

Esiselvitys Keski-Suomen granitoidikompleksin mineraalipotentialista

Janne Kuusela, Jaro Kuikka, Henrik Nygård, Sari Romppanen



2.2.2024

Tekijät Janne Kuusela, Jaro Kuikka, Henrik Nygård, Sari Romppanen		Raportin laji Työraportti	
		Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus	
Raportin nimi Esiselvitys Keski-Suomen granitoidikompleksin mineraalipotentialista			
Tiivistelmä <p>Geologian tutkimuskeskus teki vuonna 2023 esiselvityksen Keski-Suomen granitoidikompleksin (KSGK) mineraalipotentialista. Selvityksen päämääränä oli tunnistaa uusia alueita, joihin voisi kohdistaa harvinaisten maametallien (<i>rare earth element</i>, REE) ja kriittisten mineraalien potentiaalin lisäselvityksiä tulevaisuudessa. Tutkimusalueen rajausta varten luotiin yksinkertainen prospektiivisuusmalli, joka perustui geofysiikkaan, alueelliseen moreenigeokemidataan sekä olemassa oleviin esiintymäviitteisiin. Tämän lisäksi alueellinen moreenigeokemiallinen data prosessoitiin monimuuttujaklusterointimenetelmillä. Ennen kenttätutkimuksia tarkasteltiin vanhaa kairasydänaineistoa alueelta. Kallioperäkartoitusta suoritettiin Karstulan, Soinin, Kyyjärven, Kivijärven, Pihtiputaan, Kannonkosken, Viitasaaren, Alavuden, Kurikan, Multian ja Saarijärven alueella. Kartoituksen seurauksena analysoitiin 236 kallioperä- ja lohkarenäytettä. Pieni osa (14 kpl) näytteistä oli vanhoja kairasydännäytteitä. Jatkotutkimuksia ajatellen kiinnostavana voidaan nähdä Multian Käkikalliolla sijaitsevan kiviaineslouhoksen toriumgraniitti, joka sisälsi 57 ppm toriumia ja 20 ppm urania. Nämä pitoisuudet ovat KSGK:n alueella poikkeavia. Potentialisia tutkimusaiheita olisivat myös Kurikan kvartsimontsoniitti-intruusio, Alavuden Holkonkylän REE-pegmatiitti ja kartoitusalueen itäpuolen Ti-P-REE-pitoiset mafiset kivet. Tutkimuksen yksittäisissä näytteissä oli myös kohonneita pitoisuuksia mm. toriumia ja volframia. Myös näiden mineraalipotentialista kiinnostavuutta olisi hyvä tarkastella lähemmin.</p> <p>Abstract GTK executed in 2023 a preliminary investigation of the mineral potential of the Central Finland Granite Complex (CFGK) with the aim to find new potential areas for rare earth elements and critical minerals. A prospectivity model based on regional till data, aeromagnetic maps and previously known occurrences was created. The till data was reprocessed with multivariate clustering methods. Field mapping was performed in 2023 summer in Karstula, Viitasaari, Soini, Kyyjärvi, Kivijärvi, Saarijärvi, Multia, Alavus, Kurikka and Kannonkoski resulting in 236 analyzed samples of which 14 samples were previously existing drill core from the area. New potential areas were found in Multia where a granite containing 57 ppm thorium and 20 ppm uranium which is highly anomalous in the CFGK. Previously known potential areas were a quartz-monzonite intrusion in Kurikka and Holkonkylä REE pegmatite in Alavus. In the eastern part of the mapping area samples contained anomalous Ti-P-REE and Th and W.</p>			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Mineraalipotentiali, REE, kriittiset mineraalit, Keski-Suomen granitoidikompleksi			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Karstula, Soini, Kyyjärvi, Kivijärvi, Pihtipudas, Kannonkoski, Etelä-Pohjanmaa, Keski-Suomi			
Karttalehdet P41, P42, P43, N42, N44			
Muut tiedot			
Arkistosarjan nimi Työraportti		Arkistotunnus 7/2024	
Kokonaissivumäärä 28	Kieli Suomi	Hinta	Julkisuus Julkinen
Yksikkö MTR		Projektinumero 50402-20108212	
Allekirjoitus/nimen selvitys  Hanna Leväniemi (ryhmäpäällikkö)		 Janne Kuusela	

2.2.2024

1	Johdanto	1
2	Tiedonkeruu Digitaalisesta aineistosta.....	1
2.1	Metamorfoosi.....	1
2.2	Alueellinen moreenidata	2
2.3	Alueen geologia	3
2.4	Alueen mineraaliesiintymät ja -potentiaali	5
2.5	Geofysikaalinen aineisto ja rakennetulkinta	6
2.6	Alueellisen moreenidatan analysointi	8
3	Mineraalipotentialin Kartoitus	12
3.1	Kallioperäkartoitustulokset	13
3.1	Näytteiden tulokset ja tulkinta	13
3.1.1	Holkonkylän NYF-pegmatiitti.....	18
3.1.2	Luovan kvartsimontsoniitti.....	19
3.1.3	Käkikallion toriumgraniitti	21
3.1.4	Ti-P-pitoisia gabroja.....	22
3.1.5	Muita näytteitä.....	24
4	Yhteenveto	26
	Kiitokset	27
	Lähteet	27

2.2.2024

1 JOHDANTO

Kriittisten raaka-aineiden saatavuuden edistämiseksi ryhdyttiin GTK:n akkumineraaliprojektin (2019–2024) yhteydessä tekemään esiselvitystä Keski-Suomen granitoidikompleksin (*Central Finland Granitoid Complex*, CFGC) mineraalipotentialista. Tutkimuksen päätavoitteena oli luoda esiselvitys granitoidien harvinaisten maametallien (*rare earth element*, REE) ja kuparin potentialista.

Keski-Suomen granitoidikompleksin (KSGK) aluetta on tutkittu vähän. Tämän voi havaita useamman 1:100 000-mittakaavan kallioperäkartan ja tiettyjen alueellisten geofysikaalisten aineistojen puuttumisesta sekä koko alueen kokoon nähden kohtuullisen harvaan suoritetuista tutkimuskairauksista. Syynä vähäisiin mineraalipotentialitutkimuksiin lienee käsitys, ettei suhteellisen homogeeniseen graniittivaltaiseen kivilajistoon liity merkittäviä mineralisaatioita (Koljonen 1992). GTK teki kohtalaisen laajan tutkimuksen granitoidikompleksin kaakkoisosassa vuosina 2013–2016 (Mikkola et al. 2018). Alueelta tehdyistä kohteellisista tutkimuksista on myös useita opinnäytetöitä.

Tässä tutkimuksessa käytettiin saatavilla olevaa aineistodataa, kuten aeromagneettista aineistoa, alueellista moreenigeokemiadataa sekä esiintymäviitteitä. Näitä parametrejä yhdistelemällä valikoitui alue, jossa tehtiin maastotarkastuksia kesällä 2023. Kyseisen alueen ulkopuolelle tehtiin myös lukuisia muita maastokäyntejä. Maastotyöhön osallistui kolme geologia sekä neljä geologian opiskelijaa. Ennen maastotöitä alueellista moreenigeokemian ja kallioperägeokemian aineistoa käsiteltiin erilaisilla data-analyysillä, erityisesti nk. klusterointimenetelmillä. Ennen 2023 kenttäkauden aloitusta suoritettiin näytteenottokampanja KSGK:n alueelta valikoiduista kairasydämissä Lopen kairasydänarkistossa.

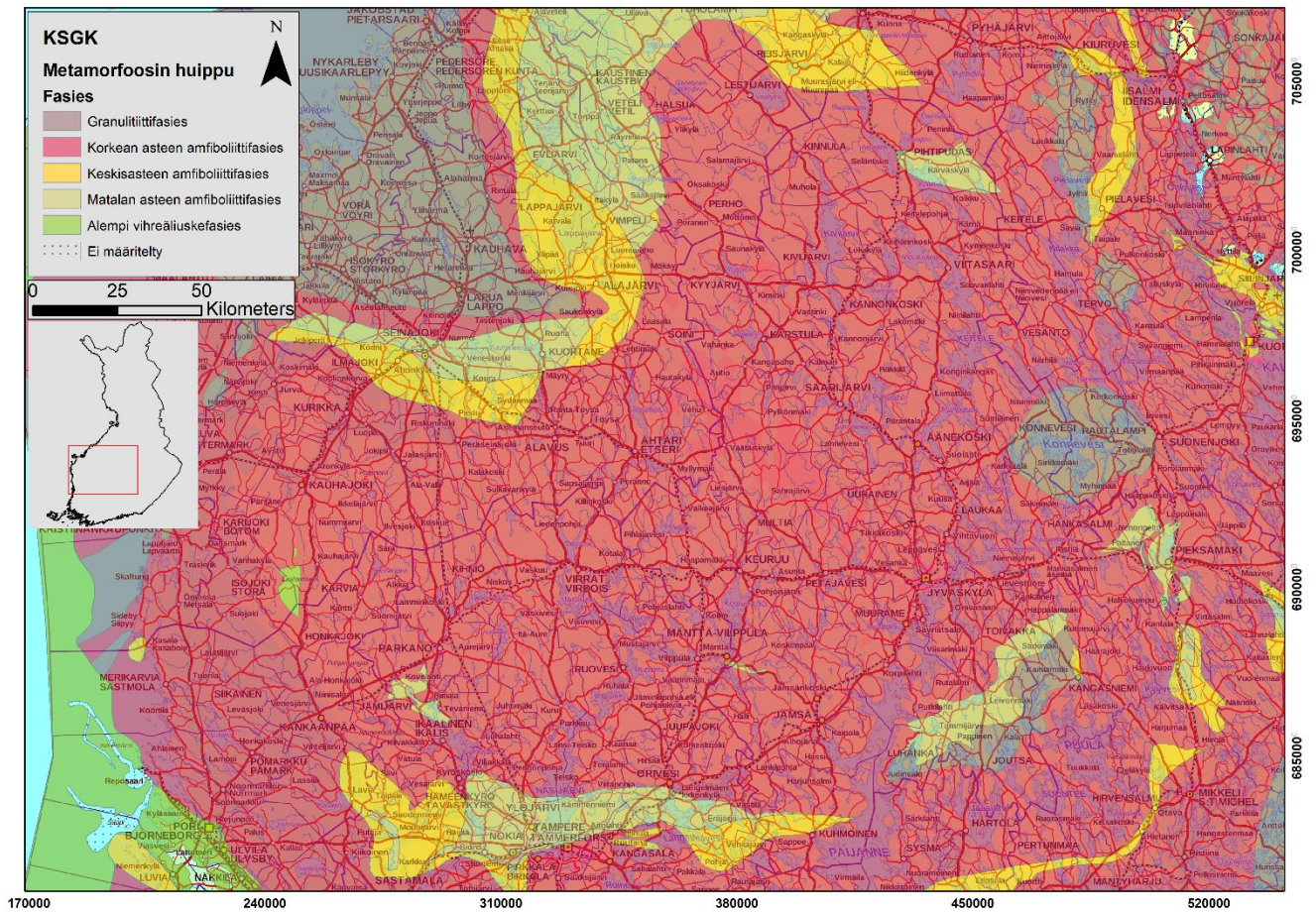
2 TIEDONKERUU DIGITAALISESTA AINEISTOSTA

2.1 Metamorfoosi

Suurimman osan KSGK:n alueen kivistä on tulkittu metamorfoituneen korkean amfiboliittifasioksen olosuhteissa (kuva 1). KSGK:n pohjois- ja eteläreunoissa, Seinäjoella ja Tampereen seudulla metamorfoosiaste on kuitenkin alhaisempi, ja metamorfoosin huippu on tapahtunut osalla alueista alhaisen tai keskiasteen amfiboliittifasioksessa. Alueen koillis-, itä- ja kaakkoisosia kohden metamorfoosiaste kasvaa, ja granuliittifasies on vallitseva KSGK:n itäreunoilla. Tästä on merkinä myös pyrokseenin yleisyys KSGK:n itäosan intruusioissa sekä intruusioiden sivukivissä. (Nironen 2003)

Tutkimusalueen kivilajeista on tehty useita ikämäärytyksiä ja kivien iät sijoittuvat välille 1920–1870 Ma. Pintasyntyiset kivilajit on todettu vanhemmiksi kuin niitä intrudoivat ja leikkaavat syväkivet. Felsiset ja mafiset syväkivet on tulkittu suurin piirtein samanikäisiksi suurimmassa osassa KSGK:a. Post- ja synkinemaattiset kivet ovat ikämäärytysten perusteella samanikäisiä ikien virhemarginaalit huomioiden – huolimatta siitä, että useassa osassa KSGK:a kivien leikkaussuhteet ovat selkeästi nähtävissä. Ainoastaan alueen länsiosissa postkinemaattiset intruusiot ovat huomattavasti nuorempia (n. 1 870 Ma, Kilpeläinen 1998, Alviola et al. 2001, Rämö et al. 2001). KSGK:n koillisosien mafiset ja ultramafiset intruusiot ovat selkeästi muita intruusioita nuorempia, mutta niiden ei katsota liittyvän KSGK:n magmatismiin (Nironen 2003).

