettu kolmeen osakokonaisuuteen: 1) Hankealueen ympäristön herkkyys vaikutuksille, 2) Vastaanottavan vesistön herkkyys vaikutuksille ja 3) Rakentamistoimien aiheuttamien muutosten suuruus. Jokaisen kriteerin kohdalta

28.4.2025

valitaan työkalussa sen vaikutusarvo, joiden perusteella saadaan kokonaismerkittävyys sekä osakokonaisuuksien merkittävyys (suuri, keskisuuri tai pieni).

Arvioinnin tuloksia voidaan hyödyntää seuraavasti:

- Jos vaikutuksen merkittävyys on joltain osin suuri, tulee toteuttaa toimenpiteitä rakentamisen aikana vaikutusten ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi.
- Jos merkittävyys on keskisuuri, tulee kiinnittää erityistä huomiota kyseiseen tekijään ja suorittaa tarkempia tutkimuksia tai tarkastella, voidaanko suunnitelmia muuttaa vaikutusten ehkäisemiseksi tai vähentämiseksi. Vaikutusten vähentämiskeinot rakentamisen aikana on myös syytä olla varmistettuna.
- Jos merkittävyys on pieni, ei hankkeesta ole arvioitavissa vaikutuksia mustaliuskeiden esiintymisen vuoksi, mutta jos arvioidut tekijät tai olosuhteet muuttuvat, on arviointi syytä päivittää.

5 MAASTOTUTKIMUKSET YLEIS- JA ASEMAKAAVAVAIHEISSA

Yleiskaavavaiheen esikartoituksessa voi olla tarve tehdä maastotutkimuksia, mikäli esikartoitus osoittaa, että suunniteltu maankäyttö voi aiheuttaa alueen vesistöille kuormitusta ja olemassa olevat tiedot mustaliuskeen/maaperän ominaisuuksista ovat puutteelliset. Tampereen alueelta mustaliuskeista ei ole kairaustietoja, joten niiden rikkipitoisuuksista, esiintymissyvyydestä ja paksuuksista ei ole useinkaan tietoa esikartoitusvaiheessa. Maaperän osalta tiedot perustuvat lähinnä tässä työssä pohjatutkimusten perustella tuotettuihin paikkatietoaineistoihin, mutta tapauskohtaisesti voidaan hyödyntää maaperäkartoja ja, geokemiallisia taustapitoisuustietoja.

Mustaliuskeen sijaintitietoa voidaan tarkentaa erityisesti yleiskaavavaiheessa kustannustehokkaasti maastogeofysiikan menetelmillä. Tarkennetun tiedon perusteella voidaan mahdolliset näytteenotot suunnitella paremmin. Parhaimmillaan menetelmillä voidaan arvioida mustaliuskevyöhykkeen esiintymissyvyys ja rajata pois maankäyttöön liittyvä riski/tutkimustarve. Erityisen hyödyllistä mustaliuskeen sijainnin tarkennus voi olla mikäli, mikäli alueelle suunnitellaan louhintaa tai maanalaista rakentamista. Maastogeofysiikan menetelmistä erityisesti sähkömagneettiset mittaukset, esimerkiksi GEM-2 -laitteella, arvioidaan soveltuvaksi mustaliuskekohteille. Menetelmän soveltuvuus perustuu mustaliuskeiden ympäristöstä poikkeavien sähköisten ja magneettisten ominaisuuksien havaitsemiseen. Menetelmällä ei todennäköisesti yleensä pystytä tunnistamaan mustaliuskeainesta maaperässä, sillä maaperässä pitoisuudet ovat tyypillisesti huomattavasti pienempiä kuin kallioperässä.

Mustaliuskeiden sijaintitietoa voidaan myös tarkentaa jollakin toisella geofysikaalisella maastomittauksella, jos GEM-2 mittaukset eivät sovellu alueelle. Esimerkiksi runsas maanalaisen infrastruktuurin määrä haittaa GEM-2 mittauksen tulkintaa. Tällaisissa tilanteissa parhaan menetelmän valinta on syytä tehdä tapauskohtaisesti. On syytä

28.4.2025

huomioida, että muut tutkimukset saattavat erota kestoiltaan, tarkkuudeltaan sekä kustannuksiltaan.

Muut maastotutkimukset, näytteenotto ja näyteanalyysit ovat yleiskaavavaiheessa käytännössä samoja kuin asemakaavavaiheessa, mutta niitä tehdään yleiskaavavaiheessa vähemmän suhteessa alueen kokoon/pinta-alaan. Näytteenoton tarkoituksena on tunnistaa yleisesti, mikäli alueella on mustaliuskepitoista ainesta, eikä vielä tehdä yksityiskohtaista kartoitusta esiintymisalueista ja ominaisuuksista.

Kohdassa 5.2 esitetty yleis- ja asemakaavavaiheeseen soveltuva näytteenotto ja näyteanalyysit mukailevat happamille sulfaattimaille soveltuvia menetelmiä (Visuri ym. 2021 ja Autiola ym. 2022), jotka GTK arvioi tällä hetkellä parhaiksi käyttökelpoisiksi menetelmiksi. Mustaliuskekohteet voivat kuitenkin poiketa ominaisuuksiensa (maalajit/sulfidien esiintyminen) puolesta melko paljon happamista sulfaattimaista ja tulevaisuudessa on tarve arvioida ja kehittää mustaliuskekohteille paremmin soveltuvia menetelmiä. Yksi mahdollinen menetelmä on maaperänäytteiden heikkouutto, jota on pilotoitu Oulun yliopiston opinnäytetyössä (opinnäytetyö valmistuu todennäköisesti v. 2025 kuluessa). Menetelmän etuna on erityisesti helppo näytteenotto, joka voidaan toteuttaa pintamaanäytteistä.

5.1 GEM-2

GEM-2 on digitaalinen, taajuusalueessa toimiva, laajakaistainen sähkömagneettinen mittalaite (kuva 14). Laitteella kartoitetaan maankamaran sähköjohtavuutta. Laite toimii 300–96000 Hz:n taajuusalueella. Tältä alueelta valittuja taajuuksia, tavallisesti neljää, voidaan mitata samanaikaisesti. Laitteen kelaväli (lähetin-vastaanotin) on 1,66 m. Laitteen syvyysulottuvuus on suurimmillaan noin 10 m riippuen maankamaran sähköjohtavuudesta, kohteen koosta ja sähkömagneettisista häiriötekijöistä, kuten sähkölinjoista.

Mittauksessa lähetetään lähetinkelalla 3–5 eritaajuuksista sähkömagneettista primääriaaltoa. Primääriaalto indusoi maankamaraan pyörrevirtoja, joista aiheutuva sekundäärikenttä mitataan vastaanotinkelalla. Mittaus on jatkuvaa, joten kävelyvauhdilla pisteväliksi saadaan 5–15 cm. Paikkatieto tallentuu Garmin GPS:stä suoraan mittaustuloksiin. Laite soveltuu erinomaisesti mm. (metalli)esineiden etsintään, ympäristökontaminaatioiden kartoittamiseen ja **maankamaran pintaosien sähköä johtavien muodostumien kartoitukseen**.

GTK:lle kesällä 2024 hankittu Geophex GEM-2H on alkuperäisestä GEM-2-laitteesta (<https://geophex.com/hand-held-gem-2-ski/>, Won, et al., 1996) edelleen kehitetty versio (<https://geophex.com/gem-2h/>). Laite on taajuusalueessa toimiva, laajakaistainen sähkömagneettinen mittalaite (kuva 15). Laitteen kelaväli (lähetin-vastaanotin) on 2,5 m (GEM-2 1,66 m). GEM-2H:n lähetin- ja vastaanotinkelat ovat suuremmat kuin aikaisemmassa mallissa, jolloin saadaan suurempi dipolimomentti, mikä parantaa

28.4.2025

laitteen kohinatasoa ja herkkyyttä. Laitteen syvyyssulottuvuus on jonkin verran suurempi kuin GEM-2:lla, 10–15 metriä riippuen maankamaran sähkönjohtavuudesta, kohteen koosta ja sähkömagneettisista häiriötekijöistä (esim. sähkölinjat yms.).



