

Ruutana-Tarastenjärvi-Asema-osayleiskaava, numero 26 Mustaliuskeselvitys KLA/644/53.01/2019

Lauri Rinne, Jaakko Auri
Elina Koskela ja Jukka Piispa

15.12.2025

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

15.12.2025 / GTK/834/03.02/2025

Tekijät Lauri Rinne, Jaakko Auri Elina Koskela, Jukka Piispa		Raportin laji Tilaustyöraportti	
		Toimeksiantaja Kangasalan kaupunki	
Raportin nimi Ruutana-Tarastenjärvi-Asema-osayleiskaavan mustaliuskeselvitys			
Tiivistelmä Tässä työssä kartoitettiin mustaliuskeiden esiintymistä Ruutana–Tarastenjärvi–Asema-osayleiskaavan alueella hyödyntämällä olemassa olevia aineistoja sekä GEM-2-geofysikaalisia maastomittauksia. Tulosten perusteella tehtiin alustava riskitarkastelu kaavoituksen eri kehityskuville ja laadittiin yleismittakaavainen näytteenottosuunnitelma. Lisäksi työssä listattiin toimenpiteet, joilla mustaliuskealueiden maankäytön riskejä voidaan pienentää ja hallita. GEM-2 osoittautui toimivaksi menetelmäksi mustaliuskevyöhykkeiden esiintymisen kartoittamiseen alueella, ja sen avulla riskialuetta voitiin rajata pienemmäksi verrattuna lentogeofysiikan perusteella tehtyyn rajaukseen. GEM-2-mittauksissa havaitut anomaliat johtuvat todennäköisesti mustaliuskekallioperästä, eikä mustaliuskepitoinen maaperä todennäköisesti erotu aineistossa. Mittausten perusteella voitiin kuitenkin suunnitella maaperän yleismittakaavainen näytteenottosuunnitelma kustannustehokkaasti. Kaava-alueen tarkastelluista kehityskuvista elinkeinoelämään painottuvassa vaihtoehdossa mustaliuskeet aiheuttavat todennäköisesti suurimman riskin. Riskejä voidaan kuitenkin hallita tehokkaasti huomioimalla kaivetut maamassat ja louhittu kiviaines sekä maaperän kuivatustasot. Kaava-alueen riskinarviota voidaan tarkentaa myöhemmin tehtävän maan- ja kiviainesnäytteenoton perusteella.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Mustaliuske, sähkömagneettinen monitaajuusluotaus, kaavoitus, riskinarvio, näytteenottosuunnitelma			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Pirkanmaa, Kangasala, Ruutana-Tarastenjärvi-Asema-osayleiskaava-alue			
Karttalehdet M42 (TM35)			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi		Arkistotunnus	
Kokonaissivumäärä 32 s	Kieli suomi	Hinta -	Julkiisuus Julkinen
Yksikkö Geofysiikan ratkaisut		Projektinumero 50401-10954	
Allekirjoitus/nimen selvitys Nina Leppäharju 		Allekirjoitus/nimen selvitys  Lauri Rinne	

Rudi-Matti Suoknuutin puolesta

15.12.2025

Sisällysluettelo

1	Johdanto	1
2	Kaava-alueen maa- ja kallioperä sekä vesistöjen tila	2
2.1	Maaperä	3
2.2	Kallioperä	5
2.3	Vesistöt	5
3	Geofysiikan aineisto ja tulkinta	6
3.1	Lentogeofysiikan aineistotarkastelu yleisesti	6
3.1.1	Lentogeofysiikan aineistotarkastelu, yhteenveto	10
3.1.2	Lentogeofysiikan tulkinta Ruutana-Tarastenjärvi-Asema osayleiskaavan alueella	10
3.2	Geofysiikan maastomittausten tulokset ja tulkinta	12
3.3	Geofysiikan aineiston yhteistulkinta ja johtopäätökset	19
4	Kehityskuvien riskitarkastelu	23
5	Riskinhallintatoimenpiteet	26
6	Näytteenotto	27
7	Johtopäätökset	30
8	Kirjallisuus	31
9	Liitteet	32
9.1	Puuttuva maastomittauslinja	32

15.12.2025

1 JOHDANTO

Mustaliuskeiksi luokitellaan Suomessa kivilajit, jotka sisältävät yli prosentin rikkiä sekä eloperäistä hiiltä (Loukola-Ruskeeniemi ym. 2023). Kivilajien alkuperä on noin 2 miljardia vuotta sitten merenpohjalle hapettomissa olosuhteissa kerrostuneissa mätäliejuissa. Hautautuessaan syvälle maankuoreen korkeaan paineeseen ja lämpötilaan hiili kiteytyi grafiitiksi ja rikki sulfidimineraaleiksi. Mustaliuskekerrokset poimuttuivat myöhemmin kallioperän liikunnoissa ja voivat muodostaa Suomessa paikoin jopa yli 800 metriä paksuja muodostumia (Loukola-Ruskeeniemi ja Lahtinen 2013).

Mustaliuskeen päämineraaleja ovat grafiitin ja sulfidimineraalien (rikkikiisu, kuparikiisu ja sinkkivälke) lisäksi kvartsi ja kiilteet. Mustaliuskeissa on usein korkeina pitoisuuksina raskasmetalleja, kuten kuparia, mangaania, molybdeeniä, nikkeliä, uraania, vanadiinia ja sinkkiä. Mustaliuskeet rapautuvat helpommin kuin monet muut kivilajit, minkä vuoksi haitallisia metalleja ja happamuutta voi vapautua ympäristöön herkemmin.

Kangasalan pohjoisosa kuuluu kallioperänsä osalta Tampereen liuskevyöhykkeeseen. Pääosa Kangasalueesta kuuluu kuitenkin Pirkanmaan migmatiittivyöhykkeeseen. Mustaliuskeita tavataan melko yleisesti kiilleliuskeen sekä kiille- ja suonigneissialueiden välikerroksina (Matisto 1976).

Mustaliuskeiden ympäristöriskit maankäytössä liittyvät sulfidipitoisen maa- ja kiviaineksen hapettumiseen. Hapettumisen seurauksena muodostuu rikkihappoa, mikä laskee maa- ja kiviaineksen sekä suotovesien pH-arvoa merkittävästi. Happamoituminen lisää haitallisten metallien liukoisuutta ja niiden kulkeutumista vesistöihin. Lisääntynyt happamuus ja liukoiset metallit heikentävät vesistöjen kemiallista ja ekologista tilaa sekä maaperän terveyttä.

Laajamittainen happamoitumisriski rakentamisessa liittyy tyypillisesti alueelliseen tai kohteelliseen kuivatukseen (salaojat tai avo-ojat), jolloin pohjaveden pinnantasoa maaperässä laskee ja sulfidipitoinen maaperä altistuu ilmakehän hapelle. Maaperä voi altistua hapettumiselle ja happamoitumiselle myös kaivuiden ja läjityksen yhteydessä. Läjitykseen liittyvää happamoitumisriskiä on kuitenkin helpompi hallita ja ehkäistä kuin laajamittaiseen kuivatukseen liittyvää riskiä.

Mustaliuskepitoiseen maaperään liittyvät tutkimukset ja riskit voidaan rinnastaa rannikkoalueille tyypillisiin happamiin sulfaattimaihiniin (HaSu). Mustaliuskeista peräisin oleva rikki on kuitenkin rikastunut pääasiassa moreeniin sekä paikoin harjuainekseen ja turvekerrokseen, kun taas rannikon happamat sulfaattimaat koostuvat tyypillisesti hienorakeisista lajittuneista maalajeista. Riskinarviointi mustaliuskepitoisilla alueilla voi olla selvästi haastavampaa, sillä rikin esiintyminen on vaikeammin ennakoitavissa ja kartoitettavissa jäätikköperäisissä kerrostumissa kuin selkeästi rajautuvissa kerrostumisaltaissa (esim. savikot).

Mustaliuskekallioperä on luontaisesti harvoin paljastuneena ja siten hapetukselle alttiina, sillä se rapautuu ja kuluu tyypillisesti ympäröivää kallioperää herkemmin ja sitä peittää

15.12.2025

suojaava maapeite. Tyypillisiä kohteita, joissa mustaliuskekallioperä voi päästä hapettumaan, ovat tie- ja rataleikkaukset. Mustaliuskekallioperä voi tulla vastaan myös rakennusten perustusten rakentamisen yhteydessä, mikäli kallioperää joudutaan louhimaan. Erityistä huomiota vaativat laajat kalliorakentamishankkeet (esim. maanalaiset tilat).

Louhitun kiviaineksen riskinarvioinnissa käytetään hieman HaSu-maaperästä poikkeavia menetelmiä. Mikäli louhittu aines luokitellaan kiviainesjätteeksi, voidaan sen pysyvyys arvioida kaivannaisjäteasetuksen (190/2013) mukaisesti. Jätteen pysyvyydellä tarkoitetaan sen kykyä säilyttää ominaisuudet pitkällä aikavälillä niin, että siitä ei aiheudu merkittävää ympäristöhaittaa. Riskinarvioinnissa voidaan hyödyntää myös kiviainekselle suunniteltuja hapontuottopotentiaalain määrittämenetelmiä (esim. NAG-testi, AMIRA 2002).

Tässä työssä laadittiin esitarkastelu mustaliuskeiden mahdollisista esiintymisalueista Ruutana-Tarastenjärvi-Asema-osayleiskaavan alueella olemassa olevien aineistojen perusteella. Esitarkastelun perusteella toteutettiin maastogeofysikaaliset mittaukset sähkömagneettisella monitaajuusluotaimella (GEM-2). Mittausten perusteella laadittiin tarkennettu tulkintakartta kallioperän mustaliuskeiden esiintymisestä ja sekä yleismittakaavainen maanäytteenottosuunnitelma toteutettavaksi myöhemmin.

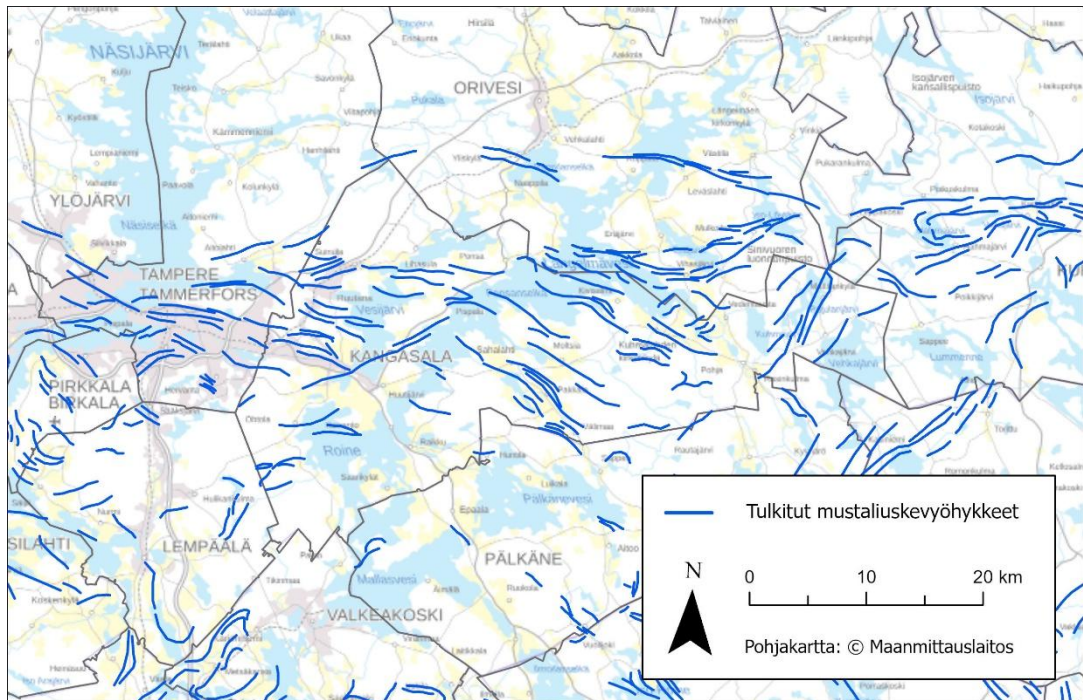
Työn tulosten perusteella arvioitiin kaava-alueen kolmen eri kehityskuvan maankäytön aiheuttamaa mahdollista ympäristöriskiä. Lisäksi työssä kuvattiin toimenpiteet, joilla ympäristöhaittoja voidaan vähentää. Riskinarvioinnissa ja toimenpiteiden suunnittelussa hyödynnettiin olemassa olevia ohjeita ja oppaita (Autiola ym. 2021 ja Loukola-Ruskeenieniemi ym. 2023). Arvioinnissa tarkistettiin myös GTK:n alueellisen moreenigeokemian ja taustapitoisuuksien kartoituksen tulokset.

Kaava-alueen riskinarvio tarkentuu alueella myöhemmin tehtävän maa- ja kiviainesnäytteenoton ja näyteanalyysien perusteella. Riskinhallintatoimenpiteet voidaan suunnitella yksityiskohtaisemmin alueen asemakaavoituksen yhteydessä, jolloin voidaan tehdä tarkempia tutkimuksia mustaliuskepitoisen maaperän ominaisuuksista.

2 KAAVA-ALUEEN MAA- JA KALLIOPERÄ SEKÄ VESISTÖJEN TILA

Kangasalan kunta sijaitsee geologisesti kahden erityyppisen kivilajiseurueen alueilla (Tampereen liuskevyöhyke ja Pirkanmaan migmatiittivyöhyke), joilla kummallakin tavataan mustaliuskevyöhykkeitä. **Kuvassa 1** esitetään tulkittujen kallioperän mustaliuskeiden esiintyminen Kangasalalla sekä lähikunnissa.