2.2.2024



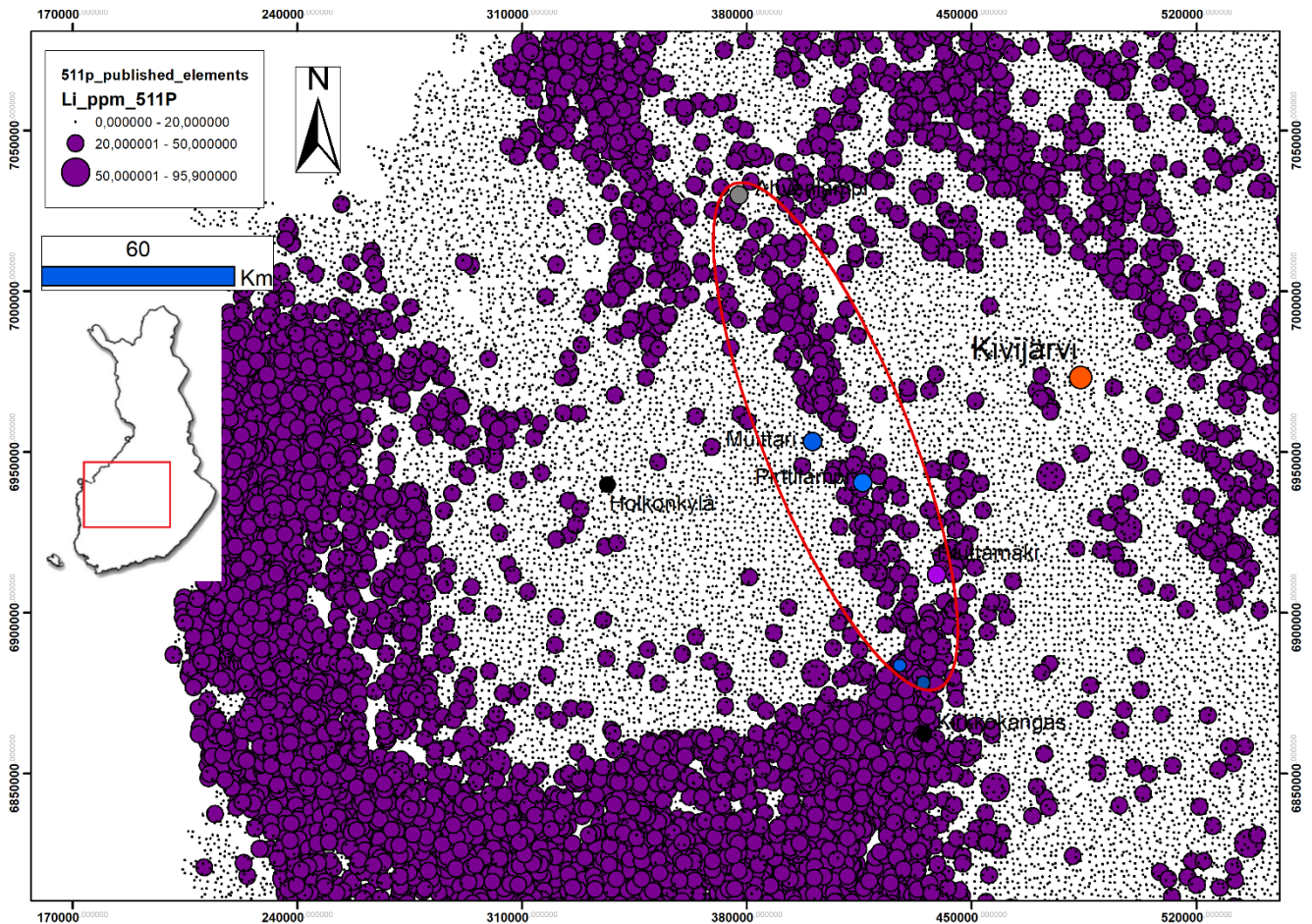
Kuva 1. Keski-Suomen granitoidikompleksin metamorfiset fasieket (Hölttä & Heilimo 2007). Pohjakartat: © Maanmittauslaitos.

2.2 Alueellinen moreenidata

Keski-Suomen granitoidikompleksin alueelta on otettu noin 13 400 moreeninäytettä. Nämä näytteet ovat osa niin kutsuttua nk. alueellista moreenikartoitusta, joka on tehty vuosien 1982 ja 1994 välillä. Näytetiheys on noin 1 näyte 4 km² kohden. Kukin näyte koostuu 3–5 osanäytteestä, jotka on otettu noin 1,5 metrin syvyydestä kannettavalla iskuporakoneella läpivirtausterää hyödyntäen. Näytemateriaali on muuttumatonta moreenimaata (nk. C-horisontti). Analysointi on tehty induktiivisesti kytketyllä plasmaemissiospektrometrillä (ICP-AES) moreenin seulotusta hienoaineksesta (<0,06 mm fraktio), jota on liuotettu kuningasvedellä (Salminen 1995). Huomionarvoista aineiston käsittelyssä on eri mineraalien liukeneminen vaihtelevissa määrin kuningasveteen.

2.2.2024

Alueellisesta moreenigeokemian aineistosta otettiin tarkasteluun litiumpitoisuudet, jotka toimivat hyvänä yleisindikaattorina minkä tahansa mineralisaatiotyypin jäljittämässä. Näytteistä seulottiin esiin vyöhykkeet, joissa litiumpitoisuus ylittää 20 ppm ja näytteet muodostavat rintamia tai ryppäitä. Karttatarkastelussa havaittiin, että Keski-Suomen granitoidikompleksin halki kulkee yli 150 km pitkä poikkeuksellisen lineaarinen litiumanomalialinja, joka ulottuu Perhon ja Kivijärven alueelta Jyväskylään saakka (kuva 2).



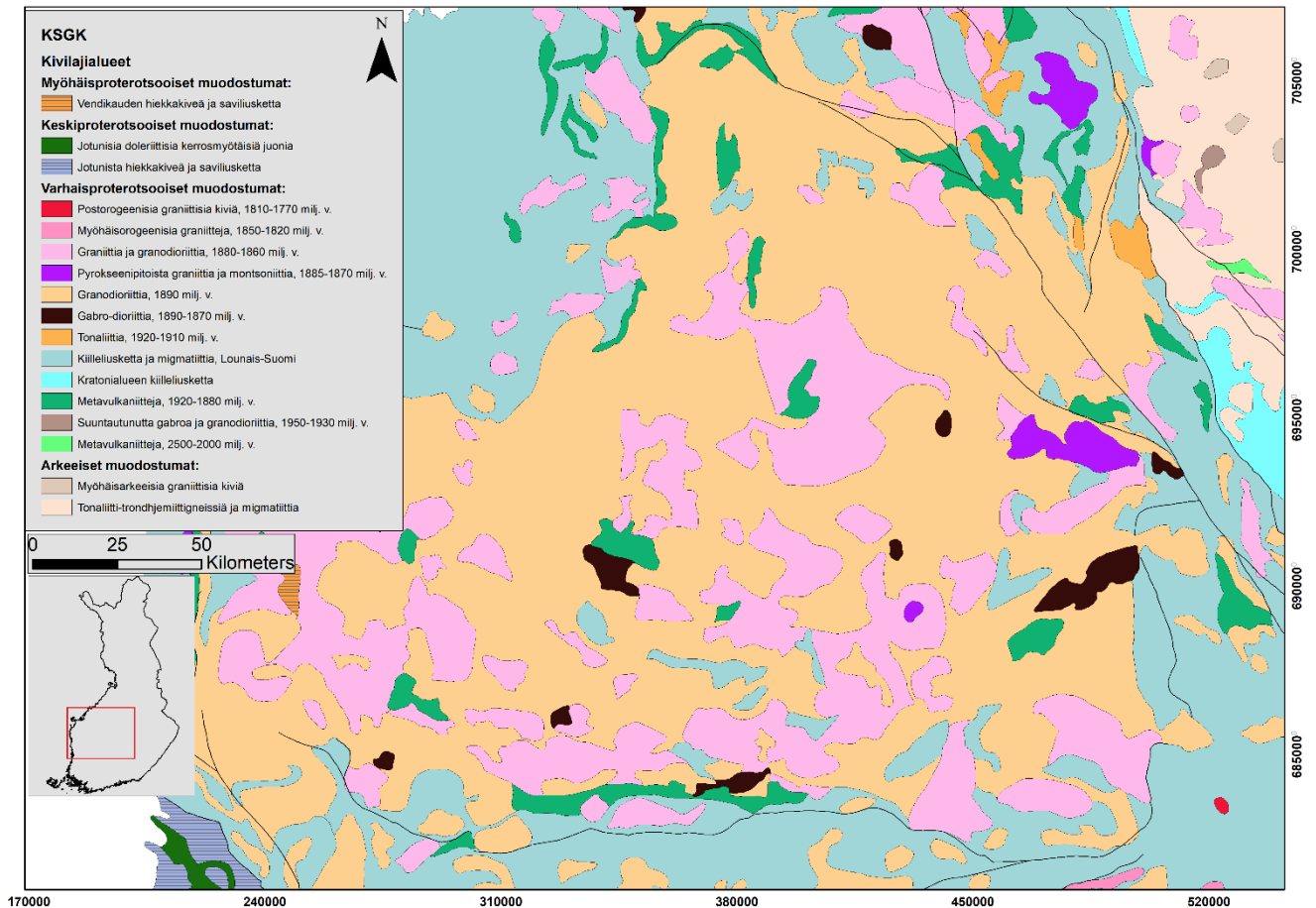
Kuva 2. Alueellisessa moreeniaineistossa ilmenevä litiumanomalialinja, joka leikkaa KSGK-alueen luode-kaakko-suuntaisesti. Mineralisaatiotyypin esiintymävyöhykkeitä esiintyy anomalian sisällä ja läheisyydessä.

2.3 Alueen geologia

Keski-Suomen granitoidikompleksi kattaa noin 44 000 km² kokoinen alueen. KSGK kuuluu svekofennisen Keski- ja Länsi-Suomen kaarikompleksiin ja muodostaa kaarikompleksin ytimen. Alue koostuu suurimmalta osin felsisistä syväkivistä. Yleisimmät kivilajit ovat graniitti ja granodioriitti (kuva 3): näitä tavataan lähes koko kompleksin alueella. Lisäksi alueella esiintyy vähäisempiä määriä mafisia ja intermediaarisia syväkiviä, puolipinnallisia kiviä, vulkaniitteja ja sedimenttikiviä. Keski-

2.2.2024

Suomen granitoidikompleksin karttaselityksessä on tarkempi yhteenvedo alueen kallioperägeologiasta (Nironen 2003).



Kuva 3. Yksinkertaistettu kivilajikartta KSGK:n alueelta. Suomen kallioperä – DigiKP 2023.

Keski-Suomen granitoidikompleksiin kuuluu huomattavia deformaatio- ja siirrosvyöhykkeitä. Näihin liittyy mm. myloniittikiviä.

Alueen syväkivet voidaan jakaa muodostumisvaiheen mukaan syn- tai postkinemaattisiin. KSGK:n graniitit on tyypillisesti luokiteltu tasarakeisiin ja porfyryisiin graniitteihin sekä pyrokseenipitoisiin graniitteihin. Erityisesti Kurikan Luopan alueella pyrokseenipitoisia graniitteja esiintyy kvartsimontsoniittien yhteydessä. Pienikokoiset apliittiset ja pegmatiittiset osueet ovat yleisiä alueen graniiteissa. Kvartsimontsoniitit ja kvartsisyeniitit ovat tyypillisesti intruusioissa tai reunafaaseissa. Kvartsimontsoniiteissa mafiset osueet ja pegmatiittijuonet ovat harvinaisia. Granodioriitit ovat KSGK:n yleisin kivilajityyppi, ja ne esiintyvät koko KSGK:n alueella. Alueen granodioriitit ovat keski- ja tasarakeisia kiviä, joissa on verrattain usein mafisia sulkeumia. Tyypillisesti suuntautuneita, keski- ja tasarakeisia tonaliitteja esiintyy suurempina yksiköinä erityisesti KSGK:n luoteis- ja eteläosissa. Kuten granodioriiteissa, myös alueen tonaliiteissa esiintyy mafisia kappaleita sulkeumina. (Nironen 2003)

2.2.2024

Kvartsimontsodioriitteja, montsodioriitteja ja kvartsidioriitteja esiintyy paikoin suurehkojakin yksiköitä KSGK:n länsireunalla. Lisäksi näitä kivilajeja tunnetaan Korpilahdelta, Tikkakoskelta, Toivakasta, Rautalammita, Konnevedeltä sekä Äänekoskelta. Koko KSGK:n alueelta tunnetaan useita pieniä tai pienehköjä dioriitti- ja gabroyksiköitä. Alueen gabroissa on jonkin verran mineralogisia ja raekokoeroja. Ultramafiset kivet ovat KSGK:n alueella hyvin harvinaisia ja liittyvät gabrointruusioihin. Niitä tavataan pääasiassa KSGK:n koillisosissa. (Nironen 2003)

Puolipinnallisia kiviä esiintyy erityisesti KSGK:n keskiosissa. Ne ovat tyypillisesti kvartsi-maasälpäporfyyrejä ja vaihtuvat usein vulkaniiteiksi tai graniittisiksi kiviksi. Kivien koostumus on useimmiten intermediäärinen, mutta myös felsisiä puolipinnallisia kiviä tavataan.

Pintasyntyisiä vulkaanisia kiviä esiintyy lähes koko KSGK:n alueella. Kivet ovat tyypillisesti intermediäärisiä ja hienorakeisia tuffiitteja. Mafiset ja felsiset vulkaniitit ovat kohtuullisen harvinaisia ja esiintyvät tyypillisesti intermediääristen vulkaniittien välikerroksina tai osueina.

Alueen etelä- ja kaakkoisosissa on kiille- ja mustaliuskealueita, jotka jatkuvat Tampereen liuskevyyöhykkeen puolelle. Mustaliuskeet ovat tyypillisesti kiilleliuskealueen pieniä osia. Kiillegneississä on KSGK:n sisällä alueen etelä-, keski- ja itäosissa. Migmatiittista kiveä tavataan erityisesti alueen itäosissa.

2.4 Alueen mineraaliesiintymät ja -potentiaali

Tärkeä osa esiselvitystä oli kartoittaa tutkittavan alueen olemassa olevien mineraaliesiintymien geologiset ja geokemialliset piirteet. Yksi merkittävä mineraaliesiintymä alueella on Saarijärven Muittari (Sipilä 1985). Muittarin esiintymässä sinkki, kupari ja lyijy ovat rikastuneina erisuuntaisissa ja rinnakkaisissa hiertosaumoissa. Kirjallisuudessa mainintoja on myös greisentyypisistä juonista, joihin on rikastunut perusmetalleja. Mineraalipotentialin kannalta erityisen mielenkiintoinen alue on suuri siirrosvyöhyke KSGK:n keskiosissa, joka kulkee noin luode-kaakkosuuntaisesti suurin piirtein Seinäjoelta Virroille. Jyväskylän seudulla on paljon viitteitä hiertovyöhykkeisiin ja siirroksiin liittyvistä mineralisaatioista (Ikävalko 1982). Jotkut näistä mineralisaatioista saattavat liittyä Cu-Mo-pitoisiin porfyryisiin intruusioihin (Nurmi 1984). Riuttamällä niin ikään hiertyneissä kivissä As-Cu-mineralisaatiot esiintyvät karkearakeisissa ja porfyryisissä kivissä kvartsidioriittisten kivien läheisyydessä (Ikävalko 1986).

KSGK:n alueella on lisäksi merkkejä mm. karsi- ja porfyryrikupariesiintymäpotentiaalista. Perhon suunnalla on Ahvenlammen molybdeeniaihe (Västi 1985) sekä Pännärinevan magnetiittiesiintymä (Sipilä 1985).