Kuva 14. GEM-2 -mittalaite.



Kuva 15. GEM-2H -mittalaite.

5.2 Näytteenottosuunnitelma ja näytteenotto

Näytteet mustaliusketutkimuksia varten otetaan tyypillisesti vain maaperästä, sillä mustaliuskekalliota peittää hyvin yleisesti maapeite, ja maankäytön riskit liittyvät yleisimmin mustaliuskepitoiseen maaperään. Mikäli alueella suunnitellaan kuitenkin maanalaista rakentamista ja/tai louhintaa mustaliuskevyöhykkeen kohdalle, voi näytteenotto myös kallioperästä olla tarpeen. Periaatteessa näytteet voidaan ottaa kairaamalla jo suunnitteluvaiheessa, mutta yleisimmin (erityisesti pienillä kohteilla) näytteet otetaan silloin kun kallio on paljastettu. Jos avokalliassa havaitaan mustaliusketta, voidaan näyte ottaa vasaralla sen laadun varmistamiseksi.

5.2.1 Näytepisteiden määrä ja sijoittelu

Yleiskaavavaiheen näytteenotolla on tarkoitus tunnistaa, onko kaava-alueen maaperässä riskiä mustaliuskepitoisen aineksen esiintymiselle. Näytepisteitä suunnitellaan harvakseltaan potentiaalisimmille esiintymisalueille. Potentiaalisimpia alueita ovat erityisesti mustaliuskevyöhykkeiden läheiset moreeni- ja suoalueet. Myös harjualueet voi olla tarpeen huomioida tapauskohtaisesti. Suoalueiden pohjaturpeet ja pohjamaalajit

28.4.2025

voivat olla tärkeitä indikaattoreita, sillä mustaliuskeperäisen rikin on todettu usein rikastuneen niihin.

Näytepisteiden määrä ja sijainti suunnitellaan yleiskaavavaiheessa aina tapauskohtaisesti, mutta lähtökohtaisesti jokaisen mustaliuskevyöhykkeen päälle ja läheisyyteen (alle 200 m) on hyvä suunnitella näytepisteitä. Pisteet voidaan suunnitella linjastona mustaliuskevyöhykkeen yli, huomioiden maaperägeologiset olosuhteet ja jäätikön virtaussuunnat (ks. esimerkiksi Maaperän uurteet GTK:n Maankamara - karttapalvelusta, <https://gtkdata.gtk.fi/maankamara/>), jotka kertovat suunnan, johon mustaliusketta on todennäköisesti kulkeutunut kallioperästä. Näytteenotto ulotetaan jo yleiskaavavaiheessa mahdollisuuksien mukaan suunniteltujen kaivu-, kuivatus tai rakentamistoimien vaikutussyvyydelle.

Asemakaava-aleilla näytepisteitä suunnitellaan tyypillisesti kattavasti koko alueelle, kuitenkin erityisesti mustaliuskevyöhykkeen välittömään läheisyyteen. Tutkimusten tarkkuustaso ja näytteenottosyvyydet määräytyvät suunniteltujen rakentamistoimien perusteella. Esimerkiksi 10 ha suuruiselle alueelle voidaan lähtökohtaisesti kohdistaa 5–10 näytepistettä. Pienillä alueilla pisteitä voi olla 1-2 /ha. Tätä tiheämpi näytteenotto ei yleensä ole tarpeellista, sillä mustaliuskeaineksen esiintyminen maaperässä ei ole todennäköisesti tätä pienipiirteisempää.

Mahdollinen kalliokivinäytteenotto voidaan kohdistaa identifioitun mustaliuskevyöhykkeen yli sen tarkemmaksi paikantamiseksi, tai eri kohtiin todettua mustaliuskevyöhykettä sen kemiallisen laatuvariaation tai mittasuhteiden todentamiseksi.

5.2.2 Näytteenotto

Maaperänäytteet mustaliusketutkimuksia varten voidaan ottaa koekuopista tai kairaamalla ja näytteenotto voidaan usein erityisesti asemakaavavaiheessa ohjelmoida pohjatutkimusten yhteyteen. Kohteilla, joilla maata muokataan/kaivetaan syvälle, voivat kairänäytteet olla ainoa vaihtoehto. Toisaalta mustaliuskealueiden tutkittava maaperä on usein moreenia ja mikäli se on kivistä, voi kairänäytteenotto olla haastavaa.

Kairänäytteet voidaan ottaa erilaisilla kairavaunuun kiinnitettävillä näytteenottimilla (myös kivinäytteenotto mahdollista) tai HaSu-tutkimuksiin kehitetyllä kevyellä iskuporakoneella kiinnitettävällä näytteenottimella. Kyseistä näytteenotinta voidaan kuljettaa kantamalla, mikä mahdollistaa tutkimukset myös vaikeakulkuisessa maastossa, mutta toisaalta kairauksen läpäisevyys tiiviissä/kivisessä maassa ei ole niin hyvä kuin kairavaunuilla. Näytteiden ei tarvitse olla häiriintymättömiä.

Näytteet otetaan maastossa näytteenottosuunnitelman mukaisesti, tyypillisesti jatkuvana sarjana, huomioiden kerrosrajat ja litologiset muutokset (kuten väri, tekstuuri ja raekoko). Näytteet otetaan enimmillään 100 cm:n osanäytteinä. Näytteet puhdistetaan huolellisesti mahdollisista kontaminaatioista ja niistä mitataan maastossa pH.

28.4.2025

Vaihtoehtoisesti maasto-pH voidaan mitata laboratoriossa 24 tunnin sisällä, mikäli näytteet suljetaan ilmatiiviisti muovipusseihin.

Näytteet eivät vaadi yleensä kylmäsäilytystä, mutta ne on hyvä sulkea aina tiiviisti muovipusseihin (minigrip) laboratorioon lähetystä varten. Kylmäsäilytys/pakastus on kuitenkin tarpeen, mikäli näytteistä ei pystytä mittaamaan maasto-pH:ta 24 tunnin kuluessa näytteenotosta tai näytteistä halutaan määrittää sulfidipitoisuus. Riittävä näytemäärä kaikkiin tarvittaviin analyyseihin on tyypillisesti noin 100 g, mutta vaadittava määrä ja näytteiden säilytys tulee aina varmistaa laboratoriosta valittujen analyysien perusteella.

5.2.3 Näyteanalyysit ja tulosten tulkinta

Mustaliuskeaines tunnistetaan maanäytteissä luotettavasti hapetukseen perustuvilla hapontuottopotentiaalin määrittäyskokeilla. Kiireettömissä tapauksissa suositellaan sovellettavaksi 9–19 viikkoa kestävä pH-inkubaatiota, joka on todettu luotettavaksi tunnistusmenetelmäksi hieno- ja karkearakeisissa maalajeissa sekä turpeissa ja liejuissa (katso Visuri ym. 2021). Inkubaation tueksi ainakin osasta näytteistä on hyvä myös määrittää kokonaisrikkipitoisuudet.