15.12.2025



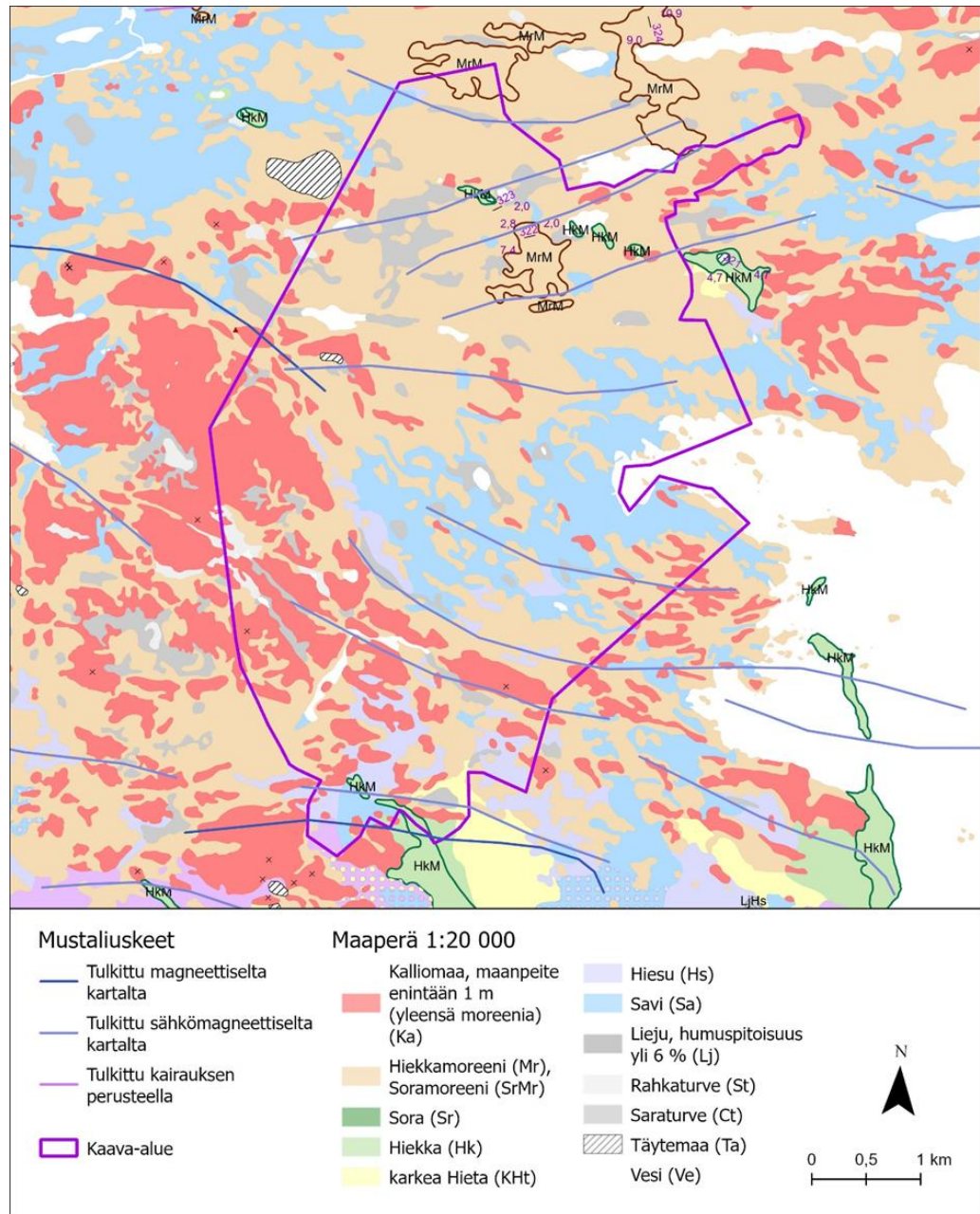
Kuva 1. Tulkitut kallioperän mustaliuskevyöhykkeet Kangasalalla ja lähikunnissa

2.1 Maaperä

Kaava-alueen maaperän yleisin maalaji 0–1 m syvyydellä maanpinnasta on GTK:n maaperäkarttojen (1:20 000) mukaan moreeni (**Kuva 2**). Alueen keskiosassa esiintyy myös savialueita, jotka ovat pääasiassa rakennettuja alueita tai maatalouskäytössä. Kaava-alueen länsiosassa on laajoja kalliomaa-alueita, joissa kallioperä on tulkinnan mukaan alle 1 m syvyydellä maanpinnasta. Kyseisellä alueella on lisäksi paljon kalliopaljastumia.

Kalliomaa- ja moreenimaa-alueet ovat pääosin metsämaata. Alueen laajinta suoaluetta halkoo valtatie 9 (Jyväskyläntie) alueen pohjoisosassa. Pienialaisia soita ja soistumia tavataan eri puolilla kaava-aluetta. Sekä alueen pohjois- että eteläreunalla on pienialaisia hiekkamuodostumien osia (HkM, **Kuva 2**). Alueen pohjoisosassa esiintyy myös joitakin moreenimuodostumia (MrM, **Kuva 2**).

15.12.2025



Kuva 2. Kaava-alueen maaperä ja tulkitut mustaliuskevyöhykkeet.

Pohjatutkimuksia on tehty erityisesti valtatie 9:n varrella sekä alueen keskiosassa sijaitsevalla taajama-alueella (Ruutana, Ranssila ja Iskelä). Turpeen paksuus on valtatie 9:n varrella painokairauksen perusteella enimmillään noin 3–4 metriä. Turvekerrosten alla esiintyy yleisesti hienorakeisia lajittuneita maalajeja (silttiä ja savea). Tarasjärven läheisyydessä turvekerroksen alla on myös paksu liejakerros (yli 3 m).

15.12.2025

Kivennäismaalajikerrokset ovat painokairausten ja porakonekairausten perusteella melko ohuita. Moreeni- ja savi-/silttikerrokset ovat tyypillisesti alle 5 m paksuja, ja niiden perusteella voidaan arvioida, että maanpeitteen paksuus on alueella yleisesti melko pieni.

Alueen maaperän geokemiasta on tehty joitakin analyyskejä GTK:n alueellisen moreenigeokemian ja taustapitoisuuksien kartoituksen yhteydessä. Joissakin yksittäisissä näytteissä vanadiinin, kromin ja kobolttin pitoisuudet ylittävät lievästi maaperän haitallisten aineiden kynnsarvot. Näytepisteitä on kuitenkin niin vähän, ettei niiden perusteella voida tehdä tulkintaa mustaliuskeiden mahdollisesta vaikutuksesta maaperän kemialliseen koostumukseen. Valtatie 9:n pohjoispuolella sijaitsevan pienen kiviainesten ottoalueen läheisyydessä olevalla pohjaveden tarkkailupisteellä on havaittu korkeita sähkönjohtavuuksia, kohonneita metallipitoisuuksia sekä happamuutta, mikä saattaa johtua mustaliuskeaineksen esiintymisestä maaperässä.

2.2 Kallioperä

Alueen kallioperä on GTK:n kallioperäkarttojen (1:200 000) mukaan pääasiassa paragneissia (kiillegneissi, grauvakkaliuske, suonigneissi). Alueen pohjoisosassa esiintyy pieninä alueina amfiboliittia ja pegmatiittigraniittia. Eteläosassa on pienialaisesti gabroa, granodioriittia ja harmaata graniittia. 1:100 000 kallioperäkartan selostuksen mukaan mustaliuskeita tavataan Kangasalan karttalehdellä melko yleisesti kiille- ja suonigneissialueiden välikerroksina ja niiden paksuus vaihtelee alle metristä mutamiin kymmeneen metriin. Koostumukseltaan ne eivät poikkea merkittävästi kiillegneissistä, mutta ovat kuitenkin tyypillisesti pienirakeisempia (Matisto 1976).

Alueen kaikki mustaliuskevyöhykkeet (**Kuva 2**) on tulkittu lentogeofysikaalisten aineistojen perusteella, eikä niihin liity kairaustietoja (esiintymissyvyys, paksuus, rikkipitoisuus). Alueelta ei ole juurikaan paljastuma-, lohkare- tai kairaushavaintoja. Mahdollisia silmämääräisiä havaintoja paljastuneesta mustaliuskekallioperästä on tehty alueen eteläosassa (Aseman taajama, Putkimiehentie). Tulkitut mustaliuskevyöhykkeet leikkaavat paikoin maaperäkartoilla tulkittuja kalliomaa-alueita, mutta ne eivät todennäköisesti ole näissä paljastuneena.

2.3 Vesistöt

Kaava-alue sijoittuu pääasiassa Vesijärven valuma-alueelle. Vesijärven ekologinen tila on todettu heikentyneeksi, mikä johtuu pääosin maatalouden hajakuormituksesta sekä haja- ja loma-asutuksen jätevesien aiheuttamasta kuormituksesta. Alueella ei ole pistekuormitusta. Kaava-alueen luoteisosat sijoittuvat Näsijärven ja Sorilanojan valuma-alueille.

Kaava-alueella sijaitsevia pieniä järviä ovat Halimajärvi, Nevasjärvi, Matkajärvi, Ruutanajärvi ja Mustijärvi. Lisäksi kaava-alueen rajalla sijaitsee Onkijärvi, jonka molemmiin puolin on tulkittuja mustaliuskevyöhykkeitä ja joka saattaa olla kaava-alueen maankäytön vaikutusten piirissä.

15.12.2025

Halimajärvellä on todettu 2000-luvulla happamoitumista, joka liittyy todennäköisesti Kallion yritysalueen rakentamiseen ja mustaliuskekiviaineksen käyttöön täytöissä. Kallion yritysalue sijaitsee kaava-alueen lounaispuolella ja sen kiviaineksesta on mitattu yli 1 % rikkipitoisuuksia ja aines todettu potentiaalisesti happamuutta tuottavaksi (NPR-arvot < 1, Ramboll 2012). Happamuuden lisäksi vesien seurannassa (Ramboll 2012 ja 2024) on havaittu korkeita metallipitoisuuksia. Muun muassa kadmium ja nikkeli ovat ylittäneet ympäristölaatu normit (Vna 1090/2010) seuratussa tasausaltaassa. Halimajärvessä on myös mitattu alhaisia alkaliniteettiarvoja ja alueen pienet järvet ovatkin todennäköisesti herkkiä ulkoiselle happamuuskuormitukselle.

3 GEOFYSIIKAN AINEISTO JA TULKINTA

3.1 Lentogeofysiikan aineistotarkastelu yleisesti

Sähkömagneettisen ja magneettisen lentogeofysiikan mittausaineiston hyödyntäminen mustaliusketutkimuksissa pohjautuu mustaliuskeiden poikkeaviin arvoihin sähköjohtavuuden ja/tai magneettisuuden osalta. Tyypillisesti mustaliuskeet erottuvat korkeiden sähköjohtavuusarvojensa vuoksi muusta peruskalliosta. Vastaavasti niiden magneettiset ominaisuudet ovat tyypillisesti myös ympäristöstään poikkeavia.

Tarkastelussa on kuitenkin syytä huomioida muutamia oleellisia tulkintaan vaikuttavia asioita:

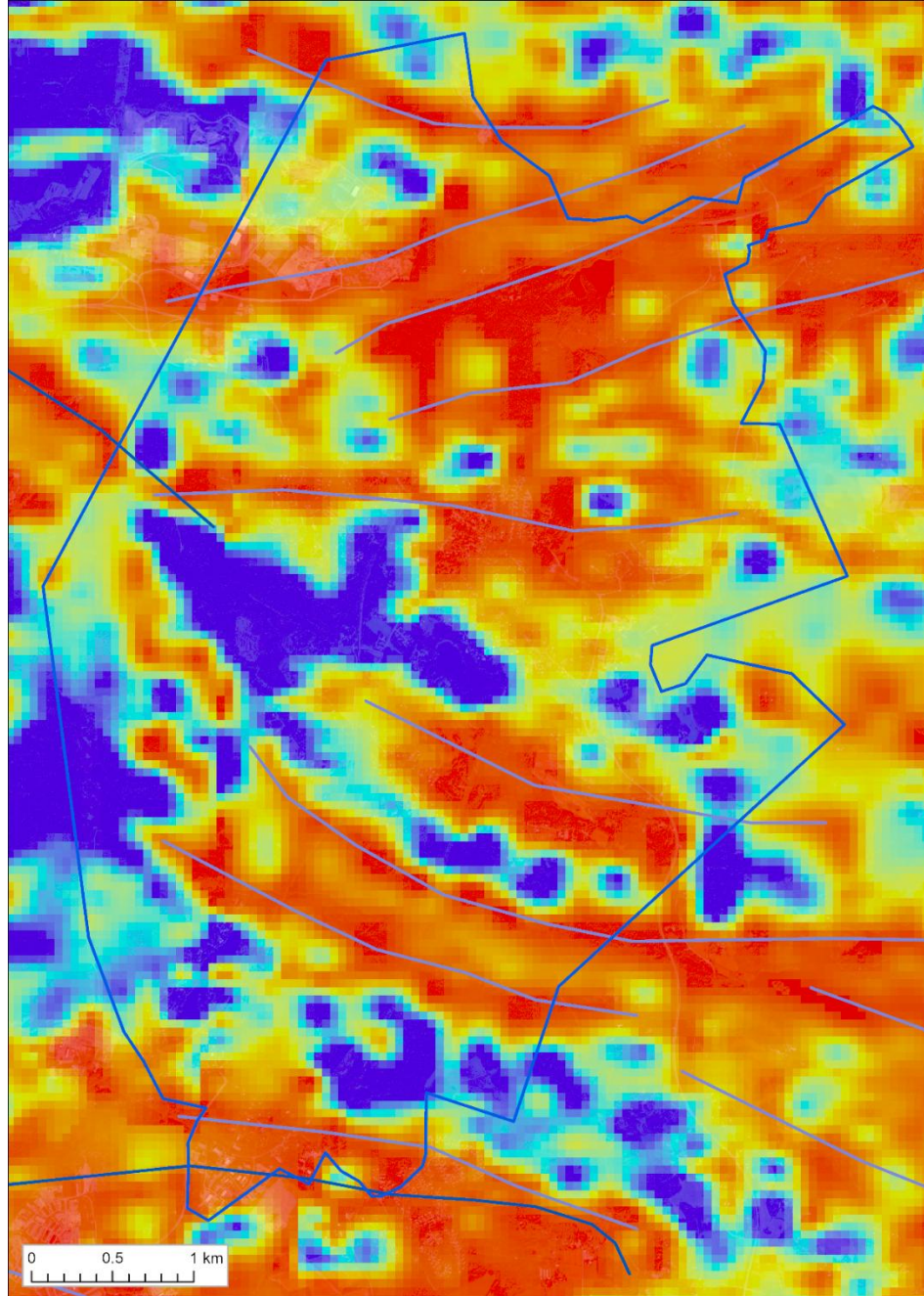
1. Alueellisia sähköjohtavuusarvoja voivat nostaa myös muut tekijät kuin mustaliuskeet, esimerkiksi infrastruktuuri tai järvisedimentit. Tästä syystä olemassa olevaan mustaliuskeaineistoon ei välttämättä ole merkitty mustaliuskeita sellaisten asutuskeskusten tai muiden infrastruktuurikeskittymien kohdalle, joiden aiheuttaman häiriö peittää alleen luonnollisen vaihtelun sähköjohtavuusarvoissa. Tämä ei kuitenkaan välttämättä poissulje mustaliuske-esiintymää kyseisiltä alueilta.
2. Lentogeofysiikan mittausväli (200 m) ja sen vaikutus aineiston resoluutioon on huomioitava aineistoa tarkastellessa. Myös mittakaava, jolla alkuperäinen tarkastelu on tehty (~1:200 000), on huomioitava tulkinnessa. Tarkastelu on suoritettu koko Suomen mittakaavassa ja tästä syystä yksityiskohtaisia alueellisia tulkintoja on vältettävä mustaliuskeviiva-aineiston perusteella.
3. Viivamainen kuvaustapa ei esitä mustaliuske-esiintymän todellista laajuutta, erityisesti pienemmän mittakaavan tarkastelussa.