KSGK:n REE-(+Sc-Y)-mineraalipotentiali liittyy keskeisesti Kiviniemen skandiumesiintymän tyyppiisiin ferrodioriittisyksiköihin, Luovan kvartsimontsoniitteihin sekä NYF-pegmatiitteihin. Kiviniemen skandiumesiintymän katsotaan olevan lähtöisin bimodaalisesta magmasta, jossa mafista intruusion ydintä ympäröi felsinen granitoidi (Halkoaho et al. 2020). Hieman samankaltaisia, pääasiassa gabroidisia intruusioita, on koko KSGK:n alueella. Tällaisten yksiköiden kartoitus ja näytteenotto oli tämän projektin yksi päätehtävistä. KSGK:n alueelta tunnetaan myös muutama REE-mineraalipitoinen NYF-pegmatiitti, esimerkiksi Alavuden Holkonkylän allaniitti(Ce)-pegmatiitti sekä Hartolan Kirkkokankaan allaniitti(Ce)-pegmatiitti (Lahti & Kärkkäinen 2009). Holkonkylän pegmatiitti sijaitsee

2.2.2024

postkinemaattisen, osittain porfyyrisen, noin 5 km levyisen mikroliinigraniitti-intruusion reunalla. Pegmatiitin on sijaintinsa sekä pienen ikäeronsa (10 Ma) takia tulkittu olevan lähtöisin graniitti-intruusiosta (Alviola et al. 2001). Todennäköisesti kvartsin ja maasälvän takia louhitun Holkonkylän avolouhoksen yhteydessä on pegmatiitin ytimen ympäriltä tunnistettu myöhemmissä tutkimuksissa noin 10 REE-mineraalia, joista Ce-pitoinen allaniitti on yleisin. REE-mineraaleja ei todennäköisesti otettu talteen louhinnan yhteydessä.

REE-pitoisuuksia on havaittu lisäksi Luovan kvartsimontsoniitista ja sitä ympäröivästä pyrokseenigraniitista. Kvartsimontsoniitista on tunnistettu vähäisiä määriä Ce-allaniittia sekä zirkonia, jotka selittävät kohonneet REE-pitoisuudet (Mäkitie & Lahti 2001). Alue on REE-potentiaalinalueelta mielenkiintoinen.

Mafisiin ja harvoin ultramafisiin intruusioihin liittyy lähes koko KSGK:n alueella malmiaiheita. KSGK:n länsialueella Kauhajoen ja Karvian ympäristössä graniittisiin kiviin intrudoiviin gabroideihin liittyy Fe-Ti-V-mineralisaatioita, joita on 1980–2000-luvuilla tutkittu GTK:n toimesta laajemmin (Ervamaa 1986, Chernet et al 2004, Sarapää et al. 2006). Alueella on neljä tunnettua esiintymää, jotka erottuvat magneettisilla kartoilla ympäristöstään. Tyypillisesti Fe-, Ti- ja V-pitoisuudet liittyvät esiintymissä magneettiin, ilmeniittiin ja apatiittiin. Mineralisaatiot ovat mm. Lumikankaan esiintymässä pirotetyypisiä. Vastaavanlaisia Fe-Ti(V)-mineralisaatioita tunnetaan lisäksi KSGK:n luoteisosista Kokkolan ja Vetelin alueelta. Ultramafisesta Viitasaaren Ilmolahden peridotiitista on löytynyt nikkeliä. Välittömästi KSGK:n reunan ulkopuolella on samalla alueella useita tunnettuja mineraaliesiintymiä.

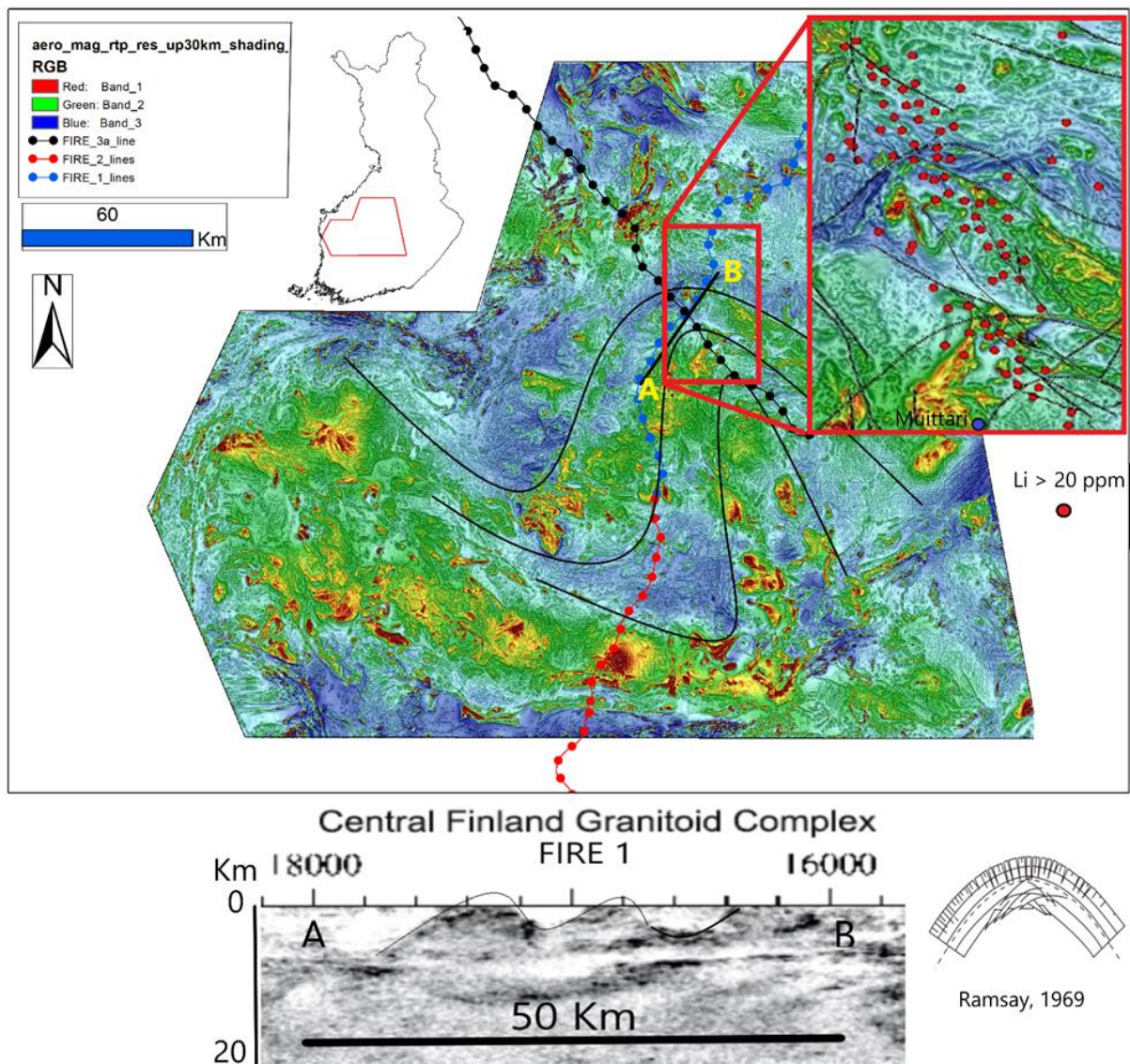
Seinäjoen seudulta tunnetaan muutamia pienehköjä metamorfis-hydrotermisiä kultaesiintymiä. Esiintymät jatkuvat Seinäjoen alueella myös KSGK:n puolelle. Orogeenisia kultamineralisaatioita tunnetaan KSGK:n pohjois- ja kaakkoisosista (Isomaa et al. 2010).

2.5 Geofysikaalinen aineisto ja rakennetulkinta

Pitkähköt lineaariset geokemialliset anomaliat saattavat viitata suuremman rakenteen olemassaoloon: tällainen voisi olla siirros, poimu tai hiertovyöhyke. Nironen et al. 2001 on tutkinut KSGK:n suuremman mittakaavan rakenteita ja todennut kaarevien lineamenttien olemassaolon. Alustavaa rakennetulkintaa pyrittiin tekemään aeromagneettisesta matalalentoaineistosta (Hautaniemi et al. 2005) sekä alueen halki tehdyistä seismisistä FIRE-syväluotauslinjoista (Kukkonen & Lahtinen 2006) (kuva 4). Tulkinnan avulla pyrittiin selvittämään lineaarista luode-kaakosuuntaista alueellista moreenigeokemiallista litiumanomaliaa (kuva 2). Aeromagneettisesta kartasta on selvästi erotettavissa suuria rinnakkaisia kaarevia vyöhykkeitä, joissa on toisistaan poikkeavia magneettisia intensiteettejä (kuva 4). FIRE 1 -linjan seismisessä profiilissa on heijasteita, jotka muistuttavat poimumaisia rakenteita (kuva 4). Alueellisessa moreenigeokemiallisessa datassa näkyvä litiumvyöhyke leikkaa useammasta kohtaa magneettisten kaarevien vyöhykkeiden taivekohtia. Tämä voi viitata mahdolliseen poimun akselitasovyöhykkeeseen muodostuneeseen mineralisaatioon (Ramsay 1967) (kuva 4). Kun litiumanomaliaa tarkastellaan lähemmin ja huomioidaan mannerjätiköiden moreenin

2.2.2024

kuljetussuunnat, voidaan litiumanomalia mahdollisesti yhdistää myös luode-kaakkosuuntaisiin hiertovyöhykkeisiin (kuvat 2 & 4).



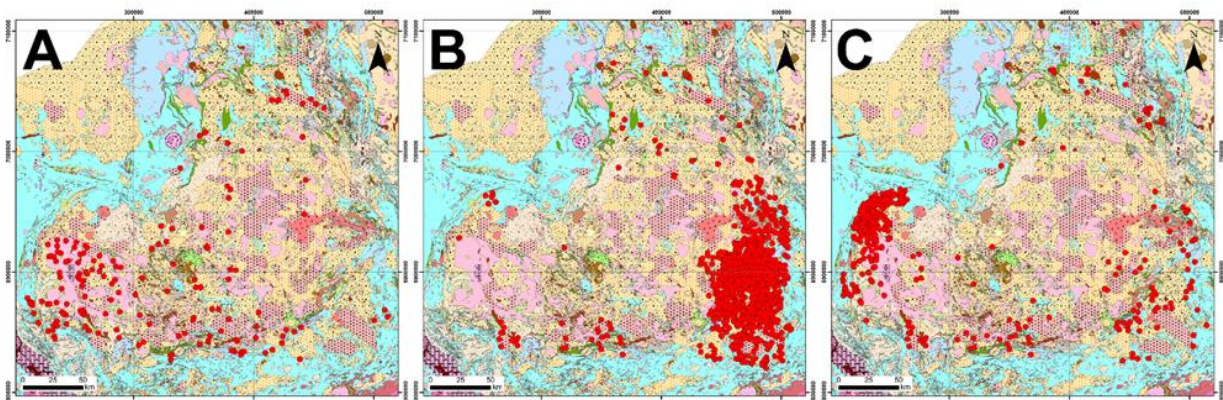
Kuva 4. KSGK:n mineraalipotentialin esiselvityksen alkuvaiheessa sekä seismistä FIRE- että aeromagneettista aineistoa käytettiin selvittäessä Perho–Kivijärvi–Jyväskylä-suuntaista lineaarista litiumanomaliaa (kts kuva 2). Kuvissa 2D-tulkintoja FIRE 1 -linjan poikkileikkauksesta sekä aeromagneettinen karttatulkinta, joka perustuu kaareviin toisistaan eriäviin magneettisiin korkean intensiteetin alueisiin. Kartta-alueen suurennoksessa (oikealla ylhäällä) on litiumanomalian sijainti luode-kaakkosuuntaisiin ruhevyöhykkeisiin nähden.

2.2.2024

2.6 Alueellisen moreenidatan analysointi

Keski-Suomen granitoidikompleksialueen moreenin geokemiallisia pääpiirteitä haluttiin tarkastella tilastollisella analyysillä. Tässä hyödynnettiin alueellisen moreenikartoituksen aineistoa. Näytetusjoukon (13 701 näytettä) luotettavuutta tilastolliseen käsittelyyn arviottiin, ja poistettiin näytteet, joilla pitoisuudet olivat alle määrittäysrajan. Tämän jälkeen luotettavuus määriteltiin 3:n sigman säännön mukaisesti eli luottamustaso koetaan saavutettavan, kun yli kolmen standardipoikkeaman keskiarvon omaavat näytteet poistetaan näytejoukosta. Tällöin data-analyysissä käytetty näytemäärä pieneni arvoon 11 217. Näistä näytteistä analysoidut 22 alkuainetta (Al, Ba, Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, La, Li, Mg, Mn, Ni, P, Sc, Sr, Th, Ti, V, Y, Zn ja Zr) olivat mukana tarkastelussa. Vanhoissa moreenigeokemiallisissa aineistoissa on havaittavissa tasoeroja eri karttalehdittäin tehdyissä näytteenotoissa. Tämän vuoksi esimerkiksi tarkkarajainen suorakaiteen muotoinen alue rajautui pois aineistosta tutkimusalueen länsipuolelta.