Kiireellisissä tapauksissa mustaliuskeaines voidaan tunnistaa ensisijaisesti HaSu-maille kehitettyjen pikatunnistusmenetelmien avulla (katso Visuri ym. 2021) tai vaihtoehtoisesti kansallisessa HaSu-oppaassa esitellyn NAG-menetelmän avulla (Autiola ym. 2022). Pikamenetelmät perustuvat näytteiden vetyperoksidihapetukseen ja/tai kokonaisrikkipitoisuuden määrittämiseen ja niiden luotettavuus on hieman pH-inkubaatiota heikompi. Pikamenetelmät saattavat tietyissä näytemateriaaleissa aiheuttaa virheellisen tunnistuksen ja liioitella hapontuottopotentiaalia. Orgaanisille materiaaleille (turve/lieju) vetyperoksidihapetus ei sovellu. Orgaanisten materiaalien hapontuottoa voidaan arvioida sulfidipitoisuuden (rikkispesointi) tai kokonaisrikkipitoisuuden perusteella.

Taulukossa 3 esitetään suurekohtaiset raja-arvot happoa tuottavan maa-aineksen tunnistamiselle. pH_{FOX} , S_{FOX} ja $Johtoluku_{FOX}$ ovat pikamenetelmiä, joilla on mahdollista tehdä tunnistus jopa maastossa saman päivän aikana. Nopeutetun inkubaation kesto on riippuvainen näytemateriaaleista, mutta nopeimmillaan sillä saadaan tunnistettua HaSu-materiaali muutamassa viikossa. Tavanomainen pH-inkubaatio kestää 9-19 viikkoa.

Taulukko 3. Happoa tuottavien maiden tunnistusrajat eri menetelmillä (muokattu, Visuri ym. 2021).

28.4.2025

Menetelmä	Tunnistamisraja			
	Karkea mineraalimaa	Hieno mineraalimaa	Lieju (LOI >20 %)	Turve
Maasto-pH	pH < 4,0	pH < 4,0	pH < 3,0	pH < 3,0
pH _{FOX}	pH < 3,0 tai pH < 4,0 ja ΔpH > 2,5	x	x	x
pH-inkubaatio	pH < 4,0 ja ΔpH > 0,5		pH < 3 ja ΔpH > 0,5	pH < 3 ja ΔpH > 0,5
Nopeutettu pH-inkubaatio	pH < 4,0 ja ΔpH > 0,6		pH < 3 ja ΔpH > 0,5	pH < 3 ja ΔpH > 0,5
Johtoluku _{FOX}	30	30	30	250
Kokonaisrikki (%)	0.06	0.2	0.5	1
S _{FOX} (%)	0.06	0.2	0.5	1

Mahdolliset kivinäytteet voidaan tutkia ja luokitella pysyväksi jätteeksi kaivannaisjätteitä koskevan asetuksen (190/2013) menetelmien mukaisesti. Kiviaineksessa on tämän mukaan sulfidirikkiä enintään 0,1 % tai enintään 1,0 % ja neutralointipotentiaalisuhde, määriteltynä neutralointipotentiaalin ja hapontuottopotentialin välisenä suhteena testimenetelmän EN 15875 staattisen testin perusteella, on suurempi kuin 3. Kiviaineksen hapontuottopotentiali ja mahdollinen riski voidaan arvioida AMIRA International 2002 NAG-ohjeen mukaisesti.

Maanäytteiden hapontuottopotentialin suuruutta voidaan arvioida asiditeettimäärityksen perusteella. Asiditeetti voidaan määrittää hapetetusta (inkubaatio/vetyperoksidi) tai luonnontilaisesta hapettuneesta näytteestä (katso Visuri ym. 2021). Maalajikohtaista riskin suuruutta voidaan arvioida taulukon 4 luokituksen mukaisesti (Visuri ym. 2021). Asiditeettiä arvon perusteella voidaan myös laskea kaivetun maa-aineksen neutralointiin vaadittava kalkkimäärä.

Taulukko 4. Maalajikohtainen riskiluokitus hapontuottopotentialin perusteella (asiditeettimääritys) (Visuri ym. 2021).

Maalaji	Hapontuottopotentiali (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

6 HAITTAVAIKUTUSTEN HALLINTA MUSTALIUSKEKOhteella

Mustaliuskekohteen riskinhallintaan pätevät käytännössä samat periaatteet ja menetelmät, joita sovelletaan happamilla sulfaattimailla. Ensisijaisesti kaavoituksen tehtävänä olisi ohjata rakentamista alueille, joilla mustaliuskeita ei ole, tai niistä ei aiheudu haittaa ympäristölle tai rakenteille. Mustaliuskeet voidaan huomioida jo

28.4.2025

maakuntakaavassa, tai yleiskaavassa. Mitä aiemmassa suunnitteluvaiheessa maankäyttö suunnitellaan siten, ettei ympäristövaikutuksia synny, sitä helpompi niitä on myöhemmissä kaavoitusvaiheissa välttää. Mustaliuskekohteiden ja happamien sulfaattimaiden riskinhallintaa on kuvattu kattavasti mustaliuskeoppaassa (Loukola-Ruskeenieni ym. 2023b) ja kansallisessa HaSu-oppaassa (Autiola ym. 2022). Tässä kuvataan tärkeimmät periaatteet tiivistetysti.

6.1 Hapettumisen ehkäiseminen

Tehokkain tapa hallita mustaliuskeista aiheutuvia riskejä on ehkäistä sulfidipitoisen maa-/kiviaineksen hapettuminen. Hapettuminen liittyy potentiaalisesti maaperän kuivatukseen (ojitus/salaojat), maa-ainesten kaivuuseen ja läjitykseen tai kallion louhintaan ja läjitykseen.

Maaperän kuivatuksessa hapettumista voidaan ehkäistä pyrkimällä pitämään pohjaveden pinnantasoa mahdollisimman korkealla. Tämä pätee sekä väliaikaisissa pohjaveden alennuksissa rakennustöiden aikana että pysyvissä muutoksissa pohjaveden pinnankorkeudessa. Tähän voidaan vaikuttaa ojien suunnittelulla, kuten ojien syvyydellä ja muodolla, sekä salaojituksessa muun muassa säätöratkaisuilla. Olemassa olevissa ojissa on tapauskohtaisesti mahdollista käyttää pohjapatoja.

Kaivettujen massojen osalta hapettuminen voidaan ehkäistä läjittämällä maat takaisin maaperään (kuoppaan) pohjaveden pinnantason alapuolelle. Myös erilaiset peittorakenteet ehkäisevät hapettumista ja mahdollistavat erityisesti massojen välivarastoinnin ennen mahdollista hyötykäyttöä tai loppusijoitusta (katso Autiola ym. 2022).

6.2 Kaivettujen massojen neutralointi

Kaivettujen happoa tuottavien massojen happamoituminen voidaan ehkäistä neutraloimalla kalkilla tai muulla emäksisellä neutralointiaineella (teollisuuden sivutuotteet, kuten tuhkat ja kuonat). Neutralointi on suositeltavaa tehdä ennen kuin massat pääsevät hapettumaan. Neutralointiaine sekoitetaan massoihin mahdollisuuksien mukaan tasaisesti tai kerroksittain.

Vaadittava kalkkimäärä voidaan laskea kaivetun maa-aineksen asiditeettimäärityksen tai kokonaisrikkipitoisuuden perusteella (katso Autiola ym. 2022). Luotettavin kalkkimäärä alle 2 mm raekoon maa-ainekselle saadaan laskettua pH-inkubaation jälkeisellä asiditeettimäärityksellä (TIA). Muut menetelmät tyypillisesti liioittelevat tarvittavaa kalkkimäärää. Ylimoitettu kalkki ei ole suoraan ongelmallinen ympäristön kannalta, mutta siitä koostuu ylimääräisiä kustannuksia. Lisäksi kalkin käyttö on todettu ongelmalliseksi sen tuotannon/käytön aiheuttamien hiilidioksidipäästöjen vuoksi. Muiden neutralointiaineiden määrän määrittäminen tehdään ainekohtaisesti (esim. titraamalla) ja referenssinä voidaan käyttää kalsiittia.

