

LCT-pegmatiittitutkimukset Etelä- Pohjanmaalla 2021–2023

Henrik Nygård, Helena Hulkki, Matti Kinnunen, Janne Kuusela, Matti Niskanen, Sari Romppanen, Henrik Wik


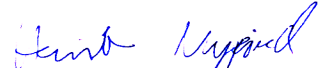


20.4.2024

GEOLOGIAN TUTKIMUSKESKUS

KUVAILULEHTI

20.4.2024

Tekijät Henrik Nygård, Helena Hulkki, Matti Kinnunen, Janne Kuusela, Matti Niskanen, Sari Romppanen, Henrik Wik		Raportin laji Työraportti	
		Toimeksiantaja Geologian tutkimuskeskus	
Raportin nimi LCT-pegmatiittitutkimukset Etelä-Pohjanmaalla 2021-2023			
Tiivistelmä Kuortaneen, Seinäjoen ja Lapuan alueet kattavalla tutkimusalueella suoritettiin LCT-pegmatiittien kartoitusta vuosina 2021–2023. Työ sisälsi kallioperäkartoitusta ja lohkaretsintää, pegmatiittien geokemiallista analysointia, moreeninäytteenottoa ja geofysikaalisia maastomittauksia. Tutkimusalueelta tunnistettiin uusia vyöhykkeitä pitkälle kehittyneitä pegmatiitteja sekä mineralisoituneita pegmatiitteja. Alueen moreenitutkimuksissa havaittiin LCT-mineralisaatiota indikoivia anomalioita.			
Asiasanat (kohde, menetelmät jne.) Akkumineraalit, LCT-pegmatiitti, pegmatiitti, graniitti, litium, spodumeeni, amblygoniitti, montebrasiitti, Pohjanmaan liuskevyöhyke, mineraalipotentialin kartoitus, malminetsintä, kallioperäkartoitus, geokemia, geofysiikka, ioniuutto, iskupora			
Maantieteellinen alue (maa, lääni, kunta, kylä, esiintymä) Etelä-Pohjanmaa, Kuortane, Lapua, Seinäjoki			
Karttalehdet P412, P333, P411			
Muut tiedot 24 kuvaa, 2 taulukkoa, 1 liitesivu			
Arkistosarjan nimi GTK työraportti		Arkistotunnus 12/2024	
Kokonaissivumäärä 40	Kieli Suomi	Hinta -	Julkisuus Julkinen
Yksikkö Mineraalitalouden ratkaisut		Projektinumero 50402-20108212	
Allekirjoitus/nimen selvennys Hanna Leväniemi (ryhmäpäällikkö) 		Allekirjoitus/nimen selvennys Henrik Nygård 	

1	ABSTRACT	2
2	JOHDANTO	2
3	ALUEEN KALLIOPERÄ	4
4	AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET	6
4.1	Seinäjoen tinatutkimukset	6
4.2	Tarikon spodumeenipegmatiitti	6
4.3	Kaatialan ja Haapaluoman pegmatiittilouhokset	7
4.4	Muita esiintymiä	8
5	TUTKIMUKSET VUOSINA 2021–2023	9
5.1	Kallioperäkartoitus ja lohkarere-etsintä	10
5.2	Pikkalantaustan litiumfosfaattiesiintymä	13
5.2.1	Pikkalantausta maastogeofysiikka	19
5.3	Kivimäen pegmatiittijuonet	21
5.4	Kurjenneva	21
5.5	Spodumeenilohkare, Jokivarsi, Soini	25
5.6	Kenttäkurssi	26
5.7	Opinnäytetyöt	26
6	MOREENINÄYTTEET	27
6.1	Iskuporanäytteet	27
6.2	Ioniutto	28
6.3	Kurjennevan uudelleenanalysoidut moreeninäytteet	32
7	JOHTOPÄÄTÖKSET	34
8	JATKOTUTKIMUKSIA	36
9	LÄHTEET	37
10	LIITE 1 AINEISTOLUETTELO	40

Kansikuva: Litiumfosfaattinäyte, Pikkalantausta, Kuortane. Kuva: Henrik Nygård.

1 ABSTRACT

GTK battery mineral potential mapping project (2019-2023) was active in the Seinäjoki, Kuortane, and Lapua municipalities during 2021-2023. Fieldwork were concentrated on the GTK reservation notification area and later on the exploration permit application area (figure kuva 1). Limited bedrock mapping and sampling were conducted also in other parts of the Ostrobothnia (Pohjanmaa) schist belt. The work included bedrock mapping and boulder hunting, pegmatite and granitic pegmatite sampling, till sampling and geophysical measurements.

The research area, which belongs to the southern part of the Ostrobothnia schist belt, was identified as having potential for LCT-pegmatites. Previous indications of LCT-pegmatites as well as tin-and beryllium-bearing pegmatites have been found near Seinäjoki.

This survey identified several zones with evolved pegmatites. In two areas, indications of previously unknown lithium mineralisation in the bedrock were discovered. Glacial till sampling indicates LCT-element anomalies.

On the exploration permit area named Pikkalantausta, west of lake Kuortaneenjärvi, further studies revealed a lithium phosphate occurrence (+ Be, Nb, Sn, Ta), both as boulders and a bedrock dike.

2 JOHDANTO

Seinäjoen, Kuortaneen ja Lapuan kunnissa suoritettiin akkumineraalipotentialikartoitusta vuosina 2021–2023. Tutkimus oli osa GTK:n monivuotista akkumineraaliprojektia (2019–2023), jossa kartoitettiin litiumpotentiaalisia alueita ja mineraalisysteemejä Suomessa. Maastotyöt keskitettiin alueelle haettuun varausalueeseen ja myöhemmin malminetsintälupahakemusalueeseen. Tässä raportissa käsitellään tutkimusalueella suoritettut työt syksyyn 2023 asti.

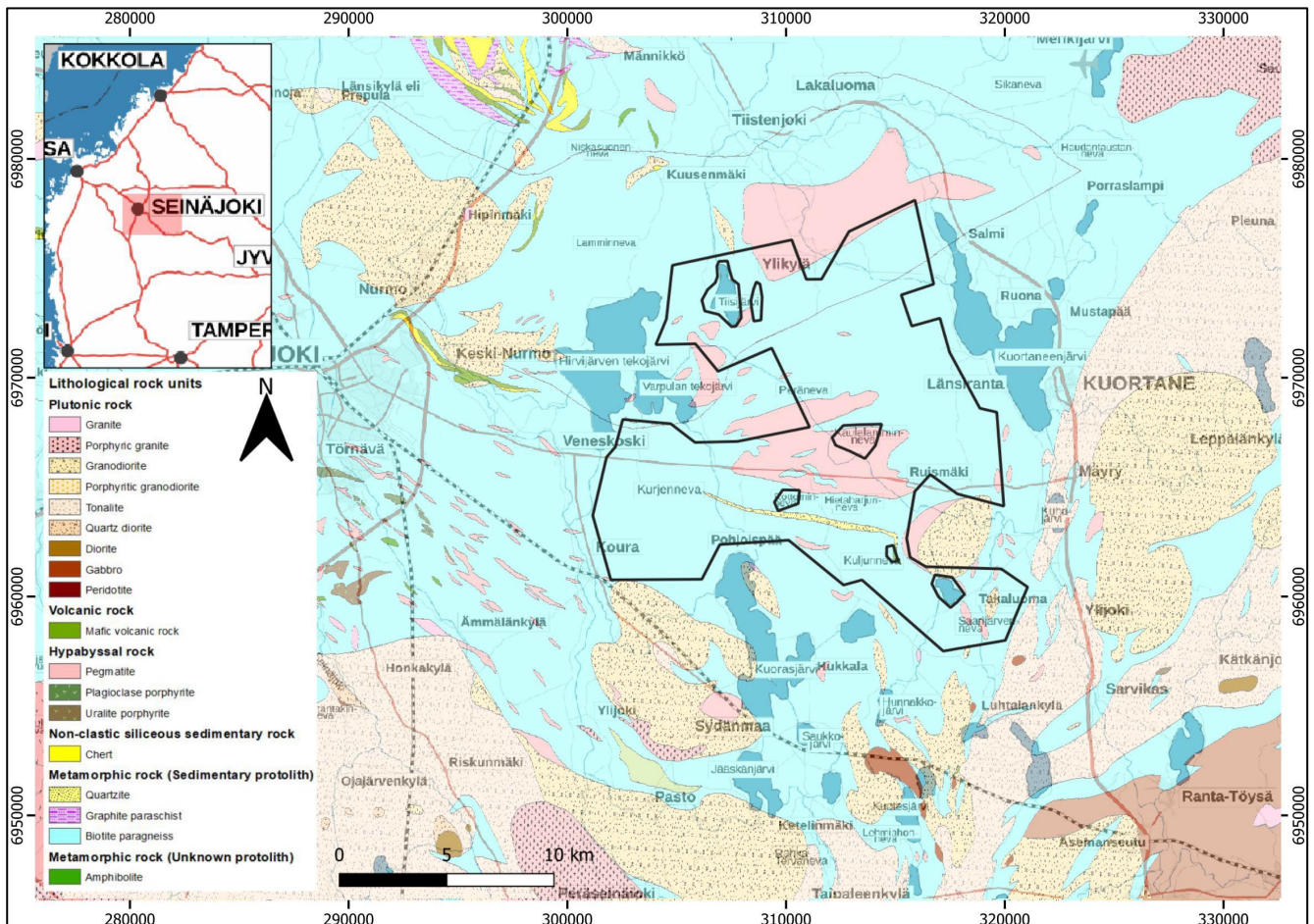
Tutkimusalue sijoittuu Seinäjoen, Kuortaneen ja Lapuan kuntien alueelle (kuva 1). Tämän alueen kallioperä kuuluu Pohjanmaan liuskevyöhykkeen eteläosiin ja koostuu pääosin kiilleliuskeista sekä kiillegneisseistä, joihin on tunkeutunut monissa paikoin pegmatiittigraniittisulaa. Sama liuskevyöhyke jatkuu pohjoiseen, missä sijaitsevat Kaustisen alueen litiumpegmatiittiesiintymät noin 100 km päässä.

Seinäjoen lähistöllä on Geologian tutkimuskeskuksen (GTK):n vanhojen tutkimusten mukaan viitteitä litiumpitoisista pegmatiiteista. Nämä ovat tulleet esiin 1980-luvulla suoritettujen tinapegmatiittiesiintymien yhteydessä. Kuortane–Seinäjoki-alueen kallioperä, geologinen historia, kallioperän rakenteet ja metamorfoosiaste muistuttavat Kaustisen litiumprovinssialueen ominaisuuksia. Näin ollen alueen litiumpotentiaalilin selvitys nähtiin otollisena tutkimuskohteena.

Vuonna 2021 haettiin noin 200 km² varausaluetta tutkimusrauhan takaamiseksi. Alueella oli taustaselvityksen mukaan suotuisin geologia LCT-pegmatiittien esiintymiselle.

GTK suoritti alueella kallioperäkartoitusta ja moreeninäytteenottoa kenttäkausilla 2021–2023. Alueen pegmatiittien ja pegmatiittigraniitti-intruusioiden kehitystapaa määritettiin kiviäytteen geokemiallisilla määrityksillä, ja sitä kautta saatiin viitteitä alueen litiumpotentialista.

Varausalueen rauettua alkuvuonna 2023, Kuortaneenjärven länsipuolelta paikannetun uuden litiumfosfaattiesiintymän tutkimus jatkui vuonna 2023 haetulla malminetsintäalueella. Malminetsintäluupahakemuksella varmistettiin GTK:n tutkimusten puoleeton jatkuminen.



Kuva 1. GTK:n varausalue (mustalla raja) kallioperäkartalla. Tutkimusalue sijoittuu Pohjanmaan liuskevyöhykkeelle. Kallioperäkartta DigiKP © GTK ja pohjakartta © Maanmittauslaitos, taustakartta (rasteri), 03/2024.

3 ALUEEN KALLIOPERÄ

Pohjanmaan liuskevyöhyke koostuu sedimenttikivistä, joiden kerrostumisiäksi on arvioitu noin 1910 miljoonaa vuotta (Lahtinen et al. 2017). Svekofennisen orogeenin (huippuvaihe 1890–1870 Ma) seurauksena nämä liuskeet deformatuivat ja työntyivät osittain Keski-Suomen granitoidikompleksin alle (Chopin et al. 2020). Pohjanmaan liuskevyöhykkeen alueella esiintyy noin 1800–1790 miljoonan vuoden ikäisiä postorogeenisia, intrusiivisia pegmatiitteja (Mäkitie et al. 2001).

Pohjanmaan liuskevyöhyke koostuu enimmäkseen peliittisistä kiilleliuskeista. Alueen metamorfoosiasteen vaihtelu aiheuttaa koostumuseroja ja raekokovaihteluita. Seinäjoki–Kuortane-alueella liuske on pääosin hienorakeista. Paikoin liuskeessa voi esiintyä sekoittuneita turbidiittivyöhykkeitä, jolloin kivilajin voidaan sanoa olevan grauvalakkaa. Alhaisen metamorfoosiasteen vyöhykkeillä voi paikoin näkyä primäärirakenteita, kuten kerrallisuutta. Lisäksi liuskeissa voi paikoin olla kerroksia grafiittia ja sulfideita. Tämä tekee liuskeista sähköisesti johtavia ja magneettisia, jolloin nämä kivilajityypit erottuvat lentogeofysiikkakartoilla.

Muita kivilajeja ovat pitkänomaiset serttijaksot, mafiset vulkaniittijaksot ja plagioklaasiporfyyriittisyväkivi-intruusiot.

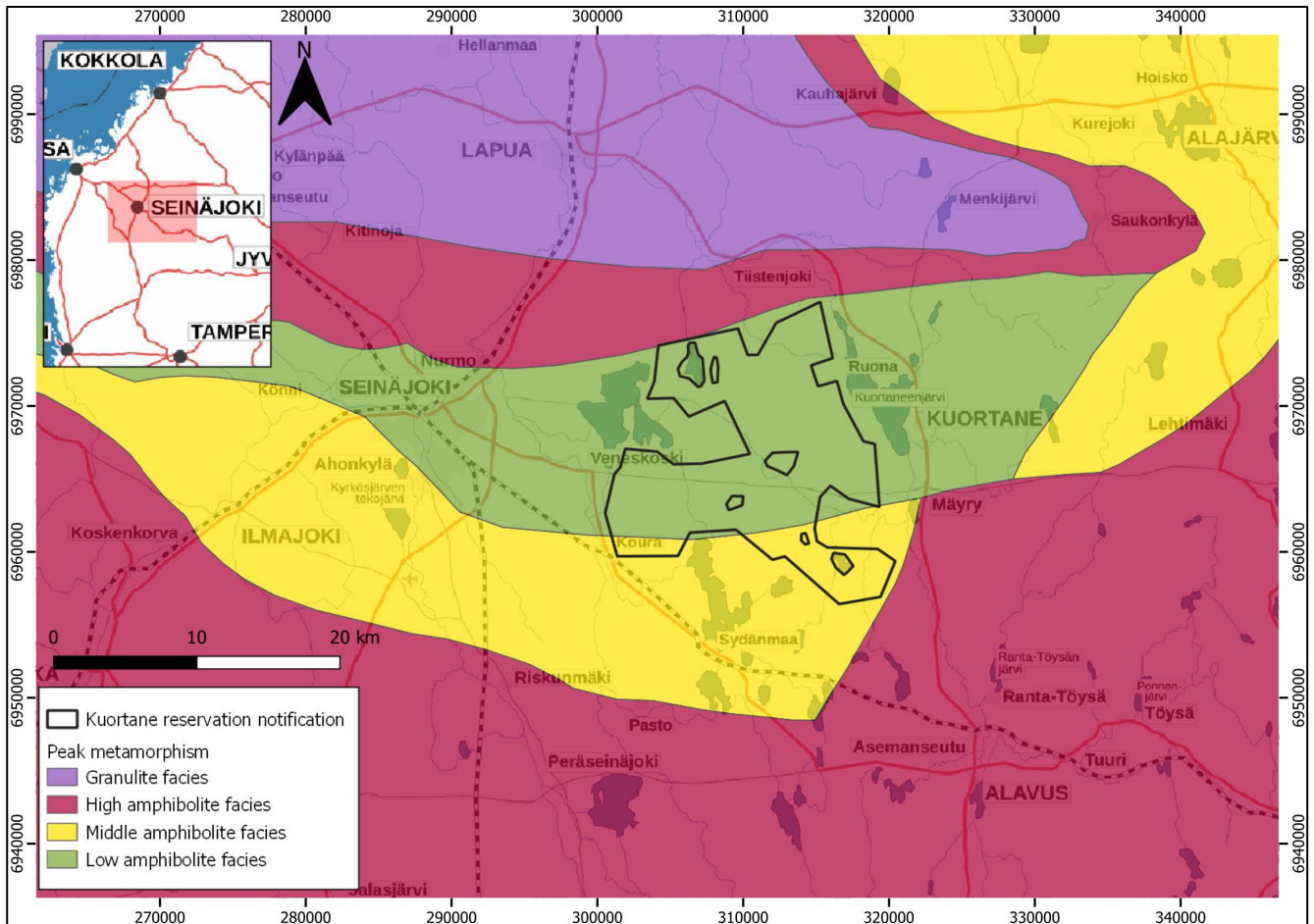
Pohjanmaan liuskevyöhykkeen eteläosassa pegmatiitit ovat monimuotoisia ja esiintyvät laaja-alaisina intruusioina, linsseinä ja juonina. Postorogeenisina kivilajityypeinä niissä esiintyy harvoin deformaation merkkejä. Kontaktit sivukiveen on yleensä terävä. Mineraalikoostumus graniittiselle pegmatiitille on tyypillinen: karkearakeista maasälpää, plagioklaasia, kvartssia ja kiilteenä muskoviittia. Paikoin pegmatiiteissa voi esiintyä mustaa turmaliinia, granaattia ja apatiittia, harvemmin beigenväristä beryylliä.