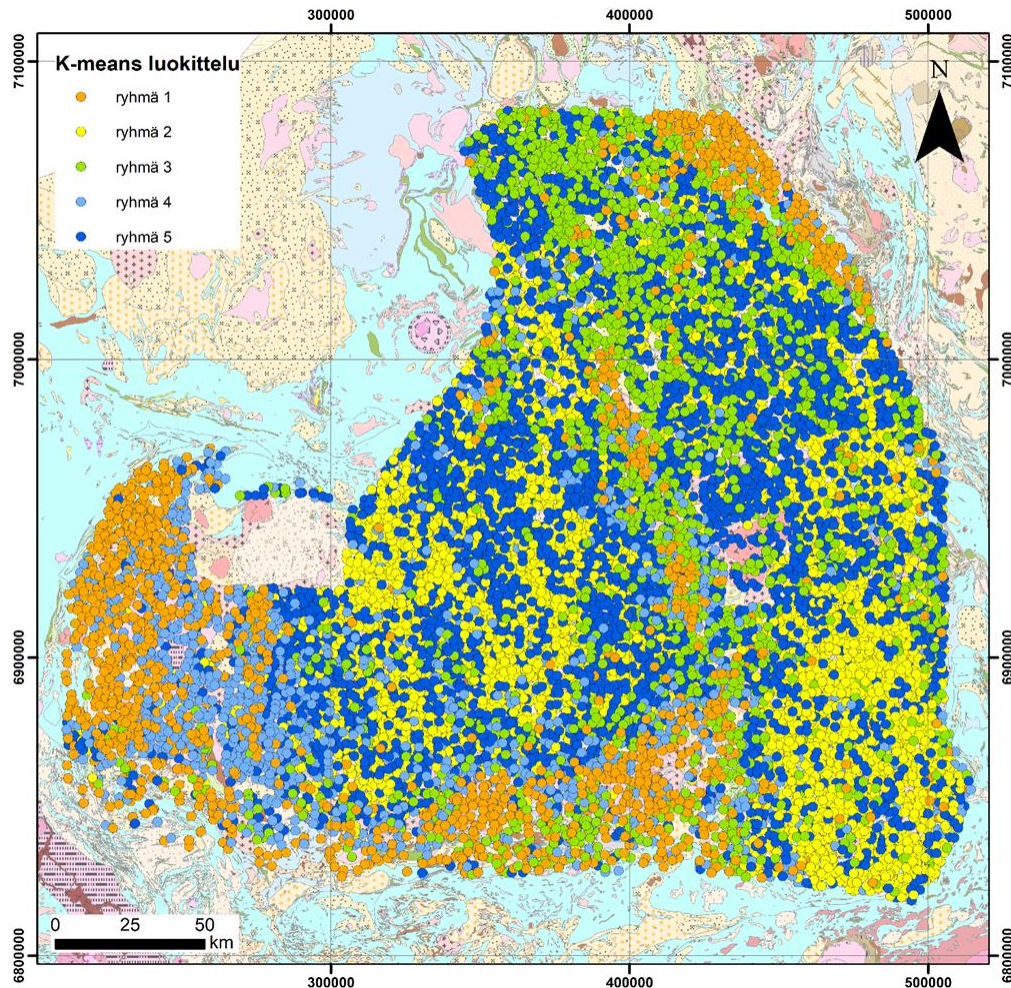
Erityisenä kiinnostuksen kohteena oli harvinaisiin maametalleihin liittyvän mineraalipotentialin arviointi. Tämän vuoksi tarkasteltiin kevyiden harvinaisten maametallien (light rare earth elements, LREEs) ja raskaiden harvinaisten maametallien (heavy rare earth elements, HREEs) suhdetta. Analysoiduista alkuaineista lantani (atominumero 57) kuuluu kevyisiin harvinaisiin alkuaineisiin. Skandium ja yttrium eivät ole lantanoideja, eivätkä virallisesti kuulu kumpaankaan REE-ryhmään. Erityisesti yttrium kuitenkin käyttäytyy usein geokemiallisesti samankaltaisesti kuin raskaat harvinaiset maametallit. Kevyitä harvinaisia maametalleja on yleensä suhteessa enemmän karbonaateissa, ja raskaita harvinaisia maametalleja enemmän oksideissa sekä joissakin fosfaateissa. Silikaateissa näitä on yleensä tasaisessa suhteessa toisiinsa nähden. NYF-pegmatiiteissa harvinaisten maametallien on todettu olevan yleensä allaniitissa (silikaatti), monatsiitissa (fosfaatti) ja gadoliniitissa (silikaatti) (Alviola ym. 2001). Alavudelta tunnetut allaniitti-monatsiittipegmatiitit ovat sisältäneet myös fergusoniittia ((Y,REE)NbO₄), joten tähän perustuen tarkasteltiin seuraavat alkuainesuhteet: La/Y, Y/La ja Sc/La (kuva 5). Pitää kuitenkin muistaa, että varsinkin silikaattien liukoisuus kuningasveteen vaihtelee.



Kuva 5. Moreeninäytteiden harvinaisten maametallien suhteita: La/Y-suhde (A), Y/La-suhde (B) ja Sc/La-suhde. Karttaan on merkitty vain standardipoikkeamien perusteella merkittävimmät näytteet: La/Y-suhde yli 2,5 std, Y/La-suhde yli 1,5 std ja Sc/La-suhde yli 2,5 std. Taustakartta: Suomen kallioperä – DigiKP @ Geologian tutkimuskeskus, vol 2.3.

2.2.2024

Varsinaiseen monimuuttujamenetelmäanalyyysiin signaali/tausta-kohinasuhdetta päätettiin parantaa suorittamalla dimeisioinnin redusointitekniikkaan pohjautuva pääkomponenttianalyyysiluokittelu ennen varsinaista K-means-klusterointia. Pääkomponenttianalyyssissä zscore-normalisoidusta datasta muodostettiin 9 pääkomponenttia, jotka selittävät 94 % datasta. Pääkomponenteista muodostettiin edelleen K-means-klusteroinnilla 5 ryhmää. Ryhmittely ei tuota juuri malminetsinnällisesti kiinnostavia alueita, vaan aikaansa suuria alueellisia eroja näytteiden välille (kuva 6).



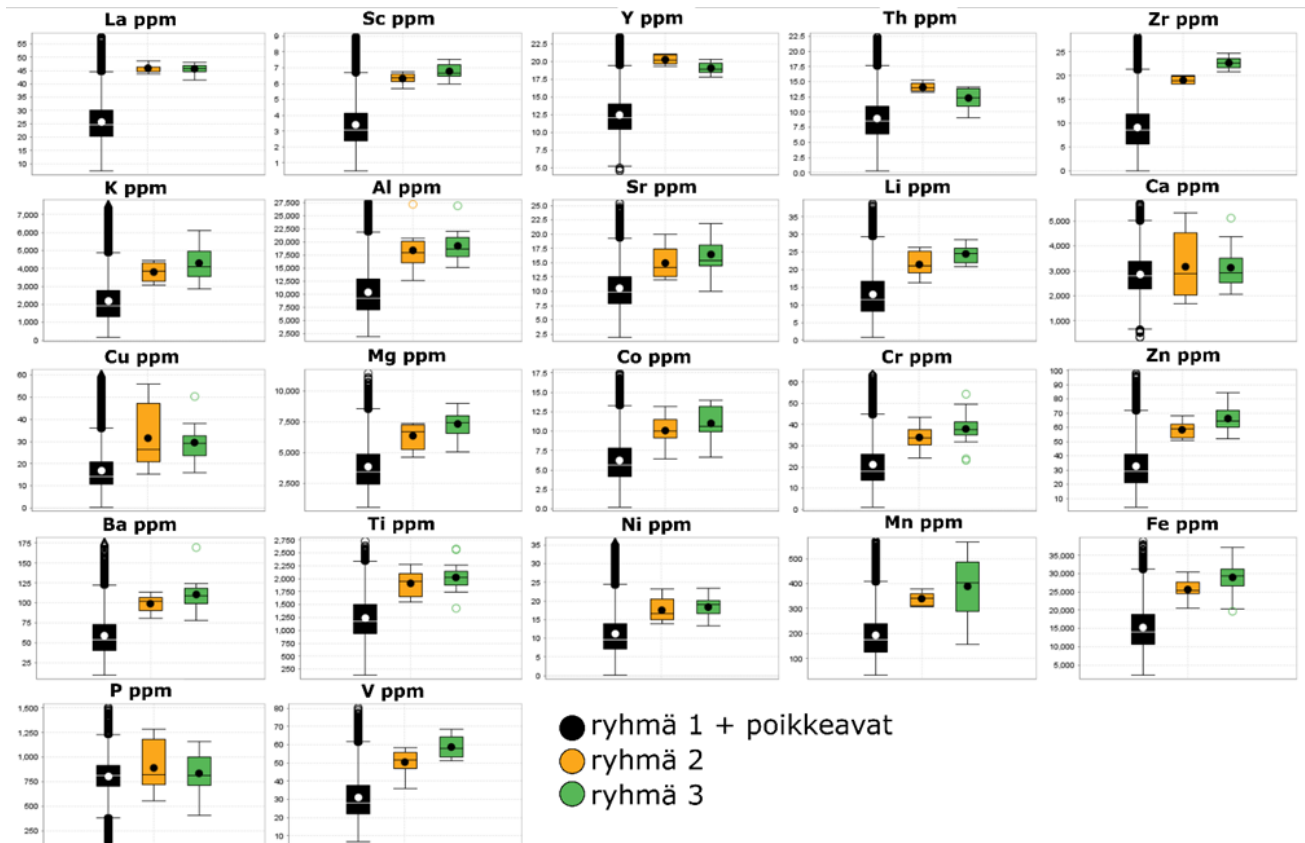
Kuva 6. K-means-klusterit KSGK:n alueen moreenidatasta. Taustakartta: Suomen kallioperä – DigiKP @ Geologian tutkimuskeskus, vol 2.3.

Kuvassa 6 nähtävät alueet johtuvat moreenin alueellisesta eroavaisuudesta ja mineraalien erilaisesta liukenemisestä kuningasveteen. Tällöin joidenkin mineraalien vaikutus näytteen alkuainepitoisuustuloksiin korostuu. Varsinaisen mineraalipotentialin hahmotus on tämän perusteella haasteellista. Tarkastelussa helpottaisi pienemmän alueen rajaaminen aineistosta. Tämä on kiinnostava jatkotutkimusajatus alueellisen moreenigeokemiallisen aineiston käytöstä mineraalipotentialin arvioinnissa.

2.2.2024

Myös DBSCAN-klusterointi tehtiin zscore-muunnetulla datalla. Epsilon-arvoksi määriteltiin 0,65 ja klusterin katsottiin muodostuvan vähintään kahdeksasta datapisteestä, jotka ovat tämän arvon antaman etäisyyden päässä toisistaan. DBSCAN-luokittelu tehtiin vain harvinaisten maametallien potentiaalin kannalta kriittisistä alkuaineista, joita ovat lantaani, zirkonium, torium, yttrium ja skandium.

Luokittelulla muodostui 3 ryhmää ja ryhmistä poikkeavat näytteet (1 120 kpl). Suurin osa näytteistä muodostaa ryhmän 1, joten niiden voidaan ajatella edustavan pääasiassa tausta-arvoja omaavia näytteitä. Mineraalipotentialiselvityksen kannalta kiinnostavimpia ovatkin siksi kaksi pienempää ryhmää muodostavat näytteet. Tämä vuoksi tuloksissa tarkastellaan näitä ja poikkeavat näytteet sekä ryhmä 1 esitetään vain näiden verrokkina (kuva 7).



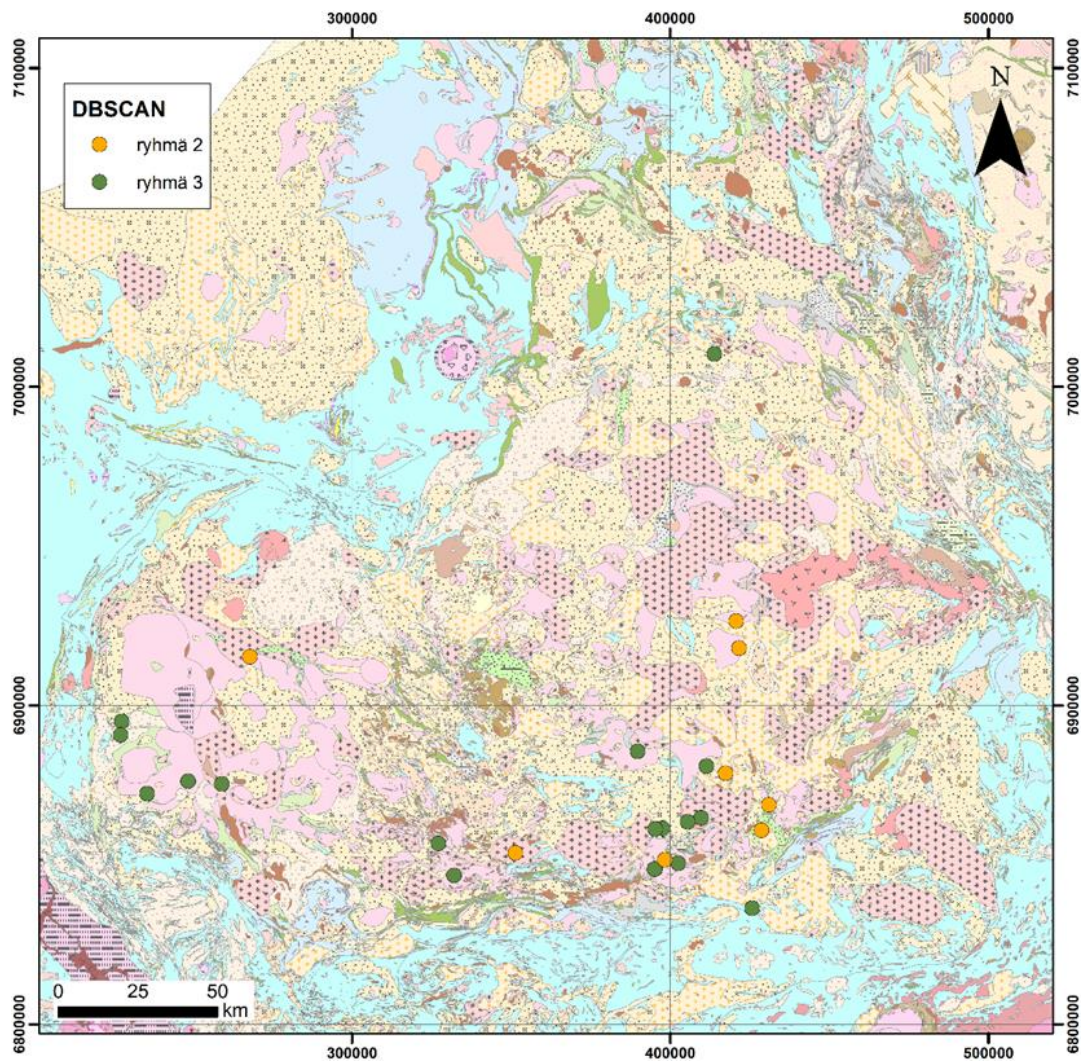
Kuva 7. DBSCAN-klusterien suhteelliset alkuainekoostumukset laatikkojanakaavioina. Klusterointi on tehty hyödyntäen La-, Sc-, Y-, Th- ja Zr-pitoisuuksia.

DBSCAN-klusteroinnissa voidaan havaita ryhmän 2 sisältävän ryhmään 3 verrattuna suhteessa korkeampia yttrium- ja toriumpitoisuuksia. Vastaavasti ryhmässä 3 on suhteessa korkeammat

2.2.2024

skandium- ja zirkoniuimpitoisuudet. Lantaanin suhteen suuria eroavaisuuksia keskiarvopitoisuudessa ei ryhmien 2 ja 3 välillä juuri ole, mutta kumpikin ryhmä sisältää korkeampia pitoisuuksia kuin näytteet keskimäärin.

Kun tarkastelleen DBSCAN-ryhmien 2 ja 3 jakautumista kartalla, voidaan nähdä niiden sijoittuvan suurimmaksi osaksi tutkimusalueen eteläosaan (kuva 8). Näytteet sijaitsevat myös kohtuullisen lähellä toisiaan eli ne eivät suurella todennäköisyydellä ole vain poikkeavia näytteitä. Koska kiinnostavat näytteet ovat kuitenkin kohtuullisen lähellä toisiaan harvakkolla näytenverkolla, olisi näitä alueita tärkeää tarkastella lähemmin. Kuitenkin myös DBSCAN-luokittelussa suurimman osan luokittelemattomista näytepisteistä (ns. *outliers*) määräytyminen pohjautui samoin kuin K-means-luokittelussa, tulisi tämän kaltaisessa aineistoanalyysissä keskittyä pienempien alueiden rajaamiseen näytteissä.