28.4.2025

6.3 Vesien käsittely

Mikäli happoa tuottavien maiden hapettumista ja happamoitumista ei pystytä välttämään, on myös happamoituneiden suoto-/valumavesien neutralointi mahdollista. Vesien neutralointi on kuitenkin todettu usein vaikeaksi toteuttaa ja sen onnistuminen varsinkaan pitkällä aikavälillä on melko epätodennäköistä.

Vesien käsittely voidaan jakaa väliaikaiseen ja pysyvään vesien käsittelyyn (katso Autiola ym. 2022). Väliaikainen käsittely liittyy erityisesti rakentamisen yhteydessä tehtäviin erityyppisiin maakaivantoihin, joihin voi tulla rakentamisen aikana happamia vesiä. Pysyvään vesienkäsittelyyn tulee varautua, mikäli maaperän kuivatus tulee ulottumaan sulfidirikipitoiseen maakerrokseen. Vesien sallittu pH-taso on yleisesti >5,0, mutta se määräytyy myös vastaanottavan vesistön ja purettavien vesien määrän mukaan. Väliaikainen vesienkäsittely liittyy yleisesti erityisesti karkearakeisiin ja hyvin vettä läpäiseviin mustaliuskepitoisiin maakerroksiin, sillä karkeat maalajit hapettuvat ja happamoituvat yleisesti nopeammin kuin hienorakeiset ja huonosti vettä läpäisevät maalajit.

Vesienkäsittely voidaan toteuttaa erilaisilla aktiivisilla ja passiivisilla neutralointimenetelmillä. Väliaikainen käsittely voi olla järkevää toteuttaa siirrettävällä kontti- tai kaivomallisella neutralointilaitteella. Pysyvä vesienkäsittely voidaan toteuttaa kalkkirouhepadoilla tai -suotokentillä. Niiden käytössä tulee kuitenkin varautua huoltotoimenpiteisiin tai uusimiseen, sillä kalkkimateriaalit pinnoittuvat herkästi saostumilla, mikä ehkäisee niiden tavoitteen mukaisen toiminnan. (Autiola ym. 2022).

6.4 Kulkeutumisen ehkäiseminen

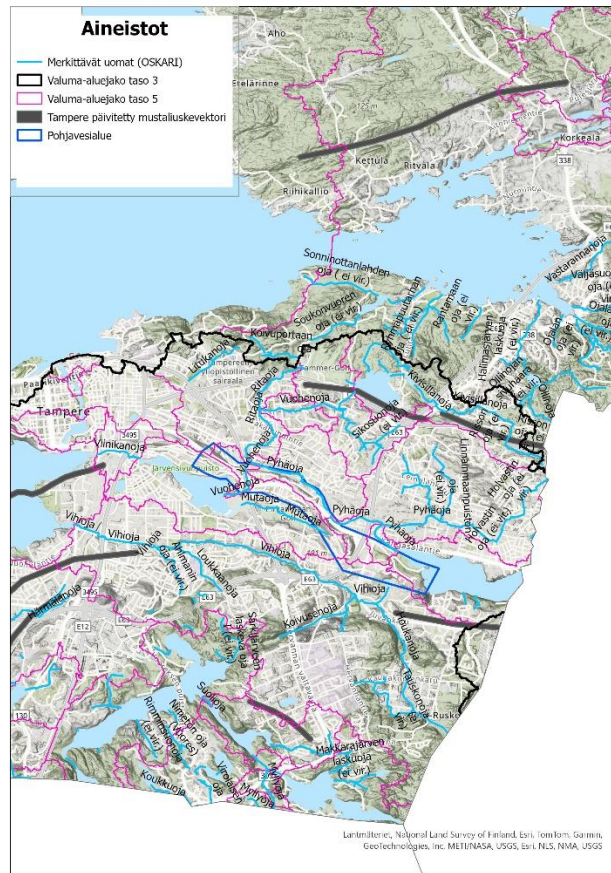
Mustaliuskeiden hapettumisesta aiheutuva ympäristön happamoituminen ja metallien kulkeutuminen ympäristöön tapahtuu useimmiten veden mukana kulkeutumalla veden huuhtoessa mustaliuskepitoista kalliota tai maaperää. Luonnontilaisilla alueilla kulkeutuminen on vähäisempää kuin maa- ja kallioaineksessa, jotka on kaivettu tai louhittu ja näin altistettu hapettumiselle, tai kasvatettu reagoivaa pinta-alaa murskaamalla tai louhimalla kalliota. Tällaisilla kohteilla happamoitumista voidaan estää pitämällä veden pinnan muutokset mustaliuskeen kohdalla mahdollisimman vähäisinä, ja välttämällä luomasta tai laajentamasta kontaktia vesistön ja mustaliuskeen välillä. Lähellä sijaitsevien rakennuskohteiden vedenhallinnassa tulisi huomioida mahdollisen rakentamisen aikaisen pohjaveden pinnan alentamisen vaikutus mustaliuskevyöhykkeeseen kaivuutöiden yhteydessä, mikäli vaikutusalue voi ulottua mustaliuskealueelle saakka.

Tutkimusalueella voidaan todeta vain yksi alue, Aakkulanharju, jolla mustaliuskevyöhyke esiintyy pohjavesialueen lähellä tai järven tai joen/puron kohdalla. Pohjavesialue mustaliuskevyöhykkeen läheisyydessä on kuvattu taulukossa 5 ja esitetty kuvassa 16. Pohjavesialueiden pohjaveden virtaussuunnista ja purkautumisesta ympäristöön on tehty tarkempia tutkimuksia mm. Kaipainen ja Valjus 2018a ja b, ja Kaipainen ja Valjus 2019.

28.4.2025

Taulukko 5. Tutkimusalueella sijaitsevat pohjavesialueet, joiden kohdalla on tulkittu mustaliuskevyöhyke. Taulukon tiedot perustuvat Suomen Ympäristökeskuksen latauspalvelun aineistoihin.

Pohjavesialueen nimi	Tunnus	Luokka	Kunta	Muuta
Aakkulanharju	0483701	Vedenhankintaa varten tärkeä pohjavesialue (1)	Tampere	Kemiallinen riskialue, ja kemiallinen tila huono, määrällisesti hyvä.



Kuva 16. Aakkulanharju, jonka läheisyydessä kaakkoispuolella sekä pohjoispuolella lähellä Alasjärveä esiintyy mustaliuskeita.

Mustaliuskealueilla tehtävien kaivutöiden vaikutus voi vaikuttaa harjualueeseen, jos haitallisia aineita kulkeutuu uomaverkoston tai pintavalunnan kautta pohjavesialueelle. Järvet, joita mustaliuskevyöhyke leikkaa, tai jotka sijaitsevat valuma-alueella jolla kulkee myös mustaliuskevyöhyke, on kuvattu taulukossa 6 ja esitetty kuvassa 17a ja b. Taulukon tiedot perustuvat Oskari-karttapalvelusta saatavilla olleisiin tietoihin, Järvi-wiki-palvelun tietoihin, Suomen Ympäristökeskuksen latauspalvelun avoimiin paikkatietoaineistoihin, Hertta 5.7 palvelun kautta tarjottuihin järvien tietoihin sekä julkaisuun 'Luettelo Kokemäenjoen-Saaristomeren-Selkämeren vesienhoitoalueen

28.4.2025

vesienhoitosuunnitelmaan 2022-2027 sisältyvistä vesimuodostumakohtaisista ympäristötavoitteita koskevista poikkeuksista ja niiden perustelut'. Tampereen alueella sijaitsee muita pienempiä lampia, jotka eivät ole kuuluneet ympäristöhallinnon vesistöseurantaan, mutta jotka voivat altistaa mustaliuskeiden vaikutuksille niihin laskevien purojen tai pintavalunnan kautta, jos mustaliuskepitoista maa- tai kallioperää kaivetaan tai louhitaan.