Pohjanmaan liuskealueella esiintyvät pegmatiitit kuuluvat LCT-pegmatiittien pääryhmään ja ovat lähtöisin S-tyyppin graniitin pegmatiittisulista. Nämä pegmatiitit poikkeavat alueittain jonkin verran koostumukseltaan ja voidaan sijoittaa eri alaryhmiin. Tämä kertoo siitä, että noin 1 800 miljoonaa vuotta sitten on lämpöpulssin seurauksena tapahtunut alakuoren sulamista koko Pohjanmaan liuskevyöhykkeen matkalla. Mäkitie et al. (2001) jakavat Pohjanmaan liuskevyöhykkeen pegmatiitit kahteentoista ryhmään, joilla on omat piirteensä. Tämä osoittaa, että pegmatiittien protoliitin ja lähtösulan koostumus heijastuu osittain pegmatiitteihin, joten pegmatiittimineraalisysteemit ovat hieman toisistaan poikkeavia.

Kallioperän deformaatioilla, syvälle ulottuvilla hirtovvyöhykkeillä ja rakenteilla on suuri vaikutus graniittisulien tunkeutumisessa kallioperään. Pitkälle kehittyneet LCT-pegmatiitit keskittyvät Pohjanmaan liuskevyöhykkeellä alhaisen tai keskitason amfiboliittifasieksen kallioperään (kuva 2).

Varausalueen metamorfoosiaste sijoittuu pääosin matalaan amfiboliittifasiekseseen. Metamorfoosiaste kasvaa loivasti kohti lounasta ja nousee jyrkästi heti varausalueen pohjoispuolella. Kiilleliuskeessa on matalan metamorfoosiasteen alueelle tyypillisiä hyvin säilyneitä primäärirakenteita, esimerkiksi primäärikerroksellisuutta.

Kiilleliuskeen seassa esiintyy paikoin sulfidi- ja grafiittipitoisia kerroksia. Nämä erottuvat geofysiikan lentomittauskartoissa johteina ja magneettisina vyöhykkeinä. Pettuvuoren pegmatiittigraniitti-intruusion eteläpuolella esiintyy kiilleliuskeessa pitkä serttikerrostumajakso. Seinäjoen karttalehdellä vastaavaan kerrostumaan liittyy mafisia vulkaniittikiviä, sinikvartssia- sekä mangaanipitoista rodoniittikvartssia.



Kuva 2. Tutkimusalueen ja Pohjanmaan liuskevöhykkeen eteläosien metamorfoosiasteet. GTK:n Kuortaneen varausaluearajaus mustalla. Metamorfinen kartta © GTK ja pohjakartta © Maanmittauslaitos, taustakartta (rasteri), 03/2024.

Kallioperäkartan aineiston laatuluokitus on GTK:n arvion mukaan Seinäjoen karttalehdellä (2222) A (Hyvä) ja Kuortaneen karttalehdellä (2224) C (keskinkertainen). Yleisesti voidaan todeta luokituksen pitävän paikkansa, eikä isompia poikkeavuuksia olemassa olevaan kallioperäkarttaan tullut ilmi kartoituksessa. Alueen graniitti-intruusiot ovat kovuutensa ansiosta paremmin paljastuneina, pehmeämpään kiilleliuskeeseen verrattuna. Pegmatiittijuonia esiintyy kiilleliuskeessa paikoin runsaasti, mutta peitteisyyden takia ne ovat kuitenkin vaikeasti havaittavissa. Kuvassa 3 on tyypillinen leukopegmatiittijuoni, joka leikkaa alueen primäärirakenteista kiilleliusketta. Moreenia alueella on yleisesti verrattain ohusti, usein 0,5–2 metriä, ja paikoin esiintyy laajoja suoalueita.



Kuva 3. Pegmatiittijuoni on tunkeutunut alhaisen metamorfoosiasteen kiilleliuskeeseen. Kartoitushavainto TTAN-2021-75 noin 1 km Kurjennevesta pohjoiseen (X 303699, Y 6966040).

4 AIKAISEMMAT TUTKIMUKSET

4.1 Seinäjoen tinatutkimukset

GTK teki 1980-luvulla Seinäjoella tinapegmatiittietsintöjä. Seinäjoen kaakkoispuolelta löytyi useita pegmatiittijuonia, joissa osassa oli litiumia, tinaa tai antimonia. Mineralisaatiot esiintyvät vaihtelevasti. Osa juonista ei sisältänyt lainkaan malmimineraaleja. Alueen mineralisaatiot liittyvät kapeisiin mafisiin plagioklaasiporfyyriitteihin. Tutkimuksissa kairattiin useampia kairareikiä, mutta taloudellista tinaesiintymää ei löytynyt (Alviola 1986).

4.2 Tarikon spodumeenipegmatiitti

Tinatutkimusten yhteydessä vuonna 1983 löydettiin Tarikon spodumeenipegmatiitti, noin 15 km itään Seinäjoen muista tina- ja spodumeenipegmatiittijuonista. Paljastuneesta kohdasta havaittiin linssimäisesti esiintyvän juonen olevan muutaman metrin leveä. Juoni on vyöhykkeellinen, ja sen kvartsirikkaassa keskikohdassa esiintyy jopa 20–30 cm pitkiä spodumeenikiteitä (kuva 4). Tarikon

alueella tehtiin moreeninäytteenottoa, geofysikaalisia maastomittauksia ja kairattiin kaksi kairareikää spodumeenipegmatiitin alle. Kairareikässä ei tavattu litium- tai tinamalmia. Tutkimuksen loppupäätelmissä todettiin, ettei juonella ole syvyysulottuvuutta ja jatkotutkimuksia ei tehty (Alviola 1987).



Kuva 4. Tarikon pegmatiitissa säilömäisesti esiintyviä ja beigen värisiksi rapautuneita spodumeenikiteitä kvartsitaskussa. Vasaran pää on noin 10 cm pitkä. Kuva: Henrik Nygård.

4.3 Kaatialan ja Haapaluoman pegmatiittilouhokset

Tutkimusalueen etelä- ja kaakkoispuolella sijaitsevat Kaatialan ja Haapaluoman vanhat pegmatiittilouhokset. Näistä louhittiin 1900-luvun puolivälissä maasälpää teollisuuden tarpeisiin. Molemmat pegmatiitit ovat LCT-tyyppin pegmatiitteja ja noin 1800 Ma ikäisiä. Näin ollen ne kuuluvat samoihin pegmatiittisuliiniin kuin alueen muutkin pegmatiitit, vaikka ovatkin tunkeutuneet Keski-Suomen granitoidikompleksin puolella sijaitseviin granitoideihin. Molemmissa pegmatiiteissa esiintyy myös spodumeenia sekä vähäisissä määrissä muita LCT-mineraaleja, kuten lepidoliittia ja puna-vihreää turmaliinia (Haapala 1966). Näistä louhoksista on lisäksi löytynyt useita jalokiviluokan mineraaleja.

4.4 Muita esiintymiä

Haapala (1966) on tutkimuksessaan käsitellyt perusteellisesti Seinäjoki–Kuortaneen alueen pegmatiittiesiintymiä. Kompleksipegmatiittijuonia esiintyy vaihtelevasti Seinäjoen ympäristössä sekä Kaatialan ja Haapaluoman pegmatiittien ympäristössä. Osassa esiintyy litiummineraaleja, kun taas osa pegmatiiteista kuuluu berylliryhmään. Kartta kuvassa 5 (Mäkitie et al. 2001) kuvaa alueen tilannetta. GTK:n vuoden 2021–2023 Kuortaneen varausalue sijoittuu kartan koillisosaan ja pääosin tämän kartan ulkopuolelle. Mäkitie et al. 2001 käsittelevät julkaisukokoelmassaan kattavasti Pohjanmaan liuskevyöhykkeen pegmatiittiesiintymiä ja niiden koostumuksia.

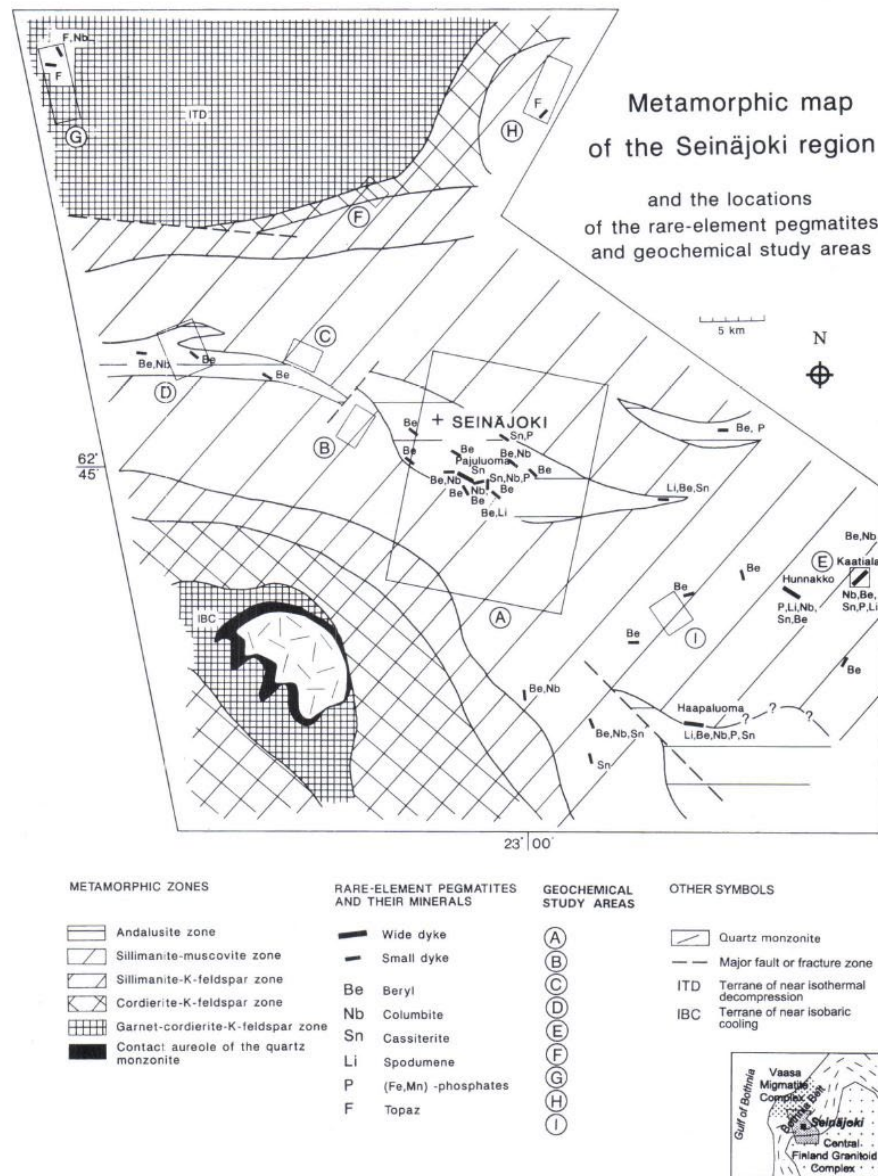


Fig. 2. Metamorphic map of the Seinäjoki region with locations of most important rare-element pegmatites. Rectangular areas marked with letters A-I refer to geochemical study areas of granitic pegmatites (modified after Tyrväinen 1970, 1971, 1984, Lahti and Mäkitie 1990, Mäkitie and Lahti 1991 and Mäkitie et al. 1991).

Kuva 5. Seinäjoen ympäristön pegmatiittiesiintymiä (Mäkitie et al. 2001).

5 TUTKIMUKSET VUOSINA 2021–2023

Seinäjoen, Haapaluoman ja Kaatialan ympäristö on tutkittu kattavasti ja tulokset esitetty useissa GTK:n raporteissa ja julkaisuissa. Näin ollen nämä alueet jätettiin pääosin tämän tutkimuksen ulkopuolelle. GTK:n vuonna 2021 hakema varausalue sijoittuu näiden tutkittujen alueiden pohjois- ja koillispuolelle. Alueen kallioperä, kallioperän metamorfoosiaste ja vähäiset edeltävät tutkimukset antoivat olettaa, että myös tämä alue olisi otollinen kompleksipegmatiittiesiintymille.

Ensimmäiset tunnustelevat taustatutkimukset tehtiin vuonna 2020, jolloin varmistettiin varausalueelle sijoittuvien isompien graniitti-intruusioiden kehitysastetta. Taustatutkimukset, joihin liittyi myös kallioperän radiometrinen tarkastelu vaikutti aluevalintaan sekä iskuporapaikkojen valintaan. Lohkare- ja kallioperäkartoitusta toteutettiin kesinä 2021 ja 2022. Jo alkuvaiheessa löytyi lupaavia viitteitä LCT-pegmatiiteista, etenkin Pikkalantaustan ympäristöstä. Tutkimus keskittyi varausalueelle, mutta kallioperänäytteenottoa tehtiin myös laajemmalla alueella pitkin liuskevyyöhykettä. Laajemman näytteenoton tarkoitus oli kerätä näytteitä pegmatiittigraniittien kokokivikemia-analyysejä varten. Kallioperäkartoituksella tarkoitetaan tässä yhteydessä mineraalipotentialin arviointia, ei kallioperäkartan päivitystä varten tehtävää työtä. Aikarajoituksen ja kartoitusalueen laajuuden vuoksi lohkarokartoitus tehtiin lähinnä uusilla avohakkuualueilla. Vuoden 2023 maastotutkimukset keskittyivät Pikkalantausta-nimiselle malminetsintälupahakemusalueelle, joka sijoittuu Kuortaneenjärven länsipuolelle. Projektissa tehdyt työvaiheet ovat eritelty taulukossa 1.

Taulukko 1. Projektin aikana Etelä-Pohjanmaalla tehdyt työvaiheet.

Työvaihe	Vuosi	Näytemäärä (kpl)
Lohkare- ja kallioperäkartoitus	2021	202
Varausalueella suoritettu iskuporanäytteenotto	2021	199
Kurjenneva, vanhojen iskuporamoreeninäytteiden uudelleenanalysointi	2021	498
Lohkare- ja kallioperäkartoitus	2022	168
Kurjenneva ja Pikkalantausta: iskuporanäytteenotto	2022	250
Pro gradu -opinnäytetyön näytteiden keräys	2022	25
Pikkalantausta: kallioperä-/lohkarenäytteenotto	2023	11
Pikkalantausta: pintamoreenin ioniuuttoa näytteenotto	2023	228
Pikkalantausta: pintamoreenin B-horisonttinäytteenotto	2023	532
Väitöskirjajulkaisun näytteiden keräys	2023	31
Pikkalantausta: maastogeofysiikka (magneettinen, sähkömag.)	2023	Yht. 196,5 linja-km

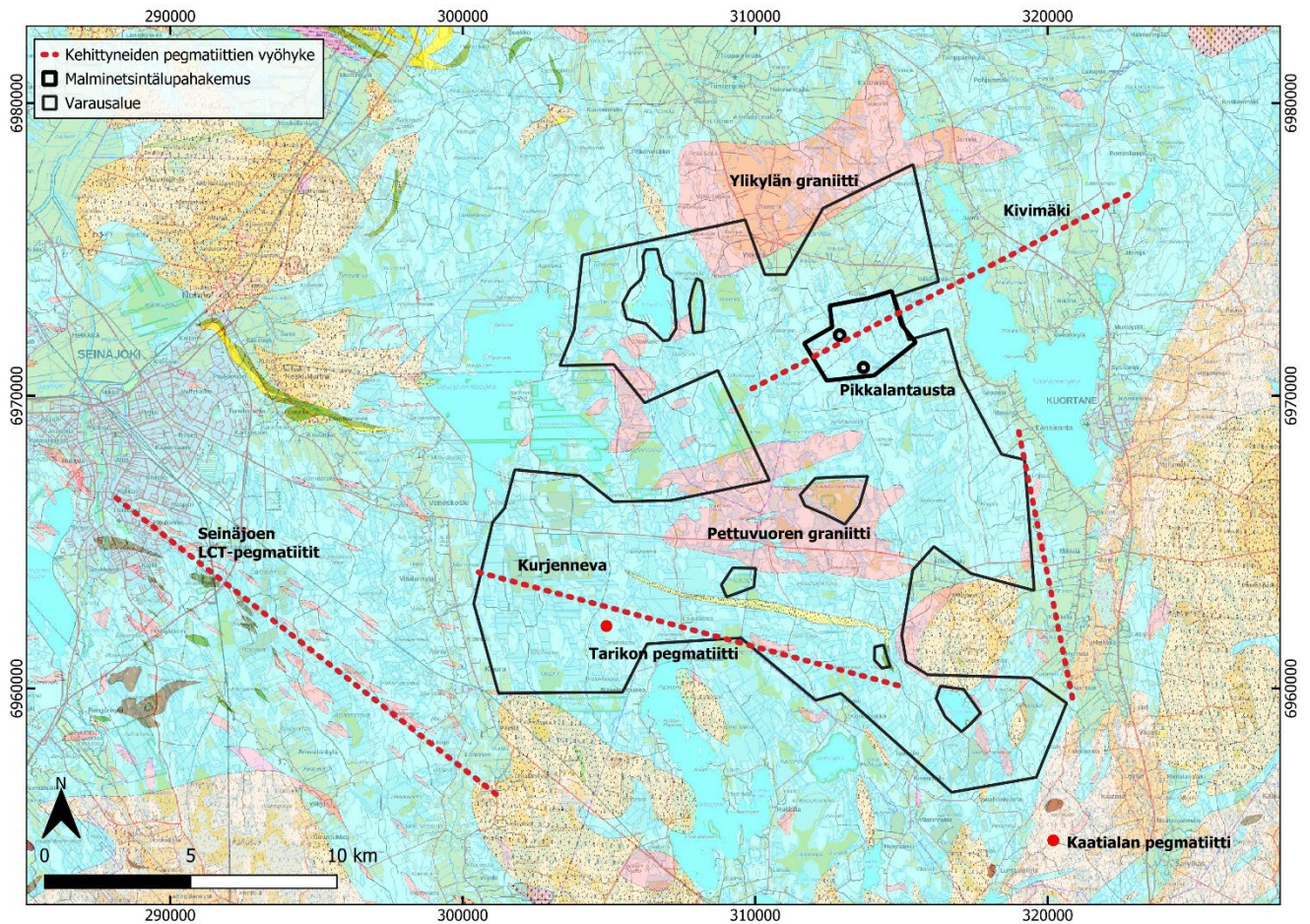
Käytännön syistä kallioperä- ja lohkarenäytteenotossa on ollut näytekokona noin 15×15–20×20 cm. Karkearakeisia näytteitä on pyritty ottamaan mahdollisimman suurikokoisina.