Lentogeofysiikan aineisto sopii erittäin hyvin kuitenkin suuren mittakaavan tarkasteluun ja mm. maastomittausten suunnitteluun. Laajoja riskialueita voidaan myös tulkita lentogeofysiikan aineiston pohjalta.

Lentogeofysiikan aineistosta tehty sähköjohtavuuskartta tutkimusalueesta on esitetty **kuvassa 3**. Kyseisen aineiston perusteella on tehty aiemmat mustaliusketulkinnat, joissa on käytetty viivamaista esitystapaa. Viivamaisen esitystavan vuoksi mustaliuske-

15.12.2025

esiintymien laajuutta ei voida arvioida ilman tulkintaan pohjautuvan aineiston tarkastelua.



Kuva 3. Sähkönjohtavuuskartta lentogeofysiikan aineistosta. Sinisellä rajattu Ruutana-Tarastenjärvi-Asema-osayleiskaavan alue. Aineistosta on nähtävissä korkean sähkönjohtavuuden alueet (punaisella), joihin suurin osa alueen mustaliusketulkinnoista perustuu (siniset viivat). Sähkönjohtavuuden väriskaala on sinisestä (matala) punaiseen (korkea).

15.12.2025

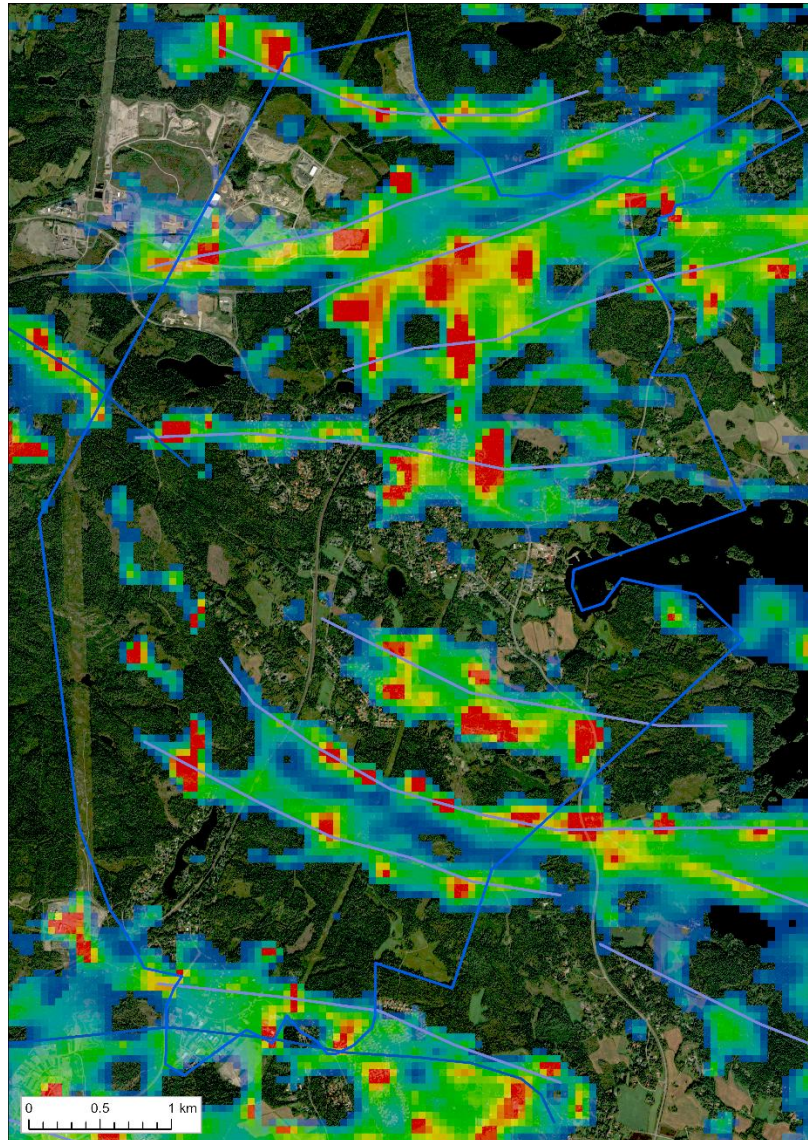
Lentogeofysiikan pohjalta on mahdollista tehdä riskikartta mustaliuskealueista. Riskikarttoja tehdessä on valittava sopiva ympäristöturvallisuuden konservatiivisuusaste, joilla riskialueita tulkitaan. Lentogeofysiikan aineistosta voi myös olla hankala tulkita maaperän mustaliuskepitoisuutta, ellei se ole erittäin suuri. Esimerkki lentogeofysiikan pohjalta tehdystä riskikartasta on esitetty alla (**Kuva 4**).



Kuva 4. Lentogeofysiikan aineiston pohjalta tulkitut korkean riskin mustaliuskealueet. Kuva on esimerkkikuva lentogeofysiikkaan perustuvasta riskialuetulkinnasta. Kuvan rajat mukailevat lentogeofysiikan sähkönjohtavuuskartan korkeita ja erittäin korkeita alueita.

15.12.2025

Lentogeofysiikan aineistoa käsittelemällä voidaan korostaa alueita, joissa on koko Suomen mittakaavassa korkea tai hyvin korkea sähkönjohtavuus (**Kuva 5**). Tähän aineistoon pohjautuvassa riskiarviossa korkean riskin alueet jäisivät pienemmäksi. On kuitenkin syytä huomata, että tutkimusalueella on havaittavissa kohteita, joilla on korkea sähkönjohtavuus, mutta joihin ei ole tulkittu mustaliuskeita. Tarkemman aineistoanalyysin ja maastomittausten perusteella on kuitenkin syytä olettaa, että näillä alueilla voi esiintyä mustaliuskeita.



Kuva 5. Sähkönjohtavuuden erittäin korkeat arvot koko Suomen mittakaavassa. Esitystapa havainnollistaa myös olemassa olevien mustaliusketulkintojen alkuperää.

15.12.2025

3.1.1 Lentogeofysiikan aineistotarkastelu, yhteenveto

Lentogeofysiikan aineistoa tulkittaessa on huomioitava seuraavat seikat

1. Tutkittavan kohteen sijainti Suomessa

Mustaliuskeita esiintyy Suomessa pääosin tietyillä vyöhykkeillä. Mikäli tarkasteltava alue sijaitsee tällaisen vyöhykkeen sisällä, nostaa se riskiä, vaikka alueelle ei olisi tulkittu mustaliuskeita.

2. Lentogeofysiikan aineiston mittakaava

Lentogeofysiikan mittaukset ja sen pohjalta tehty mustaliusketulkinta on tehty koko Suomen mittakaavassa. Yksityiskohtaisempi tarkastelu on tarpeen, mikäli kohdan 1 mukaisesti tarkasteltava alue sijaitsee mustaliuskevvyöhykkeellä.

3. Mustaliuskeen tarkka sijainti

Lentogeofysiikan aineistosta ei voida määrittää mustaliuskeen tarkkaa sijaintia ja laajuutta. Aineiston pikseliresoluutio on noin 50x50 metriä, jota tarkempaa tulkintaa aineistolla ei voida tehdä.

4. Lentogeofysiikka soveltuu hyvin alueelliseen tarkasteluun

Lentogeofysiikan aineisto soveltuu hyvin maastomittauksia tai näytteenottoa edeltävään tarkasteluun ja niiden suunnitteluun. Lentogeofysiikan aineistosta voidaan myös määrittää karkeita riskialueita.

5. Lentogeofysiikan aineistoa ei voida käyttää maaperän mustaliuskepitoisuuden arviointiin

Lentogeofysiikan mittauksissa maaperän mustaliuskepitoisuus ei ole selvästi nähtävissä mittausteknisten syiden vuoksi. Maaperän mustaliuskepitoisuus on selvitettävä muilla keinoilla, kuten näytteenotolla.

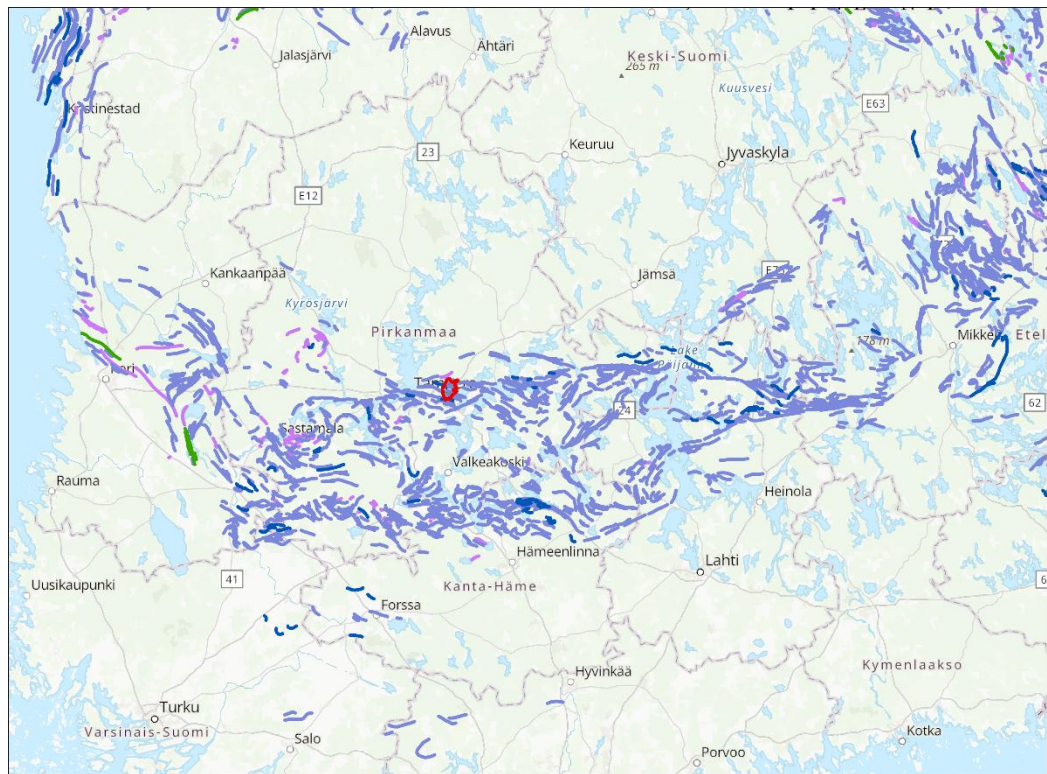
Lentogeofysiikan aineiston arviointi on oleellinen askel perusteellisessa ja kattavassa mustaliusketutkimuksessa. Lentogeofysiikan aineiston pohjalta tehdyssä tarkastelussa voidaan arvioida maastomittausten ja/tai näytteenoton tarvetta. Maastomittausten suunnittelu edellyttää tausta-aineiston tuntemista, jotta tutkimuslinjat voidaan suunnitella tehokkaasti.

3.1.2 Lentogeofysiikan tulkinta Ruutana-Tarastenjärvi-Asema osayleiskaavan alueella

Olemassa olevalle lentogeofysiikan aineistolle tehtiin mustaliusketarkastelu Ruutana-Tarastenjärvi-Asema osayleiskaavan alueella. Aineistotarkastelu keskittyi magneettisiin ja sähkömagneettisiin aineistoihin sekä niistä aiemmin tehtyihin mustaliusketulkintoihin. Lentogeofysiikan perusteella selvitysalueesta voidaan tehdä seuraavat havainnot:

15.12.2025

1. Selvitysalue sijaitsee mustaliuskevyöhykkeellä, jonka vuoksi alueella on kohonnut mustaliuskeriski (**Kuva 6**).
2. Selvitysalueelle on tulkittu mustaliuskeita.
3. Sähkönjohtavuuskartan perusteella alueen mustaliuske-esiintymiä ei voida pitää viivamaisina, vaan esiintymät voivat olla aluemaisia ja katkonaisia.
4. Selvitysalueella on paikoitellen kohonneita sähkönjohtavuusarvoja, jotka ovat todennäköisesti mustaliuskeiden aiheuttamia. Alkuperäisen mustaliusketarkastelun mittakaavan vuoksi kyseisillä alueilla ei ole tulkittua mustaliusketta.
5. Alueelle on mahdollista tehdä mustaliuskeiden esiintymistä kallioperässä kuvaava riskialuemäärittely.



Kuva 6. Mustaliusketulkintoja Suomessa. Selvitysalue merkitty punaisella.

Geofysiikan tutkimuksiin pohjautuvassa riskiarviossa on kuitenkin huomioitava menetelmän rajoitteet. Geofysiikan menetelmät eivät mittaa mustaliuskeita suoraan, vaan niiden aiheuttamia muutoksia mm. sähkönjohtavuudessa.