Taulukko 6. Tutkimusalueella sijaitsevat järvet, joiden kohdalla on tulkittu mustaliuskevyöhyke, tai mustaliuskevyöhykkeiden läheisyydessä sijaitsevat järvet ja lammet.

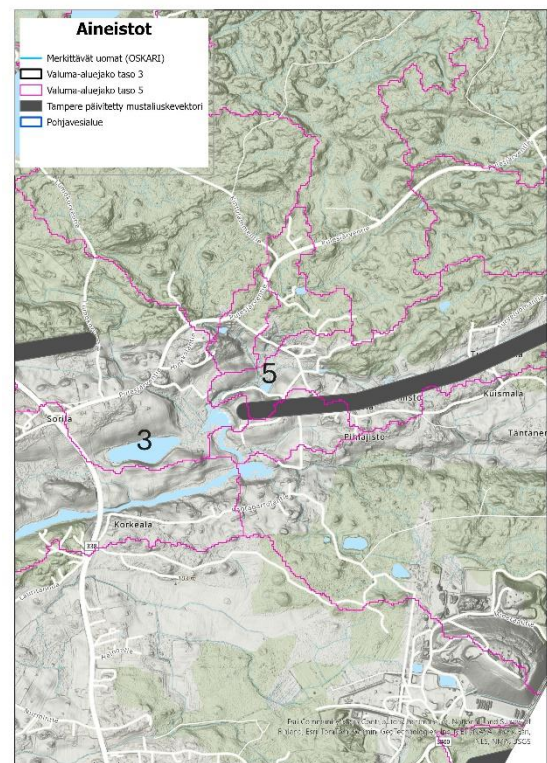
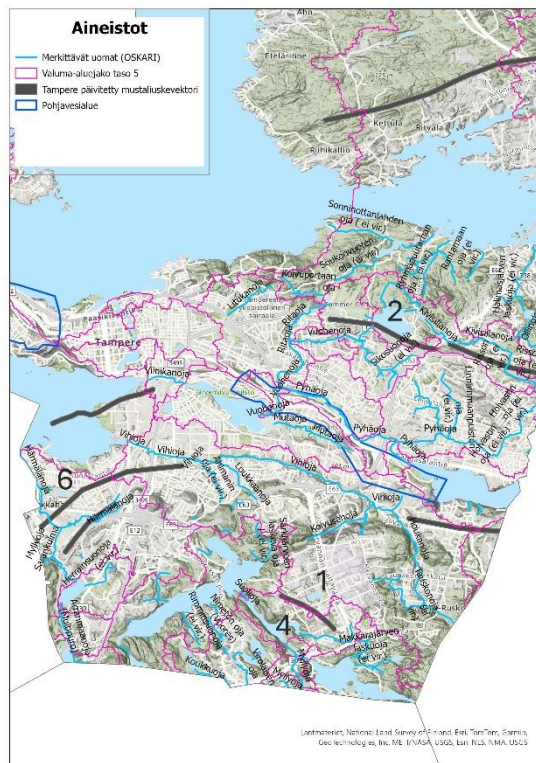
Järven nimi ja VPD-tunnus	Luokka	Kunta	Muuta
1. Alasjärvi 35.214.1.004_001	Matalat humusjärvet (Mh)	Tampere	Syvyys 9 m. pH-arvon vaihteluväli seurantavuosina 1989-2024 ollut 6,4-7,9. keskiarvo 7,06. Pinta-ala 37,4 ha. Ekologinen tila erinomainen. Järveä seurataan elohopeapitoisuuden vuoksi. Näytteitä on otettu kaksi kertaa vuodessa poikkeuksena vuosi 1993, jolloin otettiin neljä kertaa näyte. Hapen kyllästysaste on vaihdellut voimakkaasti päällysvedessä. Hapen määrä on vaihdellut 27–100 % välillä keskiarvon ollessa 72 %. Hapen osuus alusvedessä on ollut heikkoa. Vuodesta 2006 lähtien alusvedessä on ollut happikato. Paras tilanne oli vuonna 1991, jolloin happea oli 8 m syvyydessä 25 %. Keskimäärin happea on ollut pohjan tuntumassa 7,2 %. Kokonaistyyppipitoisuutta alettiin mitata vasta vuoden 2006 kesämittauksessa. Pitoisuus on ollut päällysvedessä keskimäärin 775 µg/l, mutta alusvedessä niinkin korkea kuin 2031 µg/l. Keskimäärin fosforia oli päällysvedessä 27 µg/l. Kokonaisfosfori alettiin mitata alusvedestä jo vuonna 1990. 8 m syvyydessä fosforia on ollut keskimäärin 170 µg/l. Korkeat lukemat ovat peräisin varsinkin kesämittauksista ja syynä niihin voi olla sisäinen kuormitus. Pitoisuudet ovat olleet hyvin korkeat silloin, kun happi on ollut loppumassa tai loppunut alusvedestä. Korkein

28.4.2025

			alusveden fosforipitoisuus mitattiin vuoden 2009 kesämittauksessa, jolloin pitoisuus oli 450 µg/l. Yli 200 µg/l pitoisuuksia on mitattu yhteensä 13 kertaa. Näkösyyvyys on ollut keskimäärin 2 m. Pintavesien yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan veden laatu on huono, jos kokonaisfosforipitoisuus ylittää 100 µg/l. Huonoon alusveden tilanteeseen viittaa myös happikadot, jotka ovat olleet yleisiä.
2. Ahvenisjärvi 35.215.1.002	-	Tampere	Pinta-ala 3,28 ha. Ahvenisjärvi sijaitsee Tampereella Hervannan sydämessä. Sen välittömässä läheisyydessä on kirkko, kirjasto ja ostoskeskus. Järvi on yli 300 metriä pitkä ja 100 metriä leveä. Sen syvin kohta on järven länsipäästä mitattu 15 metriä. Järveen laskee pääosin vain hulevesiä ja sillä ei ole laskuojaa. Tästä syystä Ahvenisjärvi on rehevä ja talvisin sen happitilanne on huono. Tilannetta yritetään parantaa ilmastuksella, jossa pumppu sekoittaa järven vettä ja vie kylmää ja hapekasta pintavettä alempiin vesikerroksiin.
3. Sorilanlammi 35.319.1.003	-	Tampere	Pinta-ala 3,99 ha. Noin 450 m pitkä ja 150 m leveä.
4. Suolijärvi 35.242.1.014	Pienet ja keskikokoiset vähähumuksiset järvet (Vh)	Tampere	Järven tilaa on tutkittu vuosina 1980–2010. Pinta-ala 20,5 ha, keskisyvyys 9 m. Hapen kyllästysaste oli päällysvedessä keskimäärin 75 %, vaihteluvälin ollessa 31–101 %. Alusvedessä esiintyi muutaman kerran hapettomuutta. Keskimäärin happea oli 8,5 m syvyydessä 16 %. Kokonaistyyppipitoisuutta mitattiin vasta vuonna 2006, jolloin pitoisuus oli päällysvedessä 400µg/l ja alusvedessä 1070µg/l. Keskimäärin tyyppiä oli päällysvedessä 430µg/l ja alusvedessä 977µg/l. Kokonaisfosforipitoisuus oli päällysvedessä keskimäärin 12,8µg/l ja alusvedessä 29,5µg/l. Näkösyyvyys

28.4.2025

			on ollut keskimäärin 3,2 m aikavälillä 2006–2009. Pintavesien yleisen käyttökelpoisuusluokituksen mukaan Suolijärven veden laatu olisi kokonaisfosforipitoisuuden mukaan hyvällä tasolla (<30µg/l). Järveä kuormittaa pääasiassa lähiasutus ja järven virkistyskäyttö. Aikaisemmin lähellä sijainnut kaatopaikka kuormitti jätevesillään järveä, kuten myös Hervannan kaupunginosan rakentaminen. Järven välitön läheisyys on jätetty kaavoituksen ulkopuolelle. Ekologinen tila hyvä.
5. Utukanlampi -	Lampi	Tampere	Peltojen läheisyydessä sijaitseva lampi, joka on kasvamassa umpeen. Sorilanjoen valuma-alueella. Luonnontilainen.
6. Vähäjärvi 35.216.1.001	-	Tampere	Noin 250 m pitkä ja 100 m leveä. Pinta-ala 1,4 ha. Rannat soistumassa.