Analyysilaboratoriona on käytetty ALS Global. Analyysimenetelmä on ME-MS89L (ICP-MS), jossa uuttona natriumperoksidi ja oksidianalyysejä varten on käytetty menetelmää ME-ICP06 (ICP-AES).

Tässä raportissa ilmoitetut koordinaatit ovat järjestelmässä EUREF TM35FIN.

5.1 Kallioperäkartoitus ja lohkar-etsintä

Varausalueella esiintyy hyvin vaihtelevasti eri kehitysastetta olevia pegmatiitteja ja pegmatiittigraniitteja. Pegmatiiteiksi voidaan yleisesti luokitella alle 100 m leveitä juonimaisia karkearakenteisia yksiköitä. Laajemmat yli 100 m leveät intrusiot voidaan luokitella pegmatiittigraniitteihin, joskin tästä ei ole olemassa varsinaista yleistä käytäntöä. Kuvassa 6 on alueen kallioperäkartta ja tässä raportissa mainitut paikannimet.



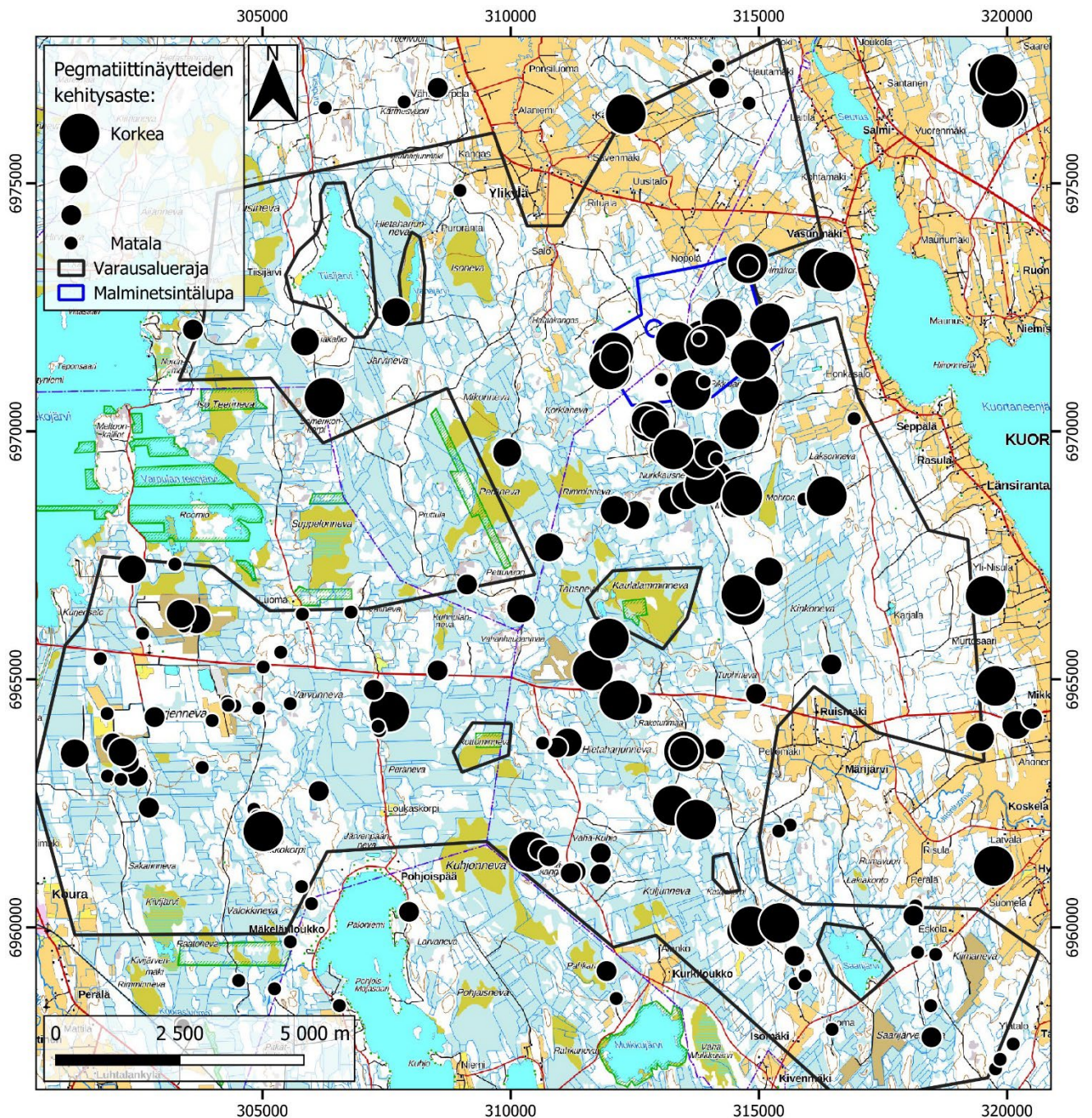
Kuva 6: Raportissa mainitut paikat kallioperäkartalla. Katkoviivoilla on hahmoteltu tutkimusalueella esiintyvät vyöhykkeet, joissa on tunnistettu kehittyneitä pegmatiitteja. Lisäksi Seinäjoen kaakkoispuolella esiintyy kehittyneitä pegmatiitteja sisältävä vyöhyke, joskin tähän ei kohdistunut maastokartoituksia tämän projektin puitteissa. Kallioperäkartta DigiKP © GTK ja pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

Esimerkki laajemmasta intrusiosta on varausalueen keskellä sijaitseva Pettuvuoren 7×4 km kokoinen pegmatiittigraniitti-intruusio. Tällä intrusiolla on huomattavia sisäisiä koostumusvaihteluja. Paikoin esiintyy punertavia kalimaasälpärikkaita osioita ja paikoin hyvin vaaleaa leukopegmatiittia. Pettuvuoren intruusio ei ole yhtenäinen, vaan sisältää paikoin suuria (> 100 m leveitä) sulkeumia kiilleliusketta. On mahdollista, että tämä intruusio on osin vaakatasoinen muodostuma, sillä

lentomagneettisessa aineistossa on nähtävissä vyöhykkeitä, jotka voisivat aiheutua graniitin alapuolella olevasta liuskeesta.

LCT-pegmatiittien kartoitus nojaa vahvasti näytteisiin ja geokemiallisiin analyyseihin. Laaja-alaisilla geokemiallisilla analyyseillä pyrittiin selvittämään alueella esiintyvien pegmatiittigraniittien kehitysastetta. Kehitysaste kuvaa alueen pegmatiittien LCT-potentiaalia. Kehitysastetta voidaan arvioida kiven Mg/Li-arvon perusteella. Esimerkiksi Selway et al. 2005 mukaan graniitti on fertiili Mg/Li-suhteen ollessa alle 10.

Varausalueella pegmatiittien kehitysaste kasvaa yleisesti itää kohti mentäessä. Pettuvuoren intruusion itäpuolella on huomattavasti enemmän kehittyneitä pegmatiitteja kuin intruusion länsipuolella. Myös itse Pettuvuoren intruusion itäpuoli on vastaavasti länsipuolta kehittyneempi. Tämän intruusion itäpuolen ja Kuortaneenjärven väliseltä alueelta on vain vähän paljastumia, joten pegmatiittien kehittyneisyysasteen jatkuvuus tällä alueella on epäselvää. Kuvan 7 kartassa on esitetty analysoitujen pegmatiittinäytteiden suhteellinen kehitysaste.



Kuva 7. Varausalueen ja sen ympäristön pegmatiittinäytteiden kehitysasteet. Kehitysaste pohjautuu näytteen Mg/Li-arvoon. Näytteet ovat sekä kallioperä- että lohkarenäytteitä. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

Kallioperäkartoitushavaintojen perusteella on tulkittu, että kehittyneet pegmatiitit keskittyvät vyöhykkeisiin (kuva 6). Näille vyöhykkeille kohdistuu siis myös LCT-pegmatiittien potentiaalisimmat esiintymisaluet. Yksi potentiaalinen LCT-pegmatiitin esiintymisvyöhyke kulkee Kurjennevan ja Tarikon spodumeenipegmatiittialueen halki kohti kaakkoa ja Kaatialan louhosaluetta. Tämä vyöhyke on mahdollisesti varsin kapea, alle 1 kilometriä, mutta yli 17 kilometriä pitkä.

Kaatialasta pohjoiseen on mahdollisesti toinen pohjoiseteläsuuntainen vyöhyke, joka seuraa liuskeisuuden suuntaan kohti pohjoista ja Kuortaneenjärven länsirantaa. Tällä alueella on tunnistettu kehittyneitä pegmatiittigraniitteja noin 10 kilometrin matkalla.

Kolmas ja tutkimusten mukaan kehittynein pegmatiittivyöhyke sijaitsee Pettuvuoren pegmatiittigraniitista pohjoiseen. Tälle alueelle sijoittuu Pikkalantaustan tutkimusalue. Potentiaalinen alue LCT-pegmatiiteille on laaja ja rajautuu lounaassa Pettuvuoren pegmatiittigraniittiin sekä pohjoisessa Ylikylän laajaan pegmatiittigraniittiin. Tämä 7 kilometriä leveä pegmatiittivyöhyke kulkee näiden välissä, liuskeisuuden suunnassa lounaasta koilliseen ainakin 15 kilometrin matkan. Paikoin paljastumien puute laajojen suo- ja peltoalueiden takia vaikeuttaa kallioperäkartoitusta. Vyöhykkeen keskiosassa on 1:200 000 kallioperäkartalla tulkittu menevän samansuuntainen siirrosvyöhyke.

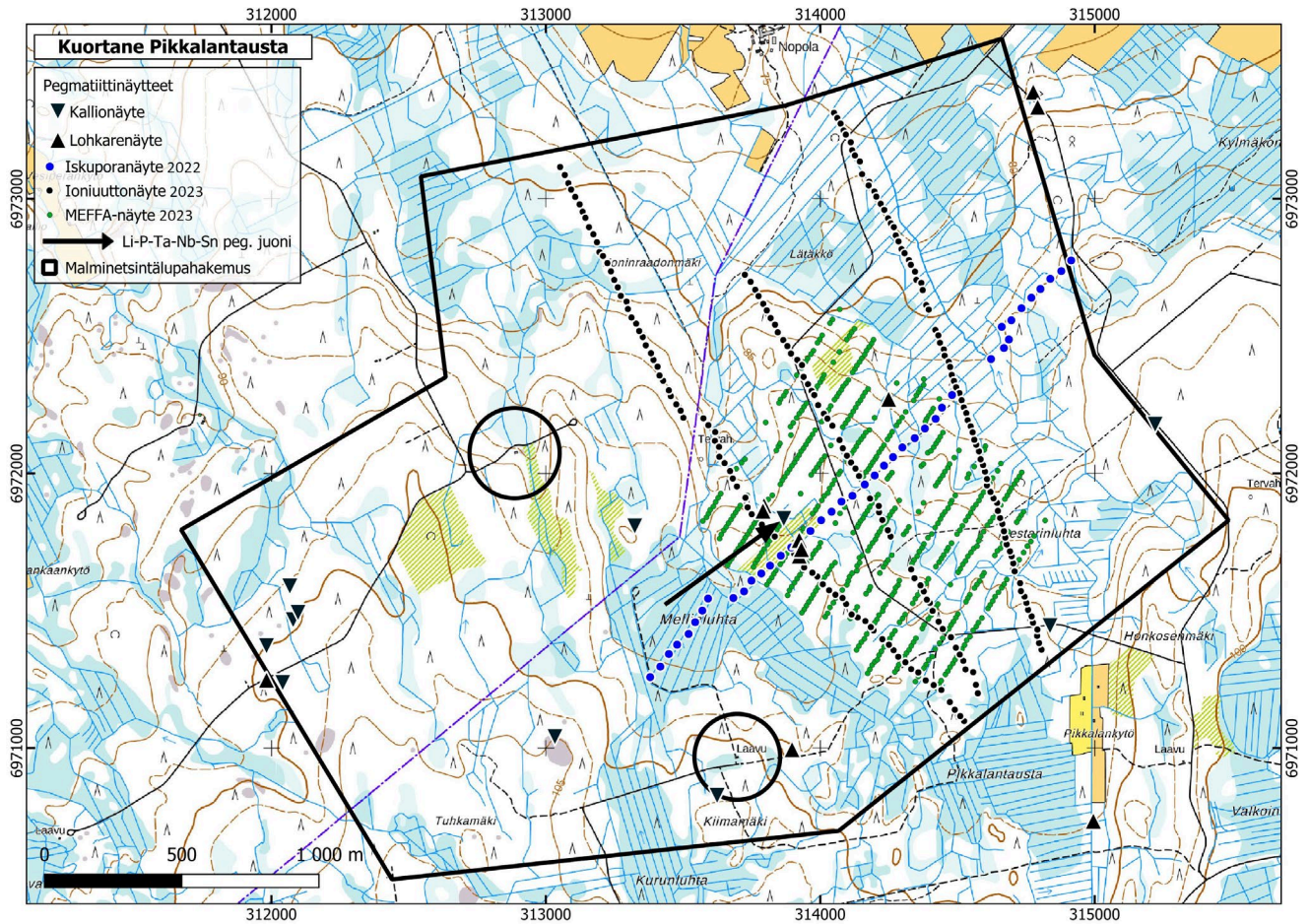
Ylikylän pegmatiittigraniitti-intruusion kehitysaste ylittää kahdeksan näytteen keskiarvon perusteella korkeintaan keskitasoon (Mg/Li-suhde 19,6), joskin vaihteluväli on laaja (Mg/Li 3,4–37,7).

Pettuvuoren pegmatiittigraniitti-intruusion 15 näytteen Mg/Li keskiarvo on 8,7 (vaihtelu Mg/Li 3,3–17,4), eli kokonaisuudessaan pegmatiitti on huomattavasti kehittyneempi kuin Ylikylän graniitti.

Pikkalantaustan kehittyneet pegmatiitit sijaitsevat siis noin 1–10 km säteellä kehittyneistä isäntägraniiteista kuten Ylikylän ja Petun pegmatiittigraniitit. Pegmatiittien vyöhykemallin (Černý 1991) mukaan tällä etäisyydellä isäntägraniiteista esiintyy todennäköisimmin LCT-pegmatiitteja.

5.2 Pikkalantaustan litiumfosfaattiesiintymä

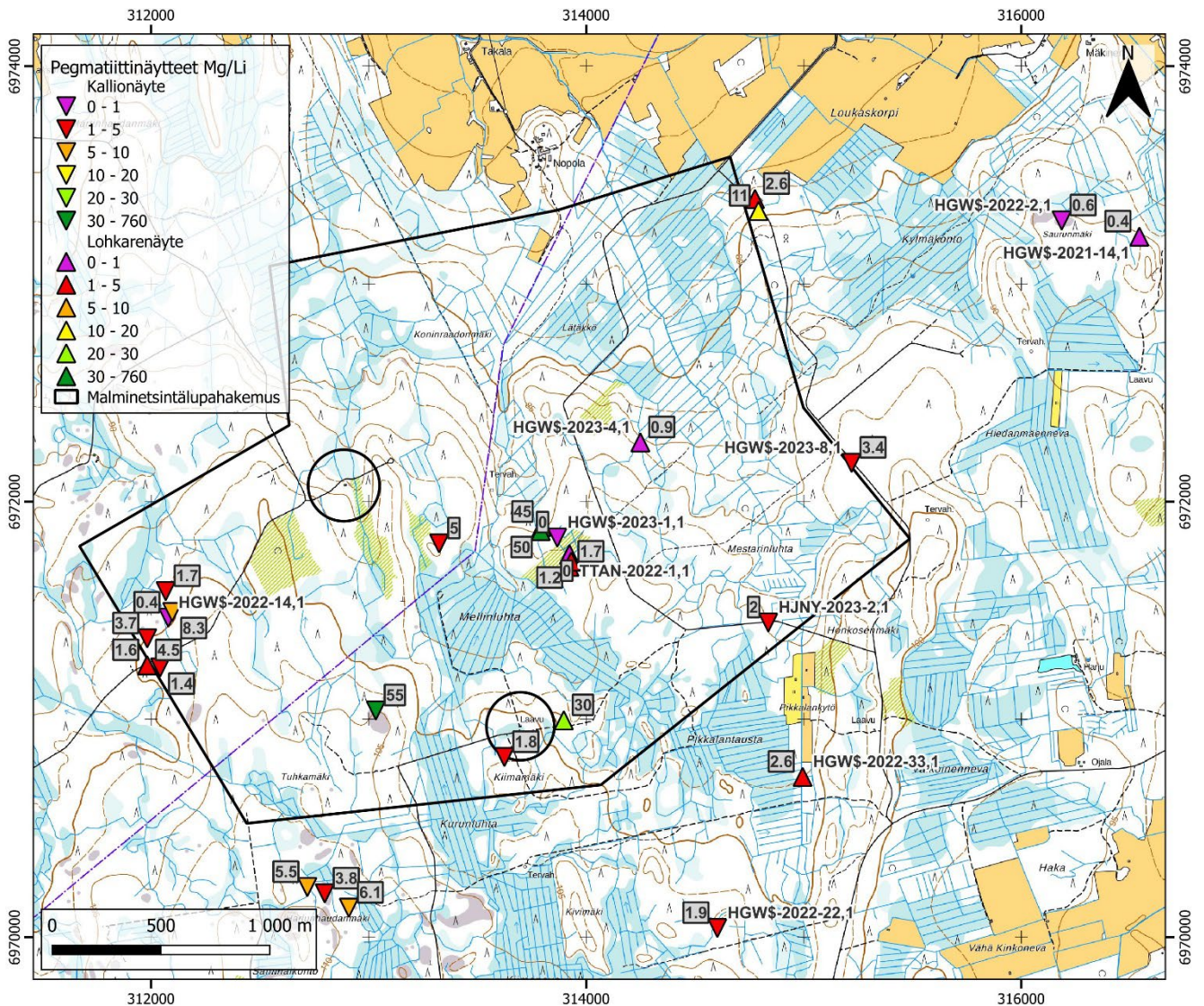
Kuortaneenjärven länsi- ja pohjoispuolelta löytyi maastokartoituksessa pitkälle kehittyneitä pegmatiittilohkareita sekä LCT-pegmatiittijuoni kalliossa paljastuneena. Tälle alueelle päätettiin tehdä jatkotutkimuksia. Tutkimusrauhan varmistamiseksi alueelle haettiin noin 6 km² mittainen malminetsintälupa, varauksen rauettua tammikuussa 2023. Pikkalantaustan malminetsintälupahakemusalueella tehtiin geofysiikan maastomittauksia, tarkempaa kallioperä- ja lohkekartoitusta sekä moreenigeokemiallista tutkimusta (kuva 8).