Kuva 8. DBSCAN-klusteroinnin ryhmät 2 ja 3 kartalla. Taustakartta: Suomen kallioperä – DigiKP @ Geologian tutkimuskeskus, vol 2.3.

2.2.2024

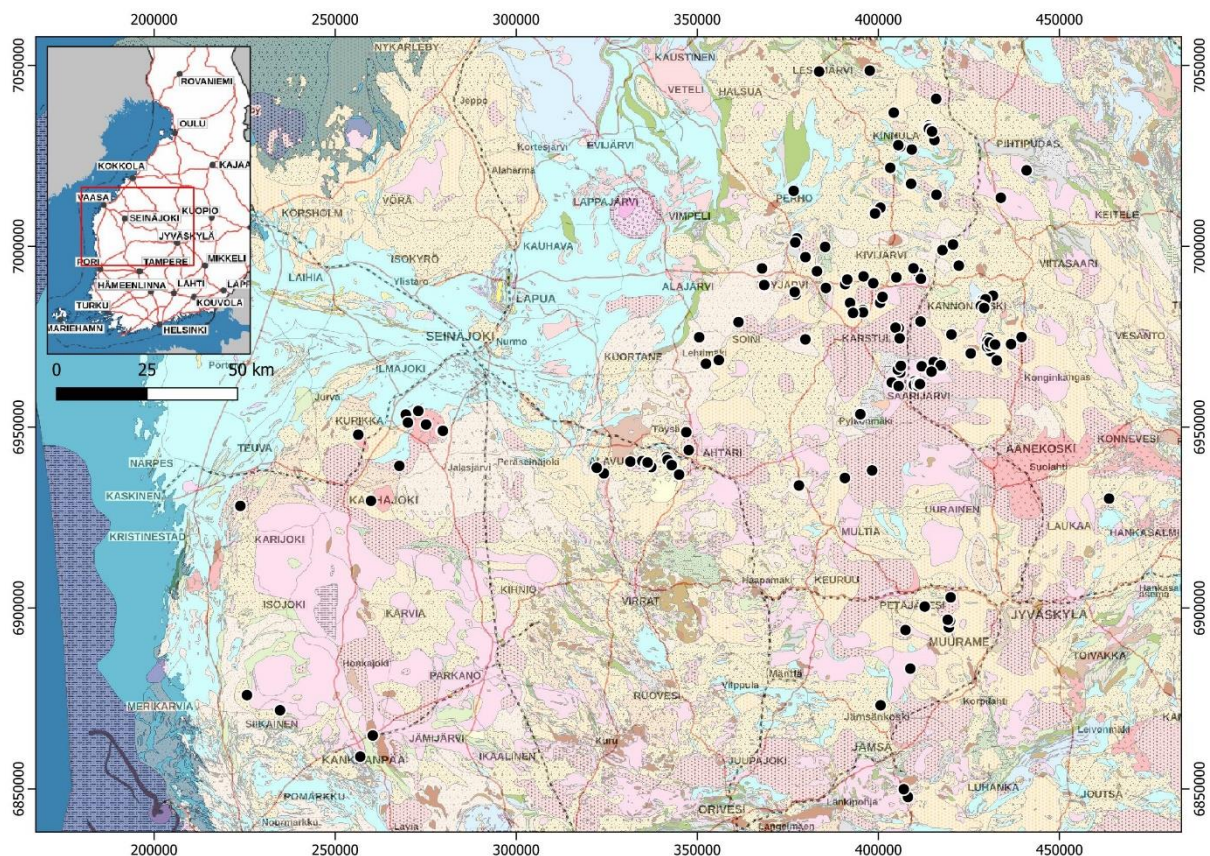
3 MINERAALIPOTENTIAALIN KARTOITUS

Kallioperäkartoitusta tehtiin vuoden 2023 kenttäkautena Keski-Suomen alueella. Kuntina olivat pääosin Karstula, Soini, Kyyjärvi, Kivijärvi, Pihtipudas, Kannonkoski, Viitasaari ja Saarijärvi (kuva 9).

Maastokartoittajina oli osa-aikaisesti kaksi GTK:n geologia sekä neljä kausiapulaista kesällä 2023.

Kartoitus oli luonteeltaan tunnustelevaa, eli maastotyötarkastuksien avulla haettiin mahdollisia tulevaisuuden tutkimuskohteita. Tarkoituksena oli saada käsitys alueen mineraalipotentialista. Erityisesti alueet tarkastettiin REE-mineralisoitumapotentialin näkökulmasta, mutta myös muut kriittiset alkuaineet olivat tutkimuksen fokuksessa.

Kenttätöiden suunnittelussa hyödynnettiin alueellisen moreenidatan monimuuttujaklusteroinnista saatuja anomaalisia alueita. Vanhat kallioperäkartat, kalliogeokemia-aineisto, laserkeilausaineisto, uudet satelliittikuvat, lentogeofysiikka (magneettinen, sähkömagneettinen ja radiometrinen) kansannäytehavainnot sekä alueen edelliset kartoitustyöt olivat myös apuna tutkimusalueen rajauksessa.



Kuva 9. Vuoden 2023 kartoituksen näytepisteet kallioperäkartalla. Taustakartta @ Maanmittauslaitos/7/2023

2.2.2024

3.1 Kallioperäkartoitustulokset

Tutkimustulosten tulkinta nojautuu vahvasti analysoitujen näytteiden geokemiaan, sillä fokuksessa olleet harvinaisten maametallien ja muiden kriittisten alkuaineiden mineralisoitumat voivat olla silmämääräisesti vaikeasti tunnistettavia.

Ennen kenttäkautta tutustuttiin muutamaa alueen kairasydämeen. Nämä olivat lähinnä erityyppisiä gabroja. Osasta analysoitiin referenssinäytteitä samalla analyysimenetelmällä kuin kenttäkauden näytteet.

ALS Global -laboratoriossa analysoitiin yhteensä 236 alueelta otettua näytettä: näistä 14 oli tyyppinäytteitä kairasydämistä. Analyysimenetelminä olivat ME-MS61L ja MS61L-REE. Ne näytteet, missä arvioitiin olevan kultapotentiaalia, analysoitiin lisäksi PGM-ICP27-menetelmällä. Muutama LCT-pegmatiittinäyte analysoitiin menetelmällä ME-MS89L ja oksidianalyysillä ME-ICP06. Analyysia ennen näytteet jauhettiin.

Menetelmässä ME-MS61L on nelihappoliuotus, jonka jälkeen analyysi tehdään ICP-MS- sekä ICP-OES-laitteistolla. Nelihappoliuotus on nk. totaaliuotus, mutta silläkin tietyt mineraalit liukenevat mahdollisesti vain osittain. Esimerkiksi zirkoneissa esiintyvät REE-mineraalisulkeumat ja volframipitoinen scheeliitti eivät liukene täysin. Näytteessä SMRO-2023-7.2 saavutettiin yläanalyysiraja (500 ppm) Nb:n ja Zr osalta.

Totaali-REE-pitoisuudessa olivat mukana Sc ja Y. Pitoisuudet ilmoitetaan ppm-tasoina alkuainekohtaisesti (ei oksideina). Raportissa ilmoitetut koordinaatit ovat järjestelmässä EUREF-TM35FIN.

Analysoidut näytetyypit ovat seuraavat: gabrot/dioriitit 63 kpl, granitoidit 82 kpl, vulkaniitit 30 kpl, liuskeet 17 kpl, muut 30 kpl ja kairasydänten tyyppinäytteet 14 kpl.

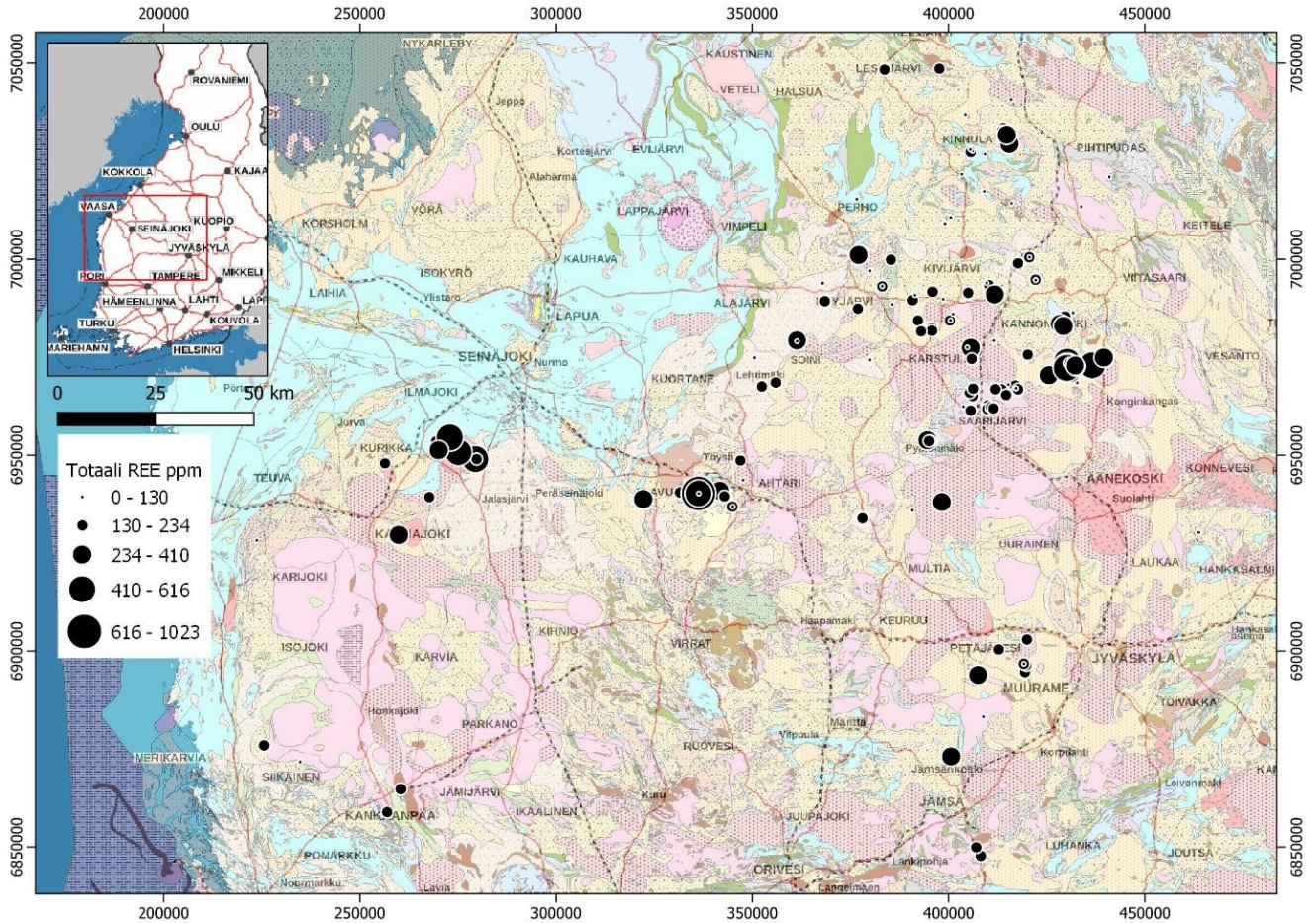
Kallioperäkartoituksessa kävi ilmi, että tiettyjen alueiden kallioperäkarta ei vastannut todellisuutta. Esimerkiksi laajoilla alueilla, jotka ovat kallioperäkartassa granodioriittia, esiintyy avohakkuilla paikoin huomattava määrä muiden kivilajien (esim. vulkaniitti, liuske) lohkareita. Näiden lohkareiden kuljetusmatka ei voi olla suuri. Etenkin peitteisillä alueilla tämä kielii siitä, että kallioperän kivilaji olisi eri kuin kartassa esiintyvä. Magneettisessa lentoaineistossa on myös alueita, joilla magneettiset piirteet vastaa kivilajeja. Kallioperäkartan päivitys ei kuitenkaan ollut tämän projektin tavoite, joskin tähän olisi selkeä tarve Keski-Suomen granitoidikompleksin alueella.

3.1 Näytteiden tulokset ja tulkinta

Analyyseissa löytyi muutamia mielenkiintoisia alueita ja näytteitä. Nämä ovat tarkemmin kuvattuna alla. Alueet ovat Kurikan itäpuolen kvartsimontsoniitti-intruusio, Alavuden Holkonkylän REE-pegmatiitti, kartoitusalueen itäpuolen Ti-P-REE-pitoiset mafiset kivet sekä yksittäisiä näytteitä, joissa on kohonneita pitoisuuksia mm. toriumia ja volframia. Yhteensä 44:stä näytteestä analysoitiin kulta, mutta näissä ei ollut kohonneita pitoisuuksia.

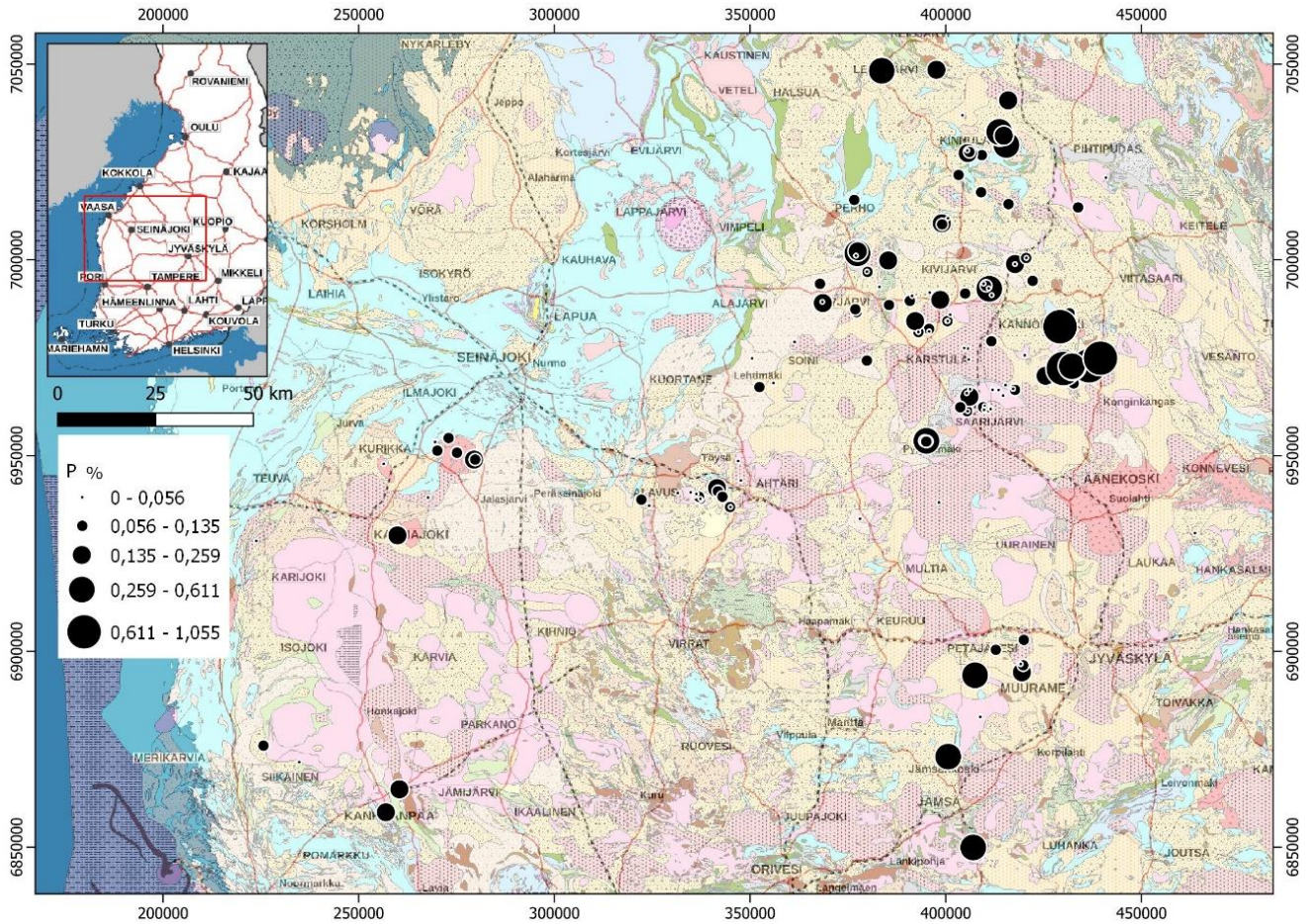
2.2.2024

Mielenkiintoisia näytenottoja löytyy alkuaineiden perusteella taulukossa 1. Tähän on koottu selvästi poikkeavia alkuainepitoisuuksia. Kuvien 10–13 kartoilla on esitetty näytteiden REE-, P-, Ni- sekä W-pitoisuudet.