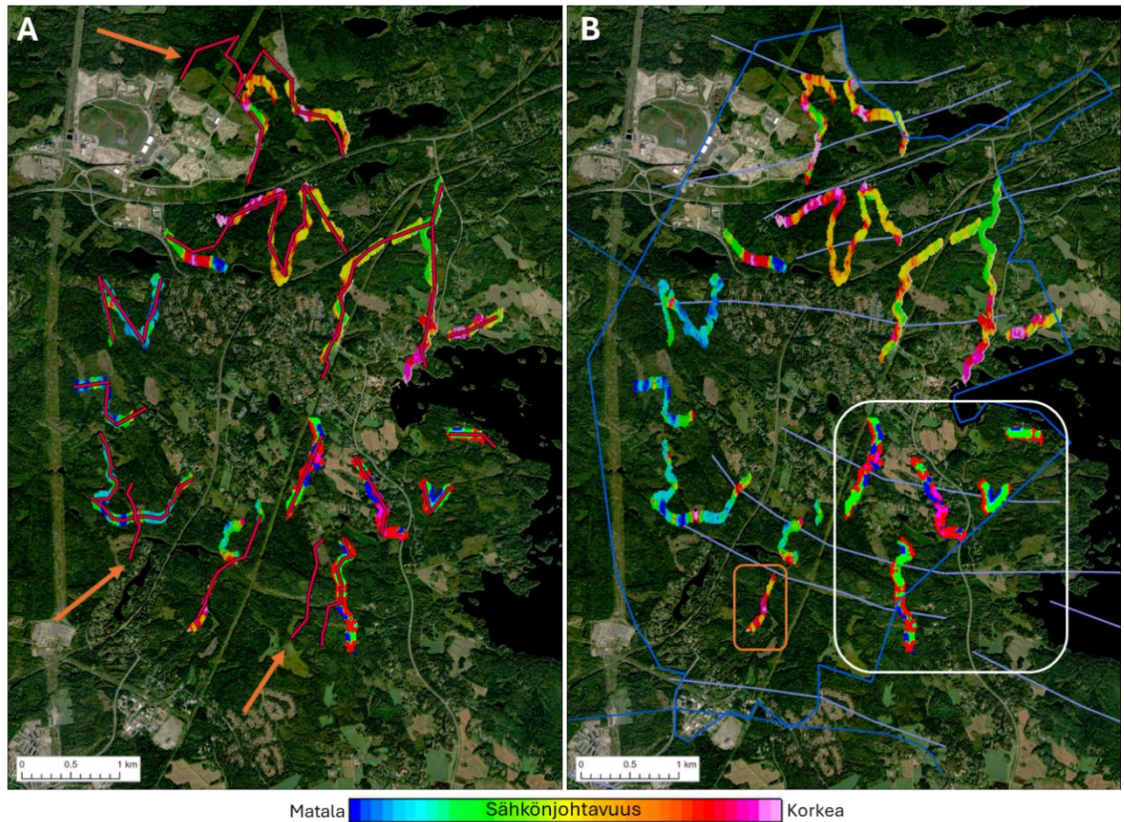
15.12.2025

3.2 Geofysiikan maastomittausten tulokset ja tulkinta

Selvityksessä toteutettiin geofysiikan maastomittauksia GEM-2 ja GEM-2H laitteella Ruutana-Tarastenjärvi-Asema osayleiskaavan alueella. Maastomittaukset suoritettiin linjamuotoisina mittauksina 17.11.2025 – 22.11.2025 välisenä aikana. Mittauslinjat suunniteltiin olemassa olevan mustaliusketulkinnan sekä lentogeofysiikan aineiston pohjalta. Lentogeofysiikan aineistoa käytettiin tunnistamaan kohonneita sähkönjohtavuusarvoja sekä magneettisia anomalioita. Linjasuunnittelussa huomioitiin myös mahdollinen näytteenotto tulevaisuudessa sekä pyrittiin minimoimaan infrastruktuurin aiheuttamat mittaushäiriöt. Mittauslinjaa kertyi yhteensä noin 25 kilometriä (**Kuva 7**). Mittausalueen pohjoisosassa kaikkia linjoja ei kyetty mittaamaan alueella sijainneen räjäytystyömaan takia. Näiden linjojen puuttumisella ei ollut vaikutusta tulkintaan.

Mittausjakson loppuvaiheessa mittauslaitetta jouduttiin vaihtamaan laitevian vuoksi. Mittausta jatkettiin GEM-2 laitteella GEM-2H laitteen sijasta. Vaihdetussa laiteessa kelaväli oli hieman pienempi, jonka vuoksi laitteen syvyysulottuvuus ei ollut yhtä hyvä. GEM-2 laitteen syvyysulottuvuus on noin 10 metriä ja GEM-2H:n syvyysulottuvuus on jonkin verran enemmän, noin 15 metriä. Mitattujen sähkönjohtavuustasojen tarkkaa kerrossyvyyttä ei määritetty. Laittevaihdolla ei kuitenkaan ollut vaikutusta kerättyyn aineistoon tai siitä tehtyyn tulkintaan.

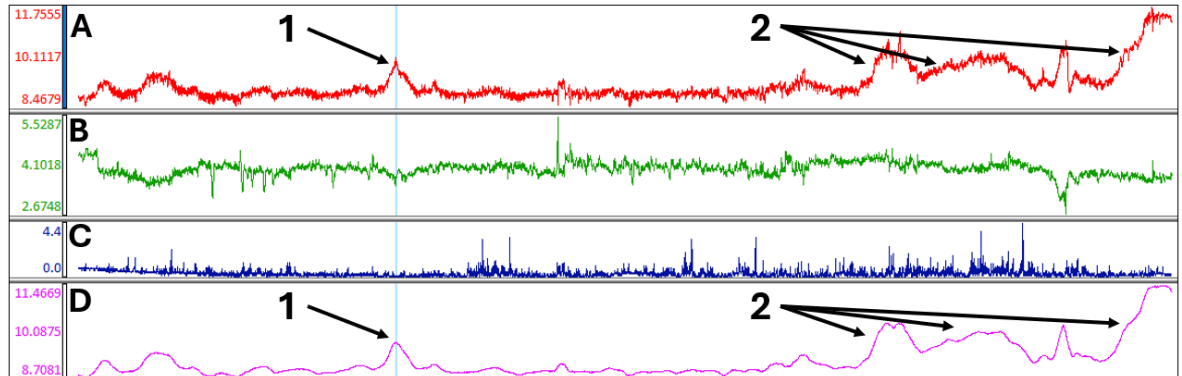
15.12.2025



Kuva 7. A: Linjasuunnitelma merkitty kuvaan punaisin viivoiin. Linjatoteuma on nähtävissä mitattuina sähkönjohtavuusaineisto linjasuunnitelmien taustalla. Poikkeamat linjasuunnitelmasta on merkattu oransseilla nuolilla. Pohjoisessa puuttuvat linjat johtuivat räjäytystyömaasta, joka esti mittaukset. Lännessä puuttuva linja johtui mittalaitteen häiriöstä, jonka vuoksi datatiedoston purku ei onnistunut. Puuttuvan linjan aineisto on lisätty tulkintaan myöhemmin (9.1 Puuttuva maastomittauslinja). Kaakossa olevaa linjaa ei mitattu maaston vuoksi. **B:** Valkoisella rajattu alue, jossa mittaukseen käytetty GEM-2-laitetta GEM-2H:n sijasta. Oranssilla rajattu alue lähellä sähkölinjaa, jossa infrastruktuurin vaikutuksia ei voi täysin poistaa aineistosta.

Kerätylle aineistolle tehtiin laadunvarmistukset Geologian tutkimuskeskuksen sisäisten ohjeiden mukaan ja se analysoitiin (**Kuva 8**) Oasis Montaj ohjelmistolla. Osa mittauslinjoista mitattiin GEM-2 laitteella GEM-2H laitteessa havaitun vian vuoksi. Vian takia yhden tutkimuslinjan mittaustiedosto lähetettiin laitevalmistajalle käsiteltäväksi. Kyseisen linjan mittaustiedosto saatiin käyttöön myöhemmin ja on esitetty luvussa 9.1. Laitteiston vaihtuminen ei vaikuta tulosten analysointiin tai tulosten laatuun.

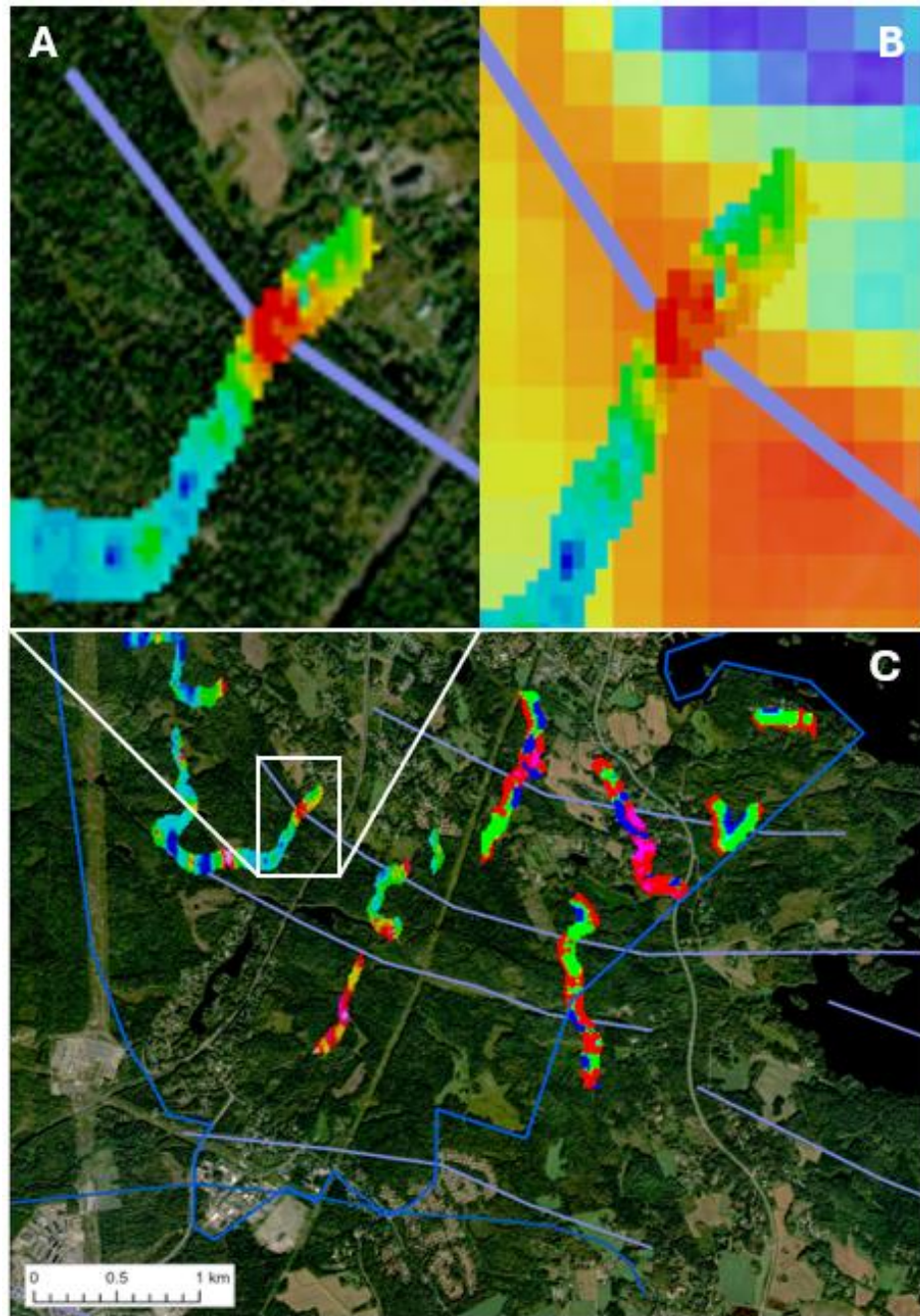
15.12.2025



Kuva 8. Esimerkki maastomittauksissa kerätystä datasta. Punaisella (A) laskettu sähkönjohtavuusarvo (mS/m), vihreällä (B) magneettinen susceptibiliteetti, sinisellä (C) voimalinjavaste ja violetilla (D) juoksevilla keskiarvolla tasoitettu sähkönjohtavuus. Mustaliuskeiden aiheuttama anomalia nähtävissä tasaisina kohoumina taustatasosta, olemassa oleva mustaliusketulkinta (1) ja mahdolliset mustaliuske-esiintymät (2). Voimakkaat tai äkilliset vaihtelut voivat johtua infrastruktuurista tai esimerkiksi hautautuneista metalliesineistä

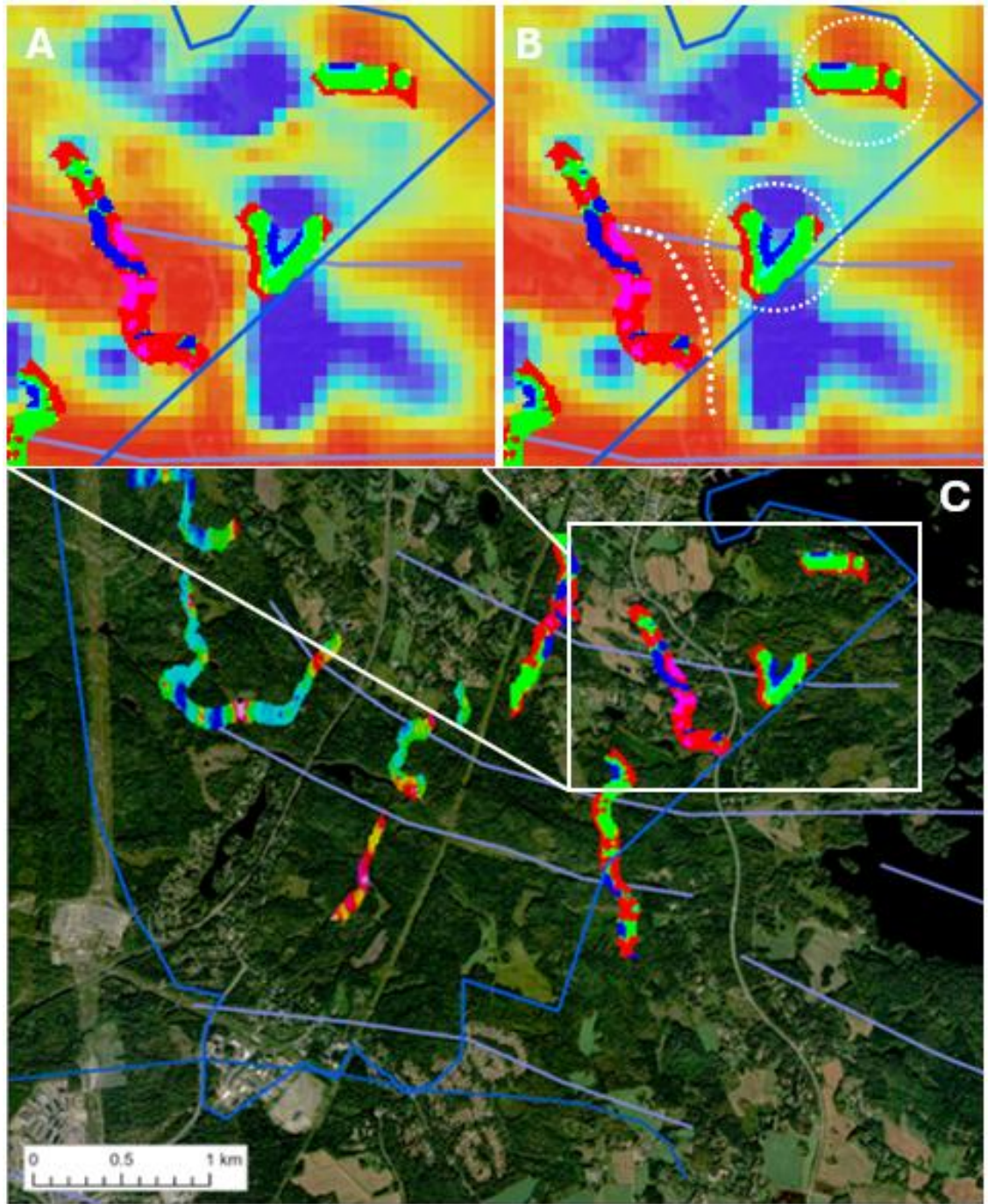
Mittausaineistoa tarkasteltiin itsenäisesti ja sitä verrattiin lentogeofysiikan aineistoon. Mittausaineisto korreloi lentogeofysiikan ja siitä tehtyjen mustaliusketulkintojen kanssa suurimmilta osin (**Kuva 9**). Paikoitellen, kuten tutkimusalueen itäosissa korrelaatiota ei voitu määrittää (**Kuva 10**). Tulosten perusteella mustaliuske-esiintymiä ei voi kuitenkin sulkea pois.