Kuva 8. Pikkalantaustan näytteenotot kartalla. Nuoli osoittaa Mellinluhdan LCT-juonen esiintymispaikan. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

Pikkalantaustan alueella sijaitsevalta Mellinluhdalta löydettiin alkuvaiheen kartoituksessa muutamia Li-Ta-Nb-Sn-pitoisia kulmikkaita pegmatiittilohkareita. Näiden kulmikkuus indikoi paikallisesta alkuperästä. Noin 100 metriä lohcareiden löytöpaikasta viimeisimmän jäätikön kulkusuuntaan nähden löytyi metsäojan pohjalta noin 2,5 metriä leveä paljastunut pegmatiittijuoni. Lohkareiden ja pegmatiittipaljastumanäytteen analyysitulokset todentavat näiden kuuluvan LCT-pegmatiittisysteemiin (taulukko 2). Näytteissä on koholla hyvin pitkälle kehittyneen LCT-pegmatiitin tyyppilliset alkuaineet (Be, Cs, Ga, Ge, Li, Nb, P, Rb, Sn, Ta, Tl).

Pikkalantaustan pegmatiittinäytteet on esitetty kartalla kuvassa 9 ja muutama valikoitu näyte koostumuksineen taulukossa 2. Yli 50 ylittävä Mg/Li-suhde kuvaa kehittymättömiä, 30–50 huonosti kehittyneitä, 10–30 keskitason kehitysasteen, alle 10 kehittyneitä ja alle 5 hyvin kehittyneitä pegmatiitteja. Mg/Li-suhdeluvultaan alle 1 olevat näytteet ovat erittäin kehittyneitä: yleensä nämä ovat kehitysasteen lopputuotteita kuten spodumeenipegmatiitteja.



Kuva 9. Pikkalantaustan pegmatiitinäytteiden Mg/Li-arvot. Näytetunnuksellisten näytteiden tarkempi koostumus on esitetty taulukossa 2. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

Lohkarenäyte TTAN-2022-1.1 (kuva 10) arvioitiin LIBS-tutkimuksen perusteella koostuvan suurilta osin amblygoniitti-montebrasiitti-sarjan litiumfosfaatista. Laboratorion analyysimenetelmässä litiumin yläraja 25 000 ppm ylittyi. Fosforia (P_2O_5) näytteessä on 27,7 % ja huomattavia määriä tantaalia (971 ppm), niobiumia (215 ppm) ja tinaa (2030 ppm).

Taulukko 2. Tutkimusalueelta kerättyjen valikoitujen näytteiden analyysituloksia. Arvot ovat ppm, ellei toisin mainita. Taulukon kolme alinta näytettä ovat vertailuarvoina eri kehitysasteiden pegmatiiteista. Pikkalantaustan näytteiden paikat näkyvät edellisellä kartalla, kuva 9.

Näytetunnus	X	Y	Sijainti	Tyyppi	P ₂ O ₅ %	Be	Cs	Li	Nb	Rb	Sn	Ta	Mg/Li	K/Rb
TTAN-2022-1.1	313921	6971756	Pikkalantausta Mellinluhta	Lohkare	27,7	18	59	>25000	215	251	2030	971	0,0	20
HGW\$-2023-1.1	313867	6971835	Pikkalantausta Mellinluhta LCT-juoni	Kallio	1,54	143	113	1200	217	1005	280	203	0,0	21
HGW\$-2022-2.1	316186	6973291	Pikkalantausta Saurunmäki	Kallio	0,41	177	25	82	63	597	60	32	0,6	40
HGW\$-2021-14.1	316543	6973217	Pikkalantausta Saurunmäki	Lohkare	0,33	260	19	127	63	726	45	32	0,4	35
HGW\$-2022-14.1	312079	6971467	Pikkalantausta länsiosa	Kallio	0,72	320	16	131	29	438	49	9	0,4	34
HGW\$-2023-4.1	314249	6972272	Pikkalantausta	Lohkare	0,85	155	27	220	78	890	17	47	0,9	34
HGW\$-2023-8.1	315220	6972178	Pikkalantausta	Kallio	0,56	280	11	59	23	436	30	5	3,4	29
HJNY-2023-2.1	314837	6971445	Pikkalantausta	Kallio	0,34	73	15	25	21	506	29	5	2,0	56
HGW\$-2022-22.1	314603	6970042	Pikkalantausta	Kallio	0,51	193	48	107	42	1095	177	30	1,9	29
HGW\$-2022-33.1	314995	6970736	Pikkalantausta	Lohkare	0,78	143	176	19	33	1735	53	22	2,6	33
MASI-2021-8.1	319801	6977202	Kivimäki	Kallio	0,3	250	73	52	67	1005	115	44	1,0	29
HJNY-2022-5.1	352279	6982721	Soini, Jokivarsi, Uurinmäenkallio	Lohkare	0,09	176	38	7430	44	335	29	16	0,0	43
TTAN-2021-17.1	304924	6964420	Kurjenneva, tyhjä pegmatiitti	Kallio	0,12	3	2	21	12	101	6	1	62	275
MASI-2021-90.1	302211	6963503	Kurjenneva, keskitason pegmatiitti	Kallio	0,26	6	28	31	7	151	19	2	13	127
TTAN-2021-1.2	305017	6961936	Tarikko, spodumeenipegmatiitti	Kallio	0,66	98	151	410	51	748	179	10	0,5	27



Kuva 10. Noin puolen metrin kokoinen LCT-pegmatiittilohkare Mellinluhdalta. Näyte TTAN-2022-1.1 on irrotettu tästä lohkareesta. Kuva: Henrik Nygård.

Näytteestä TTAN-2022-1.1 (kuva 10) tunnistettu litiumfosfaattimineraali on väriltään vaaleaa ja siinä on hieman vaaleanpunainen sävy. Mineraalin voi tuoreelta pinnalta sekoittaa helposti vaaleaan maasälpään, joskin rapautumispinta on beige ja hieman rosoinen. Paljastumanäyte HGWŞ-2023-1.1 (kuva 11) on geokemialliselta koostumukseltaan ja mineralogialtaan samankaltainen kuin lohkarie TTAN-2022-1.1. Näyte HGWŞ-2023-1.1 sisälsi 1 200 ppm Li, 1,54 % P₂O₅, 203 ppm Ta, 217 ppm Nb ja 280 ppm Sn. Analysoitu näyte ei sisältänyt merkittävää määrää tunnistettua litiummineraalia. Mellinluhdan juonen kontaktit sivukiveen eivät ole täysin selvillä metsäojan pohjan moreenipeitteen takia. Juoni vaikuttaisi olevan itä-länsi-suuntainen ja sen kaade on pysty. Tämä sopisi alueen vallitsevan liuskeisuuden kulkuun ja alueella olevien muiden pegmatiittijuonten suuntiin.



Kuva 11. LCT-pegmatiittipaljastuma, josta näyte HGWŞ-2023-1.1 on irrotettu. Kuva: Henrik Nygård.

Pikkalantaustan malminetsintälupahakemusalueelta on analysoitu muutama muukin pegmatiittijuoni ja lohcare (taulukko 2 ja kartta kuva 9). Näytteet HGW\$-2023-8.1 ja HJNY-2023-2.1 ovat peräisin noin 2–3 metrin levyisistä juonista metsäautoteiden ojista.

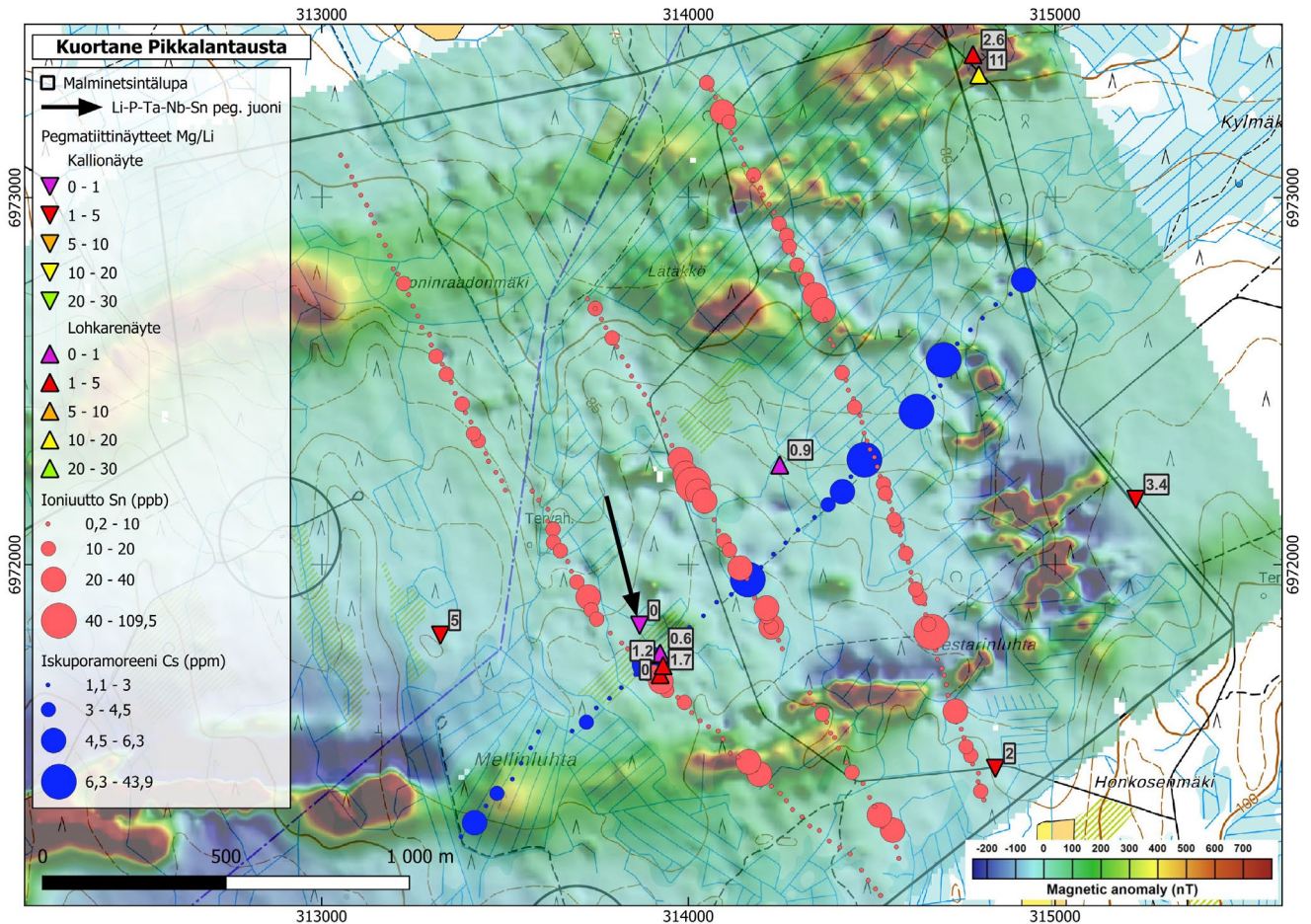
Saurunmäestä, noin 3 kilometriä Mellinluhdan juonesta koilliseen, kerättiin kaksi hyvin kehittynyttä pegmatiittinäytettä (HGW\$-2021-14.1 ja HGW\$-2022-2.1). Myös noin 1,5 kilometriä Mellinluhdan juonesta kaakkoon otetut näytteet (HGW\$2022-22.2 ja HGW\$2022-33.1) sekä Pikkalantaustan malminetsintälupahakemusalueen länsiosasta otettu pegmatiittinäyte (HGW\$-2022-14.1) ovat hyvin kehittyneitä pegmatiitteja. Lohkarenäyte HGW\$-2023-4.1 on tyypiltään LCT-pegmatiittia ja alkuainekoostumukseltaan vastaavanlainen kuin muut tutkimuksessa analysoidut LCT-pegmatiittinäytteet. Lohcare sijaitsee noin 500 metriä Mellinluhdan juonesta koilliseen.

Edellä luetellut näytteet Pikkalantaustan alueelta sekä sen ulkopuolelta osoittavat, että LCT-pegmatiittipotentialinen vyöhyke on usean kilometrin pituinen.

Pikkalantaustan alueella tehtiin kallioperäkartoituksen lisäksi maastogeofysiikan mittauksia sekä ioniuutto-, iskupora- ja moreenin B-horisontin näytteenottoa. Maastogeofysiikan tulokset ovat käsitelty tarkemmin raportin kohdassa 5.2.1 ja moreenin ioniuuton tulokset kohdassa 6.2. Moreenin B-horisonttinäytteenoton (nk. MEFFA-näytteenotto) tuloksista julkaistaan myöhemmin erillinen GTK:n työraportti.

Pikkalantaustan kaikissa moreeninäytetuloksissa havaittiin kohonneita pitoisuuksia alkuaineista, jotka liittyvät LCT-pegmatiitteihin. Kartalla (kuva 12) on esitetty ioniuuton tinan pitoisuudet, iskuporalinjan cesiumpitoisuudet sekä alueelta otettujen kallio- ja lohcarenäytteiden Mg/Li-arvot. Tina (Sn) on valittu osoittamaan LCT-pegmatiitteja indikoivia alueita, koska alueen LCT-pegmatiittinäytteissä tina on korkealla, kun taas alueen kiilleliuskeissa tinaa esiintyy vain vähän. Projektin aikana analysoitujen kiilleliuskenäytteiden on havaittu sisältävän tinaa alle 3 ppm. Maastogeofysiikan magneettiset vasteet ovat todennäköisesti peräisin magneettikiisupitoisista grafiittiliuskekerrostumista. Grafiittiliusketta ei ole analysoitu tinan suhteen, mutta yleisesti mustaliuskeissa tinaa esiintyy hyvin vähän. Esimerkiksi Raisjoen projektissa Kruunupyystä analysoitujen mustaliuskenäytteiden havaittiin sisältävän alle 3 ppm tinaa (Kuusela et al. 2024, kairasydänanalyysit). Näin ollen voidaan päätellä, että moreenin tina-anomaliat liittyvät hyvin todennäköisesti pegmatiittijuoniin.

Iskuporamoreenin Cs-pitoisuus on joissakin näytepisteissä moninkertainen taustalukemiin nähden. Tämäkin on viite pegmatiittijuonista, joista moreenin cesium hyvin todennäköisesti on lähtöisin.



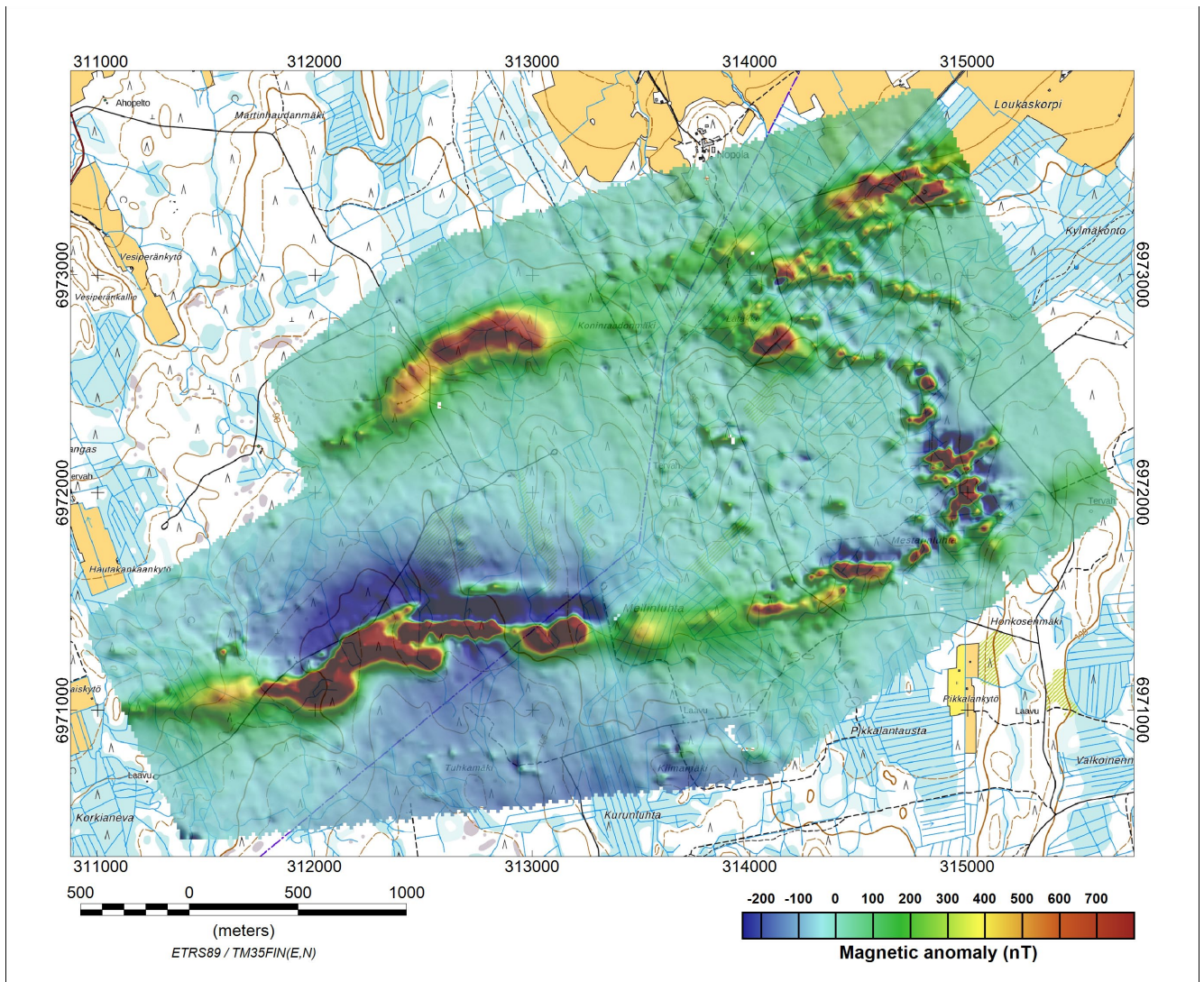
Kuva 12. Pikkalantaustan moreenin ioniuutonäytteiden tinapitoisuudet, iskuporalinjan cesiumpitoisuudet sekä valikoitujen vasaranäytteiden Mg/Li-suhteet. Taustalla maastomagneettinen kartta. Nuoli osoittaa Mellinluhdan LCT-pegmatiittijuonen paikkaa ja samalla myös viimeisimmän jäätikön yleistä kulkusuuntaa. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

5.2.1 Pikkalantausta maastogeofysiikka

Pikkalantaustan alueelle tehtiin systemaattisia maanpintamittauksia magneettisella ja sähkömagneettisella (EM) menetelmällä. Laitteistoina olivat Overhouser-magnetometri ja GEM-2. Mittausalueen pinta-ala oli 9,8 km². Mittauslinjojen yhteispituus oli 196,5 km ja linjaväli 50 m. Molemmilla menetelmillä mittaus oli jatkuvaa. Magneettiset tulokset käsiteltiin metrin pisteväleiksi ja EM 2 -mittaukset kahden metrin välein.