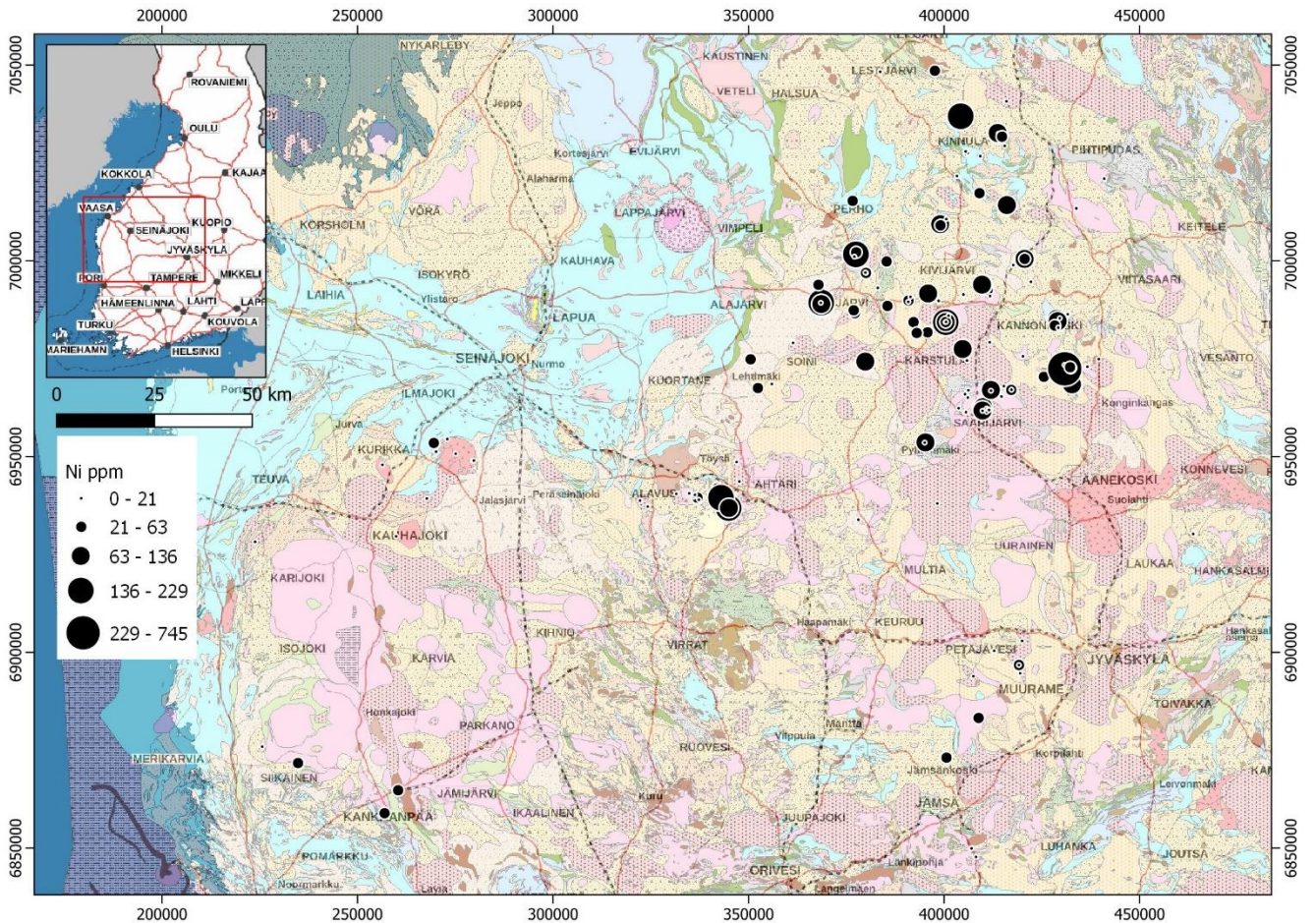
Kuva 10. Vuoden 2023 kartoituksen näytekartta, jossa on esitetty totaali-REE-pitoisuudet. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos.

2.2.2024



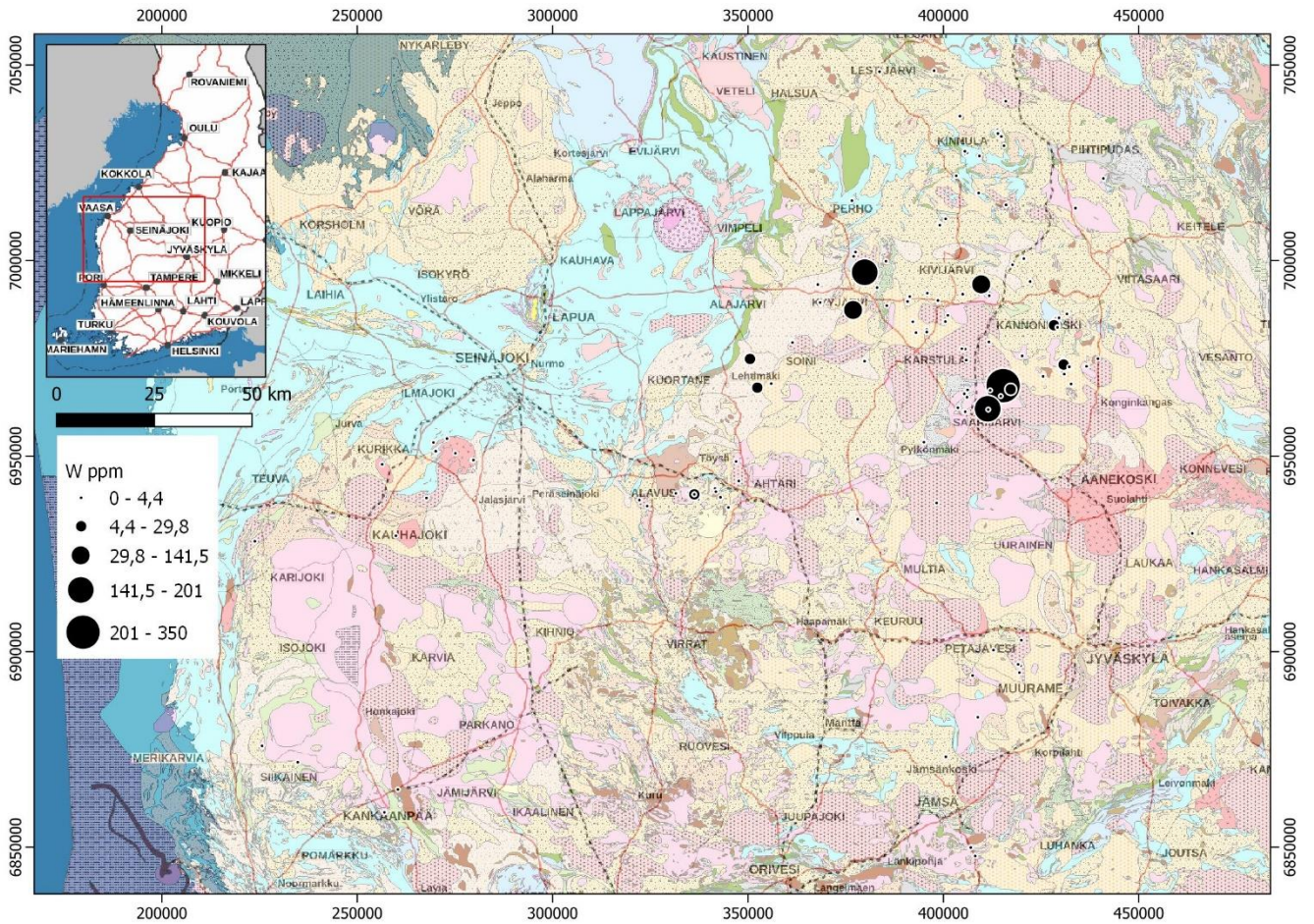
Kuva 11. Vuoden 2023 kartoituksen näytekartta, jossa on esitetty fosforipitoisuudet. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos.

2.2.2024



Kuva 12. Vuoden 2023 kartoituksen näytekartta, jossa nikkeliipitoisuudet. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos.

2.2.2024



Kuva 13. Vuoden 2023 kartoituksen näytekartta, jossa volframipitoisuudet. Pohjakartat: © Maanmittauslaitos.

2.2.2024

3.1.1 Holkonkylän NYF-pegmatiitti

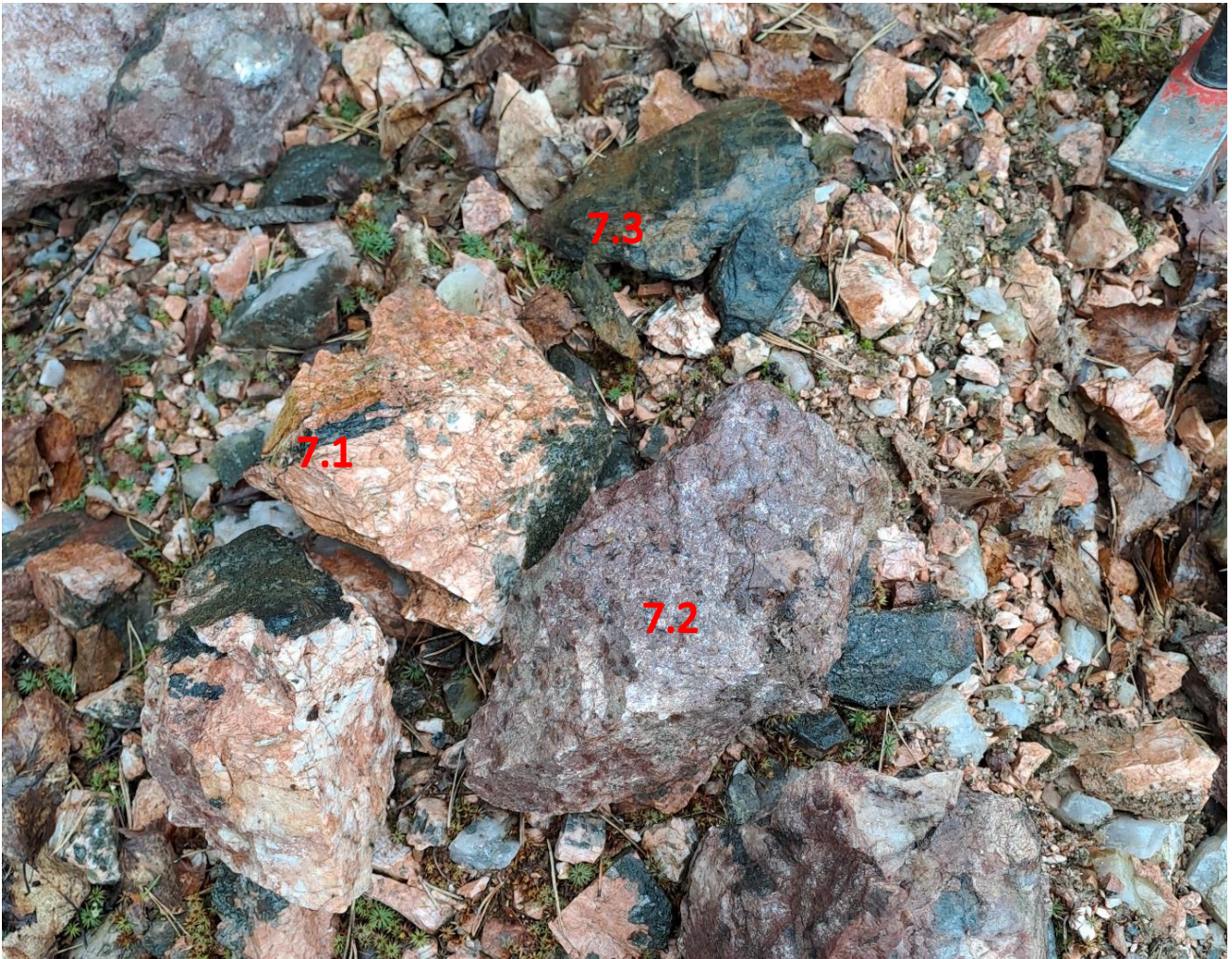
Alavuden Holkonkylän NYF-pegmatiitti (kuva 14, X 336240, Y 6940210) on huonosti tutkittu, ja siitä löytyy vain harvoja mainintoja kirjallisuudesta. Kohdetta ei ole kairattu. Itse louhos on nykyään vesitäytteinen noin 30 x 20 m jyrkkäreunainen kuoppa. Pegmatiitin kontakti sivukiveen ei ollut havaittavissa. Maapeitettä alueella on 1–3 metriä.