15.12.2025



Kuva 9. Esimerkki maastomittauksissa kerätystä datasta (A) ja sen korrelaatiosta lentogeofysiikan aineiston kanssa samasta kohtaa (B) sekä laajempi karttakuva osittaisesta tutkimusalueesta (C)

15.12.2025



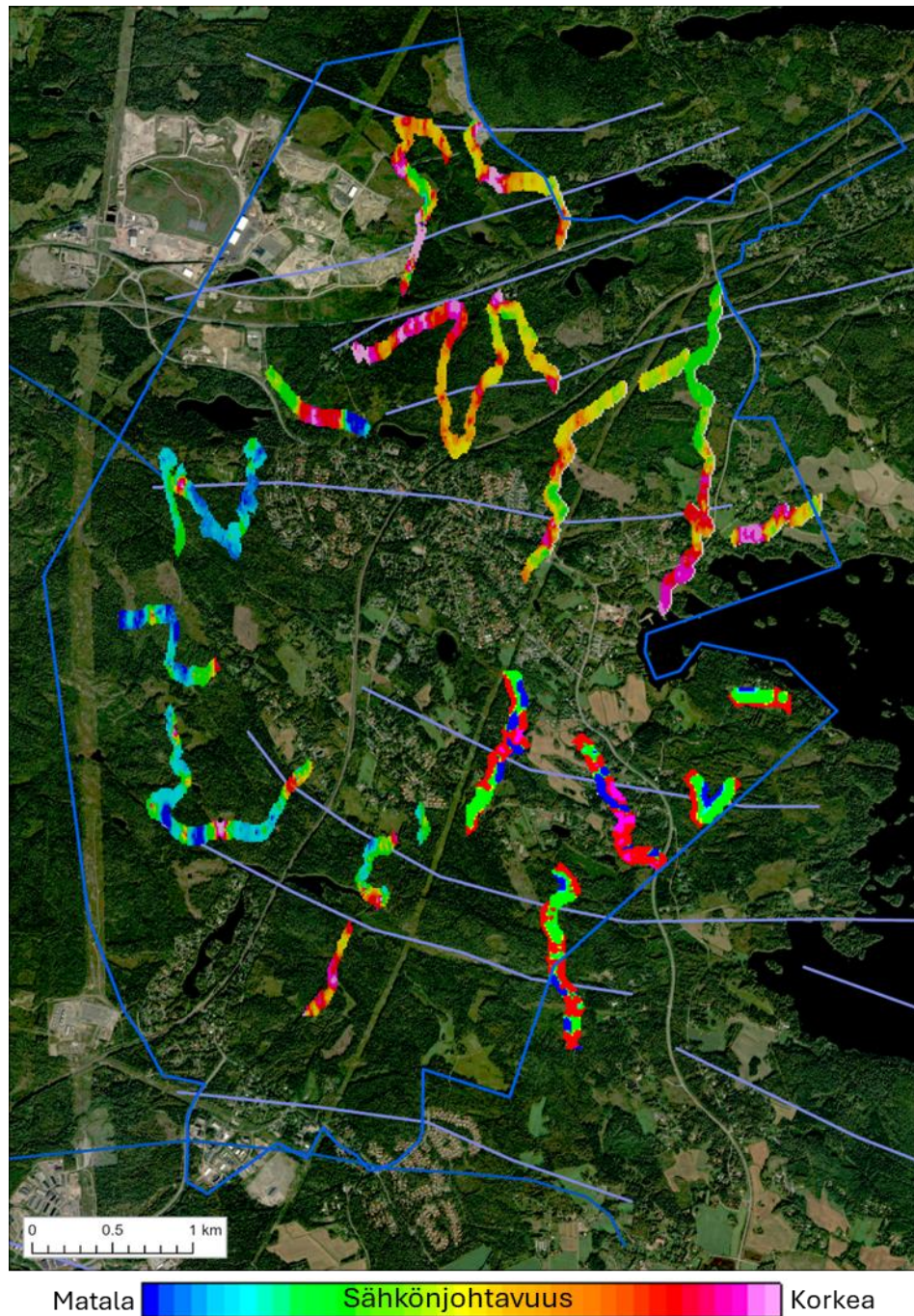
Kuva 10. Esimerkkikuva maastomittauksissa tuotetun datan (A), lentogeofysiikan sähkönjohtavuutta kuvaavan aineiston (A ja B) ja aikaisempien mustaliusketulkintojen kanssa. Valkoisella ympyröity maastomittauksen tuloksia, joista voidaan tehdä mahdollisia korjauksia mustaliusketulkintaan (B). C: Esitetty alue laajemmassa karttakuvassa.

15.12.2025

Alla on esitetty sähkönjohtavuusarvot linjoittain (**Kuva 11**). Sähkönjohtavuuden mittaskaalaa ei ole esitetty kuvassa tarkoin numeroarvoin, koska laitteen mittaustapa on suhteellinen eikä absoluuttinen. Laitteen mittaustuloksiin vaikuttaa kallio- ja maaperän lisäksi myös vallitsevat sääolosuhteet. Samalla linjalla, mutta sateisella säällä tehdyt mittaukset poikkeavat tuloksiltaan kuivan sään aikaisista mittauksista. Aineistossa havaitut poikkeamat, gradienttimuutokset ja anomaliat kuitenkin muuttuvat samassa suhteessa perustason muutosten kanssa. Mittausaineistosta ei ole tulkittu tarkkoja lukuarvoja sähkönjohtavuuden osalta, vaan keskitytty gradienttien ja anomalioiden havaitsemiseen. Tässä selvityksessä on otettu huomioon maastomittausten mittaustulosten perustasossa mahdollisesti havaittavat vaihtelut.

Tutkimusalueen pohjoisosassa sähkönjohtavuuden tasot ovat korkeammalla myös mustaliuskeviivojen välillä. Tämä viittaa siihen, että mustaliuskevyöhykkeet ovat pohjoisessa laajempia eivätkä välttämättä yhtä selvärajaisia kuin olemassa olevat mustaliusketulkinnat, erityisesti viivamainen esitystapa, ovat antaneet ymmärtää.

15.12.2025



Kuva 11. Toteutuneiden mittauslinjojen data. Kaikki linjat noudattavat samaa väriskaalaa sinisestä (matala sähkönjohtavuus) korkeaan (violetti). Niin sanottuun arvojen perustasoon on vaikuttanut muun muassa mittausaikana tapahtuneet muutokset säätilassa, jonka vuoksi tuloksia ei tule tarkastella pelkästään yhtenä isona kokonaisuutena, vaan myös päiväkohtaisesti. Kuvassa näkyvät violetit viivat ovat olemassa olevia eli ennen tätä selvitystä tehtyjä mustaliusketulkintoja.

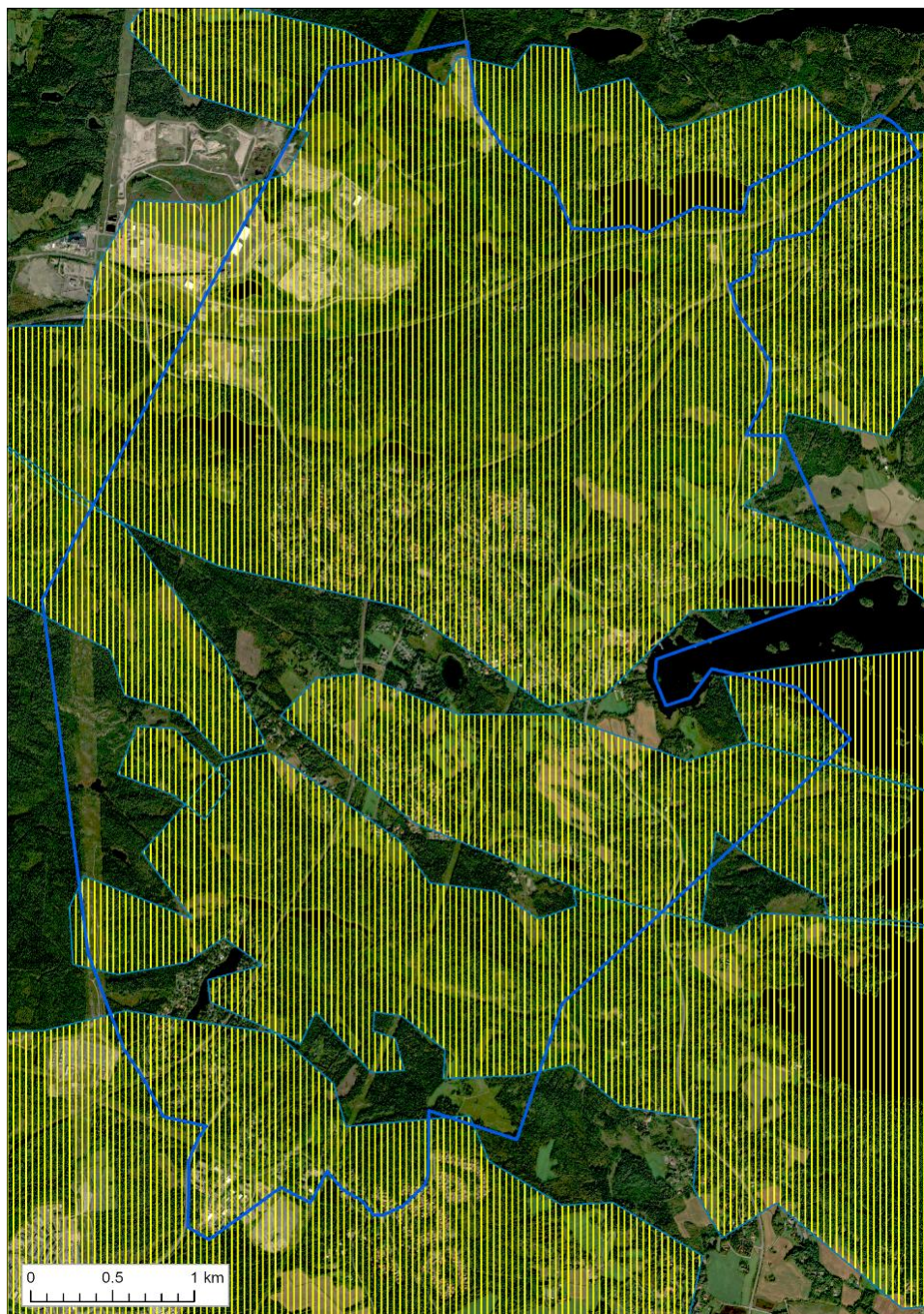
15.12.2025

3.3 Geofysiikan aineiston yhteistulkinta ja johtopäätökset

Geofysiikan lentomittausten ja maastomittausten aineistoa tulkittiin erillisinä kokonaisuuksina sekä yhteistulkintana. Tulkinnan perusteella voidaan tehdä seuraavia johtopäätöksiä