Magneettisen mittauksen anomaliakartta on esitetty kuvassa 13. Mittauksessa esiintyi selkeitä tasoeroja ja kohinaa, ja laatuvirheitä on pyritty korjaamaan jälkikäsitteilyllä. Geologiset kulkusuunnat näkyvät kuitenkin selkeästi. Maastogeofysiikan magneettiset vasteet ovat todennäköisesti peräisin magneettikiisupitoisista grafiittiliuskekerrostumista, jotka kulkevat pääosin kallioperän liuskeisuuden myötä.

Sähkömagneettisessa mittauksessa esiintyi merkittäviä laatuongelmia. Tuloksia ei esitetä tässä raportissa.



Kuva 13. Pikkalantaustan magneettinen anomaliakartta. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024

5.3 Kivimäen pegmatiittijuonet

Salmen kylän Kivimäellä esiintyy kaksi pitkää samansuuntaista 0,5–1 metriä leveää pegmatiittijuonta. Molemmat sijaitsevat samalla laajalla avohakkuulla, jossa ohut maanpeite on muokattu. Pohjoisempi juoni on paremmin paljastunut ja sitä voi seurata ainakin 200 metriä lounas-koillis-suunnassa. Juonten etäisyys toisistaan on yli 600 metriä. Juonista on analysoitu neljä näytettä, joista näytteen MASI-2021-8.1 koostumus on esitetty taulukossa 2. Molemmat juonet ovat hyvin kehittyneitä pegmatiitteja Mg/Li-suhteen ollessa noin 1. Juonten kulku myötäilee liuskeisuutta. Juonet sijaitsevat varausalueen ulkopuolella Pikkalantaustasta koilliseen, mutta ovat todennäköisesti osa samaa kehittyneiden pegmatiittien vyöhykettä. Näitä pegmatiittijuonia tutkittiin vain kokokivikemiallisella analytiikalla.

Kivimäellä tavattiin myös pari kulkimikasta pegmatiittilohkareta, joissa on sormenkokoisia beigen värisiä beryllikiteitä. Nämä sijaitsevat noin 150 metriä pohjoisemman Kivimäen pegmatiittijuonen pohjoispuolella. Lohkareista ei analysoitu näytteitä.

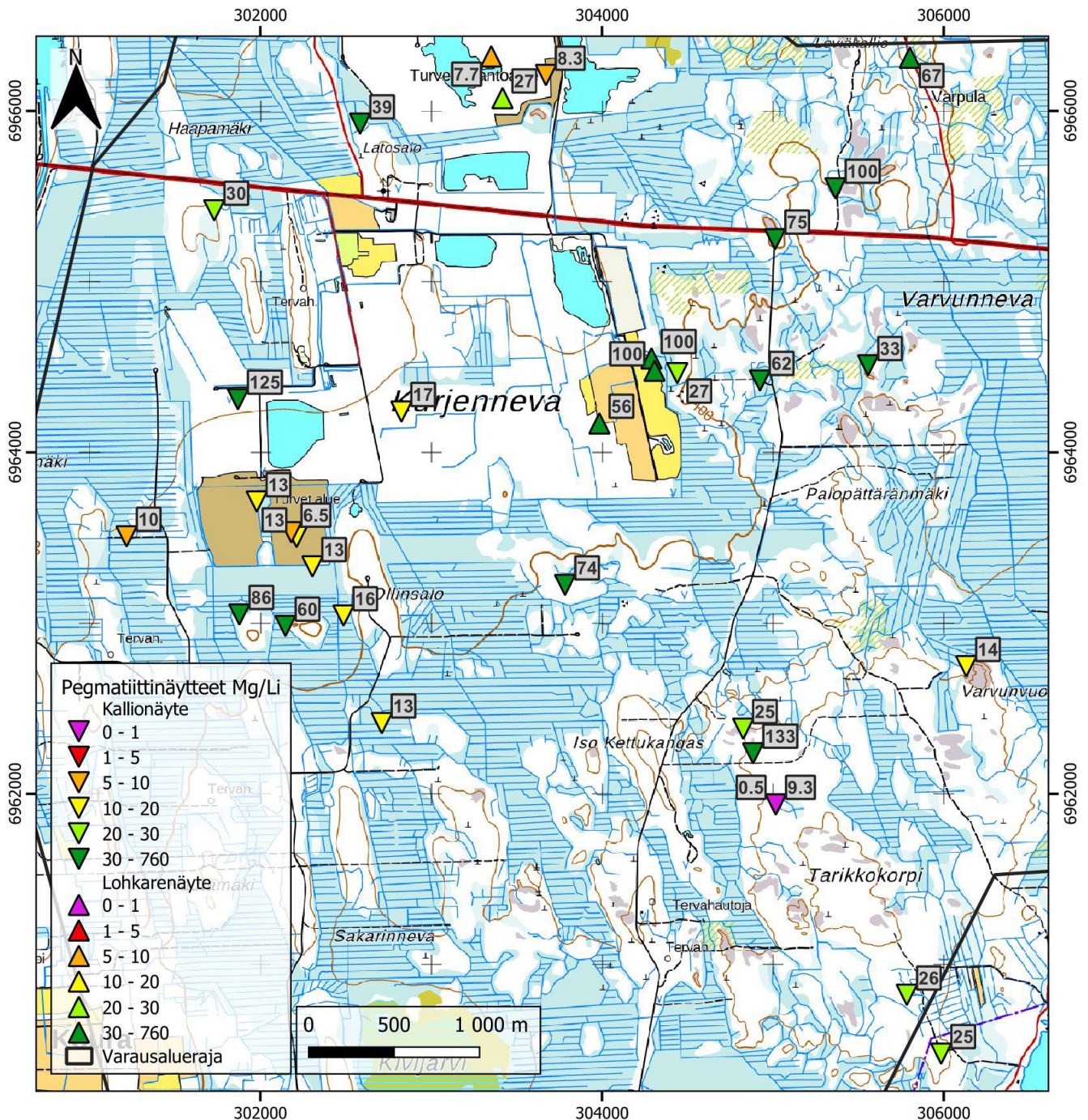
5.4 Kurjenneva

Kurjennevan alueen uudelleenanalysoidussa iskuporamoreeniaineistossa tuli esiin LCT-pegmatiitteja indikoivia alkuaineanomalioita (käsitelty osiossa 6.3). Näille anomaalisille kohdille pyrittiin tekemään tarkentavaa kallioperäkartoitusta. Alueelta aiemmin tunnistettu Tarikonkorven spodumeenipegmatiitti on osoitus alueen litiummineraalipotentialista.

Tarikkokorven itäpuolen ympäristö on paikoin hyvin paljastunut, ja moreenia on yleisesti 0,5–1 metriä. Paljastumien välissä on laajoja turvesoita. Vallitseva kivilaji on kiilleliuske, johon on tunkeutunut pegmatiittigraniittia ja pegmatiittijuonia. Juonet ovat usein pystyjä ja niiden kulku on liusketason mukainen. Alue Tarikkokorvesta länteen kohti Viitalankylän/Mäntymaan kanavaa on hyvin soinen, ja paljastumia on vain harvakseltaan. Sama koskee itse Kurjennevan turvetuotantoaluetta.

Käytännössä kartoitustyön suunnittelu suoritettiin laserkeilausaineistoa hyödyntäen. Aineistosta poimittiin mahdolliset kalliopaljastumapaikat. Valtaosa tällä tavalla tunnistetuista mahdollisista paljastumista on tarkistettu maastossa ja löydetyistä pegmatiiteista on otettu näyte kehitysasteen määrittämistä varten (kuva 14).

Analysoiduista näytteistä ei löytynyt Mg/Li-suhteluvun perusteella erityisen hyvin kehittyneitä pegmatiitteja. Poikkeuksena tähän on Tarikon spodumeenipegmatiitti (kartan näyte, jossa Mg/Li-arvo on 0,5). Kehitystasoltaan keskitason näytteitä löytyi erityisesti Kurjennevan turvetuotantoalueen etelä- ja lounaispuolelta. On huomioitavaa, että maapeitteiden takia suuria kallioperäalueita jää piiloon: näistä ei kilometrin tai kahden matkalta saatu näytteitä. Kurjennevan ja Varvunnevan väliin jäävällä alueella on runsaasti leukopegmatiitteja, joiden näytteitä makroskooppisesti tarkastelemalla voisi uskoa hyvin kehittyneiksi pegmatiiteiksi, mutta analyysit osoittavat toisin.



Kuva 14. Kurjennevan alueen analysoitujen pegmatiittinäytteiden Mg/Li-arvot. Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024

Kurjennevan alueella tehtiin vuonna 2021 ja 2022 iskuporamoreeninäytteenottolinjoja (käsitelty osiossa 6.1). Näistä paljastui useampia kohtia, jotka ovat anomaalisia LCT-pegmatiittia indikoivien alkuaineiden suhteen. Näytteenottolinjojen suunnittelua ohjasi tutkimuksessa löydetty spodumeenilohkare.

Spodumeenilohkare löytyi Iso Kettukangas -nimiseltä (X=304432, Y=6961895) alueelta. Lohkaren löytöpaikka sijoittuu noin 500 metriä Tarikon spodumeenipegmatiitin länsipuolelle. Lohkare on

kooltaan noin 15×15 cm, ja siinä esiintyy 10 cm pituisia vaaleanvihreitä spodumeenikiteitä ja kvartsia (kuva 15). Löytöpaikalla on matalia drumliineja, joiden akselitaso on viimeisimmän jäätikön kulkusuunnan mukainen (suunta noin 340). Lohkareen lähtöpaikka on moreeniainestosta päätellen Kurjennevan suunnalta. Juuri tällä alueelta paljastumia on vähän. Tämä lohkar viittaa siihen, että alueella on mahdollisesti toistaiseksi tuntematon spodumeenipegmatiittijuoni, ja sen kvartsirikas ydinosa on suhteellisen spodumeenirikas. Lohkareta ei ole analysoitu laboratoriossa.



Kuva 15. Iso Kettukankaan spodumeenilohkare, jossa on yli 10 cm pituisia spodumeenikiteitä. Lohkareen koko on noin 15 cm. Kuva: Jukka Kaunismäki.

Kallioperäkartoituksessa Kurjennevan turvetuotantoalueelta löytyi pegmatiittipaljastuma (X 302180, Y 6963531), jossa kallionpinnassa havaittiin 1–4 cm suuruisia beigenkellertäviä, pehmeiksi rapautuneita kuutiollisia mineraaleja (kuva 16). Laboratorion kokokivianalyysitulokset näistä mineraaleista antoi hivenalkuainepitoisuuksiksi 3 400 ppm Cs, 4 700 ppm Be ja 900 ppm Li. XRD-faasitulokinnan mukaan pääkomponentit ovat muskoviittirakenteinen kiille ja kloriittirakenteinen faasi, joka voisi olla klinokloori tai mahdollisesti cookeiitti spodumeenin muuttumistuloksena. Sivukomponenttina ovat berylli ja kvartsi (henkilökohtainen tiedonanto Pasi Heikkilältä). Pegmatiitti on kokokivianalyysien mukaan kehittyneisyysasteeltaan keskitasoa.



Kuva 16. Beigenkeltaisia mineraaleja kvartsin ja turmaliinin yhteydessä Kurjennevilla. Vasarapään leveys on noin 10 cm. Kuva: Henrik Nygård.

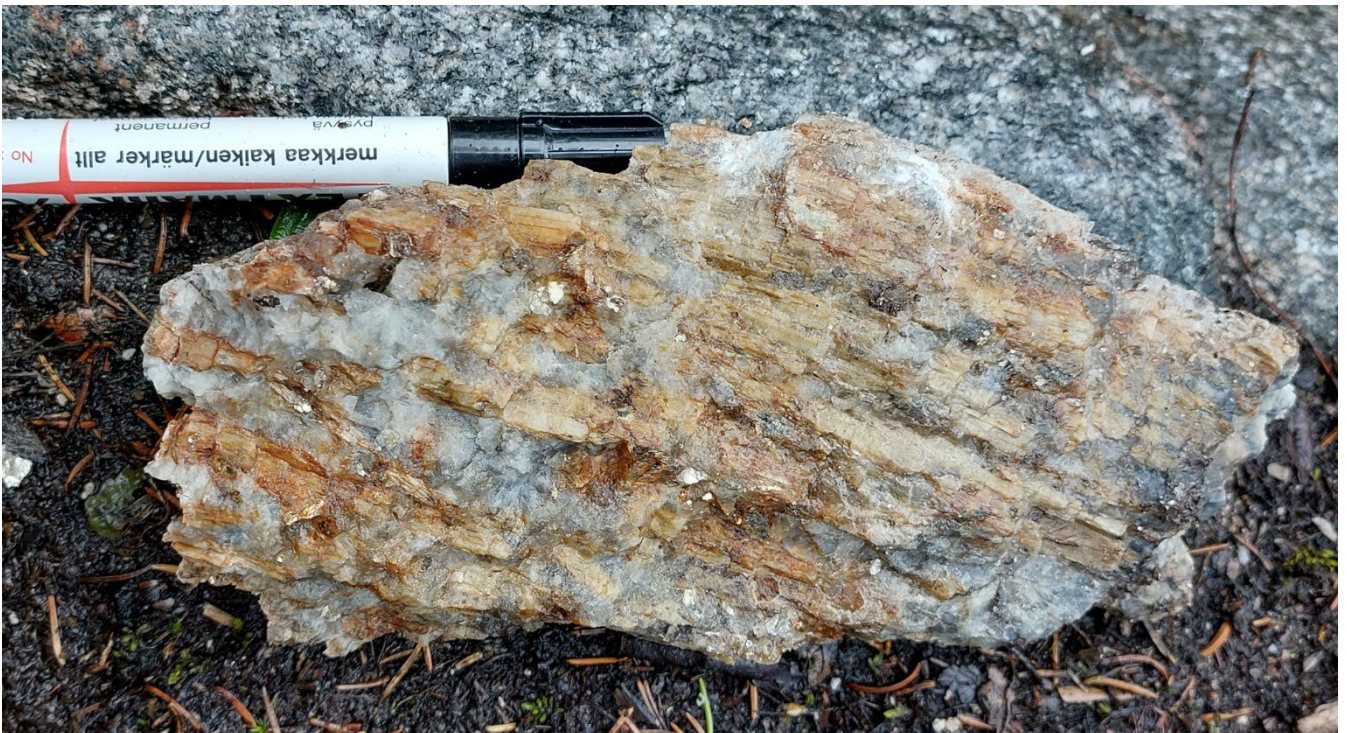
5.5 Spodumeenilohkare, Jokivarsi, Soini

Alueellisen pegmatiittinäytteenoton yhteydessä löytyi spodumeenipegmatiittilohkare Soinin Jokivarresta. Tarkempi löytöpaikka on Uurinmäenkallio (näyte HJNY-2022-5.1, koordinaatit: X=352279, Y=6982721). Löytöpaikka on tämän projektin pääasiallisen tutkimusalueen ulkopuolella, mutta raportoidaan tässä. Lohkare on kooltaan 0,5×0,5 metriä ja kohtalaisen pyörästynyt. Sormenpään kokoiset spodumeenikiteet ovat pitkämallisia ja vaalean beigen värisiä (kuva 17). Analysoidussa näytteessä on 7 400 ppm litiumia. Näytteen fosforipitoisuus on matala, ja näyte poikkeaa siltä osin esimerkiksi Kuortaneen Pikkalantaustan LCT-mineraalisysteemin näytteistä (Taulukko 2).

Etsinnöistä huolimatta lähialueen avohakkuualueilta ei löytynyt vastaavia lohkareita. Pegmatiittilohkareita esiintyy kuitenkin alueella ja joissakin on kellertävää muskoviittia, mikä indikoi pitkälle kehittyntä pegmatiittisulaa.

Uurinmäenkallion lohkareesta noin 100 metriä etelään ja 500 metriä lounaaseen esiintyy kaksi yli 5 metriä leveää pegmatiittijuonta dioriitissa. Toisessa esiintyy beryylliä. Juonet kartoitettiin tutkimuskaivantojen avulla 1960-luvulla. Silloin oltiin kiinnostuneita maasälpämineraalien hyödyntämisestä teollisuustuotannossa (Saikkonen 1964).