Paikalla havaittiin hyvin runsaita ja kookkaita osioita maitokvartsia ja oranssinpunaista maasälpää. Varsinkin louhoksen luoteisseinä on suurilta osin maitokvartsia. Louhitusta irtokivikasasta otettiin muutama tyyppinäyte eri mineraaleista. Näytteet osoittautuivat REE-pitoisiksi ja alkuainejakaumien tunnistettiin sopivan NYF-pegmatiittiin (kuva 15). Näyte SMRO-2023-7.3 (mahdollisesti allaniittia) totaali-REE-pitoisuus ylittää 1 000 ppm. Nb ja Zr ylittävät yläanalyysirajan 500 ppm, U on 140 ppm ja Th 180 ppm. Näyte SMRO-2023-7.2 on massiivisesta tummanpunaisesta mineraalista. Mainittavia pitoisuuksia ovat totaali-REE 445 ppm, Nb 250 ppm, Y 280 ppm, U 100 ppm ja Th 40 ppm. Zirkoniumia tässä näytteessä on kuitenkin vain 32 ppm, joka REE-pitoisuuksien oletetaan liittyvän muihin mineraaleihin kuin zirkoneihin. Mineralogista selvitystä ei tehty.



Kuva 14. Holkonkylän pegmatiitin murskekasa. Taustalla vesitäytteinen louhos.

2.2.2024



Kuva 15. Holkonkylän pegmatiitista analysoidut kolme näytettä: SMRO-2023-7.1 (vasen maasälpärikas), SMRO-2023-7.2 (keskellä oleva tummanpunainen) ja SMRO-2023-7.3 (ylin tumma).

3.1.2 Luovan kvartsimontsoniitti

Kurikasta itään sijoittuvaa kvartsimontsoniitti-intruusiota ovat Mäkitie ja Lahti (2001) tutkineet julkaisussaan. Tässä fayaliitti-augiitti-pitoisessa intruusiosta nähtiin REE-potentiaalia, joten muutama näyte analysoitiin vertailunäytteiksi (kuvassa 16 näyte ITLE-2023-59.1). Mäkitien ja Lahden (2001) julkaisun liitteessä on myös näyteanalyseja alkuainepitoisuuksineen. Analyysit tältä intruusiolta sisältävät kohonneita REE- ja Zr-pitoisuuksia. Esimerkiksi näytteessä HGWS-2023-21.1 (X 279412, Y 6948958) totaali-REE on 580 ppm, Zr yli 1 800 ppm ja Fe 10,7 %. Pitää huomioida zirkonin mahdollinen huonohko liukoisuus nelihappoon, jolloin zirkonissa olevat REE-alkuaineet eivät ole liuoksessa ja niiden pitoisuudet uupuvat tuloksista.

2.2.2024



Kuva 16. Näyte ITLE-2023-59.1 Luovan kvartsimontsoniitista.

2.2.2024

3.1.3 Käkikallion toriumgraniitti

Radiometrisessä toriumkartassa esiintyy Multian Käkikallion (X 378064, Y 6933843) kohdalla anomalia. Tällä paikalla sijaitsee osittain kiviaineslouhimo. Harmaanpunertavasta tasarakeisesta graniitista otetussa näytteessä on toriumia 57 ppm ja urania 20 ppm (SMRO-2023-6.1, kuva 17). Määrä on varsin korkea, sillä GTK:n selvityksessä (Lauri et al. 2010) todetaan Keski-Suomen alueen 1 433 kivilajinäytteen perusteella toriumin keskipitoisuuden olevan 7,9 ppm ja uraanin 2,2 ppm. Selvityksen näytteiden maksimipitoisuudet olivat 49,9 ppm Th ja 17,1 ppm U. Käkikallion pitoisuudet ylittävät nämä arvot.



Kuva 17. Käkikallion graniittinäyte SMRO-2023-6.1.

2.2.2024

3.1.4 Ti-P-pitoisia gabroja

Kartoitusalueella esiintyy paikoin (etenkin Saarijärvi–Kannonkoski–Viitasaari-alueella) gabroja, joissa titaanin, fosforin ja harvinaisten maametallien pitoisuudet ovat samanaikaisesti koholla. Kallioperäkartalla nämä ovat usein määrittelemättömiä gabrointrusioita. Kartoituksessa löytyi alueelta sekä paljastuma- että lohkarenäytteitä, joissa on korkea Fe-Ti-P-pitoisuus. Myös REEt ovat usein koholla alueen gabroissa. Esimerkkinä näyte JJTU-2023-10.1 (kuva 18), jossa Fe on 11,8 %, Ti 1,7 %, P 1,06 %, totaali-REE 573 ppm, Nd 124 ppm. Osa näistä voisi olla ferrogabroja tai fayaliittigabroja. Näytteessä JJTU-2023-10.1 nikkeli (6 ppm) ja kromi (3 ppm) ovat hyvin matalia. Taulukossa 1 on näytteitä, jossa Fe-P-Ti on koholla. Näiden sijainnit ovat kartalla kuvassa 19.

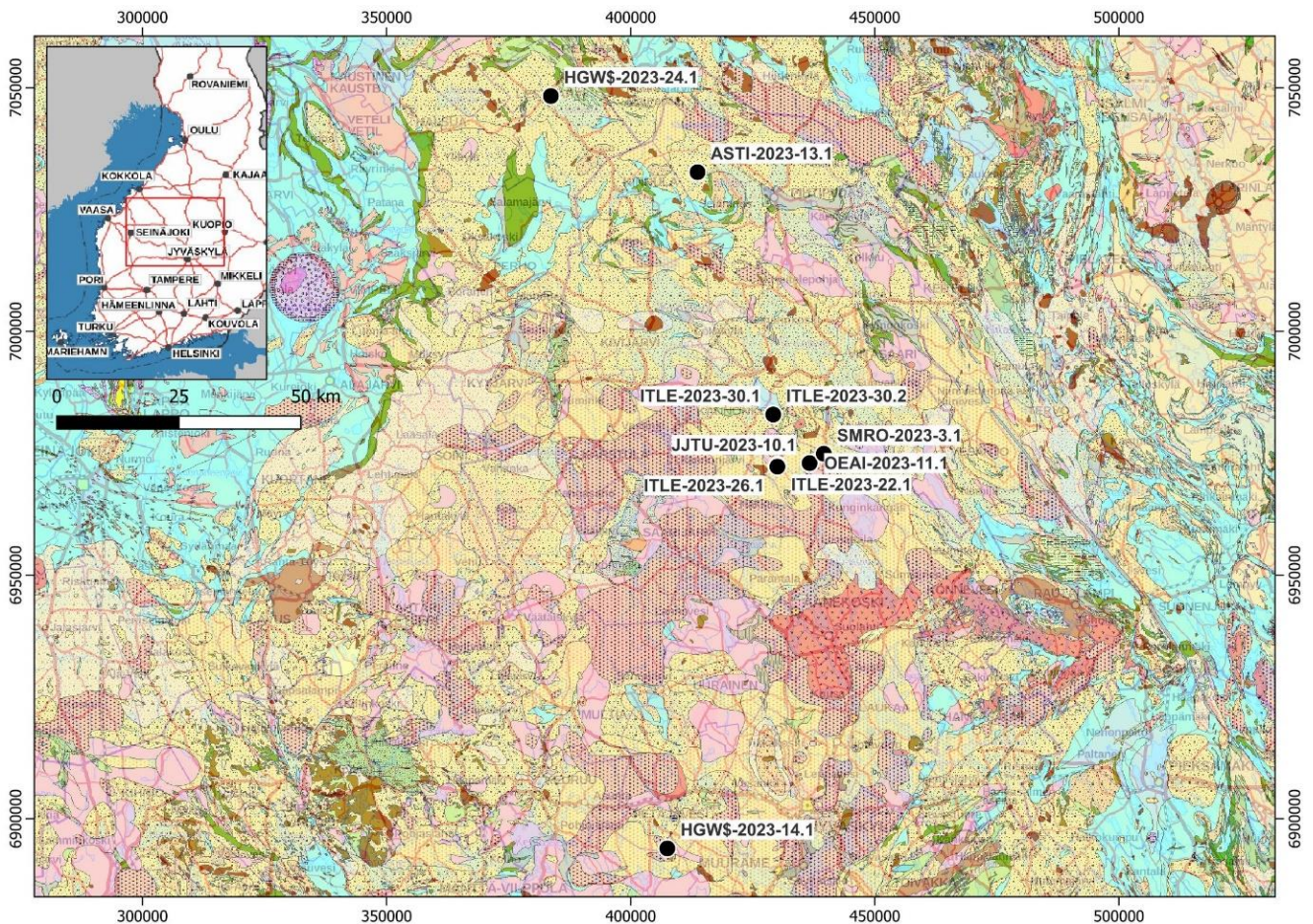


Kuva 18. Näyte JJTU-2023-10.1.

2.2.2024

Taulukko 1. Ti- ja P-pitoisia näytteitä. Näytetyypissä P = paljastuma ja L = lohcare.

Näytetunnus	Tyyppi	Kivilaji	Euref X	Euref Y	Cr ppm	Fe %	Mg %	Ni ppm	P %	Sc ppm	Ti %	REE ppm
JJTU-2023-10.1	P	Gabro	436640	6972922	3	11,8	3,1	6	1,1	36	1,7	573
SMRO-2023-3.1	P	Gabro	439542	6974874	11	9,2	3,0	12	0,9	27	1,7	329
ITLE-2023-26.1	L	Gabro	430035	6972230	10	9,3	2,7	5	0,8	26	1,1	616
ITLE-2023-30.2	P	Gabro	429191	6982914	6	11,4	3,2	4	0,7	30	1,5	365
OEAI-2023-11.1	P	Gabro	436631	6972953	14	8,4	2,4	10	0,7	27	1,3	615
HGWŠ-2023-14.1	P	Gabro	407480	6893869	11	9,7	2,9	13	0,6	38	1,7	370
HGWŠ-2023-24.1	P	Mafinen kivi	383629	7048296	23	12,4	2,6	20	0,5	44	2,2	229
ITLE-2023-30.1	P	Gabro	429191	6982914	45	6,7	3,5	18	0,5	24	1,1	239
ITLE-2023-22.1	L	Liuskekivi?	430122	6972497	56	7,0	2,8	42	0,5	17	1,3	535
ASTI-2023-13.1	P	Gabro	413669	7032661	152	9,4	4,2	93	0,5	25	1,7	221



Kuva 19. Taulukon 1 sisältämien Ti-P-pitoisten näytteiden sijainnit kartalla. Taustakartta @ Maanmittauslaitos 7/2023.

2.2.2024

3.1.5 Muita näytteitä

Taulukossa 2 on muita huomionarvoisia näytteitä valikoituine alkuainepitoisuuksineen. Näiden sijainnit ovat kuvassa 20. Näytteet ITLE-2023-52.1 ja JJTU-2023-3.1 ovat volframipitoisista muuttuneista ja kvartsiutuneista lohkareista. ASTI-2023-65.1 on gabro, jossa on kohonnut kuparipitoisuus. Näyte HGWŞ-2023-21.1 on Luovan kvartsimontsoniitista, jossa REE:t ovat koholla. Näyte HJNY-2023-10.1 on pienestä pegmatiittilouhoksesta (tiemurske?). Tässä näytteessä Nb-, Y-, U- ja Th-pitoisuudet ovat merkittäviä. Näyte on mahdollinen viite alueella olevasta NYF-pegmatiitista.

ITLE-2023-27.1 on ultramafinen syväkivilohkare alueelta, jossa tätä kivilajia ei kallioperästä entuudestaan tunneta.

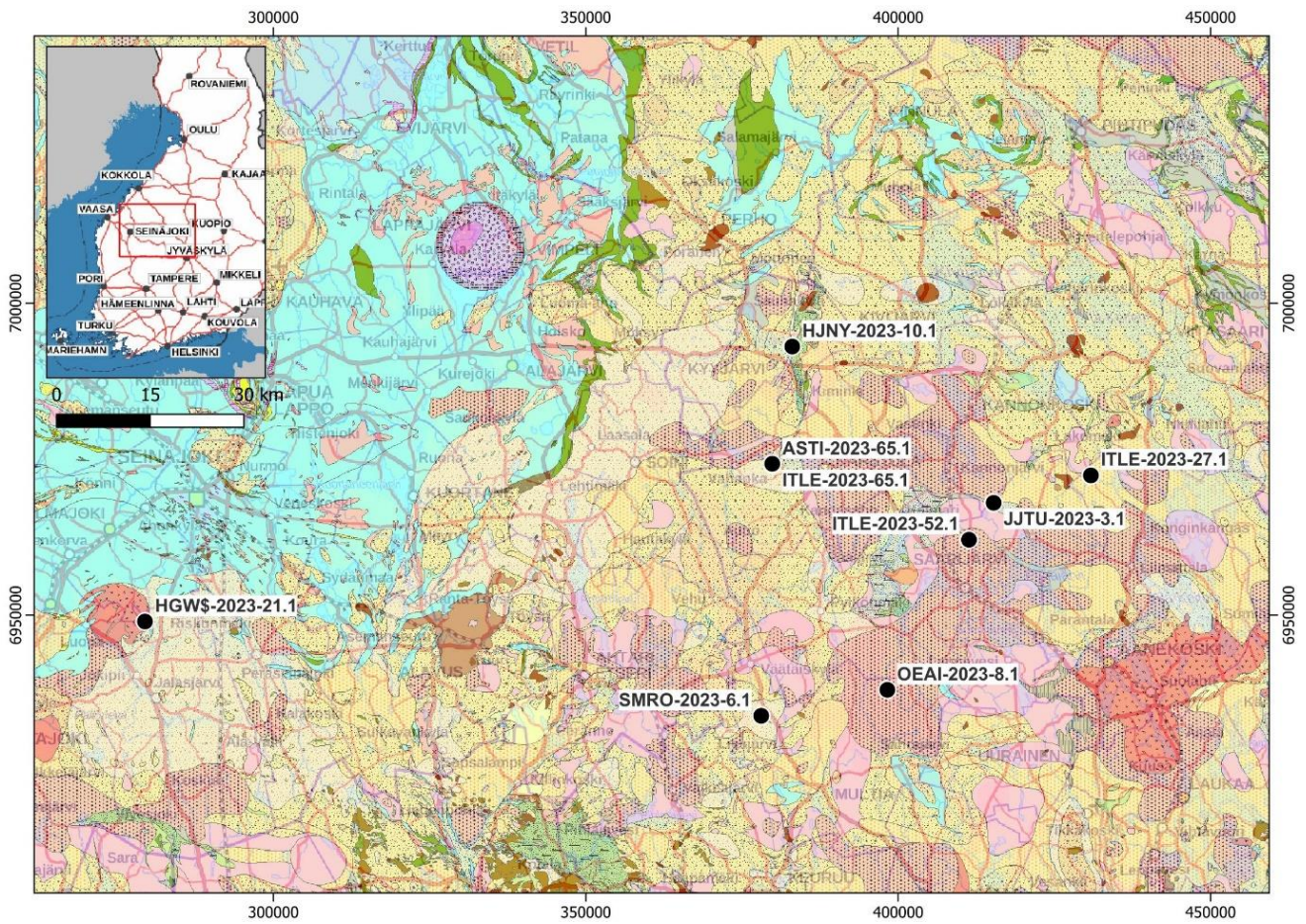
ITLE-2023-65.1 on mafinen vulkaniitti, jossa esiintyy huomionarvoiset Cu-, Pb-, ja Zn-pitoisuudet. Lisäksi näytteen hopeapitoisuus on 2,8 ppm: tyypillisesti mafisessa kivessä on hopeaa 0,1 ppm. Tämä metallijakauma viittaa VMS-mineralisaatioon.