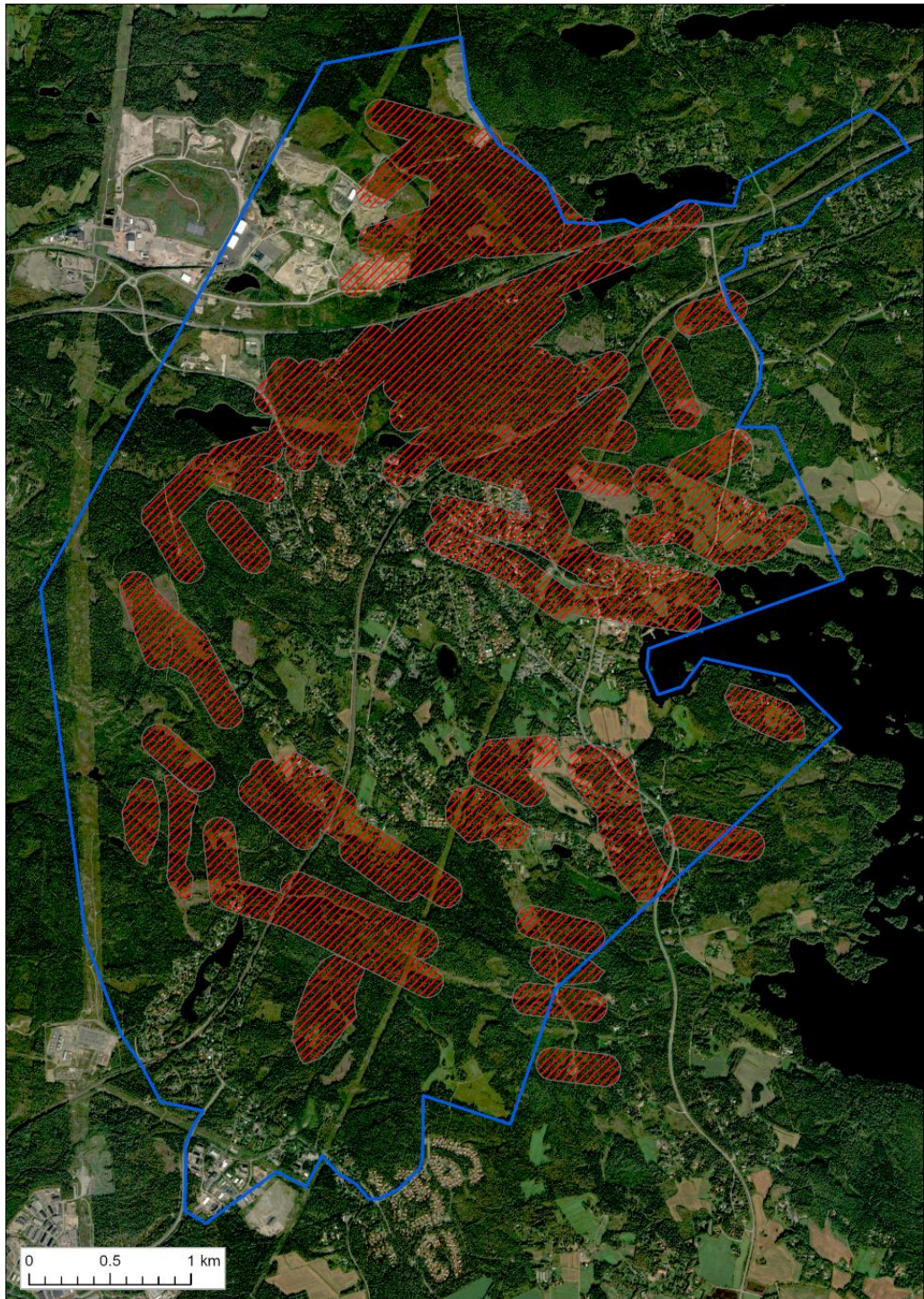
1. Koko Suomen mittakaavassa selvitysalue sijaitsee kohonneen mustaliuskeriskin alueella. Mustaliuskeiden esiintymistä selvitysalueen maa- tai kallioperässä ei voida sulkea pois täysin pois miltään alueelta.
2. Mustaliuskeiden mahdollisten ympäristövaikutusten huomioiminen on suositeltavaa hankkeissa, joissa kalliolouhinnan, maankäytön tai vedenoton määrät voivat aiheuttaa ympäristön kuormittumista.
3. Selvitysalueelle voidaan määrittää myös tarkempia riskialueita eri aineistoihin perustuen sekä mustaliuskeiden viivatulkintaa voidaan tarkentaa (**Kuva 12; Kuva 13; Kuva 14**). Tarkennuksia on hyvä tehdä eritoten mahdollisen näytteenoton jälkeen.
4. Mustaliuskeiden sijaintia voidaan tarkentaa paikallisesti maastogeofysiikan mittauksilla ja/tai näytteenotolla. Maastogeofysiikkaa voidaan myös käyttää ohjaamaan näytteenottoa.

15.12.2025



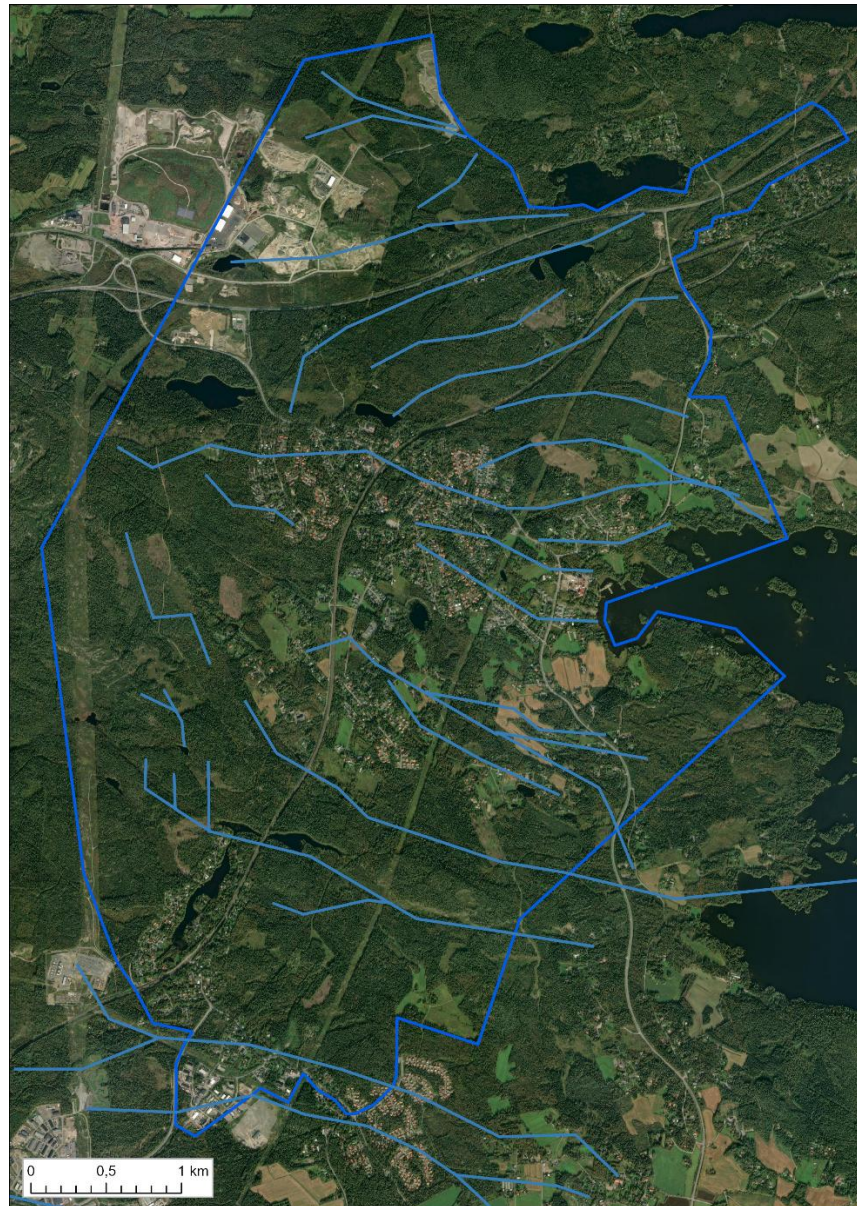
Kuva 12. Riskialueet (keltaisella) lentogeofysiikan aineiston pohjalta. Värittämätön alue ei merkitse riskitöntä aluetta, vaan se on syytä tulkita alueena, jolle riskiä ei ole voitu määrittää. Esimerkiksi maaperässä olevaa mustaliuskeriskiä ei ole huomioitu lentogeofysiikan aineistotarkastelussa.

15.12.2025



Kuva 13. Riskialueet (punaisella) maastomittausten pohjalta. Riskialueet eivät ole kattavia, koska maastomittaussinjat eivät kattaneet koko aluetta. Värittämätön alue ei ole riskitön, vaan kyseisellä alueella riskiä ei ole määritetty.

15.12.2025



Kuva 14. Mustaliuskeet viivamaisesti uudelleentulkittuna sekä lento- että maastogeofysiikan aineistoon pohjautuen. Viivamaisen aineiston käytössä on huomioitava, että se ei ota kantaa mustaliuske-esiintymien kokoon tai laajuuteen.

Mahdollisia jatkotoimenpiteitä geofysiikan osalta ovat yksityiskohtaisempi aineistotarkastelu ja maastomittaukset. Yksityiskohtaisella aineistotarkastelulla tarkoitetaan esimerkiksi tietyn rakennushankkeen tarkastelua, eli se on siirtyminen yksityiskohtaisempaan tarkastelumalliin yleiskaavatasoisesta selvityksestä. Aineistotarkastelussa määritetään mahdollisten maastomittausten tarve ja toteuttamista pa mustaliuske-esiintymän kartoittamiseksi ja näytteenoton ohjaamiseksi.

15.12.2025

Maastomittaukset toteutetaan riittävän tiheänä ja kattavana linjamittauksina selvitysalueella. Maastomittausten tarve sekä hyödyllisyys arvioidaan ja linjasuunnitelma tehdään olemassa olevan aineiston pohjalta. Alla ehdotettu toimintamalli jatkotutkimuksien tarpeen arviointiin.

1. Tunnistetaan hankkeet, jotka sijaintinsa sekä hankkeessa toteutettavien toimenpiteiden kuten kalliolouhinnan, maankäytön, vedenoton tai muiden vastaavien toimenpiteiden vuoksi vaativat mustaliuskeiden huomioonottamista.
2. Tehdään hanke- ja sen vaikutusalueelle geofysiikan aineistotarkastelu. Aineistotarkastelulla pyritään arvioimaan geofysiikan maastomittausten tarvetta sekä tekemään maastomittaussuunnitelma. Geofysiikan maastomittausten tarvetta arvioidessa otetaan huomioon mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät kuten alueella esiintyvä infrastruktuuri.
3. Mikäli aluetta ei voida pitää soveltuvana maastogeofysiikan mittauksiin tai mittausten ei arvioida tuovan lisäarvoa, on mustaliuske-esiintymät kartoitettava muulla tavoin.
4. Maastomittausten päämäärä on joko mustaliuske-esiintymän kartoittaminen ja maaperänäytteenoton tai kairauspisteiden ohjaaminen.
5. Jatkotoimenpiteiden tulokset päivitetään olemassa olevaan aineistoon sitä täydentäen tai korjaten.

4 KEHITYSKUVIEN RISKITARKASTELU

Kaikissa kolmessa osayleiskaavan osallistumis- ja arviointisuunnitelmassa esitetyssä maankäytön kehityskuvassa (**Kuva 15**; vähittäinen tiivistyminen, elinkeinojen kehittäminen ja asumisen painotus) on osoitettu toteutettavaksi Vatialantien jatke sekä valtatie 9:n parantamishanke. Kaikissa vaihtoehdoissa on myös esitetty tulevaisuuden kehä-2 varaus sekä kaava-alueen keski- ja länsiosassa laaja metsä- ja luontoalue.

Elinkeinojen kehittämiseen ja asumiseen painottuvat kehityskuvat perustuvat oletukseen lähijunaseisakkeen toteutumisesta. Näissä kehityskuvissa pyritään tiivistämään ja täydentämään olemassa olevia asuinalueita erityisesti seisakkeen läheisyydessä.

Vatialantien jatkeen ja valtatie 9:n parantamisen toteutuminen – mukaan lukien valtatie 9:n rinnakkaistien rakentaminen sekä nykyisten tasoliittymien korvaaminen uusilla eritasoliittymillä – sekä pohjoisen kehä-2:n toteutuminen voivat aiheuttaa mustaliuskeisiin liittyvän ympäristöriskin. Toiminnot sijoittuvat alueille, joilla on tulkittuja mustaliuskevyöhykkeitä, ja mikäli rakentamiseen liittyy louhintaa, kaivuita tai kuivatusta, ympäristöön voi vapautua happamuutta ja liukoisia metalleja.

Vähittäisen tiivistymisen kehityskuvassa esitettyjen, erityisesti valtatie 9:n varrelle sijoittuvien yritysalueiden toteutuminen voi aiheuttaa mustaliuskeperäisen ympäristöriskin, sillä alueella on useita tulkittuja mustaliuskevyöhykkeitä. Myös Ruutanan ja Aseman taajamissa on tulkittuja mustaliuskevyöhykkeitä, ja suunniteltu

15.12.2025

maankäyttö (palvelut/keskusta, yritysalueet ja asumisen uudet alueet) voi muodostaa riskin.

Elinkeinojen kehittämiseen painottuvassa kehityskuvassa erityisesti valtatie 9:n etelä- ja pohjoispuolelle sijoittuvat yritysalueet ovat vaihtoehtoista laajempia, ja mustaliuskeet voivat tulla vastaan alueen maankäytössä. Asumisen laajenemiseen liittyvät riskit eivät todennäköisesti poikke juurikaan vähittäisen tiivistymisen kehityskuvasta.

Asumiseen painottuvassa vaihtoehdossa yritysalueet ovat pienimmät, erityisesti valtatie 9:n pohjoispuolella, jossa on tulkittuja mustaliuskevyöhykkeitä. Asumisen alueet laajenevat erityisesti Ruutanen taajaman itä-koillispuolelle. Vastaava alue on elinkeinojen kehittämiseen painottuvassa vaihtoehdossa suurelta osin yritysalueita. Vähittäisen tiivistymisen kehityskuvassa alueelle ei ole suunniteltu lainkaan maankäyttöä. Alueella on tarkennetun mustaliuskeaineiston perusteella riski mustaliuskeiden esiintymiselle.