Viimeisimmän jäätikön kulkusuunta on alueella luoteesta kaakkoon, joten spodumeenilohkare ei suurella todennäköisyydellä liity näihin tunnettuihin pegmatiittijuoniin. Alueella on laajoja hiekkakerrostumia ja suoalueita, mikä tekee kallioperäkartoituksesta haastavaa.



Kuva 17. Soinin Jokivarren lohkareesta irrotettu näyte. Spodumeenit ovat vaalean beigen värisiä. Kuva: Henrik Nygård.

5.6 Kenttäkurssi

Seinäjoen ja Kuortaneen alueella järjestettiin toukokuussa 2022 GTK:n kallioperäkartoituskurssi. Kurssille osallistui yhteensä 22 opiskelijaa Suomessa geologiaa opettavista yliopistoista. Kurssilla kallioperäkartoitusohjelmat kohdistettiin huonommin kartoitetuille alueille Kuortaneen länsipuolelle, Keski-Suomen granitoidikompleksin ja Pohjanmaan liuskevyöhykkeen kontaktin alueelle. Lisätietoa on kurssin loppuraportissa (Mikkola & Nygård 2022).

5.7 Opinnäytetyöt

Kuortaneen kartoitusprojektin puitteissa GTK on tehnyt tutkimusyhteistyötä. Andy Tiala pro gradu -tutkielmassaan *”Geokemisk och petrografisk variation av glimmerskiffer i förhållande till pegmatiter i Österbottens skifferbälte, Seinäjoki- och Kuortaneregionen, Finland”* tutkinut pegmatiittien sivukiven koostumusvaihteluita verrattuna pegmatiittien kehittymisasteeseen Seinäjoen ja Kuortaneen seudulla (Tiala 2023). Tutkimuksessa analysoitiin 25 kiilleliuskenäytettä viideltä eri alueelta, jotka näyttävät vaihtelua sivukiven geokemiassa eri alueiden välillä.

Oliver Teräs (Åbo Akademi) on vuonna 2023 aloittanut artikkeliväitöskirjansa yhtä osajulkaisua, jossa tarkoituksena on selvittää pegmatiittien syntyä ja pegmatiittien alkuperää. Kenttäkaudella 2023 kerättiin tutkimusta varten 31 näytettä pääosin kiilleliuskeista Seinäjoki-Kuortane-väliseltä alueelta.

6 MOREENINÄYTTEET

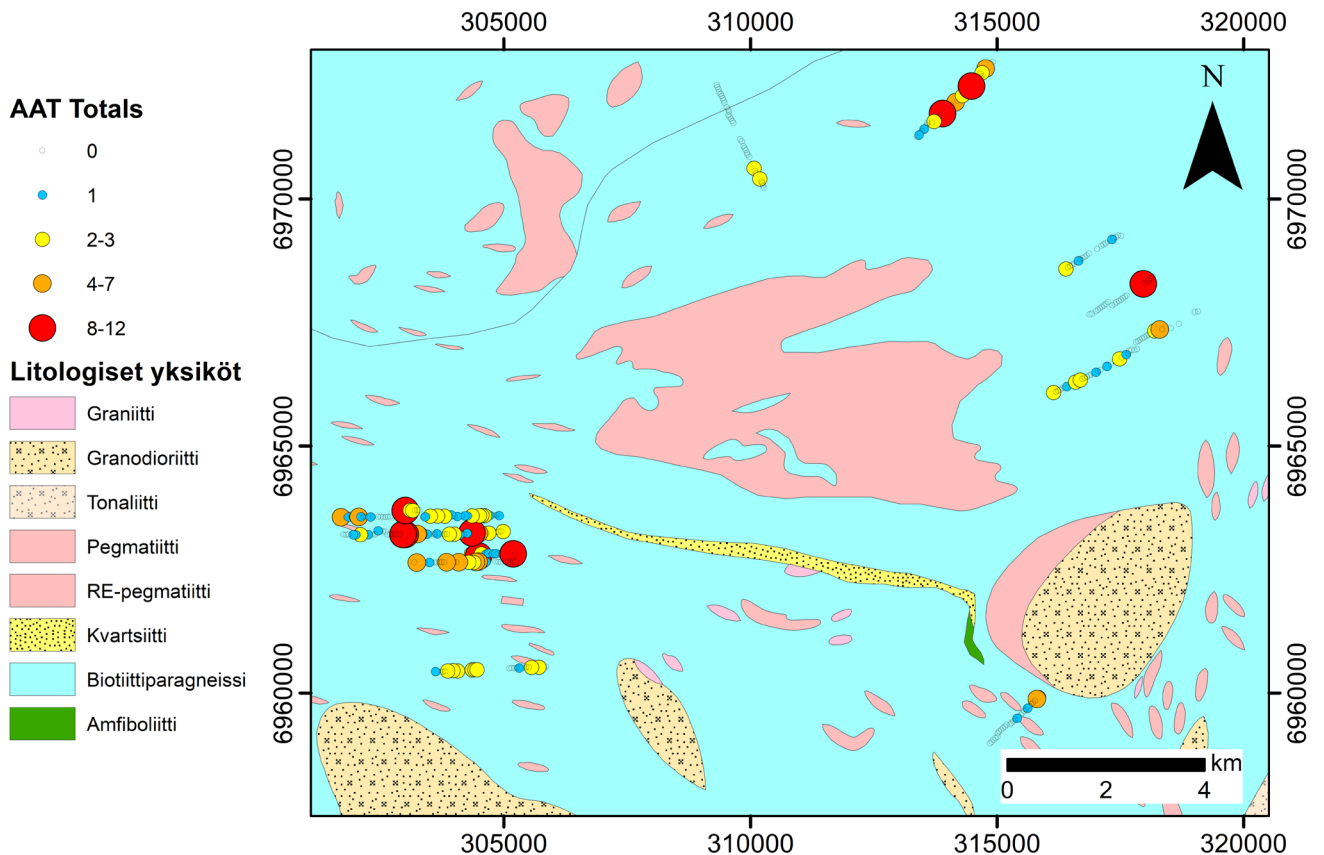
6.1 Iskuporanäytteet

Varausalueella tehtiin iskuporanäytteenottoa vuosina 2021 ja 2022. Näistä on vastaavasti analysoitu 199 kpl ja 250 kpl moreeninäytteitä. Iskuporanäytteenotosta ja tuloksista on raportoitu tarkemmin GTK:n erillisessä työraportissa (Romppanen & Hulki 2024, valmisteilla).

Iskuporalinjoja tehtiin useampaan paikkaan, jotka kallioperän geologian ja rakenteiden sekä viimeisimmän jäätikön kulkusuunnan perusteella nähtiin otollisiksi tutkia moreenista LCT-pegmatiitteja indikoivia alkuaineita. Kurjennevan alueen näytteenottoa ohjasi osin uudelleenanalysoituissa moreeninäytteissä esiin tulleet anomaliat.

Kuvassa 18 on esitetty iskuporanäytteiden litiumin ja sen seuralaisalkuaineiden (Be, Cs, Ga, Nb, Rb, Sn, Ta, Tl) yhteenlasketut AAT-anomaliat. Voidaan todeta, että Kurjennevan alueella esiintyy monta hyvin anomaalista pistettä: tämä tukee vanhojen uudelleenanalysoitujen näytteiden tuloksia.

Toinen merkittävä anomaalinen iskuporamoreeninilinja kulkee Pikkalantaustan yli lounaasta koilliseen (pohjois–koillisin linja kartalla). Tämä tukee Pikkalantaustan alueen moreenin ioniuutossa esiin tulleita LCT-pegmatiittia indikoivia alkuaineenanomaliaita. On huomioitava, että Pikkalantaustan iskuporalinjan paikkaa suunniteltaessa tämän alueen kohonnut litiumpotentiaali ei ollut vielä täysin varmistunut. Pikkalantaustan alueelle oli suunniteltu useampia iskuporalinjoja, mutta näitä ei päästy toteuttamaan projektin tutkimusajan puitteissa.



Kuva 18. Vuoden 2021 ja 2022 iskuporamoreeninäytteiden litiumin ja sen seuralaisalkuaineiden (Be, Cs, Ga, Nb, Rb, Sn, Ta, Tl) yhteenlasketut anomaliat (Romppanen & Hulki 2024). Kallioperäkartta digikp © GTK 2022.

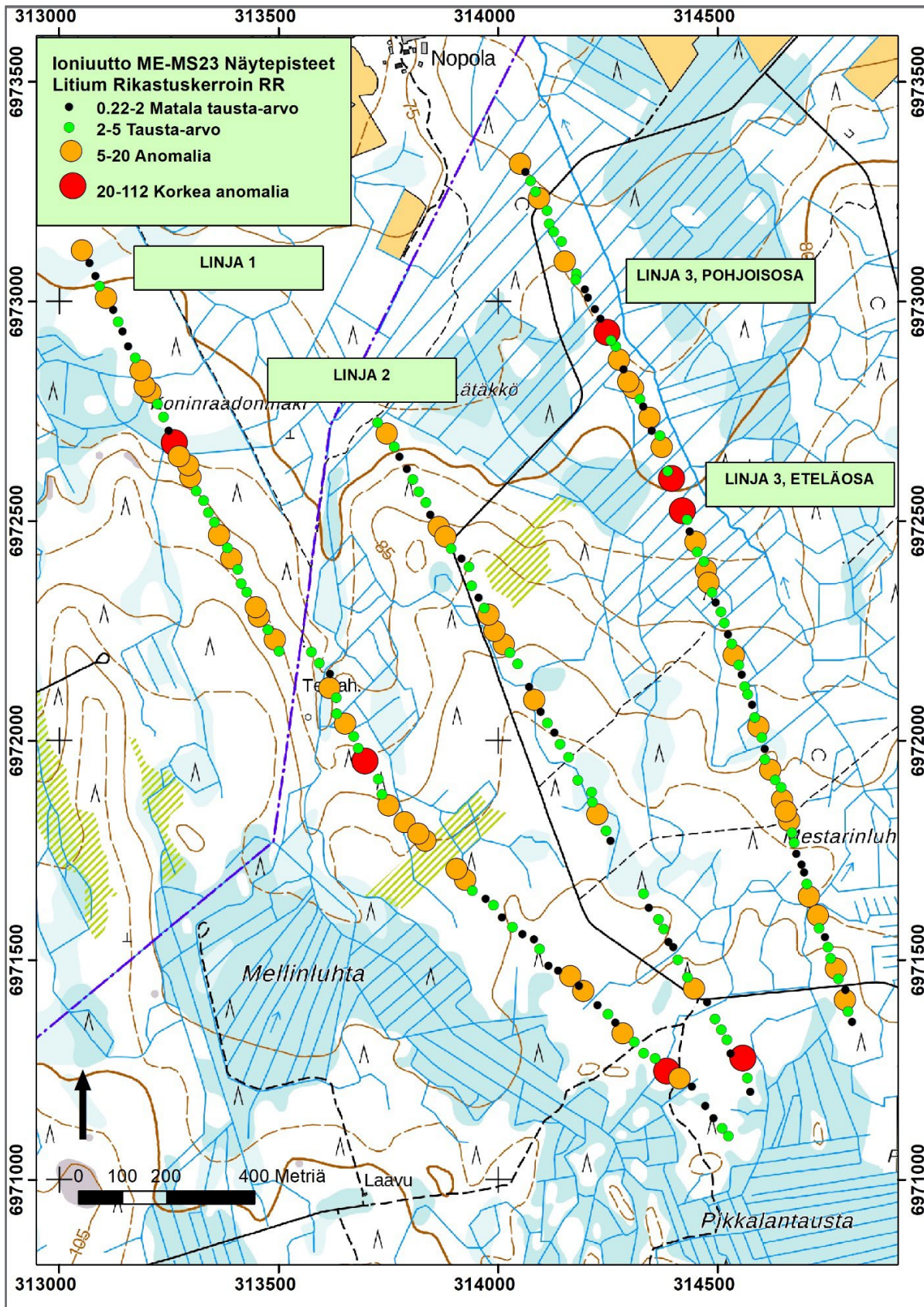
6.2 Ioniutto

Pikkalantaustan alueella tehtiin kesällä 2023 moreenin ioniuuttonäytteenottoa LCT-pegmatiitteihin liittyvien anomalioiden paikallistamiseksi. Näytteenoton tuloksia on tarkemmin raportoitu erillisessä GTK:n työraportissa (Kinnunen 2024, valmisteilla). Yhteensä 212 näytettä otettiin kolmelta luode-kaakkosuuntaiselta linjalta. Linjojen suunta oli kallioperän rakenteiden ja oletettujen pegmatiittijuonten kulkusuuntiin nähden poikittain ja pisteväli oli keskimäärin noin 25 metriä. Näytteet analysoitiin ALS-laboratoriossa menetelmällä ME-MS23.

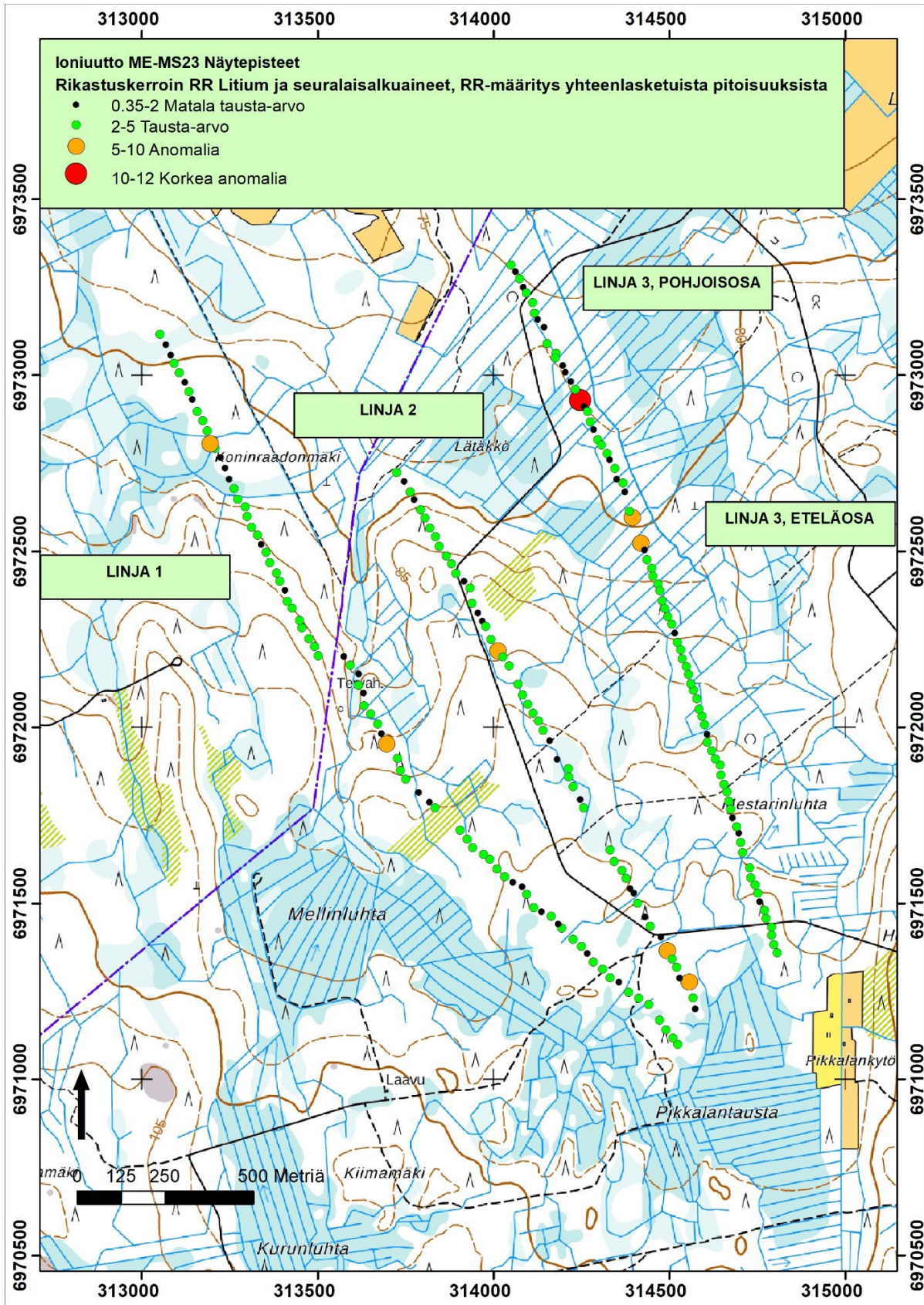
Analyysituloksista laskettiin alkuaineille rikastumiskertoimet (RR): erityisesti tarkasteltiin LCT-pegmatiitteihin liittyviä alkuaineita. Litiumanomaliaita (RR > 5) ilmenee monessa paikassa ja korkeita anomaliaita (RR > 20) on alueella muutamia (kuva 19). Alueen kallioperä on suhteellisen homogeeninen kiilleliuske, pois lukien mahdolliset sulfidipitoiset liuskeet alueen pohjois- ja eteläosissa. Näin ollen anomalioiden aiheuttajat ovat suurella todennäköisyydellä LCT-pegmatiitteja.

Eri ionien kulkeutuminen ja rikastuminen saattaa vaihdella, joten on syytä tarkastella kaikkia LCT-pegmatiitteihin liittyviä alkuaineita. Kallionäytteiden analyysien perusteella tiedetään, että alueen pegmatiittijuonet ovat rikastuneet etenkin alkuaineista Li, P, Ta, Nb ja Sn. Yhteenlasketut litiumin ja sen seuralaisalkuaineiden (Li, Be, Cs, Ga, Ge, Hf, Nb, Rb, Sn, Ta, Th, Tl, U, W) tulokset tuovat esiin muutamia poikkeavia pisteitä (kuva 20).