Käkikallion näytenäytteen (SMRO-2023) lisäksi toisesta radiometrisestä anomaliakohtasta analysoitu porfyrynen graniitti sisälsi Th 47 ppm ja U 7,8 ppm. (OEAI-2023-8.1).

Taulukko 2. Muut näytteet, joissa on mainittavia metallipitoisuuksia. Näytetyypissä P = paljastuma ja L = lohkare. Näytteet esitetty kartalla kuvassa 21.

Näytetunnus	Tyyppi	Kivilaji	Euref X	Euref Y	Alkuaineet
ITLE-2023-52.1	L	Kvartsiutunut kivi	411321	6962066	W 201 ppm
ASTI-2023-65.1	L	Gabro	379833	6974151	Cu 929 ppm
HGWŞ-2023-21.1	P	Kv-montsoniitti	279412	6948958	Nb 94 ppm, Sc 46 ppm, Zr 1835 ppm, REE 579 ppm
HJNY-2023-10.1	P	Pegmatiitti	383032	6993043	Nb 62 ppm, Th 29 ppm, U 39 ppm, Y 88 ppm
ITLE-2023-27.1	L	Ultramaf. syväkivi	430839	6972389	Ni 756 ppm, Cr 845 ppm, Mg 15,4 %
ITLE-2023-65.1	L	Maf. vulkaniitti	379829	6974250	Cu 579 ppm, Pb 355 ppm, Zn 418 ppm
JJTU-2023-3.1	L	Kvartsiutunut kivi	415271	6967986	W 350 ppm
OEAI-2023-8.1	P	Porf. graniitti	398255	6938000	Th 47 ppm, U 9 ppm
SMRO-2023-6.1	P	Graniitti	378064	6933843	Th 57 ppm, U 20 ppm

2.2.2024



Kuva 20. Muiden huomionarvoisten näytteiden sijoittuminen kartalla. Näytteiden valikoidut alkuainekoostumukset on esitetty taulukossa 2. Taustakartta @ Maanmittauslaitos 7/2023.

2.2.2024

4 YHTEENVETO

Tutkimusten tavoitteena oli luoda mineraalipotentialin esiselvitys Keski-Suomen granitoidikompleksista. Päämääränä oli tunnistaa uusia alueita, joihin voisi kohdistaa REE- ja kriittisten mineraalien lisätutkimuksia tulevaisuudessa.

Ensimmäisessä tutkimusvaiheessa luotiin prospektiivisuusmalleja, joiden avulla voitiin rajata uusia mineraalipotentialisia alueita. Tähän esiselvitysohjelmaan käytettiin alueellista moreenigeokemian aineistoa sekä lentogeofysiikan aineistoa kuten magneettisia ja radiometrisiä kartoja sekä FIRE-aineistoa.

Moreenigeokemian aineistosta erottui n. 150 km pituinen lineaarinen vyöhyke Perhosta Jyväskylään, jossa litiumpitoisuus on yli 20 ppm. Vyöhykkeen sisälle tai suhteelliseen lähietäisyyteen sijoittuu useampi tunnettu mineraaliesiintymä. Kun vyöhykkeelliseen litiumpitoisuuteen yhdistetään esiintymien lisäksi mahdolliset magneettisessa matalalentodatassa sekä seismisessä FIRE-datassa näkyvät suuret poimurakenteet sekä näitä leikkaavat luode-kaakkosuuntaiset siirrokset, voitiin havaita korreloivia trendejä. Tämän seurauksena voidaan lähtökohtaisesti olettaa, että litiumanomaliolla, geofysiikassa ilmenevillä rakenteilla sekä esiintymäviitteillä olevan yhteys. Vastaavanlaisia, pienempiä alueita löytyy KSGK:n alueelta esimerkiksi Seinäjoen kaakkoispuolelta.

Alueellinen moreenidata prosessoitiin monimuuttujaklusterointimenetelmillä. Näiden avulla KSGK voitiin jakaa alueisiin, joilla on geokemiallisia eroavaisuuksia keskenään. Klusteroinnin avulla alueelta seuloutui kiinnostavien alkuaineiden kannalta kiinnostavia pisteitä, niiden muodostamia vyöhykkeitä tai rypäitä, joihin maastokartoitustyötä kohdistettiin. Kartoituskohteeksi saattoi valikoitua myös magneettinen tai radiometrisin perustein valittu alue. Ennen maastokauden aloitusta tarkasteltiin alueelta otettua kairasydänainesta Lopen kairasydänarkistossa.

Muittarin Cu-Zn-Pb-esiintymään sekä Jyväskylän seudulla olevaan useaan Cu-Mo-pitoiseen porfyryriseen intruusioon liittyvään esiintymään on yhdistetty jonkin asteinen rakennesidonnaisuus. KSGK:n REE-(+Sc-Y)-mineraalipotentiali liittyy keskeisesti Kiviniemen skandium-esiintymän tyyppiin ferrodioriittiyksiköihin, Luovan kvartsimontsoniitteihin sekä NYF-pegmatiitteihin.

Kallioperäkartoitusta suoritettiin Karstulan, Soinin, Kyyjärven, Kivijärven, Pihtiputaan, Kannonkosken, Viitasaaren, Alavuden, Multian, Kurikan ja Saarijärven alueilla. Näytteitä analysoitiin yhteensä 236 kappaletta, joista 14 oli uudelleen tarkasteltuja kairasydännäytteitä. Vanhoja kallioperäkartoja, laserkeilausaineistoa, uusia satelliittikuvia sekä kansannäytehavaintoja käytettiin apuaineistona kartoituksen suunnittelussa.

Multian Käkikallion, osittain kiviaineslouhoksena oleva toriumgraniitti sisälsi toriumia 57 ppm ja uraania 20 ppm. Nämä pitoisuudet poikkeavat suuresti esimerkiksi Keski-Suomen alueelta otetuista 1 433 kivilajinäytteistä, joissa toriumin keskipitoisuus on 7,9 ppm ja uraanin 2,2 ppm (Lauri et al. 2010).

Uusia mineralisaatioviitteitä Kivijärvi–Jyväskylä-välisen alueen litiumanomaaliselta vyöhykkeeltä ei näissä tutkimuksissa löydetty. On syytä huomioida, että tämän kokoisen alueen kunnollinen mineraalipotentialikartoitus vaatisi huomattavasti enemmän aikaa, näytteenottoa ja henkilöstöresursseja. Ennestään tunnettuja potentialisia, mutta lisätutkimuksia vaativia alueita, ovat Kurikan itäpuolen kvartsimontsoniitti-intruusio, Alavuden Holkonkylän REE-pegmatiitti, kartoitusalueen itäpuolen Ti-P-REE-pitoiset mafiset kivet sekä yksittäisiä näytteitä, joissa on

2.2.2024

kohonneita pitoisuuksia mm. toriumia ja volframia. Mahdollisia muita jatkotutkimuskohteita voisivat olla KSGK:n alueellisen moreeniaineiston uudelleenanalysointi varsinkin harvinaisten maametallien ja muiden analysoimattomien alkuaineiden osalta ja aineiston klusterointi täydennetyllä alkuainetiedolla. Yksi tutkimusta vaativa osio on myös graniittien geofysiikkaan pohjautuva tyyppiluokittelu iänmäärityksineen.

KIITOKSET

Geologi Henrik Wik kartoitustyö ja näytteenottoavusta. Geologian opiskelijat: Ilmari Leinonen, Olivia Ainonen, Andy Tiala ja Joona Tulokas kartoitustyöavusta.

LÄHTEET

Alviola, R., Mänttari, I., Mäkitie, H. & Vaasjoki, M. 2001. Svecofennian rare-element granitic pegmatites of the Ostrobothnia region, Western Finland: their metamorphic environment and time of intrusion. Geological Survey of Finland, Special Paper 30, 76-97. Available at:

https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_030_pages_009_029.pdf

Chernet, T., Sarapää, O., Johansson, B. & Pakkanen, L. 2004. Petrological and mineralogical studies on Lumikangas ilmenite-magnetite-apatite bearing gabbro, Kauhajoki, Western Finland. 25 s., 3 liitettä. Available at: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_1234_2004_1_42.pdf

Ervamaa, P. 1986. Tutkimustyöselostus Honkajoen, Karvian ja Kauhajoen kunnissa valtausalueilla Karhukangas 1, Perämaa 1-2 ja Tunturikangas 1-2, (kaiv. rek. n:ot 3461/1, 3462/1-4) suoritetuista tutkimuksista. 2 s., 6 l.

Available at: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_1234_86_1_10.pdf

Halkoaho, T., Ahven, M., Rämö, O., Hokka, J. & Huhma, H. 2020. Petrography, geochemistry, and geochronology of the Sc-enriched Kiviniemi ferrodiorite intrusion, eastern Finland. Mineralium Deposita 55(8). 10.1007/s00126-020-00952-2

Hautaniemi, H., Kurimo, M., Multala, J., Leväniemi, H. & Vironmäki, J. 2005. In: Airo, M-L. (ed.) The "Three in One" aerogeophysical concept of GTK in 2004. Geological Survey of Finland, Special Paper 39, 21–74. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_039_pages_021_074.pdf

Hölttä, P. & Heilimo E. 2017. Metamorphic map of Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 60, 77-128, 34 figures and 2 appendices.

Ikävalko, O. 1981. Malmitutkimukset Jyväskylän alueella kesällä 1981. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M 19/321206/-81/1/10, 25 s. Available at:

https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_3212_06_81_1_10.pdf

Ikävalko, O. 1986. Malmitutkimukset Jyväskylän mlk:n Hamppulan alueella vuosina 1981 - 83. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/3212 06/-86/1/10, 11 s. Available at:

https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_3212_06_86_1_10.pdf

2.2.2024

- Isomaa, J., Koistinen, E., Kärkkäinen, N. 2010. Sikakangas gold prospekt at Seinäjoki, Western Finland Geologiand tutkimuskeskus arkistoraportti M19/2222/2010/55 37s. Available at: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_2222_2010_55.pdf
- Koljonen, T. (toim.) 1992. Suomen Geokemian Atlas, osa 2: moreeni. The Geochemical Atlas of Finland, Part 2: Till. Geologian tutkimuskeskus - Geological Survey of Finland, 218 s. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/erikoisjulkaisu/ej_008.pdf
- Kukkonen, I. & Lahtinen, R. 2006. Finnish reflection experiment FIRE 2001-2005. Geological survey of Finland, Special paper 43, 247 p. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_043.pdf
- Lahti, S. & Kärkkäinen, N. 2009. Esiselvitys: REE-mineraalien esiintyminen Etelä-Suomen graniiteissa ja graniitti-pegmatiiteissa. Julkaisusarja: GTK:n arkistoraportit https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/28_2016.pdf
- Lauri, L., Pohjalainen, E., Äikäs, O. 2010. Selvitys Suomen kallioperän U-pitoisuudesta. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M10/2010/53, 29 s. Available at: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m10_2010_53.pdf
- Mäkitie & Lahti 2001. The fayalite-augite quartz monzonite (1.87 Ga) of Luopa, western Finland, and its contact aureole. Geological Survey of Finland, Special Paper 30, 61–98. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_030_pages_061_098.pdf
- Nironen, M., Elliott, B. A. & Rämö, O. T. 2001. 1.88–1.87 Ga post-kinematic intrusions of the Central Finland Granitoid Complex: a shift from C-type to A-type magmatism during lithospheric convergence. Lithos 53(1), 37–58.
- Nironen, M. 2003. Keski-Suomen granitoidikompleksi, karttaselitys. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti 157, 45 s. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_157.pdf
- Nurmi, P., Front, K., Lampio, E. & Nironen, M. 1984. Etelä-Suomen svekokarjalaiset porfyrytyypiset molybdeeni- ja kupariesiintymät, niiden granitoidi-isäntäkivet ja litogeokemiallinen etsintä. Summary: Svecokarelian porphyry-type molybdenum and copper occurrences in southern Finland: their granitoid host rocks and lithochemical exploration. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti - Report of Investigation 67, 88 s. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_067.pdf
- Mikkola, P., Heilimo, E., Luukas, J., Kousa, J., Aatos, S., Makkonen, H., Niemi, S., Nousiainen, M., Ahven, M., Romu, I. & Hokka, J. 2018. Geological evolution and structure along the southeastern border of the Central Finland Granitoid Complex. Geological Survey of Finland, Bulletin 407, 5–27. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/bulletin/bt_407_pages_005_027.pdf
- Ramsay, J. G. 1967. Folding and fracturing of rocks. McGraw-Hill, New York, 568 p.
- Rämö, O., Vaasjoki, M., Mänttari, I., Elliott, B. & Nironen, M. 2001. Petrogenesis of the Post-kinematic Magmatism of the Central Finland Granitoid Complex I; Radiogenic Isotope Constraints and Implications for Crustal Evolution. Journal of Petrology 42(11), 1971–1993.
- Sarapää, O., Kärkkäinen, N., Chernet, T., Lohva, J. & Ahtola, T. 2006. Tutkimustyöselostus Kauhajoen kunnassa valtausalueella Lumikangas (Kaivosrekisterinumero 7741/1) suoritetuista ilmeniitti-apatiittitutkimuksista vuosina 2002-2004. 21 s. + 9 liites. Available at: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_1234_2006_1_10.pdf
- Salminen, R. (toim.) 1995. Alueellinen geokemiallinen kartoitus Suomessa vuosina 1982–1994. Summary: Regional Geochemical Mapping in Finland in 1982–1994. Geologian tutkimuskeskus, Tutkimusraportti - Geological Survey of Finland, Report of Investigation 130, 47 s. Available at: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_130.pdf

2.2.2024

Sipilä, E. 1985. Kupari-lyijy-sinkki- ja tina-aiheiden tutkimukset Saarijärven Muittarissa 1980–1984. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M19/2244/85/1/10, 21 s. Available at:

https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_2244_85_1_10.pdf

Västi, K. 1985. Tutkimustyöselostus Perhon kunnassa valtausalueella Ahvenlampi 1, Kaiv. Rek. N:o 2915 suoritetuista malmitutkimuksista. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/2332/-85/1/10, 6 s.

Available at: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_2332_85_1_10.pdf