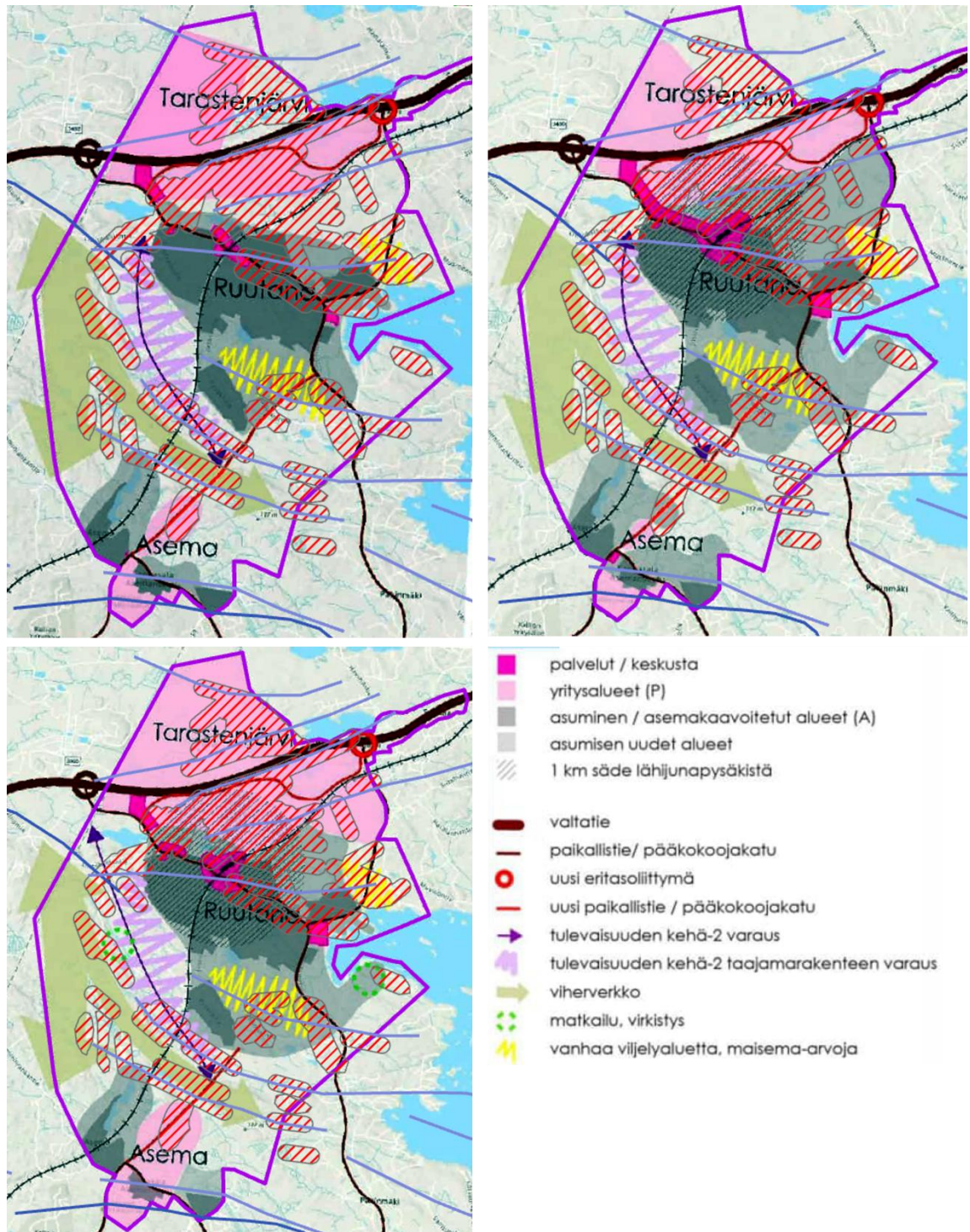
Kaikissa kehityskuvissa osoitetaan rakentamista suunnilleen samoille alueille, ja kyseisillä alueilla esiintyy tulkinnan mukaan mustaliuskevyöhykkeitä. Vähittäisen tiivistymisen kehityskuvassa maankäyttöön tulevan maan pinta-ala mustaliuskevyöhykkeiden läheisyydessä on pienin, ja siten voidaan arvioida, että myös riskit ovat pienimmät.

Elinkeinojen kehittämisen kehityskuvassa vastaava pinta-ala on suurin, ja siten lähtökohtaisesti mustaliuskeisiin liittyvät riskit ovat suurimmat. Myös maankäyttömuodoilla (yritysalue/asuminen) on todennäköisesti jonkinlainen vaikutus riskin muodostumiseen. Yritysalueen rakentaminen voi edellyttää laajempia kaivuita, louhintoja/leikkauksia ja kuivatuksia kuin asuminen, jolloin riskit voivat olla suuremmat.

Eri kehityskuvien riskejä voidaan tässä vaiheessa tarkastella vain yleisellä tasolla ja suhteessa tulkittuun mustaliuskeiden esiintymiseen kallioperässä. Maaperään liittyviä riskejä voidaan arvioida tarkemmin vasta maastotutkimusten ja näyteanalyysien perusteella. Myös ympäristön sekä suotovesiä vastaanottavien vesistöjen tilaa ja herkkyyttä voidaan arvioida tarkemmin riskinarvion yhteydessä. Lähtökohtaisesti kaikki mustaliuskeperäinen happamuuskuormitus tulisi minimoida alueella.

Kallioperän mahdollisiin laajempiin louhintoihin ja leikkauksiin on syytä kiinnittää erityistä huomiota ja mahdollisen mustaliuskekiiviaineen hyödyntäminen tai loppusijoittaminen tulisi arvioida aina kohdekohtaisesti.

15.12.2025



Kuva 15. Kaava-aleen vaihtoehtoiset kehityskuvat. Vasemmalla ylhäällä vähittäisen tiivistymisen vaihtoehto, oikealla ylhäällä asumiseen painottuva vaihtoehto ja vasemmalla alhaalla elinkeinon kehittämiseen painottuva vaihtoehto. Punaisella vinorasterilla kuvatut alueet osoittavat maastogeofysikaalisten mittausten perusteella tarkennettuja mustaliuskeiden esiintymisalueita.

15.12.2025

5 RISKINHALLINTATOIMENPITEET

Riskinhallintatoimenpiteet perustuvat mustaliuskemateriaalin luotettavaan tunnistamiseen ja riskinarvioon. Mustaliuskepiteisen maaperän osalta voidaan tunnistuksessa ja riskinarvioinnissa hyödyntää HaSu-maille kehitettyjä menetelmiä (Visuri ym. 2021; Autiola ym. 2023).

Kiviaineksen osalta voidaan tarkastella kaivannaisjäteasetuksen pysyvän kiviaineksen raja-arvoja (sulfidirikipitoisuus ja neutralointipotentiaalisuhde) sekä määrittää nettohapontuottopotentiaali (NAG, AMIRA 2002).

Tehokkaimmin mustaliuskekallioperän ja mustaliuskepiteisen maaperän riskejä ehkäistään minimoimalla mustaliuskekallion louhinta sekä maaperän kaivuut ja kuivatus. Mustaliuskepiteinen maa-aines voi olla hyvin vettä läpäisevää ja happamoitua nopeasti verrattuna hienorakeisiin HaSu-materiaaleihin. Myös happamuuden huuhtoutuminen voi tapahtua nopeasti.

Mikäli mustaliuskepiteistä maaperää on tarve kuivattaa, olisi rakentamista varten hyvä määrittää tarkemmin kuivatuskohteen nykyinen hapettumissyvyys sekä asettaa alin sallittu kuivatustaso. Tällä voidaan vähentää päästöjä ja välttää tarpeettoman syvää kuivatusta. Myös maanalaisen rakentamisen kieltäminen riskialueilla voi olla tarpeellista.

Kaivuiden osalta on tärkeää minimoida kaivettavien massojen määrä sekä mahdollisuuksien mukaan palauttaa kaivetut massat samassa järjestyksessä samaan kaivantoon. Mikäli massoja ei voida palauttaa, vaihtoehtoina ovat niiden toimittaminen luvanvaraiseen maankaatopaikkaan tai hyötykäyttö rakentamisessa (esim. maisemointi). Hyötykäyttö edellyttää todennäköisesti massojen neutralointia. Mustaliuskepiteisiä maamassoja ei tulisi välivarastoida pitkiä aikoja ilman käsittelyä tai peittorakenteita. Mustaliuskekallioperästä louhitun kiviaineksen sijoittamista ja hyötykäyttöä rajoittavat samat periaatteet.

Happoa tuottavan maa-aineksen hyötykäytön pelisääntöjä tullaan tarkastelemaan tulevaisuudessa valmisteilla olevassa MASA-asetuksessa (maa-ainesjätteen hyödyntäminen maarakentamisessa).

Työmaavesien seuranta mustaliuskekohteilla voi olla tärkeää, sillä happamuutta voi vapautua maaperästä ja/tai kaivetuista massoista nopeasti. Vesistöön johdettavan veden pH:n tulisi olla yli 5,5, ja mikäli pH on alle tämän, vedet tulisi kalkita. Vaihtoehtoisia kalkitustapoja ovat muun muassa kalkkipadot, neutralointikaivot ja kalkin levitys kaivantoihin.

Vesistöjen laajempi kalkitus myöhemmin on haastavaa, ja riskinhallintatoimenpiteiden tulisi keskittyä maa-aineksen happamoitumisen ehkäisemiseen. Erityisesti kuivatetusta maaperästä voi vapautua happamuutta hyvin pitkällä aikajänteellä (kymmeniä vuosia), ja yksittäisiin happamuuspiikkeihin varautuminen on vaikeaa.

15.12.2025

Yhteenveto riskinhallintatoimenpiteistä:

- Louhinnan ja kaivuiden minimointi
 - Vältä mustaliuskekallion louhintaa ja maaperän kaivamista/kuivatusta.
 - Mustaliuskepitoinen maa-aines voi hapettua nopeasti → riski nopealle huuhtoutumiselle.

- Kuivatus
 - Selvitä hapettumissyvyys ennen kuivatusratkaisuja.
 - Aseta alin sallittu kuivatustaso.
 - Maanalaiseen rakentamiseen kieltö riskialueilla tarvittaessa.

- Massojen hallinta
 - Minimoi kaivettavat massat.
 - Palauta massat samaan kaivantoon alkuperäisessä järjestyksessä.
 - Jos palautus ei onnistu:
 - Vie luvanvaraiseen maankaatopaikkaan.
 - Hyötykäyttö (esim. maisemointi) → edellyttää neutralointia.
 - Vältä pitkäaikaista välivarastointia ilman käsittelyä tai peittorakenteita.

- Vesien hallinta
 - Seuraa työmaavesien pH:ta (vesistöön johdettava vesi > pH 5,5).
 - Jos pH < 5,5 → kalkitus (kalkkipadot, neutralointikaivot, kalkin levitys kaivantoihin).

- Kiviaineksen osalta tarkastellaan:
 - Kaivannaisjäteasetuksen pysyvän jätteen raja-arvot (sulfidirikkipitoisuus, neutralointipotentiaalisuhde).
 - Nettohapontuottopotentiaali (NAG) (AMIRA 2002)

6 NÄYTTEENOTTO

Tässä työssä laadittiin yleismittakaavainen näytteenottosuunnitelma (**Kuva 16**), jonka avulla voidaan tunnistaa karkeasti mahdolliset riskialueet ja arvioida maa- ja kiviaineksen hapontuotto-ominaisuuksia. Tulosten perusteella voidaan suunnitella maankäyttöä siten, että mustaliuskeiden haittavaikutukset minimoidaan, sekä määrittää selvitystarpeet asemakaavavaihetta varten.

Näytteenottosuunnitelman laatimisessa on hyödynnetty GEM-mittaustuloksia, 1:20 000 maaperäkartoja, pohjatutkimustietoja ja Maanmittauslaitoksen laserkorkeusmallia. - Suunnitelmassa on lisäksi huomioitu yleiskaavan osallistumis- ja arviointisuunnitelmassa esitetyt vaihtoehtoiset maankäytön kehityskuvat. Näytepisteitä on painotettu eniten kaava-alueen pohjoisosaan, jonne on suunniteltu laajaa maankäyttöä, ja jossa on tulkinnan mukaan useita mustaliuskevyöhykkeitä. Näytteenotto kohdistetaan pääasiassa moreeni- ja turvekerroksiin, joihin mustaliuskeainesta ja rikkiä on todennäköisimmin

15.12.2025

kulkeutunut. Näytteenottosuunnitelmassa ei ole huomioitu maaomistusolosuhteita ja näytepisteiden sijaintiin voidaan tehdä vielä tarkennuksia näytteenoton toteutusvaiheessa. Näytteenottoon on syytä kysyä luvat maaomistajilta, riippumatta näytteenottomenetelmästä.

Alueen maanmuokkaukset, kuten kaivuut ja mahdolliset kuivatukset liittyvät todennäköisesti suurelta osin maaperään, joten mustaliuskepaljastumien laajamittainen kartoitus ei ole tarkoituksenmukaista. Lisäksi kivilajin tunnistaminen ilman kairauksia voi olla vaikeaa tai mahdotonta, sillä mustaliuske esiintyy yleensä maapeitteen alla. Maastotöiden yhteydessä on kuitenkin hyvä tarkastaa kalliopaljastumia sekä mahdolliset tie- ja rataleikkaukset. Jos alueella havaitaan mustaliusketta tai siihen viittaavaa kivilajia, niistä otetaan näytteet (esim. kivivasaralla) analysoitavaksi. Mikäli näytteen rikkipitoisuus on alle 1 %, voidaan sen aiheuttama riski arvioida lähtökohtaisesti pieneksi.

Maaperänäytteet otetaan kairaamalla, laipiolla tai kaivinkoneella. Kairanäytteenottoa käytetään erityisesti turvekerrokseen ja niiden alaiseen pohjamaahan. Turpeen alaisista paksuista savi- ja silttikerroksista ei yleensä ole tarpeen ottaa näytteitä, sillä niissä rikkiä ei todennäköisesti esiinny merkittäviä määriä.