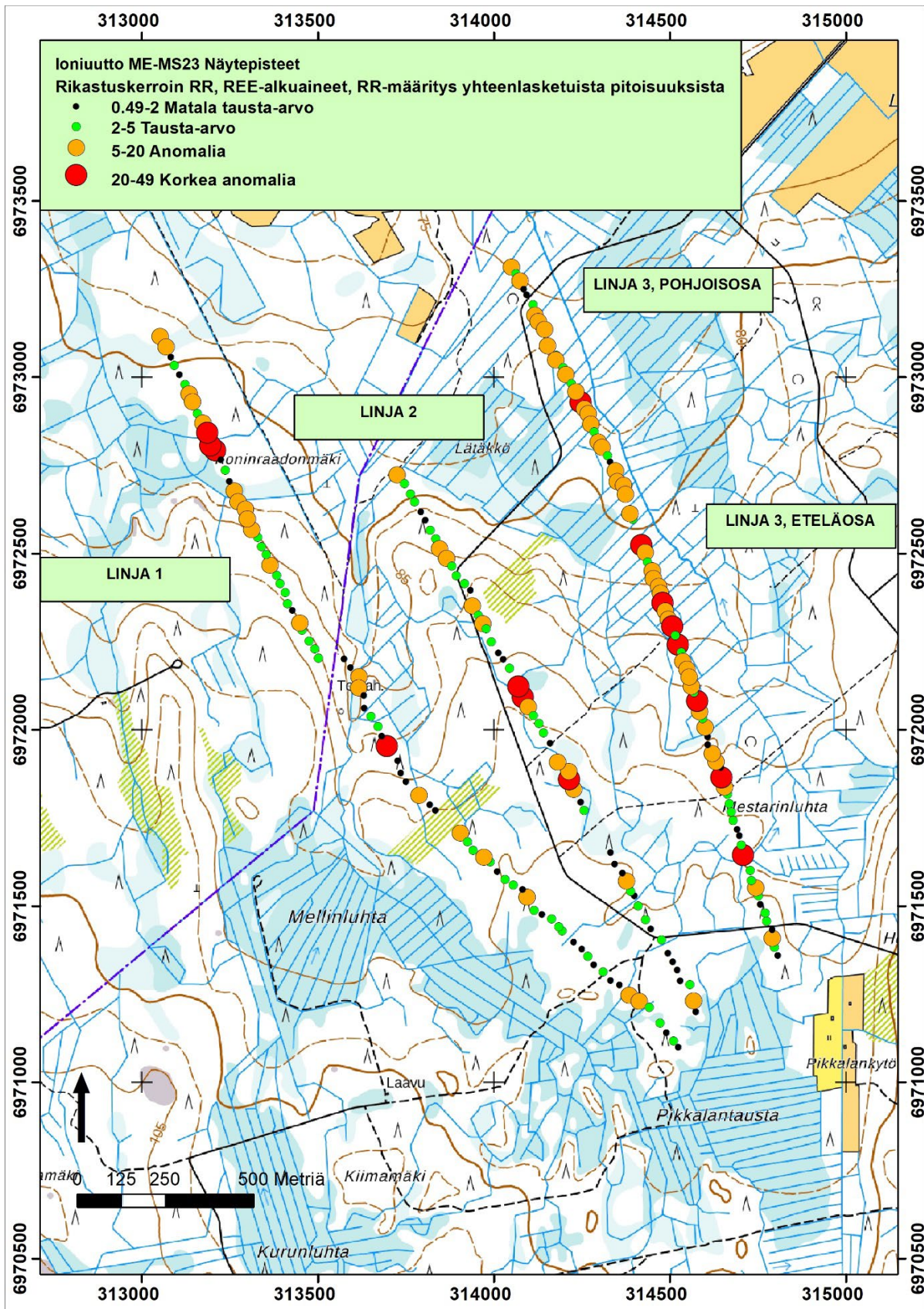
Pikkalantaustan ioniuuttotuloksissa havaitaan myös kohonneita harvinaisten maametallien (rare earth elements, REE) pitoisuuksia (kuva 21). Alueen LCT-pegmatiitteihin ei liity kalliogeokemia-analyysien mukaan REE-alkuaineita, eikä alueelta ole tavattu NYF-pegmatiitteja, joihin nämä anomaliat voisivat liittyä. Ioniuttomenetelmällä ei ilmene kallioperän todellisia REE-pitoisuuksia vaan nämä pitää selvittää muilla keinoilla.



Kuva 19. Ioniuton litiumanomaliat (Kinnunen 2024). Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.



Kuva 20. Ioniuton litiumin ja seuralaisalkuaineiden yhteenlasketut rikastuskertoimet (Kinnunen 2024). Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

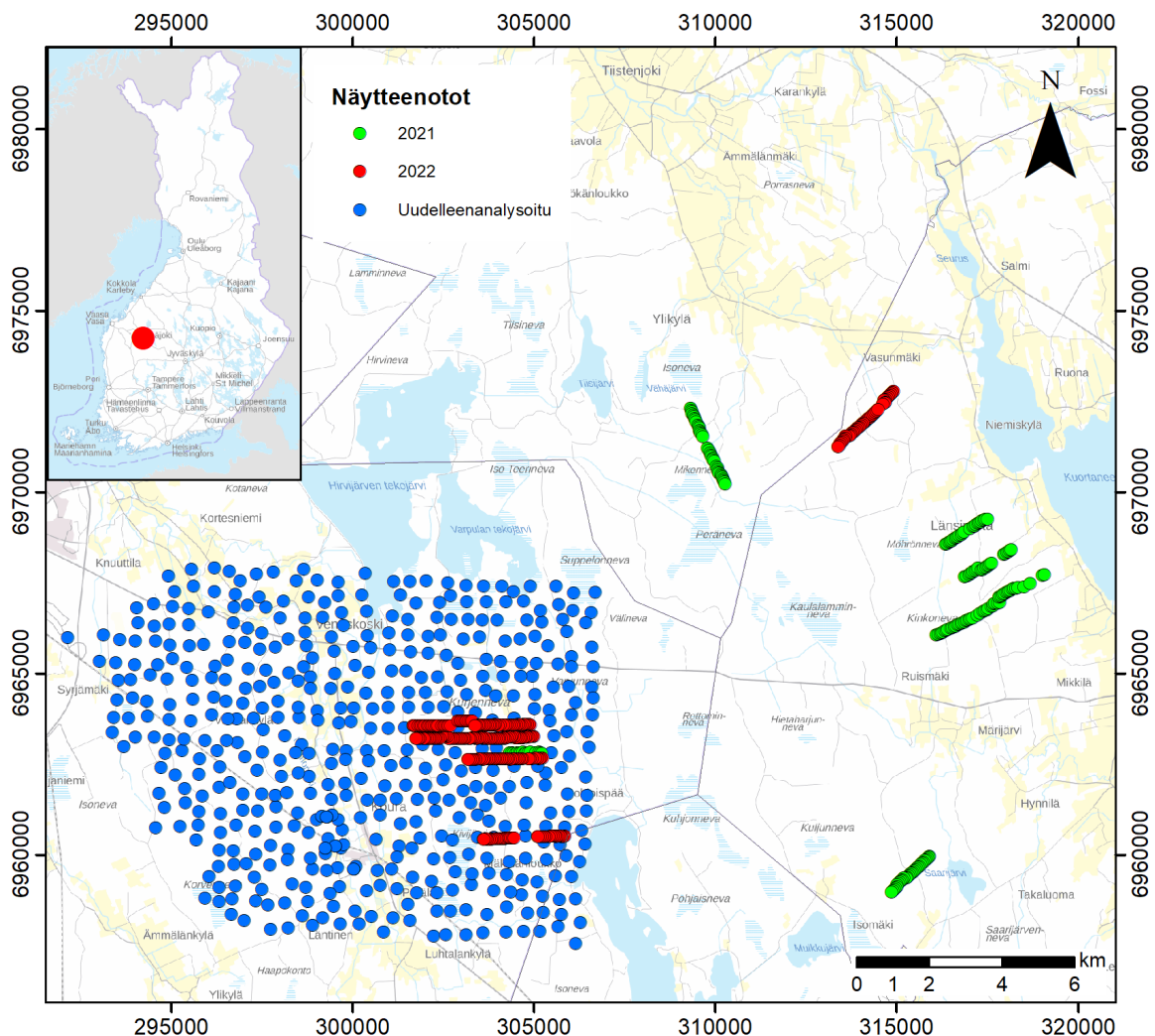


Kuva 21. Ioniuton harvinaisten alkuaineiden yhteenlasketut rikastuskertoimet (Kinnunen 2024). Pohjakartta © Maanmittauslaitos, maastokartta (rasteri), 03/2024.

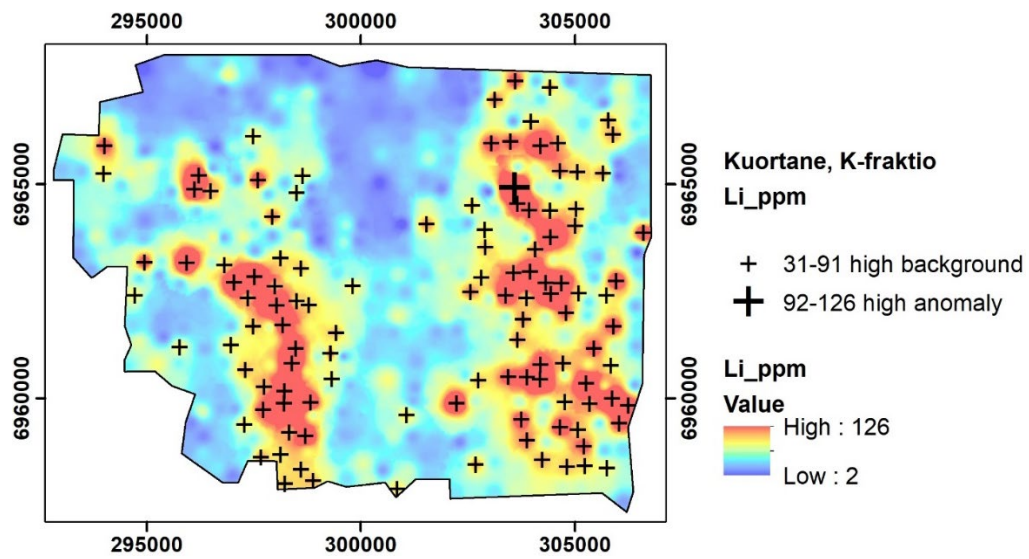
6.3 Kurjennevan uudelleenanalysoidut moreeninäytteet

Taustatyönä varausalueen kartoituksen valmistelua varten analysoitiin vuonna 2021 yhteensä 498 kpl vanhoja moreeninäytteitä (kuva 22). Nämä näytteet oli otettu Cobra-iskuporalla GTK:n projektissa vuonna 1984. Näytteistä oli aiemmin analysoitu kulta ja muutama perusmetalli, muttei LCT-pegmatiitteihin liittyviä alkuaineita. Lopen kairasydänarkistossa oli tallessa näytteiden K-fraktiot, joista tehtiin analyysit ALS-laboratoriossa menetelmällä ME-MS89L (natriumperoksidifuusio + ICP-MS). Tuloksista on raportoitu tarkemmin GTK:n erillisessä työraportissa (Romppanen & Hulki 2024).

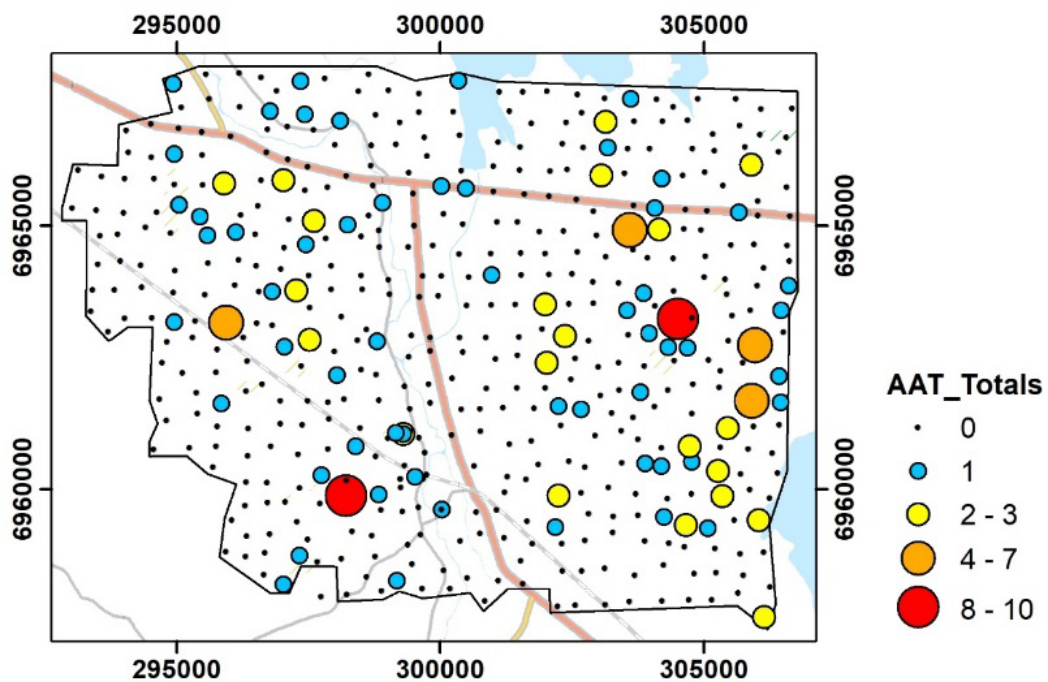
Yhteenvedona tuloksista voidaan todeta, että Kurjennevan alueella on useampi litiumin suhteen anomaalinen näyte. Tutkimusalueella näyttää myös esiintyvän kaksi pohjoiseteläsuunnassa kulkevaa Li-anomaalista vyöhykettä (kuva 23). Monessa pisteessä kohoaa myös litiumpegmatiittien tyypilliset seuralaisalkuaineet (kuva 24).



Kuva 22. Kartalla on esitetty uudelleenanalysoitujen näytepisteiden sekä vuosien 2021 ja 2022 iskuporamoreeninäytepisteiden sijainti (Romppanen & Hulki 2024). Pohjakartta © Maanmittauslaitos, taustakartta (rasteri), 12/2023.



Kuva 23. Logaritmisen laatikko-jana-kuvaajan mukaan luokiteltujen korkeimpien litiumpitoisuuksien sijoittuminen interpoloidulla (IDW) Li-pitoisuusjakaumakartalla (Romppanen & Hulkki 2024).



Kuva 24. Litiumin ja sen seuralaisalkuaineiden (Be, Cs, Ga, Nb, Rb, Sn, Ta, Tl) yhteenlasketut anomaliat (Romppanen & Hulkki 2024). Pohjakartta © Maanmittauslaitos, taustakartta (rasteri), 12/2023.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Suoritetuilla tutkimuksilla saatiin selville, että Seinäjoen, Kuortaneen ja osin Lapuan alueelle sijoittuvalla GTK:n tutkimusalueella on aiemmin tuntemattomia LCT-tyyppin pegmatiitteja. Tämä laajentaa huomattavasti litiummineraalipotentialista aluetta Seinäjoesta itään ja koilliseen, Kuortaneen kunnan pohjoisosaan.

Kehittyneimmät pegmatiitit eli litiumpotentiaalisimmat alueet tulkittiin keskittyvän tutkimusalueella kolmeen vyöhykkeeseen. Yksi vyöhyke kulkee noin länsi-itäsuunnassa kallioperän liuskeisuuden suunnassa Kurjennevan alueen läpi ja jatkaa kohti kaakkoa ja Kaatialan louhoksen ympäristön kehittyneitä pegmatiitteja. Tälle vyöhykkeelle sijoittuu myös Tarikon spodumeenipegmatiitti. Vyöhyke jatkuu mahdollisesti Kaatialasta kohti pohjoista ja Kuortaneenjärven Länsirantaa. Kaatialan kohdalla kallioperän liuskeisuuden suunta vaihtuu pohjoiseteläsuuntaiseksi ja alueella esiintyy kehittyneitä pegmatiittigraniitteja. Kurjennevan kaakkoispuolelta löydetty spodumeenipegmatiittilohkare ja moreeninäytteissä esiin tulleet LCT-pegmatiitteihin viittaavat anomaliat indikoivat alueella olevan LCT-pegmatiitteja. Kokokivikemia-analysien mukaan osalla Kurjennevan alueen pegmatiiteilla kehittyneisyysaste on yli keskitasoa. Paljastuneiden pegmatiittien osalta ei kuitenkaan tunnistettu erittäin pitkälle kehittyneitä pegmatiitteja. Maapeitteiden takia valtaosa alueen pegmatiiteista todennäköisesti jää moreenin ja suoalueiden alle.

Toinen hyvin LCT-pegmatiittipotentialinen vyöhyke on Kuortaneenjärven länsipuolella oleva Pikkalantaustan ympäristö. Tämä vyöhyke jatkuu koilliseen Kuortaneenjärven pohjoispuolelle. Vyöhyke kulkee aluetta vallitsevan kiilleliuskeen liuskeisuuden mukaisesti, ja vyöhyke on todennäköisesti yli 10 kilometriä pitkä ja muutaman kilometrin leveä. Tämä oletus perustuu kartoitushavaintoihin ja analysoituihin näytteisiin. Kehittyneitä pegmatiitteja on havaittu kalliiossa Pikkalantaustan länsiosasta ja Salmen kylän Kivimäeltä noin 8 kilometriä Pikkalantaustasta koilliseen. Tämä vyöhyke jatkuu mahdollisesti edelleen koilliseen Alajärvelle ja Soiniin. Iso-Räyrinkijärven lähistöltä GTK:n (Huhta 1984, Västi 1988) tutkimuksissa löytyneet beryllipitoiset pegmatiitit indikoivat myös tätä. Vuoden 2022 laajemman pegmatiittinäytteenoton yhteydessä löydetty Jokivarren spodumeenipegmatiittilohkare viittaa myös LCT-pegmatiittipotentialin jatkuvan koilliseen Soinin kuntaan asti.

LCT-pegmatiittijuonet esiintyvät yleensä juoniparvina. Tätä ei kuitenkaan ole voitu varmistaa Pikkalantaustan Mellinluhdan juonen välittömästä ympäristöstä maanpeitteen paksuuden ja paljastumien vähyyden takia. Moreeninäytteenotossa ilmenneet geokemialliset anomaliat viittaavat siihen, että Pikkalantaustan alueella saattaa olla muitakin LCT-pegmatiittijuonia. Tarkempi tutkimus vaatisi kairausta tai tutkimuskaivantojen tekoa.