28.4.2025

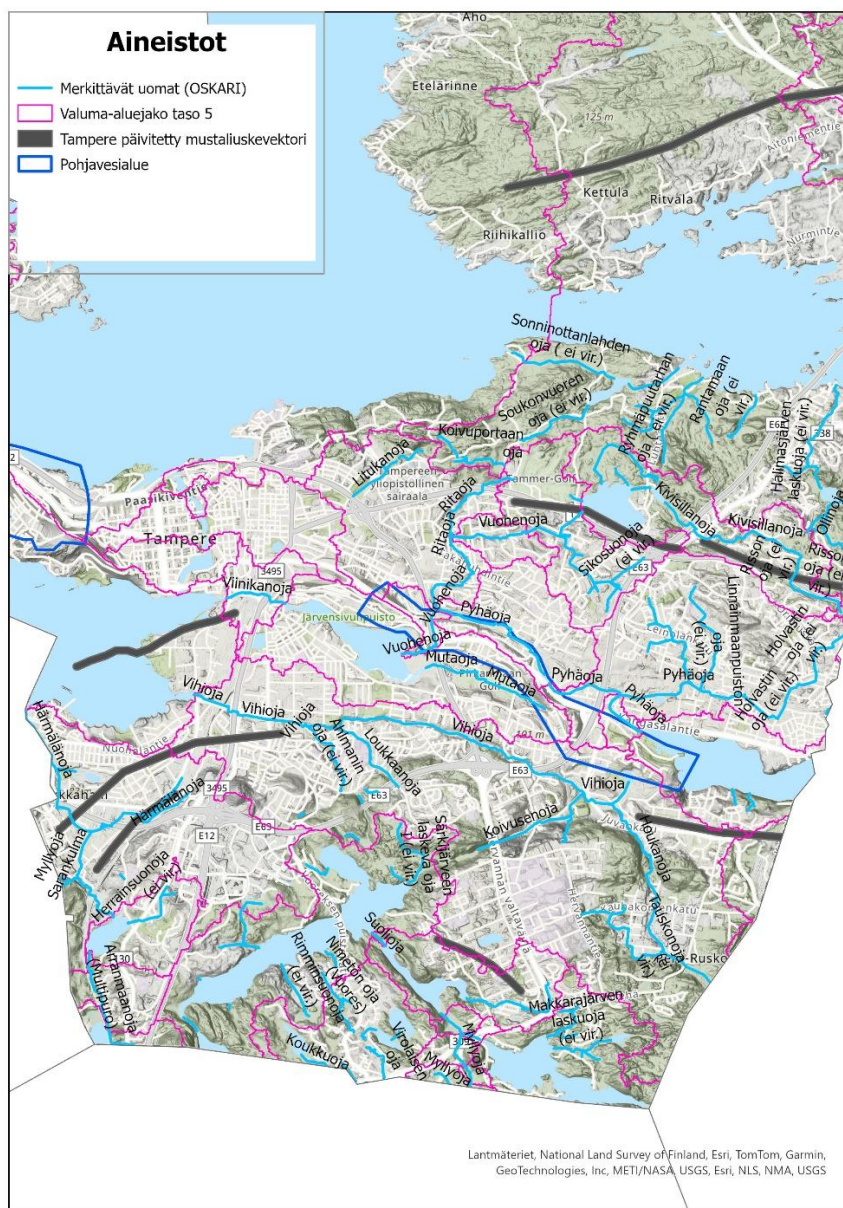
Kuvat 17a ja b. Tutkimusalueen eteläosan (vasen) sekä pohjoisosan (oikea) järvet tulkituilla mustaliuskevyöhykkeillä tai niiden läheisyydessä.

Joet ja uomat, joita mustaliuskevyöhyke leikkaa on kuvattu taulukossa 7 ja esitetty kuvassa 18. Sen lisäksi, että jotkut uomat tutkimusalueella kulkevat mustaliuskevyöhykkeiden halki, tulee ottaa huomioon järvet, joihin ne laskevat. Esimerkiksi Mutaoja ja Vuohenoja laskevat lidesjärveen, jonka ekologinen tila on huono. Kaavoituksen yhteydessä olisi hyvä tarkastella kaavoitusalueen valuma-alueen purojen ja jokien kulku, sekä määrittää mihin vesistöihin ne laskevat. Sekä joet ja purot että niiden pienet laskujärvet voivat olla alttiina mustaliuskeiden vaikutuksille, jos mustaliuskeita paljastetaan rakentamisen aikana näiden valuma-alueella.

Taulukko 7. Tulkittujen mustaliuskevyöhykkeiden halki tai läheltä kulkevat joet ja uomat tutkimusalueella.

Joen nimi ja vpd-tunnus	Luokka	Kunta	Muuta
Härmälänoja 35.216_a01	Pienet kangasmaiden joet	Tampere	Ekologinen tila tyydyttävä. Vaikuttavuuden aikaviive: Kunnostustoimenpiteiden vaikutukset eivät välittömästi näy vesimuodostuman ekologisessa tilassa. Elinympäristöjen toipuminen vie aikaa. Hyvän tilan saavuttaminen edellyttää teknisiä ratkaisuja, joiden suunnittelu, neuvottelut, lupakäsittely ja rahoituksen järjestäminen vievät aikaa.
Kivisillanoja		Tampere	Laskee Tampereen itäosista Alasjärveen.
Rahjukoskenoja		Tampere	Laskee Alasjärvestä Vuohenojaan.
Sikosuonoja		Tampere	Laskee Alasjärven kaakkoispuolelta Vuohenojaan.
Sorilanoja		Tampere	Laskee Tampereen keskustan koillispuolella Sorilanjokeen.
Viinikanoja 35.214_a01	Pienet kangasmaiden joet	Tampere	Laskee lidesjärvestä Pyhäjärveen. Joen ekologinen tila on välttävä. lidesjärven ekologinen tila on huono.
Vihioja		Tampere	Laskee Kaukajärven eteläpuolelta suoraan länteen Pyhäjärveen.
Vuohenoja		Tampere	Laskee Alasjärvestä lidesjärveen, jonka ekologinen tila on huono.

28.4.2025



Kuva 18. Tutkimusalueen vesienhoitoalueen uomat (vaaleansininen viiva) ja tulkitut mustaliuskevyöhykkeet (harmaa viiva). Valuma-alueet (taso 5) merkitty pinkillä ja pohjavesialue sinisellä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä tarkennettiin mustaliuskeiden esiintymistietoa Tampereen alueella lentogeofysikaalisen aineiston uudelleentulkinnalla. Tarkennusten perusteella osa tulkituista vyöhykkeistä poistettiin kartalta ja joidenkin sijaintia tarkennettiin. Tuotettu vyöhykekarttataso korvaa valtakunnallisesti tuotetun ja julkaistun mustaliusketietokannan Tampereen alueelta.