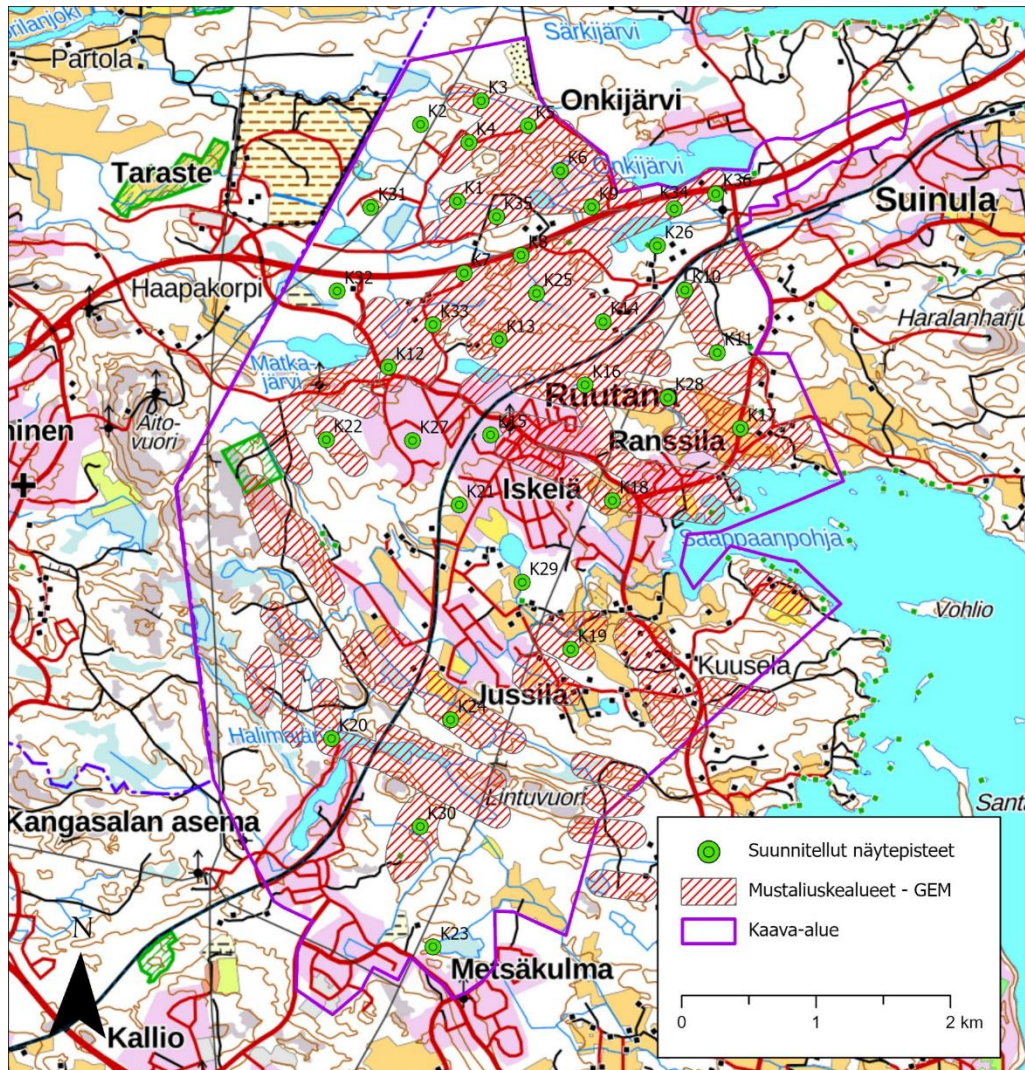
Moreenikerroksista voidaan ottaa näytteitä kannettavilla käsikairoilla (tärykairaus), mikäli moreeni ei ole kivistä. Vaihtoehtoisesti näytteet voidaan ottaa kairavaunulla, mutta kannettava käsikaira voi olla selvästi kustannustehokkaampi, mikäli maaperä ei ole liian tiivistä/kivistä. Moreeninäytteitä voidaan ottaa myös koekuopista tai esimerkiksi lapiolla ojien pohjalta.

Moreeninäytteet otetaan lähtökohtaisesti jatkuvana sarjana enimmillään 2–3 metrin syvyyteen maanpinnasta. Tätä syvemmälle maanmuokkaukset tai kuivatus eivät yleensä ulotu. Näytteenotossa noudatetaan kerrosrajapintoja ja litologisia muutoksia (esim. väri ja lajittuneisuus). Näytteet otetaan enintään 100 cm osissa.

Rakennetuilla alueilla tunnistetaan mahdollinen täyttömaa ja rakennekerrokset. Niistä ei oteta näytteitä, ellei ole perusteltua epäilyä, että niissä on käytetty mustaliuskepitoista ainesta. Näytteenotto kohdistetaan luontaisen maaperän hapettuneeseen ja hapettumattomaan kerrokseen.

Turvenäytteitä otetaan koko turveprofiilista sekä sen alapuolisesta liejukerroksesta, riippumatta kerrosten paksuudesta, koska rakentamisen yhteydessä ne saatetaan joutua poistamaan kokonaan (massanvaihto). Mikäli turvekerros on paksu, riittää, että siitä otetaan analysoitavaksi 20–50 cm:n osanäytteet pintaosasta, keskikerroksesta ja pohjalta. Mustaliuskeista peräisin olevan rikin on todettu rikastuvan suoalueilla yleisesti juuri pohjaturpeeseen tai mahdollisesti sen alaiseen liejukerrokseen. Myös turve-/liejukerroksen alla olevasta moreenikerroksesta pyritään ottamaan näyte.

15.12.2025



Tunnus	X	Y	Tunnus	X	Y	Tunnus	X	Y
K1	24500390	6825925	K13	24500749	6824909	K25	24501011	6825266
K2	24500091	6826483	K14	24501515	6825078	K26	24501893	6825662
K3	24500533	6826679	K15	24500718	6824198	K27	24500139	6824129
K4	24500457	6826366	K16	24501403	6824602	K28	24502023	6824535
K5	24500892	6826510	K17	24502573	6824331	K29	24501004	6823113
K6	24501147	6826186	K18	24501646	6823751	K30	24500329	6821261
K7	24500466	6825392	K19	24501388	6822631	K31	24499749	6825848
K8	24500883	6825545	K20	24499639	6821885	K32	24499527	6825216
K9	24501392	6825927	K21	24500509	6823667	K33	24500252	6824998
K10	24502113	6825341	K22	24499499	6824106	K34	24502005	6825943
K11	24502375	6824887	K23	24500465	6820370	K35	24500688	6825822
K12	24499935	6824667	K24	24500518	6822066	K36	24502309	6826068

Kuva 16. Alustava näyteenottosuunnitelma. Näytepisteiden koordinaatit: ETRS 1989 GK24FIN.

15.12.2025

Maanäytteistä tunnistetaan hapontuottopotentiali maasto-pH:n, kokonaisrikkipitoisuuden, hapetuskokeiden sekä asiditeettimäärityksen perusteella (ks. Visuri ym. 2021). Luotettavin hapetuskoee on 19 viikkoa kestävä pH-inkubaatio. Menetelmää voidaan nopeuttaa lämpökäsittelyllä useilla viikoilla, mutta luotettava hapetuksen jälkeinen asiditeettimääritys (TIA) edellyttää 19 viikon inkubaatiota.

Mikäli analyysitulokset tarvitaan kiireellisesti, hapetus voidaan tehdä vetyperoksidilla (pH-FOX) ja asiditeetti määrittää pikahapetetusta näytteestä (TPA). Pikamenetelmillä tulokset on mahdollista saada muutamassa päivässä. Mikäli pH-FOX- ja TPA-menetelmiä ei ole käytettävissä, näytteille voidaan soveltaa myös NAG- ja NAG-pH-menetelmiä (ks. Autiola ym. 2022). Kyseiset menetelmät on kuitenkin kehitetty kiviainekselle, eikä niitä ole todettu yhtä luotettaviksi maanäytteille.

Mahdollisista kiviäytteistä määritetään kokonaisrikkipitoisuus. Analysointia voidaan täydentää tarpeen mukaan NAG-analyysillä (AMIRA 2002) ja ABA-testillä (neutralointipotentiaalinen ja hapontuottopotentialin välinen suhde, testimenetelmä EN 15875).

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Tässä työssä käytetty GEM-2 sähkömagneettinen monitaajuusluotaus osoittautui käyttökelpoiseksi menetelmäksi kartoittaa mustaliuskevyöhykkeiden esiintymistä kaava-alueella ja sen perusteella riskialuetta voitiin tarkentaa suhteessa lentogeofysiikan perusteella tehtyyn rajaukseen. Mustaliuskevyöhykkeiden yksityiskohtaisempi rajausta edellyttäisi kuitenkin tiheämpää mittauslinjastoa, mikä olisi todennäköisesti hyödyllistä erityisesti kalliorakentamisen kohteissa.

GEM-2-mittauksissa havaitut anomaliat aiheutuvat todennäköisesti mustaliuskekallioperästä, eikä mustaliuskepitoinen maaperä todennäköisesti erotu aineistossa. Mittausten perusteella voitiin kuitenkin suunnitella maaperän yleismittakaavainen näytteenottosuunnitelma kustannustehokkaasti. Näytteenottopisteitä suunniteltiin yhteensä 36 kpl ja ne sijoittuvat tulkituille liuskevyöhykkeille ja näiden läheisyyteen, huomioiden maankäytön suunnitelmat ja maaperän ominaisuudet.

Alustavan riskitarkastelun perusteella voidaan arvioida, että kaikkien kaava-alueen kehityskuvien maankäyttö voi aiheuttaa mustaliuskeisiin liittyvän ympäristöriskin. Elinkeinoelämään painottuvassa vaihtoehdossa riskit ovat kuitenkin todennäköisesti suurimmat, sillä suunnitelluilla yritysalueilla on mahdollisesti useita mustaliuskevyöhykkeitä ja maanmuokkaus voi olla intensiivisempää kuin esimerkiksi asumiseen liittyvässä maankäytössä. Riskejä voidaan kuitenkin hallita tehokkaasti huomioimalla kaivetut maamassat ja louhittu kiviaines, sekä maaperän kuivatustasot. Kaava-alueen riskinarviota voidaan tarkentaa myöhemmin tehtävän maan-

15.12.2025

/kiviainesnäytteenoton perusteella. Yksityiskohtaisempia selvityksiä ja riskinarvioita on suositeltavaa tehdä tarpeen mukaan asemakaavavaiheessa.

8 KIRJALLISUUS

AMIRA 2002. ARD Test Handbook. Project P387A Prediction & Kinetic Control of Acid Mine Drainage. AMIRA international May 2002. Charles, J., Barnes, A., Declercq, J., Warrender, R., Brough, C. & Howell, R. 2015. Difficulties of Interpretation of NAG Test Results on Net Neutralizing Mine Wastes: Initial Observations of Elevated pH Conditions and Theory of CO₂ Disequilibrium. In Proceedings of the 10th International Conference on Acid Rock Drainage & IMWA Annual Conference, April 21-24, Santiago, Chile. Gecamin.

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. ja Lahtinen, H. 2013. Multiphase evolution in the black-shale-hosted Ni–Cu–Zn–Co deposit at Talvivaara, Finland. Ore Geology Reviews 52, 85–99.

Matisto, A. 1976. Kangasalan kartta-alueen kallioperä. Kallioperäkartan selitys 1:100 000. 2141. Geologinen tutkimuslaitos 1976.

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.

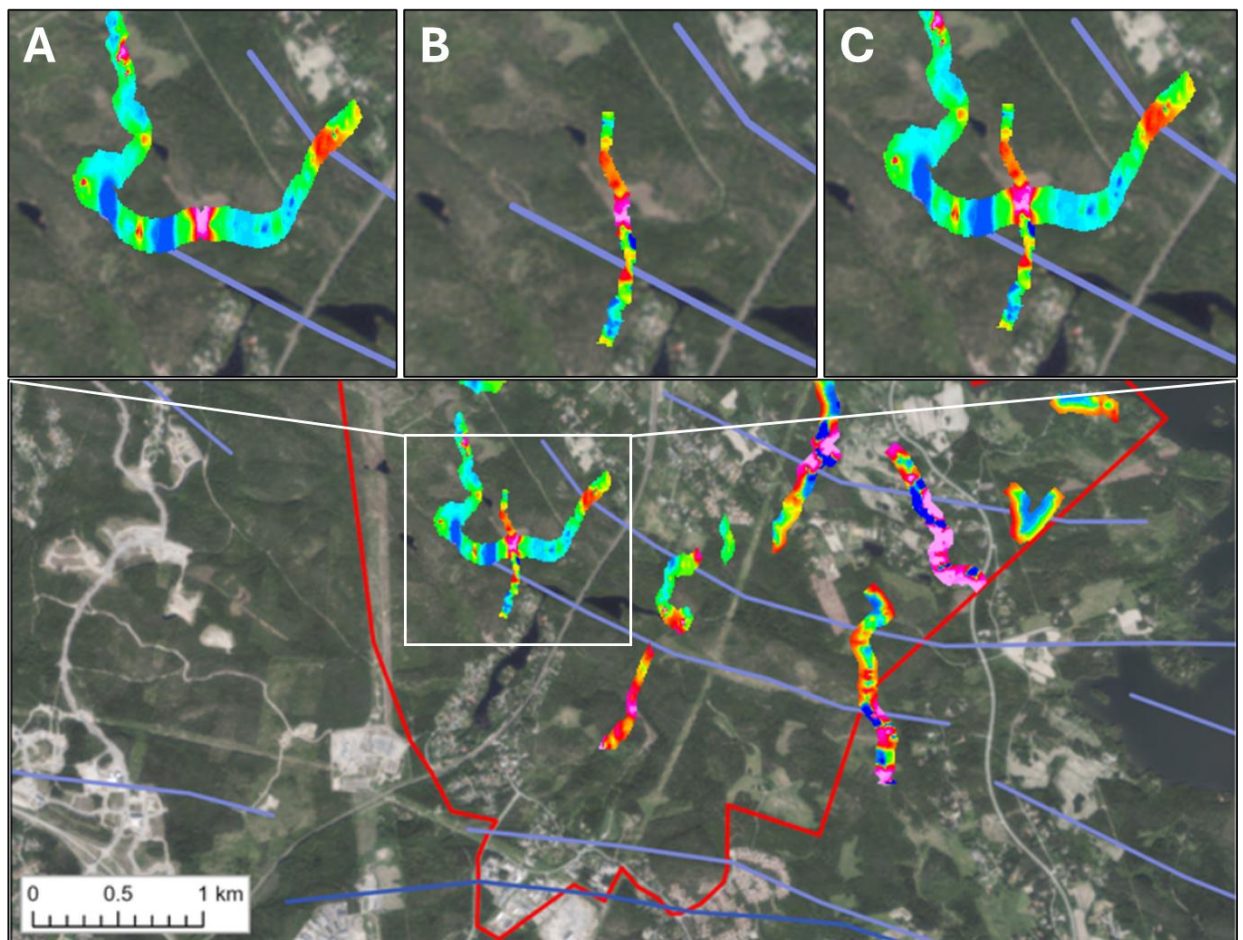
15.12.2025

9 LIITTEET

9.1 Puuttuva maastomittauslinja

Maastomittauksista puuttui yksi linja mittalaitteessa ilmenneen häiriön vuoksi, joka vaikutti tiedoston purkuun. Vikaantunut tiedosto lähetettiin laitevalmistajalle ja saatiin takaisin purettuna ja toimivana 12.12.2025.

Puuttuvalle mittausaineistolle tehtiin samat korjaukset ja tarkastelut kuin muullekin aineistolle. Puuttuvan aineiston tulkinta ei ollut ristiriidassa aiemman tulkinnan kanssa. Puuttuva aineisto on esitetty **kuvassa 17**.



Kuva 17. A: Mittaustuloksia ilman puuttuvan linjan tuloksia. B: Puuttuvan linjan tulokset. C: Yhdistetyt tulokset. Yhdistetyissä tuloksissa on nähtävissä korrelaatio sähkönjohtavuuden korkeissa arvoissa. Myös olemassa olevan mustaliusketulkinnan (siniset viivat) kohdalla nähtävissä hieman kohonneita arvoja.