Tämänhetkinen tutkimustieto Pikkalantaustan Mellinluhdan LCT-pegmatiittisysteemistä on vähäistä, ja se nojautuu käytännössä yhden huonosti paljastuneen LCT-pegmatiittijuonen osaan ja muutamiin lohkarisiin. Ei ole poissuljettua, että juonen muissa osissa olisi myös muita litiummineraaleja, kuten spodumeenia, tässä tutkimuksessa tunnistetun litiumfosfaatin lisäksi. Näytteistä ei ole toistaiseksi tehty tarkempia mineralogisia tutkimuksia.

Kuten jo Mäkitie et al. (2001) totesivat, Pohjanmaan liuskevyöhykkeen rikastuneet pegmatiitit näyttäisivät keskittyvän matalan metamorfoosiasteen kallioperään. Metamorfoosiasteella on siten ollut merkittävä ohjaava rooli LCT-pegmatiittien syntymisympäristölle. LCT-pegmatiitit suosivat

matalan metamorfoosiasteen ympäristöä, jota edustaa matala–keskitason amfiboliittifasiesta (Černý 1991). Normaaliolosuhteissa Barrovian-metamorfoosissa tämä tarkoittaa, että korkeamman metamorfoosiasteen kivet ovat sijainneet liian syvällä kallioperässä, jotta ne olisivat suosineet LCT-pegmatiittien kiteytymistä. Pohjanmaan liuskealueen post-orogeenisten pegmatiittien ikäero metamorfoosin huipusta on 70–90 miljoonaa vuotta. On oletettavaa, että tässä ajassa kallioperä on jäähtynyt, ja eroosion seurauksena on tapahtunut isostaattista kohoamista. Tutkimusalueelta tehdyt kartoitushavainnot tukevat tätä, sillä myöhemmät pegmatiitit leikkaavat terävästi sivukiviä, eli ne ovat syntyneet hauraassa ympäristössä. Näin ollen LCT-pegmatiittisula olisi myös voinut tunkeutua alueen korkean metamorfoosiasteen kallioperään. Valtaosassa tapauksissa näin ei kuitenkaan ole. Poikkeuksena ovat Haapaluoman ja Kaatialan pegmatiitit, jotka sijaitsevat Keski-Suomen granitoidikompleksin tonaliitissa.

Pikkalantaustan Mellinluhdan LCT-pegmatiittijuoni on monimetallinen (Li, Ta, Nb, Sn). Lisäksi siinä esiintyy berylliumia ja fosforia, joten siihen on muodostunut litiumfosfaattimineraaleja. Noin 18 km ja 28 km etelämpänä sijaitsevissa Hunnakon ja Haapaluoman pegmatiiteissa esiintyy myös litiumfosfaattimineraaleja. Fosforia on usein mukana LCT-pegmatiittisysteemeissä, mutta Kuortaneen alueen pegmatiiteissa sitä esiintyy erityisen paljon. Osassa Pikkalantaustan pegmatiittigraniittinäytteistä P_2O_5 -pitoisuus kohoaa yli prosentin. Vertailun vuoksi Kaustisen alueen kuudessa spodumeenipegmatiittiesiintymissä keskimääräinen P_2O_5 -pitoisuus vaihtelee 0,09-0,44 % välillä (Ahtola et al. 2015). Kruunupyyn Dragbacken spodumeenipegmatiittijuonessa on 0,71 % P_2O_5 (Nygård et al. 2023).

Hines et al. (2023) mukaan korkea fosforipitoisuus Australian Mount Willsin -graniitissa ja LCT-pegmatiiteissa johtuu sulaneen protoliitin sisältämistä mustaliuskeista. Sama koskee näiden pegmatiittien kohonneita uraanipitoisuuksia. Pikkalantaustan näytteissä on jonkin verran urania (maksimi 43 ppm). Voisiko graniittiprotoliittiin sekoittunut aines selittää myös Kuortaneen ja paikoin muuallakin Pohjanmaan liuskevyöhykkeessä esiintyvien pegmatiittien vaihtelevia koostumuksia? Monella alueella, jossa esiintyy LCT-pegmatiitteja, esiintyy myös mafisia vulkaniitteja sekä sulfidi- ja mustaliuskekerroksia.

Pikkalantaustan kehittyneissä pegmatiiteissa on runsaasti myös berylliumia (joissakin näytteissä jopa yli 300 ppm). Korkeat berylliumpitoisuudet ovat indikaatio siitä, että pegmatiittien lähtösula olisi muodostunut alueellisen metamorfoosin lämpötilassa ja paineessa, joka on stabiilin kordieriittivyöhykkeen ulkopuolella. Kordieriittiin sitoutuu berylliumia peliittisten sedimenttien sulamisen yhteydessä, jolloin muodostuu berylliumköyhiä sulia (Hines et al. 2023).

Viimeaikaiset tutkimukset viittaavat siihen, että pitkälle kehittyneet ja spodumeenia sisältävät LCT-pegmatiitit eivät voi syntyä anatektisesti suoraan sedimenttien sulamistuotteena. Silisiklastisten sedimenttien mineraalit eivät Koopmans et al. (2023) tekemän mallinnuksen mukaan sisällä riittävästi litiumia tuottaakseen sitä sulaan tarpeeksi, jotta spodumeenin kiteytymispiste ylittyisi (noin 5 000 ppm Li sulassa). Sen sijaan jo kertaalleen kiteytyneen graniitin sulaessa uudelleen voitaisiin saavuttaa niin litiumilla rikastunut sula, että spodumeenin kiteytymispiste ylittyisi.

Maan mantereellisen yläkuoren litiumin keskipitoisuus on noin 20 ppm (Selway et al. 2005). Koopmans et al. (2023) käyttivät tutkimuksessaan arvoa 125,5 ppm Li, joka on maailmanlaajuisesti silisiklastisten sedimenttikivien keskiarvo. Tämän projektin puitteissa tehtyä Pro gradu -opinnäytetyötä varten (Tiala 2023) analysoidut kiilleliuskenäytteet Seinäjoen ja Kuortaneen alueelta sisälsivät keskimäärin 48 ppm litiumia, joten ne eivät ole syntyneet erityisen litiumrikkaista sedimenteistä.

Jos litiummineraaleja sisältävien LCT-pegmatiittien syntyyn tarvitaan vähintään kaksivaiheinen sulamisprosessi, on tällainen voinut tapahtua myös Pohjanmaan liuskevyöhykkeellä. Näin voi olla esimerkiksi, jos orogeenin huippuvaiheen (1890–1870 Ma) aikana liuskepatjan alakuoreen kiteytyneet S-tyyppin graniitit ovat sulaneet uudelleen postorogeenisen (1800 Ma) lämpöpulssin seurauksena. Tästä seuraa myös, että usein samalla alueella esiintyvillä kehittyneillä pegmatiiteilla ja isommilla graniitti-intruusioilla saattaa olla keskenään eri ikäsuhteet. Tällainen siis saattaa olla tilanne, jos näillä on eri lähtömateriaali eli protoliitti. Kattavia ikämääriä ei kuitenkaan ole tehty Pohjanmaan liuskevyöhykkeen kivistä.

Kyseinen prosessi ei poissulje anatektisen sulamisprosessin pegmatiitteja, mutta ne eivät tällöin olisi rikastuneita LCT-pegmatiitteja.

Kallioperäkartoituksen ja näytteenoton aikana tutkimusryhmälle muodostui käsitys, että Kuortane–Seinäjoki-välisellä alueella esiintyy runsaasti eri kehitysasteita olevia pegmatiittijuonia. Vain suurimmat pegmatiittigraniitti-intruusiot on merkittyinä nykyiseen kallioperäkartaan.

8 JATKOTUTKIMUKSIA

GTK:n mineraalitutkimuksen fokusalueiden vaihtuessa tutkimukset Kuortaneen varausalueella jäivät osittain kesken. Erityisesti Kurjennevan ja Pikkalantaustan litiumpegmatiittien mineraalisysteemien tieteellisiä jatkotutkimuksia ei ole tehty. Varsinaisia maastokartoituksia on tehty kahden kenttäkauden aikana, joista ensimmäisellä kartoitettiin alueellisesti Seinäjoen–Kuortaneen mineraalipotentialia. Näin ollen alueen litiumpotentialia on tunnistettu, mutta tarkemmat tutkimukset litiummineraalisysteemien luonteesta ja ulottuvuuksista vaatisivat jatkotutkimuksia. Jatkotutkimusaiheita ovat muun muassa seuraavat.

Kurjenneva

- Kurjennevan Ison Kettukankaan spodumeenipegmatiittilohkareen alkuperän selvittäminen.
- Iskuporamoreeninäytteiden LCT-pegmatiittianomalioiden alkuperän tunnistaminen. Anomaalisten moreenigeokemiallisten kohteiden tarkentava näytteenotto tai anomalioiden tarkistaminen profiilikairauksella.
- Kurjennevan sekä Tarikon alueen LCT-pegmatiittimineraalisysteemin laajuus ja mineralogian tutkimus.

Pikkalantausta

- Pikkalantaustan litiumfosfaatti-mineraalisysteemin laajuuden, kuten mahdollisten muiden juonten esiintymistavan, pituuksien, ulottuvuuksien ja kaateiden selvittäminen.
- Moreeninäytteenotoissa ilmenneiden LCT-pegmatiittialkuaineiden anomalioiden aiheuttajien selvittäminen.

- Mellinluhdan LCT-pegmatiittijuonen kairaaminen ja/tai kaivaminen auki yksityiskohtaista kartoitusta varten. Juoni soveltuu hyvin tutkimuskaivantojen tekemiselle, sillä moreenipatjan paksuus on alueella alle kaksi metriä.
- Kairaamalla voitaisiin selvittää pegmatiittien kiilleliuskesivukiveen aiheuttaman haloefektin laajuutta ja alkuainejakauman käyttäytymistä. LCT-pegmatiittien moreenigeokemiallisessa etsinnässä voitaisiin hyödyntää sivukiveen juonten ympärillä muodostunutta haloefektiä. Näyte tarvitsisi tällöin ottaa kallion pintaosasta iskuporalla. Haloefektin voimakkuus sivukivessä tulisi ensin selvittää.
- Mellinluhdan pegmatiittijuonessa esiintyy litiumin lisäksi tantaalia, niobiumia ja tinaa. Näiden tarkempi mineralogia ja pitoisuudet tulisi selvittää.
- Pikkalantaustan alueelle tehdyt kattavat moreeninäyteohjelmat (iskupora, ioniuutto, MEFFA) antavat mahdollisuuden esiin tulleiden anomalioiden tarkistamiseen ja eri moreeninäytteenottotapojen toimivuuden varmistamiseen.
- Fosforipitoisen Li-Ta-Nb-Sn-pegmatiittisysteemin koostumus poikkeaa esimerkiksi Seinäjoen Pajuluoman pegmatiiteista. Vertailu Pohjanmaan liuskeyöhykkeen ja Ruotsin puolelle ulottuvan vyöhykkeen esiintymiin on tarpeen, jotta ymmärretään vastaavanlaisten mineraalisysteemien synty, esiintyvyyalueet ja paras etsintästrategia.
- Tämän alueen pegmatiitit eivät ole ikämääritettyjä, joten juonten ikä suhteessa Svekofennisten postorogeenisten graniitti-intruusioiden ikin ei ole varmistettu. Jos iät eroavat toisistaan, kyseessä olisi eri alakuoren sulamistapahtuma, joka on synnyttänyt litumpitoisia pegmatiitteja.

9 LÄHTEET

Ahtola, T. (ed.), Kuusela, J., Käpyaho, A. & Kontoniemi, O. 2015. Overview of lithium pegmatite exploration in the Kaustinen area in 2003–2012. Geological Survey of Finland, Report of Investigation 220. 28 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/tutkimusraportti/tr_220.pdf

Alviola, R. 1986. Tinamalmitutkimukset Etelä-Pohjanmaan liuskejakson alueella vuosina 1980-1983: Tutkimukset Seinäjoen Pajuluoman alueen ympäristössä. Geologian tutkimuskeskus, GTK arkistoraportti M19/2222/-86/1/10, 9 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_2222_86_1_10.pdf

Alviola, R. 1987. Tutkimustyöselostus Nurmon kunnassa valtausalueella Tarikko 1, kaivosrek. nro 3524, suoritetuista malmitutkimuksista Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M06/2222/-87/1/85, 17 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/valtaus/m06_2222_87_1_85.pdf

Černý, P. 1991. Rare-element Granitic Pegmatites. Part II: Regional to Global Environments and Petrogenesis. Geoscience Canada 18, 68–81.

- Chopin, F., Korja, A., Nikkilä, K., Hölttä, P., Korja, T., Abdel Zaher, M., Kurhila, M., Eklund, O., Rämö, T. 2020.** The Vaasa Migmatitic Complex (Svecofennian Orogen, Finland): Buildup of a LP-HT Dome During Nuna Assembly. *Tectonics* 39, e2019TC00558.
- Haapala, I. 1966.** On the granitic pegmatites in the Peräseinäjoki-Alavus area, South Pohjanmaa, Finland. Geological Survey of Finland, Bulletin 224, 98s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/bulletin/bt_224.pdf
- Hines, B., Turnbull D., Ashworth, L., & McKnight, S. 2023.** Geochemical characteristics and structural setting of lithium–caesium–tantalum pegmatites of the Dorchap Dyke Swarm, northeast Victoria, Australia. *Australian Journal of Earth Sciences* 70(6), 763–800.
- Huhta, P. 1984.** Malminetsintää palvelevat maaperätutkimukset Alajärvellä. Geologian tutkimuskeskus, raportti P 13.2.053, 2 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/p13_2_053.pdf
- Kinnunen, M. 2024.** Kuortaneen-Lapuan alueen Pikkalantaustan litium- ja REE-potentiaali kesän 2023 ioniuutnonäytteenoton perusteella. Geologian tutkimuskeskus työraportti (valmisteilla).
- Koopmans, L., Martins, T., Linnen, R., Gardiner, N. J., Breasley, C. M., Palin, R. M., Groat, L. A., Silva, D. & Robb, L. J. 2023.** The formation of lithium-rich pegmatites through multi-stage melting. *Geology* 2023. <https://doi.org/10.1130/G51633.1>
- Kuusela, J., Nygård, H., Al-Ani, T., Salvador, D. A., Hulkki, H., Kujasalo, J.P., Leväniemi, H. & Nenonen, J. 2024.** Battery mineral investigations in Central and Southern Ostrobothnia, Western Finland 2019 – 2022. Geological Survey of Finland (GTK), Final report 9 / 2024 (valmisteilla).
- Lahtinen, R., Huhma, H., Sipilä, P., & Vaarma, M. 2017.** Geochemistry, U - Pb geochronology and Sm - Nd data from the Paleoproterozoic Western Finland supersuite – A key component in the coupled Bothnian oroclinal. *Precambrian Research* 299, 264–281.
- Mikkola, P. & Nygård, H. 2022.** Kallioperäkartoituksen jatkokurssi, Kuortane 16.-27.5.2022. Geologian tutkimuskeskus, työraportti 27/2022, 5 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/27_2022.pdf
- Mäkitie, H. (ed.) 2001.** Svecofennian granitic pegmatites (1.86 - 1.79 Ga) and quartz monzonite (1.87 Ga), and their metamorphic environment in the Seinäjoki region, western Finland. Geological Survey of Finland, Special Paper 30, 93 p. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/julkaisu/specialpaper/sp_030.pdf
- Nygård, H., Hulkki, H., Jokinen, J., Kuusela, J., Leskelä T. & Thurman, N. 2023.** Investigation of Dragbacken lithium pegmatite occurrences, Kruunupyy, Ostrobothnia, western Finland. Geological Survey of Finland, GTK Open File Research Report 27/2023, 37 p. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/27_2023.pdf
- Romppanen, S. & Hulkki, H. 2024.** Akkuminaalipotentialin kartoitus -hankkeen vuosien 2021 ja 2022 iskuporamoreenitutkimus Kuortaneen ja Seinäjoen alueella. Geologian tutkimuskeskus 2024, työraportti, 26 s.
- Saikkonen, R. 1964.** Pegmatiittitutkimukset Keski- ja Etelä-Pohjanmaalla 1963. Geologian tutkimuskeskus, arkistoraportti M85/1963/1, 51 s. Saatavissa: https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m85_1963_1.pdf

Selway, J. B., Breaks, F. W. & Tindle, A. G. 2005. A Review of Rare-Element (Li-Cs-Ta) Pegmatite Exploration Techniques for the Superior Province, Canada, and Large Worldwide Tantalum Deposits. *Exploration and Mining Geology* 14(1–4), 1–30.

Tiala, A. 2023. Geokemisk och petrografisk variation av glimmerskiffer i förhållande till pegmatiter i Österbottens skifferbälte, Seinäjoki- och Kuortaneregionen, Finland. Pro gradu -avhandling, Åbo Akademi, Fakultet för naturvetenskaper och teknik, 65 s.

Västi, K. 1988. Jyrkäksen kompleksipegmatiitin Sn-kriittisyyden selvittäminen. Geologian tutkimuskeskus, tutkimuskortti M19/2313/88/1/10, 2 s. Saatavissa:
https://tupa.gtk.fi/raportti/arkisto/m19_2313_88_1_10.pdf

10 LIITE 1 AINEISTOLUETTELO

Projektin aikana on tuotettu ja tallennettu aineistoa GTK:n tietokantaan hankenumera 50402-20090 ja projektitunnuksella 50402-20108212.

Geokemia

Pegmatiittinäytteet ovat osa analyysitulauksia OT21276333, OT21260307, OT22296074, OT22296077, OT23185620

Opinnäytetöiden kiilleliuskenäytteet OT23185625, OT22284236

Kurjennevan uudelleenanalysoidut moreeninäytteet OT21134164, OT21134168

Pikkalantausta ioniuutto OT23268329

Pikkalantausta iskuporan rapakallionäytteet OT23090053

Iskuporanäytteet 2021 OT21328983

Iskuporanäytteet 2022 OT22361867, OT22361879

Geofysiikaaliset mittaukset

Tutkimusalue Lapua Pikkalantausta, 2023. Mittausaineiston laatuvirheistä johtuen aineisto ei ole myytävänä.