28.4.2025

Mustaliuskevyöhykkeiden sijaintien tarkennukset perustuvat lentogeofysikaalisen aineiston uudelleentulkintaan. Muutosten taustalla ovat muun muassa seuraavat tekijät:

- Tampereen seutu priorisoitiin lentogeofysiikan mittauksissa korkealle, kun GTK aloitti geofysikaaliset matalalentomittaukset. Se oli yksi ensimmäisistä lentokohteista, ja aineisto on siten hyvin vanhaa (1970 - ja 1980-luvulla tehty). Vanhoissa mittauksissa ei ole muun muassa ollut käytössä GPS-paikannusta. Menetelmäkehitystä ja uudempien lentomittausalueiden tulkinnasta opittua hyödynnettiin uudelleentulkinnassa.
- Myös Tampereen alueen kallioperäkartoitustiedot ovat vanhoja, koska Tampereen aluetta pidettiin tärkeänä ja se oli ensimmäisiä kartoituskohteita. Nämä vanhat kallioperäkartat eivät ole yhtä luotettavia kuin uudemmat kartoitukset muualla maassa, koska geofysikaalisia tietoja ei ollut käytettävissä.

Huomionarvoista on, että tarkennettu aineisto on edelleen yleismittakaavaista eikä se sovellu yksityiskohtaiseen tarkasteluun. Tästä syystä tulkituille vyöhykkeille luotiin 100 metrin "bufferit", jotka kuvaavat sijainnin epävarmuutta. Tuotetut mustaliuskerajaukset eivät myöskään ota kantaa mustaliuskeaineuksen esiintymiseen maaperässä. Mustaliuskevyöhykkeiden sijainnin ja maaperässä esiintyvän mustaliuskeaineuksen tarkempi selvittäminen edellyttää maastogeofysikaalisia tutkimuksia ja maaperänäytteenottoa.

Tampereen seudulla on tehty runsaasti pohjatutkimuksia. Niiden perusteella tuotimme maaperää kuvaavat paikkatietoaineistot mustaliuskealueilta. Aineistot kuvaavat maanpeitteen paksuutta, savi-/silttikerrosten paksuutta sekä alueita, joilla moreeni on lähellä pintaa. Aineistoja voidaan hyödyntää esikartoituksessa- ja tutkimustarpeen arvioinnissa, eikä yksin niiden perusteella voi poistaa tutkimustarvetta. Tuotettujen paikkatietoaineistojen osalta on huomioitava, että ne ovat suuntaa antavia, sillä maalajien paksuushavainnot ovat osin kairaajien tulkintoja ja niihin voi liittyä virhelähteitä.

Tuotetut paikkatietoaineistot ja niiden hyödyntäminen:

- Mustaliuskevyöhykkeet
 - GTK_MustaliuskeetKaavoituksessa_Mustaliuskevyöhykkeet_02042025_ETRS_GK24
 - Kuva kallioperän mustaliuskevyöhykkeitä
 - Korvaa valtakunnallisen mustaliusketietokannan Tampereen alueelta
 - 100 metrin "bufferi" kuvaa sijainnin epävarmuutta
 - Lähtöaineisto esikartoitukseen ja tutkimustarpeen arviointiin
- Savi-/silttikerrosten ja maanpeitteen paksuus
 - GTK_mustaliuske_irtomaa_16042025_GK24
 - GTK_mustaliuske_savi-silttikerros_16042025_GK24
 - Kerrosten paksuus pohjatutkimusten kairauspisteillä

28.4.2025

- Osin kairaajien tulkintoja ja niihin voi liittyä virheitä
- Voidaan hyödyntää esikartoituksessa mustaliuskeaineiston rinnalla, tulkinnassa on aina huomioitava myös suunniteltu maankäyttö ja ympäristön herkkyys
- Savi- ja silttikerroksissa ei todennäköisesti ole haitallisen paljon mustaliuskeainesta ja yli 2 m paksu kerros todennäköisesti pienentää alapuolisen maa/kallioperän riskiä hapettua ja happamoitua
- Yli 4 m paksun maapeitteen arvioidaan yleisesti pienentävän mustaliuskeriskiä
- Vyöhykealueet, joissa moreeni on lähellä pintaa
 - GTK_mustaliuske_moreenipitoinen_irtomaa_riskialue_16042025_GK24
 - Poistettu savikoiden ja harjun alle jäävät mustaliuskealueet
 - Mustaliuskeaineoksen esiintyminen maaperässä on todennäköisempää kuin muilla alueilla
 - Mustaliuskeainesta voi olla maaperässä huomattavasti tätä aluetta laajemmalla alueella
 - Ei voida käyttää yksinään, vaan rinnalla pitää tarkastella alkuperäistä mustaliuskeaineistoa sekä myös suunniteltua maankäyttöä ja ympäristön herkkyyttä

Mustaliuskeiden huomioimiseen kaavoituksessa esitetään pääpiirteissään samaa mallia kuin happamilla sulfaattimailla. Työ käynnistyy yleiskaavavaiheen esikartoituksella, jossa tarkastellaan tässä työssä päivitettyä mustaliuskekantaa sekä maaperäaineistoja (pohjatutkimukset). Lisäksi esikartoituksessa listataan mahdollisuuksien mukaan rakentamisen toimenpiteet (esim. kuivatus/kaivuut/louhintaa) ja valumavesien kohteena olevien vesistöjen herkkyys. Esikartoitusvaiheessa voidaan tehdä myös alustavia maastotutkimuksia, kuten mustaliuskevyöhykkeen sijainnin tarkennus maastogeofysiikan menetelmin. Esikartoituksen perusteella arvioidaan jatkotutkimusten tarve sekä voidaan tehdä päätös mahdollisesta kaavamääräyksestä.

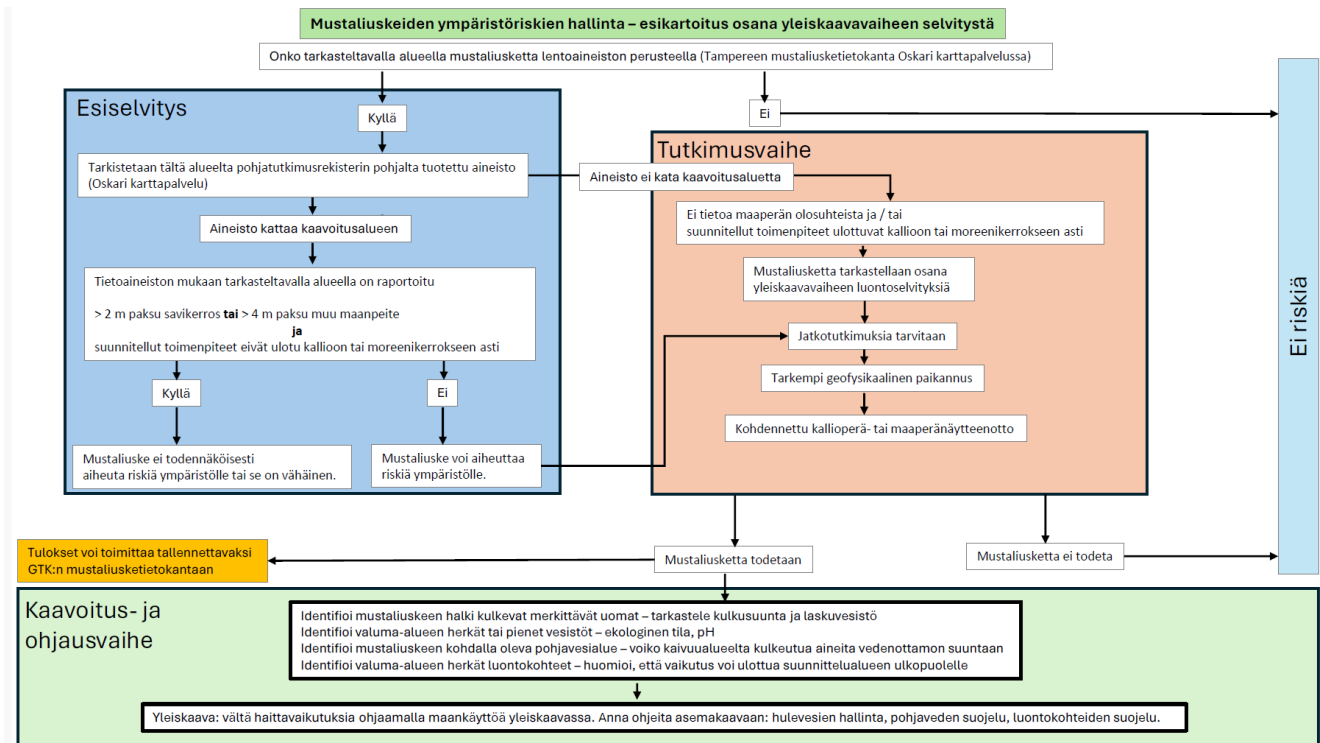
Asemakaavavaiheessa tehdään tarkemmat tutkimukset, mikäli esikartoitus on osoittanut, että alueella on mustaliuskeriski. Mikäli esikartoitusta ei ole tehty, voidaan sen periaatteita soveltaa myös asemakaavavaiheessa. Tarkennettuun tutkimuksen kuuluu tyypillisesti maaperän (tai kallioperän, mikäli louhintaa) ominaisuuksien tarkempi tutkiminen. Tarkennettujen tutkimusten perusteella tehdään mahdolliset kaavamääräykset, suunnitellaan haittavaikutusten hallinnan toimenpiteet ja arvioidaan louhitun/kaivetun kalliokivi – ja maa-aineksen hyödynnettävyys ja jatkosijoittaminen.

Mustaliuskeiden kohteellisissa tutkimuksissa voidaan soveltaa pääosin samoja näytteenotto- ja analyysimenetelmiä kuin happamilla sulfaattimailla. Mustaliuskevyöhykkeen paikantamiseen arvioidaan kuitenkin hyvin soveltuvaksi

28.4.2025

menetelmäksi sähkömagneettista monitaajuusluotausta (GEM-2). Menetelmällä on mahdollista paikantaa mustaliuskekalio, mutta mustaliuskepitöisen maaperän tunnistamiseen se ei todennäköisesti usein sovellu. Kiviaineksen hapontuotto tunnistetaan happamista sulfaattimaista poiketen kaivannaisjätteitä koskevan asetuksen (190/2013) menetelmien mukaisesti.

Kuvassa 19 esitetään yhteenveto mustaliuskeiden ympäristöriskien hallinnasta.



Kuva 19. Yhteenveto mustaliuskeiden ympäristöriskien hallinnasta.

8 KIRJALLISUUS

Ahern C. R., McElnea A. E. & Sullivan L. A. 2004. Acid Sulfate Soils Laboratory Methods Guidelines. AMIRA international, 2002. ARD TEST HANDBOOK, Melbourne

Airo, M., (ed.), 2005. Aerogeophysics in Finland 1972-2004: Methods, System Characteristics and Applications. Geological Survey of Finland, Special Paper 39. 197 p., 8 apps. Saatavana: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_039.pdf

Autiola, M., Suonperä, E., Suvanto, S., Napari, M., Nylund, M., Kupiainen, V., Vienonen, S., Forsman, J., Suikkanen, T., Auri, J., Boman, A ja Mattbäck, S. 2022. Happamien sulfaattimaiden kansallinen opas rakennushankkeisiin: Opas happamien sulfaattimaiden huomioimiseen ja vaikutusten hallintaan. Ympäristöministeriön julkaisuja 2022:3

28.4.2025

- Kaipainen, T., Valjus, T. 2018a.** Nokian Maatialanharjun pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys. Geologian tutkimuskeskus 47/2018. 18 sivua ja 46 liitesivua.
- Kaipainen, T., Valjus, T. 2018b.** Ylöjärvenharjun pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys. Geologian tutkimuskeskus 54/2017. 21 sivua ja 89 liitesivua. Saatavilla: <https://ikaalinen.fi/wpcontent/uploads/2019/08/RakenneselvitysYlöjärvenharju2018.pdf>
- Kaipainen, T. ja Valjus, T., 2019.** Epilänharju-Villilä B pohjavesialueen geologinen rakenneselvitys. Geologian tutkimuskeskus 42/2017 ja päivitys 2.4.2019. 21 sivua ja 58 liitesivua.
- Kukkonen, M., Mälilä, M., Grundström, A. ja Juntunen, R. 2003.** Tampereen kartta-alueen maaperä. Maaperäkartan selitys 1 : 20 000 - Expl. to Maps of Quaternary deposits
- Kuivamäki, A. (toim.), 2009.** Tampereen seudun taajamageologinen kartoitus- ja kehittämishanke (TAATA). Vaihe 1. Tampereen seudun taajamageologinen kartoittaminen ja GeoTIETO-käyttöliittymän kehittäminen 31.3.2007-31.3.2009. Geologian tutkimuskeskus. Raportti K 21.42/2009/15. 84 sivua ja 2 liitettä.
- Kähkönen, Y., 1989.** Geochemistry and petrology of the metavolcanic rocks of the early Proterozoic Tampere Schist Belt, southern Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 345. 104 pages and 1 appendix.
- Loukola-Ruskeeniemi, K., Auri, J., Hyvärinen, J., Hyvönen, E., Lerssi, J., Nieminen, T. M., Nuottimäki, K., Turunen, R. ja Ukonmaanaho, L., 2023.** Opas mustaliuskeiden ympäristövaikutusten arviointiin ja hallintaan. GTK:n tutkimustyöraportti - GTK Open File Research Report 81/2023, 55 s.
- Loukola-Ruskeeniemi, K., Hyvönen, E., Airo, M.-L., Lerssi, J. & Arkimaa, H., 2023a.** Country-wide exploration for graphite- and sulphide-rich black shales with airborne geophysics and petrophysical and geochemical studies. Journal of Geochemical Exploration 244, 107123. <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2022.107123>
- Pihlaja, P. 1974.** Oriveden vulkaniiteista. Turun yliopisto, Pro Gradu-tutkielma. 78 s. + liitekartta.
- Suomen ympäristökeskus (SYKE). 2025.** Järviwiki. <https://www.jarviwiki.fi/wiki/Etusivu> Vierailtu 16.4.2025.
- Visuri, M., Nystrand, M., Auri, J., Österholm, P., Nilivaara, R., Boman, A., Räisänen, J., Mattbäck, S., Korhonen, A. & Ihme, R. 2021.** Maastokäyttöisten tunnistusmenetelmien kehittäminen happamille sulfaattimaille. Tunnistus-hankkeen loppuraportti. Suomen ympäristökeskuksen raportteja 43/2021.
- Won, I.J., Keiswetter, D.A., Fields, G.R.A., Sutton, L.C., 1996:** GEM-2: A new Multifrequency Electromagnetic Sensor. JEEG, Volume 1, Issue 2, August 1996, p. 129-137.

9 LIITTEET

28.4.2025

Geofysikaaliset_tuloskartat ja tarkennettu mustaliuskevyöhyke tulkinta, myös
bufferoituna.

Tiedosto: Tampere_aem_2025_kuvaus.docx